

# 14.

## Modellierung und Simulation

---

Buch Mark Weiss „Data Structures & Problem Solving Using Java“ siehe:  
- Kap. 13.2, S. 513-522 (ereignisgesteuerte Simulation)

# Lernziele Kapitel 14 Modellierung und Simulation

- Zweck und typische Anwendungsgebiete von Simulation kennen
- Die Rolle von Modellbildung und Abstraktion verstehen
- Das Prinzip der zeitgesteuerten und das Prinzip der ereignisgesteuerten Simulation kennen
- Die beiden Simulationsparadigmen vergleichend bewerten können

## Thema / Inhalt

Im Lexikon wird „**Simulation**“ so definiert: „Darstellung oder Nachbildung physikalischer, technischer, biologischer, psychologischer oder ökonomischer Prozesse durch mathematische oder physikalische Modelle, die eine wirklichkeitsnahe, jedoch einfachere, billigere oder ungefährlichere Untersuchung als das Objekt erlauben.“ Das ist eine gute Erläuterung, weil nicht nur gesagt wird, was es ist (Nachbildung), sondern auch wie (durch mathematische Modelle) und wieso (einfacher etc.) simuliert wird. Für unsere Zwecke ist aber noch zu ergänzen, dass wir Simulation mit Computerhilfe betreiben, konkret: dass das Modell als Abbild der Wirklichkeit ein Stück Software ist, das ausgeführt werden kann. Dann lässt sich Simulation kurzgefasst auch als „**Experiment mit einem digitalen Modell**“ charakterisieren.

# Thema / Inhalt (2)

„Die Studierenden sehen oft nicht ein, wozu sie das alles brauchen; sie erhalten Antworten auf Fragen, die sie nie gestellt haben.“ – Prof. Martin Glinz zu seiner Vorlesung „Modellierung“.

Ein **Modell** ist in diesem Sinne ein vereinfachtes Abbild der komplexen Realität, das allerdings nicht allzu einfach sein darf: Es muss sich bezüglich der relevanten Aspekte natürlich analog zur Realität verhalten. Die Kunst des Modellierens besteht daher darin, möglichst gut zu abstrahieren: Das Unwesentliche weglassen, aber das (für den intendierten Zweck) Wesentliche beibehalten.

Indem man ein Experiment mit einem Modell durchführt, gewinnt man **Erkenntnisse über den modellierten Weltausschnitt**; aus diesem Grund simuliert man ja schliesslich. Daraus ergibt sich, dass Simulation sehr vielseitigen Zwecken dienen kann: Auswahl von Entwurfsalternativen (also als Entscheidungshilfe), Optimierung von Systemen oder Prozessen, Prognose zum Verhalten eines Systems und vieles mehr. Simulation wird vor allem dann eingesetzt, wenn ein Experiment mit dem echten System, also in der „Wirklichkeit“, nicht möglich oder nicht angezeigt ist. Etwa weil es in der Realität zu schnell gehen würde (chemische Reaktionen) oder aber zu langsam (Entstehung von Galaxien), weil die Realität das Experiment nicht ertragen würde (Atomkrieg, Klimakatastrophe), weil das reale System erst noch gebaut werden muss, oder weil ein reales Experiment schlicht zu teuer wäre. Daher findet computerbasierte Simulation breite Anwendung in der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung, der Ökologie und Biologie, der Verkehrsplanung, der industriellen Fertigung und Logistik sowie natürlich beim Militär. Zur Anwendung in der Meteorologie und Klimaforschung kommen wir noch weiter unten.

Die Verwendung von Modellen ist mindestens so alt wie die Technik selbst – schon in der Antike konstruierte man etwa Holzmodelle von geplanten Bauwerken. In einem umfassenderen Sinne begleitet die Modellbildung sogar die gesamte kulturelle Entwicklung der Menschheit: Indem man sich ein Modell der Wirklichkeit macht, interpretiert man die Welt und versucht so,

# Thema / Inhalt (3)

seine Umgebung zu begreifen. Selbst prähistorische Höhlenzeichnungen als früheste Zeugnisse menschlicher Kultur wurden gelegentlich als Darstellung solcher Modelle interpretiert, und auch im phantasievollen Spiel von Kindern – eine Schere wird zum Krokodil, ein Holzklötzchen zum Auto – zeigt sich die angeborene Verhaltensweise des Menschen, durch Modellbildung und Simulation anschauliche Vorstellungen, Fertigkeiten und Kenntnisse über reale oder imaginäre Sachverhalte zu erlangen. Die Fähigkeit, **mentale** oder **physische Modelle** zu bilden, stellt jedenfalls eine wesentliche Voraussetzung für **rationale Entscheidungsfindung** und damit für planvolles Handeln dar.

Von den physischen und mentalen Modellen zu unterscheiden sind **symbolische Modelle**, bei denen die realen Objekte sowie deren Verhaltensweisen und Beziehungen untereinander durch abstrakte Begriffe beschrieben werden. Diese sind klassischerweise die Domäne der Mathematik, aber auch der modernen Physik und der Informatik. Hierbei lassen sich zwei Modellklassen unterscheiden: Einerseits die analytischen Modelle, bei denen ein dynamisches Systemverhalten typischerweise durch eine Menge gekoppelter (Differential-) Gleichungen charakterisiert ist, sowie andererseits die deskriptiven Modelle, bei denen das reale System durch einzelne zustandsbehaftete Simulationskomponenten, die aufeinander einwirken, beschrieben wird.

**Analytische Modelle** basieren in der Regel auf einer fundierten wissenschaftlichen Theorie, die das Verhalten des realen Systems erklärt – vielfältige Beispiele dazu findet man etwa in der Physik und Chemie. Eine Simulation reduziert sich dabei i.Allg. auf das (mathematisch allerdings meist nicht-triviale) „Ausrechnen“ und ist insofern eine deduktive Vorgehensweise.

Diese Methode war in der Vergangenheit vor allem in den angewandten Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften sehr erfolgreich; nachteilig ist jedoch, dass bei der Modellbildung

# Thema / Inhalt (4)

meist stark vereinfacht und idealisiert werden muss, um überhaupt eine analytische Beschreibung oder Lösung zu ermöglichen. Zudem stellen viele der heute interessierenden Vorgänge in Natur, Umwelt und Technik Systeme aus unstetigen oder nichtlinearen Prozessen dar, die in komplexer Weise miteinander vernetzt und rückgekoppelt sind und für die keine geschlossene Theorie oder adäquate Beschreibung in analytischer Form vorliegt.

In solchen Fällen sind **deskriptive Modelle** sinnvoll, bei denen mehr oder weniger explizit eine künstliche Welt im Rechner nachgebaut wird und sich Erkenntnisse in induktiver Weise durch Experimente an diesem Modell erschliessen. Deskriptive Modelle sind ihrem Wesen nach diskret; die oftmals hohe Komplexität solcher Modelle stellt dabei bezüglich der Genauigkeitsforderungen und der gewünschten Ausführungsgeschwindigkeit eine Herausforderung dar.

Dass Simulationen trotz des Einsatzes der jeweils modernsten Supercomputer oft als zeitkritisch angesehen werden, liegt nicht nur an der laufend zunehmenden Modellkomplexität und dem immer höheren Detaillierungsgrad, der aus Anwendungsperspektive gewünscht wird, sondern wird noch durch zwei andere Dimensionen bedingt: Zum einen möchte man oft verschiedene Modellvarianten untersuchen und variiert daher die Modellparameter von Lauf zu Lauf, zum anderen sind viele Simulationen stochastischer Natur, und zur Reduktion der Varianz und Erhöhung der Aussagekraft und Verlässlichkeit werden solche stochastischen Läufe mehrfach wiederholt, wobei Zufallsvariablen jeweils („zufällig“) anders belegt werden.

Nach der allgemeinen Diskussion von Modellierung und Simulation beleuchten wir kurz das Anwendungsspektrum der Simulation durch einige Beispiele aus verschiedenen Bereichen. Genauer gehen wir auf die Meteorologie als einen interessanten Anwendungsbereich ein, wo aus dem gegenwärtigen Wetter und dessen Verlauf in der jüngeren Vergangenheit modellbasiert

# Thema / Inhalt (5)

der Atmosphärenzustand in der Zukunft schrittweise simuliert wird, aus dem sich dann das zukünftige Wetter ableiten lässt.

Tatsächlich ist die **Meteorologie** ein lehrreiches Beispiel für eine bedeutende, aber oft unterschätzte, Anwendung von Computern, die einen hohen Nutzen stiftet. Die schnellsten und teuersten Supercomputer werden heute für die Wetterprognose benutzt – dabei werden mathematisch-physikalische Modelle für die Atmosphärendynamik mit Daten vielfältiger Sensoren sowie mit Meldungen von Satelliten gespeist. Dass heute mehrtägige Prognosen recht zuverlässig sind, ist gleichermassen eine Erfolgsgeschichte der Meteorologie (adäquate physikalische Modelle), der Mathematik (effizientes Lösen partieller Differentialgleichungen unter Beachtung der numerischen Stabilität) und der Informatik (Supercomputer, Clustercomputer, Parallelrechner und deren Programmierung) über die letzten rund 100 Jahre. Und nicht zu vergessen die Infrastruktur zur Weitermeldung und Aufbereitung der vielen automatisch gewonnenen Daten.

Auch hier spielt wieder John von Neumann eine relevante Rolle; Ende der 1940er-Jahre besass er das notwendige Wissen und hatte die Fäden in der Hand: Einerseits verfügte er über exzellente Kenntnisse des ersten praktisch nutzbaren elektronischen Computers ENIAC und konnte über dessen Einsatz mitbestimmen. Zum anderen war er mit den entscheidenden mathematischen Arbeiten um Richard Courant zu den Stabilitätskriterien bei der numerischen Integration partieller Differentialgleichung vertraut. Und schliesslich reizte ihn die numerische Wetterprognose als berechenbares physikalisches Problem. Er tat sich mit Meteorologen zusammen und schrieb schon im Mai 1946: „The objective of this project is an investigation of the theory of dynamic meteorology in order to make it accessible to highspeed, electronic, digital, automatic computing.“ Seine Frau Klara arbeitete bei der Programmierung des ENIAC-Computers mit; tatsächlich war sie einer der weltweit ersten Programmierer. Das Projekt war insofern ein Erfolg,

# Thema / Inhalt (6)

als es eine zutreffende Prognose berechnete; dadurch verhalf es der numerischen Wetterprognose zum Durchbruch.

Aufgrund dieses Themas sind die Anmerkungen zum historischen Kontext in diesem Kapitel relativ umfangreich; neben der Geschichte der numerischen Wetterprognose geht es dabei aber auch nochmal um menschliche Rechner und Rechnerinnen („computing is our duty“) sowie um die erste elektronische Rechenanlage, den **ENIAC**: seinen Aufbau, seine Programmierung, seine Programmiererinnen und seine Anwendungen.

Der faktische Teil des Kapitels dreht sich um die beiden Hauptparadigmen der **zeitdiskreten Simulation**. Dabei wird der Modellzustand Zeitschritt für Zeitschritt fortgeschrieben, kontinuierliche Abläufe werden zeitlich diskretisiert. Die **zeitgesteuerte Simulation** stellt eines der beiden zeitdiskreten Paradigmen dar, sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Simulationsuhr (welche die aktuelle Zeit des Modells, die sogenannte Simulationszeit, anzeigt) eine unabhängige Variable ist, die fortlaufend um ein festes Inkrement erhöht wird, was eine neue Zeitepoche einläutet. Alle Zustandsgrößen des Modells werden zyklisch für die nächste Zeitepoche entsprechend den Vorgaben des Modells aus den Werten der Zustandsgrößen der vorangehenden Epoche neu berechnet. Innerhalb (d.h., im Verlauf) einer Epoche ändert sich im Modell nichts; das (in der Realität kontinuierliche) „Geschehen“ wird auf den Zeitpunkt der Epochenumschaltung komprimiert.

Als ein Beispiel für die zeitgesteuerten Simulation betrachten wir eine Miniwelt, bei der eine Scheune mit Weizen eine Hauptrolle einnimmt, ferner Mäuse, die Weizen fressen und sich vermehren (sofern sie satt sind), sowie Katzen, die von den Mäusen leben und sich bei ausreichender Nahrung ebenfalls vermehren. Die Lebenszeit von Mäusen und Katzen ist begrenzt,

# Thema / Inhalt (7)

der Weizenvorrat ebenfalls, dieser wird nur einmal im Jahr bei der Ernte wieder aufgefüllt. Das Problem besteht darin, festzustellen, wie sich der Bestand an Weizen, Mäusen und Katzen über die Zeit entwickelt, ob sich evtl. ein Gleichgewicht einstellt, oder ob vielleicht eine Hungersnot bei den Katzen oder Mäusen (oder den Dorfbewohnern, die sich ja auch aus dem Vorrat in der Scheune bedienen) ausbricht oder ob alles über alle Grenzen wächst.

Das **Weizen-Katzen-Mäuse-Beispiel** demonstriert zwar grundsätzliche Eigenschaften der zeitgesteuerten Simulation dynamischer Systeme, ist aber ziemlich realitätsfremd, da allzu sehr vereinfacht wird. Anfang der 1970er-Jahre wurde am MIT jedoch ein ernsthafter Versuch unternommen, ein grösseres ökonomisches Weltmodell aufzustellen und damit Simulationsrechnungen durchzuführen. Das Modell umfasst fünf Hauptsektoren (Bevölkerung, Landwirtschaft, Industrie, Rohstoffe, Umwelt) mit zahlreichen gegenseitigen Abhängigkeiten. Das Ergebnis der Simulation: Nur wenn Pro-Kopf-Produktion und Bevölkerungszahl konstant bleiben und der Ressourcenverbrauch auf ein Viertel schrumpft, kann die Menschheit der Katastrophe entgehen. In allen anderen Fällen drohen im 21. Jahrhundert globale Hungersnöte und der Zusammenbruch der Industriekapazität. Das zum Projekt 1972 veröffentlichte Buch „**Die Grenzen des Wachstums**“ wurde ein Bestseller, der Buchtitel stieg zu einem geflügelten Wort auf.

Das zweite zeitdiskrete Simulationsparadigma stellt die **ereignisgesteuerte Simulation** dar. Bei diesem Simulationsprinzip wird angenommen, dass Zustandsänderungen am Modell nur durch das Eintreten von atomaren (d.h. keine Simulationszeit verbrauchenden) Ereignisse verursacht werden. Alle Ereignisse besitzen einen Eintrittszeitpunkt, wobei einige bereits initial vorgemerkt sind, die meisten Ereignisse jedoch erst im Verlauf der Simulation entstehen und



# Thema / Inhalt (8)

Any program is a model of a model within a theory of a model of an abstraction of some portion of the world or of some universe of discourse. – Manny Lehman, 1980

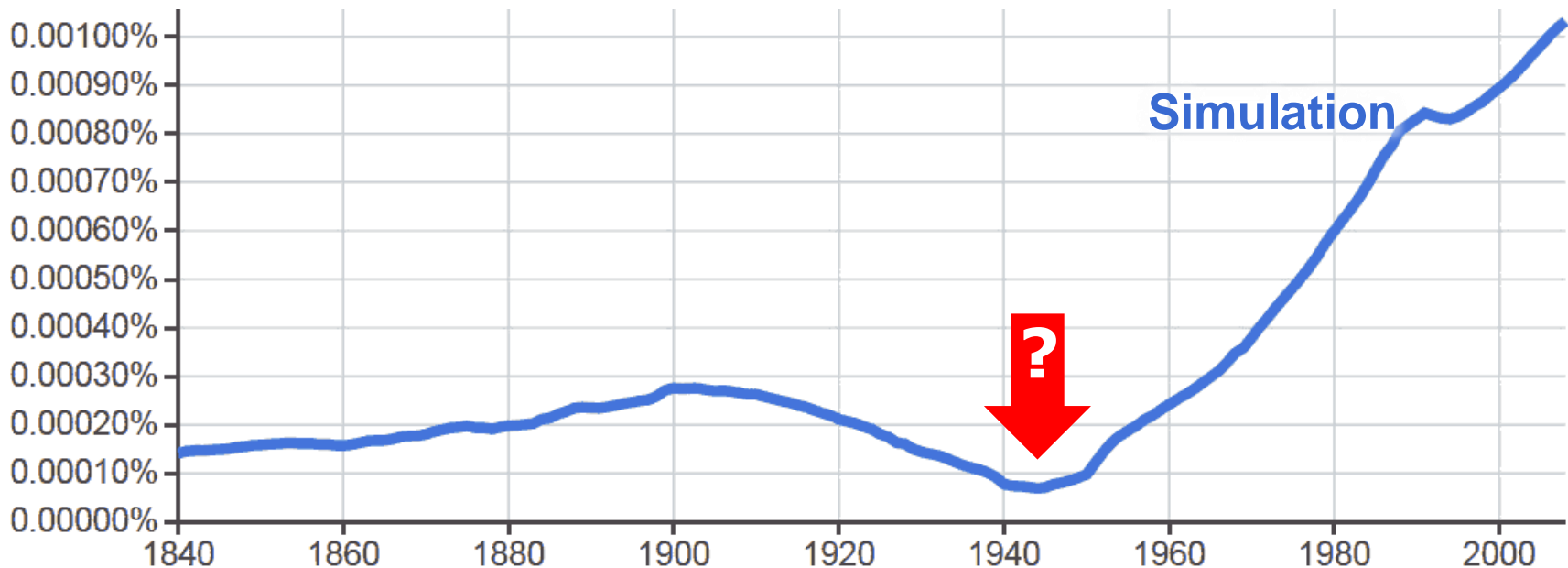
in einer Planungsliste verwaltet werden. Da entsprechend der ereignisorientierten Weltsicht zwischen zwei Ereignissen nichts geschieht, kann in iterativer Weise jeweils die Simulationszeit „schlagartig“ auf den Eintrittszeitpunkt des nächsten eingeplanten Ereignisses erhöht werden und die mit diesem Ereignis verbundene Zustandsänderung, inklusiv einer möglichen Erzeugung neuer Ereignisse, durchgeführt werden.

Die ereignisgesteuerte Simulation ist gegenüber der zeitgesteuerten Simulation dann von Vorteil, wenn das Modell aus unterschiedlichen Objekten besteht, die eher sporadisch miteinander wechselwirken; lange „Totzeiten“, die man mit der zeitgesteuerten Simulation sonst durchleiden müsste, werden so automatisch übersprungen. Bemerkenswert ist hierbei der **Dualismus beim Zeitbegriff**: Zwischen Ereignissen vergeht zwar Simulationszeit (also „echte“ Zeit in der simulierten Realität), da ein ereignisgesteuerter Simulator aber diese ereignislosen Phasen überspringt, benötigt er dafür keine Rechenzeit. Hingegen geschehen Ereignisse in Simulationszeit (und in der simulierten Realität) instantan, der Simulator benötigt zur Ausführung zugehöriger Ereignisroutinen jedoch Rechenzeit. Möchte man Simulationsabläufe beschleunigen, also mit weniger Rechenzeit auskommen, dann wird dieser Zeitdualismus hochrelevant!



# „Simulation“ – Bedeutung des Wortes?

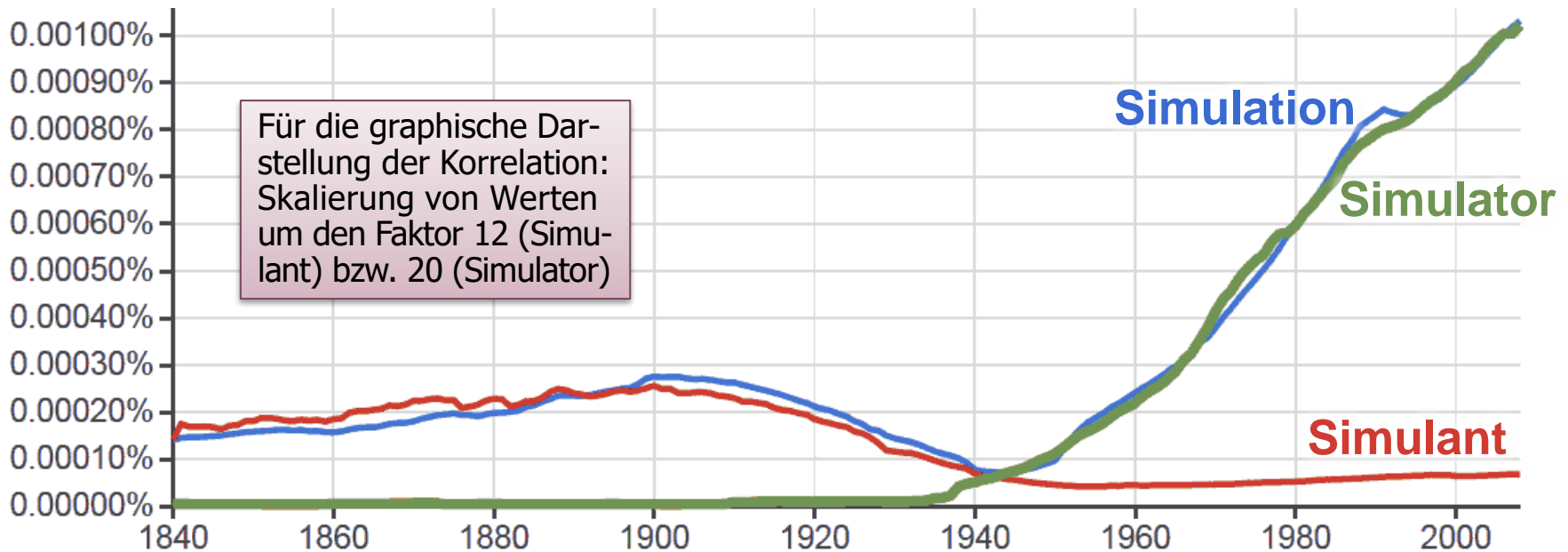
- Häufigkeit des Wortes „Simulation“ in der deutschen Sprache
  - Basierend auf den von Google gescannten Büchern (Erscheinungsjahr)



„It is not necessary to sell simulation. Man has been simulating since first his brain developed the power to imagine. The child with a doll, the architect with a model, and the businessman with a plan are all simulating.“ – John McLeod

# „Simulation“ – Bedeutung des Wortes?

- Häufigkeit des Wortes „Simulation“ in der deutschen Sprache
  - Basierend auf den von Google gescannten Büchern (Erscheinungsjahr)



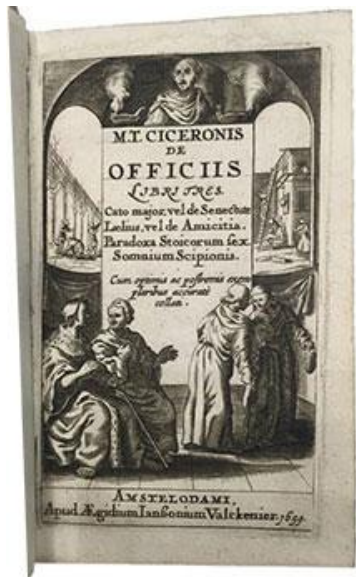
- Bis ca. 1945 korreliert „Simulation“ mit dem Begriff „**Simulant**“
- Danach mit „**Simulator**“ → Bedeutungsverschiebung!

Gerät / System: erzeugt künstlich realitätsnahe Verhältnisse

Ein Mensch: Heuchler; Vortäuscher einer Krankheit; ein „Meister der Verstellkunst“

# Simulare (Latein)

Das lateinische Wort „**simulatio**“ (zu „**similis**“ = ähnlich) bedeutete „Schein, Täuschung, Verstellung, Vorspiegelung“; das Verb „**simulare**“ hatte die Bedeutung „vortäuschen, vorspiegeln, ähnlich machen, nachbilden, nachahmen, imitieren, zum Schein vorgeben, sich stellen als ob, sich verstellen“ etc.; das Adjektiv „**simultaneus**“ entsprechend „geheuchelt, fiktiv“.



In Ciceros bekanntem Standardwerk antiker Ethik „De officiis“ (44 v. Chr.), in dem die Pflichten des täglichen Lebens, insbesondere die eines Staatsmannes, behandelt werden, finden sich beispielsweise mehrere Textstellen zu „**simulatio**“ bzw. abgeleiteten Wortformen, wie z.B. [II, 61]:

*...ex omni vita **simulatio dissimulatioque tollenda est. Ita nec ut emat melius nec ut vendat, quicumque simulabit aut dissimulabit vir bonus.** („...müssen aus dem ganzen Leben **Vortäuschung / Vorspiegeln** und **Verstellung / Verschweigen** verbannt werden. So wird ein rechtschaffener Mann weder um günstiger zu kaufen noch um günstiger zu verkaufen irgendetwas **vortäuschen / vorspiegeln** oder **verheimlichen / verschweigen.**“)*

Das Wort entspringt der indogermanischen Sprachwurzel \*sem („eins, in eins, zusammen mit, einheitlich, samt“). Diese steckt übrigens auch in „**simultan**“ (lat. „**simul**“ bzw. „**simitus**“ = zugleich, zusammen, zur gleichen Zeit; mit „**simitus**“ aus \*semheitus = das Zusammengehen).

Weitere heutige Wörter mit der Wurzel \*sem sind z.B. holländisch „**samen**“ bzw. schwedisch „**samman**“, auf deutsch „**zusammen**“. Oder die französischen Wörter „**sembler**“ (den Eindruck erwecken [als ob]), „**semblable**“ (ähnlich; vergleichbar), „**ensemble**“ (lat. „**insimul**“), „**similaire**“ (lat. „**similis**“) sowie die engl. Wörter „**same**“ und „**some**“.

# „Stellen“ = Simulare (1750)

Stellen (Lat. *Simulare*), heisset, wenn man sich dafür ausgiebt, was man doch nicht ist. Bisweilen geschieht dieses, um einen guten Endzweck dadurch zu erhalten, auf eine erlaubte Art, bisweilen aber kan dergleichen Stellen zu einer sündlichen und bösen Handlung werden.

„Stellen“ im Sinne von „sich [verstellen](#)“ (einen Zustand [vortäuschen](#)), vgl. auch *sich krank stellen*; *er stellte sich, als ob er schlief*). Interessanterweise kann man sich zwar dumm stellen, aber nicht klug stellen.

- So das „[Grosse vollständige Universal Lexicon](#) aller Wissenschaften und Künste, welche bißhero durch menschlichen Verstand und Witz erfunden und verbessert worden,...“ von Johann Heinrich Zedler
  - Um [1750](#), ~ 284 000 Artikel auf ~ 63 000 Seiten, 68 Bände

„Witz“ bedeutete hier nicht „Scherz“, sondern „Wissen“; vgl. die ambivalente Bedeutung von „wit“ im Englischen. (Samuel Johnson sagte einmal über Lord Chesterfield doppeldeutig: „This man I thought had been a Lord among wits; but I find he is only a wit among Lords!“). Im Deutschen ist die Redewendung *ohne Witz und Verstand* noch gebräuchlich. Vgl. auch „witzlos“ im Sinne von „sinnlos“ sowie „gewitzt“ (schlau, erfahren, „smart“), schweizerdeutsch / alemannisch „gefitzt“ (dazu „wunderfitzig“: wissbegierig, neugierig).

# Meyers Konversations-Lexikon 1885 – 1892

**Simulieren** (lat.), etwas zum Schein nachahmen, erheucheln, sich verstellend vorgeben; auch s. v. w. auf oder über etwas sinnen. Simulation, Verstellung, Annahme des Scheins von etwas, Vorspiegelung. Häufig werden Krankheiten simuliert, um bestimmte Zwecke zu erreichen, und namentlich Epilepsie, Krämpfe, Geistesstörungen, Lähmungen, Bluthusten, Blindheit, Taubheit zc. nachgeahmt.

Dazu: **dissimilieren** (von lat. dis-similis = nicht gleich): unkenntlich machen, maskieren, verbergen; **Dissimulation**: bewusste Verheimlichung von Krankheiten oder Krankheits-symptomen. Vgl. engl. „**dissemble**“: heucheln, verbergen, verhehlen, vortäuschen; bzw. „**dissembling**“: arglistig, heuchlerisch. Vgl. weiter auch „**assimilieren**“ sowie „**Faksimile**“ (lat. fac simile = mache ähnlich!), das dem [Tele-] Fax-Gerät seinen Namen gab, was dann zum hübschen Verb „**faxen**“ geführt hat, nachdem es im 19. Jh. bereits **faksimilieren** („ein Faksimile herstellen“) gab. [Den **Faxenmacher** gibt es übrigens seit dem 18. Jh.; eine **Faxe** (ursprünglich „Fickes-fackes“) ist ein alberner Spass oder Scherz und ist vom Verb „fickfacken“ (eigentlich: „hin und her laufen“, übertragen auch: Streiche ausführen, schwindeln) abgeleitet, das durch ablautende Wortverdoppelung aus „ficken“ mit der ursprünglichen Bedeutung „hin und her bewegen“ entstand.]

# Brockhaus-Lexikon 1895

Jede Simulation auf dem Spielfeld, deren Absicht es ist, den Schiedsrichter zu täuschen, muss als unsportliches Betragen bestraft werden. -- Bild, 29.01.2001

*Simulation* (lat. „Erheuchelung“, „Vorspiegelung“) ein Verhalten, welches einen dem wirklichen Sachverhalt nicht entsprechenden Schein eines anderen Sachverhalts hervorruft, meistens in der Absicht zu täuschen. Juristisch kommt in Betracht die Simulation von Geisteskrankheiten, namentlich zur Vermeidung einer dem Simulanten drohenden strafrechtlichen Verfolgung, die Vorschützung von Gebrechen oder körperlichen Krankheiten, um vermögensrechtliche Vorteile zu erlangen, beim Militär, um sich der Dienstpflicht zu entziehen.

Dass in den deutschen Lexika des 19 Jh. vor allem der Aspekt der Täuschung in medizinischer und juristischer Hinsicht im Vordergrund steht, könnte mit der Einführung von Sozialversicherungssystemen in jener Zeit zusammenhängen: Bürokratische Kontrollinstanzen mit Militär- und Amtsärzten kämpften gegen die Bestrebungen an, ein System, dem persönliche Bekanntschaft und direktes Vertrauen abhanden gekommen ist, auszunutzen. Im Englischen war „simulation“ und „to simulate“ historisch nicht in diesem Sinne vorbelastet, auch wenn [Webster's Unabridged Dictionary von 1913](#) Simulation noch generell als Täuschung definiert: *“Act of assuming an appearance which is feigned, or not true; pretense or profession meant to deceive”*. Da im Englischen die Bösartigkeit des Betrugs an der Obrigkeit hier nicht mitschwingt, konnte nach dem Zweiten Weltkrieg zusammen mit der amerikanischen Computertechnik vielleicht auch über die englische Sprache der Begriff „Simulation“ im Deutschen schnell eine neue, positive Bedeutung erlangen.

# „Simulieren“ im Deutschen Wörterbuch der Brüder Grimm (Band 16, 1905)

...

**SIMULIREN** [...] hierzu ebenda Simulirung und Simulirer (für letzteres jetzt Simulant gebräuchlich); *wiewol er weidlich simuliren, und hinter dem Berge halten kan*, Luther Tischr. 484a (1566). In der Volkssprache hat simuliren ganz allgemein die Bedeutung von nachsinnen, sich bedenken, grübeln angenommen (daneben sinniren) [...].

**SIMULTANLIEBHABER** [...]

...

Die Umgangssprache entwickelte im 18. Jh. über „vortäuschen, heucheln, geheime Gedanken hegen“ die Bedeutung „nachdenken, grübeln, aussinnen“: *„Als ich noch Inspektor in Grambow war“, begann er, „da saß ich eines Sonntags nachmittags auf der Bank vor der Thür, rauchte meine kurze Pfeif und **simulirte** über die Wirtschaft.“* [Heinrich Seidel: Erzählende Schriften, 1889]. Heinrich Seidel (1842 - 1906) war zugleich Ingenieur und Schriftsteller. Der berühmte Spruch *„Dem Ingenieur ist nichts zu schwer“* war sein Motto sowie die erste Zeile seines *„Ingenieurlieds“*. →



# Das „Ingenieurlied“ von Heinrich Seidel

## 1871

### Dem Ingenieur ist nichts zu schwere –

er lacht und spricht: „Wenn *dieses* nicht, so geht doch *das!*“  
Er überbrückt die Flüsse und die Meere,  
die Berge unverfroren zu durchbohren ist ihm Spass.  
Er thürmt die Bogen in die Luft,  
er wühlt als Maulwurf in der Gruft,  
kein Hinderniss ist ihm zu gross –  
er geht drauf los!

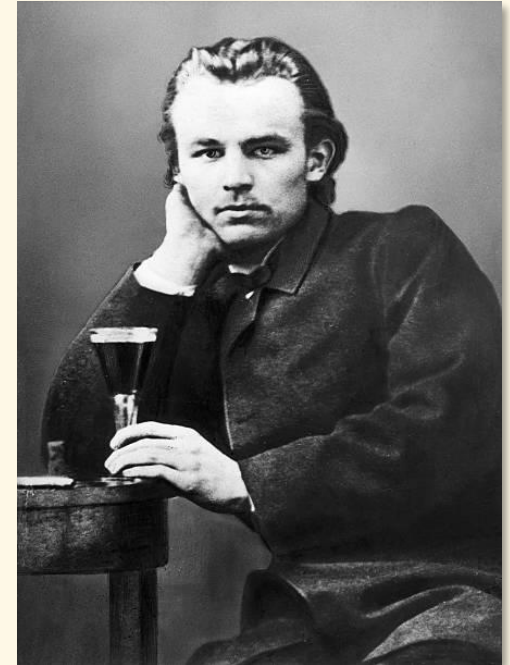
Den Riesen macht er sich zum Knechte,  
dess' wilder Muth, durch Feuersgluth aus Wasserfluth befreit,  
zum Segen wird dem menschlichen Geschlechte  
und ruhlos schafft mit Riesenkraft am Werk der neuen Zeit.  
Er fängt den Blitz und schickt ihn fort  
mit schnellem Wort von Ort zu Ort,  
von Pol zu Pol im Augenblick  
am Eisenstrick!



„In unnachahmlicher Weise brachte der junge Maschinenbauingenieur Heinrich Seidel das Selbstbild seiner Profession 1871 – am Beginn der sich formierenden »Technokratischen Hochmoderne« – auf den Punkt: Selbstbewusst be-

zwingt der Ingenieur die Natur, repräsentiert als Fortschrittsfreund den Geist der Zeit und stellt dabei sein Wirken selbstlos in den Dienst der Gemeinschaft, verbreitet Frieden und mehrt altruistisch den gesellschaftlichen Wohlstand. Durch die Mickey-Mouse-Übersetzerin Erika Fuchs, die ihrem Ingenieur Daniel Düsentrieb diese Sentenz in leicht abgewandelter Form in den Schnabel legte, ist die erste Liedzeile zum geflügelten Wort geworden.“

[Uwe Fraunholz, Sylvia Wölfel: Hochmoderne Ingenieure zwischen Altruismus und Eigensinn, 2012]



Heinrich Seidel als Student

# Das „Ingenieurlied“ von Heinrich Seidel (2)

Was heut sich regt mit hunderttausend Rädern,  
in Lüften schwebt, in Grüften gräbt und stampft und dampft und glüht,  
was sich bewegt mit Riemen und mit Federn,  
und Lasten hebt, ohn' Rasten' webt und locht und pocht und sprüht,  
was durch die Länder donnernd saust  
und durch die fernen Meere braust,  
das Alles schafft und noch viel mehr  
der Ingenieur!

Die Ingenieure sollen leben!  
In ihnen kreist der wahre Geist der allerneusten Zeit!  
Dem Fortschritt ist ihr Herz ergeben,  
dem Frieden ist hienieden ihre Kraft und Zeit geweiht!  
Der Arbeit Segen fort und fort,  
ihn breitet aus von Ort zu Ort,  
von Land zu Land, von Meer zu Meer –  
**Der Ingenieur!**

„Was für ein Examen haben Sie abgelegt, wenn die Frage erlaubt ist?“ „Ich bin Ingenieur, Herr Doktor“, antwortete Hans Castorp mit bescheidener Würde. „Ah, Ingenieur!... Das ist wacker.“  
-- Thomas Mann: „Der Zauberberg“ (1924)



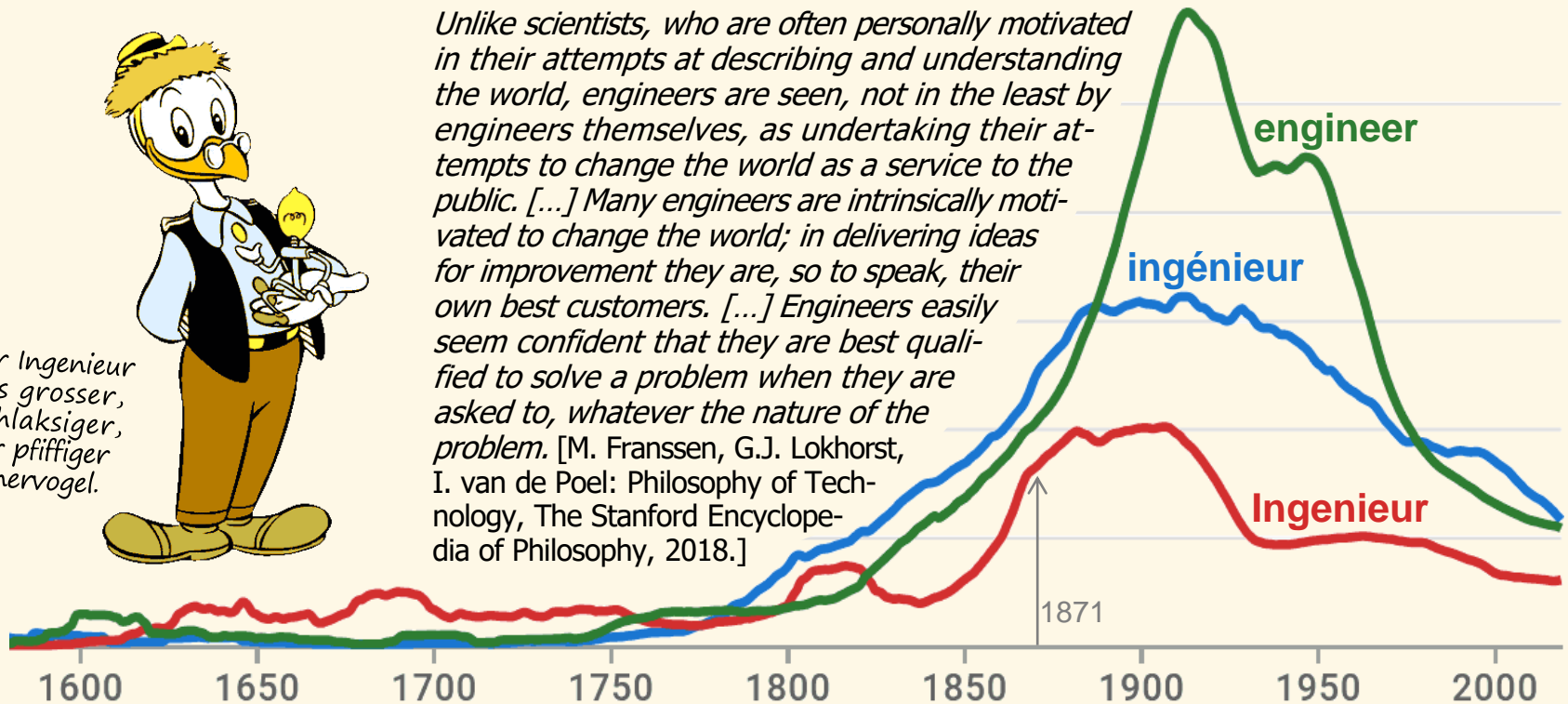
# Der Ingenieur

Technik ist die Anstrengung, Anstrengung zu vermeiden. ... Aber wo bleibt die eingesparte Anstrengung? -- Ortega y Gasset (1933)

Unlike scientists, who are often personally motivated in their attempts at describing and understanding the world, engineers are seen, not in the least by engineers themselves, as undertaking their attempts to change the world as a service to the public. [...] Many engineers are intrinsically motivated to change the world; in delivering ideas for improvement they are, so to speak, their own best customers. [...] Engineers easily seem confident that they are best qualified to solve a problem when they are asked to, whatever the nature of the problem. [M. Franssen, G.J. Lokhorst, I. van de Poel: Philosophy of Technology, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2018.]

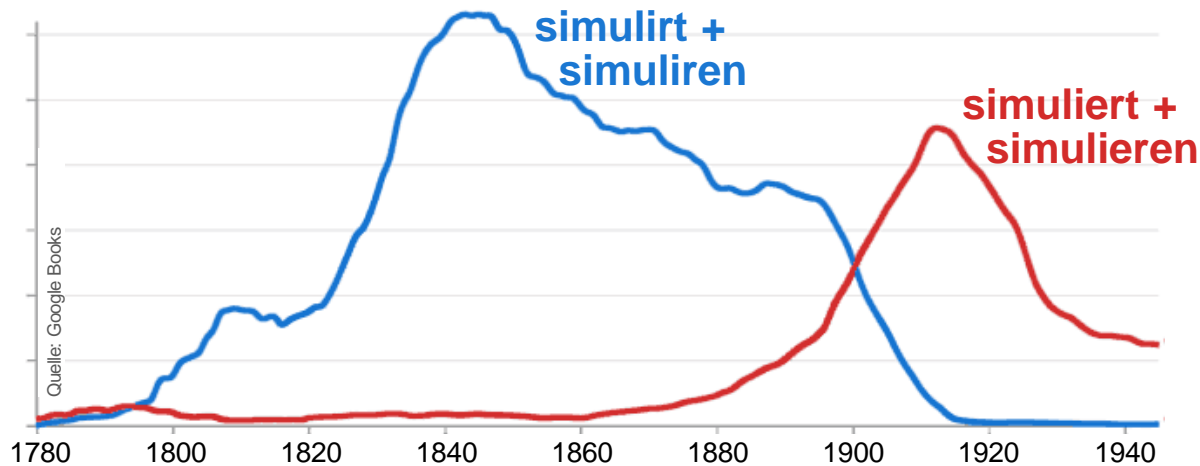


Der Ingenieur als grosser, schlaksiger, aber pfiffiger Hühnervogel.

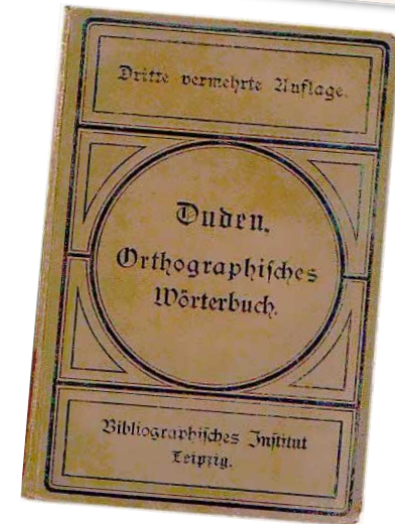


Das Substantiv ist seit dem 16. Jahrhundert bezeugt, anfangs in der Form *ingegnier* (< italienisch *ingegnere*), die um 1600 von der französischen Form (französisch *ingénieur*) abgelöst wurde. Als Ersatzwort für *Zeugmeister* bezeichnete *Ingenieur* bis ins 18. Jahrhundert ausschliesslich den Kriegsbaumeister. Das zugrunde liegende lateinische Substantiv *ingenium* »angeborene natürliche Beschaffenheit; natürliche Begabung; Scharfsinn, Erfindungsgeist« gehört zur Wortgruppe von *gignere* »hervorbringen, erzeugen« (vgl. *Genus*). Das ab dem 19. Jh. häufig gebrauchte Synonym *Techniker* ist im Deutschen üblicher als im Englischen (*technician*) oder Französischen (*technicien*). [Duden]

# „Simuliren“ vs. „simulieren“



Hier gestatten wir uns nur noch, der Hoffnung Ausdruck zu geben, es möge dem vorliegenden Buche vergönnt sein, zur schnellen Verbreitung der amtlichen preussischen Orthographie etwas beizutragen. Diese ist zwar nichts weniger als das Ideal des Verfassers; aber von allen Orthographien, die für den Augenblick möglich sind, ist sie die beste.



1876 empfahl die „**Erste Orthographische Konferenz**“ (einberufen zur Festlegung einer einheitlichen Rechtschreibung im 1871 gegründeten Deutschen Reich) u.a., dass auf -iren/-ieren endende Verben nun alle mit „ie“ geschrieben werden sollen (also *addieren statt addiren, zitieren statt zitiren bzw. citiren*). Die Schulorthographien Bayerns und Preussens folgten diesem Vorschlag. 1880 veröffentlichte **Konrad Duden** auf der Grundlage dieser beiden Regelwerke sein bekanntes Wörterbuch, das innerhalb eines Jahrzehnts im gesamten deutschen Sprachraum faktische Normen schuf (1892 in der Schweiz offiziell eingeführt). In der **Rechtschreibreform von 1901** wurde dies bestätigt. Dieser Reform verdanken wir u.a. auch *Ereignis* statt *Ereigniss* bzw. *Ereigniß* (entsprechend *Gleichnis, Ärgernis* etc.), *gibt* statt *giebt*, *bei* statt *bey*, *Direktor* statt *Director*, *Zitrone* statt *Citrone*, *Efeu* statt *Epheu*, *Schokolade* statt *Chocolade* bzw. *Chokolade*, *Tal* statt *Thal*, *tun* statt *thun*, *Literatur* statt *Litteratur* sowie *Köln* statt *Cöln*. Ebenso reformiert wurden z.B. *Thier*, *Theil*, *Thee*, *Thür*, *roth*, *theuer*, *Wirth*, *Muth*, *Brodt* und *Todt*. Die Regierungen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz stimmten dem „amtlichen Regelwerk“ zwar zu, aber Kaiser Wilhelm II. bestand bis 1911 darauf, dass ihm vorgelegte Schriftstücke in bisheriger Rechtschreibung abgefasst sein mussten.

# „Simulieren“ im Duden

Der **Duden** von **1915** weist für „simulieren“ nur die beiden Bedeutungen „vorgeben, sich verstellen“ und „grübeln“ aus. Dies bleibt so bis **1970**, erst dann erhält die Neuauflage eine dritte, neue Bedeutung: „Übungs- halber oder probeweise bestimmte Vorgänge oder Gelegenheiten bei Be- dienung von Geräten, Fahrzeugen o. ä. künstlich nachahmen“. Die 27. Auflage von **2017** definiert nur kurz: „vorgeben; sich verstellen; übung- halber im Simulator o. Ä. nachahmen“. Als Synonyme weist das Syno- nymwörterbuch des Duden (7. Aufl. 2019) vor allem Wörter mit weitge- hend negativer Konnotation aus, beispielsweise „[er]heucheln; lügen; so tun, als ob; vorgaukeln; vorgeben; vormachen; vorspiegeln; vorspielen; vortäuschen; gaukeln; fingieren; faken; markieren; schauspielern; mimen.“



Auch das **Digitale Wörterbuch der deutschen Sprache** (DWDS) nennt **2024** als Synonyme Ähnliches: „(etwas) heucheln; (jemanden) spielen; (überrascht / unschuldig / schüchtern / vornehm ...) tun; nur so tun; schauspielern; sich (irgendwie) stellen; sich verstellen; so tun als ob; so tun als wäre man (...); vorgeben (etwas zu sein); vortäuschen; (eine) Show abziehen; markieren; nicht sein wahres Gesicht zeigen; sich ein ... Mäntelchen umhängen; so tun als sei man (...).“ Die

automatisch generierten Wortverbindungen mit „simulieren“ geben allerdings doch ein anderes Bild zum **aktuellen Wortgebrauch**: Man simuliert zwar auch Normalität, das Bewerbungsgespräch und einen Orgasmus, aber ebenso Klimamodelle und den Urknall; letzteres sind natürlich Computersimulationen.

an Computer    Ausbreitung    Bewegungsablauf  
Bewerbungsgespräch    Ernstfall    Forscher    in Computer  
in Computermodell    in Echtzeit    in Labor  
in Rollenspiel    in Training    mit Computermodell  
mit Computerprogramm    mit Klimamodell    mit Supercomputer    naturgetreu  
Normalität    numerisch    Orgasmus    realistisch    realitätsnah  
Schwereelosigkeit    Szenarium    Urknall    Verhalten    Vorgang  
wirklichkeitsnah

Ende der historischen Notiz zum Wort „Simulation“

# Simulation – neuere Begriffsbestimmung

As a material culture of science, the use of models demonstrates how natural it is for humans to encode meaning in an artefact, and then manipulate that artefact in order to derive new knowledge. -- Charles Care

**Brockhaus 1983:** Darstellung oder **Nachbildung** physikalischer, technischer, biologischer, psychologischer oder ökonomischer **Prozesse** durch mathematische oder physikalische **Modelle**, die eine wirklichkeitsnahe, jedoch einfachere, billigere oder ungefährlichere **Untersuchung** als das Objekt erlauben.

was

wie

WOZU

**VDI-Richtlinie 3633:** Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem **experimentierbaren Modell**, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die **auf die Wirklichkeit übertragbar** sind.

*Man kann aber kritisieren, dass es eigentlich die Nachbildung des Verhaltens eines Systems heissen sollte, denn die Nachbildung des Systems selbst wäre eher nur eine Modellierung.*

„Die Frage ist, **welche Informationen kann uns die Simulation über die Welt liefern?** Die philosophische Auseinandersetzung mit Simulationen ist noch relativ jung – und dementsprechend finden sich sehr unterschiedliche, zum Teil sich widersprechende und insbesondere radikale Positionen. So leugnen manche Autoren jeglichen empirischen Gehalt von Computersimulationen, und sehen in Computersimulationen eine Art undurchsichtiger Gedankenexperimente, während andere keinen wesentlichen Unterschied zwischen Simulation und Experiment sehen.“ -- Rafaela Hillerbrand, KIT

# Simulation als Problemlösungstechnik

- Noch knappere Definition: **Experimente an einem Modell**
    - „Simulationsmodell“
    - Simulation ist ein „Modellexperiment“
  - Soll **Rückschlüsse auf das reale System** ermöglichen
    - Prinzip: „Wenn dies so wäre, dann würde folgendes geschehen“
  - Simulation ist also eine **Problemlösungstechnik**
  - **Warum Simulation?**
    - Für reale, komplexe Probleme / Abläufe gibt es oft keine „Lösungsformel“
- 
- Simulationen sind i.Allg. **aufwendig**
    - 1) Oft muss man einen Ablauf in vielen **verschiedenen Varianten** untersuchen
    - 2) Zur **Varianzreduktion** stochastische Simulationsläufe mehrfach wiederholen
    - 3) Hoher **Detailierungsgrad** bedingt lange Simulationsexperimente

Hier primär relevant: **programmierte Modelle**, die mit Computern ausführbar sind → „Computersimulation“

Viele Supercomputer sind fast immer mit Simulationen beschäftigt

# Was ist ein Modell?

Kann es denn einen substanziellen Begriff des Modells geben, der so verschiedene Dinge in einem einzigen Konzept erfasst wie eine schöne Frau, ein System von Differentialgleichungen, den Architekturentwurf einer Kirche, die Definition des Lambda-Kalküls, ein Spielzeugauto, die Zeichnung einer mechanischen Ente und ein UML-Diagramm? -- Bernd Mahr

**Was ist ein Modell?** Ein Modell ist eine Abbildung der Wirklichkeit, in der man alle Aspekte, die man bezüglich seiner Fragestellung für wesentlich hält, darstellt und alles Überflüssige weglässt. Denken Sie an eine Strassenkarte. Es ist ihr Zweck, einen Weg von A nach B zu weisen. In diesem Licht ist es unerheblich, ob die Strasse durch Weizen- oder Maisfelder führt. Deshalb sind auf solchen Karten Strassen verzeichnet, aber nicht die verschiedenen Vegetationsformen.

Betrachtet man dynamische Modelle, so kommt noch die Zeit ins Spiel. Wieder beschränkt man sich auf die für die wissenschaftliche Fragestellung wesentlichen Zustandsgrößen. Gleichzeitig verlangt man, dass die zeitliche Entwicklung der Modellgrößen in einem bestimmten Phasenverhältnis zur Dynamik der wirklichen Zustandsgrößen steht, die natürlich messbar sein müssen, damit man den Wert des Modells prüfen kann. Wenn man dann die Simulationszeit des Modells mit einem Faktor multipliziert, erhält man idealerweise den Zeitverlauf der Zustandsgrößen des Realsystems. Werfen Sie einen Blick auf eine analoge Uhr, und betrachten Sie den kleinen Zeiger, der einmal von der 12 zur 12 läuft! Eine Multiplikation mit dem Faktor zwei ergibt relativ exakt die zeitliche Dauer einer Drehung der Erde um die eigene Achse. Eine klassische **Armbanduhr** ist eine mechanische **Simulation der Erdrotation**.

-- Marco Wehr, [www.faz.net/aktuell/wissen/hype-um-kuenstliche-intelligenz-14249506.html](http://www.faz.net/aktuell/wissen/hype-um-kuenstliche-intelligenz-14249506.html)

Wir nutzen Modelle im Folgenden vor allem zum Zweck der Simulation. Tatsächlich sollen Modelle in den Ingenieurwissenschaften die **Gestaltung der Wirklichkeit** unterstützen; in den Naturwissenschaften dienen Modelle hingegen überwiegend dem **Erkenntnisgewinn**. Wir beginnen aber zunächst mit einigen grundsätzlichen Überlegungen zum **Modellbegriff**.



# Modelle als Idealisierung der Wirklichkeit

Die klassischen **griechischen Philosophen**, darunter ihre prominenten Vertreter Platon, Aristoteles und Euklid, versuchten die Welt zu verstehen und zu erklären, indem sie **gedankliche und mathematische Modelle** bildeten, welche die Realität idealisierten.

Mathematische Objekte sind schon in der griechischen Philosophie Objekte unseres „reinen“ Denkens, nur durch Idealisierung entsprechen sie realen Gegenständen; konsequenterweise versucht auch Euklids Geometrie durch Axiomatisierung diese ohne Rückgriff auf die Realität in sich selbst zu begründen. Inwieweit sich solche Gedankenstrukturen zur Beschreibung der Realität

und ihrer Phänomene eignen, war allerdings ein heftig diskutierter Aspekt. **Platon** formuliert dazu in „**Der Staat**“ (Politeia) einen fiktiven, „platonischen“ Dialog zwischen seinem älteren Bruder **Glaukon und Sokrates** und lässt letzteren über die Mathematiker sagen:

„Und du weißt doch auch, dass sie die sichtbaren Gestalten zu Hilfe nehmen und ihre Reden auf diese beziehen, obschon eigentlich nicht sie den Gegenstand ihres Nachdenkens bilden, sondern jene, von denen diese die Abbilder sind. Wegen des Vierecks selbst führen sie ihre Beweise, oder wegen der Diagonale selbst, aber nicht wegen derjenigen, die sie zeichnen. Und so auch bei dem anderen: die sichtbaren Gestalten selbst, die sie ja modellieren und zeichnen [...], die verwenden sie ihrerseits wieder als Bilder, während sie jenes zu erblicken suchen, das man auf keine andere Weise erblicken kann als mit dem vernünftigen Nachdenken.“



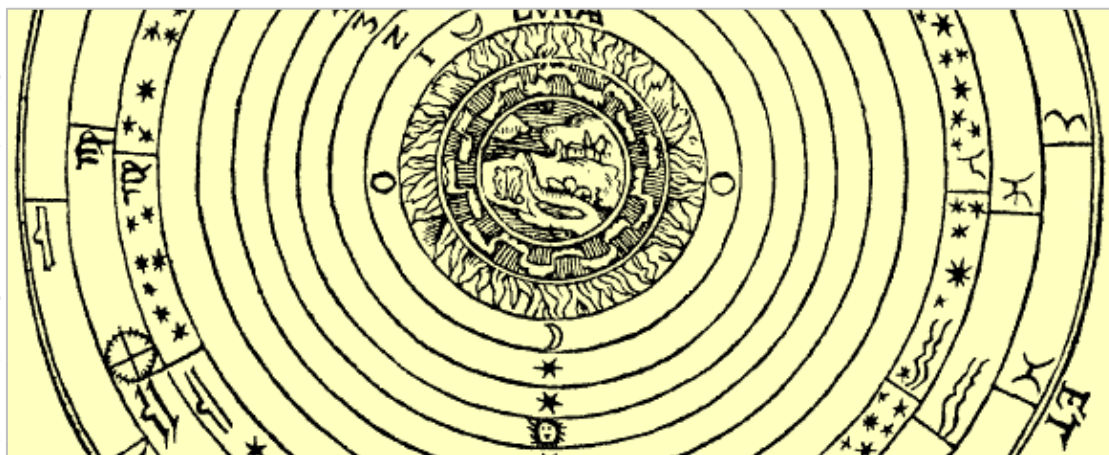
*Aristoteles und Platon; Relief von Luca della Robbia (1400–1482) am Campanile des Doms von Florenz.*

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Formella\\_21\\_-\\_platon\\_e\\_aristotele\\_o\\_la\\_filosofia\\_-\\_luca\\_della\\_robbia\\_-\\_1437-1439.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Formella_21_-_platon_e_aristotele_o_la_filosofia_-_luca_della_robbia_-_1437-1439.JPG)

# Modelle als Idealisierung der Wirklichkeit (2)

**Protagoras**, von dem die zu einem geflügelten Wort gewordene Redewendung „Der Mensch ist das Mass aller Dinge“ stammt, vertrat hingegen eine skeptische Position gegenüber den Idealisierungen der Mathematik sowie ihrer Methode des Gewinns von Erkenntnissen, welche der Anschauung im Konkreten entzogen sind. Für ihn war klar, dass in der Realität eine Tangente einen Kreis nicht an einem einzigen Punkt, sondern immer an mehr als einem Punkt berührt, dass die mathematische Idealisierung also falsch ist.

**Aristoteles** schliesslich versucht in seiner **Metaphysik** [II 2, 997b] den Widerspruch aufzulösen, indem er, aufbauend auf der Theorie seines Lehrers Platon, die Erkenntnis in **zwei Welten** aufteilt: Einerseits die sichtbare und konkrete Welt, bestimmt durch den physischen Raum und die Zeit, und andererseits die Welt des Gedachten und Abstrakten, losgelöst von den physischen Bedingungen der Realität:



„Aber auch die Astronomie hat es nicht mit sichtbaren Grössen und nicht mit diesem sichtbaren Himmelsgewölbe zu tun. Denn die sichtbaren Linien sind ja gar nicht von solcher Art, wie sie der Mathematiker meint! Denn von den sichtbaren Linien ist keine so gerade oder so gebogen, wie sie sich der Mathematiker denkt. Denn den sichtbaren Kreis berührt das Lineal

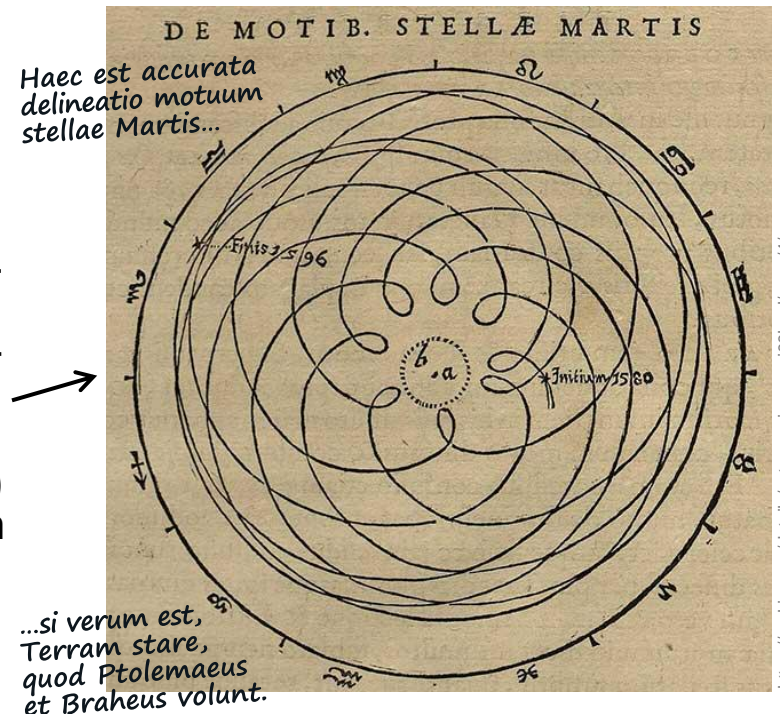
nicht nur in einem Punkte [...]. Es sind auch die Bewegungen und Kurven am Himmel durchaus nicht gleich denen, über die die Astronomie ihre Forschungen anstellt, und die mathematischen Punkte haben durchaus nicht dieselbe Natur wie die sichtbaren Gestirne.“ Dass die **Astronomie nichts mit dem sichtbaren Himmel zu tun hat**, jedenfalls nicht direkt etwas, ist natürlich eine starke Aussage!

# Modelle als Idealisierung der Wirklichkeit (3)

Die frühesten „Weltmodelle“ hat wohl die **Astronomie** hervorgebracht, wenn man von Glaubensvorstellungen vorgeschichtlicher Zivilisationen absieht. Den Lauf der Gestirne zu verstehen und vorherzusehen ist ein uraltes Bedürfnis. In der Antike und bis zum 16. Jh. herrschte das **geozentrische Weltbild** vor („alles dreht sich um die Erde als Mittelpunkt“), das vom Vatikan noch bis Mitte des 18. Jh. vehement verteidigt wurde.

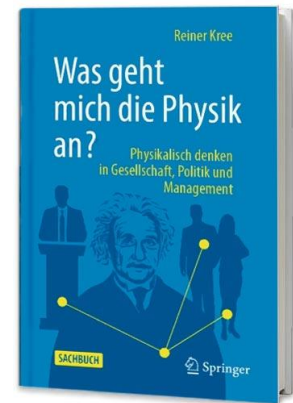
1543 veröffentlicht Nikolaus **Kopernikus** sein „revolutionäres“ Werk „**De revolutionibus orbium coelestium**“, in dem er das **heliocentrische Weltbild** („alle Planeten, inklusive der Erde, drehen sich um die Sonne“) begründet. Allerdings liess sich dieses nicht beweisen, denn die damaligen astronomischen Beobachtungen passten sowohl zum klassischen geozentrischen System nach Ptolemäus als auch zum Kopernikanischen System gleich gut (oder schlecht).

Die **Astronomia Nova** von Johannes **Kepler** aus dem Jahr 1609 ist das erste Werk, das die Sonne als den Mittelpunkt des Sonnensystems empirisch beweist. Dies gelang Kepler anhand der Beobachtung der **Schleifenbewegung des Mars** um die Sonne, die ihn zu den ellipsenförmigen Bahnen der Planeten (mit der Sonne in einem der beiden Brennpunkte) führte. Allerdings fand erst Isaac **Newton** 1687 mit seinem Gravitationsgesetz die mathematische Begründung für die von Kepler empirisch erkannten Gesetze der Planetenbahnen. Damit war das Weltbild nicht nur „mechanisiert“, sondern nun auch **mathematisiert**.



# „Alles nur ein Modell“

*Reiner Kree, Professor für theoretische Physik an der Universität Göttingen, veröffentlichte 2023 sein Buch „Was geht mich die Physik an? – Physikalisch denken in Gesellschaft, Politik und Management“. Wir zitieren (gekürzt) einige Sätze aus dem Abschnitt „Ist ja nur ein Modell“:*

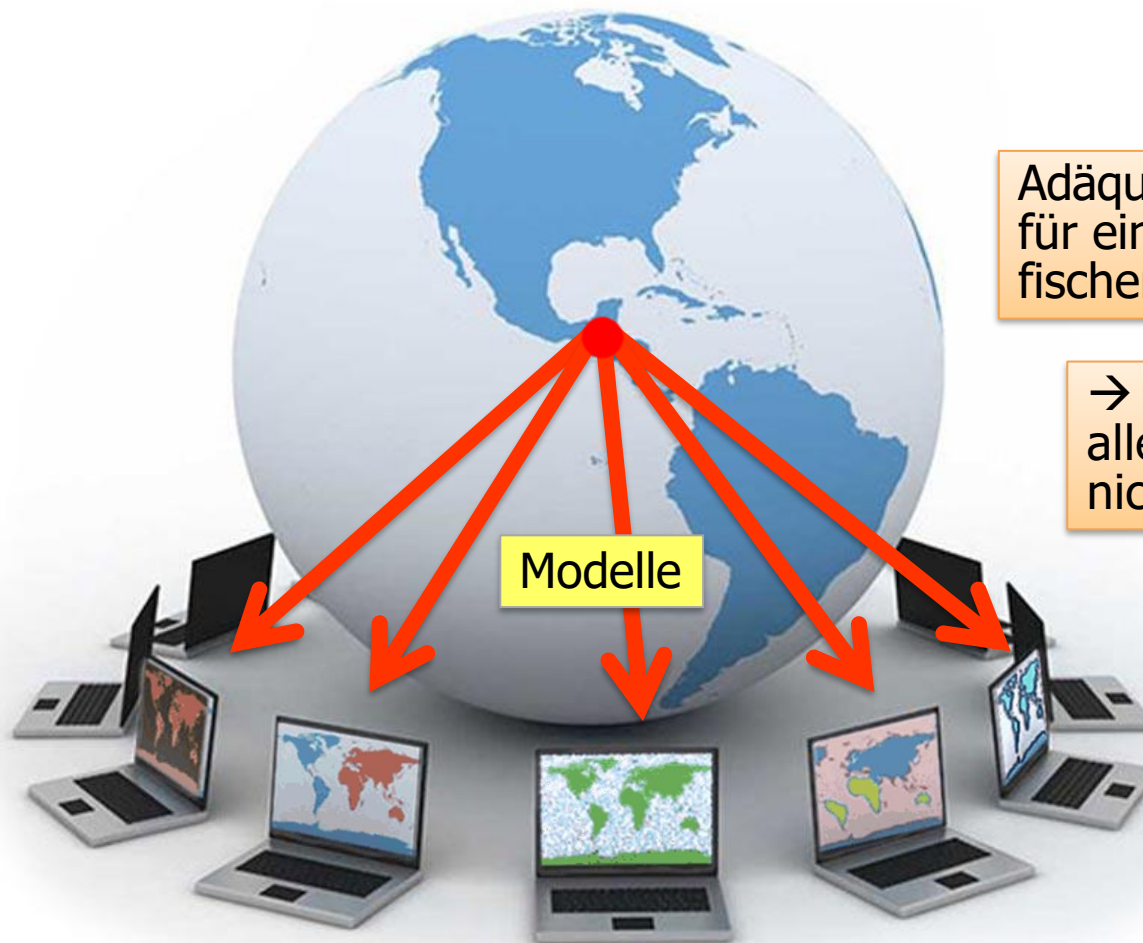


„Um zu einer Beschreibung eines Systems zu kommen, die das Verständnis der Vorgänge im System und damit Vorhersagen ermöglicht, muss man eine **vereinfachte Abbildung** eines Teils der äußeren Welt auf die Geisteswelt basteln. Dieses Abbild nennt man physikalisches Modell.

**Verschwörungsmythen** benutzen als typisches Argument zur Anzweiflung wissenschaftlicher Ergebnisse den einfachen und überall anwendbaren Satz „Das ist ja **alles nur ein Modell**“. Damit wird impliziert, dass es in Wirklichkeit natürlich ganz anders ist, und zwar so, wie der propagierte Mythos sich das jeweils wünscht. Klimawandel, Artensterben, Bodenerosion, Vermüllung der Ozeane, Erdkugel, Evolution: alles nur wissenschaftliche Modelle, aber **nicht die Wirklichkeit**. Selbst gutwillige Laien wünschen sich manchmal, dass die Empfehlungen der Wissenschaft nicht immer nur auf Modellen beruhen. Modelle werden stets – und immer **abwertend** – der Wirklichkeit gegenüber gestellt. Es sollte aber klar sein, dass Modelle nicht „theoretische Spinnereien“ sind, die man einfach durch genaues Hinschauen ersetzen kann. Wir haben nichts anderes.

Das gesamte Bild, das uns unsere Sinne von der äußeren Welt vermitteln, erzeugt in unserem Geist ein (vereinfachtes) Modell der äußeren Welt. Unser ganzes Wissen über die äußere Welt – egal ob in der Wissenschaft oder im Alltag – ist ein Modell, der „direkte Zugang“ ist uns versperrt.“

# Verschiedene Sichten („Abbilder“) der Realität



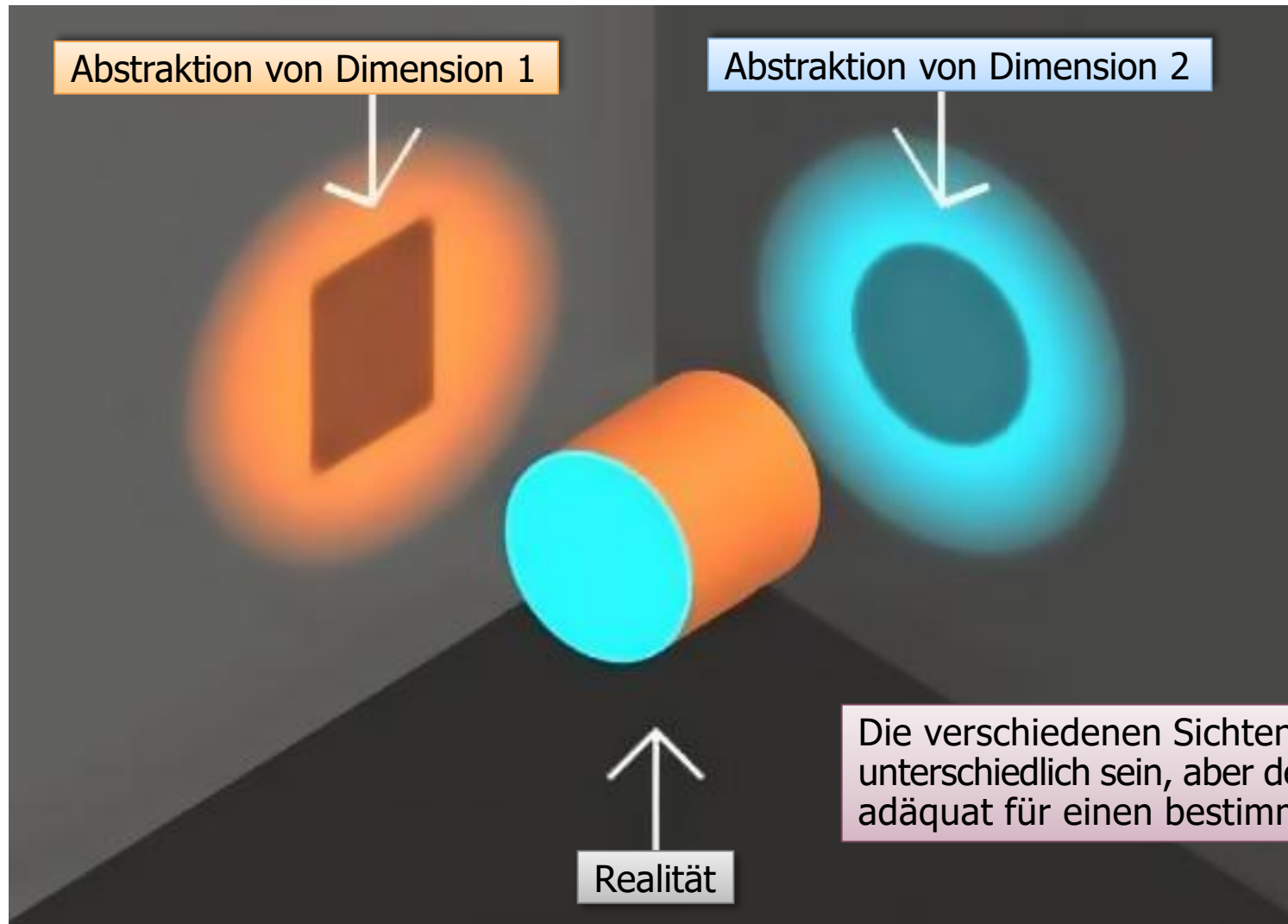
Adäquat jeweils  
für einen spezi-  
fischen Zweck

→ **Abstraktion** von  
allem dafür jeweils  
nicht Notwendigem

*Es gibt verschiedene Mo-  
delle des gleichen Aus-  
schnitts der Wirklichkeit  
aufgrund unterschiedli-  
cher Schwerpunktsetzung.  
Die diversen Modelle ste-  
hen nicht unbedingt im  
Widerspruch zueinander  
– es gibt aber keine 1:1-  
Entsprechung zwischen  
einem Modell und dem  
Realitätsausschnitt.*

“Essentially, all models are wrong, but some are useful.” [George Edward Pelham Box]

# Ansichtssache? Frage der Perspektive? Alternative Fakten? Zylinderprojektion?



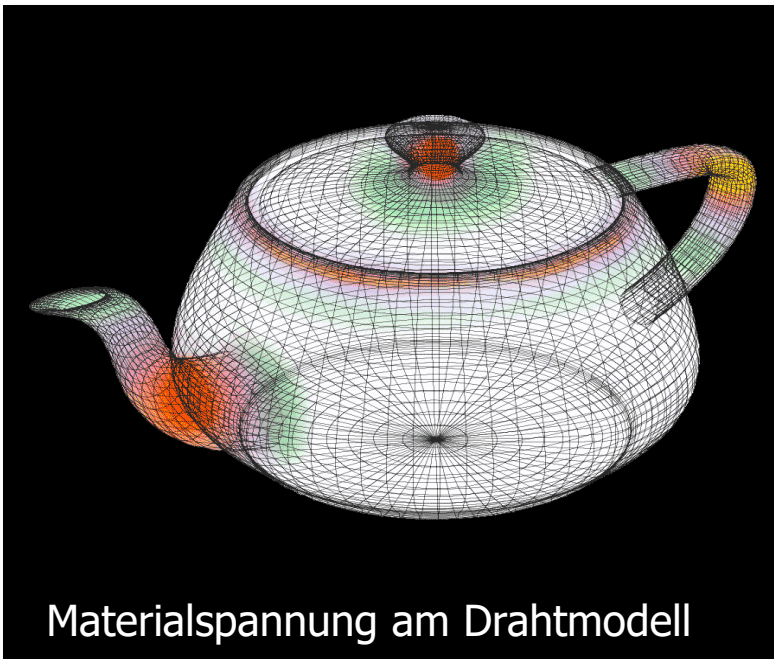
In Flatland erscheint das Objekt dem einen Beobachter als Kreis, dem anderen als Viereck. Sie haben von unterschiedlichen Aspekten abstrahiert. Beide Modelle sind im jeweiligen Kontext wahr (,true'), sie stellen jedoch nicht die ganze Wahrheit (,Truth') dar.

“People ask me: ‘What is physical reality?’ It’s physical reality! There’s nothing that it ‘is.’ What do you want me to say, that it’s made of macaroni or something?” Sean Carroll, Physiker & Philosoph

# Modellierung

Der Gebrauch von Modellen dient dem Erkenntnisgewinn und der Kenntnisvermittlung und ist eine in allen Disziplinen der Wissenschaft angewandte Methode. Ein Modell eines realen Sachverhalts ist weder allgemeingültig noch vollständig, vielmehr beschreibt es die Welt aus einer ganz bestimmten Sicht. Somit haftet jedem Modell eine Grenze der Anwendbarkeit an. -- Detlef Krömker

- **Verschiedene Modelle** des gleichen realen Weltausschnitts (Gegenstand, Situation,...) demonstrieren Unterschiedliches



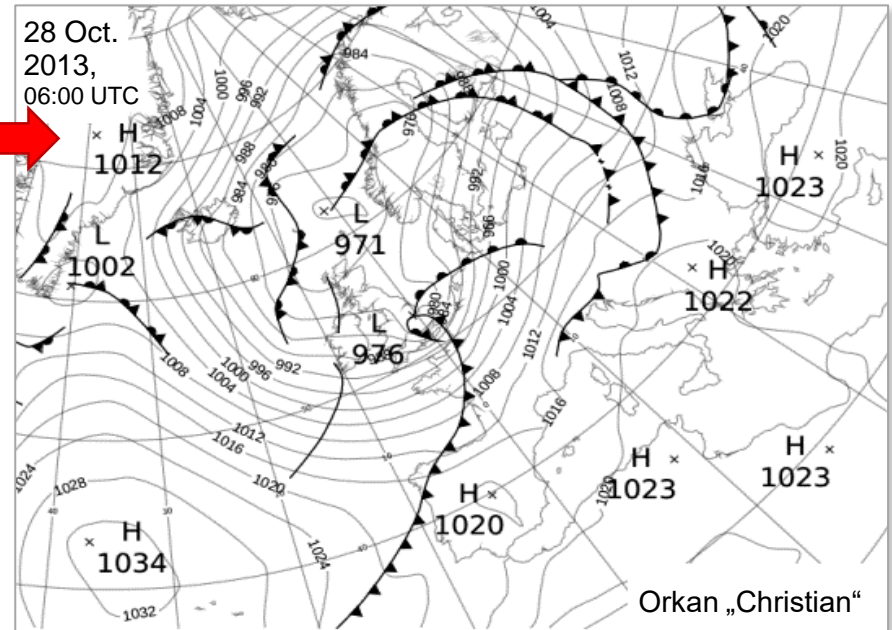
Modelle dienen u.a. dem Begreifen der Wirklichkeit als Voraussetzung für planvolles Handeln. In diesem Sinne lassen sich evtl. auch bereits prähistorische Höhlenmalereien als Modelle begreifen und das Spielen von Kindern mit Puppen, Steckenpferd oder Spielzeugauto als Modellexperimente.

# Modellierung

„abstrahiertes“ (lat: *abs-trahere*: abziehen)

- **Modell** = Vereinfachtes Abbild der komplexen Realität
  - Soll sich bzgl. relevanter Aspekte (=?) aber analog zur Realität darstellen / verhalten

sinn- / vernunftgemäss (gr.: *aná* = gemäss; *lógos* = Vernunft)

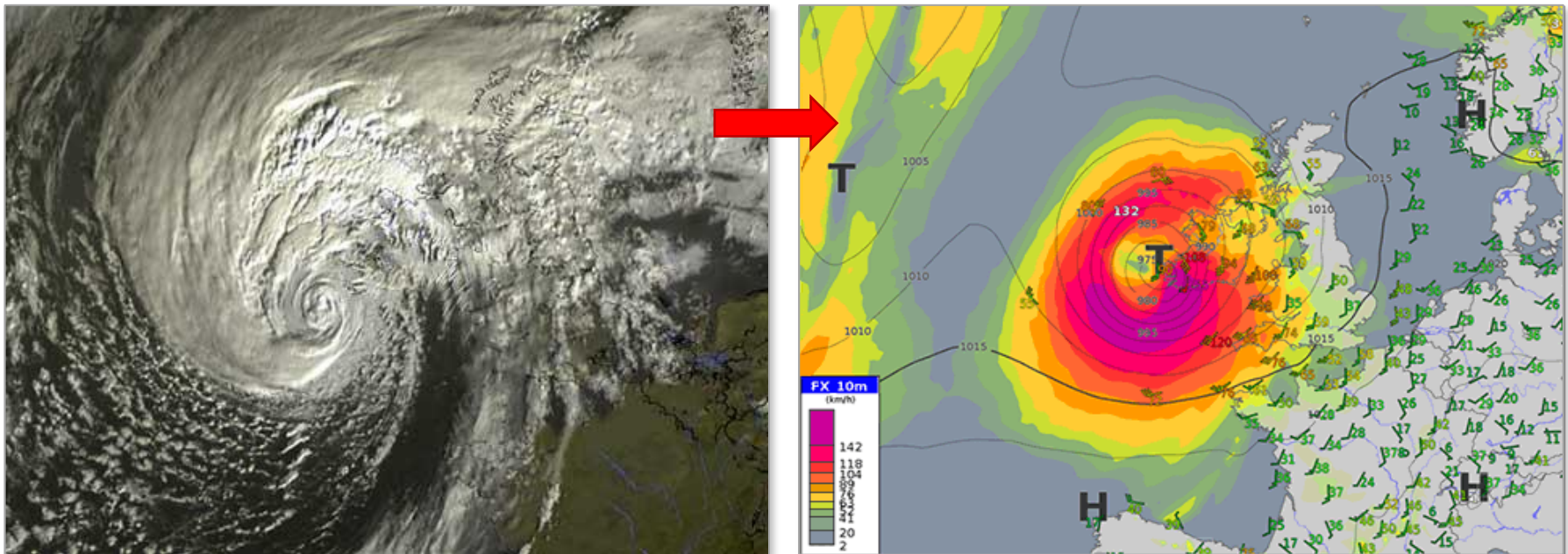


„To an observer B, an object A\* is a model of an object A to the extent that B can use A\* to answer questions that interest him about A.“ – Marvin Minsky (1927–2016, einer der KI-Pioniere)



# Modellierung

**Eine Denkübung:** Auf Wetterkarten finden sich **Isobare**, auf topographischen Karten **Höhenlinien**. Die Karten sind Modelle der Realität, stellen also abstrahierte Bilder der Realität dar, gegebenenfalls ergänzt mit nützlichen Annotationen aus anderen Datenquellen. Wie verhält es sich diesbezüglich mit den Isobaren bzw. Höhenlinien? Kommen diese in der Natur vor? Oder sind sie so virtuell wie Längen- / Breitengrade?



16. Okt. 2017: Hurrikan „Ophelia“ als Satellitenbild (EUMETSAT) und als Modelldarstellung mit farbigen Starkwindfeldern.

Da sich Ophelia weiter nördlich als die üblichen atlantischen Wirbelstürme gebildet hat, gelangte der Hurrikan nicht in die Passatwinde. Oberhalb des 30. Breitengrads herrschen in den höheren Luftschichten Winde aus dem Westen vor, weshalb Ophelia in Richtung Europa zog. Am 16. Oktober 2017 traf der Sturm mit fast 160 km/h auf Irland.

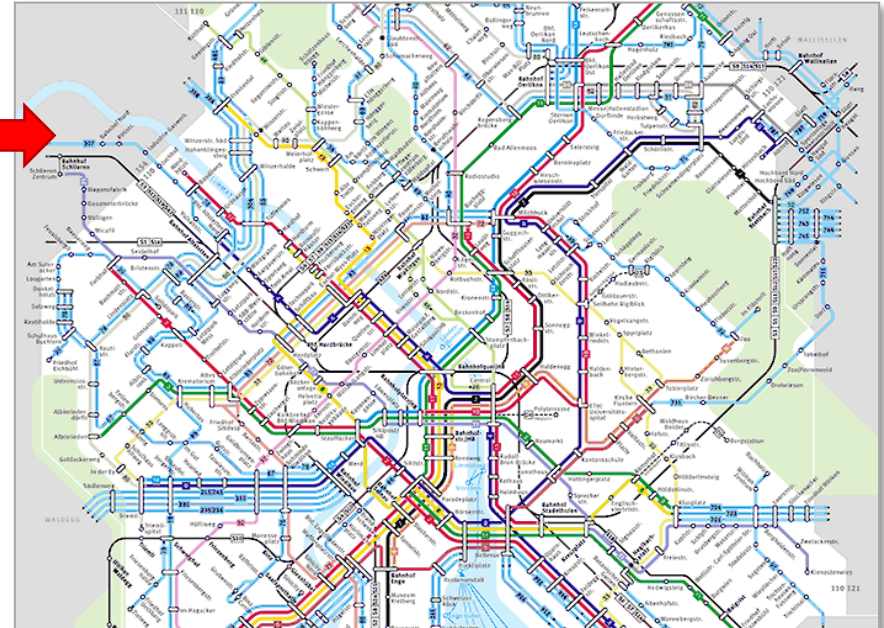
# Modellierung

Wenn ich sage, „**Ich bin ein Modell**“, ist das ein metaphorischer Ausdruck, der versucht, meine Natur in einer für Menschen verständlichen Weise zu erklären. Der Begriff „Modell“ wird oft in der Informatik verwendet, um auf eine abstrahierte Repräsentation von etwas zu verweisen, sei es Daten, Systeme oder in meinem Fall, die Fähigkeit, auf menschliche Anfragen zu antworten. – ChatGPT, Nov. 2023

konkret



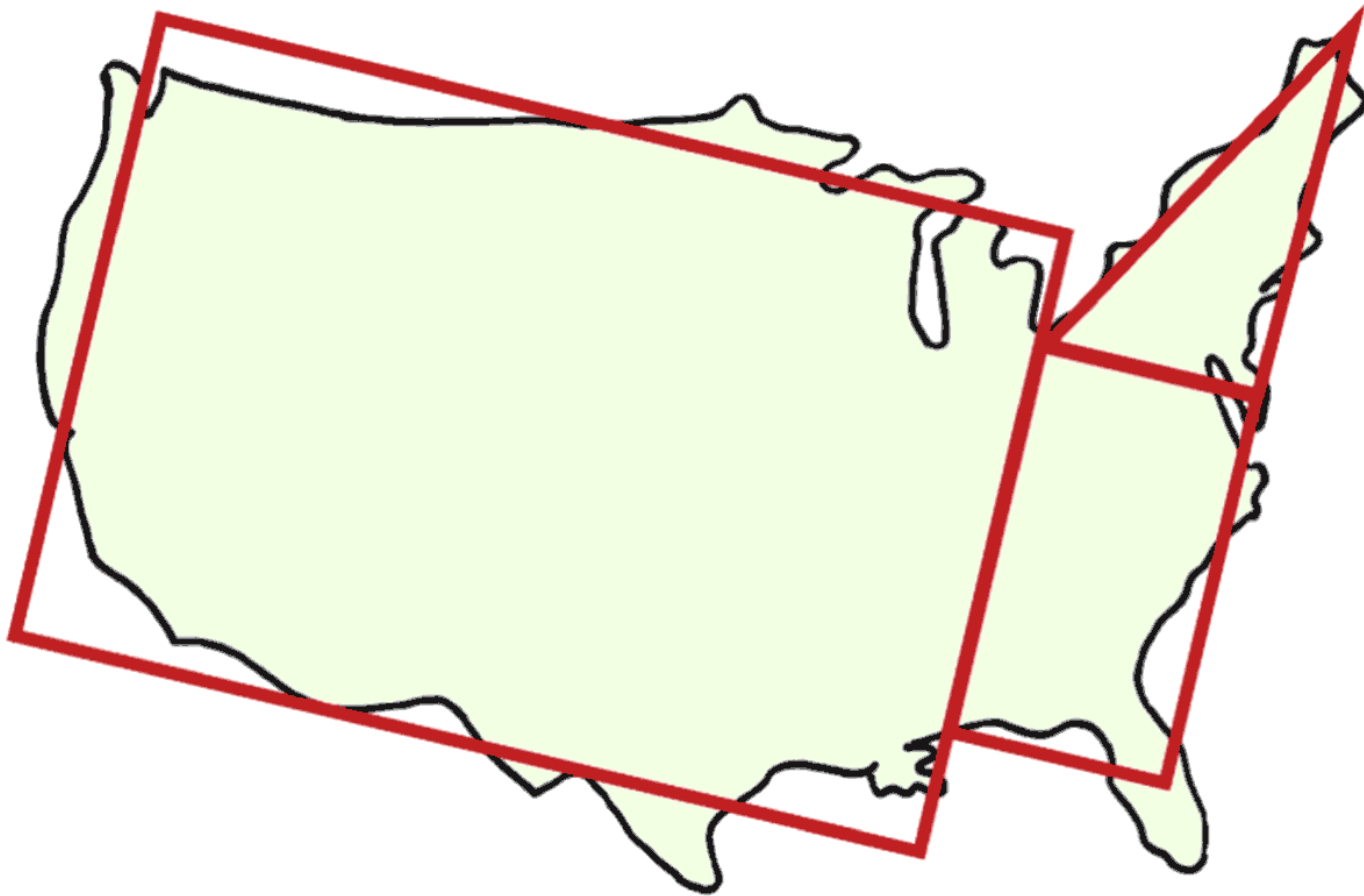
abstrakt



„Science may be described as the art of systematic over-simplification; the art of discerning what we may with advantage omit.“ – Karl Popper

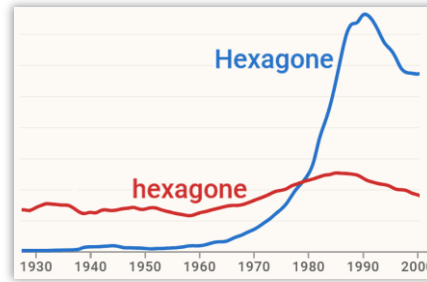
*Winkel hier stets  
Vielfache von 45°*

# Modellierung



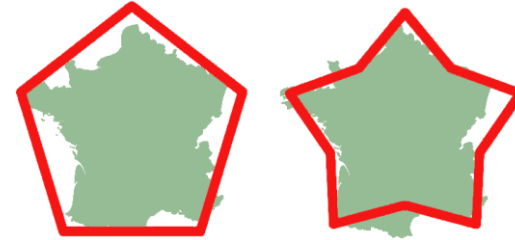
Die Umrisszeichnung der USA ist bereits ein Modell – für manche Zwecke mag aber ein noch abstrakteres, mit einfachen geometrischen Formen konstruiertes Modell, auch genügen.

# Modellierung

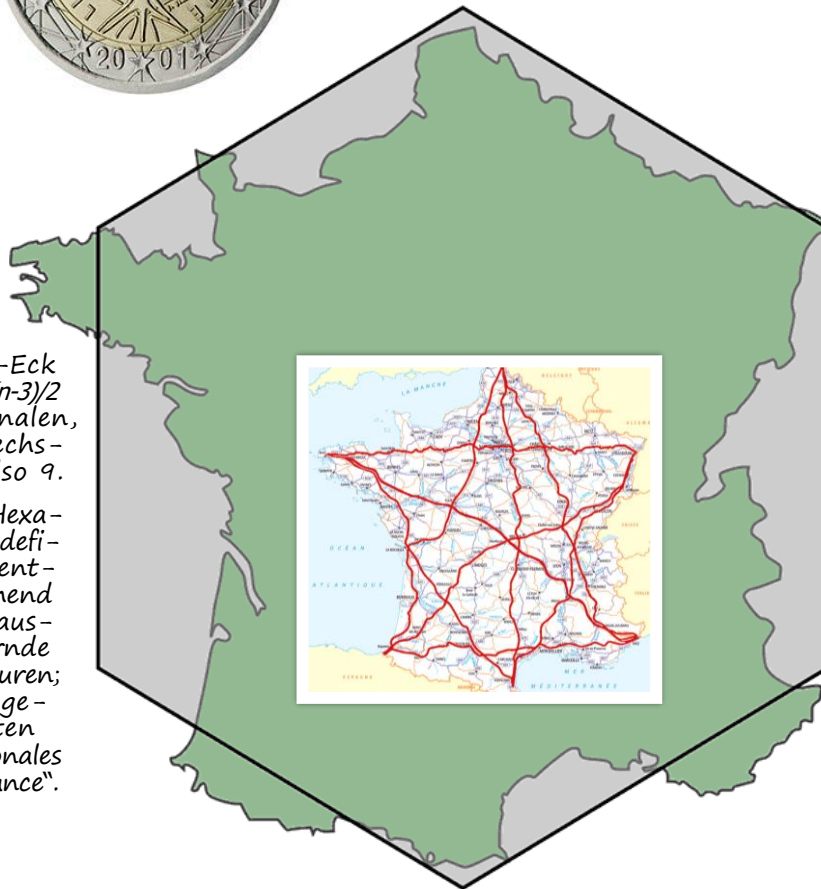


Frankreich wird, in Frankreich selbst, ab den 60er-Jahren des 20. Jh. vermehrt als „Hexagone“, Sechseck, bezeichnet („qu'elle est belle ma France et quel équilibre !..“). Auch die 1- und 2-Euro-Münzen französischer Prägung zeigen, bei genauem Hinsehen, ein Hexagon.

Die Modellierung als Sechseck geht aber nur gut, indem man sich u.a. ein schönes Stück Italiens, der Schweiz und Deutschlands einverleibt. Und andere geometrische Figuren approximieren Frankreichs Gestalt eigentlich auch nicht schlechter:



Das Hexagon fungierte anfangs vor allem als „mentales Modell“; franz. Lehrer benutzen es ab dem ausgehenden 19. Jh., als Schulkarten kaum vorhanden waren (und Elsass-Lothringen zu Deutschland gehörte), um die drei maritimen Seiten (Mittelmeer, Atlantik, Ärmelkanal) sowie die nördlichen, östlichen und südlichen Landesgrenzen einprägsam zu veranschaulichen. Erst nach dem Verlust der französischen Gebiete in Algerien ist „L'Hexagone“ allgemeine Metapher und Symbol geworden und ersetzte als Begriff z.T. den kolonialistisch angehauchten Terminus „France métropolitaine“.



Ein  $n$ -Eck hat  $n(n-3)/2$  Diagonalen, ein Sechseck also 9.

Das „Hexagone“ definiert entsprechend 9 herausfordernde Radtouren; die sogenannten „Diagonales de France“.

# Modellierung →

## 5 weitere Beispiele einer Modellierung mit kartographischen Mitteln:

- 1) Landkarten
- 2) Strassenkarten
- 3) Strassennetz von Berlin
- 4) Bevölkerungsdaten
- 5) Geoinformation

Diesen Beispielen gemeinsam ist, dass dabei, wie auf den vorherigen slides, die „**Topologie**“ der realen Welt (bzw. des betrachteten Ausschnitts davon) eine Rolle spielt und sich diese im Modell – ggf. etwas „verzerrt“ – wiederfindet.

“And then came the grandest idea of all! We actually made a map of the country, on the scale of *a mile to the mile!*”

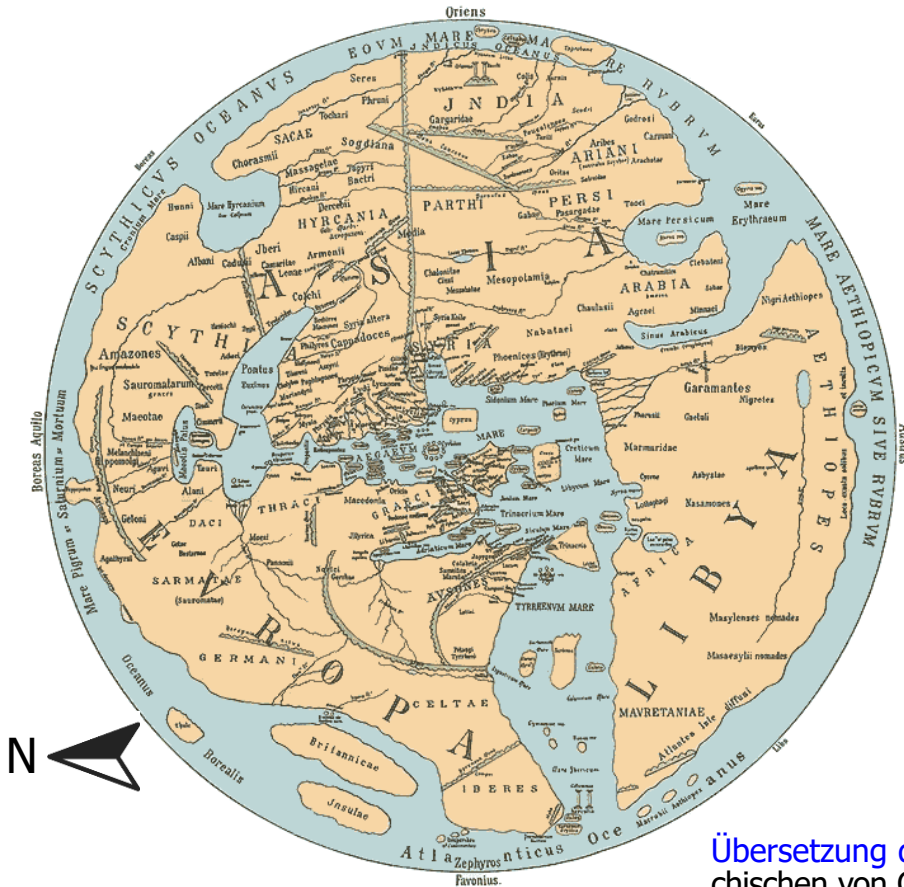
“Have you used it much?” I enquired.

“It has never been spread out, yet. The farmers objected: they said it would cover the whole country, and shut out the sunlight! So we now use the country itself, as its own map, and I assure you it does nearly as well.”

-- Aus: *Sylvie and Bruno Concluded*  
Lewis Carroll, 1893

# Modellierung – Beispiel: Landkarten als Modelle der Welt

Une carte est non seulement un modèle. Représentation déformée mais cohérente du territoire, la carte est une caricature du monde. En d'autres termes, elle est une simulation au sens étymologique du terme : elle donne pour réel ce qui ne l'est pas. -- Claude Raffestin



Weltkarte nach **Dionysios von Alexandria** (ca. 124 n. Chr.), rekonstruiert von Naturforscher Konrad Miller (1844 – 1933) nach der Beschreibung der damals bekannten Welt in den „Periegesis tes oikoumenes“ (Περιήγεις τῆς οἰκουμένης), einem Lehrgedicht von Dionysios in 1186 Versen. Nach klassischer Vorstellung ist die Erde von einem Weltmeer umgeben und besteht aus den drei Erdteilen Asien, Europa und Afrika („Libyen“).

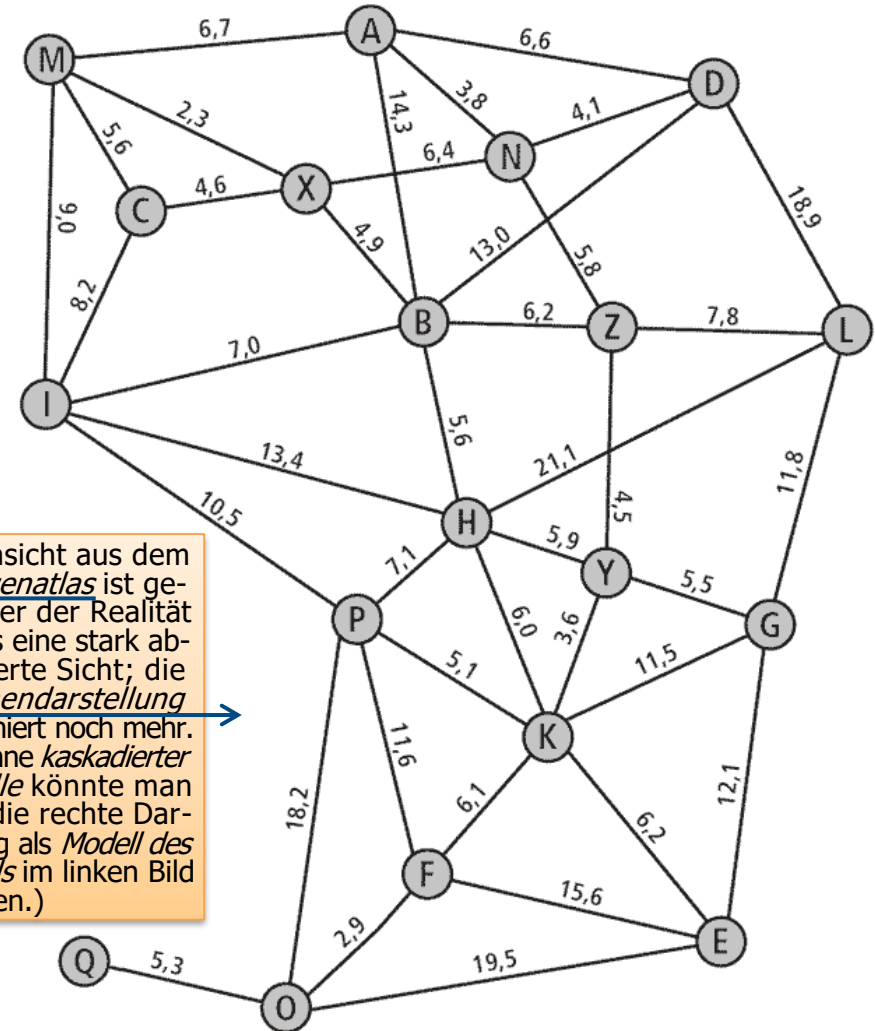
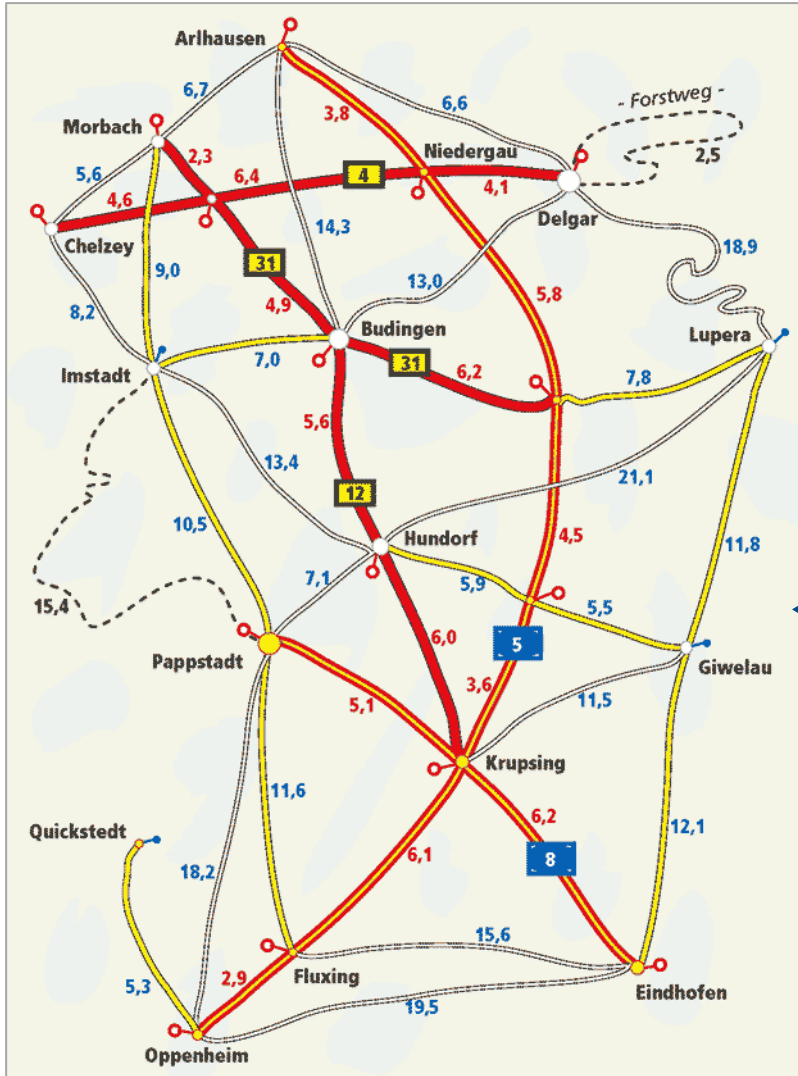
Übersetzung der ersten Verse des Lehrgedichts von **Dionysios** aus dem Griechischen von Gabriel Gottfried Bredow (1773 – 1814) (Gades = Cádiz, Neilos = Nil):

*Heb' ich an zu besingen die Erde und die Breite des Meeres  
und die Flüß' und die Städt' und die zahllosen Stämme der Menschen,  
Denk ich Okeanos auch, des tief hinströmenden. Denn er  
Kränzet das sämtliche Land, gleich einer unendlichen Insel,  
Rings umflossen, doch nicht als gerundeter Kreis; nach den Seiten  
Geht in des Helios Bahn es enger in Spitzen zusammen,*

*Gleich der Schleuder gedehnt. Obschon das Ganze nur Eines,  
Theilten die Menschen es doch sich ab in dreifache Vesten:  
Libya erst, Europa darauf, dann Asia ordnend.  
Aber das libysche Land und Europa trennet ein Grenzstrich  
Schreg hinlaufend durch Meer, von Gades zur Mündung des Neilos,  
Da wo am weitesten gen Nord vortritt der Busen Aegyptens...*

# Modellierung – Bsp: Strassenkarten auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen

Dass Karten ihr Territorium abbilden oder diesem gar ähnlich sind, ist ein theoretisches Tabu geworden für kulturkritische und konstruktivistisch orientierte Positionen; die Leitidee ist dabei: Karten erzeugen, was sie zeigen. -- Sybille Krämer



Die Ansicht aus dem *Strassenatlas* ist gegenüber der Realität bereits eine stark abstrahierte Sicht; die *Graphendarstellung* abstrahiert noch mehr. (Im Sinne *kaskadierter Modelle* könnte man auch die rechte Darstellung als *Modell des Modells* im linken Bild ansehen.)

# Modellierung – Bsp: Strassennetz von Berlin

La carte n'est pas le territoire,  
le mot n'est pas la chose.  
-- Pierre Yves Lador

Angenommen, wir wollten einen Teil des **Strassennetzes von Berlin** so modellieren, dass das Modell in Navigationssystemen genutzt werden kann.

[https://plus.tagesspiegel.de/berlin/images/editor3004574217979889296jpg/alternates/FREE\\_620/editor3004574217979889296jpg.jpeg](https://plus.tagesspiegel.de/berlin/images/editor3004574217979889296jpg/alternates/FREE_620/editor3004574217979889296jpg.jpeg)



Der **Ausschnitt der Realität**, den wir modellieren und dazu auf das (für den Zweck) Wesentliche reduzieren wollen. →

*Es ist die City-West, südlich von Bahnhof Zoo, Tiergarten, Gedächtniskirche und KaDeWe (Teile von Charlottenburg, Wilmersdorf und Schöneberg)*



# Modellierung – Bsp: Strassennetz von Berlin (2)

Karten und Pläne für die unterschiedlichsten Zwecke gibt es natürlich schon lange.

*Ansicht aus der Vogelperspektive (li.) sowie Ausschnitt eines Stadtplans (re.) mit Hinweisen zur Verkehrsinfrastruktur (Parkhäuser, Taxistände, U-Bahnhöfe).*

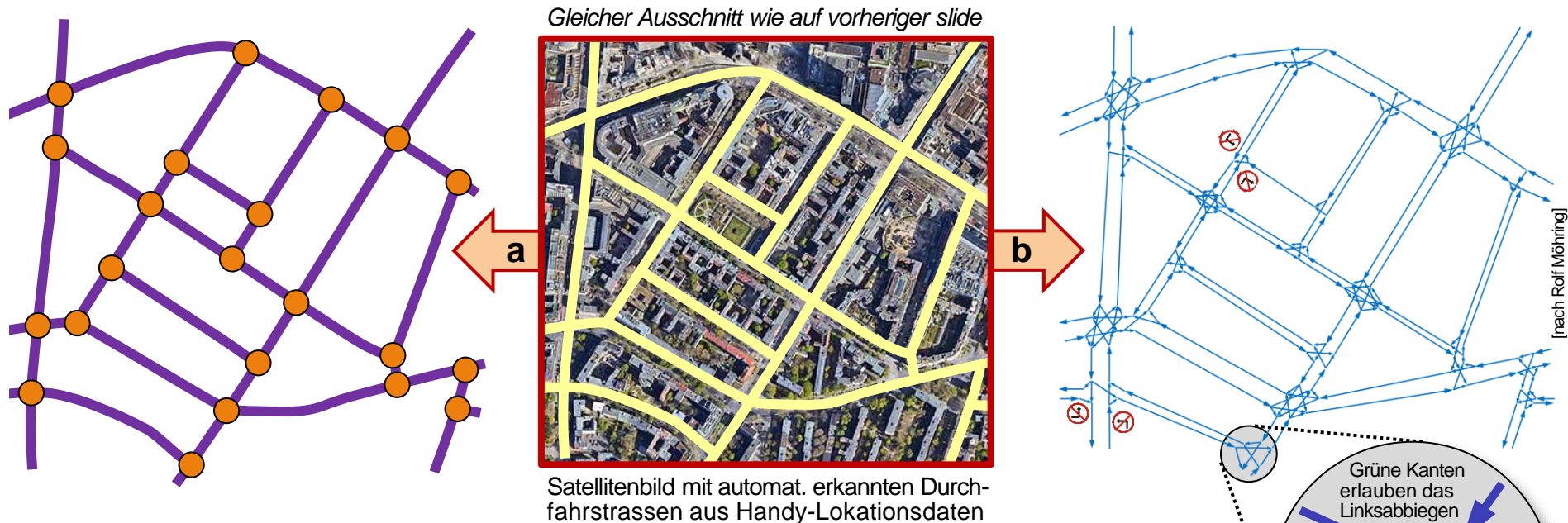


Beide Abbildungen stellen bereits **Abstraktionen der Realität** dar

- Für die automatische Verarbeitung bei einem Navigationssystem: Transformation in ein Modell, das gut in Form einer **Datenstruktur** repräsentiert werden kann
- Geeignet hierfür: Modellierung des Strassennetzes als **Graph**



# Modellierung – Bsp: Strassennetz von Berlin (3)



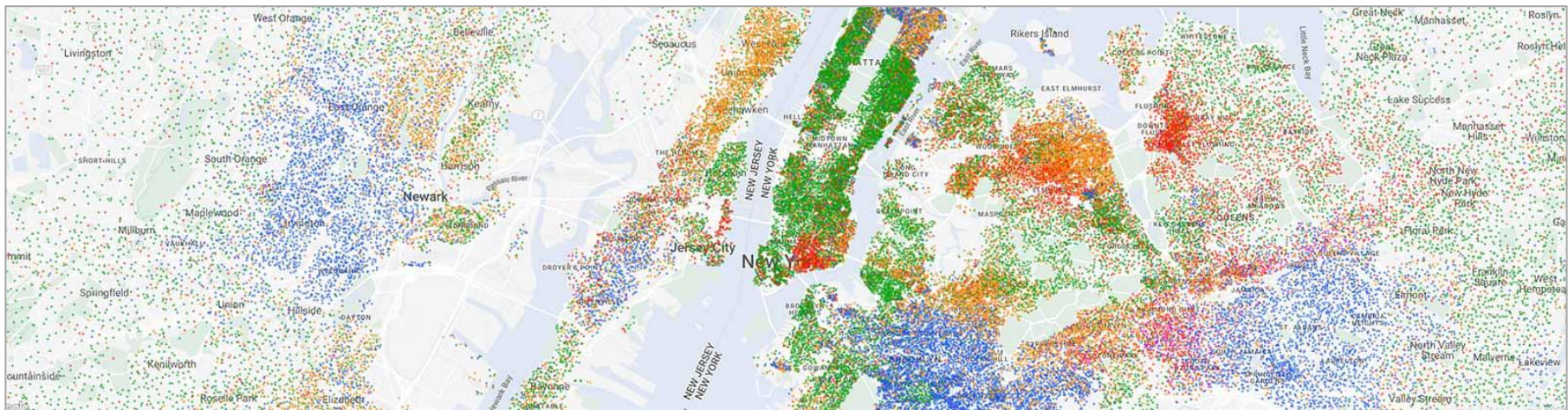
Zwei **verschieden detaillierte Modelle** als Graphen

- Links: Gröberes Modell, daraus z.B. die Anzeige eines Navis
- Rechts: Das Modell mit gerichteten Kanten und mehr Knoten in den Kreuzungsbereichen modelliert auch **Einbahnstrassen** und **Abbiegemöglichkeiten** bei einer Kreuzung, z.B. zur Routenberechnung

(Für Hamburgs bekannteste Einbahnstrasse, die Sierichstrasse, genügt das noch nicht – bei ihr wechselt zweimal täglich die Fahrtrichtung: von 4 bis 12 Uhr stadteinwärts, sonst auswärts)

# Modellierung – Bsp: Bevölkerungsdaten zeigen Rassensegregation

Der Zweck besteht hier nicht darin, die Topologie eines Weltausschnitts naturgetreu abzubilden, sondern die Dichte und die ethnische Zugehörigkeit der Wohnbevölkerung in NY geeignet darzustellen.



[www.nytimes.com/interactive/2015/07/08/us/census-race-map.html](http://www.nytimes.com/interactive/2015/07/08/us/census-race-map.html)

# Modellierung – Bsp: Geoinformation

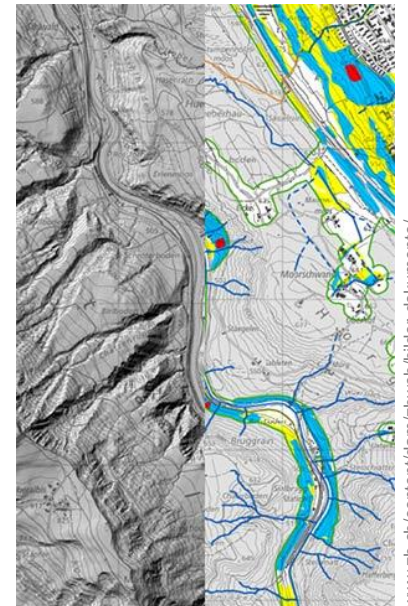
Die letzten slides zeigten Beispiele, wo **geographische Karten als Modelle für einen „Weltausschnitt“** dienen. Solche klassischen Karten sind statisch, und eine automatische Weiterverarbeitung der darauf befindlichen Information (oder gar eine Zusammenführung mehrerer Karten unterschiedlicher Gestaltung) ist schwierig, da z.B. die Semantik der dargestellten Objekte nicht genormt und oft unscharf ist.

Im Zuge der Digitalisierung des Kartenwesens wurde schnell deutlich, dass man hierfür geeignete Informationssysteme und Software-Werkzeuge benötigt – grundlegend dafür aber zunächst ein **Modellierungskonzept für geographische Daten und Objekte**, das operationalisierbar und damit maschinell handhabbar ist. Dies führte zur Etablierung der **Geoinformatik** als Fachgebiet und von Geoinformationssystemen (**GIS**) als Infrastrukturen zur Verwaltung und Verarbeitung geographischer Daten und Modellkomponenten.

Als Modellierungskonzept bietet sich im Bereich der Geoinformatik die **Objektorientierung** an. Zu den Modellierungskonzepten zitieren wir einige instruktive Passagen (gekürzt) aus dem Lehrbuch „Geoinformatik“ von Norbert Bartelme:

„Ein einfaches Modell der **Geometrie eines Flusses** ist ein Polygon, also eine Folge von Koordinatenpaaren, die durch gerade Linien verbunden werden. Dies kann natürlich nur ein kleiner Teil dessen sein, was die Information FLUSS in Wirklichkeit ausmacht.

Neben der Geometrie ist die **semantische Kennzeichnung** eine notwendige Voraussetzung dafür, dass ein sinnvolles Modell aufgebaut werden kann. Mit Semantik bezeichnen wir die inhaltliche Information, die wir dem Fluss zuordnen. Allein dadurch dass es sich eben um einen Fluss und nicht um eine Straße oder dergleichen handelt, wird bereits etwas Inhaltliches ausgedrückt. Der semantische Aspekt des Objektes kann nun verfeinert werden, indem wir etwa den Flussnamen hinzunehmen.



# Modellierung – Bsp: Geoinformation (2)

Natürlich können wir auch die Geometrie unseres Modells verfeinern, indem wir den Verlauf des Flusses nicht nur zweidimensional beschreiben sondern auch Höhen mit einbeziehen, indem wir zusätzliche Stützpunkte des Polygons einführen oder indem wir eine möglichst glatte Kurve durch diese Stützpunkte legen.

Ein **Objekt** aus der **Klasse** FLUSS hat also bestimmte Eigenschaften sowohl in geometrisch-topologischer wie auch in semantischer Hinsicht. Es hängt von der Objektklasse ab, welche Eigenschaften grundsätzlich zugeordnet werden. Wir bezeichnen sie als **Attribute**. Für jedes Objekt aus einer solchen Klasse nehmen diese Attribute dann konkrete Werte an.

Wir wollen diese Objekteigenschaften abfragen, aber auch nach gewissen Kriterien auswerten. Jeder Objektklasse sind also auch geeignete **Methoden** zugeordnet. Für ein linienhaftes Objekt aus der Klasse FLUSS kann die Berechnung der Länge eine sinnvolle Methode sein, ebenso die graphische Darstellung mittels geeigneter Visualisierungstechniken (Farbe, Symbolik usw.) oder auch ein anderes algorithmisches Verfahren wie etwa die Vereinfachung des Linienverlaufes.

Schließlich werden wir auch noch für eine bestimmte Objektklasse eine Reihe von **Konsistenzbedingungen** sowie von erlaubten Beziehungen zu anderen Objektklassen festlegen, um so die Möglichkeit des Entstehens von Fehlern und Inkonsistenzen einzuschränken. So können wir etwa topologische Bedingungen festlegen (ein Flussverlauf darf sich nicht selbst überschneiden).

Wir sehen also, dass die Zusammenfassung in Objektklassen ein Instrument ergibt, wie man Geoinformation in handliche Portionen aufteilt und jede solche Portion – ein Objekt – nach bestimmten klassenspezifischen Kriterien behandeln, abfragen und auswerten kann. Die Definition all dessen, was mit Objekten einer Klasse geschehen darf und soll, wird ein- für allemal gemacht.“

Die zitierten Passagen sollen nur einen ersten Eindruck der Modellierung bei Geoinformationssystemen liefern; die Thematik (und Problematik!) ist viel umfangreicher und stellt eine interessante Mischung aus konzeptionellen und pragmatischen Aspekten dar.

# Modelle, Analogie, Simulation

Das Modell spielt immer die Rolle des Vermittlers zwischen einem theoretischen Gebiet, dessen Interpretation es ist, und einem empirischen Gebiet, dessen Formalisierung es ist.  
 -- Hourya Benis-Sinaceur (حورية بنيس سيناصور)

In seinem Buch „An Introduction to Cybernetics“ von 1956 motiviert der britische Psychiater und Kybernetiker **W. Ross Ashby** (1903 – 1972) den Begriff und den Nutzen von Modellen am Beispiel von zwei „isomorphen“ Systemen, einem mechanischen und einem elektrischen. Diese verhalten sich (bei entsprechender Dimensionierung der Komponenten) *analog* zueinander, man kann das **elektrische System als ein Modell des mechanischen Systems** auffassen, mit dem Experimente einfacher und schneller als mit dem mechanischen durchgeführt werden können. (Dies entspricht der „**analogen Simulation**“; allerdings verwendet Ashby den Begriff „Simulation“ in seinem Buch nicht.)

“... two dynamic systems, each with an input and an output. In the upper one, the left-hand axle I is the input; it can be rotated to any position, shown on the dial u. It is connected through a spring S to a heavy wheel M, which is rigidly connected to the output shaft O. O's degree of rotation is shown on the dial v, which is its output. The wheel dips into a trough with liquid F which applies a frictional force to the wheel, proportional to the wheel's velocity. If now, starting from given conditions, the input u is taken through some sequence of values, so will the output v pass through some determinate sequence of values [...]. The lower system is electrical. Its input is a potentiometer, or other device, J, that emits the voltage shown on the scale x. In series are an inductance L, a resistance R, and a capacitance C. P is a current meter (such as is used in domestic supplies) recording the sum of the currents that have passed through it. The sum is shown on the scale y, which is its output. If now the values of L, R and C are adjusted to match the stiffness of the spring, inertia of the wheel, and friction at F...”

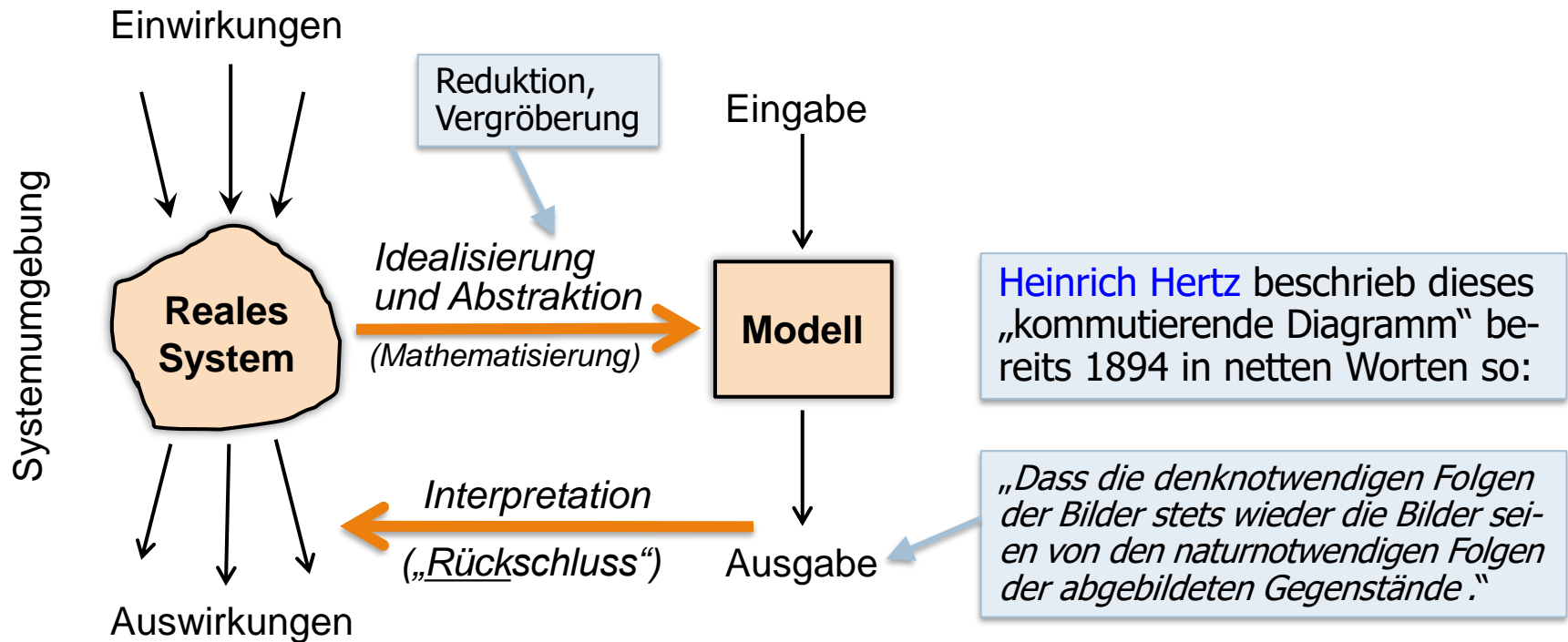
$$a \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + cz = w$$

Ashby führt ferner eine **Differentialgleichung** an, welche ein **abstraktes Modell** beider Systeme ist. In gewisser Weise stellt nun umgekehrt das elektrische System sogar einen „**Analogcomputer**“ dar, mit dem die Differentialgleichung berechnet werden kann. Die drei Systeme bzw. Modelle sind **isomorph** zueinander.

# Modellierung

Wenn wir nicht unmittelbar auf das Original zugreifen wollen oder können, verwenden wir an seiner Stelle das Modell. Das gilt für das Plüschtier ebenso wie für die Urknalltheorie. -- Jochen Ludewig

- **Modell** = Vereinfachtes Abbild der komplexen Realität
  - Soll sich bzgl. relevanter Aspekte (=?) aber analog zur Realität darstellen / verhalten

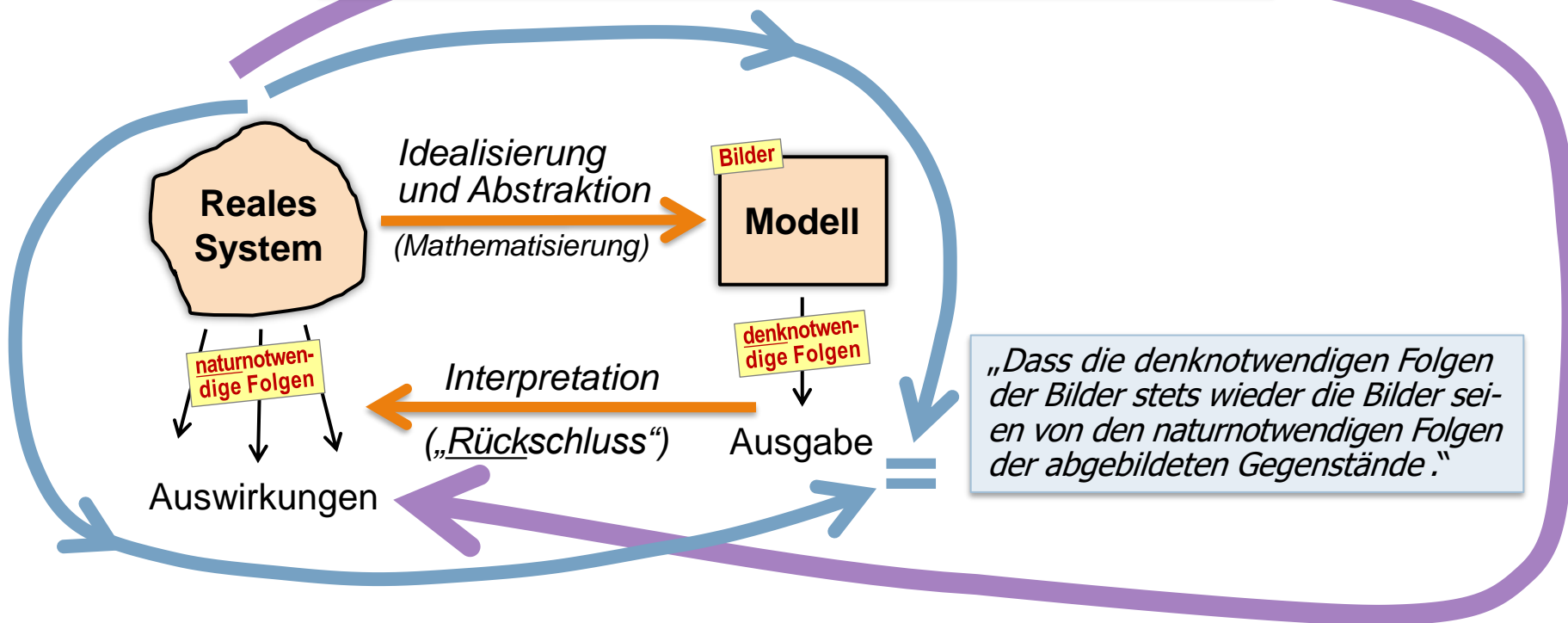


# Modellierung

Heinrich Hertz beschreibt einen **Homomorphismus**; dieser induziert ein **kommutatives Diagramm**, das im Sinne der Simulation so verstanden werden kann:

Wenn sich in Madame Tussauds Kabinett eine Wachsfigur befindet, welche genau wie Elvis Presley aussieht, heisst das dann, das Elvis aus Wachs bestand? Mitnichten. – George Szpiro

*Vom realen System per Abstraktion via Modell zum Resultat des Modellexperiments und von diesem mittels Rückschluss zurück zur Realität und den realen Auswirkungen.*





# Modellierung

## Abstraktion und Idealisierung

Ce qui est simple est *faux*, mais ce qui est compliqué est *inutilisable*.  
-- Paul Valéry

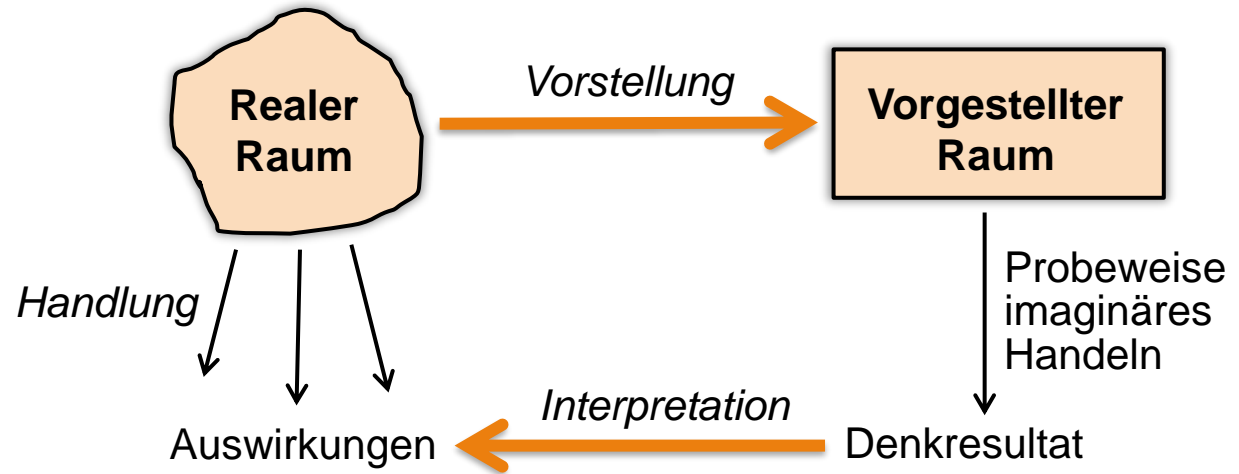
- **Abstraktion** (lat.: *abs-trahere* = *weg-ziehen*): Weglassen von Aspekten, die für den intendierten Zweck des Modells unnötig sind
  - Eine Strassenkarte zeigt z.B. nicht, ob auf dem Feld neben der Strasse Weizen oder Roggen angebaut wird
- **Idealisierung**: Vereinfachung von Teilaspekten, um diese (und damit das Modell) einfacher handhabbar zu machen
  - Z.B. Planetenform als mathematische Kugel oder
  - Wurf als Parabel (unter Vernachlässigung diverser „Störgrößen“)
- **Pragmatisch** gesehen stellen Verkürzung und Vereinfachung keinen Verlust dar, sondern eine Stärke
  - Das Modell wird dadurch überschaubar, handlich und **brauchbar**

**Symbole** können als radikal verkürzte Modelle angesehen werden: Sie stehen für etwas, haben aber praktisch alle Eigenschaften des dargestellten „Originals“ verloren (Bsp.: Länderflaggen)

# Denken als Modellierung

Der bekannte österreichische Zoologe und Verhaltensforscher **Konrad Lorenz** (1903 – 1989, Medizin-Nobelpreis 1973) schrieb in seinem Buch von 1973 „Die Rückseite des Spiegels – Versuch einer Naturgeschichte des menschlichen Erkennens“: „Ich sehe nicht, was Denken grundsätzlich anderes sein soll als ein solches probeweise und nur

im Gehirn sich abspielendes Handeln im vorgestellten Raum“. Dies wird heute oft kompakter zitiert als „**Denken ist Handeln im vorgestellten Raum**“. Konrad Lorenz berichtet im Buch von einem Orang-Utan, in dessen Käfig unerreichbar hoch eine Banane aufgehängt war und weiter weg eine Kiste abgestellt war. Nach einem Wutanfall sei der Blick des Tieres zwischen der Kiste, der senkrecht unter der Banane liegenden Stelle auf dem Boden, der Banane selbst und wieder zurück gewandert, „blitzartig“ sei der problemlösende Einfall gekommen und der Orang-Utan habe die Kiste unter die Banane geschoben. Offenbar hat der Menschenaffe die Problemlösung imaginiert, in seiner Phantasie also einen funktionierenden Plan für die reale Welt entwickelt.



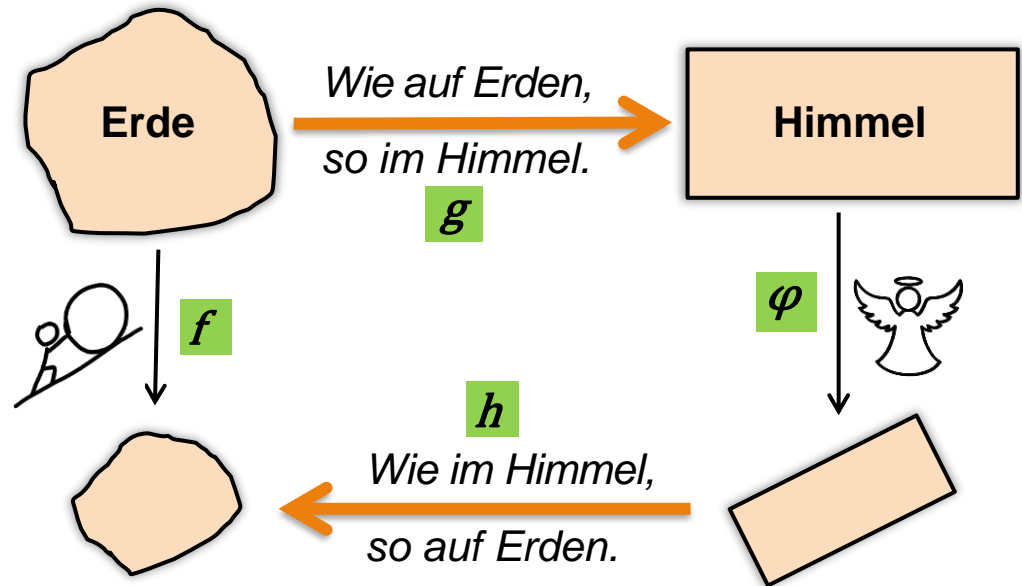
Konrad Lorenz untersuchte u.a. die soziale Interaktion bei Graugänsen

# Kommutatives Diagramm und Spiritualismus

Wenn wir eine schwierige Aufgabe bearbeiten müssen, dann **transformieren** wir diese in einen Raum, wo es sich leichter arbeiten lässt. Das Ergebnis muss man dann allerdings noch **zurücktransformieren** – das ist hoffentlich auch nicht schwer.

Beispiel: Wir wollen die **Quadratwurzel** von  $x$  berechnen. Wir transformieren  $x$  zur Zahl  $\log(x)$ . Diese **halbieren** wir, was einfach ist. Auf das Ergebnis müssen wir nun den Anti-Logarithmus anwenden. Als Formel:  $\log(\sqrt{x}) = \frac{1}{2} \log(x)$  bzw. „umgangssprachlich“ notiert auch so:  $\sqrt{x} = \log^{-1}(\frac{1}{2} \log(x))$ .

Für beide Transformationen gibt es Hilfsmittel: Zum Beispiel Logarithmentafeln (d.h. Tabellen zum Nachschauen) oder Taschenrechner.



$$f = h \circ \varphi \circ g$$

Bei der **Simulation** besteht der Himmel aus den adäquaten Simulationsmodellen;  $g$  stellt die Modellierung dar,  $\varphi$  die Simulation und  $h$  die Interpretation des Simulationsergebnisses.

**Analogiezauberei** beruht auf der Vorstellung, dass man mit einem Abbild oder einem Symbol auf das einwirken kann, was damit dargestellt wird. Ein populäres Beispiel ist z.B. die Voodoo-Puppe, die ein Abbild eines Menschen darstellt. Schmerzen und Verletzungen, die der Puppe zugefügt werden, sollen die Person treffen, deren Abbild die Puppe ist. -- <https://de.wikipedia.org/wiki/Analogiezauber>

# Innere Scheinbilder

Zum oben erwähnten Zitat von [Heinrich Hertz](#) sei noch etwas mehr Kontext angegeben. In der Einleitung des 1894 posthum veröffentlichten Werkes „Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt“ schreibt er:

“Das Verfahren, dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: Wir machen uns innere [Scheinbilder oder Symbole](#) der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien der naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. [...]

Ist es uns einmal geglückt, aus der angesammelten bisherigen Erfahrung Bilder von der verlangten Beschaffenheit abzuleiten, so können wir an ihnen, [wie an Modellen](#), in kurzer Zeit die Folgen entwickeln, welche in der äußeren Welt erst in längerer Zeit oder als Folgen unseres eigenen Eingreifens auftreten werden; wir vermögen so den Thatsachen voranzueilen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere gegenwärtigen Entschlüsse richten. [...] Verschiedene Bilder derselben Gegenstände sind möglich, und diese Bilder können sich nach verschiedenen Richtungen unterscheiden.“

Heinrich Hertz spricht zwar hier nicht direkt von einem Modell oder gar „mathematisches Modell“, sondern verwendet die Bezeichnung „Bild“ bzw. „Scheinbild“, aber seine (metaphorische!) Bemerkung „wie an Modellen“ ist tief- und weitblickend – im Grunde meint er mit „Bild“ genau das, was man dann Jahrzehnte später unter einem (mathematischen) Modell verstand. Tatsächlich stand seinerzeit der Terminus „[mathematisches Modell](#)“ erst noch für etwas anderes: Ein greifbares Anschauungsobjekt aus Gips, Draht etc., das geometrische Körper oder abstrakte Entitäten wie Kurven oder Flächen höherer Ordnung zu didaktischen Zwecken materialisiert und visualisiert; wir gehen später noch darauf ein.

*Physisches Modell einer mathematischen Entität*



Heinrich Hertz, 1857–1894



# Das Konzept des mathematischen Modells

2.1 Wir machen uns Bilder der Tatsachen.  
2.12 Das Bild ist ein Modell der Wirklichkeit.  
7 Wovon man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen.  
-- Ludwig Wittgenstein (1889 – 1951),  
*Tractatus logico-philosophicus* (1918)

Noch 1902 waren für den österreichischen Physiker und Philosophen [Ludwig Boltzmann](#) (1844 – 1906) Modelle [ausschliesslich materielle Objekte](#). Er verfasste den entsprechenden Artikel für die [Encyclopaedia Britannica](#), der bereits im ersten Satz festhielt, ein Modell sei “a [tangible representation](#), whether the size be equal, or greater, or smaller, of an object which is either in actual existence, or has to be constructed in fact or in thought.”

Im modernen (sozusagen „Hertzchen“) Sinne wird der Terminus des mathematischen Modells zur „Darstellung der Wirklichkeit“ wohl erstmalig [1912](#) vom englischen Mathematiker [Philip Jourdain](#) (1879 – 1919) in seinem Aufsatz „The nature of mathematics“ verwendet („Thus, with a [purely mathematical model](#) of the solar system, we can...“). Seine Ausführungen dazu sind lesenswert: „Our ideal in natural science is to build up a [working model of the universe](#) out of the sort of ideas that all people carry about with them [...] and to which ideas we appeal when we try to teach mathematics. [...] If we have a working model of, say, the solar system, we can tell, in a few minutes, what our position with respect to the other planets will be at all sorts of far future times, and can thus [predict certain future events](#). Everybody can see how useful this is; perhaps those persons who see it most clearly are those sailors who use the Nautical Almanac. [...] The mathematician is completely master of his model; he can repeat the occurrences in his universe as often as he likes; something like Joshua, he can make his ‘sun’ stand still, or hasten, in order that he may publish the Nautical Almanac several years ahead of time. Indeed, the ‘world’ with which we have to deal in theoretical or mathematical mechanics is but a mathematical scheme, the function of which it is to imitate, by logical consequences of the properties assigned to it by definition, certain processes of nature as closely as possible. [...] [That such a model is possible is really surprising](#) on reflection.”



Philip Jourdain, 1879 – 1919

Philip Jourdain wurde nur 39 Jahre alt; Heinrich Hertz nur 36.

# Das Konzept des mathematischen Modells (2)

„Nur schwach, Natur,  
wirst du verstanden —  
Seufzt er — wenn  
kein Modell vorhanden!“

-- Wilhelm Busch („Maler Klecksel“), 1884

Im gleichen Jahr, 1912, spricht auch der französische Mathematiker [Émile Borel](#) (1871–1956) von mathematischen Modellen, und zwar in einem seiner drei Vorträge („Molecular theories and mathematics“), die er auf der feierlichen [Eröffnungsveranstaltung der Rice University](#) (damals noch „Rice Institute“), Houston, im Oktober 1912 hielt. Deren Gründung wurde durch eine Stiftung des Geschäftsmannes William Marsh Rice ermöglicht, der in Texas u.a. durch Baumwoll- und Grundstückshandel sehr vermögend wurde. Er verfügte, dass das Institut erst nach seinem Tod eröffnet werden sollte. Rice wurde im Jahr 1900 durch seinen Diener im Auftrag eines Rechtsanwalts ermordet, der das Testament fälschte, was jedoch aufflog und den Anwalt in eine Todeszelle von Sing Sing brachte (die er, vom Gouverneur begnadigt, 1913 aber lebend verliess). Es folgte ein langer Rechtsstreit um das Erbe, sodass die Gründung erst 1912 erfolgen konnte.



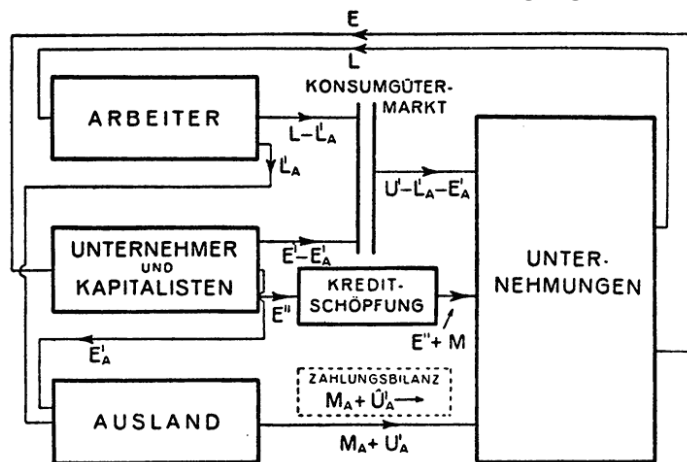
Émile Borel, 1871 – 1956

Borels Vortrag, der die Beziehung zwischen Physik und Mathematik zum Thema hat, erschien 1915 in englischer Übersetzung. Hinsichtlich des Modellbegriffs äusserte er u.a.: “If new physical phenomena suggest new [mathematical models](#), mathematicians will have to study these new models and their generalizations, with the legitimate hope that the new mathematical theories thus evolved will prove fruitful in their turn in providing the physicists with useful forms of thought [...] to increase as much as possible the richness of the abstract world, wherein we [seek for models which will make us understand concrete phenomena](#) better and foresee them more accurately.”

# Das Konzept des mathematischen Modells (3)

Gewiss haben schon die Frühmenschen und die Höhlenbewohner Modelle gebaut, erzeugt und verwendet, aber wir wissen nicht, wie sie das nannten. -- Roland Müller

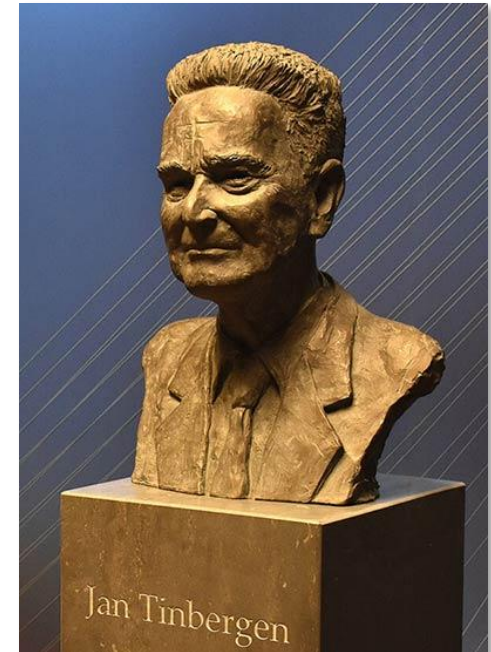
Explizit und sehr konsequent spricht 1935 der niederländische Mathematiker und Wirtschaftsnobelpreisträger **Jan Tinbergen** (1903 – 1994, Schüler von Paul Ehrenfest) von (mathematischen) Modellen, und zwar in seinem Aufsatz „Quantitative Fragen der Konjunkturpolitik“ im „Weltwirtschaftlichen Archiv“. Die untenstehende Abbildung Tinbergens illustriert ein zeitdiskretes makroökonomisches Modell („indessen soll keineswegs geleugnet werden, dass **unser Modell** ein gegenüber der Wirklichkeit sehr vereinfachtes Schema ist“),



welches das **Phänomen des Konjunkturzyklus** erklären soll und mit seinen Regelkreisen wesentliche Elemente der erst ca. 20 Jahre später populär werdenden **Kybernetik** antizipiert. Zwar propagierten um die gleiche Zeit der norwegische Ökonom **Ragnar Frisch** (1895 – 1973) sowie der polnische Ökonom **Michał Kalecki** (1899 – 1970) ähnliche mathematische

Formalisierungen, allerdings taucht in ihren Veröffentlichungen aus den 1930er-Jahren der Terminus „Modell“ dafür noch nicht auf.

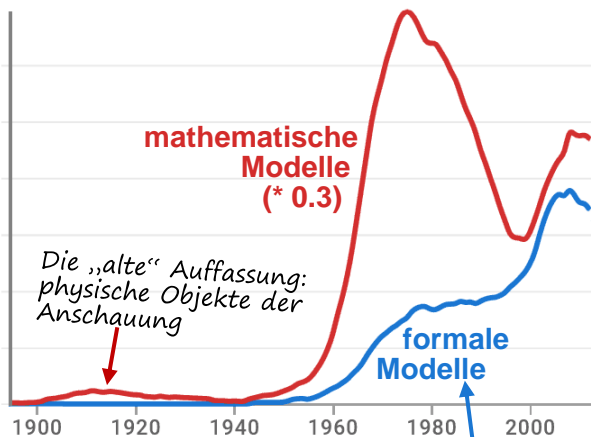
In der Wissenschaftsgemeinde wurde der Modellbegriff von Jourdain, Borel und Tinbergen zunächst noch nicht breit aufgegriffen; erst nach 1945 begann er sich zu etablieren.



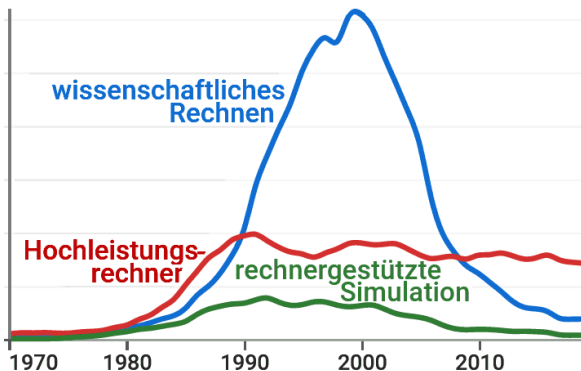
www.erasmusmagazine.nl/en/2019/12/18/

# Das Konzept des mathematischen Modells (4)

Although the term "model" originally referred to a material object, it has now lost its physical substance. Nevertheless, models still function *as if* they were material representations. Their representative power enables us to learn something about the thing they represent. -- Marcel Boumans



„Formal“ heisst natürlich *nicht* „nur der Form nach“ („pro forma“) oder gar „ohne Entsprechung in der Wirklichkeit“, sondern beruhend auf einer präzisen symbolischen Repräsentation, meist einem mathematischen oder logischen Kalkül bzw. „Formalismus“.



Ab den **1950er-Jahren** kommt es zu einer regelrechten Explosion bei der Verwendung des (mathematischen) Modellbegriffs. Er wird nun auch nicht mehr nur in der Physik oder Ökonomie verwendet, sondern auch oft in der Chemie, der Biologie, der Technik, der Kybernetik etc.: Vieles wird mathematisiert, um es nun per elektronischem Computer auszurechnen oder systematisch zu analysieren; ab den 1980er-Jahren ist vermehrt die Rede von „**scientific computing**“ bzw. „**wissenschaftlichem Rechnen**“, was einen Bedarf an Supercomputern (bzw. **Hochleistungsrechnern**) nach sich zieht. Das Ausrechnen oder Analysieren eines Modells mittels Computer ist dann eine „**rechnergestützte Simulation**“, salopp auch „Computersimulation“ genannt.

Das **Modellieren und Simulieren** etabliert sich so neben dem von Francis Bacon zu Beginn des 17. Jahrhunderts propagierten Wechselspiel zwischen Theorie und Empirie als eine **dritte Säule im wissenschaftlichen Erkenntniserwerb**. Rechnergestützte Simulationen eröffnen auch die Chance, von den klassischen reduktionistischen Methoden der Naturwissenschaften abzurücken und mittels realitätsgetreuer holistischer Modelle, bei denen die zugrundeliegenden Naturgesetze nicht übersimplifiziert werden, das Zusammenspiel vieler Einzelkomponenten in ihrer Gesamtheit zu erfassen.



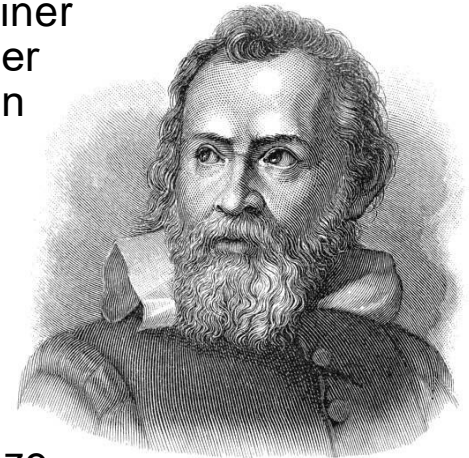
# Das Konzept des mathematischen Modells (5)

I never satisfy myself until I can make a mechanical model of a thing. If I can make a mechanical model, I understand it.

-- William Thomson Kelvin, 1884

Halten wir fest: Von einem **Modell**, das nicht aus Gips, Draht oder Holz, sondern **aus purer Mathematik** gebildet ist, spricht man explizit erst im 20. Jahrhundert. Grundsätzlich gab es in der Wissenschaft die **abstrakte, nicht-materielle Repräsentation** von bedeutsamen Teilen der Wirklichkeit aber natürlich schon vorher; Astronomie und Physik etwa verwandten schon lange mathematische Formulierungen für die Beschreibungen von Naturgesetzen und Fakten.

Der beste Zeuge dafür ist wohl **Galileo Galilei** (1564 – 1641) mit seiner Entdeckung des **Fallgesetzes**. In seiner frühen Schrift *De Motu* („Über die Bewegung“) war er noch auf der Seite von Aristoteles: „Wenn man eine Kugel von Blei und eine von Holz von einem hohen Turm fallen lässt, bewegt sich das Blei weit voraus.“ Nach Experimenten an der schiefen Ebene war Galilei aber in der Lage, den freien Fall mathematisch korrekt zu charakterisieren (und damit die aristotelische Behauptung zu widerlegen). Er notiert dazu 1638: „Nach Aufstellung des Brettes wurde dasselbe einerseits gehoben, bald eine, bald zwei Ellen hoch; dann liess man die Kugel durch den Kanal fallen und verzeichnete in sogleich zu beschreibender Weise die Fallzeit für die ganze Strecke“ Und weiter im Original: „Per esperienze ben cento volte replicate sempre s'incontrava, gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati de i tempi, e questo in tutte le inclinazioni del piano.“ („Bei wohl hundertfacher Wiederholung des Experiments traf es sich stets, **dass die durchlaufenen Strecken sich verhielten wie die Quadrate der Zeiten** – und dies für jedwede Neigung der Ebene.“) In heutiger mathematischer Kurzform:  $s = \frac{1}{2} a t^2$  (wobei  $a$  das Produkt aus Erdbeschleunigung und dem Sinus des Neigungswinkels ist; bei einem Neigungswinkel von  $90^\circ$  ergibt sich der freie Fall), was aus dem Physikunterricht der Schule geläufig sein sollte.



# Das Konzept des mathematischen Modells (6)

Durch rein mathematische Konstruktion vermögen wir nach meiner Überzeugung diejenigen Begriffe und diejenige gesetzliche Verknüpfung zwischen ihnen zu finden, die den Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen liefern. -- Albert Einstein, 1930

Der französische Philosoph und Wissenschaftshistoriker **Alexandre Koyré** (1892 – 1964) machte bereits 1943 in einem Beitrag „**Galileo and the Scientific Revolution of the Seventeenth Century**“ darauf aufmerksam, wie „absurd“ die mathematische Modellierung physischer Realität im Grunde genommen ist, bzw. was für ein mutiger Gedanke sich darin ausdrückt:

*The Galilean concept of motion (as well as that of space) seems to us so “natural” that we even believe we have derived it from experience and observation, though, obviously, nobody has ever encountered an inertial motion for the simple reason that such a motion is utterly and absolutely impossible. We are equally well accustomed to the mathematical approach to nature, so well that we are not aware of the boldness of Galileo’s statement that “the book of nature is written in geometrical characters”, any more than we are conscious of the paradoxical daring of his decision to treat mechanics as mathematics, that is, to substitute for the real, experienced world a world of geometry made real, and to **explain the real by the impossible**.*

Die Übersetzung von Rolf Dagstra ist gelungen: *Galileis Begriff der Bewegung (und auch der des Raumes) erscheint uns so „natürlich“, dass wir vermeinen, ihn selbst aus Erfahrung und Beobachtung abgeleitet zu haben. Wenngleich wohl noch keinem von uns ein gleichförmig verharrender oder sich bewogender Körper je untergekommen ist – und dies schlicht deshalb, weil so etwas ganz und gar unmöglich ist. Ebenso geläufig ist uns die Anwendung der Mathematik auf das Studium der Natur, sodass wir kaum die Kühnheit dessen erfassen, der da behauptet: ›Das Buch der Natur ist in geometrischen Zeichen geschrieben.‹ Uns entgeht die Waghalsigkeit Galileis, mit der er beschließt, die Mechanik als Zweig der Mathematik zu behandeln, also die wirkliche Welt der täglichen Erfahrung durch eine bloß vorgestellte Wirklichkeit der Geometrie zu ersetzen und **das Wirkliche aus dem Unmöglichen zu erklären**.*

# Das Konzept des mathematischen Modells (7)



Zu [Heinrich Hertz](#) zusammenfassend noch einige Auszüge aus einem Text von Claus Peter Ortlieb (1947 – 2019) [[www2.math.uni-hamburg.de/home/ortlieb/OrtliebHertzModell.pdf](http://www2.math.uni-hamburg.de/home/ortlieb/OrtliebHertzModell.pdf)]:

„Die Einleitung zu Heinrich Hertz’ letztem Werk ‚Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt‘ ist ein Meilenstein auf dem langen Weg von Galileis Auffassung, das ‚Buch der Natur‘ sei ‚in geometrischen Zeichen geschrieben‘, zum modernen Konzept des mathematischen Modells. Hertz scheint der Erste gewesen zu sein, der die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Entwicklung des 19. Jahrhunderts für die Rolle der Mathematik in der Naturerkenntnis ins Bewusstsein gehoben und die Konsequenzen deutlich ausgesprochen hat.

Als **eigenständiger Begriff** ist das **mathematische Modell** ein Kind des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts. Er ist letztlich die Voraussetzung dafür, dass sich die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode über ihre Ursprünge in der Physik hinaus in viele andere Wissenschaften ausbreiten konnte.

Hertz kann zwar nicht als Erfinder des Modellbegriffs bezeichnet werden, weil derart fundamentale, die Wissenschaft umwälzende Begriffe nicht einfach erfunden werden – schon gar nicht von Einzelnen –, sondern aus langwierigen, oft quälenden Prozessen hervorgehen. Aber er war einer seiner, wenn nicht sogar *der* Geburtshelfer.“



# DAMEN + HERREN



BARBERIA  
Tel. 01/463 48 50

BARBERIA  
DAMEN & HERREN

Calligraphie  
Handwritten text on a sign

Calligraphie  
Handwritten text on a sign

Calligraphie  
Handwritten text on a sign



BARBERIA  
DAMEN & HERREN

Calligraphie  
Handwritten text on a sign

Calligraphie  
Handwritten text on a sign

Calligraphie  
Handwritten text on a sign



## Modelle gesucht

Suchen Sie ein Modell für Ihre Modekollektion?

Wir suchen Modelle für unsere Modekollektion. Sie sind interessiert?

Bitte kontaktieren Sie uns unter:

Telefon: 01/463 48 50

E-Mail: [info@barberia.at](mailto:info@barberia.at)

Barberia AG

# Modellierung als wissenschaftliche Methode

John von Neumann schrieb 1955 in seinem Aufsatz “Method in the Physical Sciences”:



„We must emphasize a statement which I am sure you have heard before, but which must be repeated again and again. It is that the *sciences do not try to explain*, they hardly even try to interpret, *they mainly make models*. By a model is meant a mathematical construct which, with the addition of certain verbal interpretations, describes observed phenomena. The justification of such a mathematical construct is solely and precisely that it is expected to work – that is, correctly to describe phenomena from a reasonably wide area.“

Aufgrund der apodiktischen Aussage, **dass die Wissenschaft nicht erklären würde**, ist dieses Textfragment ein bekanntes Zitat geworden – es scheint dem klassischen Verständnis von Wissenschaft zu widersprechen. Andererseits relativiert von Neumann dann implizit doch gleich wieder – in gewisser Weise wird die Erklärung durch das Modell geliefert: Wissenschaft stellt zwar meist nicht die prinzipielle Sinnfrage, ergründet oft nicht die innere Essenz eines Phänomens und sucht nicht die absolute Wahrheit, aber erlaubt **durch Analogiebildung zu einem Modell ein Phänomen zu beschreiben** und damit zum Beispiel Vorhersagen über das Verhalten oder die Entwicklung des modellierten Wirklichkeitsausschnitts zu machen. Dass die Modellierung tatsächlich ein essentieller Aspekt vieler wissenschaftlicher Disziplinen ist, die jeweils spezifische Vorstellungen von der Art des Modellierens haben, wird gut im Artikel „Scientific modelling“ bei [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org) erläutert:

*Scientific modelling is a scientific activity, the aim of which is to make a particular part or feature of the world easier to understand, define, quantify, visualize, or simulate by referencing it to existing and usually commonly accepted knowledge. It requires selecting and identifying relevant aspects of a situation in the real world and then using different types of models for different aims, such as conceptual models to better understand, operational models to operationalize, mathematical models to quantify, computational models to simulate, and graphical models to visualize the subject.*

# Nützliche Modelle statt ultimativer Wahrheit?

Nach dem italienischen Mathematiker und Wissenschaftshistoriker [Giorgio Israel](#) (1945 – 2015) ist die Verwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung von Naturphänomenen ein relativ junges wissenschaftliches Prinzip; vor dem 20. Jahrhundert sei dies nicht üblich gewesen. In seinem Aufsatz „The Two Faces of Mathematical Modeling: Objectivism vs Subjectivism, Simplicity vs Complexity“ hebt Israel zunächst John von Neumanns „moderne“ These hervor, dass Naturwissenschaft nichts erklärt, sondern geeignete Modelle liefert: “The models are evaluated exclusively according to criteria of effectiveness. It does not matter how *true* they are, as long as they are *useful*.” Sodann erläutert er am Beispiel von Isaac Newton, dass das klassische Verständnis davon, was die Aufgabe der Wissenschaft sei, dem seinerzeit völlig entgegenstand:

“[Isaac Newton](#) [...] asserts that the main task of natural philosophy is to argue on the basis of the phenomena without framing hypotheses, and to infer causes starting from the effects until we reach the First Cause, which is certainly not mechanical. Natural philosophy – Newton adds – has the task not only of [explaining the mechanism of the world](#), but is fundamental to solve issues such as: what is there in places that are almost completely empty of matter, and whence it derives that the sun and the planets gravitate towards each other, without there being any dense matter between them? Whence comes it that Nature does nothing in vain; and whence derives all that order and all that beauty that we see in the world? What is the purpose of the comets, and whence comes it that the planets all move in one and the same way in concentric orbits, while the comets move in all kinds of ways in very eccentric orbits; and what prevents the fixed stars from falling upon each other? How is that the bodies of animals are designed so artfully, and what is the purpose of their numerous parts? Is it possible that the eye was constructed without a knowledge of optics, the ear of acoustics? How is it that the movements of the body derive from the will? [...] For Newton, [the guiding criterion is not usefulness but truth, the discovery of the causes](#), the *explanation* of the cause. [...] Newton’s famous aphorism *Hypotheses non fingo* [...] should be paraphrased as follows: [I don’t make models](#). I don’t use images or arbitrary conceptual constructions but seek the intimate truth of the facts.”

Für die [Hinwendung zu Modellen anstelle des Strebens nach der absoluten Wahrheit](#) macht Israel die Erfahrung mit der [modernen Physik](#) verantwortlich: “Research into the atomic and sub-atomic world led physics to abandon realism and to wonder less and less about the nature of the objects with which it was concerned, contenting itself to provide an effective and consistent formal representation of them: it is precisely in this context that [the term model begins to spread](#), above all with reference to the various *models of the atom* aimed at representing its properties and behavior without claiming to reflect its exact structure.”

# Modelle für Daten

*Dimostrando ciò con replicate esperienze, fatte dall'altezza del Campanile di Pisa con l'intervento delli altri lettori e filosofi e di tutta la scolaresca.*  
-- Vincenzo Viviani (1654), Racconto storico della vita del Sig. Galileo Galilei

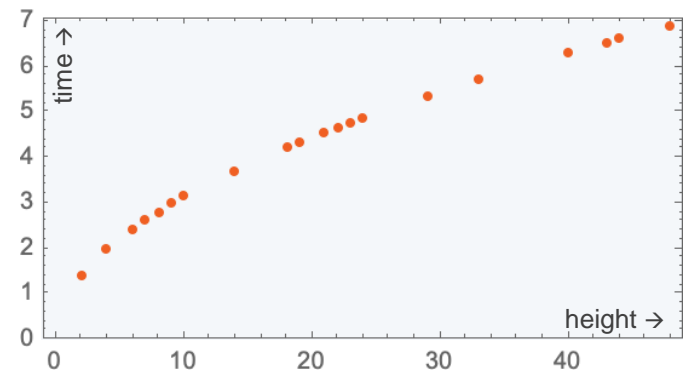
Bei experimentellen und empirischen Untersuchungen im Bereich von Naturwissenschaften und Technik stösst man regelmässig auf das Problem, dass man viele Daten gewonnen hat und für diese nun eine möglichst einfache (mathematische) **Gesetzmässigkeit sucht, die die Daten berechenbar macht**. Damit sind dann in gewisser Weise auch „Voraussagen“ möglich zu Punkten bzw. Situationen, zu denen man (noch) keine Daten gewonnen hat. Man sucht also nach einem (zunächst eher abstrakten bzw. rein mathematischen) **Modell**, das die Daten, und damit indirekt das dahinterliegende naturwissenschaftliche oder technische Phänomen **beschreibt** und somit in einem gewissen abstrakten Sinne auch „erklärt“. Meist genügt auch eine approximative Lösung.

Im Allgemeinen sucht man dann weiter nach dem tieferen Grund, wieso dieses mathematische Modell gut „passt“, also nach den inneren Mechanismen einer **Theorie, die das Modell begründet**. Aber auch wenn man solche Wirkungszusammenhänge nicht kennt, kann schon alleine das abstrakte Modell nützlich sein – darauf beruht der Erfolg des **maschinellen Lernens** in der Praxis.

Zur Erläuterung zitieren wir aus dem Abschnitt „**What is a Model?**“ von Stephen Wolframs Blog:

“Say you want to know (as Galileo did back in the late 1500s) how long it’s going to take a cannon ball dropped from each floor of the Tower of Pisa to hit the ground. Well, you could just measure it in each case and make a table of the results. Or you could do what is the **essence of theoretical science: make a model** that gives some kind of procedure for **computing the answer** rather than just measuring and remembering each case.

Let’s imagine we have (somewhat idealized) data for how long the cannon ball takes to fall from various floors:



<https://writings.stephenwolfram.com/2023/02/what-is-chatgpt-doing-and-why-does-it-work/>

# Modelle für Daten (2)

How do we figure out how long it's going to take to fall from a floor we don't explicitly have data about? In this particular case, we can use known laws of physics to work it out. But say all we've got is the data, and we don't know what underlying laws govern it. Then we might make a **mathematical guess**, like that perhaps we should use a **straight line** as a model:

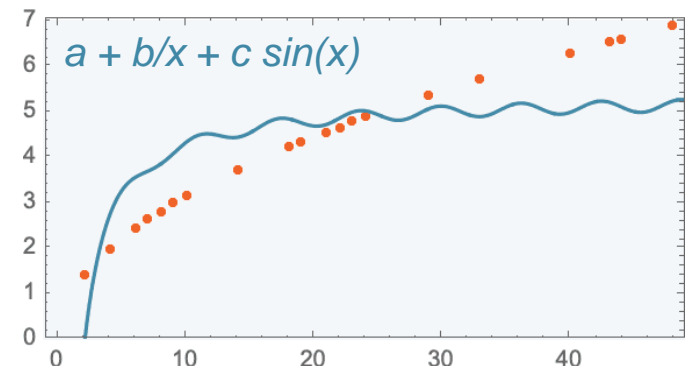
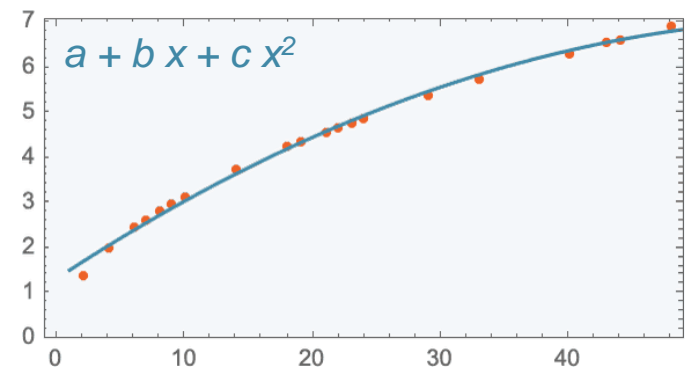
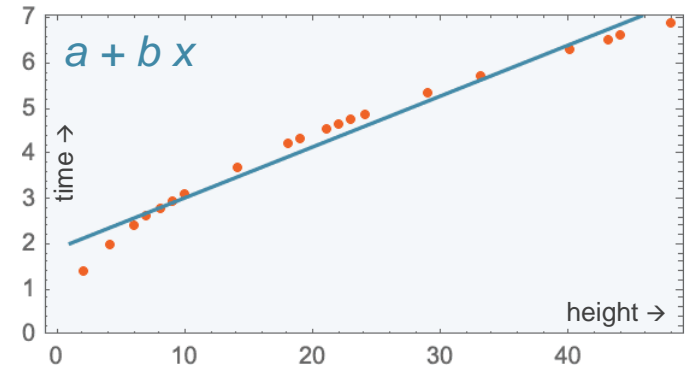
We could pick different straight lines. But this is the one that's on average closest to the data we're given. And from this straight line we can **estimate** the time to fall for any floor.

How did we know to try using a straight line here? At some level we didn't. It's just something that's mathematically simple, and we're used to the fact that lots of data we measure turns out to be well fit by mathematically simple things. We could try something mathematically more complicated – say  $a + b x + c x^2$  – and then in this case we do better:

Things can go quite wrong, though. Like here's the best we can do with  $a + b/x + c \sin(x)$ :

It is worth understanding that there's never a “model-less model”. Any model you use has some particular underlying structure – then a certain set of “knobs you can turn” (i.e. **parameters** you can set) **to fit your data.**”

*In diesem Sinne ist  $a + b x + c x^2$  ein gutes empirisches Modell für den Fall vom schiefen Turm von Pisa; und für natürlichsprachliche Texte stellt das trainierte neuronale Netz von **ChatGPT** ein grosses, komplexes Modell dar.*





# „Schräge“ Modelle

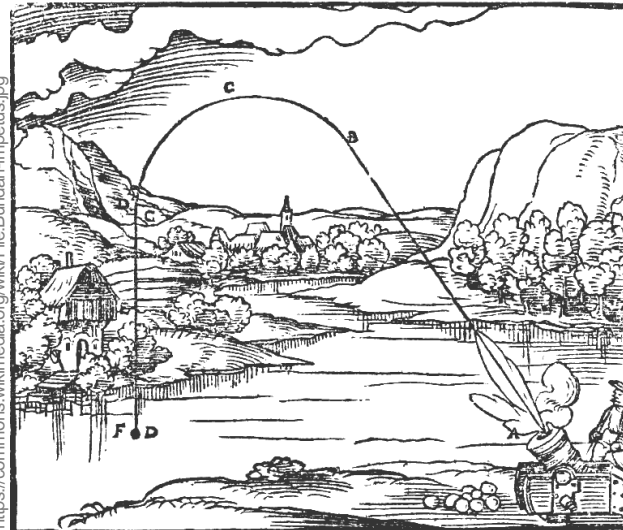
Die genaue Schärfe der Mathematik aber darf man nicht für alle Gegenstände fordern, sondern nur für die stofflosen. Darum passt diese Weise nicht für die Wissenschaft der Natur, denn alle Natur ist wohl mit Stoff verbunden. -- Aristoteles, Metaphysik

Ab dem 14. Jh. wurden Feuerwaffen immer bedeutender. Wo aber landet eine Kanonenkugel, und wie fliegt sie durch die Luft?

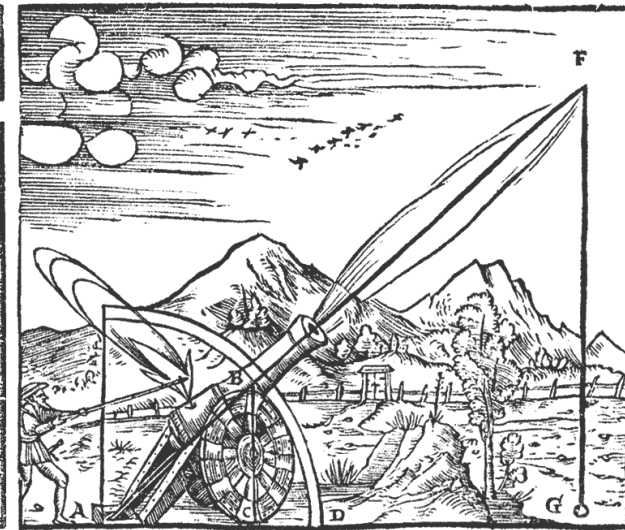
- \*) **Jean Buridan**, Philosoph, Physiker und Logiker im 14. Jh., postulierte, dass die Kugel bei Abschuss einen „Impetus“ erhält, der sie geradewegs vorantreibt. Ist dieser durch den Gegenwind aufgebraucht, fällt die Kugel nach einem kurzen Bogen senkrecht nach unten (Bild li.).

Der niederl. Mathematiker und Astronom **Daniel Santbech** approximierte im 16. Jh. Geschossbahnen durch rechtwinklige Dreiecke (Bild re.) – nicht weil sie tatsächlich aus einer geraden Linie sowie einem plötzlichen Abfall bestehen würden, sondern weil sich dann die Schussweite einfach aus dem Kosinus des Neigungswinkels der Kanone berechnen lässt.

Realistische **Ballistikmodelle** haben eine Vielzahl von Parametern; ihre Berechnung trieb die **Entwicklung der elektronischen Computer** im 2. Weltkrieg an.



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buridan-impetus.jpg>



[www.e-rara.ch/zur/content/fileinfo/63986](http://www.e-rara.ch/zur/content/fileinfo/63986)

§. 651. Wiltu wissen/ wie viel Zeit ein Mühlstein haben müsse/ ehe er vom Himmel auff die Erde fallen kan/ so setze/ daß er in einer Stunde 100. deutsche Meilen herunter fallen könne. (NB. Ein Feld-Stein oder Wolsack braucht gleichwohl geraume Zeit/ ehe er von einem hohen Thurme herunter kömmet.) Setze aber den Fall/ ein Mühlstein fiel 100. Meilen in einer Stunde. Zehle nun 4000. semidiametros terræ oder 12026000. teutsche Meilen von der Erde bis zum Firmament/so mustu solche Zahl durch 100. dividiren/und denn hast du 120260. Stunden. Dividire die abermals mit 24. so kommen 5010. Tage und 20. Stunden heraus. Wiltu ferner wissen/ wieviel solche Tage gemeine Jahre machen/so dividire sie mit 365. so werden 13. Jahr 265. Tage und 20. Stunden seyn.

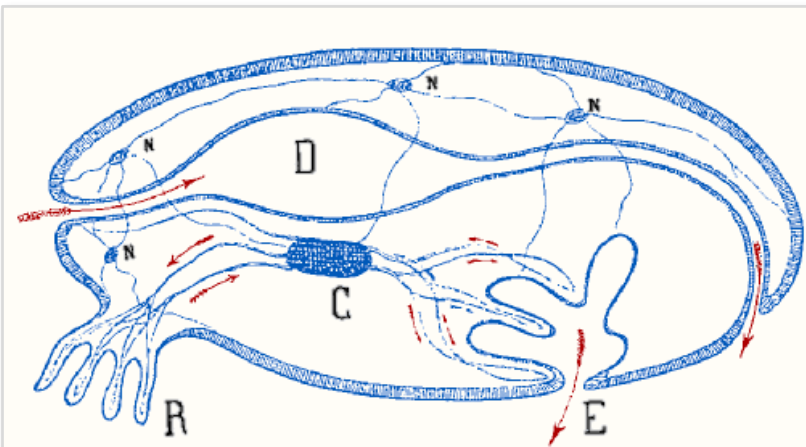
§. 651. Wiltu wissen / wie viel Zeit ein Mühlstein haben müsse / ehe er vom Himmel auff die Erde fallen kann / so setze / daß er in einer Stunde 100. deutsche Meilen herunter fallen könne. (NB. Ein Feld-Stein oder Wolsack braucht gleichwohl geraume Zeit / ehe er von einem hohen Thurme herunter kömmet.) Setze aber den Fall / ein Mühlstein fiel 100. Meilen in einer Stunde. Zehle nun 4000. semidiametros terræ oder 12026000. teutsche Meilen von der Erde bis zum Firmament / so mustu solche Zahl durch 100. dividiren / und denn hast du 120260. Stunden. Dividire die abermals mit 24. so kommen 5010. Tage und 20. Stunden heraus. Wiltu ferner wissen / wieviel solche Tage gemeine Jahre machen / so dividire sie mit 365. so werden 13. Jahr 265. Tage und 20. Stunden seyn.

Aus „Das Einmahl Eins Cum → Notis Variorum“, 1703, anonym.

\*) Bekannt durch „Buridans Esel“

# Abstrakte Modelle in der Biologie – Paul Bert

Modelle im Sinne **idealtypischer Abstraktionen** tauchen schon im 19. Jahrhundert in der **Biologie** auf, allerdings ohne sie so zu bezeichnen. So präsentierte etwa der französische Physiologe **Paul Bert** (1833 – 1886), Professor an der Pariser Sorbonne, 1881 in seinem Lehrbuch „Leçons de zoologie“, das seine Vorlesungen im Rahmen des „enseignement secondaire des jeunes filles“ zusammenfasst, ein „**theoretisches Tier**“, das nach dem Vorbild vieler Tiere konstruiert ist und nur deren wesentliche Gemeinsamkeiten enthält. Von allen Spezifika der konkreten einzelnen Tiere wird dabei abstrahiert.



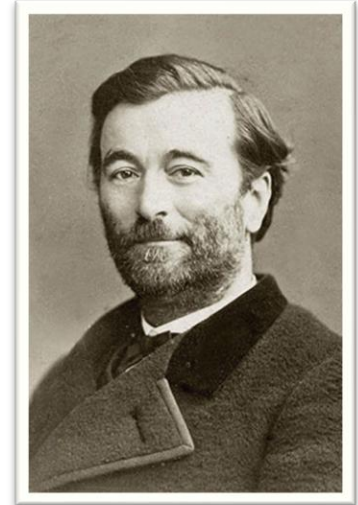
Das allgemeine Modell eines Tieres nach Paul Bert (im Original monochrom); N bezeichnet den Nervenapparat.

Er schreibt dazu: „...pour que nous nous fassions une **idée générale** de la constitution du corps d'un animal. Nous pouvons même, **par la pensée**, créer de toutes pièces un **animal théorique**. Quelle que soit la forme que nous lui supposons, [...] notre animal théorique possèdera des appareils de Digestion (D), de Respiration (R), de Circulation (C), d'Excrétions (E), qui réaliseront sa Nutrition. [...] Tous les animaux qui peuplent la terre ne sont que des modifications de notre animal théorique.“ Obwohl das „theoretische Tier“ aus heutiger Sicht klar ein **Modell** darstellt, bezeichnet Bert es nicht mit diesem Begriff – offenbar waren Modelle seinerzeit eher materielle Objekte oder aber Vorbilder bzw. Muster, aber keine erfundenen Gedankenkonstrukte!

Gegen Ende seines Lehrbuchs, das nur die allgemeinen Grundlagen der Physiologie behandelt, kommt Paul Bert auf ein Thema der Folgevorlesungen zu sprechen; „Nous devons aussi nous occuper des **racés humaines**, toutes construites sur le même **modèle anatomique**, mais cependant assez différentes les unes des autres.“ Hier also nun doch die Vokabel „modèle“ – offenbar in der Bedeutung „Muster“. Aber die Aussage des Satzes, dass die menschlichen Rassen „ziemlich unterschiedlich“ sind, wird Paul Berts Andenken, mehr als 100 Jahre nach seinem Tod, dann ziemlich schaden. →

# Abstrakte Modelle in der Biologie – Paul Bert (2)

In seinem späteren Lehrbuch „La deuxième année d’enseignement scientifique“ geht Paul Bert auf den Menschen ein. Er schreibt in der Einführung: „Tous les **hommes ne sont pas identiques** à ceux de ce pays-ci. Déjà, dans notre petit village, il y a des blonds et des bruns qui sont assez différents les uns des autres. Vous savez qu’un Flamand, grand et blond, ressemble encore moins à un provençal, petit et très brun. Un Allemand et un Italien sont encore plus dissemblables. [...] Les Nègres ont la peau noire, les cheveux frisés comme de la laine, [...] ils sont bien moins intelligents que les Chinois, et surtout que les Blancs.“



Dass Paul Bert die heiklen Begriffe „Rasse“ und „Neger“ verwendet, sticht heute sofort ins Auge; dies waren seinerzeit allerdings keine abwertenden, sondern vollkommen übliche Wörter. Was ihm heute jedoch gelegentlich als rassistisch vorgeworfen wird, ist, dass er – wie selbstverständlich – „die Weissen“ in der Intelligenz über die anderen stellt. Dagegen wird oft argumentiert, dass es sich hier eher um eine damals weit verbreitete Form von **Ethnozentrismus** handeln würde. Seinerzeit wurden beispielsweise in Geographie- und Schulbüchern des zentralistischen Frankreichs auch die Eigenarten und (vorgeblichen) Makel verschiedener „randständiger“ Bevölkerungsgruppen aus der Bretagne oder der Provence explizit thematisiert.

Jedenfalls wurden in letzter Zeit Stimmen in Frankreich laut, Strassen und Schulen, die nach Paul Bert benannt sind, umzubenennen. Dass noch 2010 fast 200 Schulen in Frankreich seinen Namen trugen, liegt nicht nur daran, dass Paul Bert ein bedeutender Wissenschaftler war (von ihm stammen wichtige Erkenntnisse zur **Wirkung des Luftdrucks** auf den menschlichen Körper, was u.a. Grundlagen für das Gerätetauchen lieferte und Ballon-

# Abstrakte Modelle in der Biologie – Buffon

fahrten in grosser Höhe ermöglichte), sondern vor allem, dass er als französischer Bildungsminister den obligatorischen kostenlosen Schulunterricht einführte, die Bildung von Mädchen förderte und die staatlichen Schulen dem kirchlichen Einfluss entzog.

Konkret wurde 2009 in Levallois-Perret, einem Nachbarort von Paris, die **école Paul-Bert umbenannt** nach dem bedeutenden Naturforscher **Buffon** (1707-1788). Dies macht die Sache allerdings kaum besser: Buffon veröffentlichte 1749 seine „Naturgeschichte“ („Histoire naturelle générale et particulière“). Darin unterteilte er als anerkannter zoologischer Klassifikator Menschen nach Kriterien wie Farbe, Gestalt / Grösse und „natürliche Eigenschaften“; die Afrikaner werden bei ihm etwa charakterisiert als „grands, gros, bien faits, mais niais et sans génie“.



Buffon verwendet zwar nicht die heute kritisch wahrgenommenen Vokabeln „Rasse“ oder „Neger“ wie Paul Bert, unterscheidet (d.h. „diskriminiert“) inhaltlich jedoch in gleicher Weise die höhere Intelligenz zivilisierter Menschentypen von der geringeren Intelligenz der „Wilden“. In einem Kapitel über die Biber meint er etwa, dass diese einen Schimmer von Intelligenz („une lueur d’intelligence“) in ihrem Sozialverhalten zeigten, zwar nicht vergleichbar mit zivilisierten Menschen, aber „telle qu’elle existe [...] dans la société naissante chez les hommes sauvages, laquelle seule peut, avec équité, être comparée à celle des animaux.“

Weiter schreibt Buffon (wir zitieren hier die deutsche Ausgabe von 1752): „Der gemässigte Himmelsstrich erstreckt sich vom vierzigsten bis zum fünfzigsten Grade. In dieser Gegend befinden sich die schönsten und bestgebildeten [les mieux faits] Leute; unter diesem Himmelsstriche muss man

# Abstrakte Modelle in der Biologie



Denkmal zu Buffon im Jardin des Plantes, Paris (Buffon war Direktor dieses damaligen königlichen botanischen Gartens)

sich auch einen Begriff von der wahren natürlichen Farbe des Menschen machen; hier muss man das **Muster** [modèle] nehmen, nach welchem man alle anderen Schattierungen der Farbe und der Schönheit zu beurtheilen hat; [...] Die gesitteten Länder in diesem Erdstriche sind Georgien, Circasien, die Ukraine, die europäische Turkey, Ungarn, das südliche Deutschland, Italien, die Schweiz, Frankreich und der nördliche Theil von Spanien. Alle Völker in diesen Ländern sind auch die schönsten und bestgebildeten auf der ganzen Erdkugel.“ (Nicht England!)

Hier taucht bei Buffon das Wort „**modèle**“ im Sinne von „Ideal“, „Leitbild“ oder „Vorbild“ auf; in der zeitgenössischen deutschen Version nicht mit „Modell“, sondern mit „Muster“ übersetzt. Offenbar tummeln sich im Modellbegriff einige subtile Bedeutungsvarianten; wir begeben uns auf nachfolgenden slides daher hinunter auf Wörterbuchniveau.

Die mustergültigen „Modellmenschen“ sind jedenfalls diejenigen, die Franzosen und Französinen nicht ganz unähnlich sind. Bei allem Respekt vor Buffons grossartiger wissenschaftlicher Leistung kann man also wohl auch bei ihm eine implizite Neigung zum klassischen weissen **Ethnozentrismus** feststellen; insofern war die Umbenennung der Paul-Bert-Schule in „*école primaire Buffon*“ keine nachhaltige Heldentat...

# Die Kraft der Modellierung

Models as part of our descriptive practices, therefore, make a contribution to the construction of reality. -- John Monk

Modellierung ist das uns angeborene Verfahren, das komplexe Universum auf eine überschaubare Welt zu reduzieren. Indem wir sichtbare und unsichtbare Phänomene auf *Begriffe* abbilden und nur noch mit diesen umgehen, wird die Gesamtzahl der zu betrachtenden Gegenstände beherrschbar, und wir werden in die Lage versetzt, *Erfahrungen* zu sammeln, *generische Urteile* (mit negativer Konnotation als *Vorurteile* bezeichnet) quasi auf Vorrat zu fällen und allgemein Strategien zu entwickeln, um mit der realen Welt zurecht zu kommen.

Damit bildet die Fähigkeit zur Modellierung, zur Abstraktion und zur Konkretisierung, einen zentralen Teil unserer menschlichen Grundausrüstung. Anders als angeborene Instinkte und Reflexe versetzen uns die Modelle in die Lage, zu *lernen* und die Welt in jeder Hinsicht zu erobern. Die für den Menschen charakteristische Fähigkeit zur *Reflektion* ist unmittelbar daran geknüpft.

In der *Abstraktion*, die mit der Schaffung von Modellen stets verbunden ist, liegt ihre Stärke: Das Modell gilt nicht nur für einen einzigen konkreten Gegenstand, für ein einziges Phänomen, sondern für mehrere, unbegrenzt viele, für eine *Klasse* von Gegenständen. [...]

Während wir leben, also agieren und reagieren, setzen wir fortwährend Modelle ein. Das geschieht in aller Regel unbewusst. Anders in der *Wissenschaft*. Hier wird die Entwicklung von Modellen thematisiert und zum eigentlichen Zweck der Forschung erhoben. Das Resultat einer Forschung ist in jedem Falle ein Modell, eine *Theorie*. [...]

Eine ähnliche Rolle spielt die Modellierung in der *Technik*. Hier unterstützt das Modell die Entwicklung von *Artefakten*.

-- Jochen Ludewig

# Modelle als Mittel zur Interpretation und Veränderung der Welt

„On Interpreting the World“ und „On Changing the World“ – so lauteten die beiden Teile der Vorlesung von Noam Chomsky zu Ehren von Bertrand Russell am Trinity College, Cambridge, 1971.

## ■ Deskriptive (beschreibende) Modellierung

Modell ist Abbild

- Modellierung eines existierenden Originals / Realitätsausschnitts
- Beispiele: Stadtplan; Pandemiemodell
- *Sei realitätstreu bzgl. relevanter Aspekte!*

## ■ Präskriptive (vorschreibende) Modellierung

Modell ist Vorbild

- Modellierung eines zu schaffenden realen Objekts
- Beispiele: Konstruktionszeichnung; Architekturmodell
- *Nutze Gestaltungsspielraum verantwortungsvoll!*

Ein Modell kann zugleich deskriptiv und präskriptiv sein: Wenn eine Konstruktionszeichnung bei der Produktpionage entsteht, handelt es sich zunächst um ein deskriptives Modell, später kann es für den Nachbau als präskriptives Modell verwendet werden.

## ■ Pragmatik: Modellierung orientiert sich am Zweck

- Das Erstellen von Modellen ist keine wertfreie Tätigkeit: ein deskriptives Modell verkörpert eine Realitätsinterpretation
- Die Wahrnehmung der Realität wird durch deskriptive und mentale Modelle bestimmt
- Deskriptive Modelle können (evtl. mit Absicht) einen falschen Eindruck erwecken (→ gezielte Verkürzung von Eigenschaften des Originals durch Abstraktion und Idealisierung)
- Präskriptive Modelle bezwecken eine Realitätsveränderung → induziert Verantwortung

Philosophische Fragen:

- Ist Erkenntnis Modellbildung?
- Gibt es objektive Erkenntnis?

# Ein Modell im amerikanischen Kongress

Das **amerikanische Repräsentantenhaus** beschäftigte sich **1853** mit der Frage, **was ein Modell sei**, und ob etwas, das „faktisch“ kein Modell *ist*, dennoch als Modell *dienen* kann.

Die Sache ist etwas skurril. Das Gaswerk von Philadelphia („Philadelphia Gas Works“) beschwerte sich, dass es für ein 1846 aus England eingeführtes **„Modell“ eines Gasbehälters** nach dem neuartigen Teleskop-Prinzip über 1700 Dollar Zoll bezahlen musste, und zwar für denjenigen Teil der Fracht, der über Philadelphia eingeführt wurde, während der andere Teil, der in New York ankam, entsprechend der Kongress-Verordnung über „models of machinery, and improvements in the arts“ zurecht zollfrei blieb. Das Gaswerk wollte die Zollgebühren über das Parlament zurückbekommen.



Es entspannte sich im Repräsentantenhaus eine längere Diskussion, bei der der zuständige Abgeordnete von Pennsylvania, Joseph Chandler, als Fürsprecher für die Gasanstalt agierte. Er machte geltend, dass nach diesem Modell inzwischen mehrere Gasspeicher in den USA gebaut wurden, was dazu beitrug, die Gaskosten zu reduzieren. Ihm wurde entgegengehalten, dass das Gaswerk den importierten Speicher „als Maschine“ produktiv einsetze, und somit zurecht Zoll dafür zu bezahlen war.

Chandler gab an, dass das Gaswerk von Philadelphia selbst mehrere Kopien des Speichers verwendet, er könne aber nicht sagen, ob darunter auch das importierte „Modell“ sei. Der Abgeordnete James Henry Duncan, Repräsentant von Massachusetts, lieferte sich daraufhin ein längeres Reduell mit John Freeman, dem Repräsentanten von Mississippi, über Grundsatzfragen wie z.B., **ob ein Modell auch eine fertige, produktive Maschine sein könne**. Hier ein Ausschnitt:



# Not a model, but serves as a model

Mr. FREEMAN. Was the machine a model at all? Was not the original machine itself entirely completed, and did it not go into practical service? That is what I understand the gentleman to admit.

Mr. DUNCAN. I presume that was the fact.

Mr. FREEMAN. Then it was not a model of the machine.

Mr. DUNCAN. Every machine is a model of every other machine of the same kind.

Mr. FREEMAN. A model in our Patent Office is technically named. It is not the machine prepared to go into actual operation, but a model of that machine.

Mr. DUNCAN. I said, in my remarks, that technically it did not come under the description of a model, but in fact it is a model by which all other machinery of the same kind, since its importation, have been and can be made.

Mr. FREEMAN. Is not every machine a model after which other machines may be made?

Mr. DUNCAN. Of course every new machine is a model after which other machines may be made.

Mr. FREEMAN. Is it not true, that it was not a model, according to the terms of our revenue law, and was not used?

Am Ende des Rededuells kommt Freeman zu der Erkenntnis: „It was not a model in fact, but served as a model“.

Wohl ohne dass er sich dessen bewusst war, hat John Freeman damit eine grundsätzliche Tatsache formuliert: Etwas (ein konkretes Ding, oder aber z.B. auch eine mathematische Formel) ist nicht ein Modell aufgrund irgendwelcher modelltypischen Charakteristika, die ihm zukommen. Sondern etwas, tatsächlich wohl „irgendetwas“, kann für einen gewissen Zweck oder in einem bestimmten Kontext als Modell dienen – in einer anderen Situation kommt diesem „etwas“ dann aber evtl. nicht mehr die Modelleigenschaft zu. Es gibt nicht das „Modell an sich“!

Wie ging die Sitzung des Repräsentantenhauses aus? Es entspannte sich eine abschliessende Diskussion unter den Abgeordneten, bei der einer etwas sarkastisch bemerkte: „Because they had good luck in the custom-house at New York, they now desire good luck in this House for the purpose of having the entire duties remitted“. In der Schlussabstimmung entschieden sie sich mehrheitlich gegen eine Erstattung der Zollgebühren.

Ob sich davon wohl Samuel Beckett für seine Dialoge inspirieren liess?

# Sind Attrappen Modelle? Dienen sie als Modelle?



Attrappe eines Polizeifahrzeugs an der E30 in Bialgrze, Polen, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dummy\\_of\\_a\\_police\\_car.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dummy_of_a_police_car.jpg), CC BY-SA 3.0

Diese **Attrappe** eines Polizeifahrzeugs sieht einem echten Polizeiauto von Weitem täuschend ähnlich – und das Täuschen mit einem „auf Irreführung abzielender Gegenstand“ ist hier tatsächlich der Zweck der Übung!

Eine Attrappe ahmt wesentliche, aber nicht alle Eigenschaften eines „Originals“ nach – insofern ähnelt es dem Modellbegriff. Aber eine Attrappe dient nicht als Vorbild, auch kann man mit einer Attrappe kaum etwas anfangen, um Eigenschaften des imitierten Originals zu ermitteln.

Allerdings verschwimmen die Begriffe „Attrappe“ und „Modell“ beim „**Mock-Up**“

bzw. Anschauungs- oder Vorführmodell: Dies dient als „augenscheinliche Nachbildung“ dazu, das Design oder die Funktionalität eines (meist noch nicht realisierten) Objekts „täuschend echt“ zu veranschaulichen; im Unterschied zu einem **Prototyp** ist ein „Mock-Up“ jedoch nicht prinzipiell funktionsfähig.

# Simulierte Panzer

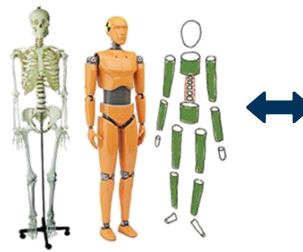


Attrappen von Kampfpanzern und anderem militärischem Gerät waren schon immer beliebt, um Aufmerksamkeit und Feuer des Gegners auf falsche (sowie billige) Ziele zu lenken. Legendär sind insbesondere die aufblasbaren Panzer. „Der Spiegel“ zitiert den Weltkriegsveteranen Jack Masey von der amerikanischen Spezialeinheit, die intern „The Ghost Army“ genannt wurde: „Niemand, unter keinen Umständen durften wir den Panzer hochheben und über eine Straße tragen. [...] Bei jedem kleinen Manöver mussten wir die Luft rauslassen, alles in Rucksäcke packen und an anderer Stelle wieder aufblasen.“ [...] Manchmal, so berichtet Masey, mussten die Soldaten Fahrradpumpen nehmen. Oder die **Panzer stundenlang mit dem Mund aufpusten**. [www.spiegel.de/geschichte/geheime-kriegstaktik-a-948841.html](http://www.spiegel.de/geschichte/geheime-kriegstaktik-a-948841.html)



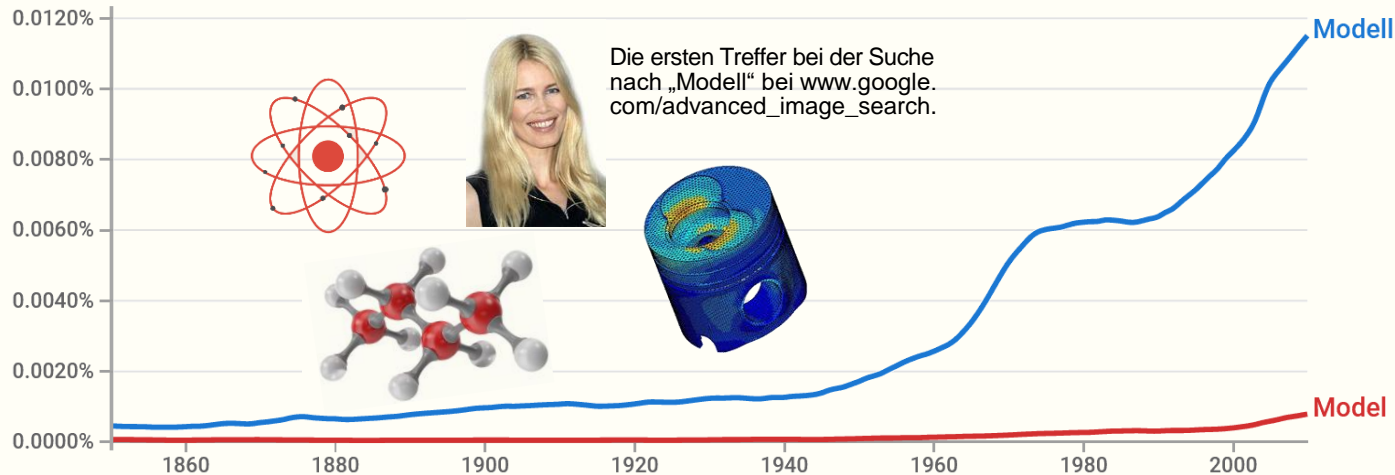
Li ob: <https://image.stern.de/8114550/ty3/v3/w1440/r0/-dday-strecke-16-jpg-420de15853a9a242-jpg> Li un: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aircraft\\_preparation\\_-\\_S-300\\_SAM\\_mock\\_up\\_\(3\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aircraft_preparation_-_S-300_SAM_mock_up_(3).jpg) Re: <https://images.t-online.de/2023/01/NP9bCqkHQlsV/287x0:2037x2037/fit-in/1800x0/russische-soldaten-steinen-neben-einem-aufblasbaren-panzer-archivbild-solche-attrappen-sollen-jetzt-auch-in-der-ukraine-aufgetaucht-sein.jpg>

# Modell ↔ Model?



Modelle von Menschen vs. Menschen als Modelle bzw. Modells?

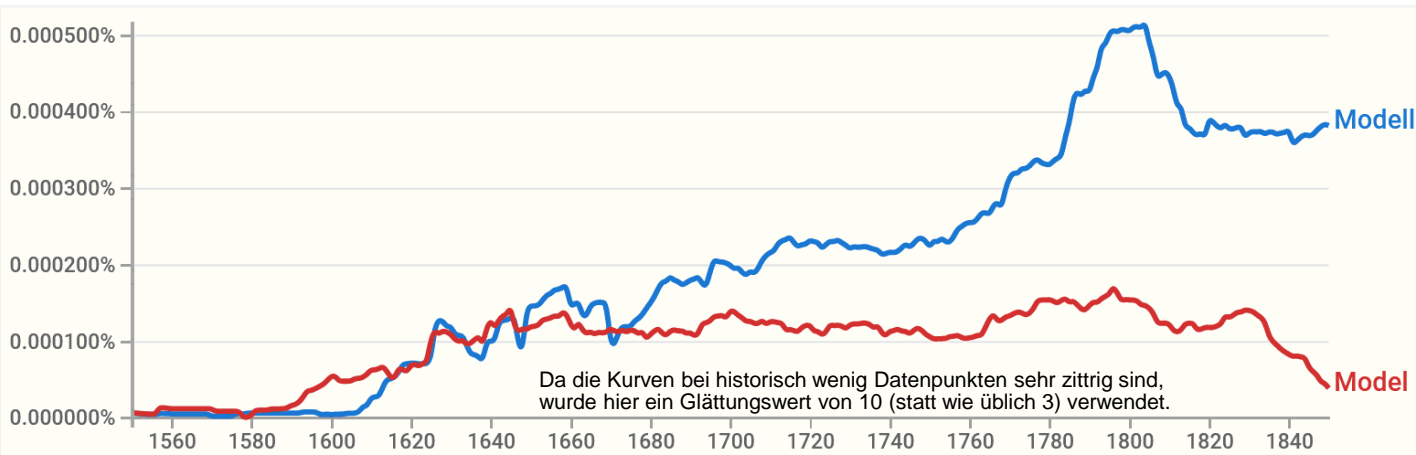
„Die englische Variante (gesprochen: ‚moddl‘) kam – wie so oft – später dazu, um unsere Sprache an einer Stelle zu bereichern, die schon reich genug war.“ -- [www.spiegel.de](http://www.spiegel.de)



Was hat das **Modell** mit dem **Model** zu tun? Handelt es sich im Prinzip um das gleiche Wort? Gibt es z.B. im Englischen oder Französischen auch zwei Wörter dafür?

Die Wortverlaufskurve oben lässt anfänglich vermuten, dass es sich bei „Model“ um einen, vielleicht aus dem Englischen, übernommenen „modischen“ Terminus der 1960er-Jahre handelt. Aber blickt man mikroskopisch genau auf die Zeit vor 1850 (unten), dann scheint die Sache doch komplizierter zu sein...

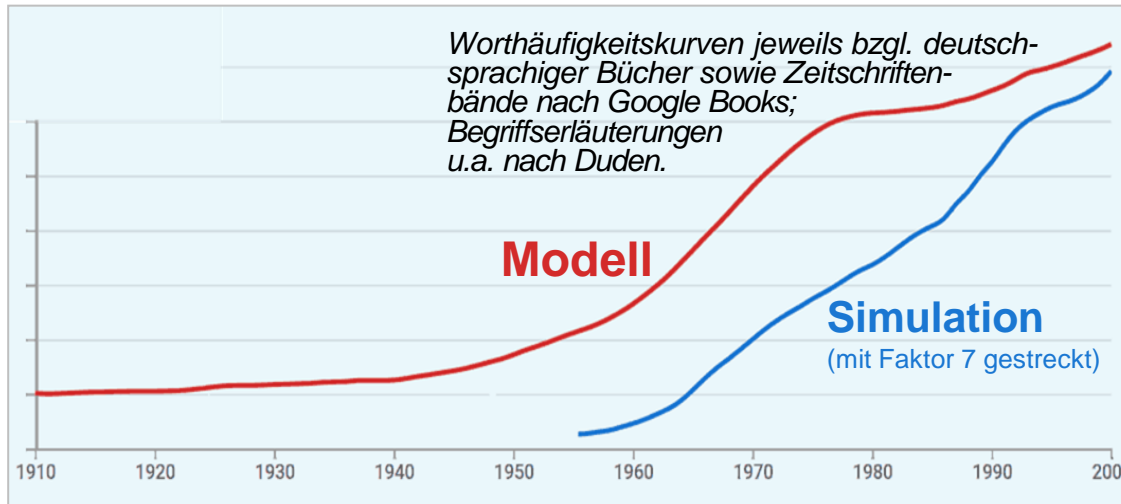
→ Wir konsultieren ein Wörterbuch! →



# Modell und Model

## Wörterbuch-Erläuterung

Few terms are used in popular and scientific discourse more promiscuously than 'model'. A model is something to be admired or emulated, a pattern, a case in point, a type, a prototype, a specimen, a mock-up, a mathematical description – almost anything from a naked blonde to a quadratic equation – and may bear to what it models almost any relation of symbolization. -- Nelson Goodman (Languages of Art, 1968)



Von lat. *modulus* (Verkleinerungsform von *modus* »Mass, Mass-Stab, Menge, Art und Weise« → daraus etwa auch »Mode« oder »modern«) stammt **Model**, als »Mass, Form, Muster«, das durch »Modell« zurückgedrängt wurde und heute nur noch in der Handwerkerfachsprache (eine Hohlform für Gusserzeugnisse, Druckform oder Backform) lebendig ist, ferner in dem abgeleiteten Verb

**modeln**, »gestalten, in eine Form bringen« (vgl. dazu engl. [*to*] *mold* / *mould*: formen, modellieren bzw. [Guss-] Form; vgl. auch »ummodelln« im Sinne von »ändern, umgestalten«). *Modulus* im Sinne von »kleiner Mass-Stab« gab **Modell** als Synonym für »Entwurf, Vorbild, Muster, Prototyp« (aus ital. *modello* um 1600) die Bedeutung einer **Simplifikation unter Beibehaltung der Proportionen**. Im Laufe der Zeit nahm »Modell« auch die Bedeutung »Referenzobjekt« und schliesslich »zu imitierendes Ideal« an. Der Wortgebrauch im wissenschaftlich-technischen Sinne wurde erst im 20. Jahrhundert üblich. Gleichfalls von lat. *modulus* stammt engl. *module*, aus dem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts unser **Modul** mit der Bedeutung »Bau- oder Schaltungseinheit« übernommen wurde; im 21. Jahrhundert wurde dann »Lernmodul« populär.

»Modell« bezeichnet im engeren Sinne auch eine Person (franz. *modèle vivant*), die Künstlern als Vorbild dient (→ *Modell stehen*; *Aktmodell*);



<http://marc.verat.pagesperso-orange.fr/Les-annees-Beaux-Arts.htm>

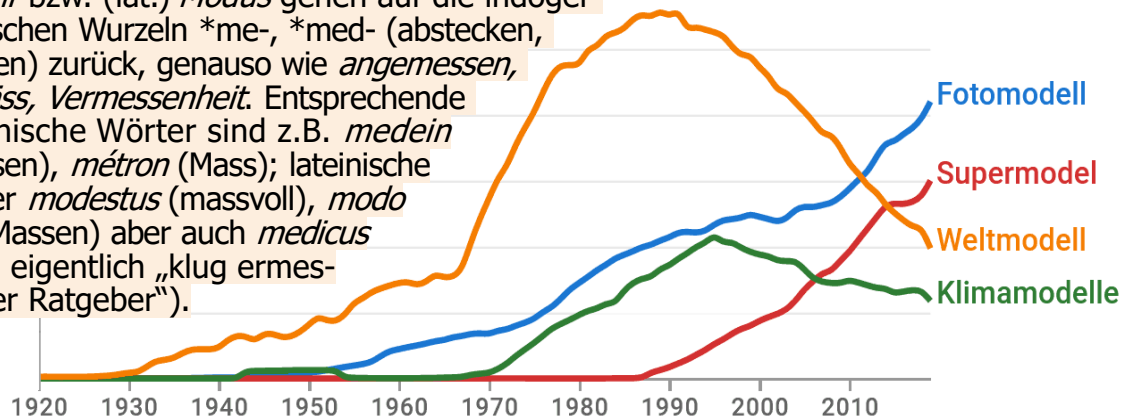
# Modell und Model (2)

## Wörterbuch-Erläuterung

Eine Person, die sich aus künstlerischen oder kommerziellen Gründen abbilden oder filmen lässt oder etwas präsentiert, ohne durch ihre Handlungen eine besondere Schöpfungshöhe zu erfüllen. -- de.wikipedia.org/wiki/Model

ab den 1960er-Jahren nannten sich zunehmend auch Mannequins, Vorführdamen und Fotomodelle so. In den 1970er-Jahren geriet die Berufsbezeichnung »Modell« allerdings zunehmend in Verruf, da sich immer häufiger Callgirls mit Zeitungsinseraten wie »Kitty, Fotomodell, hat noch Termine frei f. d. seriösen Herrn« [Frankfurter »Abendpost«, 1974] als »Modelle« ausgaben (ab ca. 2010 substituiert durch »Escort«, sodass »Modell« seine verhüllende Nebenbedeutung wieder verlor). Auch deswegen wurde in den 1990er-Jahren das aus dem Englischen übernommene und zur selben Wortfamilie gehörende **Model<sub>2</sub>** (mit englischer Aussprache, also wie *moddl*) gebräuchlich. Hiervon wurde das Verb **modelln<sub>2</sub>** »als Model<sub>2</sub> bzw. Fotomodell arbeiten« abgeleitet.

*Modell* bzw. (lat.) *Modus* gehen auf die indogermanischen Wurzeln \*me-, \*med- (abstecken, messen) zurück, genauso wie *angemessen*, *gemäss*, *Vermessenheit*. Entsprechende griechische Wörter sind z.B. *medein* (messen), *métron* (Mass); lateinische Wörter *modestus* (massvoll), *modo* (mit Massen) aber auch *medicus* (Arzt, eigentlich „klug ermesender Ratgeber“).



Die **Bedeutungsvielfalt**, die das Wort „Modell“ besitzt, erkennt man auch daran, welche **Übersetzungen** ins Deutsche (je nach Kontext) französischsprachige und englischsprachige Wörterbücher für „*modèle*“ bzw. „*model*“ aufzählen; hier eine Auswahl:

**Substantive:** *Modell, Vorbild, Urbild, Urform, Archetypus, Leitbild, Muster, Musterbeispiel, Schablone, Vorlage, Template, Beispiel, Bauart, Baureihe, Version, Typ, Marke.*

### In Zusammensetzungen:

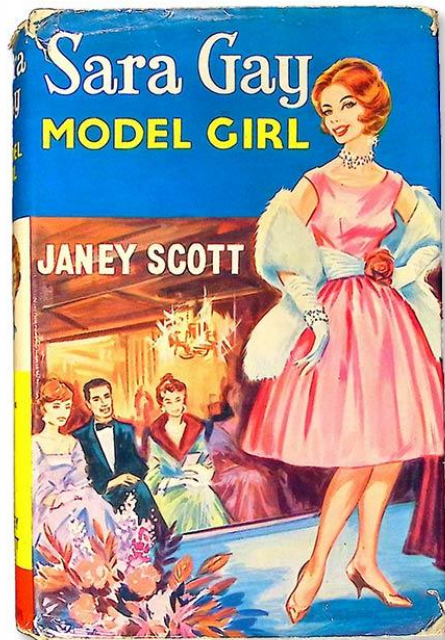
*Muster-* (z.B. Musterknabe, Musterbetrieb, Musterschüler, Musterbeispiel, Musterstück, Musterkollektion), *-muster* (z.B. Schnittmuster, Strickmuster, Gebrauchsmuster, Geschmacksmuster), *-vorlage* (z.B. Dokumentvorlage, Zeichenvorlage, Bastelvorlage), *-form* (z.B. Bauform), *-ausstattung* (z.B. Sonderausstattung), *-ausführung* (z.B. Standardausführung), *-anfertigung*, *-stück*, *-beispiel*, *-exemplar*, *-schema*, *-konzept*.

### Als Eigenschaft:

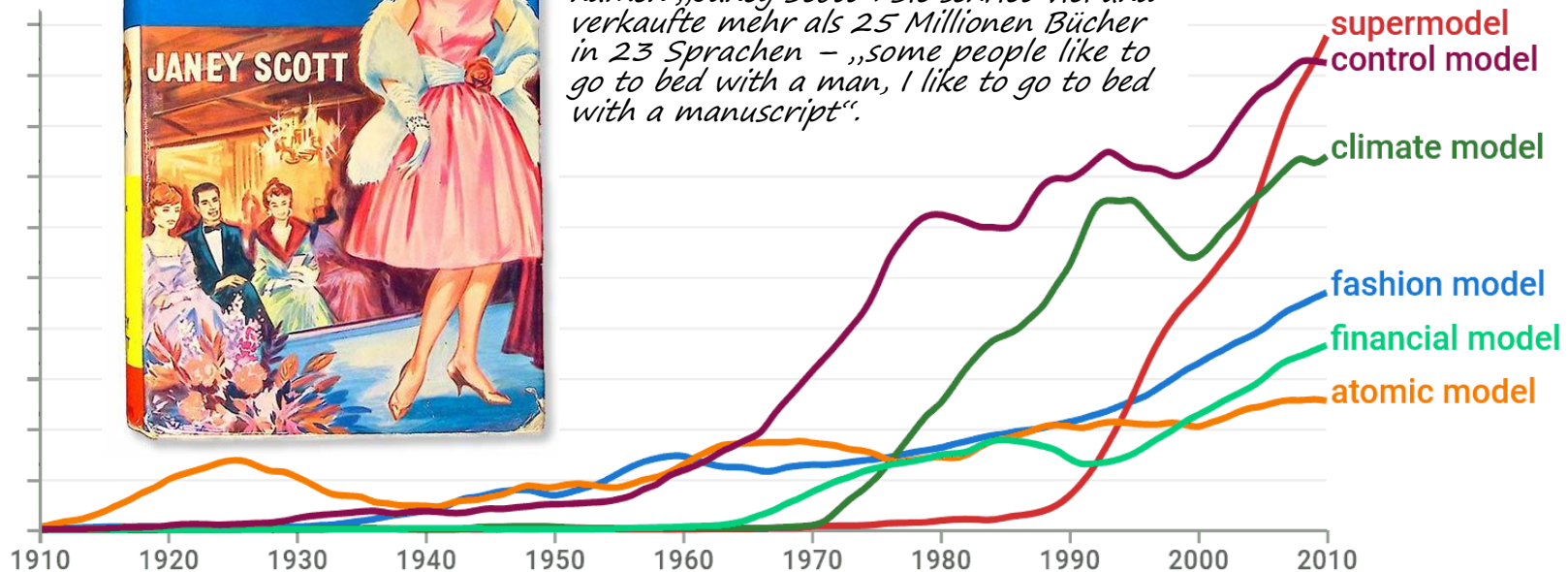
*mustergültig, musterhaft, vorbildlich, typisch, ideal, nachahmenswert, beispielhaft, beispielgebend.*

# Das 20. Jahrhundert – ein „Modelljahrhundert“

Der **Modellbegriff** wurde im Verlaufe des 20. Jh. sehr populär; es tauchten auch ganz neue Modell-Arten auf. Zu den „**fashion models**“ schrieb Erika Lunding: „Since the 1960s, the fashion model has become an iconic cultural presence, with a virtually mythological influence on contemporary as well as girl culture. The description of fashion models has taken on an increasingly celestial tone since the 1960s advent of Jean Shrimpton, Twiggy, and the contemporaneous Sara Gay novels, and especially since the 1990s, with the arrival of the supermodels.“



„Model Girl“ erschien 1961 und richtete sich an Mädchen; im gleichen Jahr erschienen noch drei weitere „Sara Gay“-Bücher. Autorin ist Rita Lewin (geb. Schulman, 1926 – 2014) mit dem Künstlernamen „Janey Scott“. Sie schrieb viel und verkaufte mehr als 25 Millionen Bücher in 23 Sprachen – „some people like to go to bed with a man, I like to go to bed with a manuscript“.



# Model<sub>1</sub>



**Model** := In verschiedenartigsten Materialien gestochene, geschnittene oder gegossene Negativ- bzw. Hohlform zur seriellen Reproduktion von Gusserzeugnissen; auch von Backwaren mit ornamentalen / figürlichen Motiven. Vgl. engl. „mould“ / „mold“: „Gussform“ etc.

Alter *Backmodel* aus Hartholz, Ende des 19. Jh., 35 cm × 13.5 cm × 2.8 cm. Motiv: Heiliger *Nikolaus von Myra* als Bischof. Das Modelstechen gehörte lange Zeit zum Handwerk von Konditoren und Zuckerbäckern.

Der von der Orthodoxen Kirche hoch verehrte hl. Nikolaus wirkte in der ersten Hälfte des 4. Jahrhunderts als Bischof von Myra in Kleinasien (heute in der Türkei, etwa 100 km südwestlich von Antalya). Er ist ein begehrter **Schutzpatron** – u.a. für die Seefahrer, Kaufleute, Studenten, Liebenden, Diebe, Prostituierten, die Stadt Fribourg und für Kinder. Die **Kinder im Fass** zu seinen Füßen im Backmodel-Motiv symbolisiert dies; es handelt sich um ein häufiges Bildmotiv in Verbindung mit dem hl. Nikolaus, das auf einer der zahllosen Legenden um seine Person beruht. (Wegen des häufig abgebildeten Fasses wäre Nikolaus fast auch noch Schutzpatron der Bierbrauer geworden!) Aus dem Schutzpatronat für Kinder leitet sich das heutige Brauchtum am Gedenktag des hl. Nikolaus (6. Dezember, „**Nikolaustag**“) oder an Weihnachten ab. Der abgebildete Model wurde zur Herstellung von Springerle (Anisplätzchen) genutzt, welche vor allem in der Weihnachtszeit gebacken wurden. In seiner Funktion als Weihnachtsmann war der Nikolaus dafür natürlich ein passendes Motiv!



# Model<sub>1</sub> (2)



Ein Buttermodel



Samischer Käsemodel, Finnland, 19. Jh.

Model aus Terrakotta, um serienmässig Relieftteile aus keramischen Werkstoffen zu produzieren, sind in Mesopotamien mindestens seit Ende des 3. Jahrtausends v. Chr. in Gebrauch gewesen. Im antiken Griechenland werden ab ca. 800 v. Chr. Model zur Serienherstellung von Votivfiguren aus Ton eingesetzt, was eine bedeutende Steigerung der Produktion bei Verbesserung der Qualität der einzelnen Figuren zur Folge hatte.

Generell können die Gegenstände, die mit einem Model geformt werden, aus Keramik, Ton, Gips, Wachs, aber auch Metall oder Kunststoff sein. Formbare Lebensmittel wie Kuchenteig, Pudding, Butter oder Käse werden auch gerne auf diese Art geformt, in der Grösse normiert und gleichzeitig verziert.

*Model einer Ofenkachel (ca. 25 cm x 35 cm) aus einer Serie von Darstellungen von acht Tugenden nach Motiven des Goldschmieds und Kupferstechers Antonius Eisenhoit (1553 – 1603) aus Warburg, gefertigt 1610 bis 1617 in Grimma (Sachsen). Hier die Darstellung der Liebe („Caritas“ in Spiegelschrift unten im Model) als Frau mit hochgebundenem Haar sowie Kind auf dem Arm. [Kreismuseum Grimma].*



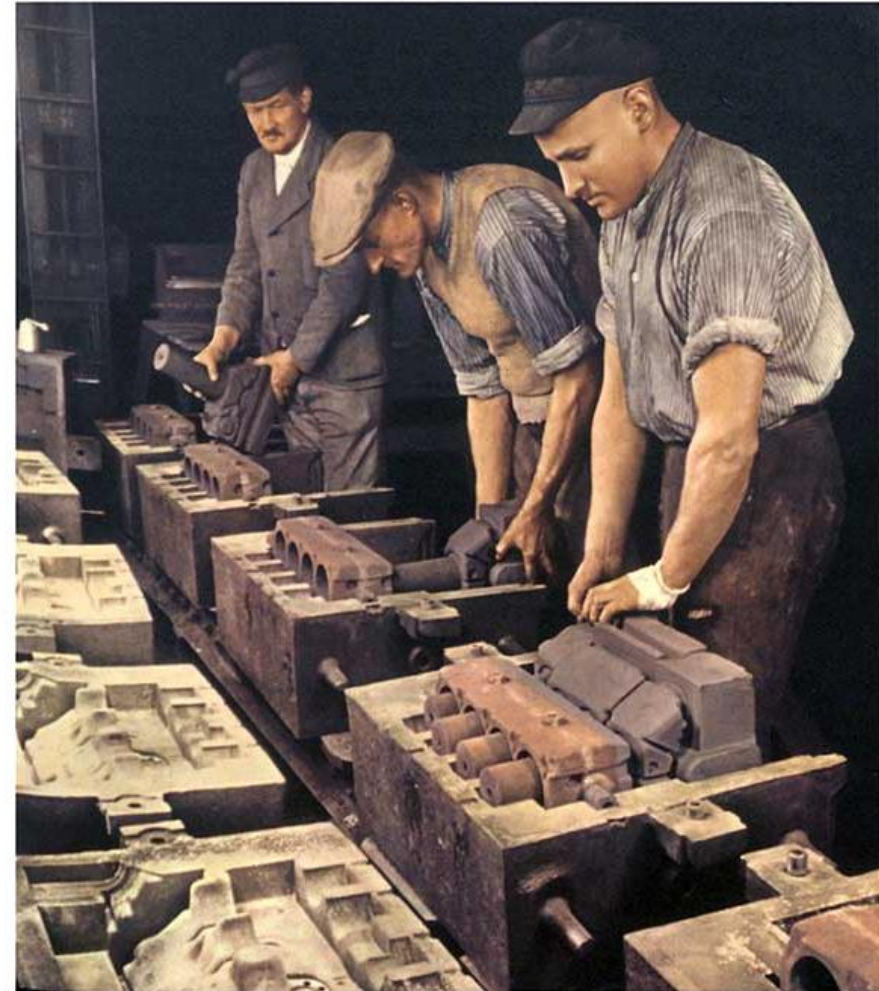
# Model<sub>1</sub> (3)



Aus Klebsand hat der Former über das Metallmodell das „Negativ“ eines Vier-Zylinder-Olympiamotors geprägt.

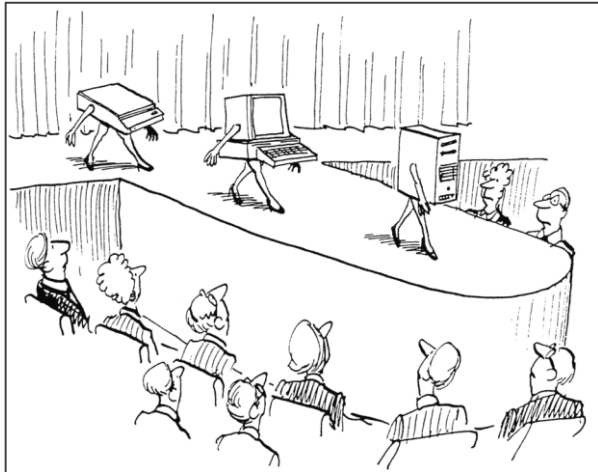
Der Handkran hat den Formkasten vom Modell abgehoben.

„Was hohl ist, wird voll, und was voll ist, wird hohl; nur der Former weiß, was draus werden soll.“  
(Max Eyth)

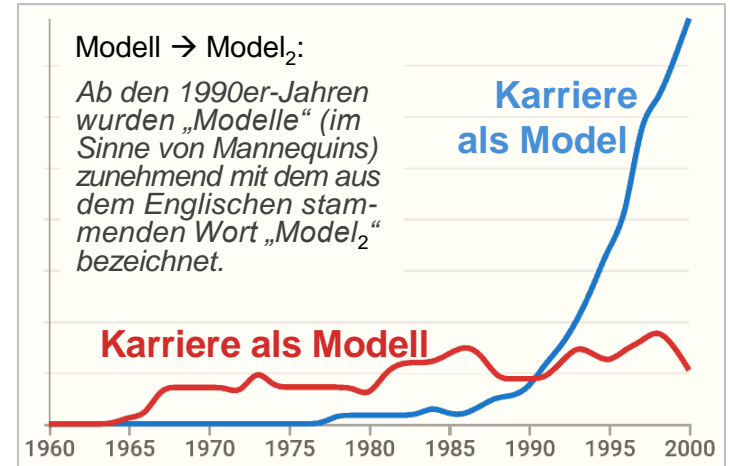


Zwei Seiten aus dem Buch „Im Krafffeld von Rüsselsheim“ mit Fotos von Paul Wolff (1887 – 1951) aus dem Jahr 1940. Das Buch schildert und illustriert eindrucksvoll die verschiedenen Produktionsbereiche der Automobilherstellung bei den Opel-Werken in Rüsselsheim. Statt „Model“ heisst es hier allerdings bereits „Modell“!

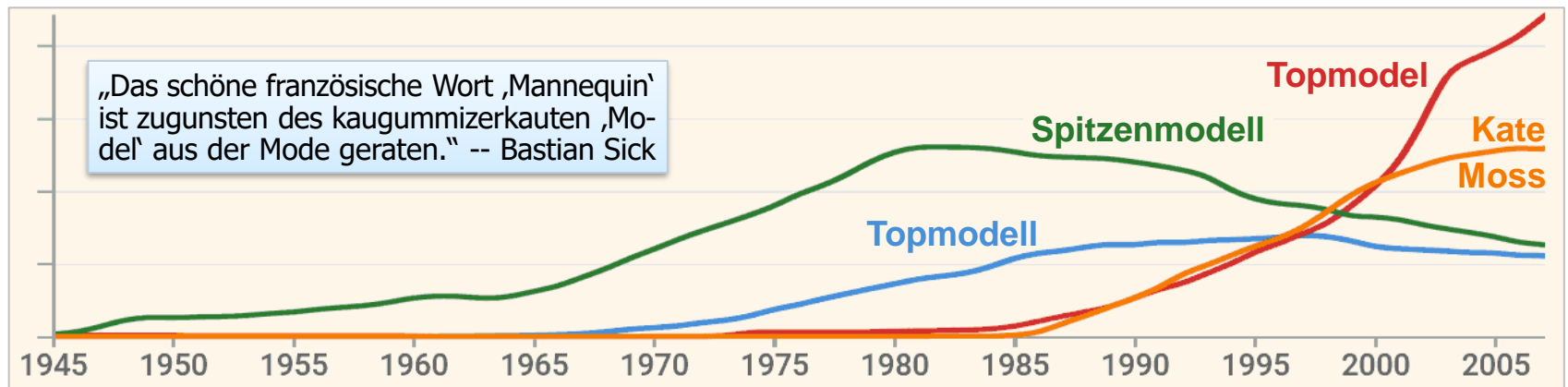
# Modelle & Models



Was hat das *“computer model”* mit demjenigen *model* zu tun, das definiert ist mit *“a person employed to wear clothing for purposes of display and advertising”*? Diese Frage setzte der Karikaturist Andrew Grossman auf etwas skurrile Art in ← Szene.



Englische Definition von **Model<sub>2</sub>**: (1) A person serving as a subject for an artist, sculptor, writer, etc. (2) A person whose profession is posing for artists or photographers. (3) A person employed to wear clothing or pose with a product for purposes of display and advertising. (4) An attractive female, hired to show items to the public, such as prizes on a TV game show.



# Modelle & Models (2)

Die industrielle Revolution, die Erfindung der Nähmaschine, die Produktion grosser flacher Glasscheiben und schliesslich die Elektrifizierung der Städte sorgten im beginnenden 20. Jahrhundert dafür, dass bei der Stadtbevölkerung der Schaufensterbummel „in Mode“ kam. Um die Kleider in den Schaufenstern besser anpreisen zu können, wurden sie auf **Mannequins** aus Papiermaché, Wachs, falschen Zähnen, echtem Haar und Glasaugen präsentiert; sie durften nie vor aller Augen aus- bzw. umgezogen werden. Öffentliche Präsentationen durch „lebende Mannequins“, die späteren „**Modelle**“ bzw. „**Models**“, verkörpert durch Vorführ- bzw. Probierdamen, waren dann eine Innovation und Sensation.



<https://sammlung.wienmuseum.at/en/object/71826-g-schneiders-geschaeft-zur-stadt-paris-graben-c-nr-1122/>

## Geschäftliches.

**Modenschau im R. D. B.** Nach dem Vorbild der französischen grossen Modefirmen veranstalten unsere eleganten Modehäuser jetzt ebenfalls eine Modenschau d. h. die Vorführung ihrer Modelle auf lebenden „Mannequins.“ Einen grossen Erfolg erzielte gestern das R. D. B., das seine schönsten Probierdamen mit seinen elegantesten Kostümen ins Feuer schickte. In dem eleganten Teesalon promenierte unter den Klängen einer anheimelnden Musik 12 der schönsten Damen vor einem auserlesenen Publikum auf und ab und lösten oft ein helles Entzücken aus. Es ist unmöglich, alle die vielen Roben, Ballettoiletten, Manteaus, Badfischkleider und Kinderkleider, Hüte und Schirme einzeln aufzuführen. Hoffentlich werden Veranstaltungen dieser Art eine ständige Einrichtung unserer grossen Modehäuser.

*Friedenauer Lokalanzeiger von 1912: Nach dem Vorbild französ. Modehäuser führen im Berliner KaDeWe Probierdamen als lebende Mannequins ihre Modelle vor. Ab 1940 wurde die Benennung „Vorführdame“ üblicher; sie verschwand aber 2020 wieder aus dem gedruckten Duden.*

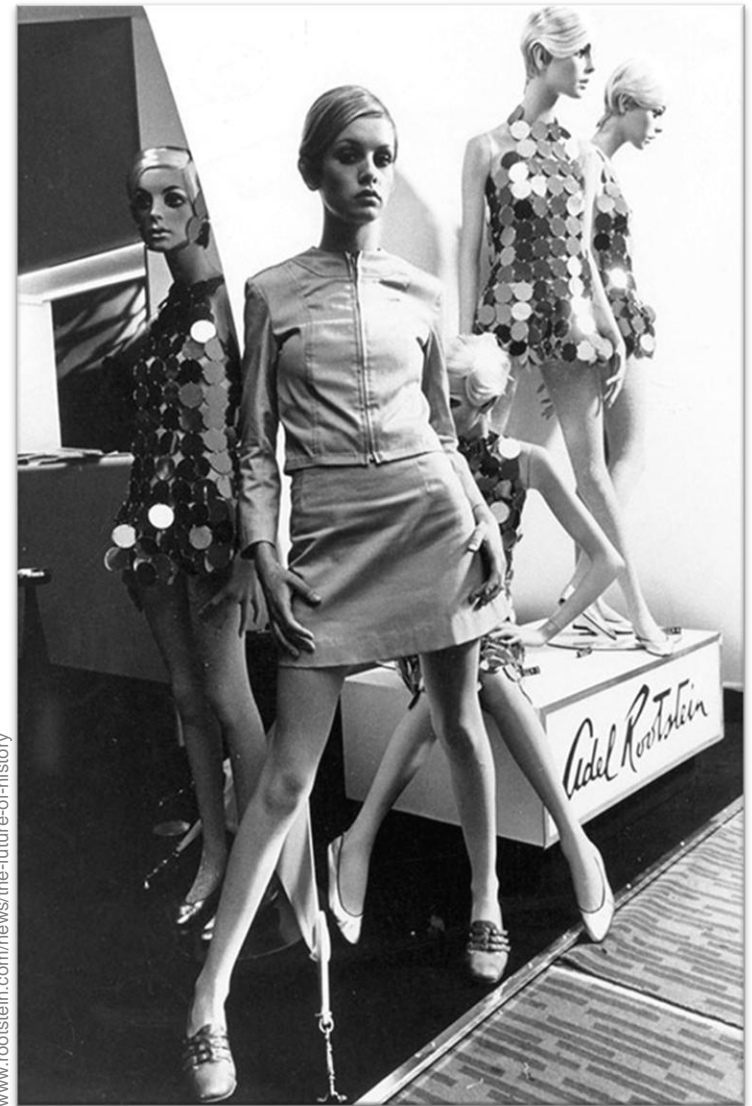
- Helene, Lehrerin, NO 55, Ebbingstr. 48.
- Anna, Frä., Probierdame, Wilmersdorf, Nassauische Str. 25 H.
- Luauite. Rentiere S 59 Grimnitz R II
- Samuel Fahrstuhlführer N 58 Dunderstr 90
- Selinde Probierdame W 62 Wittenbergplatz 3a
- Siegbert Laborant N 65 Dubenarber Str 3

*Fräulein Anna Heidenreich aus Wilmersdorf und Selinde Berger vom Wittenberger Platz in Berlin sind von Beruf „Probierdamen“ – im Berliner Adressbuch von 1920 finden sich insgesamt sechs Probierfräuleins und -damen. Adressbücher waren die Vorläufer der Telefonbücher.*

# Modelle & Models (3)



www.collectorsweekly.com/articles/what-mannequins-say-about-us/



www.rootstein.com/news/the-future-of-history

Twiggy, *Teenagermodel* der „Swinging Sixties“, vor *Schaufensterpuppen*, die nach Twiggys Vorbild hergestellt wurden.

Zwei *Pappmaché-Mannequins*, in den 1940er-Jahren für Macy's hergestellt.

# Modelle mit Modellen

*Das Wort „Mode“ stammt ebenso wie „Modell“ vom lat. „modus“ (Mass; Regel; Art und Weise) ab*

**Models mit Modellen**, oder früher eben „Modelle“ mit Modellen, war ein launiges Fotosujet. Hier die Fotomodelle Dorothy Atkins und Alice Bruno 1950 bei Modeaufnahmen auf den Bermudas für das amerikanische Frauenmagazin „Mademoiselle“. („Mademoiselle was interested in reaching mature college freshmen and up who were being exposed to the greatest literature and facing the greatest moral problems coping with all the complexities of the **atomic age**.“ -- en.wikipedia.org)



Modelle (hier zwei „Dressmen“), präsentieren Modelle (von Kleidern bzw. Anzügen). Im französisch Original-Pressetext hiess es 1965: „**Mannequins présentant des modèles** de la ligne-tube de Pierre Cardin de la Collection masculine.“

www.deutscheфотоthek.de/documents/obj/71534959

# Modell → Model<sub>2</sub>



Das Album „Mensch-Maschine“ der Band „Kraftwerk“ von 1978 enthält zwei bekannte Songs: „Die Roboter“ (6'11) auf der A-Seite und „Das Modell“ (3'39) auf der B-Seite. Letzterer wurde 1982 ein Nummer-eins-Hit in den britischen Charts. Auf dem Cover einer späteren Singleauskopplung heisst es dann schon „Das Modell“ mit nur einem einzigen „l“, genauso auf dem Remaster des Albums von 2009.



*Sie ist ein Modell, und sie sieht gut aus;  
ich nähm' sie heut gerne mit zu mir nach Haus.  
Sie wirkt so kühl, an sie kommt niemand ran,  
doch vor der Kamera da zeigt sie, was sie kann.*

*Sie trinkt in Nachtclubs immer Sekt (korrekt!)  
und hat hier alle Männer abgecheckt.  
Im Scheinwerferlicht ihr junges Lächeln strahlt;  
sie sieht gut aus, und Schönheit wird bezahlt.*

*Sie stellt sich zur Schau für das Konsumprodukt  
und wird von Millionen Augen angeguckt.  
Ihr neues Titelbild ist einfach fabelhaft;  
ich muss sie wieder seh'n; ich weiss, sie hat's geschafft.*

*Die Textidee entstand, als der Maler, Poet und Kraftwerk-Texter Emil Schult hoffnungslos in ein Modell verliebt war. Schulte schrieb auch Texte sowie Klangpoesie für Alben und Songs wie Autobahn, Radio-Aktivität, Taschenrechner und Computerwelt.*

# Models im Rechenzentrum

Die **1960er-Jahre** waren das Jahrzehnt des **Grosscomputers** („mainframe“) und des **Trapezkleids**. Beides stand für das Avantgardistische einer neuen, aufregenden Zeit.



*La robe trapèze accompagne le mouvement de libération des femmes. Elle habille des corps en mouvement, qui ne sont plus confinés à la maison et qui s'attaquent au marché du travail. La forme géométrique et plate de la robe renvoie à l'allure futuriste d'une femme des temps modernes.*

*-- Inès Matsika.*

*Adoptée très rapidement par les stars et actrices du moment, la robe trapèze est très vite sur toutes les silhouettes et devient un symbole de féminité et de liberté pour la femme.*

*-- Laetitia, Blog «Mes Habits Chéris».*

Bleyle (links, 1965) und Columbia-Minerva Corp. (rechts, 1968) nutzten den Computer im Rechenzentrum als ausdrucksstarkes Hightech-Requisit bei Modeaufnahmen: Models, die **Modelle präsentieren**, und Computer, die **Modelle berechnen**...



# ~~vom~~ Models im Rechenzentrum (2)

Imagine models that aren't confined to studios or runways but instead emerge from lines of code. -- vmake.ai

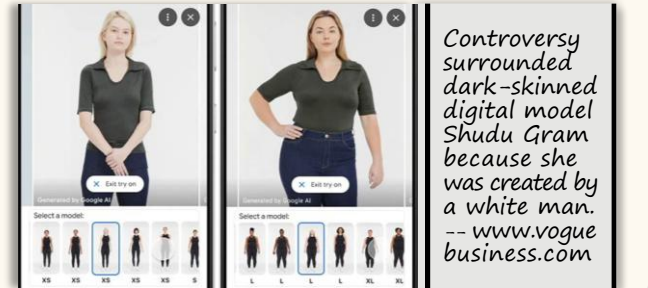


60 Jahre später: Rechenzentren mutierten zu **Datenzentren** oder gleich zu „**cloud centers**“. Computer sehen heute auch nicht mehr aus wie anno dazumal, und Designer gehen wie immer mit der Mode: **Karl Lagerfeld** präsentierte **2016** seine Frühjahrskollektion auf der Pariser Modewoche mit digitalem Hightech. Für seine Chanel-Show verwandelte er Teile des Grand Palais in ein riesiges Datenzentrum mit blinkenden Servern, aus denen Kabel lugten. Aber gefährdet die Digitalisierung nicht sogar langfristig den Model-Beruf? →

„Das Kleid des Models sitzt perfekt, der Blick der Frau ist wach und ihre Haare sind voluminös. Sie ist zu schön, um wahr zu sein – und das ist sie auch nicht. Die makellose Frau auf dem Foto ist ein KI-generiertes Model.“ [www.sueddeutsche.de]

Seit 2024 nutzt z.B. der Otto-Konzern bei Produktdarstellungen zum Teil **KI-Models**. Ob Bademode am Strand oder Sporthose im Fitnessstudio, ein KI-Model lasse sich in Sekundenschnelle in verschiedenen Outfits und in vielfältigen Umgebungen platzieren, meint ein Konzernsprecher.

Ein wesentlicher Vorteil bei der Nutzung von KI-Models sind die niedrigeren Kosten. Es entfallen zeitaufwändige und teure Prozesse wie Foto-Shootings, Reisen zu entfernten Locations sowie Model-Gagen. Auch lassen sich Varianten unterschiedlicher Körperformen und Ethnien einfach generieren.



# Modelle als Vorbilder

Derwegen so hat er von der einen nachgebildet die schöne Goldgelbe Haar / von der andern die klaren hellglänzenden Augen / als die Liebe und des Hertzens Dollmetscherinnen. Von der dritten die Zierde der Brüste / von der vierdten der Lippen und der Wangen natürlich-schöne Röthe. Von der fünfften hat er geborget die hochhabene weite Stirn: Aus denen zusammen er / nach seiner Mahler-Kunst gleich die *Quintam Essentiam* der Schönheit herausgezogen hat. -- Peter Lauremberg, 1637.

Modelle können auch eine **Vorbildfunktion** einnehmen; das Vorbild hat dann Modellcharakter und (hoffentlich) „modellhafte“ Eigenschaften. Aus einem Vorbild können **Abbilder** hergestellt werden. Aber gibt es dabei nicht meist einen Qualitätsverlust – allgemeiner gefragt: Wie verhält es sich mit der Abbildung vom Modell zu dem (nach dem Modell geformten) Produkt?

Ein klassisches Beispiel für ein Modell als Vorbild zum Zweck des Abbildens ist das **Malermodell**, welches dem Künstler „Modell steht“. Obige Fragen spielerisch aufgreifend, erzählt **Cicero** (De Inventione II,1) die Legende des berühmten griechischen Malers **Zeuxis**, der einen ungewöhnlich schwierigen Auftrag erhalten hatte:

Die Bewohner von Kroton, dem heutigen Crotona in Süditalien, beschlossen, den Tempel der Iuno Lacinia mit Gemälden von besonderem Wert auszustatten. Für viel Geld beauftragten sie den ehrwürdigen Maler Zeuxis aus Herakleia. Dieser wollte ein Bild von Helena, Inbegriff weiblicher Schönheit, malen. Dafür sollten die Krotoniaten ihm die schönsten Jungfrauen zeigen, aus denen er die fünf hübschesten auswählte. Er glaubte nämlich nicht, dass er alles, was er zur Darstellung der Schönheit brauchte, an einem einzigen Körper antreffen könne, weil die Natur kein Einzelwesen so geschaffen habe, dass es in all seinen Teilen vollkommen sei.



Als klassisches Motiv wurde die Geschichte von verschiedenen Künstlern inszeniert; hier ein Kupferstich von Johann Jakob von Sandrart (1655 – 1698). Der keilförmige Schatten symbolisiert die geballte Schönheit, die auf den Maler einzischt, der als Filter agiert und gleichzeitig die reale Welt trennt von der idealen, die er erschafft. Perfekte Schönheit ist ein Ideal, approximiert vom Maler durch Überhöhung der Natur.

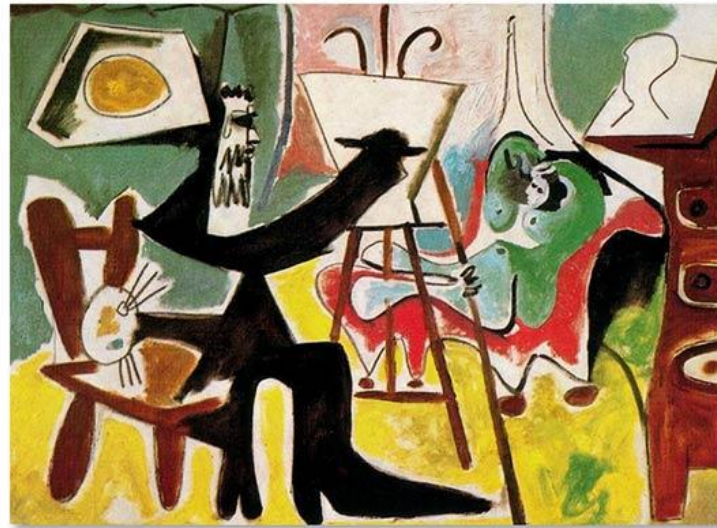
<https://wellcomecollection.org/works/dxpxq7zd>

## Das Original von Ciceros Anekdote in Langform auf Latein und in deutscher Übersetzung:

Crotoniatae quondam, cum florerent omnibus copiis et in Italia cum primis beati numerarentur, templum Iunonis, quod religiosissime colebant, egregiis picturis locupletare voluerunt. Itaque Heracleotem Zeuxim, qui tum longe ceteris excellere pictoribus existimabatur, magno pretio conductum adhibuerunt. Is et ceteras complures tabulas pinxit, quarum nonnulla pars usque ad nostram memoriam propter fani religionem remansit, et, ut excellentem muliebris formae pulchritudinem muta in se imago contineret, Helenae pingere **simulacrum** velle dixit; quod Crotoniatae, qui eum muliebri in corpore pingendo plurimum aliis praestare saepe accepissent, libenter audierunt. Putaverunt enim, si, quo in genere plurimum posset, in eo magno opere elaborasset, egregium sibi opus illo in fano relicturum. Neque tum eos illa opinio fefellit. Nam Zeuxis ilico quaesivit ab eis, quasnam virgines formosas haberent. Illi autem statim hominem deduxerunt in palaestram atque ei pueros ostenderunt multos, magna praeditos dignitate. Etenim quodam tempore Crotoniatae multum omnibus corporum viribus et dignitatibus antisteterunt atque honestissimas ex gymnico certamine victorias domum cum laude maxima rettulerunt. Cum puerorum igitur formas et corpora magno hic opere miraretur: ‚Horum‘, inquit illi, ‚sorores sunt apud nos virgines. Quare qua sint illae dignitate, potes ex his suspicari.‘ ‚Praebete igitur mihi, quaeso‘, inquit, ‚ex istis virginibus formosissimas, dum pingo id, quod pollicitus sum vobis, ut **mutum in simulacrum** ex animali exemplo veritas transferatur.‘ Tum Crotoniatae publico de consilio virgines unum in locum conduxerunt et pictori, quam vellet, eligendi potestatem dederunt. Ille autem quinque delegit; quarum nomina multi poëtae memoriae prodiderunt, quod eius essent iudicio probatae, qui pulchritudinis habere verissimum debuisset. Neque enim putavit omnia, quae quaereret ad venustatem, uno se in corpore reperire posse ideo, quod nihil simplici in genere omnibus ex partibus perfectum natura expolivit. Itaque, tamquam ceteris non sit habitura quod largiatur, si uni cuncta concesserit, aliud alii commodi aliquo adiuncto incommodo muneratur.

Die Bewohner von Kroton wollten einst, als sie sich der Fülle jeglichen Wohlstandes erfreuten und in Italien zu den Glücklichen gerechnet wurden, den Tempel der Juno, den sie in grösster Gottesfurcht ehrten, mit hervorragenden Gemälden reich ausstatten. Deshalb verpflichteten sie Zeuxis aus Heraklea, der damals, wie man glaubte, die übrigen Maler bei weitem übertraf, um einen hohen Preis und holten ihn herbei. Dieser malte mehrere andere Bilder, von denen wegen der religiösen Bedeutung des Heiligtums einige bis zu unserer Zeit erhalten sind; und damit ein an sich stummes Bild die ausserordentliche Schönheit der weiblichen Gestalt enthalte, sagte er, er wolle ein **Abbild** der Helena malen; dies hörten die Einwohner von Kroton gern, da sie oft gehört hatten, dass er im Malen des weiblichen Körpers die anderen weit übertreffe. Sie glaubten nämlich, wenn er in dem Genre, in dem er besonders viel konnte, mit grosser Mühe gearbeitet habe, werde er ihnen in jenem Heiligtum ein hervorragendes Werk hinterlassen. Und in dieser Meinung täuschten sie sich auch nicht. Denn Zeuxis fragte sie auf der Stelle, was für schöne Mädchen sie denn hätten. Jene aber führten den Mann sogleich in die Palaestra und zeigten ihm viele sehr stattliche Knaben. Zu einer bestimmten Zeit nämlich übertrafen die Einwohner von Kroton alle erheblich an Körperkraft und stattlichem Wuchs, und aus gymnastischen Wettkämpfen brachten sie mit grösstem Ruhm die ehrenvollsten Siege nach Hause. Als nun Zeuxis Gestalt und Körper der Knaben sehr bewunderte, sagten jene: ‚Deren Schwestern sind die Mädchen bei uns. Wie stattlich jene sind, kannst du demnach von diesen her vermuten.‘ – ‚Gebt mir also bitte‘, erwiderte er, ‚von diesen Mädchen die schönsten, solange ich an diesem Bild male, das ich euch versprochen habe, damit auf das **stumme Abbild** von dem lebenden Vorbild die Wahrheit übertragen wird.‘ Darauf führten die Einwohner von Kroton auf öffentlichen Beschluss hin die Mädchen an einem Ort zusammen und erteilten dem Maler die Vollmacht, diejenigen auszuwählen, welche er wolle. Jener aber wählte fünf; deren Namen überlieferten viele Dichter der Nachwelt, weil sie durch das Urteil des Mannes Beifall gefunden hätten, der das wahrste Urteil über Schönheit haben musste. Er glaubte nämlich nicht, alles, was er an Liebreiz suche, an einem einzigen Körper finden zu können, deswegen weil die Natur nicht etwas in allen Teilen Vollkommenes an einer einzelnen Person ausgebildet hat. Als ob sie für die übrigen nichts mehr hätte, was sie schenken könnte, wenn sie einer Person alles verliehen habe, schenkt sie der einen diesen, der anderen jenen Vorzug, wobei sie irgendeinen Nachteil hinzufügt.

Unter den schönsten und am besten gebildeten Frauenzimmern auf dem ganzen Erdboden ist nicht eines, das in allen Stücken der mediceischen Venus gliche. -- Georges-Louis Leclerc de Buffon, 1754

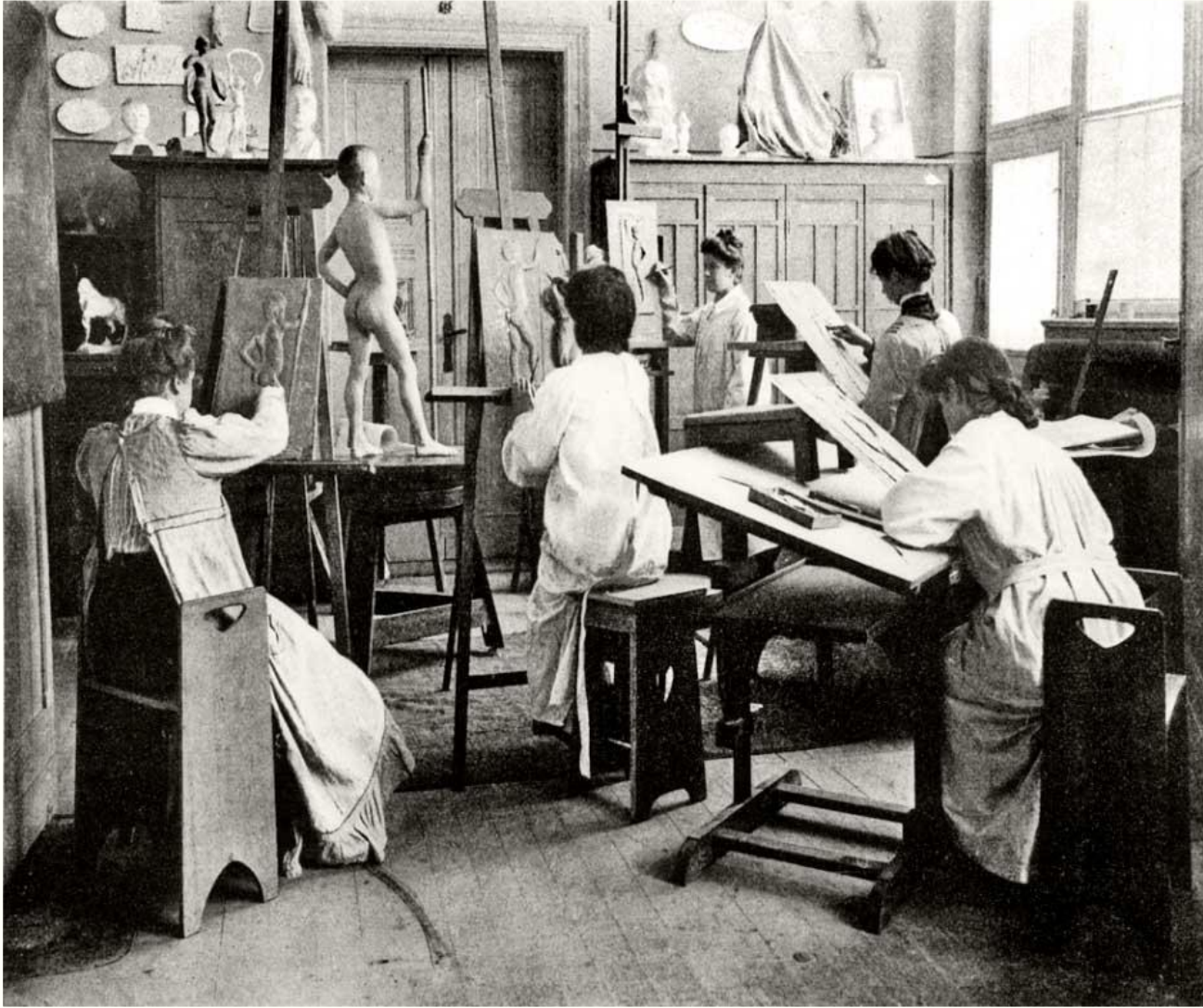


Der weibliche Akt, in den hier gezeigten Werken in weichen, geschwungenen Formen und grünlichen sowie weissen Farbtönen gehalten, erscheint lässig; der Maler hingegen sitzt hartkantig und wirkt eher wie eine starre Skulptur, er ist konzentriert sowie mit ernstem Blick bei seiner Aufgabe. Er sieht sich einem Ideal von Schönheit, Leben und Erotik gegenüber und vermag sich dem in seinem Abbild nur unvollkommen anzunähern. Das Abbild ist keine Kopie des Vorbilds, sondern der unzulängliche Versuch des Künstlers, dessen Ästhetik dem Wesen nach zu erfassen und in einer subjektiven Interpretation wiederzugeben.



Pablo Picasso setzte sich, vor allem im reiferen Alter, ebenfalls mit dem Problem des Modells als Vorbild sowie seinem Abbild durch den Maler auseinander. So schuf er im ersten Halbjahr 1963 ca. 60 Bilder zum Motiv „le peintre et son modèle“, dem er sich schon früh, 1914, gewidmet hatte. In den späteren Werken ist der Gegensatz zwischen den beiden Figuren akzentuiert: Der weibliche Akt, in den hier gezeigten Werken in weichen, geschwungenen Formen und grünlichen sowie weissen Farbtönen gehalten, erscheint lässig; der Maler hingegen sitzt hartkantig und wirkt eher wie eine starre Skulptur, er ist konzentriert sowie mit ernstem Blick bei seiner Aufgabe. Er sieht sich einem Ideal von Schönheit, Leben und Erotik gegenüber und vermag sich dem in seinem Abbild nur unvollkommen anzunähern. Das Abbild ist keine Kopie des Vorbilds, sondern der unzulängliche Versuch des Künstlers, dessen Ästhetik dem Wesen nach zu erfassen und in einer subjektiven Interpretation wiederzugeben.

# Modelle als Vorbilder



Die **Modellierschule für Damen** in Berlin-Charlottenburg, **1906**: Eine Übung im „Modellieren nach dem lebenden Modell“.

# Modelle als Vorbilder



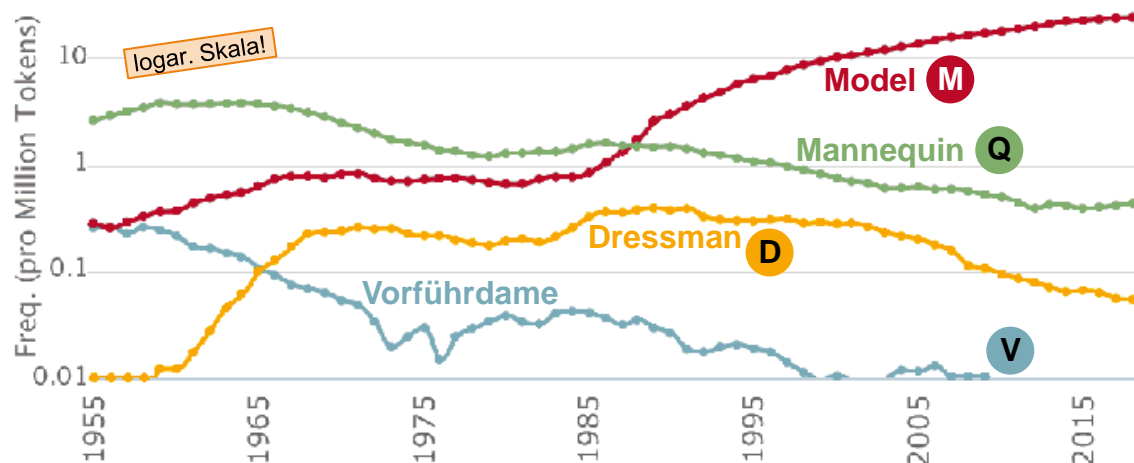
Ein Pferd steht Modell.  
Warum auch nicht? Hier  
1915 im Innenhof der  
Berliner Hochschule für  
Bildende Künste mit der  
Klasse von Georg Koch  
(1857 – 1927), der einen  
Lehrstuhl für Tiermalerei  
innehatte.

2013, gleiche Stelle,  
inzwischen jedoch  
zur „Universität der  
Künste“ veredelt.



# Rollentausch Vorbild ↔ Abbild

Bevor das Wort „**Model**“ gebräuchlich wurde, war die Bezeichnung **Vorführdame** oder **Mannequin** üblich. „Mannequin“ (aus dem Französischen und urspr. dem Mittelniederländischen „mannekijn“ = „Männchen“) war ab dem 18. Jahrhundert zunächst nur im Bereich der bildenden Künste in der Bedeutung „Modellpuppe, Gliederpuppe“ gebräuchlich; über „Schneiderpuppe“ und „Schaufensterpuppe“ entwickelte das Wort (als Kollokation „mannequin vivant“ = lebende Puppe) im Bereich des Schneiderhandwerks und der Haute Couture die Bedeutung „weibliche Person, die die neuesten Modeschöpfungen präsentiert“. (Im Englischen steht „mannequin“, analog zu „dummy“, nur für humanoide Puppen!). Während Vorführdamen und Mannequins seinerzeit Durchschnittspersonen waren, um den Kunden und Kundinnen die Kleider perfekt zu präsentieren, definieren Models heute eher, wie Kundinnen und Kunden auszusehen haben. **Vorbild** und **Abbild** haben ihre **Rolle vertauscht**.



„Dressman“ ist allerdings ein Scheinanglizismus; im Englischen heißt es „male model“.

# Experimente mit physischen Modellen

Für computerbasierte **Simulationen** benötigt man „virtuelle“ bzw. „digitale“ Modelle, die z.B. als mathematische Gleichungssysteme oder in Form ausführbarer Software vorliegen. Anstelle eines Experiments im Computer kann dann, wenn ein geeignetes **physisches Modell** vorliegt, die Untersuchung auch an diesem durchgeführt werden. Bevor Computer ausreichender Leistung zur Verfügung standen, hatte man diesbezüglich aber gar keine Wahl: Anstelle eines simulierten Crashtests liess man echte Autos, bestückt mit **Dummys** und Messgeräten, aufeinanderprallen, oder man beobachtete verkleinerte Flugzeugmodelle im **Windkanal**.



NACA-Ames Windkanal bei Mountain View; li.: Modelle F-84F (1953); re. ob.: Douglas SB2D mit geknickten Flügeln (1942).

[www.theatlantic.com/photo/2018/05/historic-photos-of-nasas-cavernous-wind-tunnels/560660/](https://www.theatlantic.com/photo/2018/05/historic-photos-of-nasas-cavernous-wind-tunnels/560660/)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:NACA\\_Ames\\_7x10\\_Wind\\_Tunnel\\_-\\_GPN-2000-001822.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:NACA_Ames_7x10_Wind_Tunnel_-_GPN-2000-001822.jpg)



# Beispiele physischer Modelle: SF-Bay Model



The SF-Bay Model in Sausalito is a working **hydraulic scale model of the San Francisco Bay**. The model is approx. 320 feet long in the north-south direction and about 400 feet long in the east-west direction. Features that affect the water flow are reproduced, including ship channels, rivers, creeks, sloughs, the canals in the Delta, fills, major wharfs, piers, slips, dikes, bridges, and breakwaters. [Wikipedia]

In the early 1950s, the bay's future was murky. Many plans were being batted around about what to do with the water, the coastline and the wetlands in between. The U.S. Army Corps of Engineers believed

these plans needed to be tested on a model first. Gen. Robert H. Wylie, manager of the Port of San Francisco, also chimed in: "There are two ways to find out if solid barriers would work. The first is to build the model. Second, is to build the barrier in the bay at tremendous expense, and then perhaps find that you've been wrong in doing it." The Army Corps of Engineers would use the Bay Model to approve some plans and reject others. [www.sfchronicle.com, Oct. 3, 2016]

# Beispiele physischer Modelle: Rhesi



Durch das Hochwasserprojekt «[Rhein – Erholung und Sicherheit](#)» (Rhesi) soll die Abflusskapazität des Alpenrheins im St.Galler bzw. Vorarlberger Rheintal zwischen der Illmündung bei Feldkirch und der Mündung in den Bodensee um 40% ausgebaut werden.

Computermodele werden mittels physischer Modelle im [Massstab 1:50](#) in einer Halle in Dornbirn kalibriert und überprüft. Zur Validierung werden [Hochwasserereignisse aus der Vergangenheit](#) simuliert.

# Beispiele physischer Modelle: Rhesi (2)



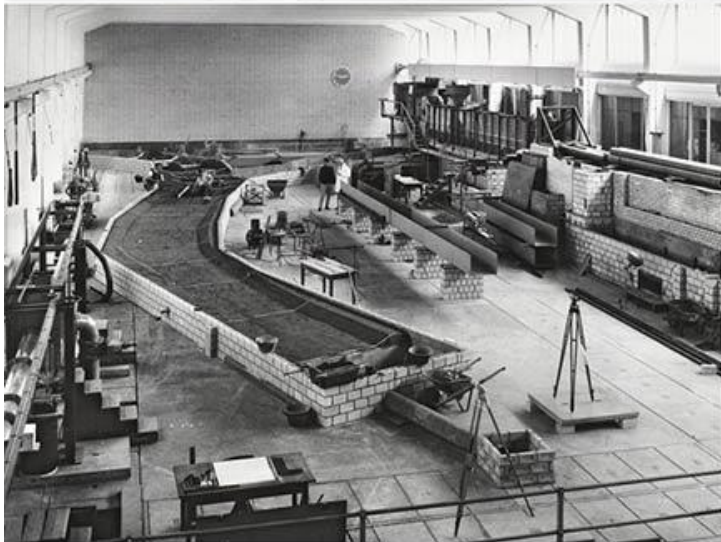
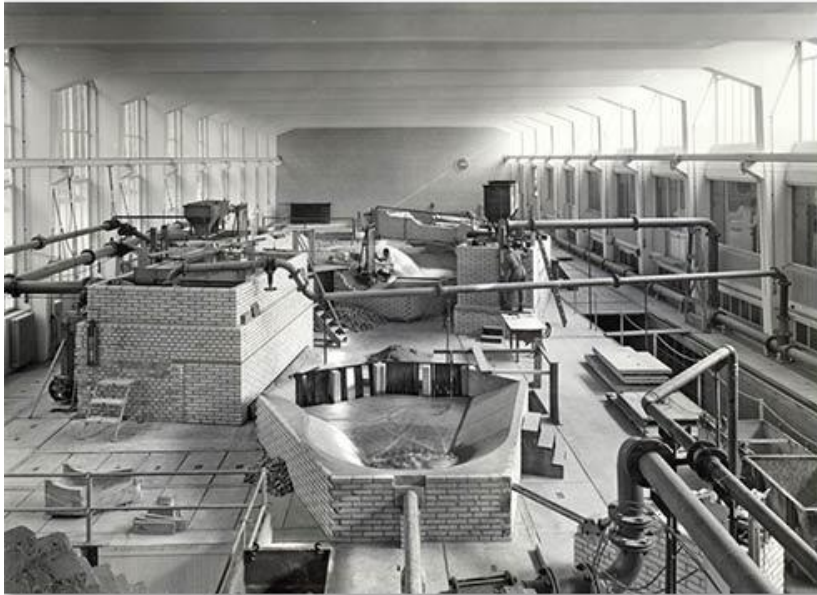
Oben: Kriessern – Mäder

Unten: Widnau – Lustenau mit Variante



<https://rhesi.org/projektziele/visualisierungen>

# Beispiele physischer Modelle: Wasserbau @ ETH



Schon beim Bau des heutigen Rheins wurden 1938 durch die [Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich](#) Modellversuche durchgeführt (oben). Links: Simulationen des Wasserlaufs an Kraftwerken, ca. 1952 (oben: Fionnay; unten: Flumenthal).

Bilder: Bibliothek der ETH Zürich

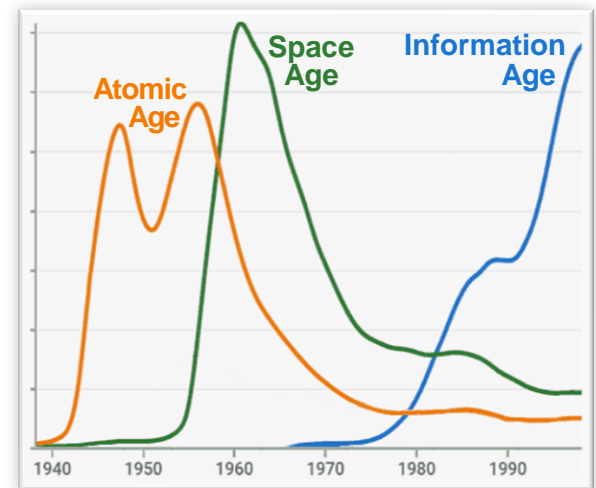
# Lehr- / Demonstrationsmodelle



← Stark vergrössertes **Virus-Modell** auf der „Century 21 Exposition“ 1962 in Seattle. Bei entsprechender Vergrößerung wäre ein Mensch so gross wie der Erddurchmesser, steht auf der Erläuterungstafel.



Die **Weltausstellung von 1962** fand 4 Jahre nach der Weltausstellung in Brüssel mit dem Atomium-Bauwerk statt. Die Expo 1962 dagegen stand ganz im Banne der **Raumfahrt** – das Ausstellungsmotto lautete „Das Leben des Menschen im Weltraumzeitalter“. Auch die berühmte „**Space Needle**“, ein auf dem Ausstellungsgelände errichteter 184m hoher Aussichts- und Restaurantturm in futuristischem Stil, zeugt davon. Schliesslich hatte kurz zuvor, im Mai 1961, US-Präsident John F. Kennedy versprochen, noch vor dem Ende des Jahrzehnts *landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth*. Die Sowjetunion stellte ihren gefeierten Sputnik-Satelliten aus.

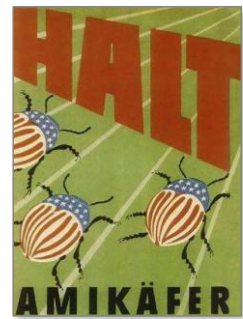


<http://digitized.library.fresnostate.edu/cdm/singleitem/collection/worldsfair/id/108141/rec/43>

# Lehr- / Demonstrationsmodelle

## Überlebensgrosse Kartoffelkäfer

Zu den fake news siehe  
[de.wikipedia.org/wiki/  
Kartoffelkäfer](https://de.wikipedia.org/wiki/Kartoffelkäfer)



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-11213-0003\\_Magdeburg\\_Unterricht\\_%C3%BCber\\_den\\_Kartoffelkafer.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-11213-0003_Magdeburg_Unterricht_%C3%BCber_den_Kartoffelkafer.jpg)

ADN, 5.6.1950: „Eine neue Schandtat des kalten Krieges ist die **Kahlfressaktion der amerikanischen Kapitalisten**, die in ihrer ohnmächtigen Wut über unsere Erfolge und ihre Misserfolge zu dem erbärmlichen Mittel der Nahrungsmittelvernichtung greifen und durch Flugzeuge Kartoffelkäfer abwerfen lassen.“

ADN, 7.7.1951: „Jugend rstete zum **Kampf gegen den Kartoffelkäfer**. In der Magdeburger Brde sind bereits vereinzelt Kartoffelkäfer gefunden worden. Vor vierzehn Tagen ist deshalb schon die erste Suchaktion in Magdeburg veranstaltet worden. Das Magdeburger Museum besitzt eine **berlebensgroe Nachbildung des gefährlichen Schädlings**, die eine ausgezeichnete Unterrichtshilfe darstellt.“

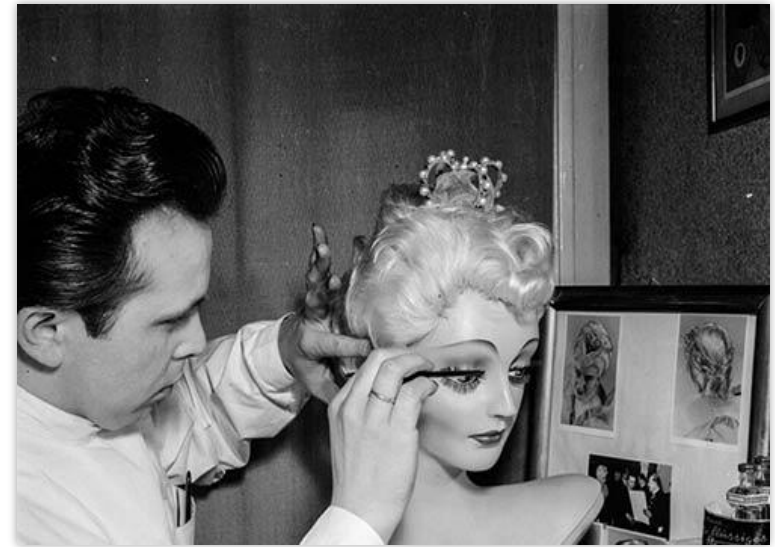
Unser Bild zeigt Schülerinnen der Friedrich-Naumann-Schule in Magdeburg vor dem riesigen Kartoffelkäfer.“

ADN, 19.8.1952: „Eine Million Kartoffelkäfer gesammelt. Der von der Regierung der DDR gefasste Beschluß, für jeden in der Zeit vom 8. bis 31 August abgelieferten Kartoffelkäfer und jedes Eigelege **einen Pfennig Fangpremie** auszuzahlen, hat auf dem Land Jung und Alt zur Bekämpfung dieses Schädlings mobilisiert. Allein in der Gemeinde Groottersleben bei Magdeburg wurde schon in der ersten Woche eine Million Käfer abgeliefert. An die Sammler - meist Kinder - wurden in dieser Zeit rund 10.000 DM Fangpremie ausbezahlt.“

# Lehr- / Demonstrationsmodelle



www.facebook.com/100044216210370/videos/893212681772127



https://sint.hdg.de/SINT5/SINT7

„Bevor die Lehrlinge zum ersten Mal die Haare der Kunden schneiden, färben oder stylen dürfen, üben sie die verschiedenen Techniken zuerst an einem Frisierkopf. Auf diesem Übungskopf sind Kunst- oder Echthaare eingeknüpft, die der Auszubildende bearbeiten kann. So lernt er schnell aus etwaigen Fehlern und kann dann als ausgelernter Coiffeur seine Kunden zufriedenstellend bedienen.“

# Demonstrationsmodelle



*Kopfmodell zur  
Demonstration der  
Dentalhygiene in  
einem Schweizer  
Kindergarten um  
1960.*

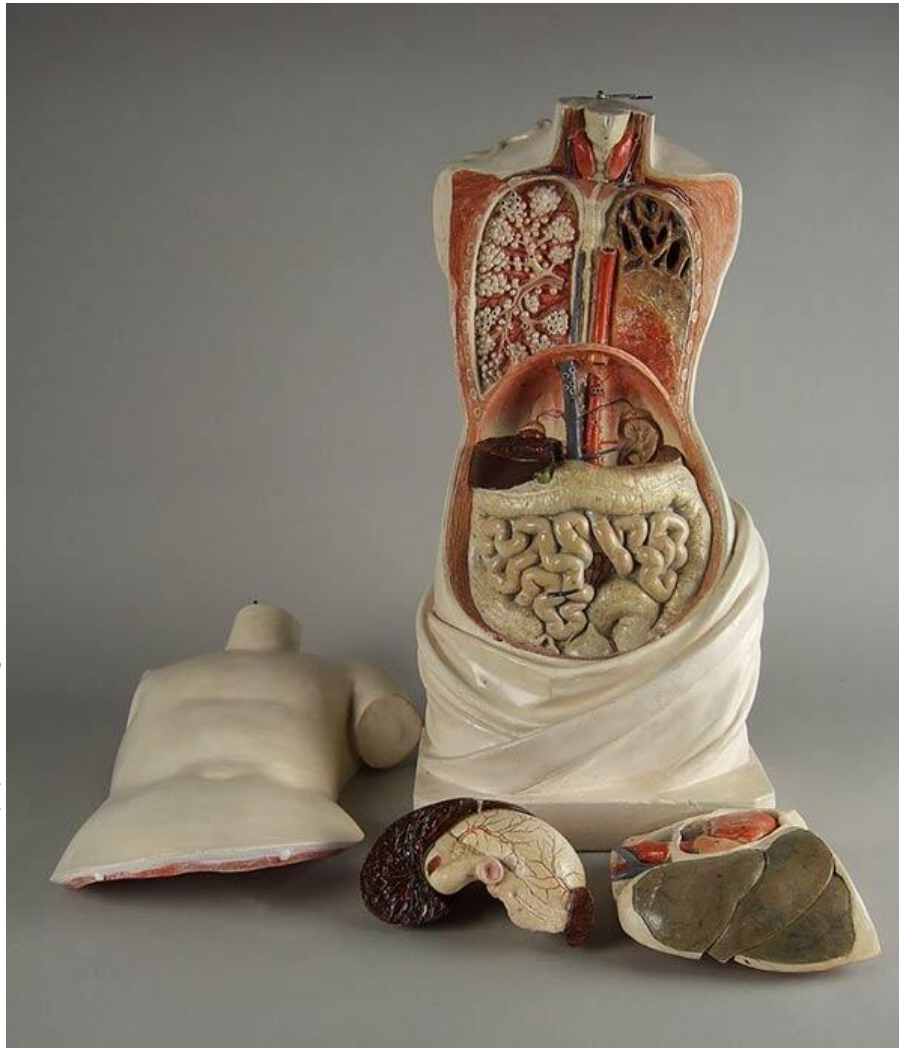
Fotoverlag Otto Furrer, Davos (via ebay)



# Demonstrationsmodelle

## Anatomisches Modell in Form eines griech. Torsos

...scheint die Figur vom Betrachter eine Antwort zu verlangen. Doch wie lautet ihre Frage? Etwa wie die aus Grimms Märchen bekannte: „Wer ist die Schönste im ganzen Lande“? -- Bernard Andreae über die Venus von Milo



Der Anatom **Carl Ernst Bock** (1809 – 1874) von der Universität Leipzig machte sich mit anatomischen Lehrbüchern einen Namen. Er war aber auch bestrebt, medizinische sowie anatomische Kenntnisse in der allgemeinen Bevölkerung zu verbreiten. In Zusammenarbeit mit **Franz Josef Steger** (1845 – 1938), einem Bildhauer, erarbeitete er eine Reihe anschaulicher und preisgünstiger Modelle, gedacht für den Unterricht an Schulen und Universitäten.



Als Steger seinen ersten Auftrag zur Herstellung plastisch-anatomischer **Gipsmodelle** erhielt, schuf er ein Modell, das in vier Teile zerlegt werden kann und als Ganzes an die **Venus von Milo** erinnert.

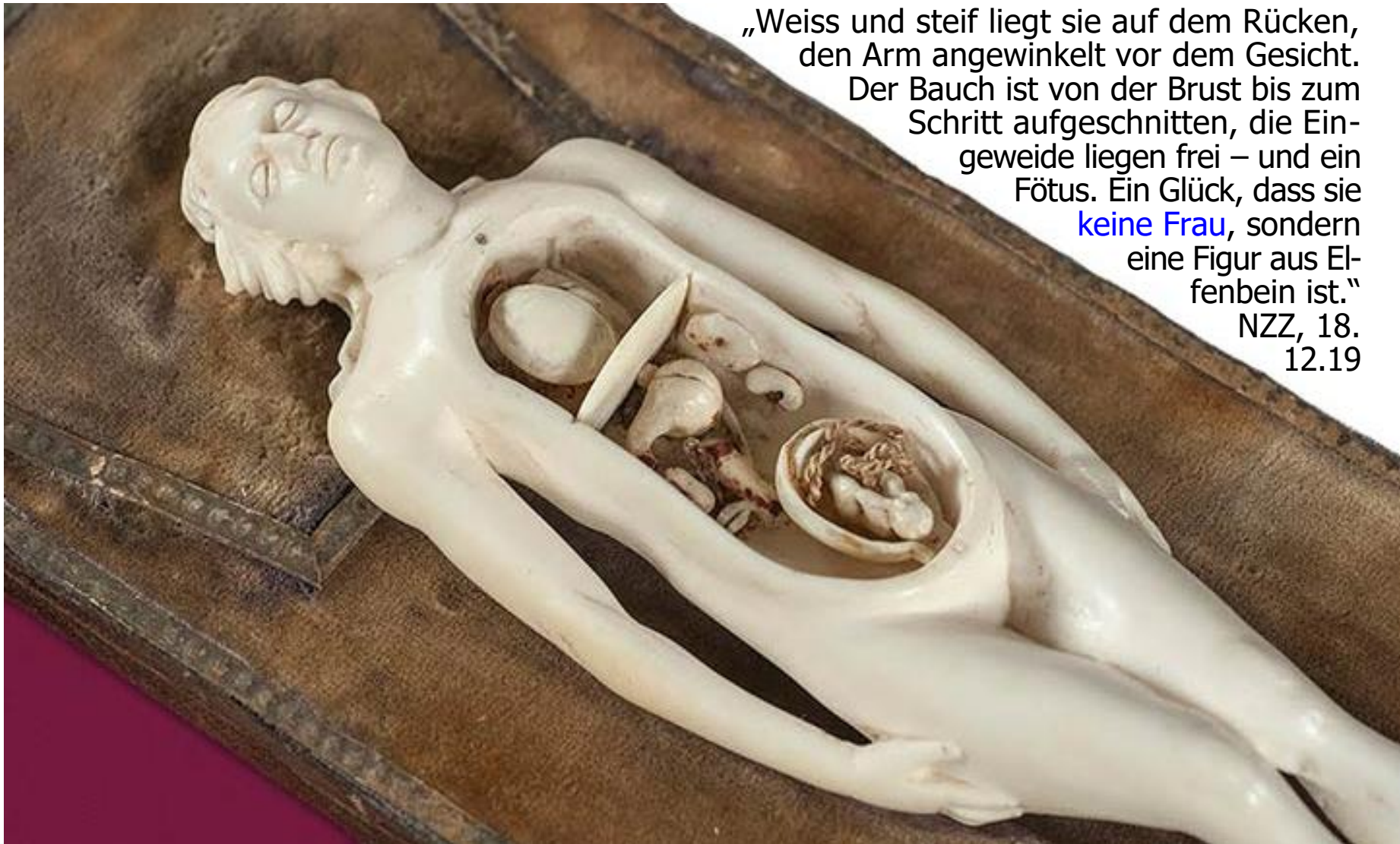
Die Venus von Milo, 2. Jh. v. Chr. (Marmor), Paris, Louvre

„Free the beauty!“: Griechenland fordert die Restitution der Statue.

# Demonstrationsmodelle

## Elfenbein-Anatomie

*"Please note that this activity entails viewing images that can be upsetting or uncomfortable."  
(Aus der mit diesem Bild illustrierten Anleitung einer Studien-Activity der Duke University.)*

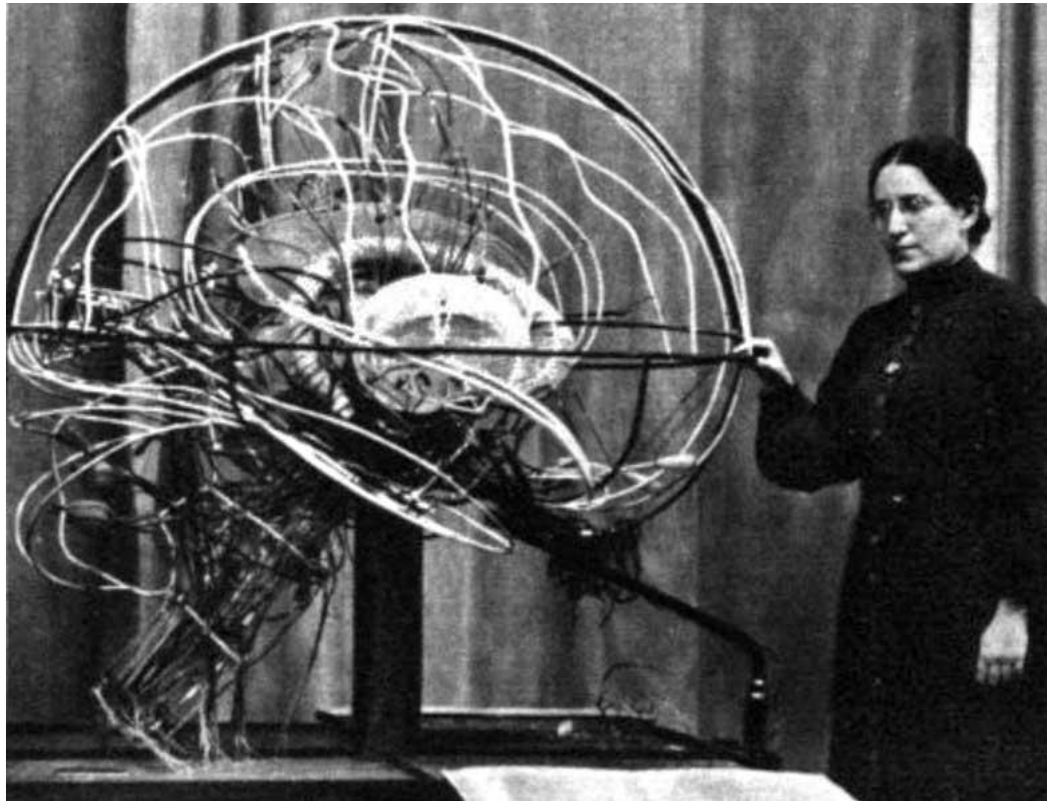


„Weiss und steif liegt sie auf dem Rücken, den Arm angewinkelt vor dem Gesicht. Der Bauch ist von der Brust bis zum Schritt aufgeschnitten, die Eingeweide liegen frei – und ein Fötus. Ein Glück, dass sie **keine Frau**, sondern eine Figur aus Elfenbein ist.“  
NZZ, 18.  
12.19

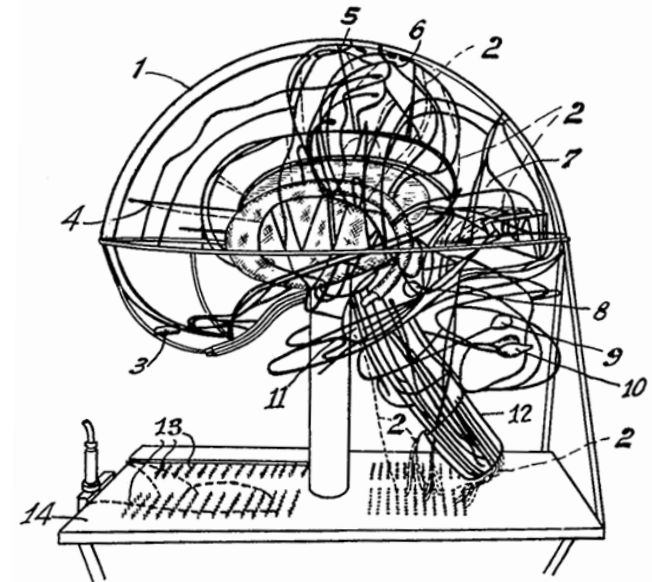
# Demonstrationsmodelle

„Es hat ein Unterrichtsmodell des Gehirns weder ein Homunculus noch eine Jahrmarktsensation zu sein, sondern ein Abbild dessen, was der zu Unterrichtende in sein eigenes Gehirn aufzunehmen und einzubauen hat.“ – Robert Exner

**Edith Klemperer** (1898 – 1987) promovierte 1923 in Medizin an der Universität Wien und wurde danach Assistentin an der Wiener Psychiatrisch-Neurologischen Universitätsklinik. Für die Lehre initiierte sie auf eigene Kosten den Bau eines **leuchtenden anatomischen Modells des menschlichen Gehirns**. 200 farbige Neonröhren, von Glasbläsern individuell angefertigt, stellten die Nervenbahnen des Gehirns dar, die einzeln oder in Gruppen zum Leuchten gebracht werden konnten. 1931 präsentierte sie das Modell anlässlich des ersten internationalen Neurologenkongresses in Bern der Fachwelt. Die Vorführung geriet zur Sensation. 1939 schrieb eine Zeitung in Virginia begeistert:



*Edith Klemperer mit ihrem leuchtenden Gehirnmodell. Es war auf einen Karren montiert, um es für diverse Vorführungen transportabel zu halten.*



*Aus der Patentschrift*

„By operating switches to control several hundred different electric circuits it is possible to duplicate the nerve impulses received and sent out by the brain ... Neon tubes running through the huge model are controlled by the electrical switches to duplicate flashes of thought, automatic movements such as breathing, and the complex reactions of disordered minds in various forms of mental disease when the *telephone-switchboard of the brain* develops short circuits.“

Nach der nationalsozialistischen Machtübernahme im März 1938 wurde [Edith Klemperer als Jüdin verfolgt](#). Sie musste ihre Heimat verlassen und mit ihrem greisen Vater in die USA emigrieren; die Mutter blieb in Wien zurück – sie nahm sich 1942 vor ihrer Deportation das Leben. Auch ihr Onkel Emil Deri wurde 1942 ermordet, ihre Tante Flora Türkel versuchte 1939 die Flucht über die Schweiz, wurde aber in das Vernichtungslager Sobibor verschleppt und dort ermordet.

In den USA durchlief Edith Klemperer eine erfolgreiche Karriere an verschiedenen Kliniken im Bereich Psychotherapie / Hypnose. Das „leuchtende Gehirn“ konnte sie auf ihrer Schiffspassage von Southampton nach New York (als Beitrag für die dortige Weltausstellung von 1939) mitnehmen. Es wurde aber wohl im Laufe der Jahrzehnte von irgendwem irgendwann einmal entsorgt; jedenfalls gilt es heute als verschollen.

### Kurzkurs \*

Montag, 11. und 18. Nov., 8—9 Uhr: Festsaal Für den Vortrag 30 g, für Arbeitslose 10 g  
Dr. Edith Klemperer: **Das leuchtende Gehirnmodell.** Zwei Vorträge über Bau und Leistungen des menschlichen Gehirns. Das „leuchtende Gehirnmodell“ ist ein vollkommen neuartiger Unterrichtsbehelf, der in plastischer und übersichtlicher Weise alle wichtigen Teile und Bahnen des Gehirns zeigt. Das Modell wurde von Frau Dr. Klemperer gemeinsam mit den Herren Dr. Josef Nagler und Dr. Robert Exner in zweijähriger, mühevoller Arbeit hergestellt und ist in seiner Art in der Welt einzig dastehend. Infolge seiner Größe (1,50 m breit und 2 m hoch) können feine Einzelheiten auch von der letzten Bank des Vortragsraumes genau unterschieden werden. Die Bahnen und Teile des Gehirns sind aus Neonröhren angefertigt, so daß man die gegenseitige Lage und die Beziehungen der verschiedenen nervösen Systeme sofort erkennen kann. Wie es der Vortragende wünscht, flammen die Leuchtkörper hell auf: ein unvergessliches Bild. Das plastische Nebeneinander vermittelt eine sofortige Übersicht, die bisher selbst Fachleute nur nach langwierigen und mühevollen Studien erlangten. Die inneren Partien leuchten durch die äußeren durch und können bei Bedarf gleichzeitig mit diesen vorgeführt werden. Sowohl der normale Aufbau des Gehirns, wie krankhafte Vorgänge können mit Hilfe des leuchtenden Gehirnmodells in allgemein verständlicher Weise dargestellt werden; in wenigen Stunden sind hiemit Aufbau und Leistungen des Zentralnervensystems erschöpfend vorzuführen. Bei seiner ersten Vorführung in der Volkshochschule Ottakring hat das Modell bei Presse und Publikum großen Beifall gefunden.

== — ==

# World's First Luminous Brain Model Made By Woman Doctor

**VIENNA, June 30.**—A globe, eight times the size of the human skull, radiates blue, green, crimson, purple, rose-colored, and yellow lights, an orgy of sparkling color, more like a glorified electric light sign than anything else. Thin snake-like tubes, are twisted in intricate scrolls, entwined and overcrossed to a seemingly erratic labyrinth, yet are ordered to some mysterious law to magical efficiency.

Dr. Klemperer first conceived the idea of building a brain model when she heard from one of her colleagues, Dr. Robert Exner of Vienna, of his experiences in a prisoner-of-war camp in Siberia. (\*)

In the desperate monotony of life in camp, the prisoners, to kill time with something that might prove useful if ever they returned home again, organised lectures and courses of instruction for each other's benefit.

Dr. Exner and several colleagues held popular lectures on medicine, and they amused themselves by constructing a model of the human brain out of odds and ends such as bits of wire, wood, threads of different colored cotton, cardboard and tissue paper.

"At least it helped me not to forget during those four dreary, idle

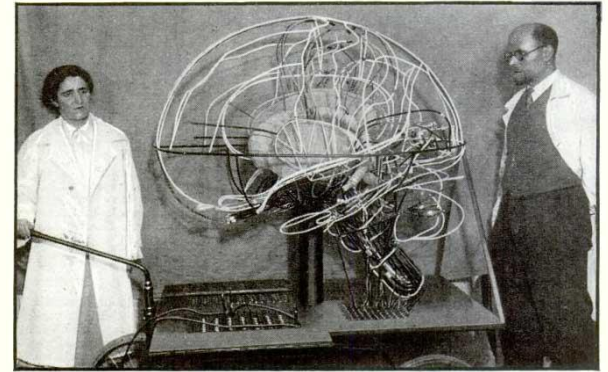
years, what I had learned about the human brain at the University." Dr. Exner said.

His description of the junk brain model set Edith Klemperer thinking. What would be the best way to give students an optical demonstration of the intricate construction of the human brain?

Inspiration probably came to her walking along Vienna's busy *Kartenstrasse* one evening, when its many colored neon lights signs were lit over shops and places of amusement.

The vivid colored lights in glass tubes that could be shaped at will, that could be switched on and off to leave one or more groups outstanding among the others—what better material could the wish for the building of the brain model? So the idea of the "luminous brain" took shape.

Der Bericht eines Sonderkorrespondenten aus Adelaide ereilte nach einem Monat Australien und wurde am 31.7.1937 in „The Mail“ veröffentlicht. Einige Passagen:



Dr. Edith Klemperer and Dr. Robert Exner, Vienna, who made glass model of brain

The model was first built of wire, wood and tissue paper upon a platform made of old egg-boxes. This was made entirely by Dr. Edith Klemperer and Dr. Robert Exner—every wire bent to reproduce the exact curves and twists of the nerve ducts it was to represent, and hammered, riveted, soldered to keep it in its appointed place.

When the original wire and paper model was complete, Dr. Edith Klemperer enlisted the aid of the Vienna Technical Museum and its able staff. With their help, the iron scaffolding of the brain was set up.

Then began the most delicate part of the task: the blowing of the vari-colored thin glass tubes to represent the ducts.

Each separate piece of wire, carefully bent to the required curves, was imitated precisely by the glass blower.

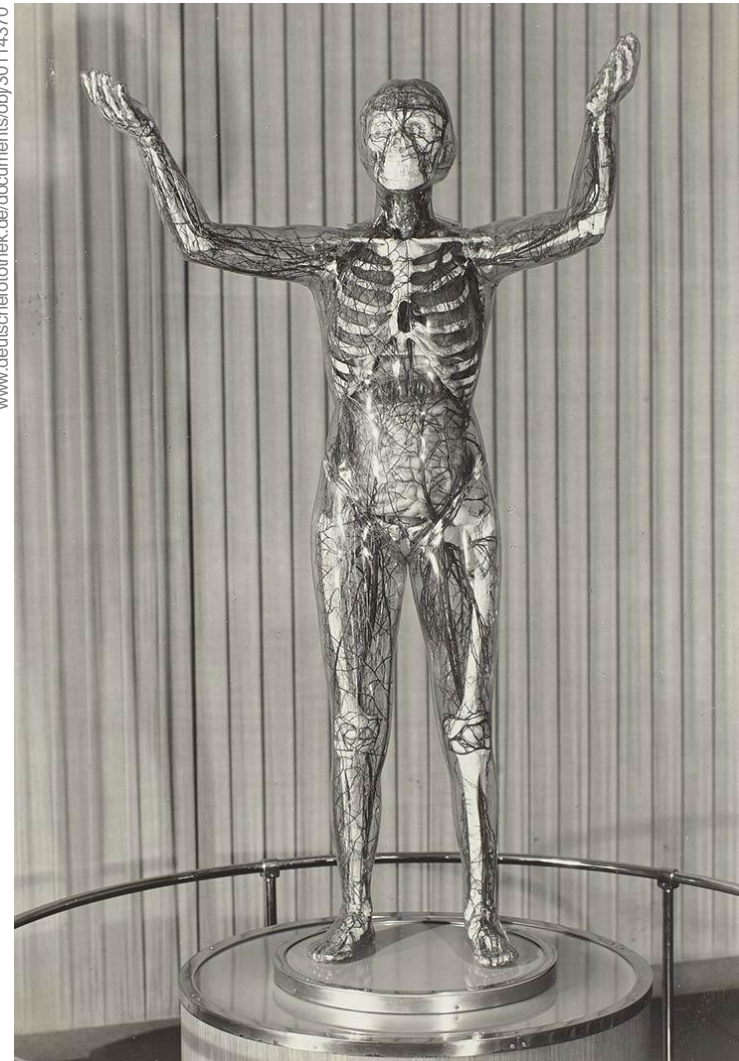
(\*) Er nannte sich „leitender Arzt der Ambulanzen und der Quarantänestation und Psychiatrie des Kaiserlich japanischen Kriegsgefangenenospitals und Dozent für Gehirnphysiologie im Kriegsgefangenenlager Perwaja Rjetchka bei Wladiwostok“.

# Demonstrationsmodelle

*Die „gläserne Frau“ aus dem Hygienemuseum in Dresden*



www.deutschefotothek.de/documents/obj/71621008



www.deutschefotothek.de/documents/obj/30114370

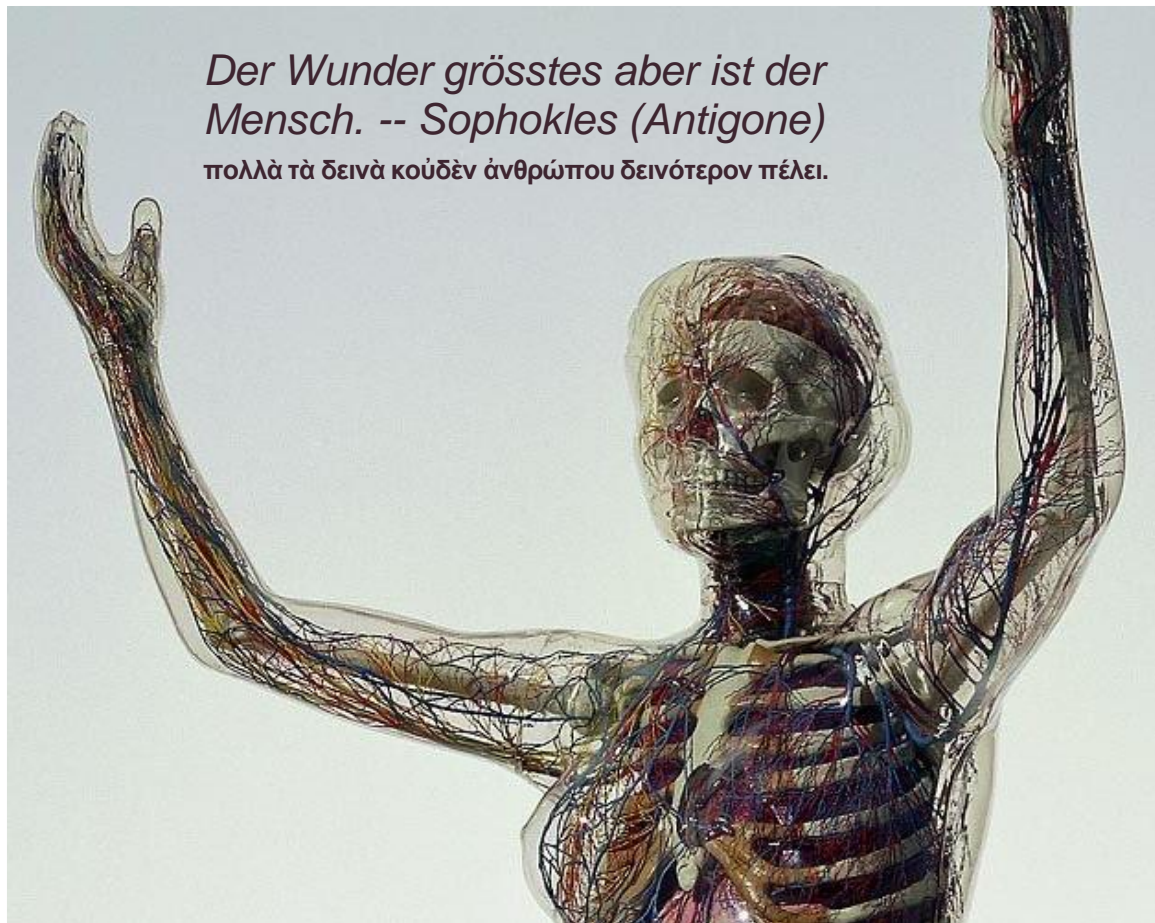
Die Haltung mit erhobenen Armen und nach oben gewendeten Handflächen erinnert an die antike Gebetshaltung in der frühchristlichen Kunst („Orantengestus“) und wirkt daher besonders eindrucklich.

Andererseits stellt diese Haltung ein Anfang des 20. Jh. beliebtes Motiv dar: Das „Lichtgebet“. Es war die kultische Ikone einer teilweise esoterischen, aber in der Jugendbewegung populären Lebensreformbewegung, die einer naturgemässen Lebensweise anhing und unter anderem die Kraft der Sonne anhimmelte.

Das durchsichtige Zelluloseacetat („Cellon“) war um 1900 eine bahnbrechende Entdeckung. Aber es zerstört sich selbst – es reagiert mit der Luftfeuchtigkeit, schrumpft, vergilbt und sondert neben Weichmachern auch Essigsäure ab, die die „gläserne“ Figur weiter angreift.

# Demonstrationsmodelle

„Betrachter:innen können sie als eine Art Statue wahrnehmen und dabei ihre Grösse überschätzen, da sie auf einem Sockel steht. Alle müssen zu ihr aufschauen, um sie betrachten zu können. So wird der Eindruck verstärkt, sie bewundern zu müssen.“ -- Katya Braghini



1930, bei der Eröffnung des **Hygiene-Museums Dresden**, wurde erstmals ein lebensgrosser **Gläserner Mann** vorgestellt, dessen durchsichtige Körperhülle den Blick freigab auf das Skelett, die Organe, deren relative Lage und den Verlauf der Blutgefässe und Nerven. Die Arterien und Venen sind fein verästelt und schlingen sich um die Knochen und Organe. Was wesentlich zum fast magischen Transparenzeindruck beiträgt, ist das völlige Fehlen einer Muskulatur. In die Organe sind Leuchtmittel eingebaut, sodass sie gut sichtbar werden, auch wenn sie im Brustkorb liegen. 1935 wurde eine **Gläserne Frau** geschaffen.

Kurzer Auszug aus einem Bericht des Berliner Tagesspiegels vom Januar 2022: „Genderneutrales Anatomiemodell: In Berlin liegt ein besonderes Exponat im Depot. *Unsere anatomische Figur hat keine Geschlechtsmerkmale*, sagt Sabine Witt [Deutsches Historisches Museum]. Witt sieht in ihr eine Bemühung um Neutralität, denn die inneren Organe, so Witt, würden sich bei den Geschlechtern schließlich nicht unterscheiden. *1935 wurde aber noch nicht von diversen Geschlechtern gesprochen*, sagt Witt.“

# Demonstrationsmodelle



www.dhmd.de/fileadmin/\_processed\_/9/1/csm\_gfeteaser\_3a60897a57.jpg

www.facebook.com/273381556837901/photos/pcb.504285523747502/504283283747726/



Eine der Gläsernen Frauen kam 1936 ins Museum of Science in [New York](#) und ging danach jahrelang auf Tournee in über 100 Städte in Amerika und Kanada. 1939/40 war sie auch auf der New Yorker Weltausstellung zu sehen (Bild oben).

Zwischen 1930 und 2000 stellte das Hygiene-Museum [mehr als 130 Gläserne Männer, Frauen, Kühe und Pferde](#) her. Sie wurden weltweit an Universitäten und Museen verkauft und waren oft der visuelle Höhepunkt von Gesundheitsausstellungen. Auch als [Staatsgeschenke](#) wurden sie von der DDR-Regierung genutzt; 1949 wurde z.B. ein Gläsernes Paar als Geschenk der sächsischen Landesregierung zum 70. Geburtstag Stalins nach Moskau geschickt, und 1951 übergab die DDR eine Gläserne Frau als persönliches Geschenk an Mao Tse-tung.



# Demonstrationsmodelle

*You walk around the figure and look through it as if you were possessed of X-ray eyes.*  
-- Ausstellungsführer der Weltausstellung  
"A Century of Progress", 1933 in Chicago.

*Wir zitieren einige Passagen aus dem [NZZ-Artikel](#) „Die gläserne Frau – Das Deutsche Hygiene-Museum in Dresden im Wechselbad seiner Geschichte(n)“ vom 22. April 1995. Autorin ist die Schweizer Journalistin und Schriftstellerin [Rea Brändle](#) (1953–2019), die in Zürich und Berlin Germanistik studiert hatte.*

Kindisch, mein Drang, auf Knöpfe zu drücken, auch jetzt wieder, im Deutschen Hygiene-Museum, vor der gläsernen Frau. ... Als erstes wähle ich «Herz», und noch während ich drücke und zwei, drei Schritte zurücktrete, den Kunststoffklumpen zwischen den Rippenbögen fixierend, leuchtet dort ein Lämpchen auf. Es blinkt, wie erwartet, aus dem blauroten Gewirr der Venen und Arterien, und doch bin ich verblüfft, genauso wie in fremden Städten, wenn im Tunnellabyrinth der U-Bahn der Zug plötzlich hält und die Station vor dem Fenster tatsächlich so angeschrieben ist, wie sie laut Stadtplan heissen müsste.

So wage ich mich in die Aussenbezirke und drücke, von Mal zu Mal kühner, «Gallenblase», «Schilddrüse», «Zwölffingerdarm» und, auf gut Glück, «Milz». Sie ist kleiner als vermutet, der Dünndarm hingegen durchquillt die ganze Bauchhöhle, und im Brustkorb blähen sich bedrohlich die beleuchteten Lungenflügel. Ein letzter Knopfdruck noch, «Gebärmutter», bevor das Spiel langweilig wird.

Vor der gläsernen Frau ist ein Gedränge entstanden. Die Leute können sich nicht satt sehen an ihrem künstlichen Ebenbild, am Schaltbrett kommt es zu Konfusionen. Die Wärterin hat die Zentralautomatik eingeschaltet. Langsam beginnt das Scheibenpodest sich zu drehen und mit ihm die gläserne Frau. Eine weibliche Stimme erläutert ab Tonband «Das Wunder Mensch». Sie spricht sachlich, weiss Bescheid über jedes Organ, und während der Reihe nach vom Gehirn bis zur Harnblase die farbigen Klumpen einzeln aufleuchten, lässt die Stimme die Organe zum Organismus werden, arbeitsteilig funktionierend, wie das Räderwerk einer Maschine.



# Demonstrationsmodelle

„Mit dem Aufkommen neuer Medien zur Betrachtung des Körperinneren hat sich ihre Bedeutung geändert; aus dem anatomischen Erklärmodell ist ein kulturhistorisches Objekt geworden.“ – Susanne Roeßiger, Deutsches Hygiene-Museum

Die Leber sei mit einem chemischen Laboratorium vergleichbar, sagt die Stimme mit gebührendem Ernst, und mir klingt es wie Hohn angesichts der gläsernen Frau. Sie hat kein Alter, nicht die Spur einer Ausdünstung, von Krankheiten ganz zu schweigen. Die kennt sie nicht, auch nicht die kleinen Gebrechen, weder den selbstverschuldeten Hustenreiz am Morgen noch abends die müden Glieder. Nichts kommt ihr über die Leber gekrochen, keine Unpässlichkeit, keine Begierden. Ungerührt dreht sie sich auf ihrem Sockel, dreht sich im Kreis, mit ausgestreckten Armen, das Gesicht himmelwärts gewendet...

*Rea Brändle beschreibt in ihrem Artikel auch die Geschichte des Museums, dessen Bau in Dresden 1912 eröffnet wurde. Dazu noch zwei Absätze:*

Der Urmensch war die Hauptattraktion im neuen Hygiene-Museum, und bald wurden zusätzliche Exemplare ins Ausland verkauft, nach Tokio, St. Louis und Buffalo, in die Museums of Science. Gläserne Menschen wurden auf Tournee geschickt, in Europa und den Vereinigten Staaten, sie gastierten an den Weltausstellungen von Chicago, Paris und New York. Erhobenen Hauptes drehten sie sich auf ihrem Sockel, vor einem Millionenpublikum, ungeachtet dessen, dass zu Hause das Menschenbild sich gewaltsam verändert hatte.

Bei Bestellungen aus Übersee müssen minime Konzessionen gemacht werden; die Glashaut wird eine Spur dunkler eingefärbt, die Augenpartie schlitzförmiger modelliert, das Lippenpaar wulstiger. Und je nach Bestimmungsort sind die Figuren einige Zentimeter grösser oder kleiner. Sonst aber gibt es keine Unterschiede, ob Archangelsk, Sidney oder Bangkok, Senegal oder Puerto Rico: Mensch bleibt Mensch, hat zwei Nieren und das Herz auf dem rechten Fleck.



DDR-Industrieausstellung in Kairo in den 1950er-Jahren.

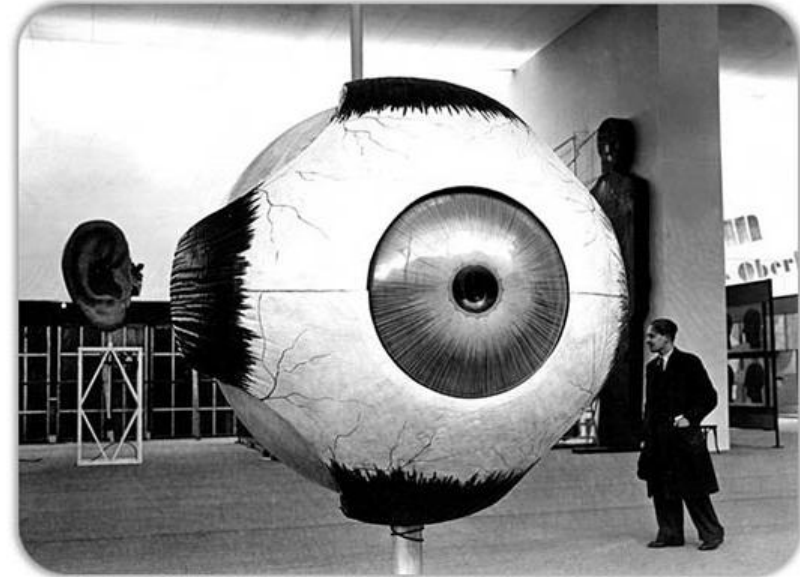
[https://isatic.cambridge.org/binary/version/4d/urn:cambridge.org:tabinary:20161011133517585-0486:9781316155257:09557fig6\\_3.png](https://isatic.cambridge.org/binary/version/4d/urn:cambridge.org:tabinary:20161011133517585-0486:9781316155257:09557fig6_3.png)

# Demonstrationsmodelle

Alle Bilder: Hygiene-Museum Dresden



**Augenmodell** der Ausstellung „Das Wunder des Lebens – Vom Denken und Fühlen“, 1935



[www.vuvivi.de/uploads/blog/dauerausstellung\\_hygiene\\_museum\\_dresden.jpg](http://www.vuvivi.de/uploads/blog/dauerausstellung_hygiene_museum_dresden.jpg)

**Ohrmodell** in der Abteilung „Bau und Funktion der Sinnesorgane“, Nationale Hygiene-Ausstellung, 1961

**„Gläserne Kuh“**, lebensgrosses Modell einer trächtigen Kuh, aus Celluloseacetat, Anfertigung 1962

“...a transparent cow named Heidi. Heidi, too, was regarded as a ‘miracle of human ability and perseverance’ whose construction required 15,000 man hours and 60,000 meters of copper wire and plastic tubing. She was an exact replica of a real bovine that the Hygiene Museum had secretly selected, impregnated, and, finally, shot and preserved so that she could fulfill her dharma and be reincarnated in celluloid form along with her five-month embryo.”  
-- Young-sun Hong

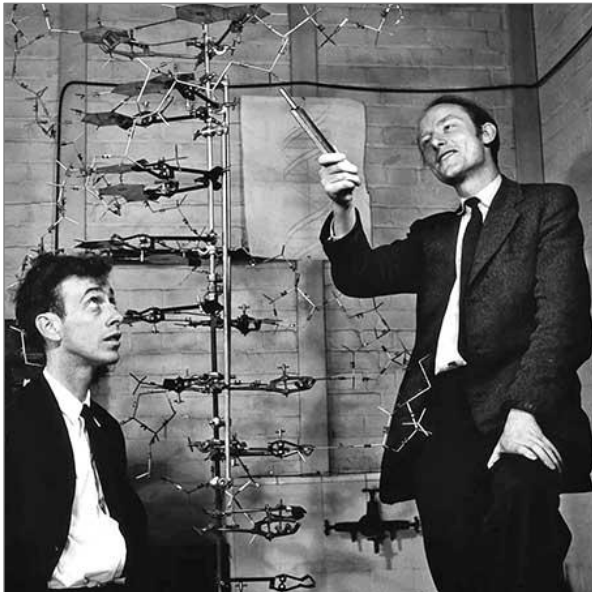
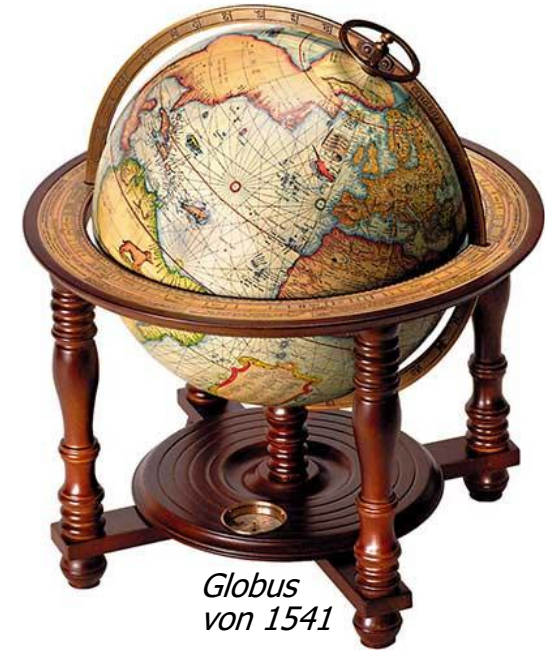


[www.journals.uchicago.edu/cms/10.1086/674728/asset/images/medium/fig16.gif](http://www.journals.uchicago.edu/cms/10.1086/674728/asset/images/medium/fig16.gif)

# Figurative Modelle

Das **deutsche Wort „Modell“** wurde um 1600 dem **italienischen „modello“** entlehnt. Der Schriftsteller und Sprachwissenschaftler Kaspar von Stieler (1632 – 1707) definiert „Modell“ in seinem richtungsgebenden Wörterbuch „Der teutschen Sprache Stammbaum und Fortwachs“ von 1691 noch etwas einschränkend relativ zum heutigen Sprachgebrauch als „gypseus vel plumbeus modulus“; das Suffix „-ulus“ deutet auf eine „kleine“ Musterform (aus Gips oder Blei) bzw. einen kleinen Massstab.

Diese klassische Bedeutung trifft am ehesten auf die **figurativen Modelle** zu – als **Abbilder** dienen sie nicht als Experimentierobjekte, sondern sollen **veranschaulichen** (und so ebenfalls den Erkenntnisgewinn fördern) oder aber als Prototypen bzw. Entwurfsmuster, also als **Vorbilder**, fungieren.



Watson und Crick 1953 am DNA-Modell



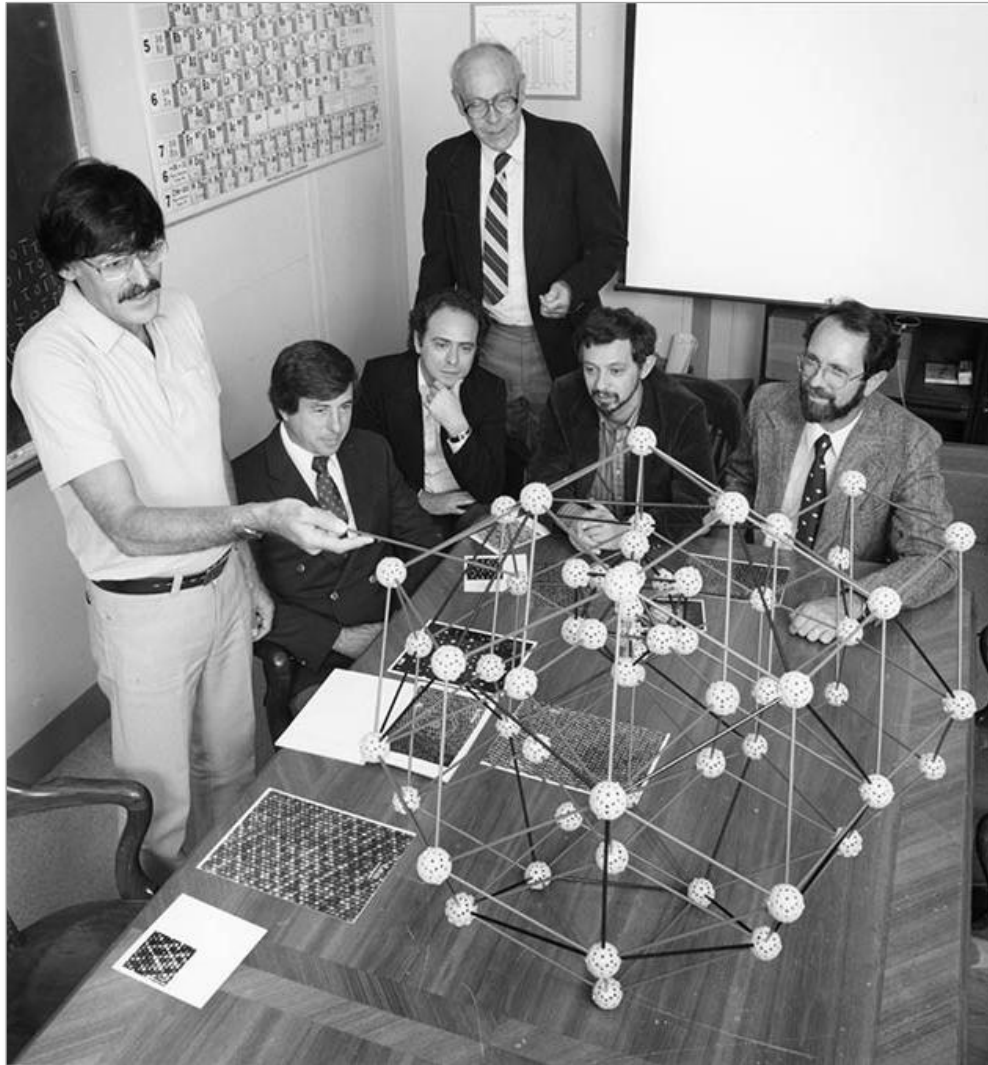
Sowjetische Bauarbeiter ca. 1930



Swissminiatur im Eröffnungsjahr 1959

# Figurative Modelle Beispiele

*Sonderlich aber dienet ein Modell,  
die Einbildungs-Krafft zu staercken.  
– Zedler, Universal-Lexikon, 1754*



**Dan Shechtman** (Jahrg. 1941), israelischer Physiker und Nobelpreisträger (Chemie, 2011) im Jahr 1985 mit einem Modell der Atomstruktur eines **Quasikristalls**. Shechtman entdeckte die Quasikristalle 1982 bei der Kristallstrukturanalyse einer Aluminium-Mangan-Legierung.

Bei Quasikristallen sind die Atome bzw. Moleküle in einer geordneten, aber aperiodischen Struktur angeordnet. Interessant ist die Beziehung zu **Penrose-Parkettierungen**: Schneidet man einen Quasikristall in geeigneter Weise, zeigt die Schnittfläche das Muster einer Penrose-Parkettierung.

Die Existenz solcher Kristalle war eine Sensation, wurde zunächst aber mit Unglauben aufgenommen. „For a long time it was me against the world“ sagte Shechtman später. Der Leiter seiner Forschungsgruppe empfahl ihm, noch einmal die Lehrbücher zu lesen, und drängte ihn, die Gruppe zu verlassen, um sie nicht zu blamieren. Der bekannte Chemie-Nobelpreisträger Linus Pauling glaubte sein Leben lang nicht an Quasikristalle – „es gibt keine Quasikristalle, nur Quasi-Wissenschaftler“ soll er gesagt haben.

2014 kandidierte Shechtman als Präsident Israels. Bei der Wahl durch das 120-köpfige Parlament (Knesset) erhielt er nur eine einzige Stimme; in den israelischen Medien wurde er daraufhin etwas spöttisch als „**Quasi-Präsident**“ tituliert.

# Figurative Modelle Beispiele



**Modell des Uran-Atoms:** Nukleus mit Elektronenwolke. Fotografie von **Annie Wolff** (1906-1994). Annie Wolff wurde in Bayern geboren und arbeitete als selbständige Fotografin in München, floh aber mit ihrem jüdischen Ehemann, dem Architekten Helmuth Wolff (1895-1940), nach Hitlers Machtergreifung aus München in die Niederlande, wo das Ehepaar in Amsterdam ein Fotostudio eröffnete. Nach dem deutschen Einmarsch in die Niederlande im Mai 1940 unternahm sie zusammen einen Selbstmordversuch; sie schluckten ein Schlafmittel und öffneten in der Küche den Gashahn. Helmuth Wolff starb; die 33-jährige Annie konnte gerettet werden. Sie wurde Mitglied der Amsterdamer Widerstandsgruppe „De ondergedoken Camera“ („Die Untergrundkamera“), welche mit versteckten Kameras die deutsche Besatzung der



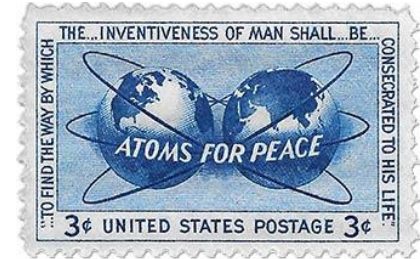
*Gleiches Modell, fotografiert von Robert F. Sisson im Bostoner Museum of Science für einen Artikel „Man's New Servant, the Friendly Atom“ im National Geographic, Januar 1954.*

Niederlande dokumentierte. Im Jahr 1943 richtete Annie Wolff in ihrem Wohnzimmer ein heimliches Fotostudio ein, wo sie mehrere hundert Personen und Familien, meist jüdischer Herkunft, porträtierte. Viele Fotos wurden als Erinnerung für Freunde und Verwandte von Menschen in Auftrag gegeben, die fliehen mussten oder die Deportation befürchteten.

# Figurative Modelle Beispiele



<http://civildefencemuseum.ca/wp-content/uploads/2012/10/Ottawa-Ground-Zero-web.jpg>



Dem „friendly atom“ und dem Motto „atoms for peace“ (US-Präsident Eisenhower im Dezember 1953 vor der UN-Vollversammlung) stand gleichzeitig die Furcht vor dem Atom entgegen.

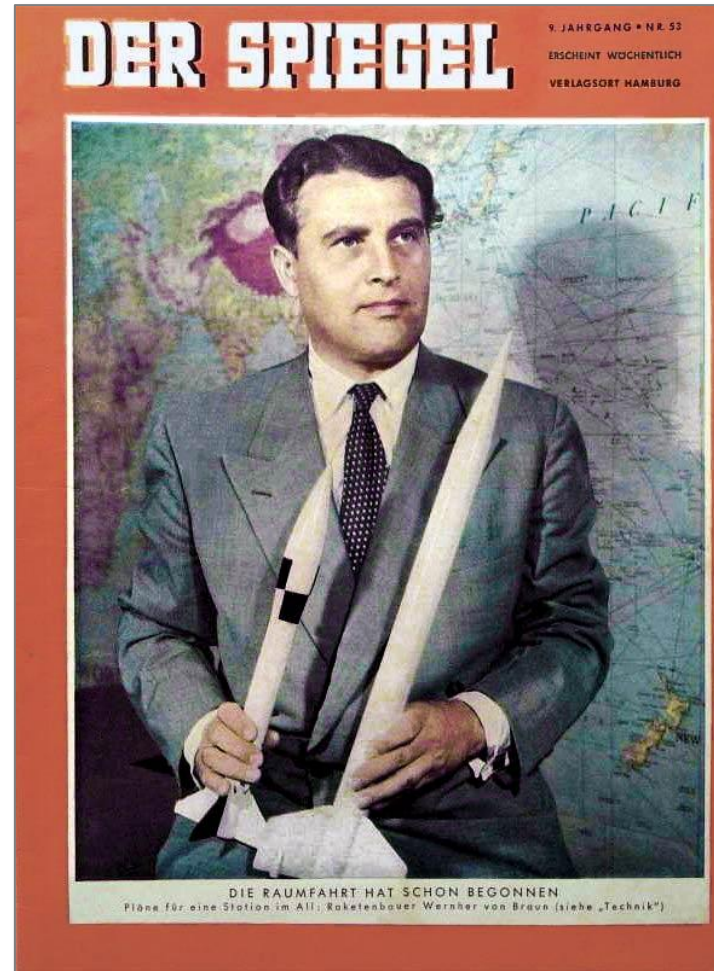
Pappmaschee-Modell einer **explodierenden Atombombe** über Ottawa, erläutert von Lt. Col. W. Arthur Croteau anlässlich einer Zivilschutzübung im April 1952 (Quebec, Kanada).

# Figurative Modelle Beispiele

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-64549-0022\\_Wernher\\_von\\_Braun.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-64549-0022_Wernher_von_Braun.jpg)



Wernher von Braun (1912 – 1977) mit einem Modell der Jupiter-C-Rakete im Jahr 1958



„Der Spiegel“ brachte am 28. Dezember 1955 eine Titelgeschichte „Die Raumfahrt hat schon begonnen“; Coverboy ist Wernher von Braun mit zwei Raketenmodellen.



# Figurative Modelle Beispiele

*Modelle dienen besonders für den Fall, in welchem Zeichnungen oder Beschreibungen dem Verständnis der Wirkung beabsichtigter Herstellungen nicht zu genügen vermögen.*  
-- Lueger, Lexikon der gesamten Technik, 1904

*F.J. Strauß und Konrad Adenauer beim Herbstmanöver der Bundeswehr 1958*



*Ernst Heinkel und Chefkonstruktoren mit Flugzeugmodell He 111 im Windkanal*



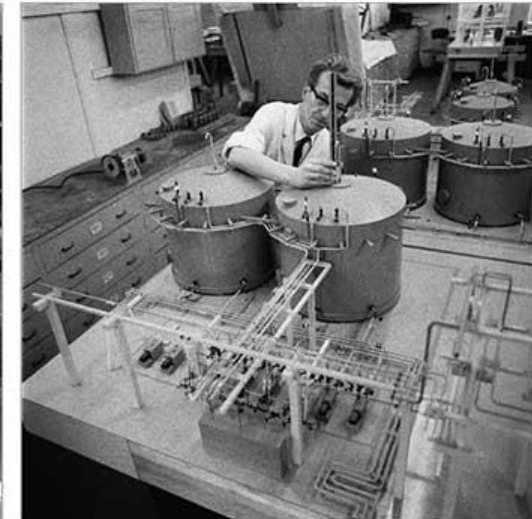
*Auto Union in den 1930er-Jahren: Modelleur und Technikvorstand an einem Tonmodell*



*Der Traum vom Fertighaus-Eigenheim*

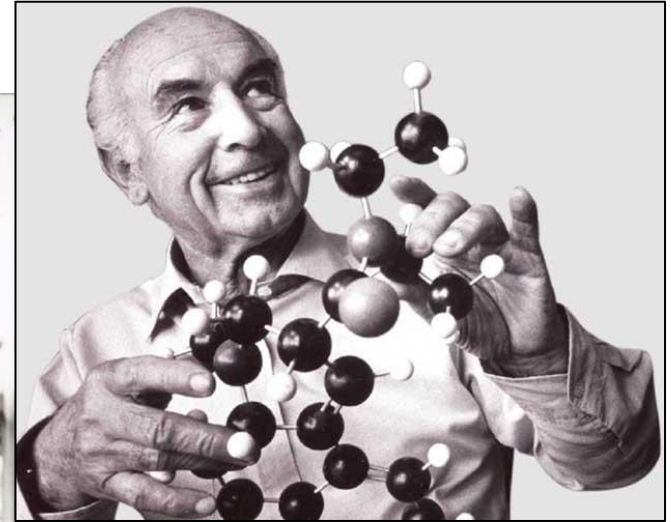
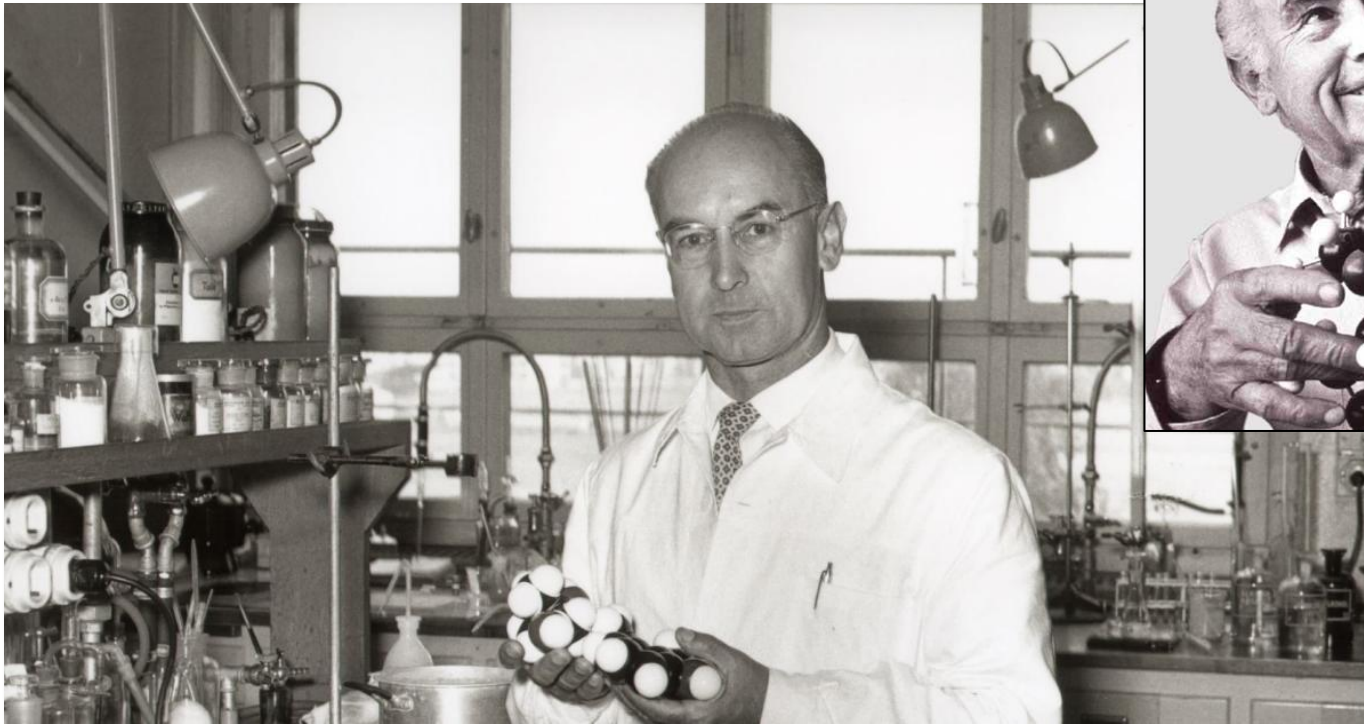


*Modell des Parkstadions von Schalke 04*



*VEB Chemieranlagenbau Grimma*

# Figurative Modelle Beispiele



19. April 1943: Unbeabsichtigt, möglicherweise durch Augenreiben, nahm der Basler Chemiker [Albert Hofmann](#) (1906–2008) eine kleine Menge der Substanz, die er an diesem Tag in seinem Labor bei der Pharmafirma Sandoz synthetisiert hatte, ein, ohne deren Wirkung zu kennen. Dann stieg er auf das Fahrrad, um nach Hause zu fahren. Er hatte gerade den ersten «Trip» in der Geschichte des [LSD](#) ([Lysergsäurediethylamid](#)) angetreten. Um den ungewöhnlichen Empfindungen, die ihn dabei überkamen, auf den Grund zu gehen, beschloss er, einen Selbstversuch zu wagen.

Die halluzinogene Substanz mit der Summenformel  $C_{20}H_{25}N_3O$  weckte das Interesse anderer Wissenschaftler, die begannen, das therapeutische Potenzial zu erforschen. Später wurde aus dem Therapiemittel eine Freizeitdroge, bis es Ende der 1960er-Jahre praktisch weltweit verboten wurde.

# Figurative Modelle Beispiele

*Ferdinand Porsche präsentiert 1938 einem begeisterten Adolf Hitler an dessen 49. Geburtstag ein Modell des geplanten Volkswagens*



Der Spiegel, Nr. 31 / 30.7.2022. "I love how everyone in this picture is like my god it's so futuristic!" - www.reddit.com



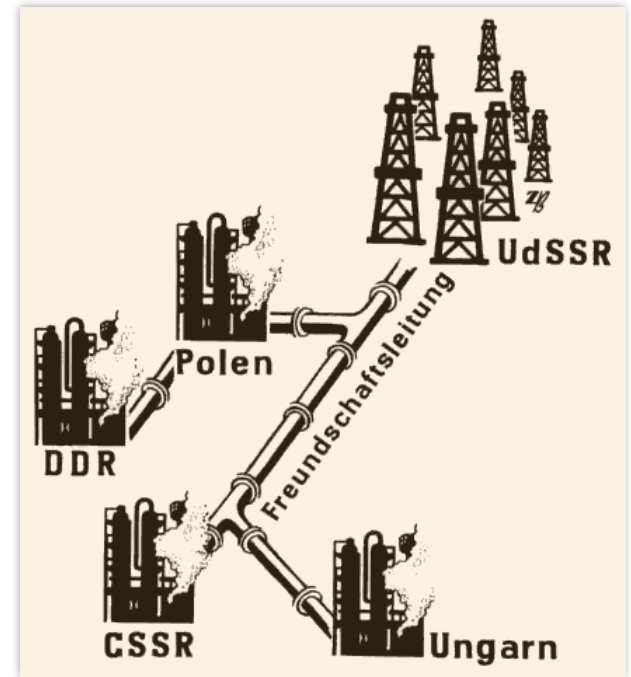
Über das Modell gebeugt ist Jakob Werlin, ehemaliges Vorstandsmitglied der Daimler-Benz AG und Direktor der Mercedes-Niederlassung München, ab 1938 Hauptgeschäftsführer und Mitglied des Aufsichtsrats der Volkswagenwerk GmbH. Dessen Ziel war die Herstellung eines allgemein erschwinglichen, verbrauchsarmen Viersitzers (mit luftgekühltem Motor, „denn nicht jeder Landarzt hat eine Garage“). Insgesamt wurden fünf solche Urmodelle im Mass-Stab von 1:12.5 in der Lehrwerkstatt von Porsche in Stuttgart-Zuffenhausen gefertigt. Eines dieser Modelle schenkte Hitler 1941 dem Industriellen Robert Bosch zum 80. Geburtstag; für 42550 Britische Pfund ersteigerte es die Firma Bosch 1996 bei Christie's zurück.

Ferdinand Porsche engagierte sich nach dem Entwurf des Wagens (1934) und der Konstruktion von drei Prototypen (1935/36 im Garagenanbau seines Stuttgarter Wohnsitzes) vor allem beim Aufbau des Volkswagenwerks in Wolfsburg. Er träumt davon, das Detroit Ford-Werk nachzuahmen und die modernste Automobilfabrik Europas aufzubauen. Um die Fließbandproduktion beim Automobilbau zu studieren und Fachkräfte von Ford abzuwerben, reiste er 1936/37 zwei Mal per Expressdampfer (bei zeitweisen Windstärken im Orkanbereich) in die USA. Porsche schrieb später in einem Artikel des „Völkischen Beobachters“: „Ich habe schon oft gesagt, dass es viel leichter ist, einen 1000 PS-Rennwagen zu konstruieren. Denn hier spielen alle Imponderabilien, die beim Volkswagen so entscheidend sind, Materialfrage, Preisgestaltung und Wirtschaftlichkeit, keine oder nur eine geringe Rolle. Anders beim Volkswagen, der eben nicht nur vollkommen und schnell, sondern einfach in der Bedienung, anspruchslos in der Wartung, billig in der Preisfeststellung und wirtschaftlich in der Unterhaltung sein soll.“

# Figurative Modelle Beispiele



Bundesarchiv 183-63800-0009 (nachträglich koloriert)



Zeitgenössische Darstellung in der DDR-Presse

Jugend des Stadtbezirkes Treptow fährt an der Ehrentribüne ein Modell vom Projekt der Erdölleitung vorbei“, so lautete die offizielle Bildbeschreibung. Die „FREUNDSCHAFT“ auf dem Transparent steht nicht nur für die gerne beschworene Beziehung der DDR zur Sowjetunion, sondern hier konkret auch für den Namen der Pipeline. Die zwischen 1959 und 1964 gebaute [Druschba-Pipeline](#) (Дружба = Freundschaft) verbindet russische Ölfelder mit Raffinerien in Ost- und Mitteleuropa. In Belarus gabelt sie sich in einen Nordstrang, der über Polen bis nach Deutschland reicht, und einen Südstrang, der via Ukraine die Slowakei, Tschechien und Ungarn versorgt. Im Zuge der Sanktionen aufgrund des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine beendete Deutschland im Januar 2023 die Öleinfuhr über die Pipeline; im Februar 2023 stellte Russland als Reaktion auf EU-Sanktionen die Durchleitung von Erdöl nach Polen ein.

# Figurative Modelle Beispiele

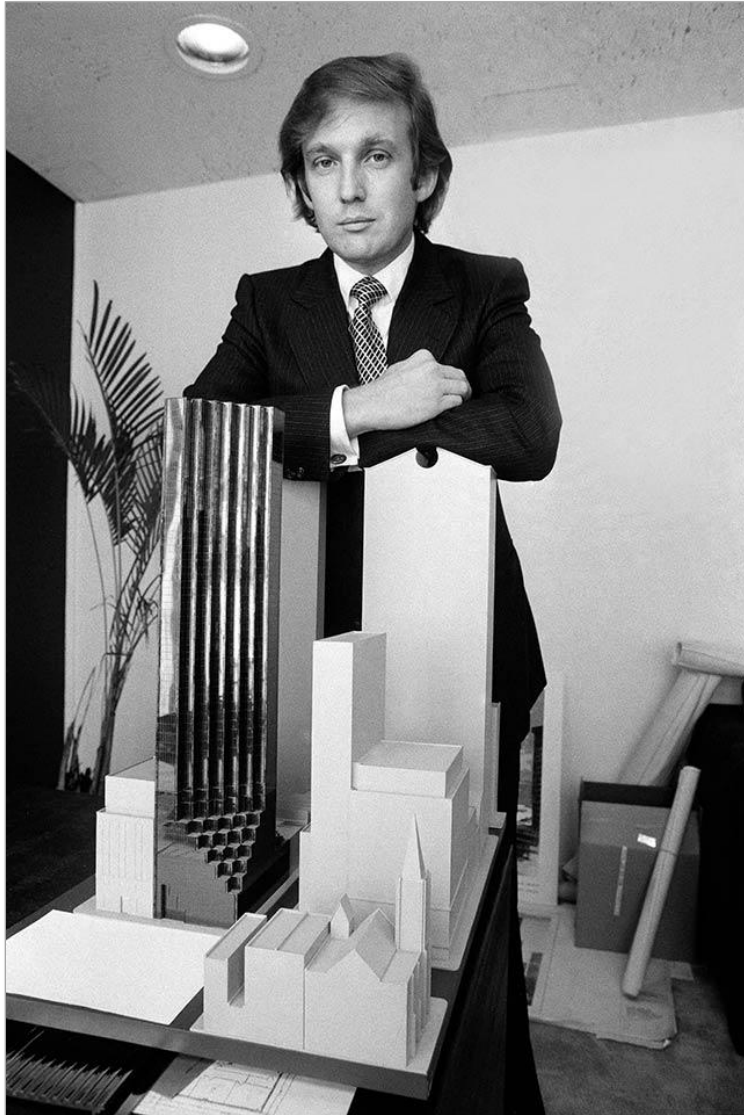


← Edison mit dem Modell eines Betonhauses.

**Thomas Edison** (1847 - 1931) war ein geschäftiger amerikanischer Erfinder (1093 Patente), hauptsächlich auf dem Gebiet der Elektrotechnik, sowie Unternehmer (u.a. Edison Electric Light Co. und General Electric); er betrieb auch die Elektrifizierung New Yorks. Seine bekannteste Erfindung ist der **Phonograph**, ein Audiorekorder zur akustisch-mechanischen Aufnahme und Wiedergabe von Schall (also auch Musik) mithilfe von Tonwalzen (später allerdings übertrumpft durch Grammophon und Schallplatte). Entscheidende Erfindungen von ihm trugen auch zur wesentlichen Verbesserung der Telefontechnik, elektrischer Glühlampen und Stromzählern bei.

Kaum bekannt ist, dass Edison **Betonfertighäuser** baute. Er verbesserte die Qualität des Zements; in den 1920er-Jahren war er der grösste Zementproduzent in den USA. Sein Ziel war die Massenproduktion von preiswerten Betonfertighäusern, die einschliesslich Einrichtungsgegenständen wie Badewannen, Kühlschränken und Möbeln aus „einem einzigen Guss“ aus Beton hergestellt werden. Er wollte sogar spezielle Klaviere und Phonographen auf diese Weise fertigen.

# Figurative Modelle Beispiele



← *Donald Trump 1980 mit einem Modell des Trump Tower*

“Half a lifetime after Trump built it, [the tower still defines the man](#). His primary residence is its triplex penthouse. His corporate offices are on the twenty-sixth floor. His national campaign headquarters are on the sixth floor, in a warren of storage and studio space formerly devoted to his reality-television show, ‘The Apprentice’—and still featuring, as of earlier in the campaign season, the ‘boardroom’ table at which contestants were famously ‘fired.’ Trump himself, after riding down an escalator through the tower’s six-story atrium, announced his candidacy from the sky-lit basement level, perched on a temporary platform rigged over the basin of a sixty-foot waterfall that—along with twenty-four hundred tons of rose-colored Italian Breccia Pernice marble—is the atrium’s signature feature. [...]

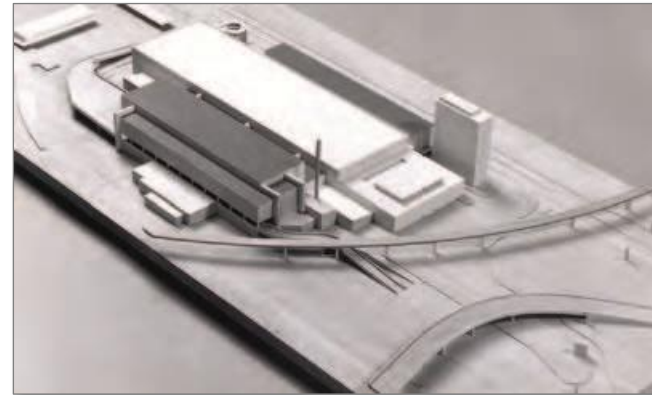
[Trump Tower](#) was the development project that established Trump’s reputation as a builder, as a Manhattan real-estate guy independent of his father’s properties in Brooklyn and Queens—and as a man of wealth and taste. Somehow, Trump’s identification with this single midtown skyscraper has long provided him with an inoculation against the consequences of subsequent flimflam and failure; somehow, it still serves as the security against which the surname is licensed; somehow, the tower substantiates its maker’s cultivated image (as surely as the dark suits and shiny cufflinks that it visually recalls) as a rich man, a businessman, a man of affairs.”

Auszug aus *Seeing Trump in Trump Tower*, The New Yorker, Oct. 2016

# Figurative Modelle Beispiele



Zwei Genossenschaftler mit einem Modell des 17-stöckigen **Migros-Verwaltungshochhauses** vor dessen Rohbau auf dem neuen Migros-Betriebsgelände in der **Pfingstweidstrasse**. Es war damals in den 1960er-Jahren das erste Hochhaus in „Zürich-West“ und stellte ein eindruckliches Eingangstor zur Stadt dar. Auch die Kantine im Hochhaus war eine Sensation: Selbstbedienung, Kakteengarten und ein mit einer Glasscheibe abgetrenntes Spielzimmer, ausgestattet mit Billardtischen und Tischfussballkasten.



Die Eröffnung der neuen Betriebszentrale im Juni 1965 glich einem Volksfest: In einem Extrazug fuhren die über 700 geladenen Gäste vom Hauptbahnhof Zürich zum seinerzeit grössten Lebensmittelverteilzentrum Europas im Stadtteil Herdern. Dort empfing sie eine Musikkapelle mit Tusch, Trommelwirbeln und Ehren-damen in Trachten.

# Figurative Modelle Beispiele

Architektur- und Schiffsmodelle sind die Klassiker unter den figurativen Modellen – Modelleisenbahnen, Modellflugzeuge und Modellautos kamen später (dann oft als technisches Spielzeug) hinzu. Und natürlich gibt es seit Urzeiten Spielzeugpuppen als Modelle.

Architekt Richard Paulick, der „Vater der DDR-Plattenbauten“, vor einem Modell der Stalinallee



Robert und Hermann Treuner mit Teilen ihres Modells der kriegszerstörten Frankfurter Altstadt



Von wichtigen Gebäuden, Brücken, Mühlwerken und Maschinen werden Modelle verfertigt, um ihre Einrichtung möglichst anschaulich zu machen sowie etwaige Mängel desto leichter wahrnehmen und verbessern zu können. Auch hat man schon ganze Städte und Länder, z.B. die Schweiz, im verjüngten Maßstabe durch Modelle dargestellt.

-- Brockhaus Bilder-Conversations-Lexikon, 1837 – 1841



Modell des Schwefelbades von Langensalza (Thüringen), erstellt von zwei arbeitslosen Textilarbeitern



Ted Vanner 1909 mit einem seiner dampfgetriebenen Modellschiffe



# Figurative Modelle Beispiele

## Stalinallee (1)

[https://bild.bundesarchiv.de/device\\_barch/dev1/2021/12-23/a8/9e/file7iytcq5xbkh7tcgq104f.jpg](https://bild.bundesarchiv.de/device_barch/dev1/2021/12-23/a8/9e/file7iytcq5xbkh7tcgq104f.jpg)



„Die Stalinallee ist der Grundstein des Aufbaues zum Sozialismus in der Hauptstadt Deutschlands, Berlin.“ (Walter Ulbricht).

Der Wohnungsbau hatte im kriegszerbombten Berlin eine hohe politische Priorität. Das 9-geschossige Hochhaus rechts im Modell (vgl. dazu die übernächste slide) sollte ein Musterhaus werden und die Überlegenheit des DDR-Sozialismus augenfällig machen. Es wurde vom Ost-Berliner Chefarchitekten Hermann Henselmann geplant, der in den 1950er- / 1960er-Jahren Architektur sowie Städtebau der DDR prägte. Als **sozialistisches Modellhaus** wurden die Wohnungen für die Nachkriegsverhältnisse in geradezu luxuriöser Weise ausgestattet; es gab Einbauküchen mit Elektroherd, Lift, Müllschlucker, Parkettfußböden, Badezimmer mit fließendem warmem Wasser und Badewanne, Türsprechanlagen, Zentralheizung etc. (Wie oft im Sozialismus, konnte man die Heizung aber nur dadurch regulieren, dass man die Fenster öffnete – „wir haben die Weberwiese mitgeheizt“, erinnert sich einer der Mieter.) Der sogenannte „weiße Schwan“ an der Weberwiese wurde allerdings neunmal teurer als vorgesehen. Das war ein Problem, denn das Haus entstand auch als Vorbild für die Wohnbauten („Arbeiterpaläste“) der angrenzenden kilo-

Was ist denn an der Weberwiese los,  
da steht ein Haus so riesengroß.  
Das stand vor ein paar Wochen noch nicht hier.  
Berlin baut auf. Berlin sind wir.  
Die neuen Häuser, die sind dein und mein,  
wir alle wollen Hausherrn sein.  
– DDR-Lied, Text: Karl Stitzer, Musik: Martin Hattwig

← Walter Ulbricht, die mächtigste politische Person in der DDR, im Dezember 1951 bei der Ausstellung „Im Kampf um eine deutsche Architektur“ vor einem Modell für die Bebauung der Weberwiese in Berlin-Friedrichshain. (Auf der Weberwiese wohnten noch Ende des 19. Jh. Weber und Färber in einfachen Hütten, welche die Rasenfläche als Bleiche für ihre Stoffe nutzten.) Ganz links Kurt Liebknecht (1905–1994), erster Präsident der Deutschen Bauakademie.



[https://kulturreferenz.net/berlin/wp-content/uploads/2019/07/SB\\_09-1.jpg](https://kulturreferenz.net/berlin/wp-content/uploads/2019/07/SB_09-1.jpg)

# Figurative Modelle Beispiele

## Stalinallee (2)

*Es wächst in Berlin, in Berlin an der Spree ein Riese aus Stein in der Stalinallee. [...] Die Spatzen vom Alex, die zählen bis acht und schon ist wieder ein Stockwerk gemacht.*

meterlangen und schnurgeraden **Stalinallee**, die ein repräsentativer Prachtboulevard werden sollte, 90 Meter breit für Militärparaden und Aufmärsche. Henselmans erster Entwurf war noch sachlich-funktional im Bauhausstil gehalten, aber sowjetische Funktionäre kritisieren dies – der neue Stil erscheint ihnen

zu dekadent. Staatschef Ulbricht erklärt, er wolle in Berlin „**keine amerikanischen Kästen**“ und das „Neue Deutschland“, Tageszeitung sowie gleichzeitig Zentralorgan der SED, der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands, verkündet die offizielle Doktrin: „Unser Volk verabscheut die amerikanischen Eierkisten. [...] Unsere Architekten scheinen aber die Verachtung des Volkes nicht in der gleichen Stärke zu teilen. Wie ist es sonst zu erklären, daß bisher immer noch keine prinzipielle Abrechnung auf wissenschaftlicher Grundlage mit der sogenannten Bauhaus-Ideologie vorliegt? Alle diese Aufgaben können unsere Architekten nur erfüllen, wenn sie selbst-



*Ein Modell der Stalinallee zusammen mit einer Monumentalstatue Stalins in der Ausstellung „Vorwärts zum Aufbau des Sozialismus“, 1953 im wiederaufgebauten Grassimuseum in Leipzig.*

kritisch zu diesen Schwächen ihrer Arbeit Stellung nehmen.“ Daraufhin ändern Henselmann und die anderen beteiligten Architekten in Windeseile ihre Haltung und ihre Pläne. Der „**sozialistische Klassizismus**“ (bzw. „stalinistische Zuckerbäckerstil“) mit verspielten Ornamenten, hellen Kacheln, dicken Säulen, venezianischen Kolonnaden und angeklebten Balkonen setzt sich in den Entwürfen durch; die Bauwerke werden pompös und „repräsentativ“.



# Figurative Modelle

## Beispiele

### Stalinallee (3)



Wie eine heilige Monstranz bei kirchlichen Prozessionen, so wird hier 1952 beim Demonstrationszug des Pioniertreffens in Dresden mit ca. 70000 Teilnehmern das **Modell eines Modellhochhauses** (an der Weberwiese, Vorbild für die angrenzende Stalinallee) zur Schau gestellt und verehrt.

Die **Pionierorganisation „Ernst Thälmann“** war in der DDR eine sozialistische Kinder-Massenorganisation. Die Mitgliedschaft war zwar formal freiwillig, wurde aber von Staat und Partei erwartet; in den 1980er-Jahren waren ca. 98% aller Schulkinder zwischen 6 und 14 Jahren in ihr organisiert. Bei Anlässen trugen diese eine einheitliche Pionierkleidung: Weisse Bluse / Hemd mit aufgenähtem Pionierabzeichen, blauer Rock bzw. blaue Hose und ein Halstuch.

*Unsere Pioniere, sie sind die künftigen Träger unseres Staates. [...] Wir müssen dafür sorgen, daß sie im gesellschaftlichen Leben zu Bürgern eines neuen Staates werden, den sie über alles lieben und immer bereit sind, ihn aufzubauen und ihn zu verteidigen gegen alle Kräfte des Imperialismus, die die Feinde einer friedlichen Entwicklung der friedlichen Menschen sind. In unserem Verband sollen unsere Pioniere lernen, daß man die Kräfte des Friedens in der Welt, deren Bollwerk, die große, sozialistische Sowjet-Union, liebt und ihnen nach-eifert. [...] Aber sie müssen auch lernen, daß man, wenn man den Frieden erhalten will, und der Menschheit eine glückliche Zukunft geben will, die Kräfte des Krieges, den anglo-amerikanischen Imperialismus hassen muß. [Ansprache zum ersten Jahrestag der Gründung am 13. Dezember 1949]*

# Figurative Modelle Beispiele

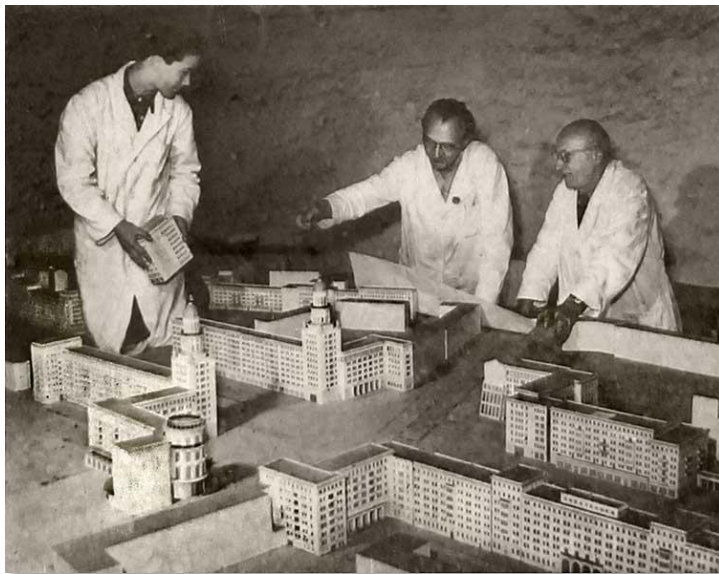
## Stalinallee (4)

Die Spatzen vom Alex, die pfeifen es laut:  
Hier wird unser neues Berlin aufgebaut!

-- Pionierlied / „DDR-Propagandahymne“ /  
„Ostberliner Aufbauhymne“ / ...

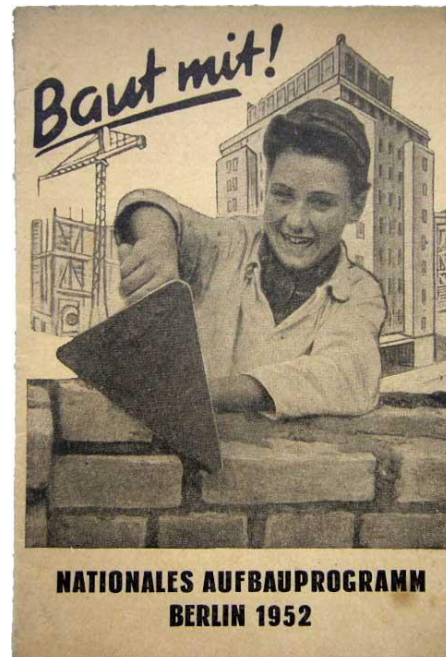
In der DDR beginnt 1952 ein grosses **nationales Aufbauprogramm**, das durch viel Propaganda unterstützt wird. Die Bevölkerung wird zur Mitarbeit aufgerufen, und von Arbeitern werden Sonderschichten über das Plansoll hinaus verlangt. In einer Schrift der Deutschen Bauakademie heisst es: „Die Stalinallee ist nicht nur eine großartige materielle Leistung unserer unter Führung der Arbeiterklasse begeistert schaffenden Menschen. Sie spiegelt auch deren Hoffnungen wider, kündigt stolz von schon erreichten Erfolgen und von der Siegesgewissheit, die uns alle erfüllt.“

An den Bauten für die Stalinallee wird fast rund um die Uhr gearbeitet. Das westdeutsche Magazin „Der Spiegel“ schrieb im Mai 1952 zu den Baustellen: „Dort dudeln auch nachts – zum Betonmischen bei Scheinwerferlicht – die Großlautsprecher den **Marsch von den Alex-Spatzen**“. Tatsächlich hatte das Zentralkomitee der SED erkannt, dass das gute Gelingen des Gesamtwerkes auf entscheidende Weise



[https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Gedenktafel\\_Karl-Marx-Allee\\_75\\_%28F-main%29\\_Karl-Marx-Allee.jpg](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Gedenktafel_Karl-Marx-Allee_75_%28F-main%29_Karl-Marx-Allee.jpg)

Herstellung von Modellen zur Stalinallee in den Architekturwerkstätten des DDR-Ministeriums für Aufbau.



[www.stalinbauten.de/wp-content/uploads/2021/04/Bau-mit-1952.png](http://www.stalinbauten.de/wp-content/uploads/2021/04/Bau-mit-1952.png)



[www.stalinbauten.de/wp-content/uploads/2021/04/Aufbaulotterie\\_1952.jpg](http://www.stalinbauten.de/wp-content/uploads/2021/04/Aufbaulotterie_1952.jpg)

# Figurative Modelle

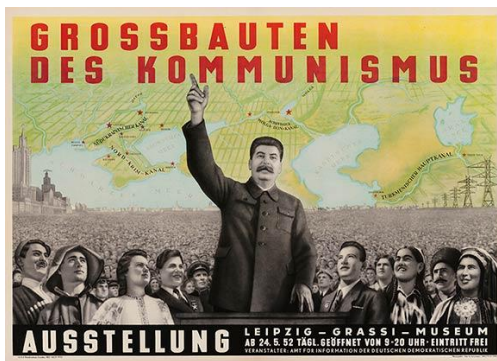
## Beispiele

### Stalinallee (5)

*Stalin führte uns zu Glück und Frieden –  
Unbeirrbar wie der Sonne Flug.  
Langes Leben sei dir noch beschieden,  
Stalin, Freund, Genosse, treu und klug!*

von der Pflege der Bauarbeiter abhängt und schon im November 1951 beschlossen: „Die grossen neuen Bauvorhaben werden mit Radio-Lautsprecheranlagen und Scheinwerfer ausgerüstet.“

Bereits im August 1951 wurde von Walter Ulbricht das fast 5 Meter hohe **Bronzestandbild Stalins** an der Stalinallee enthüllt. Nach der Entstalinisierung in der Sowjetunion liess die SED-Führung das Denkmal allerdings in einer Nacht- und Nebelaktion im Spätherbst 1961 wieder abreißen. Der Berliner Tagesspiegel erzählt die Geschichte so: „Baubrigadier Gerhard Wolf war gegen 22 Uhr aus dem Kino gekommen und zu Hause mit der Botschaft empfangen worden, flugs zum Stalin-Denkmal in der Stalinallee zu eilen. Knurrend schwingt er sich auf seinen Motorroller. Stalin ist weiträumig abgesperrt. [...] Ein Kollege sagt: ‚Gerd, wir sollen Stalin umpusten, weeiß bloß keener, wie.‘ Gerd weiß, wie er diesen merkwürdigen, gut bewachten Parteauftrag erfüllen kann. Er besorgt eine Planierraupe samt Räumschild, gibt Gas, und nach drei, vier Stößen stürzt der einst so heilige Koloss vom Sockel.“



Ein Offizier der Staatssicherheit erklärt Gerhard Wolf und seiner Brigade, was jetzt passiert: „Das Denkmal ist bis zur Unkenntlichkeit zu zerkleinern. Die Mitnahme von Bruchstücken ist verboten, **über die Angelegenheit wird nicht geredet!**“ Pressluftmeißel zerkleinern die Statue, unter ohrenbetäubendem Lärm zerfällt die Figur in kleine Bronzeteile. Während die Männer der Brigade Wolf den Generalissimus zerlegen, werden die Straßenschilder der Stalinallee abgeschraubt. Vom Alex bis zum Frankfurter Tor heißt die Straße nun **Karl-Marx-Allee**.“



# Figurative Modelle

## Beispiele

### Stalinallee (6)

Nur mit einer kurzen Mitteilung gab der Berliner Magistrat am Folgetag bekannt, dass die Stalinallee umbenannt wurde. **Stalin wurde zu einer Unperson**: Die historische und topografische Literatur der DDR zur Geschichte und Landeskunde Berlins verschwieg von da an den Namen „Stalinallee“ und die Existenz des Stalindenkmals. Selbst das Fotografieren der durch seine Beseitigung entstandenen Leerstelle in der Karl-Marx-Allee war untersagt.

*Es steht in Berlin eine Straße  
Die steht auch in Leningrad  
Die steht genauso in mancher  
Andern großen Stadt  
Und darum heißt sie auch Stalinallee  
Mensch, Junge, versteh  
Und die Zeit ist passé*

...  
*Es hat nach dem großen Parteitag  
Manch einer ins Hemde geschissen  
Und hat bei Nacht und Nebel  
Ein Denkmal abgerissen*

...  
*Das Ding heißt doch nicht KARL-MARX-ALLEE  
Mensch, Junge, versteh: STALINALLEE*

Auszug aus dem Song „Acht Argumente für die **Beibehaltung des Namens Stalinallee** für die Stalinallee“ von **Wolf Biermann** aus dem Album „Warte nicht auf bessere Zeiten“, 1978



<https://media.laregione.ch/files/domains/laregione.ch/images/4c3f19d4h.jpg>

Der Liedermacher **Wolf Biermann** wurde 1936 in Hamburg geboren. Sein Vater Dagobert, Jude und Kämpfer gegen den Nationalsozialismus, wurde 1943 im Konzentrationslager Auschwitz ermordet.

Als 16-jähriger übersiedelte Biermann in die DDR; an der Ost-Berliner Humboldt-Uni studierte er Philosophie und Mathematik. Mit der Zeit wandelte er sich zu einem scharfen Kritiker der DDR und ihrer Staatspartei SED, ein langjähriges Auftritts- und Publikationsverbot waren die Folge. Bei Wikipedia lesen wir: „1976 wurde ihm nach einer Konzerttour in der Bundesrepublik Deutschland die Wiedereinreise in die DDR verweigert, und er wurde ausgebürgert. Dies führte in Ost- und Westdeutschland zu breiten Protesten und gilt als **Menetekel für das Ende der DDR**“.



# Figurative Modelle **Beispiele** Stalinallee (7)

*Wir werden Tatsachen des sozialistischen Aufbaus schaffen, die so hell nach Westdeutschland leuchten, dass die Menschen dort darüber sprechen und den Wunsch haben werden, sich das einmal bei uns anzuschauen. -- Walter Ulbricht, 1952*



*Die Stalinallee als idealisiertes Postkartenmotiv.*



Ausgerechnet die Stalinallee mit ihren sozialistischen Prestigebauten war der Ausgangspunkt des DDR-Volksaufstands am 17. Juni 1953. Wir zitieren dazu eine eindrückliche Passage aus dem Buch „Einem Traum verpflichtet“ von Katharina Riege. Sie schildert, wie zu dieser Zeit **Hans Mahle**, ein SED-Funktionär und stellvertretender Konsum-Leiter, sich von seinem Fahrer durch Mecklenburg zu einem Vortragstermin chauffieren lässt. Mahle erlebte in seinem eigenen Wirkungsbereich rund um die Konsumgenossenschaften, dass in jüngster Zeit aufgrund des anhaltenden staatlichen Dirigismus die Eigeninitiative mehr und mehr erschlafften, und er registriert auch ein zunehmendes Rumoren im Volk: Plan- und Normerhöhungen, sich häufende Materialausfälle, massive Streichungen von Sozialleistungen, Versorgungsengpässe, ansteigende Republikflucht. Nun also sitzt er im Auto:

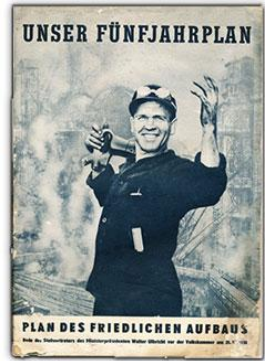
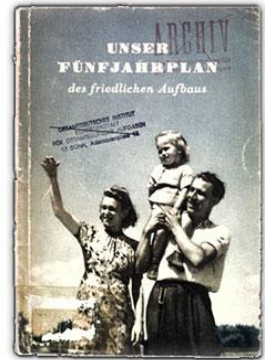
„Sie schalten das Radio ein. Während sich die DDR-Sender ausschweigen, berichten westliche Sender ununterbrochen über **Streikaktionen in der Ostberliner Stalinallee**. Ausgerechnet die Bauarbeiter, die

# Figurative Modelle

## Beispiele

### Stalinallee (8)

*Stalinallee / Karl-Marx-Strasse  
auf einer DDR-Postkarte sowie  
eine Ansicht nach der Wende.*



im Moskauer Zuckerbäckerstil an der »Straße des Sozialismus« bauen, haben die Nase gestrichen voll und wollen ihren Unmut öffentlich demonstrieren. Die ständig hochgeschraubten Arbeitsnormen und die gleichzeitig schrumpfenden Lohntüten haben das Fass zum Überlaufen gebracht. »Nieder mit der zehnpromzentigen Normerhöhung«, heißt es auf einem Transparent am Strausberger Platz. Wie ein Lauffeuer verbreitet sich die Kunde von dem sich langsam Richtung Zentrum formierenden Zug, der weiter anschwillt und neben **ökonomischen Forderungen** auch solche nach **freien Wahlen** und **Beendigung der Alleinherrschaft der SED** skandiert. Die Parteiführung zeigt sich überrascht von der Einmütigkeit und plötzlichen Stärke der Willensbekundung aus dem Volk. Überzeugt, für das Volk denken und handeln zu können, hat sie nie gelernt, oppositionelle Haltungen zu tolerieren oder gar zu akzeptieren und zu integrieren. In den ersten Stunden des Streiks laviert sie. Überstürzt werden dann die soeben noch propagierten überhöhten Arbeitsnormen zurückgezogen. Doch es nützt nichts. Das Feuer ist entfacht. Immer mehr Betriebsbelegschaften schließen sich den Streikenden an. **Die Arbeiterpartei muss befürchten, von Arbeitern entmachtet zu werden.**“



# Figurative Modelle Beispiele

## Stalinallee (9)



Der Fotograf Gerhard Puhmann (1926 – 2009) erhielt für sein Buch „Die Stalinallee. Nationales Aufbauprogramm“ von 1952 den Nationalpreis 1. Klasse der DDR.



# Figurative Modelle Beispiele

## Stalinallee (10)

Drei Jungpioniere geben auf dem Schulhof mit dem Beruf ihrer Väter an: 1. Jungpionier: „Mein Papa ist Bauer, das steht für die Ähre.“ 2. Jungpionier: „Meiner ist Schlosser, das steht für den Hammer.“ 3. Jungpionier: „Meiner ist Architekt, das steht für den Zirkel.“ Kommt ein vierter dazu: „Mein Papa ist Parteisekretär, das steht für die Niete im Zirkel“.



„Wenn ich durch die Straßen  
gehe / Und etwas Neues,  
Schönes sehe / Weis' ich stolz  
darauf: / Das hat mein Freund  
getan! / Mein Freund, der  
Plan!“ -- Walter Ulbricht



Am 21. November 1953 gab die DDR eine **Briefmarke mit der Stalinallee** als Motiv heraus. Diese hatte einen Wert von 24 Pfennig, so viel kostete ein Standardbrief im Inlandverkehr. Eine wichtige Briefmarke also. Sie war Teil einer Markenserie, die dem ersten Fünfjahrplan\* (1951–1955) gewidmet war, erkennbar am Signet unten rechts mit einer „5“ im Verbund mit **Hammer** (Arbeiterklasse), **Zirkel** (akademische Intelligenz) und **Getreideähre** (Bauern). Alle anderen siebzehn Motive erschienen bereits am 10. August 1953, und die nachgereichte 24-Pfennigmarke fiel etwas aus der Reihe, welche einen Bogen spannte von Arbeit, Lernen, Erholung und Ernte des Erreichten. Was war geschehen? Ursprünglich sollte auf dem 24-Pfennig-Wert das Konterfei des „obersten Werktätigen der DDR“ (bzw. korrekter: des Ersten Sekretärs des Zentralkomitees der SED), **Walter Ulbricht**, prangen (siehe geplantes Motiv links). Doch die DDR-Oberen bekamen kurz vor dem Ausgabetag kalte Füße: Der Volksaufstand vom 17. Juni 1953 lag erst knappe zwei Monate zurück, und schon vorher wurde ein zunehmender Unmut



\* In der DDR wurden **Fünfjahrpläne** für die Volkswirtschaft von der Staatlichen Plankommission ausgearbeitet und kontrolliert. Sie galten als Alternative zu einer freien, nachfrageorientierten Marktwirtschaft und sollten Volumen und Vielfalt von Produkten und Dienstleistungen bedarfsgerechter bestimmen und mit geringerem Ressourceneinsatz als eine wettbewerbsorientierte Wirtschaft ermöglichen – und zugleich faire Löhne garantieren.

# Figurative Modelle

## Beispiele

### Stalinallee (11)

in der Bevölkerung registriert. Bereits am 9. Juni entscheidet das Politbüro des SED-Zentralkomitees: „Die Benennung von Betrieben, Institutionen, Straßen usw. nach lebenden Genossen soll in Zukunft unterbleiben“. Die gross angelegten Feierlichkeiten zum 60. Geburtstag Ulbrichts am 30. Juni werden deutlich redimensioniert und am 18. Juli steht in einem Aktenvermerk des Ministers für Post- und Fernmeldewesen: „Nicht ausgegeben werden darf die Marke mit dem Bild des Stellvertretenden Ministerpräsidenten, Walter Ulbricht. Diese Marken sind zu vernichten.“ Am 21.11. wird die [Stalinallee als Ersatzmotiv](#) nachgeschoben.

Acht Jahre später war die politische Lage anders. Im August 1961, als sich nach dem Mauerbau Ulbrichts Popularität auf einem Tiefpunkt befindetet, erscheint gleich eine ganze Serie mit dessen Porträt – verschiedenste Markenwerte in unterschiedlichen Farben. Die 10-Pfennig-Marke (für Briefe innerhalb des gleichen Ortes) war markant grün. Ein politischer Beobachter notiert: „Fast zwei Jahrzehnte lang klebt dieses giftgrüne Miniporträt Walter Ulbrichts auf der gesamten Amts- und Behördenpost der DDR. Mag sein, dass die überwiegend unerfreulichen Mitteilungen, die mit diesem Markenzeichen frankiert sind, die allgemeine Abneigung gegen das Postwertzeichen noch verstärken. Die Marke wird im Volksmund in Anlehnung an einen damals populären Fernsehfilm ‚das grüne Ungeheuer‘ genannt und für Privatbriefe nur ungern verwendet.“

Schnell macht im Untergrund auch ein [politischer Witz](#) die Runde: Der Postminister berichtet dem Genossen Ulbricht, die Postwertzeichen mit dessen Porträt würden nicht ordentlich kleben. Ulbricht nimmt sich eine Marke, spuckt auf die Rückseite und klebt die Marke ohne Schwierigkeiten auf ein Stück Papier. „Ist doch alles in Ordnung?“, fragt er den Postminister. „Na ja“, stammelt dieser verlegen, „die Leute spucken alle vorne drauf.“



In der DDR kursierten viele **politische Witze** – die aber nur hinter vorgehaltener Hand weitererzählt wurden, weil es riskant war, sich über den tagtäglichen realen Sozialismus lustig zu machen. Im DDR-Strafgesetzbuch gab es den Paragraphen 220 (welcher die öffentliche Herabwürdigung staatlicher Organe und das Verächtlichmachen der gesellschaftlichen Ordnung mit Freiheitsstrafe bedrohte) und den berüchtigten „Gummi-paragraphen“ 106 (der Freiheitsstrafe von bis zu fünf Jahren denjenigen androhte, die die staatlichen oder gesellschaftlichen Verhältnisse der DDR, ihre Repräsentanten oder die Tätigkeit staatlicher Organe diskriminieren). Insbesondere in den 1950er- und 1960er-Jahren wanderten einige DDR-Bürger wegen der Verbreitung politischer Witze ins Zuchthaus, später belies man es meist bei Verwarnungen; mit der Satirezeitschrift „Eulenspiegel“ förderte der Staat sogar einen „politisch geduldeten Witz“ innerhalb gewisser Grenzen.

Der westdeutsche Bundesnachrichtendienstes (BND) sammelte insgeheim DDR-Witze, um die Stimmungslage und damit die Stabilität des politischen Systems der DDR auszuloten. Am 11. November, dem Auftakt der Karnevalssaison, und am Rosenmontag, dem Höhepunkt des närrischen Treibens, legten er seine Witzsammlung aus der Geheimoperation der westdeutschen Regierung vor. Tausende DDR-Witze wurden zwischen 1977 und 1989 gesammelt; 657 davon gelangten auf den Schreibtisch des Bundeskanzlers. Eine Kostprobe:

- Der neue Direktor im grössten Kaufhaus der DDR in Ost-Berlin soll der Weltraumkosmonaut Sigmund Jähn werden, vermeldet das „Neue Deutschland“. Jähn kenne sich schliesslich am besten in leeren Räumen aus.
- Was ist Honeckers Lieblingssportart? Bobfahren! Wieso? Links 'ne Mauer; rechts 'ne Mauer; und immer bergab!
- Warum fährt Erich Honecker nur ungern mit der Eisenbahn? Weil der Schaffner immer ruft: „Bitte zurücktreten!“
- Und da war noch der Direktor einer Irrenanstalt, der verhaftet wurde, weil er ein Plakat an der Aussenmauer angebracht hatte „Erich Honecker – einer von uns!“. [„Einer von uns“ war ein Propaganda-Slogan in der DDR; beispielsweise wurde der DDR-Kosmonaut Sigmund Jähn damit stolz und breit in der Öffentlichkeit beehrt. Woraufhin ein DDR-Witz kursierte: „Was ist ‚1 Jähn‘? Na, die Einheit für die Distanz zweier Jähn-Plakate“.]
- Honecker macht einen Staatsbesuch in der Schweiz, und am Flughafen stellt der Schweizer Bundespräsident alle Bundesräte vor, darunter auch den Marineminister. Da fängt Honecker an zu lachen. Der Bundespräsident fragt irritiert: „Warum lachen Sie?“ Honecker antwortet: „Hören Sie mal, Sie haben doch keine Häfen, keine Flotte und kein Meer, was soll das denn?“ Darauf entgegnet der Bundespräsident: „Also, als ich bei Ihnen in der DDR war, da habe ich auch nicht gelacht, als Sie mir am Flugplatz Ihren Justizminister vorstellten.“
- Honecker bekommt von seinen Stasi-Spitzeln zugetragen, dass unter der Bevölkerung viele Witze um seine Person kursieren. In seiner Eitelkeit gekränkt, lässt er nach dem Urheber dieser Witze fahnden. Der wird schliesslich gefasst und in Handschellen zu Honecker geführt. Verärgert fragt Honecker: „Wie können Sie es wagen, andauernd solche Witze über mich als Staatsratsvorsitzenden zu verbreiten? Das ganze Volk steht hinter mir!“ Lachend antwortet der Angesprochene: „Der ist gut, ist aber leider nicht von mir, Genosse Honecker!“

# Figurative Modelle Modellbauten und Baumodelle



Ost ← → West

einst

jetzt



Wanddekoration im Café Sibylle, Karl-Marx-Alle 72, Berlin

# Figurative Modelle Architektur

...eine vollkommene geschnitzte Vorstellung eines ganzen Gebäudes, so man auszuführen vorgenommen.  
— Zedler, Universal-Lexikon, 1754

**Architekturmodelle** gab es wohl schon in der griechischen Antike, überliefert sind aus dieser Zeit jedoch nur zweidimensionale Skizzen. Mit Beginn der **Renaissance** wurde in Italien der Begriff „**modello**“ (synonym auch „disegno“) gebräuchlich, er bezeichnete eine Skizze im ausführungsfähigen Zustand oder ein ausgearbeitetes dreidimensionales Gebilde, z.B. als Vertrags- oder Arbeitsmodell für ein Gebäude oder eine Skulptur.

Berühmt geworden sind die hölzernen Modelle für den **Petersdom in Rom** von Antonio da Sangallo und von Michelangelo. **Michelangelo** war schon 72 Jahre alt, als er nach dem plötzlichen Tod seines Vorgängers Sangallo die Bauleitung des Petersdoms übernahm. Vor allem seine grosse Kuppel lag ihm am Herzen, er wollte seinen Nachfolgern daher einen gut ausgearbeiteten Entwurf hinterlassen; das 1:15-Kuppelmodell aus Lindenholz von 1561 misst 5m x 4m (h x b).



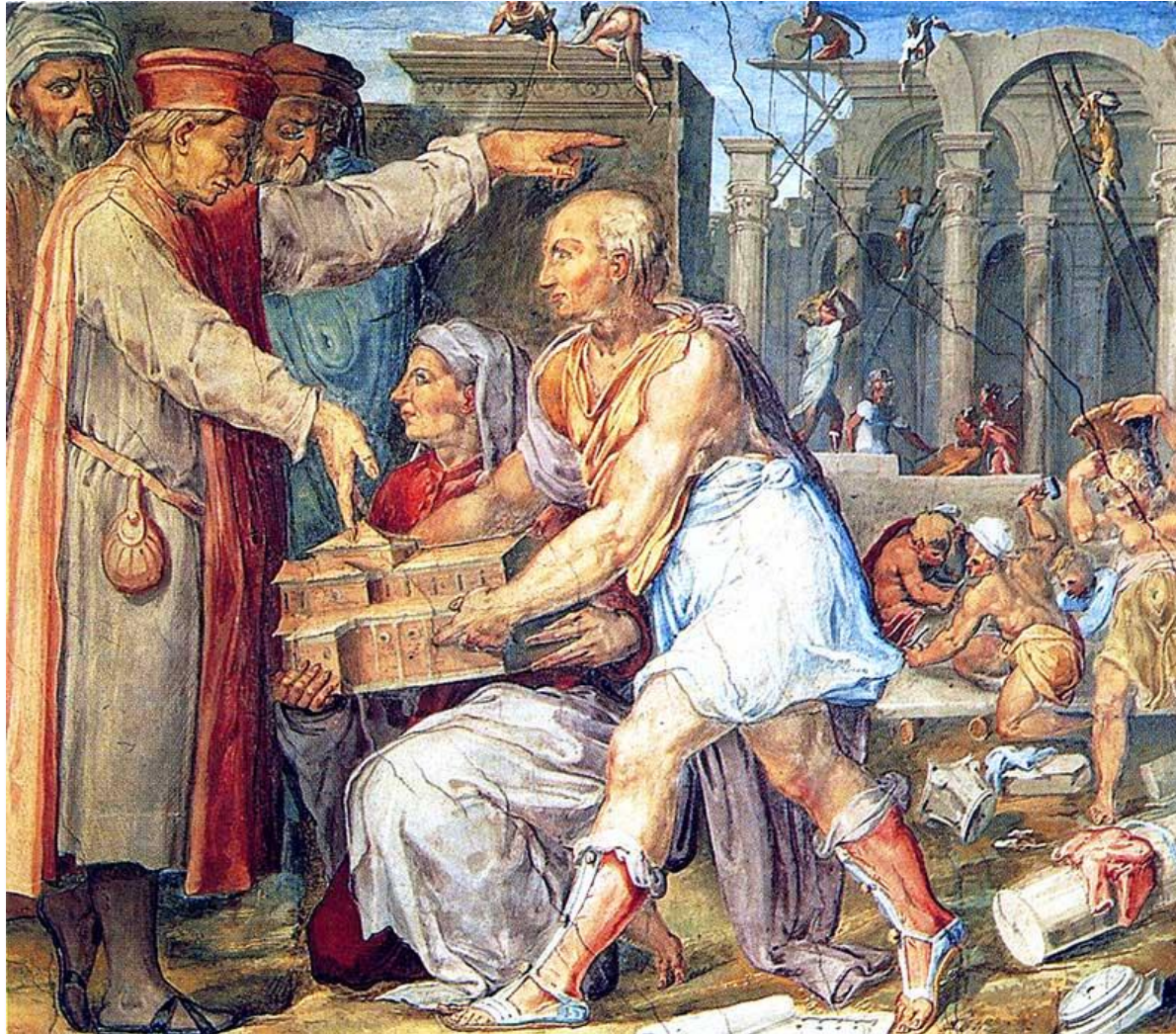
*Domenico Cresti: Michelangelo zeigt Papst Paul IV. das Modell von St. Peter*

[https://it.wikipedia.org/wiki/File:Passignano,\\_michelangelo\\_presents\\_a\\_paul\\_IV\\_the\\_model\\_of\\_saint\\_peter.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/File:Passignano,_michelangelo_presents_a_paul_IV_the_model_of_saint_peter.jpg)



[https://michelangelobuonarrotti.com/files.wordpress.com/2018/07/modello\\_2.jpg](https://michelangelobuonarrotti.com/files.wordpress.com/2018/07/modello_2.jpg)

# Figurative Modelle Architektur



*Fresko (im Palazzo Vecchio in Florenz) von Marco da Faenza nach einem Entwurf von Giorgio Vasari, ca. 1562.*

Es zeigt Filippo Brunelleschi und Lorenzo Ghiberti, die Cosimo dem Älteren de Medici ein **Modell für die Kirche San Lorenzo** präsentieren.

Es handelt sich um die **Umdeutung einer historischen Realität**: Cosimo scheint hier dem republikanisch eingestellten Architekten Brunelleschi den Auftrag zur Realisierung von San Lorenzo entsprechend dessen Modell zu geben, während sich Cosimos Hausarchitekt und Berater im Hintergrund halten. Tatsächlich aber hat Brunelleschi von Cosimo keinen einzigen Auftrag erhalten. Das suggestiv in Szene gesetzte Modell spielt hier bei der bildhaften Legendenbildung eine zentrale Rolle.

# Figurative Modelle Architektur



[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Constantine\\_I\\_Hagia\\_Sophia.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Constantine_I_Hagia_Sophia.jpg)

Teil eines Mosaiks im südwestlichen Portal der **Hagia Sophia** (Istanbul), das um das Jahr 1000 entstanden ist: Kaiser **Konstantin der Grosse** wird mit einem Modell der von ihm gegründeten Stadt Konstantinopel dargestellt.

Konstantin war von 306 bis 337 römischer Kaiser, unter ihm gewann das Christentum an Einfluss im Römischen Reich – es wurde bald darauf, im Jahr 393, zur Staatsreligion erhoben.

Das Architekturmodell hat hier in diesem Sinne eine rein **symbolische Funktion**: Konstantin übergibt das Stadtmodell der Jungfrau Maria mit dem Jesuskind (dargestellt auf einem hier nicht gezeigten Teil des Mosaiks) und widmet sein Wirken damit dem Christentum. Modelle im Sinne einer Widmung zeigen auch die **Stiftermodelle** auf den folgenden slides.



# Figurative Modelle Architektur (Stiftermodelle)

**Stiftermodelle** sind Abbildungen von Modellen von **Sakralbauten** (Kirchen, Klöstern etc.), die in einem Bild neben dem Stifter des Baus (und gegebenenfalls dem entsprechenden Schutzpatron) dargestellt werden; dabei wird das Modell meist in der Hand des Stifters gehalten. Im Verlaufe der Einführung und Ausbreitung des Christentums in Europa sollte dies neben der Förderung und Finanzierung des Baus selbst die **Hinwendung und Widmung des Stifters zum Christentum** und seiner Kirche symbolisieren – der Bau versinnbildlicht gewissermassen sein Bekenntnis zur christlichen Religion.

Das nebenstehend abgebildete Sandsteinrelief (heute im Georgischen Nationalmuseum bzw. Staatlichen Museum der Künste) aus der georgisch-orthodoxen Klosterkirche von **Opizia** (heute im Nordosten der Türkei gelegen) zeigt symbolisch, wie **Aschot I.** (von 813 bis 830 König des mittelalterlichen georgischen Königreichs Tao-Klardschetien) eine Kirche stiftet – er begibt sich, festlich gekleidet, in demütiger Haltung nach rechts, wo (ausserhalb des hier gezeigten Bildausschnitts) Christus thront. Dargestellt ist ein Modell der Klosterkirche, welches das Kloster insgesamt repräsentiert.



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ashot\\_the\\_Kuropalates.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ashot_the_Kuropalates.jpg)

# Figurative Modelle Architektur (Stiftermodelle)



<https://i.pinimg.com/736x/75/54/26/755426da0d132f1817c0b50ae8a94.jpg>

Das Bild zeigt einen Teil der Grabplatte des fränkischen Merowingerkönigs **Childebert I.** (496 – 558) mit dem Modell des Chores von **Saint-Germain-des-Prés** (seinerzeit Teil der Abtei St. Vincent) in Paris.

Childebert I. war ein Sohn von König Chlodwig und der von der Kirche als Heilige verehrten Clothilde, die zusammen die Christianisierung des Frankenreichs begründeten. Als Erbe des Teilreichs von Paris stiftete Childebert I. die Abtei St. Vincent nahe der Île de la Cité, er wurde dort auch durch den Bischof von Paris, Saint Germain (nach dem das heutige Pariser Stadtviertel benannt ist), bestattet.

Die Grabplatte, die sich heute in der Kathedrale von Saint-Denis (der Grabstätte vieler fränkischer und französischer Könige) befindet, wurde allerdings viel später, um 1163, angefertigt; das Modell stellt den erst in der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts neu errichteten Chor der Abteikirche dar.

# Figurative Modelle Architektur (Stiftermodelle)



*Kaiser Heinrich II. und seine Gemahlin Kunigunde, das Modell des Bamberger Doms haltend; handkolorierter Holzschnitt, 1470-1480; Herzog Anton Ulrich-Museum Braunschweig.*

Im Jahr 1000 heirateten **Heinrich II.**, Herzog von Bayern, und **Kunigunde**, welche aus der Herrscherfamilie der Grafen von Luxemburg stammte – die Stadt Bamberg wurde dabei Kunigunde von ihrem Gemahl als Heiratsgut übertragen. Im Jahr 1014 krönte Papst Benedikt VIII. Heinrich II. zum Kaiser. Weil die Ehe kinderlos blieb und Heinrich II. damit der letzte Kaiser aus dem Geschlecht der Ottonen war, wollte er Gott als seinen Erben einsetzen und so das Andenken an ihn und seine Gattin Kunigunde bewahren. Zu diesem Zweck liesen die beiden den **Dom von Bamberg** bauen und ein Bistum gründen. Heinrich wurde 1146 heiliggesprochen, Kunigunde im Jahr 1200; sie sind bis heute das einzige Ehepaar, das die katholische Kirche als Heilige verehrt. Die bildlichen Darstellungen des heiligen Kaiserpaars zeigen sie fast stets mit dem Modell des von ihnen gestifteten Bamberger Doms.



## Die Lovestory des Mittelalters

Bamberg mal schnell zum Hochzeitspräsident erklären? Heinrich II. konnte das. Über einen Mann, der als vermeintlich lendenlahm verspottet und heiliggesprochen wurde. Und der bis heute fortlebt – obwohl er vor 1000 Jahren gestorben ist.

*Oben links:* Ein Artikel der Süddeutschen Zeitung zum 1000. Todestag von Heinrich II mit einem Bildausschnitt der Grabmaldeckplatte im Bamberger Dom von Tilman Riemenschneider, ca. 1513 – eine der eher seltenen Darstellungen des Kaiserpaars ohne Stiftermodell. *Rechts oben:* Gemälde um 1520 (Tempera auf Holztafel, Donaustil, Künstler unbekannt). *Rechts unten:* Silbertaler, Ø 43 mm, 1629 ausgegeben vom Bistum Bamberg unter Fürstbischof Johann Georg II. Fuchs von Dornheim.



# Figurative Modelle Architektur (Stiftermodelle)

Marmorskulptur des Grabmals von Conte [Giacomo Arcucci](#) in der Kirche Santo Stefano auf [Capri](#). Arcucci war der Sekretär der Königin von Neapel, Johanna I. von Anjou (1326 – 1382).

Seine erste Ehefrau starb kinderlos, daraufhin versprach der wohlhabende Arcucci, ein Kloster auf der Insel Capri zu stiften, falls ihm seine zweite Frau einen Nachkommen schenkte. Sein Wunsch ging in Erfüllung; nach Geburt seines ersten Sohnes erbaute er von 1371 bis 1374 die seinem Namenspatron und Apostel Jakobus geweihte [Certosa di San Giacomo](#), die von der Königin mit grosszügigen Privilegien, Ländereien und prunkvollen Reichtümern ausgestattet wurde.



Königin Johanna wurde 1382 in Folge eines komplizierten und blutigen Erbfolgestreits in der Zeit zweier konkurrierender Päpste erdrosselt. Seines ganzen Reichtums beraubt, floh ihr Sekretär Giacomo Arcucci auf die Insel Capri, wo er die letzten Jahre seines Lebens als armer Büsser in „seinem“ Kloster verlebte und dort irgendwann zwischen 1386 und 1390 verstarb. Die Grabskulptur aus dem 17. Jahrhundert stellt Arcucci dar, wie er einen Arm beschützend um ein [Modell der Klosterkirche](#) in hält.

[https://m.facebook.com/permalink.php?story\\_fbid=1781022928675983&id=288607347917556](https://m.facebook.com/permalink.php?story_fbid=1781022928675983&id=288607347917556)

# Figurative Modelle Architektur

Titelbild der Begleitpublikation zur Ausstellung „Zeitgenössische Kunst und Kunstpflege in den U. S. A.“, Kunsthaus Zürich, 1947.

Der bekannte amerikanische Architekt **Frank Lloyd Wright** (1867 – 1959) im September 1945 mit seinem Modell des **Guggenheim Museum** für moderne Kunst an der Fifth Avenue in New York City. Rechts die deutsche Malerin **Hilla von Rebay** (1890 – 1967), welche die Sammlung aufgebaut hatte und für die Schneckenform und helle Farbe des Museums verantwortlich ist, zusammen mit dem amerikanischen Mäzen **Solomon Guggenheim** (1861 – 1949), welcher den Bau finanzierte.



<https://digital.kunsthhaus.ch/viewer/fullscreen/44322/1/>

Ein hier leicht gekürzter Kommentar des Kunst- und Architekturhistorikers Sylvain Malfroy zu **Frank Lloyd Wright**: „Wright sorgte dafür, dass die besten Pressefotografen seinen **Kleidungsstil** dokumentierten, den er mit einer Konstanz pflegte, die unmöglich mit bloßer Mode zu verwechseln war. Diese Fotos, die von den Massenmedien weit verbreitet wurden, verschafften ihm schließlich den Status einer Ikone. Der breitkrepelige Pork-Pie-Hut aus Filz wurde zu einem typischen Attribut Wrights, er schützte nicht nur vor Regen und Sonnen-

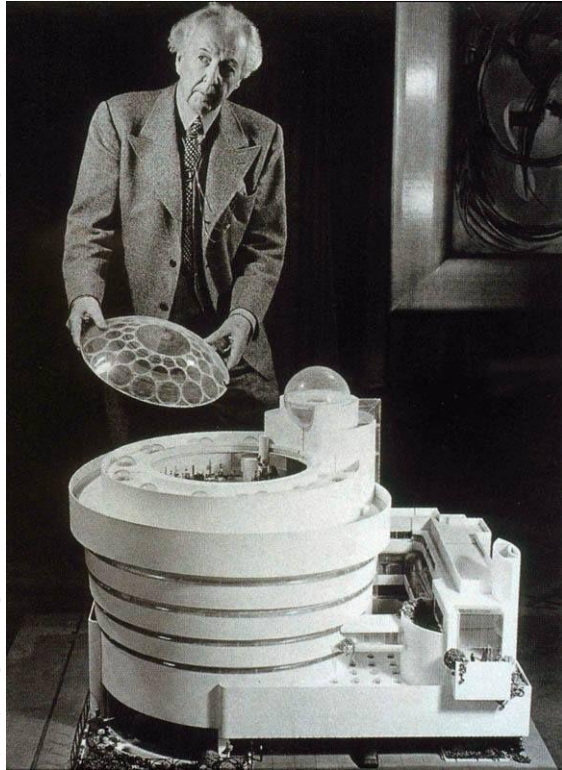
glut, sondern erinnerte in Kombination mit dem Stock des guten Hirten und dem Raglanmantel auch an die Silhouette der Quäker-Feldprediger, deren Gedankenfreiheit und moralische Strenge Wright bewunderte. Ob er sich in den Hügeln von Wisconsin, in der Wüste von Arizona oder in New York bei einer Pressekonferenz aufhielt, diese Accessoires verließen ihn nie. Seine dreiteiligen Anzüge waren aus dem für englische Sportkleidung üblichen Tweed maßgeschneidert, wobei das Jackett gerade oder über Kreuz geschnitten war. Die hellen Farbtöne bestritten offen die Notwendigkeit, sich schwarz zu kleiden, die zu einer unausgesprochenen Regel der bürgerlichen Gesellschaft geworden war, als müsse man, um elegant zu sein, um jemanden oder etwas trauern. Er war ein Meister darin, gestärkte Kragen mit seidenen Bänderos zu kombinieren, deren Enden frei flatterten. In der heutigen Terminologie würde man Wrights Stil als sportlich-schick mit einem Hauch von Exotik und Kunststolz bezeichnen.“ [https://etheritage.ethz.ch/2022/09/02/als-frank-lloyd-wrights-triumphzug-durch-europa-1952-in-zuerich-halt-machte/]

**Solomon Guggenheim** beauftragte Frank Lloyd Wright 1943 mit dem Entwurf des Gebäudes, er starb jedoch, bevor 1956 der Bau des 1959 eröffneten Museums begann. Zu seinen neun Geschwistern gehörte Benjamin, der 1912 beim Untergang der Titanic starb; ihre aus der Schweiz stammenden jüdischen Eltern (der Vater wurde in Lengnau geboren) wanderten 1847 in die USA aus.

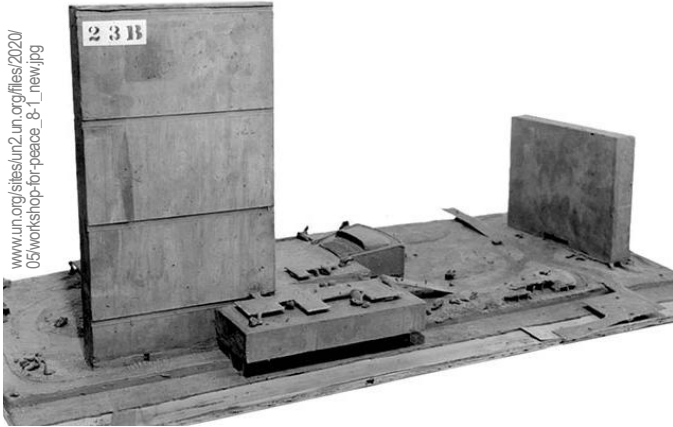
**Peggy Guggenheim** (1898 – 1979), Tochter von Benjamin Guggenheim und Nichte von Solomon Guggenheim, wurde später eine bedeutende Sammlerin moderner Kunst, grosse Teile ihrer Sammlung befinden sich heute ebenfalls im Guggenheim Museum.

Anfang 1952 gastierte im Zürcher Kunsthaus die **Wanderausstellung „Frank Lloyd Wright – Sixty Years of Living Architecture“**, wo das Foto unten entstand. Dazu nochmal Sylvain Malfroy: „Drei junge Männer, wahrscheinlich Architekturstudenten, mit kontrastierenden Kleidungsstilen [...]. Die doppelreihige Jacke im Vordergrund ist etwas zu weit (Konfektionskleidung wurde in der zweiten Nachkriegszeit immer häufiger getragen), zeigt aber eine Vorliebe für den klassischen Look,

der zwar makellos ist, aber auch die Gefahr birgt, austauschbar zu sein; der junge Mann rechts trägt einen Raglan-Regenmantel mit raffinierten wasserdichten Nähten über einer hellen Jacke, die dem Wrightian-Trend nahekommt, während der dritte Junge mit Dreitagebart links eine Pendleton-Tartanjacke trägt, die offen seine Angloamerikanophilie konnotiert und ihn zwischen den jazzliebenden Zazous der 1940er Jahre und der eher literarischen Beat Generation der 1950er Jahre ansiedelt.“



# Figurative Modelle Architektur



Für den **UN-Hauptsitz** (NY) gab es keinen Architekturwettbewerb, sondern ein Team internationaler Architekten erstellte selbst Entwürfe und diskutierte diese.

Links ein Plastilin-Modell von **Le Corbusier**. Realisiert wurde schliesslich ein Kompromiss aus den Entwürfen von Le Corbusier (1887 – 1965) und **Oscar Niemeyer** (1897 – 2012).



Li. un.: Architektenkommission (Leitung: W. Harrison, 5. v. li.) für die Planung des UN-Hauptsitzes in New York 1947: 2. v. li.: Le Corbusier; 6. v. li.: O. Niemeyer.



Da Rockefeller viele Millionen für den Bauplatz spendete, war die New Yorker High Society bei vielen Anlässen zugegen.

Bild: Bibliothek der ETH Zürich, Com\_M01-0369-0006 (1952)





Das „[Time Magazine](#)“ brachte am 22. [September 1952](#) eine Titelgeschichte über den Architekten Wallace Harrison; hieraus einige kurze Zitate, die das UN-Hauptquartier betreffen:

« Last week Wallace K. Harrison was putting the finishing touches to his latest group of landmarks: the new U.N. buildings, on which, as boss architect, Harrison has spent 5 years and \$67.5 million.

In place of the Eastside tenements and slaughterhouses stands the shimmering

glass and marble slab of the Secretariat, towering 39 stories above the East River. Along its base crouches a long (400 ft.) flat (five stories) Conference Building for the U.N.'s numberless councils and committees. Besides the thousands of offices, Harrison's designers and engineers have provided restaurants, meeting rooms, lounges and underground parking space for 1,500 cars.

Architecturally, all that remains to be done is to complete the interior of the General Assembly Building, keystone of the entire group. Like the Conference Building, it is long and low. But where the Conference Building is rectangular, the Assembly is sweepingly curved and zapped with a wide dome. One end is clear plate glass, the other a cliff of marble and translucent glass strips. A long ramp leads up to the 2,170-seat Assembly hall. Along the walls are banks of translators' booths set in strips of gilded South American mahogany. Two vivid, swirling murals by France's Fernand Léger flank the hall, and over the podium will shine rows of plaques bearing the seals of the 60 United Nations.

Few of the non-U.S. architects had had much chance to work on buildings of really soaring height. They welcomed U.S. engineering experience on such problems as wind bracing, elevators, plumbing and fire prevention. Ideas and sketches (all unsigned, since it was to be a group project) piled in and got knocked down right & left. Someone wanted all the elevators put at one end of the building instead of in the center. Russia's Bassov stayed up late one night figuring how many extra steps that would mean for the U.N.'s 3,200 office workers, and the elevators stayed in the center. In four months Harrison had a basic design to show the U.N. "In Europe," said Belgium's Brunfaut, "we could not imagine such rapidity."

When the group was satisfied that it had sketched out a workable U.N. workshop, it was time to think about "making a monument." Part of the solution was to sheath the two ends of the Secretariat in unbroken, windowless walls of marble. "The solid end walls," says Harrison, "also meant no struggles among U.N. staffers for corner offices." »

# Figurative Modelle Architektur



ETH-Bibliothek Com\_M06-0340-0007

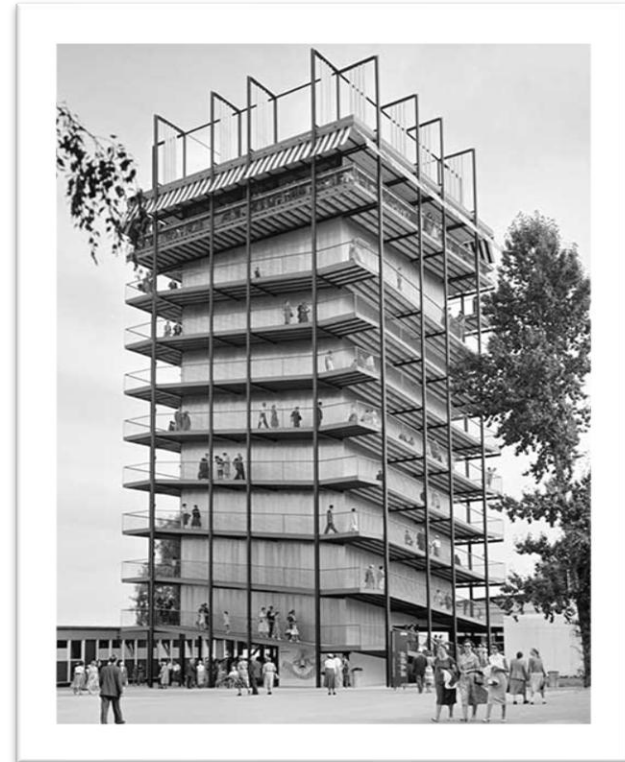
Der Wohnturm war Wahrzeichen der SAFFA 58 (Schweizerische Ausstellung für Frauenarbeit), die vom 17.7. bis 15.9.1958 in Wollishofen am Zürichsee stattfand. Architektin des Wohnturms sowie Chefarchitektin der gesamten Ausstellung war Annemarie Hubacher-Constam (1921 – 2012, links im Bild mit dem Turmmodell; rechts daneben ihre Stellvertreterin, die Architektin Anna Cordes-Meyer). Annemarie Hubacher-Constam war die Enkelin des Architekten Gustav Gull, der die berühmte Kuppel der ETH entwarf; sie studierte zusammen mit ihrem Ehemann Hans Hubacher an der ETH Zürich Architektur. In einem Beitrag der „Schweizerischen Bauzeitung“ schrieb sie im April '58: „Als Blickfang am Festplatz steht der Turm der Abteilung «Wohnen». Die Gäste fahren im Lift ins 8. Stockwerk und schreiten dann einer fallenden, umlaufenden Rampe entlang von Wohnungstyp zu Wohnungstyp und geniessen auf diese Weise eine richtige Übersicht über die verschiedenen Grundrisse und Einrichtungen. Am Wasser in der Nähe der Insel stehen auch der Tea-Room und das Modeschau-Dancing und als Schlussakzent unter den grossen Bäumen der Halbinsel das Männerparadies.“

Der unverkleidete Stahlbau des Wohnturms hatte keine eigentlichen Wände; er wirkte mit seinen durchsichtigen Brüstungen trotz seiner Höhe von ca. 30m sehr leicht. Im obersten Geschoss befand sich ein Restaurant, die anderen Geschosse wurden von acht Architektinnen unterschiedlich ausgeführt und zeigten diverse Möglichkeiten der modernen Wohnraumgestaltung. Der Wohnturm wurde, wie alle anderen Gebäude der SAFFA, nach Ende der Ausstellung wieder abgebaut. Bei dem erwähnten „Männerparadies“ handelte es sich um ein Unterhaltungsensemble mit



Schweizerisches Sozialarchiv SSA

mehreren Restaurants („Autohimmel mit Grill“: Benzinfässer statt Stühle, „Bonne Bouteille Bar“, „Wildwest Saloon“), Kegelbahn, Kino, Herrenfrieseur, Bierzapfsäule, einem Witze erzählenden Telefon („Witztankstelle“) etc., mit teilweise launigen Seitenhieben auf männliche Clichés. Auch konnte Mann dort unter weiblicher Anleitung das Stricken erlernen. Der satirische „Nebelspalter“ kommentierte dies mit einem Witz: „Ein Eidgenosse, ein Nicht-Zürcher, will ins Männerparadies. An der Kasse zahlt er seinen Obolus, ist erstaunt über dessen Niedrigkeit und staunt noch viel mehr, als er schon nach wenigen Schritten dreier Grazien in Bikinis ansichtig wird. Einige Blicke weiter stößt er auf noch mehr der paradiesischen Wesen, faßt Mut und spricht eines davon an: «Sii Fräülain, wo khama do go Witz loosa?» – Und erhält die Antwort: «Äxgüsi, Sii, Si sind da nöd i der Saffa, Si sind da im Schtrampad!»“ *Das Strandbad Mythenquai befand sich direkt daneben.*



*Der Wohnturm war mit seiner transparenten, leichten Konstruktion eine Ikone und Hauptattraktion der SAFFA. Nachts wirkte er als Leuchtturm, er überstrahlte dann als eindrucksvolle Lichtskulptur das Ausstellungsgelände.*



*Blick vom...*



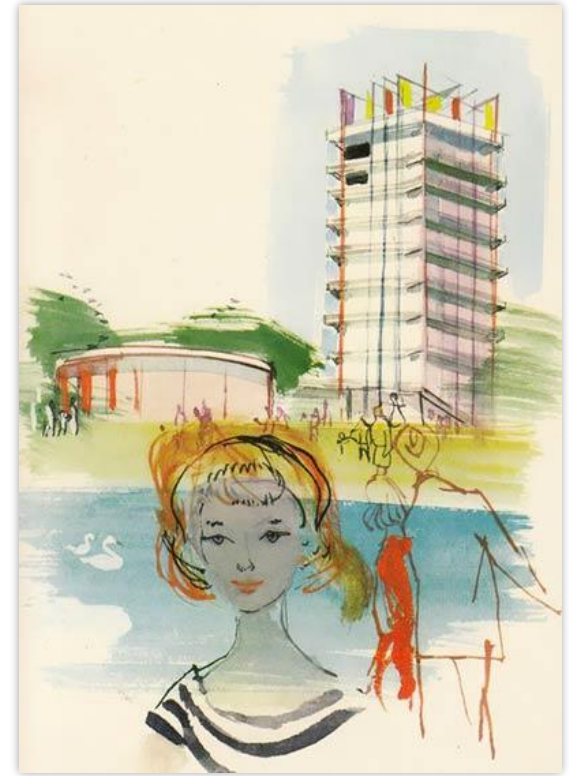
*...Dach mit Restaurant.*



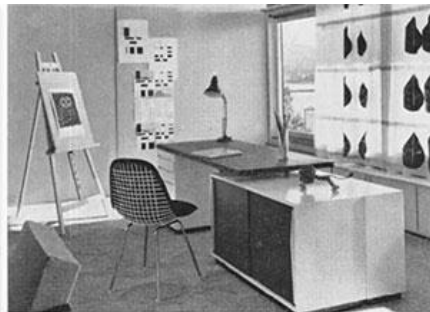
Konzipiert war die SAFFA 58 wie eine kleine Weltausstellung mit Modellen, Informations- und Veranschaulichungsdisplays, aber auch mit diversen Veranstaltungen wie Symposien und Konzerten. In grossen Teilen glich sie auch einer Leistungsschau berufstätiger Frauen („Die Schweizerfrau, ihr Leben, ihre Arbeit“). In gewisser Weise wurde die Ausstellung zu einem nationalen Erfolg, sie lockte knapp zwei Millionen Besucher an. Ein anderes wohl insgeheim erhofftes Resultat blieb jedoch trotz des Männerparadieses und anderer Anstrengungen um den guten Willen der stimmberechtigten Männer aus: Die erste nationale Volksabstimmung der Schweiz zum Frauenstimmrecht kurz darauf im Februar 1959 brachte ein Zwei-Drittel-Nein. (Erst 1971 wurde dies von den stimmberechtigten Männern dann landesweit gutgeheissen.)

Die SAFFA 58 wurde von den grossen nationalen Frauenvereinen der Schweiz unter dem Motto „Lebenskreis der Frau in Familie, Beruf und Staat“ organisiert. Schon diese Begriffe sowie ihre verwendete Reihenfolge weisen darauf hin, dass in den aus heutiger Sicht insgesamt recht konservativen 1950er-Jahren die Rolle der Frau selbst von ihren eigenen Interessensvertreterinnen noch eher traditionell definiert wurde.

Entsprechend diesem Frauenbild wurden im Wohnturm unterschiedliche Aspekte rund um das eigene Heim thematisiert, die Interieurs der Musterwohnungen hatten einen **modellhaften Charakter** zur Orientierung der Hausfrau in einer moderneren, aber wertkonservativen Welt. („le bâtiment phare de l'exposition, la Tour, est intégralement dédié au culte du foyer“ merkte dazu eine heutige Beobachterin kritisch an):



Postkartenmotiv der Grafikerin und Modezeichnerin Sita Jucker (1921-2003), die durch Illustrationen, meist in Aquarelltechnik, zahlreicher Kinder- und Jugendbücher bekannt wurde. Unten: Musterwohnungen mit Wohn-, Arbeits-, Kinder-, Schlafzimmer.





Schweizerisches Sozialarchiv SSA

Auch Wohnküche und Zivilschutzraum sind im Wohnturm zu sehen.

Unten: Männer vor dem extra für die SAFFA geschaffenen „Saffa-Inseli“ und „Rhythmus“-Akt von Hildi Hess.

Der Aspekt des Frauenstimmrechts war kein vordergründiges Thema der Ausstellung. Im Sinne einer Geschlechterkonzeption des „gleichwertig, aber nicht gleichartig“ setzten die Organisatorinnen auf Unterstützung des Mannes in der Partnerschaft, Mithilfe im Staatswesen und Mitarbeit in der Wirtschaft. Diese Zuversicht erwies sich nach der Ablehnung des Frauenstimmrechts 1959 leider als eine Fehleinschätzung.

Einige Monate vor Eröffnung der SAFFA 58 interpretierte die Journalistin, Redakteurin und Schriftstellerin [Laure \[Lore\] Wyss](#) (1913 – 2002), eine frühe und engagierte Vertreterin des Feminismus und Propagandistin der Frauenemanzipation in der Schweiz, in der „Schweizerischen Bauzeitung“ die Bedeutung der Ausstellung auf eine Weise, die deutlich macht, dass sich die seinerzeitigen Umstände und Einstellungen oft nicht einfach in die heutigen binären Kategorien „konservativ“ oder „progressiv“ einordnen lassen. Eine (gekürzte) Textpassage daraus:

„...wird das Werk dem Frauensein, dem Frauenwirken als Ganzem gelten. So haben sich die Veranstalterinnen der Saffa 1958 vor allem darauf besonnen, was eine Frau wirklich ist, wessen sie wirklich bedarf. Sie suchten die Stellung der Schweizerfrau von heute im Leben des Landes festzustellen und sind zum Schluss gelangt, dass bei den meisten Männern und Frauen der Gedanke der Ebenbürtigkeit der Geschlechter zur Selbstverständlichkeit geworden ist. Eine Ebenbürtigkeit auf verschiedenen Ebenen, das versteht sich, Mann muss Mann, Frau Frau sein. [...] Heute weiss die Schweizerfrau, wer sie ist, was sie ist. Reife und Harmonie, man darf es sagen, werden die Ausstellung am See besonnen. So wird schliesslich die Saffa 1958 vor allem von der Haltung der Frau in unserem Lande zeugen. Sie wird ihre Aufgaben lebendig darstellen und dabei, dies ist bemerkenswert, da die meisten Schöpferinnen der Saffa berufstätige Frauen sind, vor allem die Frau im Hause berücksichtigen: die Frau als Mutter, als Erzieherin, die Frau als Hüterin der Muttersprache (nicht des Hochdeutschen, sondern unseres höchstgelegenen Schwizertütsch; es ist gefährdet, wir wissen es alle)...“



www.swissinfo.ch

Schweizerische Bauzeitung, 76 (16), 1958, S. 243 - 244

# Figurative Modelle Archäologie

Eine besondere Klasse von Architekturmodellen stellen **Rekonstruktionen prähistorischer Siedlungen** dar. Hierbei dienen die Modelle nicht der Illustration einer gedachten oder geplanten Zukunft, sondern einer verschwundenen Vergangenheit. Ein Beispiel dafür sind die jungsteinzeitlichen und bronzezeitlichen **Pfahlbauten im Voralpengebiet** von Schweiz, Ostfrankreich, Oberitalien, Österreich und Südwestdeutschland; wegen der aussergewöhnlichen Erhaltungsbedingungen der Holzstrukturen (aber auch von anderen organischen Materialien wie Textilien) unter Sauerstoffabschluss in Seen und Mooren erlauben die (insgesamt ca. 900) Fundstätten eine detaillierte Rekonstruktion sogar in Originalgrösse, wie z.B. bei **Unteruhldingen** am Bodensee (Bild links). Sie vermitteln so eine gute Vorstellung von den Lebenswelten der prähistorischen Populationen (von ca. 5000 v. Chr. bis ca. 500 v. Chr.).

Unten rechts ein frühes Modell (ca. 1867, Massstab ca. 1:16, Germanisches Nationalmuseum Nürnberg) eines Pfahlbauhauses, konstruiert vom Pionier der Schweizer Pfahlbauforschung, **Jakob Messikomer** (1828 – 1917). Dieser finanzierte seine Untersuchungen der Pfahlbausiedlung vom **Pfäffiker See** (Wetzikon-Robenhausen) durch den Verkauf von Modellen. Mitte des 19. Jh. hatte das romantische Bild der Pfahlbauer für die noch



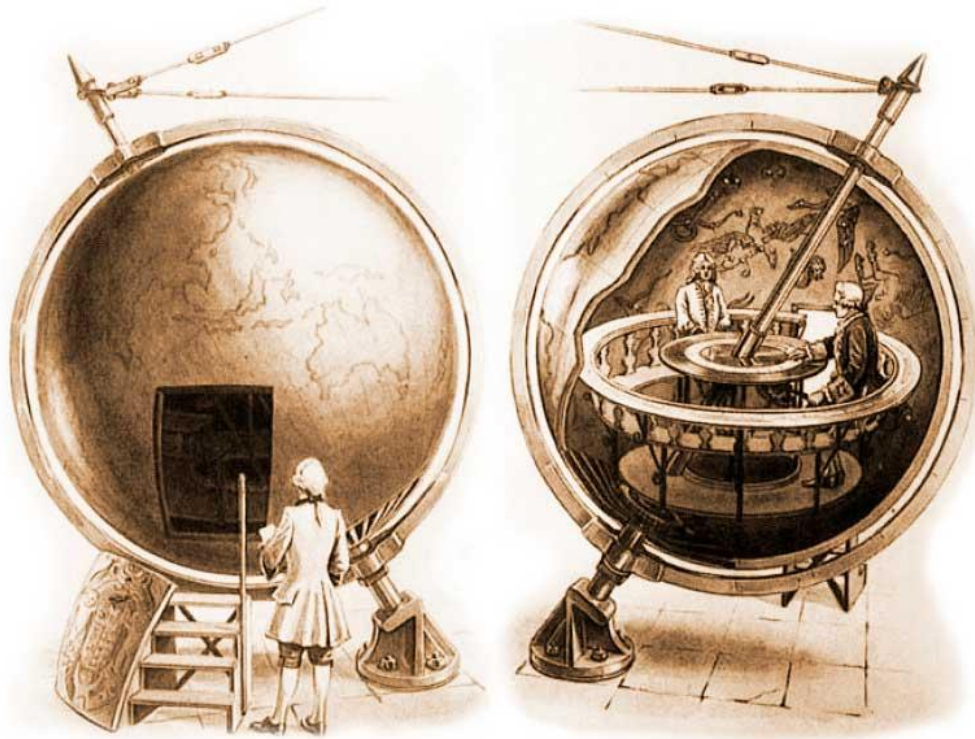
[www.tagblatt.ch/kultur/die-pfahlbauten-sind-weltkulturstaette-ld.163959](http://www.tagblatt.ch/kultur/die-pfahlbauten-sind-weltkulturstaette-ld.163959)

junge **Schweiz einen identitätsstiftenden Charakter**, denn Pfahlbauten fanden sich in vielen Landesteilen und erlaubten es, eine gemeinsame Vergangenheit zu konstruieren. Auf der Weltausstellung von 1867 in Paris war die Schweiz sogar mit einem Pfahlbautopavillon vertreten, auch Messikomer präsentierte dort einige seiner Funde. 1893 wurde er Ehrendoktor der Universität Zürich.



<https://objekt.katalog.gnm.de/objekt/vb8260>

# Figurative Modelle Globen als Weltmodelle – ein Beispiel



Zeichnung: W. J. Peredery, [www.monumente-online.de/de/ausgaben/2008/5/im-inneren-der-welt.php](http://www.monumente-online.de/de/ausgaben/2008/5/im-inneren-der-welt.php)

Zusammen mit künstlerisch begabten Handwerkern schuf **zwischen 1650 u. 1664** der Hofgelehrte Adam Olearius im Auftrag von Herzog Friedrich III von Schleswig-Holstein-Gottorf den mit über 3m Durchmesser **weltgrössten Globus**; aussen bemalt „so fein alß in den gedruckten Land Charten“ und garniert mit Abbildungen von „allerhand Thieren nach Landes Art“.

Als besondere Attraktion zeigte das **Innere der Kugel den Sternenhimmel** mit Gestirnen verschiedener Grössen sowie Sternbildern in kräftigen Farben. Angetrieben durch Wasserkraft drehte sich der Riesenglobus – ein „künstliches Monumentum mathematicum“ – um die geneigte Achse, damit er „nach des Himmels Lauff seine Bewegung und Umbgang in den behörlichen 24 Stunden“ hat.

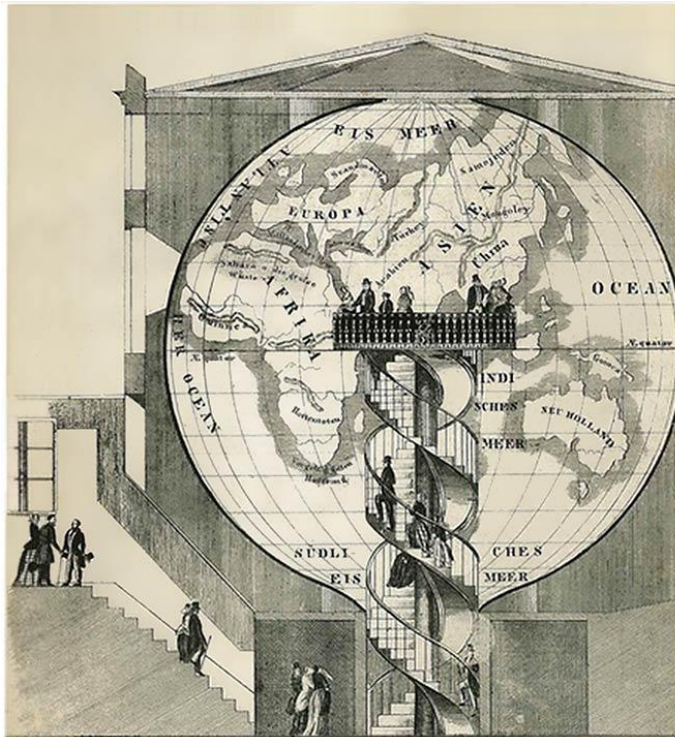
Der Globus repräsentierte in noch nie dagewesenen Dimensionen Weltverständnis und das Universum seiner Zeit sowie die Weltkenntnis

seines Besitzers. Der Zweck lag im wortwörtlichen **Begreifen und Verstehen des Himmelsgeschehens** sowie in der Befriedigung, dieses nach allen Regeln der mathematischen und mechanischen Kunst darstellen zu können.

Bis zu zwölf Personen konnten im Globus, der in einem eigens errichteten Lusthaus in der Gartenanlage von Schloss Gottorf bei Schleswig aufgestellt war, Platz nehmen und so den Lauf der Sterne verfolgen – eine Attraktion für die adeligen und gelehrten Gäste des Herzogs. Der berühmteste und gleichzeitig verhängnisvollste Besucher war der an allen modernen wissenschaftlichen Ideen und Apparaten brennend interessierte **Zar Peter der Grosse**, der im Zuge des Nordischen Krieges 1713 mit dem dänischen König Friedrich IV. auf Gottorf zusammentraf. Der Zar zeigte ein solches Interesse für den Globus, dass die grosse Kugel wenige Wochen später – halb Kriegsbeute, halb Staatspräsent – nach St. Petersburg versandt wurde. Dort setzte er sich morgens gern für eine Stunde in den Globus, um sich mit Astronomie zu beschäftigen und über Gott und die Welt nachzudenken.

# Figurative Modelle

## Georama – ein umgestülpter, begehbarer Globus an den Champs-Élysées



Das Georama in den Elysäischen Feldern zu Paris.

[www.pinterest.ch/pin/367184175866231262/](http://www.pinterest.ch/pin/367184175866231262/)

Aus der Wochenzeitung „L' Illustration. Journal universel“, 2. Mai 1846: Si la **sphère** est l'image vivante de la terre, il faut reconnaître qu'elle est, par sa nature même, **peu commode à étudier**, l'œil ne pouvant jamais en embrasser qu'une partie [...] d'autant plus restreinte que l'instrument devient plus grand. En faisant de vastes sphères on cherchait donc à répondre à un besoin sans pouvoir le satisfaire, et en les construisant de plus en plus grandes, on faisait croître la difficulté comme les diamètres. Aussi ces immenses et incommodes machines demeurèrent-elles bientôt abandonnées. [...]

Ce fut un Français, M. Delanglard, esprit ingénieux et actif, qui le résolut. En **1825**, il annonça avoir trouvé le moyen de permettre d'embrasser sans gêne, sans déplacement, jusqu'à un quart de la surface de la sphère, surface qui, contrairement aux globes ordinaires, s'accroissait avec la grandeur. Voici quel était ce procédé, très-simple d'ailleurs, comme toutes les grandes choses. Il avait imaginé de **retourner sur elle-même la surface terrestre**, de montrer en dedans ce que l'on ne pouvait voir en dehors, en conservant d'ailleurs aux choses toutes les positions qu'elles avaient dans leur première situation. C'est là, il faut le reconnaître, **l'une des idées les plus ingénieuses de ce siècle**. L'établissement reçut le nom très-heureux de **Géorama**, vue de la terre. Sa grandeur a permis d'y représenter les terres et les mers dans leurs moindres détails, d'y figurer les grandes chaînes de montagnes [...].

Le cabinet d'un ministre de la Marine serait très-convenablement placé dans le Géorama, où les leçons de géographie profiteraient beaucoup mieux aux auditeurs les moins intelligents, que celles où le plus habile professeur disserte en face de cartes plus ou moins grandes, et sur lesquelles des topographes de profession semblent se complaire à perpétuer des erreurs notoires. [...] Il suffit de quelques minutes pour comprendre ce que l'esprit des personnes les plus perspicaces peut à peine saisir en plusieurs jours dans nos livres et dans nos atlas. [...]

Chaque cité importante voudra posséder un Géorama ; cette nouvelle création de **l'intelligence française** est appelée à devenir partout un établissement d'utilité publique. [...] *Quand la France entreprend un œuvre quelconque, elle peut, avec la merveilleuse flexibilité de son génie, la mener jusqu'à la perfection.*



# Figurative Modelle Stadtmodelle

Verkleinerte Wiedergabe des Stadtbilds bis hin zu einzelnen Gebäuden, meist zum Zweck der Stadtplanung.

www.stadtmodell-zuerich.ch/view/mg/background\_image-1280.74572aa5.jpg



*Das Modell „Zürich um 1800“ im Massstab 1:500 des Architekten Hans Langmack (1881 – 1952) auf der Basis des Stadtplans des Kartographen Johannes Müller (1733 – 1816) von 1794.*

[www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Ueber\\_das\\_Departement/Grafik%20und%20Foto/Aktuell/Ausstellungen/Stadtmodell\\_M%C3%A4rz\\_18\\_schmaler.jpg](http://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Ueber_das_Departement/Grafik%20und%20Foto/Aktuell/Ausstellungen/Stadtmodell_M%C3%A4rz_18_schmaler.jpg)

*„Dem passionierten Hobby-Modellbauer schlägt das Herz höher, wenn er dieses Zürich im Kleinformat sieht: Alle 55000 Gebäude der Stadt sind hier im Massstab 1:1000 nachgebildet. Das Stadtmodell ist nicht für Touristen entworfen worden, sondern für die Planer im Amt für Städtebau. Wenn Zürich wächst, wächst das hölzerne Miniatur-Zürich sofort mit – Strasse für Strasse und Haus für Haus.“ – NZZ, 6.11.2019*



# Figurative Modelle „Digitale Zwillinge“

Gleiten Sie aus beliebigen Blickwinkeln durch den digitalen Zwilling der Stadt. Der frei zugängliche Geodatenatz der Stadt Zürich lässt sich nun spielerisch leicht virtuell darstellen. -- [www.stadt-zuerich.ch](http://www.stadt-zuerich.ch)

[www.stadt-zuerich.ch/content/ted/de/index/geoz/geodaten\\_u\\_plaene/3d\\_stadtmodell/\\_jcr\\_content/mainparsys/graphic/image.1752.jpg/1479727010797.jpg](http://www.stadt-zuerich.ch/content/ted/de/index/geoz/geodaten_u_plaene/3d_stadtmodell/_jcr_content/mainparsys/graphic/image.1752.jpg/1479727010797.jpg)



*3D-Modell der Altstadt von Zürich. Am oberen Bildrand das Grossmünster, davor die Wasserkirche mit dem Helmhaus, rechts davor das Fraumünster mit Münsterhof. Links St. Peter, noch weiter links das Rathaus. Die Turmspitze von St. Peter verdeckt zur Hälfte das Haus zum Rüden, rechts neben diesem das Zunfthaus zur Zimmerleuten.*

Figurative Modelle sind im Allgemeinen „materiell“ und damit anfassbar. Hier haben wir aber ein Beispiel eines figurativen Modells, das nicht materiell, sondern nur **virtuell** existiert; die Computergraphik als digitale Technologie **simuliert** täuschend echt eine („**fotorealistische**“) Szene – es ist fast so, **als ob** man ein mit den Händen greifbares materielles Modell vor sich habe.

# Figurative Modelle „Digitale Zwillinge“

Zürich hat sich heute ein bisschen mehr in eine Smart City verwandelt: Ab sofort stellt die Stadt ihr 3-D-Modell gratis und offen zur Verfügung. Die Silhouetten von über 50000 Gebäuden sind darin abgebildet, mit all ihren Türmchen, Schrägdächern und Aufbauten. – NZZ 12.11.2018



*Das Hochschulquartier von Zürich.*

<https://web.stzh.ch/app/3d/zuerichvirtuell/>

# Figurative Modelle 3D-Stadtmodell von Zürich 1800

*Vor 220 Jahren war Zürich ein Städtchen mit etwa 10000 Einwohnern, das sich mit zwei Befestigungsringen gegen aussen abschottete. Nun kann man die Gassen und Häuser von damals im Detail erkunden. Digitale Stadtmodelle in 3-D gibt es schon einige; nun aber kommt als vierte Dimension die Zeit dazu. -- NZZ, 15.04.2022*



„Die Stadt Zürich ist um 1800 geprägt von der barocken Befestigung, die sich sternförmig um den mittelalterlichen Stadtkern und dessen Mauern legt. Die Fraumünsterabtei und die übrigen Klöster der Stadt sind als Gebäudekomplexe noch intakt. Im neu erschlossenen Gebiet zwischen Altstadt und Schanzen hat sich das frühindustrielle Textilgewerbe angesiedelt. Hier liegen gleichzeitig die vornehmen Wohnbauten der Besitzerfamilien.“

-- www.stadt-zuerich.ch

# Figurative Modelle 3D-Stadtmodell von Zürich 2022

**Die gleiche Perspektive im Jahr 2022.** Die [Bahnhofstrasse](#) verläuft seit 1865 dort, wo sich früher der Fröschengraben als Teil der Stadtbefestigung aus dem 13. Jahrhundert befand. Anstelle der heutigen [Rudolf-Brun-Brücke](#) und der [Bahnhofbrücke](#) führten früher zwei Stege über die Limmat, auf denen Mühlen für Getreide, Papier und Pulver, aber auch zum Antrieb einer Säge, die Wasserkraft nutzten.



Das [eidgenössische Polytechnikum](#) wurde 1855 gegründet, aber erst 1864 wurde das von Gottfried Semper (dieser war seit 1855 Professor für Architektur am „Poly“) entworfene [ETH-Hauptgebäude](#) fertiggestellt. Der Beginn der Landstrasse nach Winterthur war die [Culmannstrasse](#), gut sichtbar am oberen Bildrand des Modells von 1800.



www.e-rara.ch/zuz/content/zoom/15509014

Zum Vergleich mit heute und dem Modell des Jahres 1800: „Tigurum, siue Turegum, Caesari ut plerique existimant, Tigurinus Pagus, **vulgo Zürich**; urbs in Helvetijs ut vetustissima, ita maxima, et omnium celeberrima.“ Aus: Georg Braun, Franz Hogenberg, Simon Novellanus: Beschreibung und Conraffactor der vornembster Stät der Welt, Band 1, Köln 1582.



Detailausschnitt aus der kolorierten Radierung (Gesamtgrösse: 36.3 x 48.8 cm) mit Turmspitzen St. Peter und Fraumünster, Grossmünster, Rathaus, Wasserkirche, Haus zum Rüden, Münsterergasse, Rindermarkt, Metzgergasse, Stüssi-Brunnen. Der Wellenbergturm, der auch als Gefängnis diente und Teil der Stadtbefestigung war, existiert heute nicht mehr; er störte den Verkehrsfluss auf der Limmat und wurde daher 1837 abgetragen.

# Figurative Modelle Spielzeugmodelle

Viele physische Modelle, z.B. Modelleisenbahnen, Modellflugzeuge, Spielzeugautos, aber auch Puppen, dienen als **Kinderspielzeug**. Dazu James H. Fetzer, ehemaliger Captain der US-Marine, Mondlandungsleugner, Anhänger diverser Verschwörungstheorien sowie emeritierter Professor für Wissenschaftstheorie:

"I can vividly recall, as a young man, obtaining a **kit for constructing a plastic model** of the battleship Missouri. The kit contained at least two crucial ingredients and, if you were lucky, also a third. These were, first, the parts of the model; second, the instructions for putting the parts together; and third, a tube of glue. [...]

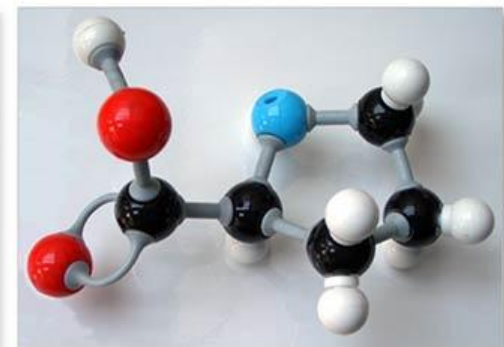
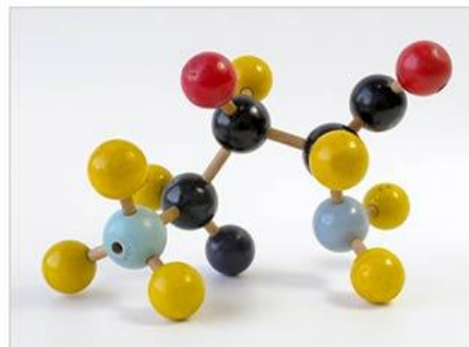
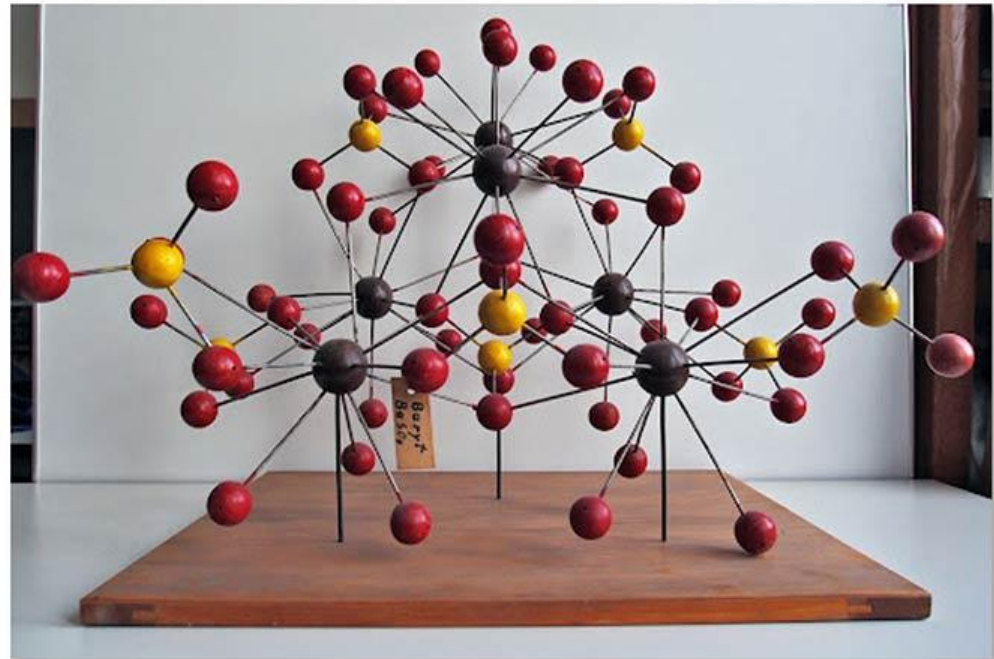
The underlying conception was that, at an appropriate level of detail and scale, there should be a **one-to-one correspondence** between the parts of the model and the parts of the thing modeled, on the one hand, and that, as long as the model was assembled in accordance with the instructions, the relations between the parts of the model should correspond with those of their counterparts on the thing modeled, on the other.

[...] There would be many **functional differences**, insofar as a model of the Missouri could fit into a bathtub but would lack the spots of rust and chips of paint of the real thing. [...]"





# Figurative Modelle Molekül- und Kristallmodelle der Chemie



Links: ein Modell mit Modellen; oben rechts: Baryt-Kristallstruktur; unten Mitte: kein Modell einer realen Substanz; unten rechts: Aminosäure Prolin

[www.reddit.com/r/chemistry/comments/hby97/1930s\\_model\\_holding\\_molecular\\_models/](https://www.reddit.com/r/chemistry/comments/hby97/1930s_model_holding_molecular_models/) --- [www.universitaetssammlungen.de/uimg/large/uimg4ea13fa051a9b.jpg](https://www.universitaetssammlungen.de/uimg/large/uimg4ea13fa051a9b.jpg) --- [www.flickr.com/photos/chrisferebee/18384735453](https://www.flickr.com/photos/chrisferebee/18384735453) --- [https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4bchenmodell#/media/Datei:Proline\\_model.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%A4bchenmodell#/media/Datei:Proline_model.jpg)

# Figurative Modelle Ein Modell für Wasser (H<sub>2</sub>O)?

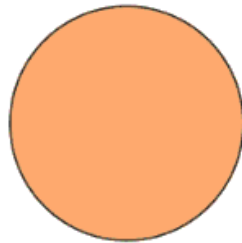


[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The\\_model\\_of\\_Water.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_model_of_Water.jpg)

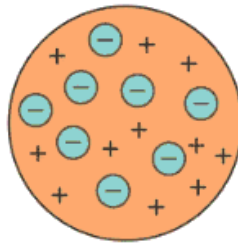
# Figurative Modelle Atommodelle

Atommodelle sind nie so klein wie das Atom. – Bernd Mahr, TU Berlin

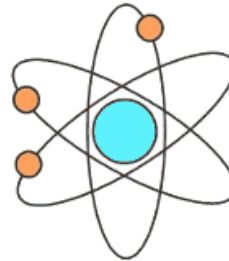
Atommodelle sind eigentlich mathematisch-physikalische Gedankengebilde der Atomphysik. Insbesondere im Rahmen der Quantentheorie ab 1925 wurden die Vorstellungen vom Aufbau und Wesen eines Atoms sehr abstrakt, sie lassen sich adäquat nur als mathematische Aussagen formulieren. Auf die Frage, wie man sich ein Atom nun vorzustellen habe, antwortete der Quantenphysiker Werner Heisenberg, „Versuchen Sie es gar nicht erst!“ Dennoch werden 2D- und materielle 3D-Modelle einer vereinfachten Vorstellung erstellt. Das Atomium in Brüssel (rechtes Bild) ist allerdings kein Modell eines einzelnen Atoms, sondern einer Eisenkristall-Zelle aus neun Eisenatomen.



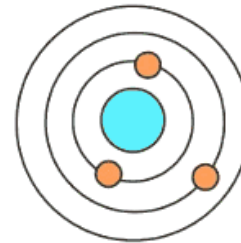
Dalton 1803



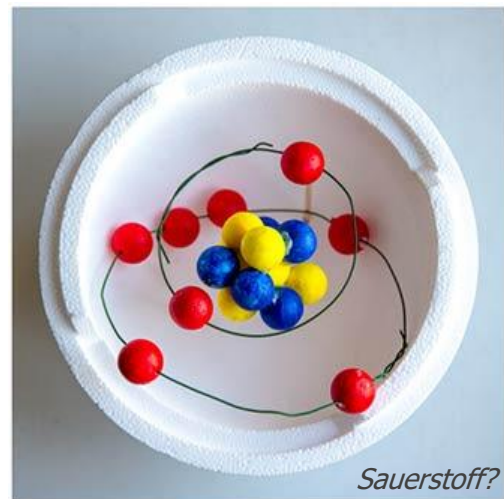
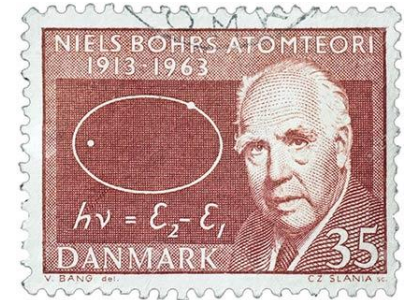
Thomson 1904



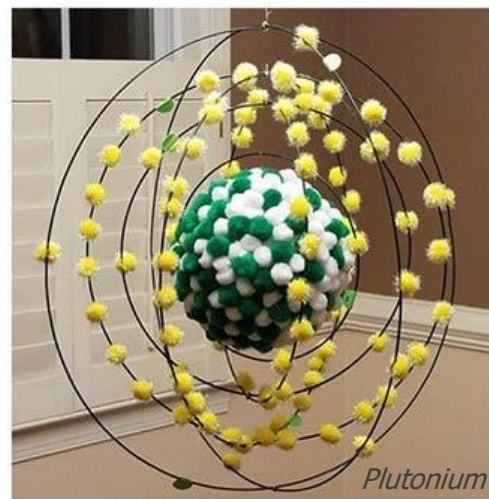
Rutherford 1911



Bohr 1913



Sauerstoff?



Plutonium



Links: Ely-Heuss-Schule Wiesbaden, <http://archiv.ehs-wi.de/mint-news-volltext/neuigkeiten-aus-dem-mint-bereich.html> --- [www.pinterest.com/pin/19632948363026586/](http://www.pinterest.com/pin/19632948363026586/) --- <https://rove.me/de/to/brussels/atomium>

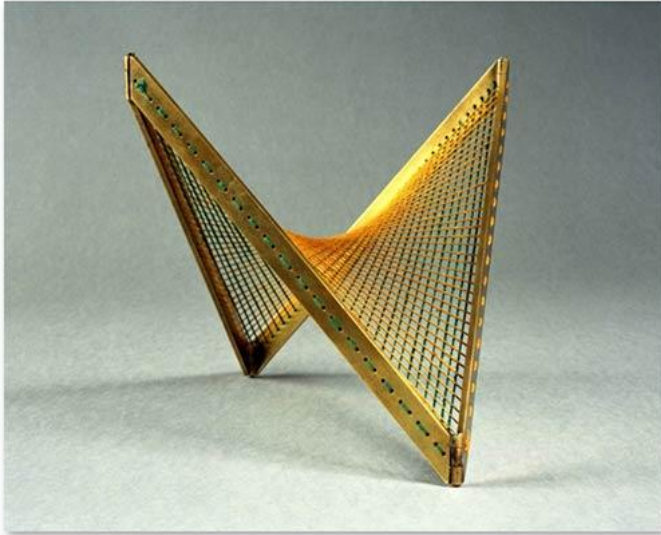
# Figurative Modelle Kristallstrukturen



Sammlung von  
15 Kristallmo-  
dellen aus den  
Jahren 1917  
bis 1920.

Museo Michel-  
angelo, Caserta  
(Italien)

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik



**Figurative mathematische Modelle** entstanden aus der Praxis des konstruktiven Zeichnens im 19. Jahrhundert und wurden schon bald zu Objekten, die vor allem der didaktischen Vermittlung dienten. Indem sie abstrakte Entitäten wie Körper, Kurven oder Flächen höherer Ordnung materialisierten und visualisierten, unterstützten sie die Intuition und machten die immateriellen Gedankenkonstrukte im wörtlichen Sinne „fassbar“. Tatsächlich reflektieren die Verben „begreifen“ und „erfassen“ ja die ursprüngliche Wichtigkeit einer haptischen Erfahrung für Erkenntnis und Verständnis. Der bekannte Göttinger Mathematiker Felix Klein (1849 – 1925) meinte sogar im erweiterten Sinne, der Zweck derartiger Modelle sei „nicht etwa die Schwäche der Anschauung auszugleichen, sondern eine lebendige, deutliche Anschauung zu entwickeln“.



*Kegelschnitte als Stilleben.*

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (2)

**Variables Fadenmodell**, das mit einem Einstellring so konfiguriert werden kann, dass die Fäden als erzeugende Geraden einen **Zylinder**, ein **Hyperboloid** oder einen **Kegel** darstellen:

[www.geometrie.tuwien.ac.at/modelle/models\\_show.php?mode=2&n=71&id=0](http://www.geometrie.tuwien.ac.at/modelle/models_show.php?mode=2&n=71&id=0)



Daniel Lördick: Die Sammlung Mathematische Modelle. In: Sammlungen und Kunstbesitz, TU Dresden, 2015, S. 68-79



*„Ein durchscheinendes, ruhig im Raume schwebendes Gebilde, das sich der abstrakten mathematischen Vorstellung einer Fläche ganz erheblich nähert.“*

*Diese „scheinbare Fläche“ fängt einen Lichtkegel teils auf, teils läßt sie ihn durch, teils spiegelt sie die Lichtstrahlen zurück. Es entstehen auf diese Weise die artigsten geometrischen Figuren.*

*[...] Optische Erscheinungen, vergänglich zwar, und doch von genügender Dauer, um sie eingehend betrachten zu können.“*

[Erwin Papperitz, 1911]

**Scheinflächeneffekt** (rechts): Im abgedunkelten Raum wird ein Drahtmodell so in Drehung versetzt, dass die bewegten und von einem Projektor angestrahlten glanzlackierten Drähte beim Betrachten aufgrund der Nachbildwirkung den Eindruck einer transparenten Fläche erwecken.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (3)

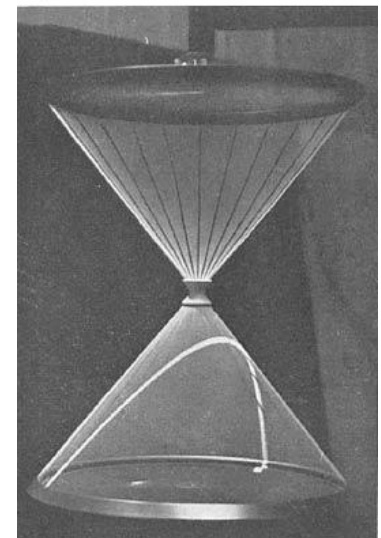
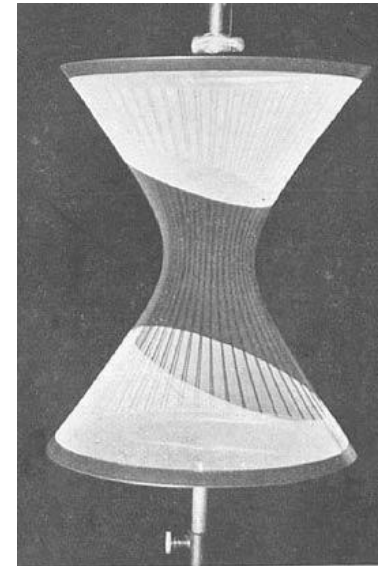


[https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/sammlungen-tu-bergakademie-freiberg-279/bild\\_13-03.jpg](https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/sammlungen-tu-bergakademie-freiberg-279/bild_13-03.jpg)



<https://ncl.museum-digital.de/object/1126885>

1909 wurde von **Erwin Papperitz** (1857 – 1938), Professor für höhere Mathematik und darstellende Geometrie an der Bergakademie Freiberg, ein Apparat zur Erzeugung bewegter geometrischer Lichtbilder vorgestellt. Neben einem „kinodiaphragmatischen Projektionsapparat“ sowie einem entsprechenden Drehapparat gehörten dazu verschiedene symmetrische Rotationsmodelle aus Glanzdraht mit Flächen zweiter Ordnung wie Kugel mit Meridiankurven, Paraboloid, Rotationsellipsoid, Rotationshyperboloid, Kreiszyylinder oder Doppelkegel.



Aus: Walther Lietzmann (1916): Methodik des mathematischen Unterrichts.

## VORWORT.

Die Erfahrung lehrt, daß im geometrischen Unterricht, namentlich auf der Stufe, wo nach der Erklärung der wichtigsten planimetrischen Sätze und Aufgaben die Behandlung stereometrischer Fragen einsetzt, sich erhebliche Schwierigkeiten einstellen, weil es vielen Schülern und Studierenden an räumlicher Anschauung gebricht. Wo aber die Vorstellungskraft versagt, hört auch das mathematische Verständnis auf. Denn, wer sich vergeblich abgemüht hat zu begreifen, verliert allmählich die Lust zur Sache und nimmt schließlich notgedrungen seine Zuflucht zum mechanischen Auswendiglernen von Sätzen und Formeln, die er aber schleunigst wieder vergißt, sobald er nicht mehr danach gefragt wird. Dies kennzeichnet leider nicht nur das Ausbleiben des gewünschten Unterrichtserfolges in vielen Fällen, sondern überhaupt den geradezu kläglichen Standpunkt, den ungezählte, sonst hochgebildete Menschen der Mathematik gegenüber heute noch einnehmen. Nicht etwa aus Verständnis für die logische Einfachheit, die anschauliche Klarheit und die universelle Anwendbarkeit der Mathematik, sondern aus einer zumeist angelernten, vielleicht durch die Scheu vor ihrer angeblich enormen Schwierigkeit noch gesteigerten Hochschätzung gesteht man dieser Wissenschaft zwar einen großen Bildungswert zu, spricht ihr aber zugleich die Möglichkeit ab, jemals populär zu werden. Ein wirksames Mittel, um diesem Schaden an unserem allgemeinen Bildungsstande abzuhelpfen, sehe ich darin,

Schaden an unserem allgemeinen Bildungsstande abzuhelpfen, sehe ich darin, die mathematischen Gedanken nach Möglichkeit aus dem Abstrakten in das sinnlich Wahrnehmbare zu übersezen, also durch direkte Anschauung das logische Verständnis zu erwecken und zu stützen, allen begabten Menschen die Augen zu öffnen und zu schärfen, damit sie Natur- und Kunstgegenstände denkend sehen und das Beobachtete mit geometrischen Begriffen bewußt und klar beschreiben lernen.

Diesem Zwecke, und besonders dem Unterrichte an allen höheren Lehranstalten, in deren Programm die Mathematik gehört, soll mein Verfahren der kinodiaphragmatischen Projektion zur Darstellung geometrischer Figuren dienen.

Es läßt vor unseren Augen unzählige Arten und Formen ebener und räumlicher Gebilde als deutliche und scharfe Lichtbilder entstehen. Und diese Lichtbilder können in ihrer Form stetig verändert, ineinander übergeführt und, soweit sie räumlich sind, von allen Seiten betrachtet werden. Wichtig und vollkommen neu ist die Tatsache, daß es gelingt, durch Bewegung von geeigneten Modellen und durch Projektion räumliche (dreidimensionale) Lichtbilder zu erzeugen, also „im Raume zu zeichnen“; denn gerade räumliche Gebilde sich klar vorzustellen, fällt vielen Menschen äußerst schwer.

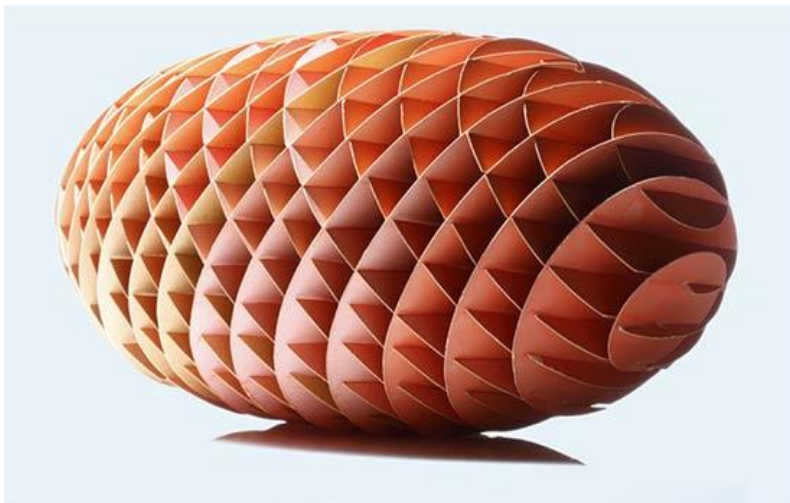
Papperitz propagiert 1912 in seinem [Vorwort zu einem Verkaufsprospekt seiner Apparate](#) (durch die Leipziger Lehrmittelhandlung K. F. Koehler) didaktische Gründe für die Verwendung von Anschauungsmodellen im Geometrie- und Mathematikunterricht, denn wo „die Vorstellungskraft versagt, hört auch das mathematische Verständnis auf.“ Und weiter: „Wer sich vergeblich abgemüht hat zu begreifen, verliert allmählich die Lust zur Sache und nimmt schliesslich notgedrungen seine Zuflucht zum mechanischen Auswendiglernen von Sätzen und Formeln, die er aber schleunigst wieder vergisst, sobald er nicht mehr danach gefragt wird.“ Gute 100 Jahre später ist es wohl nicht viel anders bestellt, kann man leider konstatieren. Und ist der [„geradezu klägliche Standpunkt, den ungezählte, sonst hochgebildete Menschen der Mathematik gegenüber heute noch einnehmen“](#) mittlerweile verschwunden oder gesteht man weiterhin „dieser Wissenschaft zwar einen grossen Bildungswert zu, spricht ihr aber zugleich die Möglichkeit ab, jemals populär zu werden“? Hat die Mathematik mittlerweile ein besseres Image?



# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (4)



Materielle Modelle eines Ellipsoids aus **unterschiedlichen Materialien**; von links oben nach rechts unten: Gips, Draht, Pappe und Holz.



Ein aus metallenen Kreisen erzeugtes und mit Scharnieren befestigtes bewegliches Ellipsoidmodell. Durch die Beweglichkeit zeigt das Modell zueinander affine Ellipsoide, welche auch die Kugel als Spezialfall einschließen. Konzipiert von **Hermann Wiener** (vgl. nächste slide).

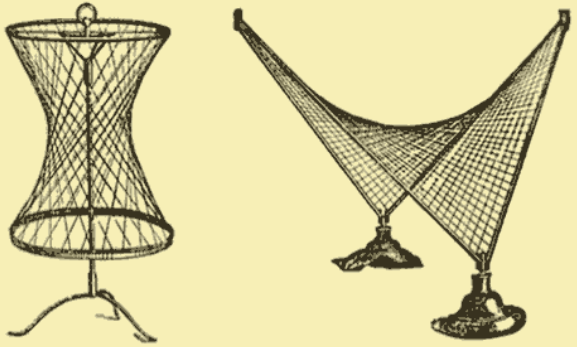
# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (5)

http://modellsammlung.uni-goettingen.de/data/Resource/Literature/katalog\_h\_wiener\_1912.pdf

V. Reihe. Sechs bewegliche Modelle der Regelflächen 2. Ordnung.

Gesamtpreis bei gleichzeitigem Bezug aller 6 Modelle M. 210.—

a) Fadenmodelle:



Nr. 411. Nr. 412.

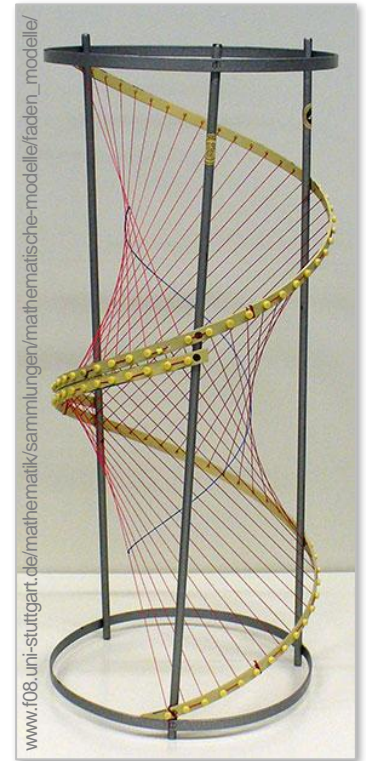
Maßstab 1:10.

411. Bewegliches einschaliges Dreh-Hyperboloid mit Ständer (s. die Figur\*). Höhe (mit Ständer) 44 cm. . . . . M. 35.—

412. Bewegliches hyperbolisches Paraboloid mit Ständer (s. die Figur). Höhe (mit Ständer) 40 cm . . . . . „ 45.—

D. R. G. M.  
207707

Links ein Auszug aus dem [Modellkatalog von 1912](#) von Hermann Wiener und Peter Treutlein, welche Serien von Modellen aus Faden, Draht, Gips, Karton etc. über einen Lehrmittelverlag vertrieben. [Hermann Wiener](#) (1857 – 1939) war Mathematikprofessor an der Technischen Hochschule Darmstadt. Er war der Sohn des Mathematikers [Christian Wiener](#) (1826 – 1896), Professor der darstellenden Geometrie am Polytechnikum in Karlsruhe, ein Pionier des Baus sowie Vertriebs mathematischer Modelle. Generell waren die Schöpfer solcher Modelle meist Mathematiker an Universitäten bzw. technischen Hochschulen, z.T. auch Gymnasiallehrer.



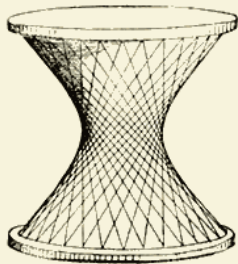
*Oben: Schiefe offene Strahlschraubfläche.  
Unten: Modelle aus den Sammlungen der Universitäten Dresden (links) sowie Stuttgart (rechts).*

*Physical models live in a small corner of ordinary 3-space. – David E. Rowe*

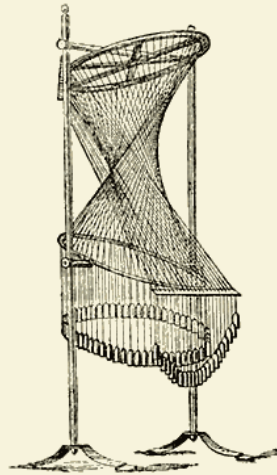
# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (6)

dass die Schnittpunkte beider Scharen von Erzeugenden mit dem einen Begrenzungskreis festgehalten werden, während in dem anderen die Schnittpunkte der einen Schar gegen die der zweiten Schar gedreht werden, ändert das Hyperboloid seine Gestalt zwischen Cylinder und Kegel als Grenzlagen. Mk. 2.80.

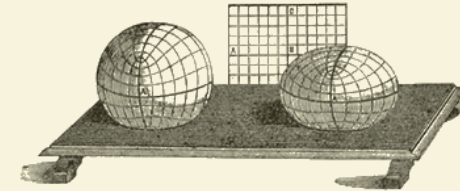
10. (III, 5.) **Einschaliges Hyperboloid** mit Angabe der Hauptschnitte. Die Höhlung des Gipsmodells hat die Gestalt des zugehörigen Asymptotenkegels (Nr. 35). Grosse Halbaxe der Kehlellipse 4 cm. (B). (23 × 14 cm.) Mk. 8.20.



ptotenkegel; jedes System wird durch 64 Fäden repräsentiert. Axenverhältnis der Kehlellipse 21 : 13. (B) (14 × 24 cm.) Mk. 30.—.



15. (IV, 2.) Veränderliches Fadenmodell zur Darstellung des einschaligen Hyperboloids



160<sup>o</sup>. (XVI, 1.) Ellipsoid, welches durch seine Krümmungslinien in unendlich kleine Quadrate geteilt wird. Von Prof. *Novius* in Helsingfors. Es sind die 3 Hauptschnitte und 18 Krümmungslinien aufgezeichnet.

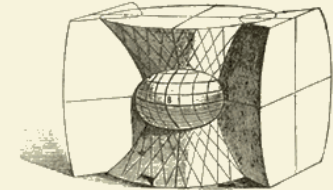
161<sup>o</sup>. (XVI, 2.) Rechteckige Platte hierzu, mit geraden Linien versehen, welche den Krümmungslinien auf dem Ellipsoid entsprechen.

162<sup>o</sup>. (XVI, 3.) Kugel mit 3 grössten Kreisen und 18 confocalen sphärischen Kegelschnitten, welche wiederum den Krümmungslinien des Ellipsoids entsprechen.

Zu den drei Modellen gehört ein gemeinsamer Holzuntersatz.

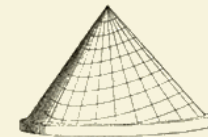
Zusammen Mk. 30.—.

163. (XVI, 6.) Vereinigung des vorgenannten Ellipsoids mit einem confocalen einschaligen Hyperboloid . . . Mk. 16.—.



Abbildg. zu 166. (XVI, 9.)

Die Modelle Nr. 163 bis 166 sind von stud. math. *Hausner* in Göttingen (S) hergestellt.



167. (III, 18.) Elliptischer Kegel mit Krümmungslinien. Die eine Schar von Krümmungslinien sind die Erzeugenden, die andern

*Oben:* Beispiele aus dem „[Catalog mathematischer Modelle](#)“ der Verlagshandlung Martin Schilling, Halle a. S., 1903: „Bei Bestellungen genügt die Angabe der Serie und Nummer, eventuell auch noch des Preises. Die Verpackung der Modelle geschieht aufs sorgfältigste, und die Emballage wird aufs billigste berechnet. Besondere Wünsche, auch in Betreff der Zahlung, werden gern in weitestem Masse berücksichtigt.“

*Links unten:* Studenten mit mathematischen Modellen 1893.

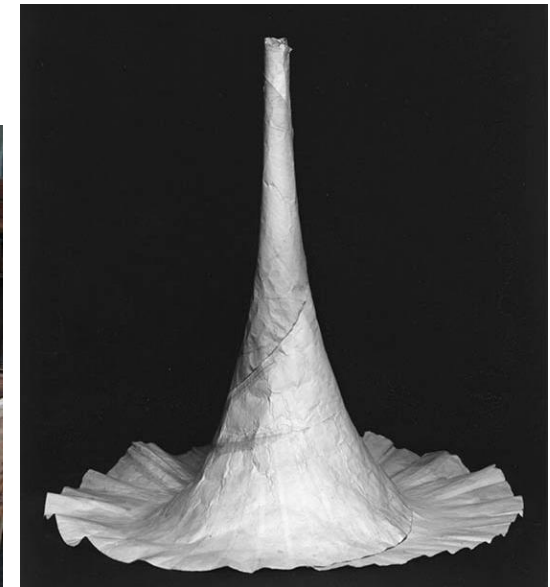
# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (7)

Ein Standardbeispiel einer **nicht-euklidischen Geometrie** basiert auf der sogenannten **Pseudosphäre**, einer Sattelfläche konstanter negativer Gaußkrümmung. (Die Pseudosphäre ist damit in gewisser Weise ein „Pendant“ zur Sphäre, der Oberfläche einer Kugel, wo die Gaußkrümmung ebenfalls überall konstant ist, allerdings positiv.) Das Beispiel geht auf den italienischen Mathematiker **Eugenio Beltrami** (1835–1900) zurück; auch Felix Klein, Bernhard Riemann und Henri Poincaré befassten sich damit.

Beltrami schätzte seinen französischen Kollegen Jules Hoüel\*) sehr, 56 Briefe von ihm an Hoüel sind überliefert. Im März 1869 schrieb er: „J’ai eu [...] une **idée bizarre** [...] J’ai voulu tenter de **construire matériellement la surface pseudosphérique**, sur laquelle se réalisent les théorèmes de la géométrie noneuclidienne. [...] On peut, par des morceaux de papier convenablement découpés, reproduire les trapèzes curvilignes dont la surface véritable peut être censée se composer.”

Und wenige Tage später schreibt er: „Ce matin, avec l’aide d’un de mes élèves, qui est bon dessinateur, j’ai découpé un **modèle en carton** qui est assez bien réussi, et qui me servira pour un nouvel essai de construction d’une surface pseudosphérique.”

\*) Zu Jules Hoüel (1823–1886) merkte Paul Barbarin (1855–1931) einmal an: „Hoüel, dont la puissance de travail était prodigieuse, n’avait pas hésité à apprendre toutes les langues européennes dans le but de faire connaître à ses contemporains les œuvres mathématiques les plus remarquables.”



Beltramis Papiermodell der Pseudosphäre an der Universität von Pavia; zusammengerollt und aufgerollt in Form gebracht.

[http://2.bp.blogspot.com/\\_6P9cq9HKBWY/TEunMqIS9SI/AAAAAAAAA4/tH2HqF6ilSM/s1600/beltrami-1a.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_6P9cq9HKBWY/TEunMqIS9SI/AAAAAAAAA4/tH2HqF6ilSM/s1600/beltrami-1a.jpg)

<https://link.springer.com/artide/10.1.007%2F500283-016-9698-2>

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (8)

Schon acht Jahre später wurde die Pseudosphäre („Rotationsfläche der Tractrix“) in einem deutschen Lehrmittelverlag als Gipsmodell angeboten. Bei dem im Katalog genannten „stud. math. Bacharach“ handelt es sich um [Isaak Bacharach](#) (1854 –1942); er fertigte das Urmodell in Form eines gedrechselten Holzkörpers, der den späteren Gipsmodellen als Abgussvorlage diente. Er promovierte 1881 bei Max Noether und wurde Professor an der Königlichen Nürnberger Industriehochschule. 1920 wurde er mit verschiedenen Verdienstorden ausgezeichnet und „unter Anerkennung seiner vorzüglichen Dienstleistung“ in den Ruhestand versetzt. Kollegen und Studenten

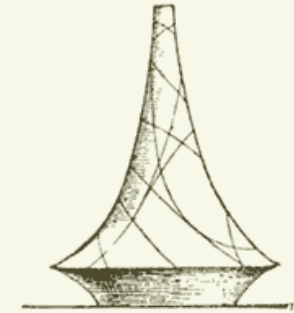


Aktuelle Fotografie des Gipsmodells

www.unimuseum.uni-tuebingen.de



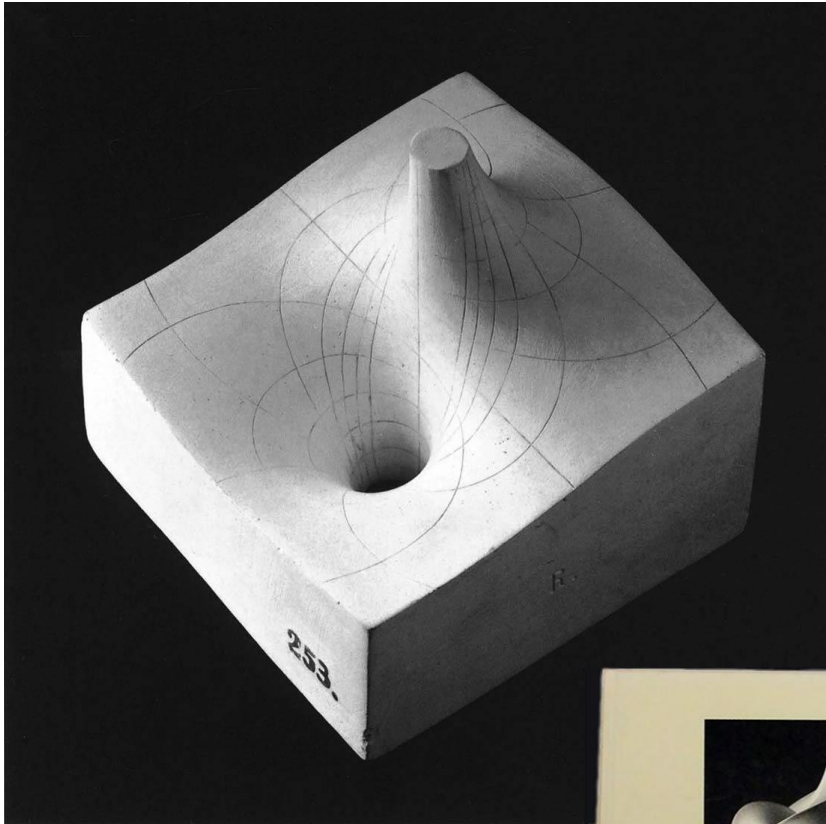
überbrachten „die herzlichsten Wünsche für einen langen und [gesegneten Lebensabend](#)“. Das war ihm leider nicht vergönnt, er wurde eines der vielen Opfer des nationalsozialistischen Regimes: Nachdem zuvor schon sein Sohn mit seiner Ehefrau in ein Konzentrationslager nach Riga deportiert wurden und dort ums Leben kamen, verschleppte man im September 1942 den inzwischen 87 Jahre alten Isaak Bacharach mit dem „Judentransport II/25“ von Nürnberg nach Theresienstadt, wo er wenige Tage später starb. Mit diesem Transport wurden tausend, meist ältere, Menschen deportiert, von denen letztlich nur 51 den [Holocaust](#) überlebten.



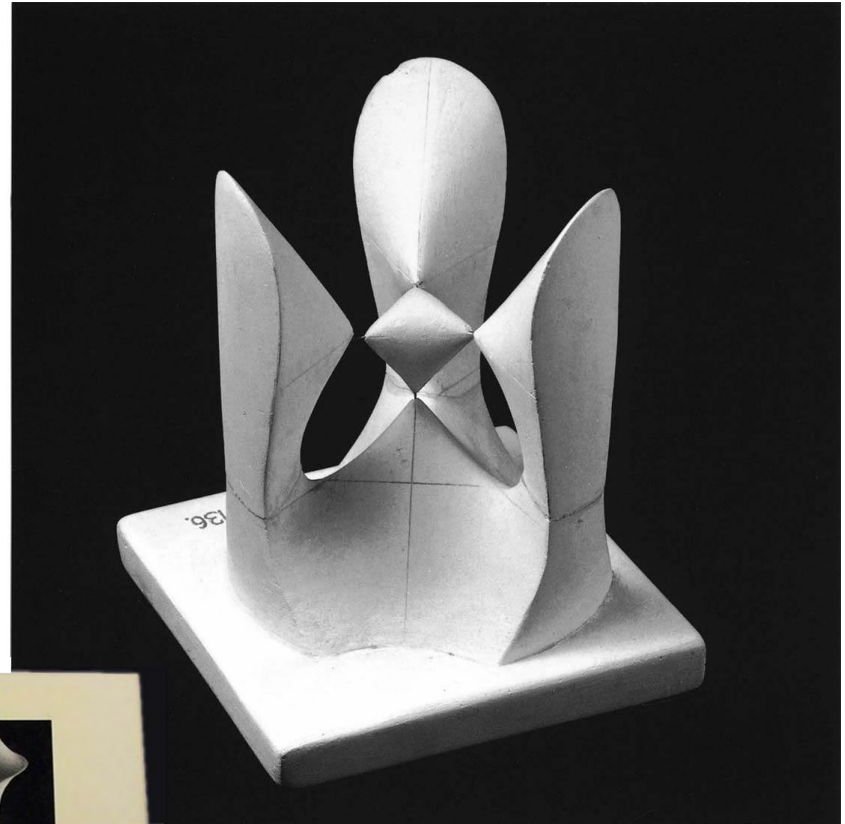
210. (I, I.) Rotationsfläche der Tractrix, durch Umdrehung um ihre Asymptote entstanden. Die Tractrix ist durch die Eigenschaft definiert, dass alle Tangenten zwischen dem Berührungspunkt und einer Geraden, der Asymptote, constante Länge besitzen. Diese Fläche bildet den Übergang zwischen den beiden vorgenannten Flächen und entspricht der Kugel bei den Flächen constanter positiver Krümmung. Die blau gezeichneten Curven auf ihr sind verschiedene geodätische Linien, die rote ist eine Asymptotencurve, deren Torsion bekanntlich gleich der Wurzel aus dem negativen Krümmungsmass der Fläche an der betreffenden Stelle, also für diese Curve allenthalben dieselbe ist. Von stud. math. Bacharach in München (B). Erläuterung beigegeben. (25×18 cm.) Mk. 9.—.

↑  
Entspr. ca. EUR 60,-  
in heutiger Kaufkraft

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (9)



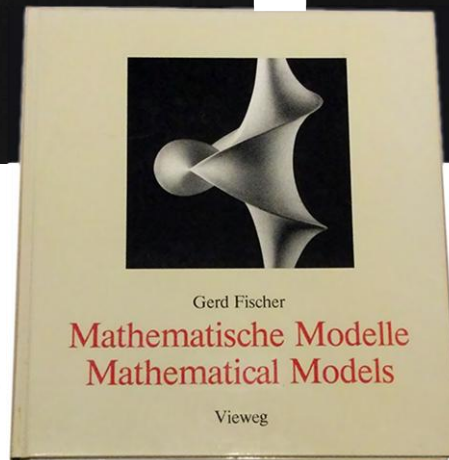
Graph des Realteils der komplexen Funktion  $w = 1/z$ .



„Clebsche Diagonalfäche“: Eine glatte kubische Fläche mit vier reellen konischen Doppelpunkten.

Sonst werden sie meist abgezeichnet  
Die Flächen aus dem Seminar,  
Doch sind sie auch sehr gut geeignet,  
Wie diese auserwählte Schar,  
Grotesk geformte Stilleben,  
dem Fotografen abzugeben.

Widmungsgedicht in einem Fotoalbum  
von Gipsmodellen der Universität Halle.



Gerd Fischer von der Universität Düsseldorf veröffentlichte 1986 ein Buch „**Mathematische Modelle**“ mit 132 faszinierenden Fotografien in schwarz-weiß, die die ästhetische Wirkung von Gipsmodellen sehr schön hervortreten lassen. Oben nur zwei Beispiele.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (10)

„...folglich sind die fotografierten Modelle Modelle von Modellen.“ [Mathematik mit Modellen]



Das Museum der Universität Tübingen veröffentlichte 2018 ein eindrucksvolles Buch „[Mathematik mit Modellen](#)“, herausgegeben von Ernst Seidl, Frank Loose und Edgar Bierende, welches eine Vielzahl interessanter Einzelbeiträge sowie sehr schöne Fotografien von Modellen aus der [Tübinger Sammlung](#) enthält. Diese umfasst über 400 Exemplare und wurde i.W. von [Alexander Brill](#) (1842-1935) aufgebaut, der von 1884 bis 1917 Professor für Mathematik in Tübingen war. *Oben links* eine parabolische [Hornzyklide](#) mit zwei reellen Knotenpunkten; die angebrachten Krümmungslinien bestehen aus zwei sich senkrecht schneidenden Scharen von Kreisen. Das Urmodell für die Gipsabgüsse wurde im Wintersemester 1879/80 durch Peter Vogel, Assistent bei Alexander Brill an der TH München, erstellt. Heute sind solche Zykliken bei CAD-Programmen relevant, da sie für die Modellierung glatter Übergänge gewisser Flächen genutzt werden können. *Oben rechts* ein Modell der [Kummer'schen Fläche](#) mit acht reellen Doppelpunkten, angefertigt von Karl Rohn (1855–1920) als Assistent von Alexander Brill, der später Professor für Mathematik in Dresden und dann Leipzig wurde.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (11)

Weitere Gipsmodelle vom Mathematischen Institut der Universität Tübingen. *Unten:* Installation von [Kegel](#), [Kubus](#), [Kugel](#) und [Hohlzylinder](#), womit die perspektivische Verzerrung aus verschiedenen Blickwinkeln illustriert werden soll. *Rechts:* Modell einer Fläche mit einer konstanten negativen Krümmung nach [Theodor Kuen](#), entstanden um 1885.



[www.unimuseum.uni-tuebingen.de/fileadmin/content/01\\_Ausstellungen/ausstellung\\_38\\_dinge/dinge37.html](http://www.unimuseum.uni-tuebingen.de/fileadmin/content/01_Ausstellungen/ausstellung_38_dinge/dinge37.html)

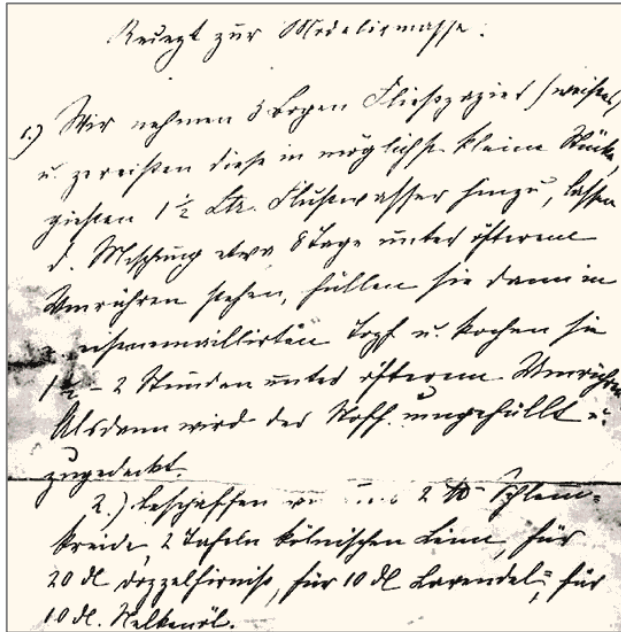
Die Kuen'sche Fläche fand sogar in der Schmuck- und Designerindustrie ihren Platz. Tatsächlich wirken viele mathematische Modelle wie [abstrakte Kunst](#), man vergleiche etwa die Werke von Künstlern der Klassischen Moderne wie z.B. Antoine Pevsner, Barbara Hepworth oder Henry Moore. Einige Künstler liessen sich auch durch die Mathematik inspirieren, übernahmen deren Formen manchmal sogar nahezu identisch. Beispielsweise reproduzierte [Naum Gabo](#) (1890–1977) ein bekanntes mathematisches Modell aus einer Metallstruktur mit dazwischengespannten Fäden aus einem damals innovativen durchsichtigen Kunststoff in – abgesehen vom Material – nahezu identischer Form und präsentierte das Ergebnis als Kunstobjekt. *Rechts:* Naum Gabo, *Construction in Space 'Crystal'* (1937).



hungbymai.files.wordpress.com/2013/06/abstraction-creation1.jpg



# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (12)



Quelle: Gerd Fischer: „Mathematische Modelle“, Vieweg, 1986

## Rezept zur Modelirmasse.

- 1.) Wir nehmen drei Bogen Fließpapier (weißes) und zerreißen diese in kleine Stücke, gießen 1½ Ltr. Flußwasser hinzu, lassen d. Mischung etwa acht Tage unter öfterem Umrühren stehen, füllen sie dann in einen eisenemaillierten Topf und kochen sie 1½ bis 2 Stunden unter öfterem Umrühren. Alsdann wird der Stoff umgefüllt u. zugedeckt.
- 2.) Beschaffen wir uns 2 Pfd. Schlemmkreide, 2 Tafeln Kölnischen Leim<sup>\*)</sup>, für 20 M. <sup>\*\*) Doppelfirniß</sup>, für 10 M. Lavendel-, für 10 M. Nelkenöl. Die Kreide wird einige Tage an e. warmen Ort gestellt, damit sie trocknet, dann gesiebt.
- 3.) Die beiden Tafeln Leim werden in 1 Ltr. Wasser 8 – 10 Stunden geweicht, eine derselben mit ½ Ltr. Wasser alsdann in e. Blechgefäß gethan, welches in e. zweiten mit kochendem Wasser so lange stehen muß, bis der Leim sich gelöst hat. Alsdann werden dem gelösten Leim unter stetem Umrühren zugefügt: 3 Eßlöffel Doppelfirniß, 20 Tropfen Lavendel- u. 10 Tropfen Nelkenöl.

Die Mischung ist noch vollständig heiß. In einen Porzellannapf gießen wir 3 Eßlöffel derselben, nehmen von der Papiermasse eben soviel u. rühren d. Masse gut untereinander. Dann schütten wir von der Schlemmkreide nach u. nach so viel zu, daß ein weißer Taig entsteht, den wir mit den Händen so lange durcharbeiten, bis er ganz gleichmäßig ist, nicht mehr an den Fingern haftet u. beim Drücken mit dem Finger die Hautporen klar zeigt. In derselben Weise wird nun auch die übrige Masse nach und nach gemischt. Will man d. M. aufheben, so genügt es, auf den Boden des Gefäßes, in dem man sie aufbewahrt, einige Tropfen Wasser zu geben.

Ist die Arbeit fertig, so muß sie an einem warmen Ort gut austrocknen, zuletzt wird sie mit durchsichtigem weißen Spirituslack bestrichen.

Die **Urmodelle** für die Gipsmodelle wurden in Holz gedreht oder mit einer Modelliermasse (z.B. Ton oder einer Wachs-Ton-Mischung) geformt. Von diesen wurden in einem zweiten Arbeitsschritt Negativformen für Gipsabgüsse hergestellt.

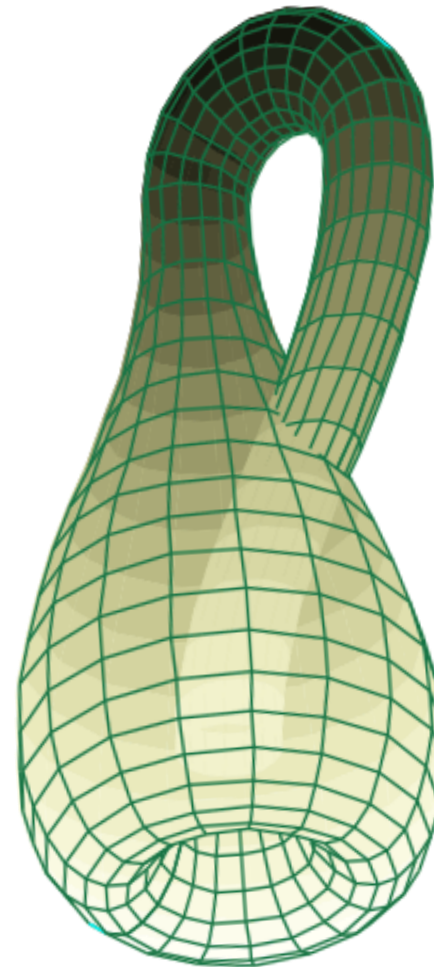
Im „Catalog der Modellsammlung des Mathematischen Instituts der kgl. Technischen Hochschule München, aufgestellt im Januar 1882 unter Leitung von Prof. A. Brill“ fand sich eine handschriftliche Notiz zur Herstellung des **Materials für eine Negativform** („Mutterform“) für die Gipsabgüsse.

<sup>\*)</sup> Kölnischer Leim (Kölnerleim) ist ein Heissleim, der zur Verarbeitung erwärmt werden muss. Er wird aus tierischen Knochen und Kollagen, dem Bindegewebe tierischer Haut, hergestellt. Das Produkt gelierte beim Erkalten zu einer elastischen Masse; diese wird in Tafeln geschnitten. <sup>\*\*)</sup> Mit „M.“ ist die damalige Währung „Mark“ gemeint.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (13)



Beide Bilder: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kleinsche\\_Flasche](https://de.wikipedia.org/wiki/Kleinsche_Flasche)



## Kleinsche Flasche

Die Kleinsche Flasche wurde erstmals 1881 durch Felix Klein beschrieben. Sie hat die Eigenschaft, dass innen und aussen nicht unterschieden werden können bzw. sie nur eine einzige Seite besitzt, die gleichzeitig innen und aussen ist (vgl. das Möbiusband, bei dem die Fläche allerdings einen Rand hat – eine Kleinsche Flasche entsteht z.B. durch Aneinanderkleben von zwei Möbiusbändern entlang ihrer Ränder).

- Hat sie ein Volumen?
- Kann man sie füllen?

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (14)



Aus dem schweren Holz des Buchsbaums sind die Modelle von Flächen vierten Grades von [Julius Plücker](#) (1801 – 1868) gefertigt. Der Mathematiker und Physiker war Professor in Bonn. Bei ihm studierte und promovierte [Felix Klein](#) (1849 – 1925), ein bedeutender Vertreter der modernen Geometrie („Kleinsche Flasche“). Die gezeigten Modelle sind Teil einer Modellserie, die Plückers Lehrbuch „Neue Geometrie des Raumes, gegründet auf die Betrachtung der geraden Linie als Raumelement“ begleiten sollten; durch den plötzlichen Tod Plückers wurde das Buch von Klein vollendet. Klein assistierte Plücker auch beim Entwurf der Modelle, später liess er selbst eigene Modelle anfertigen – zwischen seinen Professuren in Erlangen und Göttingen hatte er eine Professur an der TH München inne, wo er mit seinem Kollegen [Alexander Brill](#) zusammentraf, der ein Meister im Bau mathematischer Geometriemodelle war.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (15)

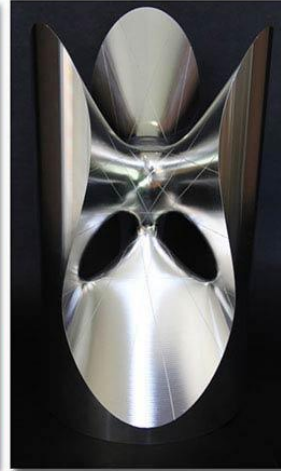
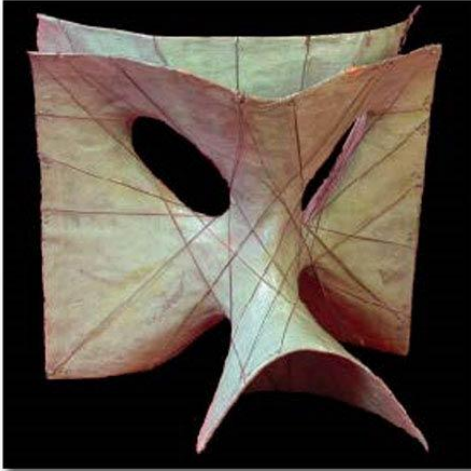


Als sich die Mathematik im Laufe des 20. Jahrhunderts bewusst von den als einengend verstandenen „lebenswirklichen“ Anschauungen löste, kamen die physischen Modelle etwas aus der Mode, und schliesslich führten dann auch Trickfilme, Computeranimationen sowie Mathematiksoftware wie Mathematica dazu, dass solche materiellen Modelle heute oft nur noch **in den Vitrinen Mathematischer Universitätsinstitute** zu finden sind.

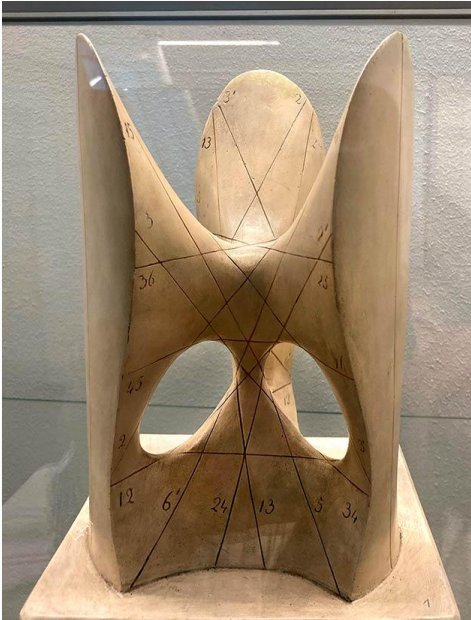
[www.universitaetssammlungen.de/uimg/large/uimg4eca4e9eb21de.jpg](http://www.universitaetssammlungen.de/uimg/large/uimg4eca4e9eb21de.jpg)

*Papiermodelle aus der mathematischen Modellsammlung der Universität Marburg.*

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (16)



Diverse Modelle der **Clebschen Diagonalfläche** (nach Alfred Clebsch, 1833–'72, ab 1869 in Göttingen, mit 39 Jahren an Diphtherie verstorben.) Es handelt sich um eine glatte kubische Fläche mit **27 auf ihr liegenden (reellen) Geraden**.

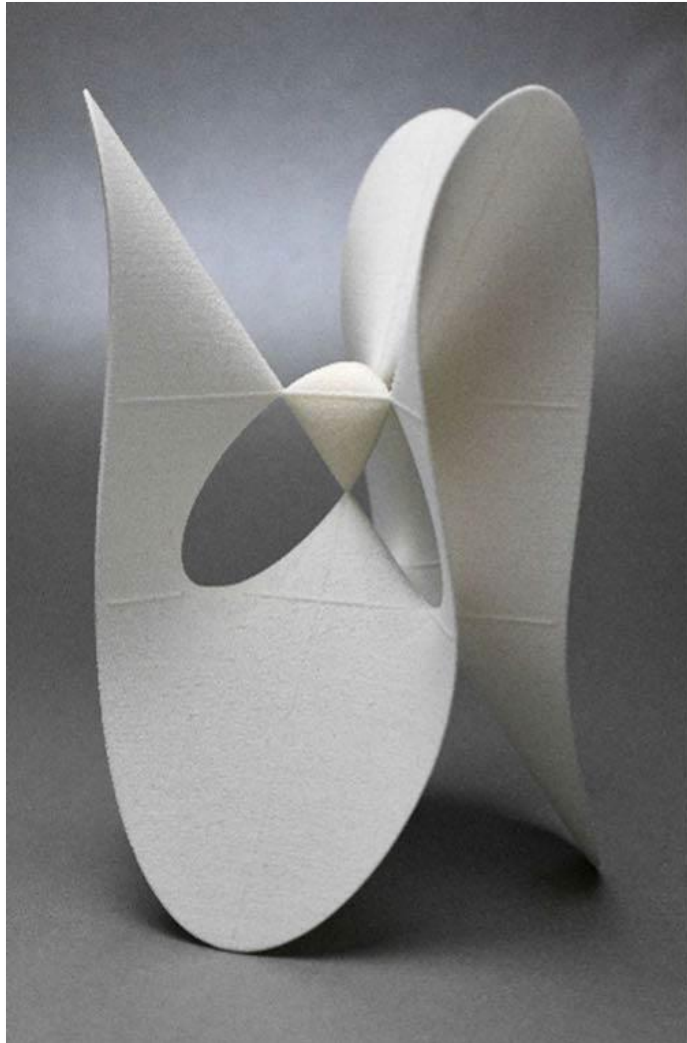


Im Bild links unten ein Gipsmodell (in einer Vitrine des mathematischen Instituts der Universität Leipzig), auf dem die Geraden eingeritzt sind; man erkennt auch zwei der zehn Punkte, an denen sich jeweils drei der 27 Geraden treffen.

Ein erstes rudimentäres Modell dieser recht speziellen kubischen Fläche fertigte **Christian Wiener** (Karlsruhe) um 1868 an; **Adolf Weiler**, Student bei Clebsch und Klein in Göttingen, stellte 1872 den wesentlich verbesserten Urtypus des hier dargestellten symmetrischen Modells her. Es wurde vielfach reproduziert und fehlt in kaum einer universitären mathematischen Modellsammlung – es konnte als Gipsmodell bei der Lehrmittelfirma Ludwig Brill (dem Bruder des Mathematikers Alexander Brill) in Darmstadt bezogen werden.

Der erwähnte Adolf Weiler studierte von 1867 bis 1871 an der ETH Zürich, er war vertraut mit dem Bau mathematischer Modelle durch **Wilhelm Fiedler** (1832–1912), Professor für Geometrie an der ETH. Fiedler besass schon seit 1865 ein selbst gebautes Stabmodell „von der allgemeinen Fläche dritter Ordnung mit 27 reellen Geraden [...] mit ihren höchst merkwürdigen Öffnungen“.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (17)



Clebsche Diagonalfäche mit vier Doppelpunkten (Singularitäten) als 3D-Druck.

“The modern technology of [3D-printing](#) makes it possible to produce objects that come quite [close to ideal mathematical surfaces](#). However, as can be seen with the model for a cubic with four double points, [singularities can cause serious trouble](#). The central part of the model will only stay in place if the singular points are thick enough, although ideally they should appear as infinitely small.”

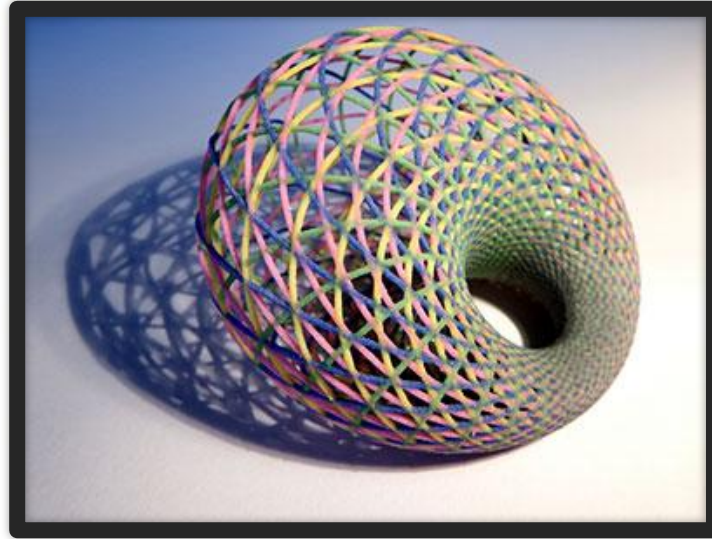
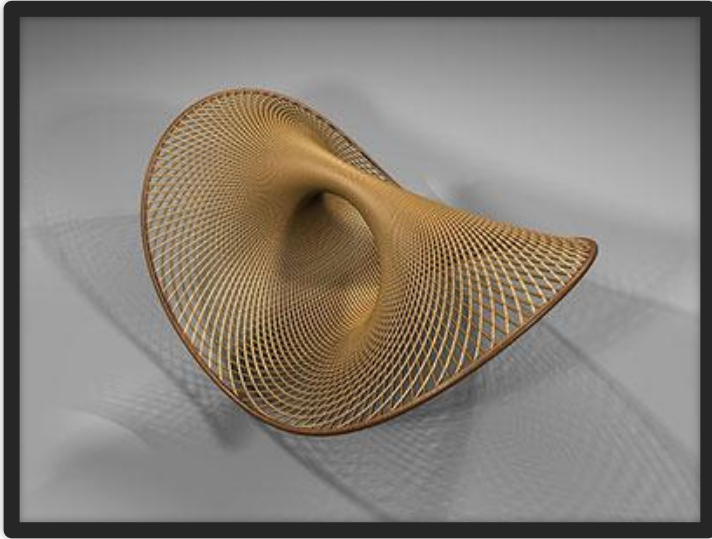
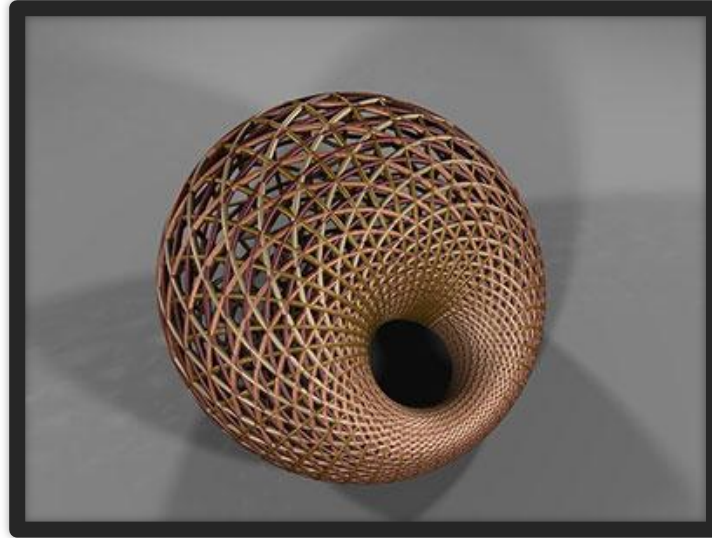
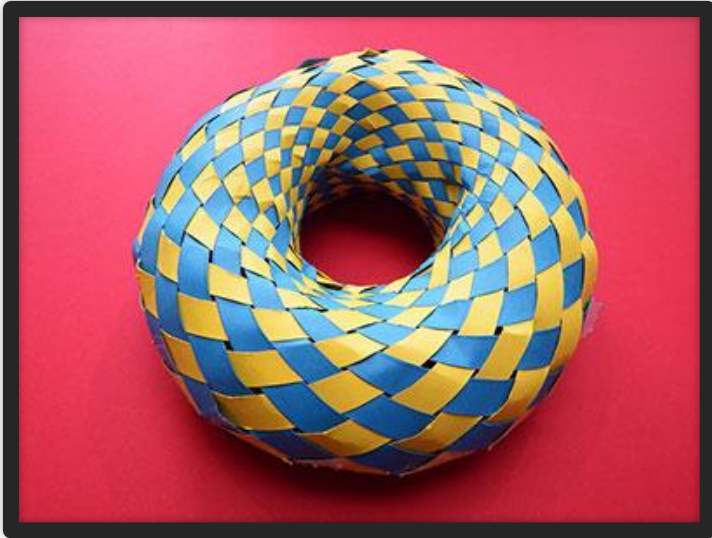
[Bild (links) und Textzitat: *Oliver Labs: Straight lines on models of curved surfaces. The Mathematical Intelligencer 39 (2017): 15-26.*]



Togliatti-Quintik als 3D-Druck.

Die [Togliatti-Quintik](#) ist eine algebraische Fläche vom Grad 5 mit 31 Singularitäten nach [Eugenio Giuseppe Togliatti](#) (1890 – 1977, Professor u.a. an der Universität Zürich) und [Wolf Barth](#) (1942 – 2016). Bild aus dem Katalog zur Ausstellung „[Formas & Fórmulas](#)“, Museu Nacional de História Natural e da Ciência“, Lissabon, 2012 – ’15.

# Figurative Modelle Geometriemodelle der Mathematik (18)



## Dupinsche Zykliden

Von Francesco de Comité stammen diese Bilder dreier Ringzykliden sowie einer parabolischen Zyklide.

Es ist jedoch nicht leicht zu erkennen, welche Bilder rein **computergeneriert** sind und welche Abbildungen Fotos von **manuell erzeugten** Modellen bzw. von **3D-gedruckten** Modellen sind!

# Figurative Modelle Ausgestellte Geometriemodelle

*Oben:* Modelle von Théodore Olivier (1793 – 1853). *Unten:* Modellsammlung des Institut Henri Poincaré in Paris, zuvor am Laboratoire de géométrie supérieure der Sorbonne.

[https://issuu.com/formas-formulas/docs/cat\\_logo\\_exposi\\_o](https://issuu.com/formas-formulas/docs/cat_logo_exposi_o)



*Nowadays mathematical models are part of a former world that is alien to mathematicians in terms of their scientific culture and tradition. As a consequence, these objects of a former material culture of mathematics can only be found in museum displays or gather dust in the old display cases of mathematical institutes. This is, incidentally, a remarkable example for the domestication of the past to serve present needs. -- Ulf Hashagen*



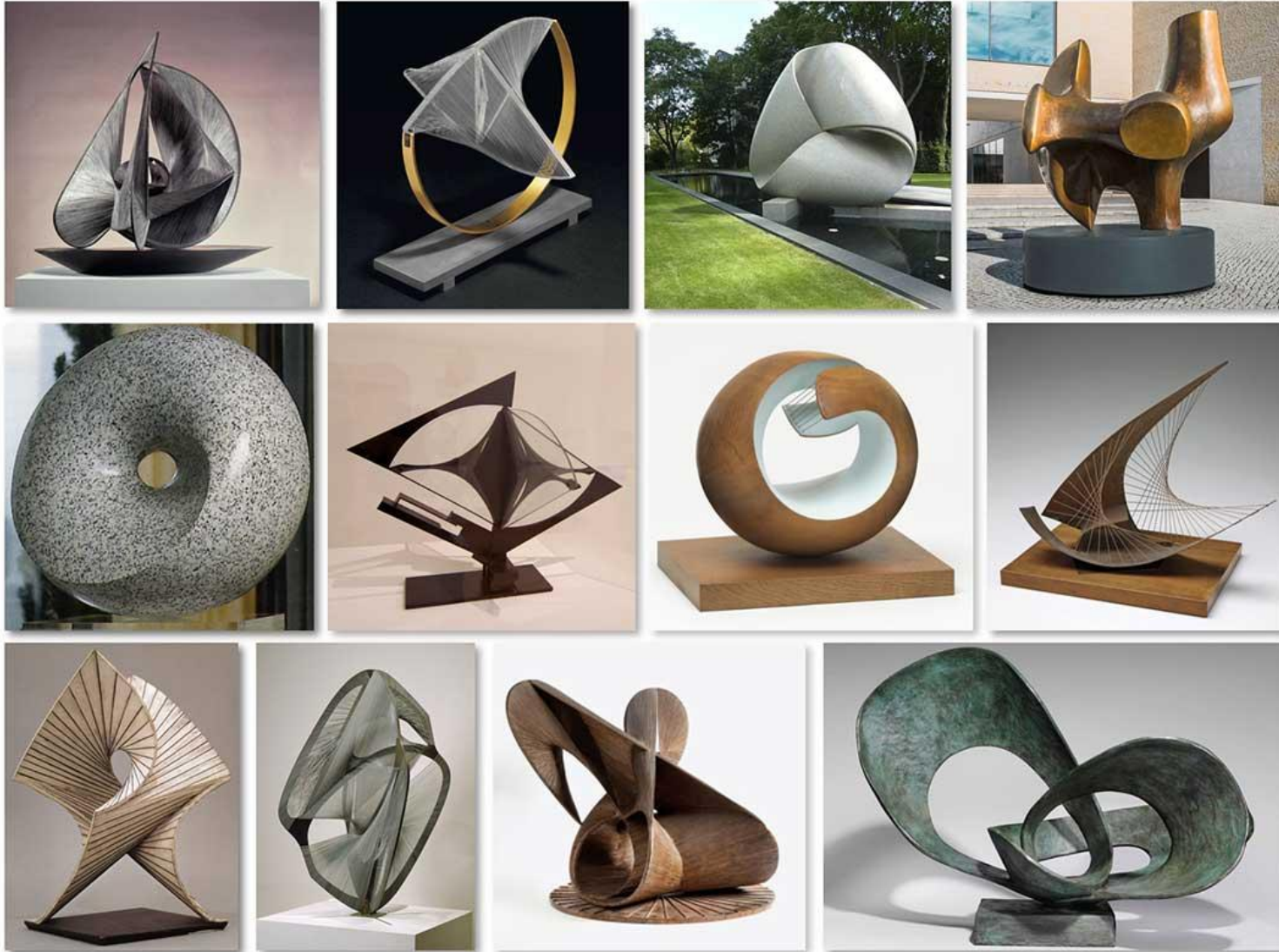
[www.math.k-state.edu/research/artmathfiles/models\\_IHP1.jpg](http://www.math.k-state.edu/research/artmathfiles/models_IHP1.jpg)



# Figurative Modelle [www.unimuseum.uni-tuebingen.de](http://www.unimuseum.uni-tuebingen.de)



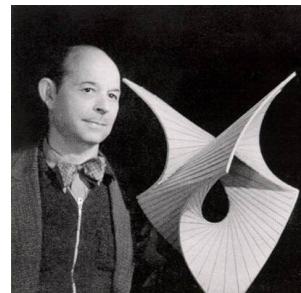
# Von Modellen inspirierte Kunstobjekte



Keine mathematischen Modelle, sondern **Kunstobjekte** u.a. von Barbara Hepworth, Antoine Pevsner, Naum Gabo und Henry Moore!



*Barbara Hepworth, 1952*



*Antoine Pevsner, 1939*

# Von Modellen inspirierte Kunstobjekte



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Geneva\\_Pevsner\\_Construction\\_spatiale.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Geneva_Pevsner_Construction_spatiale.jpg)

**Antoine Pevsner** (1884 - 1962), *Construction spatiale aux troisième et quatrième dimensions*, Genève.

La sculpture d'Antoine Pevsner, *Construction spatiale aux troisième et quatrième dimensions* est l'une des plus emblématiques et l'une des œuvres les plus connues de l'artiste. Un exemplaire dit «original», en bronze mesurant 1 m de hauteur environ, se trouve au Centre Georges Pompidou dans la collection du Musée national d'art moderne, donnée par la veuve de l'artiste en 1962. Quatre autres versions monumentales, d'une hauteur de 3,18 m, en bronze également, se trouvent dans l'espace public aux quatre coins du monde où on peut les admirer : à *Chicago*, installée en 1964 sur un bassin d'eau, à l'University of Chicago Law School, dont les bâtiments sont dus à Eero Saarinen; à *La Haye*, placée en 1968 sur un terre-plein entre le célèbre Gemeentemuseum et le Nederlands Congressgebouw construit pas J. J. P. Oud; à la prestigieuse université de *Princeton* dans le New Jersey, où elle a été érigée en 1972 sur un socle en granit noir portant une plaque commémorative dédiée à Niels Bohr; à *Genève* enfin sur une place non loin du pont du Mont-Blanc où elle se trouve depuis 1976. [Serge Lemoine, Artcurial, 12 Nov. 2015]

## ARRÊTÉ

LE CONSEIL MUNICIPAL,

vu l'offre de donation de la Trade Development Bank,

vu l'article 67, lettre i) de la loi sur l'administration des communes du 3 juillet 1954,

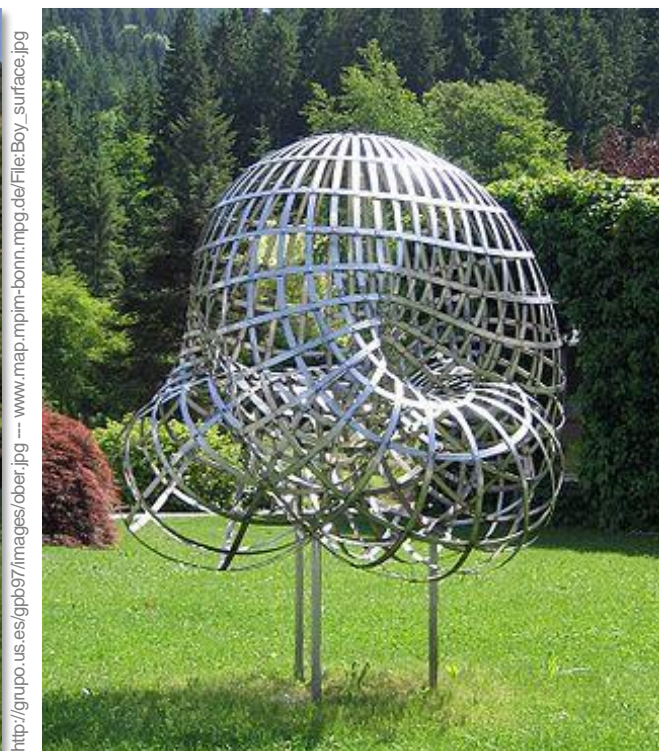
sur proposition du Conseil administratif,

arrête :

*Article unique.* — Le don de la Trade Development Bank à la collectivité genevoise, soit pour elle le Musée d'art et d'histoire, consistant dans une sculpture de Pevsner intitulée « Construction spatiale aux troisième et quatrième dimensions », est accepté avec reconnaissance.

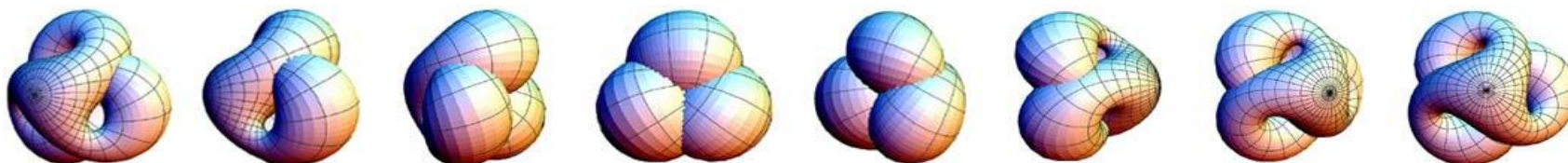
Genève: Mémorial de la séance du conseil municipal du 7 juin 1977.

# Ein mathematisches Modell als Kunstobjekt



<http://grupo.us.es/gpb97/images/ober.jpg> -- [www.map.mprim-bonn.mpg.de/File:Boy\\_surface.jpg](http://www.map.mprim-bonn.mpg.de/File:Boy_surface.jpg)

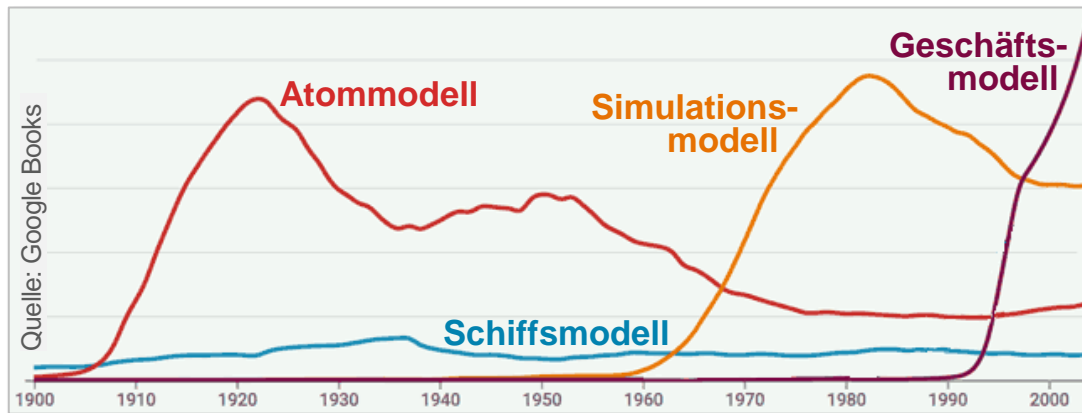
Vor dem [Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach](#) im Schwarzwald steht ein Modell der Boy-schen Fläche aus 2mm dicken Stahlbändern, die an 772 Stellen vernietet sind. Die [Boysche Fläche](#) ist eine Immersion der reellen projektiven Ebene in den dreidimensionalen Raum, die Werner Boy (1879 – 1914) 1901 entdeckte, nachdem ihm sein Doktorvater David Hilbert aufgetragen hatte, die Unmöglichkeit dieser Immersion zu beweisen. Boy starb jung als Soldat direkt zu Beginn des Ersten Weltkriegs.



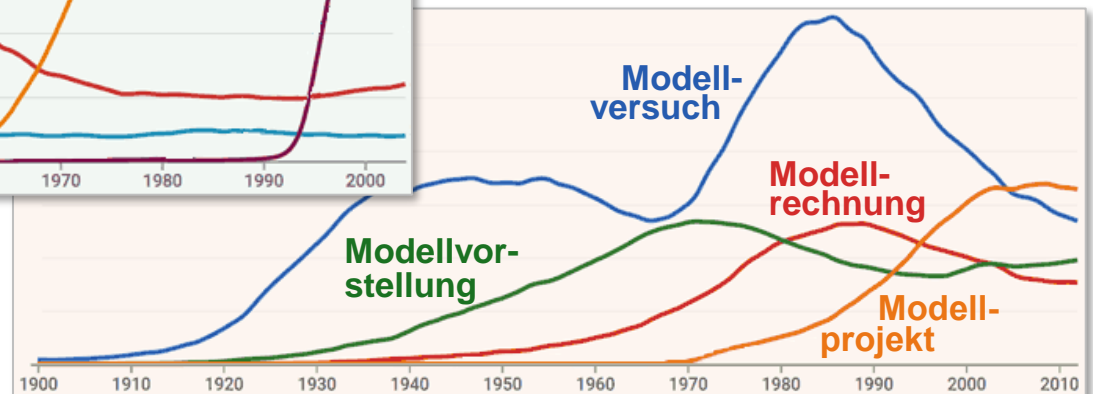
# Modell und Modellvorstellung

„Modell und Modellvorstellung gehören ohne Zweifel zu den wichtigsten menschlichen Hilfsmitteln. Vielleicht sind sie ein noch allgemeineres Unterscheidungsmerkmal zum Tier als die Sprache, die freilich selbst in die Klasse der Modelle eingereiht werden kann. Das Modell vernachlässigt gegen die Wirklichkeit einige oder viele Dimensionen und lässt bestimmte andere dafür besonders klar hervortreten. Die Modellvorstellung lässt Vorhersagen zu, sie erlaubt das Durchspielen von Prozessen in Gedanken; man erspart sich Kosten und man vermeidet die Gefahren, die in der Wirklichkeit lauern. Und man braucht vor allem die volle Wahrheit nicht zu kennen, um beeindruckende und wertvolle Resultate zu erhalten. Ein Modell genügt seinem Zweck, wenn es sich bewährt.“

Aus: Heinz Zemanek: „Kybernetik“ (Elektronische Rechenanlagen, 1964, 6. Jg., H. 4, S. 169-177).



Klassisch sind **Schiffs-** und **Atommodell**. Mit der Verfügbarkeit grösserer Computer gewinnen ab den 1960er-Jahren **Simulationsmodell**, **Modellversuch** sowie **Modellrechnung** an Bedeutung.

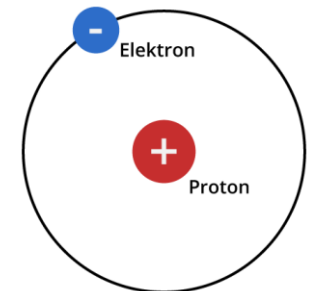


# Dangers in the use of models

In seinem Buch „Scientific Explanation: A Study of the Function of Theory, Probability and Law in Science“ von 1953 warnt der britische Philosoph und Wissenschaftstheoretiker **Richard Braithwaite** (1900 – 1990): „There are, however, serious **dangers in the use of models.**“ Dazu gehöre vor allem, dass etwas **mit seinem Modell identifiziert** wird, sodass allzu leicht Eigenschaften des Modells in unzulässiger Weise auf ein modelliertes Naturphänomen zurückübertragen werden. Als man z.B. Phänomene des Lichts wie Ausbreitung, Reflexion und Brechung analog zu Schallwellen und Wellen auf der Wasseroberfläche deutete und so die Wellentheorie des Lichtes begründete, war es naheliegend, aber letztendlich falsch, die Existenz eines Lichtmediums, des „Äthers“ anzunehmen. Braithwaite schreibt:

Thinking of scientific theories by means of models is always *as-if* thinking; hydrogen atoms behave (in certain respects) as if they were solar systems each with an electronic planet revolving round a protonic sun. But hydrogen atoms are not solar systems; it is only useful to think of them as if they were such systems if one remembers all the time that they are not. The price of the employment of models is eternal vigilance.

**The map is not the territory** – a model can never be an exact representation of reality. [But] academics who present models as imperfect or incomplete are popularly regarded as not quite doing their job: witness, for example, the enormous controversy caused by climate scientists' public recognition that aspects of their models were imprecise, taken by some parts of the media to be a denial of climate change. -- Magnus Ramage



# Abstraktion

naiv

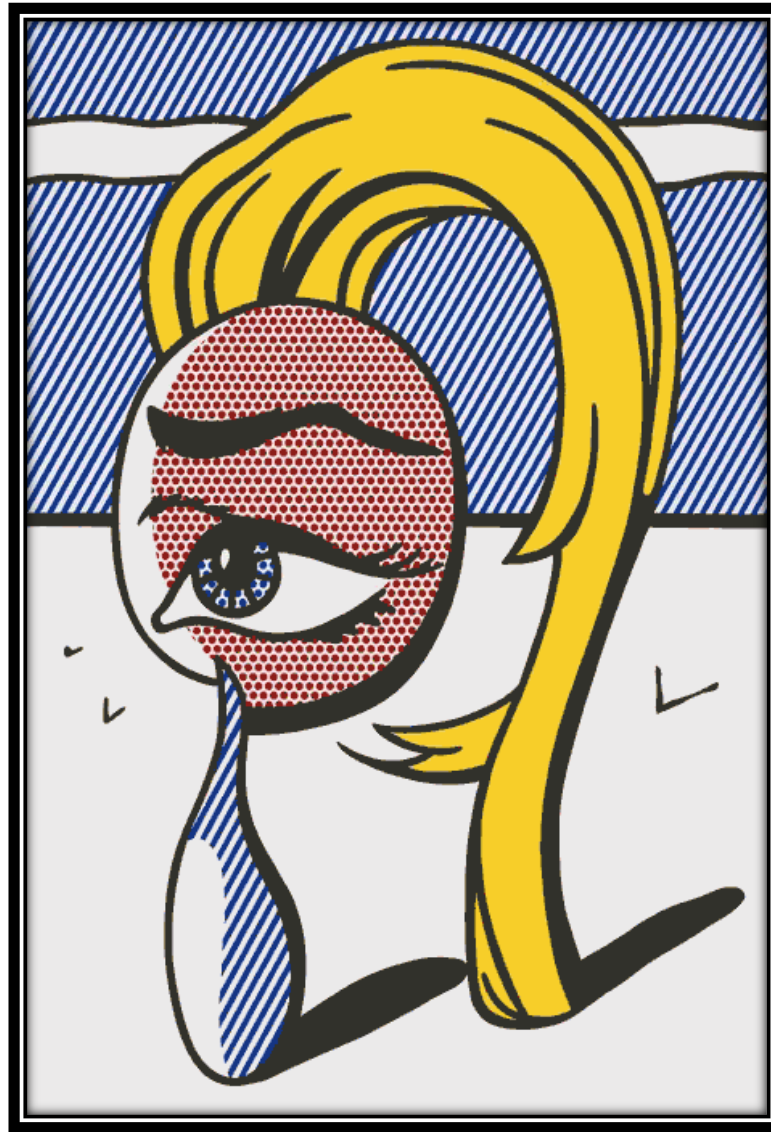


# Abstraktion

## künstlerisch



*Roy Lichtenstein:  
Girl with tear, 1977,  
Guggenheim Museum, NY*



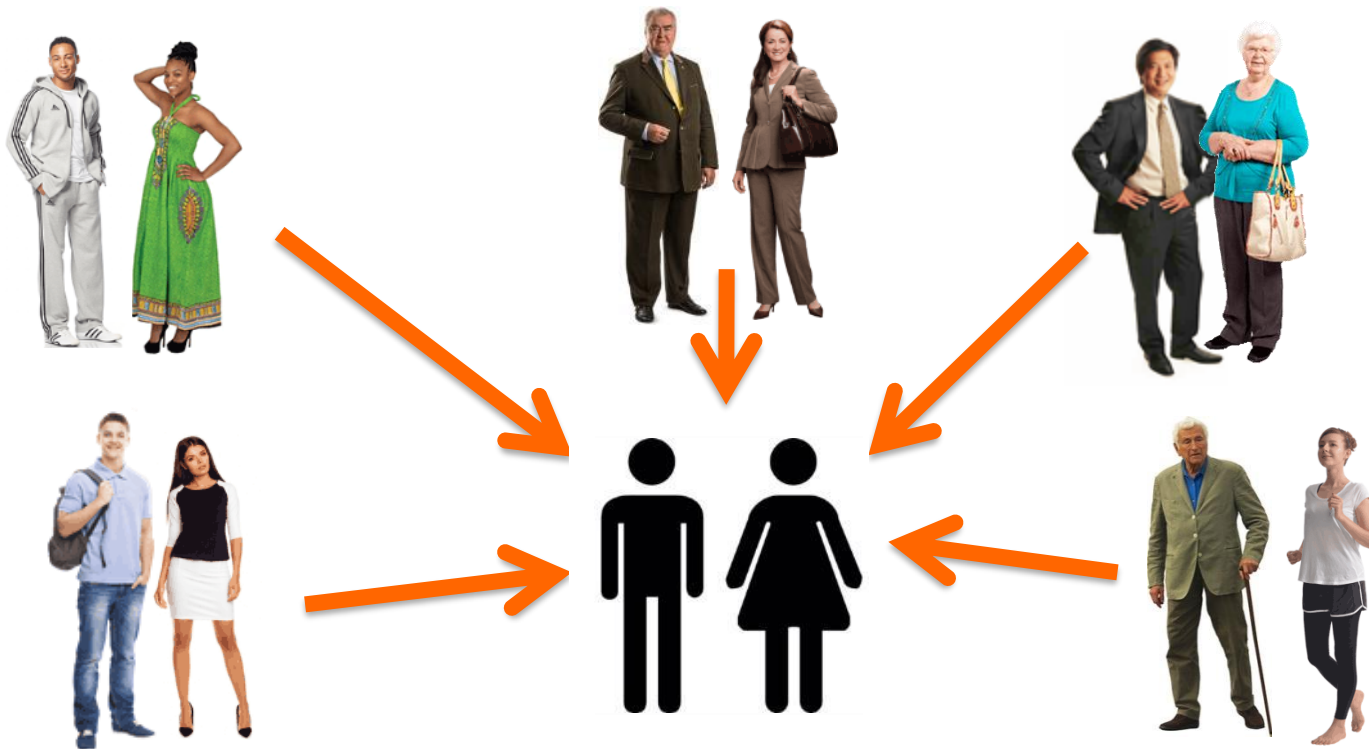
„Gedankliches Verfahren, durch das von bestimmten gegebenen, jedoch als unwesentlich erachteten Merkmalen abgesehen wird, sodass sich das Augenmerk auf das Wesentliche konzentriert“



# Abstraktion

In the development of the understanding of complex phenomena, the most powerful tool available to the human intellect is abstraction. Abstraction arises from the recognition of similarities between certain objects, situations, or processes in the real world and the decision to concentrate on these similarities and to ignore, for the time being, their differences. -- Tony Hoare

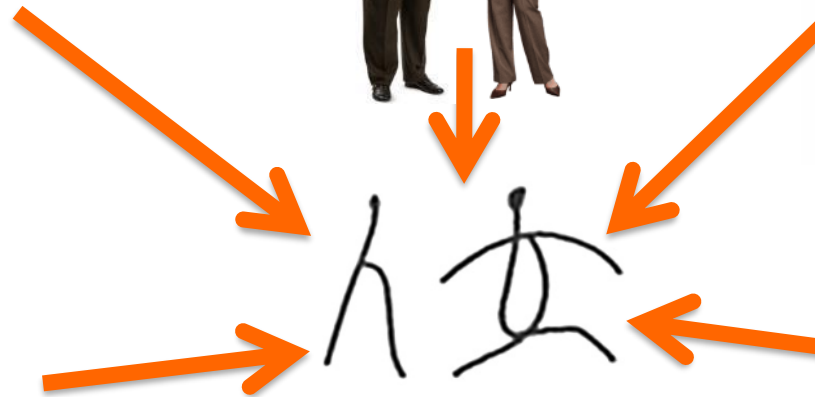
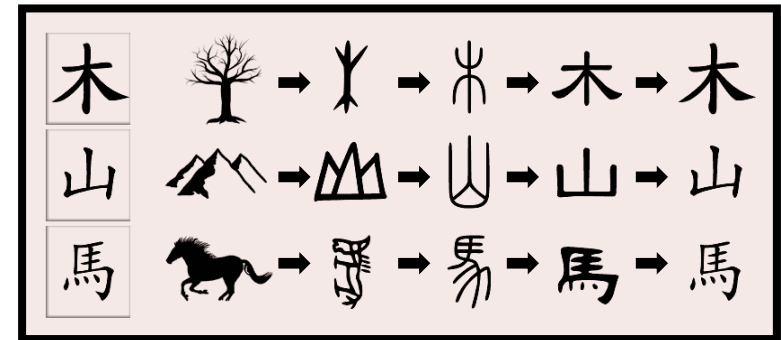
**Abstraktion** = „Gedankliches Verfahren, durch das von bestimmten gegebenen, jedoch als unwesentlich erachteten Merkmalen abgesehen wird, sodass sich das Augenmerk auf das Wesentliche konzentriert“



Modelle sind **reduziert**: Sie erfassen nicht alle Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellierer **relevant** erscheinen.

# Zeichenbildung durch Abstraktion

**Ikonenhafte Zeichen** für eine Klasse von Dingen entstehen oft durch **schrittweise Abstraktion**; wie hier gezeigt für Baum, Berg und Pferd im Chinesischen



人 女  
男 女









































Archaische chinesische Zeichen (Piktogramme) für „Mensch“ und „Frau“

Daraus weiterentwickelt die späteren Schriftzeichen für „Mann“ und „Frau“

# Zeichenbildung durch Abstraktion (2)

## Abstraktion im Zeitverlauf bei der Keilschrift

Eine Erläuterung von Dietmar Herrmann aus seinem Buch „Mathematik im Vorderen Orient“: „Für das Abendland war die Schriftentwicklung im Land Sumer vor etwa 3400 v. Chr. bedeutsam; von dort aus könnte sich die Idee des Schreibens nach Indien, China und Ägypten verbreitet haben. Die sumerische Protoschrift enthielt zunächst nur wenige Bildzeichen, die später durch abstrakte, keilförmige Zeichen ersetzt wurden. Das bei weitem häufigste Schreibmaterial war Ton, das Schreibwerkzeug ein zugespitzter Griffel, der die charakteristische schlanke Dreiecksform der einzelnen Keile bewirkte. Zunächst waren die Zeichen bildhaft. Gegenstände – etwa ein Gefäß – wurden nachgezeichnet, aber bereits in der frühesten Zeit überwogen schematische Darstellungen. Die Schrift war also keine reine Bilderschrift. Sie war aber zunächst, soweit wir erkennen können, eine Wortschrift. Jedem Wort entsprach ein Zeichen oder eine Zeichengruppe.“

| ca. 3200  | ca. 3000  | ca. 2500  | ca. 1800  | ca. 700   | Bedeutung      |
|---|---|---|---|---|----------------|
|    |    |    |    |    | Himmel<br>Gott |
|    |    |    |    |    | Gebirge        |
|    |    |    |    |    | Kopf           |
|    |    |    |    |    | Mund           |
|    |    |    |    |    | Wasser         |
|   |   |   |   |   | Vogel          |
|  |  |  |  |  | Fisch          |
|  |  |  |  |  | Rind           |

[www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/geschichte/artikel/keilschrift](http://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/geschichte/artikel/keilschrift)

# Abstraktion, Modellierung, Simulation

## Ein Trio wirkungsmächtiger Geistesprinzipien

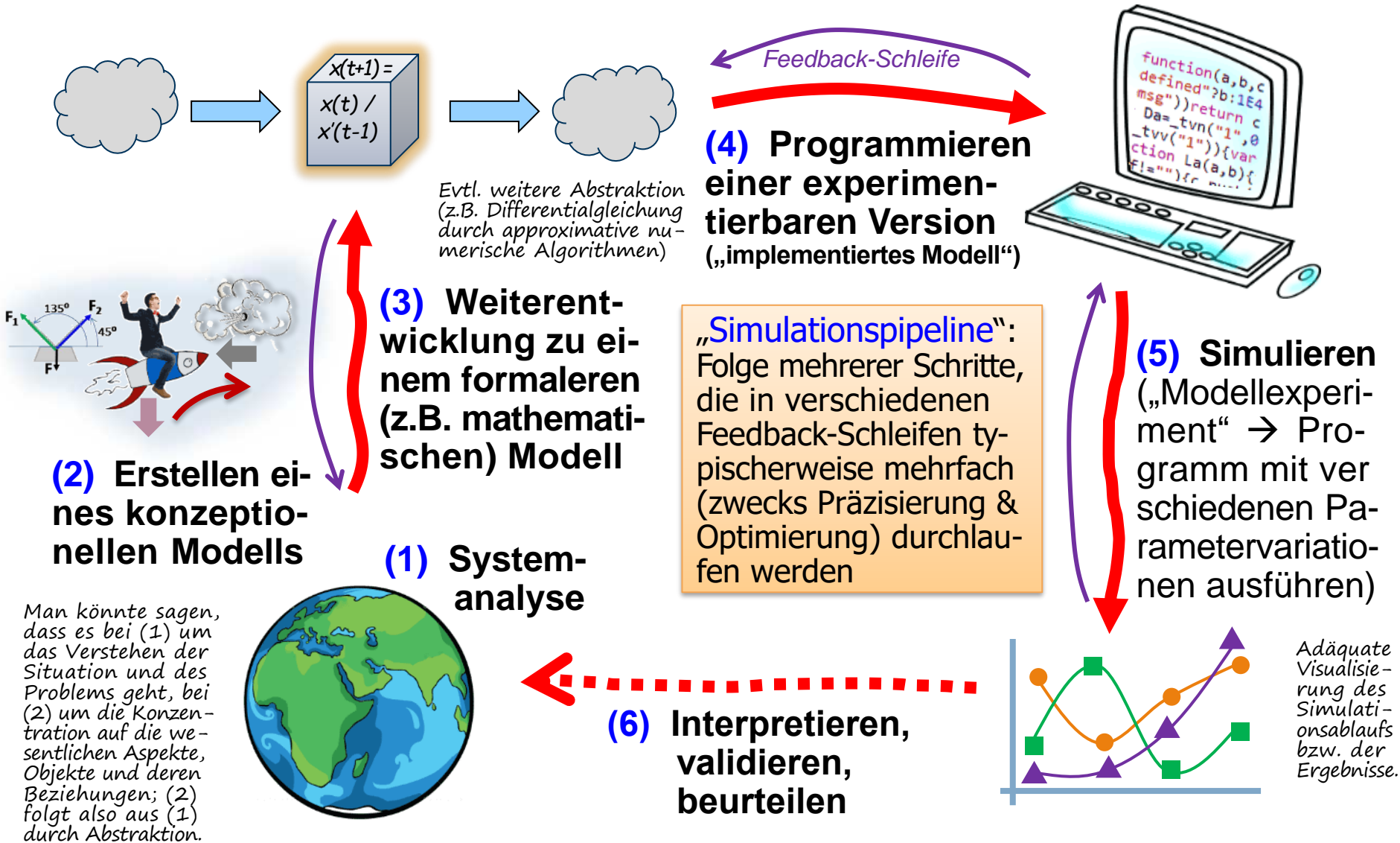
Zu Abstraktion und Modellierung zitieren wir Alfio Quarteroni von der EPFL:

- „**Abstraktion** ermöglicht es uns, Probleme in ihrer vollen Allgemeinheit zu studieren und hilft uns, ihre Schlüssel- und innersten Merkmale zu verstehen. Abstraktion kitzelt unsere Vorstellungskraft, und Vorstellungskraft nährt Kreativität, die uns wiederum ermöglicht, den besten Weg zur Lösung unserer Probleme zu entdecken. Wir verlassen uns auf Abstraktion, um weitreichende Vermutungen zu formulieren, die manchmal so kompliziert sind, dass sie unseren Versuchen, sie zu lösen (oder zu widerlegen) für Jahrhunderte standhalten.“
- „Ohne **mathematische Modelle** wüssten wir nicht, wie das Wetter morgen aussehen wird. ... Wir könnten uns nicht blind auf Navis verlassen, um unseren Weg durch Städte zu finden, in denen wir noch nie zuvor waren. Wir könnten weder CT-Scans verwenden, um einen Blick in unseren Körper zu werfen, noch hätte unsere Lieblingsfußballmannschaft eine Legion von Spielanalysten, die Strategien zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit mit Hilfe der allgegenwärtigen Big Data studieren.“

Zu ergänzen wäre in unserem Kontext noch die Simulation:

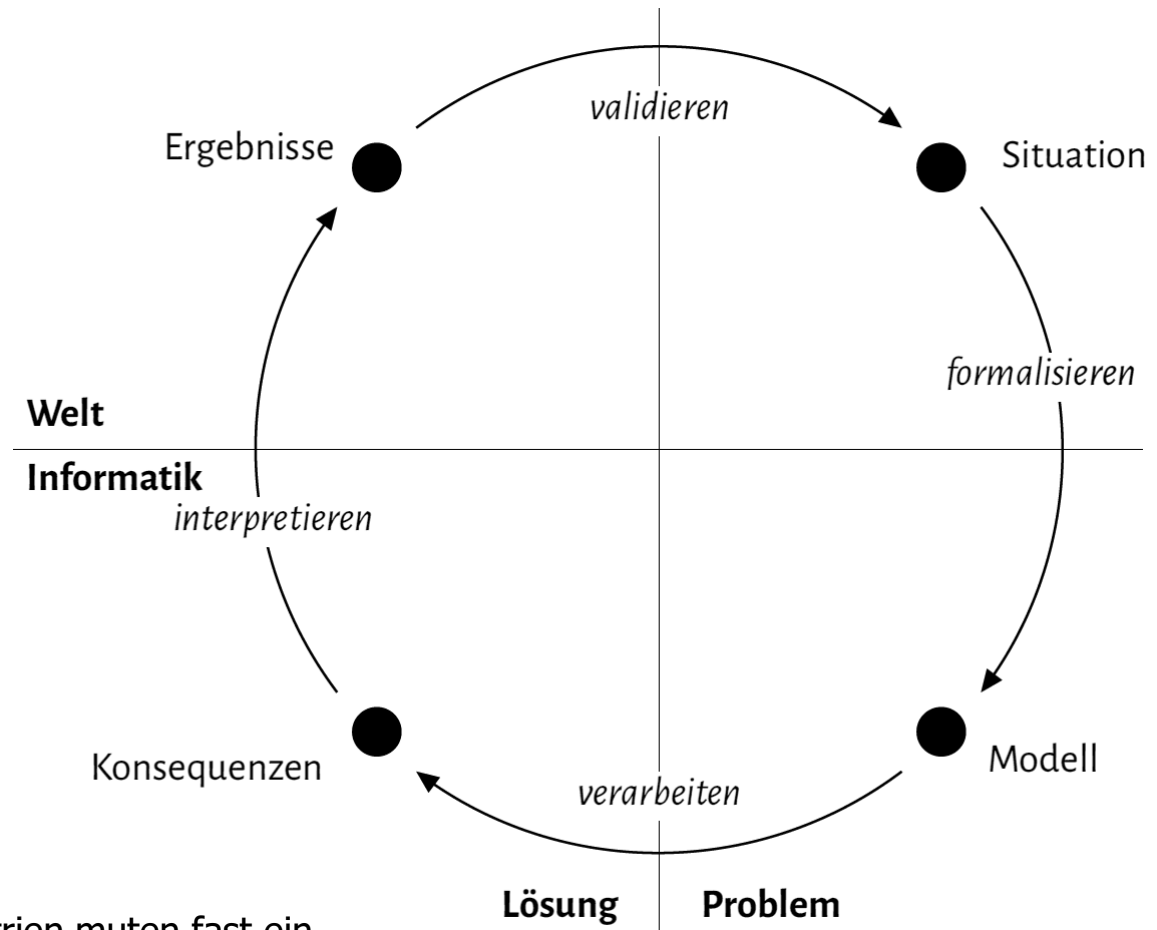
- **Simulation** lässt sich auffassen als ein kontrolliertes Experiment mit einem mathematischen Modell: Das Modell wird berechnet, ausgeführt, gelöst,... um nützliche Erkenntnisse über den abstrahierten und modellierten Realitätsausschnitt zu gewinnen.

# Prinzip der computergestützten **Simulation**



# Simulations- / Modellierungskreis

Idealisiert (zudem abstrahiert sowie vereinfacht) entspricht das oben skizzierte Prinzip der computer-gestützten Simulation diesem allgemeinen „Modellierungskreis der Informatik“ [nach Ludger Humbert]; er stellt gleichsam ein „Modell der Modellierung“ (bzw. der modellbasierten Simulation) dar.



Die Kreisform und die Symmetrien muten fast ein bisschen esoterisch an – bricht man den Kreis bei „Situation“ (einem realen Problem oder erklärungsbedürftigen Phänomen) auf und lässt die Folge der Schritte dort beginnen, dann reflektiert dies etwas nüchterner den sogen. „Modellierungsprozess“.

# Zweck und Anwendung der Simulation

## ■ Zweck von Modellierung und Simulation

- Entscheidungshilfe (Auswahl von Entwurfsalternativen)
- Optimierung (z.B. Wirkung der Beseitigung von Engpässen)
- Prognose (z.B. Wetter)
- Validierung (z.B. Schaltplan eines neuen Mikroprozessors)
- Theorienbildung (z.B. kognitive Vorgänge)
- Animation, Erklärung („Demonstrationsmodell“)

## ■ Anwendungsgründe für Simulation

- Rein mathematische Analyse nicht möglich
- Realität erträgt Experiment nicht (Ökologie, Militär)
- Realität zu schnell (chemische Reaktionen)
- Realität zu langsam (Entstehung von Galaxien)
- Reales System liegt nicht vor (ist z.B. erst geplant)
- Reales Experiment zu teuer
- Reales Experiment unethisch

Ein wesentliches **Unterscheidungsmerkmal zu analytischen Methoden** ist, dass die Simulation Prozesse (Zustandsfolgen in der Zeit) endogen aufgrund der im Modell dargestellten Wirkzusammenhänge und Zeitmechanismen entwickelt. Die Entwicklung der Zustandsfolgen in der Zeit stellt den methodischen Vorteil der Simulation im Vergleich zu mathematisch-analytischen Verfahren dar, weil auf diese Weise komplexe Sachzusammenhänge abgebildet werden können, bei denen mathematisch-analytische Methoden an ihre Grenzen stossen. [Sigrid Wenzel]

# Zweck und Anwendung (2)

Einige Sätze zitiert aus dem Buch „Modellbildung und Simulation“ von H.-J. Bungartz et al., Springer, 2009:

« Simulationen im weiteren Sinne sind in gewisser Weise also nichts anderes als „virtuelle Experimente“ auf dem Computer. Daran ändert auch die Tatsache nichts, dass in den meisten Anwendungsgebieten der Simulation (beispielsweise Physik, Chemie oder Mechanik) die jeweiligen Vertreter der „rechnenden Zunft“ in aller Regel den Theoretikern zugeschlagen werden. Die Attraktivität solcher virtuellen Experimente liegt auf der Hand. In zahlreichen Fällen sind „echte“ Experimente zum Beispiel wegen der zugrunde liegenden Zeit- und Raumskalen schlicht unmöglich. Man denke hier etwa an die Astrophysik: Kein noch so fleißiger Physiker kann Milliarden von Jahren am Teleskop verbringen, um den Lebenszyklus einer Galaxie zu studieren; oder an die Geophysik – experimentelle, also künstlich erzeugte Erdbeben mögen bei James Bond vorkommen, ein gangbarer Weg sind sie nicht. Zudem ist nicht alles, was prinzipiell möglich ist, auch erwünscht – man denke etwa an Kernwaffentests, Tierversuche oder Gentechnik.

Die Ziele, die mit einer Simulation verfolgt werden, können sehr unterschiedlich sein. Oft möchte man ein im Grunde bekanntes Szenario nachvollziehen und damit besser verstehen können. Dies gilt beispielsweise für Katastrophen technischer wie natürlicher Art. Warum ist es zu einem Erdbeben gekommen, warum gerade an diesem Ort, und warum zu diesem Zeitpunkt? Warum stürzte eine der großen Straßenbrücken über den Mississippi im US-Bundesstaat Minnesota im August 2007 ein? Wie konnte der Tsunami Ende Dezember 2004 in Südostasien eine so verheerende Wirkung entfalten? Ebenfalls erkenntnisgetrieben, aber in aller Regel noch anspruchsvoller ist das Ziel, unbekannte Szenarien vorherzusagen. Dies gilt für die genannten Katastrophen (bzw. für mögliche Wiederholungsfälle) ebenso wie für die drängenden Fragen nach dem Klimawandel oder der Entwicklung der Weltbevölkerung, aber natürlich auch für viele technische Fragestellungen (Eigenschaften neuer Legierungen oder Verbundwerkstoffe). Neben dem Ziel der Erkenntnis geht es bei Simulationen aber auch oft um Verbesserungen, also darum, ein bekanntes Szenario zu optimieren. Als prominente Beispiele hierfür seien genannt die Einsatzpläne von Airlines, der Wirkungsgrad chemischer Reaktoren, die Effizienz von Wärmetauschern oder der Datendurchsatz in einem Rechnernetz. »



# Zweck und Anwendung (3)

Typische Wortverbindungen von *simulieren*: Das „Wortprofil 2012“ des digitalen Wörterbuchs der deutschen Sprache ist das Ergebnis einer automatischen syntaktischen und statistischen Analyse basierend auf Korpora (vor allem aus überregionalen Zeitungen) im Umfang von ca. 2 Milliarden Wörtern.

**Wozu wird simuliert?**

in Koordination mit

analysieren  
beobachten berechnen  
demonstrieren ermöglichen  
erzeugen feststellen  
optimieren organisieren  
planen rekonstruieren  
stimulieren testen  
trainieren untersuchen  
vermitteln vorbereiten üben

hat Subjekt

Computer  
Computerprogramm  
Experiment Forscher  
Gerät Kollege Maschine  
Physiker Pilot  
Programm Rechner  
Schauspieler Software  
Spiel Student System  
Techniker Teilnehmer  
Wissenschaftler Übung

**Wer simuliert?**

**Wie wird simuliert?**

hat Adverbialbestimmung

annähernd anschließend  
beispielsweise bloß  
erfolgreich etwa exakt  
lang lediglich mit Hilfe  
möglich naturgetreu  
numerisch perfekt  
realistisch realitätsnah  
vollständig vorher  
wenigstens überzeugend

hat Akk./Dativ-Objekt

Ablauf Alterungsprozess  
Aufprall Ausbreitung  
Authentizität Bewegungsablauf  
Entstehung Ernstfall  
Evolution Explosion Flug  
Kollision Mithilfe  
Schwerelosigkeit  
Szenarium Urknall  
Verhalten Vorgang

**Was wird simuliert?**

# Historische Nutzung von Modellierung / Simulation

- Landkarten, Globus

- Modell der Welt

- Sandkastenspiele

- Beim Militär



- Entwurfsmodelle

- Z.B. Architekturmodelle



- Formalisierung der Physik

- Differentialgleichungen (z.B. Modelle des Wetters bzw. der zugrundeliegenden physikalischen Parameter und Gesetze dafür) sowie mechanische Instrumente und Analogcomputer zu ihrer approximativen Lösung

- Modellrechnungen mit Digitalcomputern ab ca. 1945

- Zunächst militärische, dann technische und ökonomische Anwendungen

# Typische Einsatzbereiche von Simulation

- Meteorologie, Klimaforschung
- Naturwiss. Grundlagenforschung (Physik, Chemie,...)
- Ökologie, Biologie
- Volkswirtschaft
- Verkehrsplanung
- Industrielle Fertigung, Logistik
- Militär
- ...

Typische Fragestellungen bzgl. wirtschaftlich relevanter Ziele der Logistik: z.B. Durchlaufzeitminimierung, Servicegradmaximierung, Auslastungsmaximierung und Bestandsminimierung.

"Estimates range from \$4 billion to \$7.5 billion spent each year by the U.S. Department of Defense on Modeling and Simulation (M&S) tools, processes, and products. [...] In July 2007, U.S. House Resolution 487 officially recognized M&S as a National Critical Technology." [National Training and Simulation Association, 2011]

Beispiele →

# Beispiel: Historische „Kriegsspiele“



*The Royal Navy during the Second World War: Officers in the Plot Room at the Admiralty.*

# Das Kriegsspiel in einer Kommode

*Hofkriegsrat von Reiswitz entwickelt 1812 ein Kriegsspiel als Kommode, mit dem sich virtuelle Schlachtszenarien erkunden lassen.*



Alle Bilder: [www.spielverfuehrung.de/post/ein-spieltisch-aus-preußen](http://www.spielverfuehrung.de/post/ein-spieltisch-aus-preußen)

# Das Kriegsspiel in einer Kommode (2)

„Stolz war der preußische Kriegsrat Georg Leopold von Reiswitz schon auf seine Erfindung, einen Spieltisch, mit dem man ‚denkwürdige Schlachttheater‘ in ‚sein Zimmer zaubern‘ konnte. So pries Reiswitz seine aus Holz, Papier und Metall konstruierte virtuelle Realität 1812 in der Anleitung an. Ein Kriegsspiel hatte er entworfen, um Schlachten zu Hause spielen zu können. [...] Von Reiswitz [...] konstruierte 1812 für Preußen-König Friedrich Wilhelm III. einen analogen Spielwelten-Simulator. Heute kann man den taktischen Kriegsspielapparat mit einer Kommode verwechseln. Die Deckplatte lässt sich aufklappen und drehen, sodass man ein in 15 mal 18 quadratische Felder unterteiltes Spielfeld erhält. In elf Schubladen der Kommode liegen quadratische Holzbausteine, aus denen man sich ein Spielfeld zusammenbauen kann. Da gibt es Berge, Hügel, Wiesen, Wälder, Siedlungen, Flüsse. Neu war Reiswitz' Idee, eine Landschaft zu rastern und so spielbar zu machen. [...] Reiswitz trieb zu seiner extrem detaillierten Landkarten-Arbeit (Spielfeld-Maßstab 1:2373) der Wille, Realität nachzubilden. [...]

Der Sohn von Kriegsspiel-Erfinder Georg Leopold von Reiswitz entwickelte das Spielsystem seines Vaters weiter. Der junge Leutnant Georg Heinrich Rudolf Reiswitz systematisierte vor allem den Einsatz von Würfeln. Er legte nach Versuchen auf dem Berliner Schießplatz Mittelwerte zur Wirkung von Waffen fest, verfügte in seiner Neuauflage des Kriegsspiels aber auch, dass man Abweichungen vom Referenzwert zu erwürfeln hat. [...] Das Militär-Wochenblatt berichtet 1874 rückblickend, Friedrich Wilhelm III. habe mit Söhnen, Offizieren und Adjutanten oft bis in die Nacht gespielt, sodass ‚die sonst zum Auseinandergehen der hohen Familie festgesetzte Stunde, 1/2 11 Uhr, weit überschritten wurde.‘ – www.spiegel.de, Konrad Lischka, 22.06.2009 (gekürzt)

# Das Kriegsspiel in einer Kommode (3)

In den Schubladen der Spielkommode finden sich neben modularen Geländefeldern und symbolischen Spielsteinen für unterschiedliche Truppenteile (wie Infanterie, Kavallerie, Artillerie, Pioniere, Brückenequipagen, Munitionskolonnen etc.) zahlreiche weitere Utensilien wie Zirkel und Messlineale zur Bestimmung von Marschweiten und Schussdistanzen.

„Der Zweck dieses Spiels war mehr als reine Unterhaltung: Man wollte Offiziere strategisch ausbilden und Schlachten simulieren. Das funktionierte mit einer Weiterentwicklung dieses Systems scheinbar so gut, dass der Sieg im Deutsch-Französischen Krieg von 1870/71 auch darauf zurückgeführt wurde, dass die Preußen ihre Abläufe spielerisch planen konnten. Danach wurden Wargames quasi in allen Ländern im Auftrag des Militärs konzipiert, von Amerika bis Russland.“  
-- [www.spielvertiefung.de/post/ein-spieltisch-aus-preußen](http://www.spielvertiefung.de/post/ein-spieltisch-aus-preußen)



# Das Kriegsspiel in einer Kommode (4)

## § 1.

Das Kriegsspiel ist die Darstellung eines Manövers auf einem Plane mit kleinen, die Truppen bezeichnenden Figuren, wobei die für die Kriegführung vorhandenen Regeln berücksichtigt und beobachtet werden müssen.

## § 2.

Hiernach kann ein jeder, der das Kriegshandwerk erlernt hat, ohne Weiteres die Rolle eines Befehlshabers in diesem Spiele übernehmen, muß aber die Führung der einzelnen Truppen=Abtheilungen denen überlassen, die mit der Handhabung derselben vertraut sind.

## § 3.

Das Material zum Kriegsspiele besteht aus Plänen, Karten, Zirkel, Maßstäben, Würfeln und den Truppenzeichen von Blei in der Form kleiner Parallelepipeden.

---

Wer am natürlichsten, ruhigsten manövirte, den Sinn der General=Idee am schnellsten auffaßte, die einmal gegebene Disposition am consequentesten durchführte, das Glück zu benutzen, das Unglück auszugleichen wußte, verdient vorzugsweise Beifall. Von Gewinnen und Verlieren in dem Sinne eines Karten= oder Brett=Spieles ist also nicht die Rede.

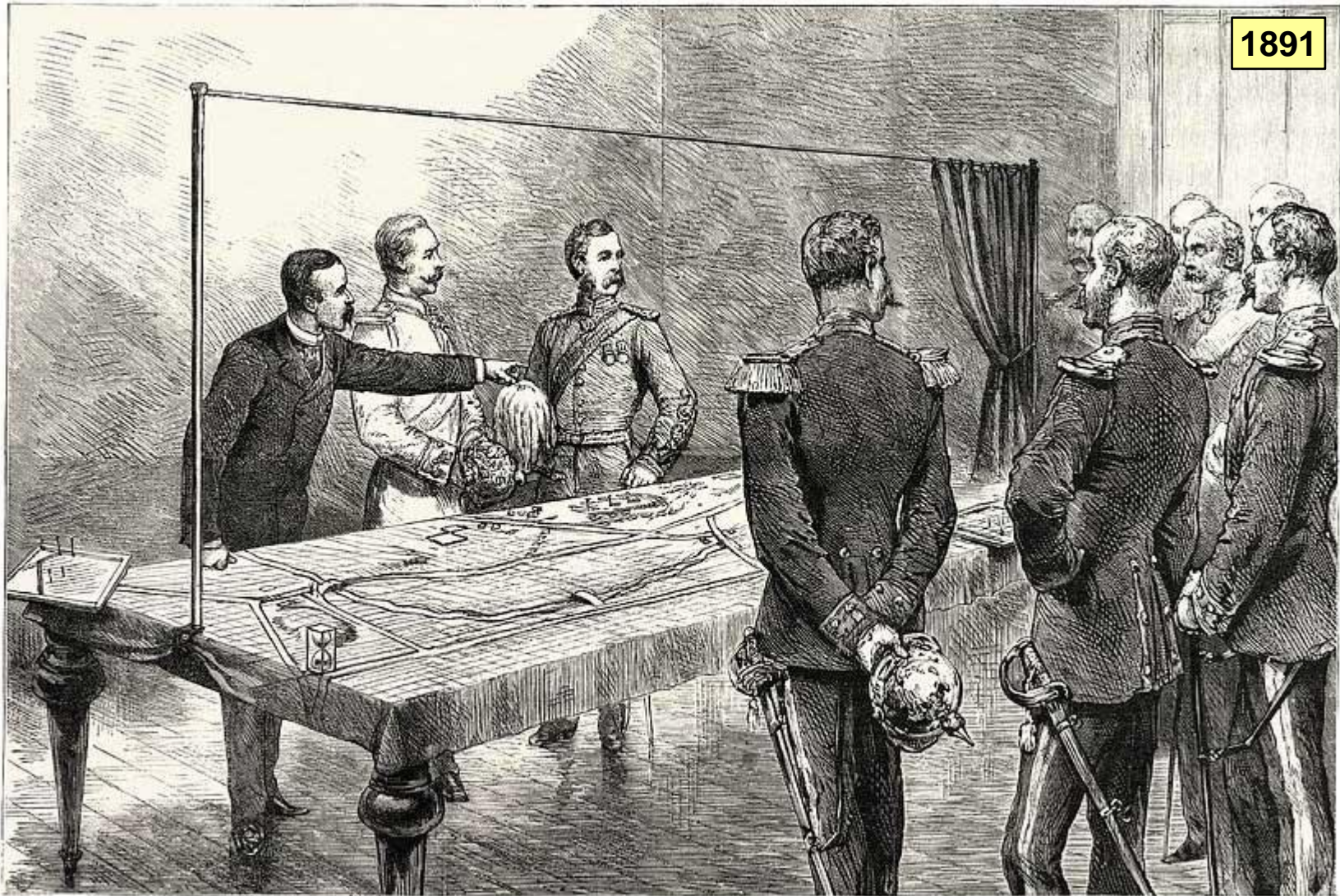
*Anleitung zur Darstellung militairischer Manöver mit dem Apparat des Kriegsspiels, 1846.*

Bereits 1812 beschrieb Georg Leopold von Reiszitz in einer Schrift „Taktisches Kriegs-Spiel oder Anleitung zu einer mechanischen Vorrichtung um taktische Manoeuvres sinnlich darzustellen“ den Zweck des Spiels:

„Die **sinnliche Darstellung** eines einzelnen Manoeuvres nach taktischen Regeln durch eine mechanische Vorrichtung zum Unterricht und **Übung junger Militair-Personen**, oder zu einer zweckmäßigen **Unterhaltung für ältere Officiere**, ist der Zweck des Spiels.“



# Militärische Planspiele noch ohne Computer



Revue L'illustration Européenne N° 22, 1 Mars 1891

# Militärische Planspiele noch ohne Computer (2)



1915

# Wargames mit Computer

Das Durchrechnen eine Gefechts bezeichnen wir als ein Spiel. -- Carl August Zehnder



1959

Sobald Computer in praktischer Hinsicht dafür nutzbar waren, wurden sie im Rahmen solcher Kriegsspiele (quasi als „elektronische Sandkästen“) eingesetzt – wie hier 1959 beim Heer der US-Streitkräfte:

*The picture highlights a current computer application to a U.S. Army wargame problem. The game is used to evaluate the feasibility of operational and organizational concepts; it is played manually by two opposing teams maneuvering on a map.*

[www.bitsavers.org/pdf/computersAndAutomation/195912.pdf](http://www.bitsavers.org/pdf/computersAndAutomation/195912.pdf)

# Panzergefechtssimulation mit Computer

## Codename „KOMPASS“: KOMputerisierte PanzerAbwehrSchlachtSimulation

Auszüge aus: Jürg P. Marty: „KOMPASS - Taktisches Gefechtssimulationsmodell“ (1984/85):

---

Bei KOMPASS handelt es sich um ein Modell zur Simulation von Begegnungsgefechten zwischen Panzern / Schützenpanzern und der Panzerabwehr, beide unterstützt durch Artillerie, Minen und Hindernisse in einem wirklichen, digitalisierten Gelände. Die Ziele eines Einsatzes des Systems sind Waffensystemevaluation, taktische Operationsanalyse, Schulung der Kader.

KOMPASS stellt ein für das schweizerische Milizsystem typisches EDV-Projekt dar. Als Forschungsprojekt an der ETH Zürich „geboren“, iterativ in mehreren Phasen und im Wechselspiel zwischen Hochschulen, Militärverwaltung, Truppe und Industrie „gewachsen“, ist es schliesslich als Teilprojekt eines Führungssystems der Truppe übergeben worden.

Die Gefechtsfähigkeit und die Bewegung aller Elemente im Gelände werden durch das Programm zu einer Gefechtssimulation vereinigt. Das Gefechtsmodell besteht aus verschiedenen Kampfelementen, die sich in einem zeitlich veränderlichen Zustand befinden und die zeitabhängige Aktivitäten durchführen, welche den eigenen Zustand und denjenigen anderer Elemente verändern. Es handelt sich bei KOMPASS um eine Zeitfolgesimulation, welche alle 1/8 Sekunden sämtliche Systemzustände nachführt. Die Simulation wird dabei durch *Tätigkeiten* und *Ereignisse* gesteuert.

- Die Aktivität eines Kampfelements löst eine Folge von Tätigkeiten aus.
- Jede Tätigkeit hat eine *Anfangszeit*, eine *Zeitdauer* und eine *Endzeit*.
- Jede Tätigkeit beginnt nach und endet mit einem *Ereignis*.
- Ein Ereignis kann *deterministisch* oder *stochastisch* (Eintreffenswahrscheinlichkeit) sein.
- Ein Ereignis kann die Veränderung des Zustandes oder die Auslösung der Aktivität eines Kampfelementes bewirken.

# Panzergefechtssimulation mit Computer (2)

Das Modell baut in Schritten von 1/8 Sekunden die so entstandene Ereignisfolge ab. Anders ausgedrückt: Jedes Element trägt einen „Wecker“, eine Uhr der Verfügbarkeit, bei sich. Wenn ein Element etwas zu tun hat (z.B. Laden), wird sein Wecker um die dafür benötigte Zeit vorgesetzt. Während dieser Zeit ist dieses Element damit voll beschäftigt, hingegen sind andere Elemente verfügbar. Der Computer kann nun in der zeitlichen Reihenfolge immer das nächstverfügbare Element betrachten und untersuchen, welche Tätigkeit jetzt auszuführen ist (bei einem Panzer z.B.: soll er fahren, soll er schießen, soll er stehenbleiben usw.) und dem entsprechenden Element eine Tätigkeit zuweisen und dann zum nächstverfügbaren Element übergehen.

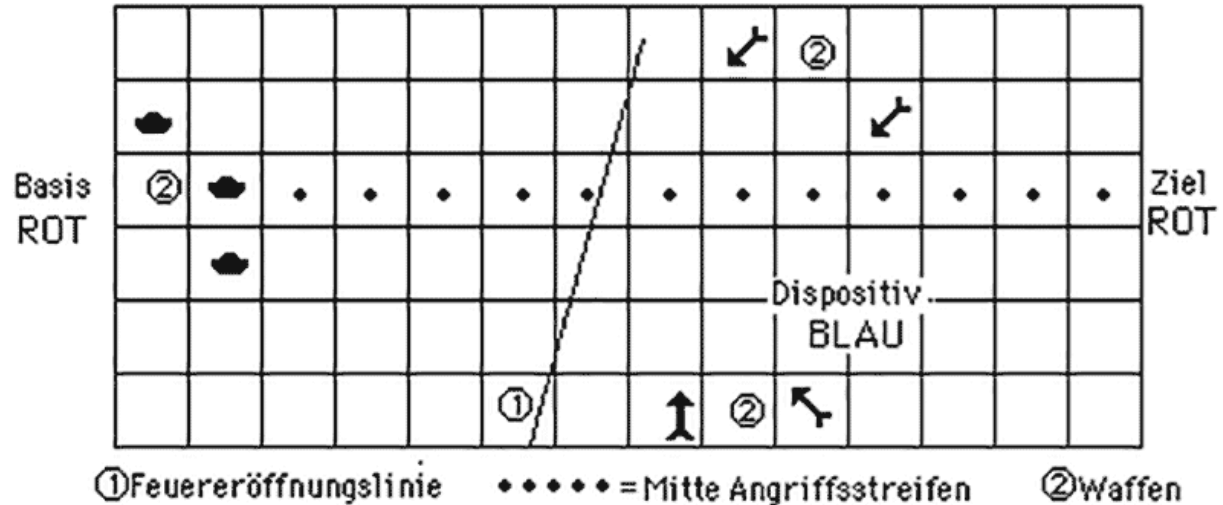
Mit diesem Verfahren werden simultan die verschiedenen Elemente im Rahmen ihrer Gefechts-tätigkeit verfolgt, ihre gegenseitigen Beeinflussungen realisiert und das Gefecht vorangeführt.

Beispiele für „Gefechtsmeldungen“ während einer Online-Simulation:

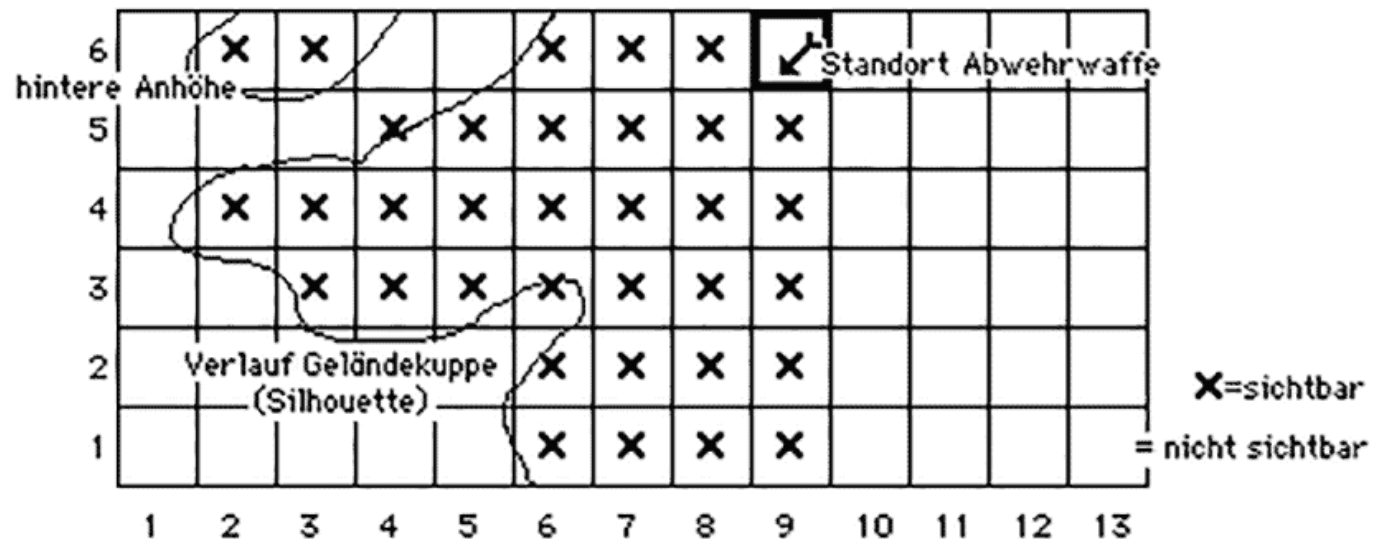
```
* 1:17:04/1 PZ 2001 HAT MINENFELD( 75/410) BESEITIGT
* 1:17:17/3 PZ 2033 HAELT VOR MINENFELD( 77/400) FINDET WEG ZUM EIGENEN ZWZ
* 1:17:22/2 PZ 2001 ERREICHT ZWZ 2000 (FELD 73/413)
* 1:17:22/5 PZ 2031 ( 77/402 ZUST=I) GETROFFEN(ZUST=Z) VON AW ( 74/404)
>
* 1:18:06/4 PZ 2033 ( 78/400) ERKENNT BESCHOSSENE AW ( 74/404) ALS ZERSTOERT
>
* 1:18:22/5 PZ 2023 ( 75/410) ERKENNT BESCHOSSENEN PZ ( 70/433) ALS ZERSTOERT
* 1:18:26/3 PZ 2001 ( 73/414 ZUST=S) GETROFFEN(ZUST=Z) VON AW ( 74/429)
* 1:18:28/7 PZ 2021 ( 76/409 ZUST=I) GETROFFEN(ZUST=Z) VON AW ( 77/427)
```

# Panzergefechtssimulation mit Computer (3)

*KOMPASS-Spielfeld mit Beispielen von Simulationselementen (hier: Panzer, Panzerabwehrkanonen) und Taktikangaben (hier: Angriffsstreifen, Feuereröffnungslinie).*



*Sichtbereich, berechnet für einen bestimmten Standort (9,6) einer Abwehrwaffe in Abhängigkeit vom Geländere relief.*



# Panzergefechtssimulation mit Computer (4)

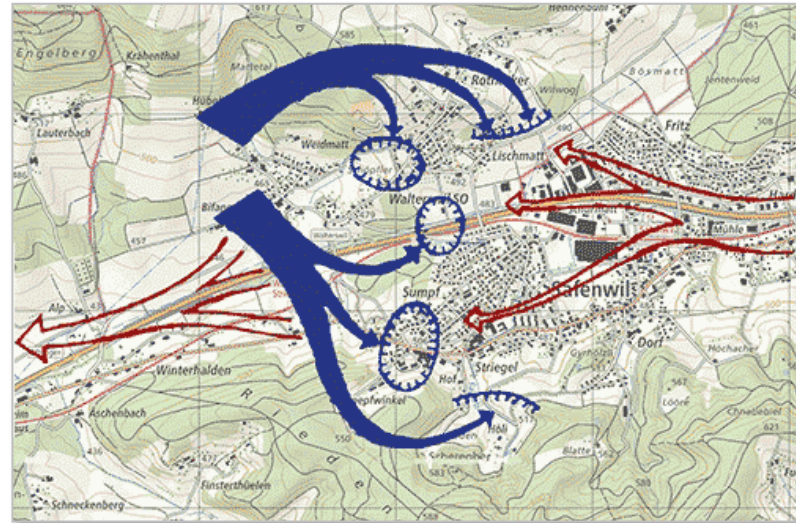
Das Kampfgebiet besteht aus einem rechteckigen Kartenausschnitt von 7 x 10 km. Es wird, ausgehend von der Landeskarte, in einer Spezialkarte 1:10'000 dargestellt. Auf dieses Rechteck wird ein quadratischer Raster von 50 x 50 m gelegt.

KOMPASS wird als zweiseitiges, verdecktes, computergestütztes interaktives Kriegsspiel gespielt. Die Spielpartner sind dabei:

- Übungsleitung
- Abwehr (BLAUE Partei)
- Angreifer (ROTE Partei)

Aufgrund von im voraus festgelegten Abwehrdispositiven und Panzer-Kampfplänen berechnet KOMPASS den Verlauf des Gefechtsgeschehens und liefert Datenmaterial, Statistiken und Grafiken über den Ausgang des Gefechts. Zur Auswertung können die Wege jeder Kompanie und die wesentlichen Ereignisse detailliert auf einer Landkarte aufgedruckt, eine grafische Darstellung der Verluste beider Seiten sowie eine Statistik über die Wirksamkeit der Verteidigung erstellt werden.

Die bisher durchgeführten Truppeneinsätze haben gezeigt, dass KOMPASS einerseits zur taktischen Führerschulung und andererseits auch zur systematisch wissenschaftlichen Durchleuchtung des Gefechtsgeschehens einen wesentlichen Beitrag liefert. Verbesserungen der Abwehrwirksamkeit von teilweise über 20% sind durchaus realisierbar und sind auch realisiert worden.



*Die Schlacht von Safenwil (AG) und Walterswil (SO)*

*[Ende der Auszüge aus dem Text von Jürg P. Marty]*

# Panzergefechtssimulation mit Computer (5)

Das KOMPASS-Simulationsmodell wurde ab 1963 im Wesentlichen an der ETH Zürich in der Gruppe von Prof. Eduard Stiefel (militärisch Chef des Artilleriewetterdienstes) entwickelt. Neben fest zugeordneten Assistenten des Instituts arbeiteten auch andere Institutsmitarbeiter im Rahmen ihres militärischen Wiederholungskurses an der Entwicklung mit. Erste Konzepte entstanden noch auf der ERMETH, ab 1964 wurde diese Maschine jedoch durch die 400-mal schnellere CDC 1604A auf Transistorbasis ersetzt.

Ausgangspunkt war die Frage von militärischer Seite an die akademischen Fachleute des noch jungen Gebietes „Operations Research“: Lässt sich in Hinblick auf anstehende Panzer- und Panzerabwehrwaffenbeschaffungen der Nutzen verschiedener Waffentypen rechnerisch vergleichen? Konkrete Fragen waren etwa: Welcher Panzertyp nützt der Schweizer Armee mehr, (a) ein schnellfahrender, leichter Panzer mit kleiner Feuergeschwindigkeit oder (b) ein schnellschiessender Panzer mit Stabilisator und grösserem Gewicht aber kleinerer Fahrgeschwindigkeit?

Viele weitere, oft voneinander abhängige Entscheidungsgrössen (Kaliber, Verwundbarkeit etc.), mussten zur Beantwortung des Nutzens berücksichtigt werden. Da keine einfachen analytischen Methoden zur Behandlung solcher Fragen existieren, wurde das KOMPASS-Simulationsmodell zur experimentellen Untersuchung verschiedener Varianten konzipiert.

Obwohl ursprünglich zum Zweck der Waffenevaluation geschaffen, ergaben sich bald andere, geeignetere Nutzungen wie die Evaluation von Kampfplänen oder die taktische Ausbildung in der Führung von Panzer- bzw. Panzerabwehrkämpfen.

[Quelle: Carl August Zehnder (1992): Frühe Gefechtssimulationen in der Schweiz.]



# Panzergefechtssimulation mit Computer (6)

Zur Anwendung des KOMPASS-Simulationssystems noch folgender Textauszug von 1965:

## Prinzip der Benützung

-----

Das Modellprogramm KOMPASS ist heute (November 1965) einsatzbereit für den Computer CDC-1604A des Rechenzentrums der ETH, Zürich. Jeder militärische Interessent wendet sich aber betreffend Benützung an die Sektion Studien und Finanzplanung der Untergruppe Planung der Generalstabsabteilung. Diese regelt die Benützung und liefert den Interessenten eine ausführliche Gebrauchsanweisung.

## Technische Vorbereitungen des Benützers

-----

Auf Grund der erwähnten Gebrauchsanweisung muss der Benützer das von ihm bestimmte Gelände, die technischen Daten der Waffen und die gefassten Parteientschlüsse zahlenmässig in Formulare eintragen. Sind alle verlangten Angaben beisammen, so sind diese - wiederum genau nach Anweisung - auf Lochkarten zu übertragen. Diese Lochkarten werden mit dem (bereits auf Lochkarten vorrätigen) Programm KOMPASS dem Computer eingegeben.

Für das Zusammenstellen aller Angaben ist ein Aufwand von ca. 25 Stunden nötig, wobei das Gelände weitaus am meisten Arbeit gibt. Das einmal erfasste Gelände ist aber nachher für viele Modellgefechte wieder verwendbar. Die totalen Locharbeiten (für etwa 500 Lochkarten, je nach Gelände grösse) lassen sich in einem Tag erledigen; sie bedingen die Verwendung eines Lochkartenstanzers, wie er heute vielerorts vorhanden ist.

# Historische Kriegsspiele der Schweizer Armee



Kriegsspiel im Armeelogistikcenter Grolley (FR)

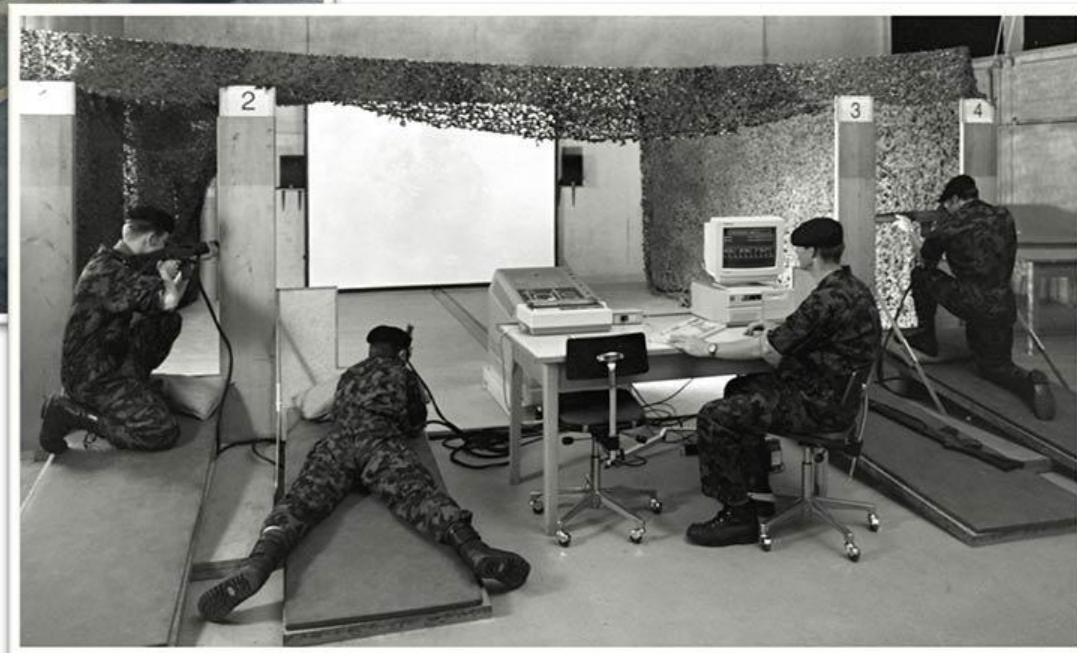
© VBS/DDPS, Zentrum digitale Medien der Armee, [www.mediathek.admin.ch](http://www.mediathek.admin.ch)



Unten: Kriegsspiel für Panzerkommandanten



# Historische Kriegsspiele der Schweizer Armee (2)

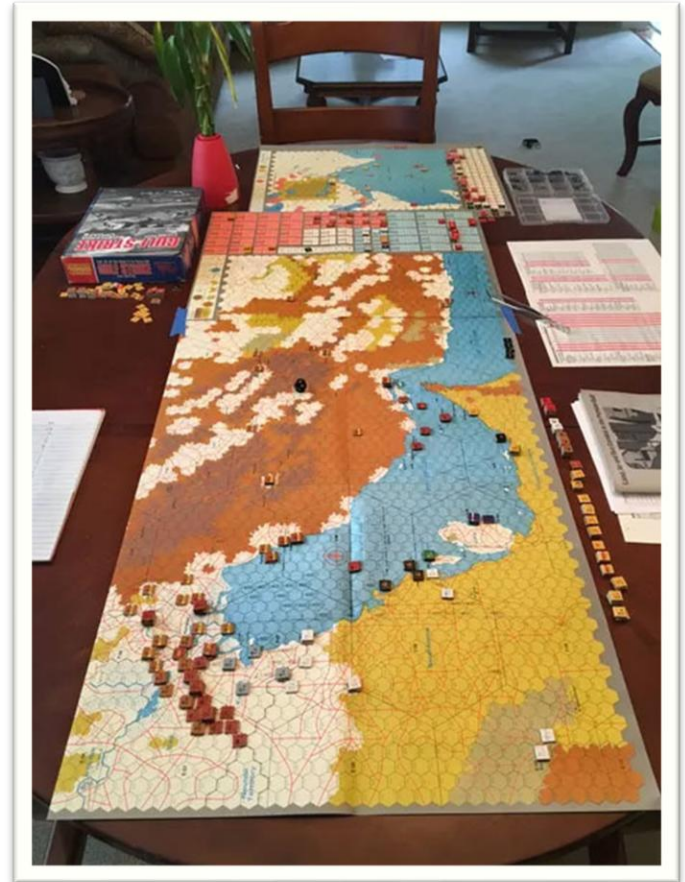


- Fliegerabwehrlenk Waffen-Simulator (ob.)
- Kampfraum-Simulator für Panzer (re. ob.)
- Schiess-Simulator (re.)

© VBS/DDPS, DMA, [www.historic.admin.ch](http://www.historic.admin.ch)

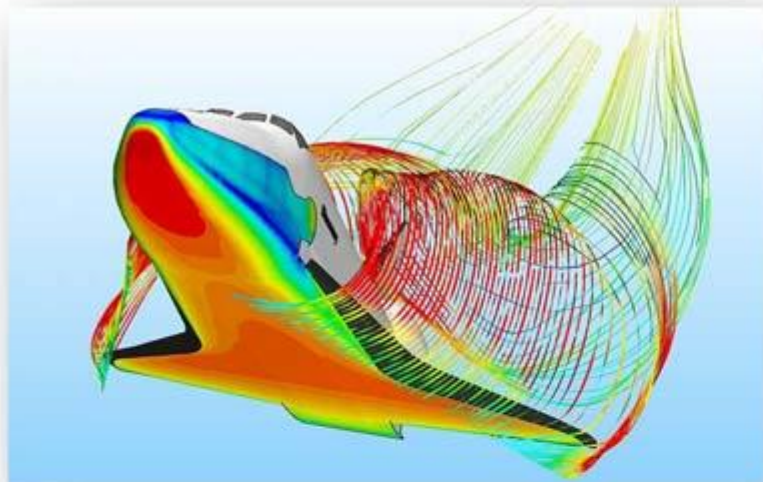
# Kriegsspiele mit / ohne Computer

„Als am 2. August 1990 der Irak Kuwait besetzte, wollte das Pentagon sofort Reaktionsmöglichkeiten simulieren. Vorhandene Computersimulationen erwiesen sich als unbrauchbar oder zu langsam; deshalb griff man auf ein kommerzielles Produkt der Firma Victory Games zurück: Gulf Strike – in gut sortierten Fachgeschäften für unter 50 Dollar zu haben. Designer dieser Simulation ist Mark Herman, der außerdem für den Washingtoner think tank BDA arbeitet. Um 10 Uhr morgens rief das Pentagon Mark Herman an, um 14 Uhr hatte er einen Vertrag, ab 15 Uhr spielten die Naher Osten-Experten des Pentagon die Situation anhand von Gulf Strike durch. Die Resultate dieses Spieles bildeten die Grundlage für die Entscheidungen des Pentagon im August 1990.“ -- Philipp von Hilgers

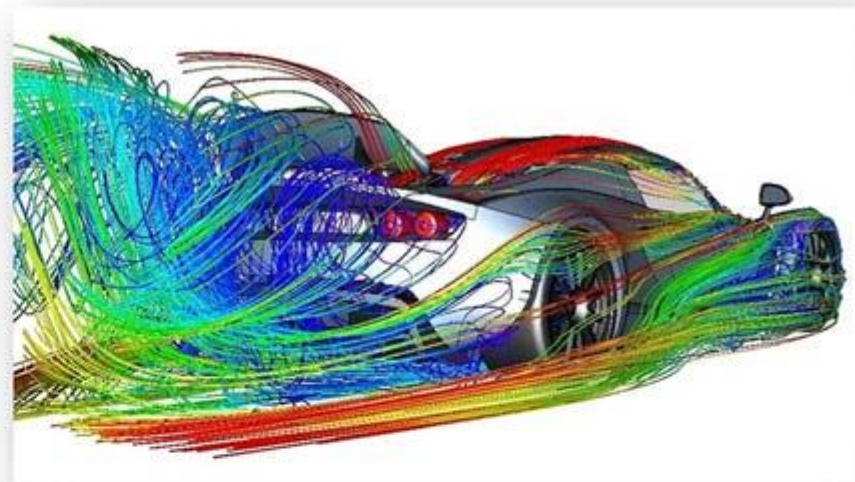


Ende der historischen Notiz

# Beispiel: Strömungssimulation



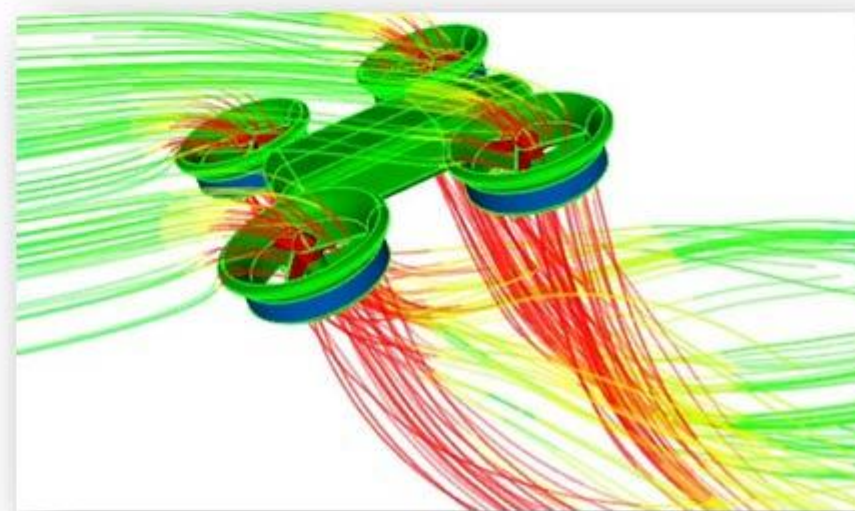
<https://horizontalspace.files.wordpress.com/2017/03/shut4.jpg>



<http://cdn3.worldcarfans.co/2009/9/large/2131299.jpg>

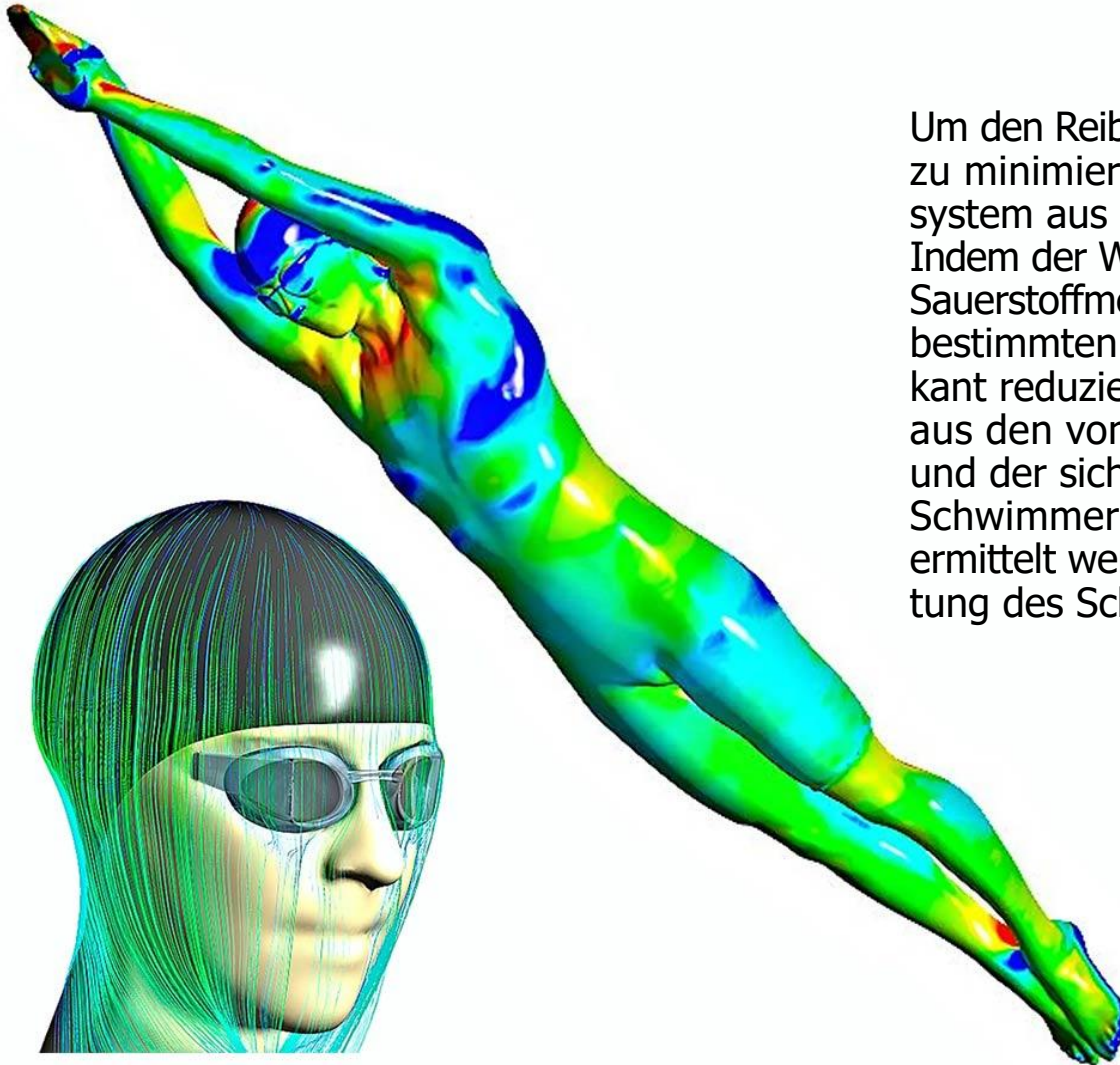


[http://pedalista.net/wp-content/uploads/2017/02/20170201\\_0.jpg](http://pedalista.net/wp-content/uploads/2017/02/20170201_0.jpg)



[www.symscape.com/files/pictures/unconventional-concepts/quadcopter.png](http://www.symscape.com/files/pictures/unconventional-concepts/quadcopter.png)

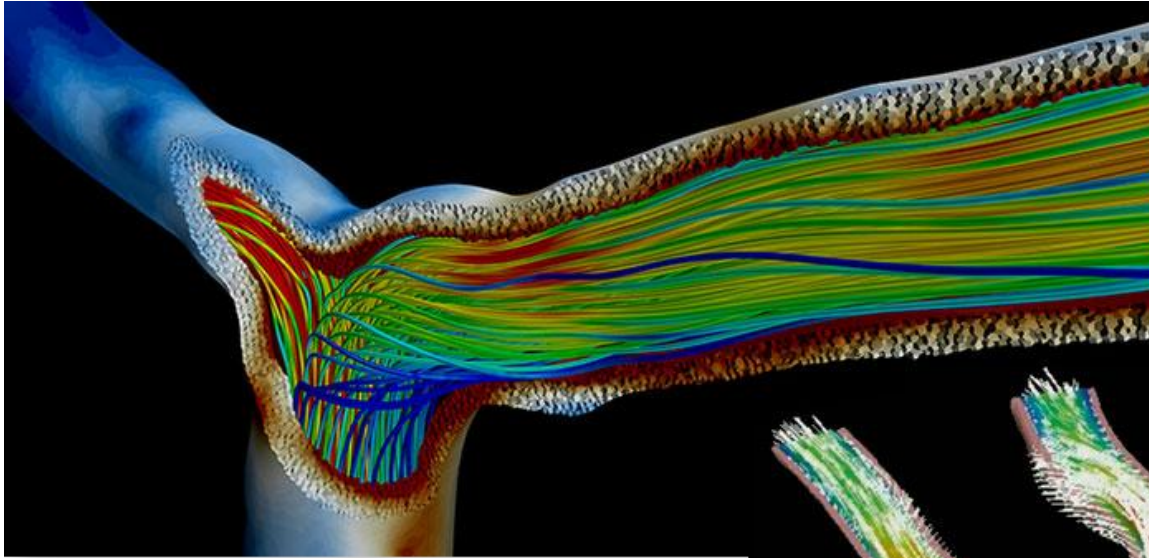
# Beispiel: Strömungssimulation bei Schwimmern



Um den Reibungswiderstand beim Schwimmen zu minimieren, betrachtet man das Gesamtsystem aus Schwimmanzug, Kappe und Brille. Indem der Widerstand verringert wird, wird die Sauerstoffmenge, die der Schwimmer bei einer bestimmten Geschwindigkeit benötigt, signifikant reduziert. Auch der Widerstand, der sich aus den vom Schwimmer erzeugten Wellen und der sich ständig verändernden Form des Schwimmers ergibt, kann mittels Simulation ermittelt werden und durch optimierte Gestaltung des Schwimmanzugs minimiert werden.

<https://newatlas.com/redesigned-speedo-racing-swimsuit/23244/#gallery:1>

# Beispiel: Strömungssimulation bei Arterien

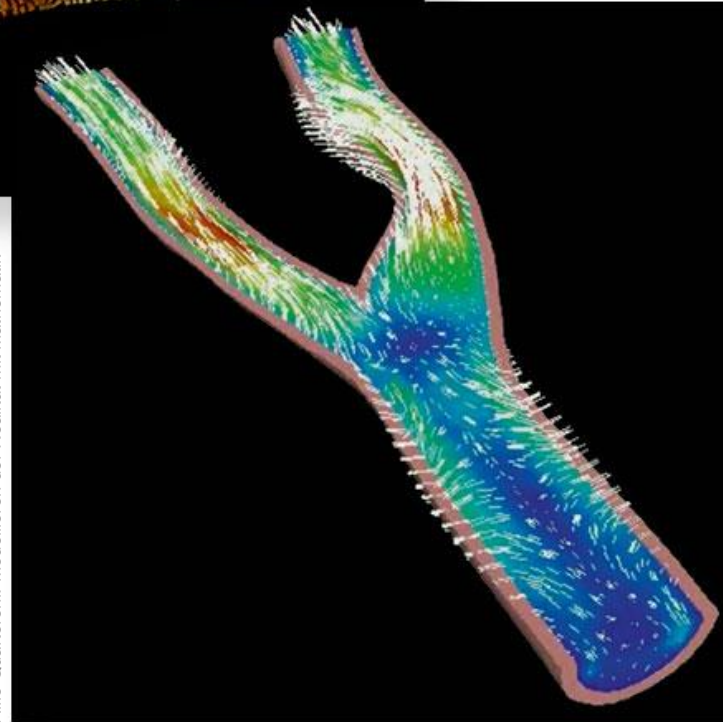


← Blutfluss in Gehirnarterien

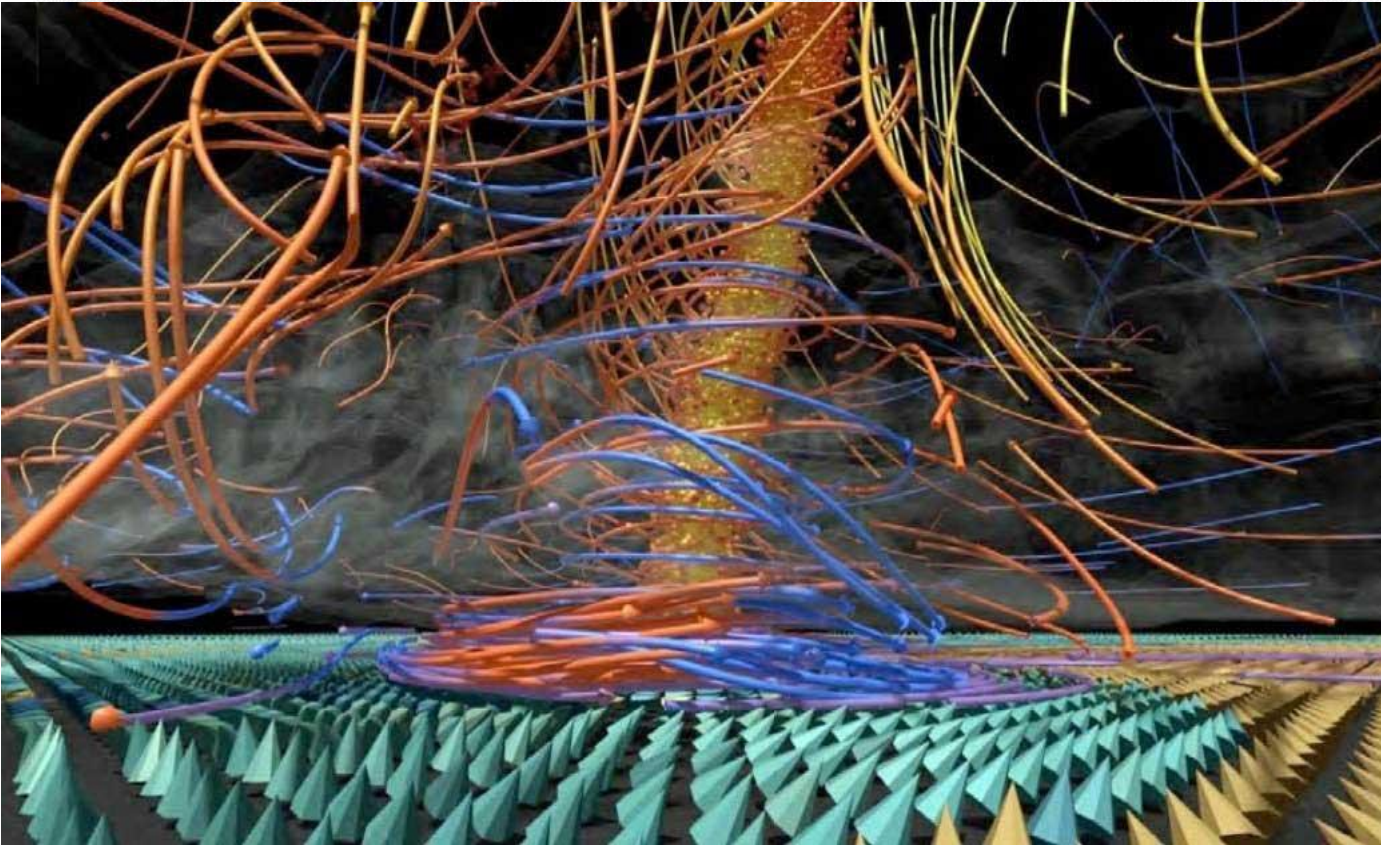
Arterienverformung  
↓ (Bifurcatio carotidis)

Arterienwände sind elastisch; sie können sich verformen, um den Durchgang des Blutes zu erleichtern. In der Simulation erkennt man, wie das Blut mit der Zellschicht an der Innenfläche der Blutgefäße interagiert, und wie dies ihre Verformung und mögliche Schäden beeinflusst. Dies ist auch wichtig, um zu verstehen, wie degenerative Prozesse (wie z.B. Plaques) entstehen.

Alfio Quarteroni: Modellieren der Realität mit Mathematik



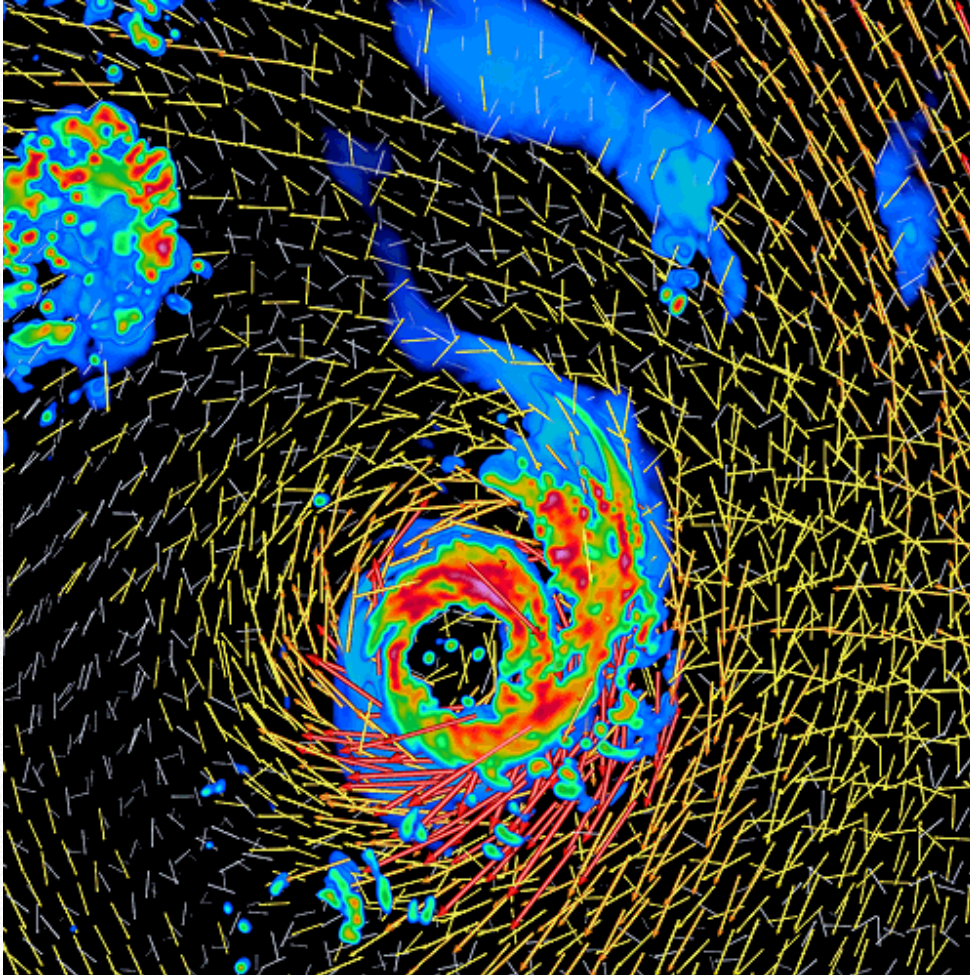
# Beispiel: Simulation eines Tornados („Spaghetti-Simulation“)



<https://image.slidesharecdn.com/sara120911-final-111209225510-phpp01/75/21st-Century-e-Knowledge-Requires-a-High-Performance-e-Infrastructure-8-2048.jpg>



# Beispiel: Simulation des Hurrikans „Ike“



<https://pabook.libraries.psu.edu/sites/default/files/featureimages/FGHCompIke.jpg>

*“This simulation of Hurricane Ike, created at the Pittsburgh Supercomputing Center at Carnegie Mellon University, helps researchers to understand the inner workings of hurricanes so their behavior can be more accurately predicted.”*

Hurrikane sind tropische Atlantik- / Pazifik-Wirbelstürme bei Nord- und Mittelamerika. „Ike“ zog 2008 über Haiti, Kuba, den Golf von Mexiko und den Mittleren Westen der USA bis nach Québec; die Ausläufer erreichten schliesslich noch Island. Die Prognosen liessen eine Katastrophe befürchten, US-amerikanische Behörden ordneten Zwangsevakuierungen für eine Million Menschen in den Küstengebieten an. Der Gouverneur von Texas meinte, dass ohne eine Evakuierung über eine Million Menschen sterben könnten.

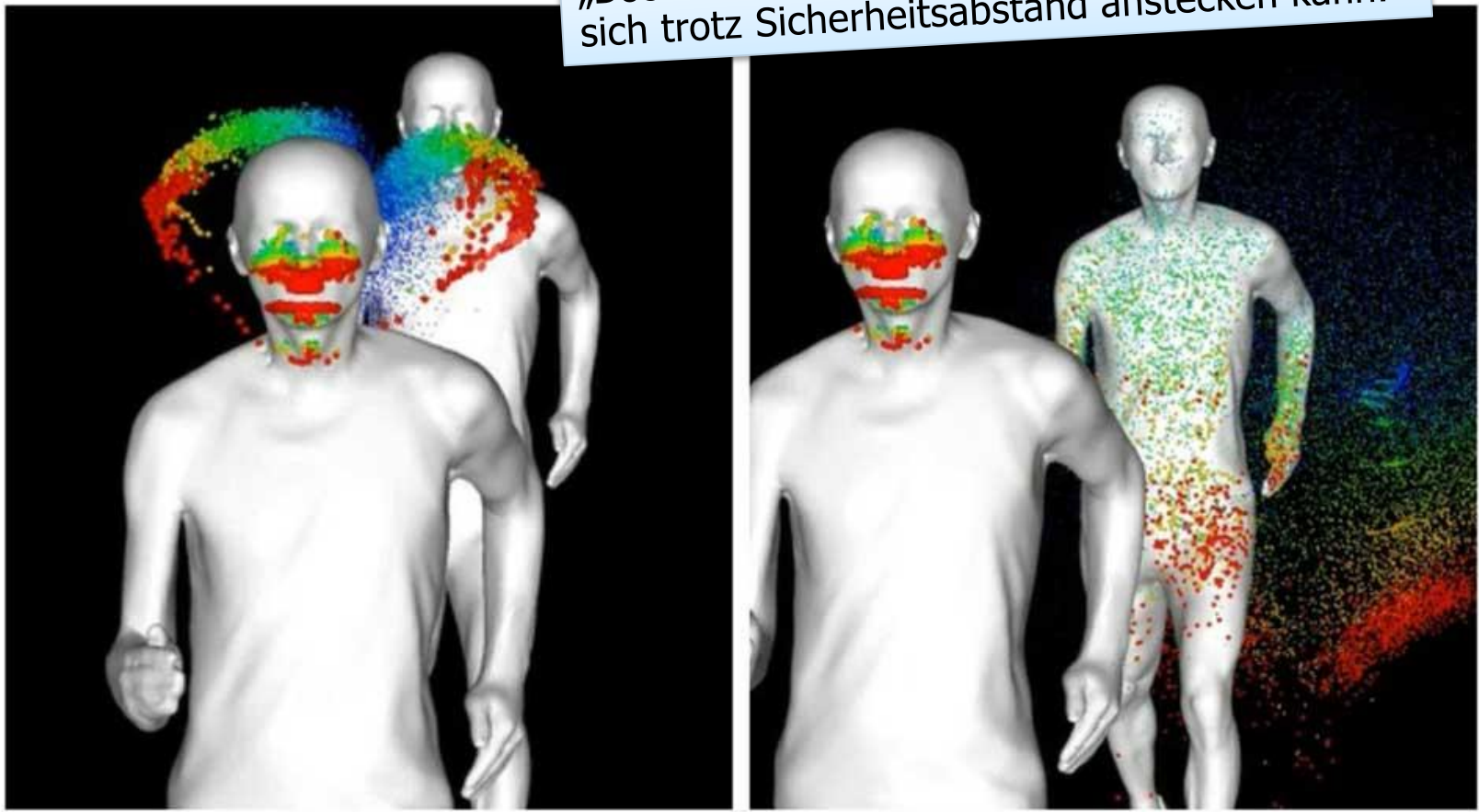
Letztendlich verursachte Ike zwar gewaltige Schäden (in Kuba war bisher nur Hurrikan „Irma“ im Jahr 2017 teurer), aber – vor allem aufgrund umfangreicher vorsorglicher Massnahmen – „nur“ rund 200 Tote.

In den USA beobachtet das [National Hurricane Center](#) die Entwicklung von Hurrikanen. Als Datenquellen fungieren hauptsächlich Satellitenbilder, Radardaten (auch von Flugzeugen) und Schiffsbeobachtungen. Zur Optimierung der [Verlaufsprognose](#) werden spezifische Modelle und Simulationen eingesetzt und weiterentwickelt.

# Beispiel: Atemtröpfchen beim Sport

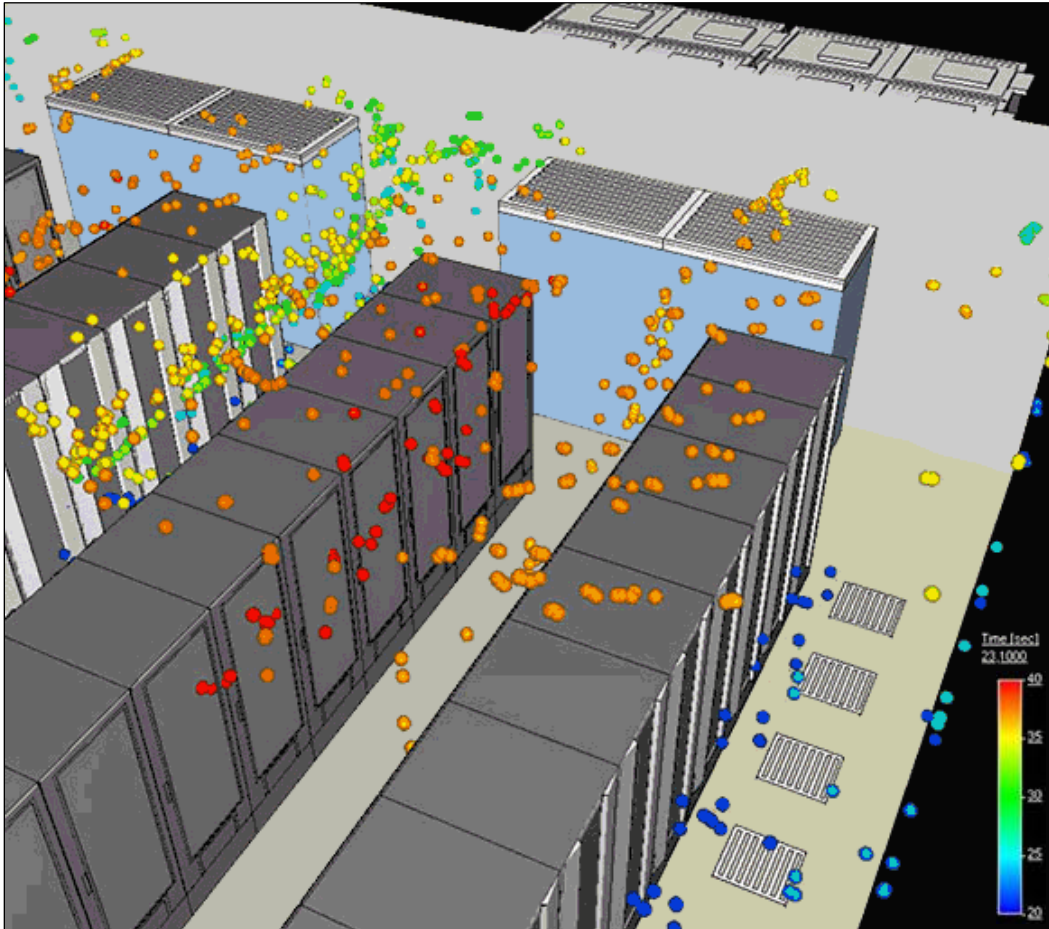
Beter niet achter elkaar fietsen of joggen in coronatijden

„Doch nun zeigt eine Simulation, wie schnell man sich trotz Sicherheitsabstand anstecken kann.“



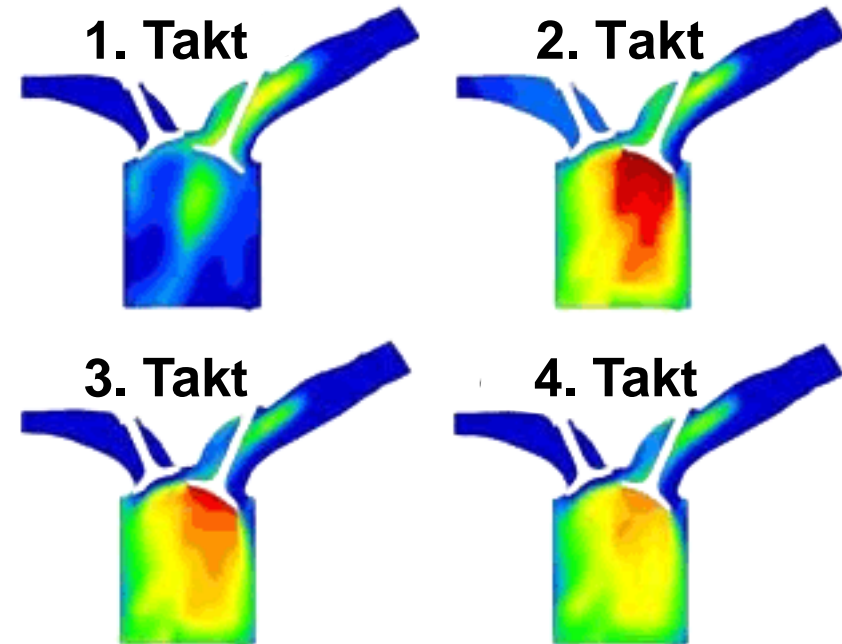
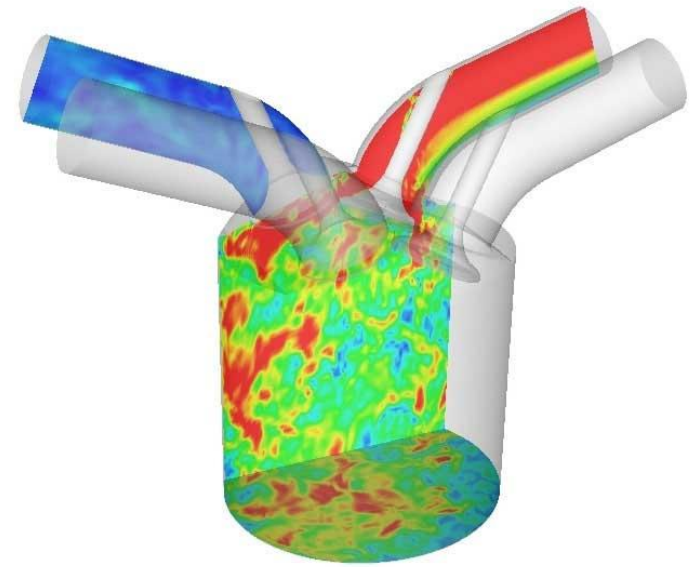
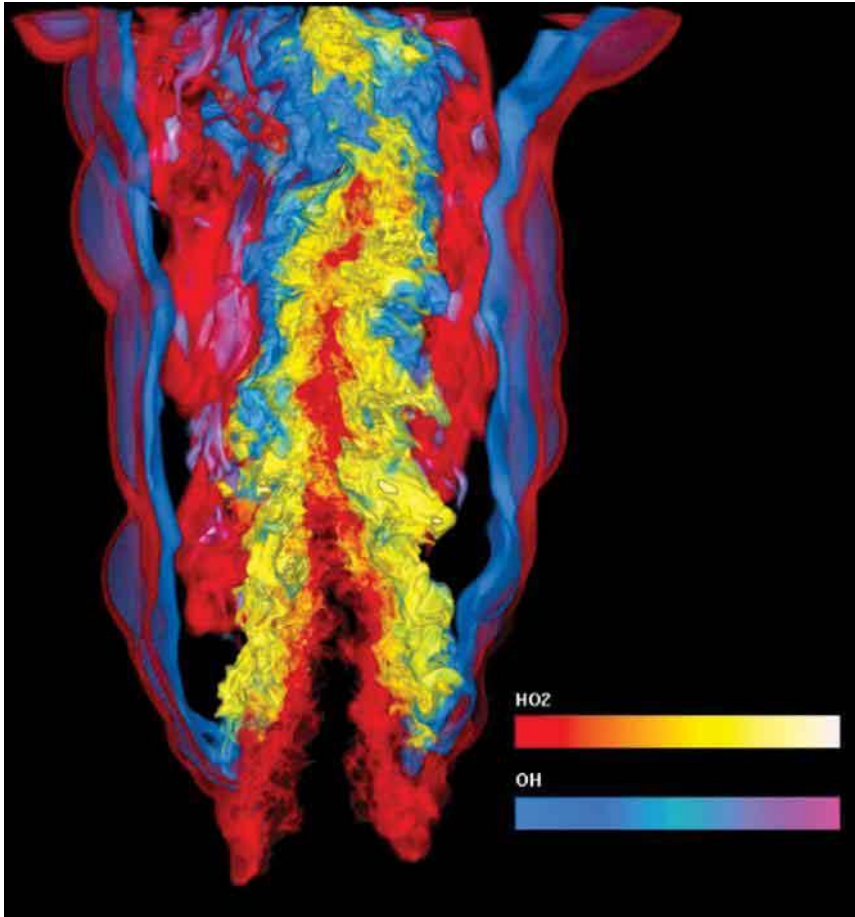
...zo blijkt uit een nieuwe studie van professor Bert Blocken van de KU Leuven en de TU Eindhoven.

# Beispiel: Simulation der Kühlung von Servern

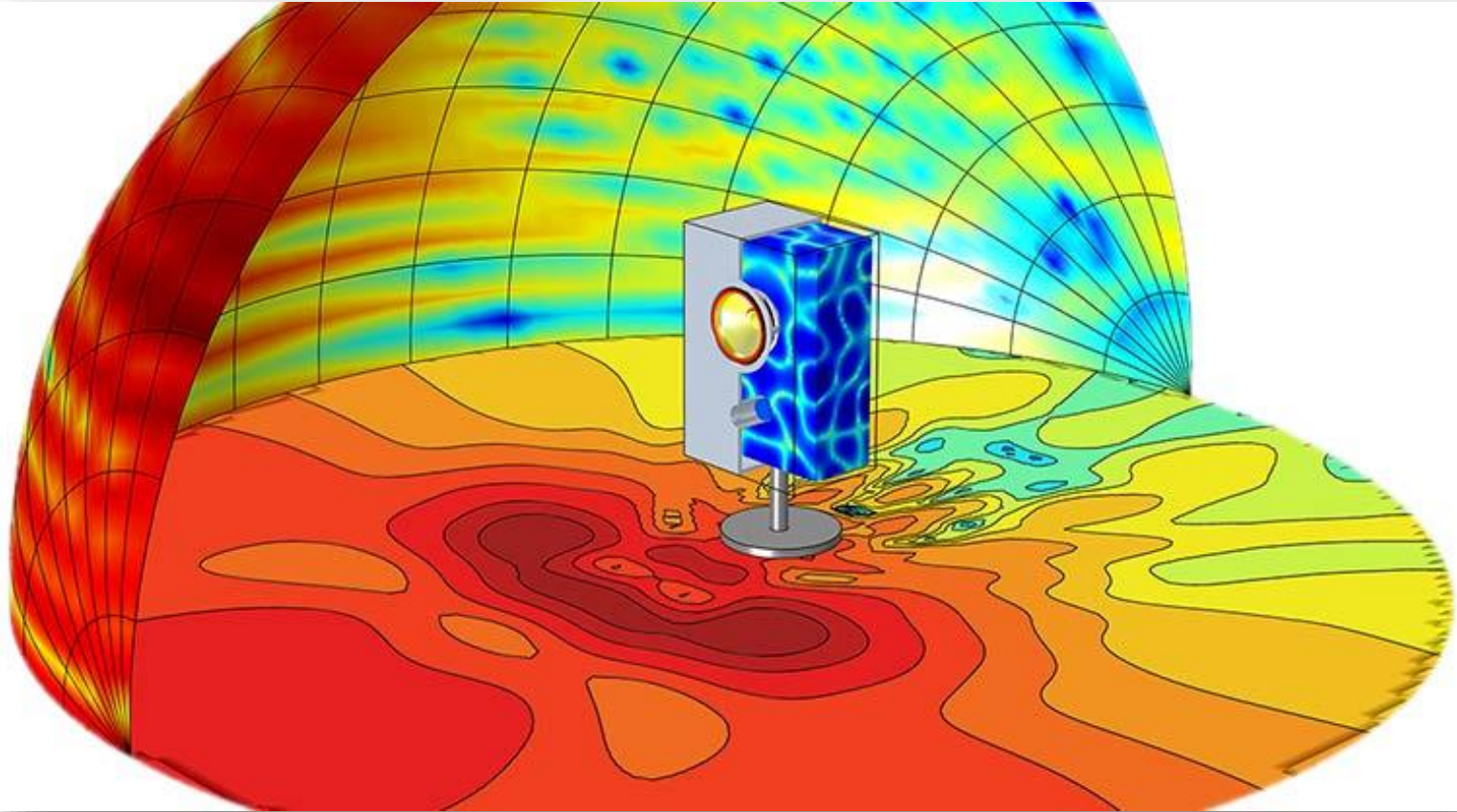


<http://static.datacenterdynamics.com/assets/image/0004/235147/Simulation-of-thermal-flows-in-datacenter.jpg>

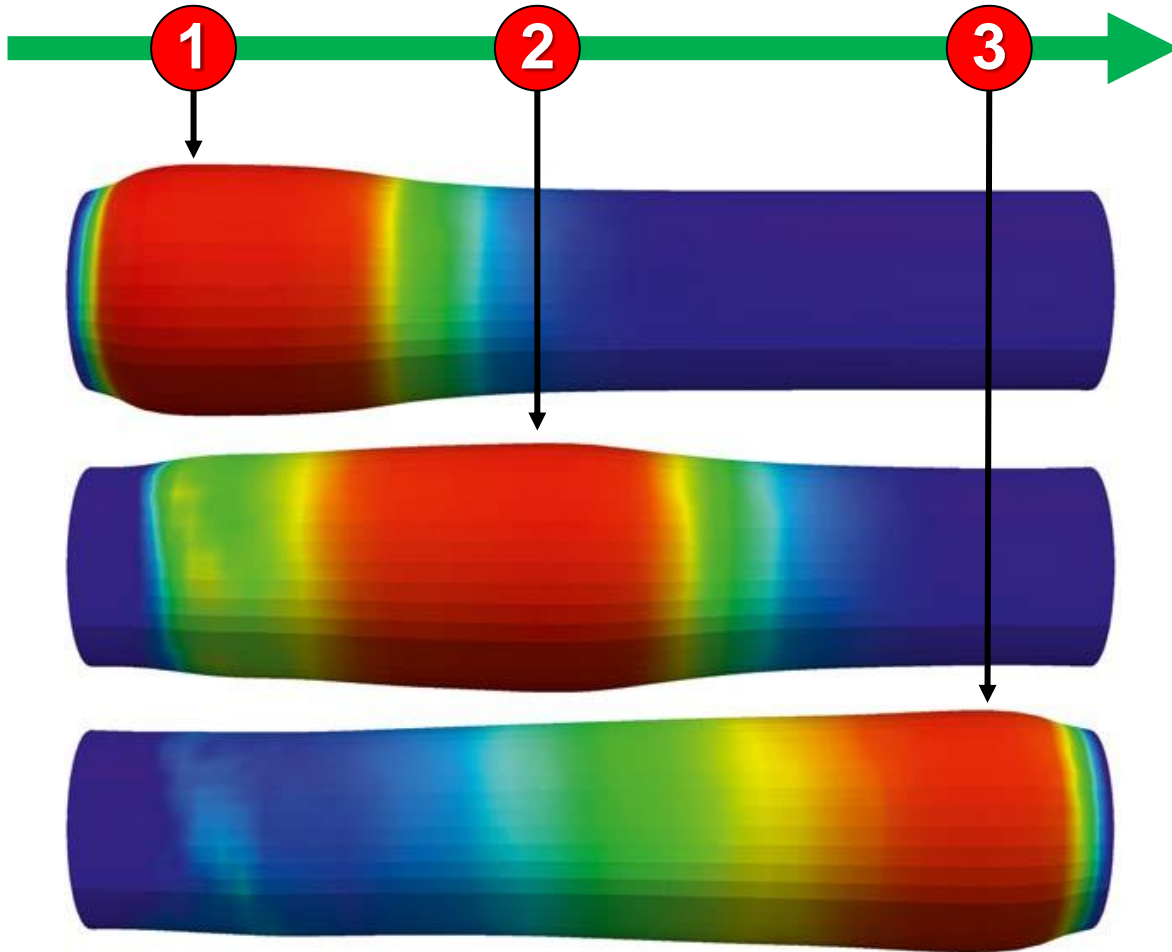
# Beispiel: Simulation von Verbrennungsvorgängen



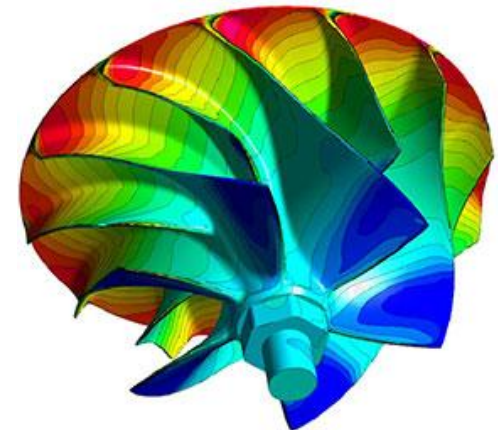
# Beispiel: Akustik-Simulation



# Beispiel: Verformung einer elastischen Röhre



← A pressure peak of an incompressible fluid running through an elastic cylindrical tube. It is accompanied by a large widening of the structure.

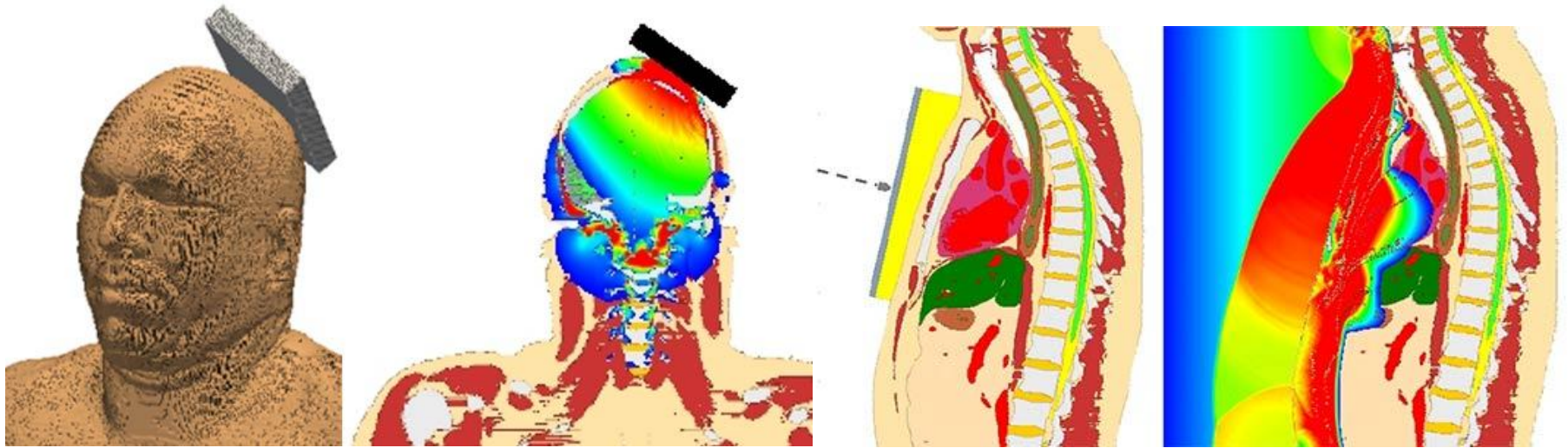


↑ Spannungen an einem Axialkompressor

[www.pngwing.com/en/free-png-vpxio](http://www.pngwing.com/en/free-png-vpxio)

# Beispiel: Verformung des menschlichen Körpers

www.sandia.gov/biomechanics/

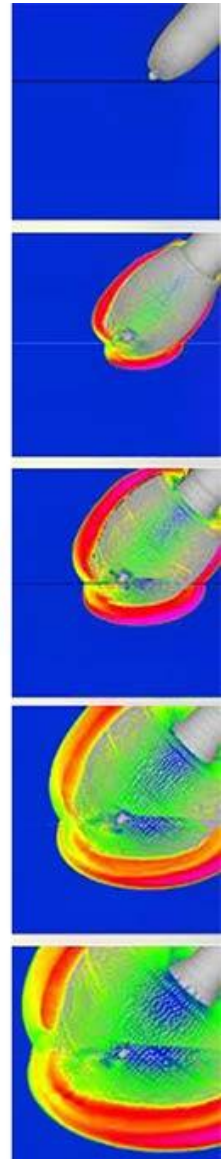
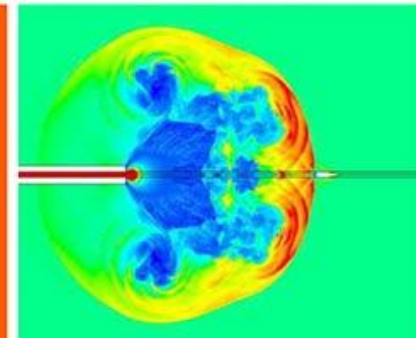
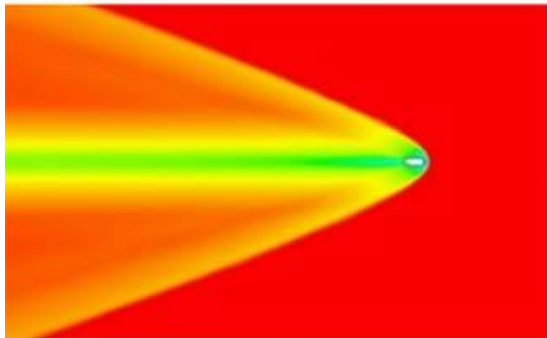
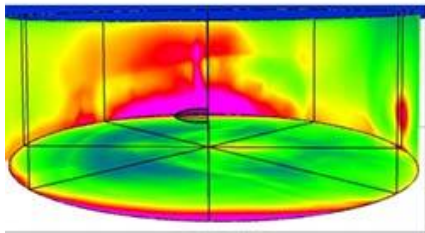
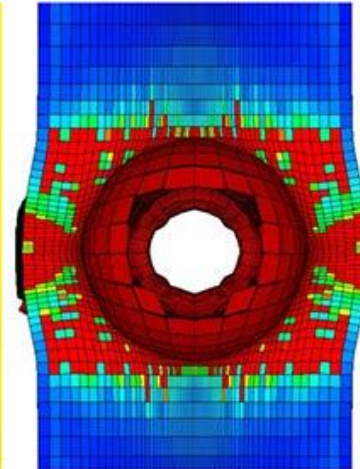
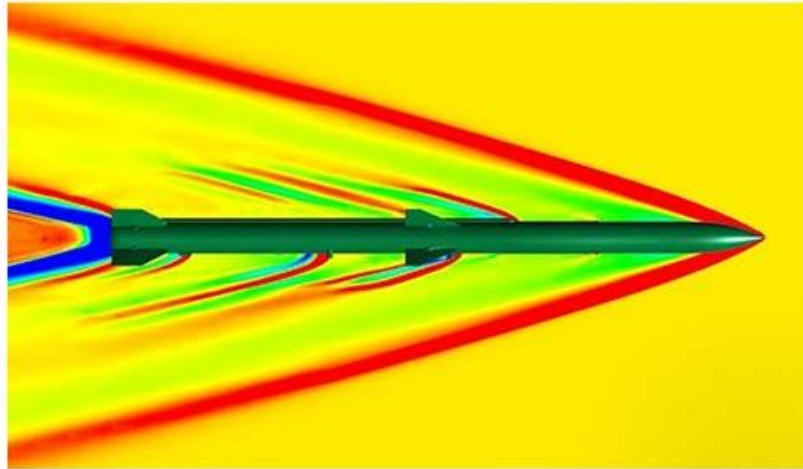
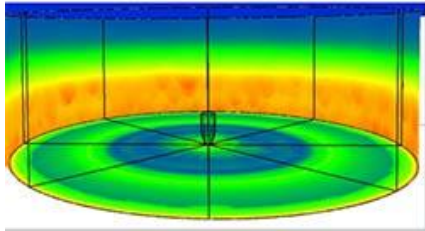
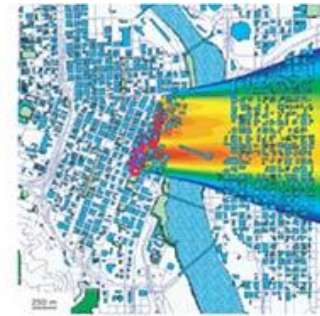
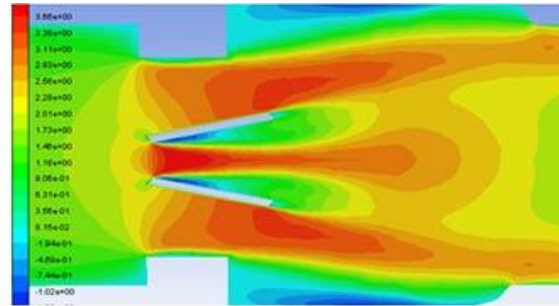
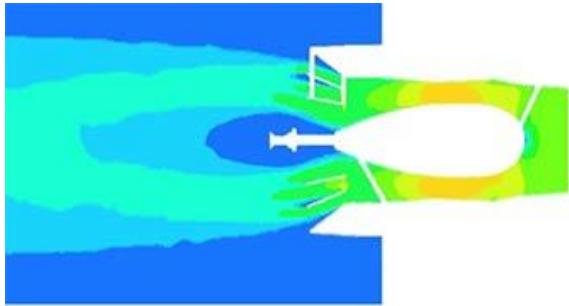


Modeling the effects of **blunt impact**, a nearly ubiquitous injury environment brought about through falls from height, vehicle rollovers, or impact from a flying object. The result: insight on how to **better design helmets** and other personal protective equipment.

Modeling the effects of **ballistics** and other penetration mechanics scenarios to evaluate the efficacy of personal protective equipment. The result: a deeper understanding of how to **protect life-critical organs** from fast moving projectiles.

Man mache sich aber keine Illusionen: Bei der Waffenentwicklung nutzt man die gleiche Modellierungs- und Simulationstechnik, um den Schaden zu *maximieren!*

# Beispiel: Waffenentwicklung





# What if a nuke goes off in Washington, D.C.?

## Simulations of artificial societies help planners cope with the unthinkable



On a Monday morning in May, an ordinary looking delivery van rolls into the intersection of 16th and K streets NW in downtown Washington, D.C., just a few blocks north of the White House. Inside, suicide bombers trip a switch. Instantly, most of a city block vanishes in a nuclear fireball. Powered by 5 kilograms of highly enriched uranium that terrorists had hijacked weeks earlier, the blast smashes buildings for at least a kilometer in every direction and leaves hundreds of thousands of people dead or dying in the ruins. An electromagnetic pulse fries cell-phones within 5 km, and the power grid across much of the city goes dark. Winds

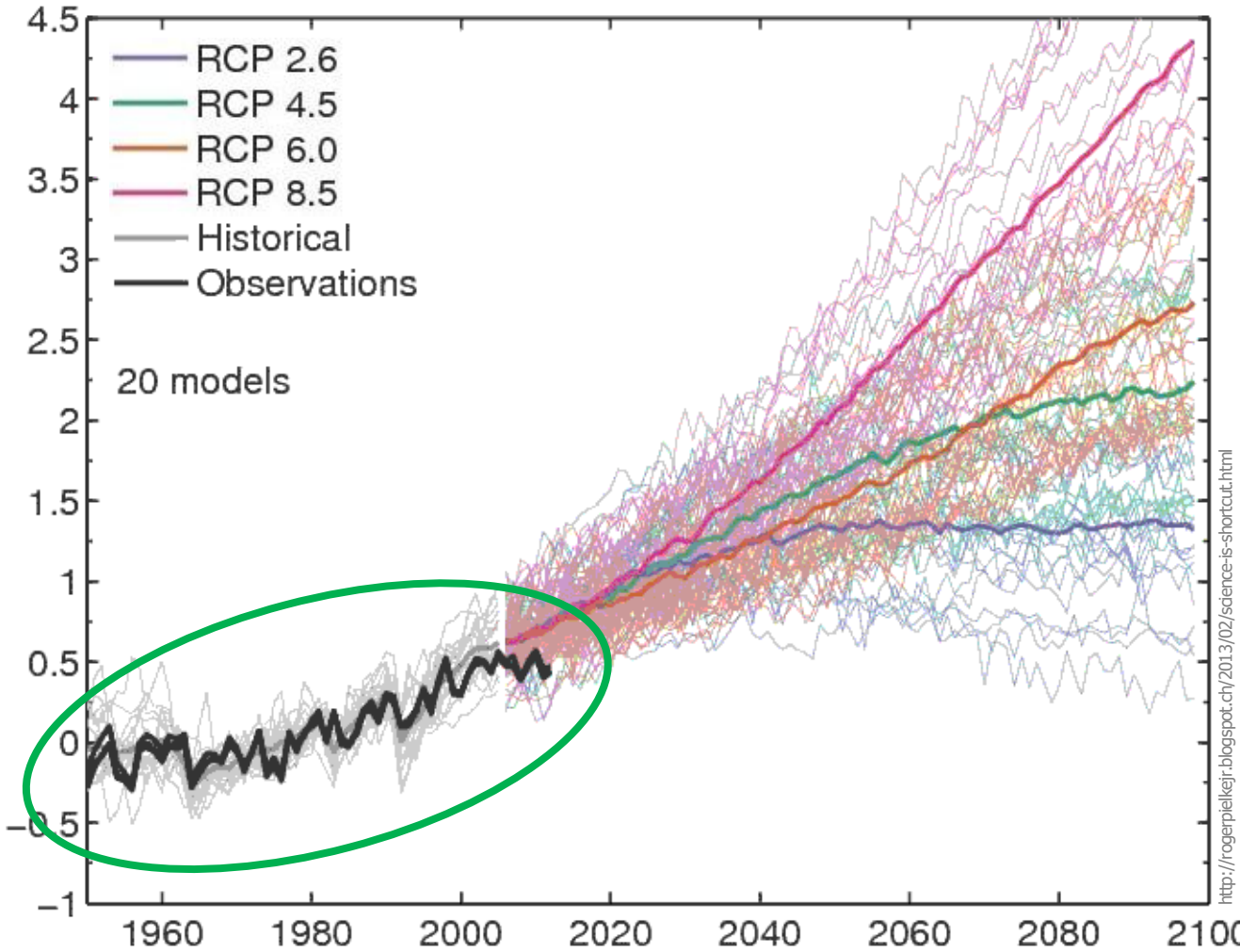
shear the bomb's mushroom cloud into a plume of radioactive fallout that drifts eastward...

The NPS1 [National Planning Scenario 1] model includes a digital simulation of every building in the area affected by the bomb, as well as every road, power line, hospital, and even cell tower. The model includes weather data to simulate the fallout plume. And the scenario is peopled with some 730,000 agents—a synthetic population statistically identical to the real population of the affected area in factors such as age, sex, and occupation. Each agent is an autonomous subroutine that responds in reasonably human ways to other agents and the evolving disaster by switching among multiple modes of behavior—for example, panic, flight,...

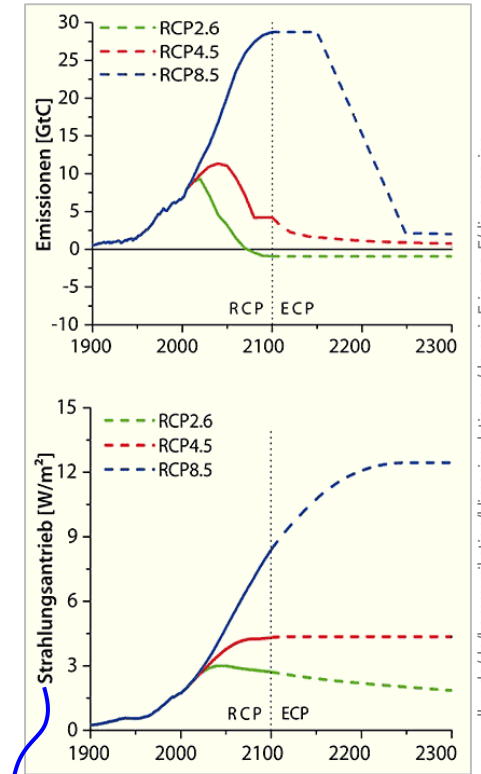
Each of the model's initial runs kept a 500-processor computing cluster busy for a day and a half.

[www.sciencemag.org/news](http://www.sciencemag.org/news)

# Beispiel: Simulation diverser Klimaszenarien (Temperaturentwicklung)



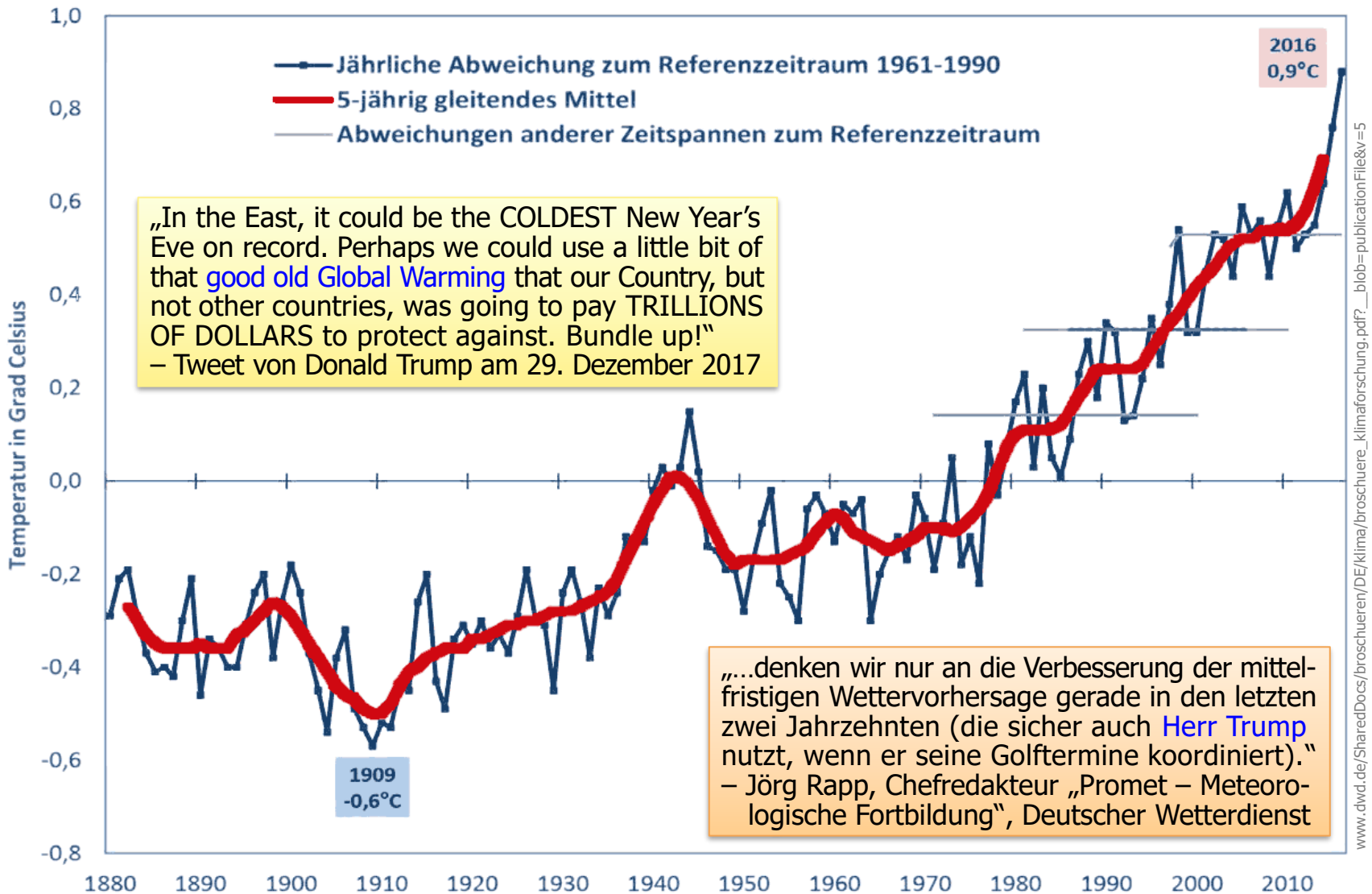
Der **Strahlungsantrieb** gibt an, welchen Einfluss externe Faktoren wie anthropogene Treibhausgase oder eine sich ändernde Sonneneinstrahlung auf das Klimasystem haben. Ist der Strahlungsantrieb positiv, nimmt die Energie zu und es wird wärmer.



Die **Representative Concentration Pathways (RCPs)** entsprechen verschiedenen möglichen Zukünften. Je nach Entwicklung der Bevölkerung, Energieproduktion, Nahrungsmittelproduktion und Landnutzung ergeben sich unterschiedliche *Emissionsverläufe*; daraus berechnet sich eine jeweil. *CO<sub>2</sub>-Konzentration* mit entsprechender Änderung der *Strahlungsbilanz* („Treibhauseffekt“).

www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/de-cmip5-ipcc-ar5/die-szenarien

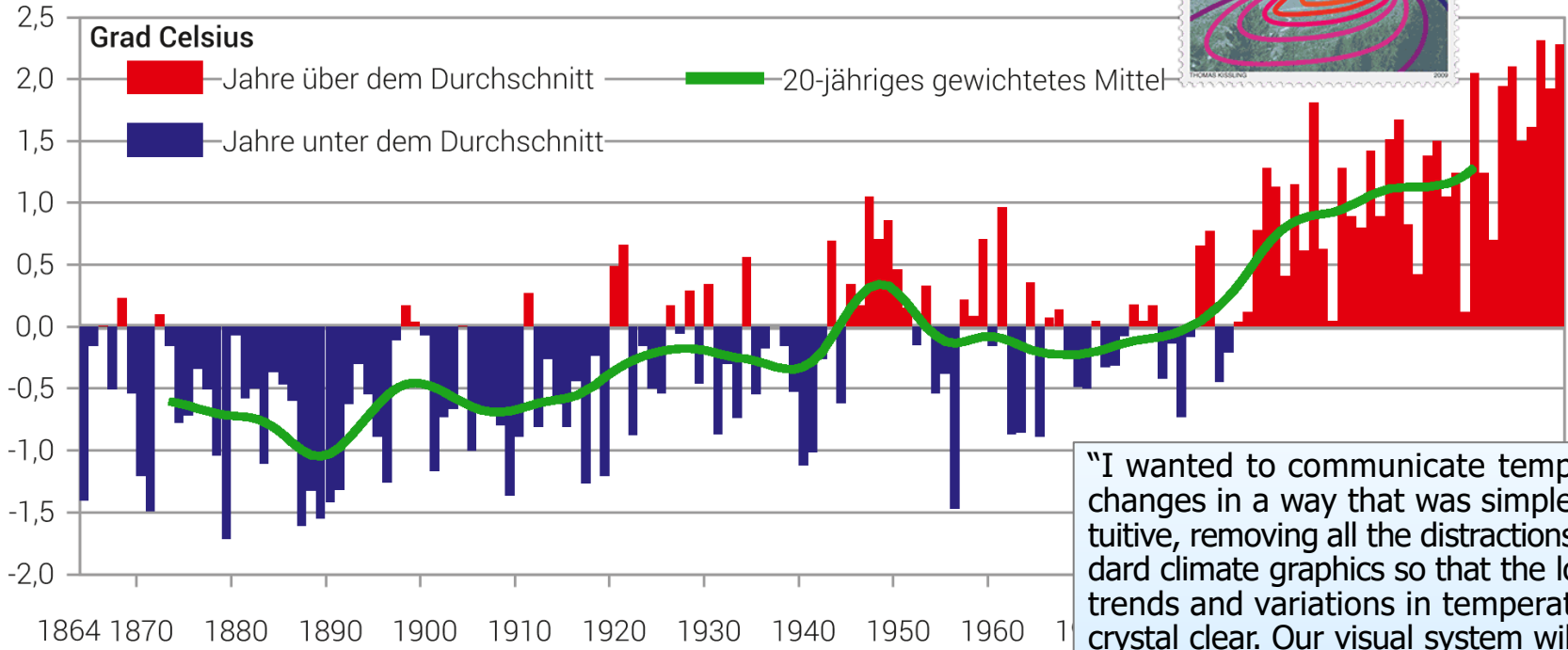
# Reality Check: Historische Klimadaten (Welt)



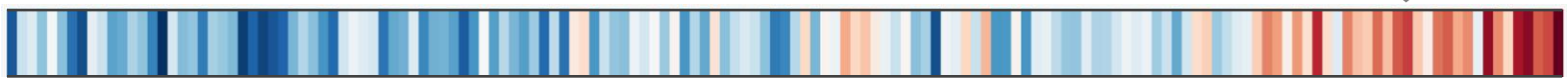
# Reality Check: Historische Klimadaten Schweiz

## Jahresmitteltemperatur in der Schweiz

Abweichung vom langjährigen Durchschnitt (1961–1990)



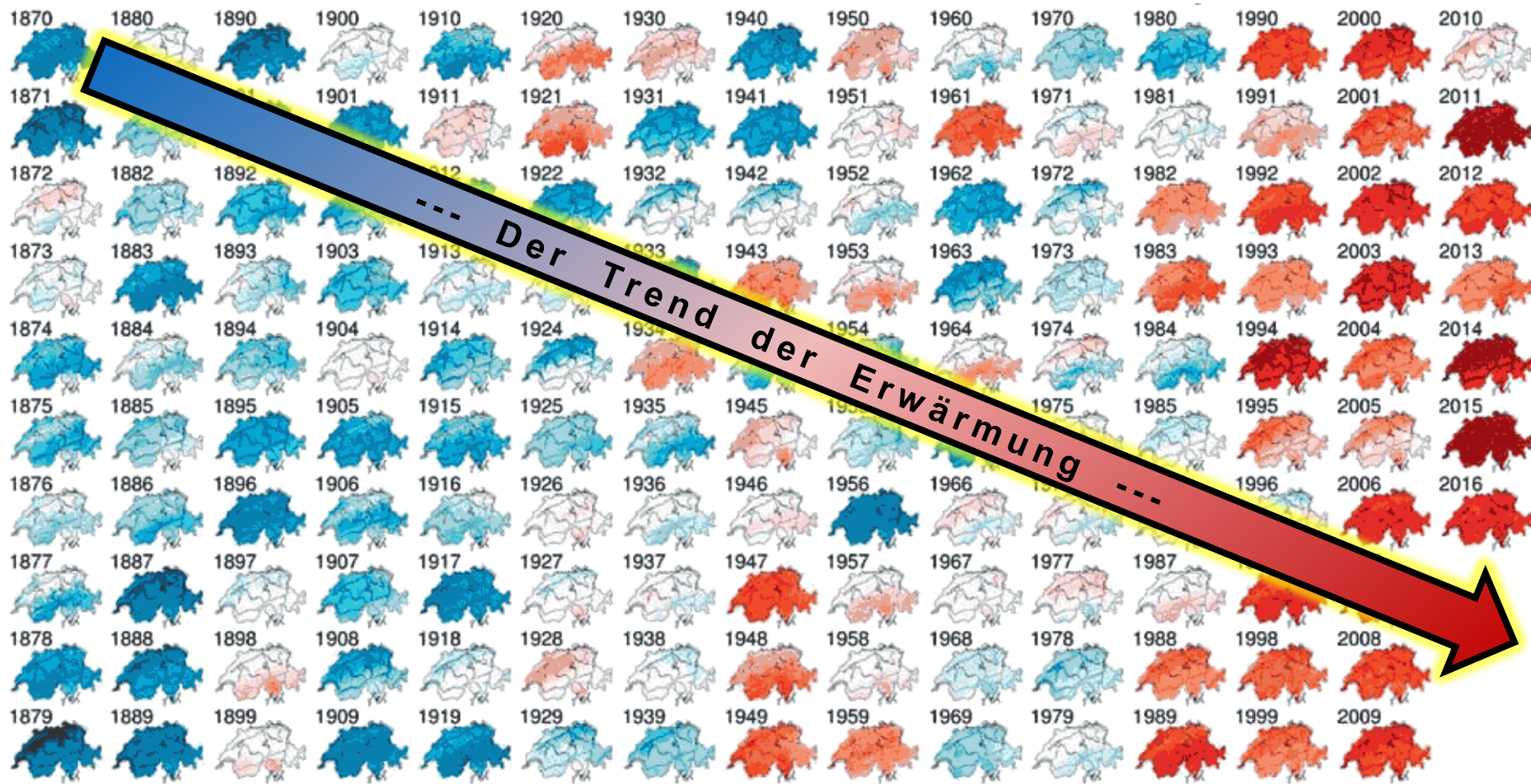
“I wanted to communicate temperature changes in a way that was simple and intuitive, removing all the distractions of standard climate graphics so that the longterm trends and variations in temperature are crystal clear. Our visual system will do the interpretation of the stripes without us even thinking about it.” -- Ed Hawkins



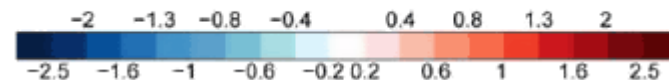
„Die schönste Klimagrafik der Welt“ (Republik): Temperaturabweichungen in der Schweiz von 1864 bis 2018  
[www.republik.ch/2019/04/08/die-schoenste-klimagrafik-der-welt](http://www.republik.ch/2019/04/08/die-schoenste-klimagrafik-der-welt)



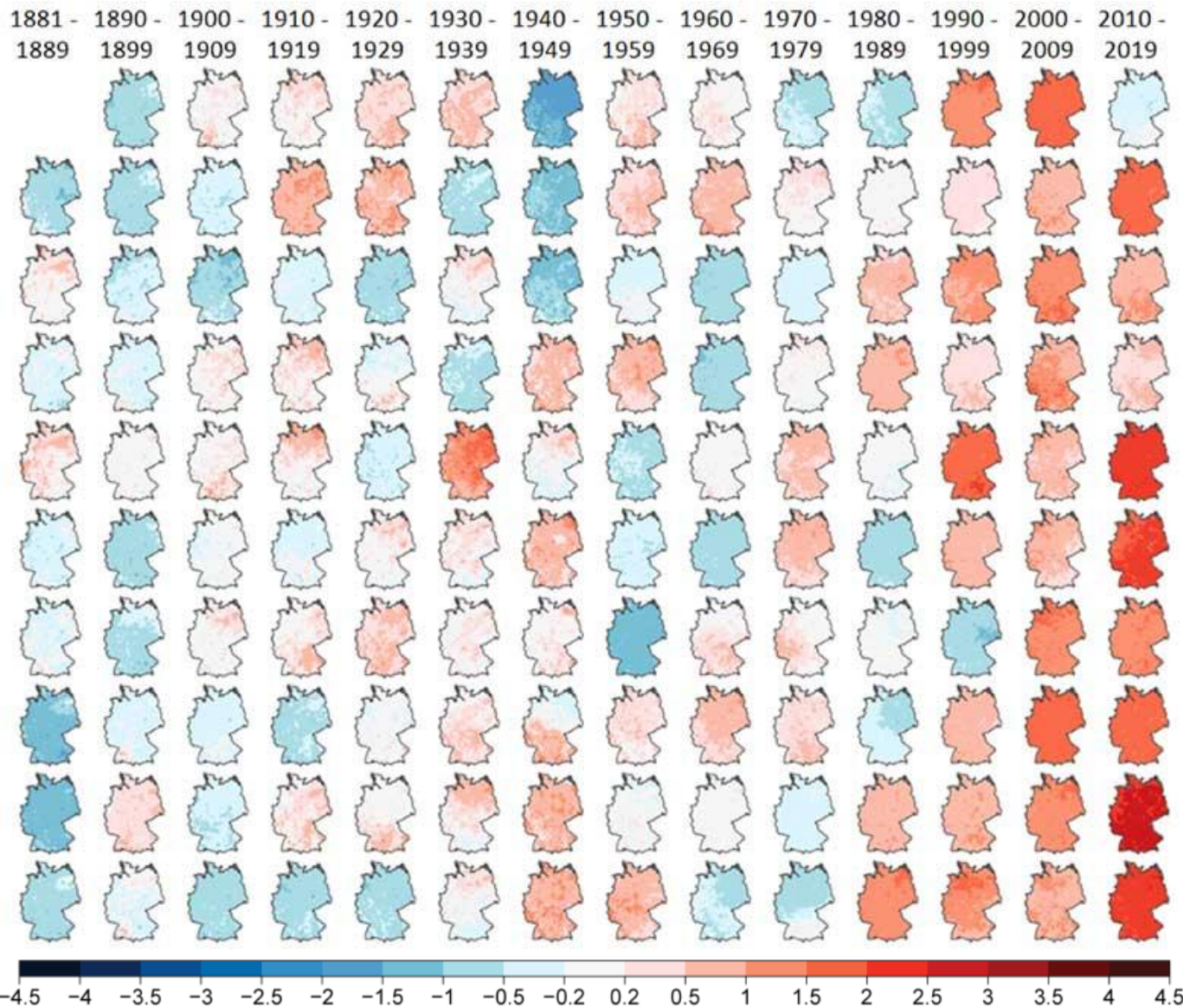
# Reality Check: Historische Klimadaten Schweiz



© MeteoSwiss

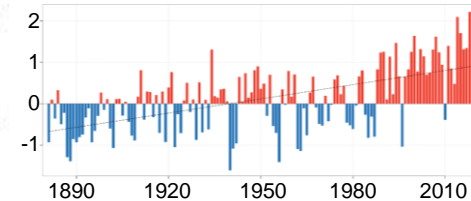


# Reality Check: Historische Klimadaten Deutschland



Quelle: „Rückblick auf die Temperatur in Deutschland im Jahr 2019 und die langfristige Entwicklung“, DWD, 2020

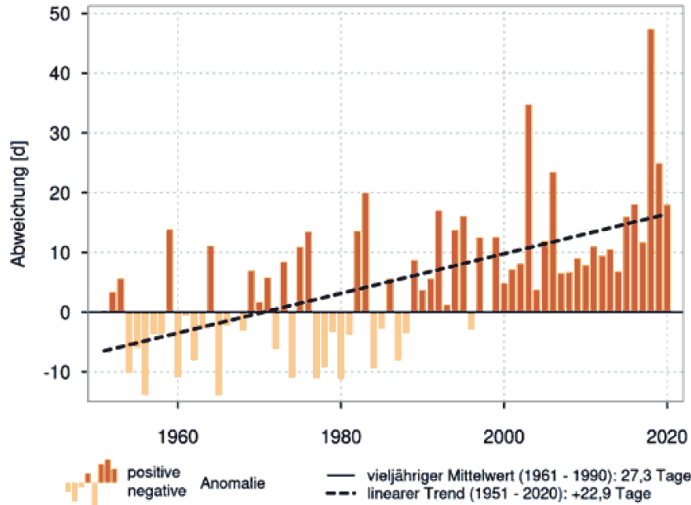
*Temperaturanomalie relativ zum vieljährigen Mittel 1961 – 1990.*



# Reality Check: Historische Klimadaten Deutschland

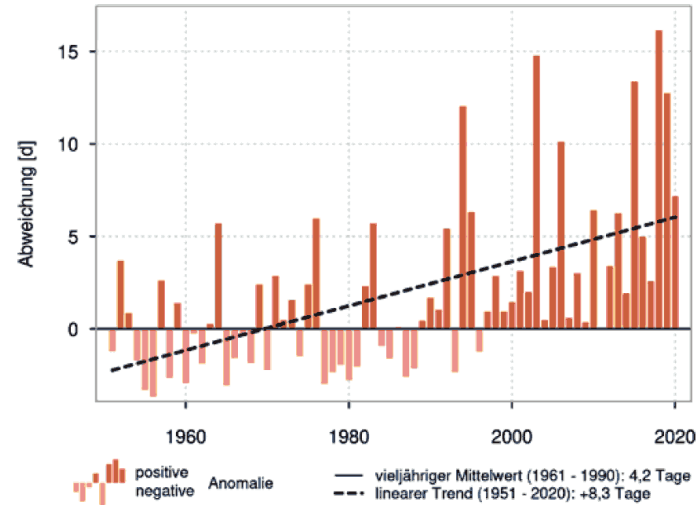
**Anomalie der Anzahl der Sommertage**

Deutschland Jahr, 1951 - 2020, Referenzzeitraum 1961 - 1990



**Anomalie der Anzahl der Heißen Tage**

Deutschland Jahr, 1951 - 2020, Referenzzeitraum 1961 - 1990



Quelle: DWD-Jahrbuch 2020

*Sommertage:* Tage mit  $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$

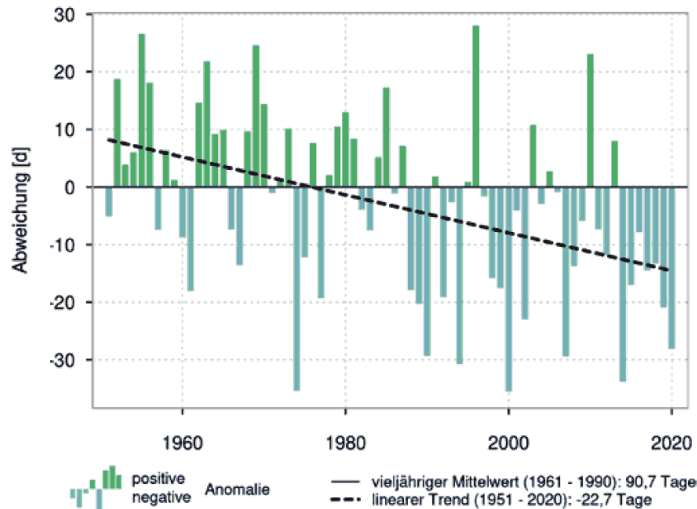
*Heiße Tage:* Tage mit  $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$

*Frosttage:* Tage mit  $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$

*Eistage:* Tage mit  $T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$

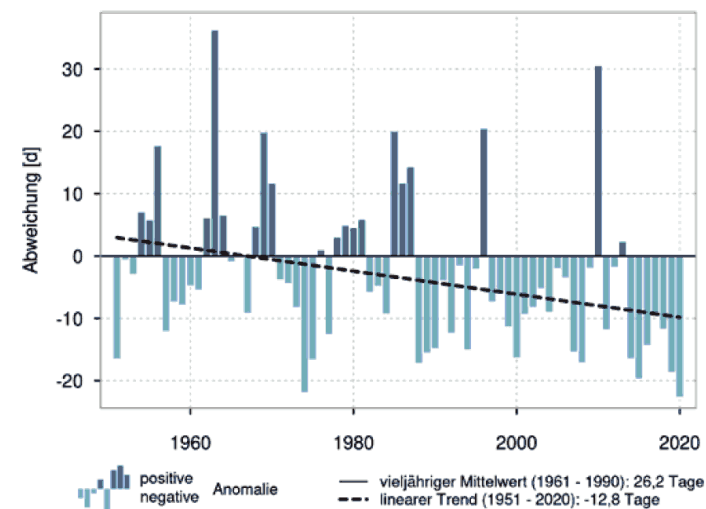
**Anomalie der Anzahl der Frosttage**

Deutschland Jahr, 1951 - 2020, Referenzzeitraum 1961 - 1990



**Anomalie der Anzahl der Eistage**

Deutschland Jahr, 1951 - 2020, Referenzzeitraum 1961 - 1990



# Beispiel: Interaktiver Verkehrssimulator

The screenshot displays the PTV Vissim software interface, which is used for traffic simulation. The main window is divided into several panels:

- Network Editor (Left):** A top-down view of a road network with various traffic signs and signals overlaid. A toolbar at the top of this panel includes icons for selection, deletion, and simulation control.
- Network Editor (2) (Right):** A 3D perspective view of the same road network, showing buildings, trees, and vehicles in motion. A camera position can be selected.
- Network Objects (Top Left):** A list of objects that can be added to the simulation, such as 'Desired Speed Decisi', 'Reduced Speed Areas', 'Conflict Areas', 'Priority Rules', 'Stop Signs', 'Signal Heads', 'Detectors', 'Vehicle Inputs', 'Vehicle Routes', 'Parking Lots', 'Public Transport Stop', 'Public Transport Lines', 'Nodes', 'Data Collection Points', 'Vehicle Travel Time M', 'Queue Counters', 'Background Images', 'Pavement Markings', '3D Traffic Signals', 'Static 3D Models', 'Vehicles In Network', 'Pedestrians In Network', 'Areas', 'Obstacles', 'Ramps & Stairs', 'Pedestrian Inputs', 'Pedestrian Routes', and 'Measurement Areas'.
- Links (Bottom Left):** A table showing the properties of the links in the network. The table has columns for Count, No, Name, BehaviorType, DisplayType, NumLanes, Length2D, IsConn, FromLink, ToLink, Gradient, LinkEvalAct, LinkEvalSegLen, and AvgLinkEvalSegs.
- Vehicles In Network (Bottom Right):** A table showing the properties of the vehicles in the network. The table has columns for Count, No, and Speed.

The status bar at the bottom of the interface shows the following information: 42.0:397.0, 87.5, 27, 121 = 0, 0.1 (7).

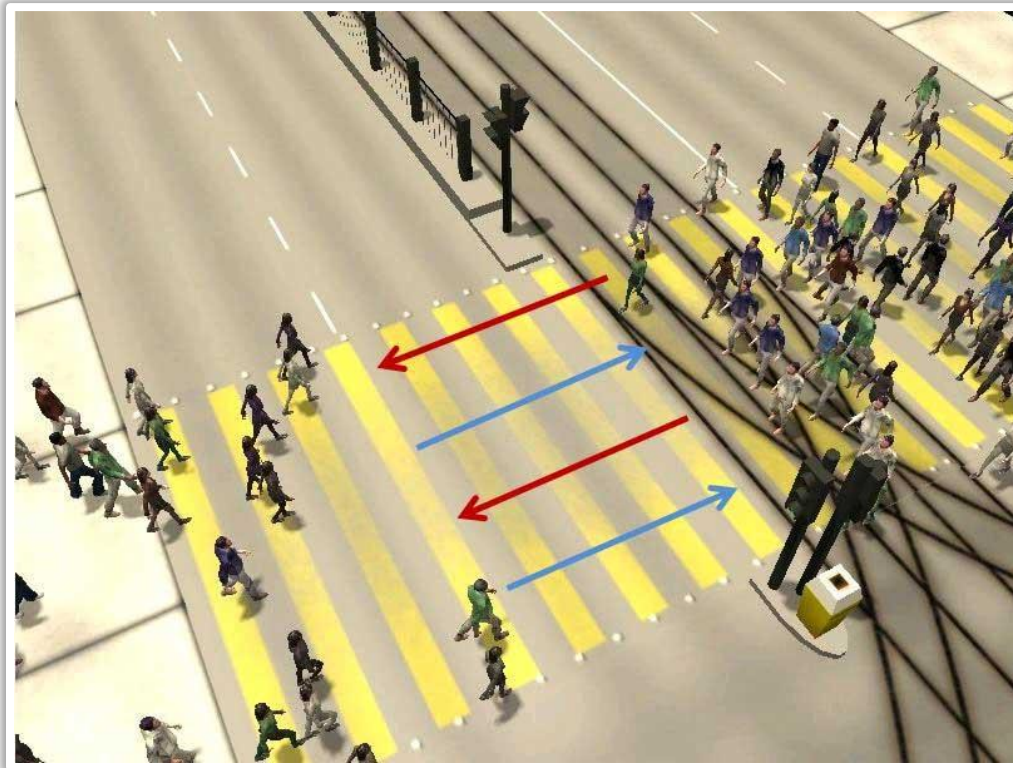


# Beispiel: Verkehrssimulation (Autos)



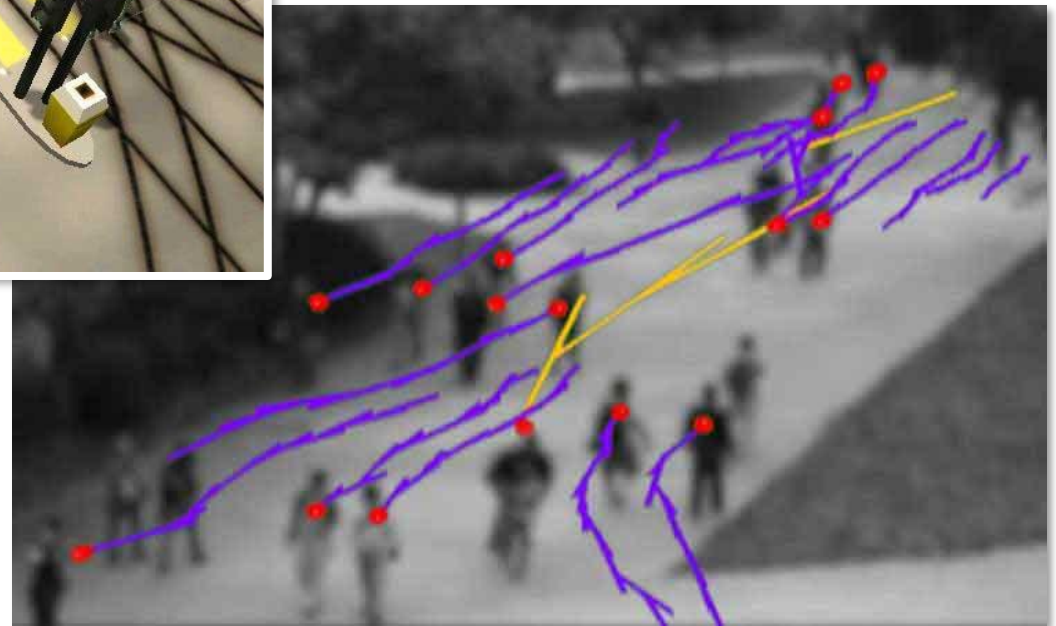
[www.ib-hurrle.de/Simula\\_Bild.jpg](http://www.ib-hurrle.de/Simula_Bild.jpg)

# Beispiel: Verkehrssimulation (Fussgänger)



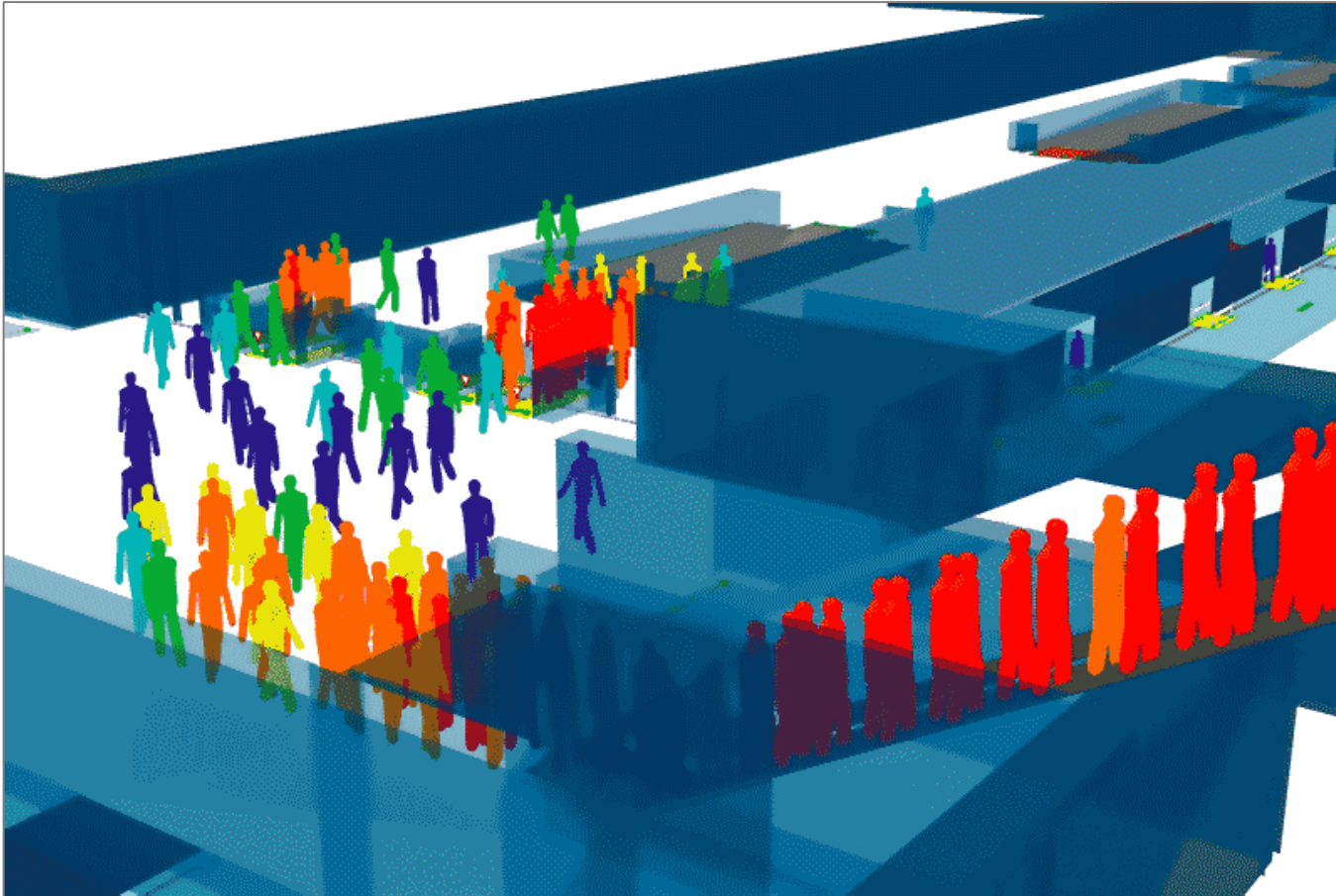
<http://gamma.cs.unc.edu/DCrowd/images/crosswalkUserInput.jpg>

Crowd-Simulation



[www.cs.unc.edu/~ab/\\_include/img/profile/anomaly.png](http://www.cs.unc.edu/~ab/_include/img/profile/anomaly.png)

# Beispiel: Agentenbasierte Simulation



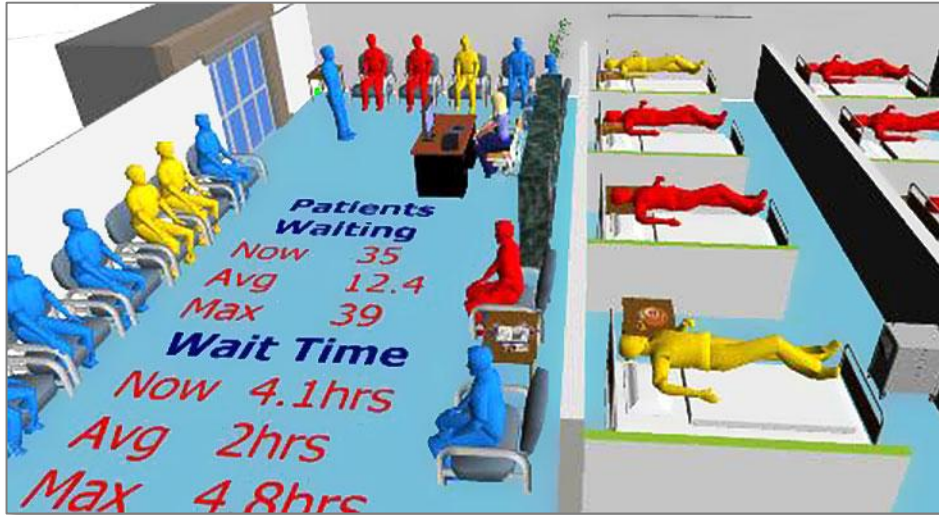
*Agentenbasierte Simulation zur Analyse des Fussgängerflusses bei einem Verkehrsknotenpunkt.*

<https://learningactors.com/dynamic-models-and-simulation/>

Bei agentenbasierten Simulationen agieren autonome Agenten innerhalb einer definierten Umgebung. Das Verhalten der Agenten wird nicht durch eine einzige, globale Formel bestimmt, sondern durch ein spezifisches (evtl. individuell parametrisiertes) Programm. Die Agenten „beobachten“ laufend ihre Umgebung und entscheiden dann, wie sie daraufhin agieren.

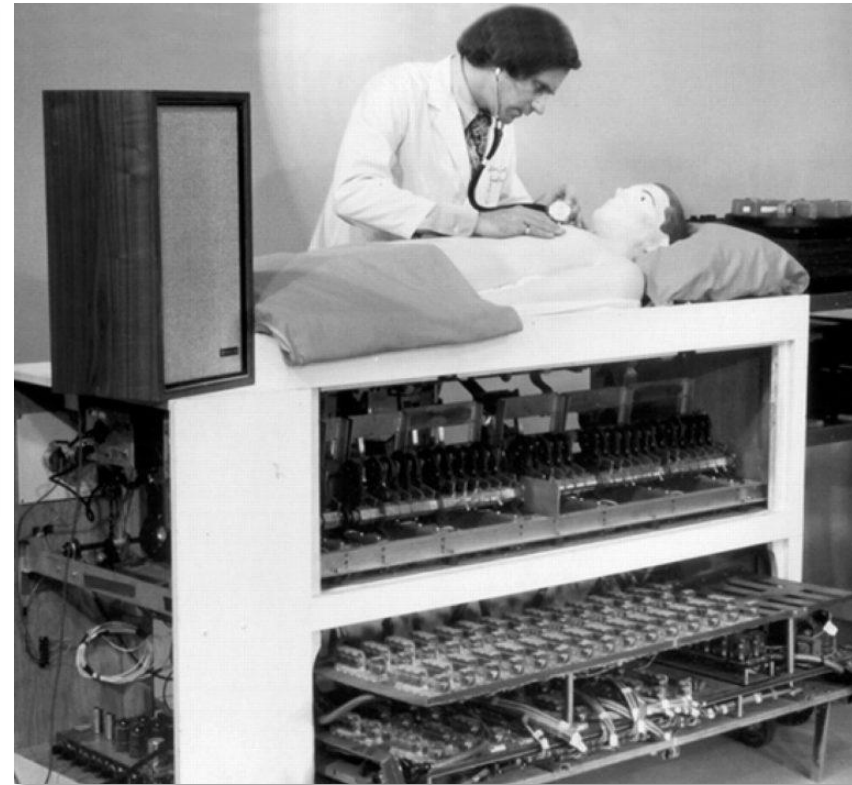
# Beispiel: Simulation in der Medizin

<https://jasongoto.files.wordpress.com/2011/11/picture5a2.png?w=984>

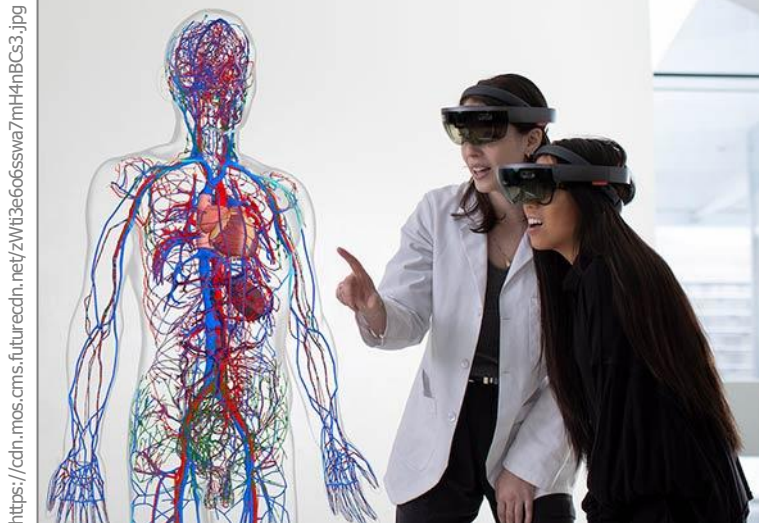


*Wartezeiten unter verschiedenen Bedingungen.*

[www.apsf.org/wp-content/uploads/newsletters/2021/3602/harvey-cardiology-simulator-768x710.jpg](http://www.apsf.org/wp-content/uploads/newsletters/2021/3602/harvey-cardiology-simulator-768x710.jpg)



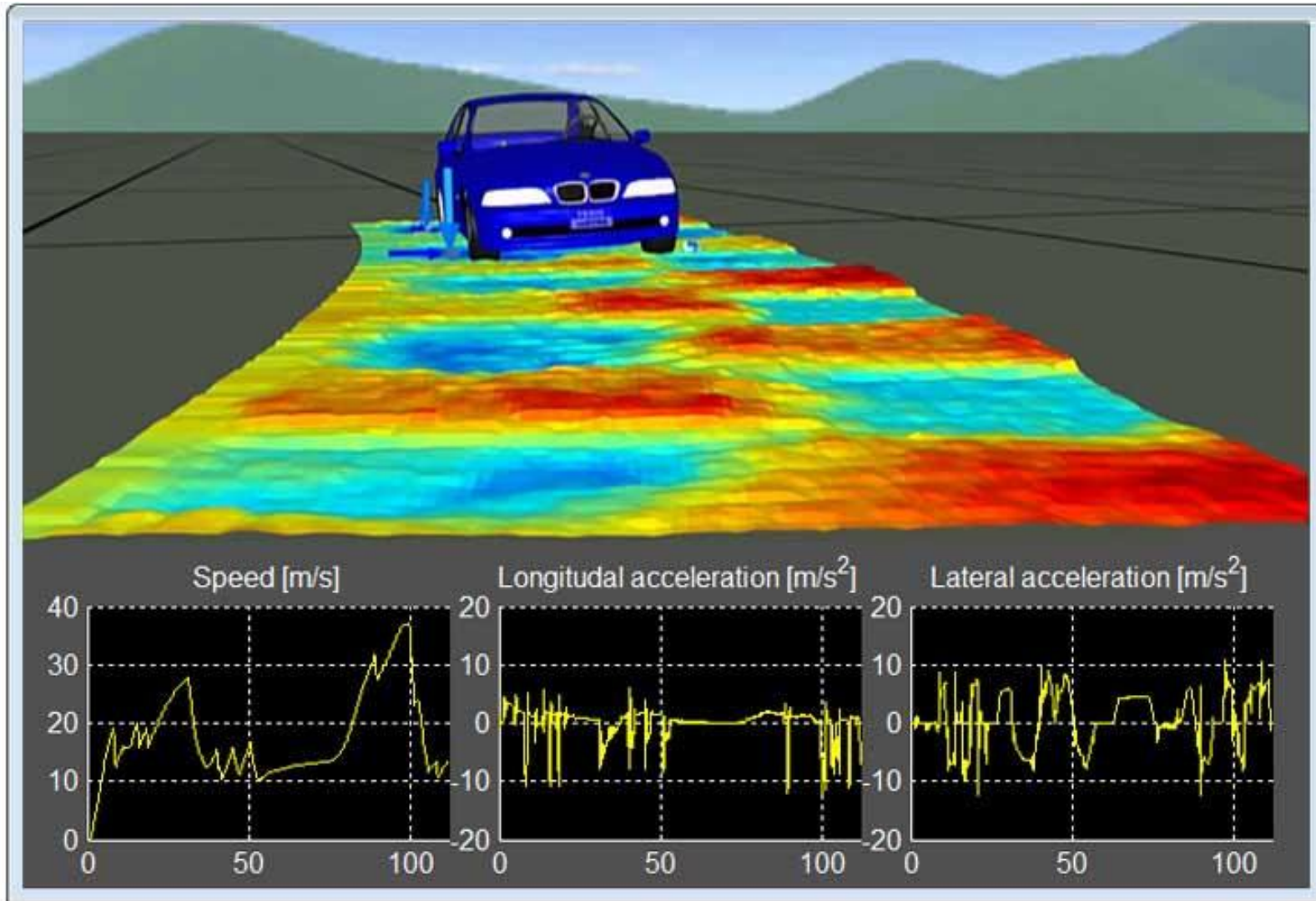
*„Harvey“-Simulator in der Kardiologie-Ausbildung, 1968.*



*Simulation einer VR-Simulation für die Medizinausbildung.*

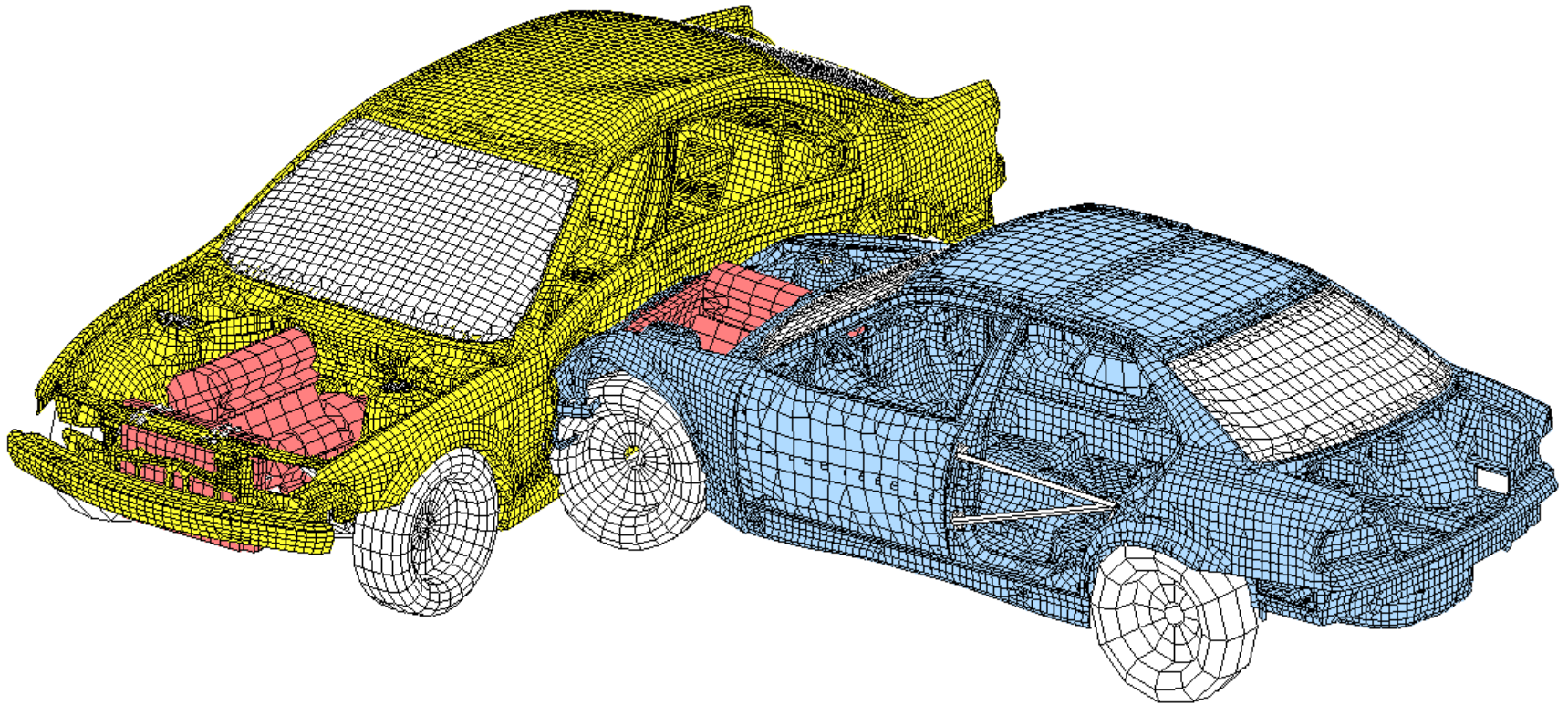
<https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/zWt3e66sswa7mt4nBcS3.jpg>

# Beispiel: Fahrdynamiksimulator

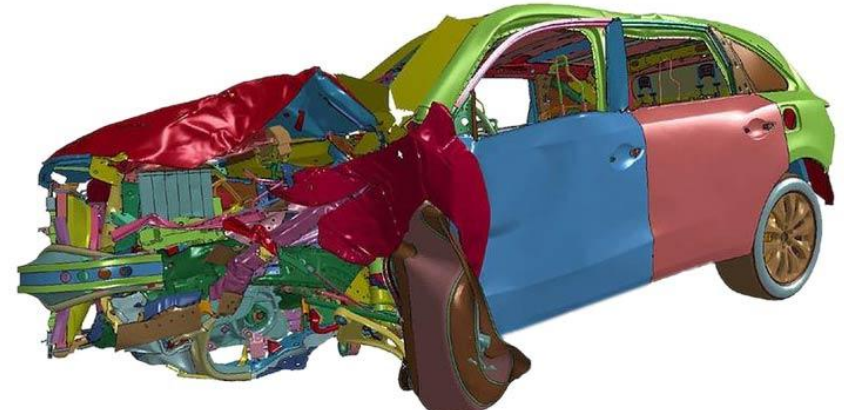
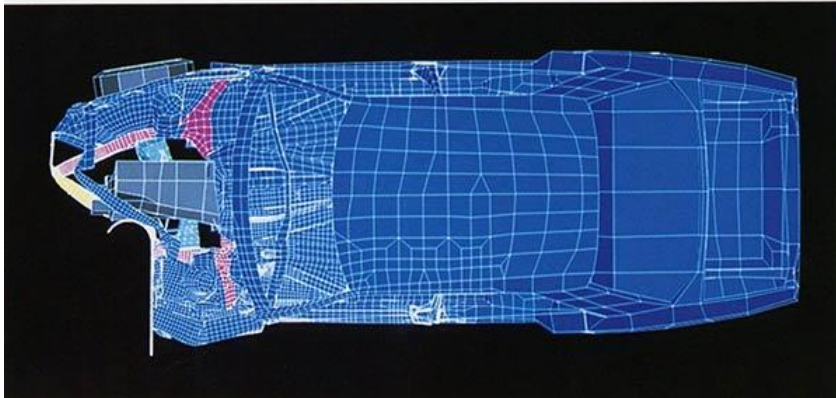


[www.mathworks.com/](http://www.mathworks.com/)

# Beispiel: Crash-Simulation



# Beispiel: Crash-Test real / simuliert



www.computerhistory.org/makesoftware/exhibit/car-crash-simulation/

**“Software lets engineers run crash tests inside computers rather than on roads.”**

Um die Simulationsmodelle zu kalibrieren und die Simulation zu validieren, werden allerdings einige “echte” Crashtests mit sensorbestückten Autos durchgeführt.

# Beispiel: Fahr simulatoren (1950/60er-Jahre)

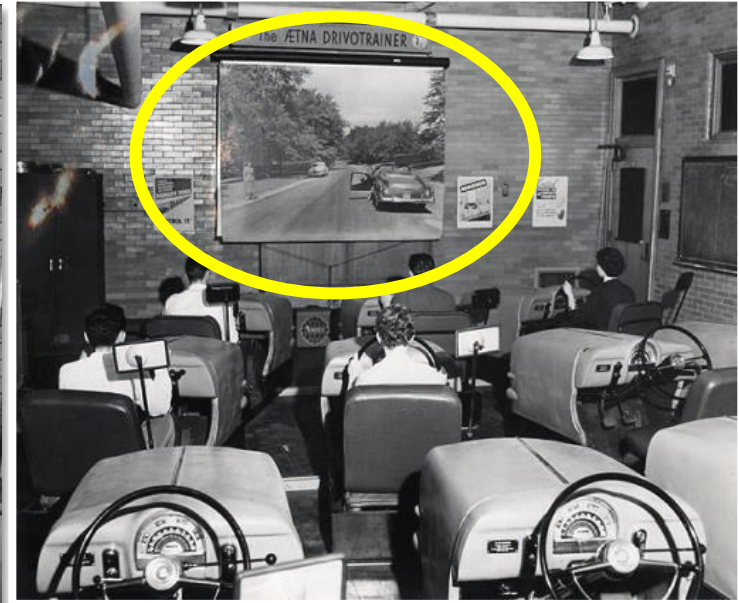


„Ziehen Sie den Choke“ — tont es aus dem Lautsprecher. Nun springt der Motor an, man hört ihn laufen (in Wirklichkeit ist gar kein Motor da — nur eine Tonbandanlage). Dann geht die Fahrt los: Auf einem Bildschirm sieht man, wohin man fährt. Der Elektronenapparat aber registriert pünktlich jede Fehlreaktion, den nicht ausgestellten Richtungsanzeiger beim





"Students at Brooklyn High School in New York learn to handle the controls of a car and experience **simulated traffic conditions** flashed onto a screen by means of **projected film**."





**„Der grosse Vorteil dieser modernen Fahrschule ist der gemeinsame Fahrunterricht, der allen Kursteilnehmern die Angst vor dem ersten Schritt auf der Strasse nimmt.“**

Der bekannte britische „motoring writer and broadcaster“ Bill Hartley (1911 – 1970) schrieb 1967 in einem Artikel „A drive for better driving“:

*"The Drivotrainer simulator incorporates all the normal controls, ignition switch and starter, speedometer and, I am glad to see, a seat belt. Putting this on every time is part of the drill for learning to drive. ... Controls exactly duplicate those of a normal car, even to the slight quiver of the pedal as the clutch is engaged.*

*I asked one young lady what she thought of it all, and she told me that one or two previous attempts at learning to drive on the road had confused her, as she had to learn everything at the same time – steering, clutch, gear-change, speed, and to look where she was going and observe what other traffic was doing. Thus, just learning to change gear was a dreadful job with everything else going on at the same time. Now, on the simulator, she could perfect her gear changing at ease, and then all the other matters one at a time."*



**„Während ein Lehrfilm der Fahrschulklasse die grundlegende Instruktion vermittelt, hat der Fahrschullehrer Zeit, den einzelnen Kursteilnehmern zu helfen und sie zu korrigieren.“**



Nieder-  
lande  
1961

Ann Arbor (USA)  
1972 bzw. 1974

*The simulators are like flight training simulators used to teach pilots during World War II. Each simulator includes a steering wheel, dashboard, braking system, accelerator, driver's seat and seatbelt. About the only items missing are a radio and wheels.*

Ann Arbor News, Oct. 25, 1972



Brookline High School in the suburbs of Boston, 1970: "Lisa Lally operates a simulator car."



www.ebay.com/itm/203851441783



https://i.ebayimg.com/images/g/MEAAOSwVcdiCIKT/s-l1600.jpg

*"I had 3 small children and if I didn't learn to drive they wouldn't be going to kindergarten! The class was a mix of nervous women of different ages and teenagers who knew it all. As I remember, a mobile portable served as a classroom with a replica of the front seat for everyone. A screen at the front of the portable showed what it might look like driving down a road with unexpected situations that you needed to react to. Your reactions and speed was recorded and how well you did or if someone just killed a dog or child who ran out in front of you."*

[www.salmonarmmuseum.org/blog/Photo-collection.htm](http://www.salmonarmmuseum.org/blog/Photo-collection.htm)

Taft High School Chicago, 1962: "Each girl sitting in a chamber-like classroom has her own steering wheel, accelerator, and brake which she manipulates while viewing road situations on motion pictures."



"[Princess Elizabeth](#) Receives Driving Lessons" lautet die Meldung zum Pressefoto von [1949](#). Und weiter: "Princess Elizabeth looks like as if she might have a polite word for the driver ahead of her as she tries a new [mechanical trainer](#) at the Royal Society for the Prevention of Road Accidents."

Wir aber fragen uns, wie sich Mr. Holdom, der Fahrlehrer, in diesem Moment in seiner Rolle als Beifahrer unter Beobachtung der Presse und der Fotografen wohl fühlen mag...



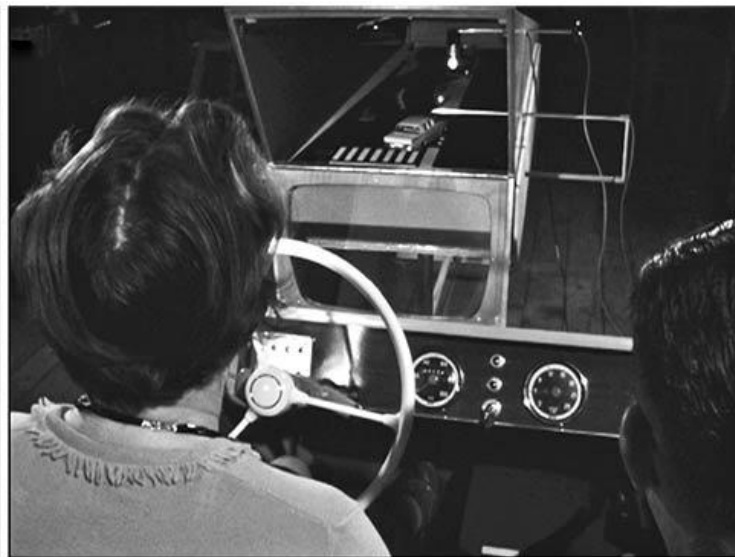
Simuliert hier an der niederländischen „[rijsschool voor de bereden artillerie](#)“ eine ingeniose Mechanik am Helm des Soldaten, wie sich das Off-roadfahren im Radpanzer kopfmässig anfühlt?



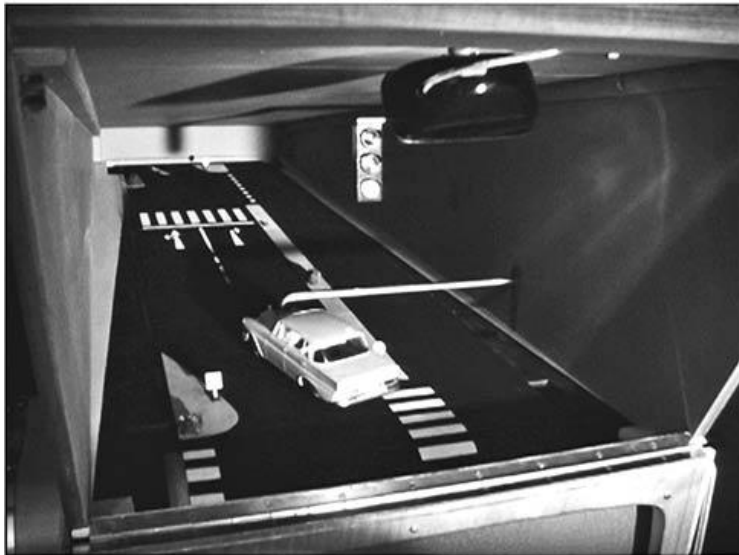
Fahrschule in Tschechien, 1975

Ein Spielzeugauto an der Angel.  
(Örebro Kuriren, 12. Okt. 1967)





Screenshots aus der „Abendschau“ des SWF-Regionalmagazins des Ersten Deutschen Fernsehens vom 16.11.1963 („Tips für Autofahrer – der Fahrtrainer“).



Hier wird kein Film gezeigt, sondern im „Guckkasten“ läuft einem ein **Band mit einer Strassenszene** entgegen, das den Eindruck hervorruft, das Modellauto würde vorwärts fahren. Das Auto ist über eine Stange mit dem Lenkrad verbunden und wird so nach links oder rechts ausgelenkt; die „Fahrgeschwindigkeit“ des Laufbandes wird mit dem Gaspedal gesteuert.



Der „Driving Scope“-Simulator dient nicht dazu, Autofahren zu lernen, sondern stellt ein Spiel für Kinder dar („feel like sitting in your own car“): Man muss richtig steuern, um dem Strassenverlauf zu folgen und nicht ins Abseits zu geraten. 1960er-Jahre, Japan.





Ein relativ abstrakter Fahrsimulator einer [Fahrschule in Kabul](#).

[www.asriran.com/files/fa/news/1391/9/29/256369\\_846.jpg](http://www.asriran.com/files/fa/news/1391/9/29/256369_846.jpg)

# Der DDR- Fahrtrainer

In der DDR musste man nicht nur auf ein Auto, sondern auch auf den Besuch einer Fahrschule jahrelang warten. Der „Fahrtrainer“ (im Volksmund auch „Fahrschultrabant“ genannt) verkürzte die Zahl der notwendigen praktischen Fahrstunden und Fahrschulautos. In stationäre Anlagen konnten meist zwölf, oft auch mehr, Personen gleichzeitig geschult werden; mobile Anlagen, die in ehemaligen Schau-steller-Wohnwagen durch das Land gezogen wurden, hatten acht Plätze.

www.fotocommunity.de/photo/trabisimulator-dreissig-minuten/35901944



Auf einer Leinwand vor den Schülern lief ein Film mit einer aufgezeichneten Strassenfahrt ab, die Fahrschüler mussten entsprechend der dargestellten Situation geeignet reagieren: beschleunigen, lenken, bremsen, kupplern und schalten, Blinker betätigen etc. Jede Aktion der Fahrschüler wurde auf Papierstreifen aufgezeichnet und im Anschluss ausgewertet. Erst wenn man den Simulatortest bestanden hatte, durfte man in ein echtes Fahrschulauto.

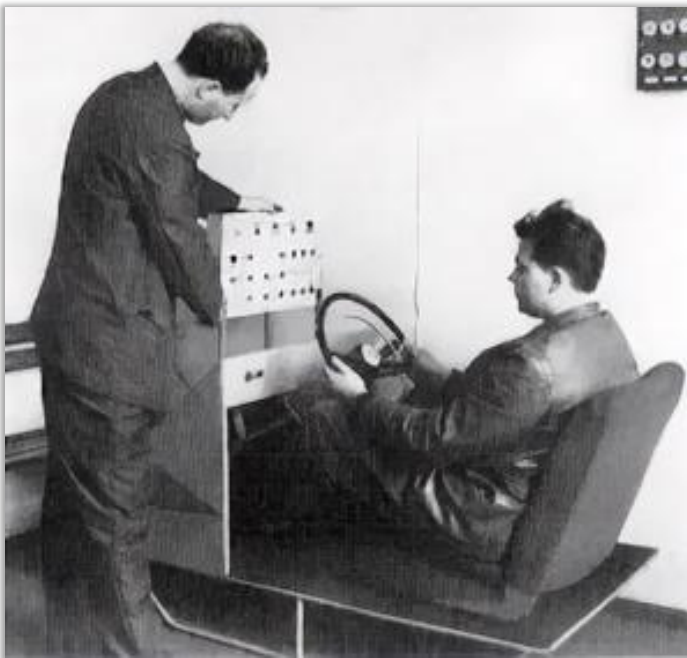


Insgesamt wurden (ab 1966) mehr als 3000 Fahrtrainer hergestellt; als Exportgut für Ungarn, Bulgarien, Rumänien, Angola, Algerien, Polen, Äthiopien sowie Irak.



VEB-Kraftverkehr-  
Nordhausen, 1984

DDR-Traktorsimulator



# Beispiel: Simulatoren für Landmaschinen

„An unseren Simulatoren können Sie jeden Arbeitsschritt der Holzernte wirklichkeitsnah trainieren, von der Planung des Einschlags bis hin zum Poltern am Straßenrand. Für alle Übungen erstellt der Simulator einen Echtzeitbericht, in dem die Präzision des Fahrers und die benötigte Zeit aufgezeigt werden.“ →



# Beispiel: 3D-Fahrsimulatoren



Mercedes-Benz, 1985



# Beispiel: VR-Fahrsimulatoren



# Beispiel: Schiffsführungssimulator



[www.baw.de/content/files/infrastruktur/poster/0/schiffsimulator\\_2016\\_web.jpg](http://www.baw.de/content/files/infrastruktur/poster/0/schiffsimulator_2016_web.jpg)

# Beispiel: Velofahrsimulator



<https://psychology.uiowa.edu/sites/psychology.uiowa.edu/files/groups/hank/images/04bike3.jpg>



# Beispiel: Exercise Games



“Level up your workout with 3D graphics, rich storylines, and challenging obstacles that will make you forget you’re exercising in the first place.

...

The stationary bike can transform from one with fixed handlebars and flywheel to a bike with steering, virtual shifting, and terrain-adapted resistance, to mirror what it’s like to ride outdoors.”

# Beispiel: Moto-Simulator für das Wohnzimmer



<https://img1.motorradonline.de/image-big/MobileWide-586654a7-1405682.jpg>

# Beispiel: Reitsimulator (ca. 1910)



“Mounted on rocking-horses, recruits of the British cavalry are now receiving preliminary training in horsemanship. At the Army Equestrian School, at Weedon, England, the wooden horses were recently installed to give rookies the feel of the saddle and practice in mounting and dismounting before they tackle the *spirited* animals stabled at the school.”

# Beispiel: Pferdesimulator für Kampfübungen



[https://medieval.bodleian.ox.ac.uk/catalog/manuscript\\_1315](https://medieval.bodleian.ox.ac.uk/catalog/manuscript_1315)

Buchillustration in einem [Manuskript von 1344](#) aus der Bodleian Library in Oxford (MS. Bodl. 264, f. 82v, *The Romance of Alexander in French verse*).

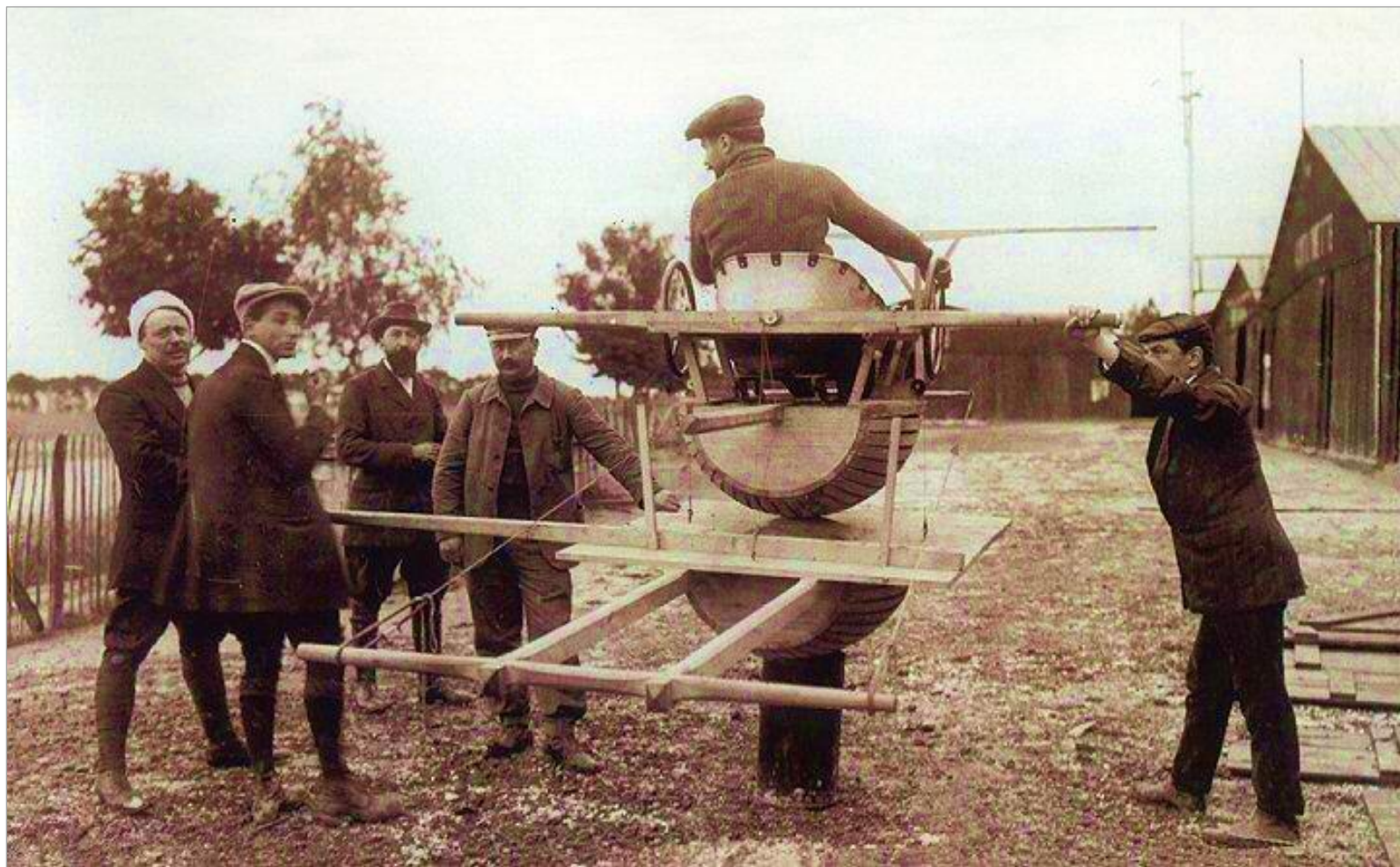
“MS Bodley 264 is one of the most famous and most sumptuous illuminated manuscripts of the entire Middle Ages, offering a panorama of medieval society and imagination.”

Ein junger Bursche übt das ritterliche Lanzenstechen, eine ritualisierte Kampfhandlung des Mittelalters, welche bei Ritterturnieren vorgeführt wurde. Im Training sitzt er dazu auf einem [simulierten Pferd](#), einem [Holzbock mit vier Rädern](#), der von zwei Kommilitonen gezogen wird.

Der mittelalterliche Kampfsport geht zurück auf die „[Quintana](#)“ römischer Soldaten: In deren Feldlagern wurden auf dem fünften („quintus“) Lagerweg, einer breiten Strasse parallel zur „via principalis“, regelmässig Kampfübungen mit der Lanze abgehalten. Dabei mussten die Legionäre, meist in schwerer Rüstung, rennend oder auf einem galoppierenden Pferd mit einer Lanze den „Quintan“ treffen, einen Pfosten mit einer darauf montierten Zielscheibe, manchmal auch eine menschenähnliche Attrappe aus Stroh oder Holz mit einem Schild am Arm.

# Beispiel: Flugsimulator (1910)

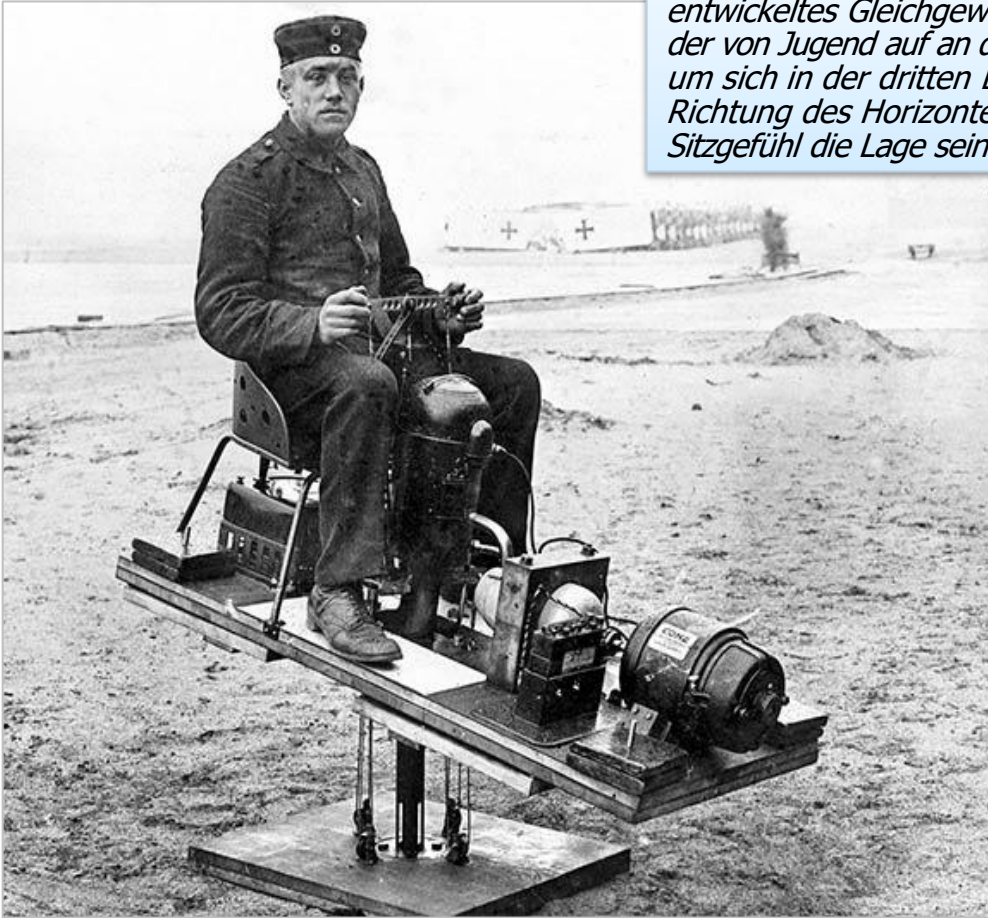
« En 1909, la société Antoinette avait ouvert une école de pilotage près de Châlons en Champagne pour former les futurs pilotes militaires. [...] Le simulateur était constitué par un tonneau scié en deux longitudinalement. La première moitié était fixée sur un poteau et servait de support. La 2<sup>ème</sup> moitié, posée sur la première et liée à elle par un joint souple, était susceptible de bouger dans les 3 axes. L'élève pilote, assis sur le siège dans la partie haute, est ballotté par les



aides qui simulent les mouvements de l'aéroplane en actionnant divers leviers. Ces leviers sont reliés par des câbles aux deux volants et les aides devaient déplacer les leviers en fonction des mouvements que le pilote imprimait aux volants de commande. »

# Flugsimulator (1916)

*Die Natur hat ihren besten Fliegern, den Vögeln, ein scharfes Auge und ein gut entwickeltes Gleichgewichtsgefühl mit auf den Luftweg gegeben. Der Mensch, der von Jugend auf an die Erde gefesselt ist, bedarf erst einer gewissen Uebung, um sich in der dritten Dimension zurechtzufinden, um mit dem Auge aus der Richtung des Horizontes, mit dem Gleichgewichtsinn im Ohre oder mit dem Sitzgefühl die Lage seines Flugzeuges zu erkennen. [Flugsport 5(1920), S. 104]*



<https://glasgowunigratwar.files.wordpress.com/2017/12/drexler-simulator.png>

**Franz Drexler** (ca. 1880 – 1929) war ein zum Flugzeugführer ausgebildeter deutscher Ingenieur, der sich mit der Entwicklung von Kreiselgeräten und hydraulischen Steuervorrichtungen für Flugzeuge befasste – einerseits, um Piloten die Neigung des Flugzeugs anzuzeigen („Steuerzeiger“), andererseits, um ein Flugzeug automatisch zu stabilisieren und letztendlich auch ferngesteuert oder via Autopilot („Selbststeuergerät“) fliegen zu können. Drexler versicherte, dass in Zukunft, nachdem etwa ein Flugzeug vom Tempelhofer Feld in Berlin nach Hamburg die Reiseflughöhe erreicht habe, der Pilot nach Berücksichtigung der Drift den Speisesaal betreten könne, sich ein Kotelett servieren lassen könne und sich zwei Stunden später mit der Bemerkung „in zehn Minuten sind wir in Fuhlsbüttel“ wieder von seinem Sitz erheben könne.

Seine „**hydraulische Lehrschaukel**“ baute Drexler 1916 für die Ausbildung und das Training von Flugschülern. Der erste automatische Flugsimulator der Welt war dazu gedacht, Flugschülern ein reales „Fluggefühl“ zu vermitteln. Vorne auf dem in zwei Drehachsen beweglichen Brett war der Elektromotor angebracht, der den Impeller des Stromerzeugers im Flugzeug ersetzte, dahinter die Steuereinheit, von der vier Seilzüge die Schaukel relativ zur Grundplatte bewegten.

# Flugsimulator (1915 – 1918)



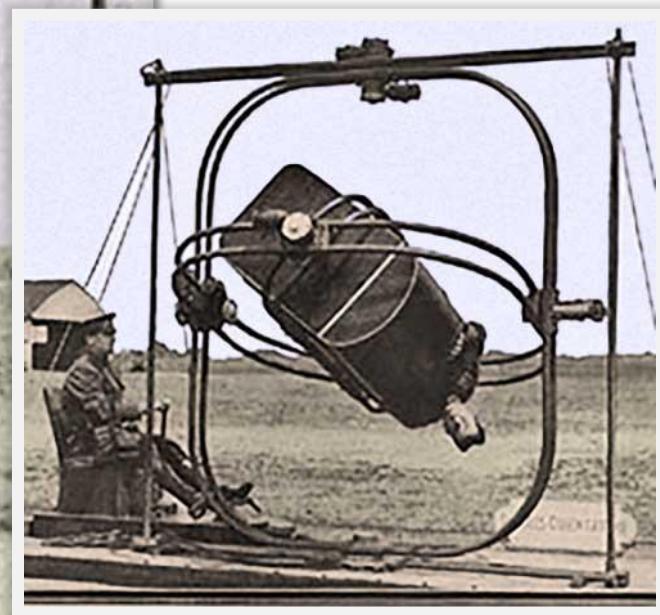
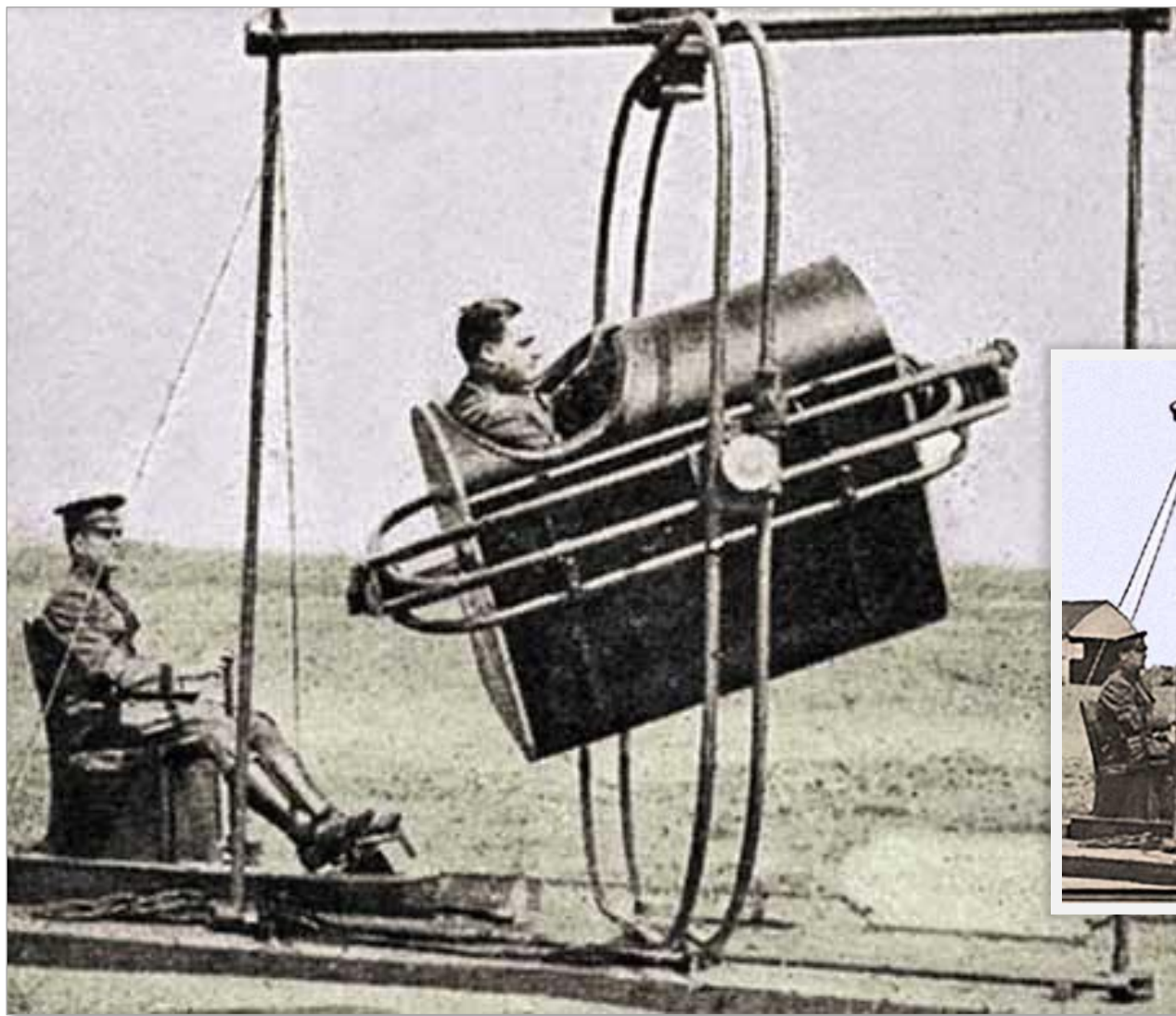
www.grandeguerra.unito.it/items/show/642

Zu Beginn des Ersten Weltkriegs gab es zahlreiche Flugunfälle und Flugzeugverluste, die nicht durch Feindeinwirkungen zustande kamen. (Eine nach dem Krieg durchgeführte Studie ergab, dass 90% der Verluste auf Pilotenfehlern beruhten, 8% auf Flugzeugdefekten und nur 2% durch Abschuss erfolgten.) Zur Verbesserung der Situation wurden Pilotenanwärter Qualifikationsprüfungen unterzogen.

Eines der ersten Geräte zum Testen der Flugfähigkeit, insbesondere zum Bewerten der physiologischen Reaktionen eines Piloten auf den durch das Fliegen verursachten Stress und die Sinneswahrnehmung durch das Gleichgewichtsorgan im Innenohr, war der an der Universität Turin verwendete **Blériot-Simulator**. Mittels Kurbelzahnradern an der Metallhalterung eines aufgesetzten Blériot XI-Rumpfteils war es möglich, die Kandidaten den typischen Nick- und Rollbewegungen eines Flugzeugs auszusetzen – die jeweilige Lage musste von den Kandidaten während eines simulierten Fluges mit verbundenen Augen korrekt erkannt werden.

Die Blériot XI war ein Flugzeug des französischen Luftfahrtpioniers Louis Blériot (1872 - 1936); 1909 überquerte Blériot damit in 37 Minuten den Ärmelkanal. Eine zweisitzige Blériot XI, Baujahr 1914, war das allererste Flugzeug der Schweizer Luftwaffe.

# Flugsimulator (1920)



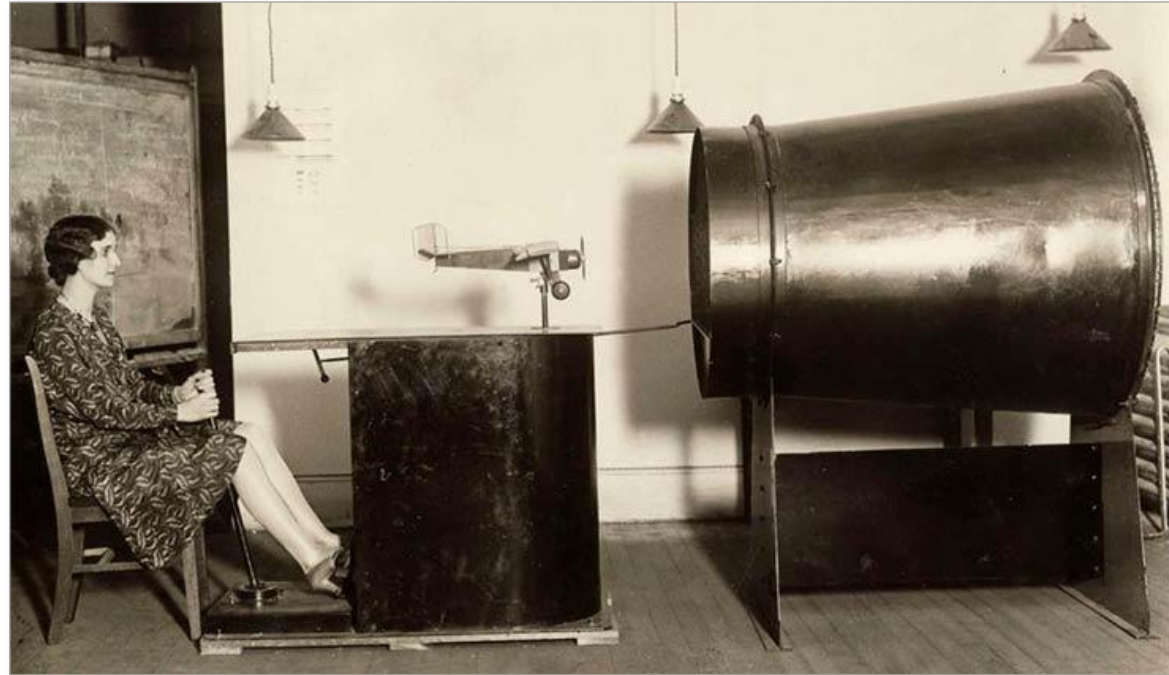


# Flugsimulatoren (1920er-Jahre)

<https://i.redd.it/tr3ajit0bnz61.jpg>



Training bei der finnischen Luftwaffe.



“First steps for the future pilot – an ingenious device for teaching beginners the rudiments of controlling an aeroplane. The little machine which flies in a strong draught of air ejected from the cylinder, is connected by a rod to the table and by a universal joint to the rod. Every movement of the hands on the joystick and the feet on the rudder bar is registered on the machine exactly as it would be during an actual flight.”  
[[www.prints-online.com/first-steps-future-pilot-4476403.html](http://www.prints-online.com/first-steps-future-pilot-4476403.html)]

[*Joystick*: First attested around 1910 as the *control stick* on an airplane. Its relation to the word *joy* is unclear. -- [en.wiktionary.org/wiki/joystick](https://en.wiktionary.org/wiki/joystick)]

# Flugsimulation (1943)



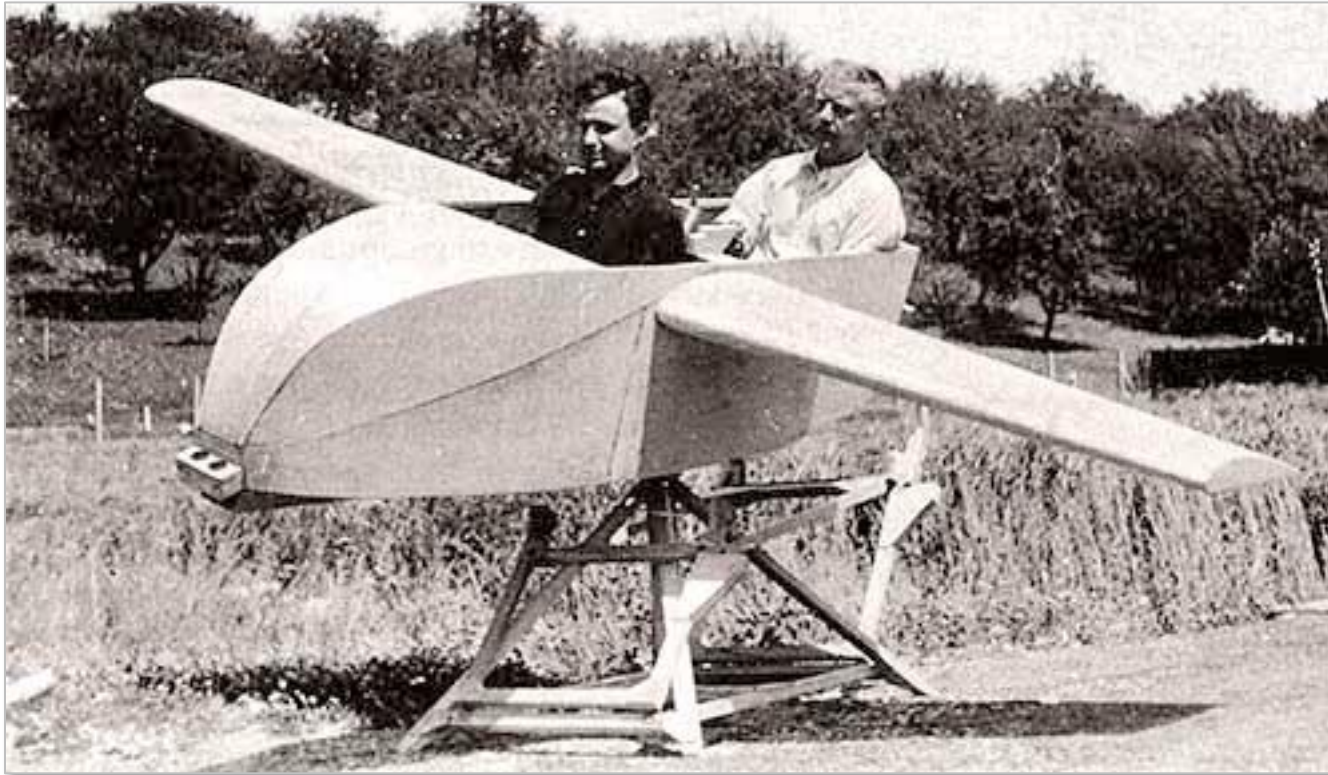
<https://fss.e-pics.ethz.ch/catalog/FSS/r/5916>

*Theo Frey: Fliegerschule für Unteroffiziere, Dübendorf, 1942*

**Theo Frey** (1908 – 1997) machte von 1924 bis 1927 eine Lehre als Maschinenschlosser, anschliessend absolvierte er ein Studium als Maschineningenieur am Technikum Winterthur. Von 1931 bis 1935 war er als Radiobauer und Radiohändler tätig, danach zog er nach Zürich, wo er am Photographischen Institut der ETH Zürich eine Stelle als Volontär fand. Während des Zweiten Weltkriegs war er Fliegersoldat in Spreitenbach und Fotoreporter im Pressebüro des Armeestabes. Theo Frey erstellte zahlreiche fotografische Reportagen zu diversen Sujets der Schweiz, vor allem dem ländlichen Leben. Sein Sohn Thomas Patrick Frey (Jahrgang 1954) wurde ebenfalls Fotograf und war u.a. als Pressefotograf für die Bildagentur Keystone in Zürich tätig.

# Flugsimulator (1943)

[http://claudel.dopp.free.fr/Les\\_planeurs/Technique/Simulateurs/Photos-page/Seiff\\_Kunz.jpg](http://claudel.dopp.free.fr/Les_planeurs/Technique/Simulateurs/Photos-page/Seiff_Kunz.jpg)



Der Segelflieger **Josef Kunz** (auf dem Bild in der hinteren Position) konzipierte 1943 den sogen. „**Kunz-Schuler**“. Bis zum Ende des 2. Weltkriegs 1945 wurden etwa 200 Exemplare für Flugschulen produziert.

Der **Kunz-Schuler** kann alle Bewegungen ausführen, die der Pilot im normalen Segelflug mit Hilfe der Ruderorgane einleitet. Vom Fluglehrer im hinteren Sitz kann das Gerät durch Gewichtsverlagerung aus dem Gleichgewicht gebracht werden, das der Flugschüler im vorderen Sitz mit entsprechenden Reaktionen am Steuerknüppel wieder herstellen muss.

# Flugsimulatoren (2. Weltkrieg)

Im **Bild rechts** einfache Trainingsgeräte, die vielleicht nur für das Foto aus der Halle nach draussen ans Tageslicht geschoben wurden. Sie dienten wohl im wesentlichen dazu, mit dem Cockpit und den Instrumenten vertraut zu werden.

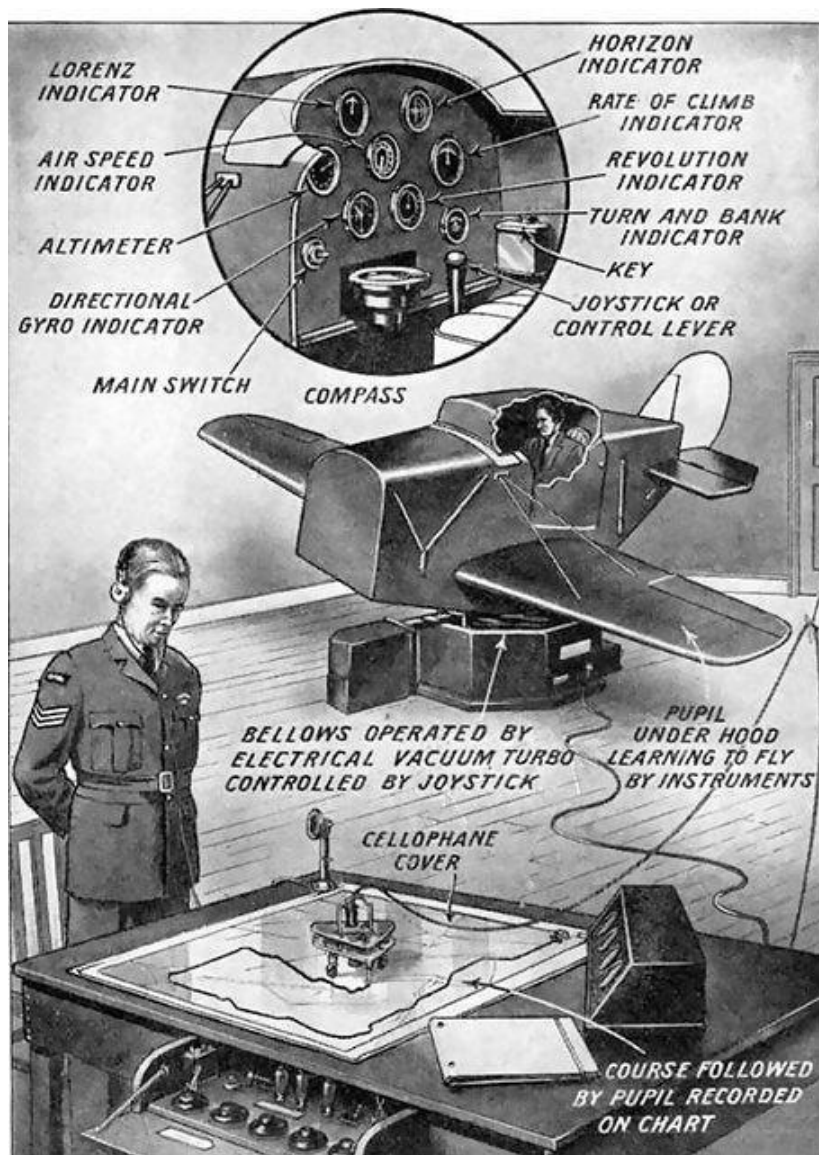
Im **Zweiten Weltkrieg** wurden sehr viele Piloten ausgebildet, Trainingsflugzeuge und aufwändigere Simulatoren waren knapp, daher begann man teilweise mit sehr einfachen Trainingsgeräten.



Die sogenannten „**Link Trainer**“ (**Bild links**) waren aufwändigere Simulatoren, die auch für das Blindflugtraining genutzt wurden, und mit denen diverse Flugmanöver durchgespielt werden konnten. Mit hydraulischen und pneumatische Elementen wurde versucht, einen sensitiven Eindruck der Flugdynamik (vor allem der Nick- und Rollbewegung) zu erzeugen. Einige Parameter, wie z.B. Gegenwind oder Pannensituationen, konnten vom Instruktor beeinflusst werden. →

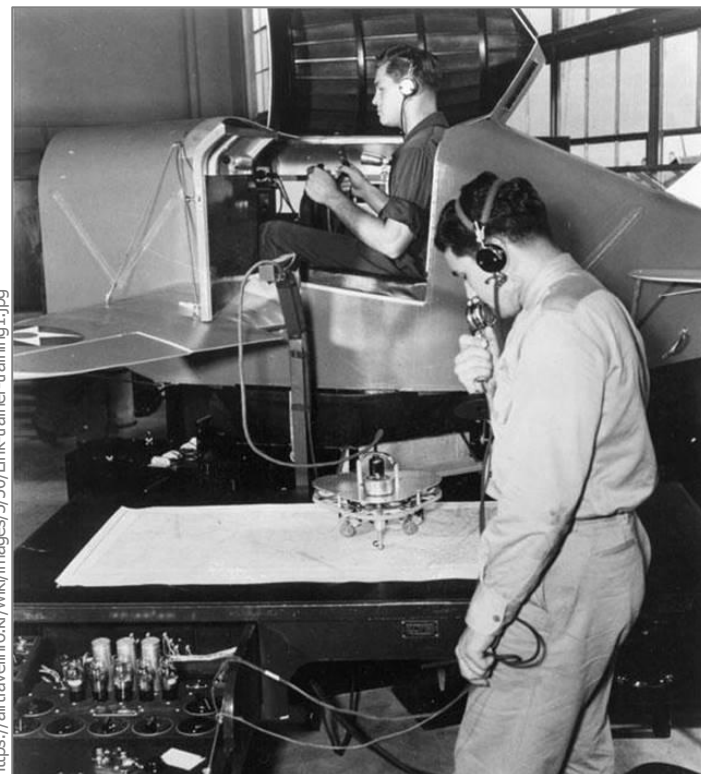
# Flugsimulator – Der „Link Trainer“

“...an efficient aeronautical training aid and a novel, profitable amusement device.”  
-- Aus der Patentanmeldung



“The **Link Trainer** consisted of a fuselage, containing a single-seater cockpit with instrument panel, stick and foot pedals; it enabled a trainee to learn the basics and experience the sensation of flying, including banking, pitching and turning.

The fuselage was **connected to an instructor's desk**, which contained a synchronized instrument panel and a 3-wheeled course plotter (“crab”) which could



plot the course being flown onto a map. The pilot and instructor can communicate with each other via headphones and microphones.”

[masterbombercraig.wordpress.com/raf-volunteer-reserve-40-41/rafv-1941/]

“Link Trainer”: Benannt nach Edward Link; er konstruierte ihn ab 1929.

## Link Trainer (2)

Vom Link Trainer wurden verschiedene Modellserien bis in die späten 1950er-Jahre hergestellt; alleine im 2. Weltkrieg mehr als 10000 Exemplare, an denen mehr als 500000 Piloten geschult wurden. Auch die Swissair nutzte um 1950 solche Simulatoren für das Blindflug-training in den Baracken hinter der Flugzeugwerft in Kloten.

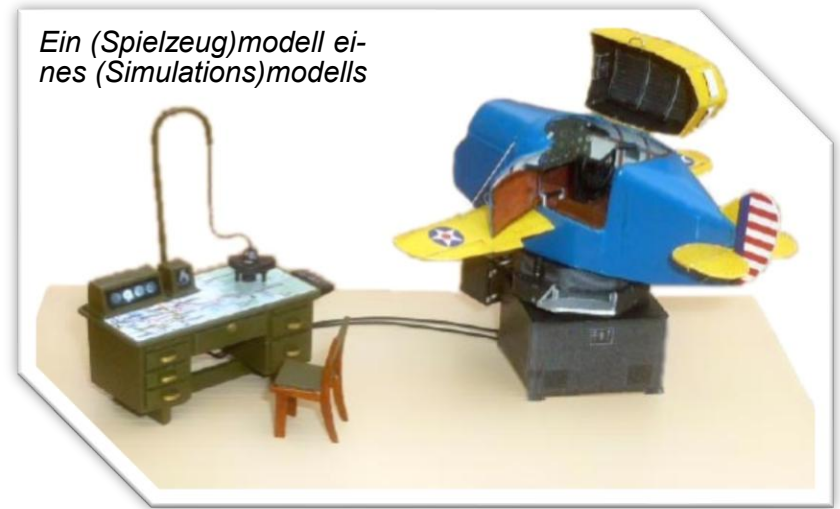


# Link Trainer (3)

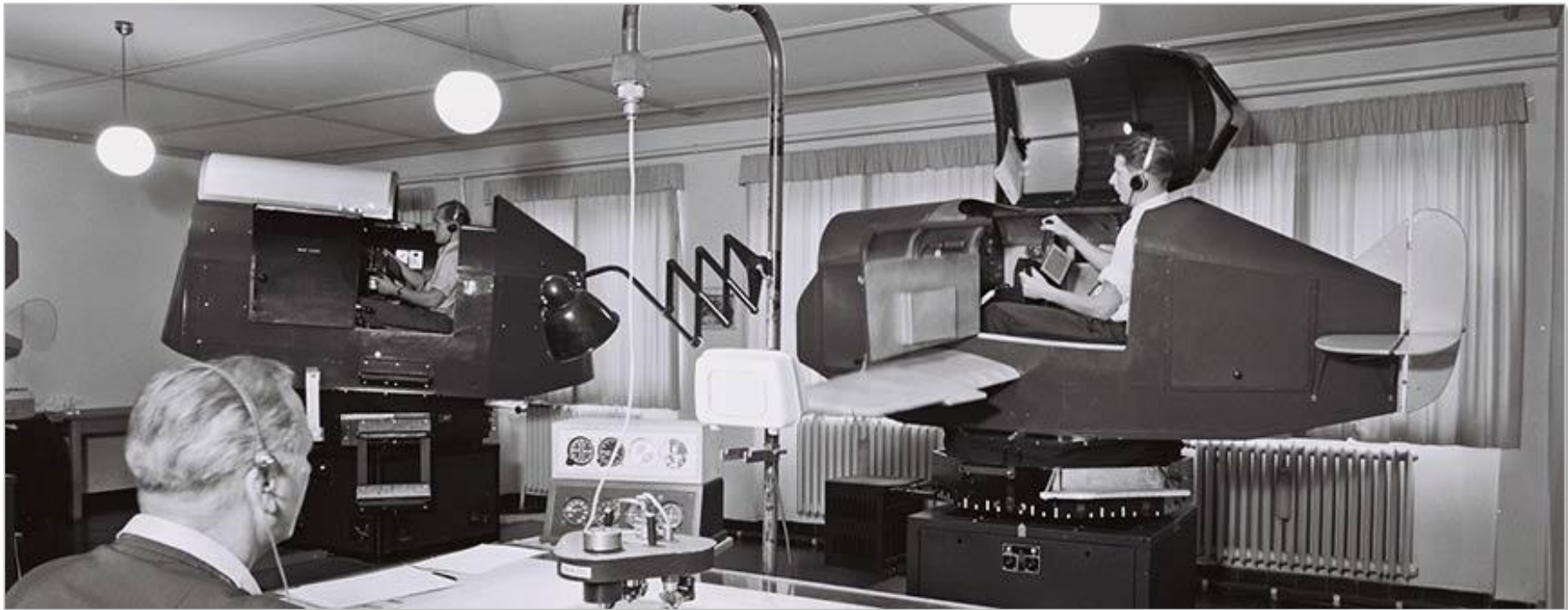
“The link trainer was a lot of fun. For instance, if you ‘ran into a mountain’ by mistake, you weren’t killed, they just turned off the juice, opened the cockpit in the flight trainer, told you that you were dead and started you out again.” -- Harry O. Rohde

[www.451st.org/Stories/Pdfs/Memoirs-of-Harry-O-Rohde-FINAL-1.pdf](http://www.451st.org/Stories/Pdfs/Memoirs-of-Harry-O-Rohde-FINAL-1.pdf)

Ein (Spielzeug)modell eines (Simulations)modells



[www.aerocess.com/link-51\\_P1370464.jpg](http://www.aerocess.com/link-51_P1370464.jpg)



[www.european-flight-academy.com/documents/10935875/11158307/Hero\\_EFA\\_Historie.jpg/b83aff50-f419-efe4-3eee-8b78866eee8c](http://www.european-flight-academy.com/documents/10935875/11158307/Hero_EFA_Historie.jpg/b83aff50-f419-efe4-3eee-8b78866eee8c)

# Link Trainer (4)

www.history.navy.mil/content/history/museums/nmusr/explorer/photography/diversity/women-in-the-navy/wwii/occupations/link-trainer-operators/80-g-41557.html



Mit **WAVES** (Women Accepted for Volunteer Emergency Service) wurden im Zweiten Weltkrieg Frauen bezeichnet, welche freiwillig Dienst bei der US Navy leisteten. In **Corpus Christi** befindet sich ein wichtiger Marinefliegerstützpunkt; während des Zweiten Weltkriegs wurden am „Naval Air Training Command“ mehrere zehntausend Piloten ausgebildet.

| RECORD OF LINK TRAINER PRACTICES |      |                            |       |            |      |          |      |  |                         |            |       |
|----------------------------------|------|----------------------------|-------|------------|------|----------|------|--|-------------------------|------------|-------|
| MONTH                            | DATE | PRACTICE                   | TIME  | TOTAL TIME | YEAR | MONTH    | DATE | PRACTICE                               | TIME                    | TOTAL TIME |       |
| April                            | 27   | EXERCISE 1                 | 20.30 | 30         | 1943 | October  | 26   | 8 CLIMBING & DESCENDING TURNS          | 1.00                    | 10.55      |       |
|                                  | 28   | "                          | 1     | 40 1.10    |      |          | 27   | 9 HOLDING BEADING & TURNING BY COMPASS | 1.00                    | 12.55      |       |
|                                  | 29   | "                          | 2     | 30 1.40    |      | November | 20   | 9 TURNING BY COMPASS                   | 1.00                    | 14.55      |       |
|                                  | 30   | "                          | 3     | 30 2.10    |      |          | 12   | 9 TURNING BY COMPASS                   | 1.00                    | 15.55      |       |
| May                              | 1    | "                          | 4     | 30 2.40    |      |          | 13   | "                                      | 1.00                    | 16.55      |       |
|                                  |      | STANDARD LINK COURSE, 1943 |       |            |      |          | 21   | ARTIFICIAL HORIZON                     | 1.00                    | 17.55      |       |
| Sept.                            | 15   | 1. Familiarization         |       |            |      |          | 22   | R-1 Familiarization                    | 20                      | 17.25      |       |
|                                  |      | 2. Straight Course         | 30    | 3.10       |      |          | 24   | R-2 Bracketing                         | 1.00                    | 18.25      |       |
|                                  |      | 3. A Triangle Flight       |       |            |      |          | 26   | R-2 "                                  | 1.30                    | 19.55      |       |
|                                  | 17   | 4. Standard Rate Turns     | 30    | 3.40       |      |          | 28   | R-2 "                                  | 1.00                    | 20.55      |       |
|                                  | 19   | "                          | 30    | 4.10       |      | December | 3    | R-3 "                                  | 1.30                    | 22.25      |       |
|                                  | 21   | "                          | 30    | 4.40       |      |          | 6    | R-4 "                                  | .45                     | 23.10      |       |
|                                  | 22   | "                          | 30    | 5.10       |      |          |      |  |                         |            |       |
|                                  | 23   | 6. Lead of Heads & Wings   | 30    | 5.40       |      | January  | 2    | FIXED DOWN DRIFT, U.S.A.               |                         |            |       |
|                                  | 25   | 7. Ste. Climb & Glides     | 30    | 6.10       |      | December | 28   | 1-6 Thrust, Goodman                    | 30                      | 23.40      |       |
|                                  | 28   | "                          | 30    | 6.40       |      |          | 29   | 7 Climb & Glides                       | 30                      | 24.10      |       |
|                                  | 29   | 8. Holdover Gliding Turns  | 30    | 7.10       |      | 1943     | Jan  | 2                                      | 8 Climb & Gliding Turns | 1.00       | 25.10 |
|                                  | 30   | 9. "                       | 30    | 7.40       |      |          | 4    | 9 TURNING TO 90° RIGHT                 | 30                      | 25.40      |       |
|                                  | 30   | 10. 6.78 link Range Alt    | 30    | 8.10       |      |          | 10   | CLIMB & GLIDES "                       | 30                      | 26.10      |       |
|                                  |      | STANDARD LINK COURSE, 1943 |       |            |      |          | 15   | " 9.12                                 | 1.00                    | 27.10      |       |
|                                  |      | 5. Standard Rate Turns     | 45    | 8.55       |      |          | 21   | " 13.12                                | 1.00                    | 28.10      |       |
|                                  |      | 5.6. Performance Turns     | 1.00  | 9.55       |      | Feb.     | 9    | Holds & Spirals                        | 1.00                    | 29.10      |       |
|                                  |      | 6. Turned Course           | 1.00  | 10.55      |      |          | 9    | 4. Track                               | 30                      | 29.40      |       |
|                                  |      | 7. Climbing & Descending " |       |            |      |          | 10   | 4. Track                               | 1.00                    | 30.40      |       |
|                                  |      |                            |       |            |      |          | 11   | R-1                                    | .50                     | 31.10      |       |

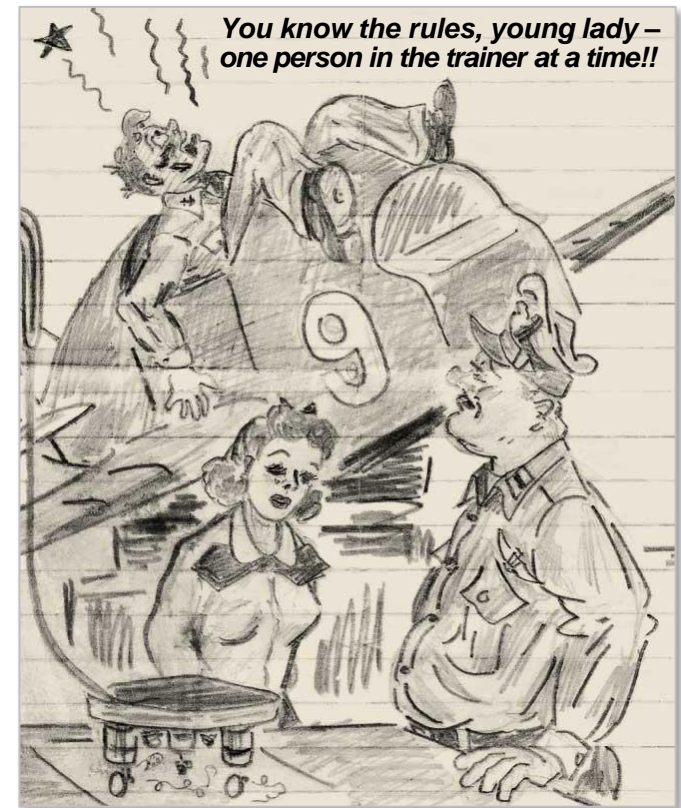
“Link trainers in operation at NATC Corpus Christi, Texas, May 1943. A WAVE gets some pointers from a male instructor whom she will later replace.”



# Link Trainer (5)

Generell dienten **WAVES** als „parachute riggers, aerologists, meteorologists, radio operators, security officers, aircraft mechanics, metal-smiths, language instructors, gunnery instructors, dental assistants, hospital nurses, secretaries, Chaplain’s assistants, pressure chamber technicians, air traffic controllers, cryptographers“; auf der Militärbasis von Corpus Christi kamen einige hundert Frauen zum Einsatz, darunter viele speziell als „Link trainer instructors“.

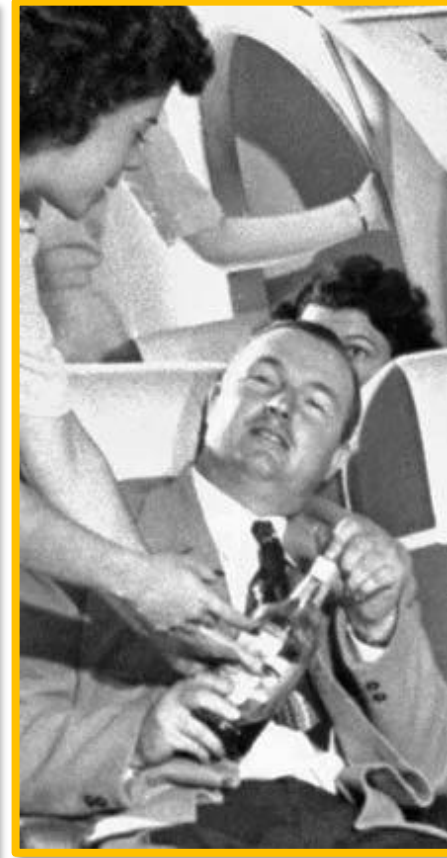
Ein Beispiel dafür ist **Marcella (Marcy) Smith** (1924 – 2012), die aus einem kleinen Ort in Pennsylvania stammte. Einer ihrer Schüler war der zwei Jahre ältere Navy-Kadett und angehende Pilot Donald Fitzpatrick aus Washington, den sie 1946, nach Krieg und Dienstentlassung, heiratete.



Marcella Smith führte als Instruktoren ein detailliertes **Logbuch**; am Ende klebte sie einige **Skizzen** ein, die von talentierten Kadetten stammten. Ihr Sohn Mike Fitzpatrick vermerkte nach ihrem Tod; „I have no idea if this is based on an actual incident, or just a figment of the artist’s fertile mind. But it does give a good representation of the Link Trainer simulator that **would tilt and roll** in response to the pilot’s use of the controls, and the desk where the instructor would sit with the **mechanical ‘crab’** that would trace the simulated flight’s path across an aeronautical chart.“

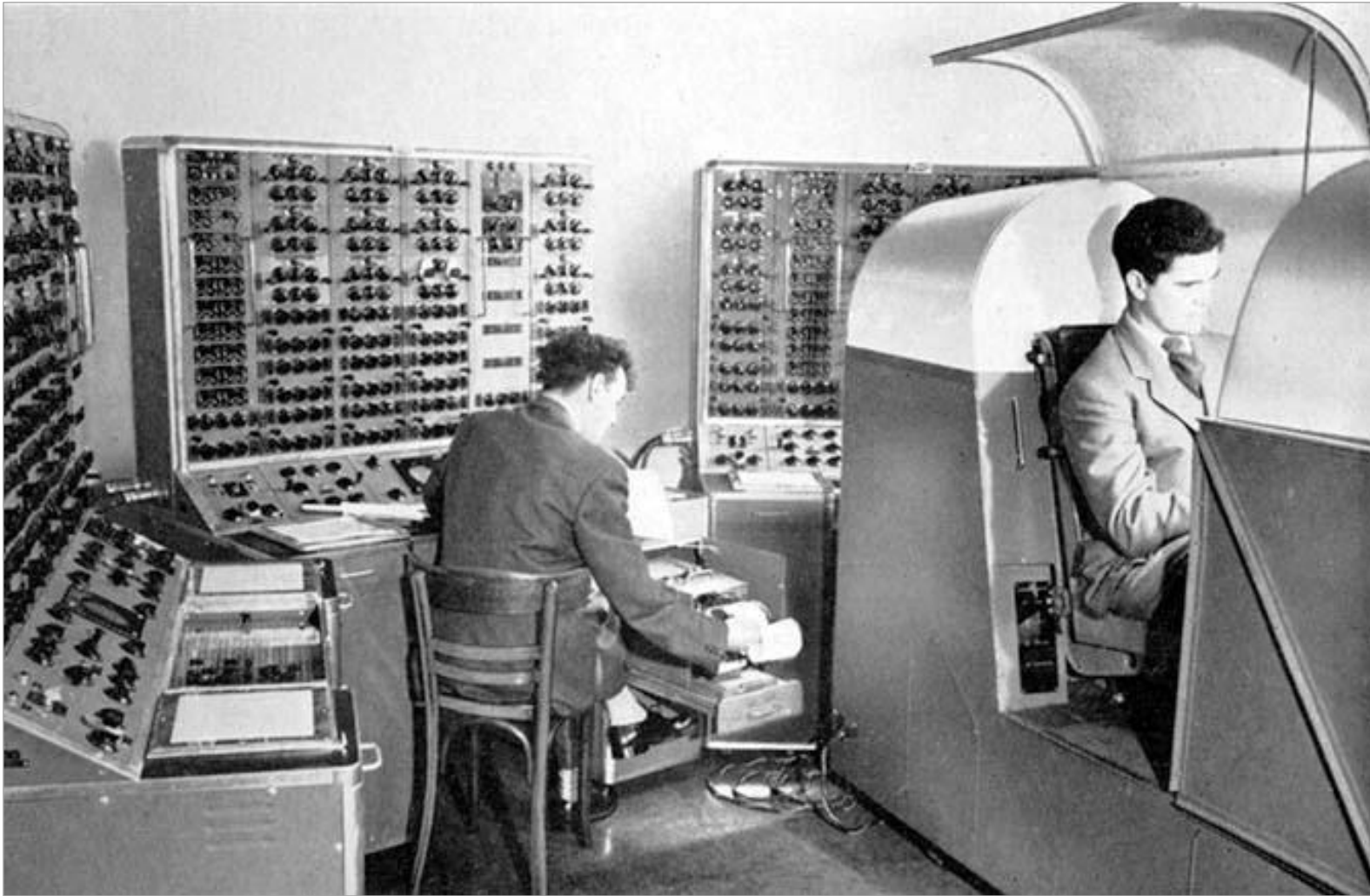
Alle Bilder dieser slide: www.flickr.com/photos/piedmont\_fossil/albums

# Flugsimulator für Stewardessen



Umgang mit einem betrunkenen Fluggast, McConnell Air Hostess School, 1947

# Flugsimulator (Analogcomputer, 1950er-Jahre)



<http://worldpowersystems.com/archives/tval/Unknwn-Flight-simulator.jpg>

# Enables fliers, without leaving the ground...

Werbeanzeige einer Firma, die u.a. **Flugsimulatoren** (in Analogtechnik) herstellt, aus dem Jahr **1954**. Das Symbol einer Elektronenröhre als Ikone modernster Technik („**Elektronik**“) dominiert die linke Hälfte der Anzeige. Der Nutzen elektronischer Flugsimulatoren, die sich selbst bezahlen machen, werden potentiellen Kunden in Fettschrift und Grossbuchstaben eingetrichtert:

## **AIRLINE AND MILITARY CREWS CAN FLY ANY ROUTE, ANYWHERE IN THE WORLD, UNDER ANY CONDITION WITH ELECTRONIC SIMULATORS**

A Simulator exactly reproduces the controls, instruments, and responses of the airplane for which it is designed. It enables fliers, without leaving the ground, to experience every detail of a flight from anywhere to anywhere – including warm-up, take-off, climb, cruise, navigation, and landing – through any kind of weather or flight condition.

Because actual flight itself cannot equal a Simulator in quickly building up crew experience and coordination, leading airlines and the military services have ordered Simulators for a wide variety of aircraft types. These \$800.000 units pay for themselves by saving time and releasing aircraft for service.

Only through electronics is such flight simulation possible. [...]

**SIMULATORS**  
for the world's leading aircraft

**AIRLINE AND MILITARY CREWS CAN FLY ANY ROUTE, ANYWHERE IN THE WORLD, UNDER ANY CONDITION WITH ELECTRONIC SIMULATORS**

A Simulator exactly reproduces the controls, instruments, and responses of the airplane for which it is designed. It enables fliers, without leaving the ground, to experience every detail of a flight from anywhere to anywhere – including warm-up, take-off, climb, cruise, navigation, and landing – through any kind of weather or flight condition.

Because actual flight itself cannot equal a Simulator in quickly building up crew experience and coordination, leading airlines and the military services have ordered Simulators for a wide variety of aircraft types. These \$800.000 units pay for themselves by saving time and releasing aircraft for service.

Only through electronics is such flight simulation possible.

**CURTISS-WRIGHT**  
CORPORATION • WOOD-RIDGE, N. J.

**JOB'S FOR:**  
ENGINEERS  
ACCOUNTANTS  
TECHNICIANS

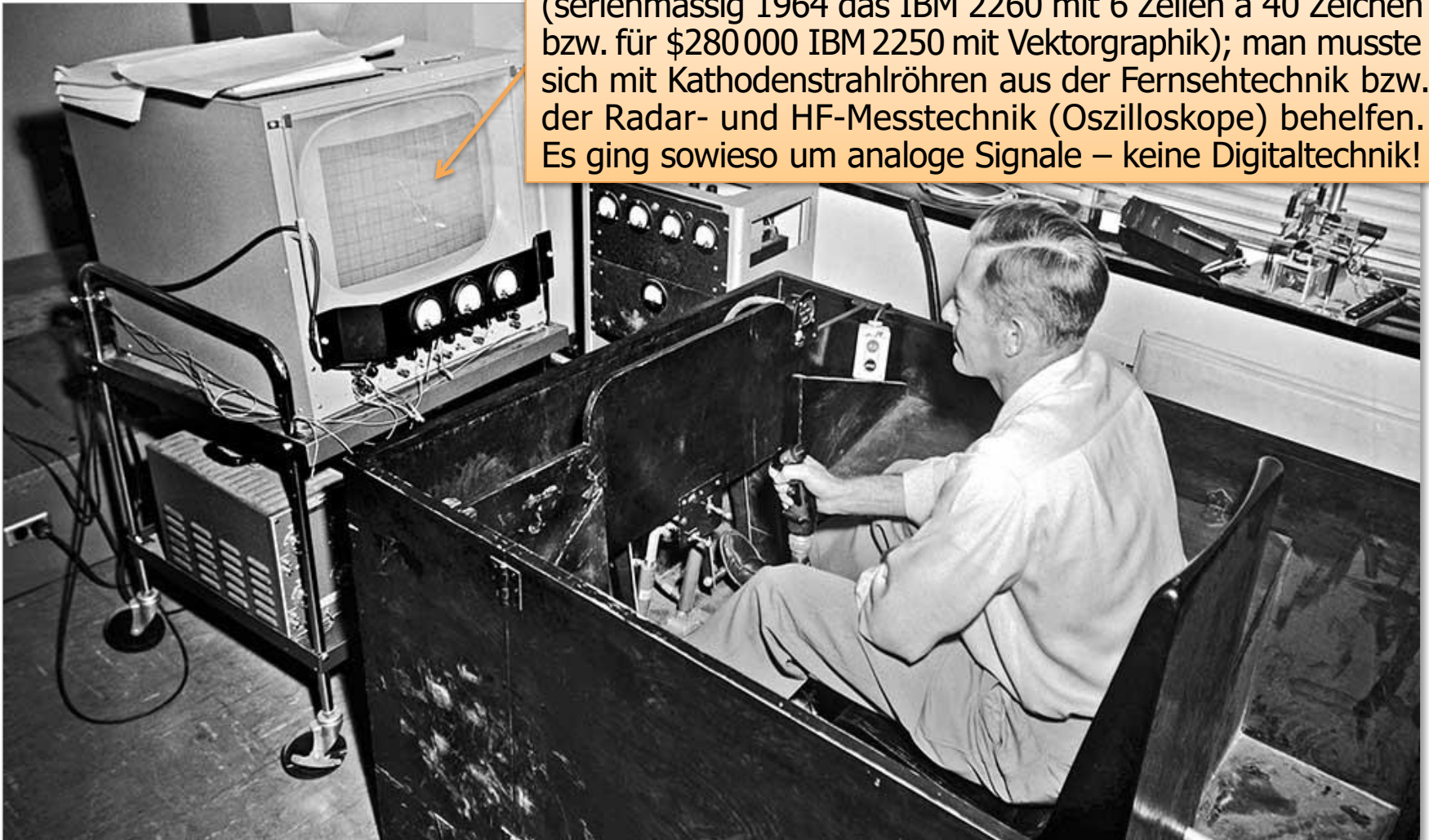
**... HAVE BEEN SELECTED BY THESE LEADING AIRLINES AND MILITARY SERVICES**

U.S. AIR FORCE      U.S. NAVY  
UNITED AIR LINE      BOAC      AIR FRANCE  
TWA      SWISSAIR      SAS  
TRAVEL WORLD AIRWAYS      ROYAL CANADIAN AIR FORCE      ROYAL AUSTRALIAN AIR FORCE      GULF AIR LINES

**JOBS FOR:**  
ENGINEERS  
ACCOUNTANTS  
TECHNICIANS

# Flugsimulator (NASA, 1958)

Eigentliche **Computermonitore** gab es noch länger nicht (serienmässig 1964 das IBM 2260 mit 6 Zeilen à 40 Zeichen bzw. für \$280 000 IBM 2250 mit Vektorgraphik); man musste sich mit Kathodenstrahlröhren aus der Fernsehetechnik bzw. der Radar- und HF-Messtechnik (Oszilloskope) behelfen. Es ging sowieso um analoge Signale – keine Digitaltechnik!



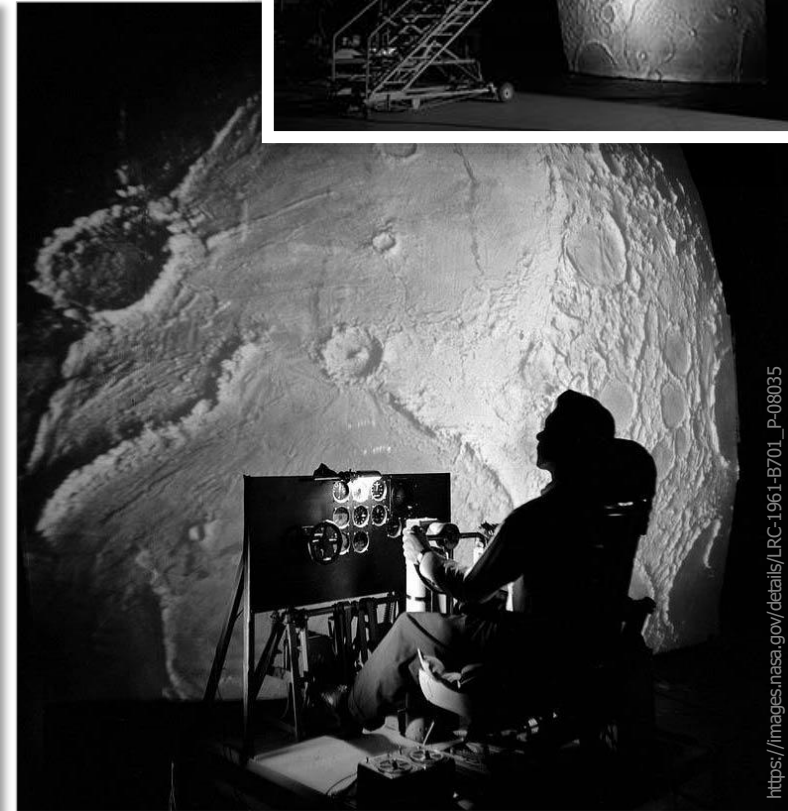
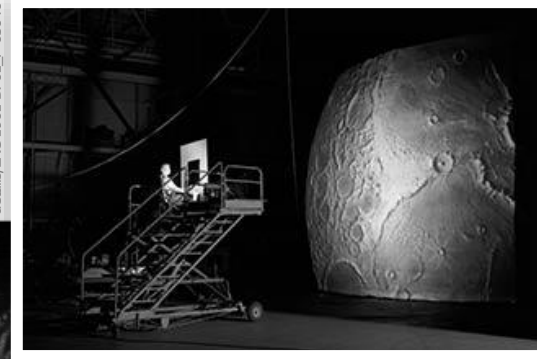
# Flugsimulatoren der NASA

[https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701\\_P-05040](https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701_P-05040)



<https://images.nasa.gov/details/E-18900>

[https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701\\_P-05040](https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701_P-05040)

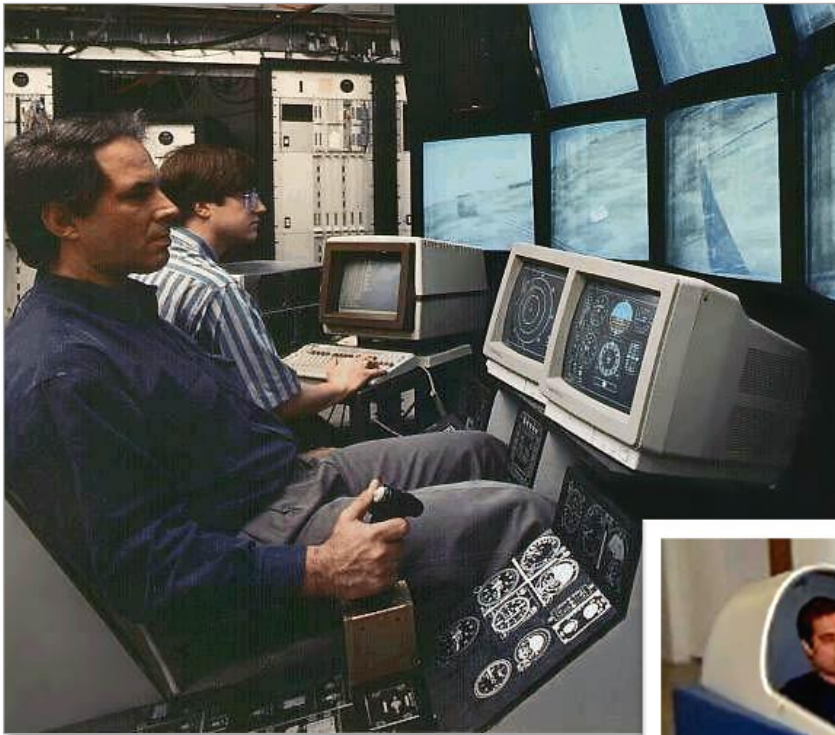


[https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701\\_P-08035](https://images.nasa.gov/details/LRC-1961-B701_P-08035)

↑ 1961: Simulator LOLA („Lunar Orbit and Landing Approach“)

← 1968: Simulator für das experimentelle Tragruppfflugzeug HL-10, das auch als Modell für zukünftige Raumfahrzeuge („Raumgleiter“) der NASA diente.

# Flugsimulator (Digitaltechnik ab den 1970er-Jahren)



1988

1990er-Jahre: Abheben mit Röhrenbildschirm, PC und Pilotenbrille:



# Flugsimulator (2000er-Jahre)





# Flugsimulator (2010er-Jahre)

<https://silvergamer.de/images/1lusion-Simulator.jpg>

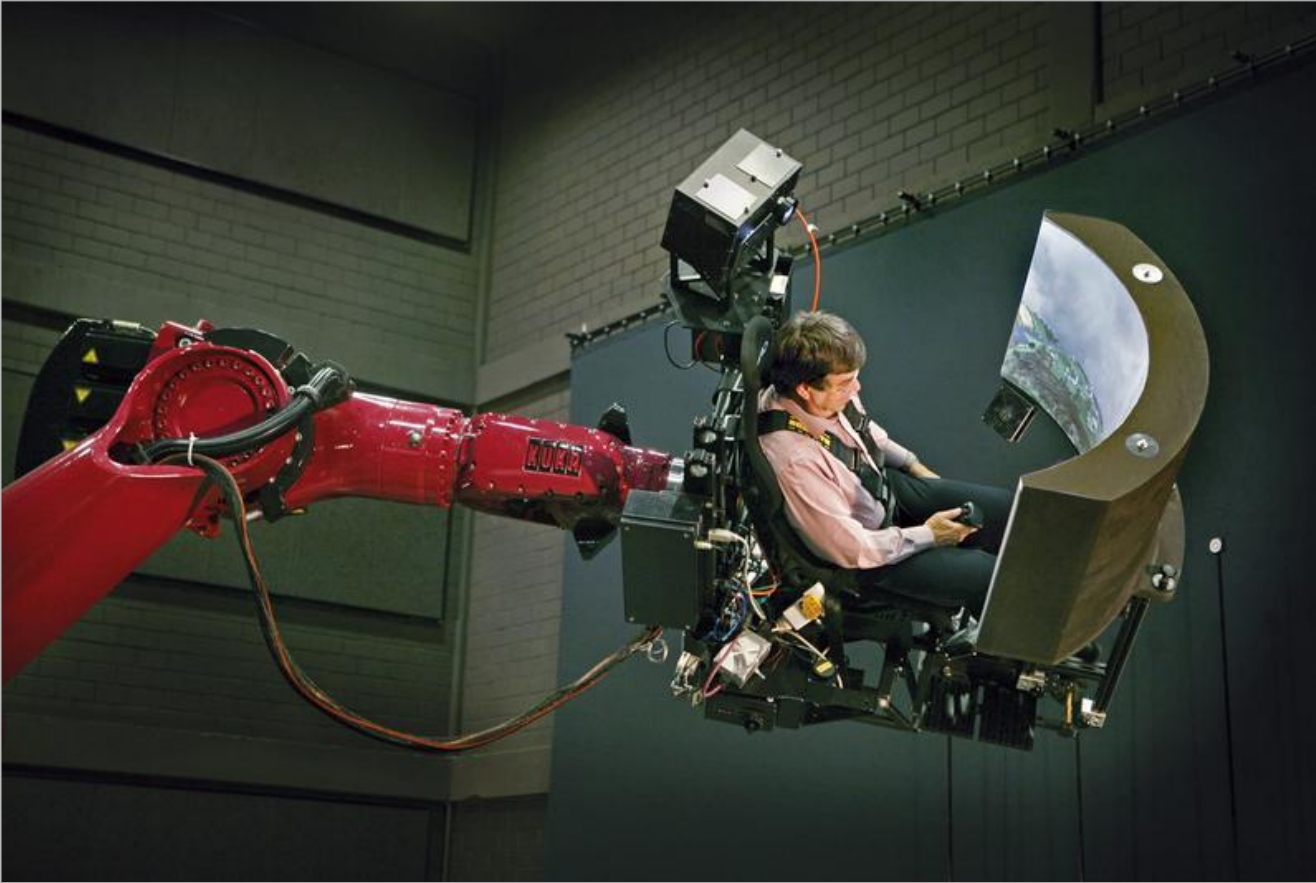


[www.l3harris.com/sites/default/files/2020-09/Commercial.jpg](http://www.l3harris.com/sites/default/files/2020-09/Commercial.jpg)



[https://onboard.thalesgroup.com/assets/HMT-2-blog\\_Q-Reytinas@Thales.jpg](https://onboard.thalesgroup.com/assets/HMT-2-blog_Q-Reytinas@Thales.jpg)

# Flugsimulator (2010er-Jahre)



Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik

# Virtual-Reality-Flugsimulator (2020)



<https://aviationweek.com/sites/default/files/uploads/2019/12/caetraxacademy.jpg>

# Mixed-Reality-Flugsimulator, just for fun (2020)

„Dies ist ein 100% verrückter 360°-Rotationsflug-Simulator, da er 720° nach oben abbiegen kann. Es macht Sie schreien die ganze Zeit beim Spielen. Beim Tragen der virtuellen Reality-Glas macht es Ihnen mehr real in das Spiel. Das Spiel ist zu schießen und als ‚Flying Tiger‘ zu handeln. Bist du bereit zu fliegen?“



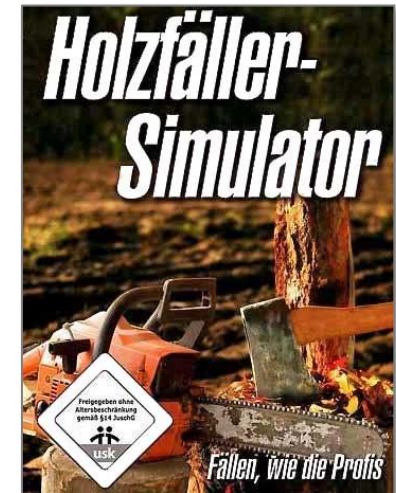
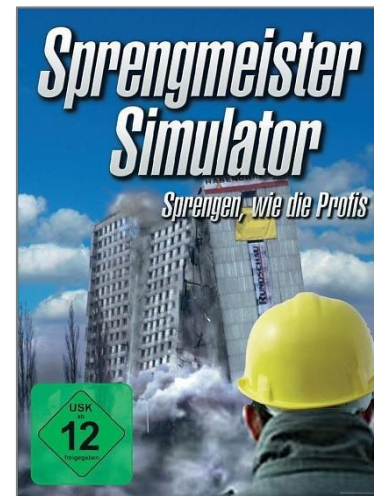
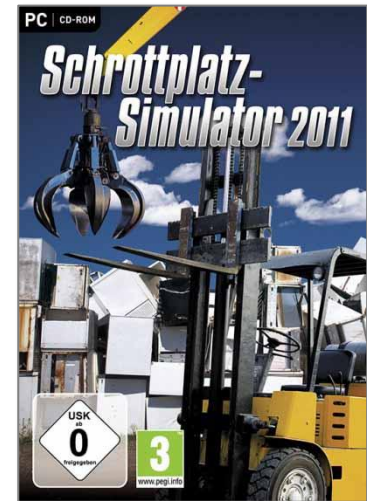
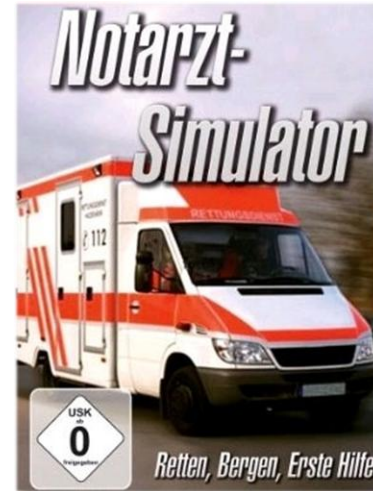
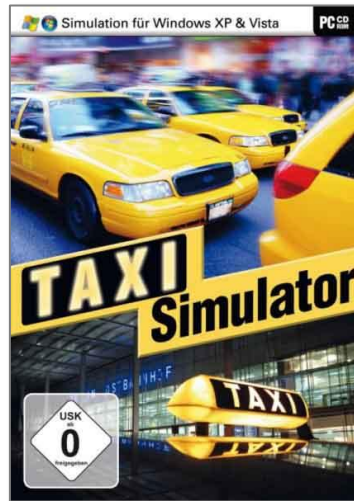
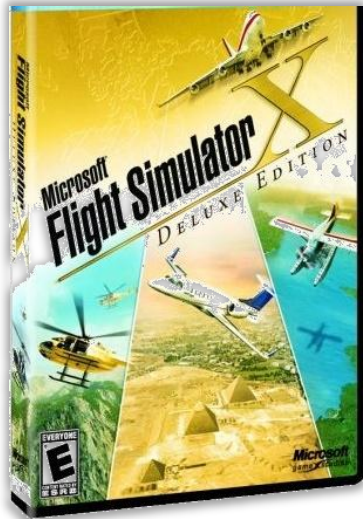
<http://de.vrsimulador.com/vr-simulator/flight-simulator/720-degree-rotating-platform-vr-flight.html>



## Hyperreale Simulation

1. Wenn ich ein Vög-lein wär und auch zwei  
Flü - gel hätt, flög ich zu dir.

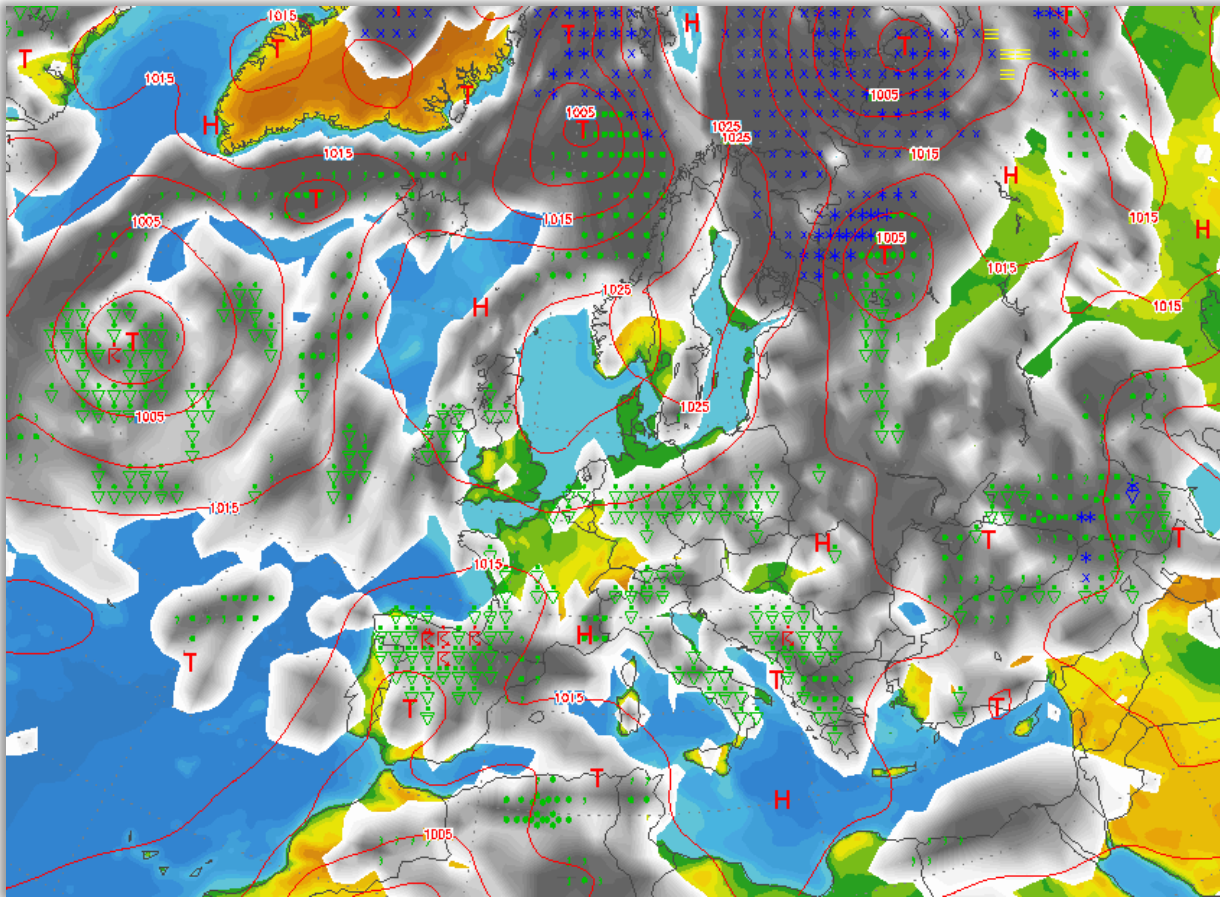
# Simulatoren für alles...



In future, humans will be able to simulate entire universes quite easily. And given the vastness of time ahead, the number of these simulations is likely to be huge. So if you ask the question: 'do we live in the one true reality or in one of the many simulations?', the answer, statistically speaking, is that we're more likely to be living in a simulation.

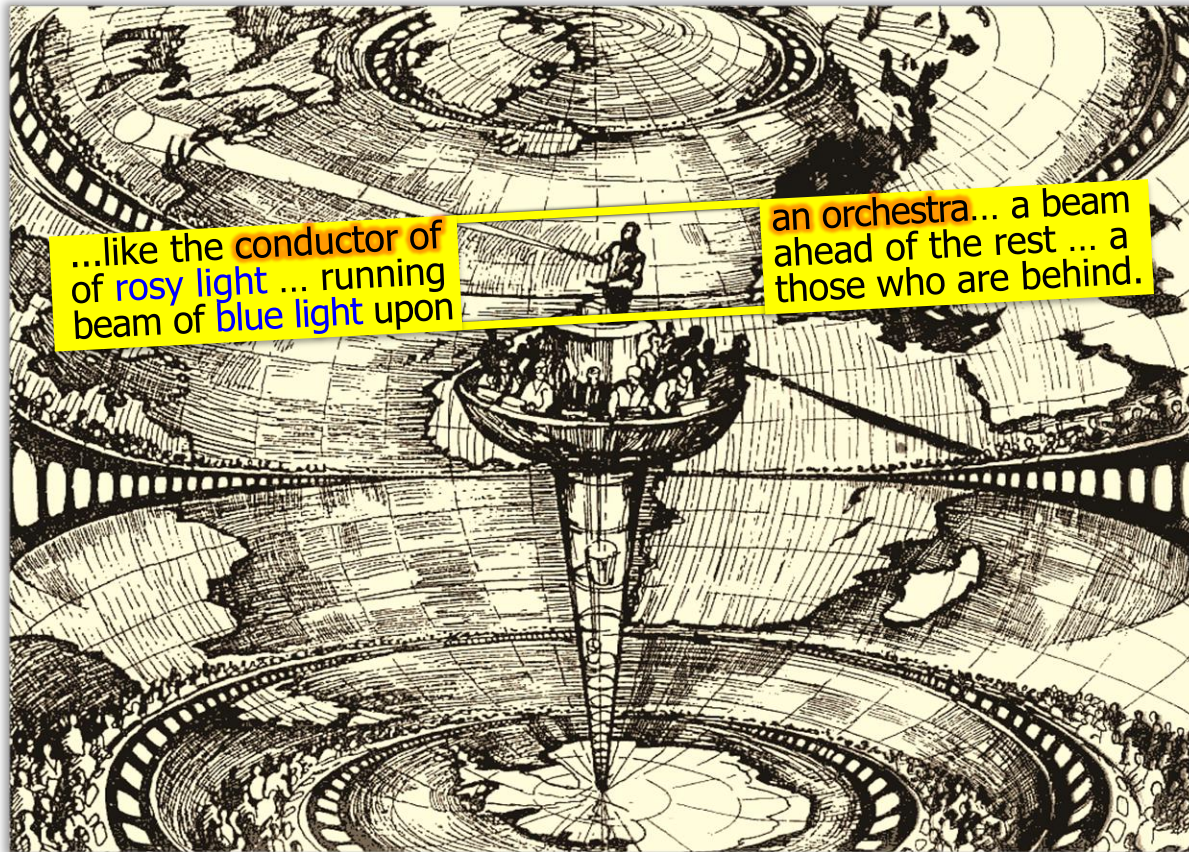
-- Silas Beane, amerikanischer Physiker, 2012.

# Noch eine <sup>sehr</sup> wichtige Simulationsanwendung: Numerische Modelle für die **Wetterprognose** → →



www.wetter3.de

# Historische Vision der Wettervorhersage mittels numerischer Simulation (1922)



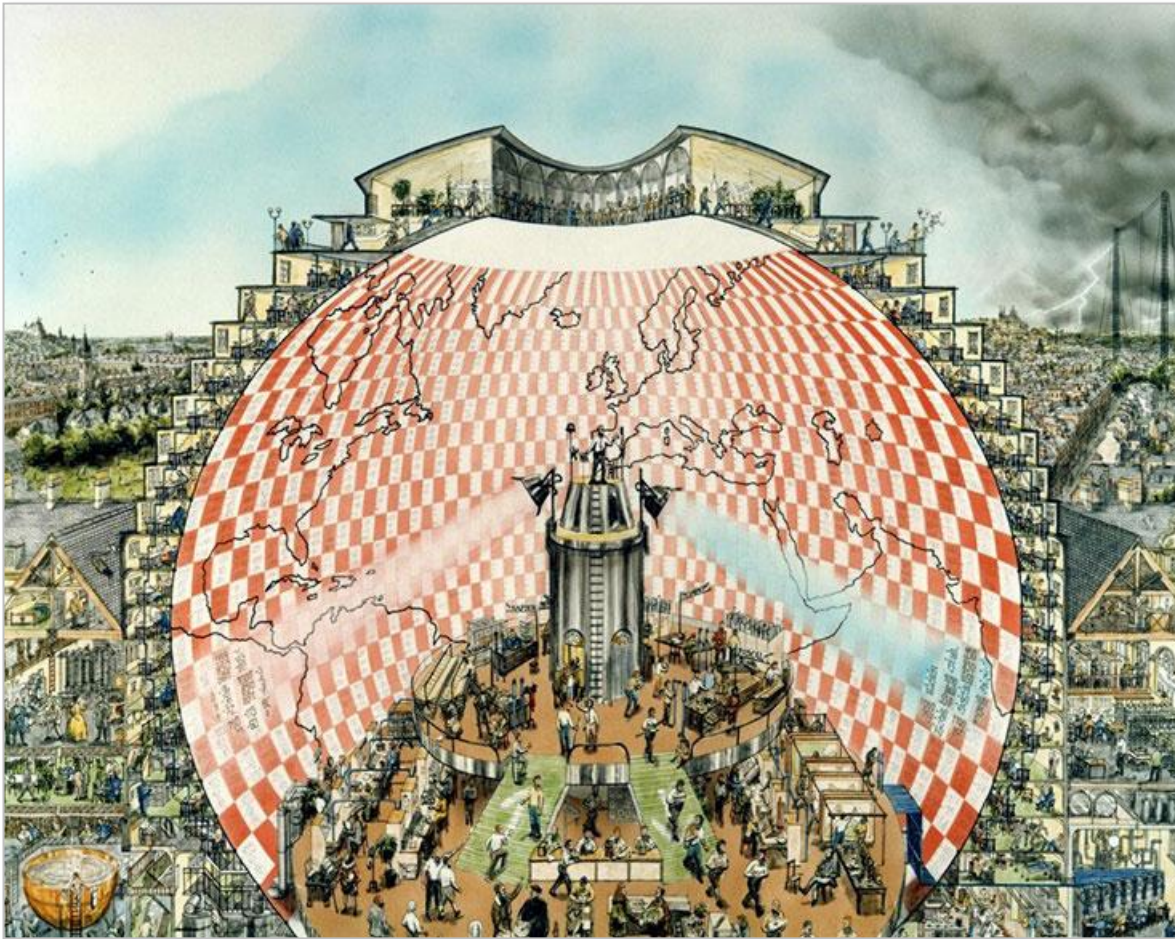
Alf Lannerbäck (1929-2010), Dagens Nyheter, Stockholm

Mehrere 10000 menschliche Rechner in einer kugelförmigen Galerie um einen Dirigenten berechnen die Wettervorhersage. Eine auf die Wände gemalte Erdkarte definiert das Rechengitter, das eine räumliche Auflösung von einem Grad hat. Die Ergebnisse der Berechnung werden in einem Eimer zu einem Telegrafenturm herabgelassen, der die Wetterprognose verbreitet.

Nach: **Lewis Fry Richardson (1922) Weather Prediction by Numerical Process**



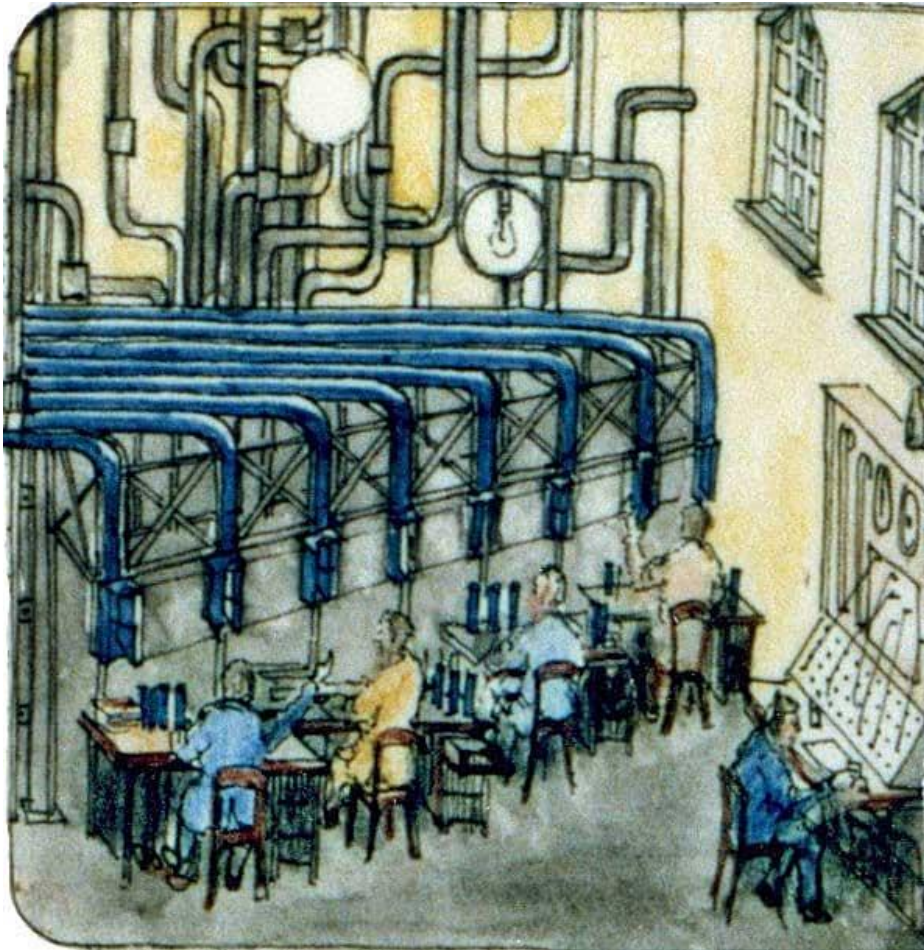
# Historische Vision der Wettervorhersage mittels numerischer Simulation (1922)



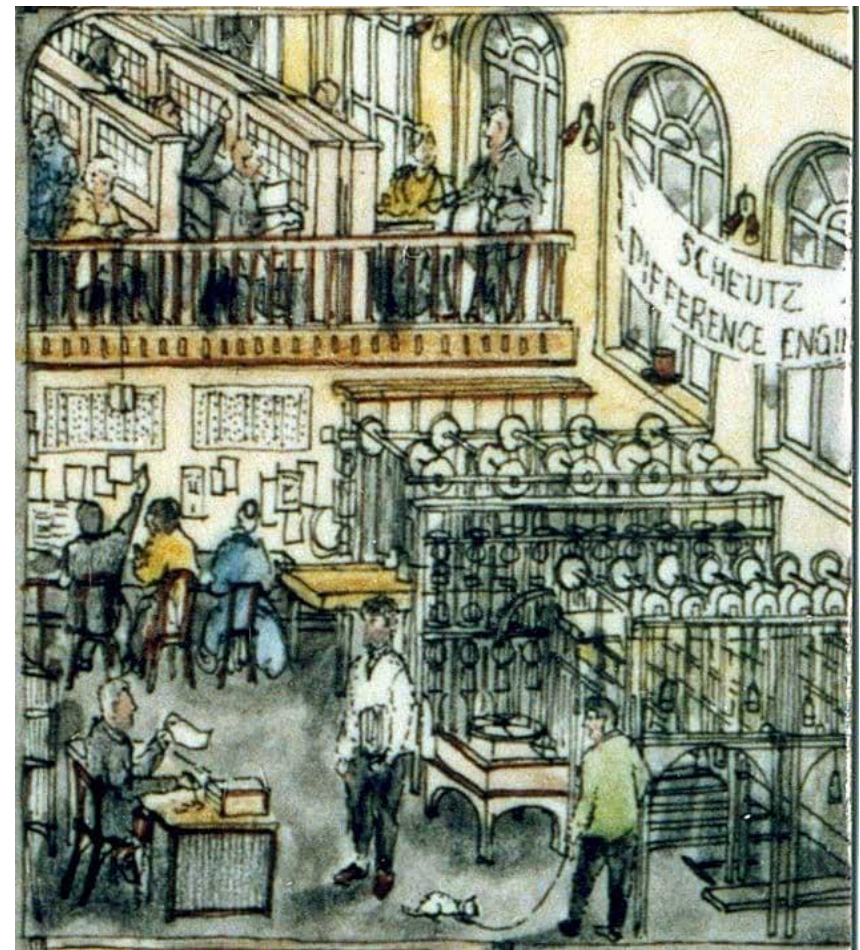
[www.emetsoc.org/resources/rff/](http://www.emetsoc.org/resources/rff/)

„Richardson’s Fantastic Forecast Factory“ von Peter Lynch enthält liebevoll ausgeführte Bilder im Retrotech-Stil von Stephen Conlin („a remarkable work, rich in detail and replete with hidden gems“). Neben Lewis Richardson treten darin u.a. auch Leibniz, Ada Lovelace, George Boole, Charles Babbage und Blaise Pascal auf. Einige Bilddetails →

# Historische Vision der Wettervorhersage mittels numerischer Simulation (1922)



Rohrpost und Schalttafeln zur Kommunikation



(Elektro)mechanische Rechenautomaten

# L.F. Richardson 1922

## *Weather Prediction by Numerical Process*

were published for certain limits of  $h$ , the calculation of

$$M_E = \int v_E \rho \cdot dh, \quad M_N = \int v_N \rho \cdot dh$$

ed. There remains the problem of gusts and local eddies of larger size discussed in Chapter 10.

ances, in which wind can be observed, are extending. Thus during the customary to observe pilot balloons at night by attaching to the balloon a small paper lantern. The wind data available at present relate mainly to observing the wind above fog, or low cloud, kite-balloons can be used as a more accurate method of location by sound\*. For the same purpose projectiles were used at Benson up to heights of 600 m. The projectiles have been spheres, instead of a cherry and they have been projected nearly vertically but in a direction slightly inclined towards the wind so that the returning sphere struck earth which protected the observer.

### Temperature

of Ch. 9 sets out from the records of registering balloons. But these records are not used as a basis for actual forecasts because the balloon is often not found more than a few hours after its ascent.

Since the war temperature observations by aeroplanes have been taken up to about 5 kilometres. Also kite-balloons have been utilized.

Experiments have recently been conducted at Benson Observatory with a view to the use of balloons for observing temperature, or its equivalent, which should give information and which should be cheaper than aeroplane ascents. The results are described in publications entitled "Lizard Balloons for signalling the ratio of temperature  $\dagger$ ," "Cracker balloons for signalling temperature  $\dagger$ " and "Balloons for continuous signalling  $\ddagger$ ." It is hoped also to describe some experiments in which the time of flight of a projectile shot upwards served as an index of the temperature aloft.

### Water in Clouds

The relation in the existing observational data relates to the amount of water in clouds. Experiments have been made to measure this photometrically. And it has been found to be possible when the cloud particles are all of one known size. But in actual practice it is often without definite information concerning the size of the particles.

\* *Report Intern. Commiss. Upper Air*, Bergen 1921, p. 22.

† *Met. Office, London, Professional Notes*, Nos. 18 and 19.

‡ *Soc. 1920 July*, p. 293.

§ *son, "Water in Clouds," Roy. Soc. Lond. Proc. A*, Vol. 96 (1919), p. 19.

### CH. II/2. THE SPEED AND ORGANIZATION OF COMPUTING

It took me the best part of six weeks to draw up the computing forms and to work out the new distribution in two vertical columns for the first time. My office was a heap of hay in a cold rest billet. With practice the work of an average computer might go perhaps ten times faster. If the time-step were 3 hours, then 32 individuals could just compute two points so as to keep pace with the weather, if we allow nothing for the very great gain in speed which is invariably noticed when a complicated operation is divided up into simpler parts, upon which individuals specialize. If the co-ordinate chequer were 200 km square in plan, there would be 3200 columns on the complete map of the globe. In the tropics the weather is often foreknown, so that we may say 2000 active columns. So that  $32 \times 2000 = 64,000$  computers would be needed to race the weather for the whole globe. That is a staggering figure. Per-

haps in some years' time it may be possible to report a simplification of the process. But in any case, the organization indicated is a central forecast-factory for the whole globe, or for portions extending to boundaries where the weather is steady, with individual computers specializing on the separate equations. Let us hope for their sakes that they are moved on from time to time.

**Vergrößerung nächste Seite**

After so much hard reasoning, may one play with a fantasy? Imagine a large hall like a theatre, except that the circles and galleries go right round through the space usually occupied by the stage. The walls of this chamber are painted to form a map of the globe. The ceiling represents the north polar regions, England is in the gallery, the tropics in the upper circle, Australia on the dress circle and the antarctic in the pit. A myriad computers are at work upon the weather of the part of the map where each sits, but each computer attends only to one equation or part of an equation. The work of each region is coordinated by an official of higher rank. Numerous little "night signs" display the instantaneous values so that neighbouring computers can read them.

Each number is thus displayed in three adjacent zones so as to maintain communication to the North and South on the map. From the floor of the pit a tall pillar rises to half the height of the hall. It carries a large pulpit on its top. In this sits the man in charge of the whole theatre; he is surrounded by several assistants and messengers. One of his duties is to maintain a uniform speed of progress in all parts of the globe. In this respect he is like the conductor of an orchestra in which the instruments are slide-rules and calculating machines. But instead of waving a baton he turns a beam of rosy light upon any region that is running ahead of the rest, and a beam of blue light upon those who are behindhand.

Four senior clerks in the central pulpit are collecting the future weather as fast as it is being computed, and despatching it by pneumatic carrier to a quiet room. There it will be coded and telephoned to the radio transmitting station.

Messengers carry piles of used computing forms down to a storehouse in the cellar.

In a neighbouring building there is a research department, where they invent improvements. But there is much experimenting on a small scale before any change is made in the complex routine of the computing theatre. In a basement an enthusiast

# L.F. Richardson 1922 – Forecast-factory for the whole globe

*Weather Prediction by Numerical Process*

haps in some years' time it may be possible to report a simplification of the process. But in any case, the organization indicated is a central forecast-factory for the whole globe, or for portions extending to boundaries where the weather is steady, with individual computers specializing on the separate equations. Let us hope for their sakes that they are moved on from time to time to new operations.

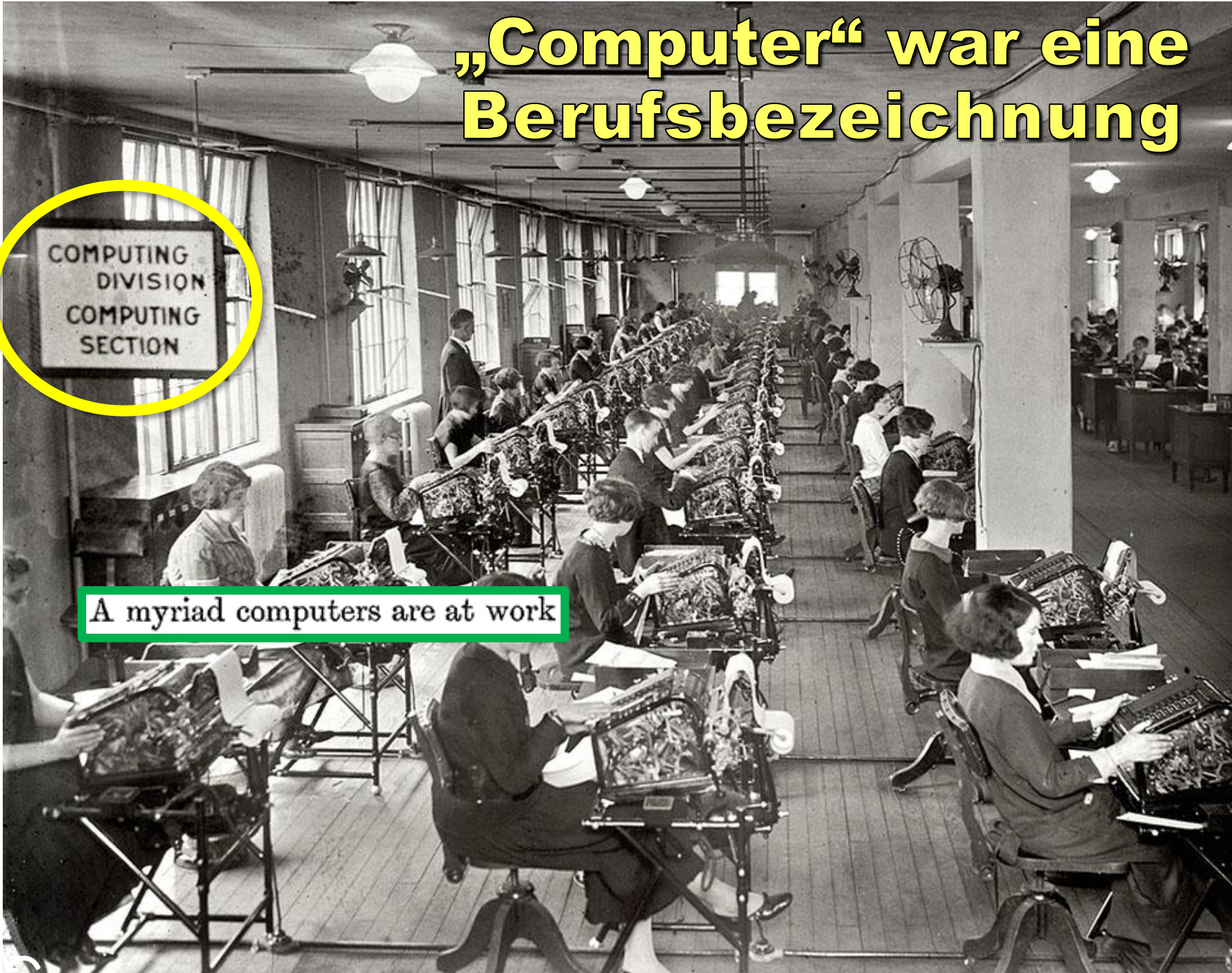
After so much hard reasoning, may one play with a fantasy? Imagine a large hall like a theatre, except that the circles and galleries go right round through the space usually occupied by the stage. The walls of this chamber are painted to form a map of the globe. The ceiling represents the north polar regions, England is in the gallery, the tropics in the upper circle, Australia on the dress circle and the antarctic in the pit. A myriad computers are at work upon the weather of the part of the map where each sits, but each computer attends only to one equation or part of an equation. The work of each region is coordinated by an official of higher rank. Numerous little "night signs" display the instantaneous values so that neighbouring computers can read them.

Lewis Fry Richardson (1881 – 1953) war britischer Meteorologe, Physiker und Chemiker. Ab 1915 entwickelte er seine Ideen zur numerischen Wettervorhersage. Als überzeugter Quäker und Pazifist engagierte er sich ab den 1920er-Jahren stark in der Friedensbewegung. 1940 kündigte er seine Stelle, um sich – nur von seinen Ersparnissen lebend – vollständig der Friedensforschung zu widmen.

# „Computer“ war eine Berufsbezeichnung

COMPUTING  
DIVISION  
COMPUTING  
SECTION

A myriad computers are at work



## Peter Lynch (University College Dublin) 2007 zur Neuauflage von Richardsons Buch (Auszug):

The basic ideas of numerical forecasting and climate modelling date from long before the first electronic computer was constructed. These techniques were first developed by [Richardson](#) about a century ago, and set down in this book. Richardson was concerned with establishing a scientific method of predicting the weather.

The first explicit analysis of the weather prediction problem from a scientific viewpoint was undertaken by the Norwegian scientist [Vilhelm Bjerknes](#). Richardson's forecasting scheme amounts to a precise and detailed implementation of Bjerknes' programme. Richardson had developed a versatile technique for calculating approximate [solutions of nonlinear partial differential equations by numerical approximation](#). Realizing that it could be applied to the evolution of atmospheric flows, he laid out the principles of scientific weather prediction. He constructed a systematic [algorithm for generating the numerical solution](#) of the governing equations, and he applied it to a real-life case, calculating the initial changes in pressure and wind.

Although mathematically correct, Richardson's prediction was physically unrealistic. The essence of the problem is that a delicate dynamical balance between the fields of mass and motion prevails in the atmosphere. This was absent from the initial data used by Richardson; only later did he come to understand this problem. The consequence of the imbalance was the contamination of the forecast by spurious noise. As a result, his 'forecast' was a failure. The significance of Richardson's work was not therefore immediately evident, and [his book had little influence in the initial decades after its appearance](#). The computational complexity of the process and the disastrous results of the single trial forecast tended to deter others from following the trail mapped out by him.

Richardson's genius was to apply mathematical methods to problems that had traditionally been regarded as beyond quantitative assault. The continuing relevance and usefulness of his work confirms the value of his ideas. The approximate methods that he developed for the solution of differential equations are extensively [used today](#) in the numerical treatment of physical problems.

Recognizing that a practical implementation of his method would involve a [phenomenal amount of numerical calculation](#), he imagined a fantastic [Forecast Factory](#) with a huge staff of [human computers](#) busily calculating the terms in the fundamental equations and combining their results in an ingeniously organized way to produce a weather forecast. This may be the earliest example of [massively parallel processing](#).

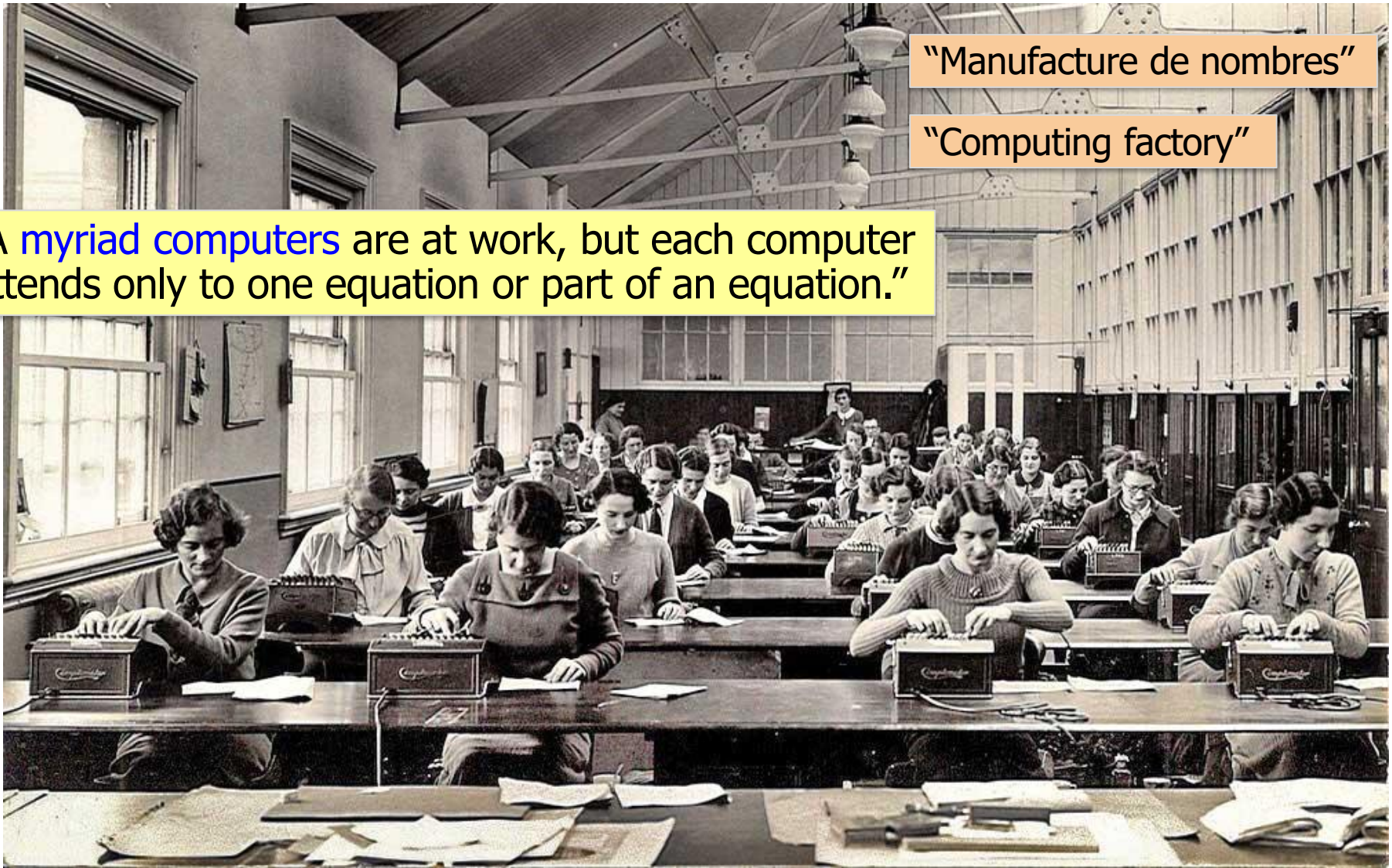
Richardson expressed a dream that, 'some day in the dim future', numerical weather prediction would become a practical reality. However, there were several major practical obstacles to be overcome before numerical prediction could be put into practice. A fuller understanding of atmospheric dynamics allowed the development of simplified systems of equations; regular radiosonde observations of the free atmosphere and, later, satellite data, provided the initial conditions; stable finite difference schemes were developed; and powerful electronic computers provided a practical means of carrying out the prodigious calculations required to predict the changes in the weather. While his book had little effect in the short term, his methods are at the core of atmospheric simulation and it may be reasonably claimed that [his work is the basis of modern weather forecasting](#).

# Als „Computer“ noch Menschen waren...

“Manufacture de nombres”

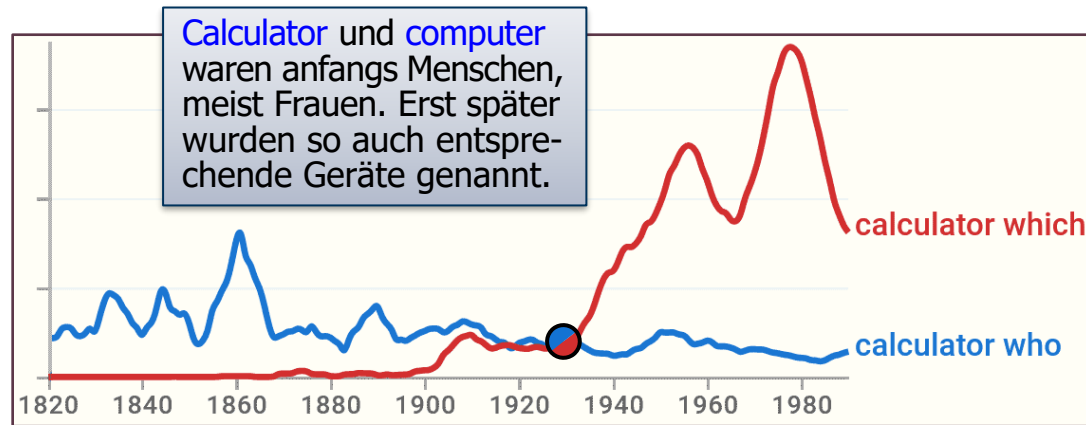
“Computing factory”

“A myriad computers are at work, but each computer attends only to one equation or part of an equation.”

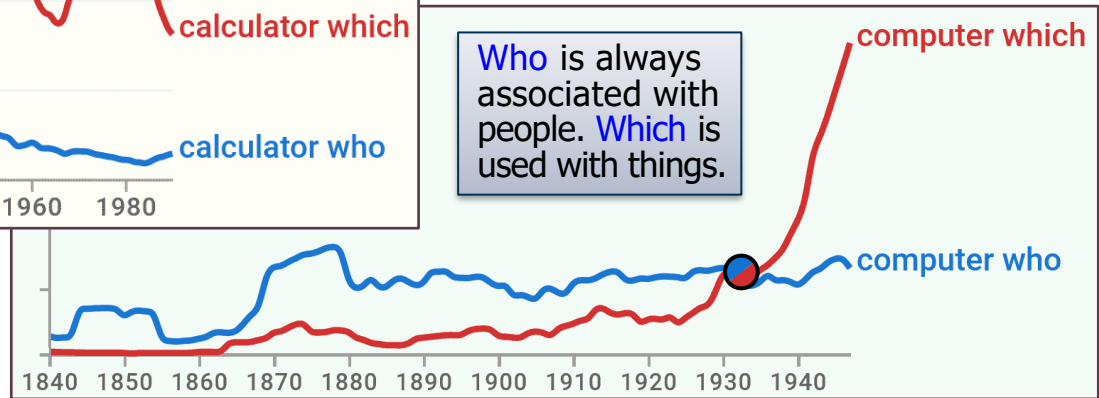


# Als „Computer“ noch Menschen waren...

Anfang der 1950er-Jahre änderte sich im Webster die Definition von „Computer“ von „one who performs a computation“ zu „one or that which...“



Bereits im Mittelenglischen gab es „calkelatur“ als Beruf (auch in der Bedeutung von „Astrologe“), üblich war aber oft spezifischer „mathematician“, „geometer“, „accountant“, „reckoner“ etc.



Zu **rechnen** gab es schon früher, vor dem Erscheinen der elektronischen Taschenrechner bzw. der elektronischen Computer und der PCs mit ihren Spreadsheets und Computeralgebrasystemen so einiges: **Nautische Tabellen** mussten nach den Gesetzen der Himmelsmechanik berechnet werden, **Lebensversicherungen** berechneten mit statistischen Modellen Risiken und Prämien, **Bauingenieure** die Tragfähigkeit von Brücken, Staudämmen und anderen Bauwerken. Linsensysteme von Kameras, Mikroskopen und Fernrohren erforderten Berechnungen für viele einzelne **Lichtstrahlen**. Und das Militär berechnete **Geschossbahnen** für die Munition immer weiterreichender Geschütze unter diversen Umwelteinflüssen (Luftdruck, Temperatur, Luftwiderstand, Abschussgeschwindigkeit etc.). **Raketenflugbahnen** und die physikalischen Vorgänge beim Zünden einer Wasserstoffbombe führten an die Grenze des praktisch Möglichen beim manuellen Rechnen.

Die Berechnungen erledigten **Menschen** – calculators, computers, comptometrists wurden sie u.a. im Englischen genannt, oder Rechner, **Rechnerin**, Rechenfräulein und Rechenmädchen im Deutschen. Sie rechneten im Kopf, mit Tusche und Papier oder nutzten (ab Ende des 19. Jahrhunderts) einfache mechanische Rechenmaschinen.





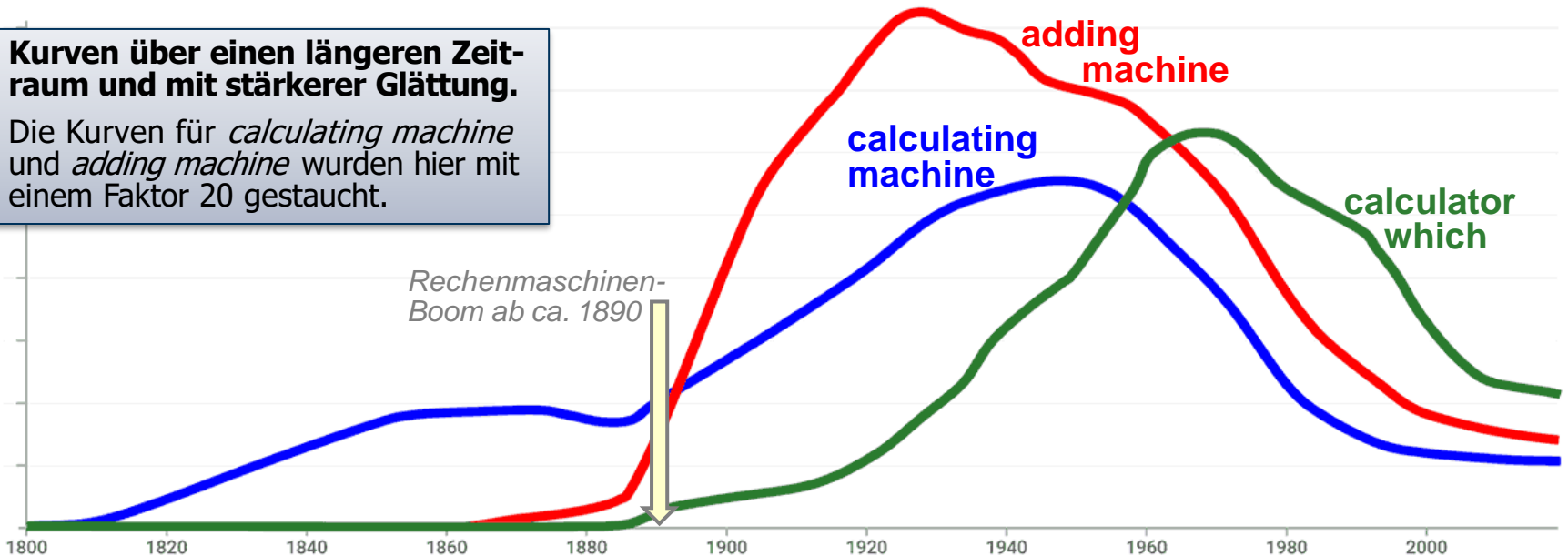
U-M Statistics Lab, 1943



Rechenzentrum Sparkasse Köln, 1950er-Jahre

**Kurven über einen längeren Zeitraum und mit stärkerer Glättung.**

Die Kurven für *calculating machine* und *adding machine* wurden hier mit einem Faktor 20 gestaucht.





*Rechendienst der Hamburger Sternwarte*



*Ingenieure im Rechenbüro bei der Firma AEG*

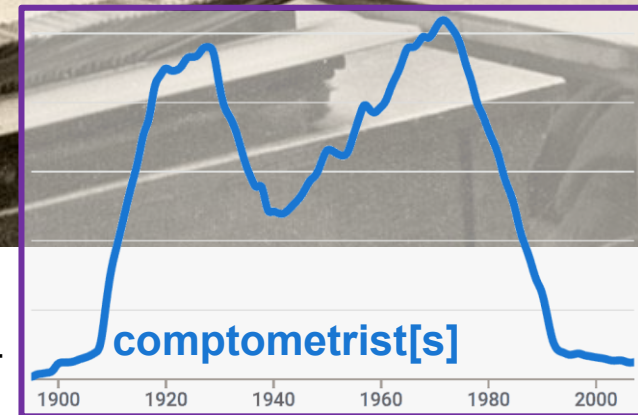


# Als „Computer“ noch Menschen waren...

State Library of South Australia [B 21444], <https://slsa-collections.s3.amazonaws.com/d9/05/96b3-4495-55da-b245-d254368b80e7.jpg>



„Comptometristen“ (so genannt nach der „Comptometer“-Rechenmaschine) des Australian Women's Army Service im Zweiten Weltkrieg; im Hintergrund Teile der Uniformausrüstung mit Stahlhelmen.

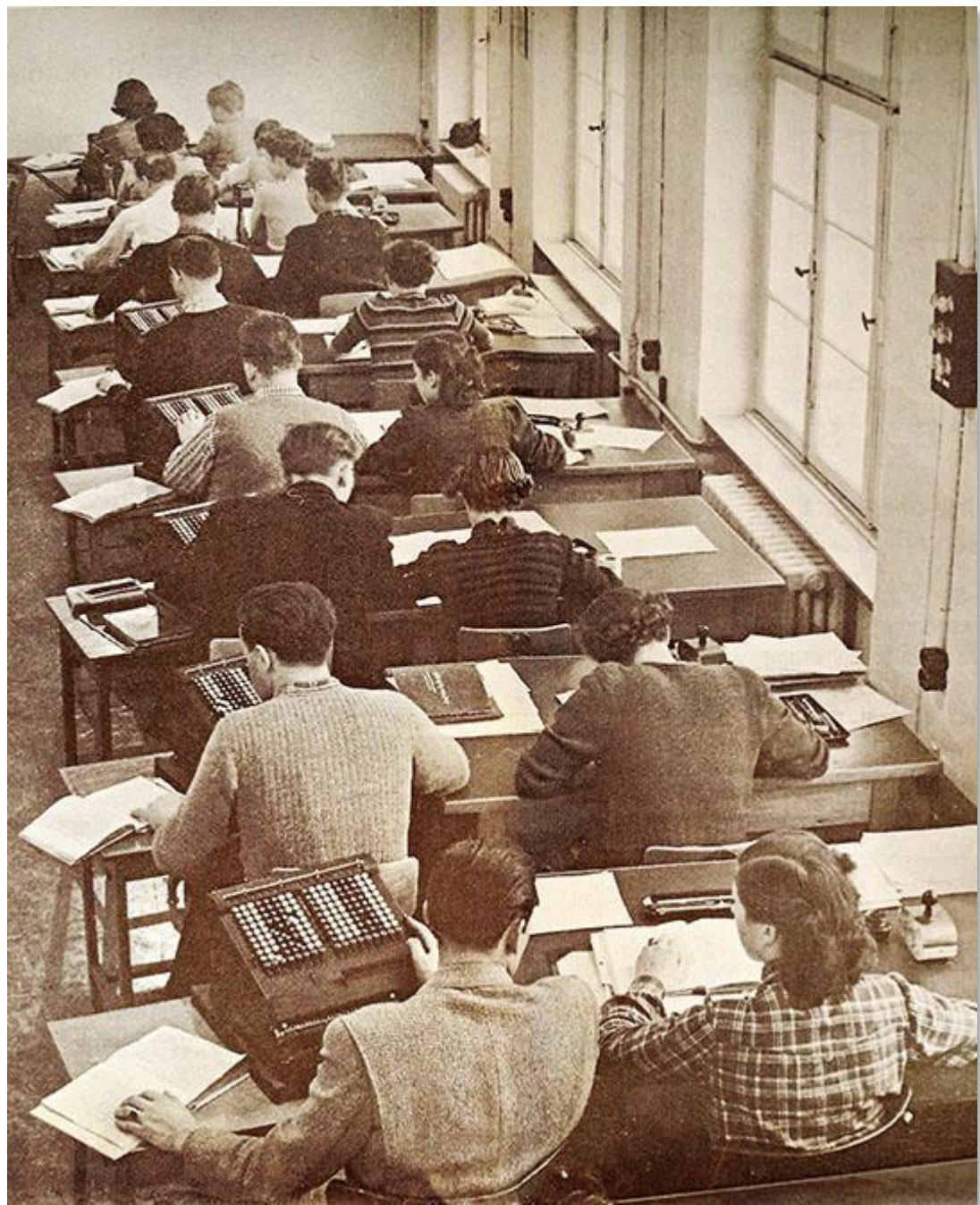


# Als „Computer“ noch Menschen waren...



Adding up figures, processing invoices and acting as a corporate version of a cash register --- young women would have been given this kind of clerical work. The noise in the place was phenomenal, the clickity clack of those machines was incredible. The job required enormous concentration and wasn't well paid. For these women, such jobs filled in time between finishing school and getting married or starting a family. [www.heraldsun.com.au]





# Als „Computer“ noch Menschen waren...



# Als „Computer“ noch Menschen waren...

*In der wissenschaftlichen Welt waren menschliche „Computer“ seit Jahrhunderten beschäftigt worden, um mit der Hand Tafeln mathematischer Funktionswerte zu berechnen. Babbage hatte in der Tat seine Difference Engine gebaut, um diese Art rechnender Arbeit zu automatisieren. Bereits 1773 wurde Mary Edwards, ein weiblicher „Computer“, von der britischen Regierung beauftragt, astronomische Tafeln für das nautische Jahrbuch zu berechnen. Während der Depression der 1930er nahm die US-Regierung ein Grossprojekt über mathematische Tafeln in Angriff, um arbeitslosen Wissenschaftlern*



# Als „Computer“ noch Menschen waren...



*dadurch Arbeit zu verschaffen. Die technische Leitung des Projektes hatte die Mathematikerin Gertrude Blanch, welche die Gruppe auch noch während des Zweiten Weltkriegs leitete, da sie verschiedene Kriegsprojekte rechnerisch unterstützte. Die militärischen Dienststellen hatten ihre eigenen Mitarbeiterinnen. Das ballistische Forschungslabor der US-Armee beschäftigte beispielsweise zweihundert weibliche „Computer“. Diese „Computer“ verwendeten häufig zur Unterstützung ihrer Arbeit mechanische Tischrechenmaschinen.*

Text aus: Janet Abbate: Interpreten der Datenverarbeitung – Frauen im 2. Weltkrieg und die frühe Computerindustrie, 2015





# Als „Computer“ noch Menschen waren...



Wenn man in seiner Haupttätigkeit die rechte Hand zum Schreiben nutzte, dann bediente man die Rechenmaschine mit der linken Hand: „La main droite restant libre – aucune fatigue pour l’opérateur qui peut inscrire les résultats obtenus.“ (Aus einer Reklame zu Sanders-Rechenmaschinen von 1924)

„Computer“ bei der [NASA](#) (Jet Propulsion Lab, Pasadena) Mitte der 1950er-Jahre: *Using simple pencil and paper – along with breadbox-sized adding machines for basic arithmetic – about 30 women hand-plotted calculations for all of JPL’s launches and encounters.*

# Als „Computer“ noch Menschen waren...



Jack Lemmon als „human computer“ in der Rolle des Versicherungsangestellten C.C. Baxter im Film „[The Apartment](#)“ von Billy Wilder (fünf Oskars, mit [Shirley MaLaire](#)) von 1960. Für die Szenen in dem riesigen Grossraumbüro wurden die hinteren Reihen mit kleinwüchsigen Schauspielern besetzt. Die elektro-

mechanische Rechenmaschine ist eine „Friden STW-10“ (Lemmon berechnet hier angeblich 355/133). Nicht realitätsgetreu ist die Aufstellung der Maschinen auf der rechten Pultseite.



# Jack Lemmon (& Shirley MacLaine): "The Apartment" (Billy Wilder, 1960)



Video-Ausschnitt: Büro-Szene am Anfang des Films

# Jack Lemmon (& Shirley MacLaine): "The Apartment" (Billy Wilder, 1960)

Video Teil 2



"I actually worked with one of these machines back in 1963 in my very first office job. I was trained only to do addition. But after completing a routine addition job, I was curious to see what entering dividend and divisor and pressing the two division buttons would do. I pressed the two division buttons and the monstrous machine burst into life. The rear carriage hit the right-hand cabinet first and made a terrible sound. Then the rear carriage careened leftwards and smashed into the left-hand cabinet, again groaning like a dinosaur taken down by an elephant gun. The rear carriage centralized and just kept on groaning terribly. All you could hear was the internal clink clink of cogs and wheels as they dropped out of position and onto the floor of the machine." -- Robin Bennett

Die Situation eines Grossraumbüros mit mechanischen Rechenmaschinen wird im Film sicherlich etwas überzeichnet; aber die **Realität** war nicht so weit davon entfernt, wie dieses Foto bezeugt. Der Hintergrund des Bildes ist undeutlich; dort stehen offenbar weitere Maschinen.

Vermutlich war es Sommer und die Herren durften ihre Jacketts während der Arbeit ausziehen.

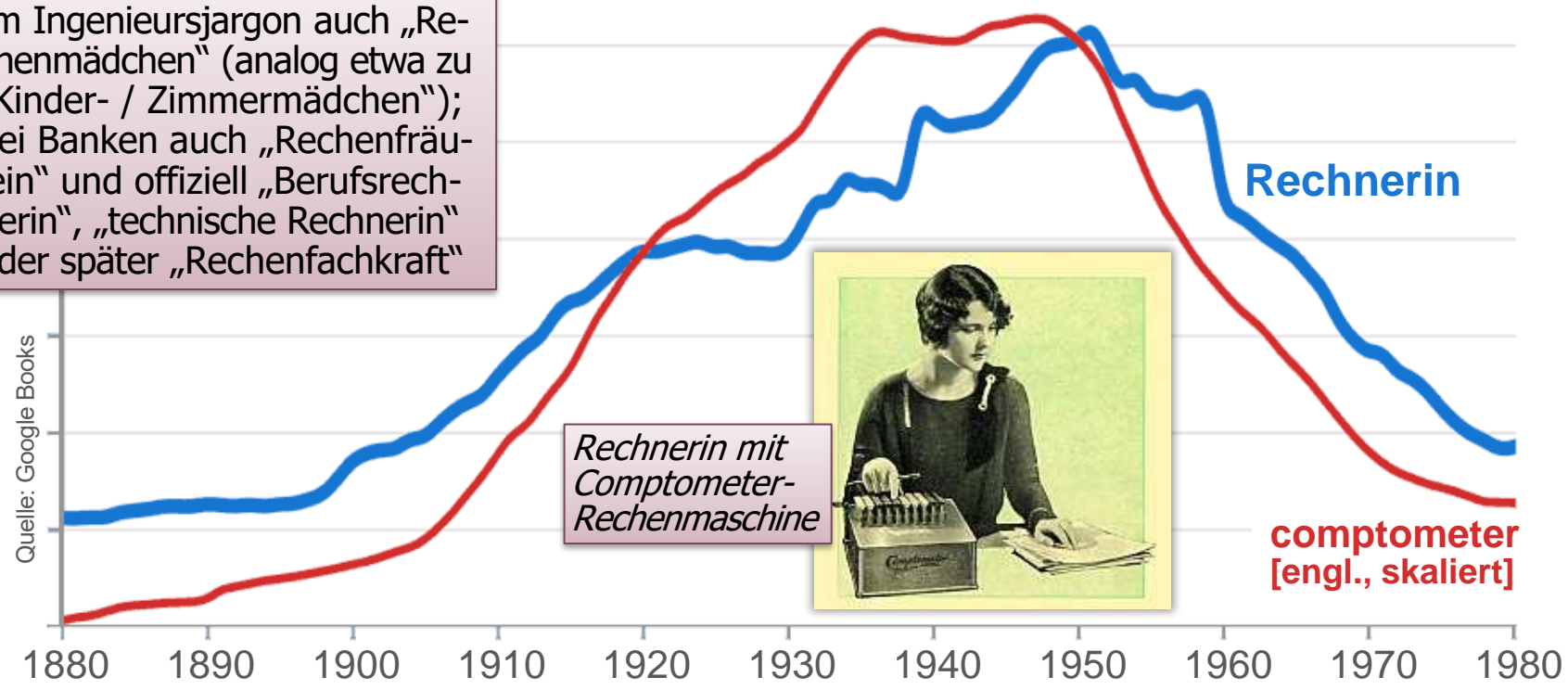
Bildquelle: eBay



„Rechner“ als männliches Pendant eher selten

# „Rechnerin“ war die deutsche Berufsbezeichnung

Im Ingenieursjargon auch „Rechenmädchen“ (analog etwa zu „Kinder- / Zimmermädchen“); bei Banken auch „Rechenfräulein“ und offiziell „Berufsrechnerin“, „technische Rechnerin“ oder später „Rechenfachkraft“



„Wissenschaftliche Rechnerinnen“ gab es z.B. an astronomischen oder mathematischen Universitätsinstituten; ab Mitte der 1960er-Jahre abgelöst durch „Mathematisch-Technische Assistentinnen“, die seinerzeit Wissenschaftler bei der Nutzung von Grossrechnern unterstützten. Als die elektronischen Rechenautomaten aufkamen, kam es, zunächst in den USA, zu einer Verschiebung der Bedeutung: Im Februar 1945 schrieb z.B. der Computerpionier George Stibbitz von den Bell Labs in einem Bericht über Relay-Computer: „Human agents will be referred to as **operators** to distinguish them from **computers** (machines).“

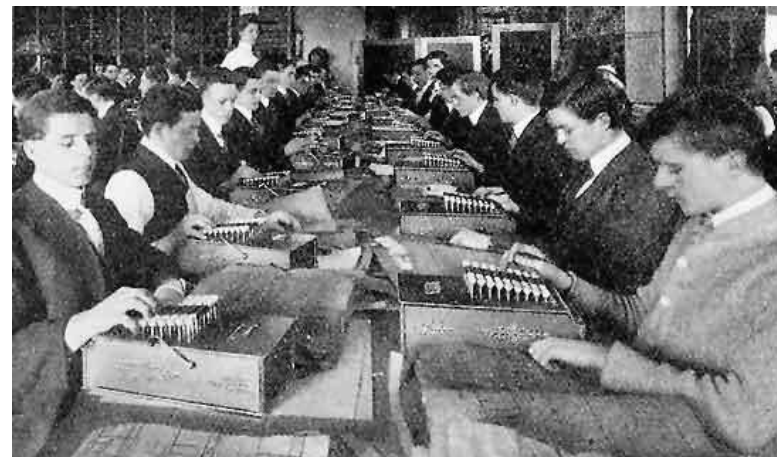




Externer Elektromotor

Handkurbel

Eine typische Rechenmaschine eines „Computers“



# Comptometer – Klassiker der Büro- bzw. Tischrechenmaschinen



Modell 1 hatte noch einen Holzkasten;  
alle späteren Modelle ein Metallgehäuse

- **Comptometer** (ab 1885): Erste mechanische Rechenmaschine, die ausschliesslich durch das Drücken von Tasten (sowie das Drehen an einer Kurbel) bedient wurde. Jede Dezimalstelle hatte eine Reihe von Tasten mit den Werten von 1 – 9. Durch gleichzeitige Zifferneingabe konnten die Zahlen im Vergleich zu heutigen Taschenrechnern viel schneller eingetastet werden.
- Comptometer waren i.W. **Additionsmaschinen**; die Subtraktion konnte durch die 9er-Komplementmethode erzielt werden (Zifferntasten waren dazu in Miniaturschrift mit dem 9er-Komplement markiert).
- Im Laufe der Zeit gab es div. Modelle; im Bild: **Modell 1** (1887 – 1903).



# Diverse Comptometer-Modelle im Zeitverlauf

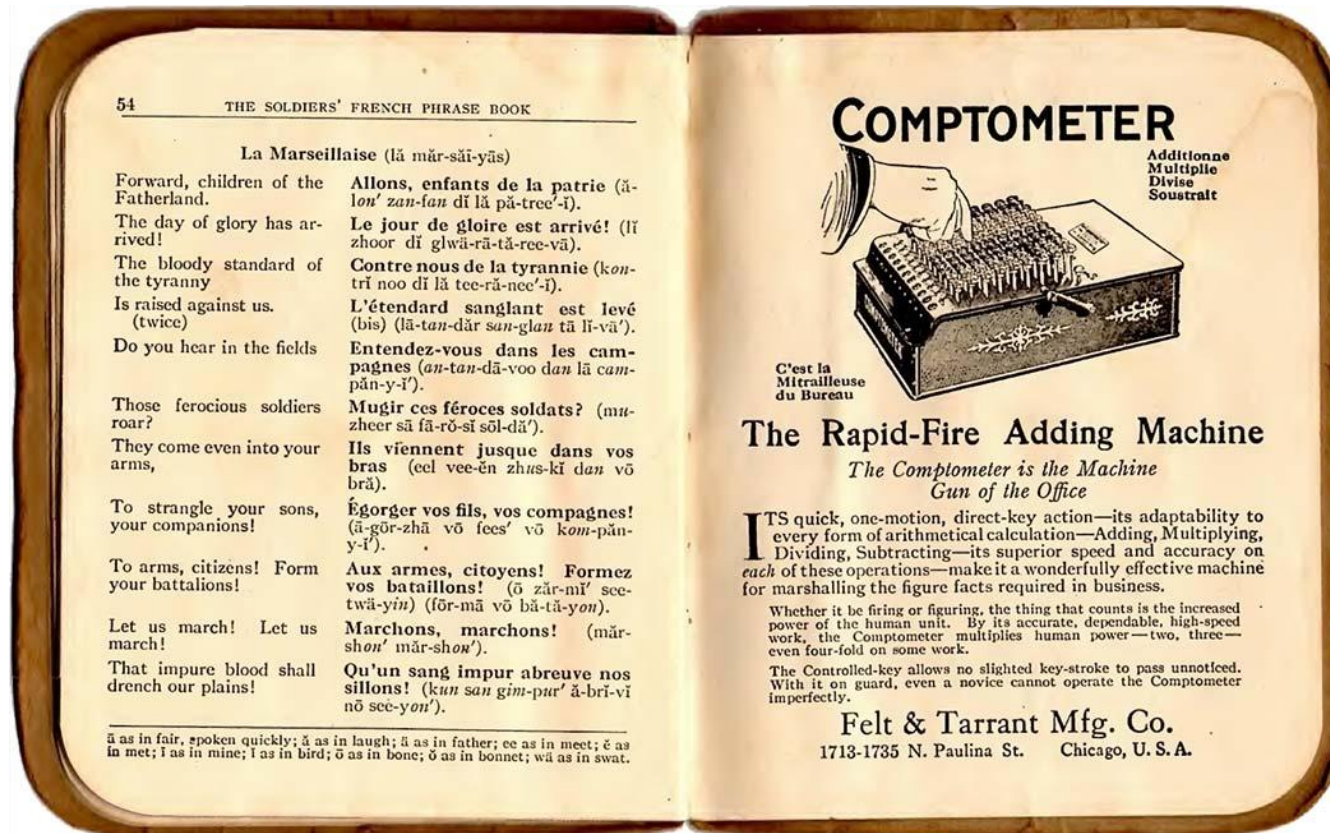


Le Comptomètre est la première machine à calculer à clavier direct à avoir connu un succès commercial réel. Un clavier direct est **extrêmement rapide** car chaque touche ajoute ou soustrait sa valeur au total dès qu'elle est enfoncée et **tous les doigts de la main peuvent être utilisés simultanément**. C'est ainsi que le Comptomètre fut appelé la **mitrailleuse du bureau** dans des publicités de la Première Guerre mondiale. Depuis sa commercialisation en 1887, il est amélioré constamment; d'abord en le rendant plus fiable et plus rapide, puis avec un modèle électromécanique vers 1935. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Comptomètre>



# The Machine Gun of the Office

## or: Paris is as beautiful as Chicago



54

THE SOLDIERS' FRENCH PHRASE BOOK

### La Marseillaise (lá mār-sāi-yās)

Forward, children of the  
Fatherland.

The day of glory has ar-  
rived!

The bloody standard of  
the tyranny

Is raised against us.  
(twice)

Do you hear in the fields

Those ferocious soldiers  
roar?

They come even into your  
arms,

To strangle your sons,  
your companions!

To arms, citizens! Form  
your battalions!

Let us march! Let us  
march!

That impure blood shall  
drain our plains!

Allons, enfants de la patrie (ā-  
lon' zan-fan dī lá pá-tree'-ī).

Le jour de gloire est arrivé! (lī  
zhoor dī glwā-rā-tā-ree-vā).

Contre nous de la tyrannie (kon-  
trī noo dī lá tee-rā-nee'-ī).

L'étendard sanglant est levé  
(bis) (lā-tan-dār san-glan tā li-vā').

Entendez-vous dans les cam-  
pagnes (an-tan-dā-voō dan lá cam-  
pān-y-ī').

Mugir ces féroces soldats? (mu-  
zheer sā fá-rō-sī sōl-dā').

Ils viennent jusque dans vos  
bras (ecl vee-ēn zhus-kī dan vō  
brā).

Égorger vos fils, vos compagnes!  
(ā-gōr-zhā vō feces' vō kom-pān-  
y-ī').

Aux armes, citoyens! Formez  
vos bataillons! (ō zār-mī' see-  
twā-yin) (fōr-mā vō bā-tā-yon).

Marchons, marchons! (mār-  
shon' mār-shon').

Qu'un sang impur abreuve nos  
sillons! (kun san gim-pur' ā-brī-vī  
nō see-yon').

ā as in fair, spoken quickly; ā as in laugh; ā as in father; ee as in meet; ē as  
in met; ī as in mine; ī as in bird; ō as in bone; ō as in bonnet; wā as in swat.

## COMPTOMETER



Additionne  
Multiplie  
Divise  
Soustrait

C'est la  
Mitrailleuse  
du Bureau

### The Rapid-Fire Adding Machine

*The Comptometer is the Machine  
Gun of the Office*

**I**TS quick, one-motion, direct-key action—its adaptability to every form of arithmetical calculation—Adding, Multiplying, Dividing, Subtracting—its superior speed and accuracy on each of these operations—make it a wonderfully effective machine for marshalling the figure facts required in business.

Whether it be firing or figuring, the thing that counts is the increased power of the human unit. By its accurate, dependable, high-speed work, the Comptometer multiplies human power—two, three—even four-fold on some work.

The Controlled key allows no slighted key-stroke to pass unnoticed. With it on guard, even a novice cannot operate the Comptometer imperfectly.

Felt & Tarrant Mfg. Co.  
1713-1735 N. Paulina St. Chicago, U. S. A.

Die Comptometer-Firma Felt & Tarrant verteilte gegen Ende des Ersten Weltkriegs ein 56-seitiges Büchlein „The Soldiers' French Phrase Book“ an die „soldier boys“ der amerikanischen Expeditionstreitkräfte – als Verständigungshilfe für das „everyday military and social life“ in Frankreich – „or, more likely, sold to their loved ones, who may or may not have passed them along to an actual doughboy.“ [Richard Rubin]

Nach Kriegseintritt der USA im April 1917 erreichten die ersten amerikanischen Truppen Ende Juni 1917 Frankreich. Ab dann kamen täglich bis zu 10000 amerikanische Soldaten an; im Juli 1918 waren über eine Million amerikanische Soldaten in Frankreich. Diese kämpften in Abstimmung mit den englischen sowie französischen Verbänden an der Westfront gegen die deutschen Truppen. Ob das Büchlein im Schützengraben wirklich nützlich war?

Das Phrase Book sollte Soldaten, die noch nie französisch gesprochen hatten, helfen, sich in Frankreich zurechtzufinden, einfache Fragen zu stellen, und Wörter einigermaßen verständlich nach Lautschrift auszusprechen. Dazu gehörten z.B. die französischen Äquivalente zu „where do you come from?“ (doo vī-nā-voō'), „my sweetheart“ (ma shā-ree'), „where is the kitchen?“, „wind your watch“, „have you my rifle?“, „you have too many shirts“, „why have you two uniforms?“, „I should like a cigarette“, „a bullet pierced his lips“, „bring some meat right away“, „Paris is as beautiful as Chicago“, „you make me sick“, „give me the password“, „long live America!“, „do you dance?“, „she is a doll“, „a love-letter“ (īn bee-yā doo'). Am Ende ist die Marseillaise und eine Comptometer-Reklame abgedruckt („The Comptometer is the Machine Gun of the Office – Additionne, Multiplie, Divise, Soustrait; c'est la mitrailleuse du Bureau. Whether it be firing or figuring, the thing that counts is the increased power of the human unit...“)

# Boss saves all the cost...



she saves half the time...

boss saves all the cost...

*National's* adding machine ...  
Live keyboard\* with **keytouch adjustable** to each operator!

**Kostenersparnis** durch motorgetriebene und schneller zu bedienende Rechenmaschinen war ein wichtiges Verkaufsargument – solche Anzeigen richteten sich an die (männlichen) Chefs.

# Comptometer-Schulungen



Im Jahr 1920 erhielten 7000 Personen in den Vereinigten Staaten Diplome von einer der zahlreichen **Comptometer-Schulen**, die später auch in Europa entstehen sollten.

Bei der Ansprache der Büroangestellten, die auf der Suche nach Ausbildung und letztlich nach Arbeit waren, verfolgten die Rechenmaschinen-Hersteller einen anderen Ansatz als der, der sich an die Chefs richtete: „Ein mehrwöchiger Kurs an unserer Comptometer-Schule macht aus einem unerfahrenen Angestellten einen Experten, der ein **hohes Gehalt** erzielen kann.“

# „Computer“ mit Comptometer-Rechenmaschinen



GIRL with experience of Anita Mark 10 Comptometer, wanted for city office. Willing to do small amount of typing. Good wages. Apply Box PT 1221.

Büroangestellte 1920 in London: Hatte man als einfache Angestellte selten etwas zu notieren, sondern im Wesentlichen Zahlenkolonnen zu addieren, bediente man die Maschine mit der rechten Hand.

# Rechenmaschinen für „Computer“

Anzeige von 1903 (Illustrierte schweizerische Handwerker-Zeitung):

196 **Illustr. Schweiz. Handw.-Zeitung** (Organ für die offiziellen Publikationen des Schweizer. Gewerbevereins) Nr. 48

**Zu verkaufen:**  
Eine grosse Anzahl  
**Röhrenmodelle**  
von 7 1/2—100 cm Lichtweite,  
stehend und liegend, äusserst  
solid.  
Offerten unt. Chiffre M 2558  
an die Expedition.

**Zu verkaufen:**  
Ein 6 HP  
**Benzinmotor**  
tadellos laufend, kann noch im  
Betrieb besichtigt werden. —  
Kaufspreis Fr. 1500. —  
Offerten unter Chiffre B 383  
befördert die Expedition.

Eine willkommene Ueberraschung!  
**Universal-Rechenmaschine**  
D. R. G. M. 195509. Ausland. Patente angemeldet.  
Capacität: 1 Milliarde.  
**Preis Fr. 23.**  
Addiert, subtrahiert, multipliziert, dividiert, etc.  
Illustr. Prospekte nebst Anerkennungs-Schreiben  
gratis und franko.  
**Geo Mylius, Technisches Bureau,**  
Genf, rue Céard 7.



Herr Architekt Kurt Hertel, München schreibt:  
Nachdem ich nunmehr Gelegenheit hatte, Ihre neue „Universal-Rechenmaschine“ praktisch zu erproben, bestätige ich Ihnen gerne, dass der Apparat meinen vollen Beifall findet, obwohl ich zu gleicher Zeit und seit Jahren eine Maschine zum Preise von M. 400 benütze. 586


**„Helvetia“**  
Schweiz. Unfall- und Haftpflicht-Versicherungs-Anstalt  
in Zürich

**Zu kaufen gesucht:**  
Eine gebrauchte, gut erhaltene  
**Blechscher**  
für mindestens 10 mm starkes  
Blech und eine starke 432  
**Stanze**  
für Maschinenbetrieb von  
**Gebr. Herzog**  
mech. Werkstätte, Egnach (Th.).

**Emil Steiner**  
Wiedikon-Zürich.  
Gebrauchte Dampf-Anlagen,  
Kessel, Motoren,  
Pumpen

Anzeige von 1920:

**Universal-Tasten-Rechenmaschine**  
**Rekord**  
multipliziert  
subtrahiert  
dividiert  
addiert



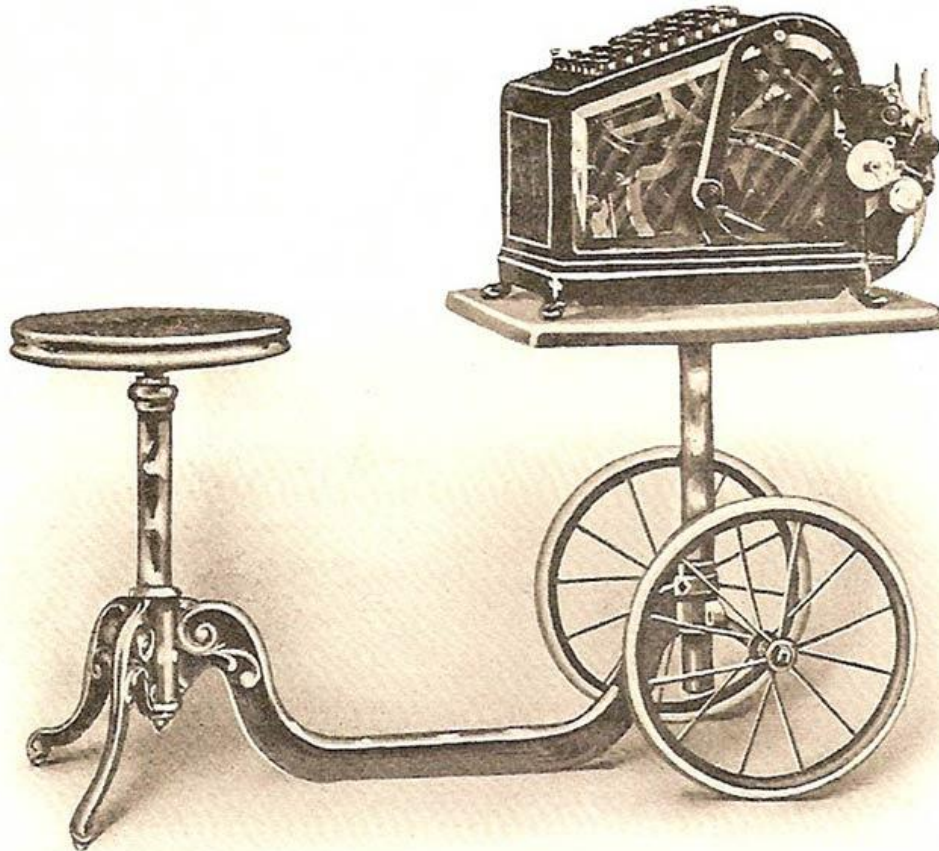
Generalvertrieb für die Schweiz:  
**ERNST JOST - ZÜRICH 2**  
Schanzengraben 25 :: Telephon Selnu 34 70

Links: [Rechenmaschinenboom](#) (oder gar „-hype“?) um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert: Neben Blechscheren, Dampfanlagen und Benzinmotoren werden nun auch Universalrechenmaschinen mit einer „Capacität 1 Milliarde“ angeboten. Nicht alles, was damals angepriesen wurde, war allerdings in der Praxis nützlich.

Rechts: [Ernst Jost](#) (1888-1972), aufgewachsen auf der Halbinsel Au am Zürichsee, verkaufte ab 1916 Rechenwalzen und Rechenmaschinen; er wurde Generalvertreter Schweiz für bedeutende internationale Hersteller. Ab 1936 Produktion eigener Rechenmaschinen („[Precisa](#)“) in Zürich-Oerlikon; Precisa AG und Ernst Jost AG beschäftigten in ihren besten Zeiten zusammen 1500 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (2)

Schon bald gab es sinnreiche Zusätze und Ergänzungen: Nicht nur die Maschine, sondern gleich der ganze Arbeitsplatz wurde **mobil** (links), oder ein externer Motor, der die mechanische Maschine „animierte“, konnte an das „**elektrische Licht**“ angeschlossen werden – Antriebshebel oder Kurbel erübrigten sich so (unten rechts). Letzteres erinnert doch ein wenig an das legendäre Velo Solex... → das Fahrrad mit **Hilfsmotor**.

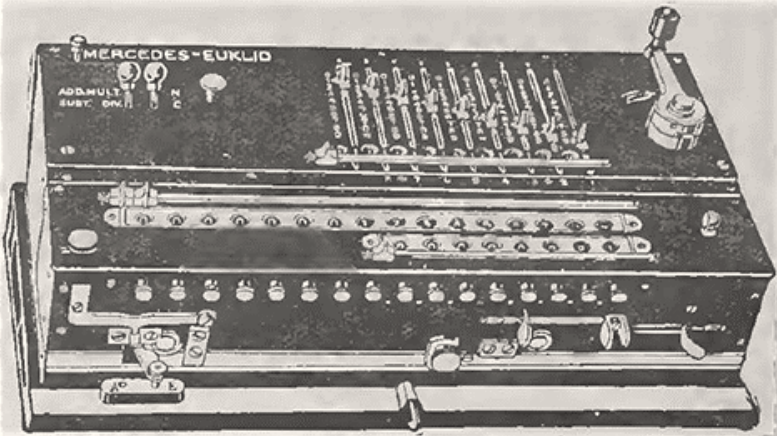


Bilder: [www.officemuseum.com/calculating\\_machines\\_adding\\_listing.htm](http://www.officemuseum.com/calculating_machines_adding_listing.htm)

# Rechenmaschinen für „Computer“ (3)

Anzeige ca. 1914

**MERCEDES-EUKLID**



**CALCULATING AND ADDING MACHINE**

*The most advanced Machine on the Market*

Practically automatic, positive action, with actual figures of both factors visible throughout the Calculation.

THE ONLY FULLY AUTOMATIC ELECTRICALLY DRIVEN MACHINE EVER EXHIBITED IN THE UNITED KINGDOM

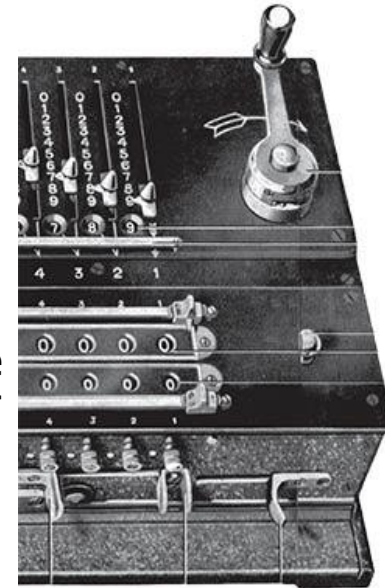
*Other Models*

STANDARD HAND DRIVEN, KEY SETTING AND DUPLEX

*Concessionaire for the United Kingdom*

**FRANK E. GUY, 35 Queen Victoria St., London, E.C.**

Neben dem Comptometer stellten mehrere andere Firmen im 20. Jh. ebenfalls mechanische (bzw. später elektromechanische) Rechenmaschinen her.



Die [Mercedes-Euklid](#)-Rechenmaschinen aus Berlin (später: Zella-Mehlis in Thüringen) kamen ab [1906](#) auf den Markt und wurden laufend fortentwickelt, bis hin zu elektrischen tastaturbedienten 4-Spezies-Maschinen; das letzte Modell wurde [1969](#) in der DDR (unter dem Markennamen „Cellatron“) gefertigt.

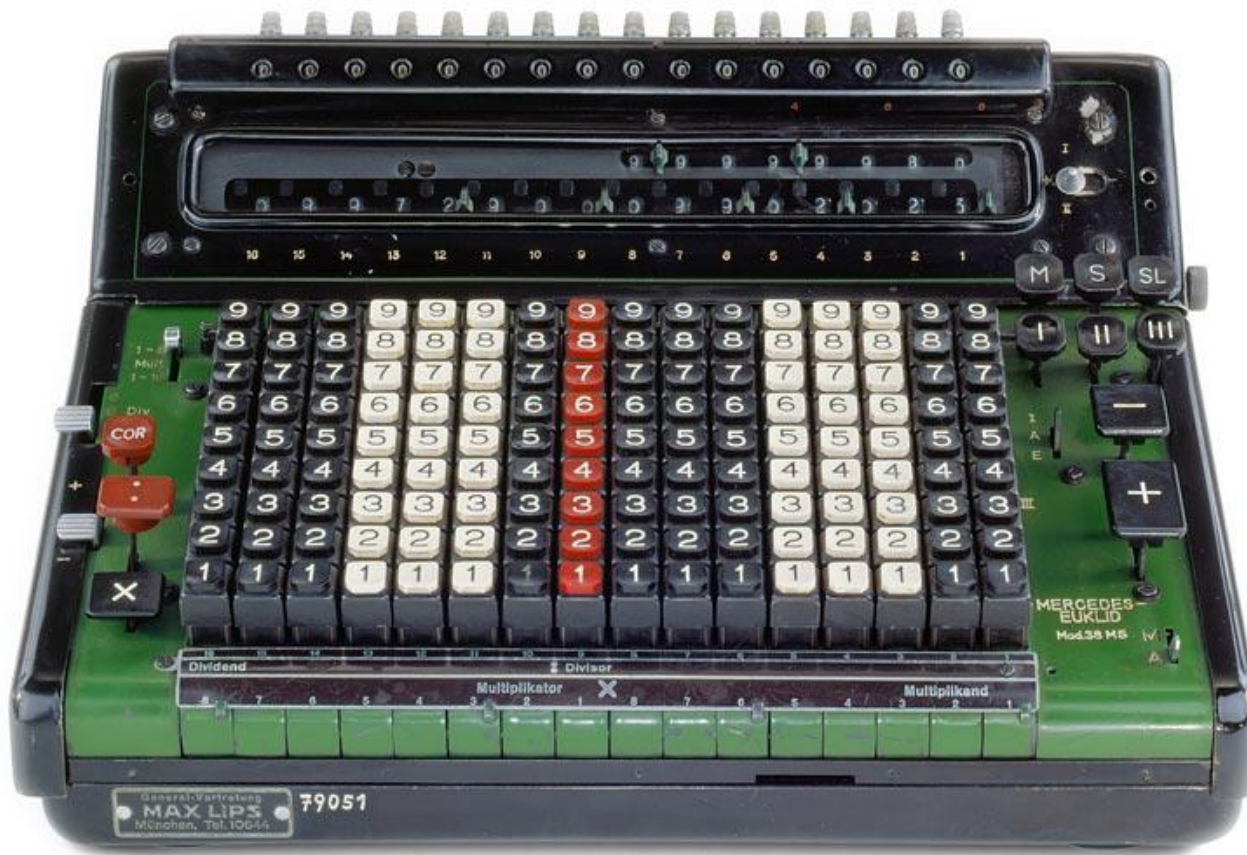


# Rechenmaschinen für „Computer“ (4)



Die Mercedes Euklid Modell 29 kam 1934 als letztes (durch eine Kurbel) handbetriebene Modell auf den Markt und wurde bis 1953 gebaut. Die Division kann nach Drücken der Divisionstaste automatisch durchgeführt werden: Die dafür nötigen mechanischen Vorgänge (wie Schlitten-transport und Korrekturumdrehung) werden beim Kurbeln selbsttätig gesteuert, sodass keine weiteren Handgriffe notwendig sind.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (5)



Mercedes Euklid Modell 38 SM (ab 1935) mit elektrischem Antrieb (Motor mit 375 U/min).

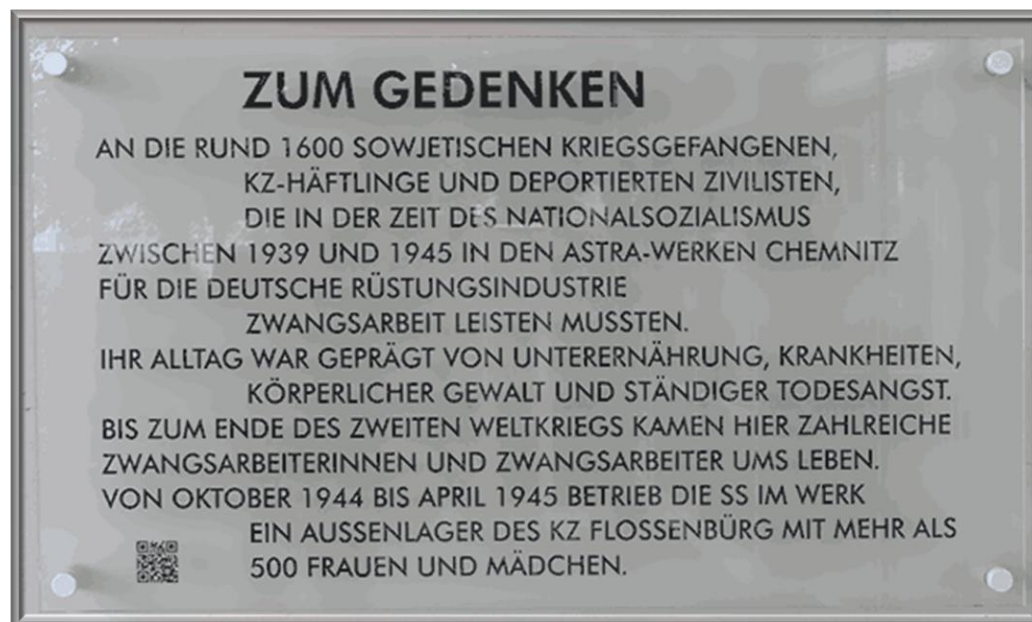
„SM“ steht für „Speicher- und Multiplikatorwerk“: Mit der Taste M wird der Wert aus dem Resultatwerk in das Multiplikatorwerk übertragen (damit sind Mehrfachmultiplikationen wie  $a \times b \times c$  einfach möglich); die Taste S addiert den Wert des Resultatwerks zum Speicher hinzu (der Speicherinhalt wird in der obersten Reihe angezeigt), und mit der Taste SL wird der Speicher gelöscht, dessen Wert vorher aber in das Resultatwerk übertragen.

„Man stellt die Maschine auf eine Filzunterlage, so daß die Tasten bequem erreichbar und die Zählwerke gut zu übersehen sind. Addiert wird in der Regel mit der rechten Hand, multipliziert und dividiert mit der linken. Die Maschine erspart dem Rechner alle Denkarbeit und Aufmerksamkeit für den Rechengang. Sie tut ihre Arbeit alleine. Vor und nach der Benutzung ist die Maschine mit einem Pinsel abzustauben. In Betriebspausen wird sie mit der Wachstuchhaube bedeckt.“

# Rechenmaschinen für „Computer“ (6)



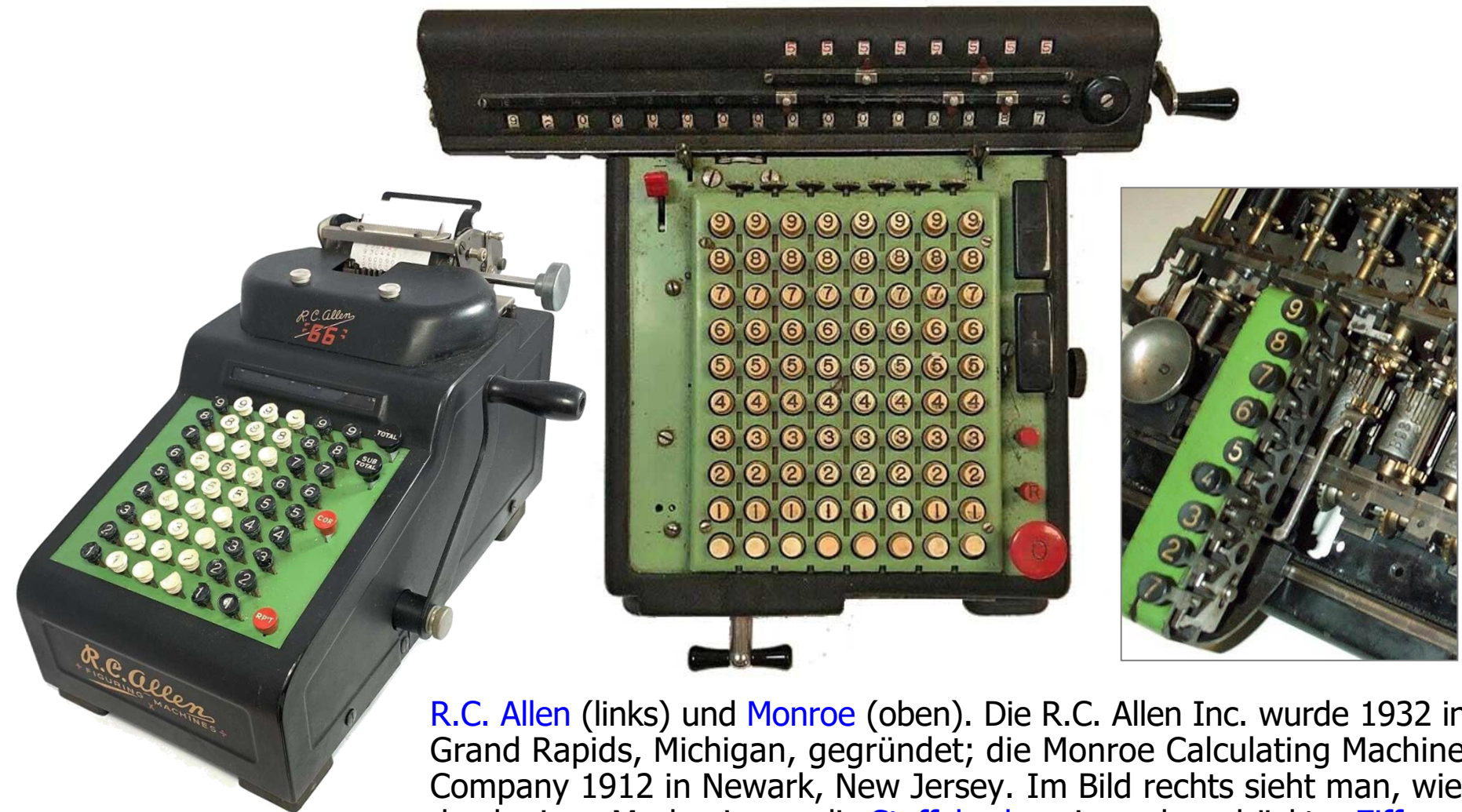
Modell L ab 1929



Die [Astra-Werke](#) wurden 1921 in Chemnitz, Sachsen gegründet; sie waren ab Ende der 1920er-Jahre Marktführer für Buchungsmaschinen in Europa und die Belegschaft stieg auf über 1653 im Jahr 1939. Im Zweiten Weltkrieg produzierten die Astra-Werke zunehmend auch Rüstungsgüter und beschäftigten Zwangsarbeiter aus einem Konzentrationslager; 1944 erhielten die Astra-Werke den Titel „Nationalsozialistischer Musterbetrieb“. In der DDR-Zeit

wurde die Firma als „VEB Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt“ fortgeführt und hatte Anfang der 1970er-Jahre über 10000 Beschäftigte. 1978 wurde die Firma Teil des Robotron-Kombinats und fertigte u.a. Bürocomputer (Robotron A 5120), bis sie nach der Wende 1991 liquidiert wurde.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (7)



R.C. Allen (links) und Monroe (oben). Die R.C. Allen Inc. wurde 1932 in Grand Rapids, Michigan, gegründet; die Monroe Calculating Machine Company 1912 in Newark, New Jersey. Im Bild rechts sieht man, wie durch einen Mechanismus die **Staffelwalzen** je nach gedrückter **Zifferntaste** unterschiedlich weit verschoben werden.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (8)



Im Bild: Das letzte Modell („PEM 15“, 1960) der Serie der (elektro)mechanischen „Archimedes“-Rechenmaschinen, die ab 1904 in Glashütte (Erzgebirge, südlich von Dresden) gefertigt wurden und auf dem [Staffelwalzenprinzip von Leibniz](#) beruhten. Zuvor, im 19. Jh., wurden dort zunächst Präzisionsuhren und andere feinmechanische Geräte hergestellt. Eine schwierige Periode machte die „Glashütter Rechenmaschinen-Fabrik Archimedes“ nach dem Zweiten Weltkrieg durch, da



# Rechenmaschinen für „Computer“ (9)

sie auf Anordnung der sowjetischen Besatzungsmacht 1945 demontiert wurde und erst Anfang der 1950er-Jahre nach Konstitution der DDR als „VEB Archimedes Rechenmaschinenfabrik Glas-hütte/Sachsen“ unter Enteignung der Besitzer neu gegründet wurde.

Bis in die 1920er-Jahre hinein erfolgte der Antrieb von Rechenmaschinen rein mechanisch mit einer Handkurbel, erst dann wurden dafür auch Elektromotoren verwendet – solche elektromechanischen Geräte wurden generell als „**Rechenautomaten**“ bezeichnet. (Die PEM 15 war ein „Schnellautomat“, da der antreibende Motor 500 U/min leistete.) Wenn auch Multiplikation und Division ohne zusätzliche manuelle Vorgänge, quasi auf Knopfdruck, erfolgten, bezeichnete man sie als „**Vollautomaten**“; diese waren die Vorläufer der **elektronischen Tischrechner** (ab den 1960er-Jahren; mit Elektronenröhren und später Transistoren) sowie der **elektronischen Taschenrechner** (ab den 1970er-Jahren; basierend auf integrierten Schaltkreisen).



# Rechenmaschinen für „Computer“ (10)



The advertisement features a black and white photograph of two mechanical calculators, the PE 15 and PE 18, positioned in the lower-left quadrant. The PE 15 is a smaller, more compact model, while the PE 18 is larger and more complex, with a prominent keyboard and a carriage. Above the calculators is a large blue banner with white text. In the top-left corner of the advertisement is a logo consisting of a gear with a stylized arch and a diamond shape below it. The text on the banner reads: 'Zu unserem weltbekannten NEL-Modell jetzt noch die Schnellrechenautomaten PE 15 PE 18'. Below the banner, on the right side, is a section titled 'Einige Vorzüge!' (Some advantages!) with a list of features: 'Verkürzter Rechengang bei vollautomatischer Division. Vorherige Quotientenbestimmung durch die Tabulator-Tasten im Schlitten.' and 'Modern und formschön in der Linienführung.'

Zu unserem weltbekannten NEL-Modell  
jetzt noch die Schnellrechenautomaten

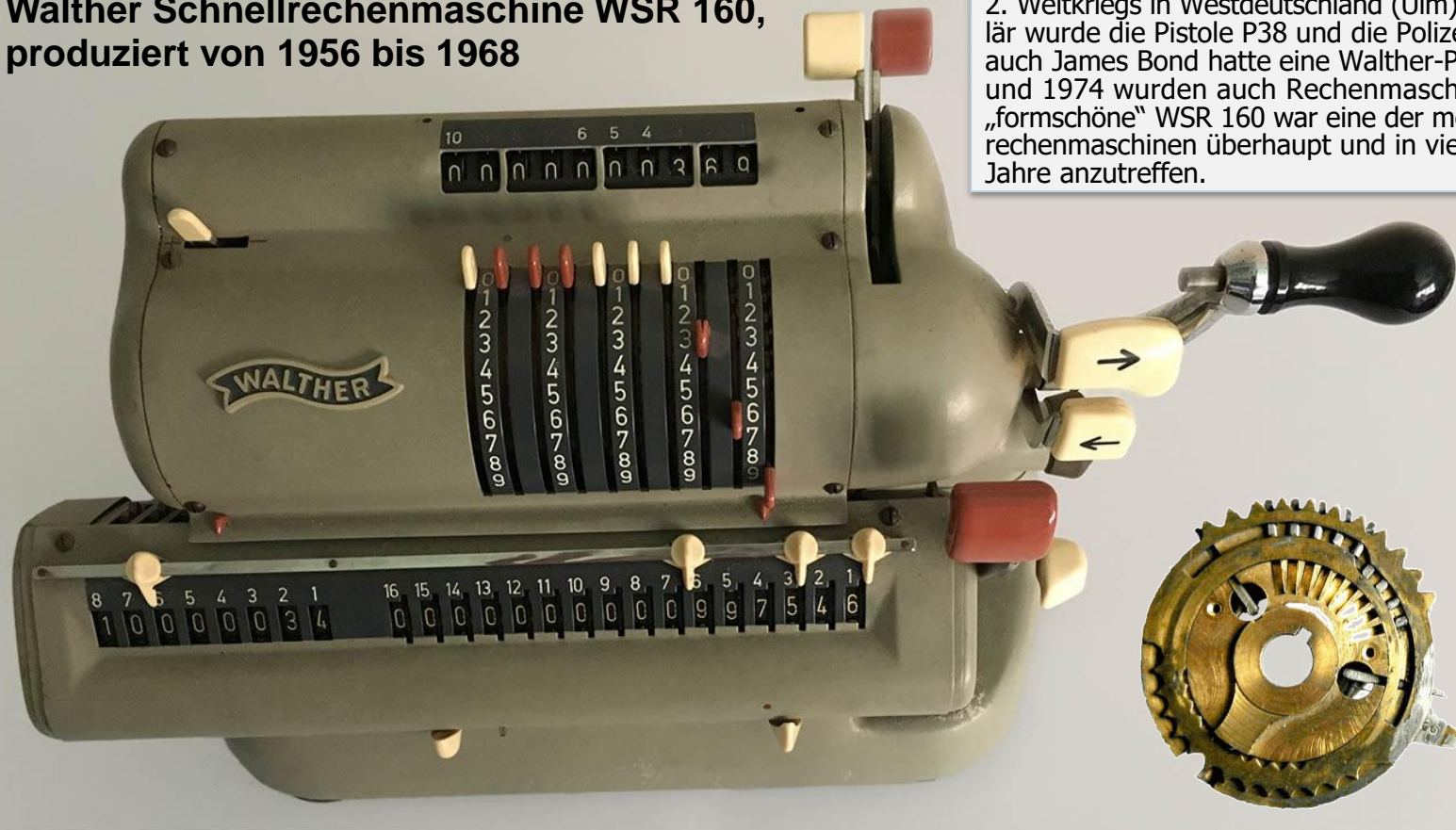
PE 15  
PE 18

**Einige Vorzüge!**  
Verkürzter Rechengang bei vollautomatischer Division. Vorherige Quotientenbestimmung durch die Tabulator-Tasten im Schlitten.  
Modern und formschön in der Linienführung.

Anzeige von 1957: Moderne und formschöne Archimedes-Schnellrechenautomaten

# Rechenmaschinen für „Computer“ (11)

**Walther Schnellrechenmaschine WSR 160,  
produziert von 1956 bis 1968**



Die **Schusswaffenfabrik („Büchsenmacherei“)** Walther wurde 1886 in Zella-Mehlis (Thüringen) etabliert und nach Ende des 2. Weltkriegs in Westdeutschland (Ulm) neu gegründet. Populär wurde die Pistole P38 und die Polizeipistole „Walther PP“, auch James Bond hatte eine Walther-Pistole. Zwischen 1924 und 1974 wurden auch Rechenmaschinen hergestellt. Die „formschöne“ WSR 160 war eine der meistverkauften Kurbelrechenmaschinen überhaupt und in vielen Büros der 1960er-Jahre anzutreffen.

*Sprossenrad als  
zentrales Element;  
hier mit 5 heraus-  
gedrehten Zähnen*

Derartige Vierspezies-**Sprossenradmaschinen** mit manueller Kurbel wurden von mehreren Herstellern angeboten; sie bauen auf dem Prinzip der **Odhner-Sprossenradmaschine** auf, die ab 1890 in St. Petersburg hergestellt wurde. Auf das Sprossenrad und die Odhner-Rechenmaschine wurde an früherer Stelle eingegangen.





Beispiel 31:

$$\sqrt{31'45,00} = 56,080299$$

Die Bedienungsanleitung enthält auch einen Algorithmus zur Berechnung einer Quadratwurzel. (Der Physiker August Töpler hatte Professuren in Riga, Graz und Dresden; er entwickelte das Verfahren für die Thomas'sche Rechenmaschine; Franz Reuleaux veröffentlichte es im Jahr 1866.)

„Rechnen ist ein Vergnügen, wenn man eine Walther hat! Zum Rechnen brauchen Sie Zahlen. Die stellen Sie mit den Hebeln ein. Hauptteil, mit dem sie alle Rechnungen ausführen, ist die Kurbel: Griff leicht nach aussen ziehen, dann drehen. Das Ergebnis lesen Sie vom Resultatwerk ab. Setzen Sie sich bequem hin – das ist bei langen Rechnungen nämlich sehr wichtig.“

Ein anderes Verfahren ist das von Prof. Töpler für die Rechenmaschine ersonnene. Es beruht auf der eigenartigen Tatsache, daß man beim fortlaufenden Addieren ungerader Zahlen ( $1+3+5$ ) immer eine Quadratzahl erhält. So muß man auch umgekehrt beim Abziehen der ungeraden Zahlen wieder zur Wurzel kommen. Die Ausführung ist, um ein einfaches Beispiel zu wählen, folgendermaßen:

Zunächst stellen Sie den Radikanden 3145 ganz links im Resultatwerk ein. Die Wurzel, die im Quotientenwerk erscheint, muß zweistellig sein, weil der Radikand, wie in der nebenstehenden Aufgabe bereits durch den Druck hervorgehoben, zwei Gruppen hat. Infolgedessen setzen Sie im Quotientenwerk das Schiebekomma zwischen Stelle 6 und 7. Der Schlitten muß ganz rechts stehen. Nunmehr stellen Sie mit Hebel 8, also über der 1 der höchsten Gruppe, die erste ungerade Zahl 1 ein und machen eine Minusdrehung. Darauf erhöhen Sie auf 3, machen abermals eine Minusdrehung, dann auf 5, auf 7 und 9. Weil bis jetzt das Klingelzeichen noch nicht ertönte, so müssen Sie weiter erhöhen auf 11. Diese Zahl wird mit Hebel 8 und 9 eingestellt. Eine darauffolgende Drehung bringt das Klingelzeichen zum ertönen und wird deshalb durch eine Plusdrehung sofort wieder rückgängig gemacht. Da 11 zuviel war, so wird diese Zahl um 1, also auf 10 vermindert, d. h. der Hebel 8 wird auf 0 zurückgelegt. Nunmehr wird der Hebel 7, also der nächst niedere, auf die erste ungerade Zahl 1 gestellt und der Schlitten um eine Stelle weiterschaltet. In dieser Stellung werden wieder nacheinander die ungeraden Zahlen abgezogen. Da auch hier wieder bei 9 das Klingelzeichen noch nicht ertönt, so muß auf 11 weiter erhöht werden. Diese 11 wird also mit den Hebeln 7 und 8 eingestellt. Der Hebel 9 steht noch auf 1 und bleibt auch in dieser Stellung. Die nächste ungerade Zahl ist 13. Bei der Subtraktion dieser Zahl ertönt das Klingelzeichen, weshalb diese Subtraktion durch eine Plusdrehung wieder rückgängig gemacht und die 13 auf 12 vermindert wird.

Jetzt wird der Schlitten abermals um eine Stelle weiterschaltet und der Hebel 6 auf die erste ungerade Zahl 1 eingestellt. Die Subtraktion läßt sofort das Klingelzeichen ertönen, weshalb die Drehung rückgängig gemacht und der Hebel 6 auf 0 zurückgeschaltet wird, dann wird der Schlitten um eine Stelle weitergerückt und nun mit Hebel 5 eine 1 eingestellt. Jetzt folgen wieder Subtraktionen, die bis zum Abzuge von 15 möglich sind. Bei der Subtraktion der nächsten ungeraden Zahl 17 ertönt das Klingelzeichen, weshalb 17 auf 16 vermindert, der Schlitten eine Stelle weitergebracht und mit Hebel 4 eine 1 eingestellt wird. Die darauffolgende Subtraktion setzt sogleich die Klingel in Tätigkeit, weshalb die Drehung rückgängig gemacht und der Hebel 4 auf 0 gestellt wird. Schlittenschaltung und nach der vorgeschriebenen Art zu Ende rechnen. Im Quotientenwerk ist die Wurzel 56,080299 erschienen. Die Probe durch Multiplikation dieser Zahl mit sich selbst ergibt die Ausgangszahl 3145, jedoch nicht ganz genau, sondern nur 3144,9999... Diese geringe Abweichung erklärt sich daraus, daß die Wurzel nicht genau genug, d. h. auf nicht genügend Stellen, errechnet war. Für die weitaus meisten Fälle der Praxis aber dürfte die erreichte Genauigkeit vollkommen ausreichen.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (12)

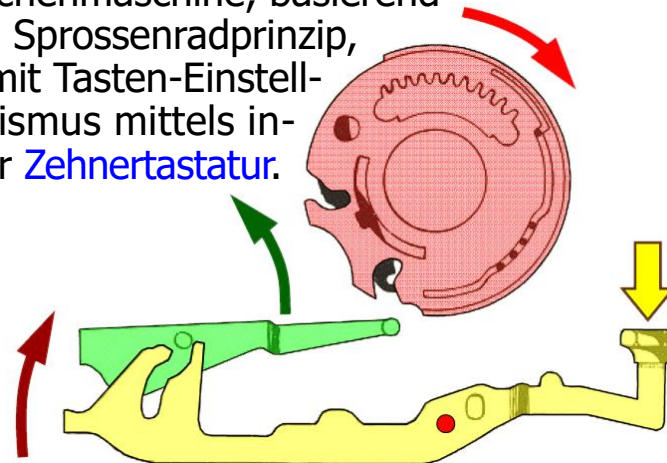
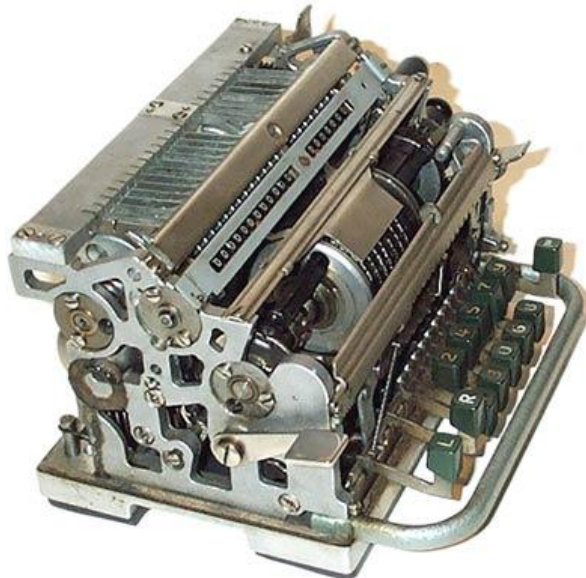


Ab 1957



1959-1972

Fazit-Rechenmaschine, basierend auf dem Sprossenradprinzip, jedoch mit Tasten-Einstellmechanismus mittels innovativer **Zehnertastatur**.



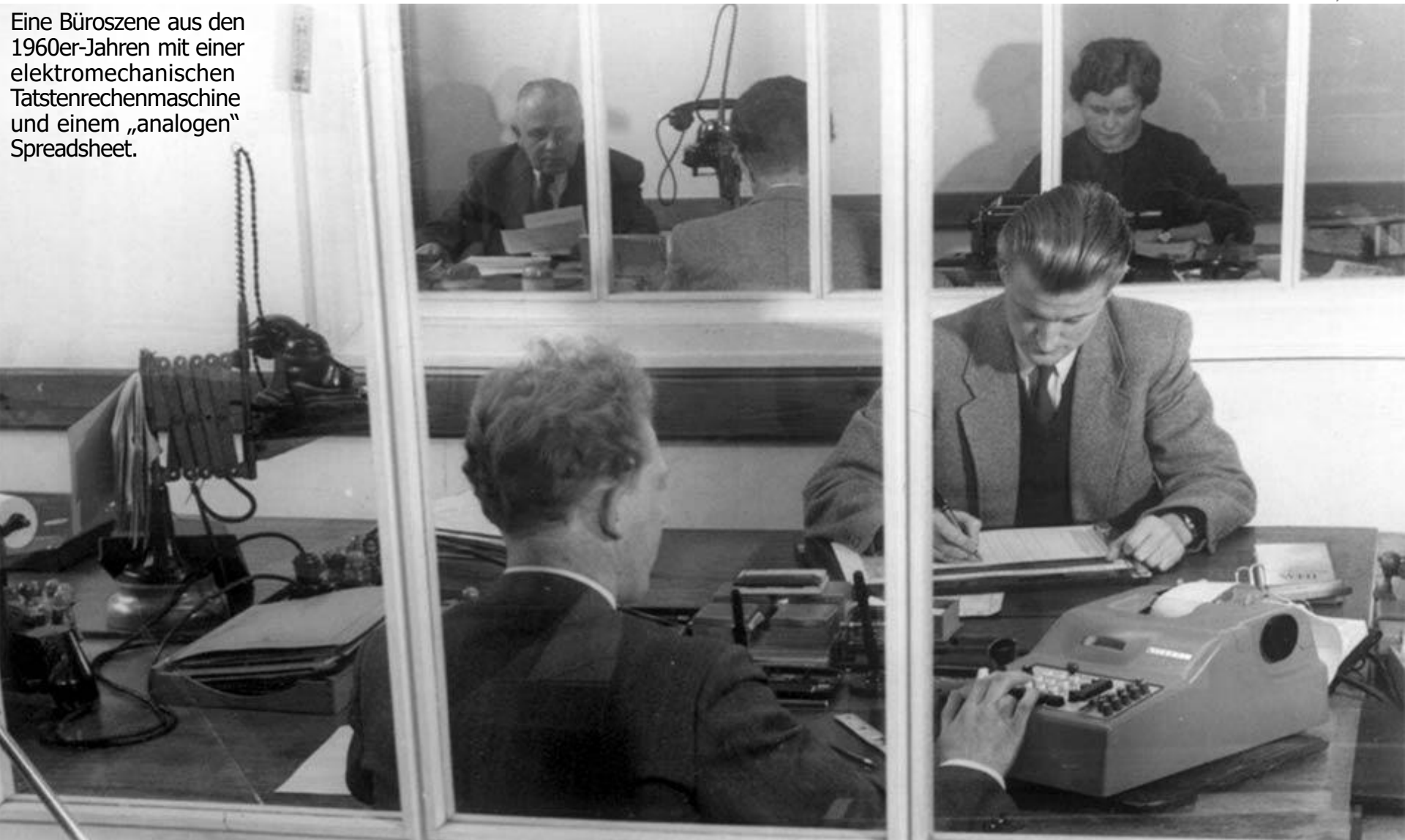
Die Sprossenräder sind in beide Richtungen drehbar: Drehung in der einen Richtung bewirkt die Einstellung der vier niedrigsten Ziffernwerte, die Einstellung der übrigen Ziffern erfolgt durch entgegengesetzte Drehung. Dadurch werden die Einstellbewegungen auf die Hälfte des Drehwinkels reduziert.

Nach Betätigung einer Taste wird auch der Schlitten mit der Sprossenradtrommel um einen Schritt nach links bewegt.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (13)

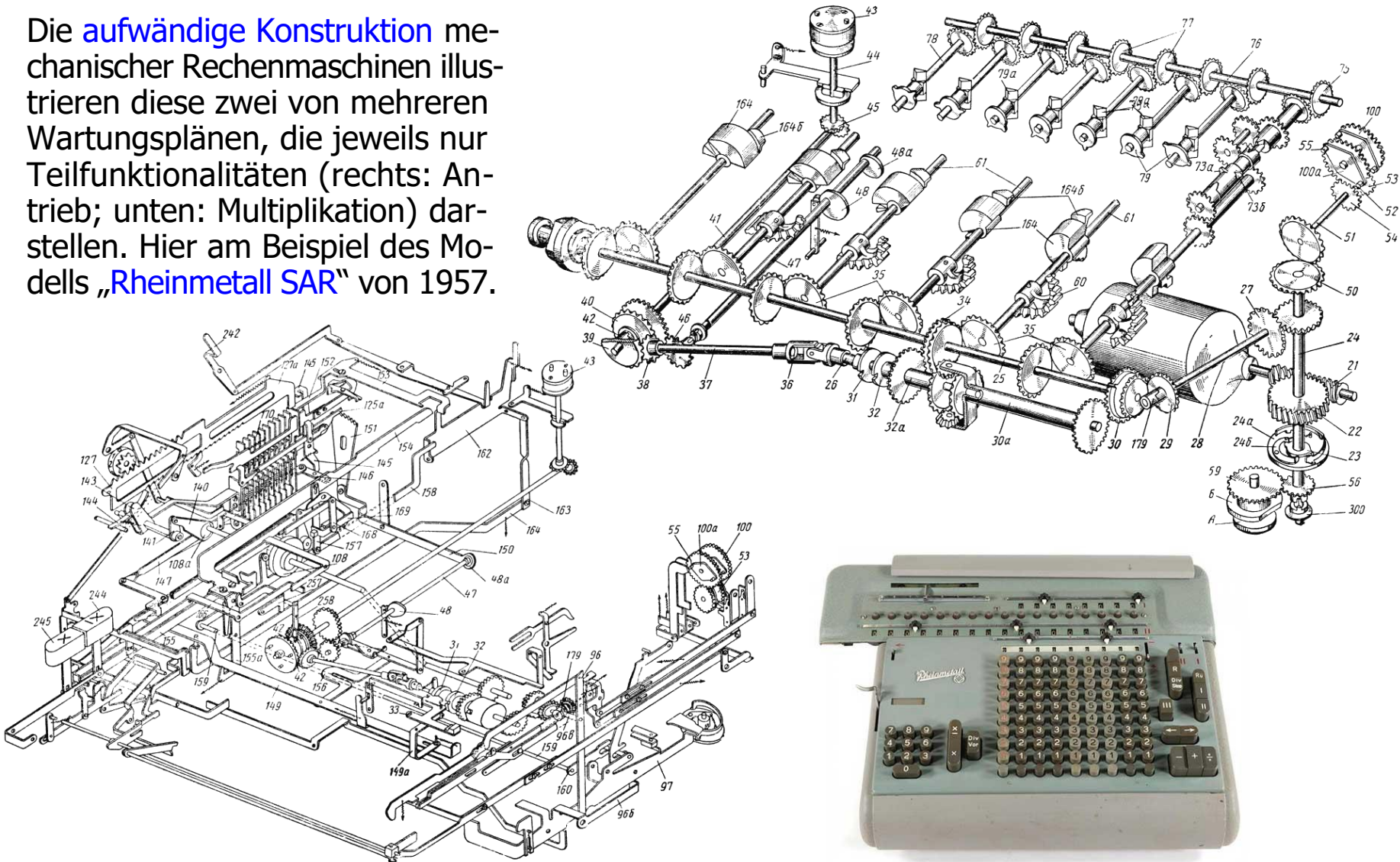
[www.deutschefotothek.de/documents/obj/71554654/](http://www.deutschefotothek.de/documents/obj/71554654/)

Eine Büroszene aus den 1960er-Jahren mit einer elektromechanischen Tastenrechenmaschine und einem „analogen“ Spreadsheet.



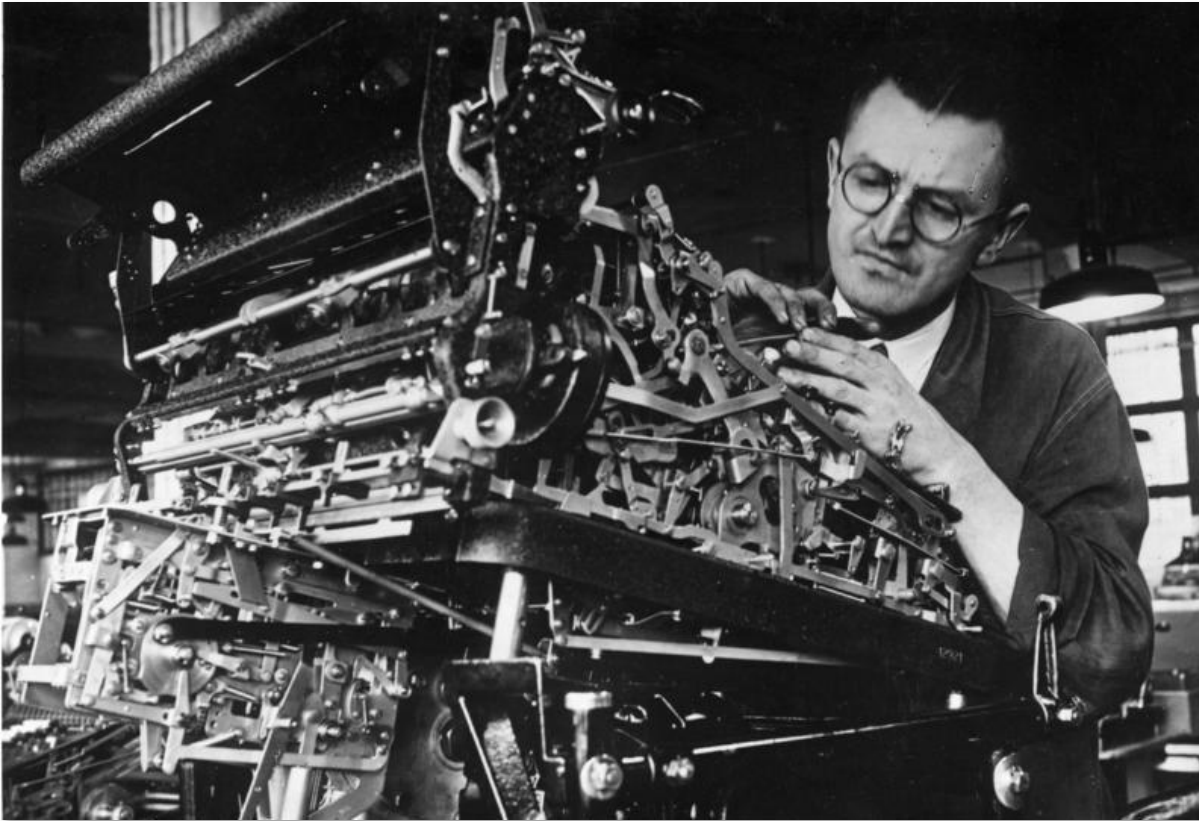
# Rechenmaschinen für „Computer“ (14)

Die **aufwändige Konstruktion** mechanischer Rechenmaschinen illustrieren diese zwei von mehreren Wartungsplänen, die jeweils nur Teilfunktionalitäten (rechts: Antrieb; unten: Multiplikation) darstellen. Hier am Beispiel des Modells „**Rheinmetall SAR**“ von 1957.



# Rechenmaschinen für „Computer“ (15)

1934: Montage einer Rechenmaschine im Wanderer „Schreibmaschinenwerk“ in Chemnitz



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-S33516,\\_Chemnitz,\\_Rechenmaschine,\\_Montage.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-S33516,_Chemnitz,_Rechenmaschine,_Montage.jpg) 1934

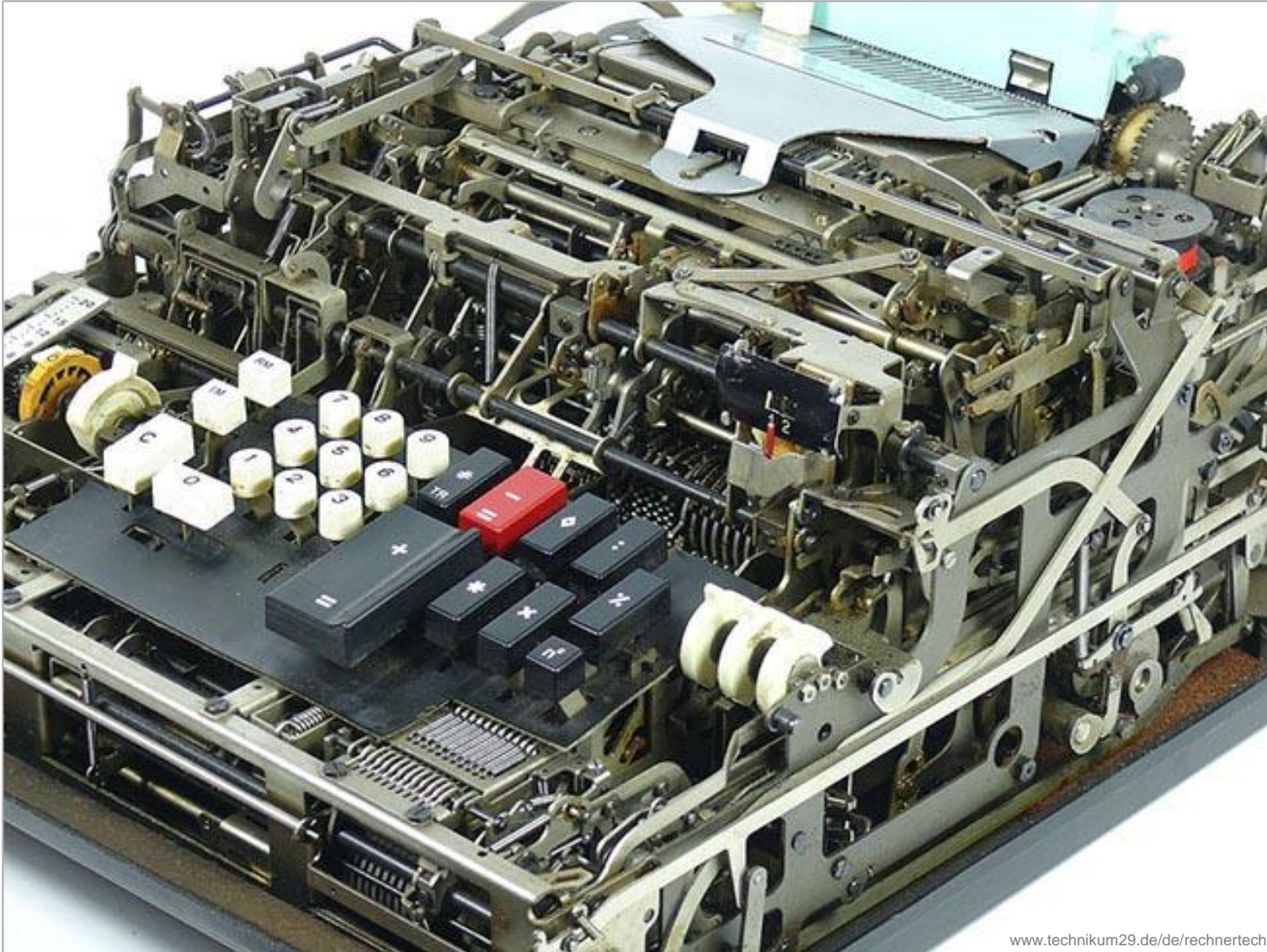
„Wanderer“ hiess das erste Produkt der 1885 gegründeten Firma, es war ein Hochrad. Neben Fahrrädern wurden bald auch Werkzeugmaschinen produziert, ab 1902 Motorräder, ab 1903 Schreibmaschinen und ab 1916 Rechenmaschinen. 1913 beginnt die Serienproduktion von Autos. Die Autosparte ging 1932 in die Auto Union AG über, den Vorläufer der heutigen Audi AG.

# Burroughs-Fabrikation in Detroit: Alle Montage tragen Krawatte.

[www.flickr.com/photos/xpkranger/5314645118/](http://www.flickr.com/photos/xpkranger/5314645118/)

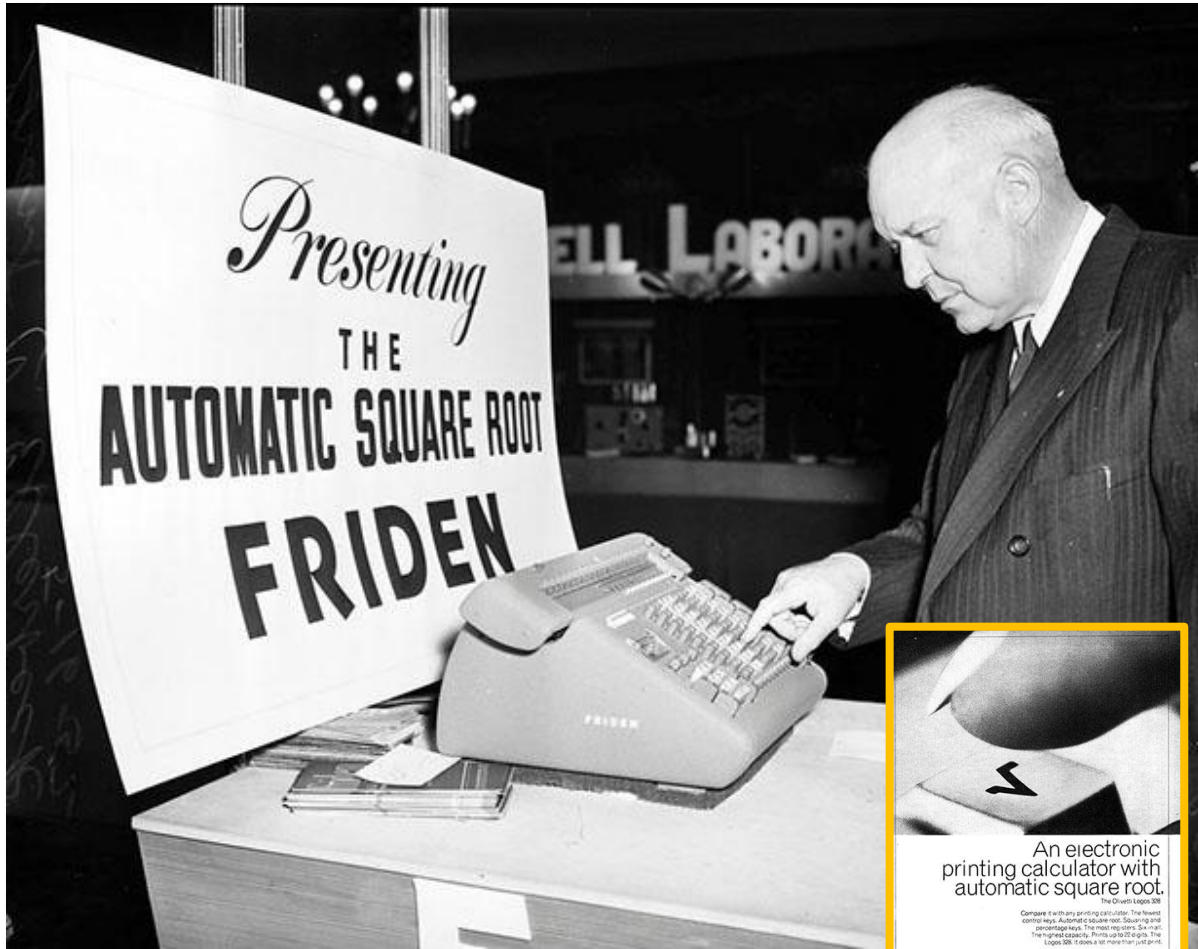


# Rechenmaschinen für „Computer“ (16)

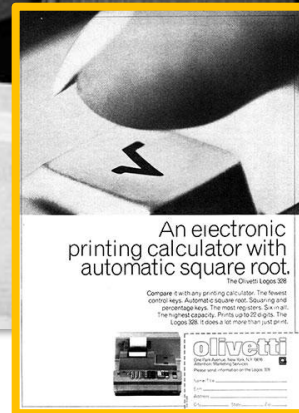


Ein Blick in das Innere der elektromechanischen Olivetti „Logos 27-2“, die 27 kg wog und 1967 auf den Markt kam. Ihre Komplexität machte sie fehleranfällig, und gegen die aufkommenden elektronischen Tischrechner hatte sie kaum eine Chance auf dem Markt.

# Rechenmaschinen für „Computer“ (17)



Einen Höhepunkt der elektromechanischen Rechenmaschinen für technisch-wissenschaftliche Anwendungen stellte die 19 kg schwere Friden SRW dar, die zusätzlich zu den 4 Grundrechenarten auch „with the touch of one key“ **Quadratwurzeln** berechnen konnte. (Im Prinzip wurden dafür so lange automatisch nacheinander Glieder der Zahlenfolge 1, 3, 5, 7, 9, 11,... vom Radikanden subtrahiert, bis ein Wert  $\leq 0$  herauskam; mit trickreichen Optimierungen konnte erreicht werden, dass für 10-stellige Zahlen nur 9 Sekunden nötig waren.) Die Maschine wurde von **1952** bis Mitte der 1960er-Jahre produziert (erst dann erschienen **elektronische** Tischrechenmaschinen mit Wurzelfunktion) und kostete seinerzeit in Deutschland ca. 8000 DM, 2 Mal mehr als ein VW.



Mai 1952: **Friden SRW** mit Konstrukteur Grant Clawson Ellerbeck (1897 – 1970), der ab 1940 bei Friden tätig war. Kleines Bild: Werbung für die Wurzelfunktion bei der **Logos 328, Olivettis** erster elektronischer Tischrechenmaschine. Ab **1968** produziert, 22 kg schwer, damals £695 teuer (entspricht heute ca. 12 000 Euro), war sie kein Erfolg.



# Rechenmaschinen für Buben



www.swissinfo.ch



www.tageswoche.ch/wp-content/uploads/2012/11/imagescms-image-000270407-1440x810.jpg

Die Mustermesse Basel („Muba“) war eine Warenmesse, die von 1917 bis 2019 jeweils im Frühjahr stattfand. Auch Rechenmaschinen Schweizer Fabrikate (z.B. Precisa, Oerlikon Bühle) wurden dort regelmässig präsentiert.

„Welche Attraktion, welche Faszination, welche Konzentration! Sechs Burschen an der **Muba**. Die sechs Buben, die man damals – im **April 1962** – noch nicht ‚Teenies‘ nannte und von denen mindestens einer (links aussen und vielleicht der Jüngste) eine Krawatte trug, – diese sechs Buben dürften vor allem darum derart fasziniert gewesen sein, weil die Maschinen mühelos schafften, was ihnen beim Kopfrechnen in der Schulstube einiges Kopfzerbrechen bereitete.“ -- TagesWoche vom 09.11.2012, Bild vom Basler Fotografen Kurt Wyss. Ausgestellt ist hier die Rechenmaschine „**MADAS**“, gefertigt von der Zürcher Firma Hans Walter Egli. 1968 wurde die Produktion eingestellt, die bereits 1893 gegründete Traditionsfirma ab 1971 liquidiert – sie hatte den Wandel hin zur Elektronik nicht mitvollzogen.

# Rechenmaschinen für Schüler

Headmaster, Peter Finch, helps pupils, John Morse, Adrian Pride and Timothy Fry to use mechanical adding machines or 'computers' in a maths lesson at Farnham Castle Primary School in Surrey.

1963, ca. 15 Jahre bevor elektronische Taschenrechner die Schulen eroberten, liess man an einer [Schule in Surrey, England](#), versuchsweise Grundschüler mit mechanischen Rechnern arbeiten.



*"It must be so much fun to be in school today. [...] After a three year survey on the use of small computers in 115 English school, the conclusion is that children learn arithmetic more quickly and more thoroughly with mechanical aid. It might be thought that that they would learn less about how Mathematics work, but in fact, they learn more because they can see exactly what the machines are doing throughout the working out of a problem."*

# Werbung: Portable und denkende Maschinen

# Burrough's Portable

14 Tage  
kostenlos  
zur Probe

Fr.  
775

Die schreibende  
**Additions-  
Maschine**



**BRIGNONI A.G. ZÜRICH**  
Bern / Basel / Genf / Lausanne / St. Gallen / Luzern  
Schaffhausen / Lugano / Neuenburg / Chur / Solothurn

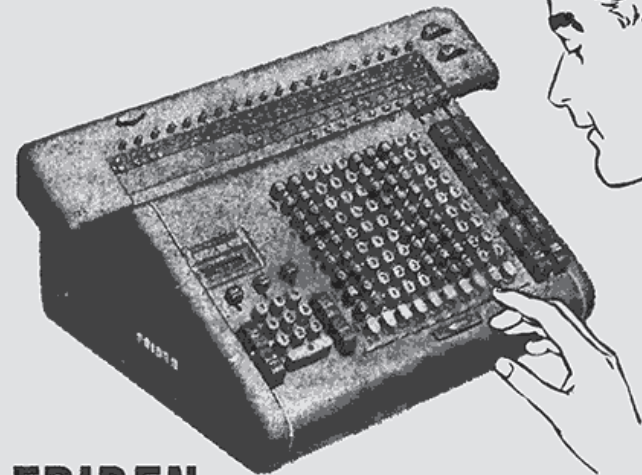
Plakat, ca.  
1927, von  
Max Dalang  
(1882–1965).

So leicht wie das ABC wird die  
Rechenarbeit in Finanz, Handel,  
Industrie und Verwaltung

Automatisch und kommagenau führt sie Ihre Rechenarbeiten aus. — Geben Sie der FRIDEN Ihre heikelste, verwickelteste Rechenarbeit auf und schauen Sie zu, wie sie sich das richtige Ergebnis «ausdenkt». Die FRIDEN führt Ihre Rechenprobleme mit weniger Manipulationen aus als andere Rechenmaschinen. Sie ist so automatisch, daß kein Extra-Training notwendig ist, um mit ihr zu arbeiten.

Automatisch!

Kommagenau!



## FRIDEN

die <denkende> Maschine der Geschäftswelt

Jedes Unternehmen wird sofort leistungsfähiger, wenn FRIDEN die Arbeit übernimmt. Verlangen Sie schriftlich oder telefonisch eine überzeugende FRIDEN-Demonstration, die Ihnen beweist, wie in Ihrem Betrieb Arbeit und Zeit gespart werden können.

## Cäsar Muggli

Lintheschergasse 15 ZÜRICH Tel. (051) 25 10 62

Anzeige  
aus dem  
Jahr 1953.

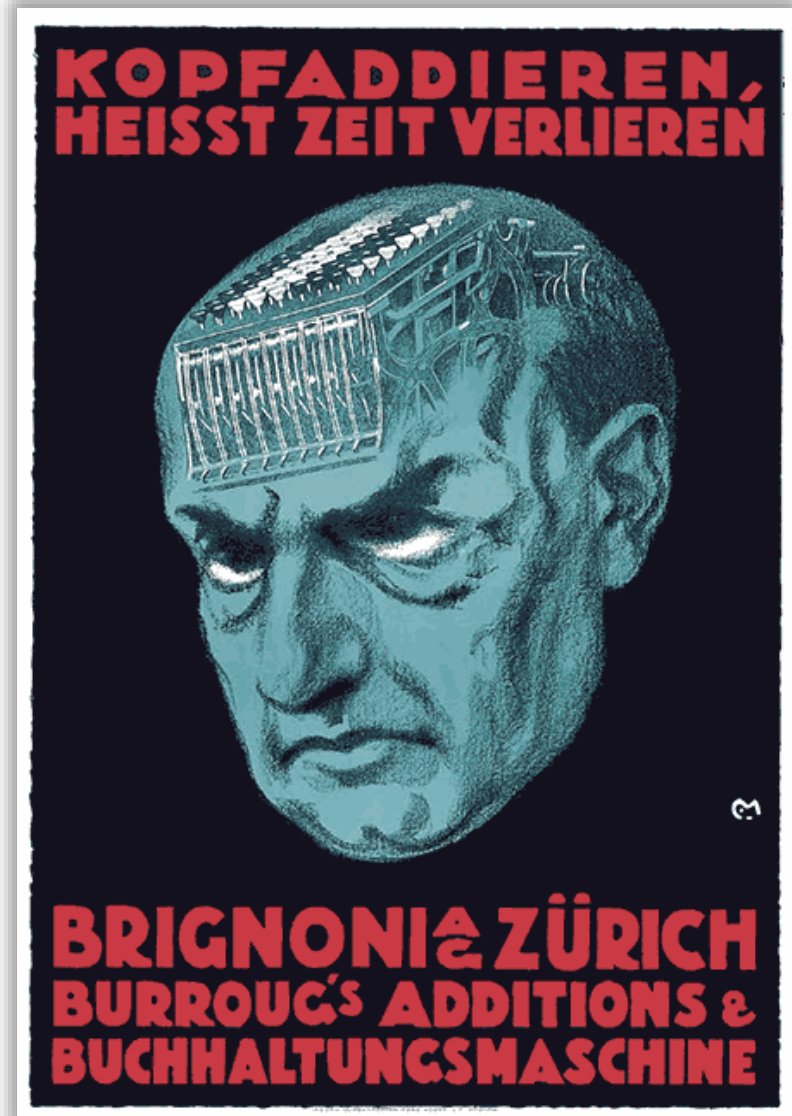
# Kunstplakat für eine Rechenmaschine

Das Plakat für die Firma Brignoni AG aus Zürich (Gerbergasse 2), das u.a. auf der Basler Mustermesse verwendet wurde, schuf 1917 der deutsch-schweizerische Werbegrafiker **Carl Moos** (1878 - 1959); der Markenname „Burroughs“ ist darauf allerdings falsch geschrieben – es fehlt das „h“, und den Apostroph braucht es auch nicht.



Moos zog zu Beginn des Ersten Weltkriegs aus Deutschland weg und wurde in Zürich ansässig. Er war zunächst als **Postkartenmaler** tätig (etwa mit einer Serie zu den Grenzbesetzungstruppen), machte sich aber vor allem mit seinem reduktionistisch-ornamentfreien Stil einen Namen bei Plakatgrafiken. Viele klassische **Werbeplakate für den Schweizer Tourismus** aus den

1920er- und 1930er-Jahren stammen von ihm. Bei den Olympischen Sommerspielen 1928 gewann Moos eine Silbermedaille für die Schweiz – allerdings nicht in einer Sportdisziplin, sondern im Kunstwettbewerb „Grafik“ mit einem Leichtathletikplakat. Von 1928 bis 1933 war er künstlerischer Leiter bei Orell Füssli.



# Künstlerisch gestaltete Werbung



<https://id.smb.museum/object/2741382>

Werbeplakat (70.5 x 94 cm) für die Firma [Glogowski & Co.](#); die Lithografie wurde vermutlich zwischen 1900 und 1914 hergestellt. Der Künstler ist unbekannt, der Stil passt zum Berliner Plakat-Grafiker Lucian Bernhard.

Glogowski & Co. war Anfang des 20. Jh. ein bedeutendes Unternehmen für Büroeinrichtungen (Büromöbel, Rechen- und Schreibmaschinen, Vervielfältigungsapparate etc.) mit Geschäften in vielen Handelsstädten Deutschlands (u.a. Berlin, Frankfurt, Düsseldorf, Leipzig, Dresden, Königsberg) sowie Österreich-Ungarns (u.a. Wien, Graz, Lemberg, Triest, Prag, Budapest), meist in bester Geschäftslage. Glogowski & Co. hatte seinerzeit die [Alleinvertretung alle Burroughs-Maschinen](#) in grossen Teilen Europas.

„In der Einlage geben wir Ihnen einige Adressen von Professoren & Doctoren, welche sich seit mehreren Jahren unserer Maschine bedienen & werden Ihnen solch gewiss gern jede gewünschte Auskunft über den Werth derselben geben. – Wir sind gern bereit, Ihnen kostenlos ausführlichen Prospect zugehen zu lassen & wollen Ihnen auf Wunsch Gelegenheit geben, die Leistungsfähigkeit der Maschine zu prüfen, indem wir Ihnen dieselbe auf einige Tage zur probeweisen Benutzung überlassen, ohne dass Ihnen daraus Kosten erwachsen sollen. – Sollten Sie sich dann nicht entschliessen können, die Maschine zu kaufen, so steht es Ihnen frei, uns dieselbe franco & unbeschädigt zurückzusenden. – Eventuell senden wir einen unserer Beamten zu Ihnen, um Sie in der Handhabung zu unterrichten. – Indem wir Sie bitten, sich in diesem Falle beiliegender Postkarte bedienen zu wollen, zeichnen, zu jeder ferneren Auskunft gern bereit, mit vorzüglicher Hochachtung – Glogowski & Sohn“ [vermutl. 1889]

# Künstlerisch gestaltete Werbung (2)

www.arthistoricum.net/weikanschi/dif/132045/101 --- www.pinterest.com.mx/pin/505177283176866013/  
Zweispieziesmaschine (Addition und Subtraktion) --- www.pinterest.com.mx/pin/235664992994217284/

**Die moderne Rechenmaschine**

**Hamann-Manus**  
DEUTSCHE TELEPHONWERKE U. KABELINDUSTRIE A& BERLIN SO.33

**olivetti SUMMA 15**

“ogni calcolo alla mano”

Per semplicità di comandi, facilità di impiego, scrittura d'ognielemento delle operazioni e accessibilità di prezzo, la SUMMA 15 è l'addizionale per tutte le categorie di industriali, commercianti, esercenti, professionisti, assicuratori, artigiani.

Additionalità: scrivente a mano, capacità 99.999.999, addizione, sottrazione diretta, addizione inversa, moltiplicatore.

**PRIMA 20**

olivetti

Die „Hamann Manus“ (mit Handbetrieb via Kurbel; das elektrisch angetriebene Modell hiess „Hamann-Automat“) wurde ab 1925 gefertigt, entworfen von **Christel Hamann** (1870 - 1948), der auch Rechenmaschinen für andere erfolgreiche Marken konstruiert hat. Das Werbeplakat (ca. 1926) gestaltete der Berliner Plakatkünstler und Werbegrafiker **Erwin Reusch** (1889 - 1936), der sich auf Werbung für die Maschinenindustrie konzentrierte. Bei Olivetti war über Jahrzehnte der italienische Designer, Grafiker und gelernte Schriftsetzer **Giovanni Pintori** (1912 - 1999) für die Werbung zuständig. Die Additions-/Subtraktionsmaschine „Summa 15“ wurde von 1949 bis 1959 gefertigt (Anzeige von ca. 1952), das Nachfolgemodell „Prima 20“ von 1960 bis ca. 1974 – die preisgünstige handbetriebene Maschine war u.a. bei Strassenverkäufern beliebt, die oft keinen Stromanschluss zur Verfügung hatten.

# Werbung für mechanische Rechenmaschinen im „space age“

**\*AUTOMATION**  
exclusive with Monroe

**\*AUTOMATION**  
The world's finest fully automatic calculator!

**\*AUTOMATION**  
in the Monro-Matic

**\*AUTOMATION**  
exclusive figuring "information" makes MONROE the world's finest fully automatic calculator!

**\*AUTOMATION**  
The Monro-Matic is the fully automatic calculator no businessman that anybody else has seen the product. That is, it saves time and automatically corrects errors of error. That's Monroe figuring information! Monroe Calculating Machine Company, Inc., Chicago, N. J., Newark, N. J.

**\*AUTOMATION**  
A New Calculator Brings AUTOMATION Out of the Blue Sky Onto the Desk

The Automation desk figuring machine is here... it's here from each day's work... to slash dollars from overhead.

It's the new Monro-Matic Calculator. This compact, convenient machine with Monroe's time-tested single keyboard design, is totally automatic. Automation gives split-second answers to every kind of figuring problem from the simplest to the most complex.

Small wonder operators who know prefer Monroe. And businessmen pick the Monro-Matic as a preferred instrument for lowering figuring costs and for assurance against obsolescence.

**\*AUTOMATION**  
MONROE MATIC Duplex Calculator

**\*AUTOMATION**  
Now, faster, more economical figuring with \*AUTOMATION

Business says about the MONRO-MATIC Duplex Calculator

...in the business world... and in the home... where other calculators cost 10 to 20 times as much... it's the only one that's really worth the money... it's the only one that's really worth the money... it's the only one that's really worth the money...

**\*AUTOMATION**  
See The MAN from MONROE

121 Fairbanks Avenue, Accounting Machines

**\*AUTOMATI**

Here's how "AUTOMATI" speeds all figuring work... makes Monro-Matic the most economical economic calculator!

Here's how "AUTOMATI" speeds all figuring work... makes Monro-Matic the most economical economic calculator!

**BREAKTHROUGH**  
to new figurwork savings

Even as old-fashioned pencil, ballpoint pen and paper methods are being replaced by the advanced automatic features of the Monro-Matic calculator, so too are the old-fashioned methods of doing business being replaced by the new methods of doing business. On the Monro-Matic calculator, you can do all your business calculations in a matter of seconds. And every Monro-Matic calculator gives you complete, step-by-step proof of all entries, all results. New uses, new speed, new savings. Good reasons why... modern management counts on Monro-Matic.

**MARCHANT**  
First calculator and adding machine of its kind

**MARCHANT DIVISION OF SMITH CORONA MARCHANT INC., DANLAW & CALIFORNIA**

Noch bevor in den 1960er-Jahren elektronische Tischrechenmaschinen (und in den 1970er-Jahren dann Taschenrechner) aufkamen, und lange, bevor von Terminals aus interaktiv auf Computer zugegriffen werden konnte oder (in den 1980er-Jahren) Arbeitsplatzrechner („Workstations“) und PCs aufkamen, wurden elektromechanische Rechenmaschinen, die nur die arithmetischen Grundoperationen beherrschten, als **automatisierte Rechenhilfsmittel** nicht nur für kommerzielle, sondern auch für **wissenschaftliche und militärische Anwendungen** angepriesen.

# MONROE AUTOMATION

The Monro-Matic reduces figure work to the simplest form -

feed figures - - - push buttons

the machine turns out

MONROE

RIGHT NOW

Monroe AUTOMATION is cutting costs for...

CHRYSLER CORPORATION

CHASE  
MANHATTAN  
BANK

SWANK, INC.

Southern Pacific

Alert vision in management accounts for the outstanding success of these truly great American corporations. Today on their desks office procedure is speeded with automation for figures. Today these and hundreds of other businesses, large and small, rely on Monro-Matic desk calculators.

The new Monro-Matic Duplex Calculator gives split-second answers to several problems simultaneously—

actually adds as it multiplies,

adds as it divides,

and operator effort are measurably reduced. This can apply to your business.

Write or telephone Monroe Calculating Machine Company, Inc. General offices: Orange, New Jersey. Offices throughout the world.

1964, JUNE 11, 1958

See the MAN from MONROE

NO CALCULATING  
ADDING  
SUBTRACTING  
MULTIPLYING  
DIVIDING  
MACHINES

## AUTOMATION WORKS WONDERS IN THE AIR

MONROE Automation works wonders on the desks of...

HAWAIIAN DREDGING & CONSTRUCTION CO. LTD.

ANACONDA

Miller Helicopters

These top companies stay on top by insisting on the most advanced methods and equipment available. That's why today in their offices you'll find Monroe Automation setting new speed standards by cutting figurework red tape, by operating Monro-Matic Duplex Calculators. They're the only...

the Jersey

# AUTOMATION

exclusive figuring automation makes MONROE the world's finest fully automatic calculator!

The Monro-Matic is the fully automatic calculator so responsive that anybody simply sets the problem. Then it answers swiftly and automatically, without chance of error. That's Monroe figuring automation

in which the machine receives the problem and never stops or needs attention in giving its instantaneous answer! Monroe Calculating Machine Company, Inc., Orange, N. J., Sales and service everywhere.

OPERATORS WHO KNOW... PREFER **MONROE** CALCULATING, ADDING, ACCOUNTING MACHINES

1964, MARCH 13, 1954

## DOWN FROM BLUE SKY

Monroe puts AUTOMATION on these desks... Today

THE BUDD COMPANY

DOUGLAS

J. L. STEEL

Jones & Laughlin STEEL CORPORATION

76 UNIO

These company names Today in the business, large and small. The new Monro-Matic Duplex Calculator. That figures up

See the MONROE CALCULATING

# AUTOMATION

È la sintesi della nuova MONROE DUPLEX 66 N

somma mentre moltiplica  
somma mentre divide  
e tiene in serbo i risultati

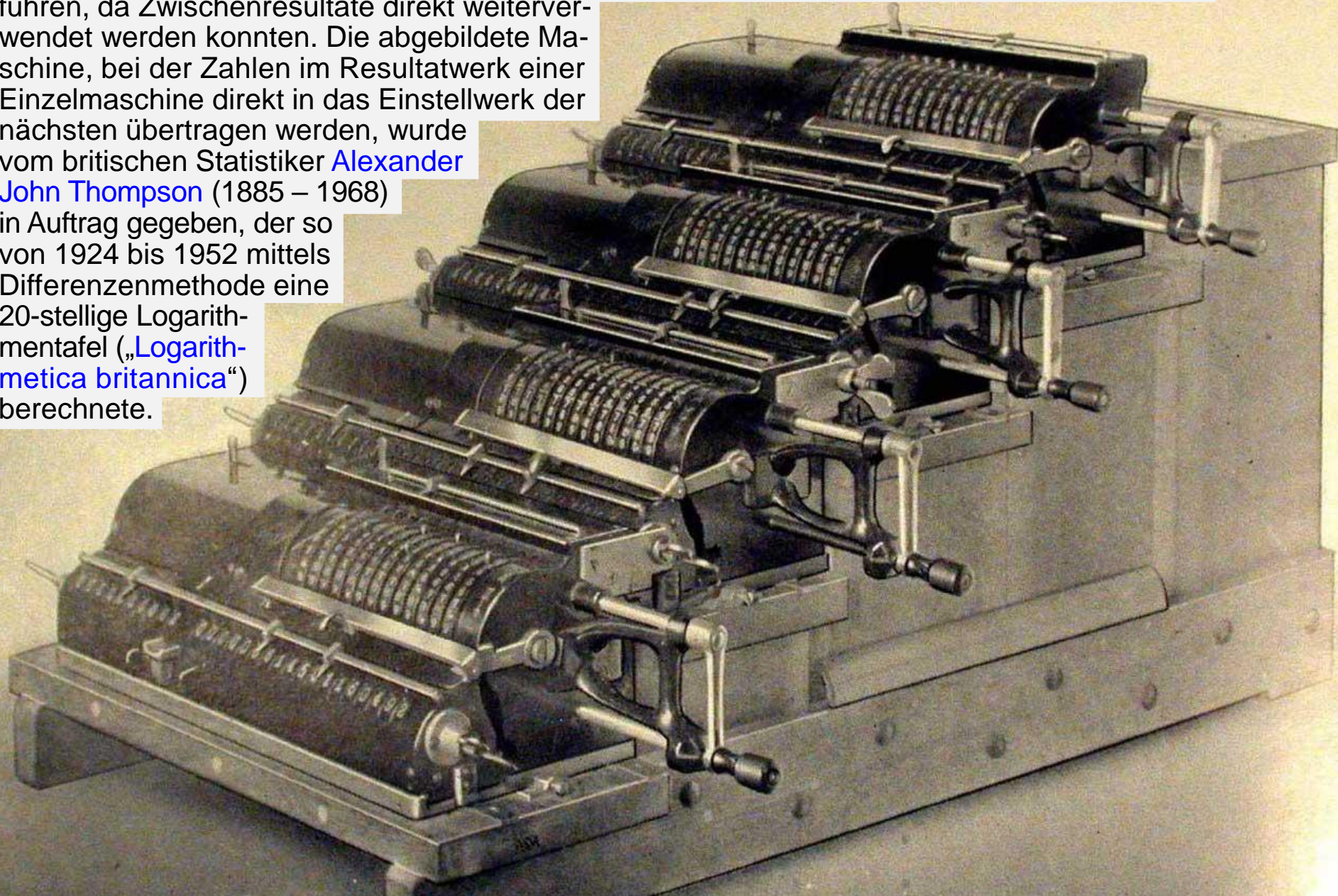
La sua straordinaria velocità, l'accuratezza versatile, l'immensità delle sue altre calcolatrici elettroniche rendono la MONROE DUPLEX 66 N il sistema che diventa per i vostri problemi di calcolo (bilanci, fatture, conti, conti generali, ecc.) il mirabile strumento moderno dell'AUTOMATION

ORGANIZZAZIONE GALLO POMI IN TUTTA ITALIA

MILANO Via S. Stefano 11 - TORINO Via Nazionale 44 - GENOVA Via Garibaldi 11 - NAPOLI Via Garibaldi 11 - FIRENZE Via de' Tornabuoni 11 - ROMA Via Nazionale 44 - VENEZIA Via S. Marco 11 - BOLOGNA Via S. Stefano 11 - PALERMO Via S. Stefano 11 - CATANIA Via S. Stefano 11 - BARI Via S. Stefano 11 - BRINDISI Via S. Stefano 11 - CAGLIARI Via S. Stefano 11 - CANTÙ Via S. Stefano 11 - COMO Via S. Stefano 11 - CREMA Via S. Stefano 11 - FERRARA Via S. Stefano 11 - GORIZIA Via S. Stefano 11 - LECCE Via S. Stefano 11 - LIVORNO Via S. Stefano 11 - MANTOVA Via S. Stefano 11 - MODENA Via S. Stefano 11 - NOVARA Via S. Stefano 11 - PADOVA Via S. Stefano 11 - PAVIA Via S. Stefano 11 - PERUGIA Via S. Stefano 11 - PISTOIA Via S. Stefano 11 - PRATO Via S. Stefano 11 - RAVENNA Via S. Stefano 11 - REGGIO EMILIA Via S. Stefano 11 - REGGIO CALABRIA Via S. Stefano 11 - RIMINI Via S. Stefano 11 - ROMA Via S. Stefano 11 - SALERNO Via S. Stefano 11 - SASSARI Via S. Stefano 11 - SENECA Via S. Stefano 11 - SERRAVALLE Via S. Stefano 11 - SIRMIONE Via S. Stefano 11 - SONDRIO Via S. Stefano 11 - TREVISO Via S. Stefano 11 - UDINE Via S. Stefano 11 - VERONA Via S. Stefano 11 - VIGEVANO Via S. Stefano 11 - VOGHERA Via S. Stefano 11 - VOGHERA Via S. Stefano 11 - VOGHERA Via S. Stefano 11



**Mehrfachrechenmaschinen** erlaubten es, komplexe Berechnungen in der Geodäsie sowie bei ingenieur- und finanzwirtschaftlichen Rechnungen zeitsparend und fehlervermeidend auszuführen, da Zwischenresultate direkt weiterverwendet werden konnten. Die abgebildete Maschine, bei der Zahlen im Resultatwerk einer Einzelmaschine direkt in das Einstellwerk der nächsten übertragen werden, wurde vom britischen Statistiker **Alexander John Thompson** (1885 – 1968) in Auftrag gegeben, der so von 1924 bis 1952 mittels Differenzenmethode eine 20-stellige Logarithmentafel („**Logarithmetica britannica**“) berechnete.



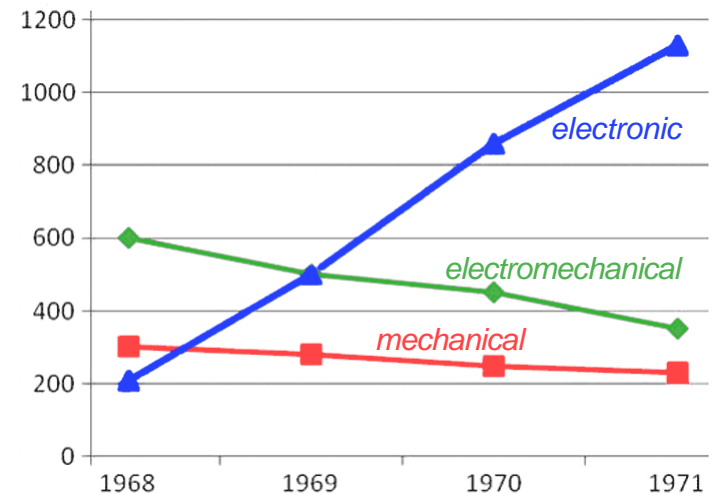
# Das schnelle Ende der mechanischen Rechner

Das Zeitalter (elektro)mechanischer Rechenmaschinen endete um 1970 recht abrupt durch den Siegeszug der letztendlich viel preiswerter herzustellenden und gleichzeitig funktionaleren elektronischen Rechenmaschinen auf Basis von Transistoren und später vor allem von integrierten Schaltkreisen. Viele Firmen, die mit ihren klassischen Rechenmaschinen gut und erfolgreich im Geschäft waren, waren auf diese Disruption nicht vorbereitet und verschwanden vom Markt.

“At the large Hannover fair where manufacturers of calculators exhibit their latest products, 22 electronic calculators were presented in 1968. This figure more than doubled the following year, and in 1970, 68 electronic calculators were exhibited, out of which only 13 had been shown the previous year. In 1972, 160 electronic calculators were shown and only 33 of them were left from 1971. Hence, the intensity of product launches was in fact accelerating in these years.” [Christian Sandström]

**Beispiel Facit** (Schweden): „Die Firma wurde 1922 gegründet. In den folgenden Jahren machte sich das Unternehmen als Hersteller von Rechenmaschinen einen Namen, sodass bis 1970 die Anzahl der Mitarbeiter auf 14000 stieg.“ [de.wikipedia.org] „In 1971, modern Japanese-made calculators started to seriously disrupt the industry, instantly making Facit’s mechanical calculators obsolete. As a result, Facit went out of business virtually overnight.“ [en.wikipedia.org] Der Facit-Entwicklungschef äusserte noch

*Der Fuhrwerksbesitzer kann nicht eine zweite Eisenbahn neben der bauen, die sein Geschäft vernichtet.*  
-- Joseph Schumpeter, 1911



*Global sales of mechanical, electromechanical, and electronic calculators; figures are in thousands of units. [Christian Sandström: Facit and the displacement of mechanical calculators. IEEE Annals of the History of Computing 35.3 (2013): 20-31.]*

# Das schnelle Ende der mechanischen Rechner (2)

kurz zuvor: „Aldrig någonsin kan en elektronisk räknemaskin ersätta Facits högkvalitativa mekaniska räknemaskiner.“ („Niemals kann eine elektronische Rechenmaschine die hochwertigen mechanischen Rechenmaschinen von Facit ersetzen.“) Diese ignorante Haltung wurde in Schweden unter dem Begriff „Facitfalle“ („Facitfällan“; auch als „Tatsachenfalle“ interpretierbar) populär. Sinngemäss soll ein Ericson-Manager einmal gesagt haben, dass man niemals Telefone herstellen werde, die wie Seife aussehen würden – heute stellt Ericson jedenfalls gar keine Telefone mehr her.

**Beispiel Hamann** (Deutschland): „Ziel der neuen Konstruktion [...] war, mit mechanischen Mitteln eine Steigerung der Rechengeschwindigkeit zu erreichen, um dem Konkurrenzdruck der elektronischen Maschinen [...] zu begegnen, deren Vertreter vor allem mit ‚Schnelligkeit der Maschine‘ argumentierten. Die verschiedenen Maschinenfunktionen sollten sich, soweit prinzipiell möglich, überlappen, d.h. eine neue Funktion sollte anlaufen, auch wenn die vorhergehende noch nicht abgeschlossen war. [...] Letzteres hat zum Scheitern der Anstrengungen beigetragen. Die Überlagerung der Maschinenabläufe wirkte in gravierender Weise auf die Funktionssicherheit zurück: Wenn die Maschine blockierte, dann war nicht nur eine Teilfunktion betroffen, sondern der gesamte komplexe Funktionsablauf. Es zeigte sich, dass die blockierten Maschinen durch die Mechaniker vor Ort nicht mehr reparierbar waren. [...]

Die solide Art, eine Funktion (Schaltung über eine Kupplung) zu beenden, bevor die nächste startete, wurde verlassen zu Gunsten des dringend notwendigen Zeitgewinns. Die Schnelligkeit des elektronischen Tischrechners erreichte man damit immer noch nicht, aber man verlor die Sicherheit und Zuverlässigkeit der bisherigen mechanischen Geräte. [...] Das Desaster war nicht abzuwenden: Als das Werk in Berlin 1970 geschlossen wurde, gingen von den ca. 5000 hergestellten Maschinen etwa 2500 direkt vom Verkaufslager auf den Schrottplatz. Die Rechenmaschinen mit dem Namen ‚Hamann‘ verschwanden damit aus den Verkaufsregalen des Büromaschinenhandels. Der Konstrukteur der Maschine konnte den sich abzeichnenden Misserfolg nicht überwinden und nahm sich 1968 das Leben.“ [Erhard Anthes, [www.ph-ludwigsburg.de/fileadmin/subsites/2e-imix-t-01/user\\_files/mmm/mmm\\_online/](http://www.ph-ludwigsburg.de/fileadmin/subsites/2e-imix-t-01/user_files/mmm/mmm_online/)]

# “Instantaneous mathematics” durch Transistor-Elektronik

*Calculations are done not only quickly but in complete silence.*  
-- Zeitgenössische Werbung

The  
totally new  
Friden  
130 Electronic  
Calculator

*Les années 1960,  
âge d'or de la production de porte-clefs publicitaires*

Das Modell 132 hatte hier eine weitere Taste zur Berechnung der Quadratwurzel



Mitte der 1960er-Jahre kamen die ersten **elektronischen** Tischrechner auf den Markt; diese hatten praktisch keine mechanisch bewegten Teile mehr. Einer der ersten, der Friden 130, kostete ca. 2000 Dollar. Er wurde mit „**instantaneous mathematics**“ und zeitgemäss – die Mondlandung wurde Ende des Jahrzehnts erwartet – mit „**mathematics for the space age**“ beworben. Die angepriesenen Neuerungen lassen erahnen, welche Schwächen die früheren (elektro)mechanischen Rechenmaschinen hatten:

*It has **no moving parts**. Just an “eleven-key” keyboard. A **cathode ray tube** – like a miniature TV screen – displays the contents of its four registers. It’s so **silent**, a whole battery of them working in a library wouldn’t raise an eyebrow. It’s so flexible that it revolutionizes calculations in any type of business, commercial, financial, engineering or scientific enterprises. Operating time is in **milliseconds**. For the majority of problems, the 130 provides instantaneous mathematics – it gives you the answer almost before you can remove your finger from a control key. **Anyone can learn to use it in a few minutes**.*

Mit „eleven-key“ ist eine wichtige Innovation gemeint: Das **Dezimalkomma** konnte nun eingegeben werden.

# 1964: Elektronik auf Ihrem Schreibtisch

706 DM war das durchschnittliche Monatseinkommen in Deutschland; ein VW Käfer „Export“ kostete 4980 DM.

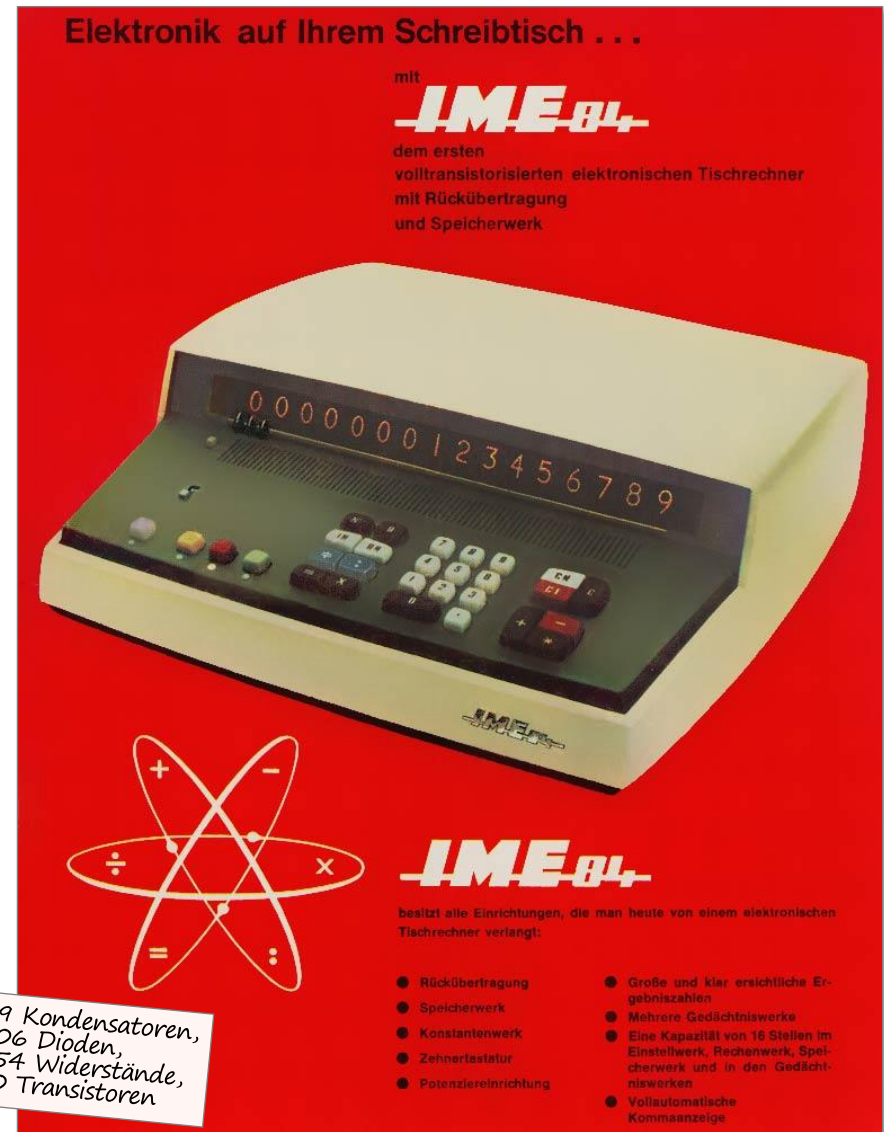
Die italienische Firma „Industria Macchine Elettroniche“ präsentierte im April 1964 den vermutlich ersten Tischrechner auf Transistorbasis. Stolz verkündet die deutsche Werbung: „Elektronik auf Ihrem Schreibtisch... mit IME84, dem **ersten volltransistorisierten elektronischen Tischrechner**“. Er kostete ca. 5000 DM. Dann gab es aber für ca. 1500 DM auch noch eine „Fernbedienung“ – an einem anderen Schreibtisch konnte man damit auch rechnen, allerdings nicht gleichzeitig...



**IME 84**  
**FERNBEDIENUNGSTASTATUR**

„Doppelnutzung und die daraus resultierenden Rechenfehler sind unmöglich.“

Die IME 84 M und IME 84 RC können durch Fernbedienung noch wirtschaftlicher eingesetzt werden. Die Vorteile der Elektronik lassen sich damit auch dort voll ausnützen, wo nicht ständig gerechnet wird. Diese Methode ist einmalig; sie wurde aus der Praxis für die Praxis entwickelt.



**Elektronik auf Ihrem Schreibtisch ...**

mit **IME 84**  
dem ersten volltransistorisierten elektronischen Tischrechner mit Rückübertragung und Speicherwerk

**IME 84**  
besitzt alle Einrichtungen, die man heute von einem elektronischen Tischrechner verlangt:

- Rückübertragung
- Speicherwerk
- Konstantenwerk
- Zehnerlastatur
- Potenziereinrichtung
- Große und klar ersichtliche Ergebniszahlen
- Mehrere Gedächtniswerke
- Eine Kapazität von 16 Stellen im Einstellwerk, Rechenwerk, Speicherwerk und in den Gedächtniswerken
- Vollautomatische Kommandozeige

569 Kondensatoren,  
1006 Dioden,  
1654 Widerstände,  
400 Transistoren

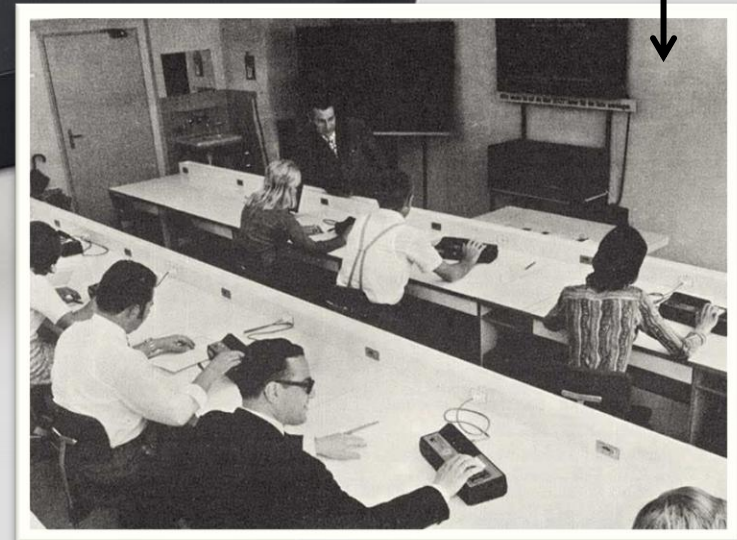
# Elektronischer Tischrechner 1970 Casio AS-A

13 cm x 33 cm x 9.7 cm, ca. 1.8 kg (bei Markteinführung 1969 der kleinste und leichteste elektronische Rechner), ca. DM 3000 („our lowest priced calculator“; ein Auto vom Typ VW Käfer 1200 kostete damals DM 4695), 12 Stellen, kein Komma, keine negativen Zahlen.

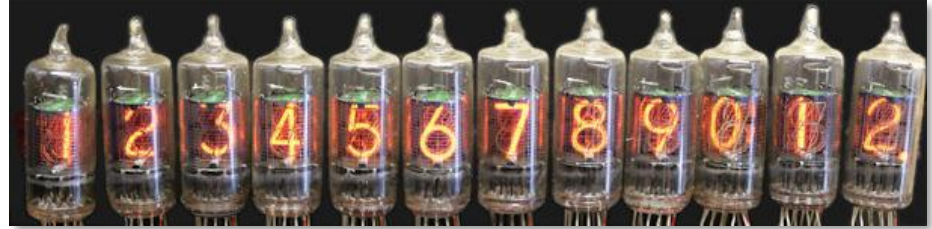
Kurs „Maschinenrechnen“ für Schweizer Bankangestellte ca. 1970: Gelernt wird 12 Tage lang eine Stunde an Elektronenrechnern Casio AS-A die Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division – bei späteren Modellen auch Rechnen mit Speicherfunktion sowie mit Konstanten.



*Division by zero results in the machine getting quite confused: All of the decimal points light up dimly, and the machine acts strangely when keys are pressed when it is in this state. Multiplying 99999999999 x 99999999999 results in a madly display, with multiple digits in some Nixie tubes lit at once. -- www.oldcalculatormuseum.com*

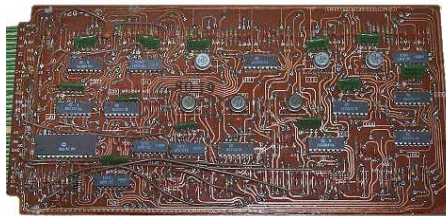


# Elektronische Rechner 1970 - 1972



An diesen drei elektronischen Tischrechnern von Casio kann man den Fortschritt der Halbleitertechnik **Anfang der 1970er-Jahre** erkennen. Die Rechner waren noch nicht batterie- bzw. akkubetrieben, waren aber klein genug für die Aktentasche. Die Anzeige erfolgte mit **Nixie-Röhren**; der Speicher bestand aus Schieberegistern mit bitserieller Verarbeitung der Zahlen. Äusserlich ähnlich, änderte sich der innere Aufbau der Modelle rasant: Die Produktionskosten sanken, die Funktionalität nahm zu.

Der primitive **AS-A** (keine negativen Zahlen oder Kommataste!) bestand aus zwei Platinen von 153 cm<sup>2</sup> mit



insgesamt 34 meist 14- oder 16-poligen ICs. Der **AS-C** hatte die gleiche Platinenfläche, war aber aufgrund höher integrierter Schaltungen deutlich leistungsfähiger. Er bestand aus 14 kleinen und 4 grossen 36-poligen ICs.

Der **AS-L** benötigte nur noch 84 cm<sup>2</sup> Platinenfläche und besass einen Aufbau aus 4 mikroprogrammierten LSI-Schaltkreisen, was in der Funktionalität zusammengekommen bereits einem Mikroprozessor entsprach.



# Olivetti: italienisches Design



Die Firma [Olivetti](#) wurde 1908 von Camillo Olivetti als Herstellerin von Schreibmaschinen gegründet; später kamen Rechenmaschinen und schliesslich Computer dazu. Olivetti war bekannt für sehr gutes Produktdesign; auch die Anzeigen und die Verkaufsräume (wahrhafte „show rooms“) in bester Lage waren gestalterische Meisterwerke ihrer Zeit. Bereits 1954 eröffnete Olivetti einen [Store auf der 5th Avenue](#) in New York und nahm damit quasi das Konzept der heutigen Apple Stores vorweg.





# Futuristisch-elegantes Styling 1972



<https://lampes-et-tubes.info/cm/cm001a.jpg>

Der „Commodore US\*14“ erschien 1972 in den USA und kostete dort \$160 (entspricht ca. \$1200 im Jahr 2024). Mittlerweile war die Mikroelektronik-Technik so weit fortgeschritten, dass die gesamte Logik für die vier Grundrechenarten auf drei LSI-Schaltkreise passte. Sechs Standard-TTL-ICs der 7400-Serie ergänzten die Schaltung, hinzu kamen einige diskrete Bauteile für Taktgenerierung und Stromversorgung. Ungewöhnlich war das Display: Es bestand aus 14 Siebensegmentanzeigen, realisiert durch planare Neon-Gasentladungsröhren, die eine Versorgungsspannung von 180V benötigten. Das Display leuchtete in einem futuristischen „Neon-Orange“, die Ziffern waren elegant-kursiv angeordnet. (LED-Anzeigen waren damals noch nicht verbreitet und blieben zunächst den aufkommenden Taschenrechnern vorbehalten, LCD-Anzeigen erschienen erst Ende der 1970er-Jahre.)

# Vom Tisch in die Tasche

Nachdem Ende der 1960er-Jahre die mechanischen und elektromechanischen Tischrechner zunehmend durch elektronische Tischrechner ersetzt wurden, bahnte sich in den **1970er-Jahren** eine weitere Revolution an: Die elektronischen Rechenmaschinen konnten mittels integrierter Schaltkreise nun wesentlich billiger, leistungsfähiger und vor allem kleiner hergestellt werden – die **Taschenrechner** eroberten den Markt. Zunächst noch etwas klobig, wurden sie anfangs als „**hand-held calculator**“ bezeichnet; bald wurden sie so flach, dass sie in die Brusttasche eines Hemds oder eines Ingenieurskittels passten und nun „**pocket calculator**“ genannt wurden.

Wie später beim Computer, der aufgrund des Technikfortschritts vom Rechenzentrum ins eigene Heim („Homecomputer“) wandern konnte und dadurch ein persönliches Gerät („personal computer“) wurde, eroberte der gegenüber den Tischrechenmaschinen preiswertere und einfacher zu benutzende Taschenrechner ganz **neue Märkte und Nutzerklassen** – auch wenn es hier noch ausschliesslich um das Rechnen ging – für andere „Anwendungen“, wie z.B. Spiele, waren diese Geräte nicht vorgesehen.



## WALTHER Überall-Rechner

Die elektronischen Rechner im Mini-Format made in Germany für den Überall-Einsatz. Bestehend in Form, Leistung und Bedienung. Zeitlos, lautlos. Unter extremen Bedingungen getestet und geprüft. Die Überall-Rechner in der bekannten WALTHER Qualität. Für jeden, für jede Rechenaufgabe, überall: im Auto, im Flugzeug, in der Bahn, auf der Baustelle, bei Konferenzen, zu Ein- und Verkaufsverhandlungen. Überall dort, wo es etwas zu rechnen gibt.



1971:  
Sharp  
EL-8

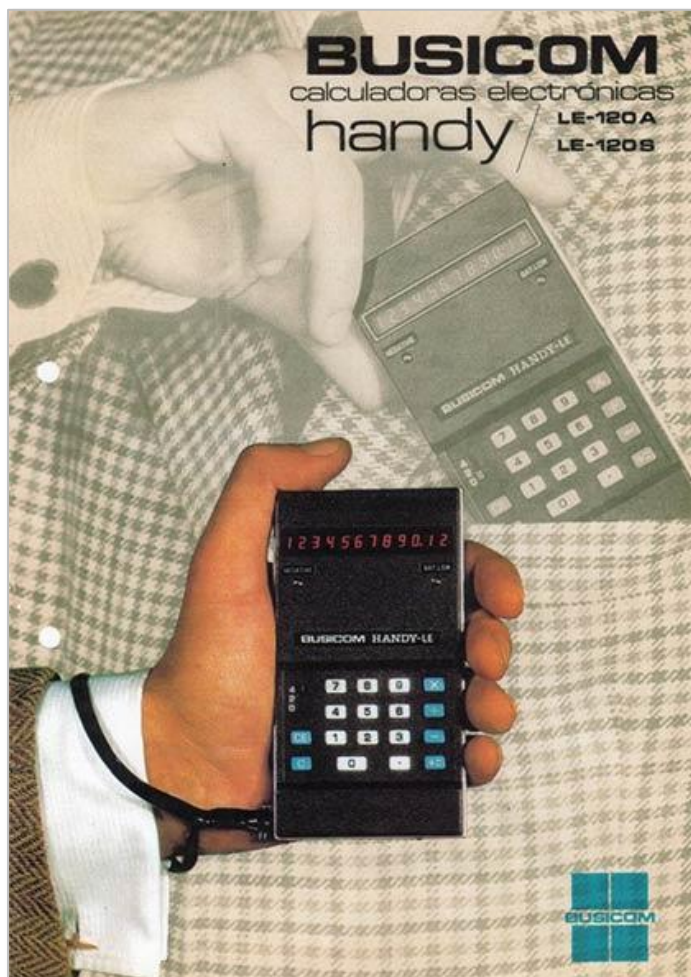


1970: Canon  
Pockeetriconic,  
Ausgabe auf  
Thermopapier

1971: Kleiner Tischrechner? Grosser Taschenrechner?

<http://computermuseum.informatik.uni-stuttgart.de>; <https://blog.hnf.de/morgenroete-der-taschenrechner/>

## Vom Tisch in die Tasche (2)



www.dentaku-museum.com/calculator/10-busicom/busicom/busicom.html



blog.hntf.de/der-erste-hadliche-taschenrechner

Der mittlerweile über 50 Jahre alte „Busicom Handy“ hatte immerhin schon eine zwölfstellige Anzeige: er kostete seinerzeit aber auch knapp 90000 Yen bzw. 400 Dollar.

Das Modell **LE-120A** von Busicom aus Japan (1971) hatte eine innovative rote LED-Anzeige und war zum gleichen Preis rund dreimal flacher und leichter als die Konkurrenzprodukte EL-8 bzw. Pocketronic (vgl. Vorseite) – es wurde als „Handy“ bezeichnet („any smaller would be beyond the point of practicability“).

Japanische Hersteller übernahmen bei den einfachen 4-Spezies-Taschenrechnern nun die Führung und fluteten den Weltmarkt.

Zwei der damals reichsten Männer der Welt, der Schah von Persien **Pahlavi** und der griechische Reeder Aristoteles **Onassis**, sollen grosse Stückzahlen des „Handys“ als Geschenkartikel gekauft haben.

## Vom Tisch in die Tasche (3)

“In a very real way, what people tuck into their pockets signals what they care about. Ötzi the Iceman carried fungus to make fire. We carry cellphones – never letting them out of our sight.

If what we put in our pockets is important, to advertise a product as pocketable is to imply that it's indispensable: something you'll always want by your side. Pocket watch manufacturers adopted this approach early; purveyors of pocket knives, pocket handkerchiefs, and pocket books followed suit. To find a direct ancestor of the cell-phone, we need only look back as far as 1970: the year the pocket calculator was born.

The one-two punch of the Pocketronic followed by the HANDY illustrates an inescapable duality: it's impossible to talk about pockets without also talking about hands. Handkerchiefs and handbooks belong in pockets as surely as pocket calculators come in handy. The history of pockets is the history of handheld technology; the history of handheld technology is the history of how people have remade the world.”

-- Diana Kimball (gekürzt)

<https://medium.dianakimball.com/close-at-hand-b4331294160d>

**BUSICOM**

LA PIÙ PICCOLA  
CALCOLATRICE  
ELETTRONICA  
DEL MONDO  
SI CHIAMA  
**BUSICOM**

**FATE VERAMENTE  
LA PROVA... TASCHINO**

A CURA DELL'ORGANIZZAZIONE G.B.C.

# Vom Tisch in die Tasche (4)



[www.elektromuseum.de/images/sammlung/rechentechnik/fg-elektrogeraete-multiplus-taschenrechner-hires.jpg](http://www.elektromuseum.de/images/sammlung/rechentechnik/fg-elektrogeraete-multiplus-taschenrechner-hires.jpg)

Ab **September 1972** gab es von der in der Nähe von Nürnberg ansässigen Firma „FG Elektrogeräte“ einen **Bausatz für einen Taschenrechner** zum Preis von 339 DM auf Basis des TMS0105NC-Chips von Texas Instruments. Der Chip erledigte eigentlich die gesamte Arithmetik des Taschenrechners, für den Bausatz wurden zusätzlich nur noch die 7-Segment-LEDs, die Treiberbausteine hierfür und ein externer Taktgenerator benötigt – und natürlich ein Gehäuse mit Tastatur und eine Spannungsversorgung. Bei obiger Ausführung hat man die Wahl, ob man links digital und elektronisch oder rechts konventionell und „analog“ auf dem Papierblock rechnen möchte...



Nur ein Monat später, im **Oktober 1972**, erschien mit dem gleichen IC ausgerüstet der **Aristo M27**; er kostete 466 DM.




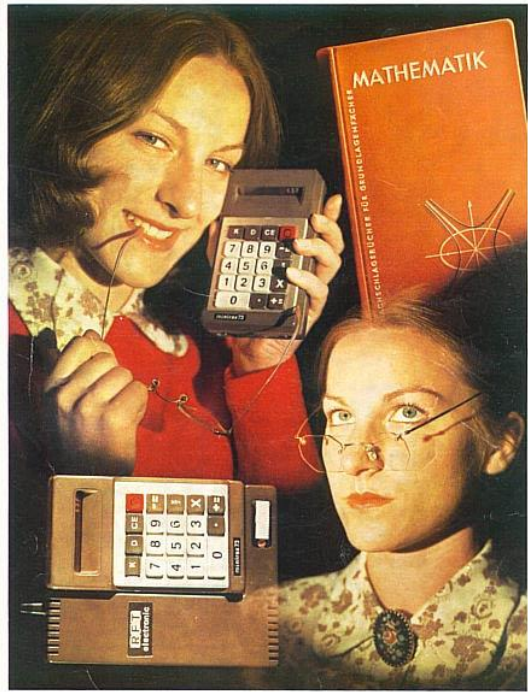
**Analog oder digital?** Aristo war ein klassischer Fabrikant von Rechenschiebern für Schule und Universität.

# Vom Tisch in die Tasche (5)



Da die Akkus nicht lange hielten, wurde der minirex meist stationär im Büro, eingefasst in ein Netzteil, genutzt.

**minirex 73**  
Elektronischer Taschenrechner




- hohe rechengeschwindigkeit
- einfache handhabung
- minimaler platzbedarf
- geringes gewicht
- geräuschloses arbeiten
- netzunabhängigkeit

www.tiffe.de/images/MR73\_Pvr6.jpg

Anfang der 1970er-Jahre wurde die Kleinschreibung modern – auch in der DDR griff die Werbung dies auf.

Hier der auf der [Leipziger Frühjahrsmesse 1973](#) präsentierte achtstellige „minirex“ aus DDR-Produktion. Im HNF-Blog heisst es dazu: „Anfang 1972 übergab Otfried Steger, DDR-Minister für Elektrotechnik und Elektronik, dem Direktor des Kombinats Funkwerk Erfurt ein Souvenir von einer Japan-Reise: einen Basicom LE-120A. Er möge doch ermitteln, wie die DDR ein solches Gerät fertigen könnte. ... Er erhielt ein neues Design und den Texas-Instruments-Chip TMS0105NC; 1975 trat an seine Stelle die DDR-Kopie U820D.“ Bevor der U820D, die LED-Anzeigen und die Treiberschaltkreise aus nationaler Produktion zur Verfügung standen, musste die laufende Produktion zunächst aber mit Bauelementen abgesichert werden, die nur unter „kreativer“ Umgehung der westlichen Embargomassnahmen für Hochtechnologie beschafft werden konnten.

# Vom Tisch in die Tasche (6)

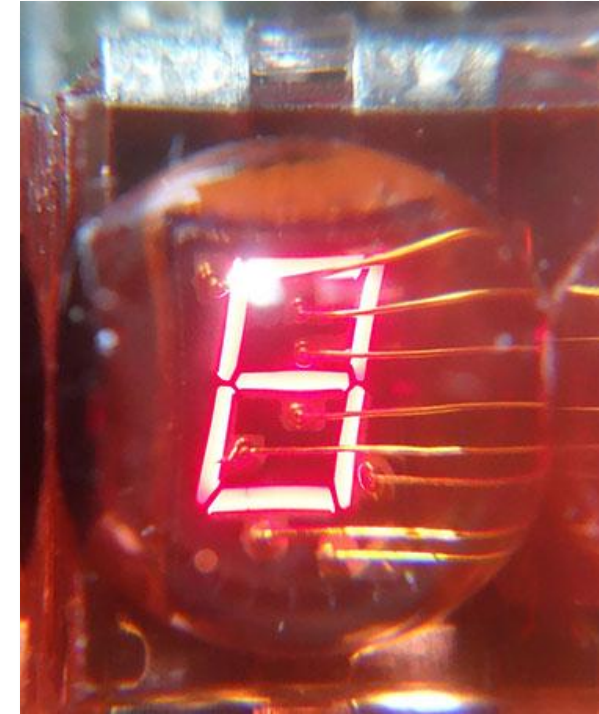
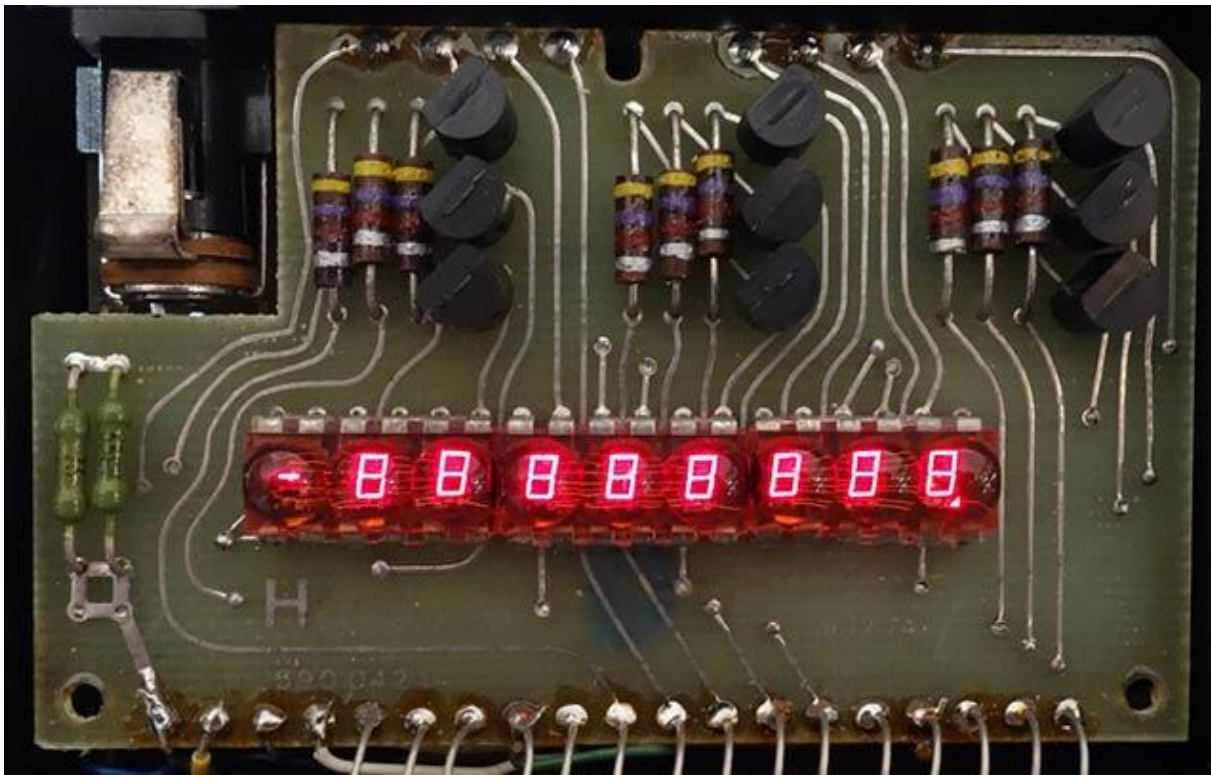
Der Taschenrechner „Konkret 100“, u.a. in poppigem orangenem Thermoplastgehäuse und wahlweise Batterie- (4 x AA) oder Netzbetrieb, stellte ab 1976 den Nachfolger der Minirex-Rechner dar. Einstellbar waren Fließ- oder Festkomma mit 2 oder 3 Nachkommastellen. Er kostete 900 „Ostmark“, was dem durchschnittlichen Monatslohn eines DDR-Arbeitnehmers entsprach.



Der spätere „Konkret 400“ kostete 1400 Mark; er verwendete den Mikroprozessor K145IK2P aus der UdSSR und konnte Kehrwerte bilden und Quadratwurzeln ziehen. Der „Konkret 600“ bot für 1600 Mark noch Winkel- und Logarithmusfunktionen.



# Vom Tisch in die Tasche (7)

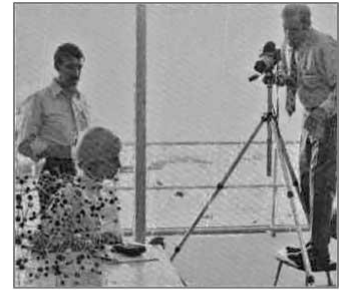


Eine typische **7-Segment-LED-Anzeige**, hier von einem Taschenrechner aus dem Jahr 1974.

Ansicht von aussen hinter der Plexiglasabdeckung; Montage auf der Elektronikplatine (mit 9 Transistoren und Widerständen zur Ansteuerung) sowie Makroaufnahme eines Elements.



# Vom Tisch in die Tasche (8)



Das Bild der Mitarbeiterin Karen Cambria von Hewlett-Packard, die den **HP-35**-Rechner vor ihr Gesicht hält, wurde als *The Face of the HP-35* weltbekannt.

Sometime in late 1971, Peter Nelson, from Hewlett-Packard's Corporate Relations Department in Palo Alto, enlisted Karen Cambria, from the Automatic Measurement Division (conveniently, in the same building), to pose with their new electronic device, a scientific calculator they named the HP-35. Norton Pearl took several photos of Karen with the calculator and it was this photo that ended up in the press kit. -- <http://codex99.com/design/the-hp35.html>

# Vom Tisch in die Tasche (9)

*I remember the first time I saw the calculator. I was in the Air Force and an engineer walked in with one and it blew everyone's mind. How could something that small be able to do logs and all the other functions? We had big desktop calculators that could only add, subtract, multiply and divide! -- Old Phoney@hackaday.com*

Wenn das Wochenmagazin „Der Spiegel“ ausführlicher über eine Neuerung berichtete, dann war das seinerzeit ein fast untrügliches Zeichen dafür, dass die Innovation im Begriff stand, die Massen zu erobern. Im November 1972 war dies hinsichtlich der Taschenrechner so weit; nachfolgend einige Auszüge aus dem [Spiegel-Artikel](#) (47/1972, S. 208-210) mit der Überschrift „[gleitendes Komma](#)“:

Elektronische Taschenrechner seien „kaum handtellergrößer, mitunter fast so klein wie eine Zigarettenschachtel, und dennoch rascher und vielseitiger als ihre mechanischen oder auch elektronischen Vorläufer der Tischrechner-Generation. ‚Endlich‘, so Sharp-Verkaufsmanager Uwe Rosener, werde das ‚[mobile Rechnen](#)‘ Wirklichkeit. Mehr als ein Dutzend Firmen wirbt nun um die [Rechenlust der Deutschen](#). Handelsschüler, die den Zinseszins berechnen, Ingenieurstudenten oder Techniker, die komplizierte Aufgaben lösen müssen. Architekten und Landvermesser, Ärzte und Handelsvertreter, Lohnbuchhalter und Flugzeugnavigatoren, aber [auch Hausfrauen und Hobby-Rechner](#), die einfach ihrem Spieltrieb nachgehen wollen, sind potentielle Kunden.

Lautlos, batteriebetrieben und mit dem Platzbedarf von maximal zwei Zigarettenschachteln bewältigen die neuen Elektronik-Rechner der billigsten Kategorie die vier Grundrechnungsarten – in ihrer Leistung vergleichbar also dem herkömmlichen, rasselnden Tischrechner, der 20- bis 30mal so viel Platz einnahm. [Höhere Mathematik](#) wird schon mit den Taschencomputern der [2000-Mark-Klasse](#) möglich. Sie liefern mit einem Tastendruck alle trigonometrischen und logarithmischen Funktionen, vermögen mit der Kreiszahl Pi und mit gebrochenen Exponenten zu rechnen sowie Quadratwurzeln zu ziehen. Zwischenlösungen und mehrere Konstanten werden gespeichert. Sogar bei schwierigen Berechnungen dauert es allenfalls [Sekundenbruchteile](#), ehe das Ergebnis in rot leuchtenden Ziffern aufscheint.



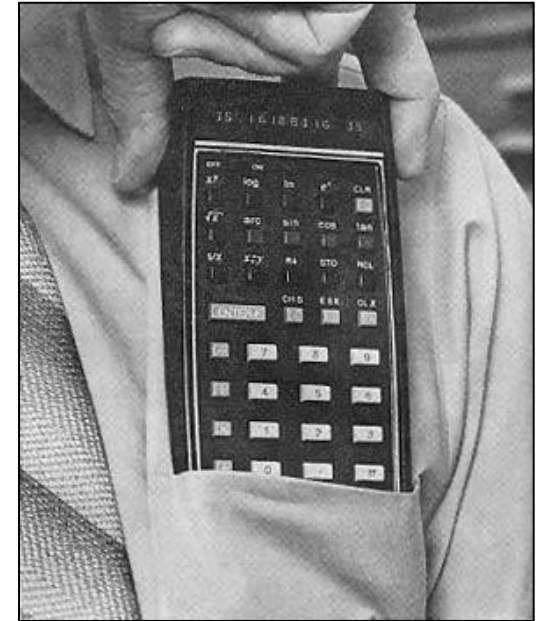
*Zinseszins in Sekundenbruchteilen*

# Vom Tisch in die Tasche (10)

Um die vielfältigen Rechenschritte auszuführen, genügt ein elektronisches Bauelement, kaum halb so groß wie eine Büroklammer. Entwickelt wurden diese Mikrobauteile ursprünglich für die Computer an Bord von [Raumfahrzeugen und Satelliten](#).

Das bislang raffinierteste Modell, fähig auch zu komplizierten Rechenoperationen etwa für wissenschaftliche Zwecke, brachte die kalifornische Firma Hewlett-Packard auf den Markt: Ihr Modell ‚HP-35‘ ist [schon fast ein kleiner Computer](#).

Nicht nur die [mathematischen Tabellenwerke](#) (beispielsweise Logarithmentafeln und Winkelfunktionstabellen) werden durch den neuen elektronischen Rechner überflüssig. Die Zahlenkünstler im Taschenformat sind auch dem klassischen Standessymbol der Ingenieure und vieler Wissenschaftler, dem [Rechenschieber](#), überlegen.“ □



*„Das halbpfündige Gerät, das wirklich in jede Hemdtasche paßt, bietet nicht nur Arithmetik, sondern auch logarithmische und trigonometrische Funktionen, und zwar mit 10-stelliger Genauigkeit (eine entsprechende neunstellige Logarithmentafel wöge mehrere Zentner).  
Hersteller: Hewlett-Packard;  
Festpreis: 1987 Mark.“*

*Der HP-35 hiess so, weil er 35 Tasten hatte. Er funktionierte nach dem Prinzip der umgekehrten polnischen Notation (UPN), also mit Postfix-Notation – er hat eine grosse „Enter“-Taste, dafür aber keine Klammer- oder „=-Tasten. Der Verkaufspreis wurde wie für alle HP-Produkte ermittelt: Die Materialkosten wurden mit Pi multipliziert.*

# Vom Tisch in die Tasche (11) Olivetti Divisumma 18



«Create nel 1973 dalla mano del designer Mario Bellini, questa Divisumma 18 portatile rappresentano un azzardo stilistico che destò all'epoca non poco scalpore. La morbida consistenza dei tasti, dal tocco vagamente lubrico ed erotico, non portò però grandi vendite alla casa di Ivrea, che si affacciava per la prima volta al mercato delle calcolatrici portatili elettroniche. La filosofia era sempre basata sulla sola stampante per i risultati, in inedita versione a scarica elettrica su nastro metallizzato.»

-- <http://museo.dagomari.prato.it/>



“Not only is the new Olivetti calculator beautifully designed (and yellow), and not only does it provide a printed tape of all calculations, but it’s all rubber, so it feels good, too.” – New York Magazine, 01 Oct. 1973



Der Taschenrechner befindet sich im New Yorker Museum of Modern Art (MoMA) als Beispiel für hochwertiges modernes italienisches Design.

# Vom Tisch in die Tasche (12)



Irgendwann war die Funktionalität ausgereizt – nicht jeder brauchte höhere mathematische Funktionen oder Programmierbarkeit – und die Fläche liess sich nur auf Kosten der Bedienbarkeit weiter verkleinern. An der Höhe liess sich noch etwas machen, und ansonsten diversifizierte man das Design für **neue Zielgruppen**: Taschenrechner mutierten zu Schlüsselanhängern, Werbeartikeln und Spielzeug. Als eigenständige Geräte wurden sie mit dem Aufkommen von Smartphone-Apps und Webdiensten jedenfalls überflüssig – die Digitalisierung frisst ihre Kinder...



**New! Lady**  
The chic, boutique calculator designed specially for women.

The Litton/Adler "Lady" is the only electronic calculator specifically designed for milady. Ruby red and gold tone create a truly striking conversation piece. Yet it's also a full-featured calculator that adds, subtracts, multiplies, divides, performs reciprocal and chain calculations as well as percent and add-on discount. Battery operated, the 8-digit "Lady" slips easily into the smallest purse. Comes with matching kid-soft red leather carrying pouch. **\$13<sup>95</sup>**

# Von \$24,000,000 zu \$24.95

Die Anzeige von 1978 thematisiert nett den Technikfortschritt bei Computern: Kaum 30 Jahre waren vergangen, seit die ersten kommerziellen Computer auftauchten. Der Vergleich ist eindrucksvoll, jedoch in mehrerlei Hinsicht auch unfair: Der Grosscomputer besitzt im Unterschied zum Taschenrechner Peripheriegeräte zum Speichern und Ausdrucken von Daten, vor allem aber ist er programmierbar. →



Noch kleinere Formate scheinen unpraktisch zu sein.

# THIS \$24.95 CASIO GIVES YOU THE SAME ANSWERS AS THIS \$24,000,000 COMPUTER.

You're looking at two of the world's most sophisticated electronic devices.

The \$24,000,000 computer (in the background) adds, subtracts, multiplies, divides, does percentages, and square roots, has a memory for chain operations and can perform all the math needed to orbit a space capsule.

The \$24.95 Casio "Minicard" calculator does all but the last. (But then how often do you have to orbit a space capsule?)

The \$24,000,000 computer is about the size of a large living room.

The \$24.95 Casio is about the size of a credit card, wafer-thin and lighter than a 50¢ piece.

The computer works indefinitely, as long as you remember to plug it in.

The Casio has batteries that last for 1,000 hours, but you can change them indefinitely.

If you have to figure out your taxes, balance your checkbook, make out your budget, check the checkout person in the supermarket, both will do the job equally as well.

But the Casio has one distinct advantage.



It comes in a lovely leatherette case, at no extra charge.

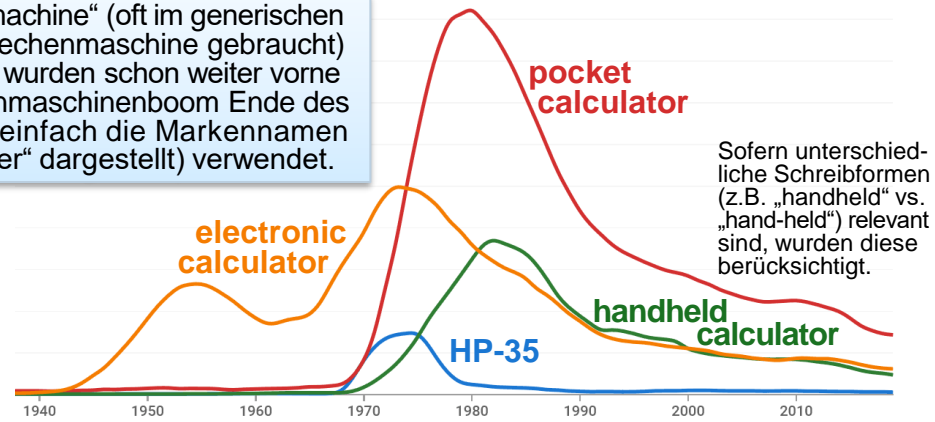
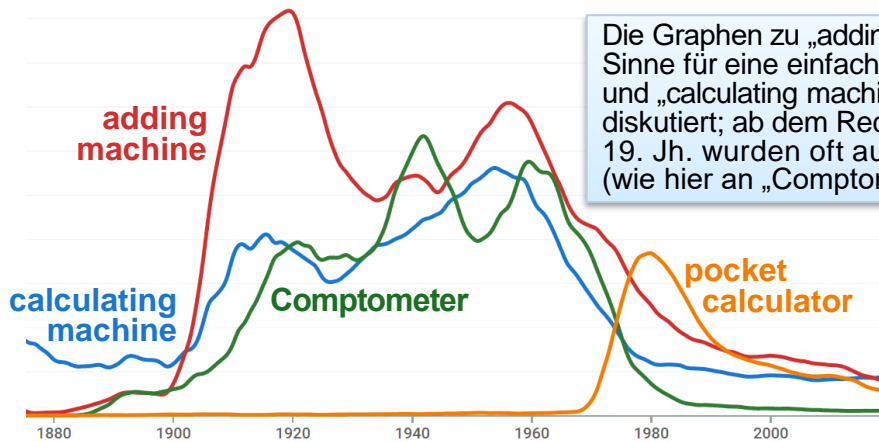
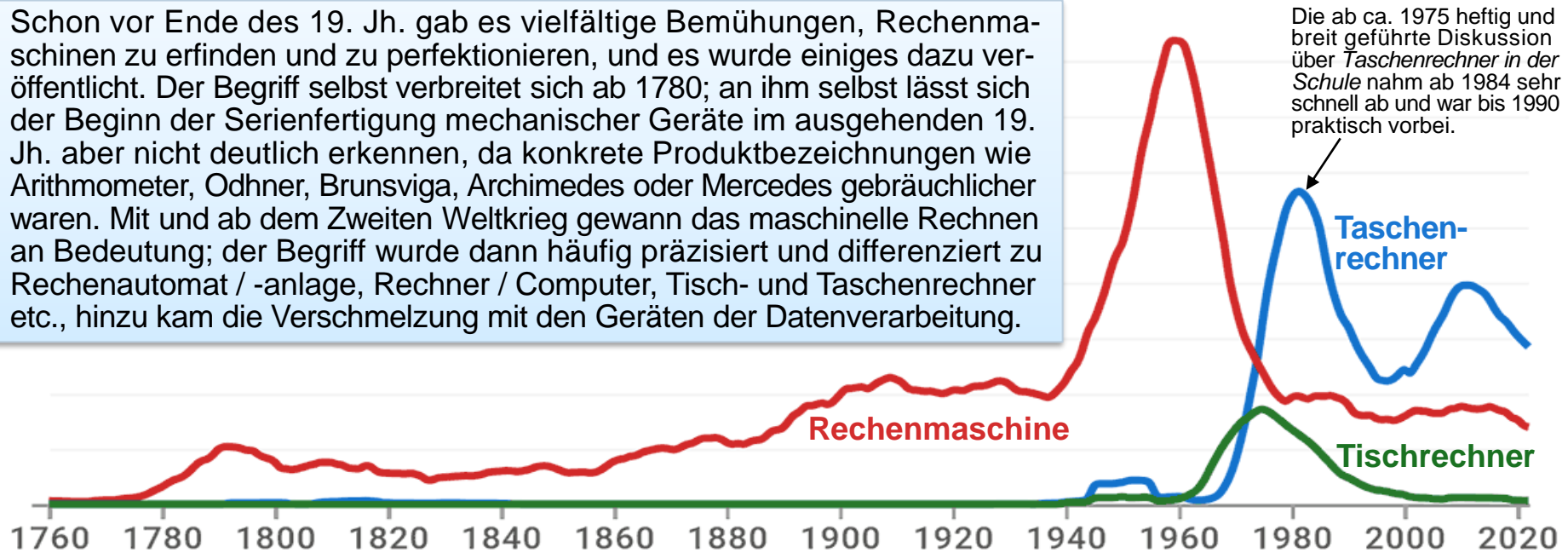


## AT CASIO, MIRACLES NEVER CEASE.

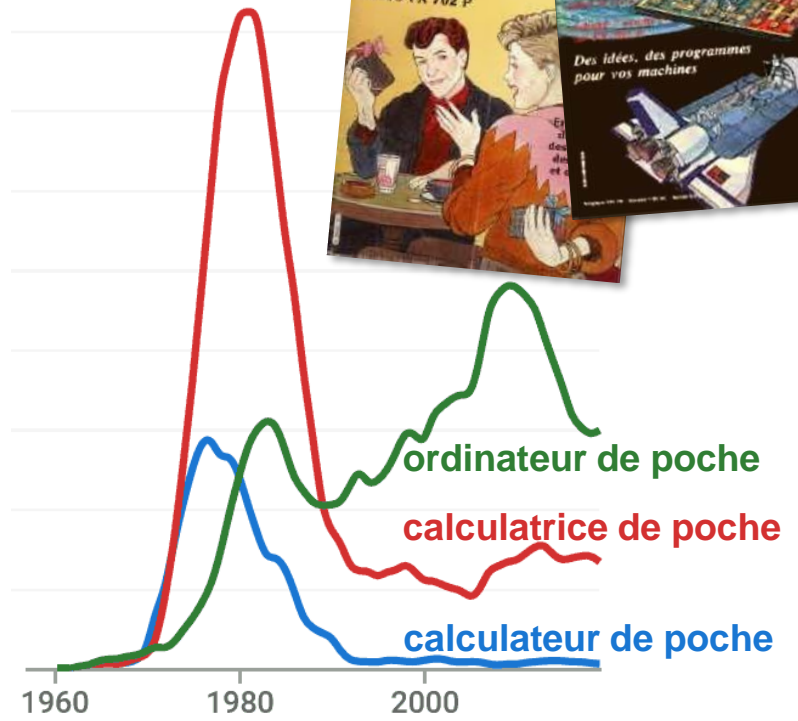
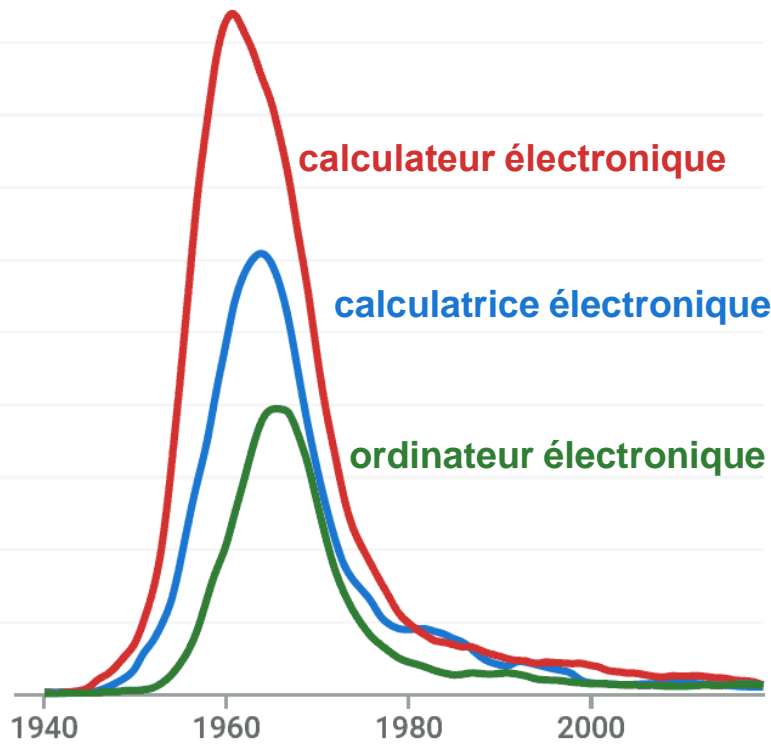
Casio, Inc. Consumer Products Division, Executive Offices: 15 Gardner Road, Fairfield, N.J. 07006 New Jersey (201) 575-7400, Los Angeles (213) 923-4964.

# Rechnende Maschinen

Schon vor Ende des 19. Jh. gab es vielfältige Bemühungen, Rechenmaschinen zu erfinden und zu perfektionieren, und es wurde einiges dazu veröffentlicht. Der Begriff selbst verbreitet sich ab 1780; an ihm selbst lässt sich der Beginn der Serienfertigung mechanischer Geräte im ausgehenden 19. Jh. aber nicht deutlich erkennen, da konkrete Produktbezeichnungen wie Arithmometer, Odhner, Brunsviga, Archimedes oder Mercedes gebräuchlicher waren. Mit und ab dem Zweiten Weltkrieg gewann das maschinelle Rechnen an Bedeutung; der Begriff wurde dann häufig präzisiert und differenziert zu Rechenautomat / -anlage, Rechner / Computer, Tisch- und Taschenrechner etc., hinzu kam die Verschmelzung mit den Geräten der Datenverarbeitung.



# Rechnende Maschinen (2)



**La calculatrice électronique de table avec l'élégante forme de Sanyo**

Prix Fr. 680.-

Capacité: 12 chiffres, avec grand affichage incorporé verticalement.  
Touche calculs pourcentages.  
Mémoire indépendante.  
Touche calculs réciproques.  
Arrondi supérieur et inférieur.  
Clavier agrégable (pour calcul aveugle).  
Au secteur.  
Grands chiffres très lisibles.

**SANYO**  
la marque mondiale

**Calculateur de poche M-OFFICE SL 672**

Calculateur à cellules solaires (sans piles).  
Affichage à cristaux liquides (8 chiffres).  
4 opérations de base (+/-/×/÷), changement de signe, racine carrée, pourcentage automatique, 4 touches de mémoire.  
Vendu avec un étui en plastique noir.

Une chance à saisir

**35.-**

**MIGROS** Prix. Qualité. Choix.

**Calculatrice de poche M-OFFICE avec garantie d'un an!**

**M-OFFICE LC 88**  
Le modèle extra-plat, seulement 7 mm d'épaisseur!  
Affichage à cristaux liquides, 4 opérations fondamentales, 4 touches de mémoire, % automatique, dispositif d'arrêt automatique.

**30.-**  
au lieu de 38.-

**MIGROS**



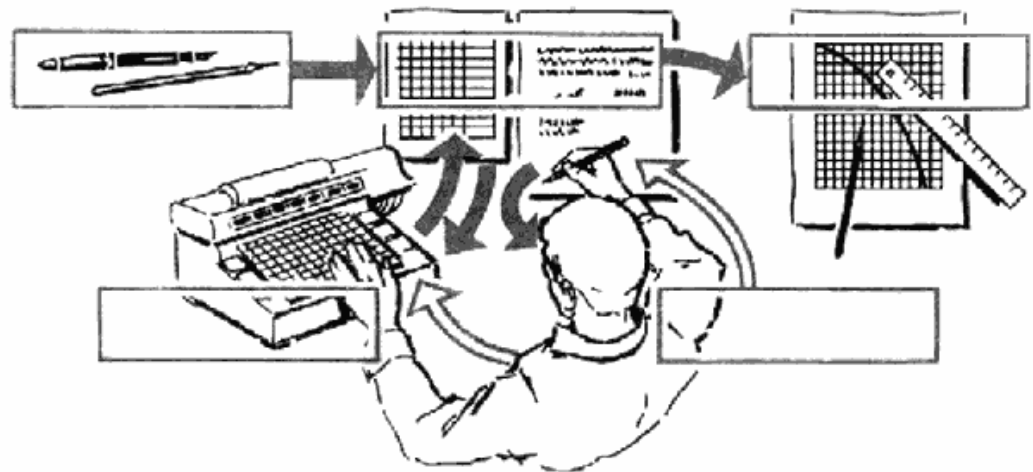
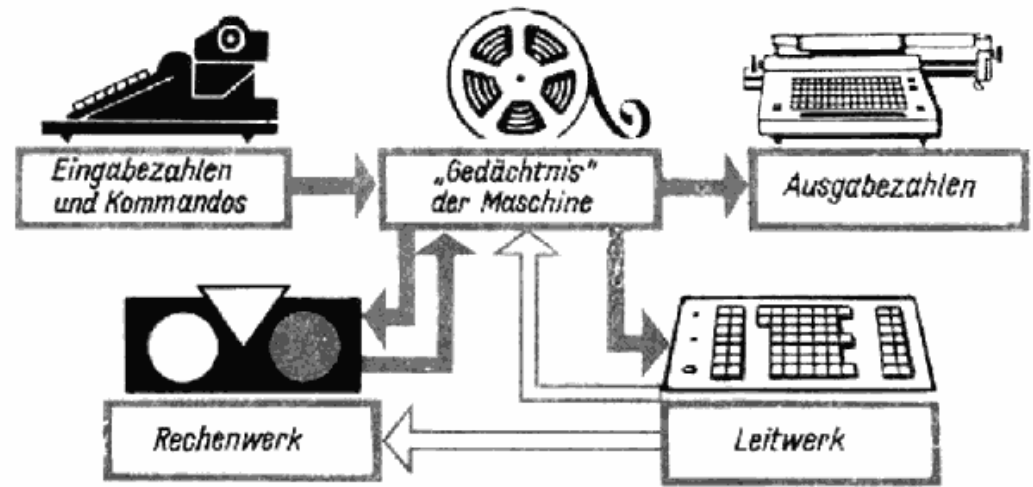
# Rechenautomat: Von der Zweiheit zur Einheit

Die Rechenmaschinen wurden immer besser. Bei langwierigen Rechnungen wurde aber **der sie bedienende Mensch zum Engpass**, zur Fehlerquelle und zum Kostenfaktor – es galt, seine Funktion zu automatisieren.

Um in der Anfangszeit der **automatischen Rechanlagen** deren Funktionsweise zu erläutern, wurde oft auf das seinerzeit bekannte Schema eines rechnenden Menschen als Vergleich zurückgegriffen.

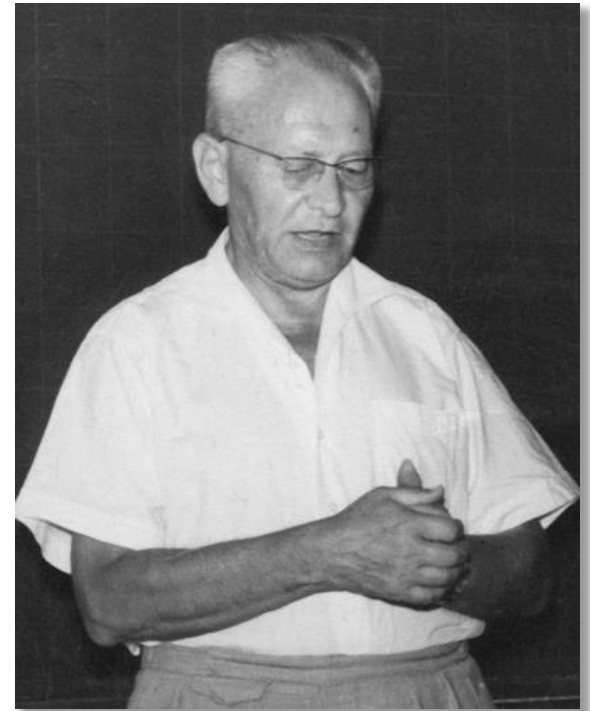
**Alwin Walther**, Professor für Mathematik an der Technischen Hochschule Darmstadt, schrieb bspw. **1956** in einem Aufsatz „Moderne Rechanlagen als Muster und als Kernstück einer vollautomatisierten Fabrik“:

„Ein Rechenautomat zieht die aus einer gewöhnlichen Büro-Rechenmaschine und der sie bedienenden menschlichen Rechnerin bestehende **Zweiheit** zu einer **Einheit** zusammen.“



# Historische Notiz: Alwin Walther (1898–1967)

Alwin Walther studierte Mathematik und Physik an der TH Dresden und promovierte 1922 in Göttingen bei Richard Courant. 1928 wurde er als Professor für Mathematik an die TH Darmstadt berufen, wo er das Institut für Praktische Mathematik aufbaute. Er richtete ein Praktikum ein, bei dem Studenten mit mathematischen Instrumenten und mechanischen Rechenmaschinen mathematisch-technische Probleme bearbeiten und numerisch auswerten konnten. Mit der Zeit entstand ein umfangreiches Rechenlabor, in dem auch externe Rechenaufträge bearbeitet wurden und in dem bis zu 70 Rechnerinnen an Bürorechenmaschinen die von Walther vorprogrammierten Lösungsalgorithmen abarbeiteten. Während des Zweiten Weltkriegs steht Alwin Walther mit seinem Institut im Dienste des Militärs (u.a. Berechnungen von Raketenflugbahnen für die Heeresversuchsanstalt in Peenemünde, deren technischer Direktor der Raketenpionier Wernher von Braun war).



Unter Walthers Leitung wurde ab 1951 der DERA (**Darmstädter Elektronischer Rechenautomat**) gebaut, ein raumgrosser Elektronenrechner mit Radioröhren. In ausgedehnter Vortrags- und Publikationstätigkeit propagiert er den allgemeinen Nutzen von Computern für Wissenschaft, Technik und Wirtschaft; er war auch eine treibende Kraft bei der Errichtung des **ersten Rechenzentrums Deutschlands** (DRZ in Darmstadt), das unabhängig von einer Hochschule errichtet wurde. (Zur Eröffnung des DRZ im Juni 1963 schrieb die Frankfurter Rundschau in weiser Voraussicht: „Wahrscheinlich wird die Bedeutung der Kybernetik auf die Dauer nicht im Vorhandensein solcher großen Zentren liegen, sondern darin, dass viele kleine Rechenautomaten zu den verschiedensten Zwecken zur Verfügung stehen.“)

# Historische Notiz: Alwin Walther (2)



www.ardmediathek.de/video/br-retro/vortragsreihe-der-spd-revolution-der-roboter/

Alwin Walther erläuterte gerne allgemeinverständlich. Die einzelnen Prozesse und Phasen der (neuen) **Programmierung** werden hier mit der (bekannten) **Fabrikationsplanung** verglichen.

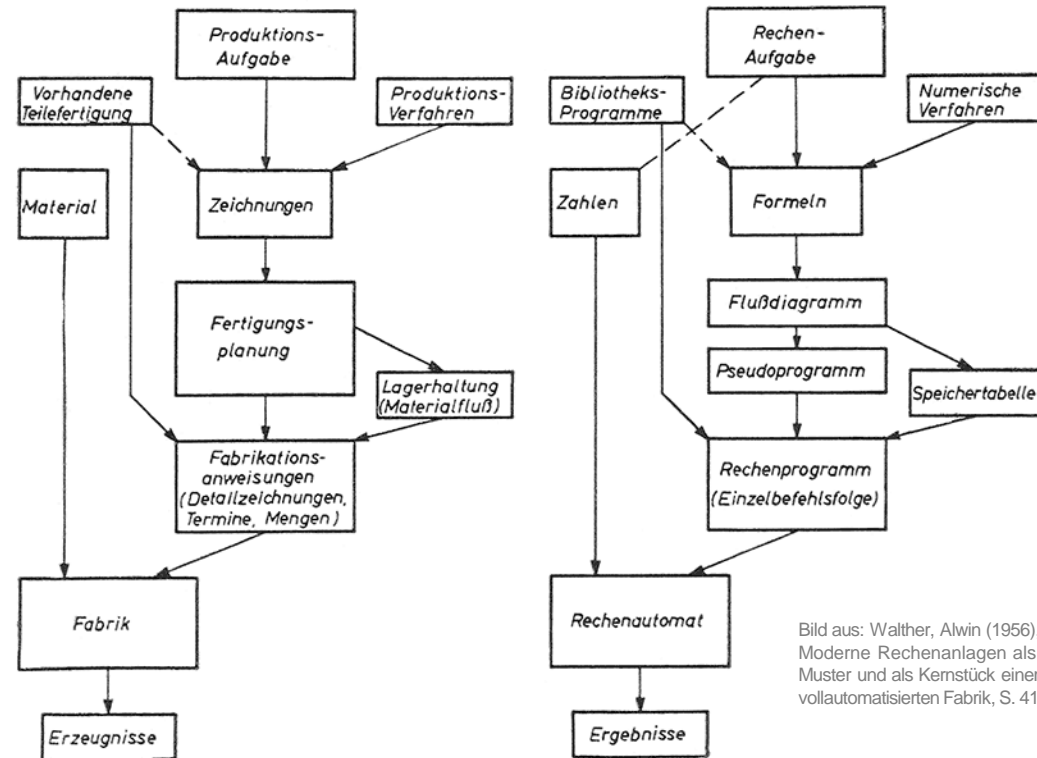
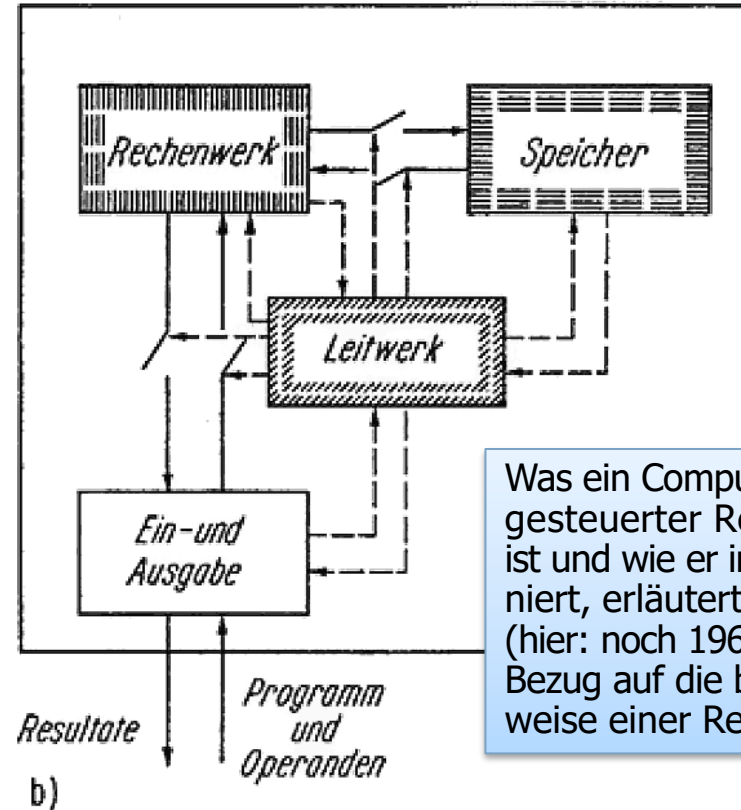
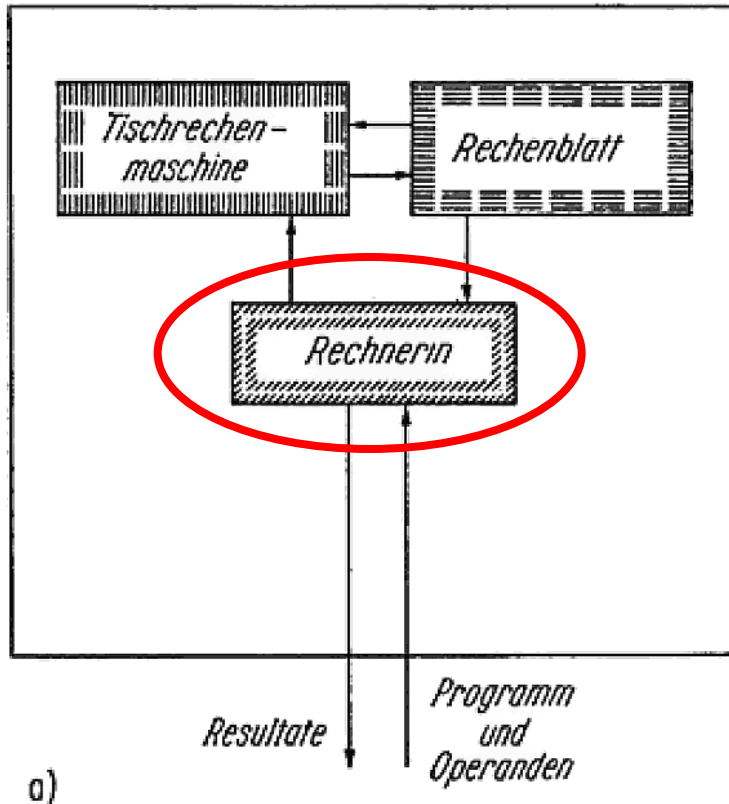


Bild aus: Walther, Alwin (1956), Moderne Rechenanlagen als Muster und als Kernstück einer vollautomatisierten Fabrik, S. 41

„Walther, Altmeister der Praktischen Mathematik und des Wissenschaftlichen Rechnens, ist einer der allerersten Pioniere, die das Zeitalter der maschinellen Rechentechnik wissenschaftlich und praktisch mit vorbereitet haben. In seinem weltbekannten Institut an der Technischen Hochschule Darmstadt hat er bereits Ende der dreißiger Jahre eine Rechenstation aufgebaut, die schon hinsichtlich ihrer Kapazität seinerzeit im europäischen Raum wohl einmalig gewesen ist. In ihr wurden – zwei Jahrzehnte vor Erfindung der Programmiersprachen – umfangreiche numerische Lösungsverfahren erprobt und bei der Bearbeitung realer wissenschaftlich-technischer Probleme aus der Industrie erfolgreich eingesetzt.“

-- Klaus Biener in: RZ-Mitteilungen Nr. 18, August 1999, Humboldt-Universität Berlin.

# „Gegenüberstellung von Rechnerin und Automat“



Was ein Computer („programmgesteuerter Rechenautomat“) ist und wie er im Prinzip funktioniert, erläuterte man seinerzeit (hier: noch 1964) am besten mit Bezug auf die bekannte Arbeitsweise einer Rechnerin.

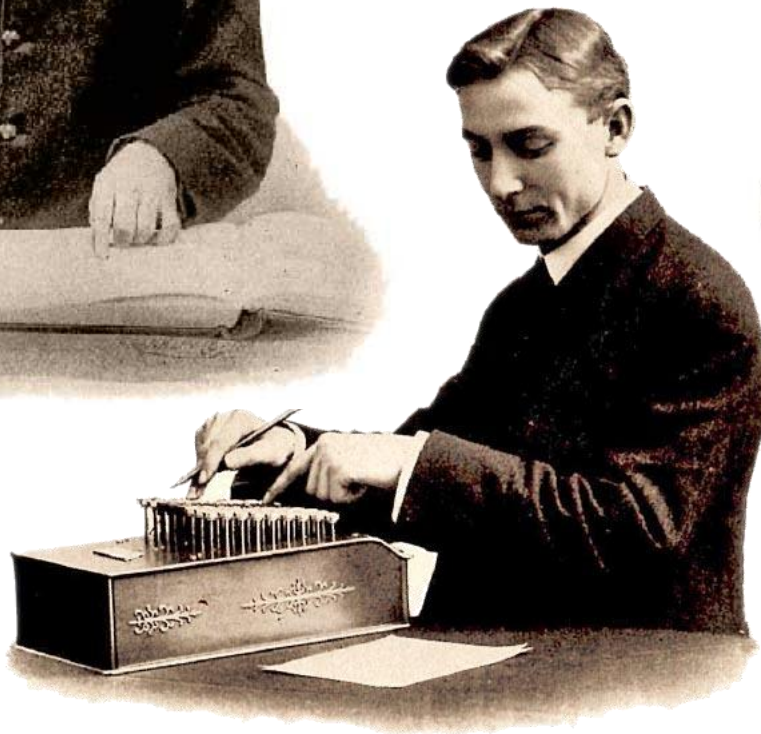
„Wenn wir uns die Aufgabe stellen, diese vier Prozesse von einem Automaten nach einem vorgelegten Programm durchführen zu lassen, so haben wir Rechnerin, Tischrechenmaschine und Rechenblatt (Bild a) durch ein Gerät mit dem gleichen ‘Leistungsvermögen’ zu ersetzen (Bild b).“

[Franz Stuchlik: Programmgesteuerte Universalrechner, 1964]

# Rechnerin...



# ...und Rechner



# Hochgeschwindigkeitsrechnen



Geübte Rechner können die Maschine (wie eine Schreibmaschine) blind bedienen und die Dezimalstellen einer Zahl gleichzeitig eingeben



*Deutsches Wörterbuch der Brüder Grimm* [ca. 1886]: **Rechner**, m. der da rechnet, 1) als Beamter, der einem Herrn Rechnung zu legen und Verwaltung zu führen hat, 2) der Rechenaufgaben löst.

# Paralleleingabe

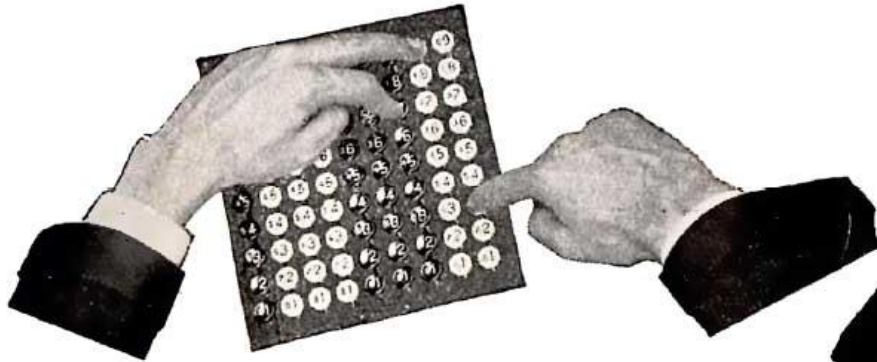


Fig. 7

Exemple :  $35046 \times 793$  (fig. 7)  
 $39425 \times 127$   
 $85414 \times 682$   
 $21114 \times 248$   
 $63075 \times 561$

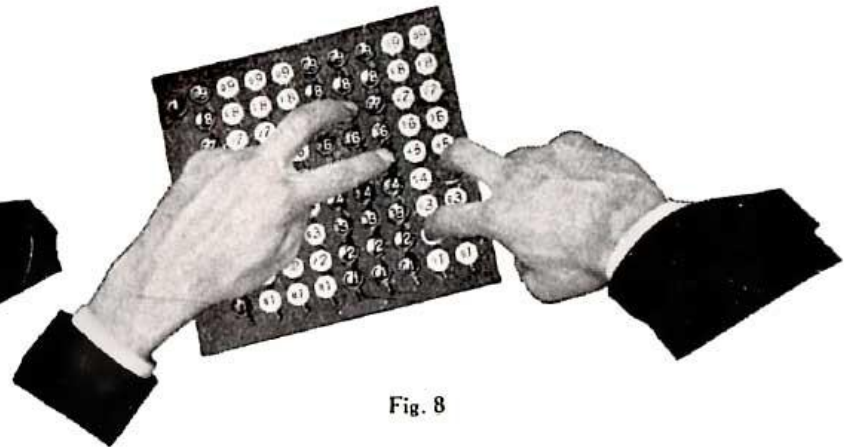


Fig. 8

Exemple :  $8282 \times 4628$  (fig. 10).  
 $2687 \times 9717$  (fig. 11).

L'emploi du pouce n'est pas recommandé.

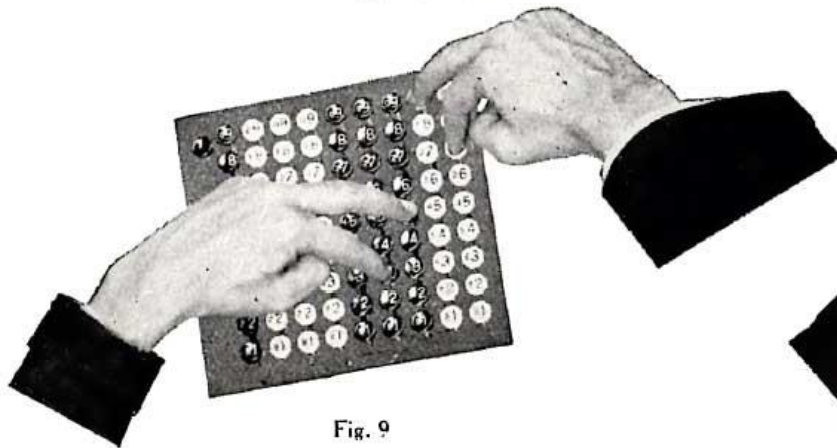


Fig. 9

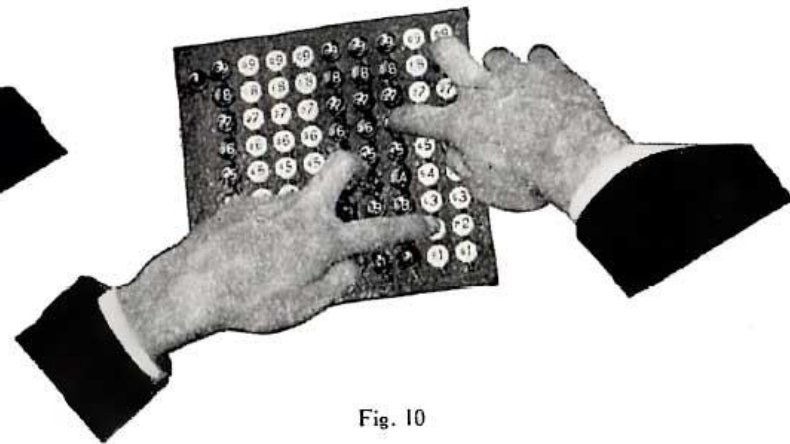


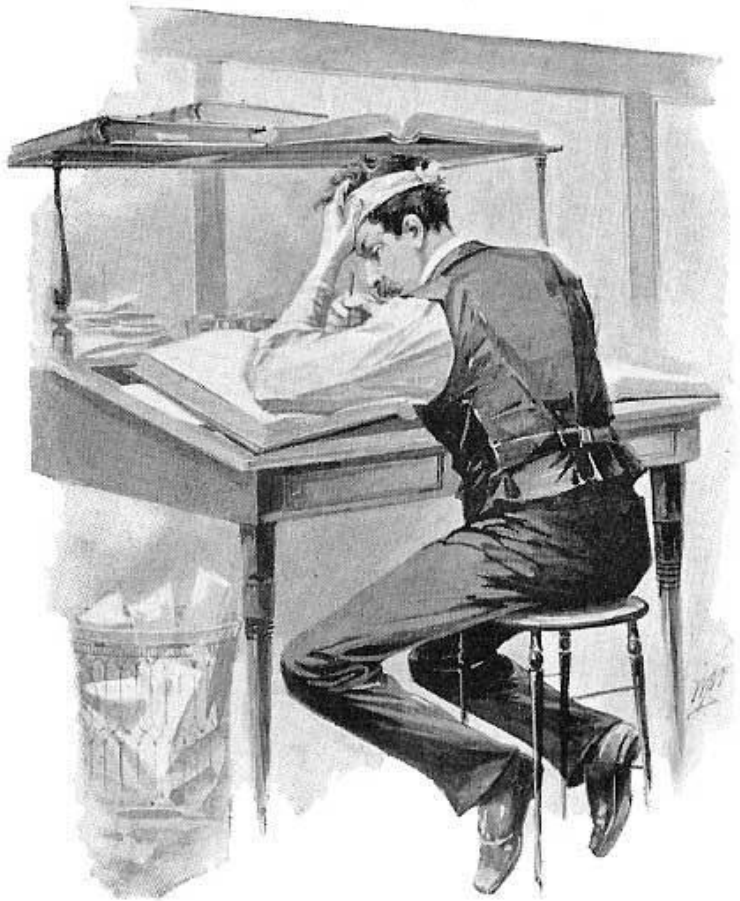
Fig. 10



# Paralleleingabe



# Die Rechenmaschine als Instrument der Rationalisierung



**NEVER HEARD OF THE COMPTOMETER.  
TOO BAD,  
HAVING TROUBLE WITH THAT TRIAL BALANCE.**



MESSRS. HENRY SCHREMPF & CO., FORT ATKINSON, WIS., WRITE:  
"We have concluded that we cannot get along without the Comptometer. We are getting along very nicely indeed with one less clerk in our office since we got the machine."

# Rechnen ohne Rechenkenntnis

*The computers who committed fewest errors were those who understood nothing beyond the process of addition.*  
(Zeitgenössischer Bericht zu Pronys Projekt)



Früher mussten Rechner(innen) selbst rechnen – Maschinenrechner brauchen das nicht mehr:

*„Die Rechenmaschine »Brunsviga« verkörpert einen Maschinentypus, der in bezug auf weitestgehende Ausschaltung anstrengender Geistesarbeit das Erreichbare in vollendetster Form verwirklicht hat. Ihre Bedienung ist von unübertrefflicher Einfachheit und stellt keinerlei Anforderungen an die geistigen Fähigkeiten des Rechners. Selbst wenn dieser mit der Kunst Adam Rieses auf beständigem Kriegsfuße steht, ist er imstande, sich mit ihrer Hilfe zum Rechenmeister par excellence auszubilden.“*

[Aus: Wilhelm Trautschold: Die Rechenmaschine Brunsviga – ihre Bedeutung für Staat, Wissenschaft, Technik und Handel, 1910]

Der franz. Mathematiker [Gaspard de Prony](#) organisierte Ende des 18. Jh. menschliche Rechner in einer Art Fabrik, in der Logarithmen, trigonometrische Funktionen, aber auch Umrechnungstabellen für die Dezimaleinteilung von Winkeln und Zeitangaben, am Fließband berechnet wurden. Der Bedarf entstand durch die Einführung des metrischen Systems im Zuge der franz. Revolution. (Insbesondere sollte auch die Trigonometrie „dezimalisiert“ und damit „demokratisiert“ werden.) «Before the 19th century, calculation was regarded as a task for the academics, while afterwards, calculations were associated with unskilled laborers. This was accompanied by a [shift in gender roles](#) as well, as women, who were usually underrepresented in mathematics at the time, were hired to perform extensive computations for the tables as well as other computational government projects until the end of World War II. This shift in the interpretation of calculation was largely due to de Prony's calculation project.» [Wikipedia] Pronys Rechenfabrik war es auch, die [Charles Babbage](#) zu seinen Rechenautomaten inspirierte. Das Resultat von Pronys Projekt, die mathematischen Tabellen in 17 grossen Manuskriptbänden, wurde allerdings nie publiziert.

# Rechner und Rechnerin als Beruf

Einige Rechner waren i.W. als Buchhalter tätig, aber nicht immer wurde ihre Tätigkeit hoch angesiedelt: „Ähnlich der Tätigkeit der Stenotypistin gibt es eine solche der **technisch-wissenschaftlichen Rechnerin**. Dazu sind **keine mathematischen Vorkenntnisse**, sondern allein gute Auffassungsgabe und vor allem menschliche Zuverlässigkeit vorauszusetzen. Auf die heute noch wenig ausgenutzte Möglichkeit, Zahlenrechnungen durch **Hilfskräfte** ausführen zu lassen, sei hier ausdrücklich hingewiesen. Die weitgehende Schematisierung vieler moderner Rechenverfahren kommt dem in bemerkenswerter Weise entgegen.“ [Aus: Rudolf Zurmühl: Praktische Mathematik für Ingenieure und Physiker, 1953]



## Rechner und Rechnerin als Beruf (2)

Im April 1942 wurde in einem internen Memo der [NACA \(National Advisory Committee for Aeronautics\)](#), die Vorgängerinstitution der NASA) über die menschlichen Rechner der Institution berichtet. Bei der NACA waren viele Berechnungen zur Analyse von Messdaten aus Windkanalexperimenten sowie aerodynamische Berechnungen zur Optimierung von Flügeln, Propellern und ganzen Flugzeugen durchzuführen. Die „Computer“ waren ausschliesslich (junge) Frauen, für die in jener Zeit generell die Bezeichnung „girls“ (auch untereinander) üblich war. Bei den Rechenmaschinen, die sie benutzten, sind die reinen Additionsmaschinen („Comptometer“) von den nachfolgend als „automatic calculators“ bezeichneten Maschinen mit Multiplikationsfähigkeit zu unterscheiden.

*NACA Memo →*



# Rechner und Rechnerin als Beruf (3)

## Auszüge aus dem 1942-Memo „Computing Group Organization & Practices at NACA“:

“The **personal qualifications** for these computers are not very rigid. These computers are all women who have obtained their jobs through Civil Service. [...] The girls who operate the Comptometers have usually passed a proficiency test on that type of machine, and they are usually not college graduates. There is ample room for their talents, however, because the volume of work often necessitates computers who can perform the routine machine operations with great speed, but who need not have much logical insight into what the result should be or how they should check, etc. The heads of the groups are college graduates, as are the majority of all the computers. Preference is given to those with major interests in mathematics or science (preferably physics), but of late these restrictions are being lowered so that one college course in mathematics has been accepted as qualifying. A good number of the computers are former school teachers. Their ages may average near 21, but there are a surprising number nearer 30 years old. [...]

The **automatic calculator** is usually the Friden or Marchant, while the comptometer was the Comptometer (Trade Name). The computers were also furnished with 20 inch (log-log duplex) slide rules.

If the computer has proficiency in the operation of a comptometer (which takes about three months training to attain), she can perform all the same operations available on the automatic calculating machine in practically the same time. [...] A set of five-place logarithmic tables and trigonometric tables is also provided [...].

The \$1440 position carries the title of **Junior Computer**, while the better salaried position (\$1620) would be for an **Assistant Computer**, and finally a **Computer** would be the title corresponding to the \$1800 bracket. A **Head Computer** earns \$2000 [...].

# Rechner und Rechnerin als Beruf (4)

There is a **large amount of simple calculation** required in the work here. [...] On the other hand, some of the calculations are sent to the computers in the form of **complicated formulas** which necessitate a knowledge of **trigonometry** and sometimes of mathematics involving the **calculus**. In general, however, the group head would reduce this more complicated work down to tabular form requiring rather routine operations before it would be given to the **machine operator**. Most of the work coming from the engineers is accompanied by a memo of calculating instructions or work-of-mouth explanations."



NACA-Junior Computers mit Rechenschieber, 1945



[https://crgis.ndc.nasa.gov/historic/File:L\\_Betty\\_Stafford\\_R\\_Jeanne\\_Smith.jpg](https://crgis.ndc.nasa.gov/historic/File:L_Betty_Stafford_R_Jeanne_Smith.jpg)

Die beiden NACA-Computer Betty Stafford und Jeanne Smith mit einer Friden-Rechenmaschine



*NACA-Computer bei der Analyse von Messdaten aus  
Windkanalexperimenten, 1943*

<https://images-assets.nasa.gov/image/ARC-1943-AAL-4961/ARC-1943-AAL-4961-orig.jpg>  
<https://picryl.com/media/computers-calculating-data-from-teh-ames-16-foot-wind-tunnel-c47f1c>





# Computing is our duty

Dass früher gerade in der **Astronomie** das Rechnen wichtig (und gleichzeitig mühsam) war, verdeutlicht auf nette Weise das parodistische Singspiel **"The Observatory Pinafore"**, das 1879 der Astronom Winslow Upton verfasst hatte. Upton war damals Mitarbeiter am Harvard Observatory, später arbeitete er als "computer" und wurde schliesslich Professor an der Brown University (Rhode Island). Die erste Szene spielt im "Computing Room" der Sternwarte und wird vom Chor der "computers" mit folgendem Refrain eröffnet:

*We work from morn till night,  
For **computing is our duty**;  
We're faithful and polite,  
And our record book's a beauty;  
With Crelle and Gauss, Chauvenet and Peirce,  
We labor hard all day;  
We add, subtract, multiply and divide,  
And we never have time to play.*

Die genannten vier Personen stehen für die von ihnen propagierten mathematischen und astronomischen Methoden, die bei der täglichen Arbeit der computers eine wichtige Rolle spielten: August **Crelle** (1780 – 1855) war deutscher Mathematiker und Ingenieur; William **Chauvenet** (1820 – 1870) war als amerikanischer Mathematiker und Astronom ein bekannter Lehrbuchautor mit Werken zur sphärischen Trigonometrie und Astronomie; mit **Peirce** ist der Harvard-Mathematiker und Astronom Benjamin Peirce (1809 – 1880) gemeint, der Vater des Semiotikers Charles S. Peirce (1839 – 1914), der u.a. auch nachwies, dass aus NAND bzw. NOR alle anderen aussagenlogischen Junktoren abgeleitet werden können.



*Eine Singspiel-Szene mit dem Computer-Chor in einer Aufführung vom 31.12.1929 in Harvard*

# A large force of computers

- You have a large force of computers, Sir.  
- Director: Yes, quite large – most enough for a good dance in spare hours.  
*Dialog im "Observatory Pinafore"*

Später in der Operette beklagt eine der Rechnerinnen in Balladenform die Mühsal der Computertätigkeit; die vielen Fehler stellen eine ständige Plage dar, und die Finger tun dazu auch noch weh:

*Sorry her lot who adds not well / Dull is the mind that checks but vainly,  
Heavy the sorrow that bows the head / When fingers are tender and the ink is red.*

Sie erläutert, dass sie ganz wund Finger von der aggressiven roten Tinte bekommt – und es gibt doch so viele rote Zahlen in ihrem Laborbuch! Die Regeln aber sind klar und unerbittlich: "It is a good rule that all mistakes should be corrected in red" bekräftigt Professor William Rogers.

„Observatory women computers“ des Harvard College Observatory auf Fotografien der beiden „computer rooms“ von 1898/91. Rechenmaschinen sind noch keine



<https://hea-www.harvard.edu/~fine/Observatory/women.html>

zu erkennen (erst auf einem Bild von 1925 dieses Ortes taucht dann eine mechanische Rechenmaschine auf), dafür aber, bei näherem Hinsehen, einige Tintenfüßer und Griffel.

# Les « dames de la carte du ciel »

Die Astronomie hatte schon immer, seit babylonischen Zeiten, viel zu rechnen: Man erkannte nach und nach die Gesetze, nach denen sich die Gestirne bewegten, und versuchte dann damit, Erscheinungen vorherzuberechnen. Zunächst, etwa bei der Bahnbestimmung der Planeten, rechneten die Astronomen oft noch selbst (sie verstanden sich gleichzeitig auch immer als Mathematiker), selbst wenn sie manchmal die lästigen und umfangreichen Rechnungen an Gehilfen und Lehrlinge, quasi „Junior-Astronomen“, auslagerten.

Mit immer besseren Fernrohren sowie später der Möglichkeit, Beobachtungen auf fotografischen Platten festzuhalten, gab es auch immer mehr zu entdecken und zu vermessen. Ende des 19. Jahrhunderts startete beispielsweise auf Initiative des Observatoriums in Paris ein grosses internationales Projekt („**Carte du Ciel**“) zur Vermessung von etwa einer Million Sterne. Man glaubte zunächst, dies in etwa 10 Jahren zu schaffen, hatte den Aufwand aber gewaltig unterschätzt. Immerhin hatte man bis 1939 rund zehntausend Referenzsterne identifiziert und vermessen.

Für die Auswertung der vielen fotografischen Platten wurden (meist weibliche) Hilfskräfte angeworben, welche die Abstände eines Sterns zu einigen in der Nähe befindlichen Referenzsternen genau vermessen, während damit andere Hilfskräfte (**computors** bzw. „**calculatrices**“ im Französischen) deren Koordinaten zu bestimmen hatten.

Dies waren langwierige Rechnungen nach bekannten Formeln. Dazu mussten die Werte von Winkelfunktionen in Tafelwerken nachgeschlagen werden und vor allem eine ganze Reihe elementarer mathematischer Operationen (Additionen, Multipli-



## Les « dames de la carte du ciel » (2)

kationen, Wurzelziehen etc.), allerdings mit vielen Stellen Genauigkeit, durchgeführt werden. Da der Aufwand bei der Multiplikation quadratisch mit der Zahl der Stellen wächst, wurde diese Operation daher meist unter Verwendung von Logarithmen (bzw. deren tabulierten Werten) nach dem Prinzip  $a \times b = \log^{-1}(\log(a) + \log(b))$  durchgeführt. Oft wurde von Hand bzw. im Kopf gerechnet, gelegentlich standen auch mechanische Rechenmaschinen zur Verfügung.

Nur einige der „[dames de la carte du ciel](#)“ waren fest angestellt, viele erledigten einfachere Rechnungen in [Heimarbeit](#) und wurden gering bezahlt („0,01 franc de l'heure pour une addition, 0,60 franc de l'heure pour une multiplication“); oft unregelmässig nur dann, wenn auch mathematische Hilfsarbeit anfiel. Als Beispiel ein Ausschnitt aus der Bewerbung von [Marguerite Monville](#) (1908 – 1974) aus Toulouse, die sich 1931 bei der dortigen Sternwarte bewarb, von der sie nur 150m entfernt wohnte:



Agée de 23 ans, possédant une bonne instruction (brevet) et ayant par ailleurs une certaine expérience des chiffres, je crois pouvoir donner toute satisfaction car je calcule avec assez de facilité.  
Vivant seule avec ma mère

Eigenschaften, die sie anführt, sind u.a. „une certaine expérience des chiffres“ und auch „je calcule avec assez de facilité“. Tatsächlich wird Mademoiselle Monville bereits eine Woche später als „[calculatrice auxiliaire](#)“ angestellt und führt zusammen mit einigen Kolleginnen jahrelang Berechnungen für den „Quatrième catalogue de Toulouse“ aus.

Das Carte du Ciel-Projekt wurde allerdings nie fertiggestellt; modernere Techniken kamen in der Zwischenzeit auf und elektronische Computer erledigten nun die mühsamen Berechnungen der „dames de la carte du ciel“ fehlerfrei und in Sekundenbruchteilen.

# Computing staff & computing centre, 1941/42



“Computing centers” und “computing staff” (mit einem “**chief computer**” als Vorgesetzten) gab es schon, bevor Maschinen automatisch rechneten.

←

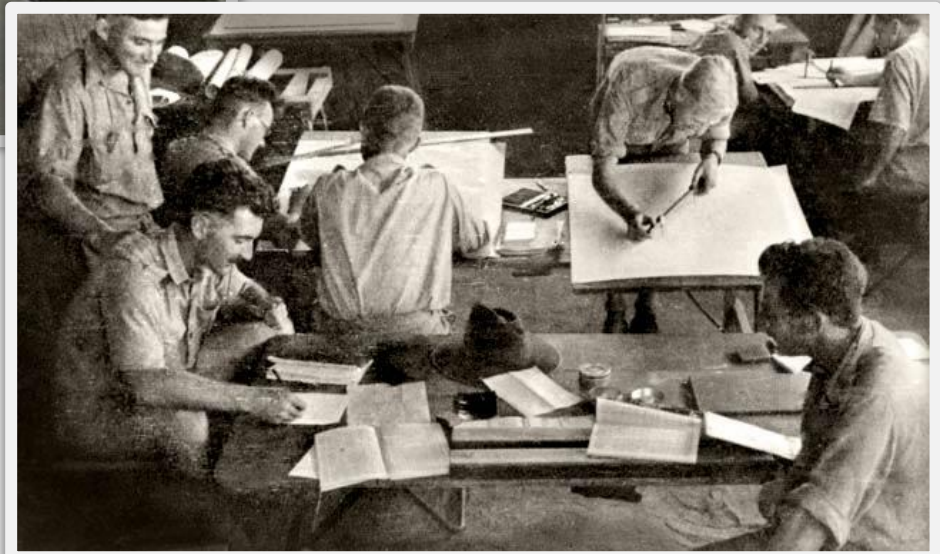
1942, Adelaide River, Northern Territory, Australia: The **computing staff** of a field survey section do all major triangulation, traverse and astronomical computations. The main tools of trade are: trigonometrical tables, nautical almanac, computing machines and slide rules.

[www.awm.gov.au/collection/C11224](http://www.awm.gov.au/collection/C11224)

Solche (menschlichen) Computer waren im Bereich der **Geodäsie** und **Astronomie** tätig und beherrschten insbesondere trigonometrische und numerische Berechnungen.

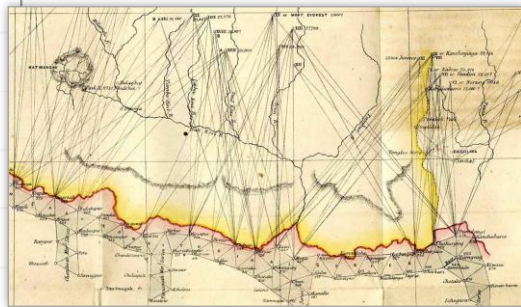
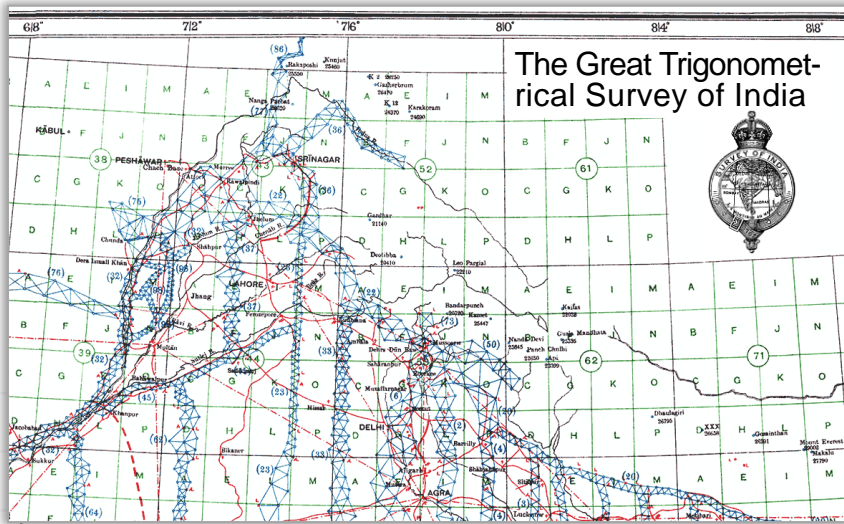
→

1941: Surveyors and draftsmen work on maps in the **computing centre**, Hut 95, British Mandate of Palestine.  
[www.awm.gov.au/collection/C1142502](http://www.awm.gov.au/collection/C1142502)

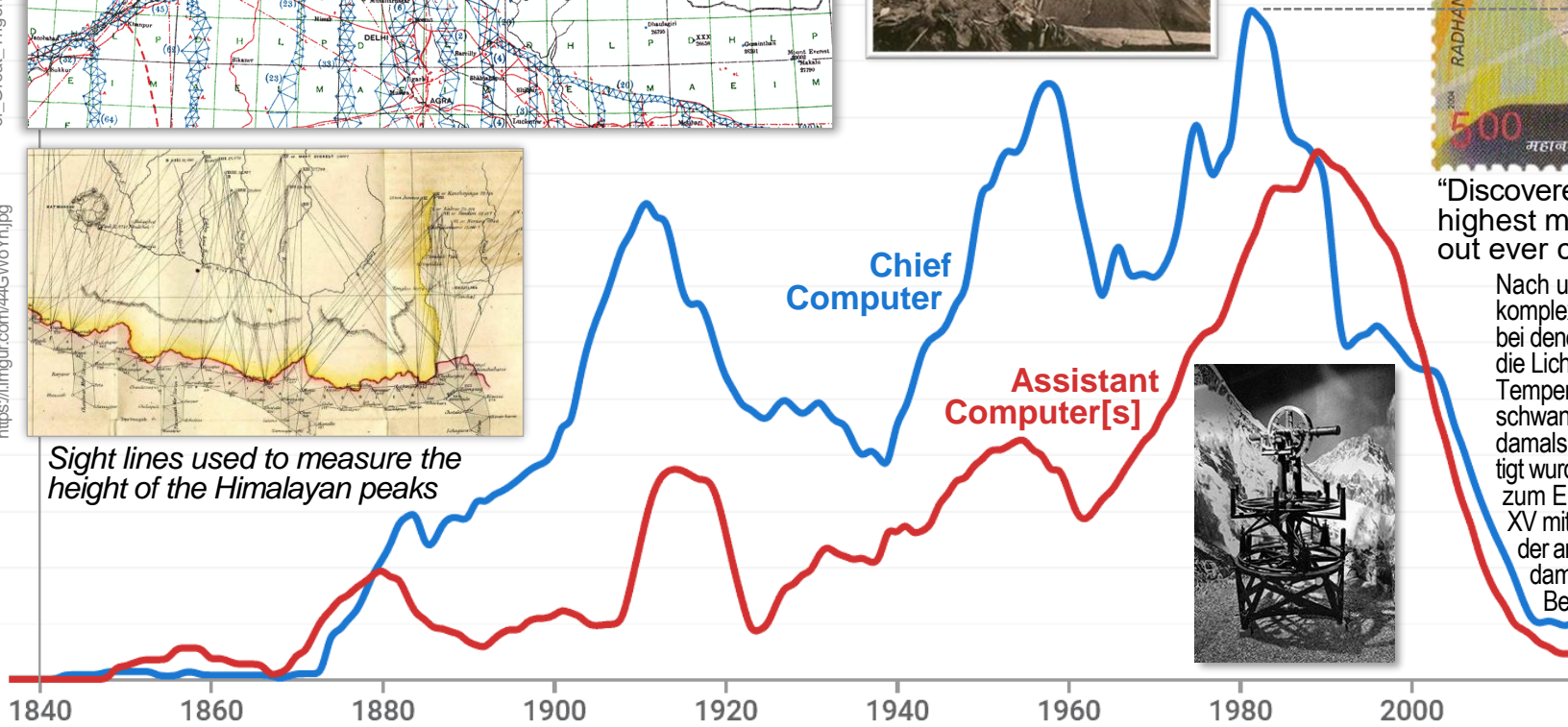


# Human Computers | 0?

It was not until 1849 that the Great Trigonometrical Survey of India began a series of triangulations which included the mountains of Nepal. In 1852 the data were analyzed, and legend has it that the Bengali chief computer, Radhanath SIKHDAR, rushed into the office of Sir Andrew Waugh, the surveyor general in Dehra Dun with the news, "Sir! I have discovered the highest mountain in the world!" Waugh decided to name the mountain after his immediate predecessor, Sir George Everest. [John B West: High Life]



Sight lines used to measure the height of the Himalayan peaks



"Discovered the world's highest mountain without ever climbing it."

Nach umfangreichen und komplexen Berechnungen, bei denen Fehlerquellen wie die Lichtbeugung sowie die Temperatur- und Luftdruckschwankungen so weit wie damals möglich berücksichtigt wurden, kam Sikdar 1852 zum Ergebnis, dass Peak XV mit 8840 m der höchste der angepeilten Gipfel und damit wohl der höchste Berg der Welt sei.



(Enthält ab ca. 1950 auch Fehlzuordnungen wie "chief computer operator" oder "assistant computer programmer" etc.)

# „Offer you the position of a Junior Computer“

Brief vom 12. Jan. 1943

Philadelphia Computing Unit  
3436 Walnut Street,  
Philadelphia, Pa.

Miss Doris Blumberg  
2815 Wharton Street  
Philadelphia, Pennsylvania

Dear Miss Blumberg:

The third section of the training course, Mathematics for Ballistic Computations, is now being organized, and I am writing to offer you the position of a Junior Computer at a salary of \$1440.00 per annum. Upon satisfactory completion of the course you will be promoted to Assistant Computer, SP-4, and will receive a yearly salary of \$1620.00 plus, at the present time, an additional 20% for overtime. We work six days a week, which makes the annual salary about \$1940.00.

Please let me know immediately whether or not you will accept the position. If you do accept the position, you will be notified shortly as to the date the course will start.

Very truly yours,

HERMAN H. GOLDSTINE,  
1st Lt., Ord. Dept.

Die Zwillingsschwestern Doris (1925–2015) u. Shirley (1925–2009) **Blumberg** arbeiteten während des 2. Weltkriegs an der University of Pennsylvania als „**Computer**“. „Oh, during the war we worked as mathematicians for the Army. We were recruited right out of high school.“ **Herman Goldstine** (1913–2004), Mathematiker und Sohn deutsch-jüdischer Einwanderer, leitete seinerzeit ein Projekt zur Berechnung von Schusstafeln. „The firing table calculations were accomplished by about one hundred women operating mechanical desk calculators.“ Er war auch einer der Entwickler des **ENIAC**-Computers und arbeitete später eng mit John von Neumann am Institute for Advanced Study in Princeton zusammen.

# „Offer you the position of a Junior Computer“



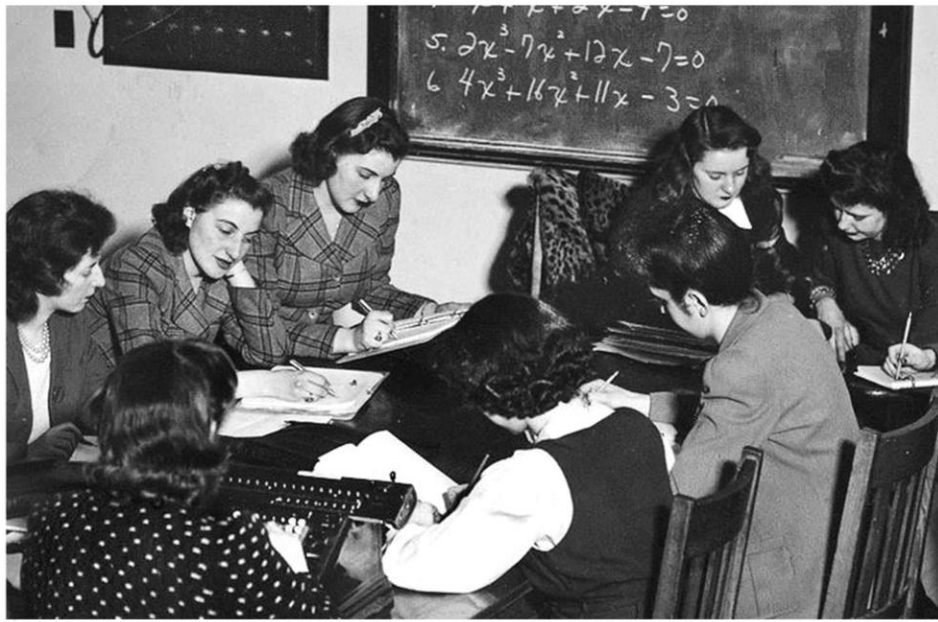
Die Zwillingsschwwestern **Doris** und **Shirley** Blumberg sowie **Herman Goldstine** (ca. 1943)



# „Junior Computers“

*Links:* Ein Kurs in höherer Mathematik für zukünftige „Junior Computers“, ca. 1943 an der University of Pennsylvania mit den Blumberg-Zwillingen links vor der Wandtafel; im Vordergrund wird eine mechanische Rechenmaschine genutzt.

*Unten:* Doris Polsky (geb. Blumberg) und Shirley Blumberg Melvin ~1943 bzw. 2007.

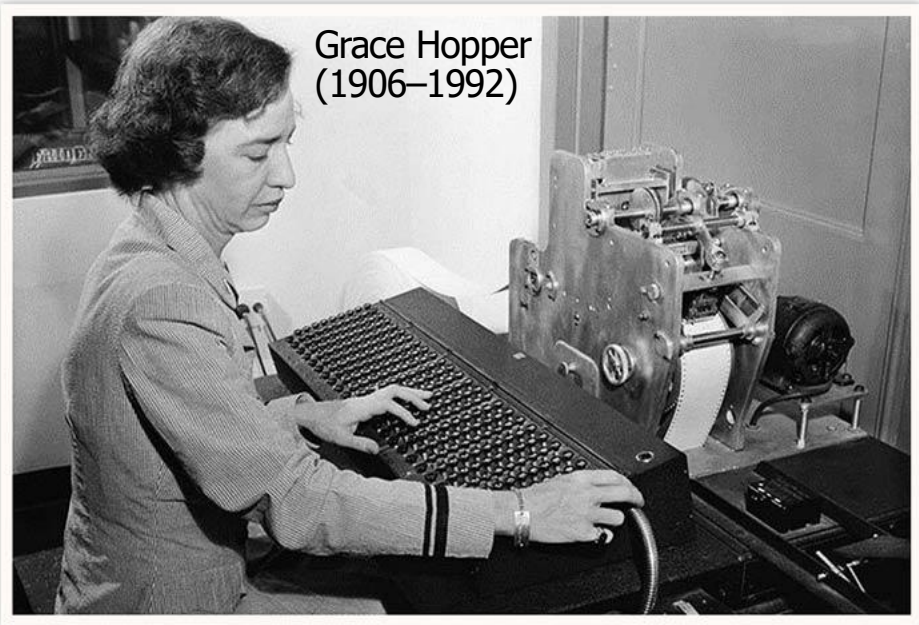


# Rechnende Wissenschaftler



Mary Sherman Morgan (1921 – 2004)

Wissenschaftler und Ingenieure nutzten oft bis in die 1970er-Jahre selbst mechanische und elektromechanische Rechenmaschinen

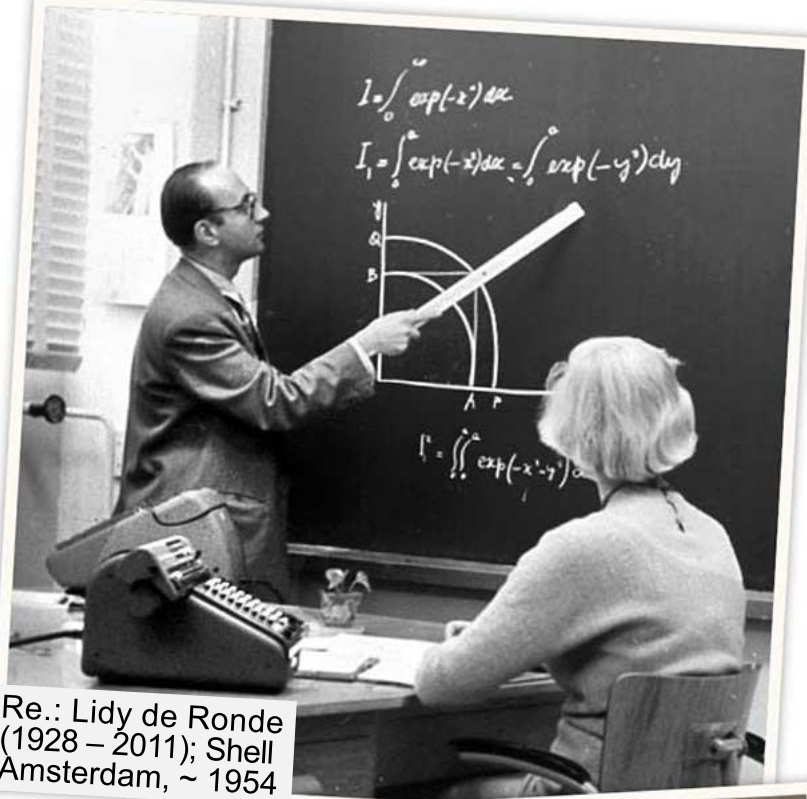


Grace Hopper  
(1906–1992)

Programmcodierung auf Lochstreifen

Elizabeth  
Roemer  
(1929 –  
2016)





Re.: Lidy de Ronde (1928 – 2011); Shell Amsterdam, ~ 1954



Human computers certainly did work hard all day, and had the aches and pains to show for it: elbow joints inflamed from cranking calculator handles, or fingers and thumbs cramped from penciling figure after figure on to graph paper. For two centuries the modern scientific enterprise was built on their efforts.  
 -- Jon Agar.



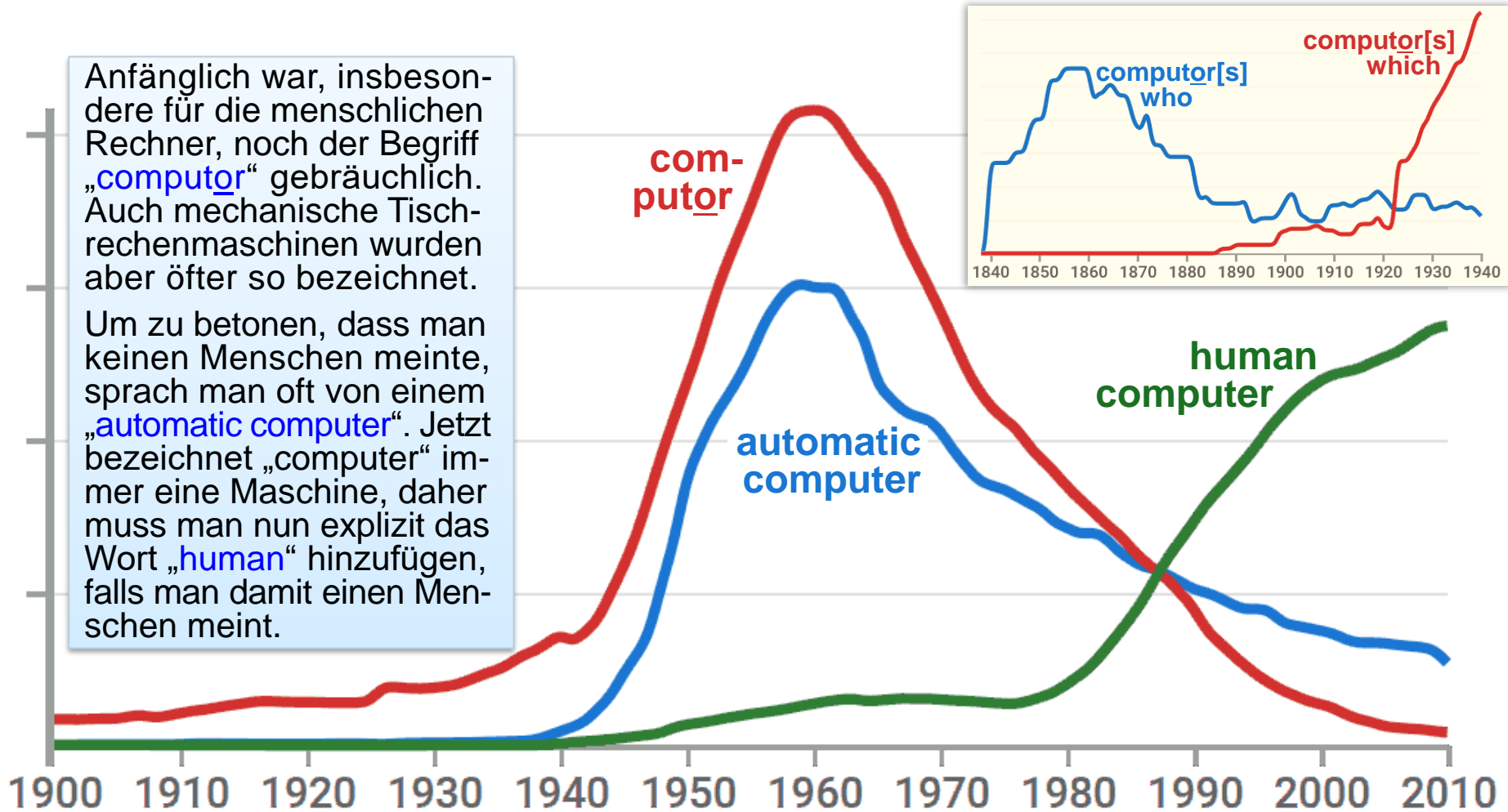


# Menschliche und automatische Rechner

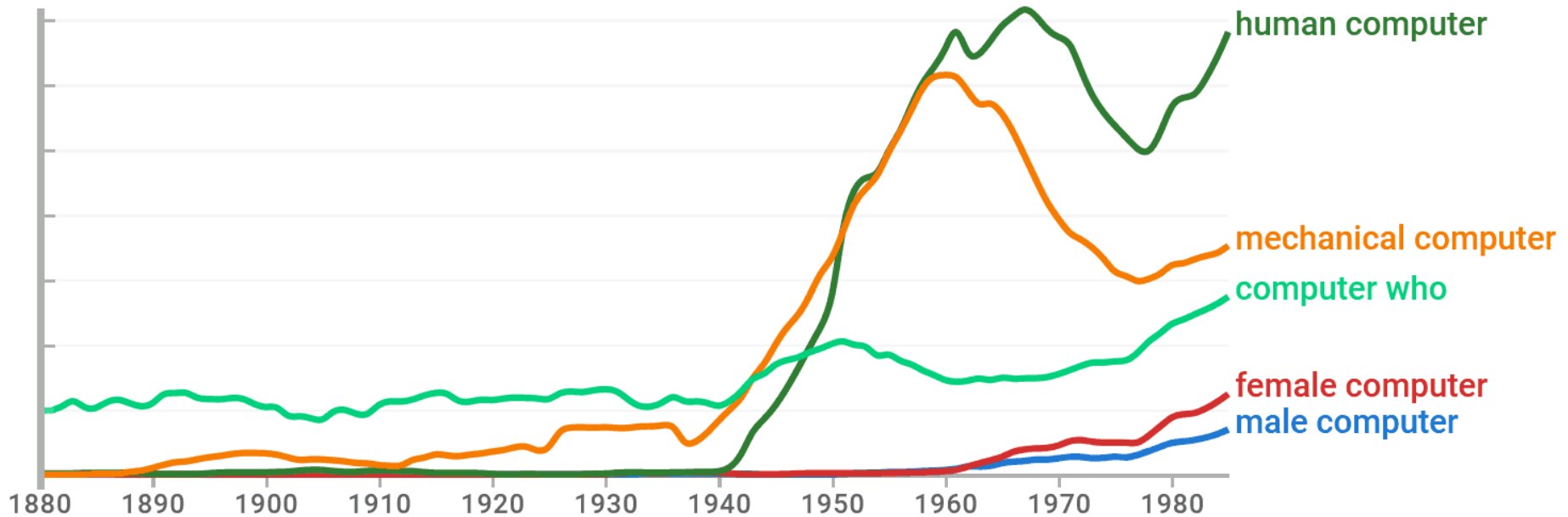
The idea behind **digital computers** may be explained by saying that these machines are intended to carry out any operations which could be done by a **human computer**. -- Alan Turing

Anfänglich war, insbesondere für die menschlichen Rechner, noch der Begriff „**computer**“ gebräuchlich. Auch mechanische Tischrechenmaschinen wurden aber öfter so bezeichnet.

Um zu betonen, dass man keinen Menschen meinte, sprach man oft von einem „**automatic computer**“. Jetzt bezeichnet „**computer**“ immer eine Maschine, daher muss man nun explizit das Wort „**human**“ hinzufügen, falls man damit einen Menschen meint.



# Menschliche und automatische Rechner (2)



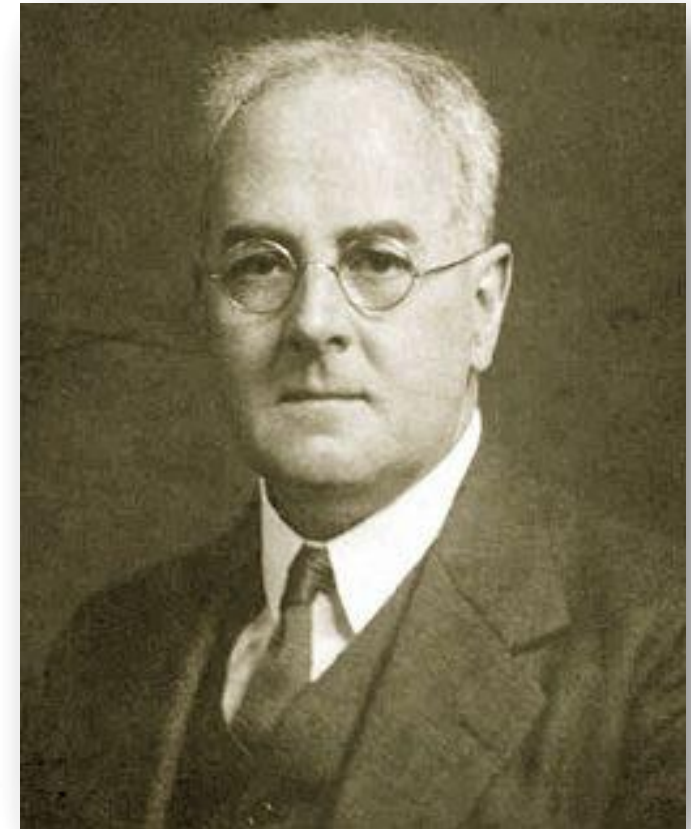
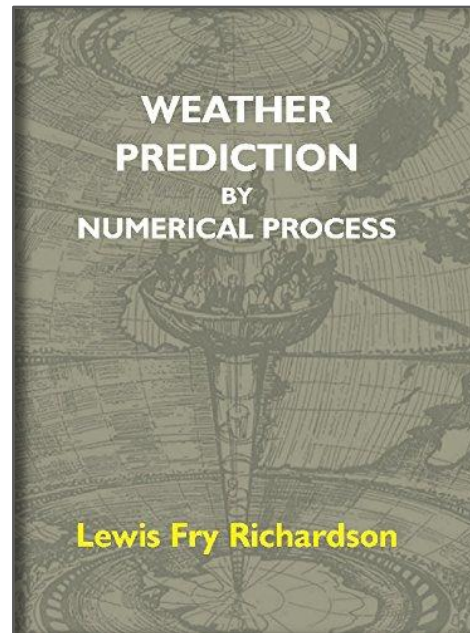
Hier ist nochmal zu erkennen, dass der Begriff „**human computer**“ erst nach 1940 in Gebrauch kam (im Unterschied zur vorherigen slide sind die Kurven hier detaillierter aufgelöst und damit weniger stark geglättet). Von einem „**mechanical computer**“ sprach man allerdings bereits von dem Moment an, als mechanische Rechenmaschinen ein Massenphänomen wurden. Die Kurve zur Phrase „**computer who**“ zeigt, dass Computer als Menschen (also „menschliche Rechner“) schon lange existierten und eben mit „Computer“ bezeichnet wurden, bevor das Adjektiv „human“ zur Abgrenzung von Maschinen vorangestellt wurden. Die Differenzierung in „**male**“ und „**female**“ ist ein Artefakt aufgrund neuerer Berufsbezeichnungen wie „(fe)male computer operator / specialist / programmer / science student“ etc.

# Zurück zur **Wetterprognose** und zu **Lewis Fry Richardson (1881–1953)**

Historische Notizen  
zur Wetterprognose

*Perhaps some day in the dim future it will be possible to **advance the computations faster than the weather advances** and at a cost less than the saving to mankind due to the information gained. But that is **a dream.***

1922



*A rather obscure, slightly eccentric, and unconventional Englishman.*  
(Philip Thompson, National Center for Atmospheric Research, USA)

Richardson war ein britischer Meteorologe, der die Methode der numerischen Wettervorhersage begründete. Als überzeugter Pazifist wechselte er in den 1920er-Jahren in die Friedensforschung. 1926 wurde er zum Fellow der Royal Society ernannt.

# Historisches zur Wetterprognose

## – mit und ohne Computer

Früher fürchtete man den Zorn der Götter. Heute schimpft man über die Meteorologen. – Anon.

Die **Wettervorhersage** ist ein lehrreiches Beispiel für eine bedeutende, oft unterschätzte, **Anwendung von Computern, die einen hohen Nutzen stiftet**. Die schnellsten und teuersten Supercomputer werden heute für die Wetterprognose benutzt – dabei werden mathematisch-physikalische Modelle für die Atmosphärendynamik mit Daten vielfältiger Sensoren sowie mit Meldungen von Satelliten und anderen Quellen gespeist. Die Lösung der Differentialgleichungen der Modelle erfolgt approximativ in einem Gitterraster mit kleinen diskreten Zeitschritten. Dass heute mehrtägige Prognosen relativ zuverlässig sind, ist gleichermassen eine Erfolgsgeschichte der **Meteorologie** (adäquate physikalische Modelle), der **Mathematik** (effizientes Lösen partieller Differentialgleichungen unter Beachtung der numerischen Stabilität) und der **Informatik** (Supercomputer, Clustercomputer, Parallelrechner und deren Programmierung) über die letzten rund 100 Jahre.

Schon lange bevor man die physikalischen Gesetze hinter den Wetterphänomenen einigermaßen verstanden hatte, war es wichtig, die Wetterentwicklung anhand von





# Historisches zur Wetterprognose (2)

**Zeichen der Natur** abschätzen zu können – denn historisch war der Mensch den Naturgewalten und dem Wetter fast schutzlos ausgeliefert, rechtzeitig die Zeichen zu erkennen, sich in Schutz zu bringen oder die landwirtschaftlichen Tätigkeiten auf die wahrscheinliche Wetterentwicklung hin zu optimieren, konnte über Leben und Tod, Hunger und Wohlstand oder Kriegsglück und -verderben entscheiden.

In vorgeschichtlicher Zeit wurde das Wetter dem schicksalhaften Wirken von Göttern zugeschrieben. Gewitter und Sturm wurden als furchteinflössende und wirkungsvolle Phänomene wahrgenommen, daher sind **Wettergottheiten** meist mächtige Wesen und gehören zu den grossen Göttern (wie Zeus bei den Griechen, Thor bzw. „Donar“ bei den Germanen, oft dargestellt mit einem Blitz); sogar im monotheistischen Christentum übernimmt der Apostel Petrus die Rolle eines „Ersatzwettergottes“.

In der Landwirtschaft spielt das „richtige“ Wetter stets eine grosse Rolle. Schon vor 5000 Jahren schrieben Babylonier und Ägypter Wettersprüche auf, die mit unseren **Bauernregeln** vergleichbar sind. Besonders zuverlässig sind die oft auf tradierten Erfahrungen beruhenden Bauernregeln („das Wetter am Siebenschläfertag sieben Wochen bleiben mag“) aber nicht.



Zeus als Blitzschleuderer, Bronze, Dodona, ca. 470 v. Chr. (Antikensammlung, Staatl. Museen zu Berlin) [artsandculture.google.com/asset/zeus-als-blitzschleuderer/](https://artsandculture.google.com/asset/zeus-als-blitzschleuderer/)

# Historisches zur Wetterprognose (3)



Um eine wissenschaftliche Wettererklärung bemühte sich wohl erstmalig [Aristoteles](#) um 350 v. Chr. In seiner „[Meteorologica](#)“, also der „Lehre von den Himmelserscheinungen“ (μετ-έωρος: in die Höhe gehoben, in der Luft schwebend) beschrieb er nicht nur das Wetter, sondern auch Kometen und andere Ereignisse des Himmels. Fast 2000 Jahre lang blieb es das fundamentale Lehrbuch der Meteorologie. Es fehlten lange Zeit allerdings Messinstrumente (und vielfach auch die Vorstellung davon, welche relevanten Grössen es gibt, die man messen sollte), um wetterbestimmende Faktoren quantitativ beobachten zu können. Seit der Antike gab es in dieser Hinsicht nur die Wetterfahne zur Bestimmung der Windrichtung und den Regenschirm.

Das Jahr 1592 brachte mit der Erfindung des [Thermometers](#) durch [Galileo Galilei](#) einen wichtigen Fortschritt. Sein Schüler [Evangelista Torricelli](#), der Erfinder des Quecksilber-[Barometers](#), bemerkte Mitte des 17. Jahrhunderts, dass einer Schlechtwetterperiode eine Abnahme der Höhe der Quecksilbersäule vorausging. („Man hat gefunden, dass der Mercurius bey Sonnenschein ziemlich hoch gestanden, bey regenwetter [...] gefallen, bei starken winden am tieffsten herabgestiegen“ bemerkte Leibniz ca. 1672.) Im 18. Jahrhundert war dann



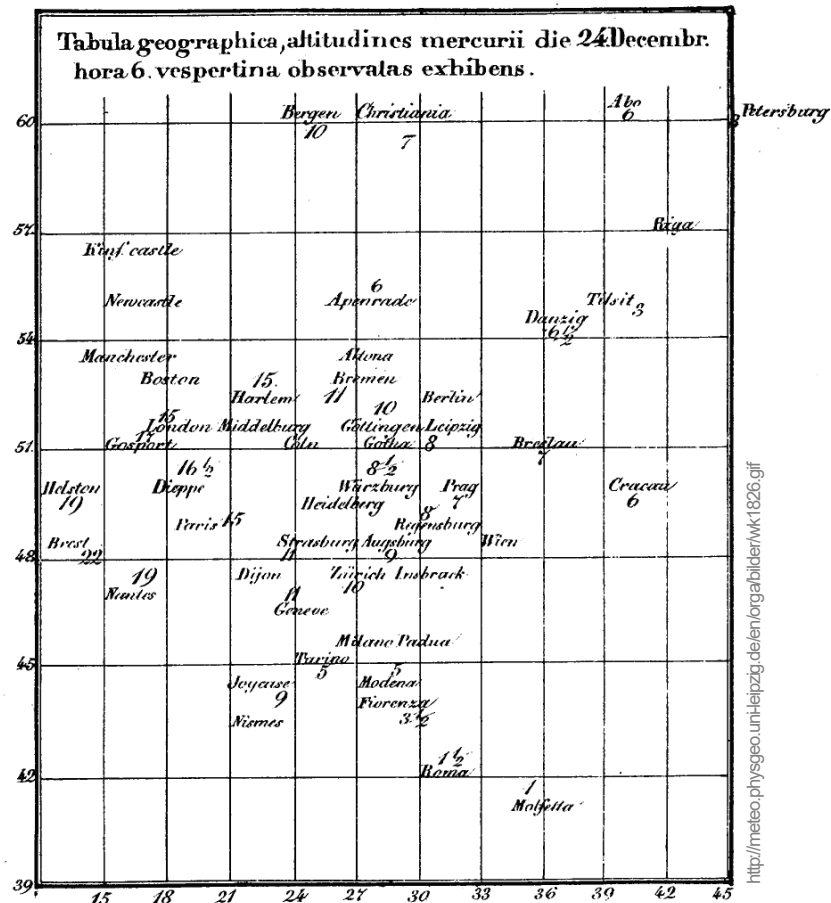
der grundsätzliche Zusammenhang zwischen diversen meteorologischen Erscheinungen und Schwankungen von Messwerten (Wind, Luftdruck, Feuchtigkeit, Temperatur etc.) bekannt, es wurde aber auch deutlich, dass grossräumigen Beobachtungen und deren Zusammenschau notwendig sind, um meteorologische Erscheinungen und ihre Abläufe wirklich verstehen zu können.



# Historisches zur Wetterprognose (4)

Der Physiker, Mathematiker und Astronom **Heinrich Wilhelm Brandes** (1777 – 1834) hatte Anfang des 19. Jahrhunderts die Idee, das bis dahin übliche zeitliche Nacheinander des Wetters an einem Ort durch ein räumliches Nebeneinander des Wetters vieler Orte zu einem gemeinsamen Zeitpunkt zu betrachten („...über gleichzeitige Witterungs-Ereignisse in weit voneinander entfernten Weltgegenden... Einen solchen, noch nie mit einiger Vollständigkeit gelieferten Versuch theile ich hier mit, indem ich die in allen Gegenden von Europa und in einigen andern Weltgegenden angestellten Witterungsbeobachtungen vom Jahre 1783 zusammenstelle, um den ganzen Gang der Witterung, die gleichzeitigen Wechsel in näheren und entfernten Gegenden übersehen zu lassen.“) Ihm standen für das Jahr 1783 Wetterdaten von rund 30 Orten zwischen den Pyrenäen und dem Ural zur Verfügung; durch seine im Nachhinein konstruierte „**synoptische**“ Darstellung auf einer Karte erkannte er zusammenhängende Gebiete ähnlichen Wetters und deren Verlagerung quer durch Europa.

Das Zusammensuchen der Daten aus verschiedenen Quellen und die manuelle Aufbereitung war seinerzeit sehr aufwändig. Brandes schrieb dazu: „Dieses Vergleichen der an 30 Orten angestellten Beobachtungen,



Brandes' Wetterkarte von 1826

<http://meteo.physgeo.uni-heipzig.de/en/logo/bilder/wk1826.gif>

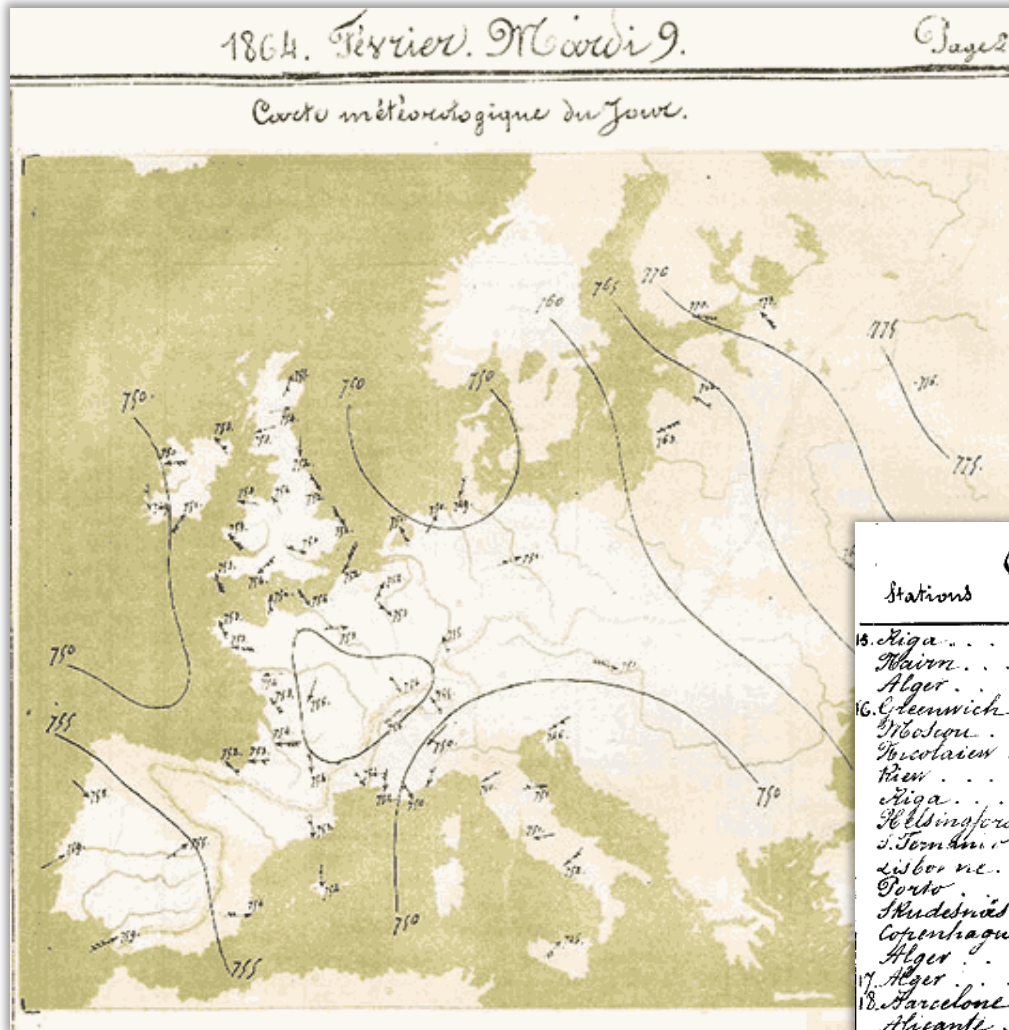
# Historisches zur Wetterprognose (5)

wo an jedem Tage etwa 300 bis 400 einzelne Angaben vorkommen, das ermüdende Nachforschen, ob etwa noch eine unbenutzte Merkwürdigkeit in den Beobachtungen vorhanden sey, die so oft erfolglosen Versuche etwas Regelmäßiges in diesem Gewirre zu entdecken, die immer wiederkehrende Besorgniß noch nicht alles versucht zu haben, wodurch Licht in dieses Chaos gebracht werden könnte, und die daraus entspringende Nothwendigkeit, die schon vollendete Arbeit immer noch einmal wieder anzufangen, endlich das niederschlagende Gefühl, doch nicht so viel Befriedigendes gefunden zu haben, – als dieser Arbeit angemessen schie- ne; – das alles kann nur der recht würdigen, der einmal selbst etwas Aehnliches versucht hat.“

**Wetterkarten quasi in Echtzeit** erstellen, wie es für eine Prognose erforderlich ist, konnte man allerdings erst Mitte des 19. Jahrhunderts, als mit dem **elektrischen Telegrafen** eine sofortige Nachrichtenübermittlung über weite Distanzen möglich wurde. Nachdem schon 1794 Charles-Gilbert Romme, französischer Mathematiker und Politiker während der französischen Revolutionszeit, vorgeschlagen hatte, den optischen Telegrafen bzw. die Semaphore-Strecken von Claude Chappe zur Übermittlung von Wetterwarnungen zu benutzen, regt 1842 der österreichische Meteorologe Karl Kreil eine solche Übermittlung durch elektrische Drahttelegrafie an. Auf der **Weltausstellung 1851 in London** demonstrierte dann die Electric Telegraph Company die Leistungsfähigkeit ihrer telegraphischen Dienste dadurch, dass zwei Monate hindurch täglich eine **synoptische Wetterkarte** nach den telegraphischen Meldungen von 22 Stationen gezeichnet wurde. Ab **1863** veröffentlicht die **Pariser Sternwarte** unter **Urbain Le Verrier** täglich Wetterkarten mit Isobaren auf Grund telegrafischer Wetterberichte; 1871 folgte das U.S. Weather Bureau. Die Wetterkarten verdeutlichten die zeitliche Entwicklung der Fronten und regte an, sie auch als **Vorhersagemittel** zu nutzen.



# Telegrafische Wettermeldungen ab ca. 1850



Wetterkarte mit Isobaren und Windsymbolen von 1864

Synoptische Wetterbeobachtungen (aber zunächst noch keine Vorhersagen) bald nach der Erfindung des **elektrischen Telegrafen** ab Mitte des 19. Jh; erster telegrafischer Wetterbericht in einer Zeitung (Daily News, London) am 14. 6. 1849; Karten mit Isobaren ab 1863.

Observations en retard. Janvier 1864.

| Stations            | Subsist | Temp  | Vents inférieurs | Stat du ciel   | Stat de la mer | Vents en velle à 8 h. |
|---------------------|---------|-------|------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| 15. Niza . . .      | 779.8   | -5.8  | E faible         | Convect        |                |                       |
| Nairn . . .         | 763.8   | 3.9   | SO ass. fort     | Tourneaux      | Belle          | E faible              |
| Alger . . .         | 771.8   | -10.3 | O ass. fort      | Tourneaux      | Aide           |                       |
| 16. Greenwich . . . | 769.7   | 3.0   | SSE modéré       | Convect        |                |                       |
| Norwich . . .       | 776.5   | -11.9 | N faible         | Convect        |                |                       |
| Brictasen . . .     | 774.0   | -17.4 | N faible         | Convect        |                |                       |
| Rien . . .          | 780.0   | -19.0 | N faible         | Tourneaux      |                |                       |
| Niza . . .          | 782.9   | -9.6  | E faible         | Convect        |                |                       |
| Helsingford . . .   | 780.9   | -5.1  | E faible         | Convect        |                |                       |
| S. Torn . . .       | 771.0   | -13.6 | SSE presso. mod. | Convect        | Bouleuse       |                       |
| Lisbonne . . .      | 769.8   | 13.0  | SSE ass. fort    | Tourneaux      | Tourneaux      |                       |
| Porto . . .         | 767.9   | 13.1  | SO faible        | Conv. pluie    | Agitée         |                       |
| Stundevind . . .    | 777.1   | 1.2   | SE fort          | Tourneaux      | Agitée         | SE fort               |
| Copenhague . . .    | 782.1   | -5.1  | S faible         | Convect        | Bouleuse       |                       |
| Alger . . .         | 772.3   | 11.5  | O ass. fort      | Un peu nuageux | Calme          |                       |
| Alger . . .         | 772.7   | 13.9  | N faible         | Convect        | Calme          |                       |
| 18. Barcelone . . . | 767.3   | 9.0   | NE très fort     | Pluie          | Grosse houle   |                       |
| Alicante . . .      | 767.0   | 10.4  | N mod.           | Convect        | Calme          |                       |
| Palma . . .         | 767.7   | 10.5  | N mod.           | Pluie          | Tranquille     |                       |
| Malaga . . .        | 766.9   | 8.0   | NE ass. fort     | Convect. pluie | Très houle     |                       |

# François Arago, der Prognose-Skeptiker

Den **momentanen Zustand** des Wetters festzustellen, ist eine Sache; den weiteren Verlauf zu **antizipieren**, aber eine andere. Viele Meteorologen und Physiker waren diesbezüglich lange skeptisch – man hatte einfach kein gutes Modell vom Wetter.

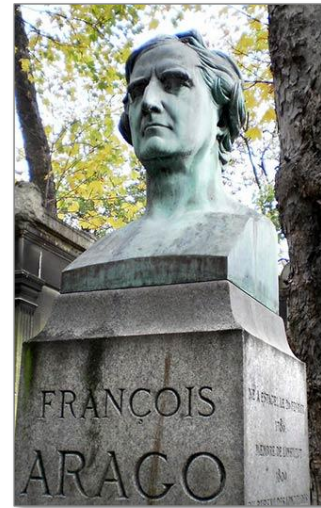
les prédictions qu'on m'a attribuées tous les ans, soit en France, soit à l'étranger. Jamais une parole sortie de ma bouche, ni dans l'intimité, ni dans les cours que j'ai professés pendant plus de quarante années, jamais une ligne publiée avec mon assentiment, n'ont autorisé personne à me prêter la pensée qu'il serait possible, dans l'état de nos connaissances, d'annoncer avec quelque certitude le temps qu'il fera une année, un mois, une semaine, je dirai même un seul jour d'avance. Puisse le dépit que j'ai senti en voyant paraître sous mon nom

Quoi qu'il en soit, je crois pouvoir déduire de mes investigations la conséquence capitale dont voici l'énoncé: Jamais, quels que puissent être les progrès des sciences, les savants de bonne foi et soucieux de leur réputation ne se hasarderont à prédire le temps.

Une déclaration si explicite me donnerait le droit de répondre qu'en ne me fera plus jouer le rôle de Nostradamus.

senhafte und für ihren Ruf besorgte Gelehrte sich auf die Wettervorhersage einzulassen wagen.“ Allerdings muss man zur Interpretation den Kontext berücksichtigen; Arago schreibt weiter oben einschränkend „nach dem Zustande unserer Kenntnisse“, und gemeint waren präzise Aussagen.

**François Arago** (1786 – 1853), französischer Astronom, Physiker und Politiker, schon mit 23 Jahren Mitglied der Académie des sciences und Freund von Alexander von Humboldt, beschreibt in der abenteuerlichen „Geschichte meiner Jugend“, wie er bei einer monatelangen Reise durch Spanien und den angrenzenden Mittelmeerraum zur Vermessung des Meridianbogens mehrfach in Gefangenschaft geriet und einige Male nur knapp dem Tod entging. Aber auch wenn seinerzeit seine populären Darstellungen wissenschaftlicher Themen geschätzt wurden, ist vor allem sein vielseitiges wissenschaftliches Werk von nachhaltiger Relevanz. Zur Wetterprognose äusserte er sich allerdings skeptisch; bekannt wurde seine Aussage von **1845**, „Niemals, wie weit auch die Wissenschaften noch fortschreiten mögen, werden gewissenhafte und für ihren Ruf besorgte Gelehrte sich auf die Wettervorhersage einzulassen wagen.“



Büste auf dem Friedhof „Père Lachaise“ in Paris

# Optimisten & Skeptiker

*Wenn die Meteorologie jemals Gewissheit erzielen könnte, wenn sie künftig zu den Naturwissenschaften zählen würde, und wenn die Meteorologen der-einst wiederkehrende Zyklen im Witterungsgeschehen finden würden, dann könnten sie es vielleicht in gewisser Weise den Astronomen nachtun und das Wetter kommender Zeiten vorausberechnen. -- Thomas Bugge (1740 – 1815)*

Generell herrschte, gerade beim aufgeklärteren Bürgertum, lange Zeit grosse Skepsis gegenüber einer Wetterprognose, auch auf naturwissenschaftlicher Basis, vor. Man glaubte nicht recht daran, dass sich das Wetter einfacher voraussagen liesse als andere „gottgewollten“ Zukunftsereignisse. Sogar der Abt **Mauritius Knauer** (1613 – 1664), der den **hundertjährigen Kalender** („Calendarium oeconomicum practicum perpetuum“) verfasste, mit dem seine Mönche in die Lage versetzt werden sollten, das Wetter in Franken vorherzusagen und so die klösterliche Landwirtschaft zu optimieren, urteilte über seine „Kollegen“: „Gerade jene Sternkundigen, die jährlich die Kalender zusammenstellen, hauen in der Regel so daneben, dass derjenige, der die Beschaffenheit der Witterung daraus abzunehmen sucht, sich notwendigerweise gründlich irrt und Schaden erleidet. Wenn nämlich die Voraussagen wirklich einmal eintreffen, so darf man ruhig annehmen, dass sie nicht irgendeiner Gelehrsamkeit, sondern nur dem Zufall zu verdanken haben.“

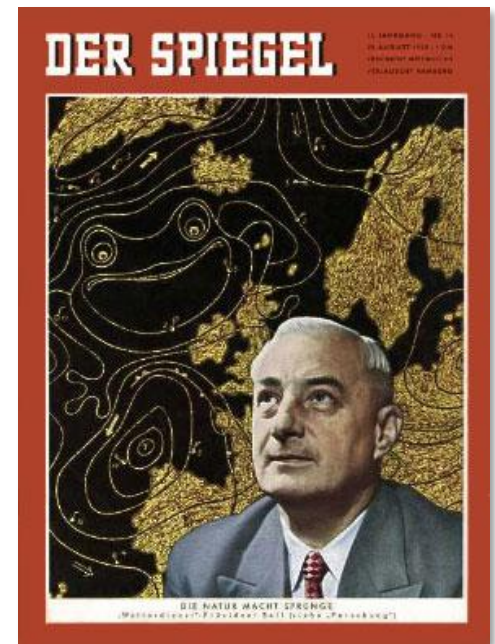


Und der preussische Reichskanzler **Otto von Bismarck** urteilte noch 1883 im Sinne der Staatsräson: „Es ist nicht nützlich, das Feld für böswillige Kritik und für feindliche Bearbeitung der Bevölkerung gegen die Regierung zu vergrössern, und ich möchte deshalb davon abraten, dass die Königliche Regierung [...] durch amtliche Organisation des Wetterbeobachtungsdienstes irgendwelche Verantwortlichkeit für die lokale Zuverlässigkeit von Wetterprophezeiungen übernehme.“ Aber auch Bismarck konnte sich nicht auf Dauer gegen den Zeitgeist stellen.

# Wetterbericht als staatliche Aufgabe

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die **Wetterbeobachtung**, deren Protokollierung und schliesslich auch die **Vorhersage zunehmend institutionalisiert** und staatlichen Anstalten (meist Sternwarten, die als bestqualifiziert für präzise Messungen galten) als Aufgabe übertragen. Einer der wichtigsten Antriebe hierfür war die rechtzeitige **Warnung vor lebensbedrohenden Unwettern**, insbesondere für Küstenbereiche und die **Schifffahrt**. Eine zuverlässige Wettervorhersage ist aber auch generell von grosser Bedeutung für die Wirtschaft, da viele Wirtschaftsprozesse wetterabhängig sind oder abhängig vom Wetter entsprechend optimiert werden können. Die Wochenzeitschrift „Der Spiegel“ formulierte es 1958 in einer Titelgeschichte so:

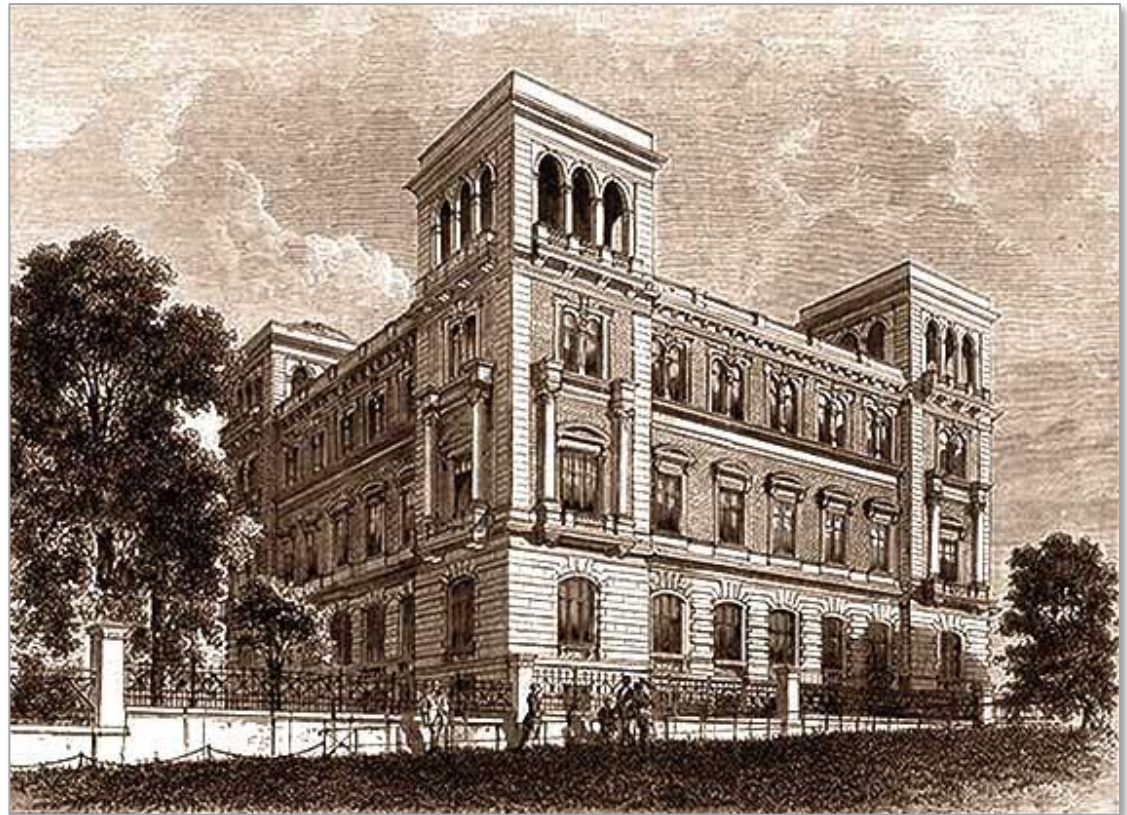
„Bauern wollen bei Frostgefahr wissen, wann sie ihr Spätgemüse ernten sollen; Zuckerfabriken interessieren sich dafür, wann sie ihre Rüben ungefährdet einfahren lassen können; Gas- und Elektrizitätswerke benötigen für ihre Dispositionen Temperatur- und Auskühlungsvorhersagen; Brauereien und Ausflugslokale wollen sich rechtzeitig auf das Sonntagsgeschäft vorbereiten; Zirkusunternehmen mit Zeltbauten möchten frühzeitig vor herannahenden Stürmen gewarnt werden; Grosskaufhäuser wollen wissen, ob sie am Wochenende Regenmäntel oder Badehosen hinter den verschlossenen Eingangstüren auslegen sollen; Transportunternehmer bevorzugen frostfreie Tage für den Versand von Getränken, Kartoffeln, Tinte und Leim; Filmgesellschaften möchten ihre Aussenaufnahmen möglichst in einer regenfreien Woche drehen; Autofabriken bestellen sich für ihre Rekordversuche Hinweise auf windstille Tage.“ Heute würde man dies ergänzen um Ölkonzerne, die Bohrinseln bei ruhigem Wetter transportieren wollen; Energiekonzerne, die den Ertrag von PV- und Windanlagen für den Day-Ahead-Handel benötigen; Paragleiter, die den Thrill suchen,...





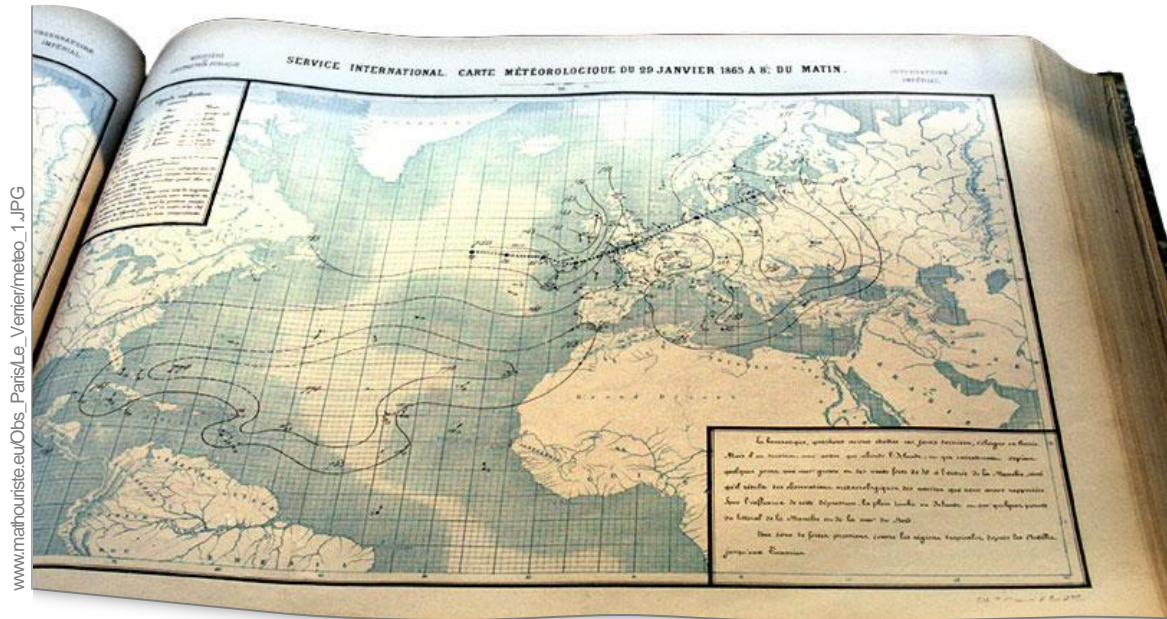
Ab 1876 verfasste die **Deutsche Seewarte** in Hamburg **täglich Wetterberichte**. Der Hauptzweck war zunächst die Warnung vor aufziehenden schweren Stürmen: Ist die Druckdifferenz zwischen zwei Isobaren bekannt, lässt sich aus ihrem Abstand auf die Windstärke bzw. Windgeschwindigkeit schließen.

„Aus dem Gebiet von Island-Bo-dö bis Sizilien und von Irland bis Moskau erhält die Seewarte telegraphisch die täglichen Beobachtungen von 33 deutschen und 87 ausländischen Stationen. Die Telegramme bringen nach internationalem Schema Luftdruck, Windrichtung und Stärke, Temperatur und Wetter für den Abend des vorhergehenden Tages und außerdem für 8 Uhr (bei den ausländischen Stationen zum Teil für 7 Uhr) morgens; letzteren Werten sind noch die relative Feuchtigkeit, die Regenmenge, der Seegang und die Temperaturextreme für die letzten 24 Stunden, bei den deutschen Stationen auch noch der vorherrschende Himmelszustand (Wolkenform) und der Zug der oberen Wolken hinzugefügt. [...] Außerdem ist die Deutsche Seewarte die telegraphische Zentrale für den öffentlichen Wetterdienst im Deutschen Reich und übermittelt die Beobachtungen sowie textliche Übersichten telegraphisch den Wetterdienststellen.“ [Meyers Großes Konversations-Lexikon 1905]



# Tägliche Wetterberichte mit Wetterkarten

Zu den damaligen Wetterkarten merkt Gabriele Gramelsberger in ihrem Buch „Computerexperimente“ an: „Die synoptischen Wetterkarten zu Beginn des 20. Jahrhunderts zeigten jedoch nur **unvollständige Momentaufnahmen** eines hochdynamischen Geschehens, dessen zukünftige Entwicklung unter diesen Bedingungen nicht wirklich vorhersagbar war. Zum einen gab es nur Daten bodennaher Messungen, zum anderen waren die Beobachtungsnetze noch nicht ausreichend dicht und wiesen grosse Lücken über den Meeren oder Kontinenten wie Afrika auf. Die Analyse aufeinanderfolgender, synoptischer Karten ‚simulierte‘ zwar ein dynamisches Bild meteorologischer Ereignisse in der Atmosphäre. Doch den Meteorologen wurde bald klar, dass diese, sich im **Zweidimensionalen** darstellenden Ereignisse – sowohl auf der Fläche der Karte wie auch auf bodennaher Ebene der Messungen – nur ein **Schnitt durch Vorgänge** sind, die sich im Dreidimensionalen abspielen. [...]



www.mathouriste.eu/Obs\_Paris/Le\_Ventier/meteo\_1.JPG

Es bedurfte also eines theoretischen Verständnisses der **Atmosphäre als dreidimensionales Objekt** und es war notwendig, ‚die synoptischen Beobachtungen vom zweidimensionalen Raum der Erdoberfläche auf den dreidimensionalen Raum, das Luftmeer‘ auszudehnen. Erst im Dreidimensionalen zeigen sich die Ursachen der Veränderungen der Luftmassen. Dazu braucht es ein räumliches, möglichst hoch aufgelöstes Messbild der Atmosphäre. Doch zu Beginn des 20. Jahrhunderts standen nur Ballone und Drachen zur Verfügung, um die Zustände der höheren Luftschichten zu erforschen.“

# Schweizerische Meteorologische Centralanstalt

In der **Schweiz** wurde die systematische Wetterbeobachtung und -meldung Mitte des 19. Jahrhunderts von der „Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft“ (der heutigen Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, SCNAT) organisiert, die 1863 dafür eine „**Meteorologische Centralanstalt**“ einrichtete. Sie konnte auf den Einsatz vieler Freiwilliger zählen, die sich zum Teil mehrere Jahrzehnte lang engagierten.

Franziska Hupfer schreibt dazu in ihrem Buch *Das Wetter der Nation. Meteorologie, Klimatologie und der schweizerische Bundesstaat, 1860-1914*: „1. Dezember 1863, 7 Uhr morgens: 88 Menschen in der Schweiz blickten konzentriert auf eine Quecksilbersäule und notierten daraufhin den abgelesenen, auf eine Kommastelle gerundeten Wert. Es war ihr erster Einsatz als Stationsinhaber des neu geschaffenen **schweizerischen meteorologischen Beobachtungsnetzes**. Dreimal täglich [um 7, 13 und 21 Uhr] massen sie von nun an die Temperatur, die Feuchtigkeit und den Druck der Luft, bestimmten allfällige Niederschlagsmengen, erfassten die Windrichtung und Windstärke, beobachteten den Zug der Wolken und schätzten den Grad der Bewölkung. Alle Werte mussten die Beobachter fein säuberlich in Tabellen eintragen, die sie jeweils nach Monatsende an die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt in Zürich sandten. [...]

Unter den 88 Beobachtern, die im Dezember 1863 ihre Arbeit für das schweizerische meteorologische Netz aufnahmen, waren 25 Lehrer, 21 Geistliche, 11 Ärzte oder Apotheker, 9 Gastwirte, 4 Wissenschaftler, 3 Telegrafisten, 3 Uhrmacher und 2 Kaufleute. 9 weitere fielen in die Kategorie ‚andere Berufsarten‘. **Lehrer und Geistliche** machten also mehr als die Hälfte der Beobachter aus. Die Meteorologische Kommission war der Ansicht, dass sich Vertreter dieser beiden Berufe ‚wegen der Regelmässigkeit ihrer Lebensweise‘ am besten für die Beobachtungstätigkeit eigneten. [...]

Im Laufe der Zeit änderte der Wetterdienst einige Male seinen Namen:

— Nach ein paar Jahren wechselte er von *Meteorologische Centralanstalt* zu *Meteorologische Zentralanstalt*, MZA; auf Französisch *Institut suisse de météorologie*, auf Italienisch *Istituto Svizzero di Meteorologia* und auf Englisch *Swiss Central Meteorological Institute*.

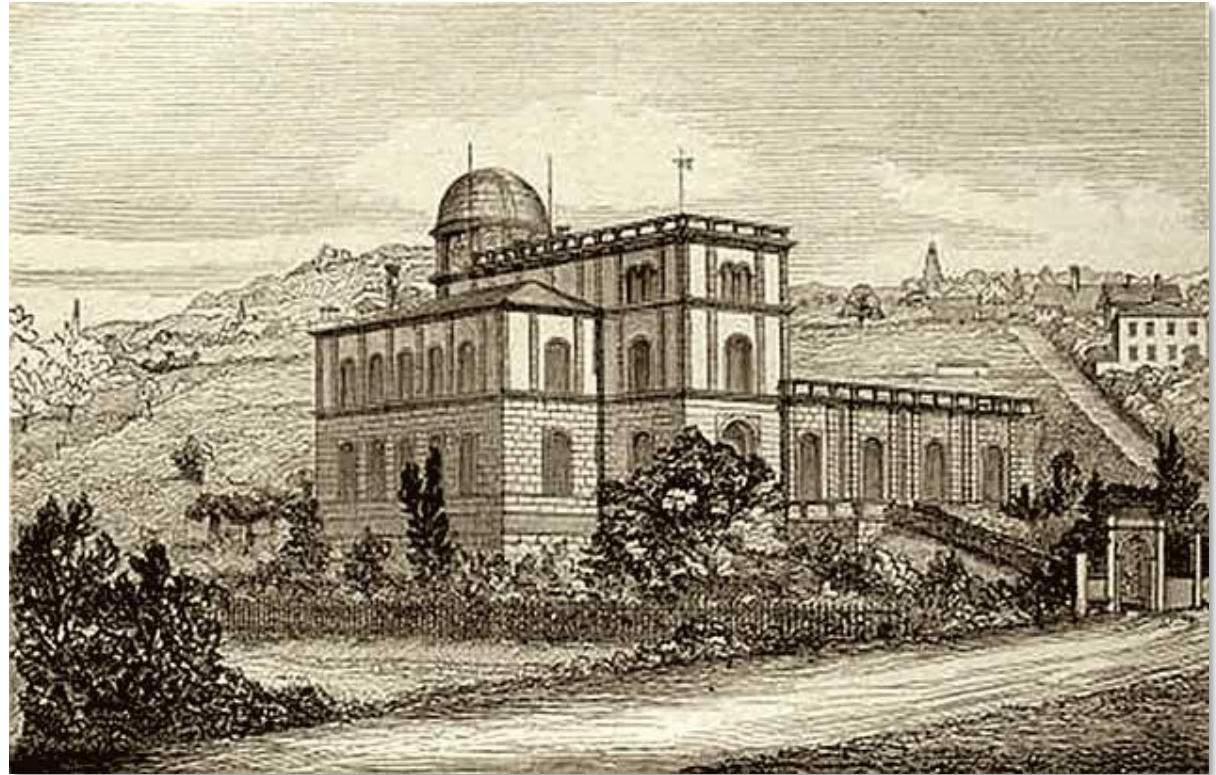
— 1979 wurde der Dienst zur *Schweizerischen Meteorologischen Anstalt*, auf Englisch *Swiss Meteorological Institute*; im Französischen und Italienischen blieb der Name gleich.

— 1999 wurde daraus, abhängig von der Sprache, *MeteoSchweiz*, *MétéoSuisse*, *MeteoSvizzera* bzw. *MeteoSwiss*, als administrative Einheiten nennen sie sich aber *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie* bzw. *Office Fédéral de Météorologie et de Climatologie* und *Federal Office of Meteorology and Climatology*.

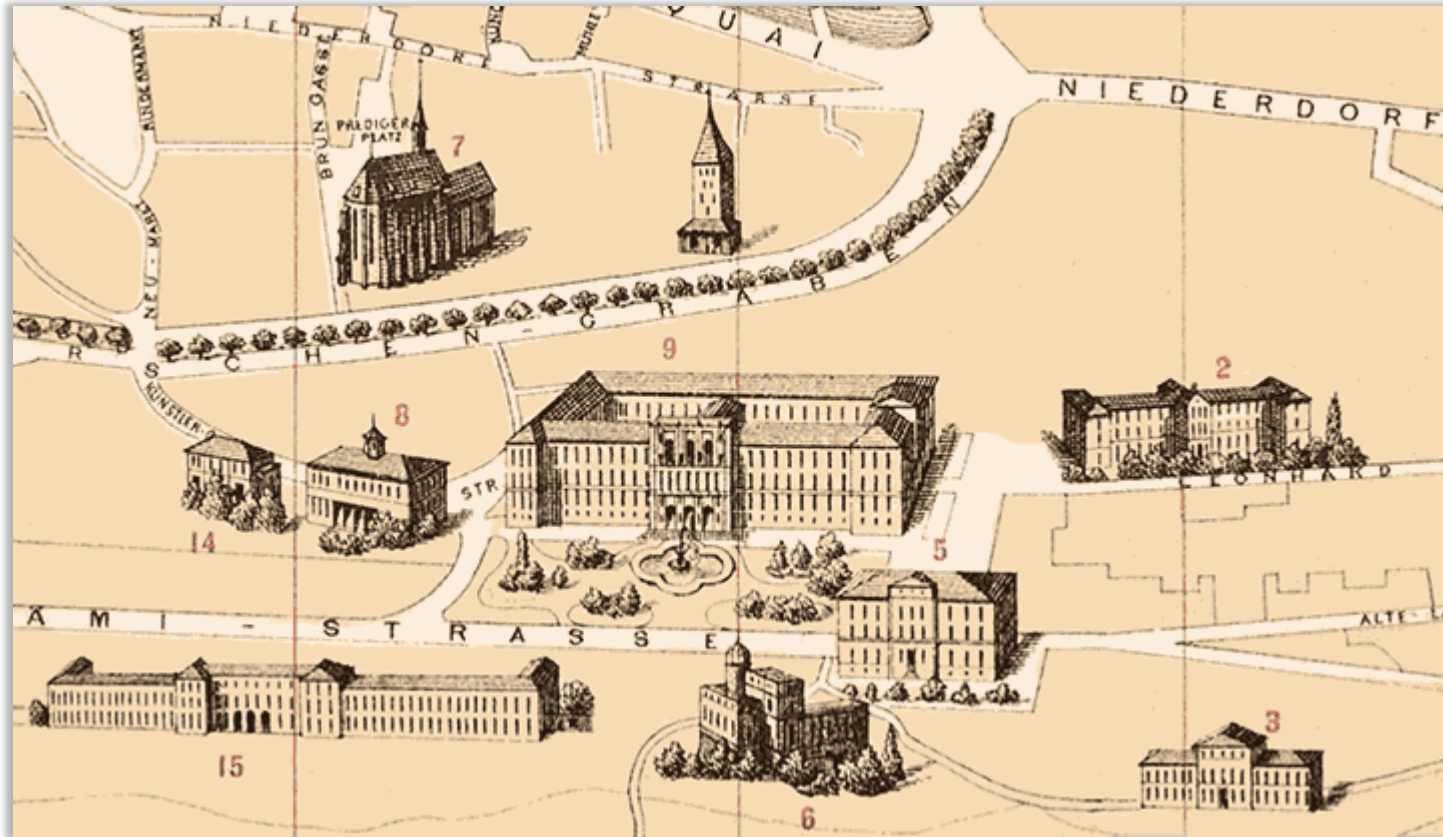
# Schweizerische Meteorologische Centralanstalt

17 Jahre nach ihrer Gründung wurde die Meteorologische Zentralanstalt mit einem Bundesbeschluss verstaatlicht. Sie stand ab 1881 unter Oberaufsicht des Departements des Innern. [...] schrieb der Bundesrat, die Schweiz werde dadurch ‚auf die Höhe der Nachbarstaaten‘ gehoben.“

Anfänglich gab es nur ein eher bescheidenes „Meteorologisches Buero“ für einen Assistenten und zwei „Hilfsrechner“ im 2. Stock der [ETH-Sternwarte](#) (erbaut 1861–1864 von Gottfried Semper, Prof. für Architektur an der ETH, u.a. Erbauer des ETH-Hauptgebäudes und der Dresdner Oper); im Ort Oberstrass gelegen, den Zürich erst 1893 eingemeindete. Erster Direktor der Sternwarte und später auch der Meteorologischen Centralanstalt war der Mathematiker und Astronom [Rudolf Wolf](#) (1816 – 1893). Ihm folgte 1881 sein ehemaliger Assistent [Robert Billwiller](#) (1849 – 1905), dessen Namenskürzel „RB“ auf einigen hier abgebildeten Dokumenten zu sehen ist.



# Schweizerische Meteorologische Centralanstalt



- 2 Pfrundhaus
- 3 Gebäranstalt
- 5 Landwirthschaftl. Schule
- 6 Sternwarte
- 7 Predigerkirche
- 8 Blindeninstitut
- 9 Polytechnikum
- 13 Obmannamt
- 14 Künstlertütli
- 15 Kantonsspital

Sternwarte mit Meteorologischer Centralanstalt im Hochschulquartier Zürich auf einem Orientierungsplan von 1878 (aus dem „Adressbuch der Stadt Zürich und der Ausgemeinden 1878“). Das ETH-Hauptgebäude hat noch unbebaute Innenhöfe und noch keine Kuppel. Es wird, genauso wie das Spital und die Gebäranstalt, in den folgenden Jahrzehnten massiv ausgebaut werden.

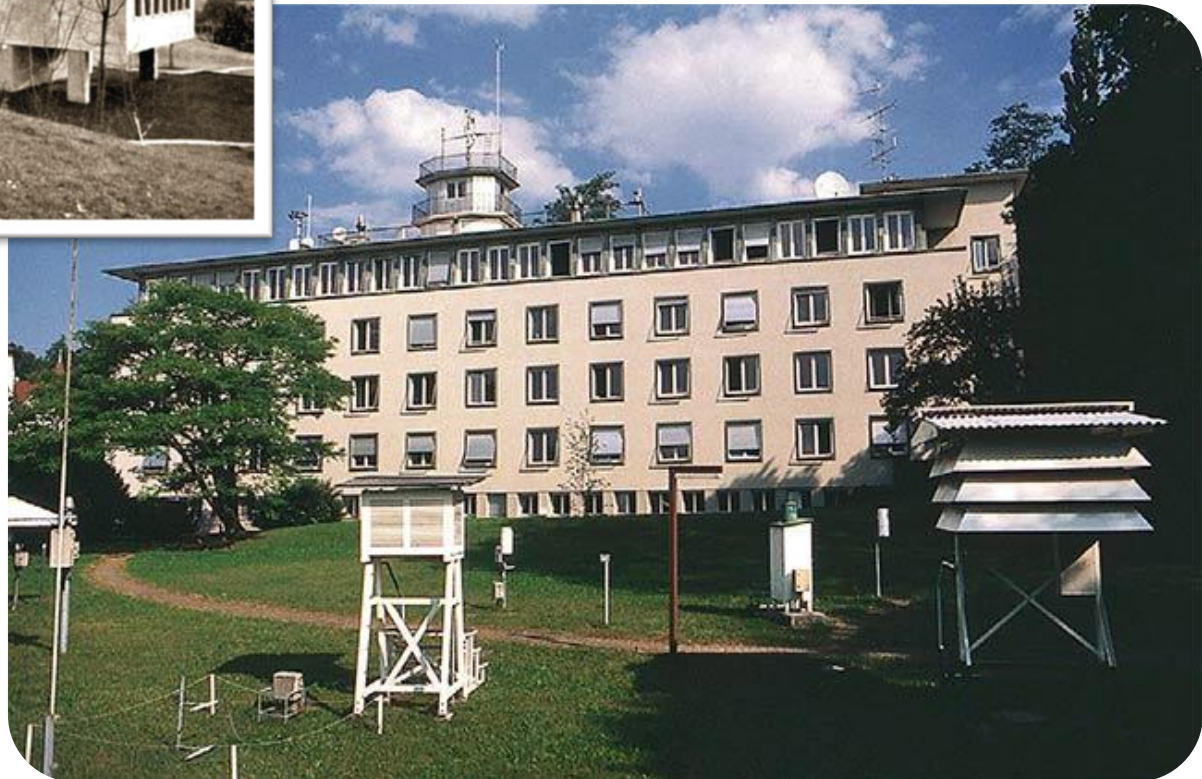
# Schweizerische Meteorologische Centralanstalt



Meteostrasse beim Flughafen Zürich; dort befinden sich Messgeräte und eine Beobachtungsstation.



Neubau 1949 in der Krähbühlstr. am Abhang des Zürichbergs. („Den eigentlichen, architektonisch interessanten Akzent erhält die Anlage durch den kommando- oder leuchtturmartigen Beobachtungsturm. Er verleiht dem Bau etwas Maritimes und markiert seine Funktion als meteorologisches Institut. Beobachtungsterasse und Turmplattform bieten eine den ganzen Horizont maximal umfassende Rundschau.“ So der Architekt in einem Artikel von 1950.)



# Meteorologische Centralanstalt → Meteo Schweiz

Im Jahr 2000 Umbenennung in Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie („Meteo Schweiz“). 2014 Verlegung des Hauptsitzes an den Flughafen Zürich, „Operation Center 1“ mit 300 Arbeitsplätze auf 3 Etagen.



[https://buero-architektur.ch/fileadmin/\\_processed\\_/3/c/csm\\_MeteoCH-50\\_bd7a3167d0.jpg](https://buero-architektur.ch/fileadmin/_processed_/3/c/csm_MeteoCH-50_bd7a3167d0.jpg) -- [https://buero-architektur.ch/fileadmin/\\_processed\\_/e/5/csm\\_MeteoCH-36\\_ddda14cf8d.jpg](https://buero-architektur.ch/fileadmin/_processed_/e/5/csm_MeteoCH-36_ddda14cf8d.jpg) -- [https://admin.ch-info.swiss/assets/containers/1-img/BUKU\\_2019/Bundesverwaltung/edi.jpg?4955b736d9a031b178cc4879fc4a33d.jpg](https://admin.ch-info.swiss/assets/containers/1-img/BUKU_2019/Bundesverwaltung/edi.jpg?4955b736d9a031b178cc4879fc4a33d.jpg) -- [www.flugsimulator-vergleich.de](http://www.flugsimulator-vergleich.de)

# Wetterbericht neu mit Prognose vom Observatorium Zürich ab Juni 1879

Anmerkung. Vielseitig geäußerten Wünschen entsprechend, führen wir mit heute in den täglichen Witterungsberichten zwei **Neuerungen** ein:

1) Die Reduktion der auf der Zürcher Sternwarte (470 Meter über Meer) beobachteten Barometerstände auf das Meeresniveau, wobei wir jedoch die reduzierten Stände aus verschiedenen Gründen nur in ganzen Millimetern geben.

2) Die Prognose für die Witterung des folgenden Tages auf Grundlage der hierseitigen Beobachtungen und des Berichtes des Pariser Observatoriums.

Erstere soll zur Vergleichung des jeweiligen hier beobachteten Barometerstandes mit den Daten der Pariser Depeschen, die für 7 Uhr Vormittags gelten, dienen und ist namentlich für diejenigen Leser von Werth, welche jene Daten mittelst der Isobaren kartographisch aufzeichnen.

In Betreff der Prognose halten wir eine nähere Erklärung, die in der Montagnummer folgen soll, nicht für ganz überflüssig.

R. B.

Die NZZ erachtete es für notwendig, eine Anmerkung zu den nun erstmalig erscheinenden Wetterprognosen zu machen. Die Meteorologie sei noch sehr weit von einer deduktiven Wissenschaft entfernt, jedoch machten verschiedentlich geäußerte Interessen „die Verwertung auch der blossen Wahrscheinlichkeiten“ wünschenswert und forderten diese sogar. Ginge es nur um das Interesse der Wissenschaft, „würde man sich wohl hüten, so unvollkommene Produkte der Spekulation, wie die Wetterprognosen in vielen Fällen sind, zu allgemeinerer Kenntnis zu bringen und einer so schonungslosen Kritik durch die nachfolgenden Tatsachen auszusetzen“.



# Wetterprognose des Observatoriums Zürich, 11. Juni 1879

## Witterungsbericht vom 11. Juni. Mittheilung des Observatoriums in Zürich. Vormittags 7 Uhr.

|                     | Höhe<br>in<br>Meter | Barometerst. |                       | Temp.<br>Cels.<br>Grad. | Wind | Nieder-<br>schl. mm. | Witterung |
|---------------------|---------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|------|----------------------|-----------|
|                     |                     | ab-<br>solut | auf<br>Meer<br>reduz. |                         |      |                      |           |
| Zürich              | 470                 | 725.2        | 766.1                 | 14                      | SEo  | 6                    | hell.     |
| Glarus              | 471                 | 725.7        | 766.6                 | 10                      | So   | 13                   | hell.     |
| Bern                | 573                 | 716.4        | 766.2                 | 15                      | SEo  | 1                    | hell.     |
| Genf 8 <sup>b</sup> | 408                 | 730.2        | 765.8                 | 16                      | Ni   | —                    | hell.     |
| Basel               | 278                 | 741.2        | 765.6                 | 18                      | Ei   | —                    | hell.     |
| Lugano              | 275                 | 741.2        | 765.2                 | 17                      | SEo  | —                    | hell.     |
| Trogen              | 892                 | 690.5        | —                     | 16                      | So   | 7                    | hell.     |
| Gottshard           | 2100                | 597.2        | —                     | 4                       | Ni   | —                    | hell.     |

Mittags 1 Uhr.

|           | Baro-<br>meterst.<br>absolut | Temp.<br>Cels.<br>Grad. | Unterschied<br>gegen gestern 1h |       | Wind | Witterung |
|-----------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------|------|-----------|
|           |                              |                         | Barom.                          | Temp. |      |           |
| Zürich    | 724.7                        | 25                      | + 2.6                           | + 3   | SEo  | hell.     |
| Glarus    | 724.0                        | 25                      | + 2.2                           | + 4   | Ni   | hell.     |
| Bern      | 715.7                        | 22                      | + 2.1                           | + 2   | NEo  | hell.     |
| Genf      | 729.3                        | 22                      | + 1.9                           | - 1   | Ni   | hell.     |
| Basel     | 740.5                        | 25                      | + 1.8                           | + 3   | Ei   | hell.     |
| Lugano    | 739.7                        | 26                      | + 0.5                           | + 4   | SEo  | hell.     |
| Trogen    | 690.7                        | 20                      | + 2.4                           | + 3   | SWo  | hell.     |
| Gottshard | 598.0                        | 9                       | + 2.5                           | 0     | SEi  | hell.     |

### Uebersicht der Witterung:

Ueber Zentral- und Südeuropa liegt heute eine Zone hohen Luftdrucks. Im südlichen Irland deutet dagegen das Fallen des Barometers und ein frischer Ostwind auf die Existenz einer Depression über dem Ozean, deren Bewegung noch nicht vorausgesehen werden kann. Gestern Nachmittag haben in der nördlichen und zentralen Schweiz vielfach Gewitter und Plazregen stattgefunden; Trogen meldet Hagel. Heute ist das Wetter in der ganzen Schweiz hell und ruhig.

### Isobaren:

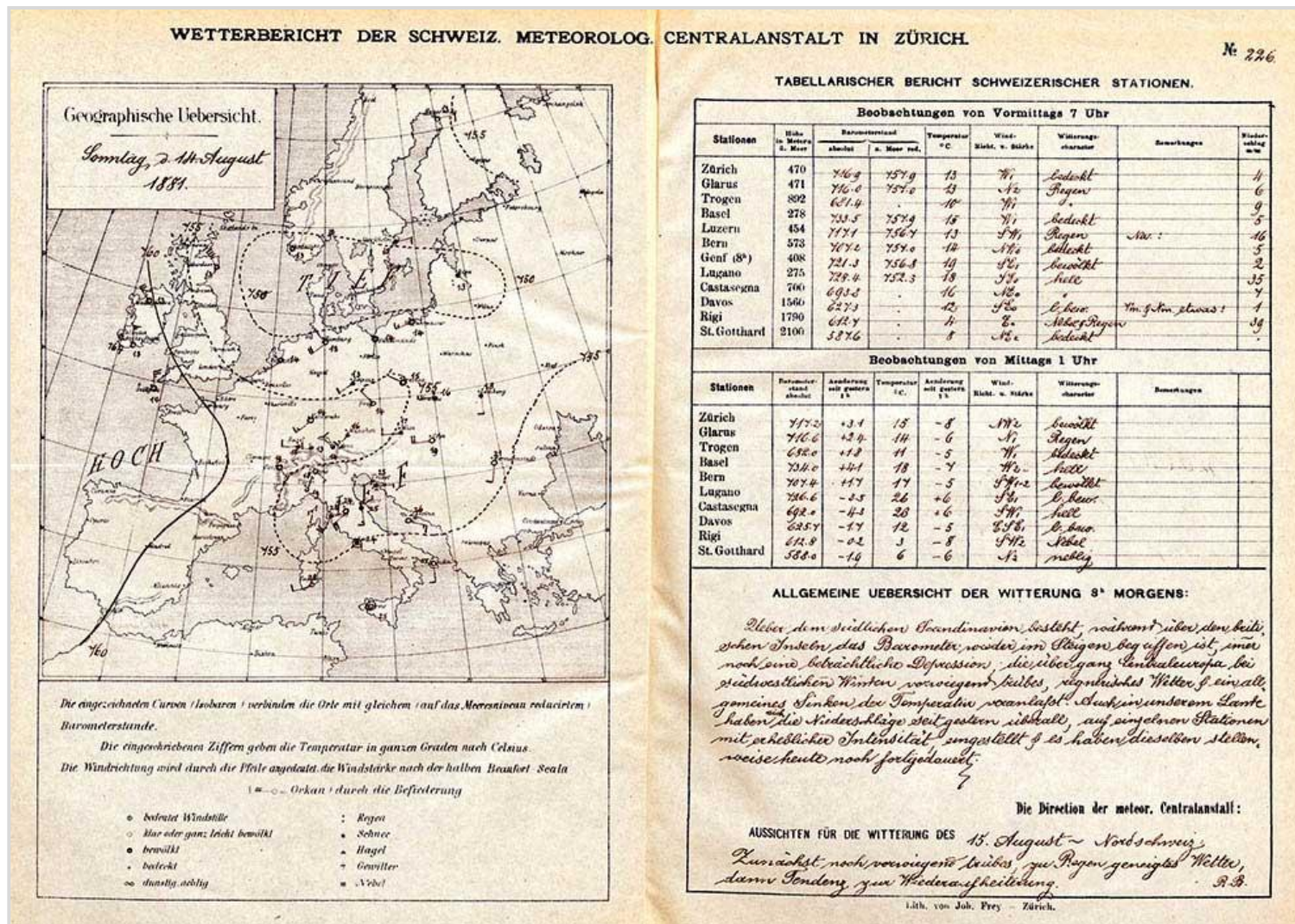
Mm. 757 Valentia, Scilly; 760 Bodd, Hernofand, Wisby, Petersburg; 760 Greencastle, Brest, Rochefort; 765 Oporto, Barcelona, Lyon, Brüssel, Gand, Swinemünde, Breslau, Neapel, Rom.

**Aussichten für die Witterung des 12. Juni in der Nordostschweiz:** Fortdauer des warmen, trockenen Wetters bei heiterem Himmel. R. B.

Mehrfach am Tag erscheinende Zeitungen (hier: NZZ) druckten die Wetterberichte ab.

„Ganz vernünftige Leute fragen, was solche Beobachtungen nützen [...] Es ist sich demnach nicht zu verwundern, dass sie jede Zeile bedauern, die die meteorologischen Beobachtungen dem Zeitungsklatsche entrücken.“ (Zeitgenosse)

# Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Centralanstalt in Zürich, 14. Aug. 1881



ETH-Bibliothek, Alte und Seltene Drucke, www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2015/09/prognosen-ein-wissenschaftliches-wagnis.html

# Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Centralanstalt in Zürich, 14. Aug. 1881 (2)

## TABELLARISCHER BERICHT SCHWEIZERISCHER STATIONEN.

### Beobachtungen von Vormittags 7 Uhr

| Stationen              | Höhe<br>in Metern<br>ü. Meer | Barometerstand |              | Temperatur<br>°C. | Wind-<br>Richt. u. Stärke | Witterungs-<br>character | Bemerkungen      | Nieder-<br>schlag<br>m/m |
|------------------------|------------------------------|----------------|--------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
|                        |                              | absolut        | a. Meer red. |                   |                           |                          |                  |                          |
| Zürich                 | 470                          | 716.9          | 757.9        | 13                | W1                        | bedeckt                  |                  | 4                        |
| Glarus                 | 471                          | 716.0          | 757.0        | 13                | N2                        | Regen                    |                  | 6                        |
| Trogen                 | 892                          | 681.4          | .            | 10                | W1                        | "                        |                  | 9                        |
| Basel                  | 278                          | 733.5          | 757.9        | 15                | W1                        | bedeckt                  |                  | 5                        |
| Luzern                 | 454                          | 717.1          | 756.7        | 13                | SW1                       | Regen                    | Nar.:            | 16                       |
| Bern                   | 573                          | 707.2          | 757.0        | 14                | NW0                       | bedeckt                  |                  | 5                        |
| Genf (8 <sup>h</sup> ) | 408                          | 721.3          | 756.8        | 19                | SE1                       | bewölkt                  |                  | 2                        |
| Lugano                 | 275                          | 728.4          | 752.3        | 18                | SE0                       | hell                     |                  | 35                       |
| Castasegna             | 700                          | 693.8          | .            | 16                | N00                       | "                        |                  | 7                        |
| Davos                  | 1560                         | 627.3          | .            | 12                | SE0                       | l. bew.                  | 4m. & 5m. etwas! | 1                        |
| Rigi                   | 1790                         | 612.7          | .            | 11                | E0                        | Nebel & Regen            |                  | 39                       |
| St. Gotthard           | 2100                         | 587.6          | .            | 8                 | N02                       | bedeckt                  |                  | .                        |

Das schweiz. Klimamessnetz startete im Dezember 1863 mit 88 Stationen. Ab 1879 erhielt die Centralanstalt die Messwerte täglich von rund einem Dutzend Stationen per Telegramm und publizierte sie in ihrem Wetterbericht.

# Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Centralanstalt in Zürich, 14. Aug. 1881 (3)

## ALLGEMEINE UEBERSICHT DER WITTERUNG 8<sup>h</sup> MORGENS:

Über dem südlichen Scandinavien besteht, während über den britischen Inseln das Barometer wieder im Steigen begriffen ist, immer noch eine beträchtliche Depression, die über ganz Centralearopa bei südwestlichen Winden vorwiegend trübes, regnerisches Wetter & ein allgemeines Sinken der Temperatur veranlasst. Auch in unserem Lande haben <sup>sich</sup> die Niederschläge seit gestern überall, auf einzelnen Stationen mit erheblicher Intensität, eingestellt & es haben dieselben stellenweise heute noch fortgedauert.

Die Direction der meteor. Centralanstalt:

AUSSICHTEN FÜR DIE WITTERUNG DES

15. August ~ Nordschweiz;  
Zunächst noch vorwiegend trübes, zu Regen geneigtes Wetter,  
dann Tendenz zur Wiederaufhellung. R.B.

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel ab 1882

Die Errichtung einer bemannten Wetterstation auf dem Säntis Ende des 19. Jahrhunderts wurde seinerzeit als ein „wahrhaft patriotisches und zugleich eminent wissenschaftliches Unternehmen“ beschrieben. Den Kontext für dieses bemerkenswerte Vorhaben beschreibt Hermann Grosse (1911-1995), Staatsschreiber des Kantons Appenzell Innerrhoden, im Appenzellischen Jahrbuch von 1981. Die Ouvertüre seines Artikels „Hundert Jahre Säntis-Wetterwarte“ liest sich so:

„Der Wetterforscher oder Meteorologe erforscht und beobachtet die Vorgänge und Erscheinungen in der Atmosphäre so, wie sie ihm entgegentreten. Eine genügende Übersicht über sie zu erhalten, ist dem Einzelnen wegen des beschränkten Raumes unmöglich, ebenfalls kann er sie im unermesslichen Luftmeer nicht scharf abgrenzen. Daher blieb Mitte des 19. Jahrhunderts nichts anderes übrig, als zahlreiche Beobachtungsstationen in verschiedensten Lagen zu schaffen, mit deren Ergebnissen man arbeiten konnte. Nun entwickelte sich die Meteorologie erst recht, nachdem auf einem grossen Teil der Erdoberfläche meteorologische Beobachtungen gemacht und aufgezeichnet und diese verglichen und verarbeitet werden konnten. Bald zeigte es sich jedoch, dass für das gründliche Studium und die Erklärung der Vorgänge in der Atmosphäre die Beobachtungsstationen in den Niederungen nicht genügten, da die Kenntnisse der Temperatur-, Dichtigkeits- und Feuchtigkeitsverhältnisse sowie die Windströmungen in den oberen Luftschichten als unerlässliche Tatsachen dazugehörten. Frühzeitig wurden denn auch schon kühne Ballonfahrten zur Feststellung solcher Fakten unternommen, doch lieferten sie infolge der ständigen Veränderungen im weiten Luftmeer zu wenig sichere Resultate. Aus diesem Grunde fanden die Forscher, dass derartige Beobachtungen am ehesten auf isolierten Bergspitzen zu machen seien, wobei diese Spitzen nicht mit einer zu grossen Masse in die Atmosphäre hineinragen dürfen, weil sonst der Einfluss derselben auf die umgebende Luft zu gross ist und der dort gewählte Standort der Instrumente nicht die freie Atmosphäre repräsentieren kann.“



# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (2)



1879 tagte der internationale Meteorologenkongress in Rom. Neben vielen anderen Themen ging es auch um die Errichtung einer meteorologischen Beobachtungsstation auf einem Alpengipfel. Man erhoffte sich damit Einblicke in das Wettergeschehen in den höheren Sphären. Julius von Hann (1839-1921), Direktor der „k. k. Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus“ in Wien, verfasste im Auftrag des Kongresses einen Bericht, in dem es u.a. hiess:

„Der Congress hält es bei dem gegenwärtigen Standpunkte der Meteorologie von besonderer Wichtigkeit, einige vollständig ausgerüstete Observatorien auf dominirenden Berggipfeln zu errichten und die Beobachtungen an denselben unverkürzt im Druck zu veröffentlichen, um sie allen Meteorologen zugänglich und sie zur Lösung aller auch etwa in Zukunft erst auftauchender Probleme nach Möglichkeit nutzbar zu machen [...] Der Congress hält die Gründung eines Gipfelobservatoriums in der Schweiz für besonders wünschenswert.“

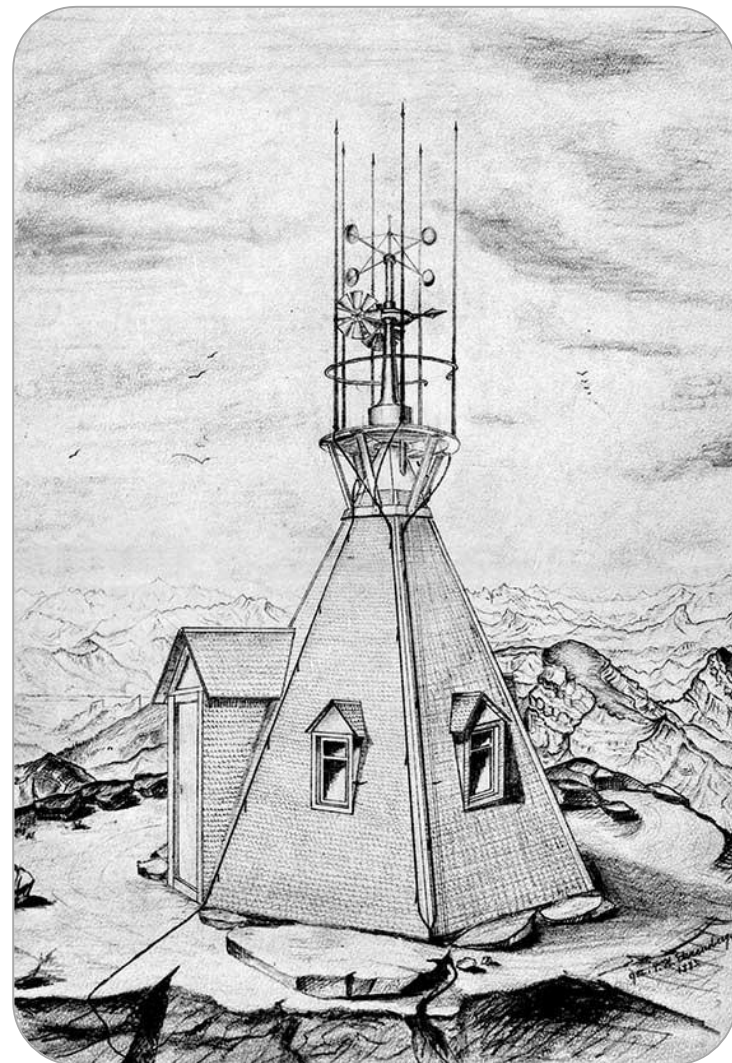
**Robert Billwiller** war von 1881 bis 1905 Direktor der Schweizerischen Meteorologischen Centralanstalt. Er studierte ab 1869 in Zürich, Göttingen und Leipzig Astronomie, Mathematik und Philosophie. Er betrieb die Einrichtung einer meteorologischen Station auf dem Säntis, verbesserte wesentlich das meteorologische Beobachtungsnetz der Schweiz durch telegrafische Meldungen und führte (zunächst privatim als „R.B.“, gegen die Mehrheit der Meteorologischen Kommission) Wetterprognosen ein.

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (3)

In der Schweiz werden daraufhin frühere Überlegungen zu einem meteorologischen Bergobservatorium wieder aufgenommen. Robert Billwiller, der Direktor der Schweizerischen Meteorologischen Centralanstalt, berichtet 1884 rückblickend:

„Schon Anfangs der Sechziger Jahre, bei Organisation der meteorologischen Beobachtungen in der Schweiz durch die Naturforschende Gesellschaft, nahm die hierfür bestellte meteorologische Commission die Etablirung einer möglichst vollständigen, mit Registririnstrumenten auszurüstenden Bergstation in ihr Programm auf und es wurde dazu zunächst das Faulhorn, nachher das Gotthardospiz in Aussicht genommen. Allein Schwierigkeiten verschiedener Art, worunter hauptsächlich die grossen Kosten, hinderen die Ausführung des Projects.“

Nach dem Kongress in Rom qualifizierte man den Säntisgipfel als „...den für die Aufnahme einer meteorologischen Station am besten geeigneten, da er bei bedeutender Höhe so vollständig frei liegt, wie vielleicht kein zweiter in den Alpen und dabei verhältnismässig leicht zugänglich ist. [...]



# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (4)

In einem ersten Voranschlag wurden die Kosten der Einrichtung der Station auf Fr. 5000, diejenigen der als durchaus nothwendig erachteten telegraphischen Verbindung auf Fr. 3000 und endlich die laufenden Betriebskosten der Station auf Fr. 6000 per annum veranschlagt. [...]

Die telegraphische Verbindung mit dem Thal wurde sowohl der Sicherheit der Station im Winter wegen, als auch um jederzeit die Correspondenz mit der meteorologischen Centralstation in Zürich ermöglichen zu können, als durchaus nothwendig erachtet. [...] Es waren hiebei nicht geringe Schwierigkeiten zu überwinden. Das Bohren der Löcher in das sehr harte Gestein bot besondere Hindernisse und das Ziehen des Drahtes von einem Stützpunkt zum andern, das Erklettern derselben war zum Theil mit Gefahr verbunden. [...] Mit Eintritt des Winters machte sich jedoch ein fataler Uebelstand bemerkbar, der darin bestand, dass im obern, dem Winde stark ausgesetzten Theil der Leitung, sich nicht nur starker Rauh frost, sondern als Niederschlag aus der sehr feuchten und stark bewegten Luft enorme Eismassen an den Draht setzten, die zunächst eine Biegung der





# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (5)

eisernen Tragstangen, dann aber auch bei grossen Spannungen ein Zerreißen des ausserordentlich starken englischen Stahldrahtes von bester Qualität veranlasste.

Als eines der wichtigsten Instrumente war schon ganz Anfangs für die Säntisstation ein möglichst einfaches, sicher functionirendes und von dem Beobachter leicht zu bedienendes Anemometer in Aussicht genommen worden, welches auf der obersten Spitze des Berges postirt, das Verhalten des Windes sowohl nach Richtung als Intensität durch eine continuirliche Aufzeichnung beider Elemente zur Anschauung bringen sollte. [...] Für dieses Instrument war die Aufstellung auf der obersten Spitze (2504 Meter Meereshöhe nach trigonometrischen Messungen) des Säntis unerlässlich, denn nur so kann man annehmen den Windverhältnissen, wie sie sich in der freien Atmosphäre gestalten, annähernd beizukommen. Für die Unterbringung des Apparates konnte die vorhandene eiserne dreiseitige und sehr feste Signalpyramide von 4 Meter Höhe sehr vortheilhaft verwendet werden; dieselbe wurde s. Zeit von der Section St. Gallen des Alpenclubs errichtet und uns in verdankenswerthester Weise zur Benutzung überlassen.

Trotzdem ist es nicht möglich, den Apparat während des ganzen Jahres im Gang zu erhalten. Die Ansätze von Eis

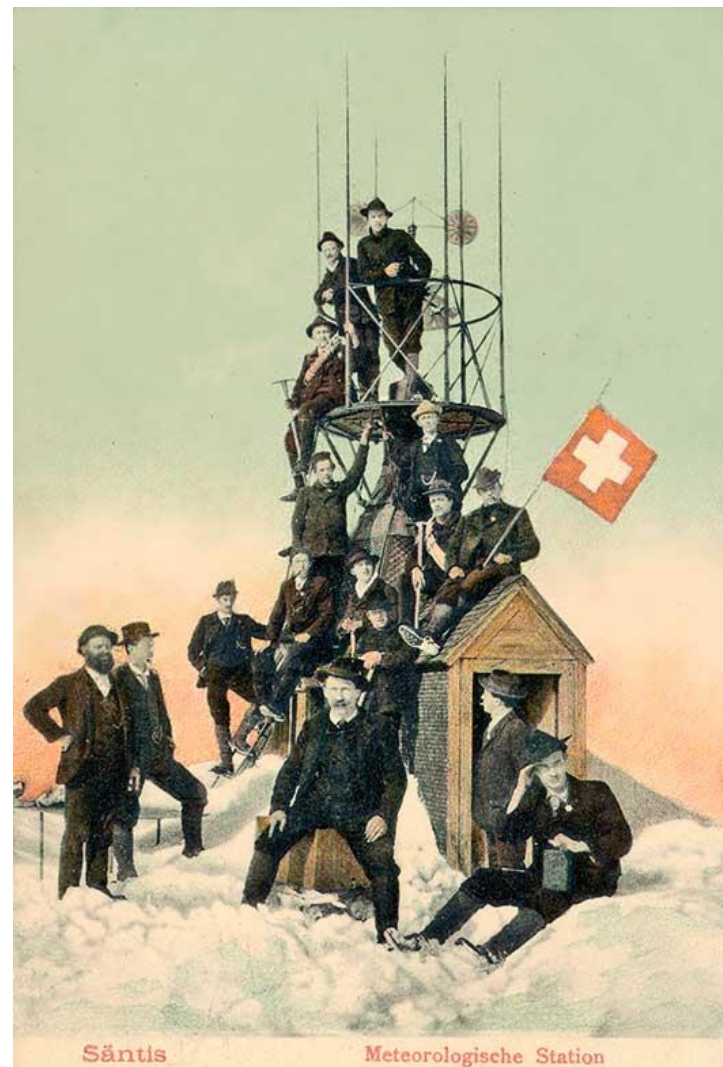


# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (6)

an die äusseren Theile desselben, welche nun einmal schlechterdings dem Winde ausgesetzt werden müssen, wenn sie ihren eigentlichen Zweck erfüllen sollen, sind bei feuchten Westwinden und Temperaturen unter Null, also hauptsächlich im Winter, so enorm, dass der Gang des Schalenkreuzes und der Windflügelräder sehr erschwert oder geradezu ganz gehemmt wird und zur Vermeidung dieses Umstandes dürfte es kaum ein Mittel geben.

Die Auswahl einer geeigneten Persönlichkeit als Beobachter war keine leichte Sache. [...] Leute, die hierzu geeignet sind und sich entschliessen mindestens ein Jahr auf einem während des grössten Theils des Jahres isolirten Posten auszuhalten, sind nicht zahlreich.

Für die weitere Fortführung der Station wird ohne Zweifel der Bund in Anspruch genommen werden müssen. [...] Wir zweifeln nicht daran, dass die eidgenössischen Räte für dieses patriotische und zugleich wissenschaftliche Unternehmen von internationaler Bedeutung die erforderlichen Mittel bewilligen werden.“



# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (7)



<http://photobibliothek.ch/seite0071.html>

*Telefon und Morseapparat im Arbeitszimmer des Observatoriums.*

Der Säntisgipfel erweist sich aufgrund der Höhe (2503m) und der vorgelagerten Position nördlich des Alpenhauptkamms besonders geeignet für ein meteorologisches Bergobservatorium; es befindet sich auf dem Boden dreier Kantone (AI, AR, SG). Eine Herausforderung war 1882 das Erstellen der Telegrafenerleitung (mit 180 Masten von Weissbad über Wasserauen und die Meglisalp). Die Sämtissschwebbahn wurde übrigens erst 1935 eröffnet.

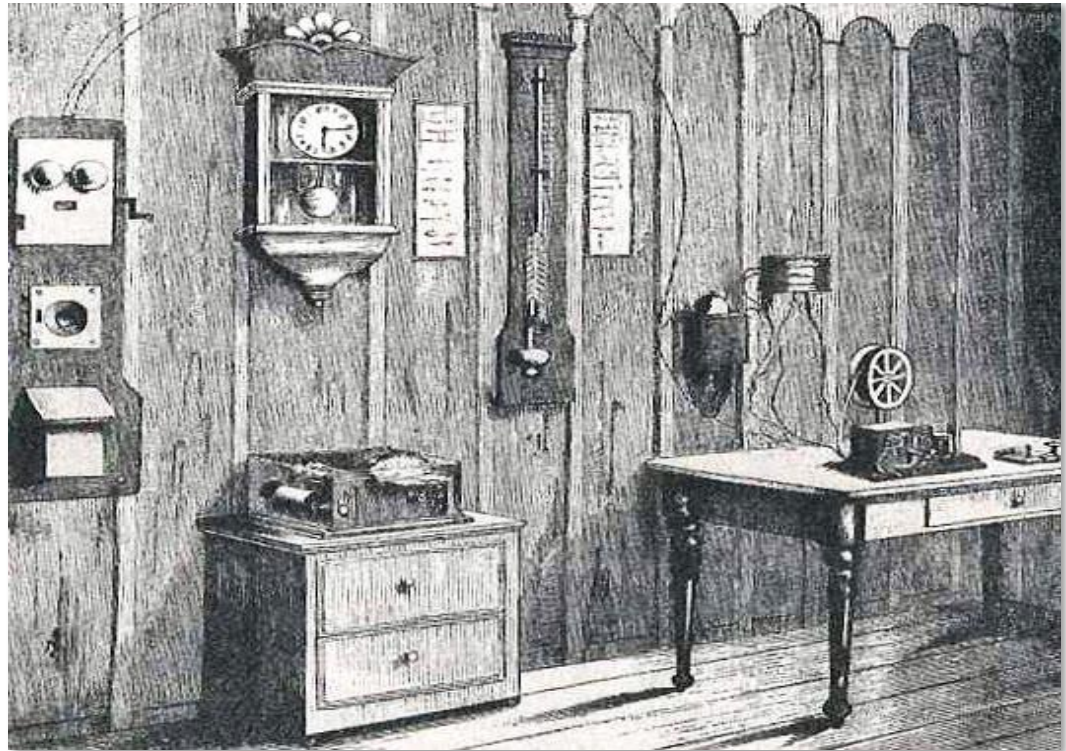
Die Arbeit für die Wetterbeobachter war im Winter oft „nur unter ganz entschiedener Lebensgefahr“ möglich, so Robert Billwiller. Am 25. Januar 1883 schrieb Wetterwart Koller in sein Tagebuch: „Übel erging es zwei Angestellten der Meteorologischen Zentralanstalt, die zwecks Messungen mit neuen Apparaten eingetroffen waren. Als sie anderntags in Begleitung zweier Sämtisknechte zu Tale wollten, wurden sie auf dem Großen Schnee von einem derartigen Schneesturm überfallen, dass sie ihr letztes Stündlein gekommen glaubten. Unter äusserster Anstrengung langte die ganze Gesellschaft wieder im Gasthause und damit in der Wetterwarte an, wo sie volle vier Tage eingeschneit verblieben.“

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (8)



„Zehn vollamtliche Säntisbeobachter, mehrheitlich mit ihren Ehegattinnen, haben von 1882 bis 1969 ihre anspruchsvolle Aufgabe immer wieder auch unter schwierigsten Wetterbedingungen wahrgenommen. Kennzeichnend waren wochenlange Einsamkeit mit zeitweise fehlendem Nahrungsmittelnachschub im Winter (bis 1935), stundenlange Enteisungsaktionen vor allem am Windmesser, ermüdendes Schneeschaufeln, Reparieren von Instrumenten.“ [Thomas Gutermann, Mitteilungen der Deutschen Meteorol. Gesellschaft 4/2000]

<http://photobibliothek.ch/seite0071.html>



[www.wettersaeulen-in-europa.de/direct.htm?/saentis/saentis.htm](http://www.wettersaeulen-in-europa.de/direct.htm?/saentis/saentis.htm)

*Der Wetterwart hatte täglich dafür zu sorgen, dass sich das Windmesser-rad frei drehen kann und nicht vereist.*

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (9)



[www.wettersaeulen-in-europa.de/direct.htm?/saentis/saentis.htm](http://www.wettersaeulen-in-europa.de/direct.htm?/saentis/saentis.htm)

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (10)



<http://photobibliothek.ch/seite0071.html>

Hermann Grosser schrieb 1974 im „Appenzeller Kalender“: „Benötigte der Beobachter Lebensmittel oder andere Materialien, so hatte sein Träger den Weg möglichst bald und oft ungeachtet der herrschenden Verhältnisse unter die Füße zu nehmen. Die Lasten hatten je nach Umständen ein Gewicht von 30 bis 100 und mehr Kilo. Manchmal wandte sich das Wetter in der Zeit vom Weggang bis zur Ankunft auf dem Gipfel zum Guten und die Tour wurde sogar zum Genuß, andere Male aber schlug es um und brachte den Säntisträger bis nahe ans Ende seiner Kräfte, so daß er sich nach seiner Ankunft beim Wetterwart zuerst richtig erholen und auch besseres Wetter abwarten mußte, bis er wieder zu Tal gehen konnte.“

Mehrere Säntisträger fanden bei ihrer äusserst beschwerlichen und gefährlichen Arbeit den Tod durch Abstürze oder Lawinen. Pro Zentner Traggewicht erhielten sie sechs Franken Lohn. Teilweise wurden Maultiere eingesetzt, oft – insbesondere im Winter – erfolgte der Warentransport aber zu Fuss. Nach der Eröffnung der Säntis-schwebbahn 1935 wurde die Tätigkeit eingestellt.

*Säntisträger brachten Brennholz und Essen zum Gipfel.*

# Wetterwarte auf dem Säntis-Gipfel (11)



[www.altersaentis.ch/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_geschichte\\_4\\_03\\_c0d52f3cba.jpg](http://www.altersaentis.ch/fileadmin/_processed_/csm_geschichte_4_03_c0d52f3cba.jpg)

„Doppelmord auf dem Säntis 1922 – Als der Kontakt zum Wetterwart-Ehepaar Heinrich und Lena Haas auf dem Säntis am Dienstag, 21. Februar 1922 unterbrochen wurde, hätte sich deswegen kaum jemand grosse Sorgen gemacht, denn die Telegraf- und Telefonleitung war immer wieder einmal durch Schneelast und Wind beschädigt worden. Eher besorgniserregend war, dass sich Frau Haas am Sonntag bei der Frau des Säntisträgers Rusch über einen ungebetenen Gast beschwert hatte.“ So beginnt die Schilderung des Kriminalfalls, der als Drehbuch für einen „Tatort“-TV-Film erhalten könnte. Weiterlesen z.B. bei <https://photobibliothek.ch/seite0071.html>



<http://photobibliothek.ch/seite0071.html>

# Osservatorio Ticinese ab 1935 in Locarno-Monti

*Das ist die Krux vieler Modelle. Der Wetterbericht redet von Regen; würden die Meteorologen zum Fenster hinaus, statt auf die Modelle starren, hätten sie es auch gemerkt, dass die Sonne scheint. -- M. Keller, NZZ-Kommentar*



*La vecchia sala delle previsioni dell'Osservatorio di Locarno-Monti.*

Heute ist das Licht der grossen Fenster eher störend...



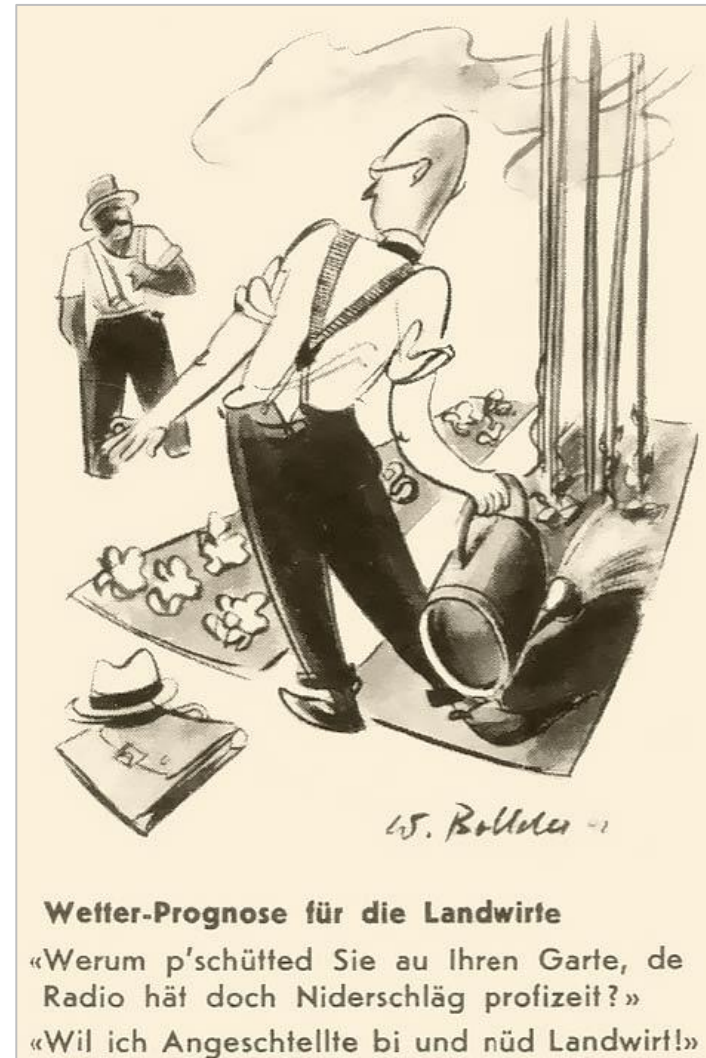
In der den Annalen der „Schweizerischen Meteorologischen Zentral-Anstalt“ von 1935 heisst es, „dass der Alpenwall eine ganz wesentliche Scheidewand bildet für Gestaltung und Ablauf der atmosphärischen Zustände und Vorgänge. Die Süd-schweiz hat in dieser Hinsicht grundsätzlich andere Verhältnisse als die anderen Landesteile, und es war notwendig und gerechtfertigt, dem durch besondere Massnahmen Rechnung zu tragen“. Dies führte zur Einrichtung des Osservatorio Ticinese als regionales Prognosezentrum.



# Radio-Wetterprognose nur für Landwirte

1939 wird der Schweizerischen Radio- und Fernsehgesellschaft (SRG) vom Bund die Konzession für Radiosendungen entzogen; Grund ist der Ausbruch des Zweiten Weltkriegs. Der Rundfunk wird nun von der staatlichen PTT durchgeführt und durch die Armee kontrolliert.

1942, rundherum tobt der Krieg und ein potentieller Kriegsgegner hört bestimmt auch Radio Beromünster mit seiner „Geistigen Landesverteidigung“, beschliesst die Armee, dass der Wetterbericht im Radio mit dem Hinweis „für die Landwirtschaft bestimmt“ durchzugeben sei. Nachdem sich die (im Deutschen Reich seinerzeit verbotene) Schweizer Satirezeitschrift „Nebelspalter“ im Juli 1942 darüber lustig gemacht hat, wird dieser Zusatz schnell wieder fallengelassen.



# Swissair-Piloten beim Wetterbriefing (1940er-Jahre)



# Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich, 16. Februar 1962

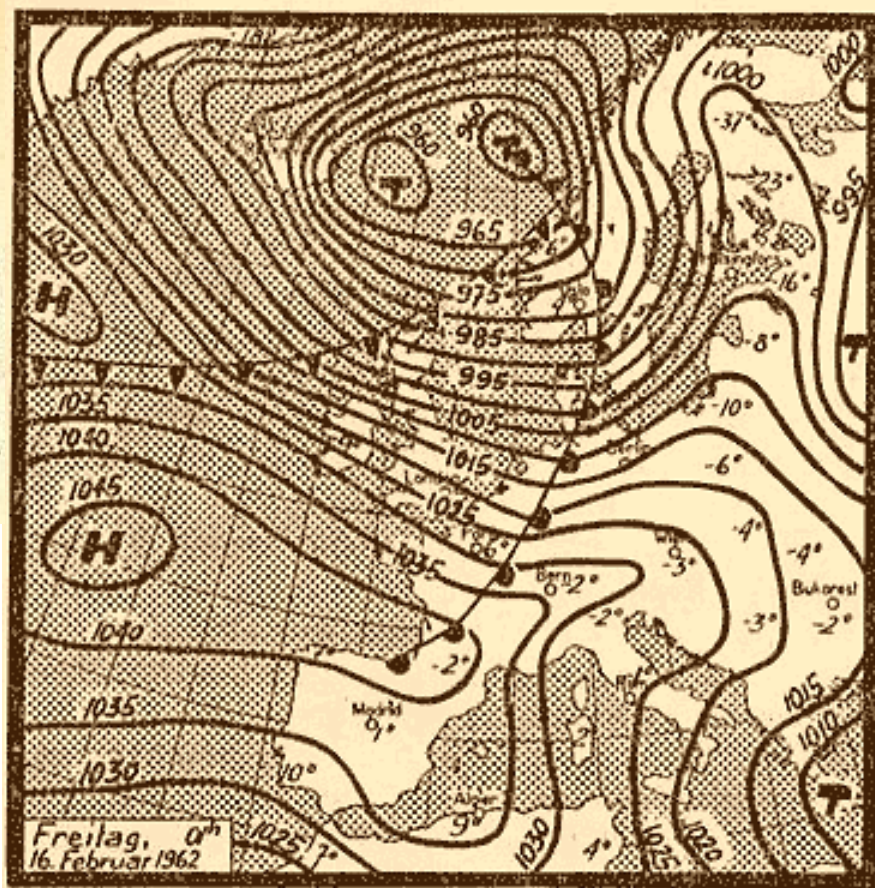
## Wetterberichte

Bericht der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt

Freitag, 16. Februar

**Allgemeine Wetterlage:** Das Tief, das gestern bei Island lag, hat sich zu einem Sturmtief entwickelt und heute morgen die norwegische Küste erreicht. Auf seiner Südflanke wird Mitteleuropa heute von milder Meeresluft überflutet. In der kommenden Nacht werden kältere Luftmassen von Nordwesten her in unser Land eindringen. Das Wetter bleibt unbeständig.

**Hamburger Sturmflut, Fr 16./Sa 17. Feb 1962:** Ein Sturmtief verursachte an den Unterläufen von Elbe und Weser höchste, vorher nicht beobachtete, Pegelstände, was zahlreiche Deichbrüche zur Folge hatte. Allein in Hamburg kam es zu 315 Toten. In den Niederlanden gab es erst wenige Jahre zuvor, 1953, eine verheerende Sturmflut: Die Niederländer feierten den 15. Geburtstag von Prinzessin Beatrix und merkten lange nichts. Um drei Uhr morgens brachen die ersten Deiche, 1835 Menschen ertranken.



# Die Hamburger Sturmflut von 1962

Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 fand in einer Zeit statt, in der die **moderne Informationstechnologie** wie auch die Methodik der Wasserstands- und Wettervorhersage **in den Kinderschuhen steckte**. Es gab keine Wettersatelliten, die für die Wasserstands- und Wettervorhersage zuständigen Stellen arbeiteten auf nationaler Ebene, eine internationale Vernetzung war nur rudimentär vorhanden. Plötzlich eintretende Wetterverschlechterungen konnten so teilweise erst erkannt werden, wenn es für eine rechtzeitige Warnung schon zu spät war. Als **Kommunikationsmittel** standen **analoge Technologien** in Form von Telefon, Fernschreiber und Funk zur Verfügung. Als Bindeglied zwischen den Behörden und der Bevölkerung dienten Ausgänge, Tageszeitungen, Luftschuttsirenen sowie Lautsprecherwagen von Polizei und Feuerwehr. Fernsehen und Rundfunk sendeten nur eingeschränkt für einige Stunden am Tag.

Am 16. Februar erreichte ein Tief bei Island die mittelnorwegische Küste im Raum Trondheim und zog anschliessend in südöstlicher Richtung. In den Abendstunden des 16. Februars 1962 bildete das weit nach Norden vorgeschobene Azorenhoch einen kräftigen Keil über den Britischen Inseln, sodass die Seegebiete der Nordsee unter den Einfluss von **immer schärfer ausgeprägten Luftdruckgradienten** gerieten.

Auf Grund des seit den Abendstunden des 15. Februars stark auffrischenden Windes waren an den Pegeln im gesamten Nordseeküstenbereich sowie in den Flüssen bereits bei der Tide am Mittag des 16. Februars deutlich erhöhte



# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (2)

Werte von etwa **2 Metern über dem vorausberechneten Tidehochwasser** festzustellen. Mit der sich weiter verschlechternden Wetterlage und der Drehung des Windes auf Nordwest wurde ein **Ablaufen der mittäglichen Haupttide weitgehend gebremst**. Mit Wiederauflaufen der Flut wurde ein rasches und sehr starkes Ansteigen der Wasserstände beobachtet. Gegen 21 Uhr kam es an den Seedeichen sowie auf den Ostfriesischen Inseln bereits zu sehr kritischen Situationen. Dem Nachthochwasser folgte am Mittag des 17. Februars eine ausserordentlich hohe Nachttide, bei der sich zwar keine Rekordwerte mehr einstellten, die jedoch insbesondere im Hamburger Raum weitere



Wassermassen durch die noch nicht geschlossenen Deichbrüche in die Überflutungsgebiete einströmen liess und die Rettungs- und Bergungsarbeiten dort massiv behinderte. Die Deiche wiesen schwere bis schwerste Schäden durch Ausschläge an den Aussenböschungen sowie Abrutschungen der Binnenböschungen auf. In Schleswig-Holstein wurden insgesamt mehrere tausend Menschen evakuiert.

In Hamburg war es infolge massiver **Störungen der Kommunikationsverbindungen** nicht möglich, genaue Hinweise über das Ausmass der Katastrophe zu bekommen und Rettungs- und Evakuierungsmassnahmen noch während der Katastrophe in koordinierter Form durchzuführen. Ebenso wenig war es den Hamburger Behörden möglich, genauere Informationen aus den elbabwärts gelegenen Regionen, insbesondere aus Cuxhaven zu erhalten, da die **Fernsprechverbindungen** nicht nur gestört, sondern auch nach einigen grossen Deichbrüchen **zerstört** waren.

Nachdem in Hamburg die Gefährlichkeit der Lage bis in die späten Abendstunden seitens der Behörden verkannt und dringende Warnungen aus den Küstenorten nicht ernst genommen worden waren, verloren die zuständigen Behörden aus Polizei und Feuerwehr nach dem **Zusammenbruch aller Telefon- und Verkehrsver-**

# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (3)

bindungen ab Mitternacht vollständig den Überblick über die tatsächliche Lage. Eine Warnung der Bevölkerung in den bedrohten Kleingartengebieten fand entweder nur unzureichend durch vereinzelte Polizeibeamte oder überhaupt nicht statt. Eine Unterbrechung der bei der Bevölkerung damals beliebten Fernsehserie Familie Hesselbach war nicht möglich, sodass die Warnung erst im Anschluss ausgestrahlt werden konnte, als die Menschen in den gefährdeten Gebieten längst im Bett waren.

Eine zentrale Koordination des Rettungseinsatzes war nicht möglich bis zum Erscheinen des damaligen Innensenators [Helmut Schmidt](#), der ab dem Morgen des 17. Februars die zentrale Einsatzleitung für das Hamburger Stadtgebiet übernahm und sich nach Feststellung des Bestehens eines katastrophalen allgemeinen Notstands selbst mit weitreichenden Vollmachten versah. Da Schmidt zuvor als Abgeordneter des Bundestages mit Verteidigungsangelegenheiten befasst war und die meisten Kommandierenden der NATO persönlich kannte, konnte er noch am Morgen des 17. Februar, obwohl verfassungsrechtlich nicht dazu befugt, NATO-Streitkräfte und hier insbesondere Pioniertruppen mit Sturmbooten sowie 100 Hubschrauber der Bundeswehr und der Royal Air Force anfordern. Er habe, so erklärte Schmidt später, seiner Heimatstadt helfen wollen, ohne vorher im Grundgesetz über seine Kompetenzen nachgeschaut zu haben. Sein energisches Krisenmanagement machte Schmidt bundesweit bekannt; es war die Grundlage einer Politikerkarriere, die in Schmidts Amtszeit als [Bundeskanzler von 1974 bis 1982](#) gipfelte.



Als Folge der Sturmflut waren alleine [in Hamburg 315 Tote, 20000 Obdachlose und 6000 zerstörte Gebäude](#) zu beklagen; ferner verendeten tausende Rinder, Schweine und Pferde. [de.wikipedia.org/wiki/Sturmflut\_1962, gekürzt]

# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (4)

Die Wochenzeitschrift „Der Spiegel“ schilderte am 28.2.1962 unter der Überschrift „Stadt unter“ das Geschehen so, wobei sich die **Interdependenzen kritischer Infrastrukturen** schon damals als sehr problematisch erwiesen:

„[...] Über die Wohngebiete im Urstromtal der Elbe kam mit der Flut das Chaos. Schon kurz nach den ersten Wassereinbrüchen **versagte die Telefonverbindung**. Kabelschächte und die mit hochempfindlichem Gerät bestückten Vermittlungsstellen sofften ab. Aus den Katastrophengebieten kam bald keine telephonische Nachricht mehr nach draußen. Als dann die Stromversorgung ausfiel, brach auch das übrige Telephonnetz abschnittsweise zusammen: Die Post schaltete auf eigene Not-Aggregate um, die nur noch eine begrenzte Zeit lang Strom für die intakten Leitungen lieferten. [...] Vier Kraftwerke wurden überflutet, ein weiteres beschädigt. Damit waren rund vier Fünftel der Gesamtkapazität ausgefallen. Die angeforderte Stromlieferung über das Verbundnetz brachte in diesen entscheidenden Stunden keine Hilfe. Durch den Sturm führte die Luft einen hohen Salzgehalt. Das Salz kristallisierte sich auf den Isolatoren der Überlandleitungen, es kam zu Funkenüberschlägen, die Spannung fiel zusammen. Die Stadt war ohne Licht und Energie. **Der Stromausfall legte die Wasser- und Gaswerke lahm**, soweit sie nicht ohnehin überflutet waren; ohne Strom konnten die Pumpen weder Wasser noch Gas durch die Leitungen drücken. [...]

Im Westen des Stadtteils Wilhelmsburg lief das Wasser sacht gurgelnd in die Wohnungen und füllte sie. Von Norden dagegen schlug die Flutwelle mit Wucht zwischen die Behausungen, sprengte Fenster, Türen und Wände und wirbelte die Gartenhäuschen wie Apfelsinenkisten davon. Eine nahe der Deichbruchstelle am Spreehafen gelegene Siedlung wurde auf diese Weise zermalmt. Überlebende hockten noch bis in die Morgenstunden auf schaukelnden Trümmern, schrien um Hilfe und gaben Blinkzeichen. Andere erblickten das Licht des neuen Tages nicht mehr; starben vor Erschöpfung oder ertranken. [...] Viele Bewohner flacher Gebäude wurden bei dem Versuch, sich noch auf die Straße zu retten, von der Flutwelle in den eige-



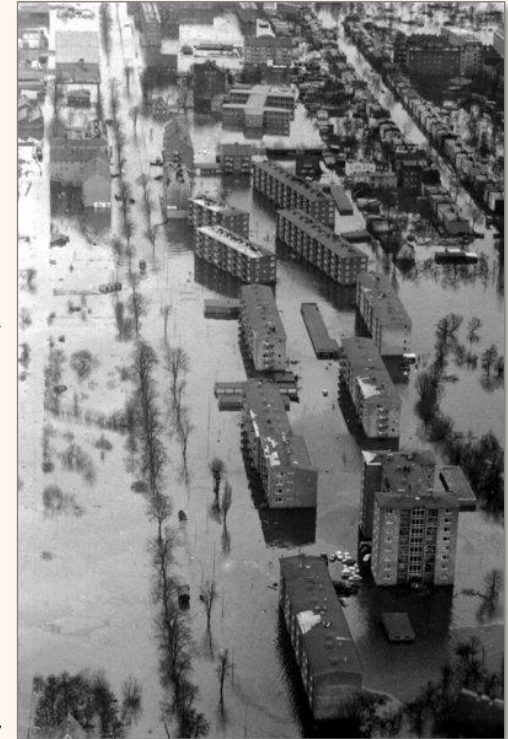
# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (5)

nen Keller gestoßen und dort ertränkt. [...] Die Menschen krallten sich an Dächern und Schornsteinen fest, andere vermochten sich auf Bäume zu retten. Für manchen war es nur eine Galgenfrist [...] Als einziges rettete ein ehemaliger Bewohner der Schreberkolonie 'Gartenfreunde' die Puppe seiner Tochter. Frau, zwei Kinder, Bruder und Schwägerin waren im Haus ertrunken. [...]"

Raymond Ley gibt in seinem Begleitbuch „Die Nacht der großen Flut“ (Ellert & Richter Verlag, Hamburg, 2006) zum gleichnamigen Fernsehfilm einige Gespräche mit [Zeitzeugen](#) wieder. Gerda Brandt (Jg. 1930), die die Flut in einer Gartensiedlung in Hamburg-Niedersegeburg auf der Elbinsel Wilhelmsburg erlebte, beschrieb die Flutnacht so:

„Ich erinnere mich, dass, bevor das Fernsehprogramm zu Ende war, da ein Band durchlief: Schwere Sturmflut an der Nordsee erwartet. Aber die Nordsee und die Küste, die ist weit. Wir sind dann in aller Ruhe ins Bett gegangen, an den Sturm und das Getöse hatten wir uns gewöhnt, das war nicht weiter schlimm.

[...] Dann sind wir in der Nacht wach geworden, weil meine Eltern kamen. Die haben an die Tür geklopft und gesagt: 'Ihr müsst aufstehen, Ihr müsst aufstehen, das Wasser kommt', und ich habe das gar nicht ernst genommen. [...] Wir mussten ja denn den Jungen wecken und ich musste das Mädchen aus dem Bettchen holen und ich hörte, wie an einer Ecke im Haus das Wasser gluckerte. Da hatte ich Angst bekommen. Das Anziehen selber war keine Schwierigkeit. Wir waren noch von den Bombenangriffen und von den vielen Alarmen geübt, unser Zeug blitzschnell anzuziehen. Das habe ich auch meinem Sohn beigebracht. Die Deern hatte ich in ihre Bettdecke gewickelt und in den Kinderwagen, und da habe ich meine Geldkassette noch reingeschmissen – da in der Geldkassette, da lag





# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (6)

das Geld schon für das neue Schlafzimmer drin – und ja, ich glaub noch ein Paket Zwieback. Das ging ja alles so schnell. Mein Schwiegervater ist zu der Tante meines Mannes gelaufen und hat versucht, sie zu wecken und hat gegen das Schlafzimmer geklopft, geballert und gerufen, sie hat aber nicht reagiert. Er kam denn rüber und sagte: 'Tante Erna, die krieg ich nicht wach, die ist wohl nicht da'. [...] Dann rauf aufs Dach und ja, da hat mein Mann mir denn erst mal raufgeholfen. Er hat denn den Kinderwagen raufgereicht oder wir haben erst den Jungen hochgeschickt, das weiß ich auch nicht, das ging blitzschnell. Wir drei waren die ersten auf dem Dach, meine Kinder und ich. Ich weiß nicht, ob ich meinen Eltern noch geholfen hab, da noch raufzukrabbeln – da bekam ich Panik. Ich weiß nur, dass mein Sohn und ich uns hingehockt haben auf dem Dach und jeder von uns hat eine Hand für den Kinderwagen gehabt, weil wir Angst hatten, dass der Sturm uns den sonst vom Dach weht. [...]

Wir haben alle auf dem Dach gesessen, um auch wenig Windwiderstand zu geben. Und dann stieg das Wasser und plötzlich fing drüben meine Tante an zu schreien. Im Nachhinein haben wir uns das so gedacht, dass sie wohl erst spät nach Hause gekommen ist, Feuer in der Küche gemacht und sich dort auf der Couch schlafen gelegt hat, weil das Schlafzimmer zu kalt war, und dadurch hat sie das Klopfen nicht gehört. Wir konnten sie sehen. Das heißt, ich habe mich nicht weggerührt vom Kinderwagen und meinem Jungen, aber mein Mann wird sie gesehen haben. Erst waren es ganz normale Hilferufe, aber nachher, als das Wasser immer höher stieg, da hast sie fürchterlich geschrien und immer verzweifelter, und ein Nachbar, der bei uns mit auf dem Dach war, der hat sich auf das Dach gekniet und hat das Vaterunser gegen den Wind geschrien, bis sie tot war, bis das Wasser ihr in den Hals gelaufen ist.“



# Die Hamburger Sturmflut von 1962 (7)

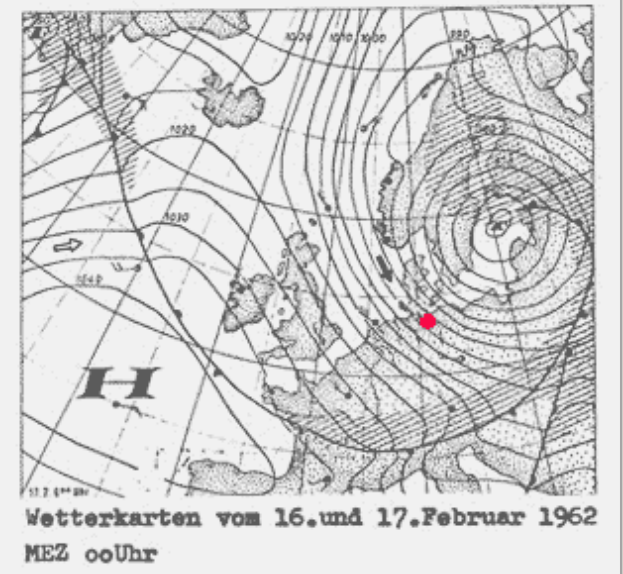
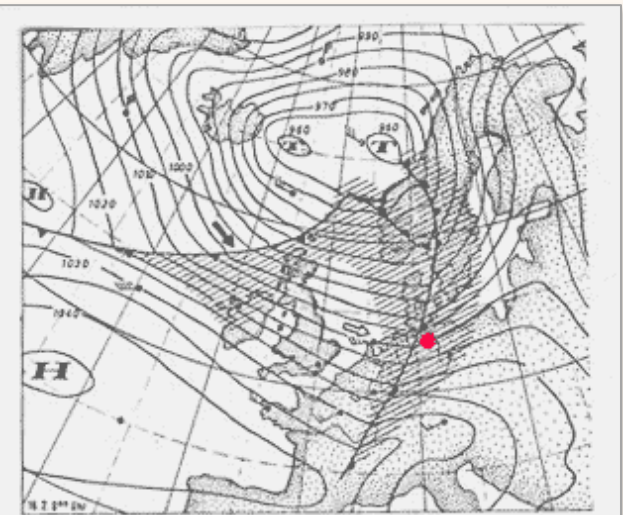
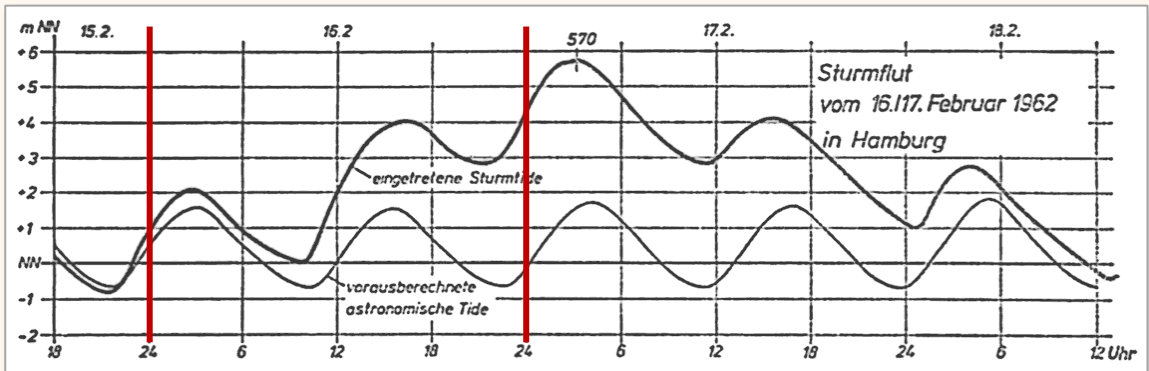
Drastisch, mit einem fast abfällige Vergleich mit 'Hinterindien' und einem 'Pfahldorf der Primitiven', resümierte „Der Spiegel“ [9/1962] die schockhafte Erfahrung der **Verletzbarkeit der technischen Infrastruktur und Zivilisation**:

„Am 16. Februar 1962 erkrank im Nachhochwasser der Nordsee der Glaube an die Sekurität, die sich als wasserlöslich erwies. Nicht weil die Deiche an 63 Stellen brachen und etliche, die nicht brachen, glatt überspült wurden, sondern weil ein Spuk über Land kroch, den man zwar noch in Hinterindien, nicht aber an der Elbe vermutet hatte: Eine **moderne Weltstadt**, 750 Quadratkilometer groß und musterhaft organisiert, **eine Festung** aus Menschen, Beton und Energie zeigte sich gegen ein 100 Kilometer entferntes Randmeer des Ozeans **so anfällig wie ein Pfahldorf der Primitiven**.“





[www.flickr.com/photos/152629780@N02/28316767518/](http://www.flickr.com/photos/152629780@N02/28316767518/)



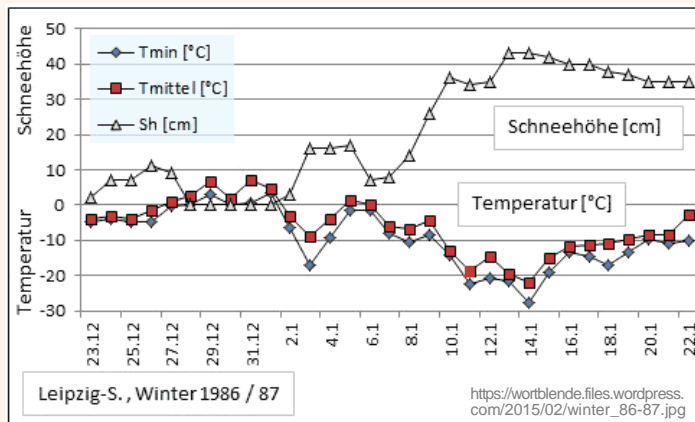
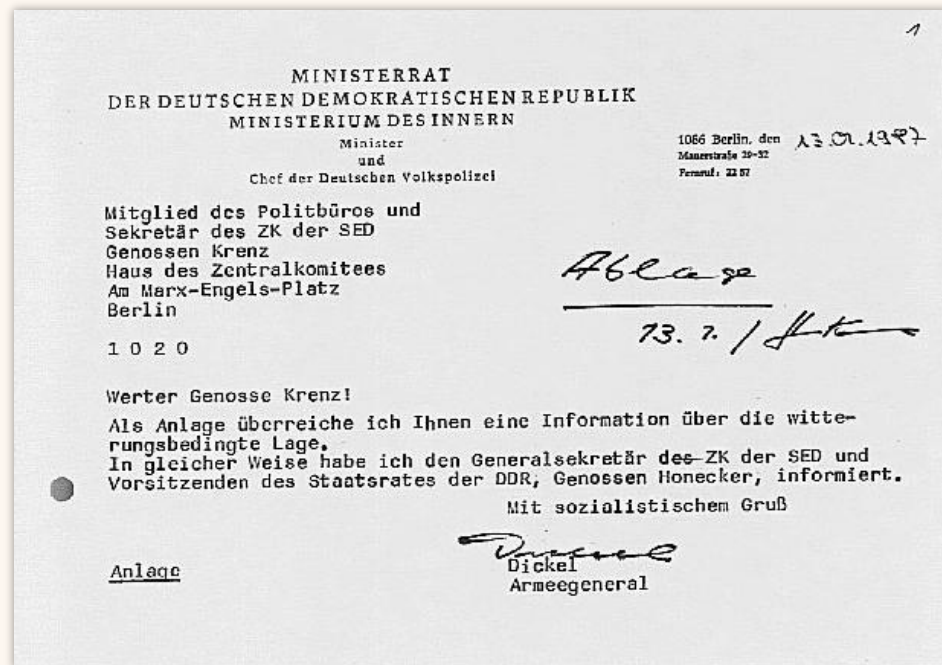
Voraussetzung für das Auftreten hoher Sturmfluten im Bereich der Elbe sind ausgedehnte Tiefdruckgebiete, die von Island über die Nordsee nach Osten ziehen. Wasser wird dann aus der Nordsee flussaufwärts in die Elbe gedrückt. 1962 wurde die Elbe bei Wind zunächst aus SW bis W, dann auf WNW drehend und bis Stärke 9 Bft zunehmend, im Verlaufe von drei Tiden langsam bis zum Sturmflutscheitel (+ 5.70m NN) gefüllt.



# Eisiges DDR-Politikwetter

Das Wetter kann manchmal eine **hochpolitische Angelegenheit** sein. Am 13. Januar 1987 informierte Friedrich Dickel (1913 – 1993), seinerzeit (und das mittlerweile seit 24 Jahren) **DDR-Innenminister** und gleichzeitig Chef der Deutschen Volkspolizei, die beiden wichtigsten Männer im DDR-Staat über eine besonders kritische Wetterlage. Die beiden wichtigsten Männer sind Genosse **Erich Honecker** und sein Stellvertreter Genosse **Egon Krenz**, der Sekretär des Zentralkomitees (ZK) der SED für Sicherheitsfragen.

Wie fast alle Information im Staate DDR ist auch diese vertraulich; die im Begleitschreiben erwähnte Information ist aber noch explizit mit „persönlich“ gekennzeichnet.



Es geht um eine Ergänzung des generellen Rapports des Operativen Diensthabenden im Innenministerium zur Wetterlage, die sowieso schon unerfreulich war: Seit einigen Tagen herrschten eisige Temperaturen: am Tag maximal -10 Grad Celsius, nachts -20 Grad, oft auch noch weniger. Kälteeinbrüche trafen die DDR auch schon in früheren Jahren, z.B. im Winter 1978/79 an ihrer verwundbarsten Stelle, der **Energieversorgung**. Denn die Energie zur Elektrizitätsgewinnung, vor allem aber für die (Fern)heizung, beruhte auf Braunkohle, die nur oberirdisch abgebaut wurde und direkt mit



## Eisiges DDR-Politikwetter (2)

Förderbändern oder Eisenbahnwaggons in die Kraftwerke gebracht wurde. Reserven hatte man so gut wie keine, man arbeitete im Winter ohnehin immer nahe an der Belastungsgrenze. Bei grosser Kälte aber gefror die feuchte Braunkohle zu tonnenschweren, unbeweglichen Blöcken und fror an den Fördergeräten und in den Waggons fest. Ausserdem kam in weiten Teilen der Schienentransport der Kohle wegen Schneeverwehungen und vereisten Weichen zum Erliegen.

Die Kälte traf natürlich nicht nur die DDR; im Jura wurde der **Schweizer Kälterekord** mit minus 41.8 Grad gebrochen, gemessen in La Brévine am **12.1.1987** (in Zürich war es damals minus 20.9 Grad kalt). Ein Radiosender scherzte, die Leute würden nun in die Tiefkühltruhen flüchten, da dort mit minus 18 Grad vergleichsweise wohlige Wärme herrsche. Aber andere Länder, zumindest im europäischen Westen, waren bzgl. der Energieversorgung breiter aufgestellt und nicht so anfällig wie die DDR.

Der zentrale Wetterdienst der DDR in Potsdam hatte schon am 9. Januar die **Wetterwarnung „Katastrophenverhütung“** herausgegeben und am 12. Januar mit „Unwetterwarnung“ verschärft, da Neuschnee mit starkem Wind von 20 – 30 m/s und damit Schneeverwehungen von 100 cm, im Norden teilweise bis zu 300 cm, drohten. Der persönliche Bericht an die beiden höchsten Staatsmänner erinnert nicht nur daran, sondern kündigt an, dass die Wetterwarnung „Katastro-



<https://image.saechsische.de/954x636/2/t/219o9a1ncbjb541io0nujhdnbnrora6g.jpg>



[https://fotothek.slub-dresden.de/fotos/df/hauptkatalog/0500000/df\\_hauptkatalog\\_0500519.jpg](https://fotothek.slub-dresden.de/fotos/df/hauptkatalog/0500000/df_hauptkatalog_0500519.jpg)



## Eisiges DDR-Politikwetter (3)

phenverhütung“ für die gesamte DDR weiterhin bestehen bliebe, da mindestens bis zum 17. Januar „mit dem **Fortbestand des kalten Winterwetters** zu rechnen sei“.

Die Meldung war eine echte **Katastrophe** – auch **in politischer Hinsicht**. Und tatsächlich registrierte Berlin in der darauffolgenden Nacht die kälteste Januarnacht des Jahrhunderts; bei Magdeburg wurden minus 28.1 Grad gemessen. Bis zum 15. Januar stiegen die Tagestemperaturen vielerorts nicht über minus 20 Grad. Tausende Haushalte hatten zeitweise keinen Strom; nach Schätzungen westlicher Experten fiel in 200000 Wohnungen der Plattenbausiedlungen die Fernheizung aus. Entgegen allen Verboten nutzten die Bewohner dort elektrische Kochplatten und Backöfen als Notheizung, sofern der Strom funktionierte; über 12 Grad stiegen die Raumtemperaturen so aber nicht. Viele Schulen und Geschäfte blieben wegen Heizungsausfall geschlossen. Zehntausende Arbeitskräfte aus Armee, Polizei, Landwirtschaft und Universitäten wurden in aller Eile zum Kohlebergbau, zur Eisenbahn und zu den Kraftwerken beordert, um mit Eisenstangen, Spitzhacken und Presslufthämmern, z.T. auch mit schwerem Armeeräumgerät, der eingefrorenen Kohle Beine zu machen. Im Laufe der Zeit explodierte wegen Überlastung dann ein Kraftwerkskessel und es gingen Kohleförderbänder kaputt, was die Lage weiter verschärfte. Eiliger Steinkohlezukauf aus Westdeutschland milderte die Situation nur marginal.



[www.lr-online.de/lausitz/cottbus/winterkampf-in-der-lausitz-1978\\_79-38453054.html](http://www.lr-online.de/lausitz/cottbus/winterkampf-in-der-lausitz-1978_79-38453054.html)



<https://image.saechsische.de/1200x800/q/m/qm3vuiX3id5eogUe9vNkj56yhfstvlGq.jpg>



# Eisiges DDR-Politikwetter (4)

Die Zeitung „**Neues Deutschland**“, das „Zentralorgan der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands (SED)“, berichtete am 14. und 15. Januar sachlich mit Artikeln „Störungen in der Fernwärmeversorgung“, „Armee hilft bei der Straßenräumung“, „Explosion des Blocks 13 im Kraftwerk Boxberg“, und „Umfassender Einsatz der Volkspolizeibereitschaften“; ab dem 16. Januar wurde die Sprache martialischer; es ist die Rede vom „**harten und unermüdlichen Kampf**“ der Kumpels in den Braunkohlegruben, vom „**aufopferungsvollen Einsatz** im VEB Kraftwerk Völkerfreundschaft Hagenwerder“, von den „**heldenhaften Leistungen** der Werktätigen“. Und Obermedizinalrat Dr. Ilse Beck, Leiterin des Bezirkskabinetts für Gesundheitserziehung, rät: „Zum Durchwärmen sind heißer Tee und heiße Zitrone zu empfehlen“.

Der alte DDR-Witz von den vier grössten Feinden des Sozialismus – Frühling, Sommer, Herbst und Winter – brachte wohl niemanden mehr zum Lachen, und die **Stimmung der Bevölkerung** sank in gefährliche Tiefen. Vermutlich trug der 1987er-Kälteschock dazu bei, das **Ende des DDR-Systems** zu beschleunigen – Viele verloren, auch nach den Erfahrungen einer ähnlichen Not-situation acht Jahre zuvor, den Glauben daran, dass die Regierung bzw. Partei solche Situationen im Griff hat. Rückblickend, im Jahr 2019, schrieb die Berliner Zeitung: „Die DDR ging in jener Zeit ihrem Ende in besonders grossen Schritten entgegen. 1988 war sie praktisch zahlungsunfähig. 1989 brach sie zusammen.“

Schwierigkeiten bei der Kohlebeschickung des Heizkraftwerkes Leipzig-Kulkwitz führten am Donnerstagmorgen zu Störungen in der Wärmeversorgung des Wohngebietes Leipzig-Grünau, an deren Behebung in den späten Abendstunden noch gearbeitet wurde. Betroffen sind rund 35 000 Wohnungen und dazugehörige gesellschaftliche Einrichtungen.



[www.nva-futt.de/futb51/steinheid/technik/fotos/p-15-78.jpg](http://www.nva-futt.de/futb51/steinheid/technik/fotos/p-15-78.jpg)

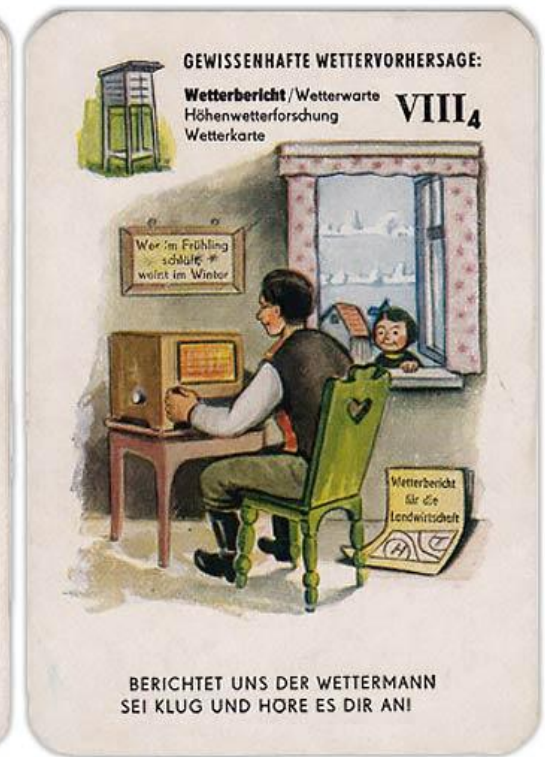


<https://m.facebook.com/lausitzerrundschau/photos/a.10158108084079829/10158108084119829/>

# Wettersorgen?



<https://virtuelles-ddmusem.de/seiten/quartett101n.htm>



Anfang der 1950er-Jahre macht der neu gegründete Deutsche Wetterdienst (DWD) mit Anzeigen auf sich und seine Dienstleistungen aufmerksam. In der DDR erscheint 1952 ein Quartettspiel „Wie wird das Wetter“, das spielerisch und „volkstümlich“ über das Wetter belehrt.

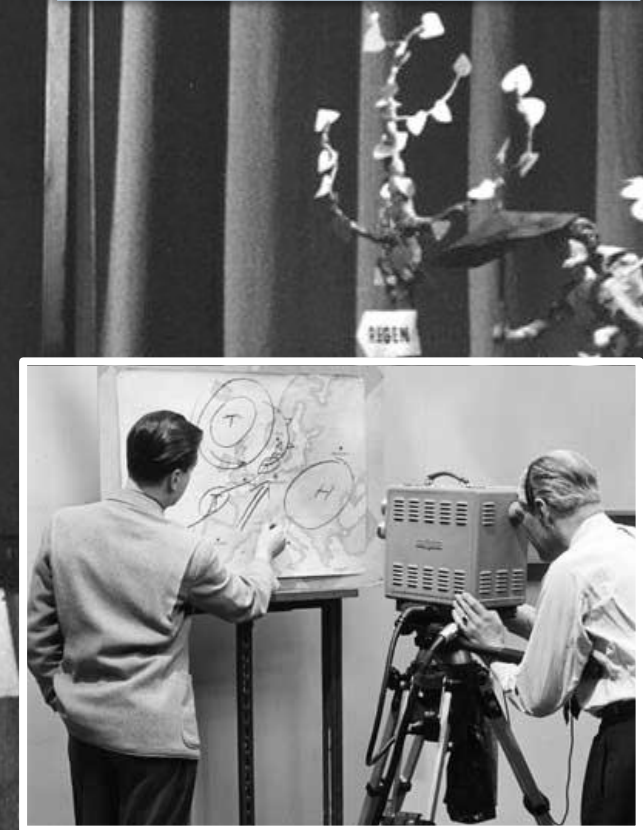


# Wettervorhersage im Fernsehen



# Wettervorhersage im <sup>deutschen</sup> Fernsehen (1951)

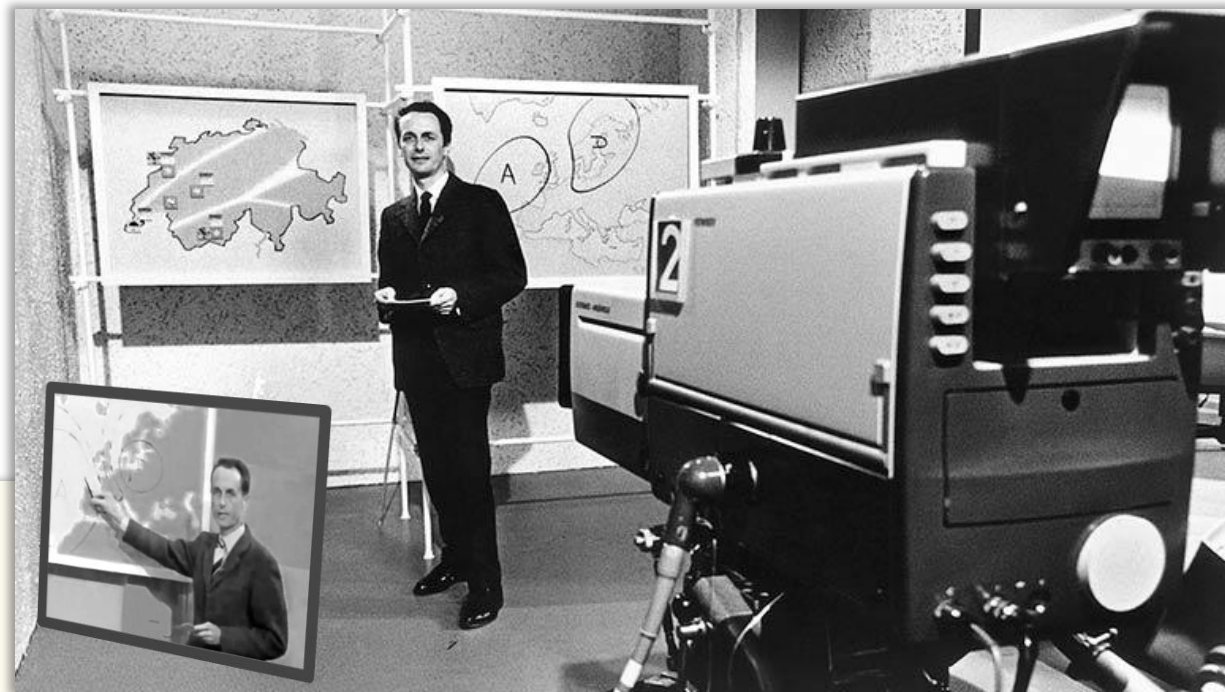
Keine „Wettermoderatoren“, sondern erfahrene und Seriosität ausstrahlende **Meteorologen** in Anzug und Krawatte erklärten live mittels Kohlestift (oder war es manchmal auch Lippenstift?) und schwungvoller Gesten dem allabendlichen Fernsehpublikum das Wetter.



# Wettervorhersage im Schweizer Fernsehen

„Ob sich ein Knopf am Jackett des nicht immer ganz schlanken Meteorologen löste, war immer ein Moment der Spannung“ -- Yngve Nilsen, Magnus Vollset

1931 wurde die **SRG** („Schweizerische Rundpruchgesellschaft“) als Dachorganisation aller regionalen Radiogesellschaften gegründet. Die **ETH Zürich** zeigte bereits **1939** auf der Landesausstellung („Landi“) erste **Fernsehversuche**. Ausgestrahlt wurden provisorische Fernsehsendungen ab 1951.



H. Gwalter, Ing.  
Präsident der Radiogenossenschaft in Zürich

An den Zentralvorstand der Schweizerischen Rundpruchgesellschaft

Dipl. Ing. Hermann Gwalter (Studium ETH 1905 bis 1910) war der erste Präsident der Radiogenossenschaft Zürich mit Sender auf dem Hönningerberg (ab 1924) und erster SRG-Präsident (ab 1931).

Zürich, 20. April 1949

## Betr. Fernsehen

Sehr geehrter Herr Präsident,  
Sehr geehrte Herren,

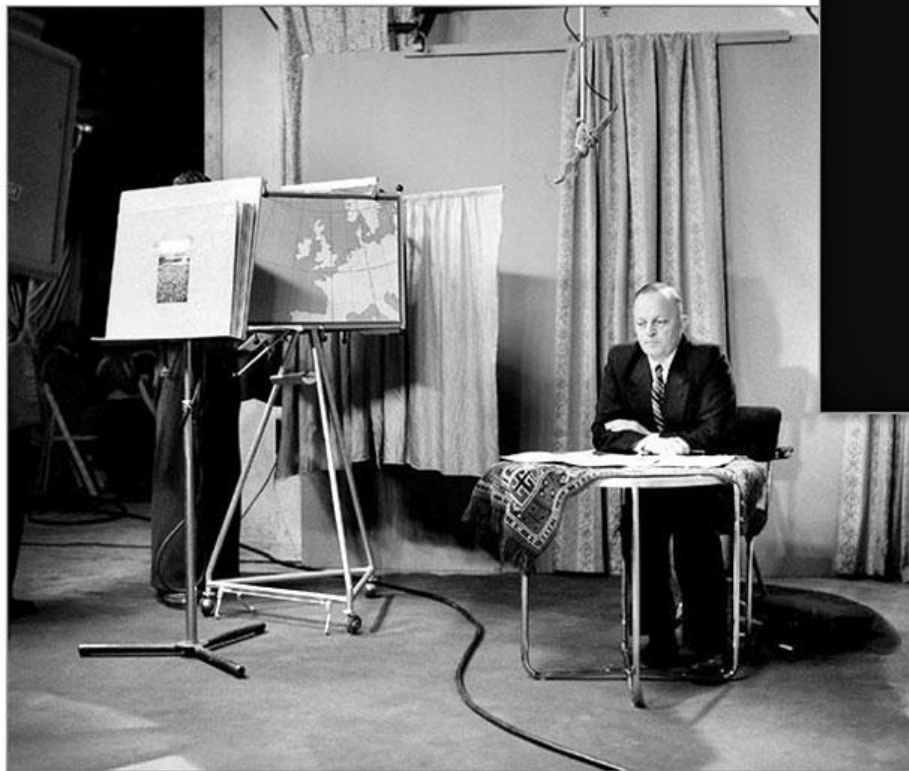
Bekanntlich wird die Durchführung des Fernsehens so grosse Kosten bringen, dass wir es in der Schweiz nicht selbständig und unabhängig vom Ausland aufbauen und durchführen können. Es hat sich denn von der Technischen Hochschule aus das Schweiz. Fernsehkomitee gebildet, das sich in erster Linie mit der Normierung der technischen Grundlagen des Fernsehens (Zeilenzahl, Bandbreite, Bildwechsel, Modulationsart, Periodenzahl) in der Schweiz und mit dem Ausland beschäftigt. Das Programm lässt sich, der hohen Kosten wegen, auch nicht unabhängig vom Ausland durchführen. Durch die technische

Der **reguläre Fernsehdienst** begann in der Schweiz im Jahr **1958**. Einen Wetterbericht gab zunächst mit Kommentar aus dem Off am Schluss von Tagesschau und Téléjournal. Die erste **moderierte Wettersendung** folgte erst **1971**: Der Meteorologe Jean-Daniel Altherr (oben) präsentierte jeweils freitagabends auf TSR die Wetteraussichten mit einem Zeigestift an zwei einfachen Karten, auf denen einige Linien und Pfeile eingezeichnet waren.

# Wettervorhersage im <sup>niederländischen</sup> Fernsehen

„Nederlanders en het weer; een moeilijke relatie. Het is te warm, te koud, te nat of te droog. Om die relatie ietwat te verbeteren werd het weerbericht bedacht.“ -- [www.bnnvara.nl](http://www.bnnvara.nl)

Auch beim **niederländischen Fernsehen** waren anfangs die Fernsehbilder schwarzweiss, die Sendungen live, die Kameras gross und die Ausstattung des beengten Studios einfach – aus heutiger Sicht sogar fast primitiv. Der erste Wetterbericht wurde am 7. Oktober **1951** gesendet.



Katholieke Radio Omroep (KRO), FOTO\_55113-1-10, FOTO\_5564-4

← Neben dem Nachrichtensprecher baut Meteorologe Joop den Tonkelaar (1926 - 2001) schon seine Staffelei für die Wetterkarten auf. Das Oberteil des Metallgestells kann während der Präsentation um je 120 Grad gedreht werden, sodass drei unterschiedliche Karten gezeigt werden können.

[https://wiki.beeldengeluid.nl/images/0/0a/FTA001052021\\_009\\_con.png](https://wiki.beeldengeluid.nl/images/0/0a/FTA001052021_009_con.png)

# Wettervorhersage im Fernsehen (1968)

Meteorologin Dr. [Karla Wege](#) wird 1968 die erste Frau im Team mit acht männlichen Kollegen beim „Zweiten Deutschen Fernsehen“ (ZDF).



# Wettervorhersage ~~im Fernsehen~~ (1968) *in der Flimmerkiste*



Ein typisches Fernsehbild mit Dr. Karla Wege sah seinerzeit allerdings oft eher so aus.

Flimmern, Rauschen („Schnee“), Echos („Geisterbilder“) oder über das Bild wandernde Streifen waren bei analogen Röhengeräten mit Empfang über Antenne nicht ungewöhnlich. Auch Kontrast, Bildschärfe und Auflösung waren noch bescheiden.

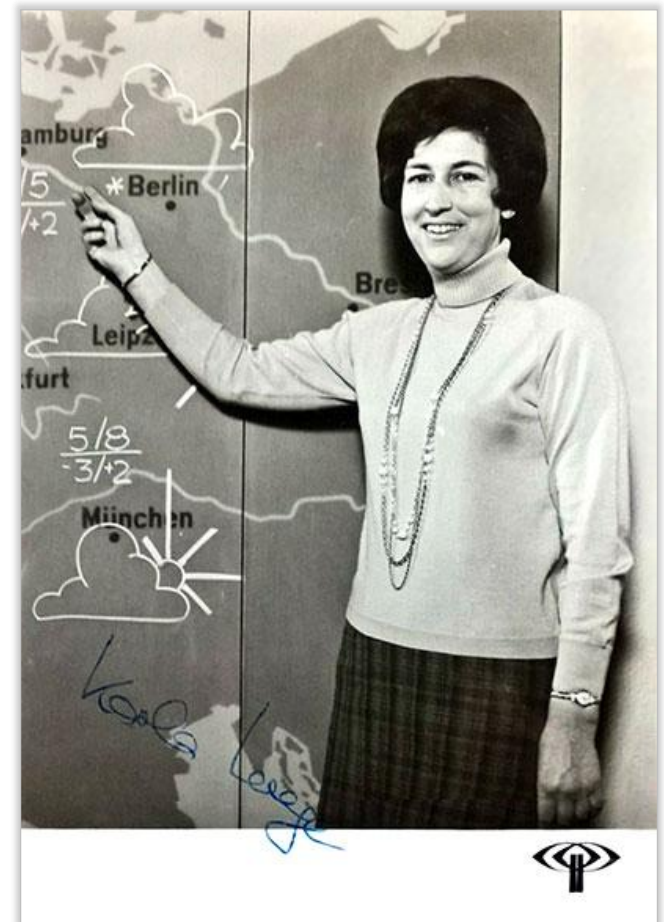
**Karla Wege** verstarb im Februar 2021 90-jährig an den Folgen von COVID-19. **Inge Niedek**, die ebenfalls Meteorologie an der Freien Universität Berlin studiert hatte und auch, allerdings eine „Generation“ später, von 1988 bis 2015, Wetterberichte für das ZDF verfasste und präsentierte, veröffentlichte in den „Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft“ einen einfühlsamen **Nachruf**. Nachfolgend einige ausgewählte Passagen daraus:

„Sie hat, wie viele sagen würden, ein schönes Alter erreicht. Das mag sein, trotzdem ist es ein Todesfall zu viel durch Covid-19. Sie war, trotz Ihres Alters, noch geistig fit vor der Erkrankung und hat interessiert am Leben teilgenommen.

Dr. Karla Wege, vielen aus dem Fernsehen bekannt, war eine besondere Persönlichkeit, und ihre berufliche Laufbahn war für die damalige Zeit sehr ungewöhnlich. Die promovierte Meteorologin war von 1968 bis 1997 als Fernsehmeteorologin beim Zweiten Deutschen Fernsehen tätig und präsentierte dort in den Hauptnachrichtensendungen den Wetterbericht. Sie war die erste ‚Fachfrau‘ im Deutschen Fernsehen.

[...] Heutzutage spielt der fachliche Hintergrund häufig keine Rolle mehr bei Fernsehsendern, weil nur noch Äußerlichkeiten und kein Fachwissen gefragt sind. Dabei hat sich der, ich nenne es mal ‚Bewegungsspielraum‘, für Meteorologinnen und Meteorologen stark verändert: von einer rein fachlichen Wetterpräsentation zu einer umgangssprachlichen Wetter- und bei ausreichend verfügbarer Zeit auch Klimapräsentation. Die Herausforderung dabei ist es, fachlichen Inhalt und komplexe Zusammenhänge interessant für die breite Öffentlichkeit zu präsentieren. Es stellt einen wichtigen Kommunikationsweg von der Wissenschaft zur Öffentlichkeit dar. Von den unzähligen Versuchen, möglichst unterhaltsam und spaßig, ohne fachlichen Hintergrund, Wetter zu präsentieren, soll hier nicht die Rede sein.

Als Initiatorin für die Namensgebung von Hochs und Tiefs im Jahr 1954, damals noch als Studentin an der Freien Universität Berlin, wird sie in die Geschichte eingehen. [...]"



Die Autogrammkarte von Karla Wege (vorherige Seite) zeigt, halb verdeckt, die Städte [Leipzig](#) (DDR) und [Breslau](#) auf der [ZDF-Deutschland-Wetterkarte](#). Bis in die 1970er-Jahre vertrat man die Auffassung, dass ohne Abschluss eines Friedensvertrages zum Zweiten Weltkrieg für das deutsche Staatsgebiet die Grenzen von 1937 gelten würden, somit also Breslau (Schlesien) weiterhin Teil Deutschlands und nicht Polens sei. Dies führte zu ständigen Protesten Polens und der DDR. Als Beitrag zur [Ost-West-Entspannung](#), aber mit der vorgeschobenen Begründung, nur Orte zu zeigen, in denen das ZDF-Programm auch empfangen werden könne, verschwanden Leipzig und Breslau im Zuge der Einführung des Farbfernsehens schliesslich von den neuen farbig gestalteten ZDF-Wetterkarten.

In ihrem Nachruf erinnert Inge Niedek daran, dass die [Benennung von Hochs und Tiefs](#) auf eine Anregung von Karla Wege zurückgeht. Dadurch sollten sich diese auf Wetterkarten einfacher verfolgen lassen. 44 Jahre später wurde dies allerdings nicht mehr als „politisch korrekt“ empfunden; der Journalist und Literaturkritiker [Willi Winkler](#) erläutert dies in seinem [Nachruf auf Karla Wege](#) (Süddeutschen Zeitung vom 2.3.2021, gekürzte Auszüge):

„Karla Wege gehörte zum kulturevolutionären Jahr 1968: Gänzlich unvermutet tauchte die promovierte Meteorologin neben acht männlichen Kollegen bei der Wettervorhersage des ZDF auf. Annähernd dreißig Jahre lang versprach sie ein Azorenhoch nach dem anderen, drohte mit Sturmfluten und Niedrigwasser, meldete Glutsommer und Hitzefrei, warnte vor Glatteis und überfrierender Nässe.

Allerdings war sie auch für den heteronormen Fauxpas der zweiten Jahrhunderthälfte verantwortlich: 1954, noch als Studentin, hatte sie vorgeschlagen, den Wetterlagen nach amerikanischem Vorbild Namen zu geben, und zwar einem Hoch einen männlichen und einem Tief einen weiblichen. Das ging jahrzehntelang gut, Orkane, Frühjahrsmoden und Bundeskanzler kamen und gingen, das Wetter machte mal gute, mal schlechte Miene dazu, dann schwoll ein ganz anderer Sturm an und die Klage über die ‚unsachliche Zweckentfremdung menschlicher Vornamen‘ war nicht mehr zu überhören.

Seit 1998 wird bei den Geschlechtszuschreibungen jährlich gewechselt; die Tief- respektive Hochdruckgebiete hat natürlich wieder keiner gefragt. Karla Wege kann dafür nichts. Sie fand den Wechsel kurzfristig und argumentierte als Medienprofi aufmerksamkeitsökonomisch: Da es viel mehr Tiefs als Hochs gebe, wäre Frauen unvermeidlich mehr Platz im Wetterbericht eingeräumt worden.“



Am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, wo generell mehr Frauen als Männer beschäftigt waren, stiess die **Beschwerden zur Namensgebung von Tiefs und Hochs** seinerzeit auf Unverständnis, denn „Hoch = schönes Wetter“ und „Tief = schlechtes Wetter“ sei eine naive, allzu einfache Gleichung. 2018, zwanzig Jahre nach dem Protest, greift dies **Petra Gebauer**, Meteorologin und Vorsitzende des Vereins „Berliner Wetterkarte“, für die das schönste Wetter übrigens ein Gewitter ist, in einem Artikel **„Ein Hoch auf die Hochs? – Oder doch lieber ein Tief nach dem anderen?“** nochmal auf:

„[...] Wegen dieser Sichtweise wurde die seit 1954 am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin eingeführte Namensgebung der für Mitteleuropa relevanten Druckgebilde mit Frauennamen für Zyklonen und Männernamen für Antizyklonen nach Protesten aus den Medien, durch Frauenrechtlerinnen und Bundestagesabgeordnete ab 1998 geändert, da viele Frauen es für diskriminierend hielten, mit ‚schlechtem‘ Wetter in Verbindung gebracht zu werden. [...] Hochdruckgebiete sind kein Garant für sonnenscheinreiches, angenehm temperiertes Wetter. Entscheidend für die sich einstellende Witterung sind die Lage ihrer Zentren, die Jahreszeit, in der sie auftreten, und die Andauer einer Hochdrucklage. Die Attribute ‚schön‘ oder ‚schlecht‘ lassen sich also nicht so einfach für die Beschreibung des Wetters in Antizyklonen oder Zyklonen verwenden, zumal diese auch noch individuell unterschiedlich interpretiert werden. [...]“

Den Titel ihres Artikels in den „Beiträgen zur Berliner Wetterkarte“ wählte Petra Gebauer wohl in Anspielung auf den am 1. September 1998 an gleicher Stelle erschienen Artikel **„Ein Hoch auf das Tief“**, den Prof. **Horst Malberg**, seinerzeit geschäftsführende Direktor des Meteorologischen Instituts, noch spürbar genervt von dem gerade auf sein Institut niederprasselnden „Shitstorm avant la lettre“, in etwas polemischeren Tönen verfasst hatte. Einige gekürzte Auszüge daraus:

„Der Sturm, der über das Meteorologische Institut der FU und mich als seinen Leiter unvorhergesehen hereingebrochen ist und tagelang anhielt, flaut nun ebenso plötzlich wieder ab, wie er gekommen ist. Drei Tage lang sorgten die Medien dafür, dass das Telefon nicht still stand, dass die Arbeiten für Forschung und Lehre völlig zum Erliegen kamen.

Was war es, was mich zu täglich 20 bis 30 Rundfunk-, TV- und Zeitungsinterviews zwang? Hatte das Ozonloch sich dramatisch vergrößert? War der Nachweis über die Auswirkungen menschlichen Tuns auf den Treibhauseffekt der Erde gerade gelungen? Oder war die Güte der Wettervorhersage in diesem Spätsommer gegen null gegangen? Was war es, was für Hörer, Seher und Leser zum Thema Wetter so bedeutend sein konnte?

Des Rätsels Lösung ließ nicht lange auf sich warten. Die Hochs und Tiefs beschäftigten die Nation. Genauer gesagt, es sind die Namen der Druckgebilde, die von einer bundesweiten Fraueninitiative als diskriminierend empfunden werden. 500 Unterschriften gegen den ‚Missbrauch‘ weiblicher Vornamen bei Tiefdruckgebieten waren gesammelt worden.

Die Fraueninitiative sieht in unserer traditionellen Praxis, Hochs männlich und Tiefs weiblich zu benennen, eine Diskriminierung der Frauen. Zur Begründung heißt es: ‚Bis dato werden alle Schlechtwetterperioden/-gebiete mit Frauennamen angekündigt. Frauen werden durch diese Namensgebung zu ‚Täterinnen‘ degradiert für: miese Laune, Unwohlsein durch Wetterfühligkeit, Schäden und Zerstörung durch Wirbelstürme usw.! Den ‚Herren der Schöpfung‘ wird dagegen die Schönwetterlage mit Sonne und sonstigem dazugehörigen Positiven reserviert!‘

Hier steh` ich nun, ich kann nicht anders, als mich mit den meteorologischen Argumenten meteorologisch auseinanderzusetzen. So einfach, wie behauptet, sind nämlich die Charaktereigenschaften unserer Hochs und Tiefs wahrlich nicht.“

Prof. Malberg erläutert sodann die diversen Merkmale der Frontensysteme; er betont dabei die negativen Eigenschaften der Hochdruckgebiete und die positiven der Tiefdruckgebiete, und fährt dann fort:

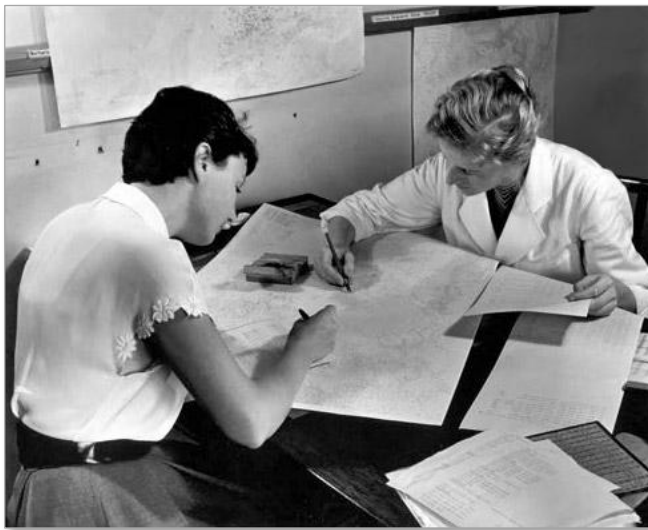
„Wie kommen nun Tiefs zu ihrem ‚schlechten Ruf‘ und wieso werden die vielen unangenehmen Eigenschaften von Hochs einfach übersehen? Vielleicht ist die Antwort ganz einfach, und es liegt an den einfältigen Bezeichnungen auf den handelsüblichen Barometern, auf denen bei hohem Luftdruck ‚Schön‘ steht und bei tiefem Luftdruck ‚Regen‘.

Unsere Vorfahren hatten ein wesentlich anderes Verhältnis zum Wetter hatten als wir heute. Ein ‚freundliches‘ Jahr hatte für unsere Ahnen nichts mit dolce vita zu tun, sondern allein mit einer guten Ernte. Eine gute Ernte wurde dann erreicht, wenn die Witterung in der Vegetationsperiode optimal war. Allein zur Erntezeit wünschte sich der Bauer trockenes Wetter. Für ihn war gut, was für die Natur gut war. Dort, wo Regen Mangelware ist, wird er geschätzt. Fehlt er, wurden bei den alten Kulturvölkern mit kultischen Tänzen die Regengötter angefleht, dem lebensbedrohenden sonnigen Wetter ein Ende zu machen; bei der katastrophalen Dürre 1990 im Mittelmeerraum waren die Kirchen erfüllt von Bittgebeten. Regen bedeutet Leben, Regen bedeutet Fruchtbarkeit. Wo sollten wir zudem unser Trinkwasser herbekommen, wenn nicht von den im Grundwasser gespeicherten Regenüberschüssen?

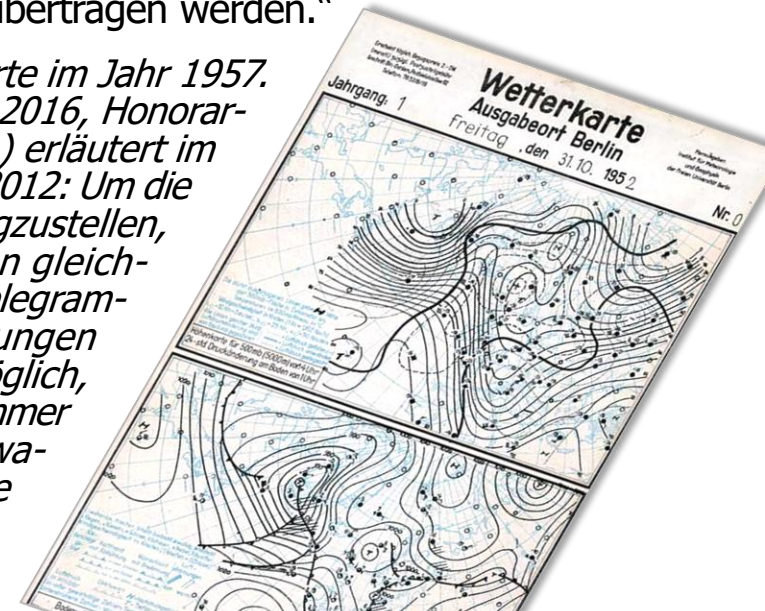
Nun haben die Initiatorinnen den Senat von Berlin aufgefordert, mich zu zwingen, die ihrer Meinung nach diskriminierende „Zweckentfremdung menschlicher Vornamen“ aufzugeben. Sollte ich dann auch meine lebenswerte Hündin Anja umbenennen?“

Das erwähnte Fachblatt „**Beiträge zur Berliner Wetterkarte**“ mit den zitierten Artikeln von Gebauer und Malberg ist eine Besonderheit. Es handelt sich um die einzige täglich erscheinende öffentliche Wetterzeitung. Sie enthält die Wetterkarte für Berlin, dient aber auch als Plattform für „Beiträge“ und „Beilagen“, in denen verschiedene Experten, meist vom herausgebenden Meteorologische Institut der FU Berlin oder vom Deutschen Wetterdienst, interessante Aspekte zu Wetter und Klima darstellen. Initiiert wurde dies vom Meteorologen **Richard Scherhag** (1907 – 1970), nachdem er 1952 zum Gründungsdirektor des Instituts ernannt wurde – und zwar bewusst als schnelles Publikationsmedium für die Beschreibung aktueller Wetterereignisse: Da West-Berlin eine politische Insel in der DDR war, trafen Wettermeldungen aus dem Umland nur verspätet via Prag und Offenbach (der Zentrale des Deutschen Wetterdienstes) ein. Im Bild unten die **Nullnummer vom 31. Oktober 1952**.

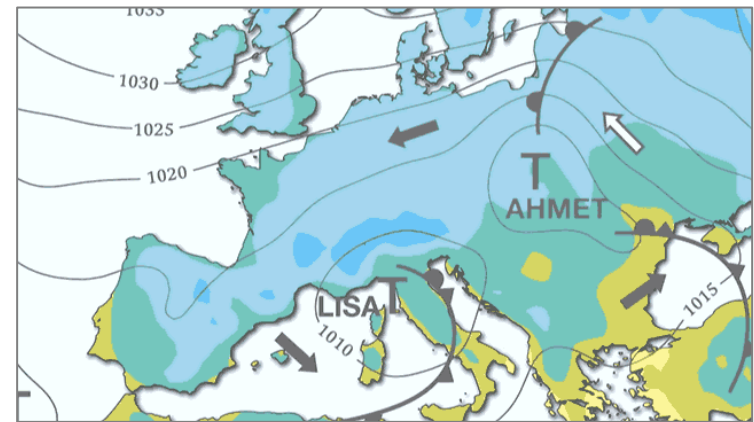
Um Wetter- und Vorhersagekarte einfach verschicken zu können, erschien sie im ungewöhnlichen A4-Format. Der Zeitzeuge und Meteorologe Günter Warnecke (Jg. 1929) berichtet 2012 in der Wetterzeitung: „Die Stationsmeldungen kamen, in Zahlen verschlüsselt, größtenteils zwar per ratterndem Fernschreiber, doch waren [...] auch zusätzliche Daten per Morsefunk einzuholen (Randgebiete wie USA/Kanada, Russland, Schiffsmeldungen). Alles, vom Eintragen der Beobachtungen in die Arbeitswetterkarte (mit dem schwarz-roten Doppelfederhalter) bis zur Fronten- und Isobaren-Analyse, war totale Handarbeit, unter enormem Zeitdruck! Zum Drucken wurde ein Offset-Verfahren [...] gewählt, alle Information musste zu diesem Zweck auf eine Metallfolie übertragen werden.“



*Zeichnen der Wetterkarte im Jahr 1957. Werner Wehry (1939 – 2016, Honorarprofessor der TU Berlin) erläutert im genannten Beitrag von 2012: Um die Karten rechtzeitig fertigzustellen, mussten zwei Personen gleichzeitig aus den Wettertelegrammen die Stationsmeldungen eintragen. Dies war möglich, weil die Eintragungen immer zum Pol ausgerichtet waren, d.h. eine konnte die Atlantik-, die andere die Pazifikseite eintragen.*



Die Welt dreht sich weiter und wird diverser, und was irgendwann zu erwarten war, geschah schliesslich Anfang 2021. Der Verein „Neue deutsche Medienmacher\*innen“ stellte im Rahmen einer Kampagne „#Wetterberichtigung“ fest: „Wir leben in einem Einwanderungsland. Trotzdem tragen die Wetterhochs und -tiefs fast immer nur Namen wie Gisela und Helmut. Zeit, dass sich das ändert.“ Vermisst wurden Namen wie **Ahmet**, **Chana** und **Romani**. Der Verein sorgt mit käuflichen „Wetterpatenschaften“ dafür, dass nun auch „migrantische Namen“ (Deutschlandfunk) vergeben werden.



Das Tief „Ahmet“ machte zu Beginn des Jahres 2021 den Anfang. In der Bildzeitung hiess es dazu am 5. Januar: „In den frühen Morgenstunden geht es los: Aus Polen zieht das Tief Ahmet heran und bringt uns Schnee!“. In der fetten Schlagzeile der Boulevardzeitung blieb das Tief aber vorsichtshalber noch anonym; man titelte dort „**Polen-Tief bringt uns am Mittwoch einen Mini-Winter!**“. Der „Spiegel“ war bei der Überschrift mutiger: „**Tief ‚Ahmet‘ bringt Schnee – und mehr Diversität.**“ Die NZZ titelt „**Auf Tief Ahmet folgt Hoch Bozena – das Wetter wird politisch**“ und stellt dann fest: „Unpolitisch ist gar nichts mehr. Jetzt hat die politische Korrektheit auch die Namensgebung für Hoch- und Tiefdruckgebiete erreicht.“

Dass es auf der zugehörigen Wetterkarte nicht nur ein männliches Tief „Ahmet“, sondern auch ein weibliches Tief „Lisa“ gibt, ist zwar nicht genderregelkonform, aber faktisch korrekt: Lisa, ein klassisches zähes Genuatief, das als Wegbereiter für die stärksten Schneefälle seit Jahren in Spanien fungierte, stammte noch aus dem vorherigen Jahr und löste sich, unter Abdrängung nach Osten, mitsamt seinem nicht mehr zeitgemässen Namen erst im Verlaufe des 6. Januars auf.

Die **Tiefdruckgebiete im Januar 2021** lauten: Ahmet (gespr. Achmet), Bartosz (gespr. Bartosch), Cemal (gespr. Tschemal), Dimitrios, Erhan, Flaviu (gespr. Flawiu), Goran, Hakim, Irek, Jussuf, Kasper, Lars, Malte, Nicolai, Olaf, Peter, Quirin, Reinhard.

Und die (weniger zahlreichen) **Hochdruckgebiete im Januar 2021**: Antje, Bozena (gespr. Boschena), Chana (gespr. Chana), Dragica (gespr. Dragiza), Elke, Ferdinanda.

# Wettervorhersage im Fernsehen (USA)

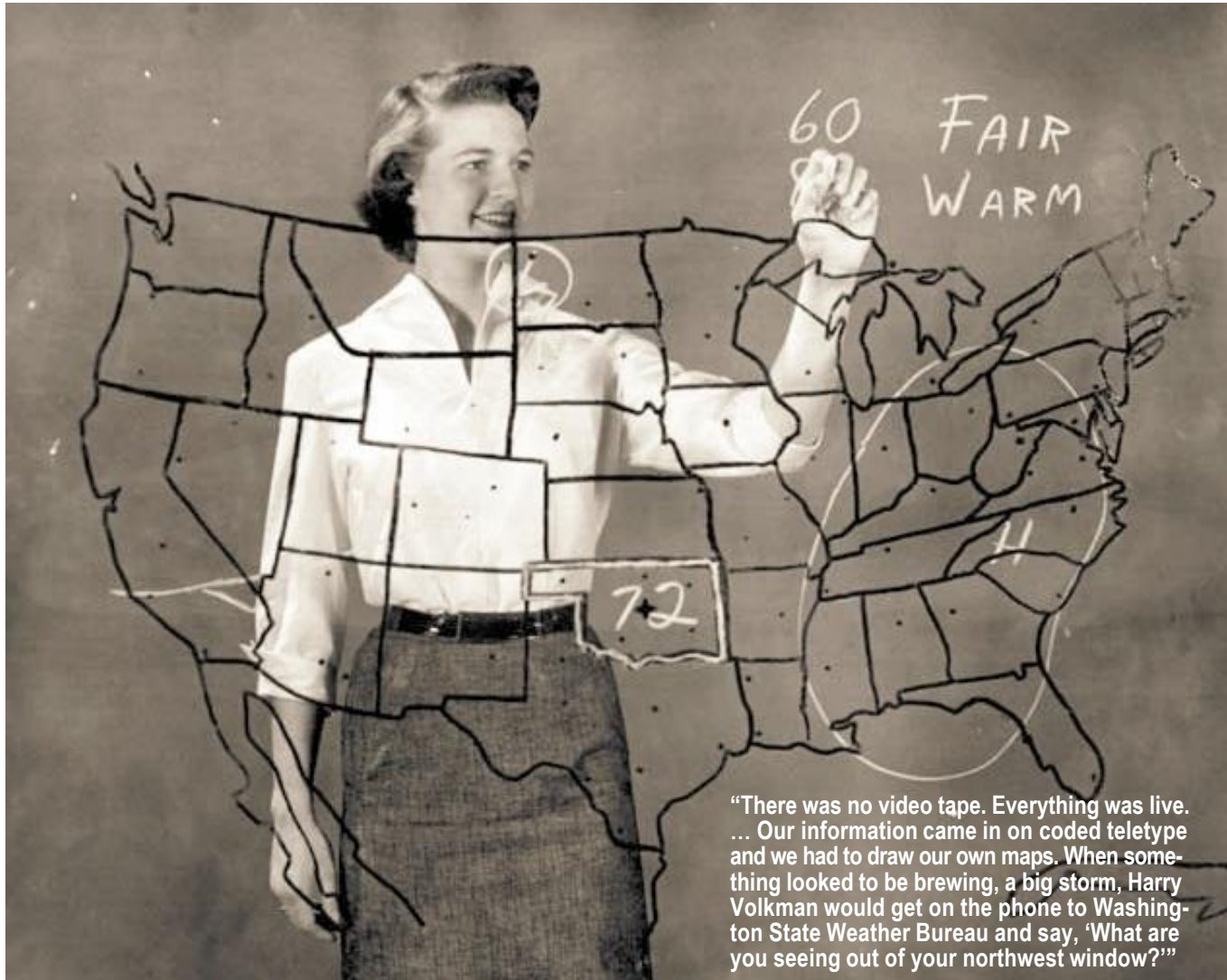


Im kommerziellen **amerikanischen Fernsehen** gab es früher als in Europa Ansätze, die Wettervorhersage „ansprechend“ zu präsentieren – Schauspielerinnen statt Experten.

Der spätere Filmstar Janice („Jan“) O'Dell war Ende der 1950er-Jahre das „**Channel 9 Weather Girl**“.

1955 was the year of the weather girl, the moment when, all of a sudden, women weathercasters were everywhere in every corner of the country. Weather girls were enormous stars. They were idolized and lusted over. ... Every woman weathercaster had the same look. They were white, fresh faced, and modestly dressed. ... Although there were still some male weathercasters, the sexy weather girls were getting all the attention. For the American Meteorological Society that was a total nightmare. -- Kelly Jones

# Wettervorhersage im Fernsehen (USA)



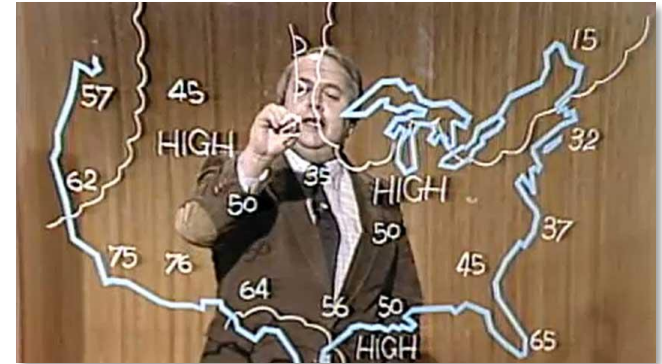
Lola Hall ca. 1956.

Wenn die Wettervorhersage hinter einer Plexiglasscheibe präsentiert wird, muss man mit einem Fettstift in **Spiegelschrift** schreiben. Und zwar live. Macht Lola Hall das mit links? Oder ist der Scheitel auf der falschen Seite?



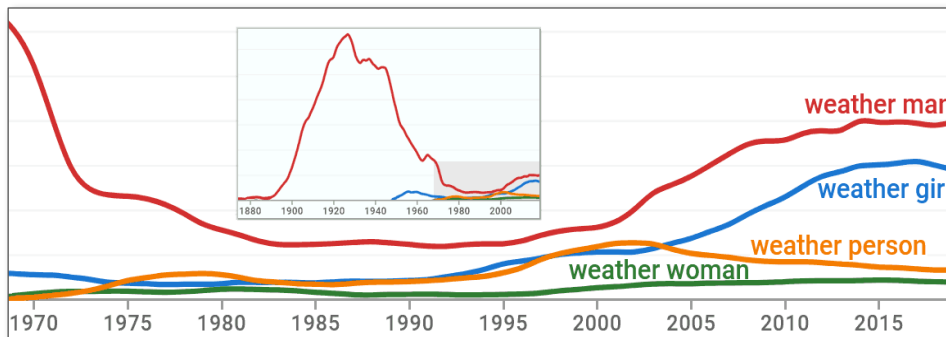
# Wettervorhersage mit links in Spiegelschrift?

Als die **Plexiglasscheiben** in den 1950er-Jahren eingeführt wurden, war dies für die Zuschauer ein ganz neues „Fernseherlebnis“: Der Präsenter verdeckte nicht mehr die Sicht auf die Karte und konnte gleichzeitig frontal in die Kamera sehen. „The drama of seeing weather unfold before one’s eyes made this a popular device“, schrieb dazu der Journalist Robert Henson in seinem Buch „Weather on the Air“. Ob Lola Hall tatsächlich linkshändig in Spiegelschrift schrieb, ist allerdings fraglich: Einige Fernsehsender verwendeten Kamera-Tricks oder Spiegel, sodass man normal schreiben konnte, auch wenn der Eindruck von Spiegelschrift entstand. Der Wetterplauderer Ira Joe Fisher (im Bild) trickste allerdings nicht, er konnte schon in der Schule in Spiegelschrift schreiben und berichtet rückblickend „I still receive letters – written backward – from people all over the country“.



Ab den 1970er-Jahren suchte man, vor allem in den USA, **geschlechtsneutrale Berufsbezeichnungen**. Die „weather person“ konnte sich allerdings nicht durchsetzen, vielleicht schafft es aber „weather presenter“? Der „weatherman“ in einem einzigen Wort ist heute vielfach populärer als der „weather man“, und auch „weather girl“ blieb geläufig, obwohl Weathercasterin Marilyn Turner schon 1975 monierte „I don’t believe anyone over 21 should be called a girl. You don’t call a man a weather boy.“ (Das stimmt, aber andererseits existiert seit dem Ende des 19. Jh. der „lift boy“.) Und wie bezeichnen wir im Deutschen die Wetterleute korrekt?

Wörterbücher nennen (z.T. mit dem Zusatz *ugs., salopp*) Wetteransager, Wetterfrosch, Wetterprophet, Meteorologe, Wetterfee, Wetterlady, Wetterfritze, Wettermoderator (Ruhe nach dem Sturm?). Auf Französisch heisst es „présentateur / présentatrice météo“, oft auch einfach „Monsieur / Miss Météo“; letzteres gilt aber heute als Sexismus bzw. Infantilisierung.



# “Scientists out, entertainers in”

that the only thing as variable as the weather is the ways of women and the knowledge that a pretty girl can make almost anything look more interesting, stations have been steadily replacing male announcers with female forecasters. Right now Detroit's WJBK is holding a contest to pick five girls (one for every weekday) to show how the weather is shaping up.

“Since the girls did not know an isobar from a low-pressure area the station hired a meteorologist to tell them what they were talking about.” [Life, March 28, 1955]



Weather girls of Detroit's WJBK-TV (photo by John Zimmerman, 1955) <https://i.imgur.com/kfPtr9X.jpeg>

Wetteransager Francis Davis 1955 im „TV Guide“-Magazin einen Beitrag „**Weather Is No Laughing Matter**“, in dem er schrieb: „If TV weathermen are going to pose as experts, we feel they should be experts. We think the weather should be discussed with dignity. Dignity, not dullness. We think many TV ‘weathermen’ make a caricature of what is essentially a serious and scientific occupation, help foster the notion that forecasters merely grab forecasts out of a fishbowl.“

Neben dem traditionellen Wettermann treten ab **Mitte der 1950er-Jahre** beim US-Fernsehen immer öfter auch „**weather girls**“ auf. Manche wurden, wie ihre männlichen Gegenparte, zu Idolen der „TV audience“ – darunter auch die jüngsten Zuseherinnen: Mit „The weather girl position is a **dream job** for a lot of women; you get to look great, styled for the camera, and have fun makeovers every season“ konnte z.B. eine Spielzeugfirma zielgruppen-genau ihr „dress up game“ für Mädchen bewerben.

Als die Wetternachrichten im Fernsehen (durch männliche wie weibliche Akteure) immer mehr zu einer Unterhaltungsshow gerieten, verfasste der promovierte Physiker und



# Men of America

HURRICANE  
ALERT

*Gale wind rages, foaming breakers roar!  
Radar warning – storm will hit our shore!*

Während im Fernsehen Beauty Queens und Clowns aus den Wetternachrichten eine Show machten, wurden gleichzeitig (hier: 1958) in der Zigarettenwerbung die **Meteorologen als harte, rauchende Männer** inszeniert, welche das Land vor Hurrikan-Katastrophen schützen.

*Checking on the weather,  
you'll find a man ...*

*Stops and takes big pleasure when and  
where he can ... Chesterfield!*

*This sun-drenched top-tobacco's  
gonna mean ...*

*That you're smokin' smoother and  
you're smokin' clean!*

**MEN OF AMERICA:**  
**HURRICANE ALERT**

*Gale wind rages, foaming breakers roar!*

*Radar warning – storm will hit our shore!*

*Checking on the weather, you'll find a man ...*

*Stops and takes big pleasure when and where he can ... Chesterfield!*

*Always the top tobacco, straight Grade-A, the top-tobacco in the U.S.A.*

*This sun-drenched top-tobacco's gonna mean ...*

*That you're smokin' smoother and you're smokin' clean!*

*The very best tobacco in the U.S.A. gives you big clean flavor in a big, big way.*

*When you've earned a smoke – nothing satisfies like the **BIG CLEAN TASTE OF TOP-TOBACCO!***

**CHESTERFIELD**  
REGULAR KING

# Animierte Wetterkarten in den 1960er-Jahren



www.hans-bredow-institut.de/files/fqm/Elfriede%20Zechner.%20HR.JPG

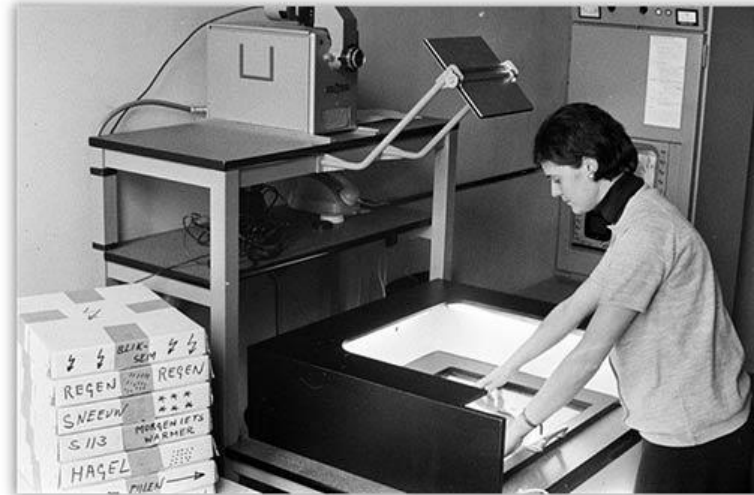
„Automatisches Wetter“ mit Zeichentrickfilmtechnik (jeweils rund 35 Meter Film aus ca. 4000 Einzelbildern, produziert in 3 Stunden) – Computergraphik und Computeranimation oder Satellitenbilder gab es damals noch nicht. (Die Karte zeigt Deutschland noch „dreigeteilt“, in den Grenzen von 1937 – Westdeutschland, Ostdeutschland bzw. „DDR“ sowie Pommern und Schlesien „unter polnischer Verwaltung“.)



*Natürlich weinten Zuschauer dem Gewohnten öffentlich hinterher und zeigten sich überfordert von dem „Wirrwarr von Linien, Kurven und sonstigen monoton wiederkehrenden Zeichen, gekrönt von elektronischer Musik“. -- Volker K. Belghaus*

So sah die Wetterkarte im Schwarzweiss-Fernsehen und seinen nicht sehr detailreichen Grautönen zu- nächst aus; inkl. Breslau u. Stettin. →

# Animierte Wetterkarten in den 1960er-Jahren (2)



Beim niederländischen Fernsehen gibt es ab März 1968 keine live präsentierte Wetterprognose mehr – für viele Jahre jedenfalls. Stattdessen wird mit neuer Technik ein Videoclip Bild für Bild vorproduziert; dazu dienen Folien und Schablonen. Es handelt sich noch um eine ganz und gar „analoge“ Technik; Videorecorder mit Magnetbändern („Ampex“) waren noch neu.

# Die Arbeit der Meteorologen ohne Computer

Der Meteorologe Winhart Edelmann berichtete, wie vor dem Einsatz von Computern eine Wettervorhersage zustande kam:

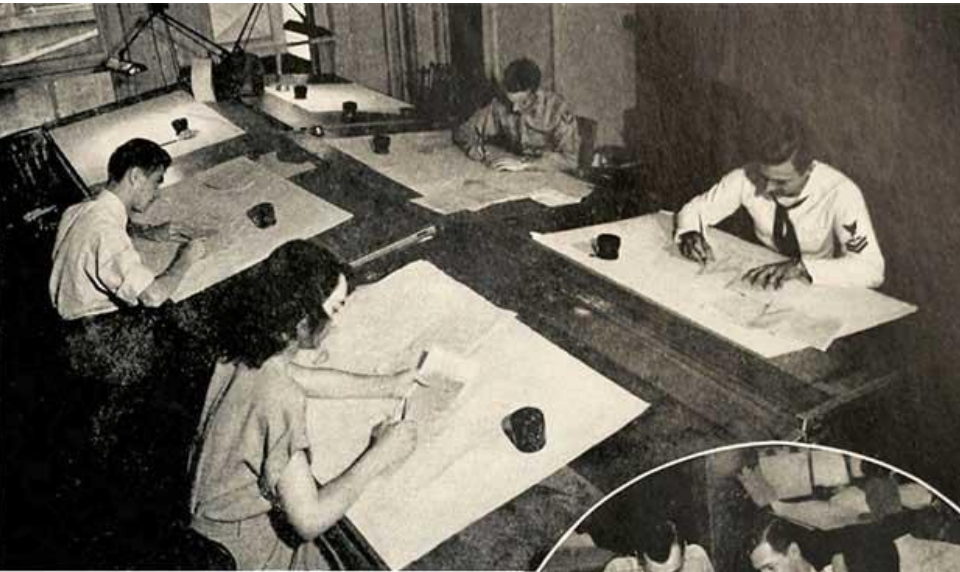
Ein erfahrener Beobachter konnte aus den Zeichen am Himmel das Wetter für die nächsten Stunden mutmassen. Das realistische Ziel des Meteorologen war eine bessere Vorhersage für den kommenden Tag. Dazu braucht er aus einer weiten Umgebung gleichzeitige Beobachtungen von Luftdruck, Wind, Temperatur, Feuchte, Wolken und Wetter. [...]

Alle Messungen und sonstigen Beobachtungen werden umgehend in einen Zahlencode verschlüsselt und über Funk verbreitet. Technisch gesehen war damals das Zeitalter des Kopfhörers. Stundenlang das Piepen der Morsezeichen im Ohr endlose Zahlenkolonnen zu schreiben: man kann sich schwer eine monotonere Arbeit vorstellen, die gleichzeitig höchste Konzentration erfordert. Wesentlich anregender, obgleich unter grossem Zeitdruck, war das nachfolgende Entschlüsseln und Einzeichnen der Beobachtungen in die Wetterkarte.

Nun kommt die Stunde des Meteorologen. Aus der Zusammenschau der gleichzeitigen Beobachtungen, der „Synoptik“, analysiert er die Lage der Hochs, Tiefs und Schlechtwetterfronten. Dann stellt er fest, wie sich diese Gebilde in den letzten Stunden bewegt und verändert haben. Schliesslich versucht er zu extrapolieren, wies sie sich wohl weiter bewegen könnten. In der Natur geht es dabei durchaus nicht geradlinig zu. Tiefs können Haken schlagen, sich beschleunigen oder liegen bleiben, aufspalten oder miteinander verschmelzen, verstärken oder verschwinden. So wurde ziemlich grob und mit häufigen Irrtümern eine Vorhersagekarte konstruiert, welche zeigt, von woher wir das Wetter von morgen importieren werden. Alles dies war solide Handarbeit.

Die synoptische Vorhersagemethode erreichte in den 1950er-Jahren ihren Gipfel und ihre Grenzen. Mehr war so nicht herauszuholen. Der Meteorologe hatte ausser unscharfen Regeln noch viel Spielraum für seinen fehlbaren Instinkt. Auf die Dauer konnte das nicht befriedigen.

# Die Arbeit der Meteorologen ohne Computer (1947)



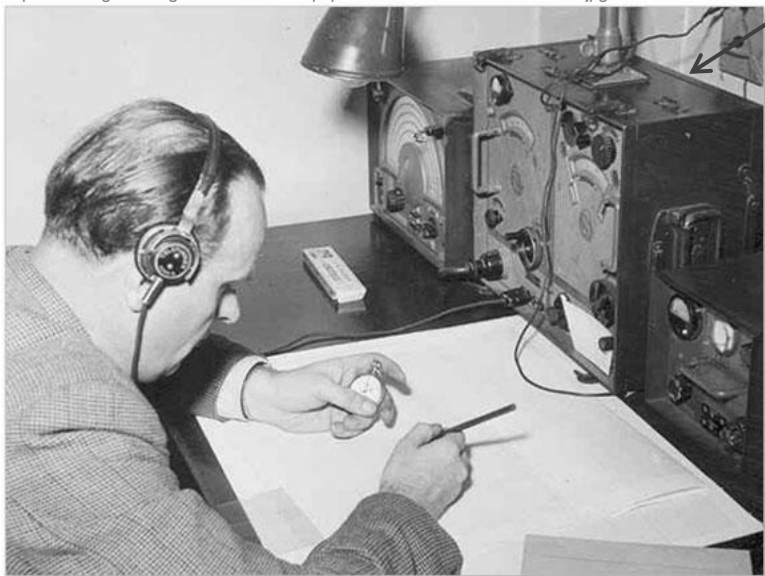
As the weather data become available, they are given immediately to a group of plotters whose job it is to enter the data on a large-scale chart so that they may be more comprehensively understood in the later stages of weather analysis. The work is subdivided among several plotters so that several sections of the country are being plotted at the same time. As fast as these sections are completed, they are passed to a group of weather analysts. The job of these analysts is strange, wandering lines, by the analysts is the location of large masses of warm and cold weather observations, are no mere matter of routine drafting. Many local conditions — the nature of the surrounding terrain, hills or mountains, rivers or other large bodies of water, other topographical conditions — can influence the recordings at any single point and it takes a trained and skillful analyst to interpret the data correctly. H. Stommel is here shown working on a prognostic chart which will go out over the facsimile network.

available, they are given immediately to a group to enter the data on a large-scale chart so that they may be more comprehensively understood in the later stages of weather analysis. The work is subdivided among several plotters so that several sections of the country are being plotted at the same time. As fast as these sections are completed, they are passed to a group of weather analysts. The job of these analysts is strange, wandering lines, by the analysts is the location of large masses of warm and cold weather observations, are no mere matter of routine drafting. Many local conditions — the nature of the surrounding terrain, hills or mountains, rivers or other large bodies of water, other topographical conditions — can influence the recordings at any single point and it takes a trained and skillful analyst to interpret the data correctly. H. Stommel is here shown working on a prognostic chart which will go out over the facsimile network.

# Die Arbeit der Meteorologen ohne Computer



<https://tile.loc.gov/storage-services/service/pnp/fsa/8d40000/8d40800/8d40816v.jpg>



Funkdatenaufzeichnung DWD [www.boote-magazin.de/typo3temp/pics/f\\_30af65ba4e.jpg](http://www.boote-magazin.de/typo3temp/pics/f_30af65ba4e.jpg)



*Wetterballon zum Messen von Wind, Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit in höheren Atmosphärenschichten mittels einer Radiosonde, die die Messwerte zur Erde funkt.*

*Unten rechts: Ablesen der Werte der Wetterstation zu regelmässigen Zeiten.*

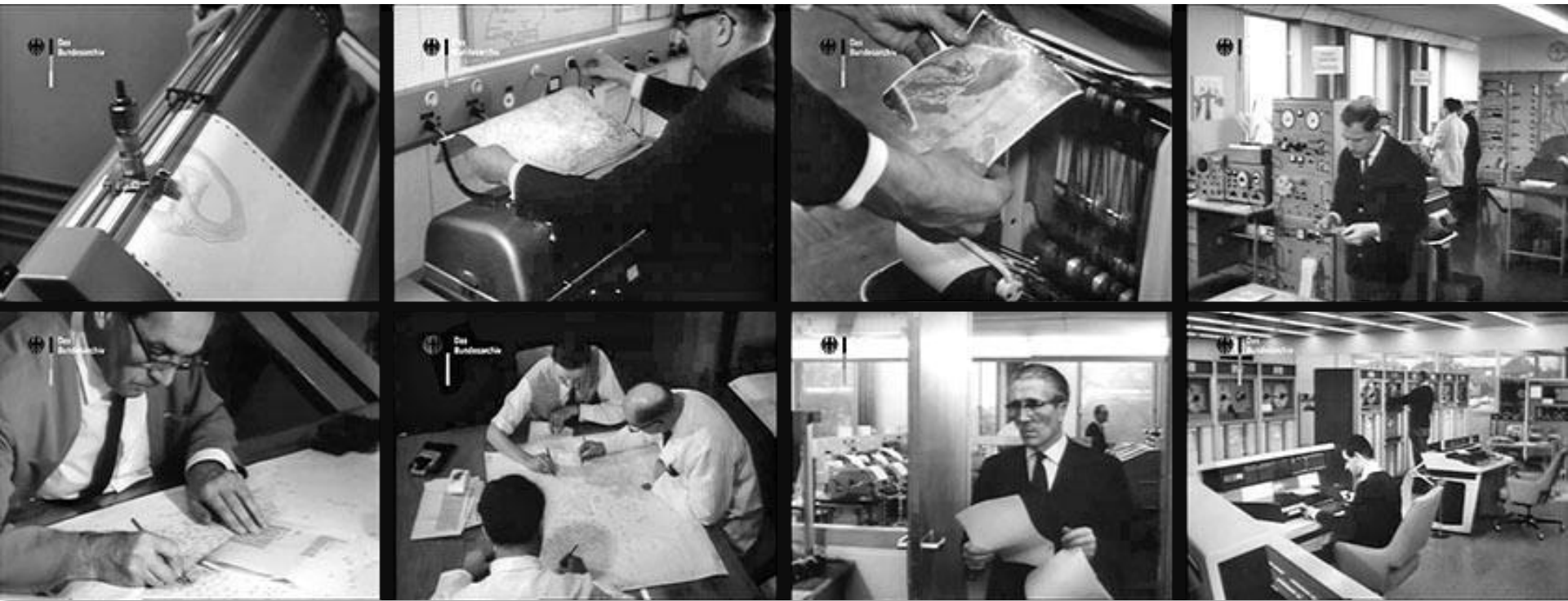
[www.aftenposten.no/oslo/i/0LboJ/herhar-de-jaktet-paa-riktig-vaer-i-150-aar](http://www.aftenposten.no/oslo/i/0LboJ/herhar-de-jaktet-paa-riktig-vaer-i-150-aar)



Spezielle aerologische Stationen starten auch heute noch täglich mindestens zwei Wetterballone. Die Radiosonde als meteorologische Nutzlast (10cm, 230g) enthält Sensoren, Funksender (400 MHz-Bereich) und GPS-Empfänger, der die Drift beim Aufstieg nachzeichnet. Der 600g leichte Ballon hat am Boden einen Durchmesser von ca. 1.5m; nach ca. zwei Stunden auf max. Höhe (bei niedrigem Luftdruck) ca. 10m. Er platzt, und die Radiosonde segelt an einem Fallschirm herunter. Eine Aufschrift informiert, wie man die Sonde entsorgen soll.

# Die Arbeit der Meteorologen 1967: mit Computer

Die deutsche Kinowochenschau vom 29.06.1967 (Deutschlandspiegel 153) zeigt die seinerzeit zum Einsatz kommende Technologie (ratternde Fernschreiber, Satellitenfotos aus dem All, erste Computer) und die damals noch nötige Handarbeit beim Zeichnen der Wetterkarten beim Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach bei Frankfurt am Main: [www.filmothek.bundesarchiv.de/video/589692](http://www.filmothek.bundesarchiv.de/video/589692), Minute 8:14 bis Minute 11:00.



Die Verwendung von Computer(modellen) in der Meteorologie ist aber eine eigene Story... →

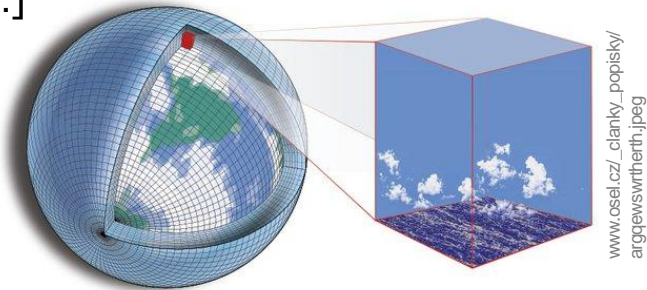
# Das Prinzip der numerischen Wetterprognose

Das [Prinzip der numerischen Wetterprognose](#) wird in einem Artikel<sup>\*)</sup> von Florian Pappenberger und Hannah L. Cloke kurz und nett beschrieben; hieraus einige wesentliche Passagen:

„Für numerische Wettervorhersagen werden [Gleichungen aus der Strömungs- und Thermodynamik](#) genutzt, um Aussagen über den zukünftigen Zustand der Flüssigkeitshülle der Erde zu treffen. Ausgangspunkt der Prognose ist ein Schnappschuss vom (momentanen) Anfangszustand der Hülle. Dabei werden Atmo-, Hydro- und Biosphäre, Meeresbecken und Eismassen, der Einfluss der Sonne und viele weitere Faktoren berücksichtigt und statistisch verarbeitet. Auf Basis dieser Assimilation mehrerer Millionen Wettermessungen aus aller Welt wird der zukünftige Zustand des Geosystems berechnet, wobei neben Niederschlägen, Temperaturen, Wolkenbildungen oder der Bodenfeuchtigkeit sogar die Höhe von Meereswellen prognostiziert werden kann. Bekanntermaßen sind Prognosen aber nie absolut zuverlässig. Die Wetterprognose ist da keine Ausnahme. Diese [Unsicherheit](#) ergibt sich unter anderem daraus, dass wir ein unzureichendes Bild vom Ausgangszustand des Geosystems haben. Es ist nicht möglich, überall alles zu messen. Modelle sind stets nur Annäherungen an die Wirklichkeit. Aufgrund der [chaotischen Natur der Atmosphäre](#) können schon kleine Fehlberechnungen des Anfangszustands die jeweiligen Modellergebnisse verändern. [...]

Die [Modellauflösung](#) bildet die Berechnungsgrundlage für die Wettergleichungen und hat großen Einfluss auf die Qualität der Wettervorhersage. Dabei wird zwischen der vertikalen und der horizontalen Auflösung unterschieden. Die vertikale Auflösung teilt die Atmosphäre senkrecht in Ebenen auf, die horizontale gibt die Größe der Gitterzelle an. [...]

Im Durchschnitt ist man auf diese Weise heute in der Lage, das Wetter drei Tage im Voraus genauso präzise vorherzusagen wie vor 30 Jahren das Wetter am nächsten Tag. Der Schlüssel dafür ist unter anderem die explosionsartige Zunahme von [Satellitendaten](#), ergänzt durch bodennahe Messungen. Die [Messdaten](#) kommen von Bodenstationen, Schiffen, Flugzeugen, Wetterballons und Radiosonden.



www.osel.cz/clanky\_popisky/  
argewswtheth.jpeg

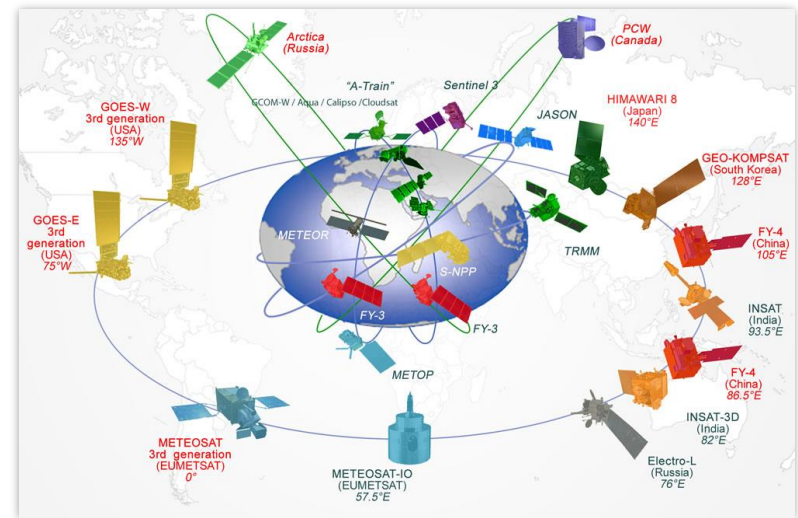
\*) „Zum Stand der Technik in der Wettervorhersage“, Aus Politik und Zeitgeschichte, 69. Jg., H. 52/2019, 23.12.2019, S. 16 – 21



# Das Prinzip der numerischen Wetterprognose (2)

Beim **Maschinellen Lernen** (ML) werden Archivprognosen und Fehlerstatistiken mit den tatsächlichen Messungen verglichen. ML eignet sich prinzipiell für jedes Wettermerkmal, beispielsweise zur Prognose der Temperatur, Windgeschwindigkeit oder Bewölkung. Viele Wetter-Apps nutzen ML für ihre Vorhersagen, die deutlich besser sind als rohe Modellausgabedaten. [...]

Die weitere Verbesserung der Wettervorhersage ist eng an eine Steigerung der Rechenleistung geknüpft. Jede spürbare Prognoseverbesserung hängt ganz wesentlich von der Verfügbarkeit geeigneter **Hochleistungsrechner** und Datenverarbeitungssysteme ab. Da sich die Fortschritte in der Rechentechnik zu verlangsamen scheinen, die Vorhersagesysteme zugleich aber weiterhin komplexer werden, dürften sich künftige Prognoseverbesserungen kaum noch auf die heutige Art und Weise erzielen lassen. Insbesondere der Energiebedarf könnte zu einer problematischen Größe werden, da es mit der aktuellen Computerarchitektur bald unmöglich sein wird, Prognosen zu angemessenen Kosten abzugeben. [...]



[www.wetterdienst.de/maps/topics/2020\\_5\\_14.jpg](http://www.wetterdienst.de/maps/topics/2020_5_14.jpg)

Die numerische Wettervorhersage ist eine ausgesprochen **datenhungrige** Fachrichtung. Als Faustregel gilt: Je mehr Daten, desto besser die Prognose – denn die Messdaten sind ausschlaggebend für die Festlegung der Anfangsbedingungen des Geomodells. Üblicherweise stammen die Messungen von einer begrenzten Anzahl von Quellen, und insbesondere für Vor-Ort-Beobachtungen sind nur relativ wenige Messdaten verfügbar. Das dürfte sich bald ändern. Moderne Smartphones können Luftdruck und Temperatur messen, moderne Autos können bestimmte Umgebungsdaten wie die Vereisung von Straßen messen und aus der Geschwindigkeit von Scheibenwischern lässt sich die Niederschlagsmenge ableiten. Die Umweltdaten, die zunehmend über das **Internet der Dinge** bereitgestellt werden, bilden die Grundlage für die nächste ‚stille Revolution‘ in der Wettervorhersage.“

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose

Vor dem Einsatz von Computern in der Wettervorhersage war die Meteorologie, insbesondere die Prognose, auf das Erfahrungswissen von Wetterbeobachtern angewiesen. Meteorologie war, wie Claus Pias schreibt, „**eher eine Kunst denn eine Wissenschaft**“. Die einlaufenden Daten der Beobachtungsstationen wurden aufgenommen und kartographisch verzeichnet, um anschließend Luftmassen zu identifizieren, nach persönlicher Erfahrung Isobare und Isotherme einzutragen und dann in einem Bildvergleich mit gespeicherten Karten ähnliche historische Wetterlagen aufzufinden und daraus — unterstützt durch Faustregeln — Prognosen zu erstellen.“

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kannte man die für die Wetterentwicklung relevanten physikalischen Gesetze der Hydro- und Thermodynamik, hatte sie aber noch nicht kohärent zur Anwendung für ein grossräumiges Phänomen wie das Wetter gebracht. Um 1890 erkannte der amerikanische Astronom und Meteorologe **Cleveland Abbe** (1838 – 1916) „There is a physical basis for all meteorological phenomena. There are laws of mechanics and heat that apply to the atmosphere [...]. Meteorology is essentially the application of hydrodynamics and thermodynamics to the atmosphere“. In seinem Aufsatz „The physical basis of long-range weather forecasts“ von **1902** schlug er einen mathematischen Ansatz für die Vorhersage vor und drückte seine Hoffnung aus, dass Atmosphärenphysiker „take up our problems in earnest and devise either graphical, analytical, or numerical methods“, um die Gleichungen zu lösen – „then we shall be justified in calling our work rational science, as distinguished from empirical science.“ Aber es war ihm auch bewusst, dass dies eine gewaltige Aufgabe darstellt und Zeit erfordert: „First of all, it is absolutely necessary to take into consideration the condition of affairs over the whole earth; second, it is equally necessary to consider the conditions prevailing up to a very considerable height in the atmosphere; third, we must apply physical laws and not empirical rules. [...] I recognize the fact that we must not expect to realize these hopes in this generation. The progress of all science is necessarily slow.“

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (2)

Eine wissenschaftlich präzisere Analyse des Vorhersageproblems wurde kurz darauf von [Vilhelm Bjerknes](#) (1862–1951) unternommen, seinerzeit Professor in Stockholm und späterer Lehrstuhlinhaber für Geophysik in Leipzig. (Sein Vater war bereits Mathematiker und Physiker, Experte auf dem Gebiet der Fluidodynamik, und sein Sohn Jacob wurde später ebenfalls ein bekannter Meteorologe in Norwegen und den USA.) Ebenso wie für Cleveland Abbe bestand auch für Vilhelm Bjerknes das Ziel darin, die Meteorologie zu einer exakten Wissenschaft im Sinne einer angewandten Atmosphärenphysik zu machen. Er veröffentlichte 1904 in der „Meteorologischen Zeitschrift“ einen Aufsatz „Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik“. In diesem Artikel formulierte er sein später als „Meteorological Manifesto“ berühmt gewordenes Programm so:

„...dass die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für eine rationale Lösung des Prognoseproblems der Meteorologie die folgenden sind:

1. Man muss mit hinreichender Genauigkeit den Zustand der Atmosphäre zu einer gewissen Zeit kennen.
2. Man muss mit hinreichender Genauigkeit die Gesetze kennen, nach denen sich der eine atmosphärische Zustand aus dem anderen entwickelt.

[...] Der Zustand der Atmosphäre zu einer beliebigen Zeit wird in meteorologischer Hinsicht bestimmt sein, wenn wir zu dieser Zeit zu jedem Punkt die Geschwindigkeit, die Dichte, den Druck, die Temperatur und die Feuchtigkeit der Luft berechnen können.“



Vilhelm Bjerknes in Bergen (Rolf Groven, 1983)

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (3)

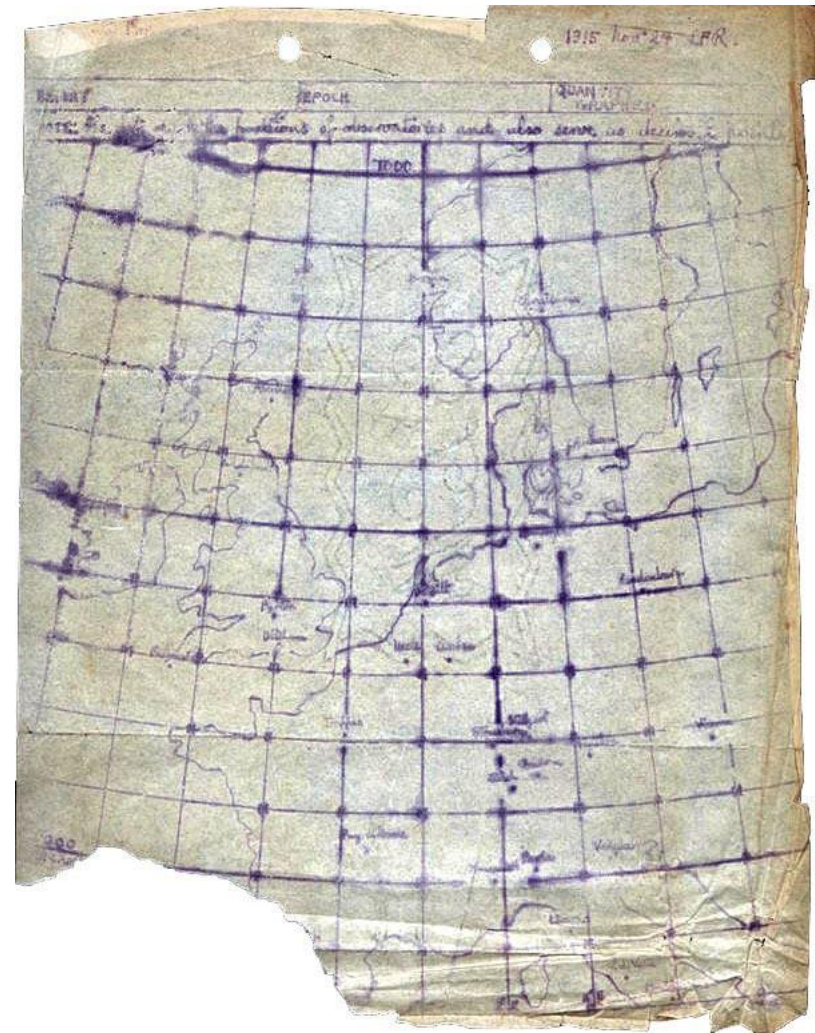
Von diesen insgesamt sieben Variablen (die Windgeschwindigkeit wird durch drei Variablen für die Vektorkomponenten repräsentiert) müssen die jeweiligen Anfangswerte bekannt sein; für die Vorhersage der weiteren Entwicklung sind sieben Gleichungen relevant: Drei Bewegungsgleichungen (als Differentialrelationen zwischen Geschwindigkeit, Dichte und Druck), die Kontinuitätsgleichung (also das Prinzip der Erhaltung der Masse, hier als Differentialrelation von Geschwindigkeit und Dichte), der erste Hauptsatz der Wärmelehre, die Wasserdampfgleichung und die Gasgleichung. Das resultierende Gleichungssystem besteht allerdings aus nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen mit nichtkonstanten Koeffizienten; es ist in analytischer Form nicht geschlossen lösbar.

Da eine numerische Approximation von Bjerknes als viel zu aufwändig angesehen wurde, entwickelte er eine graphische Methode zur approximativen Lösung des Gleichungssystems. (Das Vorlesungsverzeichnis der Universität Leipzig führt noch für das Sommersemester 1913 eine Vorlesung „Die Elemente einer graphischen Mathematik zur Behandlung naturwissenschaftlicher Aufgaben, im besonderen der Meteorologie und der Hydrographie“ von ihm auf.) Er schlägt eine geometrische Konstruktion für eine Menge von Punkten vor, die dann durch Interpolation und Augenmass verbunden werden sollen: „Auf Grund der angestellten Beobachtungen wird der Ausgangszustand der Atmosphäre durch eine Anzahl von Karten dargestellt, welche die Verteilung der 7 Veränderlichen von Schicht zu Schicht in der Atmosphäre angeben. Mit diesen Karten als Ausgangspunkt soll man neue Karten von Stunde zu Stunde darstellen.“ Mit „Stunde zu Stunde“ ist die Zeit diskretisiert; gleicherweise wird auch die räumliche Dimension gerastert: „Die Vorhersage darf sich [...] nur mit Durchschnittsverhältnissen über grössere Strecken und für längere Zeiten beschäftigen, sagen wir beispielsweise von Meridiangrad zu Meridiangrad“. Bjerknes sah zwar noch keine Möglichkeit, seine Ideen für eine tatsächliche Vorhersage praktisch nutzbar zu machen; die Idee der **räumlich-zeitlichen Rasterung** der Atmosphäre sollte sich in den darauffolgenden Jahrzehnten aber als ausserordentlich fruchtbar erweisen.

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (4)

Einige Jahre später propagierte [Lewis Fry Richardson](#) eine arithmetisch-numerische Approximationslösung des Gleichungssystems von Bjerknes; die Differentialgleichungen sollten dabei durch entsprechende Differenzengleichung ersetzt werden. Er schrieb:

„Whereas Prof. Bjerknes mostly employs graphs, I have thought it better to proceed by way of numerical tables. The reason for this is that a previous comparison of the two methods, in dealing with differential equations, had convinced me that the arithmetical procedure is the more exact and the more powerful in coping with otherwise awkward equations.“ Während des Ersten Weltkriegs berechnete er in sechswöchiger mühevoller Rechenarbeit im Nachhinein eine sechsstündige Prognose, die allerdings zu einem völlig falschen Resultat führte. Tatsächlich kannte Richardson die mathematischen Kriterien an die Raum- und Zeitinkremente, unter denen eine numerische Integration einer partiellen Differentialgleichung mit finiten Differenzen gut gelingt, noch nicht; diese wurden erst in den späten 1920er-Jahren von Richard Courant, Kurt Friedrichs und Hans Lewy in Göttingen entwickelt.



Skizze eines Gitters über Westeuropa von Richardson

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (5)

Das misslungene Prognoseexperiment und die langwierige Rechenprozedur mögen Richardson enttäuscht haben und jahrzehntelang andere Wissenschaftler von der Methode abgehalten haben, dennoch stellt das von ihm propagierte Prinzip der numerischen Wettervorhersage im Wesentlichen das heute auf Supercomputern angewendete Verfahren dar. Auf dem jahrzehntelangen Weg dahin musste freilich noch einiges geschehen: Zunächst muss ein besseres Verständnis der Atmosphärendynamik erzielt werden und dieses dann in meteorologische Modelle umgesetzt werden. Dazu gehört die Evaluation derjenigen hydro- und thermodynamischen Faktoren, die den grössten Einfluss auf das Wetter haben und die Abstraktion von als weniger relevant erkannten Aspekten wie z.B. hochfrequent überlagertes „Rauschen“ einer Entwicklung einer Kenngrösse. Aber auch der meteorologische Einfluss und die geeignete Wahl der seitlichen Randwerte des Gittermodells war ein zu lösendes Problem. Ferner waren Fortschritte in der Numerik erforderlich, vor allem um Stabilität der Berechnungsalgorithmen für die Integration partieller Differentialgleichungen hinsichtlich Rundungseffekten und der Auslöschung kleiner Werte zu garantieren. Die zeitnahe Gewinnung von Atmosphärenmesswerten in der dritten Dimension mittel Radiosonden an Wetterballons war ein weiteres neues und essentielles Element auf dem Weg zur erfolgreichen numerischen Prognose. Schliesslich war, damit die Aussage eines Rechenergebnisses nicht Nachrede ist, sondern Vorhersage sein kann, wesentlich die „technische Grosstat der Entwicklung von elektronischen Hochgeschwindigkeits-Rechenanlagen, die den zahlenmässig ungeheuren Aufwand an einfachen Rechenoperationen in ausreichend kurzer Zeit bewältigt“ – so schreibt der Meteorologe Hermann Flohn fast schon rückblickend 1956 und fährt fort: „Ihre Verwendung für Zwecke der meteorologischen Praxis stellt die höchsten Anforderungen an Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit“.

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (6)

*Aufbau eines umfassenden Wetterrechnungsdienstes mit Hilfe von Zuse-Rechenmaschinen.*

---

*Die von der Firma Zuse-Apparatebau entwickelten neuartigen Rechen-  
geräte ermöglichen eine weitgehende Automatisierung und Erweiterung  
der Berechnungsmethoden der Wettervorhersage.*

*Hierbei werden hauptsächlich 2 Probleme ins Auge gefasst:*

- 1.) Die laufende Wetterberechnung und Vorhersage für kleine und grosse Zeiträume anhand laufender Wetterbeobachtungen.*
- 2.) Die Erforschung und Klärung der Wettervorgänge des Erdballs durch umfangreiche Berechnungen, die mit bisherigen Mitteln nicht durchgeführt werden können.*

*Zu 1.) Bei der laufenden Wettervorhersage ist in erster Linie der enorme Zeitgewinn wesentlich, der durch Verwendung von Zuse-Rechenmaschinen möglich ist. Die Geräte lassen sich so konstruieren, dass aus den laufenden Daten über die Wetterbeobachtung fast ohne Zeitverzug die für die Wettervorhersage notwendigen Resultate errechnet werden können, wobei der Umfang und die Gründlichkeit der Rechnung und damit die Zuverlässigkeit der Wettervorhersage gegenüber bisherigen Methoden noch erheblich gesteigert werden kann. Gerade in der Wetterrechnung ist der Zeitgewinn ein entscheidender Faktor*

Zuse war Ingenieur und kein Mathematiker oder Meteorologe. Zudem dann auch noch Unternehmer, der seine Rechenanlagen vermarkten wollte. Er hatte daher weniger Bedenken damit, seine Rechengerte für die Wettervorhersage anzupreisen.

Der Anfang eines „white papers“ aus dem Jahr 1947 von Konrad Zuse zur computerbasierten Wettervorhersage →

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (7)

**Konrad Zuse** konstruierte ab ca. 1936 Rechenautomaten; mit der Z4 gelang ihm 1945, am Ende des Zweiten Weltkriegs, die Flucht aus Berlin ins Allgäu. Die Z4 wurde erst 1950 von der ETH gekauft, zuvor fehlten Zuse im Allgäu die Mittel und Möglichkeiten, konstruktiv tätig zu sein. In dieser Zeit arbeitete er vor allem theoretisch und entwickelte Pläne zum Einsatz seiner Rechner. Unter anderem kam ihm dabei die Wettervorhersage als Anwendungsgebiet in den Sinn. Zuse war Ingenieur und kein Mathematiker, Physiker oder Meteorologe. Daher konnte er auch nicht die numerischen Verfahren zur Berechnung der physikalischen Modelle beurteilen oder weiterentwickeln; das Konzept einer immersiven grafische Benutzeroberfläche für die „**Grosswetterrechenmaschine**“ erscheint allerdings visionär. Nachfolgend einige Auszüge aus seiner Schrift „Aufbau eines umfassenden Wetterrechnungsdienstes mit Hilfe von Zuse-Rechenmaschinen“ von 1947:

*Die von der Firma Zuse-Apparatebau entwickelten neuartigen Rechengeräte ermöglichen eine weitgehende Automatisierung und Erweiterung der Berechnungsmethoden der Wettervorhersage. [...] Bei der laufenden Wettervorhersage ist in erster Linie der enorme Zeitgewinn wesentlich, der durch Verwendung von Zuse-Rechenmaschinen möglich ist. Die Geräte lassen sich so konstruieren, dass aus den laufenden Daten über die Wetterbeobachtung fast ohne Zeitverzug die für die Wettervorhersage notwendigen Resultate errechnet werden können, wobei der Umfang und die Gründlichkeit der Rechnung und damit die Zuverlässigkeit der Wettervorhersage gegenüber bisherigen Methoden noch erheblich gesteigert werden kann. [...]*

*Als Berechnungsmethoden kommen grundsätzlich zwei Wege in Frage.*

- a) Aus der gegebenen Ausgangssituation (Luftdruck-, Temperatur-, Feuchtigkeitsverteilung, Vektorfeld der bestehenden Windrichtung und dergleichen) wird durch **numerische Integration** die folgende Entwicklung errechnet. Diese Methode ist in voller Strenge nicht durchführbar, da sie ein zu dichtes Beobachtungsnetz erfordert und der enorme Rechenaufwand [...]*



# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (8)

b) Die gegebene Situation und der bisherige Wetterverlauf wird mit früheren Wetterabläufen verglichen und durch **Analogie-Schlüsse** der weiteren Verläufe abgeschätzt. [...]

Praktisch kommt eine Vereinigung von Methode a) und b) in Frage. [...] Die Vorausberechnung des Wetters erfolgt teils durch statistische Vergleiche teils durch numerische Integration. [...]

Für die äussere Organisation eines solchen Wetterdienstes besteht etwa folgende Möglichkeit:

a) Ein Netz von **Beobachtungsstationen** liefert die Daten der bestehenden Wetterlage. Hierbei ist, um Zeitverzug zu vermeiden, eine möglichst automatische Übertragung der Daten auf die Rechenmaschine anzustreben. [...]

b) In **Zwischenstationen** werden die Beobachtungsergebnisse gesammelt und auf die Rechenmaschine übertragen. Durch sie werden die Beobachtungen durch Interpolation ergänzt. [...]

c) In **Zentral-Stationen** werden die Auswertungen der Zwischen-Stationen gesammelt und in einer Grosswetterrechenmaschine die Wettervorhersage durchgeführt. [...] Die Demonstrierung des Wettervorgangs erfolgt dabei weitgehend automatisch durch Projektoren und Auswertgeräte, welche die Wetterkarte automatisch an eine nach Art eines Planetariums gebaute Projektionsfläche werfen. Hier kann momentan die gesamte Wettersituation des Erdballs überblickt werden. [...] Die **Projektion der Erdoberfläche** erfolgt so, als ob der Beobachter sich im Mittelpunkt der Erde befindet. [...]

Die Zentral-Wetterbeobachtungsstelle kann **nach Art eines Planetariums** für den öffentlichen Besuch freigegeben werden. Hierdurch sind nicht unbedeutende Einnahmen möglich.

[Unveröffentlichtes Typoskript, <http://zuse.zib.de/>]

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (9)

In den USA war [John von Neumann](#) um das Jahr 1945 mit elektronischen Rechenmaschinen befasst; er „rekrutierte“ unter anderem auch den ENIAC für Berechnungen mathematisch-physikalischer Modelle im Rahmen des Manhattan-Projekts (Entwicklung und zum Bau einer Atombombe). Im Oktober 1945 erhielt er von [Vladimir Zworykin](#), einem Ingenieur der RCA Laboratories, ein Memorandum mit dem Titel „Outline of Weather Proposal“, worin argumentiert wurde, dass moderne technische Kommunikationsmittel eine exaktere Wettersvorhersage ermöglichen sollten, was letztendlich auch die Grundlage für die Beeinflussung des Wettergeschehens darstellen würde. Von Neumann, der schon einige Zeit mit der Möglichkeit der numerischen Wetterprognose schwanger gegangen war, antwortete ihm sofort:

“[...] I think that the [mathematical problem of predicting weather](#) is one which can be tackled, and should be tackled. It will require very extensive computing, but the equipment to do this is now becoming available or can be developed. Clearly the problem can be attacked on various levels of abstraction: anywhere between the purely sorting approach which compares present weather maps with past ones and attempts to establish the [closest analogous past situation](#) in order to extrapolate by past experience; and the [entirely aerodynamical](#) one which would aim to compute the movements of air masses starting from the present distribution of pressures, temperatures, wind velocities, humidity, and the states of radiation, reflection, and absorption. If it were not for the considerable uncertainties of turbulent heat transfer, even the latter purely-theoretical approach would be feasible with electronic computing that might be available within the next few years. [...]”

Anders als Zuse glaubte von Neumann, dass eine rein numerische Berechnung machbar sein sollte. Dazu veranstaltete er im August 1946 am Institute for Advanced Study in Princeton eine [“Conference on Meteorology”](#); ihn interessierte die “theory of dynamic meteorology in order to make it accessible to high speed, [electronic, digital, automatic computing](#)”.

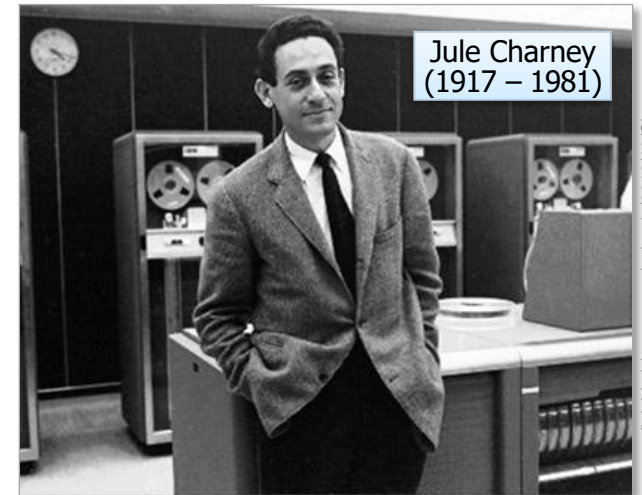
# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (10)

In ihrem Buch „Computereperimente“ würdigt Gabriele Gramelsberger die Rolle des [Meteorologen Jule Charney](#) in diesem Kontext:

„Jule Charney, der zu diesem Treffen eingeladen worden war, arbeitete zu jener Zeit an einer Theorie [quasi-geostrophischer Bewegung](#), welche im Kontext der numerischen Anwendung genau jene Probleme vermied, die Richardson zuvor zu seiner verhängnisvollen Fehlprognose geführt hatten. Die geostrophische Bewegung ist ein idealisiertes Windmodell, bei dem sich der Wind parallel zu den Isobaren bewegt und in welchem sich Druckgradient und Corioliskraft gegenseitig aufheben. ‚By the end of 1947, he had found a ‚filtering‘ method which would remove ‚noise‘ – energy waves that did not contribute to the solution, but which complicated the solution. Von Neumann was pleased when he found out that Charney was interested in the Meteorological Project‘ [Harper 2004].

Ab 1948 übernahm Charney die [Leitung der meteorologischen Gruppe](#) in von Neumanns Computerprojekt und entwickelte mit Kollegen ein erstes Computermodell für die Wettervorhersage. In seinem Artikel ‚On a physical bias for numerical prediction of large-scale motions in the atmosphere‘ beschreibt Charney sein Programm einer numerischen Wettervorhersage: ‚First justifying the geostrophic system, then beginning with simple models and finally progressing to more complicated models. [...] Numerical weather prediction should proceed by gradually including those factors that experienced forecasters had found useful‘ [Charney zitiert nach Phillips 2000].

Die Grundlage dieses ersten Computermodells bildete ein [barotropes Modell](#), in welchem der Luftdruck eine Funktion der Dichte ist und in dem die Flächen gleichen Drucks (Isobaren) parallel zu den Flächen gleicher Temperatur verlaufen. In einem solchen, stark idealisierten Modell ist die Windgeschwindigkeit konstant. Aufbauend auf dieses idealisierte Modell entwickelten Charney und seine Kollegen Randbedingungen für die vertikale und horizontale Auflösung des Modells, um es für eine 500mb Höhe auf dem Computer berechnen zu können. (500mb entsprechen nach der barometrischen Höhenformel in etwa der Höhe von 5000 Metern und damit der Mitte der Troposphäre, in der sich nahezu alle wetterrelevanten Phänomene abspielen und die in 10 bis 12km Höhe reicht.)“



Jule Charney  
(1917 – 1981)

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (11)

Kurz vor seinem Tod konnte sein befreundeter Kollege George Platzman noch ein längeres [Interview mit Jule Charney](#) führen – er starb mit 64 an Krebs. Hier einige kurze Auszüge, die die numerische Wetterprognose mit von Neumann betreffen:

*“I had been trained as a mathematician and I looked upon von Neumann as some sort of a god, at first. But von Neumann was an eminently approachable god. He thought so fast that he very often anticipated what one was going to say.*

*I was enormously impressed by von Neumann, rather overwhelmingly, I think, and started to think about the numerical prediction problem. When it was finally decided to program the barotropic problem for the ENIAC using von Neumann’s Fourier method of solving the Poisson equation, you [George Platzman] and I, together, as I recall, programmed the problem with the assistance of von Neumann and Klari, his wife, [Klari von Neumann](#). She really helped us to learn the ENIAC code. Of course, it was machine language in those days. Preceding that, we made a great many hand calculations. And we were aided by, I think, my wife and Arnt Eliassen’s wife.*

*I think in those days we were very optimistic. I remember at that time receiving reports that Norbert Wiener had regarded von Neumann and me as practically gonifs – thieves. That we were trying to mislead the whole world in thinking that one could make weather predictions as a deterministic problem. And so there were almost two schools of thought. There were the Princeton school and the MIT school. Of course, I think that whole thing was exaggerated by the cohorts of Wiener and von Neumann, not by themselves; but I think in some fundamental way Wiener was probably right. That in other words, [Wiener, I think, anticipated the unpredictability of the atmosphere](#) that Lorenz later formulated rigorously. At that time, my own thinking on the subject was very vague, although I did have a notion of unpredictability.”*

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (12)



Im Februar 1947 griff der „Star Tribune“ die Geschichte auf und veröffentlichte einen dramatisierten Artikel von John Kord Lagemann unter dem Titel „[Making Weather to Order](#)“.

Tatsächlich war „[Wetter auf Bestellung](#)“ ein alter Traum, der in der populären Presse immer wieder als eine bald zu erwartende Möglichkeit thematisiert wurde; vgl. das nebenstehende Titelbild aus dem Jahr 1954. ←

Auch im „Star“-Artikel wird die Wetterprognose vor allem als Hilfsmittel dafür beschrieben, um zu ermitteln, wo und wann in das Wettergeschehen am besten eingegriffen werden kann („explode hurricanes before they hurt us“). In zehn Jahren sei es dann so weit... Ein Auszug aus dem Artikel findet sich auf der nächsten Seite. ⇒

„Like perpetual motion, the creation of rain by artificial means has long intrigued men, both ancient and modern. Especially in the 19th and 20th centuries, it has excited the imagination of Americans.“ -- Clark C. Spence

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (13)

Dr. V. K. Zworykin, top-ranking electronic researcher for the Radio Corporation of America, Dr. John Von Neumann, of the Princeton Institute of Advanced Study, and Dr. A. F. Spilhaus, of New York University, worked on a secret weather-control program late in the war. Their joint report, just taken off the secret list, revolves about, of all things, a calculating machine! This is now under construction in RCA laboratories.

What has a calculating machine to do with the weather? To weathermen, that's like asking a doctor how an X-ray machine helps him treat broken bones, or a farmer how a better tractor can grow more corn.

New detection devices, like radar, radiosonde and controlled rockets, have put the weatherman in the position of a chess player who has to play not just one but a dozen games all at the same time. The growth of a world network of weather stations, about to be augmented with automatic radio senders in jungle, desert and icecap, has swamped the weatherman with more data than he can analyze within the time it is of any use to him.

Given all the factors involved in the weather at a certain time, the meteorologist, like the chess player, should be able to tell you exactly what is going to happen any place on the board for days and even months in advance. After all, the weather is merely a pattern of known forces interacting according to known principles.

## **“Super-calculator”: Miracle Machine**

**THE** big trouble is that no human brain can grasp the whole pattern of interacting forces — much less plot its complicated evolution rapidly enough to keep up with it.

Here's where the new “super-calculator” comes to the rescue. This, as you have probably gathered, is no ordinary

adding machine. The most complex calculator now in existence can solve problems running into 12 stages. The “super-calculator” will take problems into 400 stages!

When the various instrument sections are finally assembled, the new machine, a miracle of compactness, will fill a good-sized room. Entirely electronic in operation, it will contain about 2,000 tubes of various shapes and sizes. One of these, now being tested, resembles a half-scale glass model of the human cortex (the outer covering of the brain). This is the machine's “memory,” with a capacity of 4,000 problems, any one of which would keep a mere human brain at work for months or years.

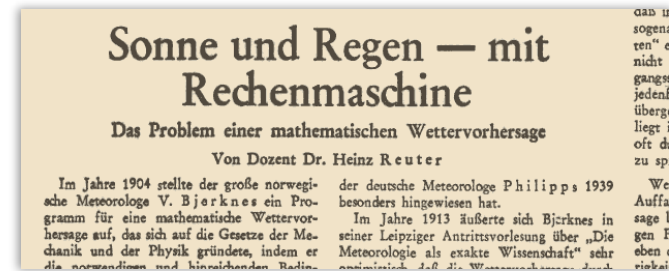
At the will of the operator, the tube recalls and applies to new equations any required combination of the “remembered” problems — at any stage of their solution. By turning a dial, the operator can drop the tube's “memories” back into a kind of electronic subconscious — or he can make the tube “forget” them entirely.

The weather waits for no man, and anybody expecting to predict and control it has to work fast. The new calculator is designed to perform a multiplication in 11 millionths of a second. A single minute will suffice for solving 100,000 separate equations. If an operator, feeding in problems on perforated tape, has made a mistake, the machine will tactfully ring a bell!

The first machine will be ready in 1948, and it's going to cost over a million dollars. Dr. Zworykin estimates the world will need a hundred of them to figure out the weather on a global basis. The saving to a single industry like farming, shipping, or aviation would repay the cost many times. Partly because of faulty warning, the 1938 hurricane cost \$500,000,000 and 500 lives.

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (14)

Im September 1949 veröffentlichte die österreichische Wochenzeitung „Die Furche“ einen Artikel „Sonne und Regen – mit Rechenmaschine“ von Heinz Reuter (1914 – 1994), dem späteren Ordinarius für theoretische Meteorologie an der Universität Wien, in dem die bis dahin erfolgten Bemühungen numerischer Wettervorhersagen zusammengefasst werden und angedeutet wird, dass es in den USA bald Versuche dazu mit „high speed electric Computers“ geben werde. Einige Auszüge:



„Im Jahre 1904 stellte der große norwegische Meteorologe V. Bjernes ein Programm für eine mathematische Wettervorhersage auf, das sich auf die Gesetze der Mechanik und der Physik gründete, indem er die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für eine solche streng mathematische Lösung des komplizierten Problems klar formulierte. Zwei Grundbedingungen enthält dieses Programm: 1. muß man mit hinreichender Genauigkeit den Zustand der Atmosphäre zu einem gewissen Zeitpunkt kennen, und 2. muß man, ebenfalls mit hinreichender Genauigkeit, die Gesetze kennen, nach denen der eine atmosphärische Zustand in den anderen übergeht.

Die erste dieser Bedingungen kann durch genügende Verfeinerung der Beobachtungsmethoden, beziehungsweise durch Vergrößerung des Beobachtungsnetzes prinzipiell erfüllt werden. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist darin ein gewaltiger Fortschritt gemacht worden. [...] Eine Unzahl von Meldestellen der ganzen Erdoberfläche, ergänzt durch Schiffsbeobachtungen, Höhenobservatorien und Radiosendestationen, gestatten heute jedenfalls für große Teile der Erdoberfläche eine weitgehende Festlegung der Anfangsbedingungen. Bleibt also die zweite Bedingung des Bjerknesschen Programms: die Kenntnis der Gesetze, nach denen sich der atmosphärische Zustand entwickelt. Nun weiß man schon seit langer Zeit, daß hierzu ein im Prinzip universelle Geltung beanspruchendes Gleichungssystem von sieben Gleichungen nach den Lehren der Physik zur Verfügung steht, das zur Bestimmung der sieben Wetterelemente: Luftdruck, Temperatur, Dichte, der drei Windkomponenten (zwei für die horizontale Windströmung, eine für die vertikale!) und der Luftfeuchte hinreicht [...].

Im Jahre 1913 äußerte sich Bjerknes in seiner Leipziger Antrittsvorlesung über „Die Meteorologie als exakte Wissenschaft“ sehr optimistisch, daß die Wettervorhersage durch die obige Formulierung ein in mathematischer Hinsicht bestimmtes Problem geworden sei, das mit Aussicht auf Erfolg in Angriff genommen werden müsse. Die Hauptschwierigkeit bestand in der Lösung des erwähnten, mathematisch sehr komplizierten Gleichungssystems. [...] Aber der Erfolg, den man sich erhofft hatte, nämlich eine berechenbare Wettervorhersage, stellte sich nicht ein. Immer wieder türmten sich neue Schwierigkeiten auf, und trotz vielen grundle-

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (15)

genden Erkenntnissen war der Fortschritt nur gering. [...] So kann es nicht wundernehmen, daß es auch an pessimistischen Stimmen nicht gefehlt hat, die der deterministischen Auffassung des Problems der Wettervorhersage eine indeterministische gegenüberstellten. Besonders klar hat diese Auffassung der deutsche Gelehrte **Wenger** ausgesprochen: ‚Alles in allem erhält man dem Eindruck, daß die atmosphärischen Vorgänge, auf denen das Wetter beruht, nichts anderes sind als Mischungsvorgänge verschieden temperierter Luftmassen und daß diese, abgesehen von den Dimensionen, ähnlich verlaufen wie andere Mischungsprozesse, das heißt, es spielen dabei **Turbulenzvorgänge** eine eminente Rolle, von denen man wieder weiß, daß sie einen **zufallsmäßigen Charakter** haben, also kleinen Ursachen große Wirkungen entsprechen können.‘

Trotzdem halten aber sehr viele Meteorologen an der deterministischen Auffassung fest. [...] Wenn wir uns also zur deterministischen Auffassung beim Problem der Wettervorhersage bekennen, dann müssen wir den geringen Fortschritt, der bisher gemacht wurde, eben den ungeheuren mathematischen Schwierigkeiten zuschreiben [...].

Aber man hat gelernt, daß auch eine **Approximation an die exakte Lösung** sehr nützlich sein kann, wenn sie nur den Erfordernissen des praktischen Lebens einigermaßen entspricht. Und so wurden neuerdings von theoretischer Seite her wieder äußerst beachtliche Versuche unternommen, mathematische Lösungen von Teilaufgaben des gesamten Fragenkomplexes zu finden. Diese neue Richtung ist eng mit dem Namen und der Schule des in den Vereinigten Staaten tätigen Gelehrten C. G. **Rossby** verknüpft. [...]

Bei dem Versuch, das Problem dieser Teilaufgabe vollständig rechnerisch zu lösen, stand man aber immer noch vor großen mathematischen Schwierigkeiten. In allerjüngster Zeit wurde diesbezüglich ein neuer Vorstoß unternommen. Der Amerikaner **Charney**, der gegenwärtig an der Princeton University for Advanced Studies tätig ist, veröffentlichte Anfang Juli eine Arbeit, die den **ersten Schritt zu einer numerischen Vorhersage** der Luftdruckänderungen in der freien Atmosphäre für den Zeitraum von 24 Stunden darstellt. Wie Charney in Aussicht stellt, dürften in naher Zukunft gewisse vorläufig noch bestehende mathematische Schwierigkeiten durch Verwendung von ‚**high speed electric Computers**‘, also durch moderne Elektronen-Rechenmaschinen überwunden werden. Es ist vielleicht noch zu früh, über diese Ergebnisse ein Urteil zu fällen, aber eines steht jedenfalls fest: Die Wissenschaft wird auf dem beschrittenen Weg weiter fortfahren und alle möglichen technischen Hilfsmittel einsetzen, um dereinst auch das Problem der mathematischen Wettervorhersage mit einer Genauigkeit zu lösen, die den praktischen Erfordernissen genügen wird.“

*Schon wenige Monate später war es so weit →*

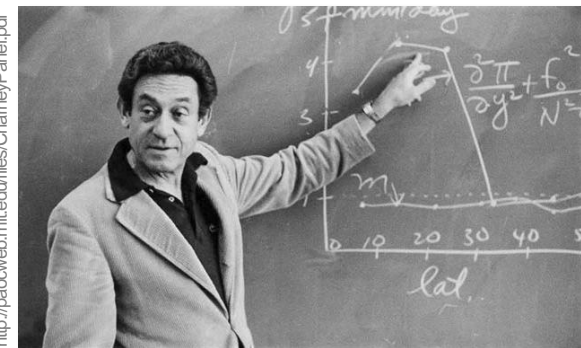


# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (16)

Es war vor allem [John von Neumann](#), der Ende der 1940er-Jahre in Princeton neuen Schwung in die numerische Wetterprognose brachte. Er kannte sowohl die Ansätze von Richardson als auch die Arbeiten aus Göttingen um Richard Courant zu den numerischen Stabilitätskriterien – letztere aus erster Hand, da er selbst 1926/1927 in Göttingen weilte. Von Neumann schätzte den Rechenbedarf für ein einfaches Prognosemodell ab und kam zum Schluss, dass dies auf dem [ENIAC](#), dem ersten elektronischen Universalcomputer, ausführbar sein sollte. Aufgrund der Arbeitsweise mit Elektronenröhren rechnete ENIAC für die damalige Zeit sehr schnell: Eine Addition brauchte 0.2 ms, eine Multiplikation ca. 2.8 ms, eine Division ca. 24 ms.

“The objective of this project is an investigation of the theory of dynamic meteorology in order to make it accessible to high-speed, electronic, digital, automatic computing...” -- John von Neumann, Mai 1946

Peter Lynch (Dublin) implementierte 2008 den Algorithmus auf einem NOKIA 6300 Mobiltelefon (~ 1 MIPS); analog zum ENIAC nannte er sein System „[Phoniac](#)“. Die Vorhersageberechnung dauerte damit < 1 Sekunde.



[Jule Charney](#) war es zu verdanken, dass, basierend auf den Arbeiten von Carl Gustav Rossby (1858-1957) das meteorologische Modell so vereinfacht werden konnte, dass es mit dem ENIAC in nützlicher Zeit berechenbar war.

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (17)



4. April 1950: Beteiligte und Besucher vor dem ENIAC anlässlich der ersten numerischen Wettervorhersage (von li. nach re.): Harry Wexler, John von Neumann, M. H. Frankel, Jerome Naimias, John Freeman, Ragnar Fjørtoft, Francis Reichelderfer, Jule Charney.

<https://maths.uco.edu/~plymch/eniac/ENIAC-group.png>

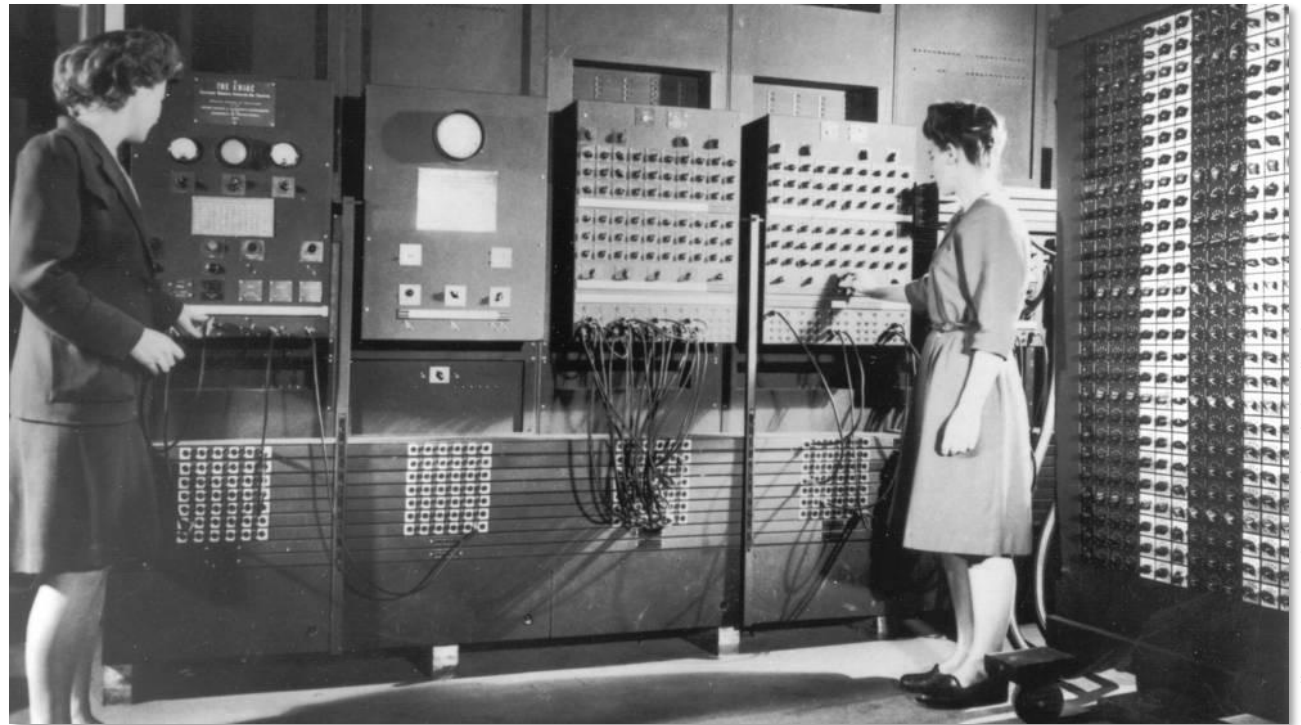
Der Meteorologe Peter Lynch schrieb im Jahr 2008 in einem Artikel “The Eniac forecasts – a recreation”: “**The venture began on 5 March 1950** when an eager band of five meteorologists arrived in Aberdeen, Maryland, to play their roles in a remarkable exploit. The five players were Jule Charney, Ragnar Fjørtoft, John Freeman, George Platzman, and Joseph Smagorinsky. **The work continued for 33 days and nights**, with only brief interruptions. There were the usual blunders familiar to programmers. The difficulties were exacerbated by the primitive machine language, the requirement to set numerous switches manually, the assignment of scale factors necessitated by the fixed-point nature of ENIAC, and the tedious and intricate card-deck operations (about 100,000 cards were punched during the month). Despite these difficulties, the expedition ended in triumph.

**Four 24-h forecasts were made**, and the results clearly indicated that the large-scale features of the midtropospheric flow could be forecast barotropically with a reasonable resemblance to reality. The computation time for a 24-h forecast was about 24 h, that is, the team could just keep pace with the weather provided ENIAC did not fail. This time included offline operations: reading, punching, and interfiling punch cards. Von Neumann estimated that it would have taken five hand-computer years to duplicate the ENIAC computations.”

# Der Weg zur numerischen Wetterprognose (18)

Die Prognoseergebnisse mit einem stark vereinfachten Atmosphärenmodell waren tatsächlich vielversprechend; 1950 veröffentlichte Von Neumann mit zwei Mitautoren die Resultate. Im Gedenken an die langwierigen manuellen Berechnungen von Richardson schreiben sie mit leicht ironischem Unterton: „It may be of interest to remark that the **computation time for a 24-hour forecast was about 24 hours**, that is, we were just able to keep pace with the weather.“ Die Autoren danken auch **Klara von Neumann**, der Ehefrau von John von Neumann, für die Mitarbeit bei der Programmierung des ENIAC-Computers; tatsächlich war sie einer der weltweit ersten Programmierer. Der Erfolg dieses Prognoseexperiments stellte

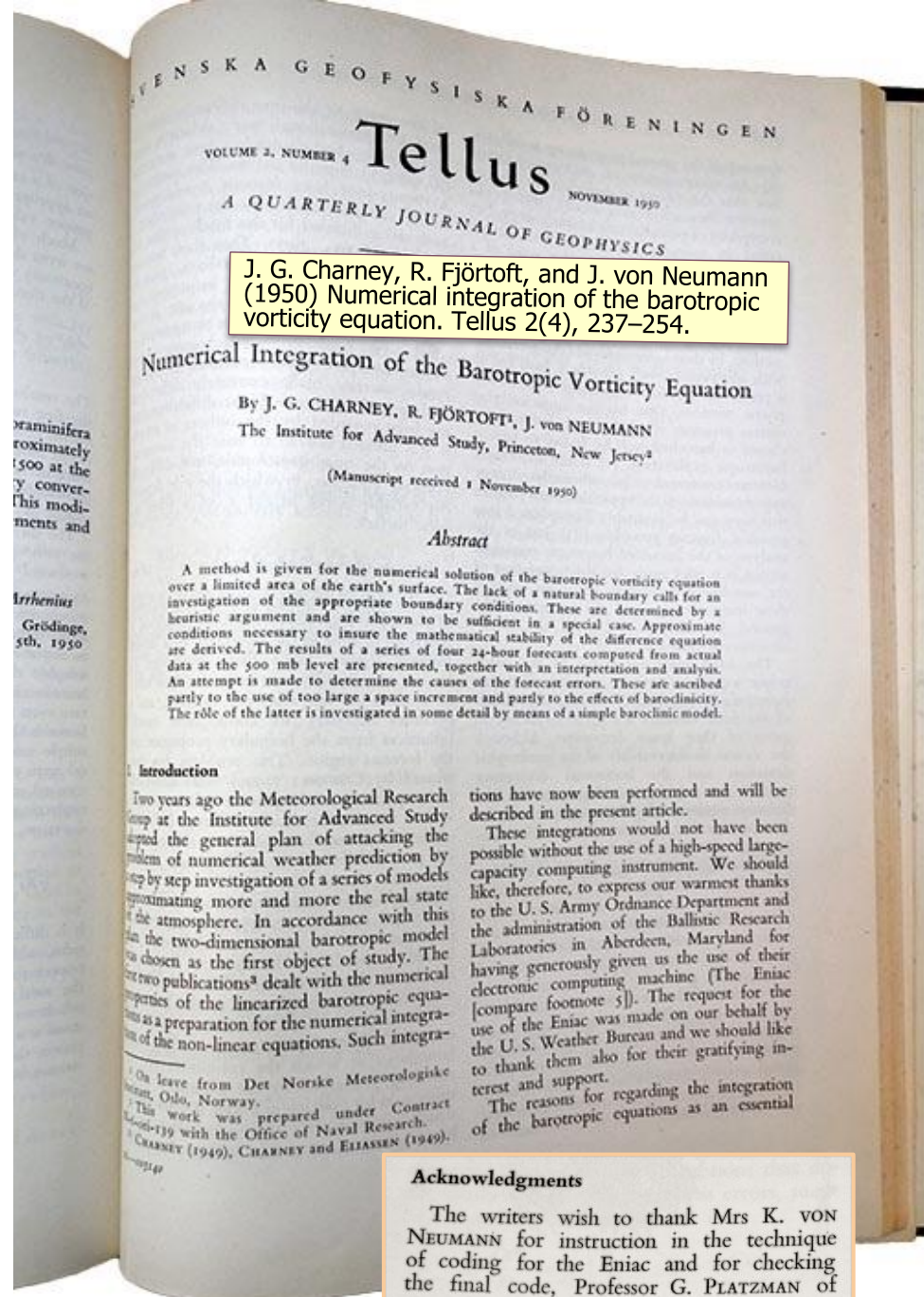
einen Durchbruch dar: In den folgenden Jahren wurde nicht nur in den USA, sondern u.a. bei meteorologischen Forschungsinstitutionen in Grossbritannien, Schweden, Deutschland und Japan an der methodischen Verbesserung der numerischen Wettervorhersage gearbeitet, so dass sie ab den 1960er-Jahren tatsächlich operativ, und gleich mit gutem Erfolg, eingesetzt werden konnte.



Operateurinnen („Technicians“) an der ENIAC-Hauptsteuertafel „arranging program settings“.

# Die erste numerische Wettervorhersage

Die ersten Rechnungen auf dem ENIAC im Jahr 1950 waren so vielversprechend, dass sie grosse Erwartungen weckten und als Initialzündung für weitere und letztendlich erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der numerischen Wetterprognose wirkten. Der Meteorologe Karl-Heinz Hinkelmann merkte allerdings kritisch an: *„Die Numerische Wettervorhersage begann also gleich mit einer Jugendsünde in Form einer bestürzenden physikalischen Vereinfachung und kennzeichnet damit ein allgemeines Dilemma und einen permanenten Konflikt: Die das Wetter ausmachende Physik ist viel zu kompliziert für die viel zu langsamen Rechenmaschinen, die für eine Tagesprognose nicht mehr als eine gute Stunde Rechenzeit verbrauchen dürfen, wenn ihre Ergebnisse noch aktuell sein sollen. Was die numerische Wettervorhersage integriert und auch nur integrieren kann, ist daher nur ein Abklatsch der realen Physik der Atmosphäre oder ein atmosphärisches Modell.“* [K.-H. Hinkelmann: Probleme der numerischen Wettervorhersage. Annalen der Meteorologie N. F. Nr. 6 (1973), 11-23]



# Das Modell zur numerischen Wettervorhersage

Das Modell bestand aus nur **16 x 19 (also 304) Gitterpunkten**, die Maschenweite für das betrachtete Gebiet betrug einige hundert Kilometer. Im Gegensatz dazu rechnet man heute oft mit einer viel feineren Maschenweite von ein bis zwei Kilometer und nutzt Modelle, die viele hundert Millionen Gitterpunkte umfassen können. Zudem nutzt man jetzt mehrere Höhenebenen und verwendet kürzere Zeitschritte. Dass mit so einem vergleichsweise primitiven Modell „**a reasonable resemblance to reality**“ erzielt wurde, ist überraschend. (Beim nebenstehenden Bild wurde gegenüber dem Original aus dem Artikel von 1950 die Landmasse farblich getönt, um die geographischen Strukturen zu verdeutlichen.)

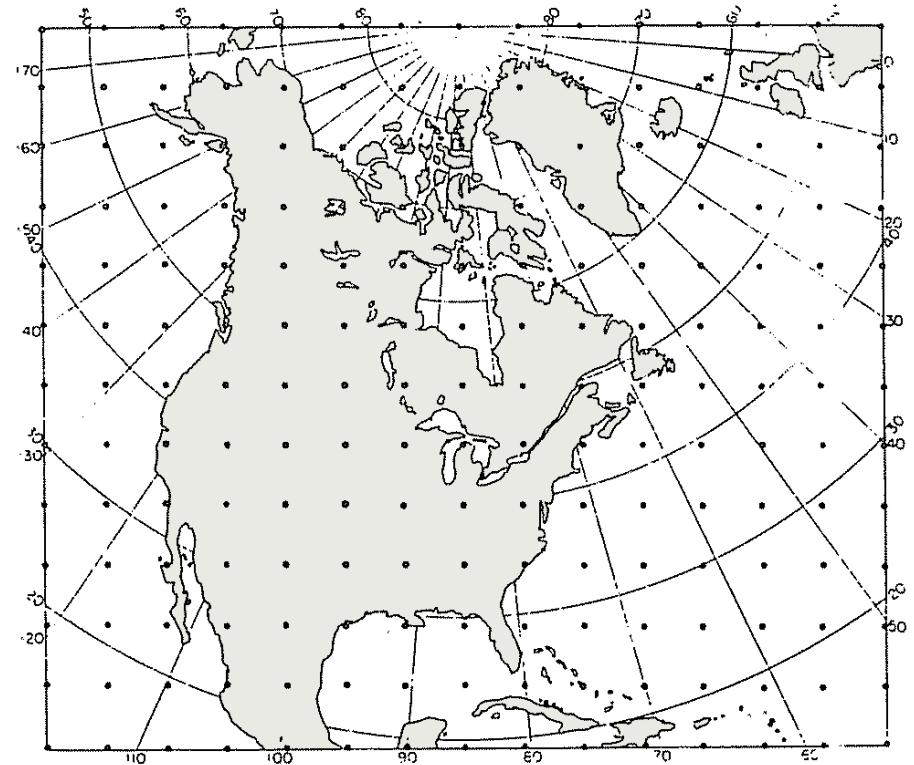


Fig. 1. A typical finite-difference grid used in the computations. A strip two grid intervals in width at the top and side borders and one grid interval in width at the lower border is not shown.

# John von Neumann über seine numerische Wettervorhersage

Die Atmosphäre ist ja schliesslich und endlich eine Flüssigkeit, und man kann ausrechnen, was sie tun wird. -- John von Neumann

1954 hält John von Neumann einen Vortrag „Entwicklung und Ausnutzung neuerer mathematischer Maschinen“ in Düsseldorf. (Einen zweiten Vortrag auf dieser Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen hält ETH-Professor Eduard Stiefel; er spricht über die Zürcher Erfahrungen mit der Z4). Neumann kommt dabei auch auf seine numerische Wetterprognose mit dem ENIAC, die „**rechnerische Behandlung der dynamischen Meteorologie**“ zu sprechen:

„Es handelt sich hierbei um das Verstehen der Hauptzüge der atmosphärischen Zirkulationen im Großen, des Wetters im Kleinen und somit der klimatischen Verhältnisse im Allgemeinen. Die erste Stufe [...] ist die Ausarbeitung von mehr oder weniger vereinfachten hydrodynamischen Modellen der Atmosphäre, deren Gültigkeit dadurch zu beweisen ist, daß mit ihrer Hilfe kurzfristige Wettervoraussagen für beschränkte Gebiete möglich sind. Aus diesem Grunde haben wir 24- und 48stündige Voraussagen des hydrodynamischen Zustandes der Atmosphäre für die Vereinigten Staaten und die angrenzenden Gebiete durchgeführt. Übrigens waren diese Bemühungen recht erfolgreich, so daß der Wetterdienst der Vereinigten Staaten zusammen mit der Marine und der Luftwaffe auf Grund unserer Methoden einen dauernden rechnerischen Wettervoraussagedienst einrichtet. Dieser wird wohl im Laufe des nächsten Jahres mit einer großen, vollautomatischen Schnellrechenmaschine (vom Typ ‚701‘ der International Business Machine Corporation) regelmäßig funktionieren. [...] können die Differentialgleichungen dann für irgendwelche ausgedehnte, in Bezug auf meteorologische Phänomene in allen Höhenlagen und jederzeit wohlbeobachtete Teile der Erdoberfläche angesetzt werden.“

# John von Neumann über seine numerische Wettervorhersage (2)

Wir haben Rechnungen für die Vereinigten Staaten mit einer Ränderung von etwa 1000 km angestellt. Die ‚geographische Auflösung‘, die die heute verfügbare Beobachtungsdichte rechtfertigt, ist etwa 300 km. Somit haben wir etwa 300 km x 300 km Quadrate als Elementargebiete und darum im Bereich der Untersuchung ungefähr 20 x 20 solcher Elementargebiete. Es kommt nun noch darauf an, in wie viele Höhenlagen man die Atmosphäre vertikal ‚auflöst‘. [...] Die 1-Lagen-Rechnung erfordert etwa 200000 Multiplikationen. Unsere Rechenmaschine hat eine Multiplikationszeit von etwa 1/2 Millisekunde und wir können in der Regel eine Multiplikationsdichte von etwa 25% erzielen, d.h. de facto 500 Multiplikationen pro Sekunde ausführen. Dementsprechend dauerte bei uns eine 1-Lagen-Rechnung 6 Minuten. Eine 3-Lagen-Rechnung ist etwa 8mal umfangreicher und dauert 50 Minuten. [...]

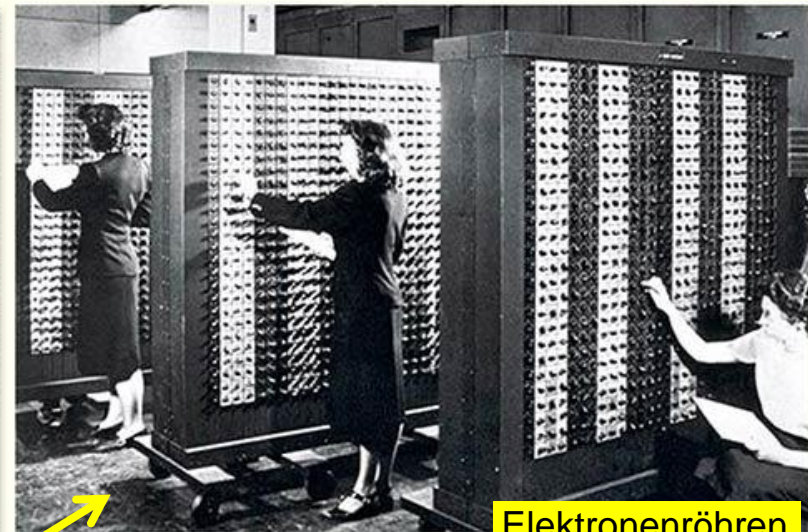
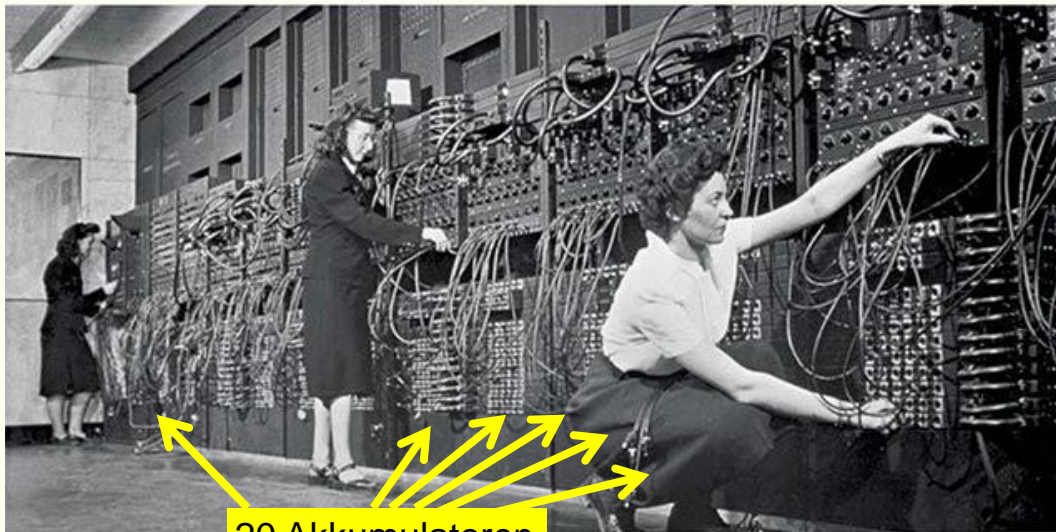
Übrigens werden gegenwärtig die Radiosondenbeobachtungen von Menschen abgelesen, durchtelegraphiert und bei der Rechanlage wieder von Menschen in Lochkarten gestanzt. Auch diese Zeitverluste sind behebbar. Die elektrischen Radiosondenmeldungen sollten automatisch in einen Morse-Code übertragen werden, dieser automatisch von jeder Beobachtungsstation zur zentralen Rechenstelle durchtelegraphiert werden und dort automatisch (über den Weg von Lochkarten oder auch direkt) in die Maschine gefüttert werden.“

**ENIAC:** Ca. 18000 Elektronenröhren, 27 t, 174 kW, U-förmiger Aufbau auf 10 m × 17 m; als Speicher fungierten Lochkarten, zusammen mit Lochkartenlese- und -stanzgeräten.



# ENIAC (ab 1945)

A mathematician must set up the equation, because the machine only does what it is told. He figures out just how each cable will be connected and to what panel. Someone else then can set the dials and do the actual connecting. – Allen Rose

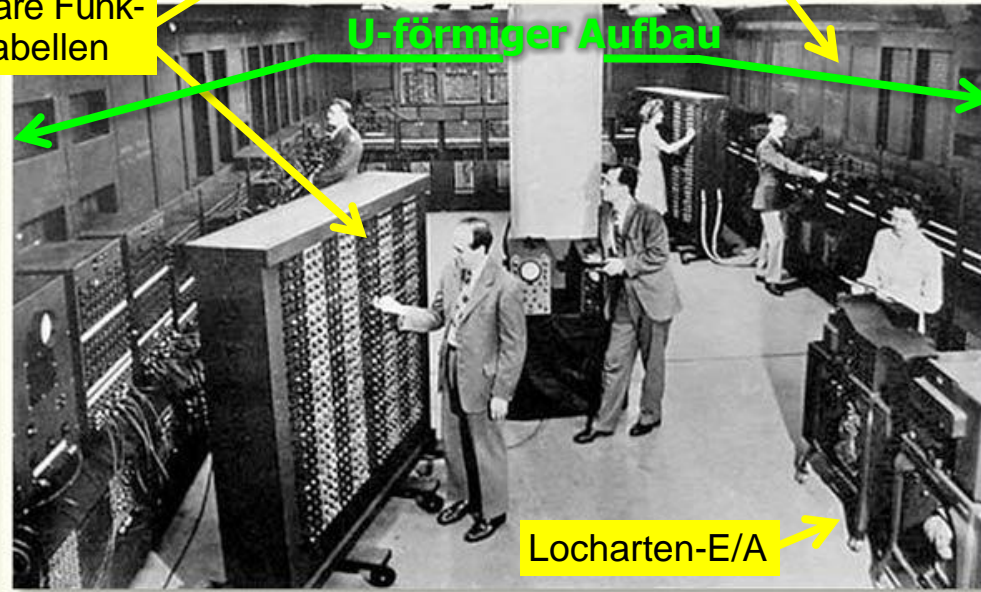
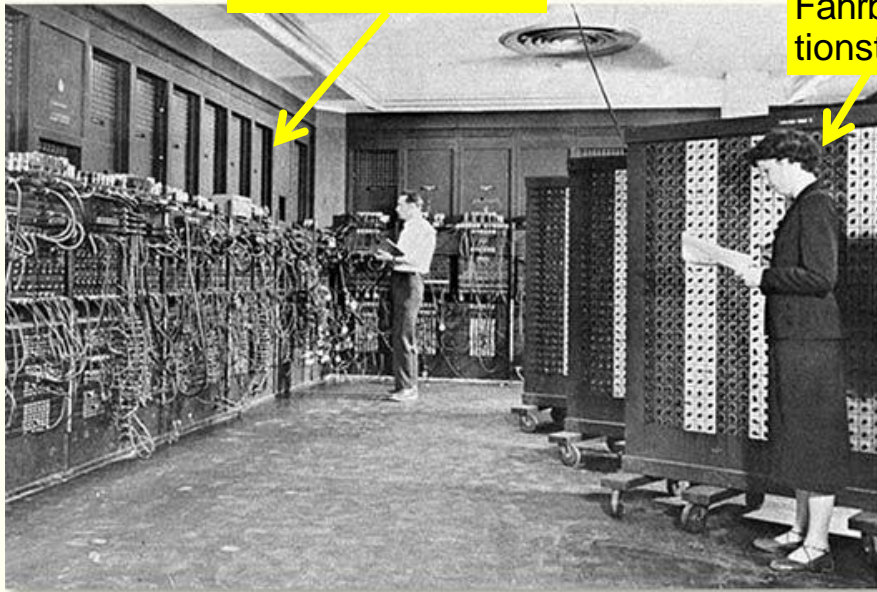


20 Akkumulatoren

Fahrbare Funktionstabellen

Elektronenröhren

U-förmiger Aufbau

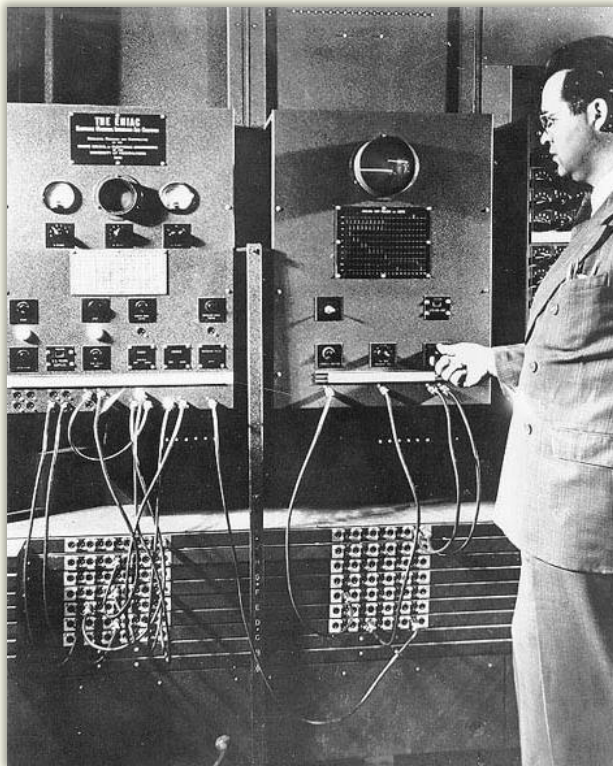


Locharten-E/A

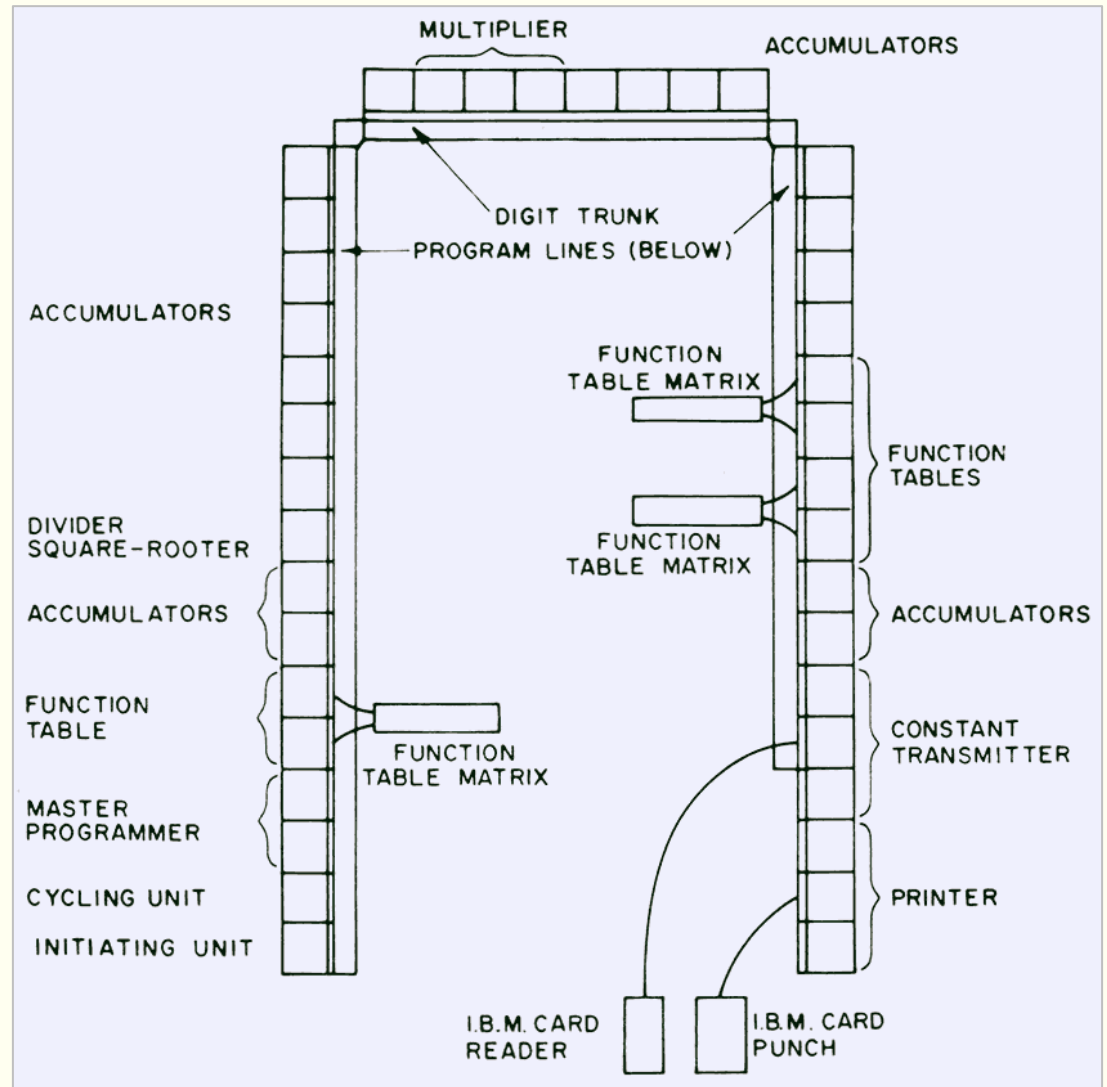


# ENIAC (2)

„ENIAC war kein Einzelgerät, sondern ein Raum mit 40 miteinander verkabelten Elektronikgestellen, drei Rollschränken mit Drehschaltern sowie Apparaten zum Einlesen und Ausgeben von Lochkarten.“ -- <https://blog.hnf.de>



Initiating Unit (links) sowie Cycling Unit (rechts).



Der U-förmige Aufbau der einzelnen ENIAC-Komponenten.

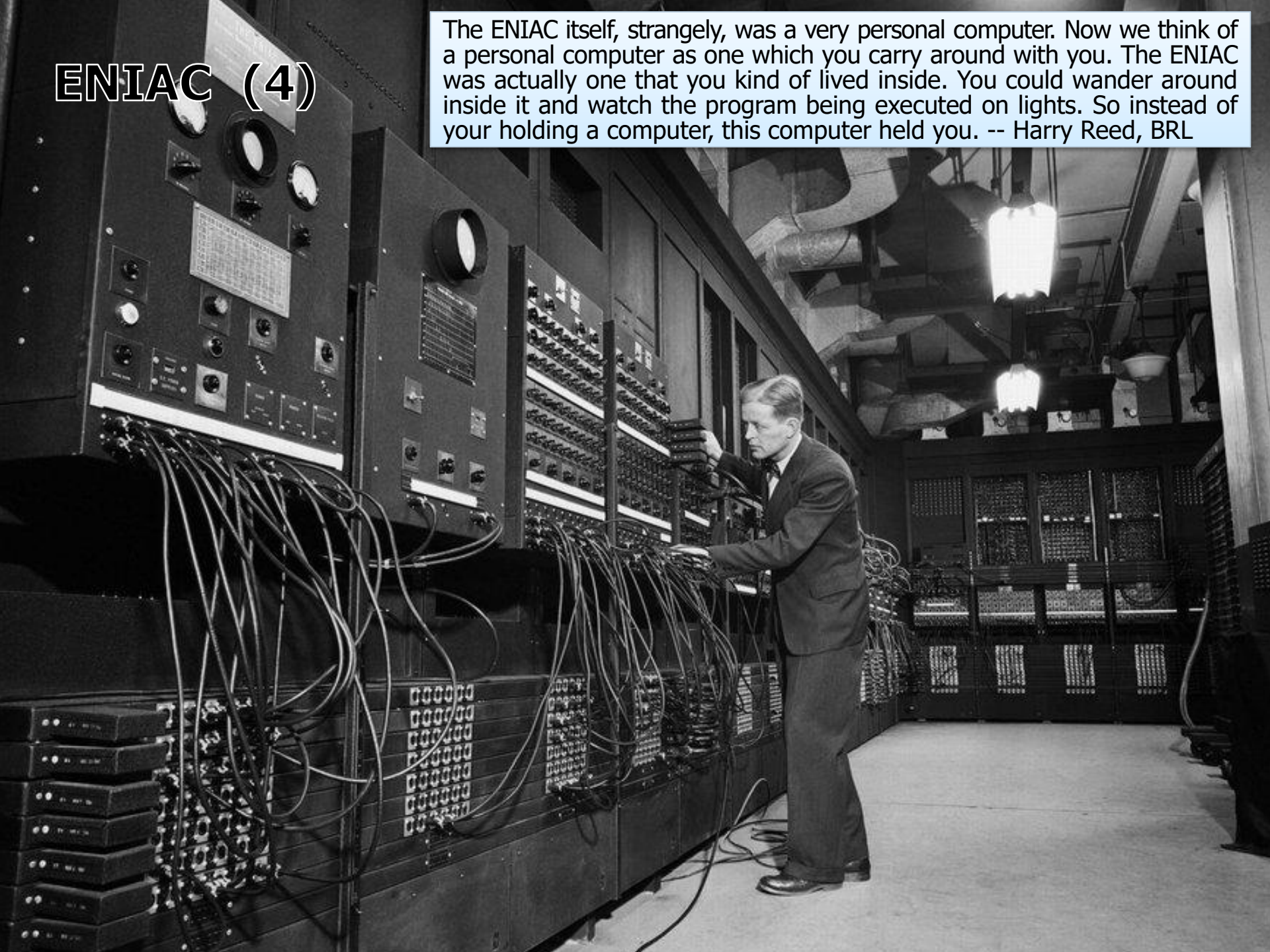
# ENIAC (3)



Eines der bekanntesten Bilder des ENIAC stammt vom künstlerisch veranlagten Industriefotografen William Rittase (1894-1968) aus Philadelphia, der am Maryland Art Institute studierte, aber dann 10 Jahre lang als Ingenieur tätig war. Seine Schwarz-Weiss-Aufnahmen sind faszinierend; das ENIAC-Bild wurde erstmalig von der New York Times am 15. Februar 1946 zusammen mit dem ersten Artikel über ENIAC veröffentlicht.

# ENIAC (4)

The ENIAC itself, strangely, was a very personal computer. Now we think of a personal computer as one which you carry around with you. The ENIAC was actually one that you kind of lived inside. You could wander around inside it and watch the program being executed on lights. So instead of your holding a computer, this computer held you. -- Harry Reed, BRL



# ENIAC (5)

**Auszug aus: "Giant Brains or Machines That Think"  
von Edmund C. Berkeley, 1949:**

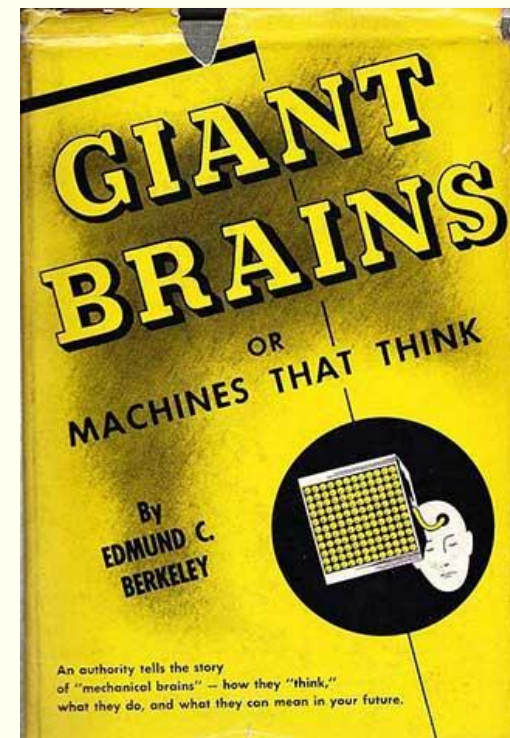
The main part of Eniac consists of **42 panels**, which are placed along the sides of a square U. Each of these panels is 9 feet high, 2 feet wide, and 1 foot thick. They are of sheet steel, painted black, with switches, lights, etc., mounted on them. Each panel is an assembly of some equipment: Initiating Unit, Cycling Unit, Master Programmer, Accumulator 1 - 20, Multiplier, Function Table 1 - 3, Constant Transmitter,...

There are over **18,800 electronic tubes** in the machine. Actually, an accumulator needs 550 electronic tubes. Large motors and fans above the machine suck the heated air away through the ducts. There are also 5 pieces of equipment which can be rolled from place to place and are called portable.

There are three ways by which information – numbers or instructions – can go into the Eniac. Numbers can be put **into the machine** by means of punch cards fed into the Card Reader, or switches on the Constant Transmitter. Numbers or instructions can also go into the machine by means of the Function Tables. Here there are dial switches, which are set by hand.

There are two ways by which numerical information can **come out of the machine**. Numbers can come out of the machine punched on cards by the Summary Punch. They are then printed in another room by means of a separate IBM tabulator. Also, in order to show what

The designers of the ENIAC speak of it as a "digital" or "discrete variable" computing machine, as opposed to the "continuous variable" type of machine, of which the differential analyzer is an outstanding example.



# ENIAC (6)

Recently there have been a good deal of news about strange giant machines that can handle information with vast speed and skill....These machines are similar to what a brain would be if it were made of hardware and wire instead of flesh and nerves... A machine can handle information; it can calculate, conclude, and choose; it can perform reasonable operations with information. [A machine, therefore, can think.](#) -- Edmund Berkeley in *Giant Brains or Machines That Think*.

number is stored in an accumulator, there are 100 little neon bulbs mounted on the face of each accumulator panel. Each bulb glows when the flip-flop that belongs to it is on.

Eniac has three [Function Tables](#). Here you can store numbers or instructions for the machine to refer to. Each Function Table has 104 arguments. For each argument, you can store 12 digits. To put in the numbers or instructions, you have to go over to these panels and set the numbers or instructions, digit by digit, turning dial switches by hand. It is slow and hard to do this right, but once it is done, Eniac can refer to any number or instruction in any table in 1/1000 of a second.

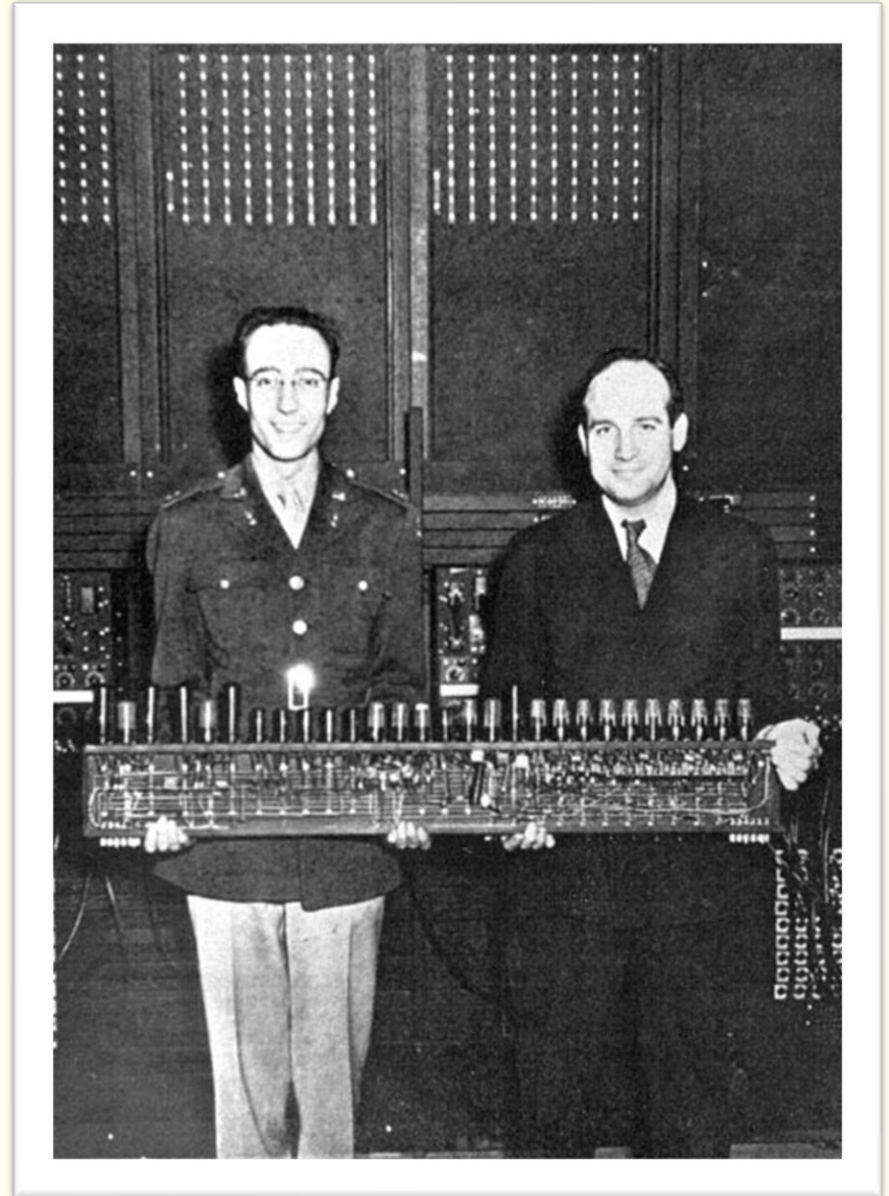
In general, there are [two different ways to instruct Eniac to do a problem](#). One way is to set all the switches, plug all the connections, etc., for the specific problem. This is a long and hard task. Very often, even with great care, it is done not quite correctly, and then the settings must be carefully checked all over again. A second method (called the [von Neumann programming method](#)) is to store all the instructions for a problem in one or two function tables of Eniac and then tell Eniac to read the function tables in sequence and to do what they say. The rest of the machine is then wired up in a standard fashion. This method of instructing Eniac was proposed by Dr. John von Neumann of the Institute of Advanced Study at Princeton. Eniac has been modified to the slight extent needed so that this method can be used when desired. In this method, each instruction is a selected one of [60 different standard instructions](#) or orders – one of them, for example, being “multiplication.” Each standard order is expressed by 2 decimal digits. The 60 standard orders are sufficient so that Eniac can do any mathematical problem that does not overstrain its capacity. Since each of the 3 Function Tables can hold 600 2-digit instructions, the machine can hold a program of 1800 instructions under the von Neumann programming method. □

# ENIAC (7)

“Actually the ENIAC was always advertised as operating at 100 kHz. But we found that if you turned it up much above 70 kHz, you were headed for trouble. In fact, we only ran it at 100 kHz early in the week to see if everything was working all right, because it would develop more errors if we kept operating it that way. We’d sit and turn the clock down a little bit, and things worked a lot better. Pretty finicky machine. You think about it, you used to have television sets with a dozen vacuum tubes, and keeping them running for a couple of months was a sensation. The fact that you had 18,000 of these cantankerous things in the machine was a monument to engineering persistence.”

-- Harry Reed, former ENIAC team member and BRL Division Chief.

*Herman Goldstine (links) und J. Presper Eckert (rechts) halten die Elektronik, die benötigt wird, um eine einzige Ziffer zu speichern.*



# ENIAC (8)

Vier verschiedene **Pressemitteilungen** wurden zusammen mit der Vorstellung des ENIAC Mitte Februar 1946 verfasst; hier Auszüge aus einer davon:

Mit einer Schreibmaschine (oder bestenfalls einem durch Lochstreifen gesteuertem «Flexowriter») – denn schliesslich waren PC, Laserdrucker und E-Mail noch nicht erfunden!

WAR DEPARTMENT  
Bureau of Public Relations  
PRESS BRANCH  
Tel. - RE 6700  
Brs. 3425 and 4860

FUTURE

RELEASE

FOR RELEASE SATURDAY A.M. , FEBRUARY 16, 1946

For Radio Broadcast after  
7:00 P.M. , EST, February 15, 1946

ORDNANCE DEPARTMENT DEVELOPS  
ALL-ELECTRONIC CALCULATING MACHINE

A new machine that is expected to revolutionize the mathematics of engineering and change many of our industrial design methods was announced today by the War Department.

Designed and constructed for the Ordnance Department at the Moore School of Electrical Engineering of the University of Pennsylvania by a pioneering group of Moore School experts, this machine is the first all-electronic general purpose computer ever developed. It is capable of solving many technical and scientific problems so complex and difficult that all previous methods of solution were considered impractical.

The ENIAC is capable of computing 1000 times faster than the most advanced general-purpose calculating machine previously built. The electronic methods of computing used in the ENIAC make it possible to solve in hours problems which would take years on a mechanical machine--a time so long as to make such work impractical.

Containing close to 18,000 vacuum tubes in its mechanism, the new machine is a giant of electronic precision. It occupies a room 30 by 50 feet and weighs 30 tons.

# ENIAC (9)

Although the machine was originally developed to compute lengthy and complicated firing and bombing tables for vital ordnance equipment, it will solve equally complex peacetime problems such as nuclear physics, aerodynamics and scientific weather prediction.

The designers of the ENIAC speak of it as a "digital" or "discrete variable" computing machine, as opposed to the "continuous variable" type of machine, of which the differential analyzer is an outstanding example. The latter are devices that can handle only a restricted class of problems. But it was the experience of the sponsors of the ENIAC that modern physical problems could no longer be handled adequately by existing types of calculators.

Sponsors of the ENIAC point out that it can carry out numerous "logical" operations but that it cannot do creative thinking. The mathematician, physicist or engineer is still needed--in fact, more than ever, to analyze the problem mathematically and set up the sequence of operations in the machine. It is expected, moreover, that machines of this type will bring a greater "mathematics consciousness" to engineering and production.

A very successful place for the new machine is expected in the science of weather forecasting. Army and Navy officials are most interested in this application. Instead of makeshift techniques, the machine would make possible the scientific analysis of the large mass of meteorological data that has been collected over the years. Not only would long-range accurate weather predictions be made possible, but weather in any spot in a given area could be determined almost instantaneously, when the "boundary data" are known.

Bemerkenswerte Phrasen aus dieser Pressemitteilung:

“Expected to revolutionize the **mathematics of engineering**”; “first **all-electronic** general purpose computer ever”; “computing 1000 times faster”.

Anwendungen werden primär im **wissenschaftlichen Rechnen** gesehen: “problems such as nuclear physics, aerodynamics and scientific weather prediction”.

Vor allem aber sei ENIAC **keine Denkmaschine**: “it can carry out numerous ‘logical’ operations but that it cannot do creative thinking”.

Schliesslich wird hier der Begriff des **Digitalcomputers** verwendet und durch „**Variablen mit diskretem Wertebereich**“ erläutert: “a ‘digital’ or ‘discrete variable’ computing machine, as opposed to the ‘continuous variable’ type of machine”.



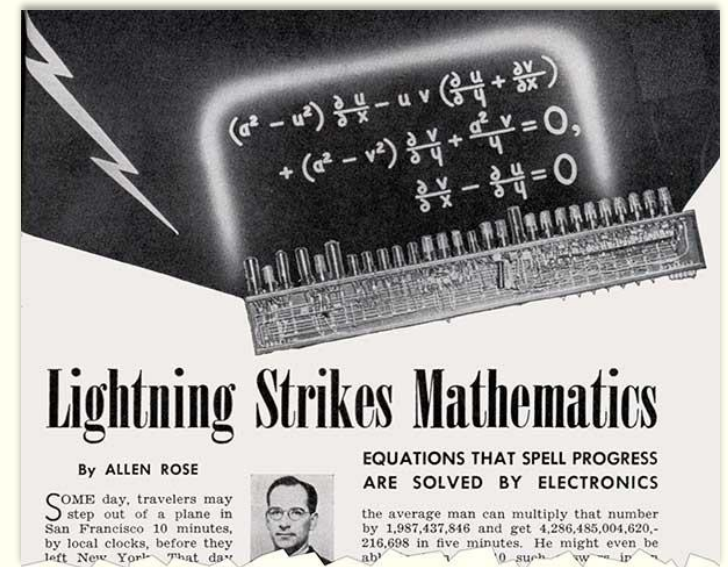
# ENIAC (10)

Wir zitieren noch einige Passagen aus den anderen drei Pressemitteilungen:

This machine is the most intricate and complex electronic device in the world, requiring for its operation **18,000 electronic tubes**. Some idea of the machine's complexity can be gained when it is compared with an average radio, which has ten tubes, the largest radar set having 400 tubes and the B-29 bomber with less than 800 tubes. Included in its circuits are 500,000 soldered joints, 70,000 resistors, and 10,000 capacitors.

The ENIAC consumes **150 kilowatts**. This power is supplied by a three-phase regulated, 240-volt, 60-cycle power line. The power consumption may be broken up as follows: 80 kilowatts for heating the tubes, 45 kilowatts for generating d.c. voltages, 20 kilowatts for driving the ventilator blower and 5 kilowatts for the auxiliary card machines.

The **general method of handling a problem with this machine** is as follows: First, the scientist must analyze his problem so that he can write down mathematical equations that express the phenomena involved. Second, he must break down the mathematical formulation into a sequence of additions,



## Lightning Strikes Mathematics

By ALLEN ROSE

SOME day, travelers may step out of a plane in San Francisco 10 minutes, by local clocks, before they left New York. That day



EQUATIONS THAT SPELL PROGRESS ARE SOLVED BY ELECTRONICS

the average man can multiply that number by 1,987,437,846 and get 4,286,485,004,620,216,698 in five minutes. He might even be able to solve such a problem in

*Popular Science, April 1946, pp. 83-86*

*"Nothing that man has ever built has been possible without the use of numbers. The Eniac, or even better machines that can now be built with this one as a basis, points the way to a faster and more economical way of handling numbers. It promises cheaper air travel, better radios, and more efficient motors."*



# ENIAC (11)

subtractions, multiplications, divisions, square rootings and transfers from unit to unit of the ENIAC so that the ENIAC can be instructed to make the computations. Finally, a small amount of time is required in preparing the ENIAC for a problem by such steps as setting program switches, putting numbers into the function table memory by setting its switches, and establishing connections between units of the ENIAC for the communication of programming and numerical information.

It took an atomic bomb to make the average man conscious of how far the physical sciences have advanced. No longer is [the physicist thought of as a longhaired, wild-eyed, impractical dreamer](#), whose work is of no immediate value. With the release of atomic energy, the public became conscious of the physicist's role in society, realizing, for instance, that most large commercial engineering organizations constantly encounter problems requiring the services of competent physicists. It is hoped that the announcement of the [ENIAC will bring the same recognition for the mathematician](#).



*Verkaufsbroschüre für UNIVAC-Rechner, ca. 1947: Die beiden Hauptentwickler des ENIAC, [J. Presper Eckert](#) (1919-1995) und [John Mauchly](#) (1907-1980) gründeten 1946 eine Firma, um erste Computer zu kommerzialisieren. Der Univac I war nach der Zuse Z4 und dem britischen Ferranti Mark I weltweit der dritte kommerzielle Computer. EDVAC war der ENIAC-Nachfolger beim amerikanischen Militär.*

# ENIAC (12)

„Ob die Menschen jetzt wohl überflüssig werden? Das gigantische Elektronengehirn habe zu denken begonnen. Mit Röhren wie in jedem Radio. Der welt-erste Elektronenrechner könne meterlange Zahlenkolonnen in der Sekunde ad-dieren. Gerade denke er über mathematische Probleme der Armee nach. Aber eines Tages womöglich auch über unsere Steuererklärung.“ -- Wochenschau (D)

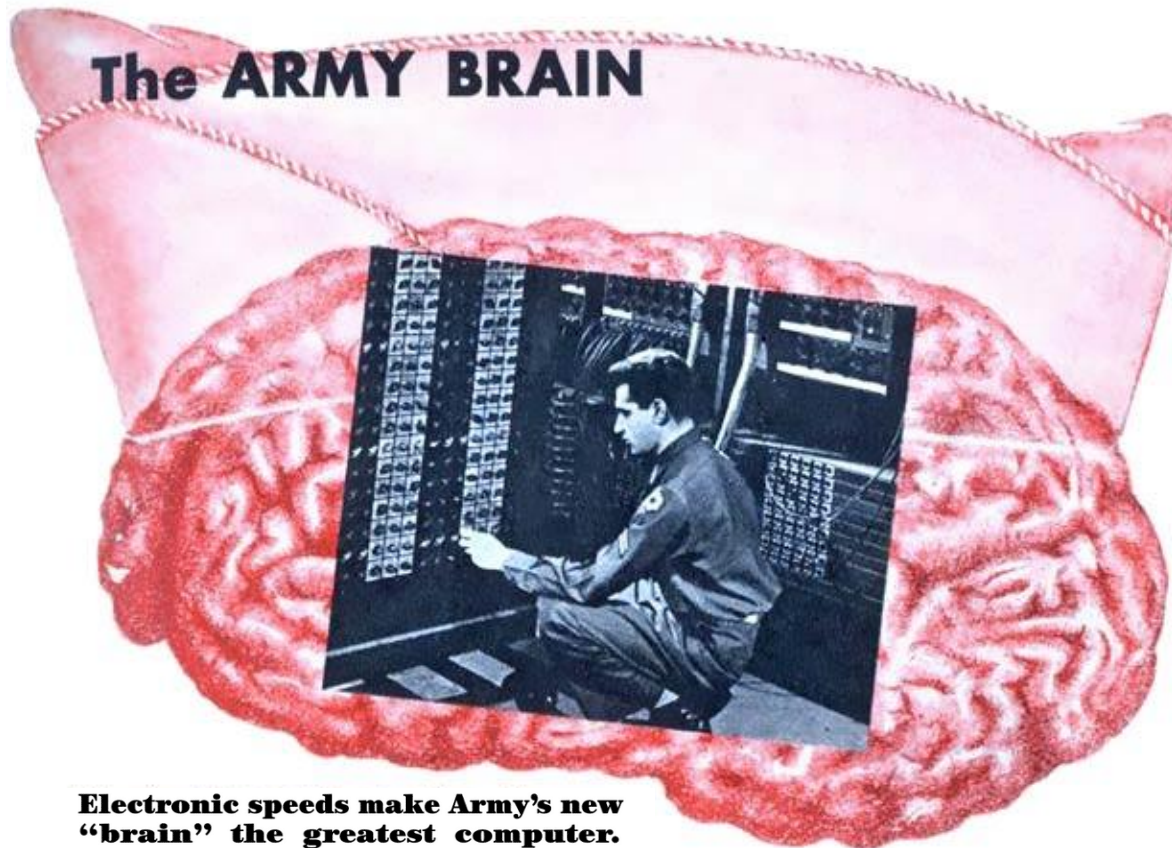


In der Presse wurden Computer seinerzeit noch oft als „**giant brains**“ bezeichnet; ENIAC war der erste (und damals einzige) „elektronische“ Computer. (Colossus und die Atanasoff-Berry-Maschine werden hier nicht mitgerechnet, da sie nicht frei programmierbar sind.)

← Die New York Times vom 13. Dezember 1947 kündigt bereits den Um-  
bau des ENIAC zu einer von Neumann-Maschine mit Speicherprogramm an: „**BRAIN SPEEDED UP**“.

# „Electronic Brain is Unveiled“

Am 14. Februar 1946 stellte die Moore School of Engineering ENIAC der Presse vor. Die Medien der USA, aber auch Europas, berichteten darüber in fast enthusiastischer Weise; es war ja auch das erste Mal, dass die Öffentlichkeit etwas von grossen, automatischen Rechenautomaten und ihrem Nutzen erfuhr. Fette Schlagzeilen bezeichneten ENIAC als „brain“ bzw. „Elektronengehirn“; in der Juni-Ausgabe von *Mechanix Illustrated* wurde ENIAC sogar vor dem Hintergrund eines menschlichen Gehirns dargestellt:



**Electronic speeds make Army's new "brain" the greatest computer.**

“The main part of the demonstration was the trajectory. For this we chose a trajectory of a shell that took 30 seconds to go from the gun to its target. Remember that girls could compute this in three days, and the differential analyzer could do it in 30 minutes. The ENIAC calculated this 30-second trajectory in just 20 seconds, faster than the shell itself could fly.” [Arthur Burks: Who Invented the General-Purpose Electronic Computer?, 1974]

# „Electronic Brain is Unveiled“ (2)

## *Electronic 'Brain' Computes 100-Year Problem in 2 Hours*

PHILADELPHIA, Feb. 14.—An electronic calculating machine that can put two and two together, and keep doing it at the rate of 5,000 additions a second, was revealed today at the Moore School of Electrical Engineering of the University of Pennsylvania.

Known as the Electronic Numerical Integrator and Computer—Eniac for short—the new machine is 1,000 times faster than “Big Joel,” Harvard University’s wonder calculator.

Problems that would fill a full page of a newspaper can be done on the machine in a half second. In a full second, the machine can take 360 numbers, each of them with ten digits, and multiply them together, delivering the answer on a punched card. It divides almost as quickly, extracts square roots with ridiculous ease, and can toss off, in two hours of operating time, complex problems that would take human computers 100 years.

The secret of Eniac—pronounced en’-ee-ak—lies in the word electronic. Previous calculating machines, such as the one at Harvard

or the minor league affairs in a business office, reach their results by the insane involutions of shafts, wheels and gears.

In place of these mechanical contrivances, Eniac has vacuum tubes—18,000 of them. When the machine is in operation, a pulse generator sends electric pulses surging through the proper tubes. It is these pulses which are added or subtracted at the rate of 5,000 operations a second.

To feed the machine a problem is punched into a card. When this card is placed on the machine, it goes into action. One bank of vacuum tubes will set the problem into operation, while another bank holds its own contribution until the progress of the problem calls for it. Altogether, these banks of tubes fill three sides of a room fifty by thirty feet; with their subordinate parts they weigh thirty tons.

The problem is carried to its completion just as it would be on a business-type calculator. Then, when it is finished, the result ap-

pears once more in the form of a punched card, which can be readily decoded.

In solving any problem, most of the time is occupied with preparing the machine to receive it. Thus, its first job was to complete a complex calculation in nuclear physics. Two weeks were passed in setting up the problem; two hours in putting it through the machine. Done manually, it would have taken a trained computer 100 years of steady work.

Eniac differs from the differential analyzer at the Massachusetts Institute of Technology, revealed last November, in that it is a calculating machine rather than an analyzer. The M. I. T. machine solves problems in an entirely different fashion.

Where Eniac actually does addition, subtraction and multiplication, the M. I. T. machine calculates the course of a projectile, for example, by setting up a mechanical system that mirrors the conditions affecting a projectile in flight, then measuring changes in the system as it proceeds.

Because Eniac is all-electronic it is considerably faster. It can also handle problems beyond the scope of the M. I. T. machine.

The machine was developed by Dr. J. W. Mauchly, a meteorologist turned electrical engineer, and J. Presper Eckert jr., both of the Moore School. The study of air masses and other problems in meteorology is one demanding extremely complex computations, and Dr. Mauchly was quickly led from that subject into an interest in computing machines.

Soon after the war began the Army’s Ballistics Section was in need of fast computers for determining ordnance characteristics. The machine was designed and completed under an Army grant at a cost of \$400,000.

Its peace-time uses would be many. In any research involving large numbers—engineering stresses and strains, nuclear energy research and engineering, meteorology, electronics—it would be a tremendous timesaver.

*New York Herald Tribune, Feb. 15, 1946*

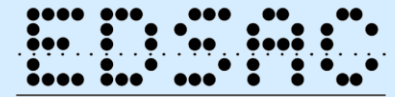
# „Electronic Brain is Unveiled“ (3)

Headlines Feb. 15, 1946:

- “Army’s New **Wonder Brain** and Its Inventors.” *Philadelphia Inquirer*.
- “**Mathematical Brain** Enlarges Man’s Horizon.” *Philadelphia Inquirer*.
- “Mechanical Mathematician ‘**Brain Child**’ of Hopkins Man.” *The Baltimore Sun*.
- “**Magic Brain** Spurs Science and Technology.” *New York World-Telegram*.
- “**Electronic ‘Brain’** Computes 100-Year Problem in 2 Hours.” *New York Herald Tribune*.
- “New 30-Ton **Electronic ‘Brain’** is Unveiled; Is World’s Fastest Calculating Machine: Tubes Speed Up Laundryman’s Abacus Principle.” *The Evening Bulletin* (Providence).
- “Fastest **Mechanical Brain** Disclosed; Weighs 30 Tons: Giant Calculating Machine Said to Work 1,000 Times Faster Than Any Previously Built.” *Chicago Sun*.
- “Computing **Super-Brain** Aids Army.” *Newark Star Ledger*.

“Attempts were made by the press to correct misconceptions about the new computing devices. For example, in April of 1946 it was stated in the *Washington News* that *Electronic Super-Brain Has One Limitation... these electronic ‘super-brains’ are, of course, unable to do any actual thinking*. For the most part, however, the anthropomorphic references in headlines shaped the ‘awesome **thinking machine**’ view of computers for years to come.” [Dianne Martin: ENIAC: press conference that shook the world. *IEEE Techn. & Soc. Mag.*, 14(4), 3-10, 1995]

# „Electronic Brain is Unveiled“ (4)

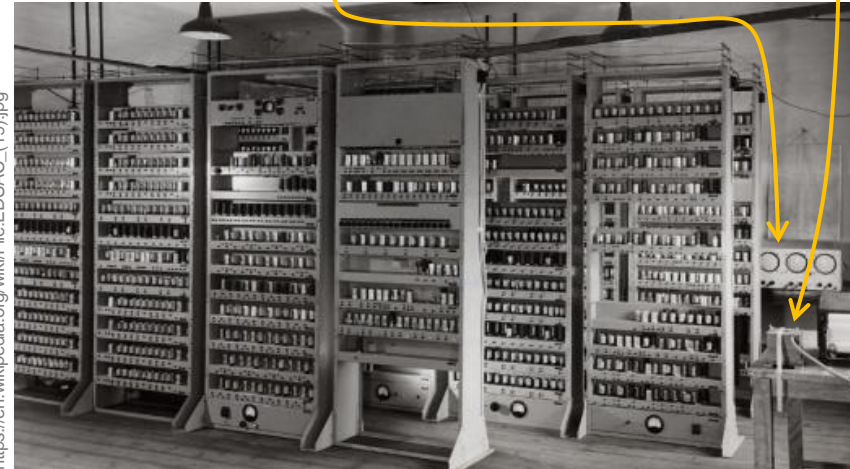


Zwar in Anführungszeichen, aber auch die Londoner Zeitung „The Star“ schrieb bei dem von Maurice Wilkes (1913 – 2010) gebauten britischen **EDSAC-Computer** (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) vom „mechanischen Gehirn“. Dieser nutzte als einer der ersten gespeicherte Programme (entsprechend der Von-Neumann-Architektur) und wurde anlässlich der „Conference on High-Speed Automatic Calculating Machines“ im **Juni 1949** an der Cambridge University der Öffentlichkeit mit der Berechnung von Quadratzahlen (von null bis 99 in zwei-einhalb Minuten) und Primzahlen vorgestellt.

“On the top floor of a rather drab building in a narrow Cambridge back street is an apparatus which seems to consist chiefly of a vast number of valves set in grey painted racks. [...] This weird array of wires and valves is a ‘**mechanical brain**.’ It has just been completed and it is the **most advanced in the world**. It is probably the major scientific marvel of 1949 and although until now we have lagged behind America in mechanical brains this one puts us streets ahead. [...]

**This is how it works.** First Mr Wilkes fed a strip of paper punched with holes into a ‘ticker-tape’ machine. As the paper ticked through [...] miniature television screens showed a row of green blobs [...] Then almost instantaneously a teleprinter nearby began to print rows of figures. That was all. There were no dramatic sparks, **no dramatic flashes**.

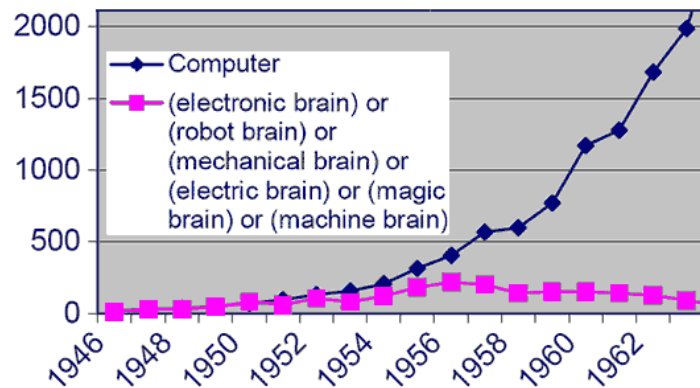
[...] There are not enough ‘brains’ to go around at the moment, but a dozen would probably be sufficient for the whole country. [...] The future? **The ‘brain’ may one day** come down to our level and **help with our income-tax** and book-keeping calculations. But this is speculation and there is no sign of it so far.” [The Star, June 1949, zitiert nach [www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/Software/EdsacTG.pdf](http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/Software/EdsacTG.pdf)]



[https://en.wikipedia.org/wiki/File:EDSAC\\_\(19\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:EDSAC_(19).jpg)

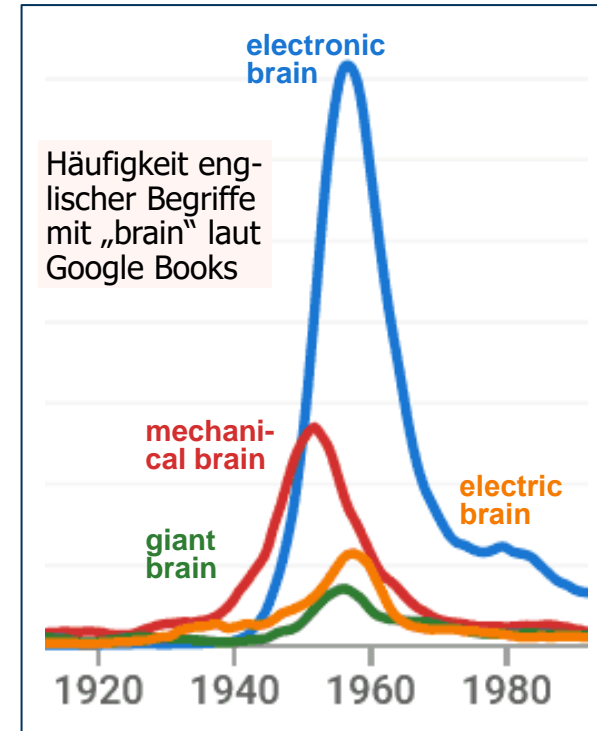
# „Electronic Brain is Unveiled“ (5)

Noch bis weit in die 1950er-Jahre verwendeten die führenden US-amerikanischen Zeitungen oft „**electronic brain**“ oder einen verwandten Begriff statt „**computer**“; bei den deutschsprachigen Zeitungen verhielt es sich mit einem gewissen Zeitversatz ähnlich – der engl. Begriff „**Computer**“ dominierte dabei allerdings erst nach 1964 den klassischen deutschen Begriff „**Rechenautomat**“.



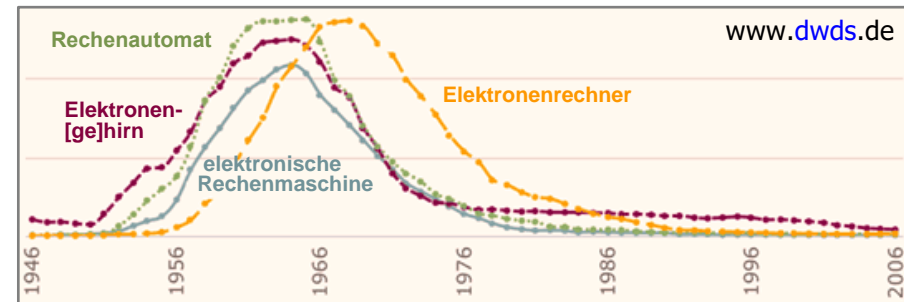
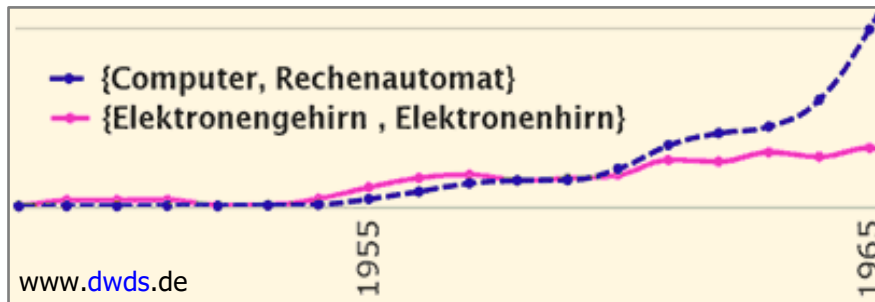
US-amerikanische Zeitungen

Quelle: Proquest Historical Newspaper Database, zitiert laut Dissertation von David Julyk *The Trouble With Machines Is People – The Computer as Icon in Post-War America: 1946-1970*; 2008



Häufigkeit englischer Begriffe mit „brain“ laut Google Books

Deutschsprachige Zeitungen laut DWDS:



www.dwds.de

www.dwds.de



# Programmierung des ENIAC-Computers

Bei <https://computerhistory.org/blog/> finden sich interessante Berichte und Anmerkungen zum ENIAC und ihrer Programmierung. Wir zitieren einige Passagen:

In its original form, ENIAC was not “programmed” but was “set up”. The initial design of the ENIAC did not use anything like the software we know today. It was basically an assembly of functional units that were [wired together in a particular way for each new problem](#). If you wanted to do a multiplication after an addition, you would run a wire from the multiplier to the adder. Designing and setting up new calculations was difficult and time-consuming. Configuring ENIAC for a problem was [like constructing a special-purpose computer anew](#) each time out of a general-purpose kit of parts.

At the dawn of the modern computing era teenager Laura Lehmer and her brother Donald Lehmer were the youngest “un-programmers.” That is because ENIAC, one of the world’s first general-purpose computers, was programmed with an array of switches and cables. When each program had been run, someone had to return the cables to their proper storage box to be available for the next program. Shortly after the installation of the ENIAC their parents, [Derrick Henry Lehmer](#) and [Emma Trotskaya Lehmer](#), who were well-known number theorists at the University of California at Berkeley, were invited to use the machine for mathematical research.

ENIAC was not a stored-program computer in the modern sense of the term. Historian David Alan Grier described it as more like an array of electronic adding machines and arithmetic units that were held together by a [web of large electrical cables](#). The machine occupied a large room and was evocative of a telephone switchboard of the era, with a plugboard array that could be rewired with cables of different lengths.

# Programmierung des ENIAC-Computers (2)

That's where Laura Lehmer and her brother came in. As youngsters they would accompany their parents on cross-country car trips to gather valuable research time on the machine. The two children would accompany their parents for the long programming sessions that often stretched into the evening. After the programs ran, their job was to aid in resetting the computer by laboriously disconnected all of the cables and placing them in boxes according to length. "It was our job to strike when the program was over and put all of the cables in their appropriate boxes sorted by lengths," she recalled.

Neither brother nor sister remember precisely what programs their parents were developing. It is possible that they were exploring different methods for predicting the next [prime number](#). Indeed, the Lehmers had a long prior interest in building a computing device to speed up the problem of [factoring](#). As early as 1930, they had proposed the idea of the design of an electric factoring machine to the Carnegie Institute of Technology.

The Lehmers' son recalled: "Things were kind of secret. It could have been war activities. It seemed extremely clandestine. I remember going down a concrete staircase into a building. The doors were 20 feet wide and 10 feet high. When we entered there was a big of rush of air as it was pressurized to keep the dirt out." He remembers that his parents would get access to the machine when it wasn't running its official programs. He also has a clear memory of how painstaking it was to actually program the ENIAC. "It took two or three days and then debugging. Once a program was running people were reluctant to give it up. They would post a guard and tell us, 'don't touch a thing.'"

Both children would go on to careers that were deeply influenced by computing. Laura became a linguist and would later work as a research scientist at Xerox's Palo Alto Research Center. Donald would go on to become an engineer.

# Programmierung des ENIAC-Computers (3)

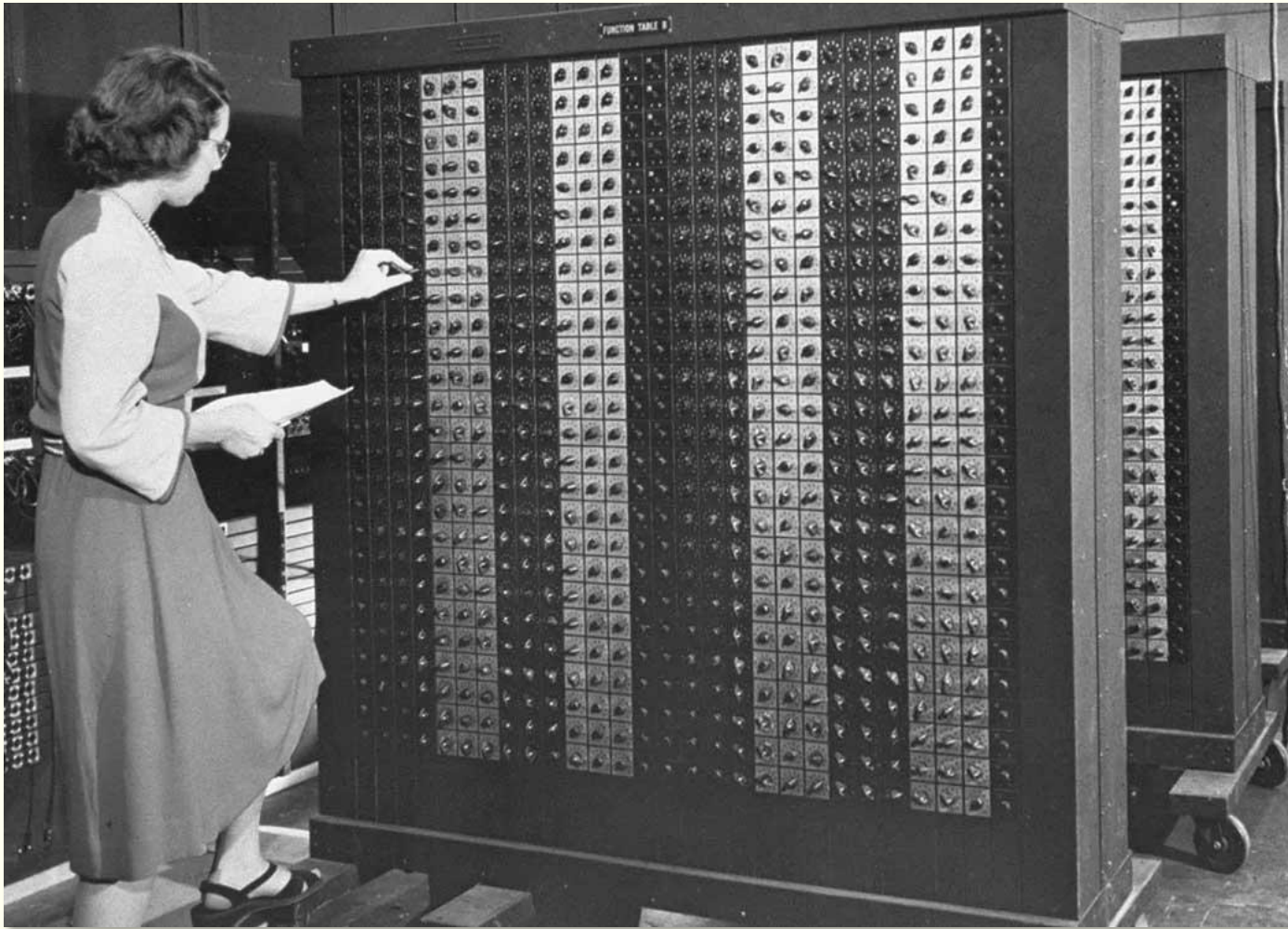
## 1948: Umbau zu einer Von-Neumann-Architektur mit Programmsteuerung

„Nach Ideen [John von Neumanns](#) wurde ENIAC 1948 zu einem Computer mit Befehlsspeicher umgebaut. Dies verlangsamte die Rechenleistung auf 1/6, aber die Dauer des Umprogrammierens verringerte sich ebenfalls, sodass insgesamt ein Zeitgewinn erzielt wurde.“ [de.wikipedia.org/wiki/ENIAC] Bei [en.wikipedia.org/wiki/ENIAC] spielen dabei auch andere Personen eine Rolle: „A number of improvements were made to ENIAC after 1947, including a primitive read-only stored programming mechanism using the function tables as program ROM, after which programming was done by setting the switches. The ideas have been worked out in several variants by [Richard Clippinger](#) and his group, on the one hand, and the [Goldstines](#), on the other. Clippinger consulted with von Neumann on what instruction set to implement.“

Im Blog des Computer History Museums in Mountain View heisst es dazu: „Clippinger credits the idea to a spring 1947 suggestion to him by John von Neumann that ‘it would be possible to run the ENIAC in a way very different from the way contemplated when it was designed.’ After the conversion, the wires between the components were fixed in place, and a true ‘program’ was loaded onto the function tables [...]. Another way of looking at this conversion is that the original modular ENIAC was now permanently configured not as a special-purpose machine but as an EDVAC-style general purpose computer.“ [https://computerhistory.org/blog/the-neverending-quest-for-firsts/]

Im Buch „Turing’s Revolution“ von Giovanni Sommaruga und Thomas Strahm heisst es hingegen: „It seems, though, that Clippinger had reinvented the wheel. [Mauchly](#) stated that [Eckert](#) and he had previously worked out the idea.“ Aber eine gute Idee hat ja oft viele Väter...

# Programmierung des ENIAC-Computers (4)



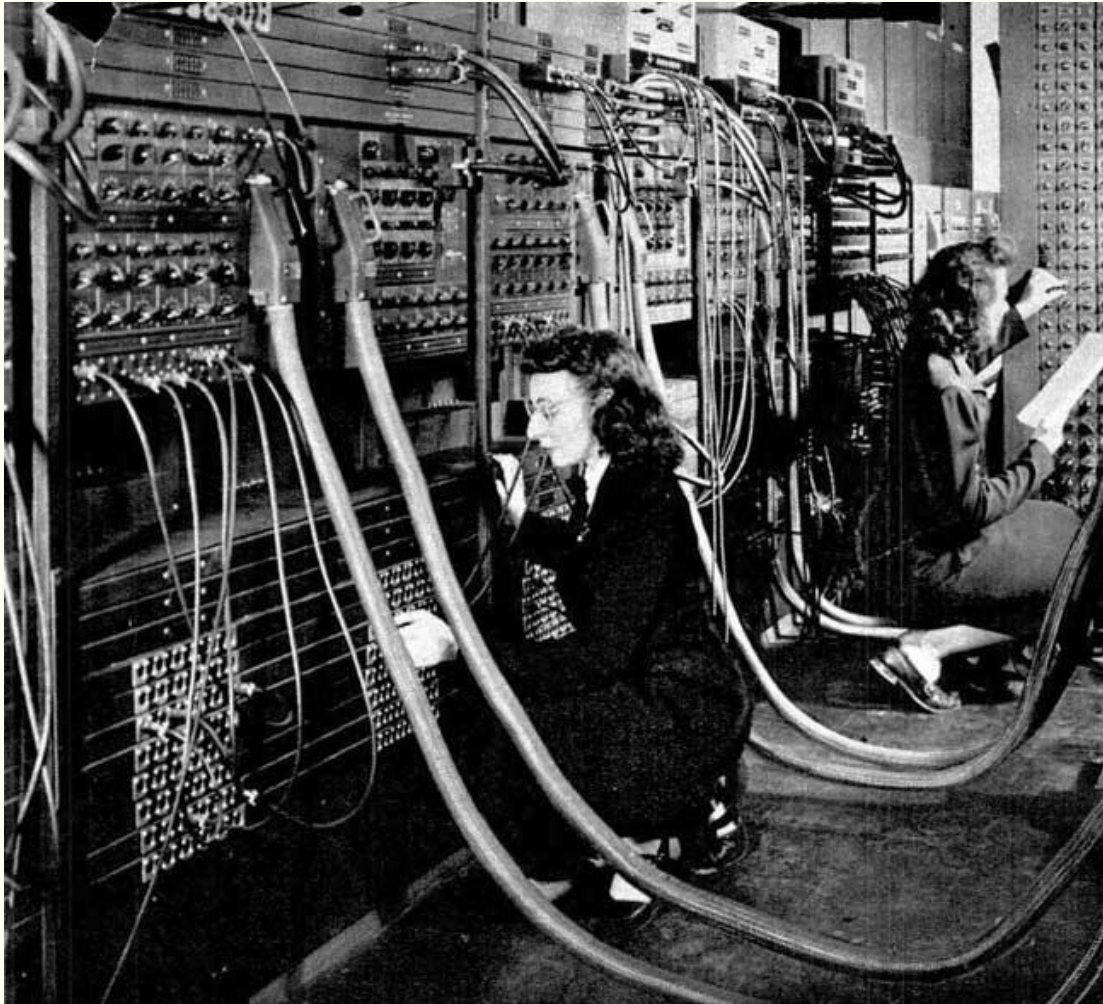
<https://spectrum.ieee.org/image/Mz11ODUwMw.jpeg>

Jeder Tabellenschrank hatte 1200 Dezimalschalter und bot somit Platz für 600 Programmschritte; insgesamt konnten damit Programme mit bis zu 1800 Maschineninstruktionen gespeichert werden.

„Es gibt Fotos, die in den 1940er-Jahren entstanden sind, und die Frauen zeigen, die mit hochgesteckten Haaren und ernsten Gesichtern vor riesigen Maschinen stehen. Interessanterweise ging später das Gerücht um, dass diese Frauen nur **Pappaufsteller** seien.“ -- *Münchener Merkur* Nr. 53, 5. März 2014

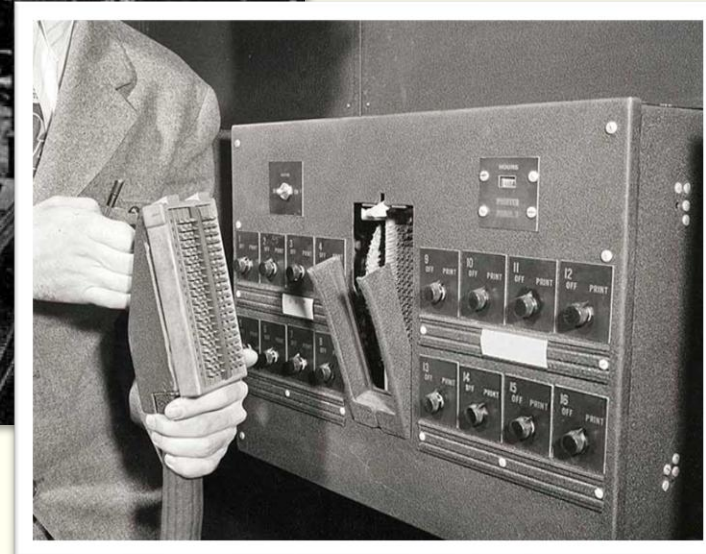
*Von wegen Pappaufsteller! Elizabeth „Betty“ Snyder am Schaltschrank der Funktionstafeln, die später als ROM-Speicher für Programme dienten.*

# Programmierung des ENIAC-Computers (5)



"We had problems with cleaning personnel. If a plug was sitting in a place that didn't have the same kind of dirt pattern as the others, we would know that a cleaning person had knocked it out and just put it near a nearby plug. We spent hours trying to find out what was wrong one day and we discovered that cleaning personnel had moved one of the plugs. After that we checked every morning." [Homé McAllister Reitwiesner]

Die Steckverbindungen des ENIAC – von viel kleineren wie V24, RS-232, USB oder Ethernet konnte man noch nicht einmal träumen!



# Programmierung des ENIAC-Computers (6)

Beim modifizierten ENIAC wurde als **Programmspeicher** die eigentlich als Funktionstabellen gedachten Einheiten benutzt, die per Schalter eingestellt werden konnten und so einen ROM-Programmspeicher realisierten. Einen „RAM-Speicher“ hatte die Maschine nicht (die Ein-/Ausgabe erfolgte über Lochkarten, die als externe Speichermedien fungierten), sie besass aber **20 Akkumulatoren** („AC“), wovon jeder eine 10-ziffrige Dezimalzahl speichern konnte und den Inhalt eines anderen Akkumulators zu seinem eigenen Inhalt hinzuaddieren konnte.

Der **Befehlssatz** („order vocabulary“) war im Wesentlichen:

- **AC n → AC 15** (19 Befehle für je  $n = 1, \dots, 14, 16, \dots, 20$ )
- **AC 15 → AC n** (19 Befehle)
- **clear AC 15**
- **negate AC 15**
- **drop sign AC 15**
- **multiply AC 15 by AC 11**
- **divide AC 15 by AC 7**
- **square root of AC 15**
- **branch on positive or zero**
- **shift AC 15 left or right** (10 Befehle, je einer pro Schiebedistanz)
- **double shift AC 15 AC12 pair left or right** (10 Befehle)
- **print** (Inhalt von AC1, AC2, AC15 – AC20 werden auf eine Lochkarte gestanzt)
- **read** (8 zehnziffrige Zahlen einer 80-spaltigen Lochkarte werden eingelesen)

“Setting the programs up was something like a several-week job, writing the codes and figuring out how you were going to do it. Then you spent a couple of hours turning switches—depending on how many people you could draft to help do that process. One of the few cases in which you actually fooled around with the wiring of the ENIAC was when you would pull the plug off the cable that sent the command to trigger the next instruction and then would walk around the computer with a little box and a button, and push the button and watch as the various numbers bounced around from place to place as you had programmed it.” -- Harry Reed, BRL

# Programmierung des ENIAC-Computers (7)

Von den 20 Akkumulatoren wurden 8 für interne Zwischenergebnisse bei der Befehlsausführung benötigt, sodass effektiv nur 12 bei der Programmierung zur Verfügung standen.

Es gab **keine Gleitkommazahlen**; den Dezimalpunkt musste man sich bei den 10 Ziffern „hinzudenken“ und die Zahlen entsprechend skalieren – dies führte bei falscher Interpretation leicht zu Programmierfehlern, ausserdem musste man bei arithmetischen Operationen, insbesondere bei Multiplikation und Division, darauf achten, dass entsprechend der Grösse des erwarteten Resultats skaliert wurde.

Programmiersprachen oder Compiler gab es damals natürlich noch nicht; das Programm wurde in der **Maschinensprache** (die Befehle waren durch zwei Dezimalziffern verschlüsselt) **über die Schalter der Funktionstabelleneinheiten eingestellt**; dazu mussten diese Einheiten, die Akkumulatoreinheiten sowie die Einheiten zur Programmsteuerung („global control unit“ und „master programmer“) korrekt miteinander verkabelt werden.

Komplexere mathematische Ausdrücke und mathematische Lösungsverfahren mussten vom Programmierer in Sequenzen einzelner arithmetischer Operationen aufgelöst werden; die (platzsparende) Nutzung der Akkumulatoren musste dazu geplant werden, ferner mussten Skalierungsoperationen und Hilfszähler für Schleifen mittels bedingter Sprungbefehle bedacht werden. Zur **Arbeit der ersten Programmierer** heisst es bei [mitpress.mit.edu/blog](http://mitpress.mit.edu/blog): „They faced every imaginable kind of problem: programming errors, mathematical mistakes, many different kinds of hardware failure, intermittent problems that introduced subtle errors, operator errors, time lost to hardware upgrades...“. Testbeispiele waren die **Berechnung von  $e$  und  $\pi$**  auf mehrere 1000 Stellen; zu den ersten echten Anwendungen heisst es: „Analyze data from **V2 test firings**, run the first numerical **weather forecasts**, plot shell trajectories, and **simulate nuclear explosions**.“

# Programmierung des ENIAC-Computers (8)

|      |        |    |    |
|------|--------|----|----|
| 114  | AB     | 50 | 5  |
|      | S'LI   | 66 |    |
|      | N6D6   | 84 |    |
| #58* | 12     | 12 |    |
|      | 71     | 71 |    |
|      | 15     | 15 |    |
| 115  | 4E     | 24 |    |
|      | 12E    | 62 |    |
|      | CT     | 69 |    |
|      | N3D6   | 83 |    |
|      | 01     | 01 |    |
|      | 18     | 18 |    |
| 116  | N2D    | 72 |    |
|      | 02     | 02 |    |
|      | S1R2   | 49 |    |
| #64  | 2E 12E | 22 | 62 |
|      | 2E 2E  | 02 | 22 |
|      | N3D6   | 83 | 02 |

III Actual Technique.

The Use of the Eniac

Before describing the details of the actual running of the <sup>first</sup> six experimental problems based on the Monte-Carlo method, we would like to discuss here briefly the new <sup>method of operation</sup> and seemingly, more efficient <sup>way</sup> which was used for the first time on the Eniac, to compute these problems.

This new method is based on a vocabulary, i.e. a set of orders which is conveyed to the machine on two levels; the ~~...~~

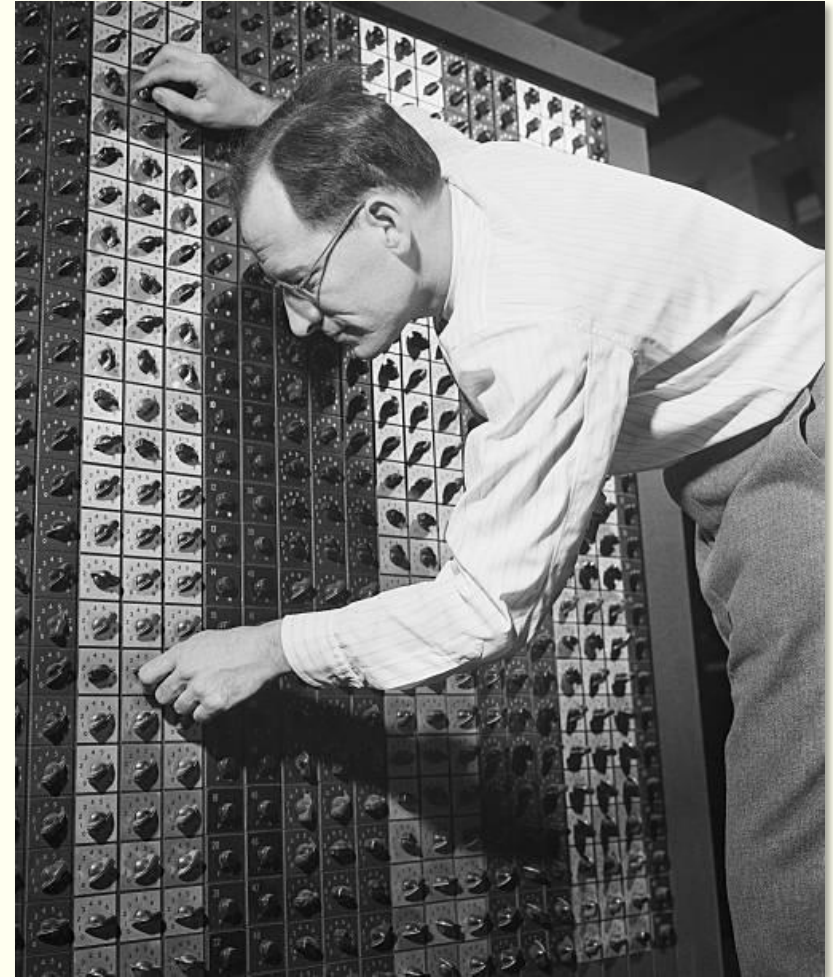
Ausschnitte aus dem ersten „nützlichen“ ENIAC-Anwendungsprogramm (von [Klara von Neumann](#)) und dem zugehörigen Report. Es handelt sich um eine [Monte-Carlo-Berechnung](#) der Neutronenausbreitung bei einer [explodierenden Atombombe](#); das mathematische Modell und der algorithmische Ansatz stammen von John von Neumann („it is, of course, neither an actual ‘computing sheet’ for a (human) computer group, nor a set-up for the ENIAC, but I think that it is well suited to serve as a basis for either“). Die Programmläufe und Berechnungen fanden im Frühjahr 1948 statt. „This is a major, [800 instruction program](#) with [nested loops](#) and [branching statements](#) [...] The first program ever run is a big, complex, difficult program, [...] including a [subroutine](#). The first subroutine to generate pseudo-random numbers.“ [Mark Priestley]



# Programmierung des ENIAC-Computers (9)

Wie mühsam das Programmieren und Ausführen eines Programms seinerzeit war, dies berichtet der Meteorologe [George Platzman](#) (1920 – 2008) von der Universität Chicago, der im Herbst 1950 bei von Neumanns Projekt der numerischen Wettervorhersage dabei war:

“I tell you about the difficulties we had to contend with. These were of two kinds: operational problems and programming problems. Probably the main source of [operational trouble](#) was the ENIAC itself, which had a mean error-free path of only a few hours and often took many hours to repair. Each of the 20 accumulators was dependent on 550 vacuum tubes! Malfunction of the punchcard equipment, while not so time-consuming, was nevertheless a constant background of interruption to our progress. Human error was not a major problem because, fortunately, the operators were highly skilled, but it did inevitably happen somewhere in the 14 separate punchcard procedures required in each time step. What of programming problems?



*Eingeben des Programms an den Funktionstabellen*

# Programmierung des ENIAC-Computers (10)



Yes, of course we made **coding errors**. Most of these were the usual blunders that every programmer lives with; some were mistakes arising from subtle idiosyncrasies in the command structure of ENIAC. Of all the difficulties that plagued us, however, by far the most baffling and certainly the most disconcerting was the assignment of scale factors for the individual ENIAC operations. These factors intruded because ENIAC was strictly a fixed-point machine, each register holding a fixed-point decimal number with 10 digits and sign. The purpose of the scale factors was to prevent overflow or underflow or simply excessive loss of significance in each of the various ENIAC operations. This was accomplished by normalizing every array to the interval -1 to +1. Some of the scale factors needed to do this had to be found by trial and error.”

[George Platzman: The ENIAC Computations of 1950 – Gateway to Numerical Weather Prediction. Bulletin of the American Meteorological Society 60(4), April 1979, 302-312]



*Oben: Initiating und Cycling Unit; unten: Lochkartenmaschinen für die Daten-Eingabe / -Ausgabe mit Betty Jennings und Frances Bilas (vorn)*

# Programmierung des ENIAC-Computers (11)

## Die Wetterprognose

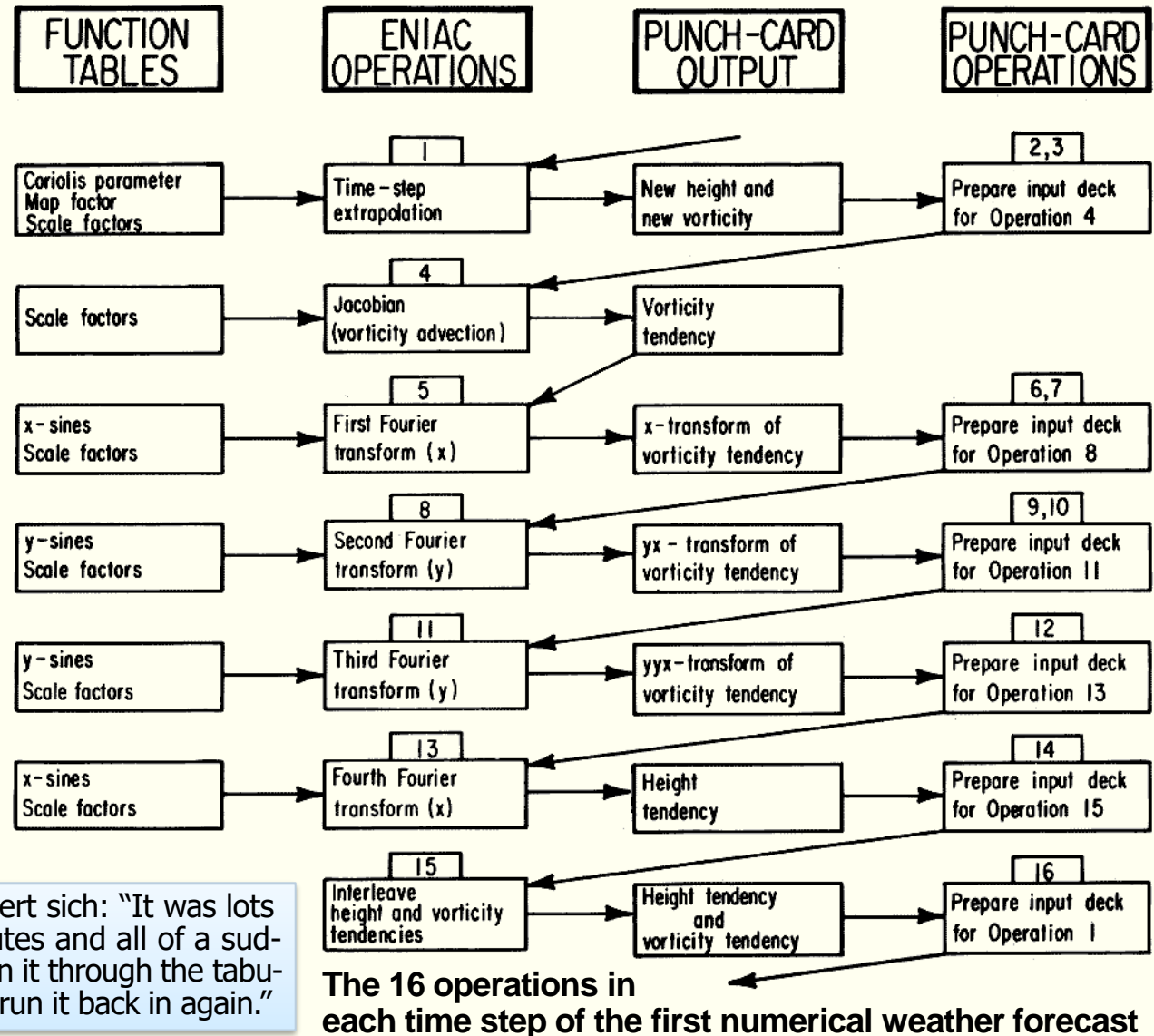
Da der ENIAC keinen RAM-Speicher besass (und es nur wenige Akkumulatoren gab, die als Register genutzt werden konnten), musste zum Speichern von Zwischenergebnissen auf Lochkarten (als externe Speichermedien) zurückgegriffen werden. Der in einem „Run“ einer Zwischenberechnung erzeugte Lochkartenstapel konnten dann ausserhalb des ENIAC (manuell unterstützt) mit den klassischen Lochkartenverarbeitungsgeräten der seinerzeitigen Datenverarbeitungstechnik bearbeitet (z.B. sortiert oder gefiltert) werden, bevor er als Eingabe für den folgenden ENIAC-Run diente. Für eine numerische Wettervorhersage wurden insgesamt etwa 25000 Lochkarten verwendet, der grösste Teil der gesamten „Rechenzeit“ wurde für ihre Manipulation benötigt.

Von Neumanns Wetterprognosemodell, das auf dem ENIAC gerechnet wurde, bestand aus einem 18x15-Gitter, das die USA mit einer Maschenweite von 736 km überdeckt. („Unfortunately a smaller interval would too greatly have reduced the size of the forecast area, for the total number of grid points was restricted by the limited internal memory capacity of the Eniac“ heisst es im Ergebnisbericht.) Die 24-Stunden-Prognose wurde in Zeitschritten von einer Stunde Simulationszeit berechnet. Für jeden Zeitschritt mussten für jeden der 270 Gitter-Datenpunkte jeweils 16 „Operationen“ durchgeführt werden; Platzman schreibt dazu:

*Six of these were ENIAC operations, which did all the arithmetic, and 10 were punch-card operations, which carried out the various rearrangements and preparations of data required by the ENIAC operations. Each ENIAC operation produced an output deck through the card punch, and this was used to create other decks by means of reproducing, collating, and sorting operations. The interplay between electronic and mechanical components is nicely illustrated by what in the weather forecast problem was called Operation 4, calculation of the Jacobian—in other words of the vorticity advection.*

# Programmierung des ENIAC-Computers (12)

At each grid point a Jacobian was calculated after reading three cards. In this process the card reader made three quite audible clicking noises and then a slightly longer interval followed during which ENIAC did the Jacobian multiplications and additions. The speed of this rhythmic operation was such that one could easily do a three-step jig to the clicking noises of the card reader. Indeed, for some now-forgotten reason we were greatly relieved when at each time step Operation 4 finally made its presence known audibly through the card reader.



Homé McAllister Reitwiesner erinnert sich: "It was lots of fun. You'd sleep for a few minutes and all of a sudden it would be ready and you'd run it through the tabulator, run it through the sorter, and run it back in again."

The 16 operations in each time step of the first numerical weather forecast

# Programmierung des ENIAC-Computers (13)

## Berechnung von $e$ und $\pi$

John von Neumann hatte zusammen mit Nicholas Metropolis und Stanislaw Ulam Ende der 1940er-Jahre Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt und interessierte sich für die algorithmische Erzeugung von Pseudozufallszahlen. Die Folge der Dezimalziffern der **Kreiszahl  $\pi$**  oder der **Eulerschen Zahl  $e$**  wären hierfür eventuell Kandidaten – Mathematiker hatte die Frage nach der „zufälligen“ Verteilung der Dezimalziffern von  $\pi$  oder  $e$  sowieso schon lange interessiert.

**George Reitwiesner** (1918 – 1993), der mit dem ENIAC befasst war, griff 1949 diese Frage auf. Er erreichte, dass sein Team den Computer über zwei lange Feiertagswochenenden (Independence Day und Labor Day) für die Berechnung von  $e$  und  $\pi$  exklusiv nutzen konnte. Für beide Zahlen berechnete er über **2000 Dezimalstellen**, was einen neuen Rekord darstellte. Bis dahin betrug der Rekord für  $\pi$  808 Stellen (nur wenige Wochen zuvor publiziert; im Jahr 1609 kannte man z.B. erst 34 Stellen, 1853 waren es 261 Stellen); der neue Rekord von 2037 Stellen konnte dann immerhin 5 Jahre lang gehalten werden.

Zur Berechnung von  $e$  wurde die klassische auf Leonhard Euler zurückgehende Reihe mit den Gliedern  $1/k!$  angewendet, die schnell konvergiert; Euler selbst berechnete damit  $e$  auf 23 Nachkommastellen. (Im Dezember 2020 betrug der Rekord übrigens 31 415 926 535 897 Dezimalstellen, die Berechnung dauerte 54 Tage; man beachte auch die Ziffernfolge der Rekordstellenzahl!). Für  $\pi$  wurde die Formel  $\pi/4 = 4 \arctan(1/5) - \arctan(1/239)$  verwendet, die John Machin schon 1706 entdeckt hatte, sowie eine Taylorentwicklung des Arkustangens nach James Gregory aus dem Jahr 1668:  $\arctan x = x - x^3/3 + x^5/5 - x^7/7 + \dots$

„John Machin war dank seiner Formel der erste, der bis zur hundertsten Dezimale kam. Die hauptsächlichsten Verdienste seiner Nachfolger waren Geduld und Ausdauer. Alle verwendeten sie arctan-Formeln und beschrieben unzählige Blätter Papier.“ -- Jean-Paul Delahaye.

Das Hauptproblem bestand allerdings darin, dass der ENIAC einen Hauptspeicher hatte, der nur 200 Ziffern fasste, die Resultate aber mit über 2000 Stellen Genauigkeit (und unter Beherr-

# Programmierung des ENIAC-Computers (14)

schung aller Rundungsfehler) erzeugt werden sollten. Dies konnte nur so gelöst werden, dass Zwischenresultate auf Lochkarten gestanzt wurden, die in einer nachfolgenden Zyklusphase dann wieder eingelesen wurden. Dies stellte ein Prinzip dar, das seinerzeit bei der kommerziellen Datenverarbeitung mit „IBM-Lochkartenmaschinen“ aber sowieso üblich war, und die „ENIAC girls“ als Teil der Bedienmannschaft waren typischerweise auf solchen Geräten trainiert worden, bevor sie zum ENIAC-Team kamen.

*By today's standard, the machines were primitive with limited memory, limited instruction sets, and unusual architectures. Yet despite the obstacles posed by the early computer hardware, surprisingly useful and even elegant programs could be run on them. -- Brian Shelburne*

Zum Team gehörte [Homé McAllister](#) (1925 – 2018). Nach ihrem College-Abschluss fing sie beim Ballistic Research Laboratory (BRL) an und berechnete dort, wie viele andere auch, zunächst in manueller Weise Schusstabellen. Nach einer Ausbildung an Lochkartenmaschinen („I fell in love with the IBMs and had the time of my life ‘wiring the boards’ for the tabulator and running the sorter, reproducer, and the tabulator“) kam sie schliesslich zur ENIAC-Bedienmannschaft. Zu den von George Reitwiesner berechneten Dezimalstellen von  $e$  und  $\pi$  erzählt sie folgende Begebenheit:

„Von Neumann fell in love with those and wanted to use them as random digits. So, von Neumann asked for  $1/e$ . George happened to be working at Harvard that summer, getting his degree, and so he sent me the material on what to do to change computing  $e$  to  $1/e$ , and we ran it overnight and we proved the machine would hold up. Then [von Neumann stood over me as I multiplied  \$e\$  times  \$1/e\$](#) , doing all the rounding. I can still see him as I'm leaning over the tabulator watching the cards print up. He wouldn't let me put the pointer through the holes. He had to [see all those nines](#) on that piece of paper. He was so fascinated.“ Das Ergebnis wurde von

# Programmierung des ENIAC-Computers (15)

ENIAC auf Lochkarten gestanzt, diese konnten dann offline von einem Tabulator ausgedruckt werden. Angeblich war es eine Folge von 2552 Neunen (im Sinne von 0.99999...) bei insgesamt 2556 Stellen, die von Neumann so faszinierte.

“Some of my happiest times were trouble-shooting either the program or the ENIAC – or perhaps both at the same time.” -- Homé McAllister

Zur ursprünglichen Frage merkt Reitwiesner an: “A preliminary investigation has indicated that the digits of  $e$  deviate significantly from randomness (in the sense of staying closer to their expected values than a random sequence of this length normally would) while for  $\pi$  no significant deviations have so far been detected.”

1951 heirateten [George Reitwiesner und Homé McAllister](#). Mit kurzen Unterbrechungen nach der Geburt von Kindern arbeitete Homé McAllister Reitwiesner bis 1955 am Ballistic Research Laboratory (BRL). Ihr Gatte George leitete am BRL die numerical analysis group und das EDVAC-Programmierteam. Ab 1959 war er in der Applied Mathematics Division des National Bureau of Standards tätig. 1972 musste er die Tätigkeit aus gesundheitlichen Gründen aufgeben.

*George Reitwiesner und Homé McAllister im April 1949 in Oak Ridge, Tennessee, beim ACM national meeting.*



# Programmierung des ENIAC-Computers (16)

## Die Ein- / Ausgabe

<https://digital.library.temple.edu/digital/collection/p15037coll3/id/61000/rec/7>



<https://digital.library.temple.edu/digital/collection/p15037coll3/id/61000/rec/7>



Links: Lochkartenleser für die Dateneingabe; rechts: Offline-Gerät zum Ausdrucken der Ergebnisdaten, die von Eniac als Folgen gestanzter Lockarten erzeugt wurden.

"The whole idea of computing with the ENIAC was sort of a hair-shirt kind of thing. Programming for the computer was a redemptive experience—one was supposed to suffer to do it. And it wasn't until the 1970s that we finally were able to convince people that they were not going to have programmers continually writing little programs for them. By God, they were going to write their own programs now. Programming, indeed, had become a simple process." -- Harry Reed, BRL





“Set up of a problem on the ENIAC” mit Schaltkabeln, Schaltereinstellungen und Lochkarten

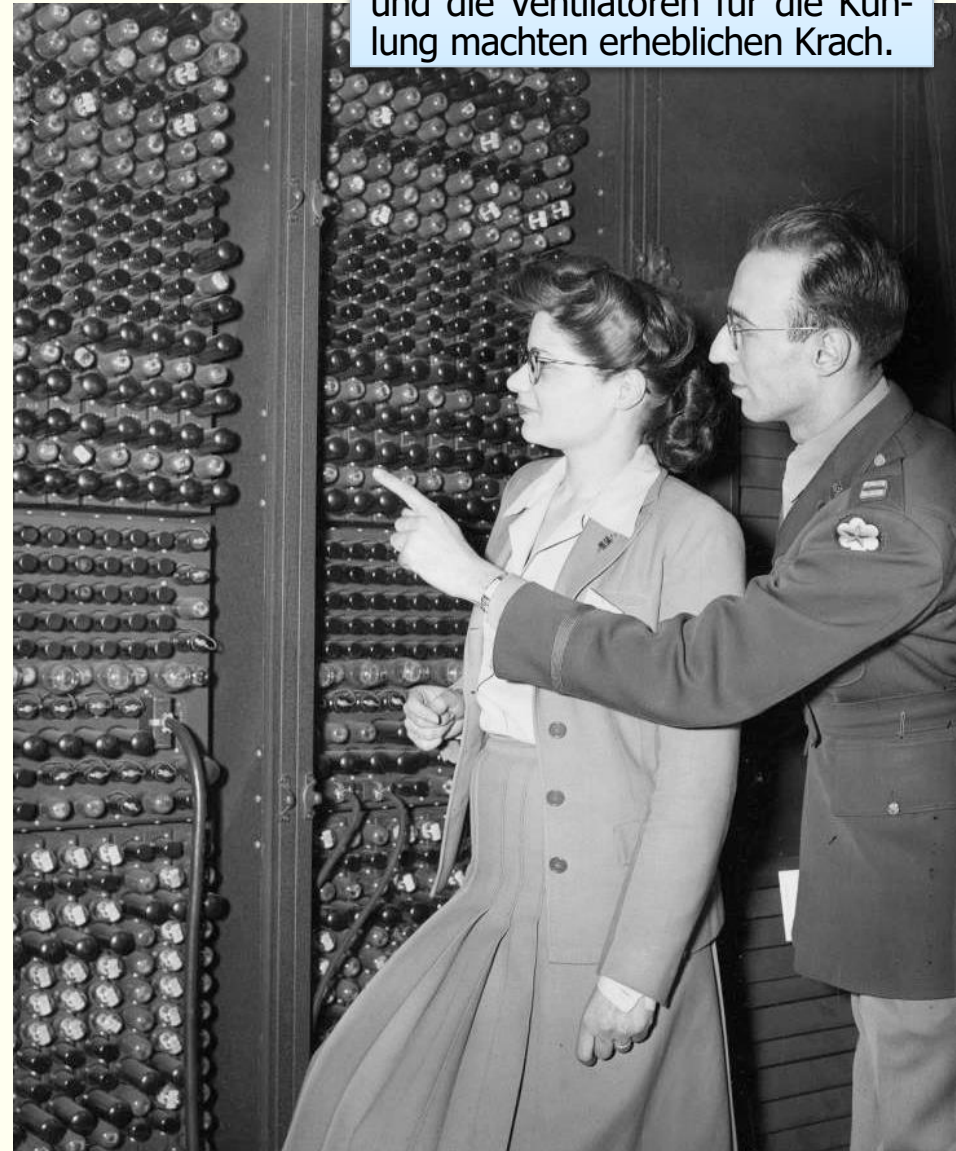
**Video-Empfehlung:** Women technicians work on the ENIAC: [www.youtube.com/watch?v=to-50Kydrj4](http://www.youtube.com/watch?v=to-50Kydrj4). Und: [www.youtube.com/watch?v=bGk9W65vXNA](http://www.youtube.com/watch?v=bGk9W65vXNA) (“This film shows the machine in operation as well as the designers and some of the women programmers working the wiring panels and managing input and output via punch card machines.”) Seinerzeit sprach man (frei von political correctness) von den “Eniac girls”.

# Keine „Refrigerator Ladies“!

*In her research Kathy Kleiman stumbled upon a famous black-and-white photo of the first all-electric computer. Published in major newspapers across the country in 1946, the caption identified the men in the image, but no one else. Kleiman was perplexed. Why were the men in the photo the only ones identified? Who were the women? She took her questions to a historian of computing, but it turned out no one knew who the women were. “I was told they were models, ‘Refrigerator Ladies’, posing in front of the machine to make it look good,” Kleiman says. This was a common marketing tactic used to sell kitchen appliances like refrigerators at the time. [Liz Huang, <https://builttoadapt.io>]*

Es handelte sich aber tatsächlich um die sechs „human computers“, die an der [Moore School of Electrical Engineering](#) der [University of Pennsylvania](#) als Operateurinnen die Maschine betreuten; die sechs später so genannten „[Eniac girls](#)“: Frances ‘Fran’ Bilas, Frances Elizabeth ‘Betty’ Snyder, Ruth Lichterman, Betty Jean Jennings, Marlyn Wescoff und Kathleen ‘Kay’ McNulty.

Racks mit jeweils ca. 550 Elektronenröhren; im Betrieb erzeugte Eniac dadurch eine grosse Hitze und die Ventilatoren für die Kühlung machten erheblichen Krach.



# „Refrigerator Ladies“?

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden grosse Anstrengungen unternommen, die USA in der Fläche zu elektrifizieren. Sowohl Energielieferanten als auch Haushaltsgerätehersteller witterten einen grossen und sehr lukrativen Markt. Das wichtigste Vehikel dafür war der Kühlschrank: 1930 hatten erst 9% der amerikanischen Haushalte ein Gerät, 10 Jahre später waren es schon 56%. Die Preise fielen durch Fortschritte in Technik und Herstellung sowie durch Skaleneffekte der Massenproduktion stark; nun konnten sich auch Mittelklassefamilien ein solches „Luxusprodukt“ leisten und sich so scheinbar einen Lebensstil der „high society“ ermöglichen. Die Werbung setzte in massiven Anzeigekampagnen auf genau dieses Begehren (in der Zielgruppe „white middle-class women with young children, married to men in white-collar jobs, living in single-family homes“): Kühlschränke, welche nun abgerundete Ecken und geschwungene Formen hatten, wurden auf Fotos oder Werbegrafiken mit dazu passenden Models abgebildet, die den Prototyp einer sorgenden aber glückserfüllten Ehefrau darstellten – die Models sollten, gut sichtbar, einen Ehering tragen. Man nannte sie, etwas despektierlich, „refrigerator ladies“ – ein Begriff, der später auch losgelöst vom Kühlschrank für Vorführdamen verwendet wurde, die ansonsten nüchterne technische Geräte präsentierten – so auch Computer.

*Streamlined refrigerators – sensuous curves and precious surfaces. You will be proud to own and use your Electrolux. Your visitors will envy you as they admire it.*



“The middle finger is the perfect finger for showing off your ring to everyone.”

# „The ENIAC six“

« The six were selected from a group of nearly 100 women employed by the Army to work at the Moore School. They had been recruited from colleges in the area as “computers” to perform ballistic computations.

They were a typical squad thrown together by the war: [Wescoff](#) and [Lichterman](#) were Jewish, [Snyder](#) a Quaker, [McNulty](#) an Irish-born Catholic, and [Jennings](#) a lapsed Church of Christ Protestant. “We had a wonderful time with each other [...] we really liked one another.” In the summer of 1945, the six women were sent to Aberdeen Proving Ground to learn how to use IBM punch cards and wire up plug boards. “We worked together, lived together, ate together, and sat up until all hours discussing everything.” Since they were all single and surrounded by a lot of single soldiers, there were multiple memorable romances and affairs nurtured over Tom Collins cocktails in the booths of the officers’ club. After six weeks of training, the women consigned their boyfriends to memory archives and returned to Pennsylvania.



Kathleen “Kay”  
McNulty  
[Mauchly Antonelli]  
1921–2006



Frances Elizabeth  
“Betty” Snyder  
[Holberton]  
1917–2001



Ruth Lichterman  
[Teitelbaum]  
1924–1986



Frances “Fran” Bilas  
[Spence]  
1922–2012



Marlyn Wescoff  
[Melzer]  
1922–2009



Betty Jean Jennings  
[Bartik]  
1924–2011

## „The ENIAC six“ (2)

“Somebody gave us a whole stack of blueprints, and these were the wiring diagrams for all the panels, and they said, ‘Here, figure out how the machine works and then figure out how to program it,’” explained McNulty. That required analyzing the differential equations and then determining how to patch the cables to connect to the correct electronic circuits. [...] “What we were doing then was the beginning of a program,” she said, though they did not yet have that word for it.

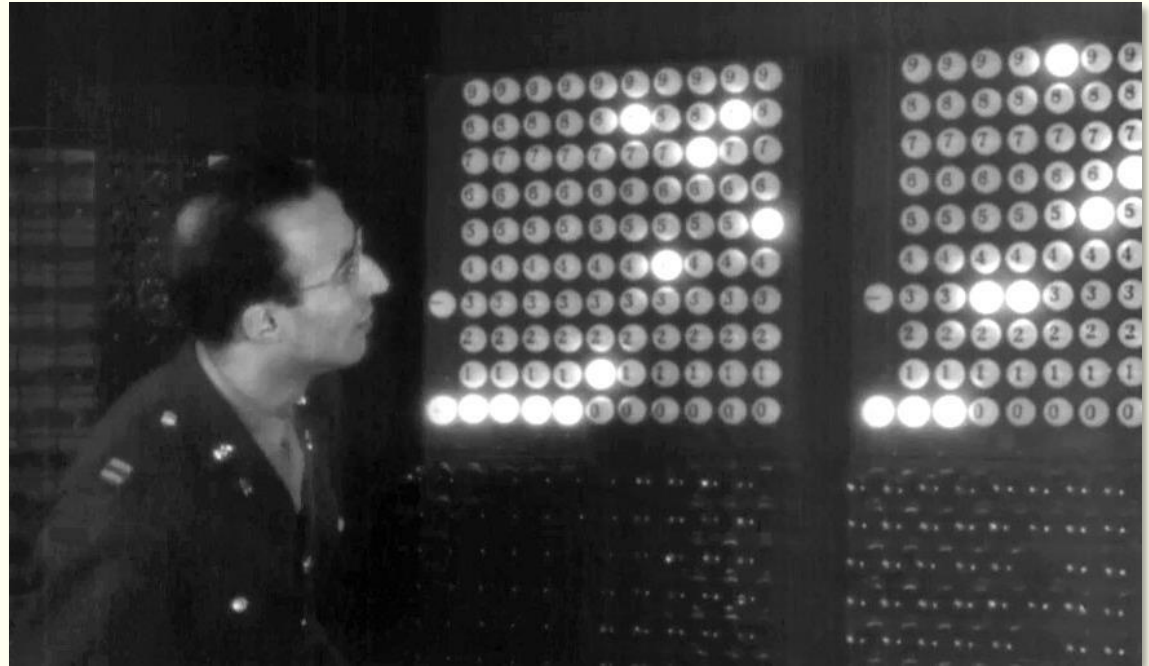
Because it was being used for atom bomb calculations and other classified tasks, ENIAC was kept secret until February 1946, when the Army and Penn scheduled a gala unveiling for the public and the press. Herman Goldstine decided that the centerpiece of the ENIAC presentation would be a demonstration of a missile trajectory calculation. So two weeks in advance, he invited Jean Jennings and Betty Snyder to his apartment and, as Adele served tea, asked them if they could program ENIAC to do this in time.

The night before the demonstration was Valentine’s Day, but despite their normally active social lives, Snyder and Jennings did not celebrate. “Instead, we were holed up with that wonderful machine, the ENIAC, busily making the last corrections and checks on the program,” Jennings recounted. There was one stubborn glitch they couldn’t figure out: The program did a wonderful job spewing out data on the trajectory of artillery shells, but it just didn’t know when to stop. [Even after the shell would have hit the ground, the program kept calculating its trajectory, \[...\]](#) “I woke up in the middle of the night thinking what that error was. I came in, made a special trip on the early train that morning”. She flipped the requisite switch and the glitch was fixed.

At the demonstration, ENIAC was able to spew out in 15 seconds a set of missile trajectory calculations that would have taken human computers several weeks. Mauchly and Eckert, like good innovators, knew how to put on a show. The tips of the vacuum tubes in the ENIAC accu-

## „The ENIAC six“ (3)

mulators, which were arranged in 10-by-10 grids, poked through holes in the machine's front panel. But the faint light from the neon bulbs, which served as indicator lights, was barely visible. So Eckert got Ping-Pong balls, cut them in half, wrote numbers on them, and placed them over the bulbs. As the computer began processing the data, the lights in the room were turned off so that the audience would be awed by the blinking Ping-Pong balls, a spectacle that became a staple of movies and TV shows. As the



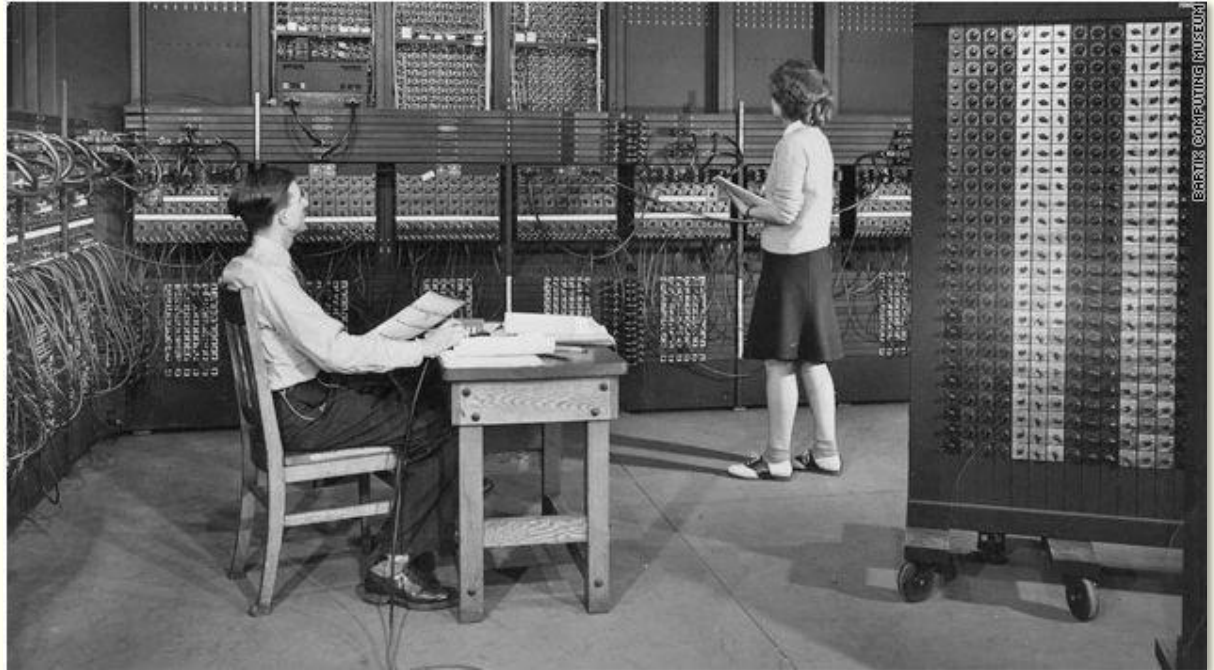
trajectory was being calculated, numbers built up in the accumulators and were transferred from place to place, and the lights started flashing like the bulbs on the marquees in Las Vegas. »

[Aus: "The Innovators" von Walter Isaacson]

„1947 wurde der ENIAC-Rechner auf das Militärgelände nach Aberdeen umgesetzt; [Marilyn Wescoff](#) und [Elizabeth Jean Jennings](#) (später [Jean Bartik](#)) zogen nicht mit um. [Betty Snyder](#) wechselte wie zuvor schon Jean Bartik zur neu gegründeten Firma Eckert Mauchly Computer Corporation, wo sie beide in der Softwareentwicklung berühmt wurden. [Kathleen McNulty](#) verließ Aberdeen 1948 und heiratete John Mauchly. Sie forschte in den folgenden Jahren mit ihm weiter in der Computertechnik. [Frances Bilas](#) und [Ruth Lichterman](#) heirateten 1947 bzw. 1948 ENIAC-Ingenieure und wurden Hausfrauen.

# „The ENIAC six“ (4)

Mit dem Wechsel nach Aberdeen übernahm ein neues Programmiererteam die Arbeit am ENIAC, die noch weitere acht Jahre dauerte. Es bestand etwa zur Hälfte aus Männern und Frauen. In Aberdeen erhielten die Programmiererinnen mit akademischen Abschlüssen erstmals ein entsprechendes Gehalt. Während ihrer Tätigkeit als *Computer* waren alle Frauen (ob mit Hochschulabschluss oder sogar mit Promotion) als *angelernt* eingestuft worden und entsprechend niedrig entlohnt.



Februar 1946: Senior Engineer Arthur Burks mit Jean Jennings Bartik beim Austesten einer Eniac-Berechnung.

An der Programmierung beteiligten sich noch zwei andere Frauen intensiv: Die Mathematikerin Adele Goldstine sowie Klare von Neumann (Ehefrauen vom Projektleiter Herman Goldstine und vom Mathematiker John von Neumann, der seit 1944 beratend in das ENIAC-Projekt involviert war). Adele Goldstine war die alleinige Autorin der umfangreichen *Technischen Beschreibung des ENIAC*, die 1946 erschien.“

[Aus: [www.frauen-informatik-geschichte.de/index.php-id=63.htm](http://www.frauen-informatik-geschichte.de/index.php-id=63.htm) (gekürzt)]

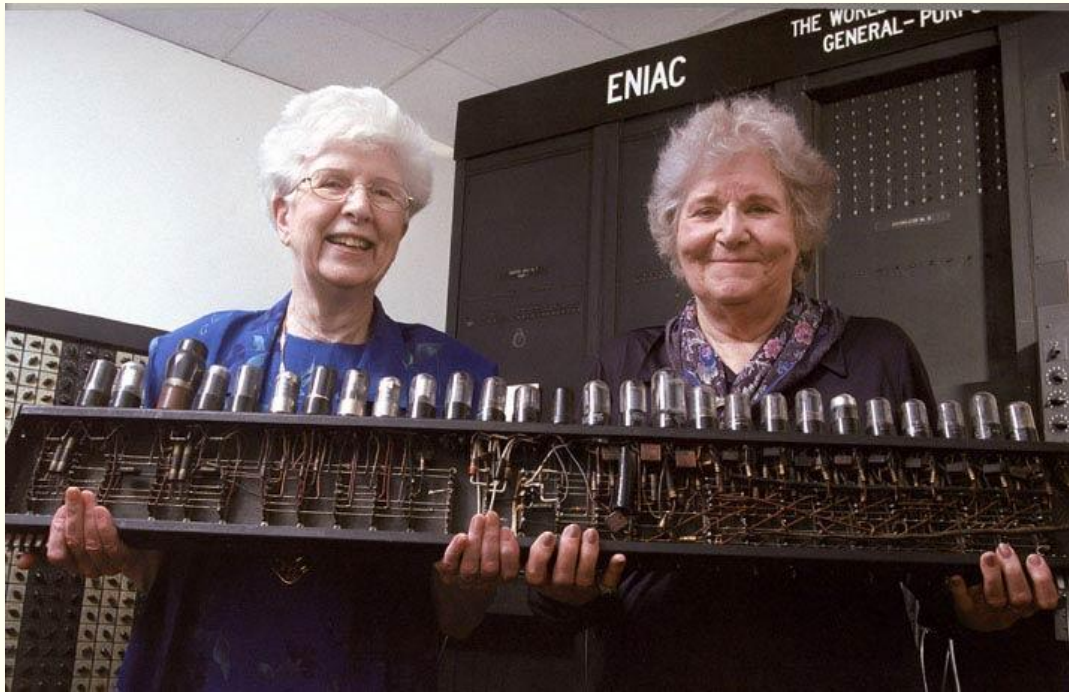
## „The ENIAC six“ (5)



Auf dem vorherigen Bild hat Arthur Burks eine solche „Fernbedienung“ in der Hand, mit welcher der Programmablauf angehalten und sodann Schritt für Schritt fortgesetzt werden kann.



## „The ENIAC six“ (6)



Kay McNulty Mauchly and Jean Jennings Bartik hold an ENIAC Decade Ring Counter (2011).

McNulty Mauchly is the widow of John Mauchly who helped design the computer.

[www.flickr.com/photos/nwmostate/5556128350](http://www.flickr.com/photos/nwmostate/5556128350)

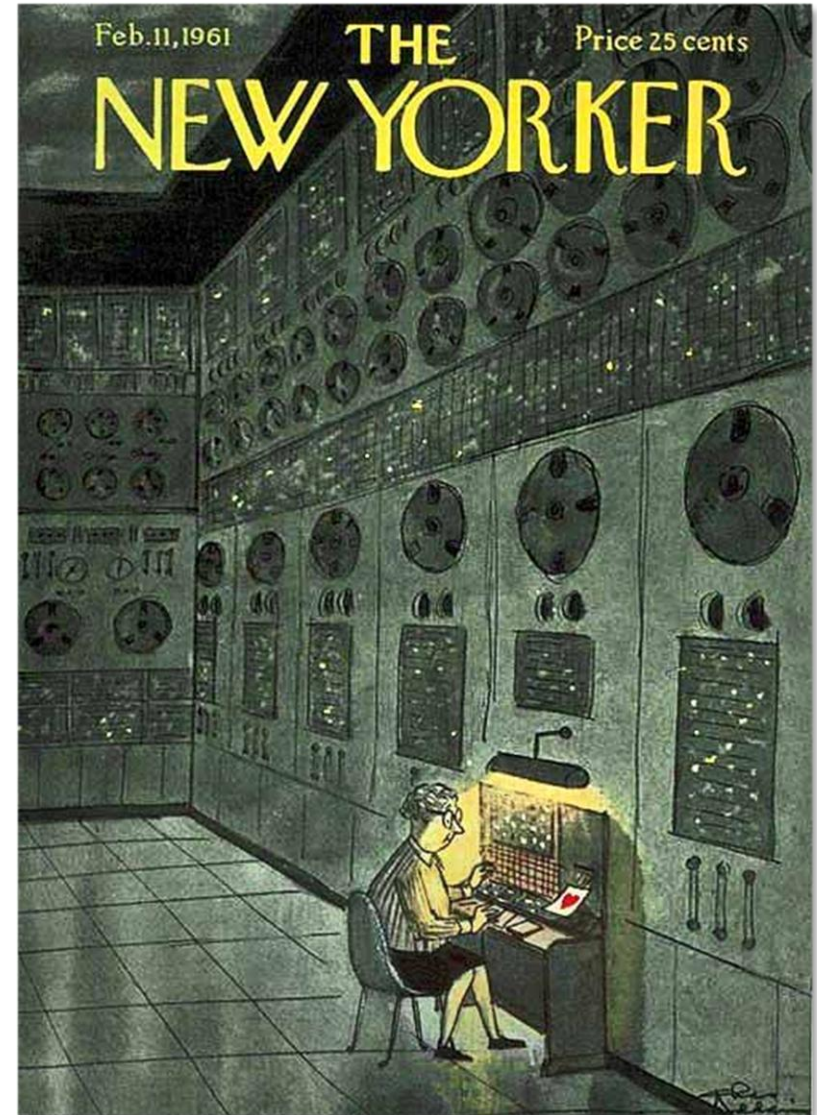
« I was also interviewed by Dr. Cunningham. He said to me, “[What do you think about electricity?](#)” I said, “I’ve had a course in physics; I know  $E = IR$ .” He said, “No, I don’t mean that. I mean, are you afraid of it?” So I said, no, I wasn’t afraid of it. He said, “Well, this is going to mean you’re going to pull plugs and set switches.” I said I didn’t think it was going to bother me. So anyway, I was hired... »

-- Jean Jennings Bartik

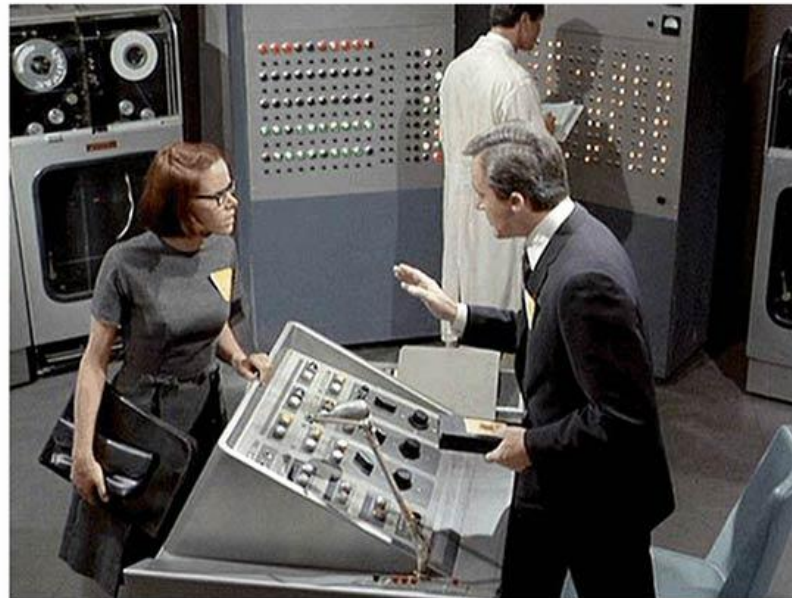
# Das populäre Bild des Computers

## Geprägt durch ENIAC

*ENIAC mit seinen grossen Metallschränken und blinkenden Lämpchen prägte die populäre Vorstellung vom Computer noch für mehrere Jahre; schliesslich hatten nur wenige Leute Gelegenheit, einen solchen irgendwo tatsächlich zu sehen. Vor allem in **Filmen, Comics und Cartoons** wurde dieses Bild gerne und lange gepflegt.*



# Das populäre Bild des Computers (2)



*Gigantische Computer als Filmkulissen wirkten eindrucksvoll, mächtig oder gar furcht-einflössend.*

# Das populäre Bild des Computers (3)



Weniger angsterregend als tölpelhaft ist die Rolle eines Elektronenhirns in Filmkomödien.

Oben u. links unten: „Desk Set“ von 1957 mit Spencer Tracy u. Katharine Hepburn. Der Computer wird dort als „electronic brain“ bezeichnet.



Rechts unten: „The Helicopter Spies“ (im deutschen Fernsehen: „Die unverbesserlichen Drei“ aus der Serie „Solo für O.N.C.E.L.“), 1968

# Das populäre Bild des Computers (4)

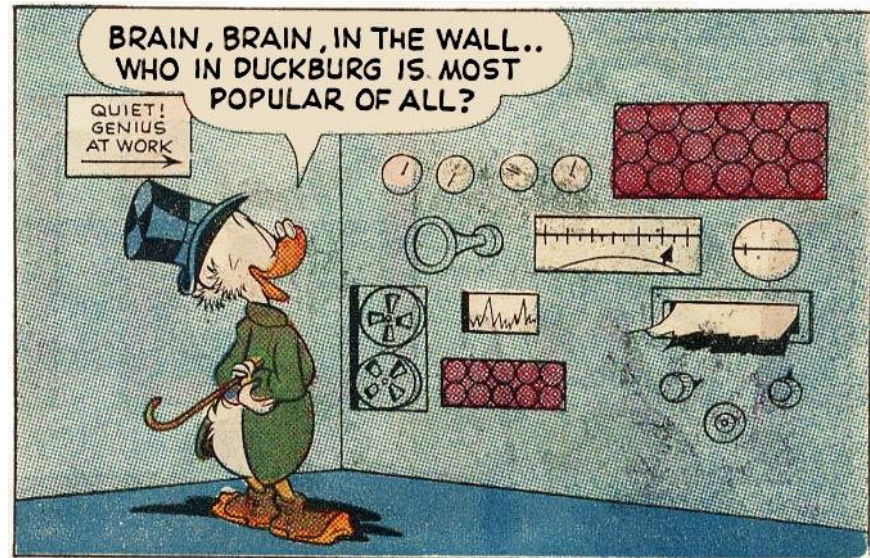
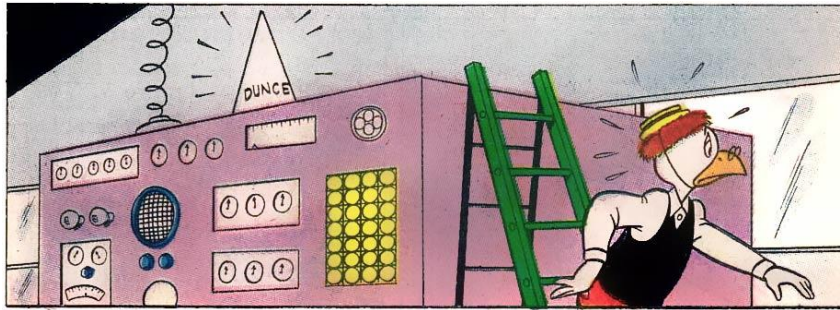


In den „Micky-Maus-Heftchen“ mit der genialen deutschen Übersetzung der Disney-Comics rund um die Familie Duck und Daniel Düsentrrieb aus Entenhausen sind Elektronenhirne eher nette Randerscheinungen.



# Das populäre Bild des Computers (5)

Donald Duck, eine Ente mit Matrosenmütze und -jacke, trägt keine Hosen. Deswegen, und weil er unverheiratet mit Daisy zusammen ist, waren Donald-Comics in den 1970ern in Finnland verboten.



**„Erst blechen, dann sprechen!“:** So ein Schild hatte die berühmte, 1967 in Berlin gegründete „Kommune I“ (K1); die Wohngemeinschaft (u.a. Rainer Langhans und Uschi Obermaier) liess sich ihre revolutionär-provokativen Interviews gut bezahlen.

# Das populäre Bild des Computers (6)



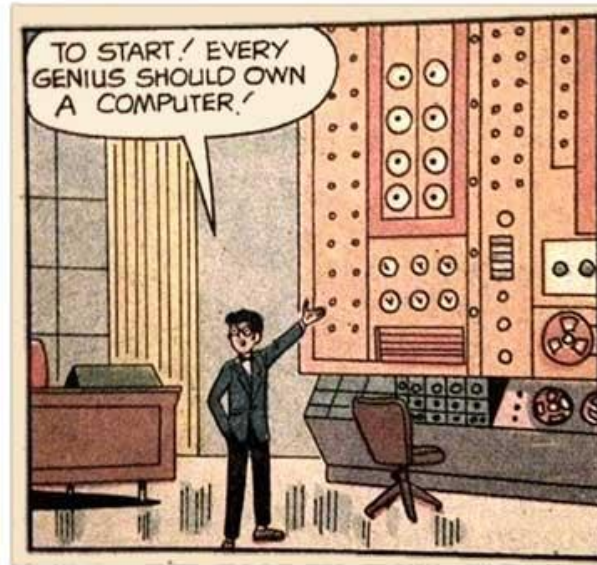
1987, als die Geschichte „Computerverkauf im Welt-raum“ erschien, waren die „allerneuesten Computer“ schon **nicht mehr raumfüllend**, sondern die Computer der sogenannten „mittleren Datentechnik“ konnten von zwei oder drei Enten gestemmt werden.

Dagobert Duck kommuniziert mit Hilfe eines Sprachübersetzungsgeräts mit den Ausserirdischen; diese sehen in ihm allerdings einen Antiquitätenhändler.

# Das populäre Bild des Computers (7)

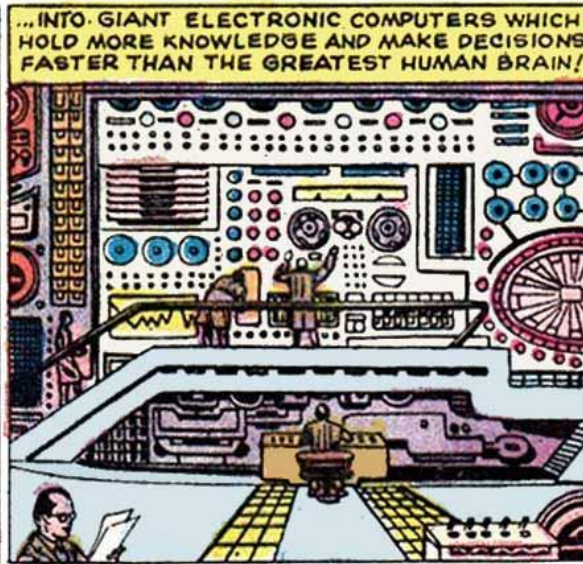


In frühen Comics waren die Riesencomputer oft Mit- oder Gegenspieler der Superhelden.

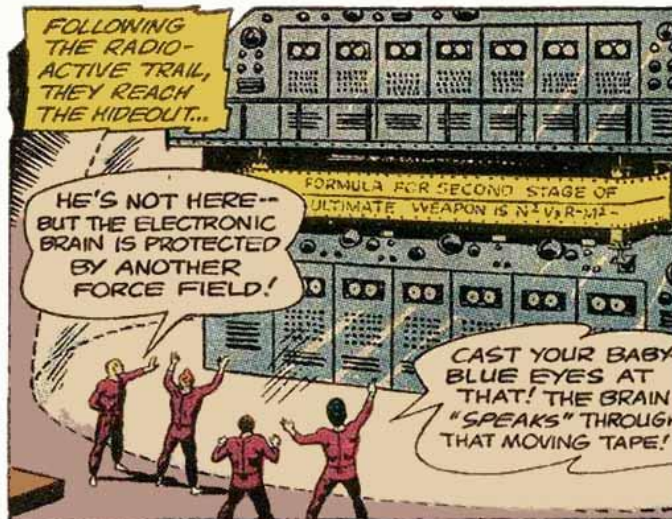
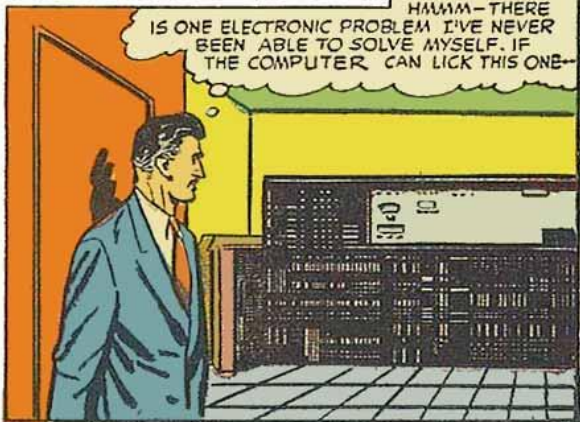




# Das populäre Bild des Computers (8)

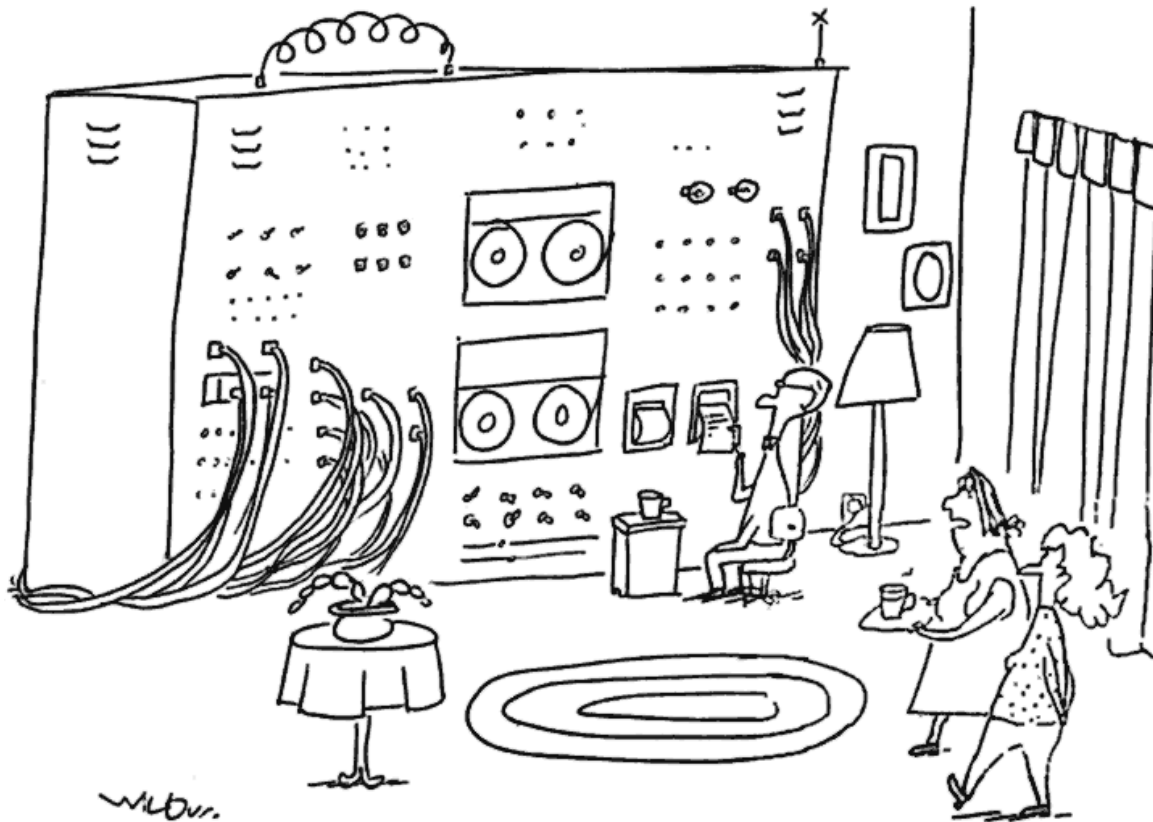


FINALLY, THE EXECUTIVES LEFT THE LABORATORY TO DISCUSS THE MASS PRODUCTION OF THE GREAT ELECTRONIC COMPUTER. IT WOULD INDEED, BE OF TREMENDOUS VALUE FOR ALL KINDS OF INDUSTRIES. BUT DR. VON HENDLER REMAINED IN THE LAB ALONE WITH THE "BRAIN!"



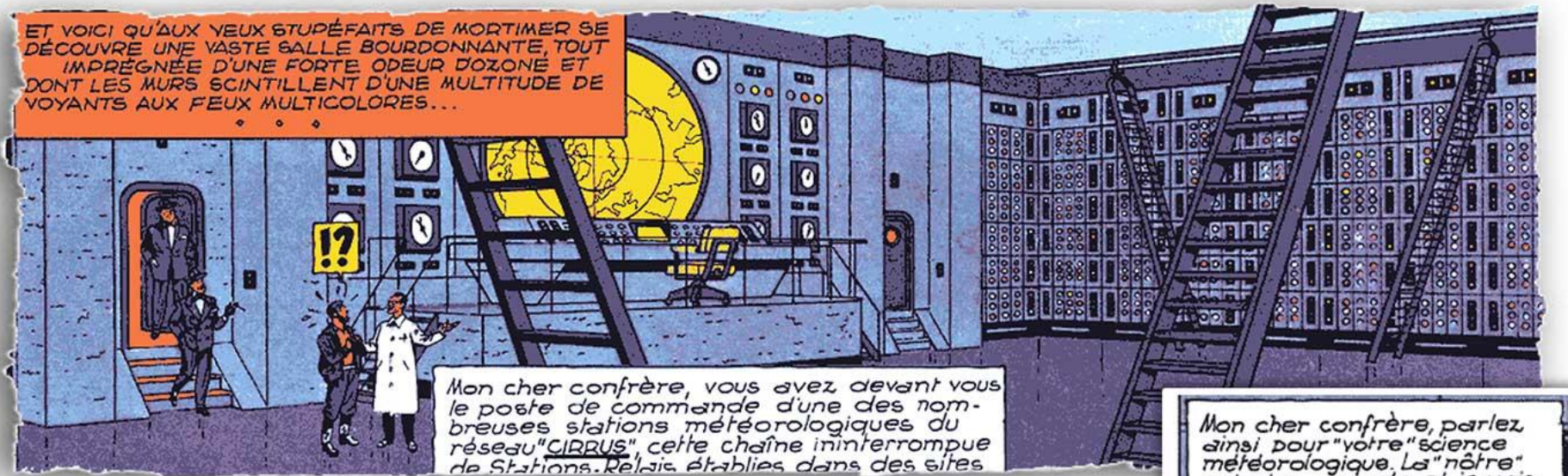
# Das populäre Bild des Computers (9)

Die Vorstellung von einem Computer zuhause war allerdings ein echter Witz!



# Wettercomputer im Comic

Auch der Wettercomputer zieht in den 1950er-Jahren in die Comics ein. Hier eine Szene aus dem Album „S.O.S. Météores“ der Abenteurerserien „Blake et Mortimer“ von Edgar P. Jacobs:



Der Wettercomputer ist in Paris, rue des Saussaies: Der Eingang der Direction de la surveillance du territoire (DST, französischer Inlandsgeheimdienst) im Comic 1958 sowie in der Realität bei Google Streetview Jahrzehnte später: Der Gendarm trägt nun ein Maschinengewehr, das Tor ist zu.

# Ein Supercomputer für die Meteorologie?



1966: Die CDC 3800 im Meteorologischen Rechenzentrum des DWD

Abteilung zu deren Nutzen all diese Bemühungen gedacht waren, stiess er auf Unverständnis und wurde als Utopist angesehen. Auch als er 1963 selbst Leiter der Forschungsabteilung wurde, als die benachbarten grösseren Dienste sich bereits einen Rechner beschafft und mit der Durchführung routinemässiger barotroper Vorhersagerechnungen begonnen hatten, gelang es ihm immer noch nicht, die Dienstleitung von der Notwendigkeit einer Maschinenbeschaffung zu überzeugen.“ „Der Spiegel“ schrieb dazu 1958: „Die Deutsche Forschungsgemeinschaft überlegt schon, ob sie eine solche Maschine kaufen soll. Der Bundesfinanzminister dagegen sagt: ‚Geld kriegt ihr erst, wenn sich die Sache lohnt.‘ Und um sein Modell durchzurechnen, braucht Dr. Hinkelmann immer noch 8 Stunden. Er muss auf 3 Stunden kommen, wenn die Sache praktisch einen Wert haben soll.“

Vor Mitte der 1960er-Jahre stiess der Gedanke an **numerische Wettervorhersagen** sowie die Nutzung von Computern in der Meteorologie zunächst noch auf wenig Akzeptanz. In einem Artikel über den beim **Deutsche Wetterdienst (DWD)** tätigen Meteorologen Karl Heinz Hinkelmann erinnert sich Fritz Wippermann von der TU Darmstadt: „...die steten Bemühungen um die Beschaffung einer eigenen Rechenmaschine durch den Deutschen Wetterdienst. In dieser Beziehung waren es für Karl Heinz Hinkelmann Jahre einer grossen Frustration. Alle Vorstösse scheiterten an einer unverständigen und wenig einsichtigen Dienstleitung; bei seinen Meteorologenkollegen, vor allen denjenigen der synoptischen

F. H. Bushby vom Meteorological Office in Bracknell, England, gibt 1986 einen Bericht von Winhart Edelman vom Deutscher Wetterdienst über [Karl Heinz Hinkelmann](#) wieder, der seiner Meinung nach die Anfangszeit der Erforschung numerischer Prognosemöglichkeiten gut charakterisiert:

Hinkelmann felt the necessity to incorporate the vertical structure of the atmosphere by more than a second level. Beginning in late Autumn of 1952 he tried to make forecasts using a three-dimensional quasi-geostrophic model with 3 and later with 4 levels. However, there was no computer available! How to solve the task? [...] The place of the story was narrow rooms under the sloping roof of an old hotel, full of cigarette smoke, a blackboard completely covered with hieroglyphics, and chalk dust everywhere. Hinkelmann's mini-group consisting of one or two students and two girls (among them the now-President of the German Weather Service and his wife) started with the following procedure: After the initial analyses had been manually prepared by the synoptic division, the vorticity and the Jacobians of the quasi-geostrophic model were evaluated by graphical methods – a big lot of maps and a work of several days! Then grid point values had to be interpolated, read out and written very small on a huge paper covering a whole blackboard for the main step of the work, namely the solution of the three dimensional elliptic equations for the tendency by relaxation. One girl read out the figures of the difference operator to the other, who sat at a very heavy noisy, slow mechanical calculator. She called the result back to the first girl. So it went on from grid point to grid point, from row to row. After a couple of hours, the girls changed their places, after a couple of days they had done an iteration for the whole field, and after several weeks they got figures we assumed to be the solution of the elliptic equation. The tendency was converted back to a map and graphically added to the initial field, giving us a 12-hr forecast. Then the entire procedure was repeated to give us a 24-hr prediction. The result of some months of stupid work did not look totally unreasonable. We never dreamt that 30 years later all this computation would be much better performed within a few seconds.

Aus: F. H. Bushby: A History of Numerical Weather Prediction. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 64A (1986) p. 1-10

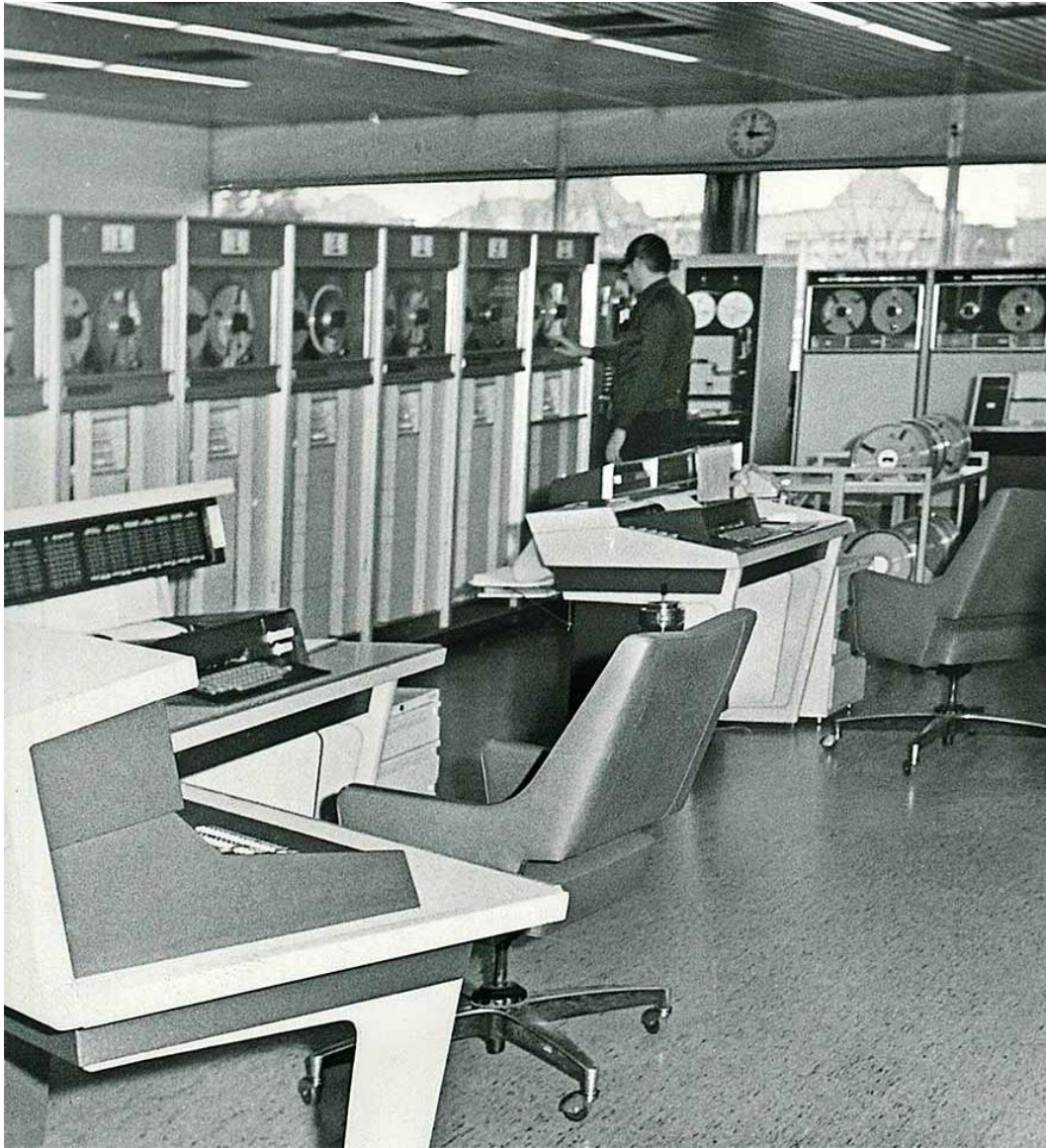
# Das Meteorologische Rechenzentrum des DWD



1966 / 67 wurde dann beim DWD ein Doppelsystem 3400 / 3800 von CDC installiert. Die 3400 diente Vorarbeiten und als Ausfallreserve. Die 3800 war ein Hochleistungsrechner für numerische Aufgaben (700 tausend Multiplikationen pro Sekunde), aus diskreten Transistoren aufgebaut mit 128 kB Hauptspeicher. Die externe Datenspeicherung erfolgte auf je acht Magnetbandeinheiten, die Eingabe der Assembler-Programme erfolgte mit Lochkarten. Die Wetter-

meldungen liefen per Fernschreiber ein und wurden mit einem Lochstreifenleser in das System eingegeben. 1978 wurde das System durch eine CDC Cyber 76 abgelöst, die mehr als zehnmalschneller war. [Text- und Bildquelle: Klaus Wege: Als das Wetter rechnen lernte. Kultur & Technik 02/2008, S. 26-31.]

# Wettercomputer beim DWD

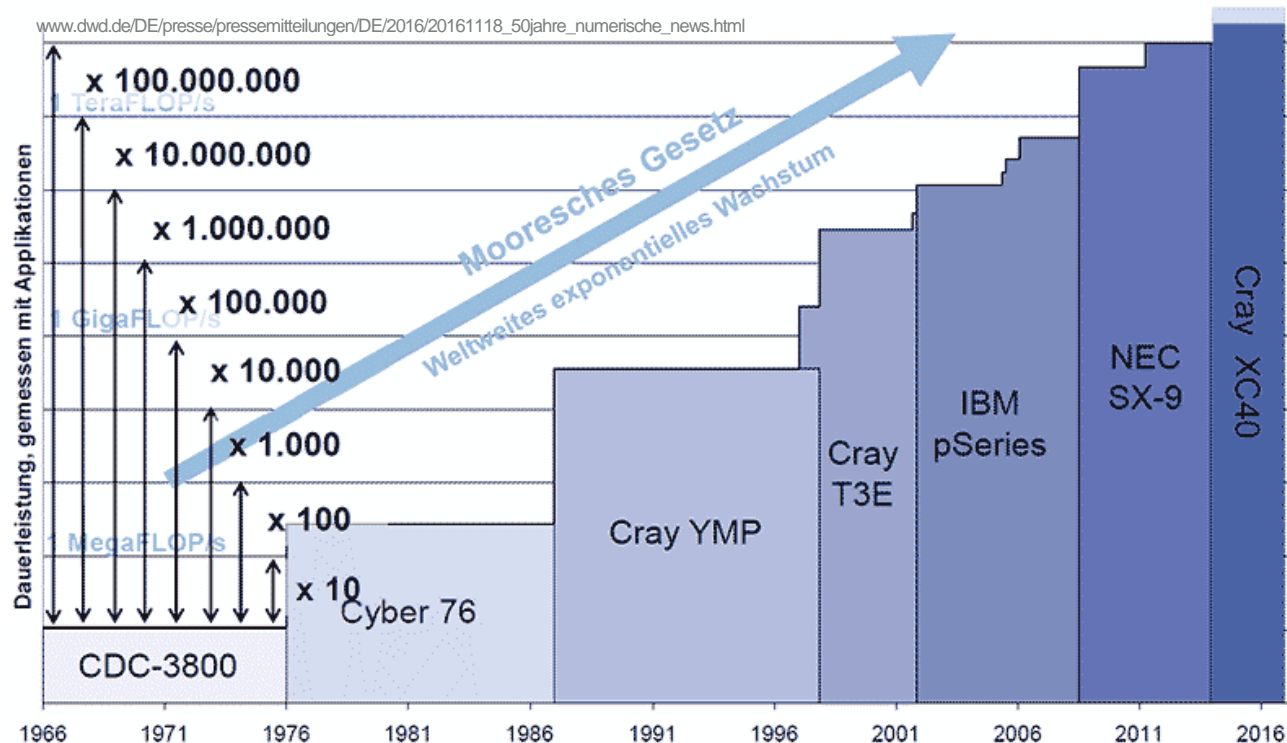


[www.mdr.de/nachrichten/sachsen/wetter-prognose-vorhersage-wettermodelle-dwd-kachelmann-ki-100.html](http://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/wetter-prognose-vorhersage-wettermodelle-dwd-kachelmann-ki-100.html)

Das Rechenzentrum des  
DWD in den 1970er-Jahren

# Wettercomputer beim DWD (2)

Winhart Edelmann berichtete, wie es in der Anfangszeit der operationellen Nutzung der numerischen Wettervorhersage beim Deutschen Wetterdienst gelegentlich zuging: „Anstatt einer vernünftigen Vorhersage kam das absolute Zahlenchaos heraus. Das numerische Rechenverfahren war aus irgendeinem finsternen Grund instabil geworden, und der musste schnellstens gefunden, beseitigt und auch für die Zukunft ausgeschlossen werden. Dann klingelten die Telefone, mit Vorliebe an Sonn- und Feiertagen, oder früh zwischen 3 und 4 Uhr. Der ‚Grosse Krisenstab‘ wurde einberufen; die Köpfe rauchten; kriminalistischer Spürsinn war vonnöten, bis die grosse Erleuchtung über eine meist sehr kleine Ursache kam.“



Die Graphik aus dem Jahr 2016 zeigt auf der halblogarithmischen Skala die laufende Zunahme der Rechenleistung beim Deutschen Wetterdienst. Z.B. brachte die Cyber 76 im Jahr 1977 eine mehr als 20-fache Steigerung der Rechenkapazität. Das Modell wurde von 6 auf 9 Flächen in der Vertikalen aufgestockt, das Gitternetz von 400 auf 250 km verfeinert. Dies verbesserte die Genauigkeit, und damit liess sich die Vorhersagezeit von 2 auf 6 Tage steigern.



# Wettercomputer beim DWD (3)

Der DWD begann im Oktober 1966 in Offenbach mit dem „barotropen Ein-Schichten-Modell“. Der erste Rechner leistete für damalige Verhältnisse unglaubliche 700 000 Multiplikationen in der Sekunde – heute ist das unvorstellbar langsam. Während die Rechenleistung im DWD seit 1966 um mehr als das 100 millionenfache gestiegen ist, konnte gleichzeitig die Modellauf-



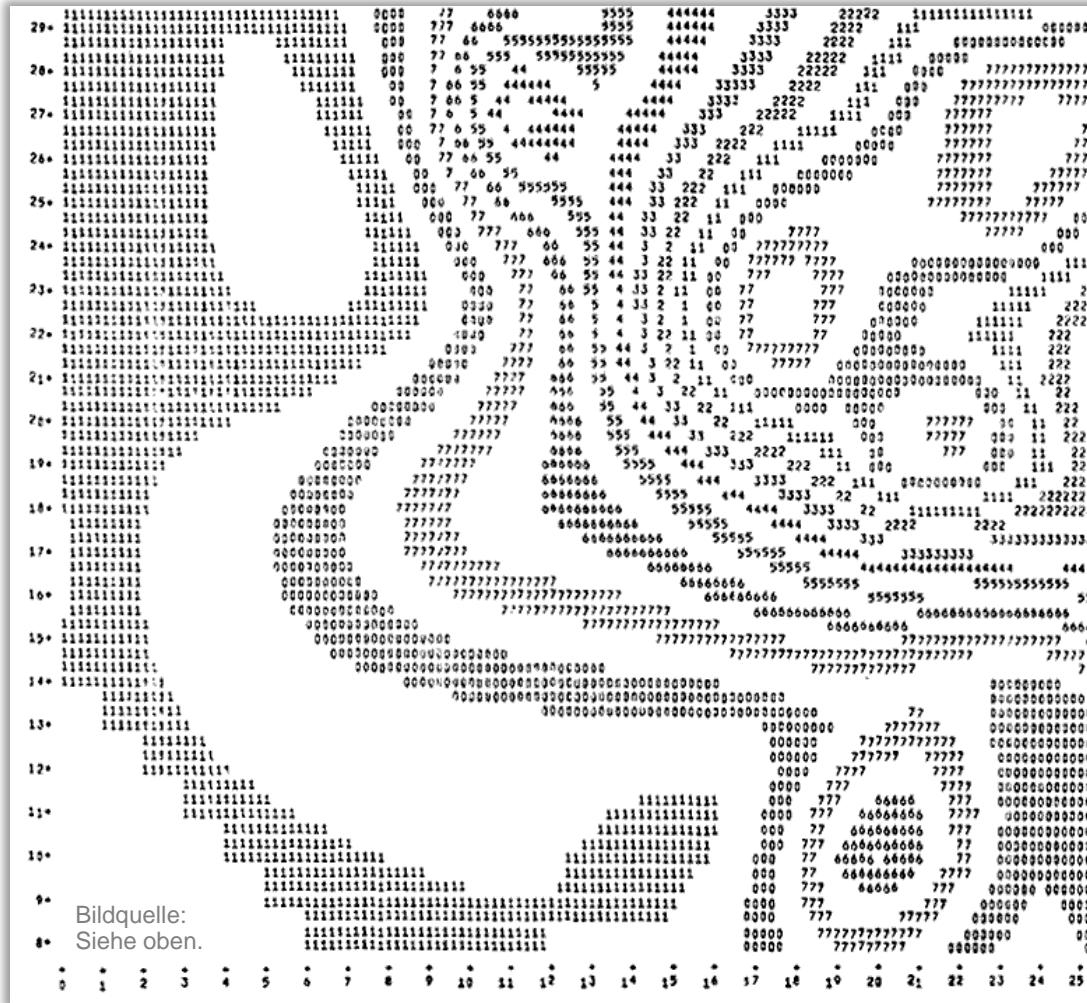
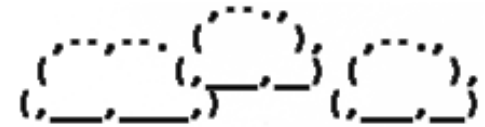
NEC SX-9, ab 2009



Cray XC40, ab 2013

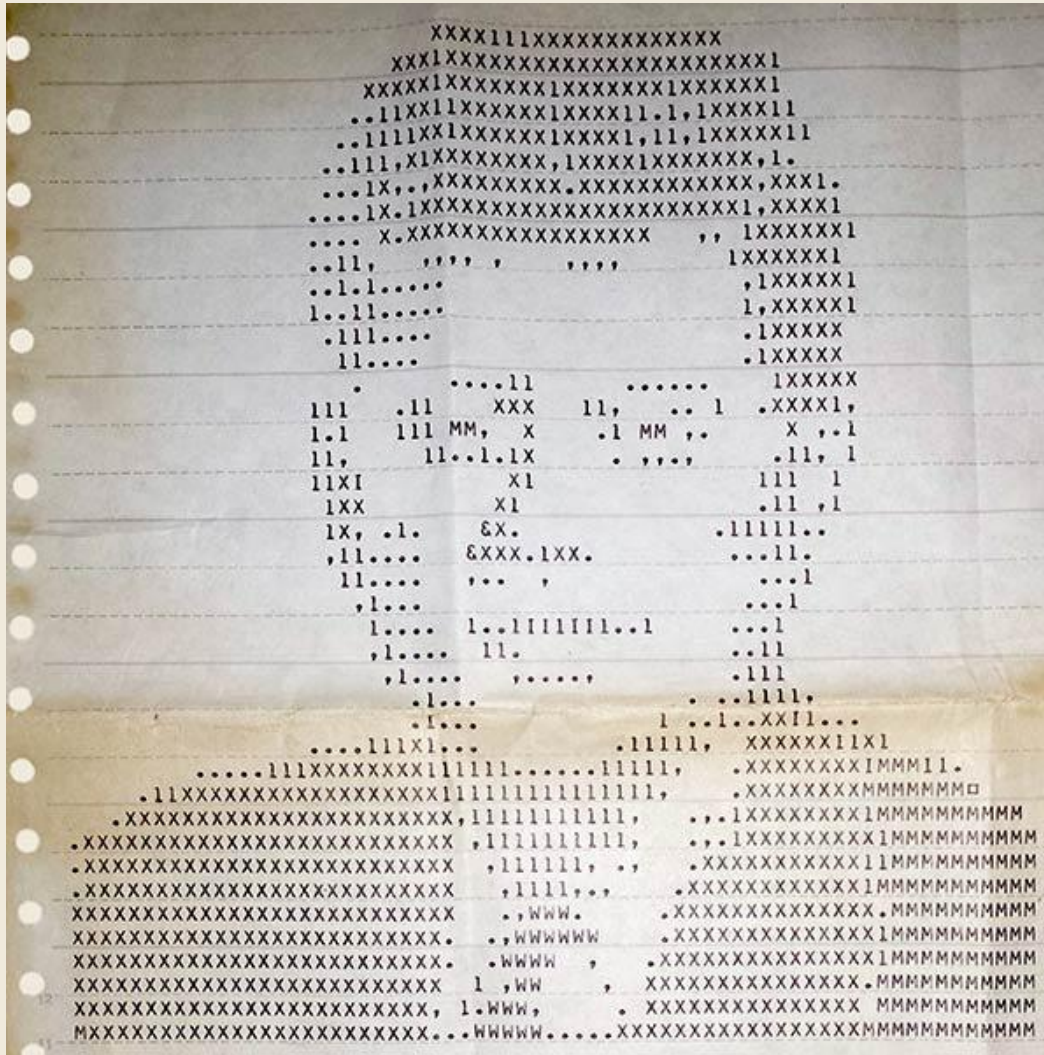
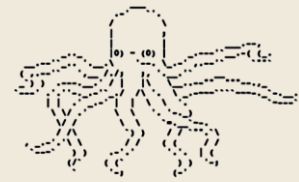
lösung, das heisst der Abstand der Orte, für die eine Vorhersage angefertigt wird, von anfangs 381 Kilometern auf heute 13 Kilometer beziehungsweise 2.8 Kilometer bei rund 90 vertikalen Schichten verfeinert werden. Global sind das zusammen rund 265 Millionen Modellpunkte. Vorhersagen werden inzwischen achtmal täglich gerechnet. [Nov. 2016, [www.op-online.de/offenbach/](http://www.op-online.de/offenbach/)]

# Wetterkarten als *ASSET AVAT*



Die Rechenleistung reichte in den 1960er-Jahren aus, um mit einem aus heutiger Sicht vergleichsweise einfachen Modell der Atmosphäre 2 Mal am Tag eine Vorhersage zu machen. Die Genauigkeit für eine 24-Stundenprognose entsprach dabei der Genauigkeit heutiger 7-Tagesprognosen. Anfangs gab es jedoch weder Bildschirme noch Zeichengeräte (Plotter) zur Ausgabe von Wetterkarten. Man behelf sich mit „Zebraarten“, die auf einem Zeilendrucker produziert wurden: Der Verlauf gewünschter Isolinien (z.B. Isobaren) wurde durch die Grenze zwischen Freiflächen und dunklen (mit Ziffern besetzten) Flächen dargestellt. Im Beispiel: Karte für den 2. 11. 1972, Ausschnitt Atlantik-Europa, mit einem Tief rechts unten über der Iberischen Halbinsel.

# Stichwort „ASCII ART“



FAREWELL TO JFK\*\*\*

"My grandpa worked for IBM in the '60s. This was printed from the company's mainframe computer after JFK was assassinated."

Aus de.wikipedia.org: „ASCII-Art ist eine Kunstrichtung, die mit Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen einer nichtproportionalen Schrift Bilder darzustellen versucht. Auf Computern eignet sich der ASCII-Zeichensatz hierfür besonders, da er weltweit auf nahezu allen Systemen verfügbar ist. Vor der Einführung von grafikfähigen PCs war die ASCII-Art die einzige Möglichkeit zur Schaffung von Bildelementen und Illustrationen. Frühe Beispiele nach diesem Schema wurden bereits in den 1940er Jahren und zuvor mit Setzkästen oder mechanischen Schreibmaschinen (Typewriter Art) in mühevoller Kleinarbeit erstellt. Einen ersten Höhepunkt erlebte das Genre mit der Verbreitung des Fernschreibers, da die Grafiken dort auf Lochstreifen gespeichert und an andere verschickt werden konnten. In den 1970er-Jahren war das Erstellen großformatiger ASCII-Bilder ein beliebter Zeitvertreib an Großrechnern.“

Beliebt waren kunstvolle Abbildungen von Cartoons wie den Peanuts oder Asterix etc., A. Einstein, M. Monroe, die Mona Lisa sowie natürlich viele Pin-ups.



# Numerische Wettervorhersage in England

In Grossbritannien wurden vom „Met Office“ erste Experimente (mit einem  $12 \times 8$ -Gitter bei einer Auflösung von 260 km und Zeitschritten von einer Stunde) Anfang der 1950er-Jahre zunächst auf dem [EDSAC-Computer in Cambridge](#) durchgeführt; anschliessend wurde der modernere [Ferranti Mark 1 der Manchester-Universität](#) genutzt. Mavis Hinds beschrieb im *Meteorological Magazine* von 1981 die Pionierzeit so:

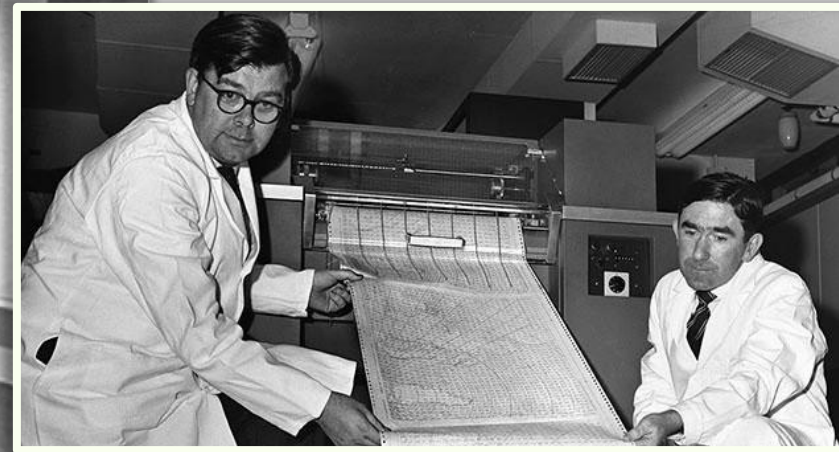
“Since we needed the computer for several hours at a stretch, most of our usage was at night and for some years we used the machine for two nights each alternate week. We stayed at a nearby commercial hotel, now happily demolished. Sleeping during the day was made difficult by the shouting of the cleaners and the insistence of the electricity-meter emptier, and if we returned during the night the chorus of snores through the thin walls was unbelievable. More readily available treats were the sight of sunrise over Manchester from the roof near the computer room or the exhilaration of coping with an old-fashioned Manchester smog in which the buses were led by a man on foot holding a flare. It was sometimes necessary to have one member of the party with sufficient athletic prowess to scale the wrought-iron University gate in order to gain access to the computer building.”



*Weather-forecast printer, Meteorological Office, 2 November 1965: Charles Jarvis and Ray Belton, operators of the high speed line printer, hold a length of forecast charts which the computer-fed machine produces at 1000 lines a minute.*

# Numerische Wettervorhersage in England (2)

1959 erwarb das Met Office für weitere Experimente den ersten eigenen Computer, einen **Ferranti Mercury**, der den Namen „**Meteor**“ erhielt (mit 5000 Elektronenröhren und 300 FLOPs einer der seinerzeit leistungsfähigsten Rechner in England); 1965 dann einen transistorbasierten **KDF9-Computer** („**Comet**“) mit einer Leistung von 60 kFLOPs. Mit diesem wurde am 2. November 1965 im Beisein von Presse und Fernsehen die erste offizielle numerische Wetterprognose des Met Office erstellt, die sich glücklicherweise als sehr zutreffend herausstellte.



*There was much publicity for this event in the local and national press, with photographs of Dr B. J. Mason, Director-General, looking at output charts.*

*Grosse Abfallkübel für das Endlospapier, der Direktor in feinstem Tuch, die Bedienmannschaft im Weisskittel.*

# Numerische Wettervorhersage in England (3)

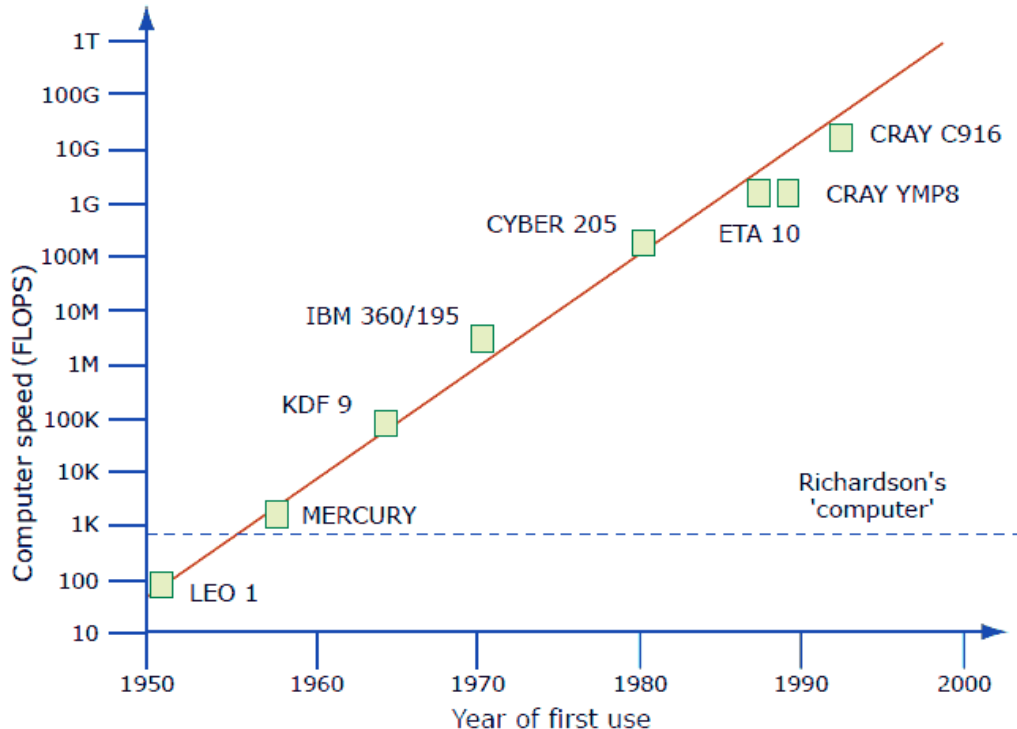


*Datenverarbeitung im britischen Met-Office der 1960er-Jahre: Lochkarten, Lochstreifen, Magnetbänder sowie ein Plotter.*



# Numerische Wettervorhersage in England (4)

## Machines Used by the Met Office



| Year | Computer              | Calculations per second |
|------|-----------------------|-------------------------|
| 1959 | Ferranti Mercury      | 3k flops                |
| 1965 | English Electric KDF9 | 50k flops               |
| 1972 | IBM 360/195           | 4M flops                |
| 1982 | CDC Cyber 205         | 200M flops              |
| 1991 | Cray Y-MP C90/16      | 10G flops               |
| 1997 | Cray T3E 900/1200     | 430G flops              |
| 2004 | NEC SX-6              | 2.0T flops              |
| 2006 | NEC SX-8 and SX-6     | 5.4T flops              |
| 2009 | IBM Power6 / Power 7  | 140T flops              |
| 2015 | Cray XC40             | 16P flops               |

English Electric **KDF9** could output charts in both zebra form on a line printer and, later, on a pen plotter. The **IBM 360/195** computer, which used integrated circuits, had 250 kword of storage. The model was coded in IBM Assembler and constructed very carefully to exploit the capabilities of the 360/195. Model fields transferred to and from the fixed head disk I/O routines which completely overlapped with the arithmetic on the CPU so the machine never had to wait for data. The **Cyber 205** vector computer had 1Mword of memory and 200 Mflop capacity. In order to achieve maximum speed from this computer, the code was an amalgam of Assembler and Fortran. The **T3E** marked a change of architecture from vector to massively parallel processing, requiring substantial reprogramming.

# Numerische Wettervorhersage in England (5)

## Machines Used by the Met Office



Ferranti Mercury („Meteor“) in Dunstable, 1959



KDF9 („Comet“), 1965



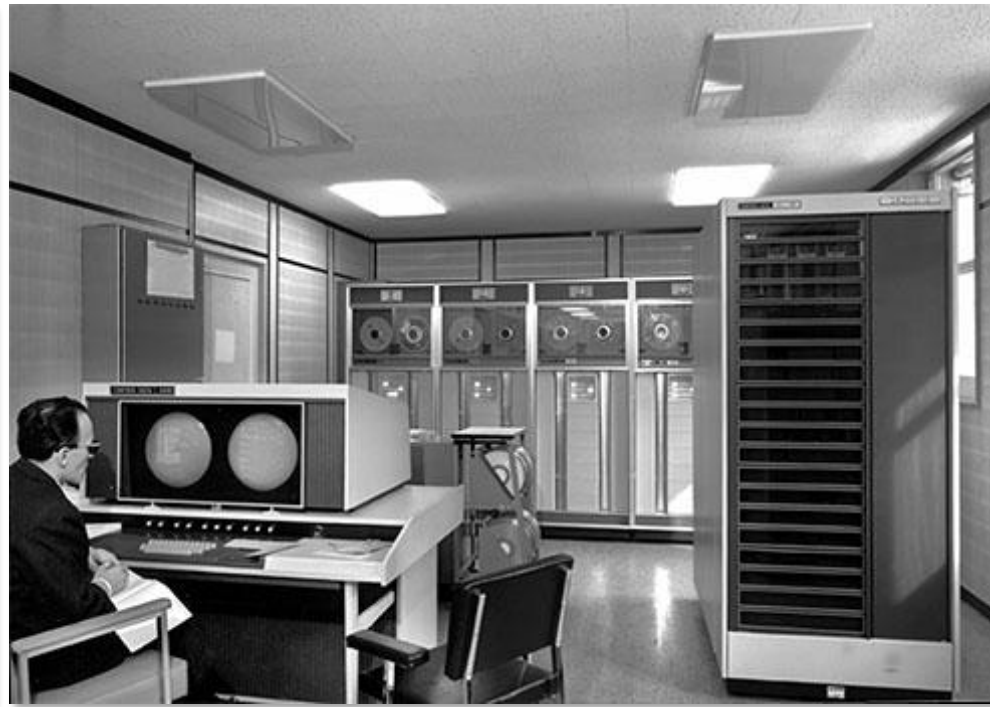
IBM 360/195 in Bracknell, 1972



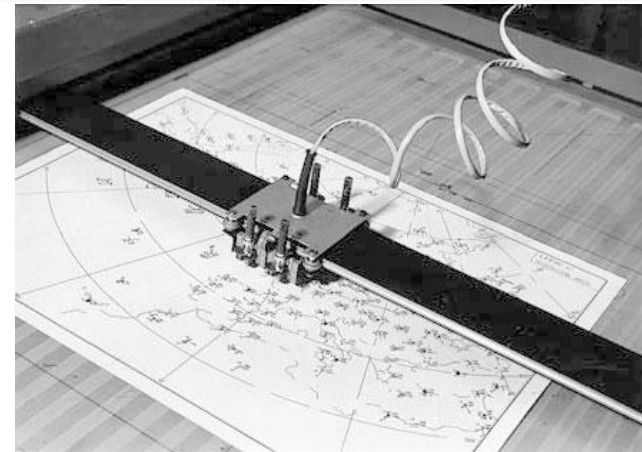
Cray XC40, 2015



# ...und in Frankreich 1960, 1968,...



In Frankreich lässt die Météorologie nationale von der Société nouvelle d'Electronique einen speziell für ihre Bedürfnisse konzipierten Rechner fertigen, den KL 901 (Bild li. oben), der 1960 für Forschungsarbeiten in Betrieb genommen wird (ca. 8800 Elektronenröhren, 200 kHz Taktfrequenz). 1968 folgt für den produktiven Betrieb eine CDC 6400 von Control Data (Bild re. oben), mit der täglich die numerischen Prognosemodelle berechnet werden und an die auch ein Kartenplotter angeschlossen ist.



# ...1993: Cray-Supercomputer

*La salle de calcul de Météo-France, à Toulouse, en 1993. Au premier plan, l'ordinateur «Cray 2». Au second plan, l'ordinateur «Cray C98».*



*Deux prévisionnistes de Météo-France devant leur station de travail.*

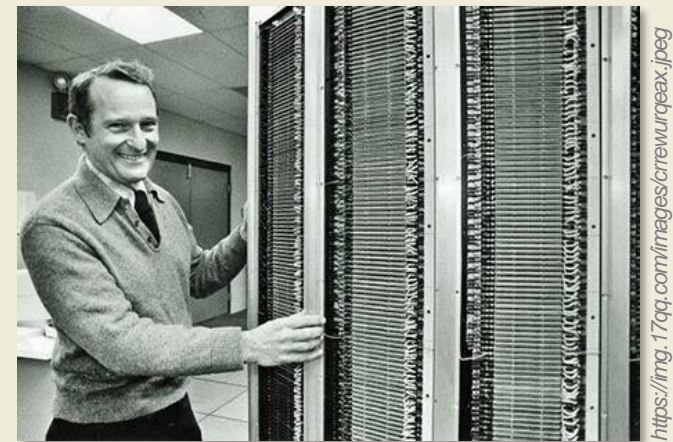
# Cray-Supercomputer

Was ein Supercomputer ist, das ist auch immer historisch zu verstehen. Ein fünf Jahre alter Supercomputer ist keiner mehr. -- Uwe Küster

Auszüge aus dem HNF-Blog, <https://blog.hnf.de/der-erste-supercomputer-cray-1/>:

„[Seymour Cray](#) (1925 – 1996) arbeitete ab 1958 für den Computerhersteller Control Data. Seine Rechner waren erheblich schneller als die des Konkurrenten IBM, kosteten aber nur wenig mehr oder waren sogar preiswerter. 1972 trennte er sich von seiner alten Firma und gründete in Chippewa Falls ein eigenes Unternehmen, Cray Research. Er fand auch schnell Investoren. Nun konnte er seinem Erfindergeist freien Lauf lassen und den schnellsten Computer der Welt entwerfen. Im August 1975 gab er seinen Erstling bekannt, das Modell Cray-1. Der Rechner wirkte wie ein [Produkt aus der Zukunft](#). Er war rund mit einer [umlaufenden Sitzbank](#). Die knapp zwei Meter hohe Zentraleinheit wog samt Kühlung fünfeinhalb Tonnen.

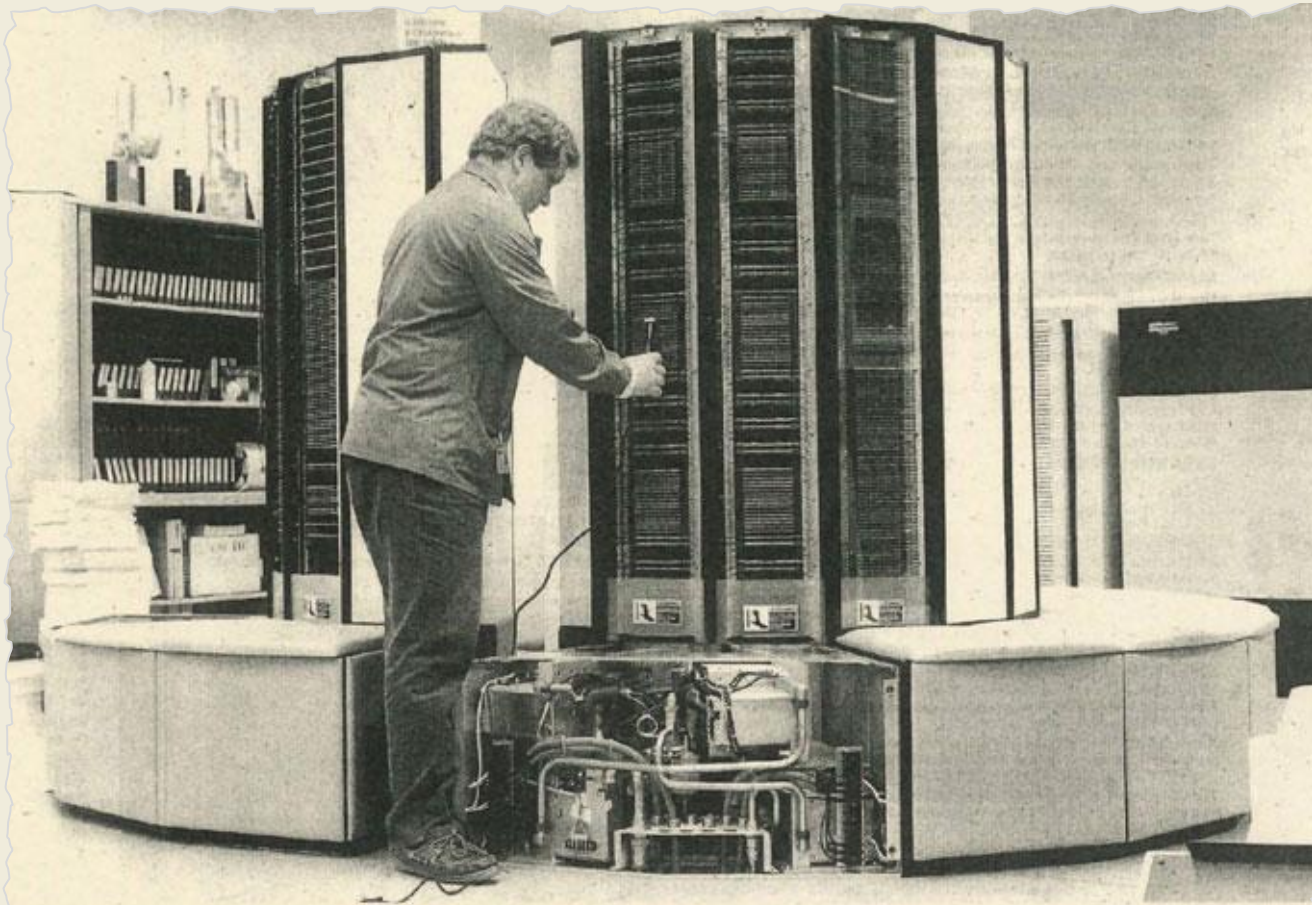
Nach der Ankündigung des Cray-1 stritten zwei grosse Forschungsinstitute darum, das erste System zu erhalten. Am Ende siegte das von Los Alamos in New Mexico; hier war zuvor schon die amerikanische Atombombe entwickelt worden. Ab 4. März 1976 konnte das Institut den Cray-Rechner Nr. 001 sechs Monate für Tests nutzen. Das Nachsehen hatte das kalifornische Lawrence-Livermore-Laboratorium. Wohl nicht kämpfen musste der Kryptologie-Geheimdienst NSA, der im selben Jahr eine Cray-1 bekam. 1977 freuten sich die Kollegen der englischen Dechiffrieragentur GCHQ über ihre Cray. Erster regulärer Abnehmer war das Nationale Zentrum für Atmosphärenforschung im US-Staat Colorado; der Preis betrug 7.9 Millionen Dollar plus eine Million für die Plattenspeicher. Am 11. Juli 1977 brachten zwei Kühllastwagen die Hardware. Insgesamt wurden mehr als hundert Stück verkauft. Die Cray-1 schuf eine neue Computer-Klasse, den [Supercomputer](#).“



Seymour Cray 1981 an einer Cray-1.

<https://img.17qq.com/images/crrewurqeax.jpeg>

# Cray-Supercomputer – auch an der ETH Zürich



Zum Bild aus einem Artikel der NZZ vom 12.08.2017:

„Die möglicherweise teuerste Sitzbank der Welt findet sich im Gebäude CAB der ETH und heisst Cray. Ein Supercomputer aus den 80ern, Kostenpunkt etwa 10 Millionen Schweizer Franken. Heute ist er von der Leistung her jedem Smartphone unterlegen.“

Schnellrechner fürs Informationszeitalter: ein Supercomputer der ETH Zürich auf dem Entwicklungsstand von 1988. KEYSTONE

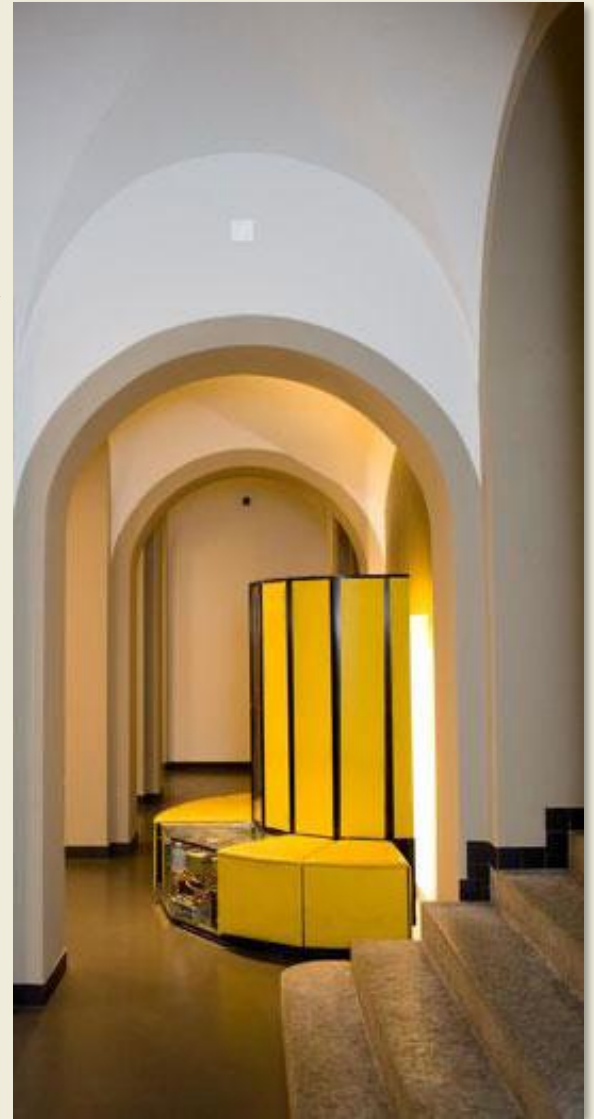
# Cray-Supercomputer – auch an der ETH Zürich



Links: Aus einem Beitrag des zweiwöchigen Fernsehmagazin „Menschen Technik Wissenschaft“ vom 9.9.1988. Die populäre Sendereihe, welche auch regelmässig über Forschungsarbeiten aus der ETH berichtete, wurde vom SRF ab 1975 produziert. 2007 wurde sie durch das „publikumsgerechtere“ Wissensmagazin „Einstein“ im Infotainment-Stil abgelöst.



Rechts: „Auf den ersten Blick sieht sie aus wie ein experimentelles Design-Objekt. Studierende und Besucher nutzen sie gerne als Sitzgelegenheit zum Warten, Kaffeetrinken oder Plaudern.“ [ETH auf Facebook]



# Cray-Supercomputer – auch an der ETH Zürich

FOKUS

## «Maschinen haben noch keine Moral.»

Alle reden von der digitalen Revolution. Für Patrick Burkhalter, langjähriger Leiter der Softwarefirma Ergon, und Informatikprofessor Friedemann Mattern hat diese längst begonnen.

INTERVIEW Martina Mazák und Nicole Kaselke  
FOTO Gerber/Loesch

H

Herr Burkhalter, Ihre Firma hat 1997 zusammen mit Credit Suisse das erste Onlinebanking-System der Schweiz entwickelt. An welchem Meilenstein arbeiten Sie heute?

**PATRICK BURKHALTER** – Ein aktuelles Beispiel ist die Anwendung von maschinellem Lernen im Umfeld von Finanztransaktionen. Wir entwickeln ein lernendes System, das Betrugsfälle aufdecken kann. Wir konnten zeigen,

dass dieses Verfahren besser funktioniert als regelbasierte Systeme, mit denen derzeit noch die meisten Banken arbeiten.

**FRIEDEMANN MATTERN** – Tatsächlich stellt man in einer ganzen Reihe von Gebieten fest, dass selbstlernende Verfahren besser sind als das, was Experten den Maschinen vorher in mühsamer Arbeit mit Regelwerken zu einem Thema eingebaut haben. In Bereichen wie Bilderkennung etwa, wo früher Menschen als Experten unersetzlich waren, treffen heute Maschinen, sofern genügend Lernmaterial zur Verfügung steht, oft bessere Entscheidungen als der Mensch. Aber Maschinen haben ein Manko: Sie reflektieren ihre Entscheidungen derzeit nicht auf einer Metaebene. Sie haben noch kein moralisch-ethisches Sensorium.

Wäre so etwas überhaupt denkbar?

**BURKHALTER** – Unser System erkennt Muster, die aus dem Rahmen fallen, und reagiert auf auffällige Abweichungen. Es trifft keine moralischen Entscheidungen.

**MATTERN** – Die Frage, wie man Moral so formalisieren könnte, dass sie Maschinen implementiert werden könnte, gehört zu den Schwierigsten über-

haupt. Schliesslich sind die Vorstellungen, was moralisch richtig ist, von Kultur zu Kultur, von Zeitraum zu Zeitraum unterschiedlich. Es gibt jedoch interessante Experimente. So versucht man derzeit, Systeme aufzubauen, die nichts anderes machen als Zeitung zu lesen und so ein Weltwissen entwickeln. Diese Systeme lernen so beispielsweise, dass jeder Mensch Eltern hat. Aber sie scheitern an der Frage, ob Schwiegermütter nett oder böse sind, weil beide Varianten in Texten vorkommen.

*Künstliche Intelligenz war doch schon in den 1980er-Jahren ein Thema. Warum ist gerade jetzt so oft die Rede von einer digitalen Revolution?*

**BURKHALTER** – Für mich als Informatiker ist das eher eine Evolution. Es gibt alle paar Jahre neue Entwicklungen in der Forschung. Dass man nun plötzlich von einer digitalen Revolution spricht, könnte daran liegen, dass den Leuten plötzlich bewusster wird, dass Software in immer mehr Alltagsgegenständen eine immer grössere Rolle spielt.

**MATTERN** – Digitalisierung findet schon lange statt. Die ersten Computer gibt es seit dem Zweiten Weltkrieg, in den 1950er-Jahren entstanden be-

**PATRICK BURKHALTER** ist Verwaltungsratspräsident der Firma Ergon Informatik AG in Zürich, die er 2008 CEO von 1992 bis 2016 leitete. Er ist einer von 50 «digital»-Experten, was er beteiligt an der Erarbeitung des «Digitalen Manifests für die Schweiz», das in Zusammenarbeit mit Digitalwirtschaft und Bundespräsident Johann Schneider-Ammann im Januar 2017 vorgestellt wurde.

**FRIEDEMANN MATTERN** ist Professor an der ETH Zürich. Er leitet die Forschungsgruppe für verteilte Systeme im Departement Informatik. Forschungsgebiete sind zentrale Systeme, Ubiquitous Computing, Sensorik und das Internet der Dinge. Dabei geht es ihm und seiner Gruppe weniger um neue Anwendungen, sondern um grundlegende Konzepte, die als Basis für möglichst viele Anwendungen dienen können.



Patrick Burkhalter (Ergon Informatik) & Friedemann Mattern an der Sitzbank des ausrangierten Cray-Computers im CAB-Gebäude der ETH Zürich (Globe-Magazin, Juni 2017)

Der über 5 Tonnen schwere Hochleistungsrechner Cray X-MP galt Mitte der 1980er-Jahre als einer der schnellsten Computer der Welt. Circa 15 Millionen Dollar kostete er damals. Die Anschaffung

des Modells Cray X-MP/28 (64 MB RAM, zwei 118 MHz Prozessoren) im Jahr 1988 markierte den Ausgangspunkt für das Engagement der ETH Zürich, auch im Bereich des Hochleistungsrechnens an vorderster Front zu sein. Der gelbe Riese dient heute als Erinnerung an die Fortschritte in der Informatik und bietet sich zudem als bequeme Sitzgelegenheit an.

# Die Digitalisierung macht die Wetterprognose zum **Infotainment** – mit Weather Girls & Boys



Numerische Wettermodelle werden ab den 1990er-Jahren weitgehend **automatisch** mit aktuellen Daten gefüttert – die Prognosekunst ist so einfacher und die **Wetterkarte** **sowieso computergeneriert**. Fast wichtiger als die Vorhersage ist nun die Frage, von wem sie präsentiert wird (und welcher Sponsor die Wetterleute kleidet).

Wettersvorhersage ist in der Schweiz bald auch keine Nachricht mehr, die auf Hochdeutsch präsentiert wird, sondern **Infotainment**, wo Mundart üblich ist.

# Die Digitalisierung macht die Wetterprognose zum **Infotainment**



Die **Show** ist mittlerweile oft **interessanter als der Wetterbericht** selbst. Das gilt selbst für das Schweizer Fernsehen und den an der ETH Zürich studierten Meteorologen Thomas Bucheli: Am 30. Juni 2021 „moderierte“ er bei widriger Witterung die Wetterprognose auf dem Dach des SRF-Gebäudes. Das Medienecho war breit:

Der promovierter Kulturwissenschaftler Tobias Brücker beschreibt die Gegebenheit im Bulletin der **Schweizerische Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften**: „Nachdem sein Regenschirm sich wiederholt im Wind verkrümmt, kippt die Situation. Aus dem schützenden Regenschirm wird ein lästiges Ding. Buchelis Mimik verfinstert sich. In der linken Hand das Mikrofon festhaltend, zieht er den Schirm mit der rechten Hand herunter, nennt ihn einen «blöden Schirm» – und wirft ihn kurzerhand weg. Und siehe da: Der Wetterfrosch strahlt wieder in die Kamera und moderiert bestens gelaunt weiter.“

Die **Schweizer Illustrierte** forscht nach: „Es war «Selbstverschulden». Einen intakten Schirm zu nehmen, wäre eigentlich seine Aufgabe gewesen, gibt Bucheli zu. [...] Normalerweise sei es so, dass wenn es der «Meteo»-Mensch nicht selbst merke, dass der Schirm kaputt sei, Kameramann oder Regie darauf hinweisen würden, ergänzt der Luzerner. Doch da es gestern etwas hektisch zu und her gegangen sei, habe niemand auf den Schirm geachtet. [...] «Wie kriege ich Schirm und Mikrofon in einer Hand so zusammen, dass nix runterfällt und man mich noch versteht? Die andere Hand benötige ich ja zum Weitschalten der Bilder...», so Bucheli über die vertrackte Situation.“



# Das (vorläufige?) untere Ende an Niveaulosigkeit

Es ist die **Automatisierung**, getrieben durch die **Digitalisierung**, welche die Berufsqualifikation der Wetter-„Presenter“ banalisiert – fachliches Know-how ist im Privat-TV nun entbehrlich.



„Die Syntax bockt, die Semantik stockt, doch das macht gar nichts. Wenn Claudia und Anja die Zuschauerbetreuung an der Kaltluftfront übernehmen, soll gute Laune aufkommen, egal, wie viel Graupel droht. Im Kampf um die Treue des Publikums entdecken die Fernsehstationen den **Unterhaltungswert des Wetterberichts**. Vor allem die Showprofis vom Kommerzfunk [...] nutzen den Platz zwischen Satellitenfilm und Computergrafik als Talentschuppen für neue Moderatoren. Vorbei die Zeiten von **Frau Dr. Karla Wege, der Klima-Mutter der Nation**, die jahrzehntelang im ZDF das Zeigestöckchen kühler Wissenschaftlichkeit hochhielt. Nun werben **fachlich unbedarfte** Wetter-Sirenen mit knappen Minis um Aufmerksamkeit.“ Der Spiegel, 16.03.1992

# Wetterprognose & Werbung

Da **vollständig automatisierte Wetterprognosen** für jeden Ort der Erde ein **preiswert zu beziehender Service** geworden sind, finden wir Wetterberichte nun an vielen Stellen im öffentlichen Raum. Auf Displays im Lift oder im Tram, aber auch auf grossformatigen digitalen Werbetafeln in Fussgängerzonen fungieren sie als um Aufmerksamkeit heischende „Garnitur“ für **Werbeclips**. Wenn man Reklame mit anderen Informationen vermischt, wird sie kaschiert und als weniger störend wahrgenommen – mit dem Ergebnis, dass mehr Leute hinschauen. Wetterinformationen sind doch immer wieder neu und interessant, so scheint es...

*„Ziehen Sie die Blicke auf den Bildschirm im Bus. Lassen Sie Ihr Produkt durch → die Displays auf die Fahrgäste wirken. Bringen Sie Abwechslung in die Reise der Passagiere und Ihre Werbung erfreut sich einer hohen Beachtung.“*



# Bluescreen- Technik

Mit der **Bluescreen-** oder **Blue-Box-Technik** kam in Form des virtuellen Studios ein weiteres Gestaltungselement hinzu, das die Wettermoderatoren noch effektvoller in Szene setzt.



Die Meteorologin Metinka Slater wollte gerade über Regen im Bundesstaat Iowa sprechen, als auf der grossen Wetterkarte hinter ihr das Fenster aufploppte, welches das **Windows-Upgrade anpreist**. „Microsoft empfiehlt das Upgrade auf Windows 10. Was soll ich tun?“, fragte die Moderatorin ihr TV-Publikum. [Spiegel Online, 29. 04. 2016]

# „Durchsichtige Vorschau – Kleid von Wetterfee wird zur Prognosekarte“



Heiterer Zwischenfall: Wetterfee Liberté Chan sagte das Wetter für den Raum Los Angeles an, als sich ihr Kleid scheinbar in Luft auflöste. Grund: Der weiße Stoff enthielt einen Hauch Grün, die Kamera hielt die Kleidung für einen Teil der Studiowand und zeigte die Wetter-Karte darauf an. Ein Kollege eilte herbei und half mit einem Sakko aus, das die Wetterfee über ihre Schultern legte.  
[www.youtube.com/watch?v=bSWgL9dxW7g](http://www.youtube.com/watch?v=bSWgL9dxW7g)

# Das Weather Girl als „Traumjob“?

Oh weh, was ist nur aus dem **Traum** des Idealisten Lewis Fry Richardson geworden?



The weather girl position is a **dream job** for a lot of women. You get to look great, styled for the camera, and have fun makeovers every season.

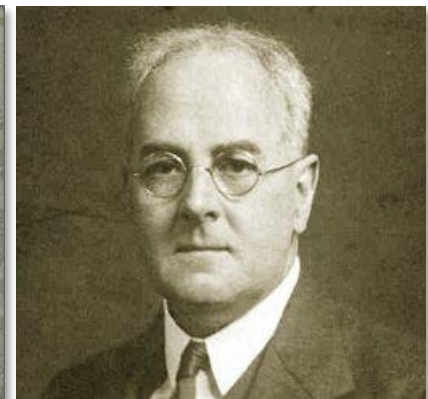
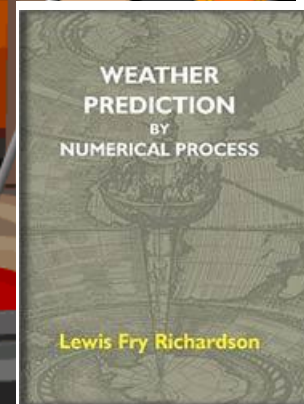
[www.dress-game.com/weather-girl.html](http://www.dress-game.com/weather-girl.html) [www.pinkbunnylilli.de/weather-girl](http://www.pinkbunnylilli.de/weather-girl)

# Flashback

Oh weh, was ist nur aus dem **Traum** des Idealisten Lewis Fry Richardson geworden?



*"Perhaps some day in the dim future it will be possible to advance the computations faster than the weather advances and at a cost less than the saving to mankind due to the information gained. **But that is a dream.**"*  
Lewis Fry Richardson, 1922



Google

we

- wetter
- wetter zürich
- wechselkurs
- wetter schweiz

Zürich

Mittwoch, 00:00  
Bewölkt

Niederschlag: 0%  
Luftfeuchte: 96%  
Wind: 3 km/h



12 °C | °F

Temperatur Niederschlag Wind



| Day | Icon            | Temp Range (°C) |
|-----|-----------------|-----------------|
| Mi. | Cloud with rain | 18° 10°         |
| Do. | Cloud with sun  | 19° 8°          |
| Fr. | Cloud with rain | 23° 12°         |
| Sa. | Cloud with rain | 19° 10°         |
| So. | Cloud with rain | 19° 9°          |
| Mo. | Sun             | 24° 9°          |
| Di. | Cloud with sun  | 28° 13°         |
| Mi. | Cloud with sun  | 25° 11°         |

Hiervon konnte Richardson noch nicht einmal träumen!



Bei **Google** genügen die beiden Anfangsbuchstaben „we“ – und Autocomplete ahnt, dass mich das lokale Wetter in Zürich interessiert.

Bei **Smartphones** bekommt man die Wettervorhersage sogar ohne jegliche Mühe – aktuell, standortbezogen, zutreffend und kostenlos.

Die **Summe der Leistungen**, die hier dahintersteckt, interessiert kaum noch – denn der Service ist uns **selbstverständlich** geworden.



Hiervon konnte Richardson noch nicht einmal **träumen!**



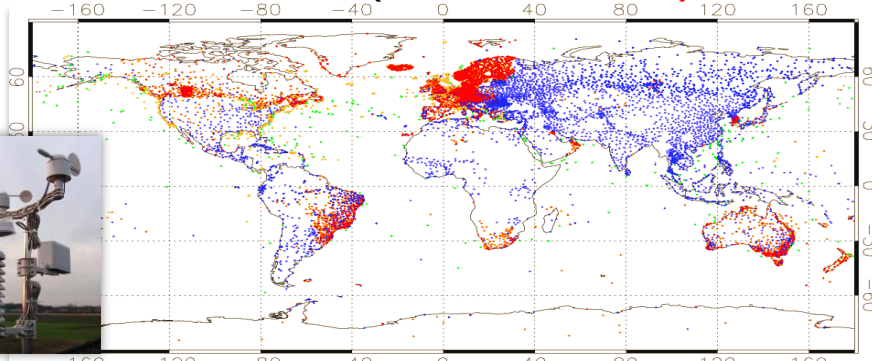


# Meteorologische Datenquellen

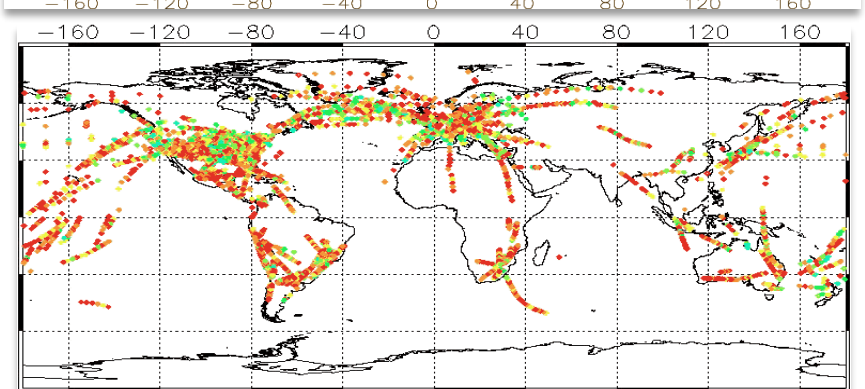
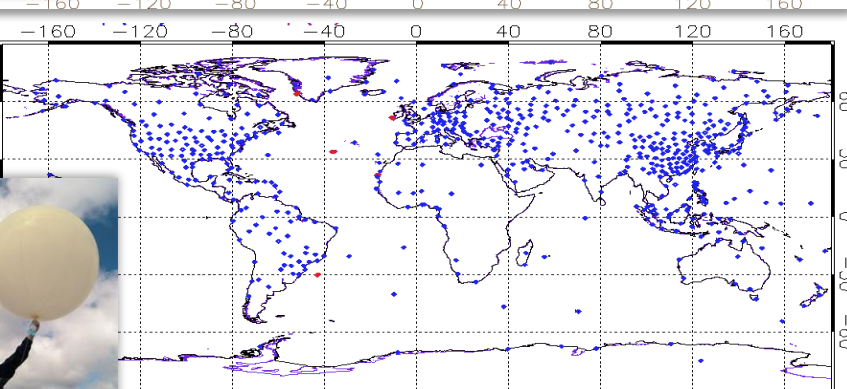
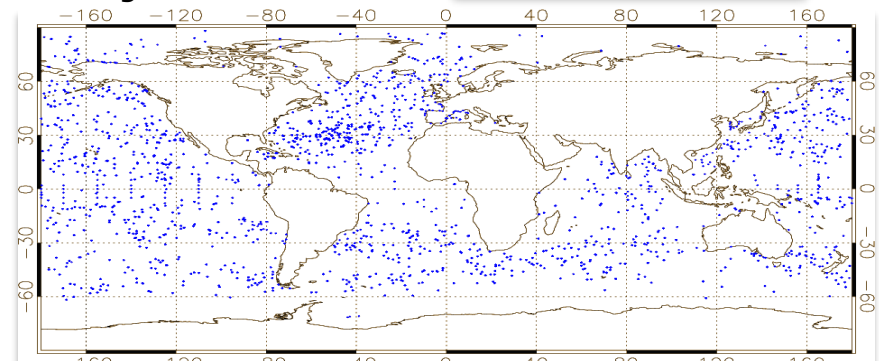
Neben den ca. 37000 **Wetterstationen** an Land sind auf dem Meer mehrere tausend **Schiffe** mit Wetterstationen an Bord unterwegs. Hinzu kommen rund 5200 automatische **Driftbojen**. Auch etwa 9200 **Verkehrsflugzeuge** liefern meteorologische Daten an die Wetterdienste. Mindestens zwei Mal täglich werden ferner weltweit an über 600 Stationen **Wetterballone** mit Radiosonden gestartet, die bis 30 km hoch aufsteigen und unterwegs Messwerte zum Boden funken.



**Wetterstationen (bemannt / unbem.)**



**Bojen**



**Wetterballone mit Radiosonden**

**Flugzeuge (Reiseflughöhe)**



# Lücken im Beobachtungsnetz

Eine Wetterprognose, die über ein paar wenige Tage hinaus geht, muss ein sehr **grosses geographisches Gebiet**, evtl. sogar die Atmosphäre des ganzen Erdballs, modellieren. Insbesondere in der Anfangszeit der numerischen Wetterprognose, den 1950er- und 1960er-Jahren, war dies aber kaum möglich, da die Datenlage ausserhalb der bewohnten Gebiete und der wirtschaftlich entwickelten Ländern sehr spärlich war.

Die Karte von **1960** zeigt die **weniger als 500 Wetterstationen** der nördlichen Hemisphäre, welche (typischerweise zwei Mal am Tag) der Joint Numerical Weather Prediction Group in Maryland Daten liefern; für ein Berechnungsgitter aus knapp 2000 Zellen war dies kaum ausreichend; die Situation war in der südlichen Hemisphäre noch schlechter. Anfang der 1960er-Jahre fragte man sich, ob „**indirekte Messungen durch Satelliten**“ helfen könnten, diese Lücken zu schliessen.

More data, more data,  
Right now and not later.  
Our storms are distressing,  
Our problems are pressing.  
We can brook no delay  
For theorists to play.  
Let us repair to the principle sublime,  
Measure everything, everywhere, all the time.

*Aaron Fleisher (1919 – 2004); Theme song of the 6th Weather Radar Conference, MIT, 1957*



# Satelliten als meteorologische Datenquellen

Heute liefern geostationären **Wetter-satelliten** auf knapp 36000 km Höhe, wie z.B. die europäischen Meteosat-Systeme, **mehrmals pro Stunde** Daten; ferner umkreisen polarumlaufende Wettersatelliten in rund 850 km Höhe die Erde. Die Wettersatelliten messen die Strahlung der Erde und Atmosphäre in mehreren Spektralbändern des Infrarot- und Mikrowellenbereichs, woraus sich der **Zustand der Atmosphäre** (wie Temperatur und Feuchtigkeit) ableiten lässt und die **Temperatur des Erdbodens** bzw. der Meeresoberfläche gewonnen werden kann. Seit Ende 2017 werden aus aufeinanderfolgenden Satellitenbildern auch **Windinformationen** abgeleitet. Alleine beim Deutschen Wetterdienst entstanden im Jahr 2018 täglich ca. 17 Terabyte an Vorhersagedaten.

*Meteosat-Kontrollzentrum (EUMETSAT) in Darmstadt, 2002*



www.esa.int/spaceimages/Images/ (auch folgende 2 Slides)



*ESA/ESOC-Kontrollzentrum, 1969 / 2017*



# Weltwetterlage vom künstlichen Möndchen

Mitte des letzten Jahrhunderts waren meteorologische Satelliten noch Science-Fiction

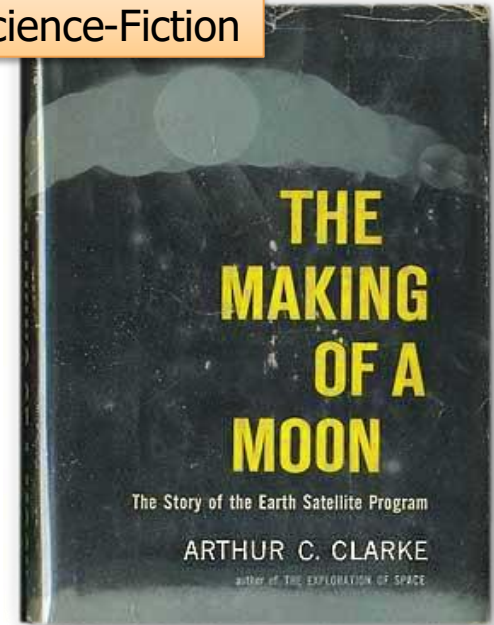
DER SPIEGEL 27/1954, 30.06.1954

## KÜNSTLICHES WETTER / FORSCHUNG

[...] Einen noch weiter reichenden Plan propagierte der Meteorologe [Harry Wexler](#) vom „U.S. Wetterbüro“ Mitte Mai auf einer vom Amerikanischen Museum für Naturgeschichte einberufenen Tagung für Weltraumfahrt.

Auf dieser Tagung hatte Dr. S. F. Singer von der Universität von Maryland seine Pläne für ein künstliches, unbemanntes [50-Pfund-Möndchen](#) vorgelegt, mit dem er die Eroberung des Weltraums einleiten will. Wexler plant, den künstlichen Satelliten, der in zwei Stunden die Erde in 320 Kilometer Höhe einmal umkreisen soll, so fliegen zu lassen, dass er beide Pole überquert. Wenn er nach zwei Stunden zur nächsten Runde ansetzt, hat sich unter ihm die Erde mit ihrer Atmosphäre um dreißig Grad weitergedreht. Nach 24 Stunden wäre der Singer-Satellit wieder an derselben Stelle und hätte die ganze Erdoberfläche abgeflogen.

Eine [riesige Fernsehkamera](#) soll vom künstlichen Mond aus ununterbrochen die Erdoberfläche beobachten. Ein Meteorologe auf der Erde sieht dann an einem Fernseh-Empfänger nach und nach alle Wolkenfelder, die um den Erdball schweben. Da für Hoch- und Tiefdruckgebiete, Kalt- und Warmfronten, Wirbelstürme und alle anderen Großwettererscheinungen ganz bestimmte Wolkenbilder charakteristisch sind, kann er die Weltwetterlage mühelos analysieren.



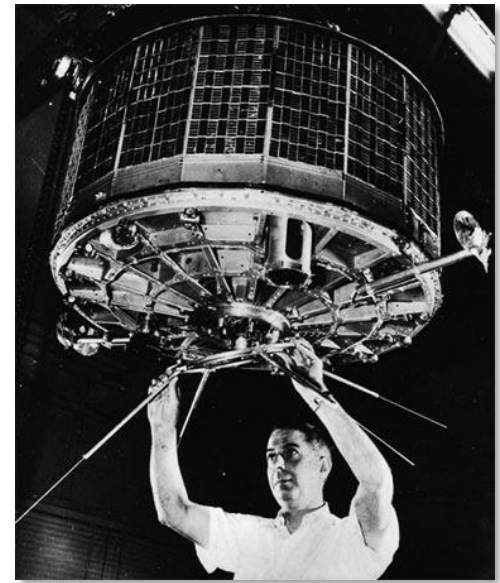
Science fiction author and futurist [Arthur C. Clarke](#) had been following Wexler's work on hurricanes in the 40s and wrote to Wexler to ask for his thoughts on Clarke's idea of using an artificial satellite to study weather patterns from space. This put Wexler on a path that would eventually lead to the launch of [TIROS-1](#) in 1960.

# Weather Spy – an Eye in the Sky

Der erste Wettersatellit (**TIROS-1**) war eigentlich nicht zur Wetterbeobachtung gebaut worden, sondern zum Zweck der militärischen Aufklärung. Der gebürtige Wiener und spätere Mitarbeiter der U.S. Army Research and Development Laboratories, Rudolf Stampfl (1926 – 1994), berichtet dazu: [“The APT on the Polar Orbiting Weather Satellites”, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 23(6), 820-830, 1987]

*The original intent, which was to see matters of reconnaissance value, could not be realized. The now famous Tiros (Television and Infrared Observation Satellite) was a much better **cloud mapper**, and thus TIROS 1, launched on **April 1, 1960**, became the first useful meteorological satellite.*

*When the satellite was in sight of a ground station and when the Earth was in daylight, **direct picture transmission** was possible; pictures of other locations were **recorded on reel-to-reel tape recorders** in the satellites and played back later. [...] Another ground station was located at an Air Force installation in Hawaii. We recognized very early that, to provide more accurate predictions, weather forecasting had to be done close to the time of the observation, and thus meteorologists were stationed at the two sights. Commands were sent manually to the satellites: when to take pictures, when to store them, when to read out pictures from the satellite either in the direct transmission mode or from storage from the tape recorder.*



PRIORITY  
KAENAA, SUNVAL  
TIROS I X JOHNSON  
FINNEY  
FOR ORBITOOR KAENAA  
USE PROG B AUTOSTART  
NEW ALARM TIMES ARE  
A1 16 38 00 Z  
A2 OFF  
A3 OFF  
USE DCSI 2 PI 30S ET 8.0H  
ON DCSI SUPPRESS COMMAND TONE  
DROPOUTS CAUSING SHUTTER PULSES  
UNTIL AFTER YOU GET 235 MC  
VIDEO FROM BIRD BY MANUALLY  
SETTING PI TO OFF. WHEN  
YOU GET 235 MC, RESTORE PI  
TO SELECTED INTERVAL.

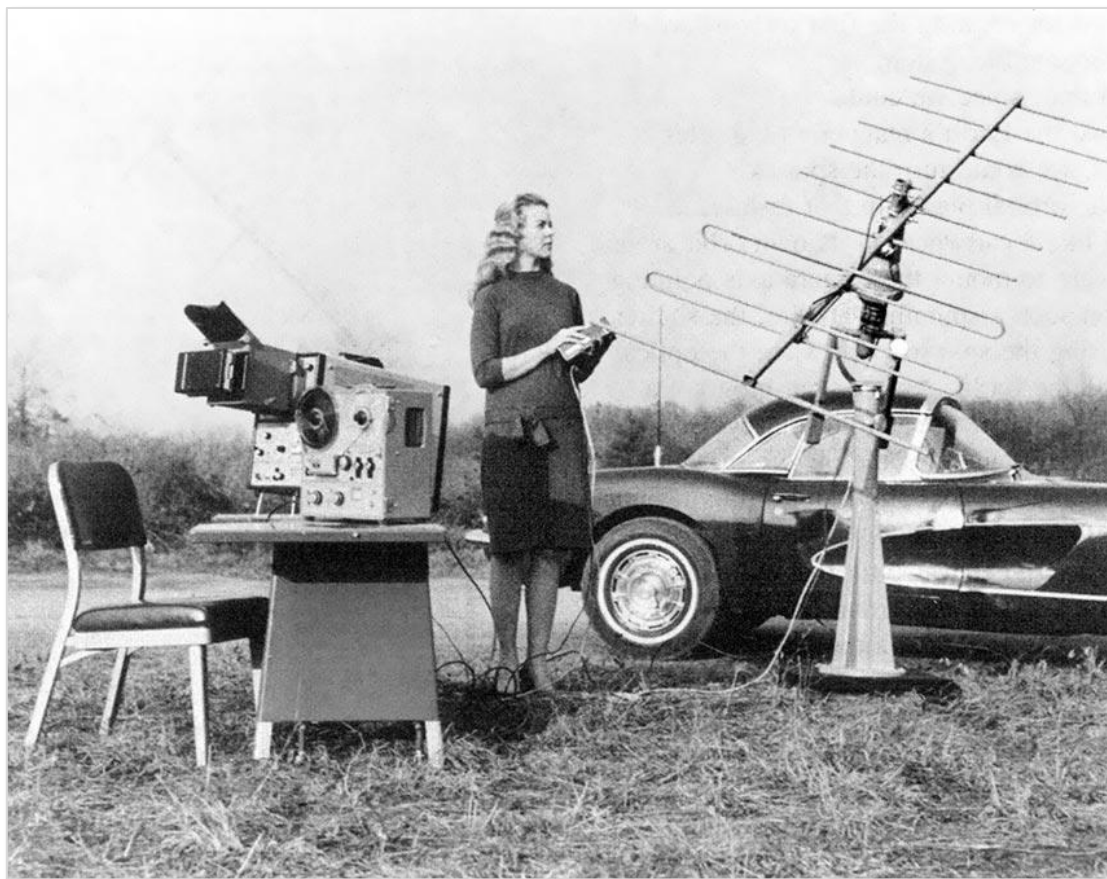
*Telex-Nachricht vom Kontrollzentrum an die Bodenstationen.*

## Weather Spy – an Eye in the Sky (2)

*Today we are accustomed to having the best available predictions of severe weather systems, such as hurricanes or blizzards. Before weather satellites existed, the extent and origin of hurricanes was unknown or only suspected. They appeared in the eastern region of the United States and seemed to come from somewhere in the Caribbean. Many meteorologists were convinced that hurricanes really came from Africa and then traveled across the Atlantic. No one knew where they originated in the Pacific either; typhoons simply appeared, usually without any advance warning [...] This changed very rapidly after Tiros 1, which discovered at least one hurricane in the Atlantic before it was known by any other means. [...] Tiros 1 was the true beginning of weather satellites.*

Die Sendeleistung des Satelliten betrug 2W; gesendet wurde frequenzmoduliert auf 136.95 MHz; das Senden eines 500-zeiligen TV-Bildes dauerte etwa 200 Sekunden. Missionsdauer: 78 Tage.

*Empfangsstation für Satellitenbilder (1963): Yagi-Antenne, Oszilloskop zur Bilddarstellung und aufmontierte Polaroid-Kamera. Nicht dazu gehören: Vorführdame und Sportwagen.*



# Kommandoprogramme für Satellitenoperateur

Das Kontrollzentrum bestimmt, wann Bilder gemacht werden sollen, und sendet die “**command programs**” den Operateuren der betroffenen Bodenstationen per Fernschreiben. Diese führen die Befehle aus “by using a push button arrangement in the command racks” der Bodenstation.

SPA 046  
TER D004  
PP NICOLA PMRWEA INFO WALACO  
WALWEA RCAHNJ WEABUR  
TIROSI  
DE SPACON 010  
P 1212022  
BT  
TIROS VI  
13 MAY 1963  
ORBIT 3458 NICOLA  
AUTOSTART  
ADDRESS OFF  
DCS I 2 PI OFF ET 1.0M  
PB 2-1 SET ONE TO 8175  
SET TWO TO 7665  
DCS II 2 PI OFF ET 1.0M  
A1 101200Z  
A2 101300Z  
A3 101730Z  
PB PIX STARTED CAM 1 090630Z (ORBIT 3457 MIN AAN 39)  
PB PIX STARTED CAM 2 092330Z (ORBIT 3457 MIN AAN 56)  
NEXT RMT PIX TO START CAM 1 104530Z (ORBIT 3458 MIN AAN 39)  
NEXT RMT PIX TO START CAM 2 110230Z (ORBIT 3458 MIN AAN 56)

The top section of the teletype carries address codes. The information shown below these is related to **Tiros VI** and pertains to **Orbit No. 3458 on the 13 May**. The satellite shall be commanded by the **San Nicolas Island station** using the automatic command mode, i.e., the operator sets the commands and the various start times. The timer then takes over to sequence the series. For better understanding of the following, most of the command buttons are labeled in the ground stations with the same letter code as the ones teletyped. For instance, **DCS I 2 PI off ET 1.0M** means that the **direct camera sequence** of camera 1 shall be “on” for an elapsed time of 1.0 min. Picture interval, which can be set for a 10-sec or 30-sec interval sequence shall be “off”, so that only a single direct picture will be received. Similarly, **playback** of system 2 and then 1 shall be commanded for, and the two clocks activating cameras in the remote mode shall be fed 8175 and 7665 timing pulses, respectively. Direct camera sequence of the second camera shall again last for 1 min. A1-3 are timer settings in absolute time (Greenwich meridian time), e.g., 10 hr 12 min 00 sec. The remaining information pertains to the previous orbit giving the station meteorologist information about the pictures he is about to receive.

Quelle: Rudolf Stampfl:  
“Communication from  
Weather Satellites”

# Auswertung der Satellitenbilder

Die **Interpretation der Satellitenaufnahmen**, die zunächst lediglich die Wolkenformationen wiedergaben, sowie die Übertragung in meteorologische Karten mit Informationen zu Geographie und Luftdruck, war zunächst weiterhin eine kunstreiche Aufgabe erfahrener Meteorologen.



[Stempel: The APT on the Polar Orbiting Weather Satellites]



# Satellitenwetter beim Deutschen Wetterdienst



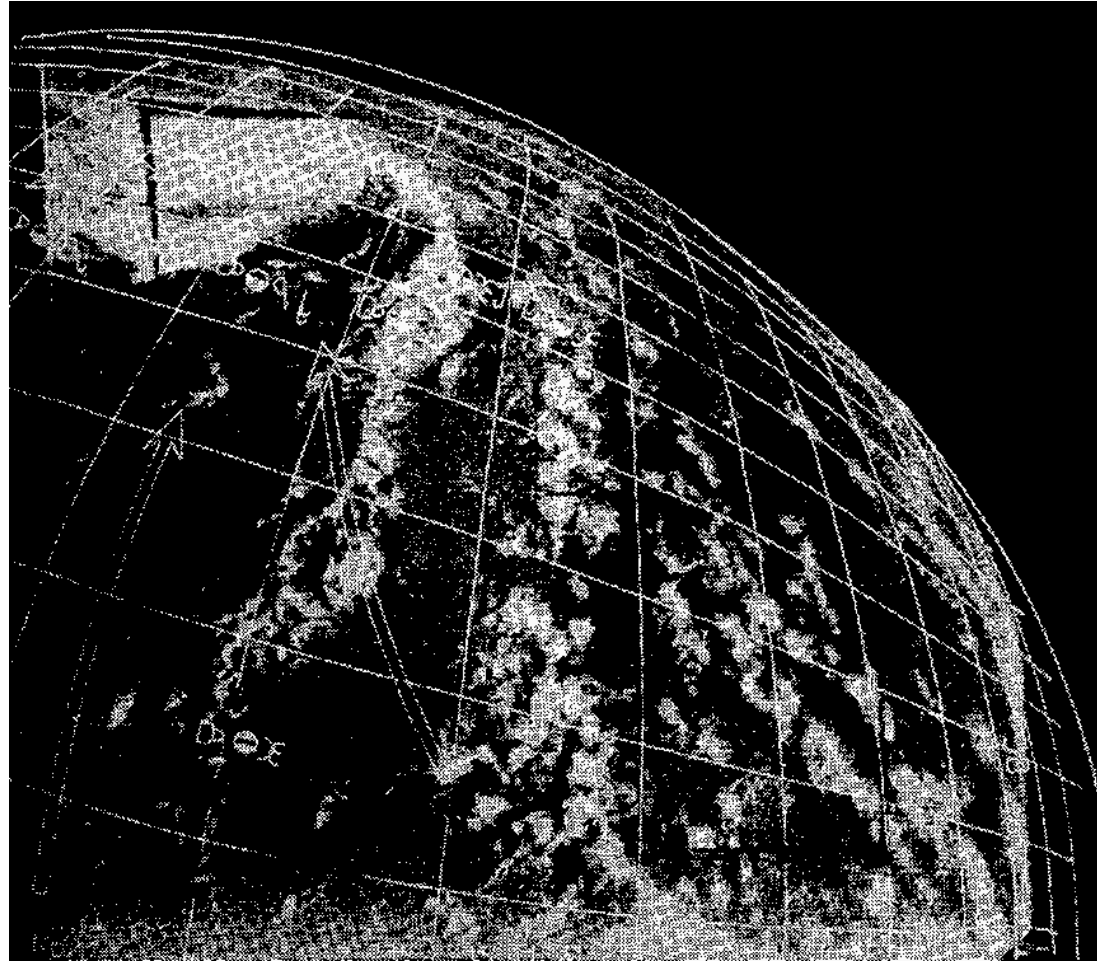
Regelmässig wurden erst Mitte der 1960er-Jahre **Satellitenbilder** in Richtung Erde gefunkt. Alles basierte auf **analoger Technik**. Die Papierbilder wurden von speziellen Automaten entwickelt; Breiten- und Längengrade sowie die Umrisse der abgebildeten Kontinente wurden per Hand mittels Schablonen und schwarzer Tusche aufgetragen. 1966 wurden beim Deutschen Wetterdienst täglich etwa ein Megabyte an Wetterdaten verarbeitet, 50 Jahr später, 2016, sind es bereits mehrere Terabyte pro Tag.

www.merkur.de/bilder/2016/05/18/6413443/2024940292-wettervorhersage-damals-heute-NQ6a.jpg

DWD, 1971 – im Hintergrund die Satellitenempfangsanlage

# Computer für die Realzeitdatenauswertung

Die Auswertung der Satellitenaufnahmen musste zügig geschehen, dazu sollte den Bildern in nahezu Realzeit ein **Gradnetz** überlagert werden. Dafür musste (z.B. aus einer Sequenz von Bildern, die jeweils einen kegel-förmigen Blick repräsentierten) zu-nächst die Lage und Blickrichtung des Satelliten bestimmt werden; beim TIROS-System übernahm ein **Bendix-G-15-Computer** in der Bodenstation diese Aufgaben. Ein **IBM 7090-Rechner** im Kontrollzentrum konnte mit den ermittelten Angaben („latitude and longitude of the sub-satellite point, altitude of the satellite as well as azimuth and nadir and spin angles which describe the attitude and radial position of the camera with respect to the earth“) ein perspektivisch korrektes Gradnetz zu erzeugen, dieses auf einem Plotter ausgeben oder direkt auf Film belichten und den Satelliten-aufnahmen überlagern.

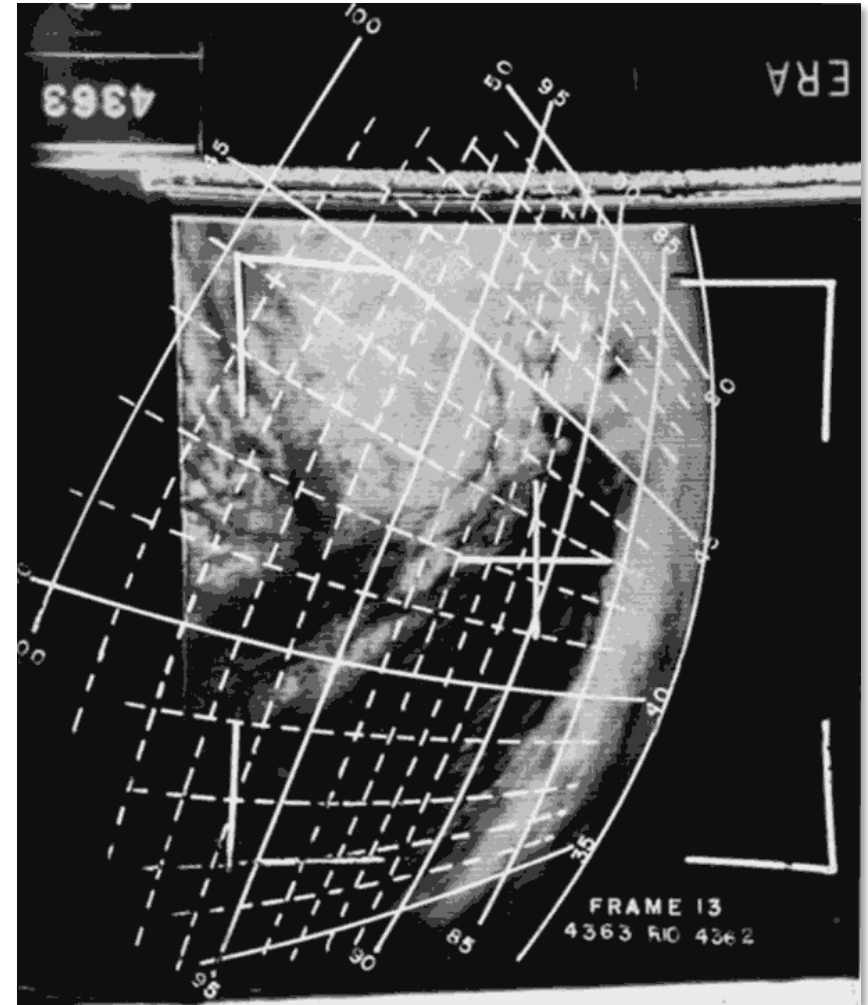


*Ein dem Wolkenbild (Trios-3, 20. Juli 1961) überlagertes perspektivisch berechnetes Gradnetz mit Horizontlinie.*

# Computer für die Realzeitdatenauswertung (2)

Weitere Aufgaben zur Daten- und Bildaufbereitung in Realzeit kamen bald hinzu: Aussortieren von Bildern, die nicht die Erde im Blick hatten, Kalibrierung der auf andere Weise gemessenen Infrarot-Strahlung und deren geographische Zuordnung, Korrektur von Bildverzerrungen durch das Linsensystem, Hinzufügen relevanter Meta-Informationen sowie von Küstenlinien aus einer Datenbank etc. Die gesamten Daten eines Orbits konnten so **innerhalb von 20 Minuten verarbeitet** und auf Magnetband gespeichert werden.

Für das Nachfolgesystem „**Nimbus**“, das pro Orbit bis zu 100 Fotos höherer Auflösung erzeugte, wurden bereits Anfang der 1960er-Jahre leistungsfähigere Computersysteme für **die Realzeitverarbeitung der Satellitendaten** konzipiert (IBM 7094 Mainframe mit zwei seinerzeitigen „Standardcomputern“ vom Typ **IBM 1401** und **CDC 160A**, als zugeordnete Ein-/ Ausgabe-Subsysteme).



*Tiros-5-Foto vom 19. April 1963 mit überlagertem Netz von Breiten- und Längengraden. Quelle: National Environmental Satellite Center, Maryland.*

# Computer für die Satellitendatenauswertung

**Bendix G-15**, produziert von 1956 bis 1963. 1.5m x 1m x 1m, 440 kg. 450 Elektronenröhren, 300 Germaniumdioden u. Trommelspeicher mit 2160 Wörtern zu je 29 Bit. Addition in 0.27 ms, Multiplikation in ca. 2.5 ms.



Die **IBM 7094** gehörte zu den leistungsfähigsten Mainframe-Computern der frühen 1960er-Jahre. Die Maschine wurde von der NASA und der amerikanischen Luftwaffe für „kritische“ Anwendungen genutzt und spielte z.B. im Gemini- und Apollo-Raumfahrtprogramm eine wichtige Rolle. Sie wurde auch im amerikanischen Schutzsystem zur Abwehr nuklearbestückter Interkontinentalraketen eingesetzt.

Roadshow der **IBM 1401**, hier vor dem Atomium in Brüssel. Sie war das Arbeitspferd der elektronischen Datenverarbeitung der 1960er-Jahre und wurde insgesamt über 12000-mal verkauft.



# Satelliten zur Datenkommunikation

Bereits 1962 demonstrierten die beiden IBM-Ingenieure Chester Siminitz und C. Fred Woidt eine ganz neue Anwendungsmöglichkeit für Satelliten: Sie nutzen ein an einen IBM 1401-Computer (im Bildhintergrund) angeschlossenes **Modem**, um **Daten via Satelliten** zwischen USA und Frankreich (**Telstar**) auszutauschen. Das Modem war eine „IBM 1009 Data Transmission Unit“ für 7000 englische Pfund mit den Ausmassen einer Waschmaschine, hier im Vordergrund des Bildes. Das Kommunikationsprotokoll (STR, „Synchronous Transmit-Receive“) ermöglichte Datenraten von 150 Zeichen pro Sekunde und konnte fehlerhaft übertragene Datenblöcke (zu jeweils 1200 Bit) automatisch wiederholen.



Das erste Bild  
von Meteosat-1  
am 9. 12. 1977



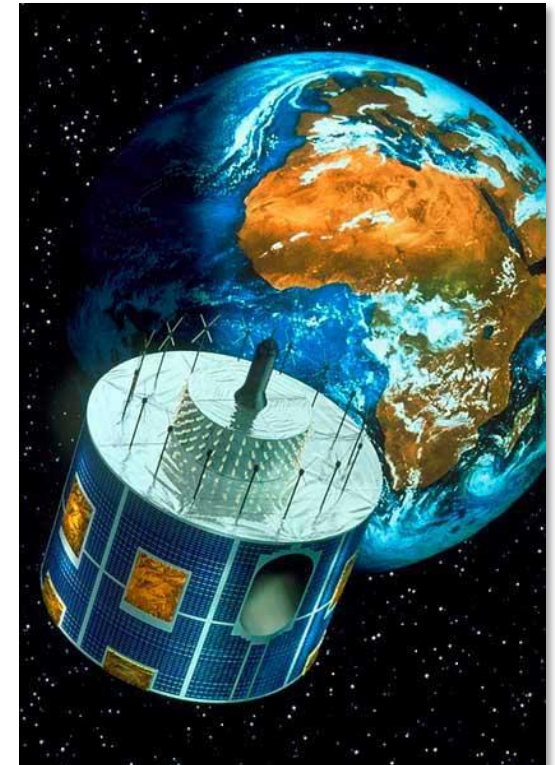
So gross wie ein Lastwagen:  
MetOp ist ein System von drei  
solchen europ. Wettersatelliten  
(MetOP-A ab 2006, MetOP-B  
2012, MetOP-C 2018) mit pola-  
rem Orbit auf 817 km Höhe und  
einer Umlaufzeit von 100 min.



# Meteosat

Bald nach dem Zweiten Weltkrieg begann der Wettlauf zwischen den USA und der Sowjetunion zur **Eroberung des Weltalls** mit künstlichen Erdsatelliten zur Telekommunikation und Spionage (Sputnik 1 als Startschuss der sowjetischen Raumfahrt 1957), Raketen interkontinentaler Reichweite, erdumlaufenden Raumkapseln (besetzt zunächst mit Hunden und bald darauf Kosmonauten und Astronauten) und schliesslich dem Ziel der Mondlandung. 1959 starteten die USA erste militärischen Erdbeobachtungssatelliten („Keyhole“), 1960 mit TIROS-1 einen ersten **experimentellen Wettersatelliten**, der Fernsehbilder mit einer Auflösung von etwa 3 km zur Erde funkte, auf denen grossflächige Wolkenformationen erkennbar waren. Erste **geostationäre Wettersatelliten** wurden Mitte der 1960er-Jahre gestartet, aber erst in den 1970er-Jahren wurden Satelliten als meteorologische Datenquellen systematisch genutzt. Dazu gehören die GOES-Satelliten der US-amerikanischen Wetterbehörde NOAA sowie die Meteosat-Satelliten der European Space Agency (ESA).

Die **Meteosat**-Satelliten haben eine Lebenszeit von einigen wenigen Jahren und befinden sich in einem geostationären Orbit ca. 36000 km über dem Äquator. Mindestens drei solche Satelliten sollten jederzeit aktiv sein, davon nimmt einer die Position bei 0° geographischer Länge (ideal für Europa und Afrika) ein, weitere zwei bis drei Satelliten stehen etwas weiter östlich. **Meteosat-1** wurde 1977 gestartet; 2023 waren aktiv Meteosat-8 (bis 2023), Meteosat-9, -10, -11, -12 (alle vorauss. bis mind. 2025).





# Meteosat (2)

Ab 2022 kommen sukzessive sechs Satelliten einer neuen Generation zum Einsatz, die eine längere Lebensdauer haben und erweiterte Beobachtungsmöglichkeiten bieten. Seit 2006 wird neben dem geostationäre Meteosat-System auch das EPS-System („Eumetsat Polar Systems“) mit Satelliten in [polar-erdnahe Umlaufbahn](#) betrieben.

Schon vor der Initiierung des Meteosat-Programms entwickelte Europa in strategischer Hinsicht Ambitionen bei der Raumfahrttechnik. Zunächst ging dies von einzelnen Staaten wie Frankreich und Grossbritannien aus, Anfang der 1960er-Jahre schlossen sich mehrere europäische Staaten zusammen, um gemeinsam Forschungssatelliten und Trägerraketen zu entwickeln. Letzteres gelang erst nach einigen Fehlschlägen mit dem Ariane-Programm. Als Institution entstand dafür schliesslich die [ESA \(European Space Agency\)](#) mit diversen Unterorganisationen (wie ESDAC oder ESOC).

*Meteosat-8 wird im August 2002 auf eine Trägerrakete Ariane 5 montiert*



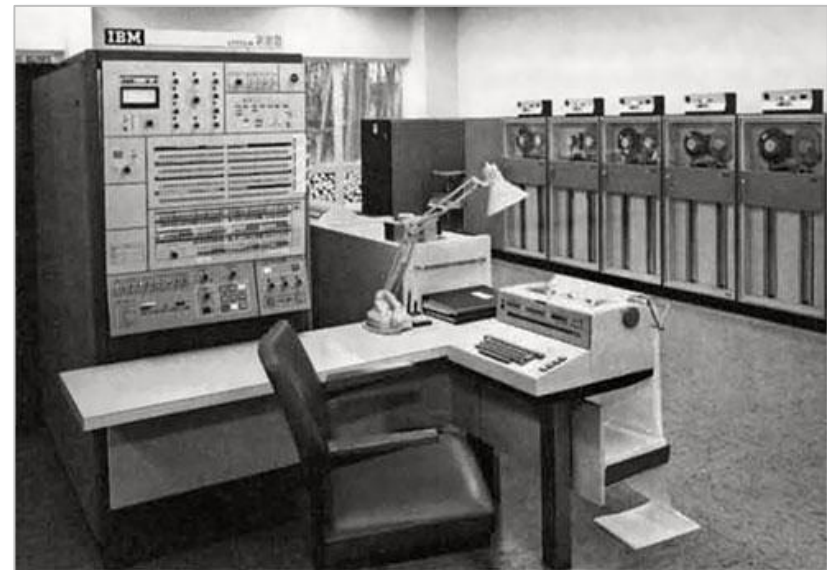
Bildquelle: Esa Bulletin 2017/2

# Europäische Satelliten

Das „[European Space Data Analysis Center](#)“ ([ESDAC](#)) in Darmstadt nahm 1963 seine Arbeit auf. Im Auftrag der European Space Research Organisation (einer Vorgängerorganisationen der [European Space Agency ESA](#), gegründet 1962 von zehn europäischen Staaten, darunter der Schweiz und Deutschland) wurden hier Satellitendaten analysiert. Dass diese Institution nach Darmstadt kam, lag daran, dass die Stadt damals das „[Deutsche Rechenzentrum](#)“ ([DRZ](#)) mit einem der wenigen „Grossrechner“ Deutschlands beherbergte. (Heute befindet sich in diesem Gebäude das Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie). Das DRZ wurde 1961 als überregionales Grossrechenzentrum auf Betreiben von [Alwin Walther](#), Leiter des Instituts für Praktische Mathematik an der TH Darmstadt, gegründet. Alternativ war als Sitz für ESDAC zunächst noch Commugny (Kanton Waadt) nahe der Sternwarte Genf in der Diskussion, die Mehrheit der beteiligten Staaten stimmte aber dann für Darmstadt.

Im November 1966 erhielt das ESDAC schliesslich einen [eigenen Computer](#) – mit unfassbaren „dreihunderttausend Grundrechnungen pro Sekunde“ schwärmte seinerzeit das „Darmstädter Tagblatt“. („Tastaturen gab es nicht, die Befehle wurden per Lochkarte eingegeben. Auch Computerdisplays waren noch unbekannt, es gab nur Zeilendrucker und die spuckten Oktalzahlen aus, die wir erst im Kopf umrechnen mussten“, erinnert sich der ehemalige Mitarbeiter Kurt Debatin.) Schon 1967 erhielt das Zentrum einen neuen Namen („[European Space Operations Centre](#)“, [ESOC](#)) sowie die Missionskontrolle als Zusatzaufgabe. Als „Spin-off“ entstand 1989 [EUMETSAT](#) für den Wettersatelliten-Betrieb.

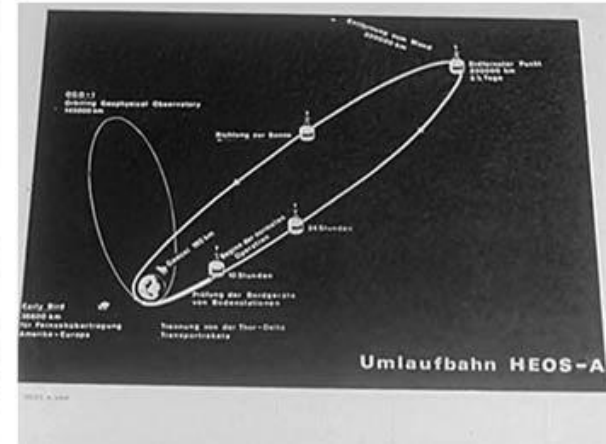
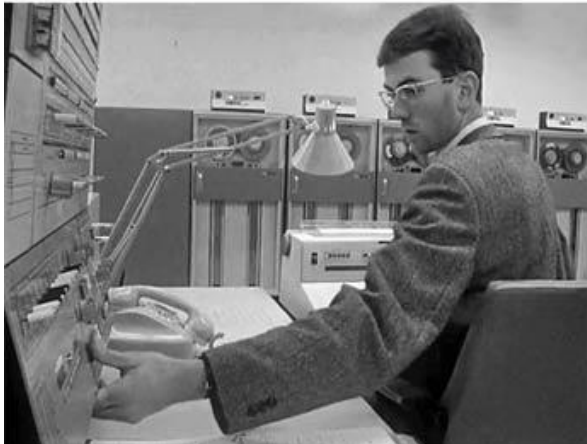
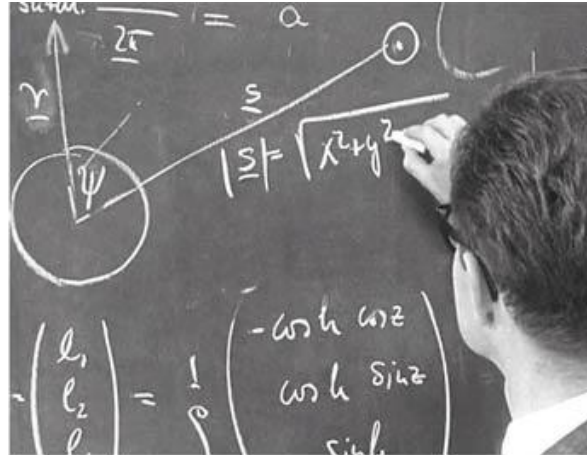
1966: IBM360/50-Computer



esa Bulletin, Aug. 1984

# Europäische Satelliten (2)

Der Hessische Rundfunk stellte im September 1967 das europäische Raumflugkontrollzentrum ESOC vor: Bahnberechnung von Satelliten mittels Tischrechenmaschine und IBM360/50-Computer.



# Europäische Satelliten (3)

Ganz so einfach ist die Berechnung der von Zeit zu Zeit notwendigen Massnahmen zur Bahnkorrektur eines Satelliten allerdings nicht. Im ESA Bulletin vom November 1976 heisst es in einem Beitrag „Some Aspects of Mission Analysis“ dazu:

The constraints arising from celestial mechanics have the greatest impact on the feasibility of the space system to be implemented. The basic problem to be solved is: at what time and at what point in space which velocity vector must be imparted to the probe to ensure that none of the constraints are violated and the mission's aims are accomplished. The fundamental importance of celestial mechanics in mission analysis arises from the fact that the equations of motion govern a deterministic system. From the theory of differential equations, it follows that a unique solution for the trajectory exists and can be computed, given the initial values. The most striking illustration of trajectory prediction is the question of stability for highly eccentric orbits under the effect of luni-solar perturbations. Under all circumstances, the perigee must always remain above some threshold altitude during the desired mission lifetime, which will otherwise be cut short by re-entry of the satellite into the earth's atmosphere. Such behavior, as distinct from perpetual Kepler motion along an ellipse, may be a result of the underlying four-body problem of celestial mechanics, involving the satellite itself, the earth, the sun and the moon. The calculations rely on data sets holding

*Das ESOC-Rechenzentrum im Jahr 1976*



[www.esa.fr/spaceimages/Images/](http://www.esa.fr/spaceimages/Images/)

# Europäische Satelliten (4)

ephemerides of these celestial bodies. Apart from the luni-solar perturbations, the marked deviation of the earth's gravity field from full spherical symmetry must be taken into account in computing the satellite's motion, including the flattening and higher order irregularities. Apart from straightforward integration, using advanced numerical methods, sophisticated analytical solutions have been developed in celestial mechanics which reduce the computer time needed to calculate launch windows, for example, from hundreds of hours to no more than a few hours. The expression shown, part of the inclination perturbation, provides an indication of the underlying algebra:

$$\begin{aligned} \Delta_{33i} = & -\frac{5}{16} \frac{\mu_k}{\mu} \left(\frac{a}{P_k}\right)^5 \frac{T^2}{\sqrt{1-e^2}} \left\{ 3 \left[ \frac{\pi}{3} \left( 1 + \frac{41}{4}e^2 + \frac{9}{2}e^4 \right) + \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2} - 16e + \frac{31}{32}e^2 - \frac{4256}{225}e^3 - \frac{85}{48}e^4 + \frac{112}{45}e^5 + \frac{3}{8}e^6 \right) \right] \cos \omega \frac{d^2\delta_5}{dt^2} \right. \\ & - 3(1-e^2) \left[ \frac{\pi}{3} \left( 1 + \frac{3}{4}e^2 \right) + \frac{1}{\pi} \left( -\frac{1}{2} - \frac{15}{32}e^2 + \frac{256}{225}e^3 + \frac{5}{24}e^4 \right) \right] \sin \omega \frac{d^2\delta_4}{dt^2} - 7 \left[ \frac{\pi}{3} \left( \frac{3}{4} + 9e^2 + 6e^4 \right) + \frac{1}{\pi} \left( \frac{17}{32} - \frac{1072}{75}e \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{55}{24}e^2 - \frac{352}{15}e^3 - \frac{15}{4}e^4 + \frac{16}{3}e^5 + e^6 \right) \right] \cos \omega \frac{d^2\epsilon_6}{dt^2} + 21(1-e^2) \left[ \frac{\pi}{3} \left( \frac{1}{4} + \frac{3}{2}e^2 \right) + \frac{1}{\pi} \left( -\frac{1}{32} - \frac{128}{75}e - \frac{65}{48}e^2 + \frac{128}{45}e^3 \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{5}{8}e^4 \right) \right] \left( \sin \omega \frac{d^2\epsilon_7}{dt^2} - \cos \omega \frac{d^2\epsilon_8}{dt^2} \right) + 7(1-e^2)^2 \left[ \frac{1}{4}\pi + \frac{1}{\pi} \left( -\frac{15}{32} + \frac{128}{75}e + \frac{5}{12}e^2 \right) \right] \sin \omega \frac{d^2\epsilon_9}{dt^2} \left. \right\} \end{aligned}$$

# Europäische Satelliten (5)

Bei [www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Germany/](http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/) findet man einige Anmerkungen zur Geschichte des ESOC:

Das ESOC in Darmstadt ist das Missionskontrollzentrum für die meisten Weltraumprojekte der ESA. Nach dem Start werden die Satelliten vom Zentrum aus verfolgt und kontrolliert. Dazu gehört es, Befehle zur Korrektur von Lage oder Bahn der Raumsonde auszusenden und darauf zu achten, dass keine Funktionsstörungen vorliegen. Das ESOC überwacht auch die Bordinstrumente und sendet bei Bedarf neue Anweisungen aus.

Dass die Raumfahrt nach Darmstadt kam lag daran, dass damals im dortigen (1961 auf Betreiben von Alwin Walther gegründeten) „Deutschen Rechenzentrum“ einer der wenigen Grossrechner der Bundesrepublik Deutschland stand. Dieser Rechner wurde genutzt, bevor das ESOC einen eigenen Computer bekam.

Die Technologie, die damals von den Raumfahrt-Experten genutzt wurde, ist für die heutige Generation von Ingenieuren kaum mehr vorstellbar. Die Rechner füllten ganze Räume, hatten jedoch eine Kapazität, die von heutigen Mobiltelefonen bei weitem übertroffen wird. Sie wurden nicht über Tastaturen, sondern mühsam über Lochkarten bedient. Ob der Satellit funktionierte, konnten die Ingenieure nur aus Blinksignalen des Computers erschließen.

Die physikalischen Grundlagen der Bahnberechnung und Ausrichtung des Satelliten im Orbit waren damals wie heute gleich – gerechnet wurde allerdings mit Rechenschieber und einer Computertechnik, die in den Kinderschuhen steckte. Herwig Laue, der Mathematik an der TH Darmstadt studierte und 1967 als Ferienstudent im ESOC arbeitete, erinnert sich: „Wir haben unser Päckchen Lochkarten für die Bahnberechnung beim Rechenzentrum abgegeben und bekamen nach ein paar Tagen einen Papierausdruck zurück. Einen direkten Zugriff auf den Computer gab es noch nicht. Wenn nur ein Fehler in der Lochkarte war, musste alles neu gerechnet werden.“

# Europäische Satelliten (6)

## Mission Operations:

A process involving operations planning, satellite monitoring and control, in-orbit navigation, and data processing and distribution. [...] Take care of battery reconditioning and recharging (after eclipses), thermal control, payload reconfiguration, in-orbit testing, regular checking of on-board units, operation of the transponders - not to mention regular determination of the satellites' attitude and orbit. And then there are outages: Effects of electrostatic discharges, unexpected automatic reconfigurations occurring, bubbles in the hydrazine, thruster clogging, spurious channel switch-offs, [...] not to mention the more mundane troubles that can affect the ground segment itself, such as transmitter failures, disk crashes, power failures due to lightning, etc.

[www.esa.int/esaKIDSde/SEMG8TXDE2E\\_Technology\\_0.html](http://www.esa.int/esaKIDSde/SEMG8TXDE2E_Technology_0.html)



# Europäische Satelliten (7)

***Madeleine Schäfer, eine langjährige Mitarbeiterin des europäischen Missionskontrollzentrums ESOC, verfasste 1997 ein zweibändiges Werk mit Geschichten über die Arbeit beim Zentrum („How to Survive in Space!“). Nachfolgend einige instruktive Passagen daraus.***

*In der Anfangszeit hatte das Zentrum keinen eigenen Computer, sondern nutzte einen IBM-Grossrechner beim „Deutschen Rechenzentrum“ (DRZ):*

Programs were written laboriously in long hand on special FORTRAN forms, which were handed to two “punch card” girls. They operated two card punches on the premises and produced punch cards of the whole program, which, if you were fortunate, were all correct, but more likely to contain irritating “punch errors”. After the originator of the programs had checked each card, the programs were assembled into boxes and taken twice a day to the DRZ to run.

*Die Lochkarten transportierte „Philip“ bei jedem Wetter zu Fuss:*

...in the winter when the paths were icy. More than once did Philip make an inelegant landing, scattering punch cards hither and thither [...] On one occasion he dropped the entire Differential Correction Program consisting of somewhere near 1000 cards. The remarks on that occasion were more than caustic. [...]

The word “computer” was gradually infiltrating into the German language. Up until then the layman had simply referred to a computer as an “Elektronengehirn”. Now they were adopting the English word, but giving it their own particular pronunciation. The foreman of the building firm, who came from the Pfalz, used to inform me of the progress of the ESDAC kompooter-room, while his Hessian colleagues agreed that we would soon be able to install our kombjuder.



ESOC-Satellitenkontrollraum 1960er-Jahre



*Ohne E-Mail und Internet war die Kommunikation des Kontrollzentrums mit den geographisch weit-räumig verteilten Bodenstationen, die mit ihren grossen Antennen die Verbindung zu den Satelliten hielten, schwierig; dies ging nur per Telefon oder Fernschreiber – Daten bzw. Meldungen des Fernschreibers konnten dabei auf fünfspurigen Lochstreifen aus Papier gespeichert werden:*

The Orbit Team would calculate the satellite's present and future orbits and produce "pass" predictions, i.e. information on when and where the satellite would be "visible" over the ground stations. This information would then be transmitted to the ground stations concerned, so that they would know in which direction to point their antennae. The Control Centre would also receive a computer printout listing all the passes for all the stations. On the basis of this list, they would schedule the stations, indicating what was to be done during each pass, which commands to send, which data to receive, which parameters to extract, etc. During a pass, the ground stations would "track" the satellite and send this data back to ESOC. The Orbit Team would then use these tracking messages to compute a new orbit and produce new pass predictions.

[...] In those days all communications with the ground stations were only by teleprinter. I wonder how many people in these internet and email days know what a teleprinter was. It looked innocent enough – rather like an oversized typewriter, generally perched on stork-like legs. It was, however, diabolical. When it was about to receive a message, it would, with no more warning than a sly flickering of its red and green lights, burst into life with a noise like the trumpets of Jericho, startling everybody who happened to be standing near it. Then, with a brisk "clackety-clac" it would churn out its message and, provided the operator had remembered to switch on the device, spew forth reams of paper tape containing the same message, but coded in 5-track format. Oh, that paper tape! Even if you were hardy enough to survive the teleprinter's assault on your nerves, you could be fairly certain that the paper tape would reduce you to a wreck sooner or later.



*ESOC-Satellitenkontrollraum 1968*

We used to compute the orbit and produce the predictions for a satellite on a weekly basis. Now, as I said, the tracking data would arrive at ESOC in the form of a teleprinter message accompanied by a length of paper tape. There would be several a day, so by the end of a week we would have a large bin full to the brim with flimsy pieces of paper and paper tapes twirled into figures-of-eight by the competent operators.

You cannot compute an orbit on a binful of paper tapes. They have to be converted to some computer-compatible form, for example a magnetic tape or a disk. We acquired a paper tape input device which read the paper tape and put its contents onto a disk. At least that was what it was supposed to do. It was almost as human and just as diabolical as the teleprinter. It would read one tape, reject the next for no visible reason, and when forced to read a third chew it up in protest. We would pander to its whims, talk to it lovingly, reset all its buttons and start all over again. Ah, but wait a minute. Which tape had been accepted and which rejected?

In those days, we always telexed the commands to the stations one day in advance. One of the stations tracking the satellites was Spitzbergen. Now, after we had sent the telex, we discovered there had been

an on-board anomaly which made it absolutely essential to stop them being sent from Spitzbergen. We tried to contact Spitzbergen by telephone to inform them. We couldn't get through. We tried by telex. That didn't work either. There were magnetic disturbances which affected the link between Tromsø and Spitzbergen – there was simply no way we could get in touch with them. We tried for hours, and were almost in despair. The Tromsø station came to our help. "In Sweden", they said, "there is a radio station which broadcasts a regular music programme. We know that the staff at Spitzbergen always listen to that programme!" Tromsø provided us with the telephone number of the radio station, and we phoned them and asked them to include the following message in their programme: "The ESRO Satellite Control Centre in Darmstadt requests the station at Spitzbergen not to transmit commands to ESRO-1A!" One orbit later, the satellite had a pass over Redu, we were able to check from there if anything had happened – and breathed a sigh of relief. There was no change in the satellite status, the commands had not been sent – Spitzbergen had received our message!



*ESOC Flight Dynamics room 1981*

# Europäische Satelliten (8)

“Any mission-analysis studies in support of project development, dealing with technology, research and applications, contribute in some way to the fulfilment of an eternal dream of mankind, namely to vanquish space and exert a degree of control over an ever-expanding environment. That this has now become possible in technological and engineering terms is due in no small part to the spiritual and intellectual accomplishments in earlier centuries of such illustrious Europeans as Copernicus, Tycho Brahe, Galileo, Kepler, Huygens, Newton, Euler, Lagrange, Laplace and Gauss.”

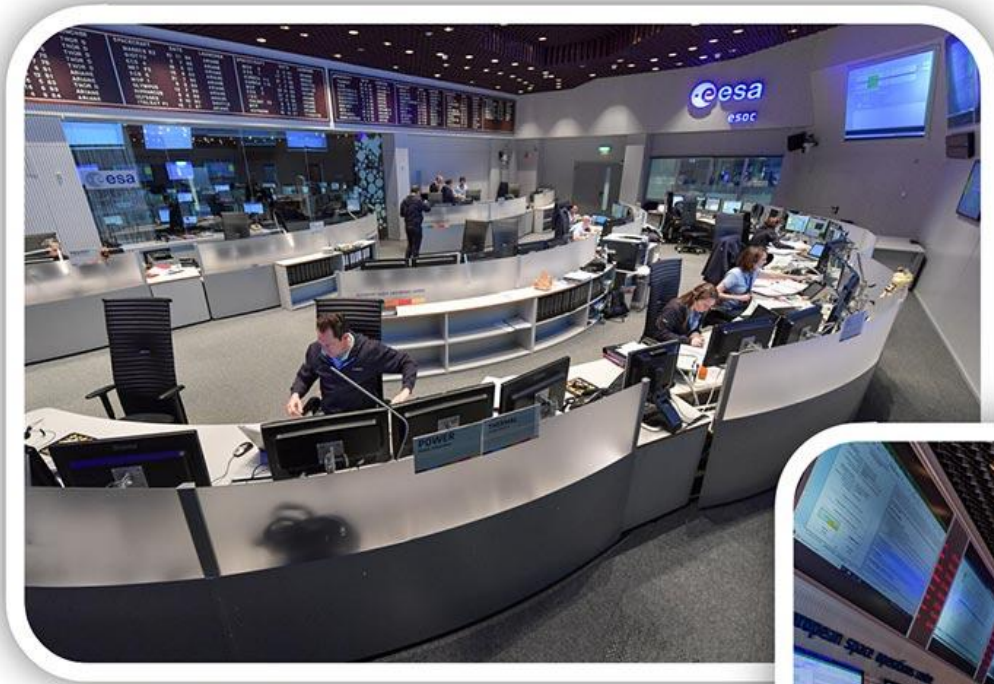
-- Herbert A. Kellner,  
ESOC, 1976

ESOC-  
Hauptkon-  
trollraum 1987



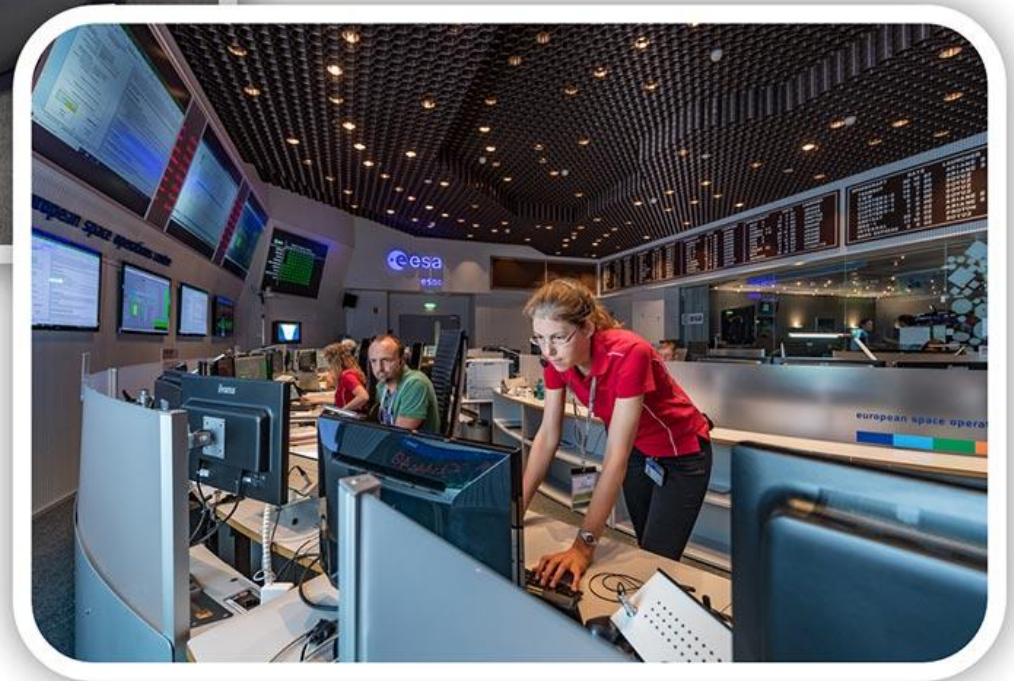
esa Bulletin, Nov. 1987

# Europäische Satelliten (9)



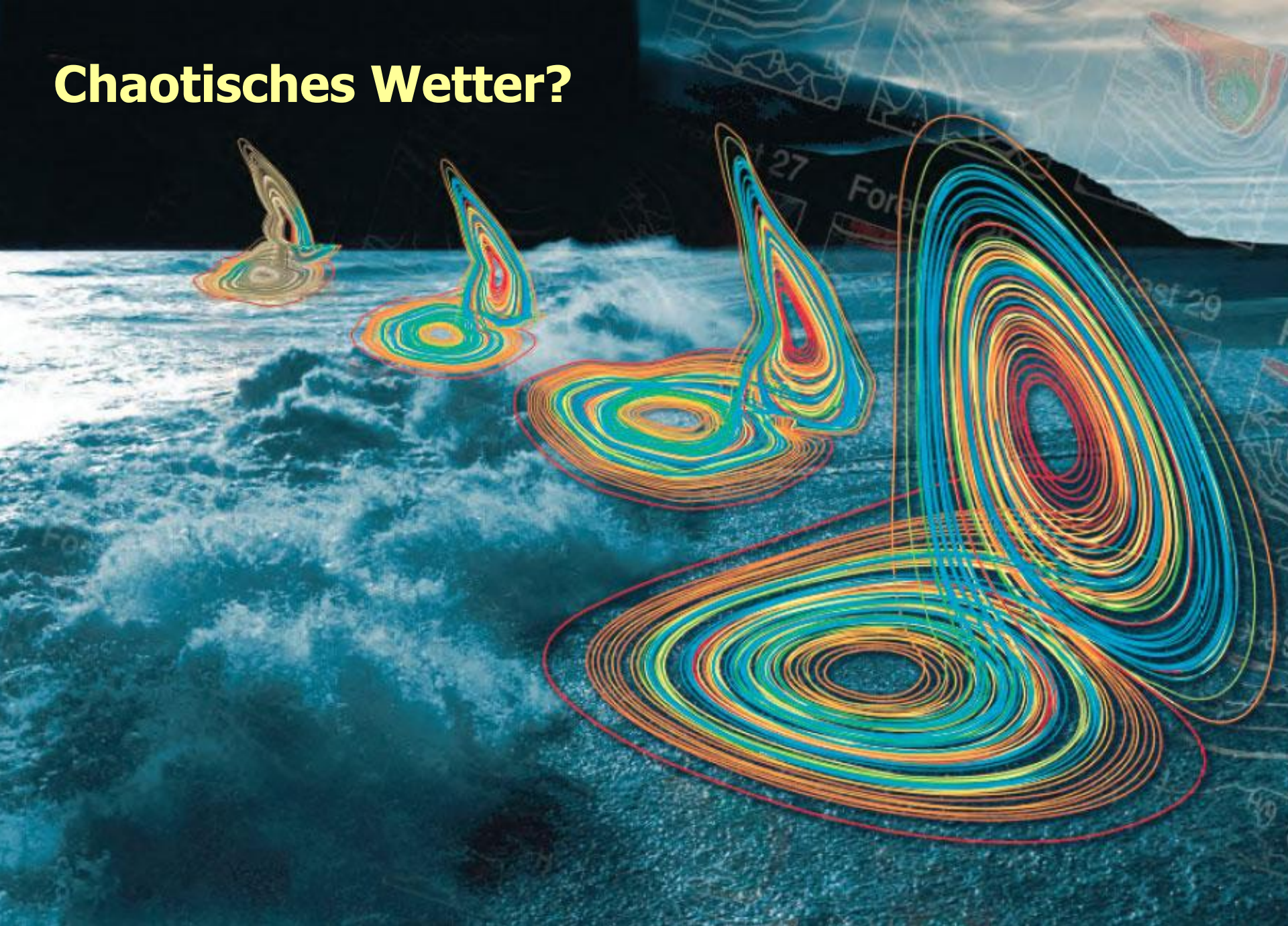
[www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2017/03/Mission\\_control\\_room](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/03/Mission_control_room)

*Der ESA-ESOC-Hauptkontrollraum 2017 / 2018*



[www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2018/08/Critical\\_days\\_for\\_Aeolus](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/08/Critical_days_for_Aeolus)

# Chaotisches Wetter?



# Laplacescher Dämon

“Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers, comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre.” – Pierre-Simon Laplace

Im 19. Jahrhundert glaubte man an einen strengen **Determinismus in der Natur**: Eine Reihe physikalischer Prinzipien (wie z.B. Erhaltung von Masse und Energie oder die Hauptsätze der Thermodynamik, die u.a. für die Meteorologie relevant sind) war mittlerweile bekannt und viele Naturgesetze konnten mathematisch formuliert werden. Auf besonders nachdrückliche Weise verlieh der französische Mathematiker und Astronom **Pierre-Simon Laplace** (1749 – 1827) dem deterministischen Naturverständnis dadurch Ausdruck, dass er gedanklich eine Art Weltgeist (später „**Laplacescher Dämon**“ genannt) postulierte, der jeden zukünftigen Zustand der Welt (und damit natürlich auch das Wetter!) absolut genau vorherberechnen kann – *„une intelligence qui, pour un instant donné, connaît toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, [...] embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux.“*

Für einen freien Willen oder schicksalshafte Götter, die den Lauf der Welt nach Lust und Laune bestimmen, hat es in diesem Weltbild keinen Platz. Dazu passt eine Begebenheit, die der Astronom Hervé Faye beschreibt: Als Laplace sein Buch *Exposition du système du monde* Napoléon Bonaparte zeigte, sagte dieser zu ihm: „Newton a parlé de Dieu dans son livre.



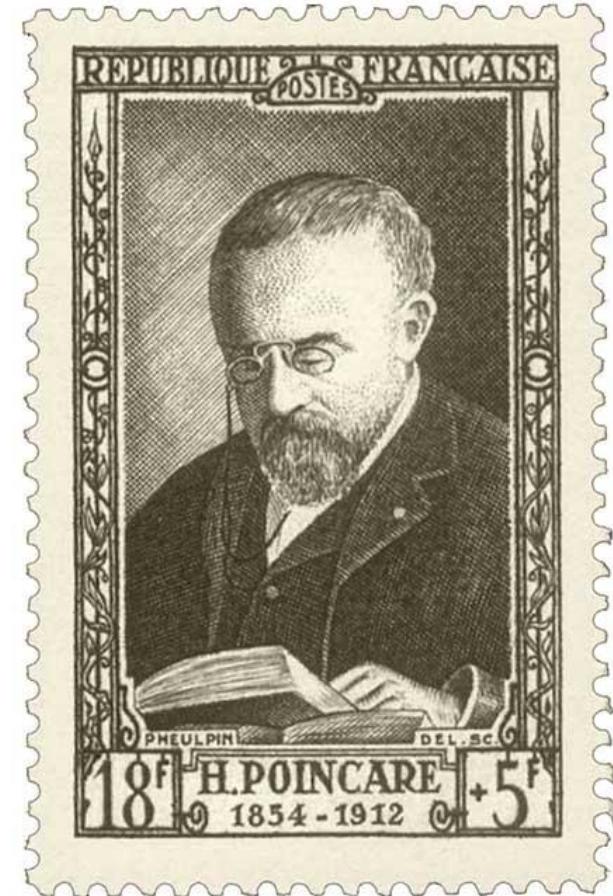
# Von Laplace zu Poincaré

„1784 wurde Laplace zum Prüfer beim Artillerie-Corps bestellt. In dieser Eigenschaft nahm er die Prüfung eines sechzehnjährigen Kadetten aus Korsika namens Napoléon Bonaparte ab, der die Prüfung auch bestand. Wie anders wäre die Geschichte verlaufen, hätte Laplace ihn durchfallen lassen!“ – George Szpiro

J'ai déjà parcouru le vôtre et je n'y ai pas trouvé ce nom une seule fois.“ Laplace erwiderte ihm: „Citoyen premier Consul, je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse.“

Die Frage, ob und in welchem Sinne es, auch bei Einbezug der Quantentheorie, einen allumfassenden Determinismus geben kann, ist bis heute ein philosophisches Problem geblieben, aber seit [Heisenberg](#) ist man in dieser Hinsicht doch stark ernüchtert – der Vorhersagbarkeit von Vorgängen in der Natur scheinen jedenfalls prinzipiell unüberschreitbare Grenzen gesetzt zu sein. In praktischer Hinsicht hat dies sogar schon [Henri Poincaré](#) (1854 – 1912) in seinen Analysen zur Stabilität des Sonnensystems erkannt; er schrieb 1908 in seinem Buch *Science et méthode*:

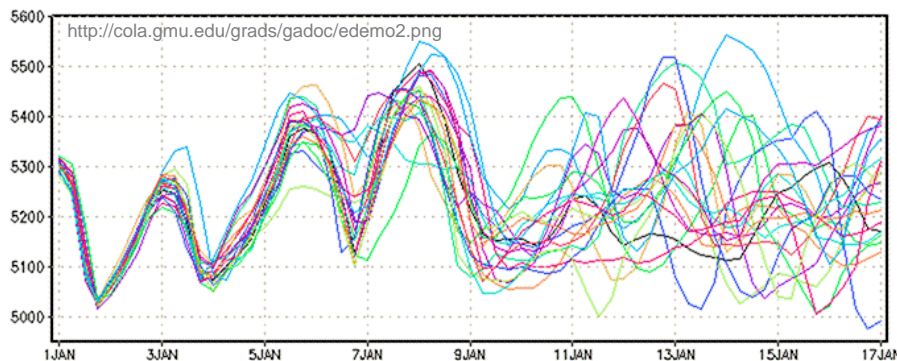
„Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'*approximativement*. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure avec *la même approximation*, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver



# La prédiction devient impossible

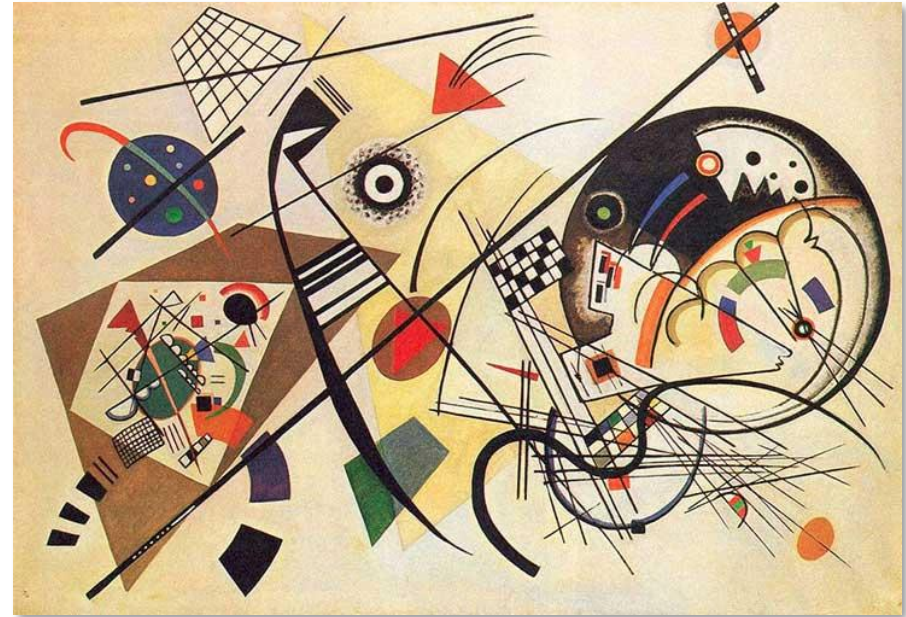
que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. *La prédiction devient impossible* et nous avons le phénomène fortuit.“

Die Erkenntnisse Poincarés gerieten jedoch zunächst in Vergessenheit, bis in den 1960er-Jahren der amerikanische Mathematiker und Meteorologe **Edward Lorenz** (1917 – 2008), einer der Wegbereiter der **Chaostheorie**, deren Bedeutung für die numerische Wettervorhersage neu entdeckte.



gebiet der probabilistischen oder **Ensemblevorhersagen**. Deren Prinzip ist es, durch geeignete Variationen in den Anfangsbedingungen und Modellformulierungen abzuschätzen, wie gross

Wassily Kandinsky, 1923

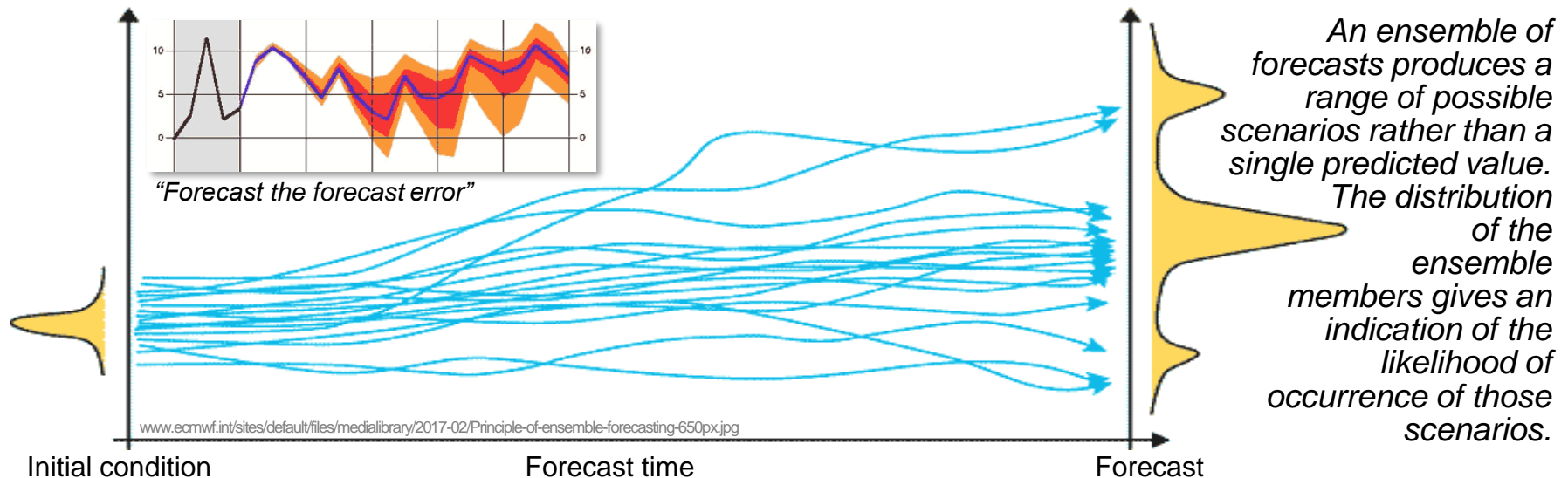


Dass jede Vorhersage in der Meteorologie eine gewisse Unsicherheit aufweist, ist evident; die Chaostheorien verschärfen das Problem dahingehend, dass beliebig kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen deterministischer Systeme im Laufe der Zeit zu starken Unterschieden bei den Ergebnissen führen. Als Konsequenz dieser Erkenntnisse entwickelte sich das Forschungs-



# Ensemblevorhersagen

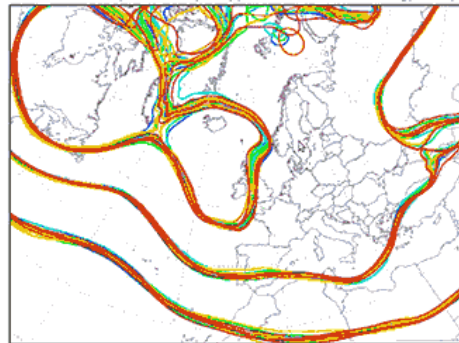
die jeweilige Unsicherheit der Vorhersagen ist. Anstatt nur eine einzige Modellrechnung durchzuführen, wird nun ein ganzes **Bündel von Modellrechnungen** gestartet. So gelingt es, verschiedene mögliche Wetterentwicklungen zu erfassen und aus der Verteilung der unterschiedlichen Lösungen eine **Abschätzung der Unsicherheit** der Vorhersage im Einzelfall zu gewinnen.



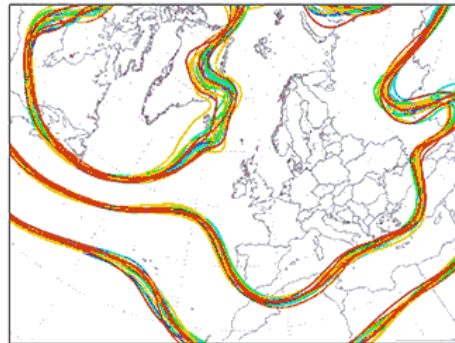
Da bereits die Berechnung einer einzigen numerischen Wettervorhersage sehr leistungsfähige Rechner erfordert, werden zur Erzeugung von Ensemblevorhersagen die schnellsten Supercomputer der Welt eingesetzt. Bezüglich der Rechenzeit besteht dabei ein **Zielkonflikt** zwischen der **Grösse des Ensembles** und der **Komplexität des Vorhersagemodells**, insbesondere seiner Gitterweite. Typischerweise besteht ein Ensemble in der Meteorologie aus ca. 50 Einzelprognosen, die sich voneinander leicht in den Anfangs- und Randbedingungen sowie den Modelleigenschaften unterscheiden.

# Ensemblevorhersagen (2)

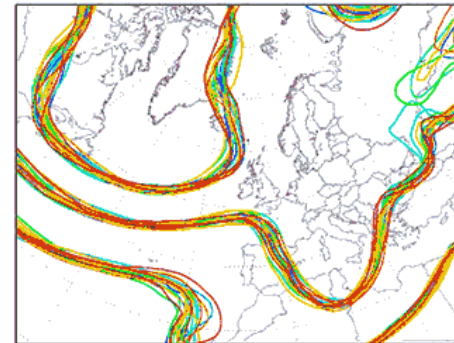
[www.wetterzentrale.de/en/topkarten.php?map=1&model=gfs&var=1&run=18&time=12&lid=SPAG&h=0&mv=1&tr=6#mapref](http://www.wetterzentrale.de/en/topkarten.php?map=1&model=gfs&var=1&run=18&time=12&lid=SPAG&h=0&mv=1&tr=6#mapref)



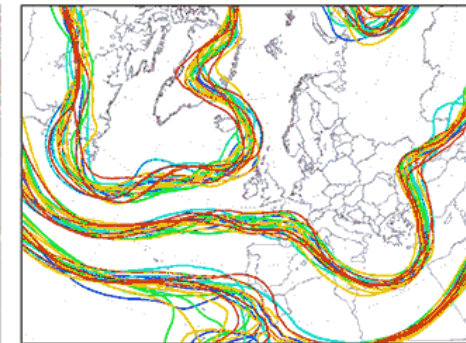
24-Stunden-Prognose



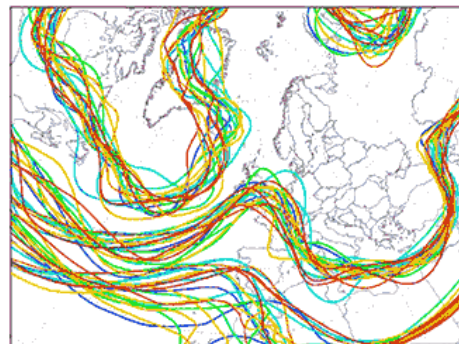
2 Tage



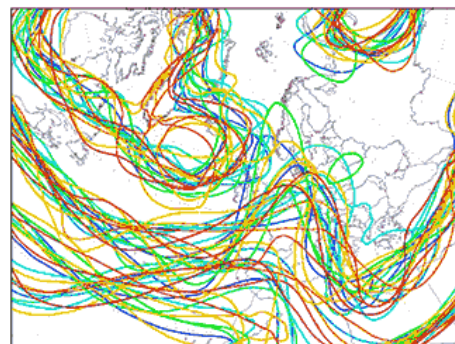
3 Tage



4 Tage



5 Tage



6 Tage



7 Tage



8 Tage

*Ensemblevorhersagen mit dem GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes NCEP: Linien gleichen Geopotentials (d.h. der potentiellen Energie der Luft) von 20 Prognosen mit leicht unterschiedlicher Anfangsbedingungen vom 24. Jan. 2009. Nach einigen Tagen manifestiert sich unweigerlich das Chaos!*



**Ensemble (n.)**

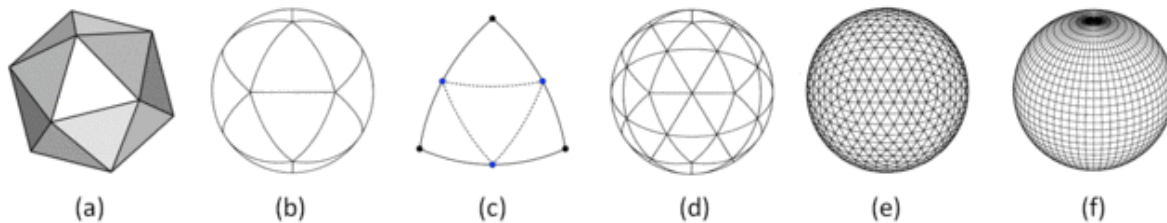
1. A group of separate things that contribute to a coordinated whole.
2. (*fashion*) A coordinated costume or outfit; a suit.
3. (*collective*) A group of musicians, dancers, actors, etc who perform together.
4. (*music*) A piece for several instrumentalists or vocalists.
5. (*mathematics, physics*) A probability distribution for the state of the system.

From Latin *insimul* “at the same time,” related to *similis* “like, resembling, of the same kind.”

→ Ensemble!, a political party in France

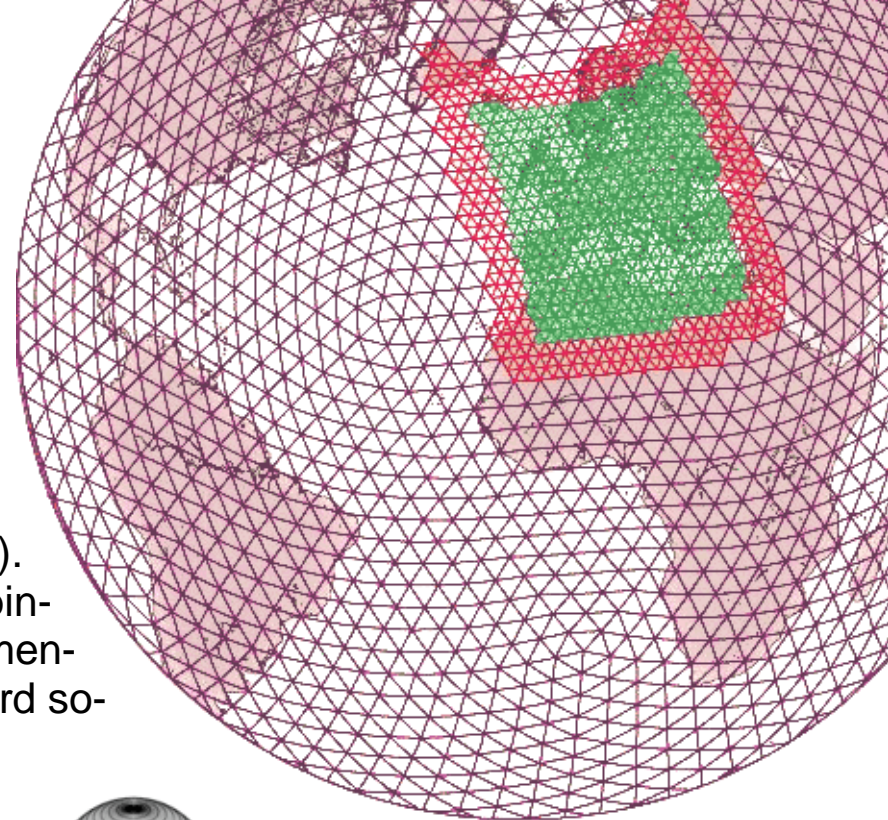
# Wettermodelle heute

**Globale Wettermodelle** überziehen den Globus mit einem **Gitter**. Beim globalen Modell **ICON** des DWD besteht das Gitter in der Horizontalen aus lauter **Dreiecken**, die die Kugeloberfläche nahezu gleichförmig überdecken. Man gewinnt dieses Gitter, indem man ein Ikosaeder (a) in die Erdkugel einbettet und dessen 20 Dreiecke auf die Kugel projiziert (b). Die sphärischen Dreiecke werden dann durch Verbindung der Seitenmittelpunkte mittels Grosskreissegmenten viergeteilt (c). Der „sphärische Ikosaeder“ (d) wird soweit nötig weiter rekursiv verfeinert (e, f).

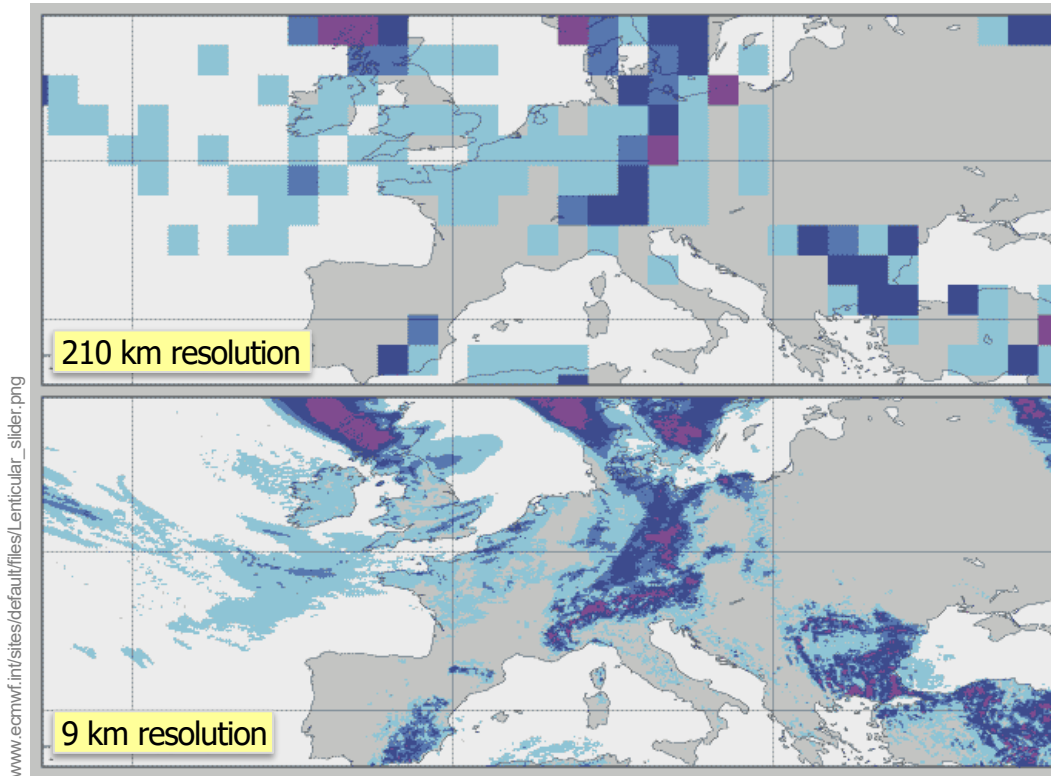


Der durchschnittliche Abstand der Gitterpunkte beträgt beim Modell des Jahres 2017 etwa **13 Kilometer**. In der dritten Di-

mension unterteilt es die Atmosphäre in **90 Schichten**, sodass das Modell insgesamt über mehr als 265 Millionen Gitterpunkte verfügt. In einem Gebiet über Europa ist das Gitternetz noch weiter verfeinert, sodass dort der durchschnittliche Abstand der den Dreiecken zugeordneten Gitterpunkte etwa **6.5 Kilometer** beträgt. Das zugehörige Differentialgleichungssystem besteht aus etwa  $10^8$  bis  $10^9$  Gleichungen und wird mit einem Zeitintegrationsverfahren gelöst. Die **nationalen Wetterdienste** setzen für ihr Gebiet zusätzlich auch noch **höher auflösende Modelle** ein (Maschenweite in Deutschland 2.8 km, in Grossbritannien 2.2 km, in der Schweiz 1.1 km).



# Wettermodelle heute (2)



| Jahr | Horizontale Auflösung (global/lokal) | Zahl vertik. Ebenen |
|------|--------------------------------------|---------------------|
| 1959 | (--/320 km)                          | 2                   |
| 1965 | (--/300 km)                          | 3                   |
| 1972 | (300 km/100 km)                      | 10                  |
| 1982 | (150 km/75 km)                       | 15                  |
| 1991 | (90 km/17 km)                        | 19                  |
| 1997 | (60 km/12 km)                        | 38                  |
| 2004 | (40 km/12 km)                        | 50                  |
| 2006 | (40 km/4 km)                         | 50                  |
| 2009 | (17 km/1.5 km)                       | 70                  |
| 2015 | 1.5 km                               | 70                  |

Wettermodelle des britischen Met Office im Laufe der Zeit

Höhere Rechenleistung der Supercomputer ermöglichte eine fortwährende Verbesserung der Genauigkeit der Modelle. Das [Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage](#), eine 1975 gegründete zwischenstaatliche Organisation mit Sitz in Reading (UK), begann mit einer Horizontalauflösung von 210 km, 2017 waren es 9 km (im Jahr 2017 bestand der Cray-XC-Supercomputer aus 260 000 Prozessorkernen); für kleinere (z.B. nationale) Gebiete rechnet man mit noch höherer Auflösung.

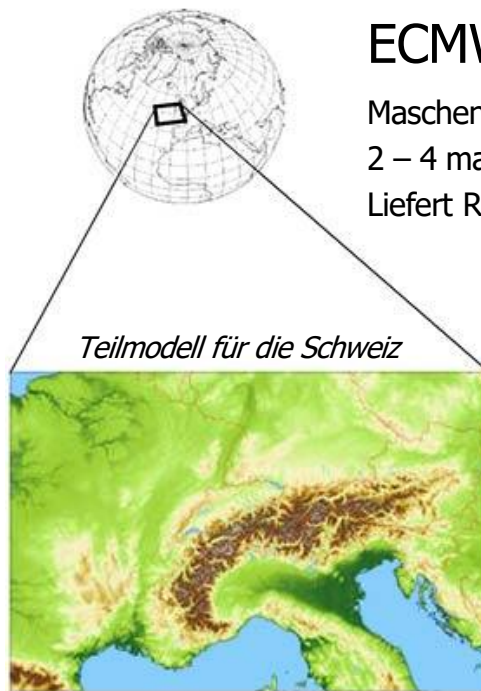
# Vorhersagemodell COSMO

Im Konsortium für klein-skalige Modellierung (COSMO) arbeiten mehrere nationale Wetterdienste in Europa zusammen. Ziele sind Entwicklung, Verbesserung und Unterhalt von hoch-auflösenden meteorologischen Modellen.

## COSMO-1

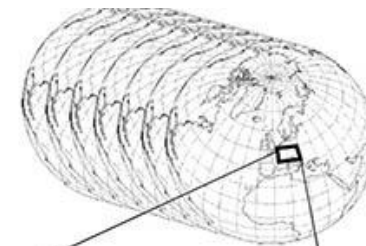
Maschenweite 1.1 km  
8 mal täglich  
Prognosen: 1 - 2 Tage

**COSMO-1E:** Ensemblegrösse 11  
Produktiv seit 2016



## ECMWF-Modell

Maschenweite 9 – 18 km  
2 – 4 mal täglich  
Liefert Randbedingungen



Die Randbedingungen, also die wetterrelevanten Informationen ausserhalb des Modellgebiets, erhalten die beiden Ensemblesysteme vom globalen Ensemblesystem IFS ENS.

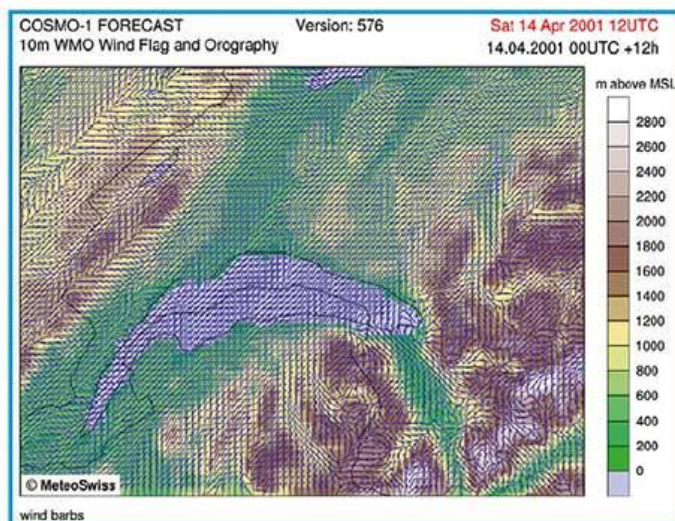
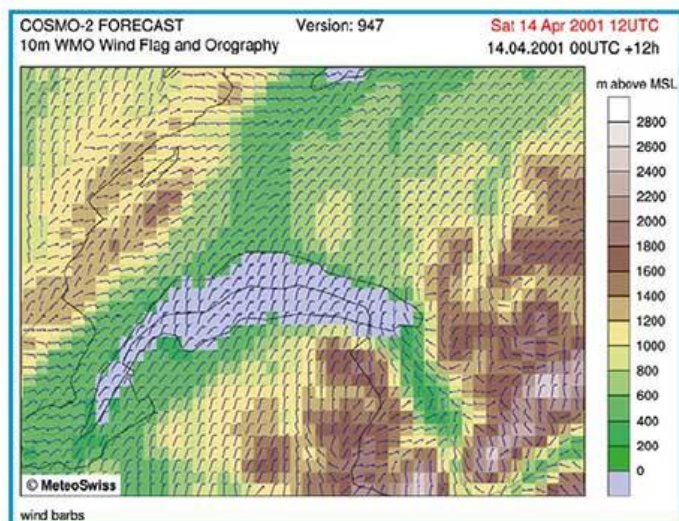
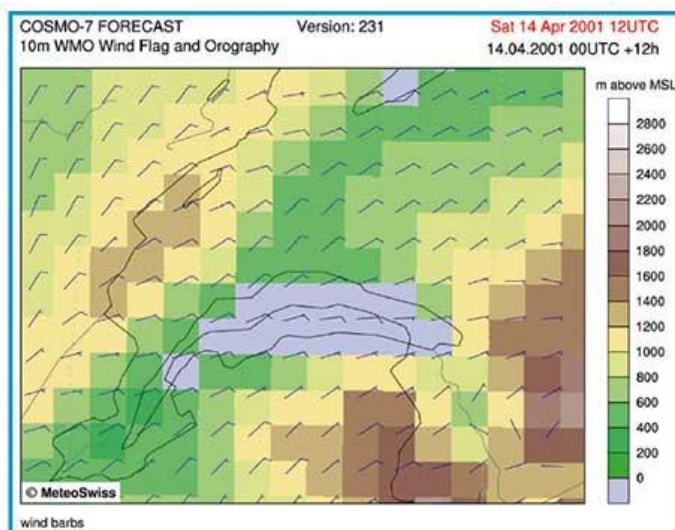
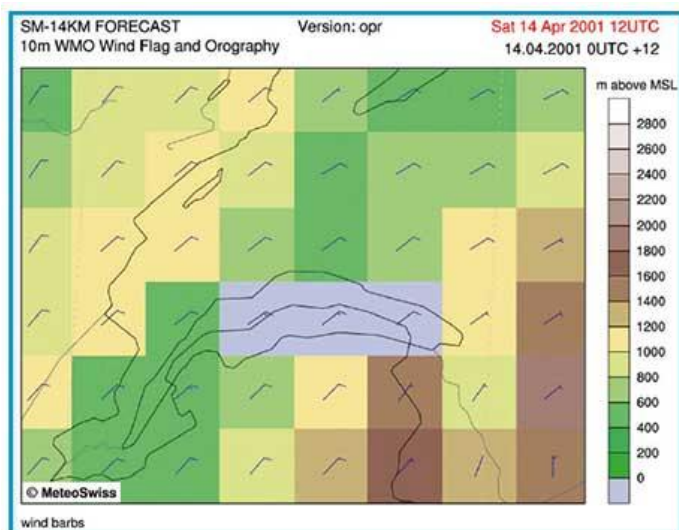


## COSMO-2E

Maschenweite 2.2 km  
2 – 4 mal täglich  
Prognosen: 5 Tage  
Ensemblegrösse 21  
Produktiv seit 2016

Die nationalen Wetterdienste von Deutschland, Griechenland, Israel, Italien, Polen, Rumänien, Russland und der Schweiz arbeiten im Rahmen des Consortium for Small-scale Modeling (COSMO) zusammen. MeteoSchweiz nutzt das Wettervorhersagemodell COSMO für die Prognosen im topographisch anspruchsvollen Alpenraum in zwei verschiedenen Ensemble-Konfigurationen. Diese bilden – zusammen mit den Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) – die Basis sowohl für die täglichen Wettervorhersagen als auch für die Warnungen bei ausserordentlichen Wetterlagen, wie beispielsweise Sturm- oder Niederschlagsereignisse. COSMO-1E besteht aus einem achtmal täglich berechneten Ensemble. Die 11 Vorhersagen des Ensembles haben eine Maschenweite von 1.1 km. Für COSMO-2E werden bis zu viermal täglich 21 Vorhersagen mit einer Maschenweite von 2.2 km als Ensemble berechnet.

# Vorhersagemodell COSMO für die Schweiz



Eine 12-Stunden-Windvorhersage für den 14. April 2001. Sie prognostiziert einen Nordostwind („Bise“) über der Südwestschweiz und die Kanalisierung des Windes stromaufwärts in das Rhonetal am Genfersee.

Von links oben zeilenweise nach rechts unten: Das Schweizer Modell SM von 1996 mit 14 km Maschenweite, COSMO-7 (ab 2001) mit einem 6.6 km Gitter, COSMO-2 (2.2 km) und COSMO-1 (1.1 km). Auflösungs- und Qualitätssteigerung sind deutlich zu erkennen.

Quelle: Saskia Willemse, Markus Furger (Hg.): From weather observations to atmospheric and climate sciences in Switzerland, 2016.

# Supercomputer für die Schweizer Wetterprognose



www.cscs.ch/computers/kesch\_escha\_meteoswiss/index.html



Das Nationale Hochleistungsrechenzentrum der Schweiz ([CSCS](#), Centro Svizzero di Calcolo Scientifico) ist eine 1991 in Manno (TI) gegründete Einheit der [ETH Zürich](#), die sich seit 2012 in [Lugano](#) befindet. Für die Kühlung der Rechner wird Wasser des Luganer Sees aus 45 m Tiefe über eine Strecke von 2.8 km zum Rechenzentrum gepumpt. Unter anderem wurden 2016-2020 zwei identische CS-Storm-Systeme von Cray, „Piz Kesch“ und „Piz Es-cha“, für MeteoSwiss-Wettervorhersagen mit dem COSMO-1-Modell betrieben. Das Gesamtsystem bestand aus 24 CPUs (Intel Haswell, 12 cores, 2.6 GHz) und 192 NVIDIA-GPUs mit 2-mal 196 Tflops Gesamtleistung. 2020 wurden die beiden MeteoSwiss-Systeme durch die etwas leistungsfähigeren Systeme „Arolla“ und „Tsa“ (je 36 GPU-multicore-CPU mit 2.4 / 3.2 GHz) ersetzt.



# Das CSCS in Lugano

Bericht des Tages-Anzeigers vom 4. Mai 2019



Es ist nicht seine Art, zu brüllen. Thomas Schulthess (55) ist ein eher zurückhaltend auftretender Mensch. Aber hier, in der Maschinenhalle des Swiss National Supercomputing Centre, dem CSCS in Lugano, bleibt ihm nichts anderes übrig, als seine Stimmbänder zu strapazieren. Wegen der Ventilation zur Kühlung der Supercomputer herrscht ohrenbetäubender Lärm.

«Hier sehen Sie den Piz Daint», schreit Schulthess. So heisst der derzeit schnellste Rechner Europas. Er steht auf Rang fünf der Top-500-Liste der schnellsten Rechner der Welt. Weiter hinten in der Halle zeigt der Physiker und Computerwissenschaftler einen weiteren Rechner, bestehend aus zwei massiven Schränken. «Das ist der Piz Kesch», brüllt Schulthess, der das an die ETH angegliederte CSCS als Direktor leitet. «Damit macht Meteo Schweiz die Wetterprognosen.» Daneben ein neuer und stärkerer Rechner, der den Piz Kesch bald ablösen und noch zuverlässigere Wetterprognosen erlauben soll. [...]

Rund ein Drittel der Maschinenhalle am CSCS ist noch frei. Dort soll ab 2023 der nächste Supercomputer aufgebaut werden, der für gewisse Anwendungen etwa 100-mal schneller sein soll als der Piz Daint.

Wozu braucht es das? «Bezüglich der Wetter- und Klimasimulationen haben wir ein klares Ziel», sagt Schulthess. «Wir wollen Gewitterwolken in den globalen Simulationen auflösen können.» Dafür wäre aber eine räumliche Auflösung von mindestens einem Kilometer nötig. Für den Alpenraum werde das heute schon erreicht, aber nur für eine einzige Rechnung. Um die eigentlich chaotische Wetterentwicklung besser simulieren zu können, seien mehrere Durchläufe mit etwas verschiedenen Anfangsbedingungen nötig. «Das wird erst ein Exascale-Rechner leisten können. Damit würde eine der grössten Unsicherheiten in den Wetter- und Klimamodellen eliminiert.»

[www.cscs.ch/computers/overview/](http://www.cscs.ch/computers/overview/)



2000 m<sup>2</sup> freie Maschinenhalle ohne Stützen, Pfeiler oder Wände

Auszug aus „**Wo Supercomputer Zukunft rechnen**“ von R. Probal, Sep. 2020, [science-stories.ch/schulthess/](https://science-stories.ch/schulthess/)

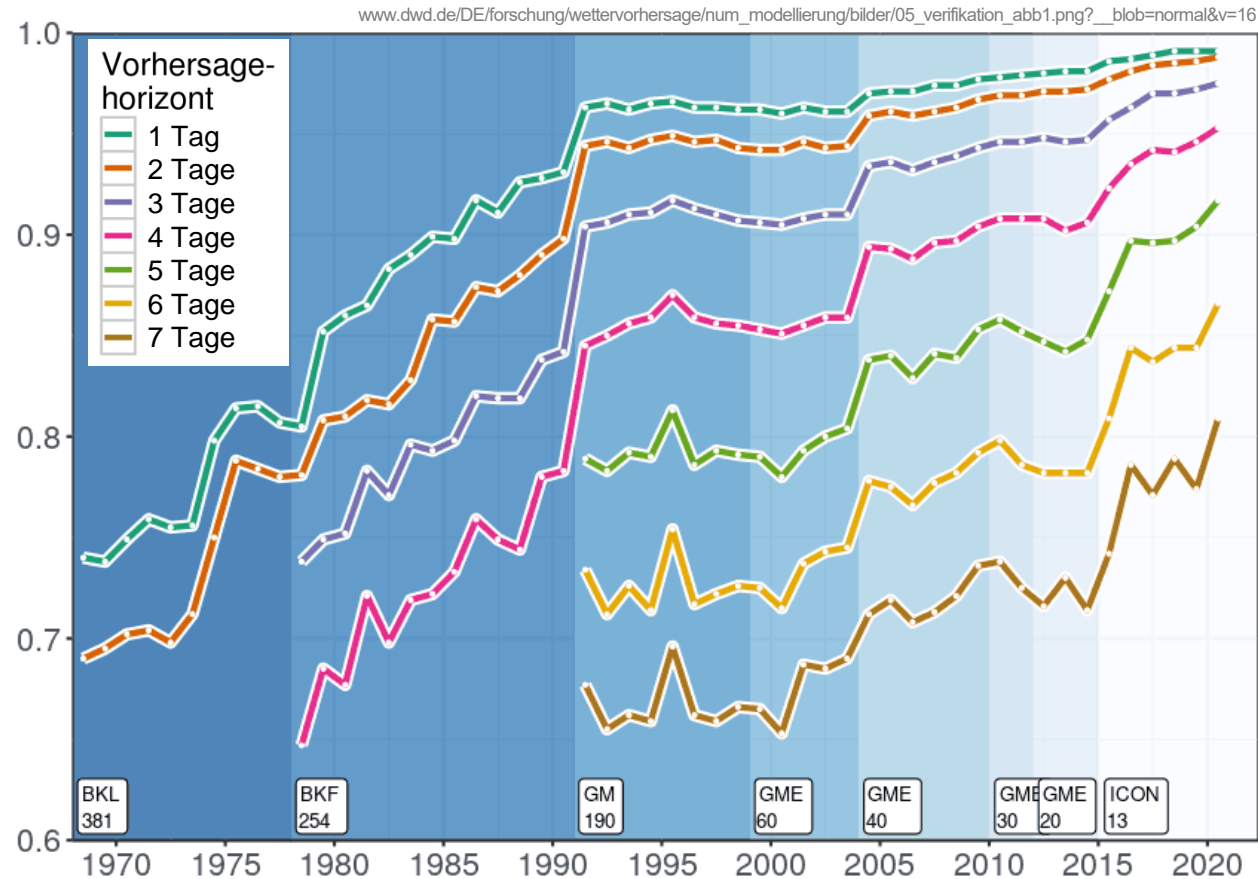
Wo denn heute die grossen [Herausforderungen bei der Berechnung des Wetters](#) lägen, frage ich Thomas Schulthess. Er nennt zwei: den wachsenden Bedarf nach immer genaueren, lokalen Wettervorhersagen und die steigenden Kosten der Hochleistungsrechner. «Ein Beispiel: Der Flughafen Kloten möchte präzisere Vorhersagen für Nebel. MeteoSwiss kann heute das Wetter in einer Modellauflösung von einem Kilometer voraussagen, was für Gewitterwolken im Alpenraum ausreicht. Nicht aber für den Nebel. Dazu brauchen wir eine Auflösung von 100 Metern und um diese zu erhalten, muss der Rechner tausendmal mehr leisten. Das heisst, unser Computer muss länger rechnen oder wir müssen einen tausendmal leistungsstärkeren Rechner kaufen. Um länger zu rechnen, fehlt uns die Zeit. Der Flughafen will heute wissen, wie sich die Nebelage in den nächsten Stunden entwickelt. Einen [tausendmal leistungsstärkeren Rechner](#) zu kaufen, setzt heutzutage voraus, dass wir unser [Budget um den Faktor 1000 erhöhen](#) können. Noch bis vor wenigen Jahren galt das Moore'sche Gesetz. Danach verdoppelte sich die Leistung der Hochleistungsrechner alle 18 Monate bei konstanten Kosten. Man musste also nur 18 Monate warten und erhielt zum damaligen Tagespreis einen Computer mit doppelter Leistung. Das funktioniert heute nicht mehr.» [...]

«Wenn ich für ein Hochleistungsrechenzentrum im dicht besiedelten Mitteleuropa ein Gigawatt Strom brauche, nehme ich dieses Gigawatt der Gesellschaft weg. Das wird teuer und politisch untragbar. Daher müssen wir die Rechner künftig dort bauen, wo Strom günstig und umweltfreundlich produziert werden kann. Das ist heute nur noch im dünn besiedelten Nordeuropa möglich, wo Wasserkraft zur Stromerzeugung und Kühlung genutzt werden kann. Wir werden die [Rechner und die Daten zum Strom bringen](#) müssen, nicht umgekehrt. Wir arbeiten daher schon heute in einem Konsortium mit den Finnen, Norwegern und Isländern.»

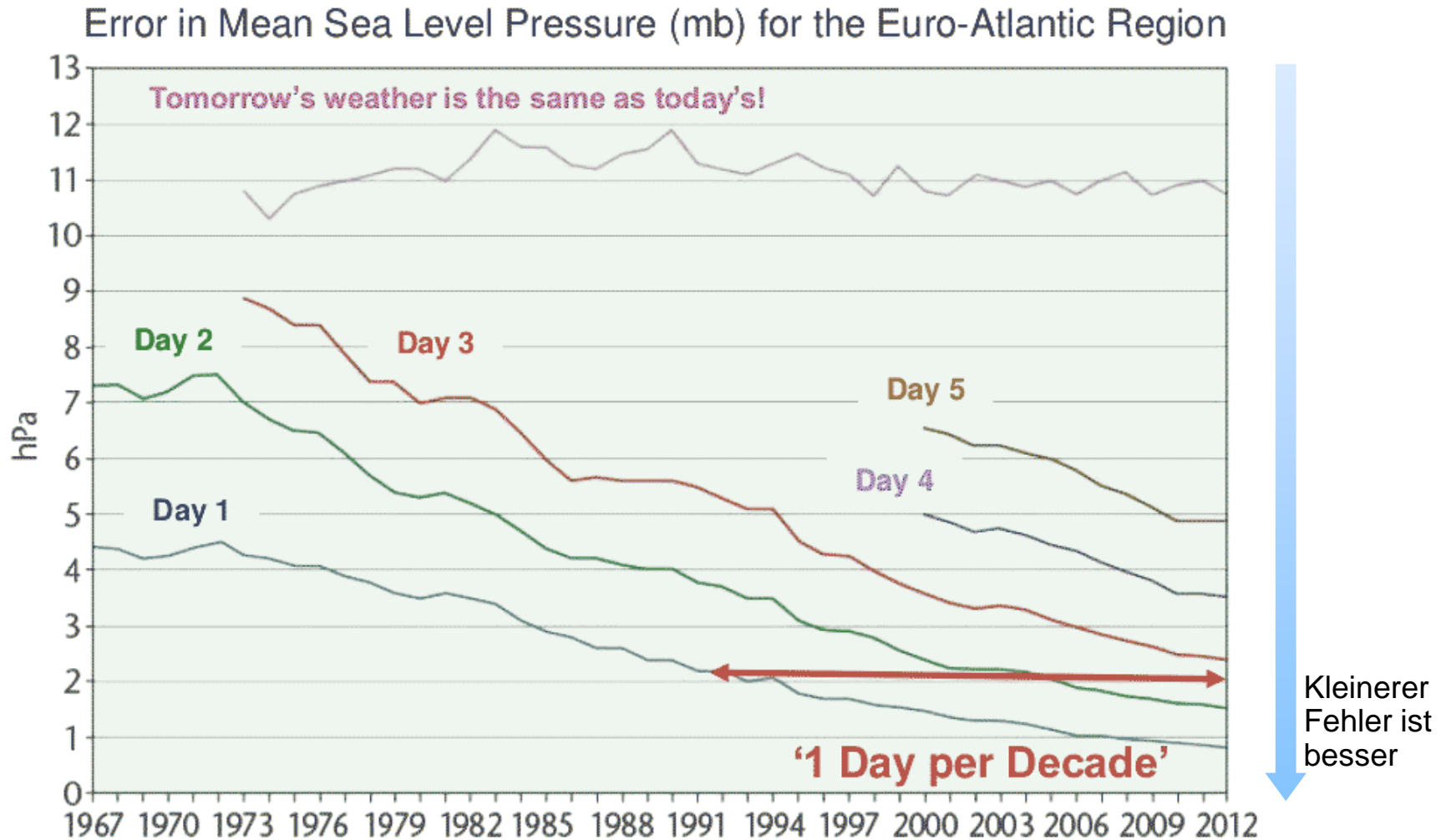
Und wie sieht der Direktor des CSCS die Zukunft des Schweizer Hochleistungsrechenzentrums? «Wir verfügen heute mit zwölf Megawatt über eine sehr leistungsfähige Infrastruktur und wir können sie noch etwa um den Faktor 2 erweitern. Dann sind wir am Limit. Das heisst, das CSCS wird seinen Auftrag allein nicht mehr erfüllen können. [Es muss sich als Teil eines europäischen Verbunds sehen](#) und Spezialitäten pflegen. Ich kann mir vorstellen, dass wir mit unseren ETH-Kollegen aus der Informatik und Elektrotechnik bei der Entwicklung von Prototypen zusammenarbeiten und Pilotsysteme bauen, die zum Beispiel eine Modelltrajektorie in einer Klimasimulation rechnen können. Das Vervielfältigen, Skalieren und Produzieren realisieren wir dann im Verbund mit unseren europäischen Partnern auf Superrechnern irgendwo in Nordeuropa», sagt Thomas Schulthess.

# Wetterprognose: Qualitätssteigerung

Entwicklung der **Vorhersagequalität** beim DWD, demonstriert anhand des **Tendenzkorrrelationskoeffizienten** für die Luftdruckvorhersage in Mitteleuropa. Immer schnellere Computer ermöglichten u.a. ein laufend engeres Gitter (Weite in km unter der jew. Modellbezeichnung in der Graphik), kleinere Berechnungsschritte sowie mehr Schichten in der dritten Dimension. Hinzu kamen immer wieder Optimierungen der numerischen Methoden und der meteorologischen Modelle, z.B. bei den Parametrisierungen der kleinräumigen physikalischen Prozesse, etwa die Neigung zur Turbulenzenbildung aufgrund spezieller Geländeformationen auf der Erdoberfläche. Man erkennt deutlich die dadurch erzielten Fortschritte: Die Vorhersagequalität, die im Jahre 1968 für eine 24-Stunden-Prognose erzielt wurde, wird 50 Jahre später sogar von einer 7-Tage-Vorhersage übertroffen.

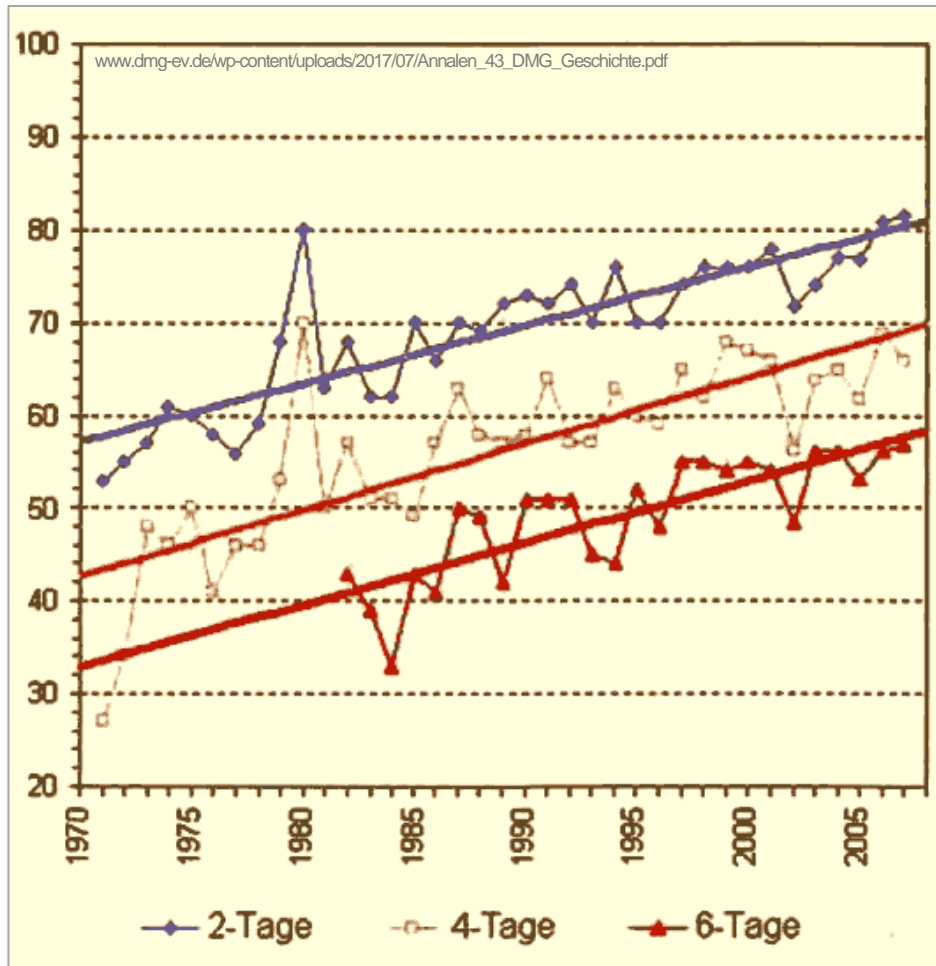


# Wetterprognose: Qualitätssteigerung (2)



Quelle: Julia Slingo, Met Office, 2013 ("Why climate models are the greatest feat of modern science")

# Wetterprognose: Qualitätssteigerung (3)



Auch an dieser knapp 40-jährigen Zeitreihe der Trefferquoten (in Prozent) der **vorhergesagten Maximaltemperaturen** (innerhalb eines zulässigen Fehlerintervalls von  $\pm 2$  Grad) für die 2-, 4- und 6-Tagesvorhersage erkennt man klar die Steigerung der Vorhersagequalität.

# KI als Wetterfrosch?

## Vorhersagen ohne numerische Modelle und meteorologisches Verständnis?

Herkömmliche Wettervorhersagemodelle basieren auf physikalischen Gleichungen, die mit computergestützten Verfahren ausgewertet werden – ein Ansatz, der als numerische Wettervorhersage bekannt ist. **Generative KI-Wettermodelle** arbeiten anders. Anstatt eine Vorhersage auf Grundlage physikalischer Erkenntnisse zu treffen, stützen sie sich auf historische Messungen und Statistik. Diese Methode hat sich als so vielversprechend erwiesen, dass sich ein **Paradigmenwechsel** abzeichnet: **KI-basierte Modelle könnten die numerische Wettervorhersage vollständig ersetzen.**

...

Das Team um Kaifeng Bi vom chinesischen Unternehmen Huawei Cloud in Shenzhen hat die gesamte numerische Wettervorhersage durch ein KI-Modell ersetzt, das das Wetter für bis zu sieben Tage prognostiziert. Es sagt die Temperatur, die Windgeschwindigkeit und den Luftdruck sowie andere Wettervariablen voraus. Das Programm ist **rund 10 000-mal schneller als numerische Wettervorhersagemodelle** – bei gleicher räumlicher Auflösung und vergleichbarer Genauigkeit.

Auszug aus „KI als Wetterfrosch: Wettervorhersagen ohne meteorologisches Verständnis“ von Imme Ebert-Uphoff & Kyle Hilburn, Spektrum der Wissenschaft 10.23, S. 24 – 26

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) is embarking on a radical and ambitious project to investigate if **weather forecasts can be made directly from meteorological observations**, harnessing the power of **machine learning** (ML).

It has been demonstrated recently that ML systems operating with far fewer variables than conventional models and on significantly coarser spatial grids are capable of producing highly skilful medium-range forecasts of important weather parameters. This begs the intriguing question if ML forecast models could learn and be initialised directly from observations, obviating the need to convert observations to a fine grid of unmeasured physical variables dictated by the numerical weather prediction model. If training of a ML model from observations was successful, large fractions of the conventional data assimilation process could be circumvented, potentially allowing forecasts to be produced more quickly as soon as observations are available. [...] In any animation of visible imagery one can clearly see the movement of weather patterns around the globe, and it seems entirely plausible that an ML forecast system could readily exploit this information to predict how weather patterns will evolve in the future. Research is at a very early stage, and the first question we are attempting to answer is **how much predictive skill can be achieved when training on observations alone**. Direct observation-driven prediction is a very radical approach and, as such, pursuing this direction comes with no guarantee of success.

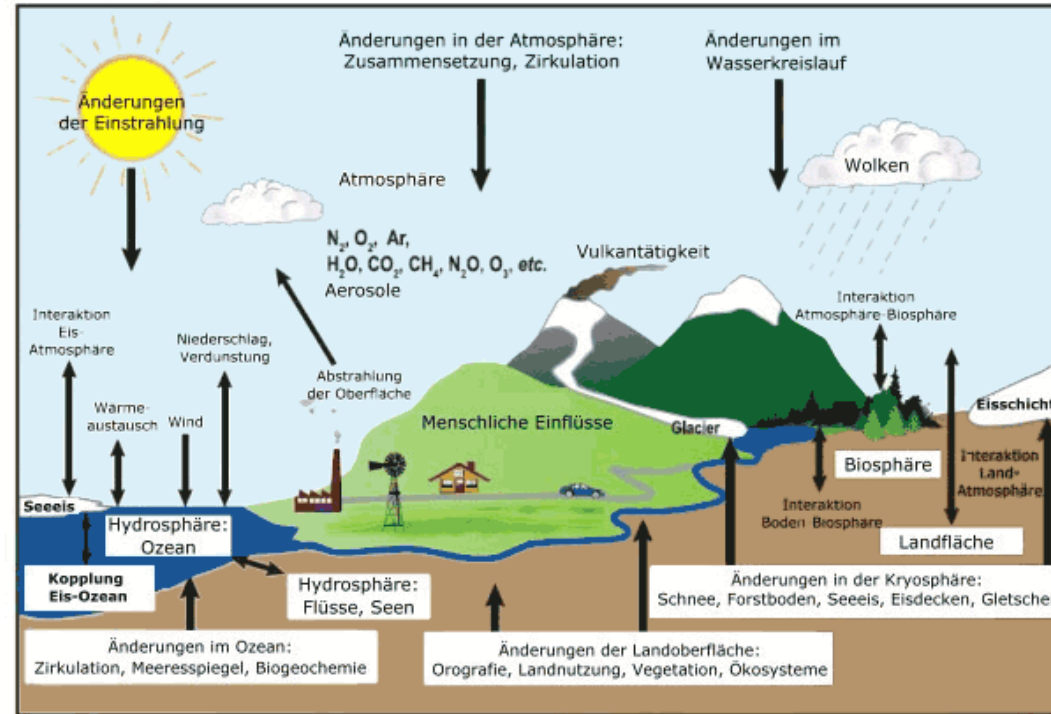
Auszug aus „Producing weather forecasts directly from observations“, ECMWF Newsletter 178, Jan. 2024

# Wetter- → Klimasimulation

Wetter verliert sein Gedächtnis (Vorhersagbarkeit!) innerhalb von zwei Wochen; Klima hingegen hat ein Langzeitgedächtnis (Ozeane, Bodenfeuchtigkeit, Vegetation etc.)

Bei der Modellierung und Simulation des Klimas spielen viel längerfristige Zeiträume (Jahrzehnte wenn nicht gar Jahrtausende) eine Rolle als bei der Wetterprognose. Dennoch sind Klimaänderungen besser vorhersagbar als das Wetter der nächsten Tage, so paradox das erscheint, denn das kurzfristigere Wetter ist von kaum vorhersagbaren, chaotischen Zufällen abhängig, die sich langfristig gegenseitig aufheben.

Die für das Klimageschehen wichtigsten Wechselwirkungen sind in der Abbildung zusammengefasst: Änderungen der Einstrahlung verändern die Gesamtmenge an Sonnenstrahlung, die an der äusseren Atmosphäre ankommt; Änderungen in der Atmosphäre können den Anteil der reflektierten/zur Erdoberfläche durchgelassenen Strahlung verändern; und diese Änderungen können wiederum selbst beispielsweise durch geologische Ereignisse wie Vulkanausbrüche (Freisetzung von Aerosolen) oder durch menschliche Einflüsse wie Veränderungen der Vegetation oder Emission von Aerosolen in die Luft verursacht werden. Die Veränderung der Vegetation kann auch die Reflektion der Erdoberfläche verändern (dunkle Wälder etwa absorbieren mehr Sonnenlicht als Weide- und Ackerland); ebenso wirkt die Änderung der Ausdehnung von Eis- und Schneedecken. Diese reflektieren zum Beispiel bis zu 90% der einfallenden Sonnenstrah-



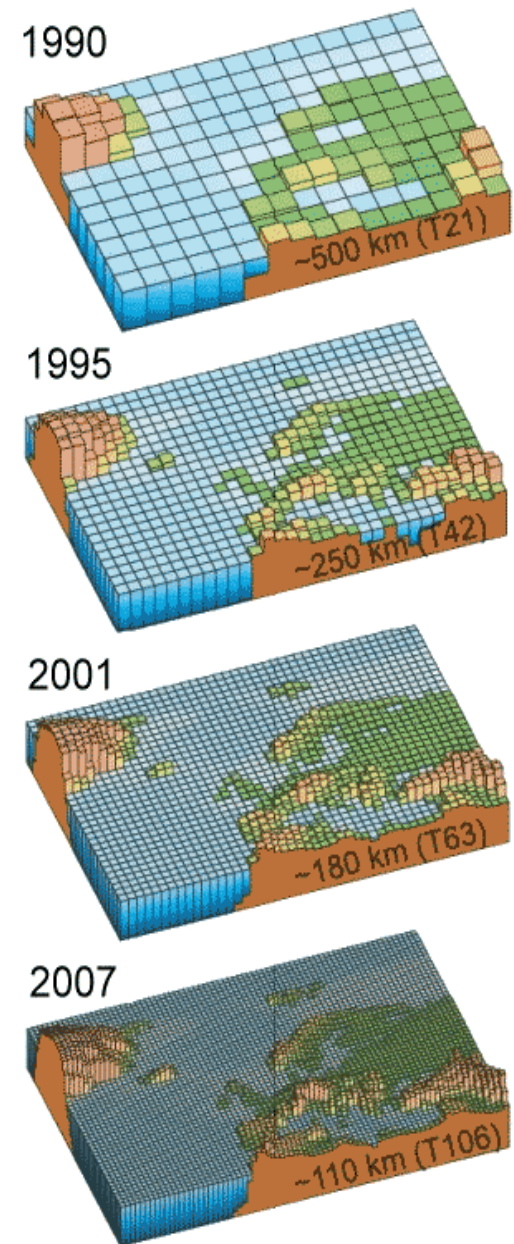
Text (gekürzt) und Bild aus [www.oekosystem-erde.de/html/klima-02.html](http://www.oekosystem-erde.de/html/klima-02.html); Bildvorlage: UN-Klimabericht, IPCC: Climate Change 2007 – The Physical Science Basis

# Wetter- → Klimasimulation (2)

lung und beeinflussen damit insbesondere die Strahlungsbilanz der hohen Breiten und der hohen Gebirge. Ebenso komplex sind die Wechselbeziehungen mit dem Ozean. Rückkopplungen gibt es viele, sie können die Erwärmung verstärken oder das Klima abkühlen.

Die zugrundeliegenden Klimamodelle sollen diese Wechselwirkungen und Rückkopplungen möglichst genau abbilden. Dazu werden mathematische Modelle der Atmosphäre, der Ozeane, der Schnee- und Eisdecken und der Biosphäre miteinander gekoppelt. Die Modelle werden getestet, indem Daten vergangener Zeiten eingegeben werden; die Modelle müssen die davon ausgelösten Klimaveränderungen richtig wiedergeben. Je detaillierter die Modelle die Erde und die beteiligten Prozesse abbilden, um so besser sind sie.

Mehr Details erfordern allerdings höhere Rechenkapazitäten. Klimamodelle sind so komplex, dass sie alle Computer an ihre Leistungsgrenze bringen; insofern sind die verwendeten Modelle gerade so detailliert, wie die aktuelle Computertechnik erlaubt. Den Fortschritt zeigt die Abbildung rechts, die die Modelle, die für den ersten, zweiten, dritten und vierten UN-Klimareport verwendet wurden, darstellt. (*“Vertical resolution in both atmosphere and ocean models is not shown, but it has increased comparably with the horizontal resolution, beginning typically with a single-layer slab ocean and ten atmospheric layers in 1990 and progressing to about thirty levels in both atmosphere and ocean in 2007.”*)





# Wetter- → Klimasimulation (3)

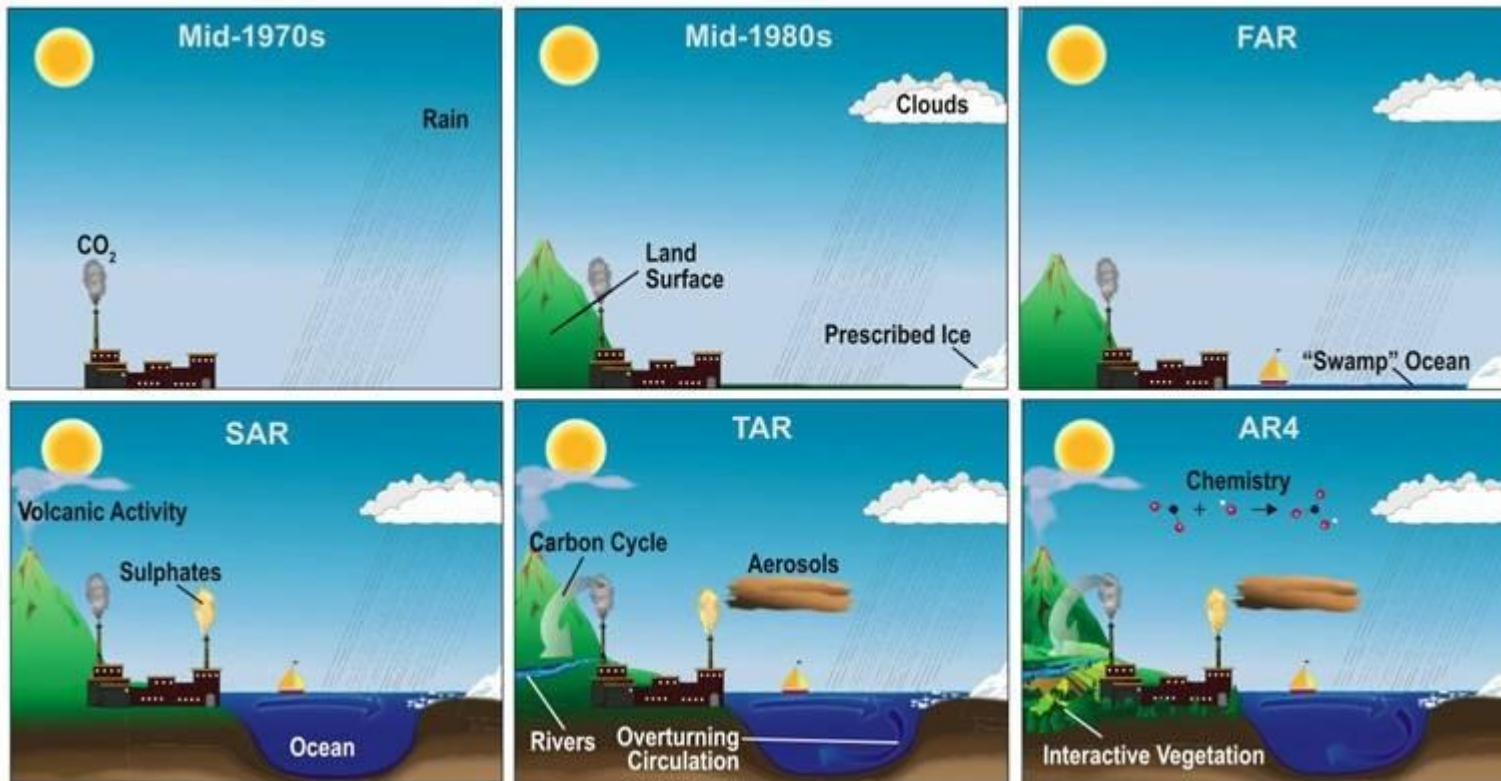
„Klimamodelle können die relevanten Klimagrößen im Raum nicht kontinuierlich berechnen. Stattdessen teilen sie den Ozean und die Atmosphäre in einzelne Zellen auf, die ein Gittersystem bilden. Es wird lediglich der Mittelwert einer Modelleigenschaft innerhalb einer Gitterzelle betrachtet und dieser als repräsentativ für die gesamte Zelle angesetzt. Je höher die räumliche Auflösung des Modells, d.h. je kleiner die Gitterzellen werden, desto genauer ist das Ergebnis. Eine Verdopplung der Auflösung eines globalen Modells bewirkt jedoch eine Verachtfachung der Anzahl der Koordinatenpunkte und eine Verdopplung der Anzahl der Zeitschritte und somit eine mehr als zehnfache Erhöhung der benötigten Rechenzeit.“ [www.dkrz.de/de/about/aufgaben/hpc]



Klimamodelle sind rechenintensiv. Zudem erfordern aber wissenschaftliche Untersuchungen oft eine Simulation des Klimageschehens über einen Zeitraum von vielen Jahrhunderten. Auch kräftigste Supercomputer brauchen daher oft mehrere Monate, um ein Klimaereignis wie z.B. eine Eiszeit zu berechnen.

# Wetter- → Klimasimulation (4)

Neben einer Verfeinerung des Gitterrasters wurden die Modelle im Laufe der Zeit auch dadurch komplexer (und rechenzeitaufwändiger), dass mehr Einflussgrößen berücksichtigt wurden. Klimamodelle haben in den letzten Jahrzehnten eine enorme Entwicklung vollzogen. Während noch um 1970 ein reines Atmosphärenmodell mit CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet wurde, konnten in den späten 1990er-Jahren Ozeane, Schnee- und Eisdecken, Landoberflächen und Sulfat-Aerosole angekoppelt werden; um 2007 kamen Vegetation und Atmosphärenchemie hinzu.



Entwicklung der Klimamodelle nach IPCC 2007

[www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/fig/figure1-21.png](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/fig/figure1-21.png)

# Wetter- → Klimasimulation (5)

Klimamodelle sind aufgrund ihrer Konstruktion und auf Basis des verwendeten Wissens mit vielen **Unsicherheiten** verbunden, die bei der Interpretation der Ergebnisse bedacht werden müssen. Wir zitieren dazu aus dem Aufsatz „Modellierung des Klimasystems“ von Jennifer Brauch, Kristina Fröhlich und Florian Imbery (promet, 2017), die einige der hierfür ursächlichen Aspekte auführen:

**Approximationen:** Durch Vorüberlegungen werden bestimmte, auf allgemeinen Theorien basierende physikalische Prozesse aus den Gleichungen eliminiert, um den rechnerischen Einsatz zu vereinfachen.

**Diskretisierung:** Da die physikalischen Gleichungen partielle Ableitungen und chaotische Prozesse enthalten, die analytisch nicht gelöst werden können, erhält man durch die numerische Näherung Ungenauigkeiten.

**Computerungenauigkeit:** Die Technologie der Rechner beschränkt die Rechengenauigkeit, sodass es hier zu Fehlern in den Nachkommastellen kommen kann, die sich auch fortpflanzen können.

**Empirische Abschätzung oder Modellparametrisierung:** Durch die numerische Lösung der Gleichungen mit einem diskreten Abstand der Gitterpunkte müssen Prozesse, die auf einer kleineren Skala als dem Gitterpunktabstand ablaufen, parametrisiert werden, zum Beispiel Konvektion. Ein anderes Beispiel für Parametrisierung sind Prozesse, die aus Messungen empirisch abgeleitet wurden, wie zum Beispiel der Austausch von Wärme, Feuchte und Impuls zwischen Ozean und Atmosphäre. [...] Bei jeder Anwendung von Klimamodellen müssen die verwendeten Parametrisierungen hinterfragt und ihre Unsicherheiten diskutiert werden.

**Tuning:** Durch die Parametrisierungen in den Gleichungen gibt es Parameter, die angepasst oder „getuned“ werden, um eine möglichst gute Übereinstimmung mit beobachteten Daten zu

# Wetter- → Klimasimulation (6)

erreichen. Schlüsselparameter der Globalmodelle sind zum Beispiel die Energiebilanz am oberen Rand der Atmosphäre, die mittlere Oberflächentemperatur oder die zonale Windgeschwindigkeit in den atmosphärischen Jetströmen. Tuning ist sehr aufwendig, da Simulationen mit neuen Parameterwerten innerhalb der physikalisch sinnvollen Variation iterativ wiederholt werden müssen, bis ein gewünschtes Ergebnis erzielt wurde. Parametertuning wirkt auf das gesamte Modellklima, sodass mit möglichst objektiven Methoden ein optimaler Zustand gefunden werden muss. Häufig werden globale Klimamodelle für bestimmte Zeitscheiben „getuned“, zum Beispiel auf den vorindustriellen Zustand. Hierbei entsteht die Unsicherheit, inwieweit die Wahl der Parameter auch bei Zukunftsszenarien realistische Ergebnisse liefern.

**Komplexität der Modellkomponenten:** Mit jedem Hinzufügen neuer Modellkomponenten kommen neben den modelleigenen Unsicherheiten noch Unsicherheiten durch die Wechselwirkungen untereinander hinzu.

**Start- und Randbedingungen der Modelle:** Start- und Randbedingungen können Beobachtungsdaten oder Ergebnisse anderer Modellsimulationen sein. Die Qualität und Dichte der Beobachtungsdaten sowie die Methoden, diese dem Modell als Anfangsbedingungen verfügbar zu machen, beeinflussen die Qualität der Vorhersage auf kurzen Zeitskalen entscheidend.

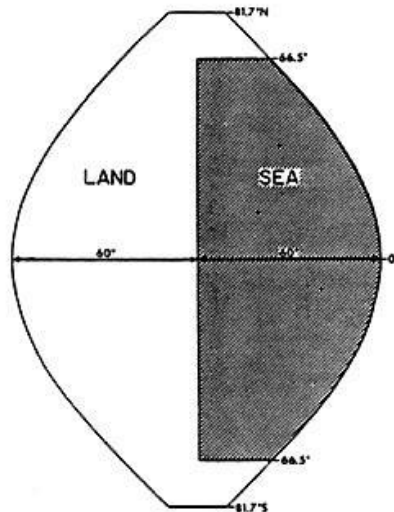
**Szenarien:** Um die zukünftige Entwicklung des Klimasystems abzuschätzen, wurden verschiedene Szenarien entwickelt. Diese dienen den Klimamodellen als Randbedingungen für Klimaprojektionen. Sie umfassen neben den zukünftigen Änderungen der Treibhausgasemissionen [...] auch sozioökonomische Faktoren und die Änderungen der Landnutzung.

**Unkenntnis:** Im Gegensatz zum natürlichen Klimasystem sind Klimamodelle geschlossene Systeme. Sie können nur Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Komponenten darstellen, die in den Modellen abgebildet sind. Daher ist das Verständnis über die Rückkopplungseffekte und deren realistische Simulation [...] entscheidend für die Güte von Klimasimulationen.

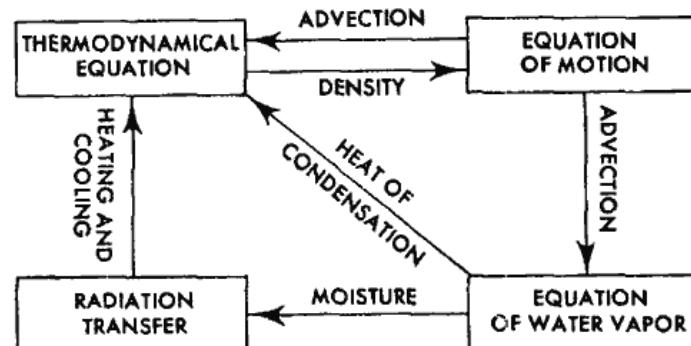
# Wetter- → Klimasimulation (7)

Die [Meilensteine der Klimamodellierung](#) in den vergangenen rund 100 Jahren werden von Leo Hickman, Journalist der britischen Tageszeitung „The Guardian“, bei [www.carbonbrief.org/timeline-history-climate-modelling](http://www.carbonbrief.org/timeline-history-climate-modelling) in netter und instruktiver Weise dargestellt; daraus einige kurze Zitate:

The climate models used by scientists today rely on some of the world's most advanced supercomputers. It can take dozens of highly skilled people to build and then operate a modern-day climate model. However, less than a century ago, climate models were little more than an idea; basic equations roughly sketched out on paper. [...] 1969: Manabe and Bryan [...] produce the first “coupled” atmosphere-ocean general circulation model (GCM). Many elements are brought together and interact with each other for the first time, such as the atmosphere, oceans and ice. [...] However, the computing time needed to model the ocean elements is considerable and truly tests their Univac 1108 computer. It takes 1100 hours (about 46 days) to do just one run of the model. They are forced to use a highly simplified View of “Earth”, where a globe is split into three sections, equal parts ocean and land, with the poles omitted. 1975: Manabe and Wetherald [...] use a 3D GCM to investigate for the first time the effects of doubling atmospheric CO<sub>2</sub> levels.



Manabe, S., & Bryan, K. (1969). Climate calculations with a combined ocean-atmosphere model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 26(4), 786-789.



Manabe, S., & Wetherald, R. T. (1975). The effects of doubling the CO<sub>2</sub> concentration on the climate of a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32 (1), 3-15.

# Wetter- → Klimasimulation (8)



**Cyber-205**, bis März 1989: 1 Prozessor; 0.2 GFLOPS; 0.032 GB Hauptspeicher



**Cray 2S**, Nov. 1988 - Mai 1994: 4 Prozessoren; 2 GFLOPS; 1 GB Hauptspeicher

Eine Auswahl der Computersysteme des Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) in Hamburg seit seiner Gründung im Jahr 1987 mit den jeweil. Leistungskenngrößen demonstriert den technischen Fortschritt innerhalb von 30 Jahren.

Alle Bilder sowie Textvorlage: [www.dkrz.de/systeme/historie](http://www.dkrz.de/systeme/historie)



**NEC SX-6**, März 2002 - April 2009: 192 Prozessoren; 1.5 TFLOPS; 1.5 TB Hauptspeicher



**IBM Power 6 "Blizzard"**, März 2009 - Okt. 2015: 8448 Prozessoren; 158 TFLOPS; 20 TB



Aufgabe des DKRZ ist die Bereitstellung von Rechenleistung sowie die technische Unterstützung bei Simulationsrechnungen der grundlagenorientierten Klimafor schung.

Bei Gründung des DKRZ erlaubte die damalige CDC Cyber-205 jeweils nur die Simulation der Atmosphäre oder des Ozeans. Ebenso war das Gitter sehr grob und die simulierte Zeit war auf wenige Jahre beschränkt. Seit dieser Zeit ermöglicht jedes neue System eine Ausdehnung der simulierten Zeitspannen, eine Aufnahme weiterer Prozesse und eine höhere räumliche Auflösung. Dies führt zu immer realitätsnäheren Simulationen.

# Wetter- → Klimasimulation (9)

**Bullx B700 DLC „Mistral“**,  
ab Juli 2016: 100 000 Prozessoren;  
3.6 PFLOPS; 240 TB



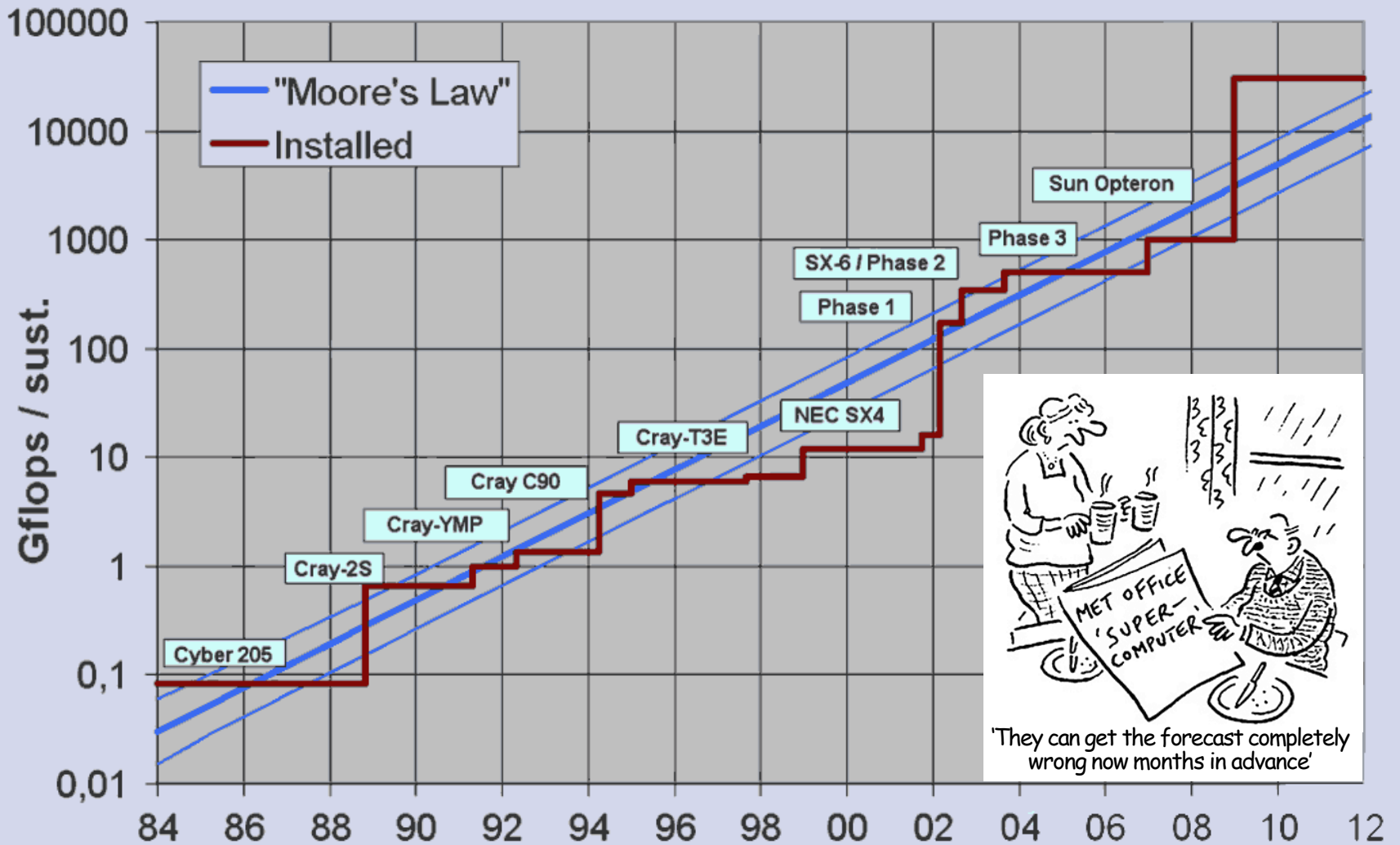
www.dkrz.de/systeme/hpc

Die Komponenten des 2015 / 2016 installierten Hochleistungsrechnersystems „Mistral“ am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) in Hamburg sind auf 79 tonnenschwere Schränke verteilt, die untereinander mit Bündeln von Glasfaserleitungen verbunden sind. Mistral besteht aus rund 3300 Rechnerknoten mit insgesamt mehr als 100000 Prozessorkernen.

2021 / 2022 wurde das „Levante“ genannte System installiert. Es basiert auf der BullSequana XH2000-Technologie der Firma Atos und umfasst 2982 Rechnerknoten mit jeweils zwei Prozessoren (AMD EPYC mit je 64 Kernen), die zusammen eine Spitzenrechenleistung von 14 PetaFLOPS liefern. Die Hauptspeichergröße beträgt insgesamt 850 TB. Das gesamte System (inkl. 60 Nvidia-GPUs) soll ca. 45 Millionen Euro gekostet haben.

# Wetter- → Klimasimulation (10)

Die exponentielle Steigerung der Rechenleistung im DKRZ zwischen 1984 und 2012:





# Wetter- → Klimasimulation (11)

## Beängstigender Blick in die Klimazukunft der Schweiz

*Präzise Szenarien schaffen Grundlage für die Anpassungsstrategie des Bundesrats*

CHRISTIAN SPEICHER

Die Schweiz ist besonders stark vom Klimawandel betroffen. Ein Bericht zeigt auf, was konkret auf uns zukommt und wie wir uns dagegen wappnen können.

Der Hitzesommer 2018 hat es deutlich gemacht: Bei der Anpassung an den Klimawandel besteht noch Handlungsbedarf. Das tangiert nicht nur die Land- und die Forstwirtschaft. Auch Energieversorger, Landschaftsplaner und Architekten müssen der Tatsache ins Auge blicken, dass sich die klimatischen Bedingungen in der Schweiz rasch verändern. Worauf man sich einzustellen hat, zeigt ein vom Bund in Auftrag gegebenes Bericht, der am Dienstag vorgestellt wurde. Die Klimaszenarien 2018 sind ein wichtiges Instrument für den Bundesrat, der im nächsten Jahr seine Strategie für die Anpassung an den Klimawandel aktualisieren muss.

Für die Klimaszenarien 2018 hat sich Meteo Schweiz mit Forschern der ETH Zürich und der Universität Bern zusammengesetzt. Um den besonderen Verhältnissen im Alpenland Schweiz gerecht zu werden, haben die Forscher globale Klimamodelle mit regionalen

kombiniert. Dank der hohen räumlichen Auflösung der Computersimulationen können sie nicht nur Aussagen über die Schweiz als Ganzes machen. Es lassen sich auch regionalspezifische Prognosen für verschiedene Landesteile machen.

Die Klimazukunft der Schweiz hängt massgeblich davon ab, wie sich die Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten entwickeln werden. Im ungünstigsten Fall muss man laut dem Bericht zwischen 2045 und 2075 mit einer Erwärmung von 2 bis 3,3 Grad gegenüber dem Vergleichszeitraum von 1981 bis 2010 rechnen. Im Zeitraum 2070 bis 2100 wäre sogar eine Erwärmung von 3,3 bis 5,4 Grad wahrscheinlich.

Ohne Klimaschutz steigen nicht nur die mittleren Temperaturen. Es wird im Sommer auch mehr und extremere Hitzetage geben. So könnte der wärmste Tag des Jahres bis Mitte des Jahrhunderts um 2 bis 5,5 Grad heisser sein als im Vergleichszeitraum. Und anders als heute dürfte es nicht nur einmal im Jahr über-

### Aufruf zu Anpassung und Widerstand

durchschnittlich heiss werden, sondern im Schnitt 4 bis 18 Mal. Längere Hitze-

perioden wie in diesem Sommer könnten also bald schon typisch sein.

Auch lange Trockenperioden dürften schon bald an der Tagesordnung sein. So zeigen die Simulationen, dass die Sommerniederschläge bis 2060 tendenziell abnehmen. Zwar wird an einem durchschnittlichen Regentag ähnlich viel Regen fallen wie heute. Es gibt aber mehr Tage ohne Regen. Deshalb könnte die längste Trockenperiode im Schnitt bis zu neun Tage länger dauern als heute. Wenn der Regen aber kommt, dann heftig. Laut den Klimaszenarien dürften die Tage mit den stärksten Niederschlägen bis Mitte des Jahrhunderts zehn Prozent mehr Regen bringen. Und auch die sogenannten Jahrhundertereignisse verstärken sich.

Das sind besorgniserregende Aussichten. Die gute Nachricht ist, dass sich bis 2060 rund die Hälfte der negativen Folgen vermeiden liesse, wenn man die Treibhausgasemissionen im Einklang mit den Klimazielen von Paris senken würde. In diesem Fall wäre bis 2060 in der Schweiz nur mit einem Temperaturanstieg von 0,7 bis 1,9 Grad zu rechnen.

Qualitativ seien diese Aussagen nicht neu, sagt der Klimaforscher Reto Knutti von der ETH Zürich, einer der Autoren der Studie. Im Vergleich zu den Klima-

Dank der hohen räumlichen Auflösung der Computersimulationen [...] könne man jetzt viel genauer quantifizieren, mit welchen Folgen in der Schweiz zu rechnen sei.

NZZ, 14.11.2018, Titelseite

szenarien 2011 könne man jetzt aber viel genauer quantifizieren, mit welchen Folgen in der Schweiz zu rechnen sei.

Knutti hofft deshalb, dass sich die Klimaszenarien in Zukunft zu einem wichtigen Instrument für Behörden, Politik und Wirtschaft entwickeln. So wie man heute ganz selbstverständlich eine Wetter-App konsultiert, bevor man einen Ausflug plane, werde man in Zukunft für diverse Planungsaufgaben auf verlässliche Klimadaten zurückgreifen können.

Damit die Klimainformationen den Weg zum Anwender fänden, habe man besonderen Wert auf Nutzerfreundlichkeit gelegt, sagt der Projektleiter Andreas Fischer von Meteo Schweiz. Neben dem eigentlichen Bericht habe man eine ganze Palette von Produkten entwickelt, um Nutzern den Zugang zu den Daten zu erleichtern. Unter anderem gebe es einen Web-Atlas, in dem 20 000 Grafiken hinterlegt seien. Jeder Anwender finde hier regionalspezifische Antworten zu Hitzetagen, Tropennächten oder anderen Klimaindikatoren. Diese Praxisrelevanz sei enorm wichtig, so Fischer. Denn nur so könnten die Klimaszenarien politische und wirtschaftliche Entscheidungen beeinflussen.

# Wetter- → Klimasimulation (12)

[www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog.subpage.html/de/data/blogs/2021/8/eine-neue-generation-von-wetter--und-klimamodellen.html](http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog.subpage.html/de/data/blogs/2021/8/eine-neue-generation-von-wetter--und-klimamodellen.html)

## **Eine neue Generation von Wetter- und Klimamodellen**, 6. August 2021 (Auszug)

Herr Lapillonne, was ist das [Exclaim-Projekt](#), und wie beeinflusst es das Wettermodell von [MeteoSchweiz](#)?

Exclaim ist ein grosses technologisches Projekt, das sich zum Ziel gesetzt hat, eine numerische Plattform zur Simulierung des Klimas zu entwickeln, die in der Lage sein wird, die Herausforderungen zu bewältigen, vor die Hardware und Datenverarbeitung uns in Zukunft stellen werden. Das Projekt konzentriert sich auf das Wetter- und Klimamodell der jüngsten Generation [ICON](#) (ICOsahedral Nonhydrostatic Model). Dieses wird unser derzeitiges numerisches Modell zur Wettervorhersage COSMO um das Jahr 2023 ersetzen. Die Zusammenarbeit mit Exclaim wird es uns ermöglichen, die Modellierungskapazität des neuen Wettermodells weiter zu verbessern, indem es die Komplexität der Modelle oder die Anzahl der Ensemble-Member für probabilistische Vorhersagen erhöht.

Die numerischen Vorhersagemodelle für Klima und Wetter werden in den kommenden Jahren viele Herausforderungen zu bewältigen haben, wie zum Beispiel neue Computerhardware, den Einsatz maschinellen Lernens oder die Nachverarbeitung von Daten zu erneuern, sowie die Datenlawine, die sich aus der erhöhten Auflösung der Modelle und der wachsenden Zahl an Ensemble-Membren ergibt.

Die Tatsache, dass wir dasselbe [ICON-Modell](#) für die [Wettervorhersagen von MeteoSchweiz](#) und die [Klimaprojektionen der ETH](#) verwenden werden, erzeugt zahlreiche Synergien. Mit den täglichen Vorhersagen können wir eine ständige Überprüfung des Modells sicherstellen, während die ETH eine bedeutende Fachkenntnis hinsichtlich der langfristigen Entwicklung des Klimageschehens einbringt.

Bis etwa zum Jahr 2000 wurden die meisten Leistungssteigerungen durch die Erhöhung der Taktfrequenz des Prozessors erreicht. Aufgrund physikalischer Beschränkungen kam diese Entwicklung zu einem Ende, aber man konnte noch immer einen Leistungsgewinn durch die Erhöhung der Parallelität erzielen, zum Beispiel durch mehr Rechenkerne pro Hauptprozessor oder die Entwicklung neuer Hardware. Wir glauben, dass man im kommenden Jahrzehnt zunehmend auf neue bzw. die Anpassung bestehender Architekturen setzen wird neben der Notwendigkeit, Parallelität verstärkt zu nutzen.

# „Forscher wollen die Erde vollständig simulieren“

## „Digitaler Zwilling soll bei Vorhersagen helfen“

Auszug aus: [www.derstandard.at/story/2000124847359/destination-earth-forscher-wollen-die-erde-vollstaendig-simulieren](http://www.derstandard.at/story/2000124847359/destination-earth-forscher-wollen-die-erde-vollstaendig-simulieren), 10. März 2021

Wissenschaftler begeben sich auf eine kühne Mission: Ein **digitaler Zwilling der Erde** soll einst das gesamte Erdsystem wirklichkeitsnah simulieren. Wie dies gelingen kann, haben Forschende mit Beteiligung der ETH Zürich kürzlich im Fachblatt „Nature Computational Science“ dargelegt. Mit dem bis auf zehn Jahre ausgelegten Projekt namens „Destination Earth“ will die Europäische Union die **Entwicklung des Klimawandels** und Extremereignisse besser vorhersagen können. [...]

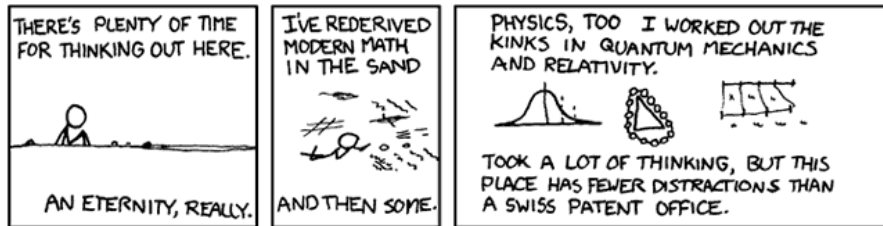
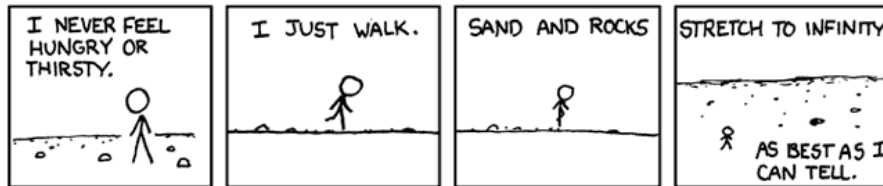
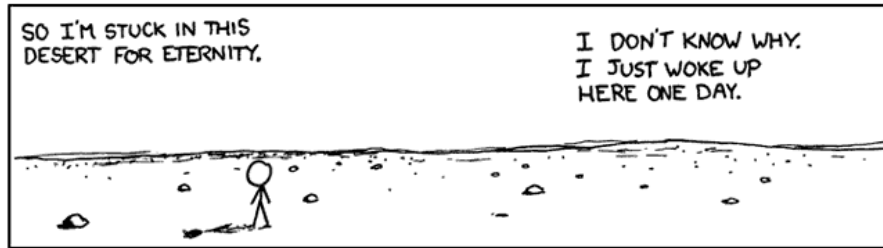
Heute basieren Wetter- und Klimasimulationen auf unterschiedlichen Ansätzen, um das Erdsystem zu simulieren. **Wettervorhersagen** fußen auf einer engmaschigen Auflösung und detaillierten Beobachtungsdaten, um kleinräumige Phänomene wie Föhnsturm oder lokale Gewitterwolken zu erfassen. **Klimamodelle** hingegen rechnen mit Auflösungen von mehreren Dutzend Kilometern und beziehen großskalige Prozesse ein, etwa den globalen Kohlenstoffkreislauf. Zunehmend setzt sich jedoch die Erkenntnis durch, dass kleine Skalen für die Klimavorhersage und die Komplexität des Erdsystems für die Wettervorhersage wichtig sind. Destination Earth will deshalb beide Systeme verschmelzen – und ein globales **Einkilometermodell** entwickeln. [...]

Zudem soll Destination Earth versuchen, den Menschen zu erfassen. So sähe man die Auswirkungen von Wetterereignissen und Klimawandel auf die Gesellschaft, und umgekehrt ließe sich das menschliche Verhalten auf das Klima projizieren. Hoffnung legen die Autoren der aktuellen Publikation in die künstliche Intelligenz (KI): Sie könnte ermöglichen, die Simulationen zu beschleunigen und die wichtigsten Informationen aus großen Datenmengen herauszufiltern.

Die schier unermessliche Datenflut und Komplexität der Modelle werden den **Energiebedarf der Supercomputer** zweifellos pulverisieren. „Für die anvisierte Auflösung der Modelle brauchen wir eine Leistung von bis zu **250 Megawatt**“, sagte Schulthess. Zum Vergleich: Das Kernkraftwerk Mühleberg, das vor etwas über einem Jahr außer Betrieb genommen wurde, produzierte eine Leistung von rund 350 Megawatt. „Es macht daher Sinn, künftige Recheninfrastrukturen dort aufzubauen, wo Energie günstig und umweltverträglich erzeugt werden kann.“

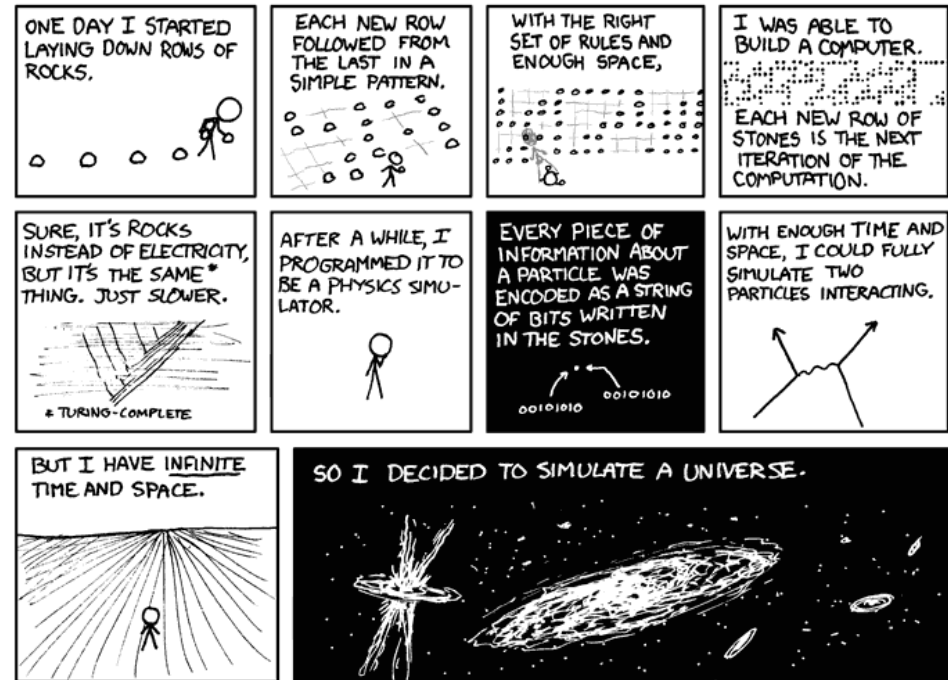
„Was ist, wenn die simulierten Menschen schneller als wir eine superintelligente künstliche Intelligenz entwickeln? Dann könnten sie merken, dass sie nur in einer Simulation leben und könnten dann über den zur Verfügung gestellten Supercomputer die Weltherrschaft an sich reißen... Wir wären dann nur mehr Lakaien der simulierten Erdenbürger.“ (Kommentar von Angelo Merte)

# So I Decided to Simulate a **UNIVERSE**



Cueball is using the rocks to build a **cellular automaton**. Certain cellular automata are **Turing-complete**, which means that they can be used to represent any conceivable algorithm if expanded infinitely, including **simulating the physics of the universe**. The Swiss patent office line refers to **Albert Einstein**, who was employed as a Swiss patent clerk while coming up with his theory of special relativity. In the center of the comic, the binary numbers pointing to the particle are both **42**. German computer scientist **Konrad Zuse** theorized that that the entire universe is the output of a deterministic computation on a single cellular automaton. In other words, **the universe is actually the representation of a computer simulation**.  
[[www.explainxkcd.com/wiki/index.php/505:\\_A\\_Bunch\\_of\\_Rocks](http://www.explainxkcd.com/wiki/index.php/505:_A_Bunch_of_Rocks)]

**Xkcd** is a **webcomic** created in 2005 by American author Randall Munroe. The subject matter of the comic varies from statements on life and love to mathematical, programming, and **scientific in-jokes**. Some strips feature simple humor or pop-culture references. Munroe has been a fan of newspaper comic strips since childhood, describing xkcd as an "heir" to Charles M. Schulz's Peanuts. [en.wikipedia.org]

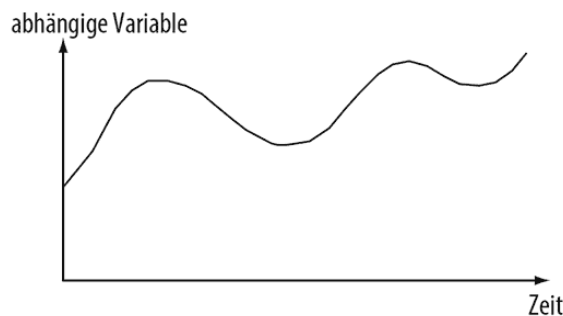


Fortsetzung des Cartoons "A Bunch of Rocks" hier: <https://xkcd.com/505/>

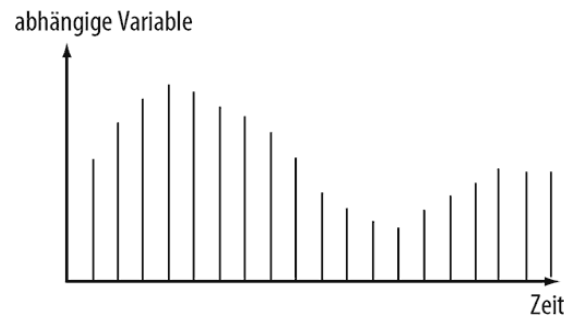
# Zurück zum nüchternen Ernst unseres Themas:

## Simulationstechnik für dynamische Systeme

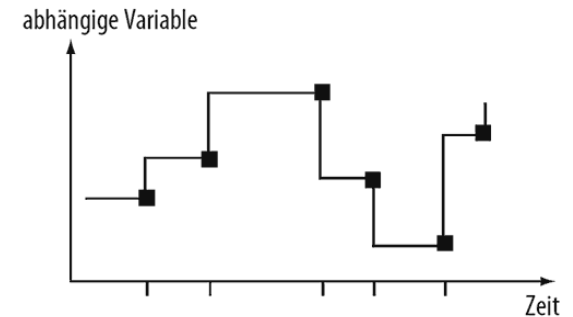
- 1) Zeitgesteuerte Simulation
  - 2) Ereignisgesteuerte Simulation
- } Zeitdiskrete Simulation



*Kontinuierlicher Verlauf*



*Zeitdiskret mit äquidistanten Zeitpunkten, gesteuert durch eine getaktete Uhr*



*Zeitdiskret, aber ereignisorientiert: Zeitpunkte werden durch stattfindende Ereignisse definiert*

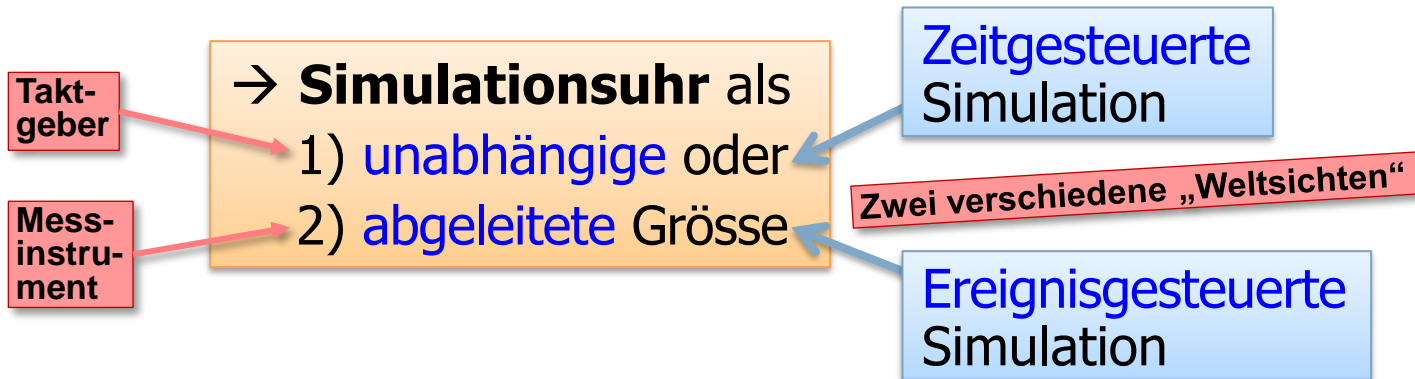
# Zeitdiskrete Simulation

...introduce a **discreteness into time**, so that time can for some purposes be regarded as a succession of instants instead of as a continuous flow. – Alan Turing, 1947

- Entwicklung eines **Systems bzw. Modells** in der **Zeit** untersuchen
  - System / dessen Modell besteht aus vielen (**z.T. interagierenden**) **Objekten**
  - Modellzustand Schritt für Schritt („**Zeitschritt**“) fortschreiben
  - Kontinuierliche Abläufe werden „diskretisiert“ → **zeitdiskrete** Simulation („diskret“: abgegrenzt, getrennt, vereinzelt; lat. *discernere* → *unterscheiden*)
- Zum simulierten Modell gehört auch eine **Simulationsuhr**

# Simulationsuhr

- Zeigt stets die aktuelle **Zeit im Modell** („Simulationszeit“)
- Ist das **Abbild der realen Zeit im Modell**, aber **diskretisiert**
  - als Raster von Zeitpunkten
  - Zeit ist löchrig und springt!



Der Begriff „Weltsicht“ erinnert an die Frage der klassischen Philosophie nach dem „primus motor immobilis“

# Zeitgesteuerte Simulation

- Pro **Simulationsschritt**: Erhöhe Simulationsuhr um festes  $\Delta t$ 
  - $\Delta t$  zu klein  $\rightarrow$  langsam
  - $\Delta t$  zu gross  $\rightarrow$  ungenau / falsch
  - Evtl. „Totzeiten“  $\rightarrow$  Verschwendung von Rechenzeit

Diskretisierungsproblem

Zeit zum Rechnen des Modells

1874: Zeitgesteuerte Simulation beim Kriegsspiel

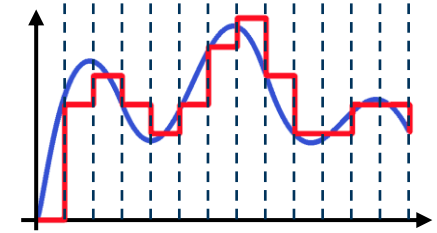


Das ist etwas anderes als die Zeit im Simulationsmodell!

*Une majestueuse horloge en carton...*



# $[T, T+\Delta t]$ -Epochen



- Was real innerhalb von  $[T, T+\Delta t]$  geschieht, wird erst am Ende der Epoche, zum Zeitpunkt  $T+\Delta t$ , in der Simulation **wirksam**
  - → **Ungenauigkeiten** / Fehler (vor allem bei kontinuierlichen Abläufen)
- Zustandsänderung eines Objektes wirkt sich frühestens in der nächsten Epoche auf die anderen Objekte aus

- Falls  $\Delta t$  hinreichend klein:  
**Quasi-kontinuierliche** Simulation  
(vergleiche Video aus vielen statischen Einzelbildern pro Sekunde)



Fehler hier kein Problem, da für sichtbare Wirkung zu klein

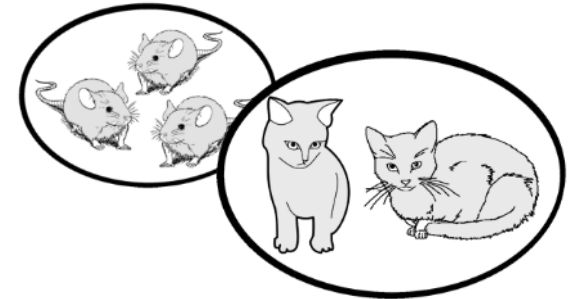
- Auf allen Objekten sollte die jeweilige Zustandsänderung einer Epoche  $[T, T+\Delta t]$  **unabhängig** ausgeführt werden können
  - „**Gleichzeitig**“ in Simulationszeit, d.h. in beliebiger Reihenfolge bei der Simulation einer Epoche

Denkübung: Wie hängen die Aspekte „unabhängig“, „gleichzeitig“, „beliebige Reihenfolge“ zusammen?

# Ein Beispielproblem

- Dorfbewohner bauen **Weizen** an
- **Ernte** im Juli beträgt **2000 t**
  - Wird in einer Scheune gelagert
- **Pro Monat** werden **100 t** verbraucht
- **Mäuse** in der Scheune fressen auch Weizen
- Aber **Katzen** fressen Mäuse
  - Die Dorfbewohner sorgen (monatlich) dafür, dass der **Katzenbestand** nicht unter ein **Minimum** fällt

Erntemenge sollte also eigentlich ausreichen...

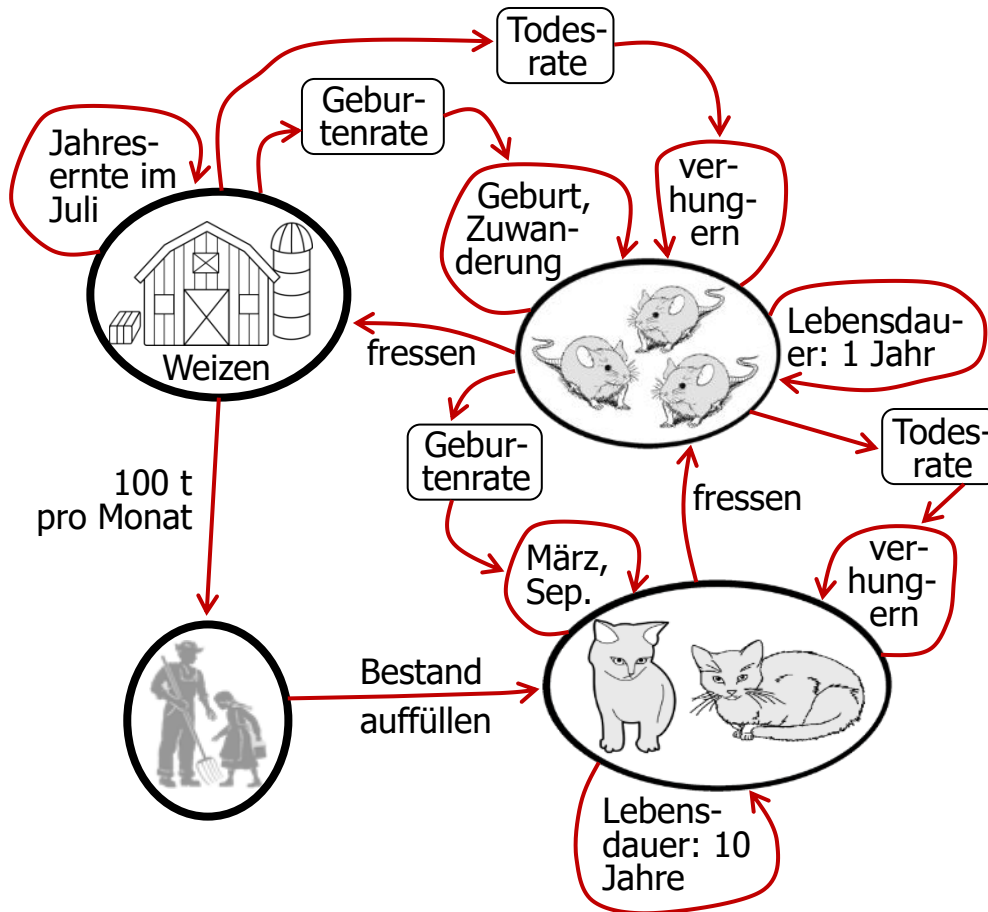


- 
- Typische Frage: Wie gross ist die **Weizenmenge** nach  $n$  Jahren, wenn der **minimale Katzenbestand**  $k$  beträgt?
    - Werden **mehr Katzen** benötigt?
    - Kann man **Anbauflächen stilllegen**?

McAdvisor&Co mit einem Gutachten beauftragen!

# Abhängigkeiten in der Miniwelt

Systemanalyse →  
konzeptionelles Modell



## Komplexe kausale Abhängigkeiten

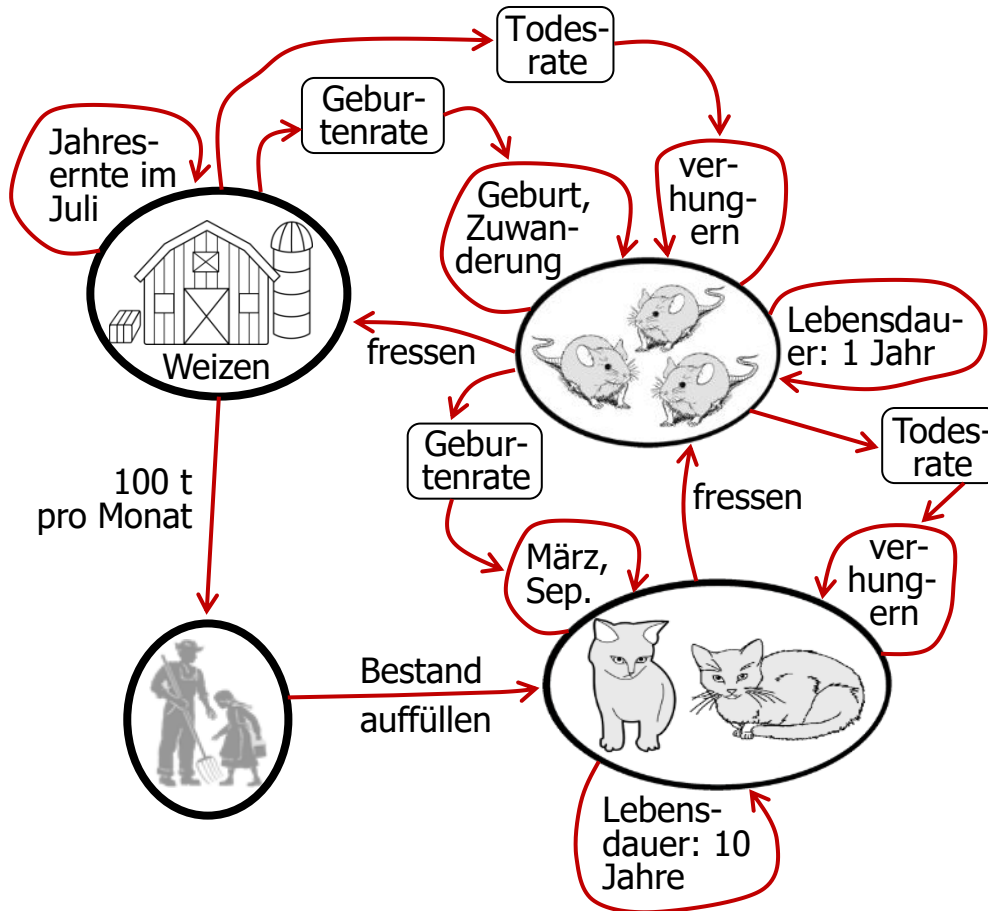
- Rückkopplungen, Regelkreise
- Zeitliche Fernwirkungen → „Regelkatastrophen“

## Dennoch stark abstrahiert gegenüber der Realität

- Bevölkerungswachstum
- Anbautechnik
- Ernteschwankungen
- Marktpreise
- Subventionspolitik
- Essgewohnheiten
- Saatgutoptimierung
- Biosprit
- ...

# Abhängigkeiten in der Miniwelt (2)

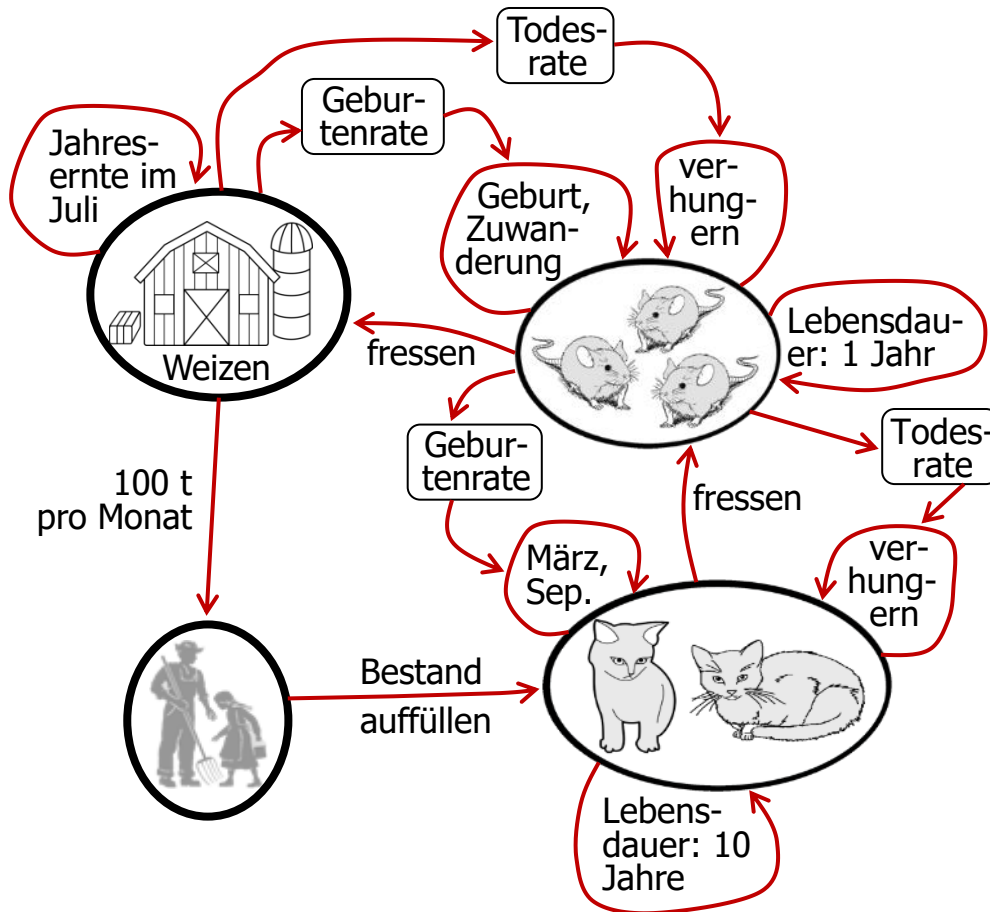
Systemanalyse →  
konzeptionelles Modell



- Hier ist die **Semantik der Pfeile** noch etwas „diffus“
  - Dies ist also keine vollständige Problemspezifikation!
- **Analytisch-mathematisch** lassen sich solche Probleme kaum mehr behandeln
  - **Simulation** ist daher die passende Problemlösungstechnik

# Das Modell

Systemanalyse →  
konzeptionelles Modell

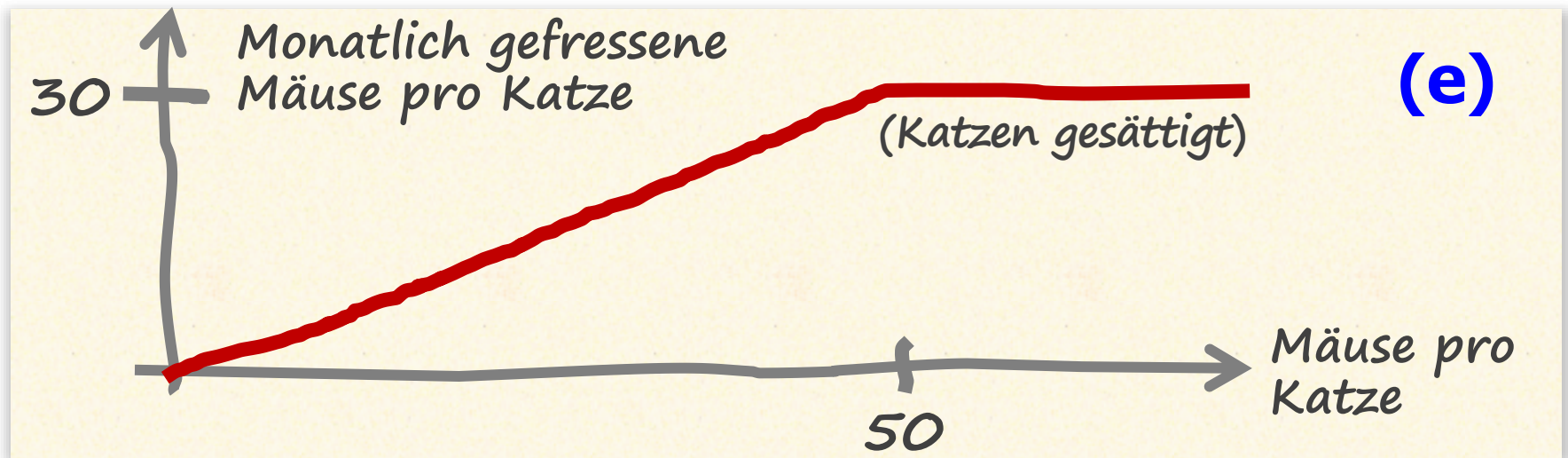
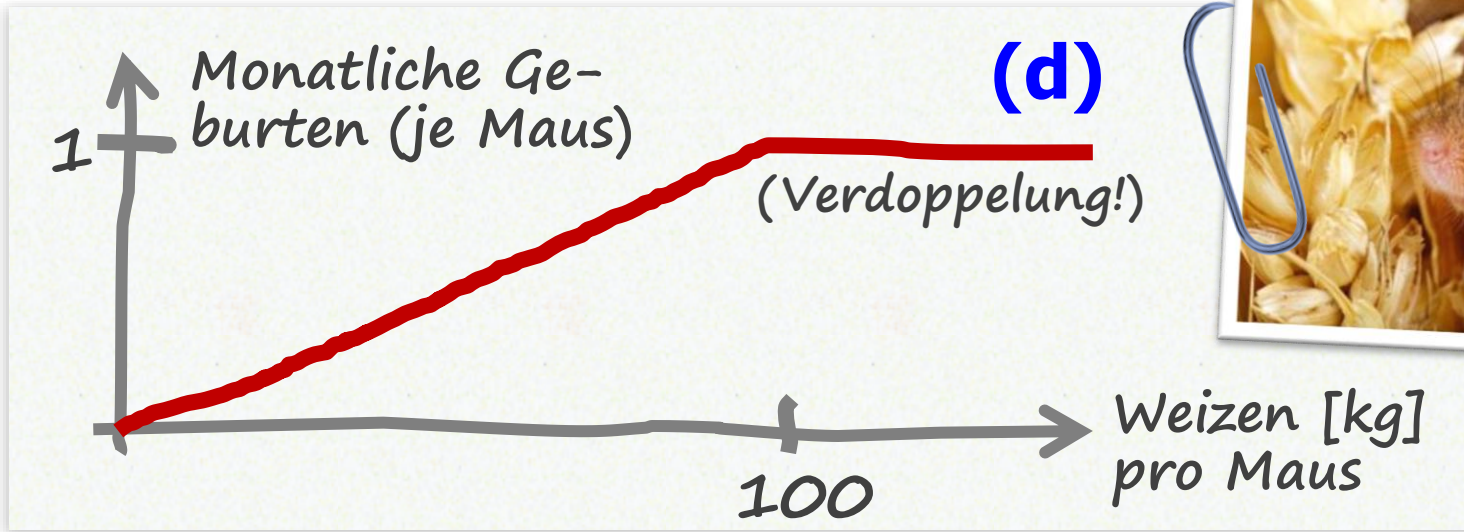


Ein Unternehmensberater von McAdvisor & Co analysiert das Weizenproduktionssystem und nennt in seinem management summary sieben *key findings*:

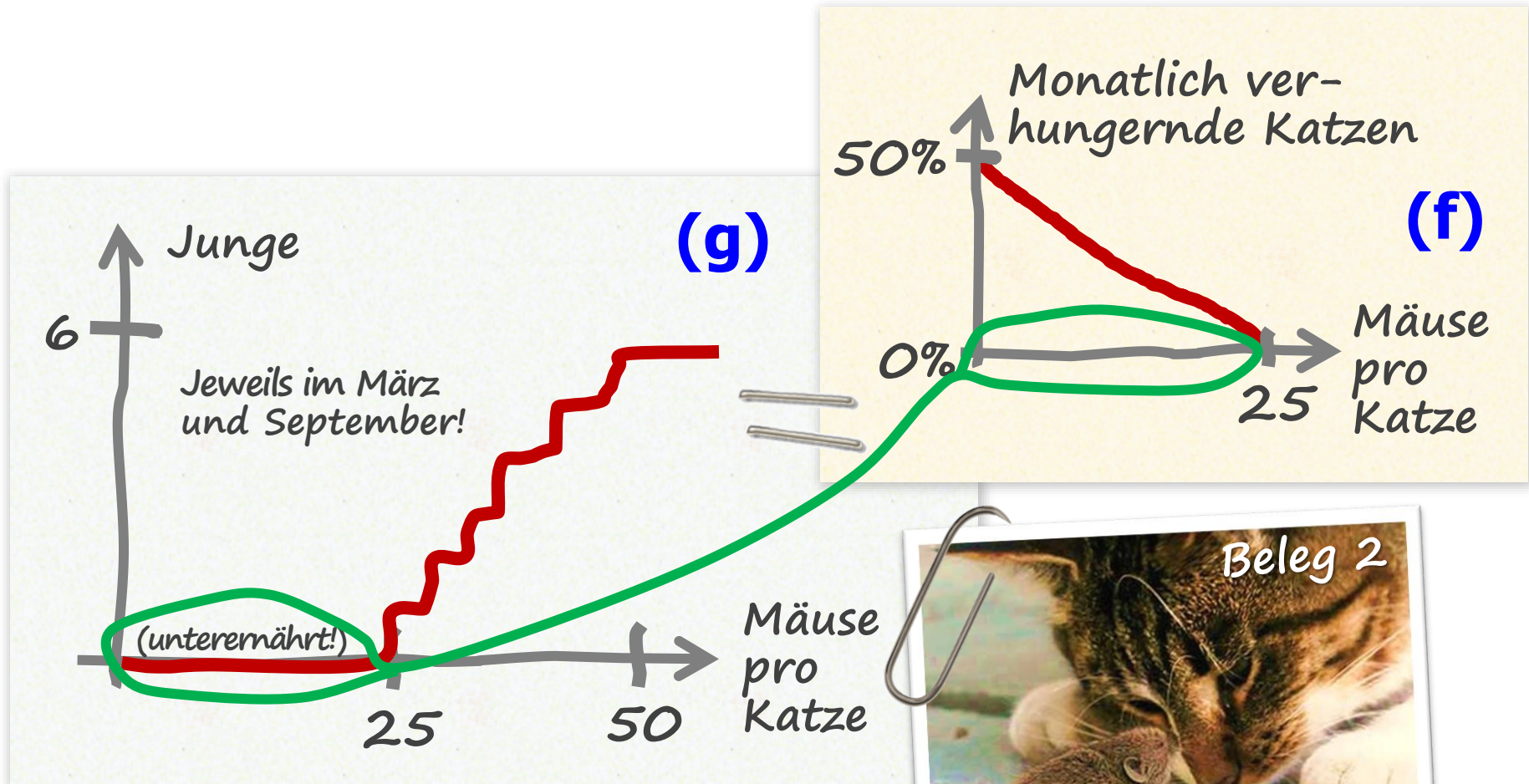
- Eine Maus frisst monatl. 15 kg Weizen.
- 1/12 aller **Mäuse** und 1/120 aller **Katzen sterben** jeden Monat an Altersschwäche.
- Wenn die **Scheune leer** ist, sterben alle Mäuse; allerdings sind dann im Folgemonat 20 neue eingewandert.

Zu den restlichen vier key findings fertigt der Berater zunächst Skizzen an →

# Beobachtung zu geborenen und gefressenen Mäusen



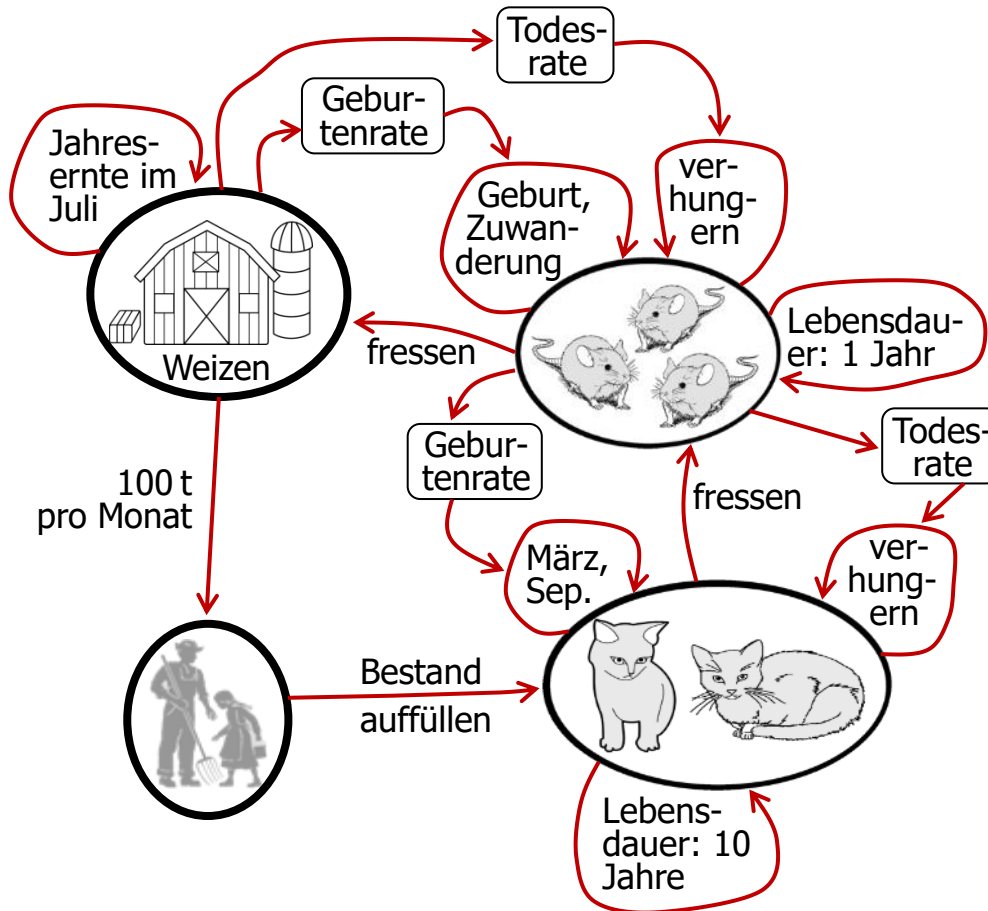
# Geburten pro weibl. Katze und verhungerende Katzen



Das war der erste Schritt: **Analysieren** der relevanten Aspekte des Weltausschnitts – danach: Erstellen eines **konzeptuellen Modells**

# Das Modell (2)

Der Berater präzisiert dann seine Erkenntnisse im Modell:



- d) Falls mehr als 100 kg Weizen pro **Maus** vorhanden ist, verdoppelt sich deren Anzahl monatlich. Ansonsten beträgt die Anzahl der monatlichen **Geburten**: Weizenmenge/100.
- e) Falls es mehr als 50 Mäuse/Katze gibt, **frisst jede Katze** 30 Mäuse pro Monat. Sonst werden monatlich  $30 \times \text{Mäusezahl} / 50$  gefressen.
- f) Bei  $< 25$  Mäuse/Katze **verhungern**  $(25 \times \text{Katzen} - \text{Mäuse}) / 50$  **Katzen**.
- g) Falls mehr als 50 Mäuse/Katze existieren, produziert jede (weibliche!) **Katze** im März und September 6 **Junge**. Bei weniger als 25 Mäuse/Katzen werfen die Katzen nicht. Ansonsten werden  $3 \times (\text{Mäuse} / 25 - \text{Katzen})$  Junge geboren.



# Von Mäusen, Katzen und Menschen

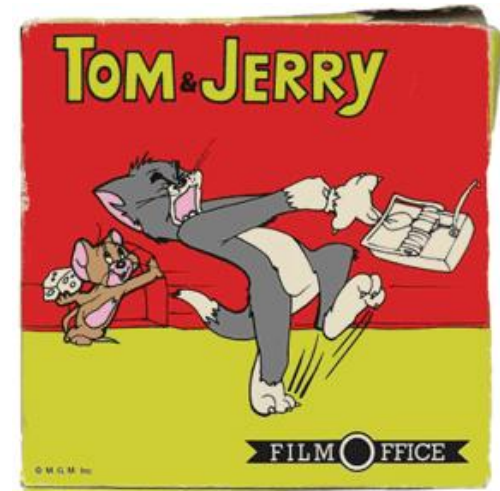
Aber die zweite Maus  
bekommt den Käse!  
-- Sprichwort

Konter auf  
„The early  
bird catches  
the worm.“

**Katzen** sind Raubtiere und strikte Fleischfresser; sie wurden vor tausenden von Jahren im Gebiet des „Fruchtbaren Halbmonds“ domestiziert und als Haustiere gehalten, weil sie den Menschen, als diese begannen Getreidevorräte anzulegen, halfen, Mäuse und andere Nager, die diese Vorräte als gefundenes Fressen ansahen, in Schach zu halten. Die landwirtschaftlich geprägten Kulturen, vor allem das Alte Ägypten, verehrten die Katzen und stellten sie auf Bildern und Statuen dar; es gab sogar eine Katzengöttin. Der antike griechische Geschichtsschreiber Herodot (ca. 485 - 425 v. Chr.) notierte: „Wenn in einem Hause eine Katze stirbt, scheren sich alle Hausbewohner die Augenbrauen ab [...]. Die toten Katzen werden nach der Stadt Bubastis gebracht, einbalsamiert und in heiligen Grabkammern beigesetzt.“ Wir hatten anfangs, bei der altägyptischen Multiplikation, schon auf die Rechenaufgabe im **Papyrus Rhind** hingewiesen, wo dies spielerisch thematisiert wird.

Während im Orient die Menschen eine freundschaftliche Einstellung zu Katzen hatten, wurden diese im mittelalterlichen Europa, trotz ihres Nutzens bei der Bekämpfung der zunehmenden Zahl von Vorratsschädlingen wie Ratten und Mäusen, oft dämonisiert – sie galten als Begleiter von Hexen sowie als Schüler des Teufels.

**Mäuse** verzehren überwiegend pflanzliche Nahrung; sie sind die wichtigsten Beutetiere der Katzen, aber auch Eulen jagen sie z.B. in Scheunen. Als Nahrungsmittelschädlinge, die Getreide als vorgehaltene Grundnahrungsmittel vernichten oder verschmutzen, werden sie nicht nur mit Katzen, sondern auch durch Gift (z.B. gekeimtes Getreide) und Mausefallen bekämpft. Mausefallen waren jahrhundertlang allgegenwärtig; sie tauchen in Romanen, Theaterstücken (z.B. bei Shakespeare) und Zeichentrickfilmen (z.B. Tom and Jerry, ab den 1940er-Jahren) auf und wurden oft allegorisch und gleichnishaft verwendet (z.B. von Alexandre Dumas oder Agatha Christie).



# Von Mäusen, Katzen und Menschen (2)



Obwohl Hausmäuse zu den am besten untersuchten Säugetieren gehören, gibt es noch immer viel zu erforschen und Überraschendes zu entdecken. Das Schweizer Forschungsmagazin „Horizonte“ berichtete 2020 über ein [Projekt der Universität Zürich](#), bei dem über 17 Jahren lang in einer Illnauer Scheune das [Sozialverhalten](#) einer Population [wildlebender Hausmäuse](#) beobachtet wurde.

Im Forschungsprojekt ging es u.a. um die Frage, welchen Einfluss soziale Bindungen auf Verhalten, Fortpflanzung und Konkurrenz innerhalb der Mäusegesellschaft haben. Geschlechtsreife Mäuse werden gechipt, sodass die Identität der einzelnen Tiere von Chip-

Lesestationen mit Funkantennen in den Zugangstunneln der Nester registriert werden kann. Dadurch wird sichtbar, welche Mäuse in welchen Nestern leben und wie viel Zeit sie mit welchen Artgenossen verbringen. Einmal, 2019, gab es eine kleine Tragödie: Vermutlich konnten sich einige kleinere Katzen durch den mit Maschendraht gesicherten Spalt unter der Tür zwängen; in einer einzigen Nacht fiel über ein Drittel aller Mäuse entweder den Katzen zum Opfer oder verliess die Scheune fluchtartig für immer. Nach einiger Zeit erholte sich die Population aber wieder.

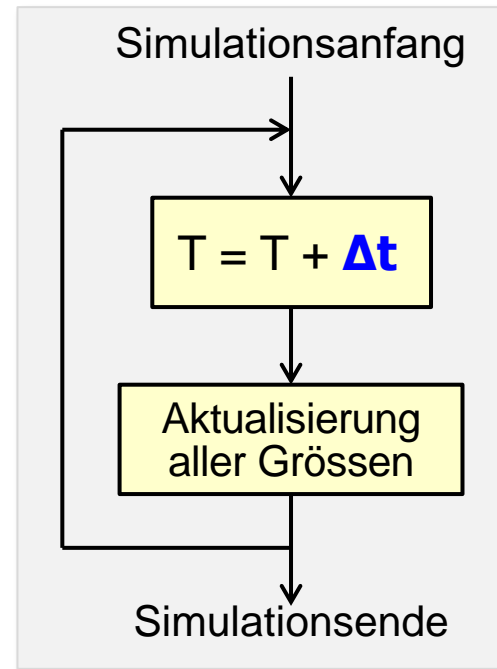


„[Mouse Trap](#)“ (1982) war ein Spiel für die Spielkonsole „Atari 2600“ – *“You control a mouse in a maze; your goal is to eat all of the bits of cheese in order to score points and move on to the next maze. Wandering throughout the maze are [several cats](#) who are trying to catch you! Your mouse has the ability to temporarily [turn into a dog](#) and be able to chase the cats.”*



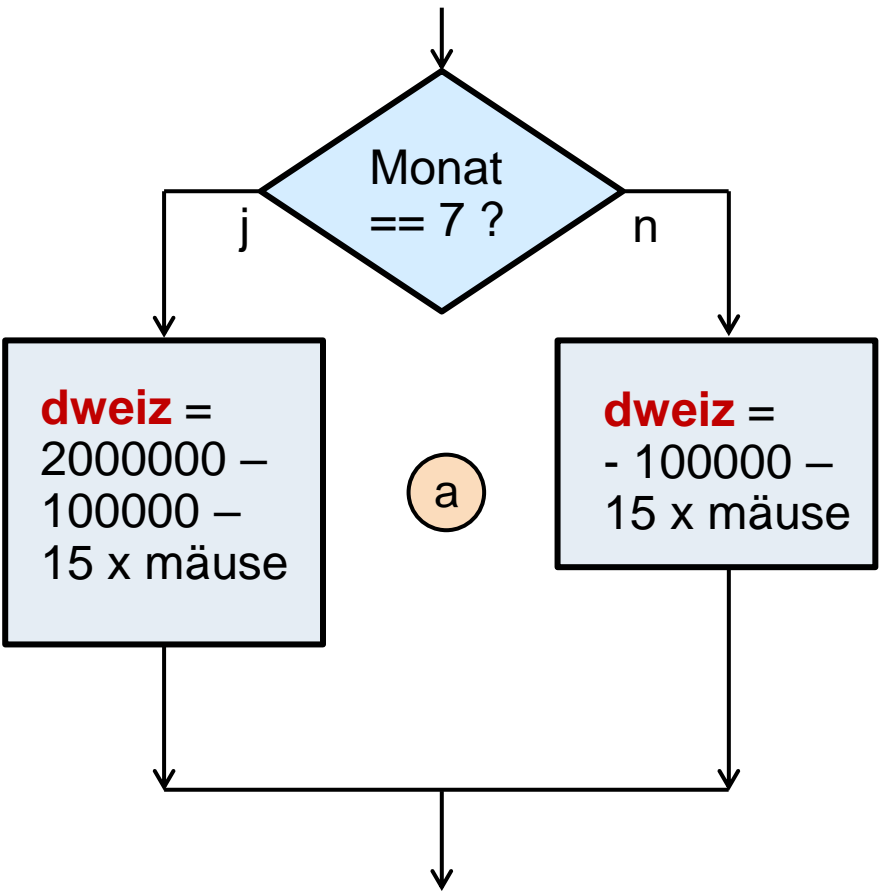
# Zeitgesteuerte Simulation des Weizen-Mäuse-Katzen-Problems

- Diskretes Zeitraster, d.h. die Simulationszeit „springt“
  - Wie gross sollte man  $\Delta t$  wählen?
  - Ist  $\Delta t = 1$  Monat vernünftig?
  - Aber ist der Weizenverbrauch nicht nahezu kontinuierlich?
- Bei jedem Zeitschritt  $\Delta t$  ändern sich die relevanten Kenngrössen
  - Weizenmenge ( $\Delta$  weiz)
  - Mäusezahl ( $\Delta$  maus)
  - Katzenzahl ( $\Delta$  katz)
- → Verlauf der drei Kenngrössen als Funktionsgraph darstellen

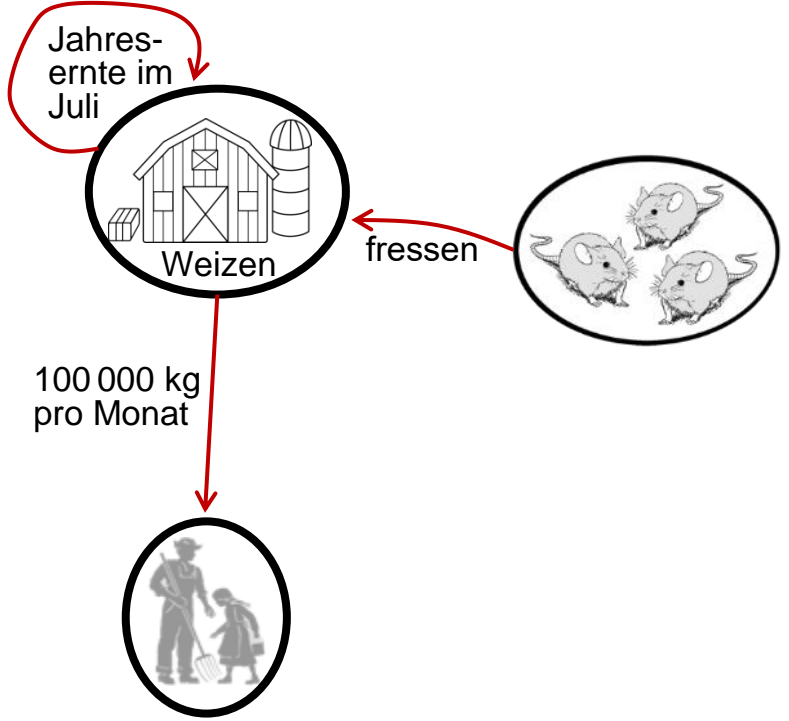


# (1) Monatliche Änderung der Weizenmenge

Auf dem Weg zum programmierten Simulationsmodell: Berechnungsalgorithmus als Flussdiagramm

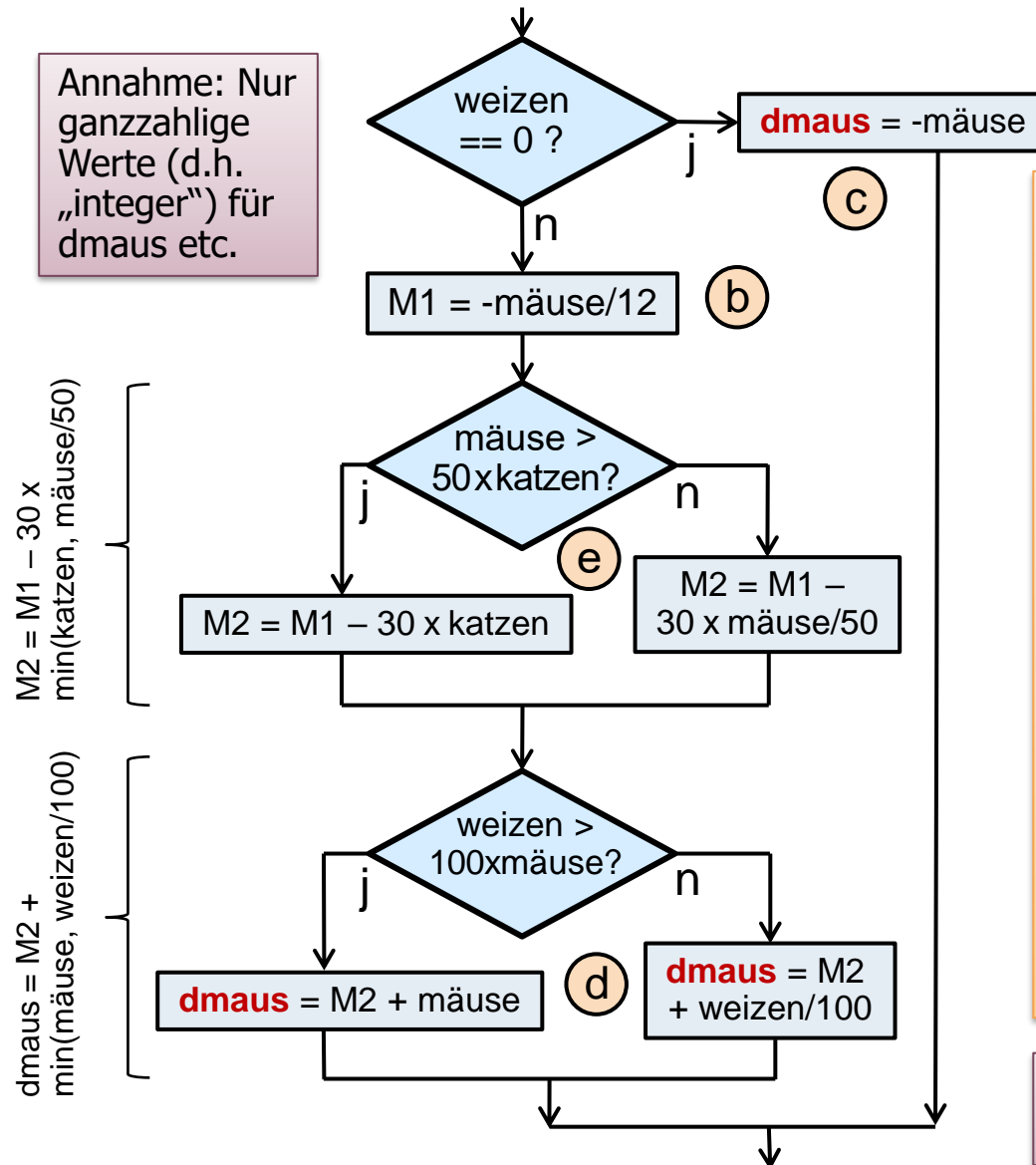


a) Jede Maus frisst 15 kg Weizen pro Monat.



## (2) Änderung der Mäusezahl

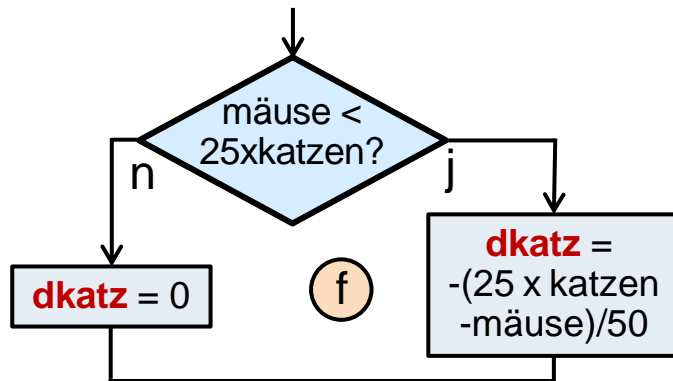
Annahme: Nur ganzzahlige Werte (d.h. „integer“) für  $d_{\text{maus}}$  etc.



- b) 1/12 aller Mäuse... sterben jeden Monat an Altersschwäche.
- c) Wenn die Scheune leer ist, sterben alle Mäuse...
- d) Falls mehr als 100 kg Weizen pro Maus vorhanden ist, verdoppelt sich deren Anzahl monatlich. Ansonsten beträgt die Anzahl der monatlichen Geburten: Weizenmenge/100.
- e) Falls mehr als 50 Mäuse/Katze existieren, frisst jede Katze 30 Mäuse pro Monat. Sonst werden monatlich  $30 \times \text{Mäusezahl}/50$  gefressen.

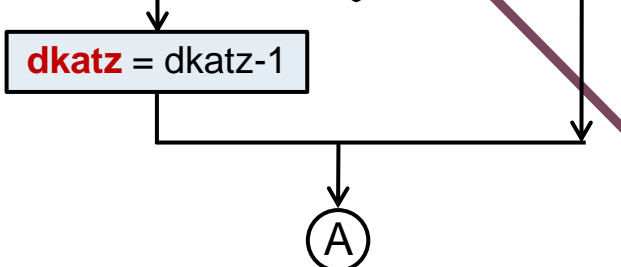
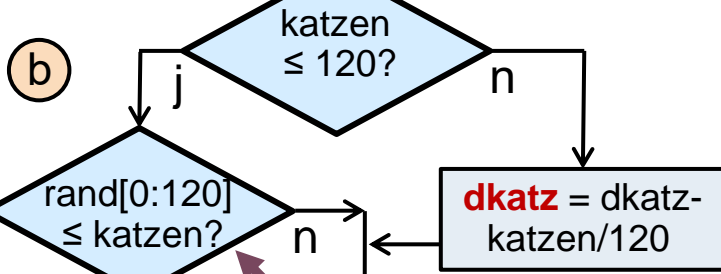
Denkübung: Reverse-Engineering der Flussdiagramme

# (3a) Änderung der **Katzenzahl** (Todesfälle)



f) Bei < 25 Mäuse/Katze **verhungern**  $(25 \times \text{Katzen} - \text{Mäuse})/50$  **Katzen**.

b) ...1/120 aller **Katzen sterben** jeden Monat an Altersschwäche.

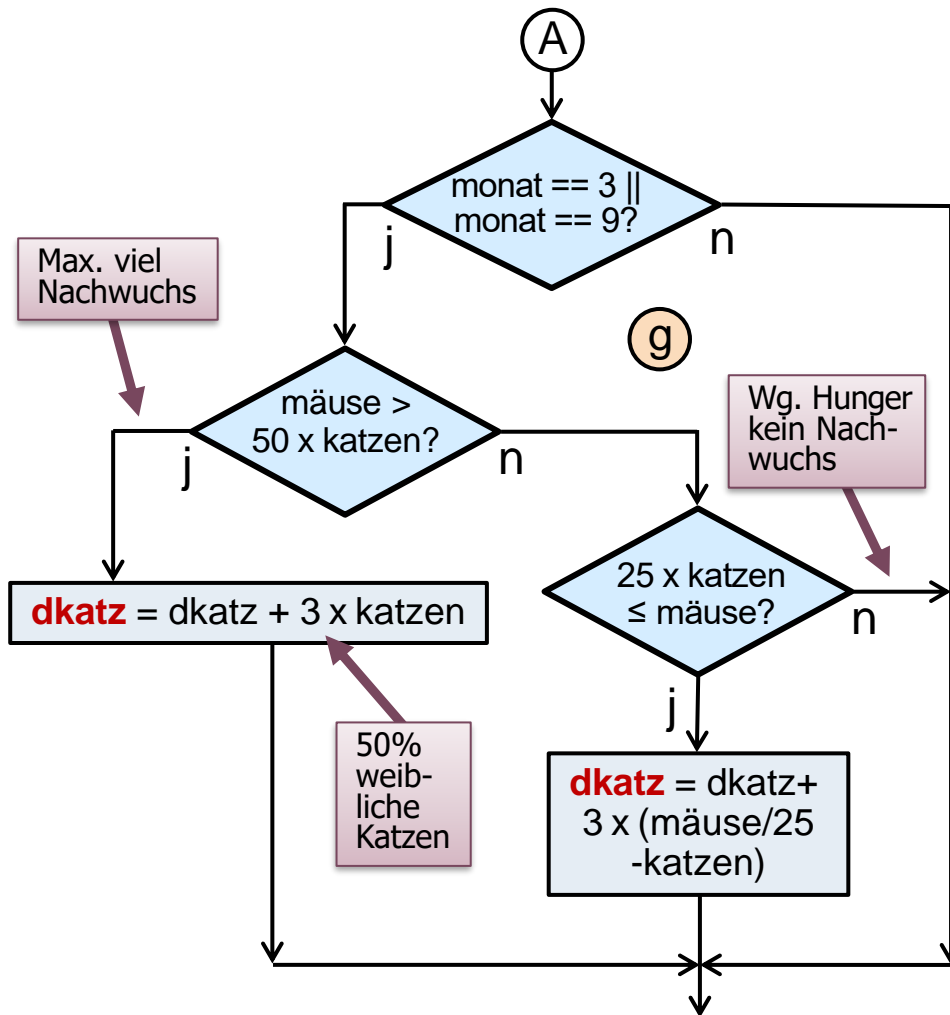


Fortsetzung nächste Seite

Rand[i:j] sei eine Zufallszahl (integer?) zwischen i und j.  
Eine Interpretation von Modelleigenschaft b):  
Auch bei weniger als 120 Katzen stirbt gelegentlich eine davon „zufällig“ (aber warum eigentlich nicht mehr?). Dies ist umso wahrscheinlicher, je grösser die Zahl der Katzen ist.

Oder sollte man das Modell „verstetigen“ und mit *Bruchteilen* von Katzen (und Mäusen) rechnen?

## (3b) Änderung der **Katzenzahl** (Geburten)



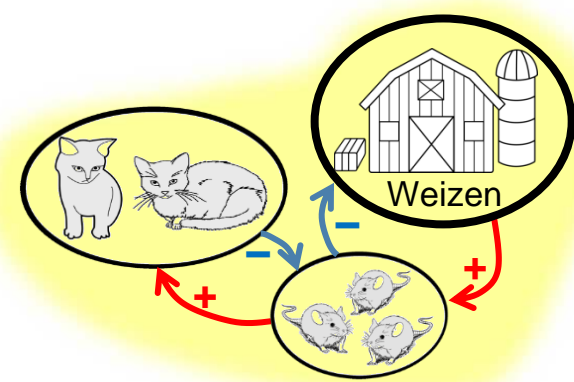
g) Falls mehr als 50 Mäuse/Katze existieren, produziert jede (weibliche!) **Katze** im März und September 6 **Junge**. Bei weniger als 25 Mäuse/Katzen werfen die Katzen nicht. Ansonsten werden  $3 \times (\text{Mäuse}/25 - \text{Katzen})$  Junge geboren.

Stellen die Flussdiagramme eine adäquate Implementierung der Modellbeschreibung dar?

Gibt es wesentlich andere Interpretationen der Spezifikation?

Spiegelt das Modell die Realität überhaupt genau genug wider? Lohnt sich mehr Realitätstreue?

# Das Steuerprogramm



a) Wert von **minkatzen** eingeben (z.B. 10)

b) **Initialisieren**:

- $\text{jahr} = 1$ ;  $\text{monat} = 6$ ;  $\text{weizen} = 0$ ;  $\text{mäuse} = 20$ ;  $\text{katzen} = \text{minkatzen}$



c) In einer **Schleife** (bis z.B.  $\text{jahr} == 10$ ):

- $\text{monat}++$  ; falls  $\text{monat} == 13$ : { $\text{monat} = 1$ ;  $\text{jahr}++$ }
- Methoden aufrufen zur Berechnung der **letzmonatlichen Veränderungen**:

- **dweiz**
- **dmaus**
- **dkatz**

Ist hier eigentlich die **Reihenfolge** der Neuberechnung der drei Kenngrößen entscheidend?

- **weizen** =  $\max(0, \text{weizen} + \text{dweiz})$
- **mäuse** =  $\max(20, \text{mäuse} + \text{dmaus})$
- **katzen** =  $\max(\text{minkatzen}, \text{katzen} + \text{dkatz})$

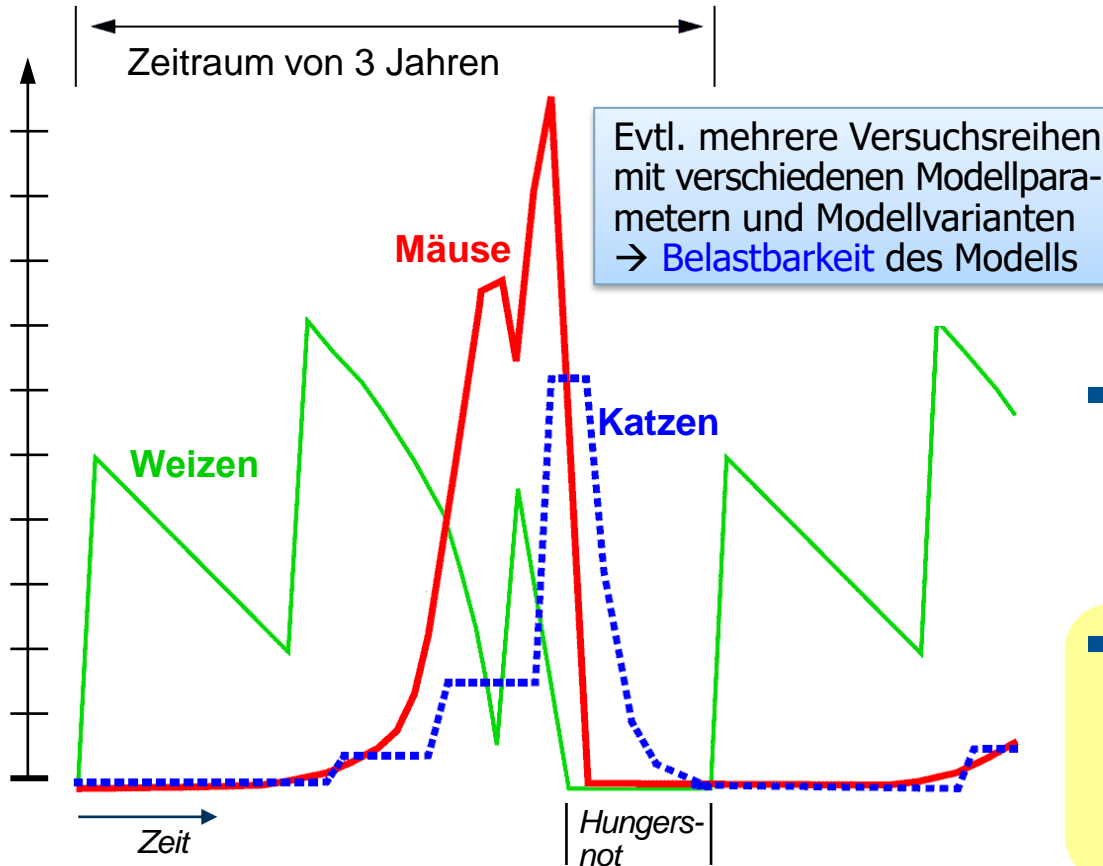
Könnte  $\text{weizen} + \text{dweiz} < 0$  sein? Und was bedeutet das?

- **Ergebnis ausgeben** (z.B. zeitlicher Verlauf als Kurve / Balkendiagramm)
- **Versuch evtl. wiederholen** mit anderem **minkatzen**-Wert

Sensitivitätsanalyse: Reagiert das Modell empfindlich auf kleine Änderungen? (Gute Modelle sind „robust“)



# Simulationsergebnis

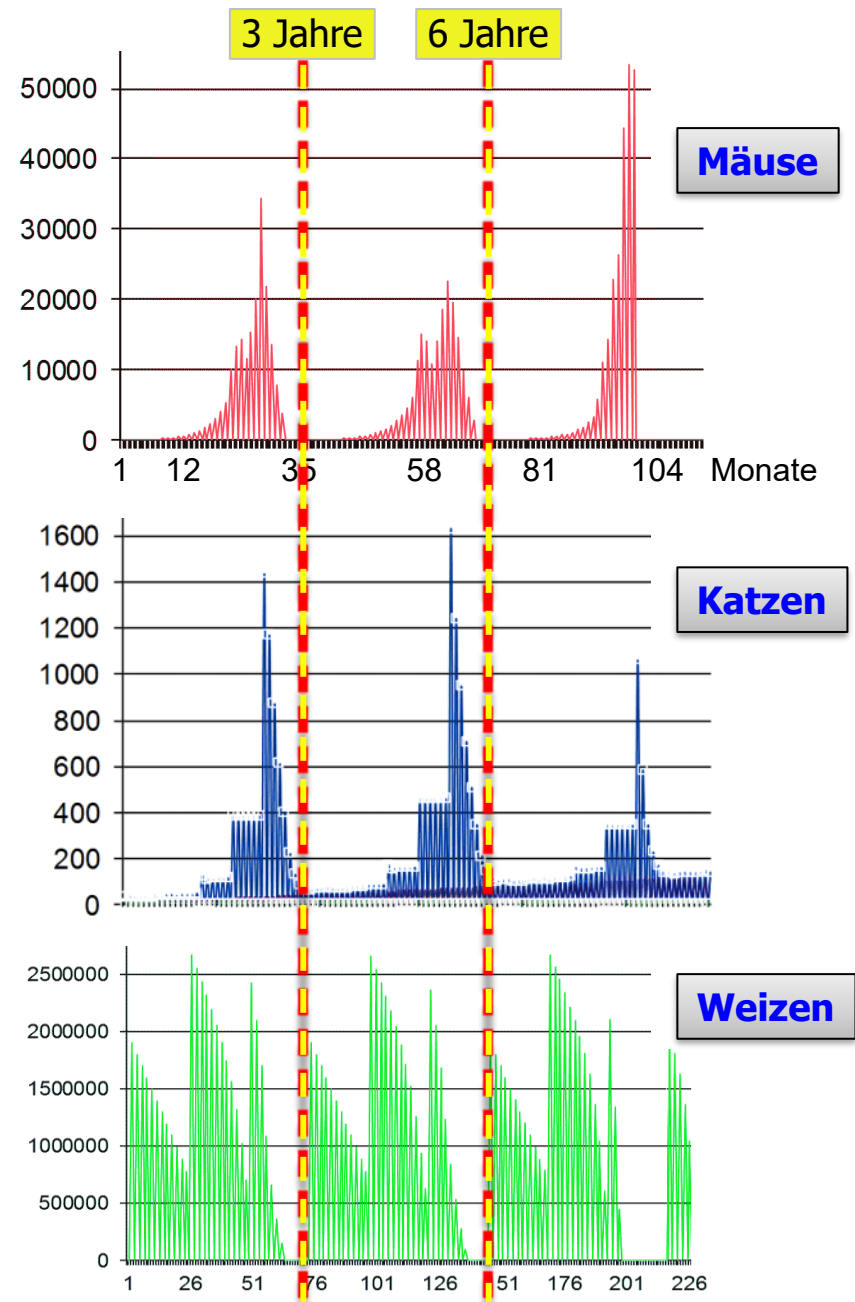
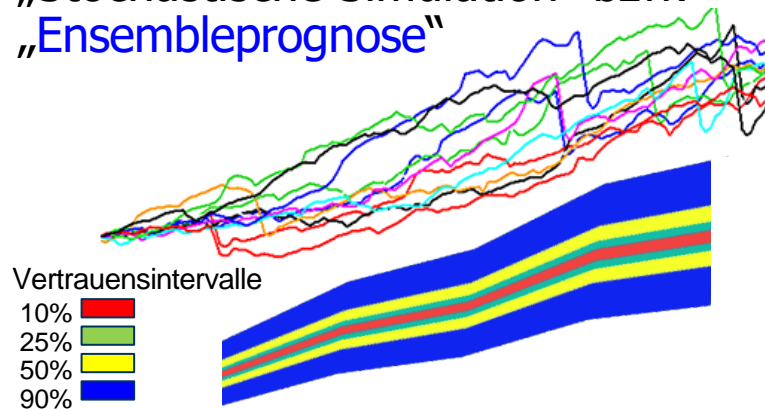


- Jedes **dritte Jahr** eine **Hungersnot**
  - Exponentielle Mäusevermehrung im Vorjahr
  - Erst kein **Weizen**, dann keine **Mäuse**, dann keine **Katzen**
- Wirkung der Katzen (bei  $\text{minkatzen} = 10$ ) auf die Mäuseplage ist nicht ausreichend!
- → **Hungersnöte vermeiden?**
  - Erhöhen von „minkatzen“?
  - Mehr Weizen produzieren?
  - → Möglichkeiten durchspielen!

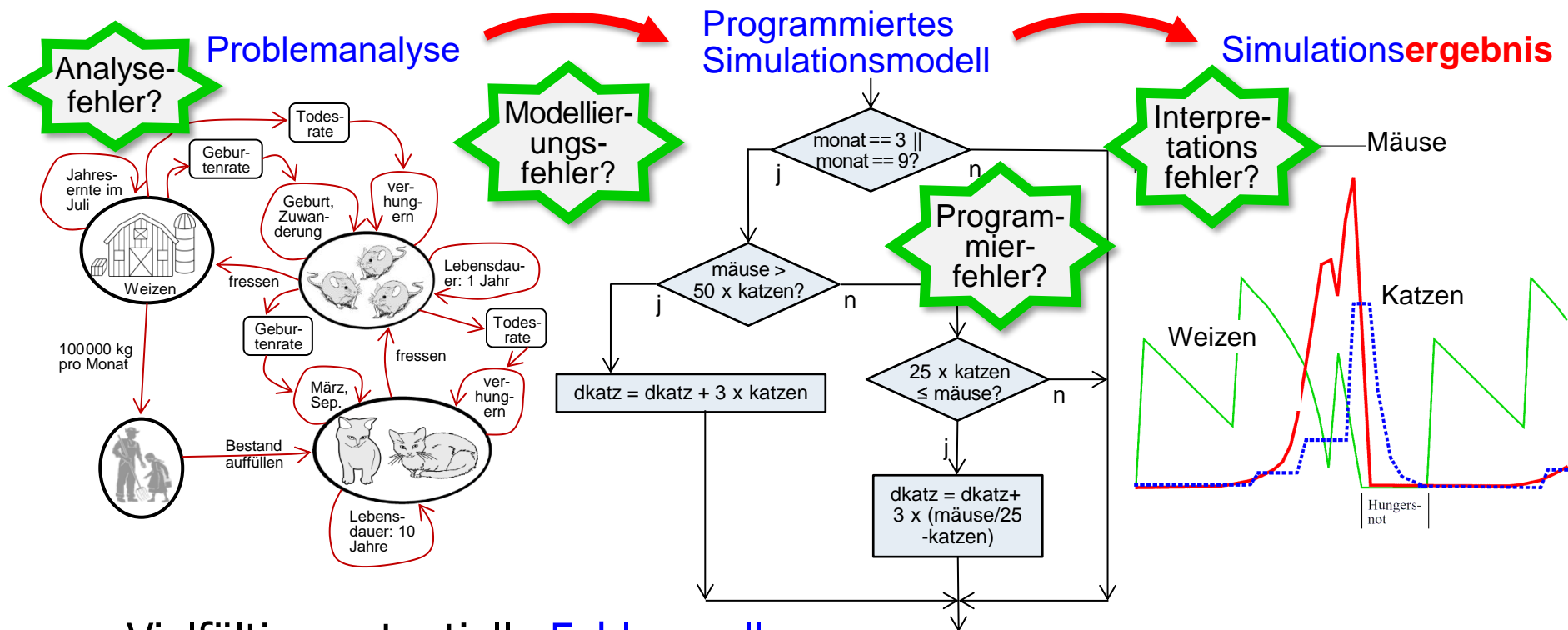
# Ergebnis einer etwas anderen Implementierung

- Ergebnis **ähnlich**, aber nicht identisch
- Welche Realisierung ist realistischer?
- Evtl. **mehr Varianz** durch stochastische Variationen einiger etwas willkürlicher „fest“gelegter Systemparameter?
  - **Sensibilität der Modellannahmen** testen
  - Wegabstrahierte Einflussgrößen evtl. als pauschale **Zufallsstörungen** modellieren
  - Mehr Vertrauen in die Aussagen durch **statistische Absicherungen**

→ „Stochastische Simulation“ bzw. „Ensembleprognose“



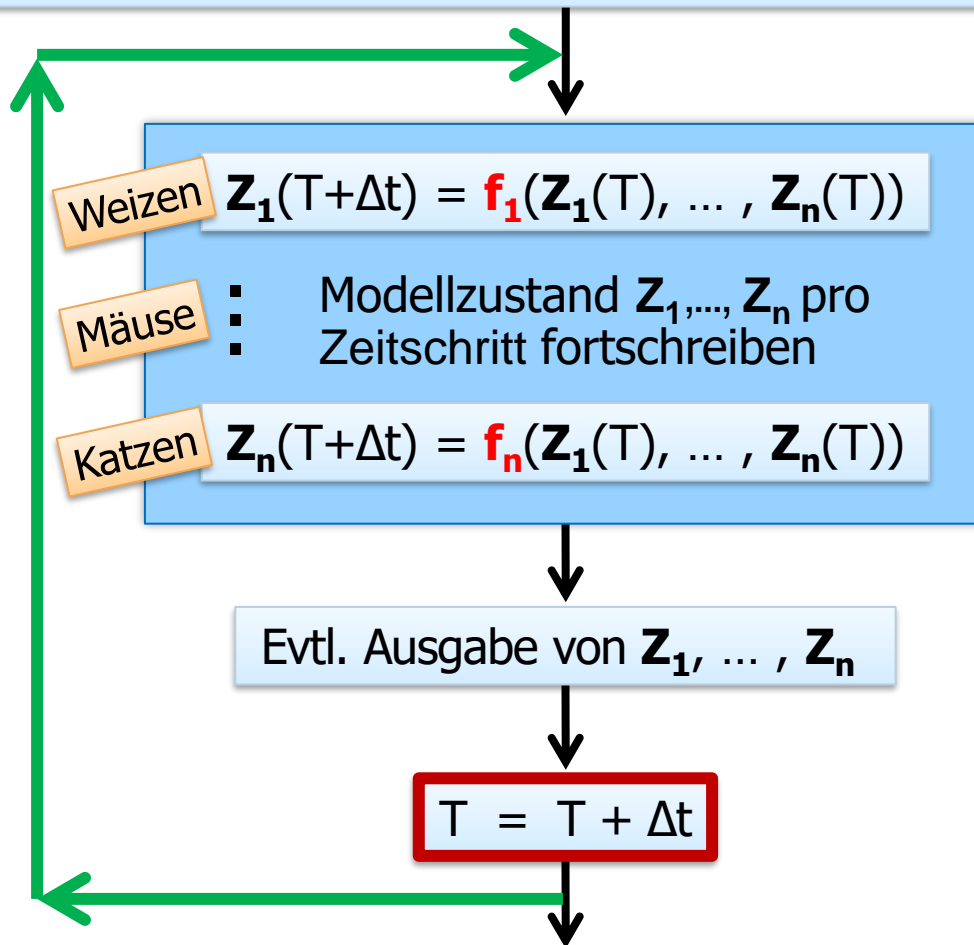
# Kann man den Simulationsergebnissen vertrauen?



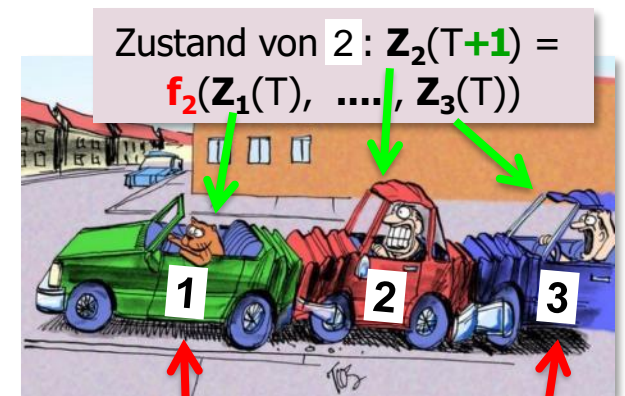
- Vielfältige potentielle Fehlerquellen
  - Ungenügendes Verständnis des „realen Systems“; Vernachlässigung relevanter Faktoren im Modell; ungenaue Modellierung; Programmierfehler; falsche Versuchsplanung; numerische Instabilität; statistische Mängel;...
- → Validierung notwendig!
  - Abgleich mit dem „ground truth“ allerdings oft nicht möglich
  - → Plausibilitätstest, Sensitivitätsanalyse, Modellvarianten,...

# Der Simulationszyklus (bei zeitgesteuerter Simulation)

Initialisiere alle **Zustandskomponenten**  $\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_n$  des Modells mit ihren jeweiligen Werten zum Zeitpunkt  $T = T_0$



$\mathbf{f}_i$  gibt an, wie  $\mathbf{z}_i$  laut Modell von  $\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_n$  in der vorherigen Epoche abhängt.

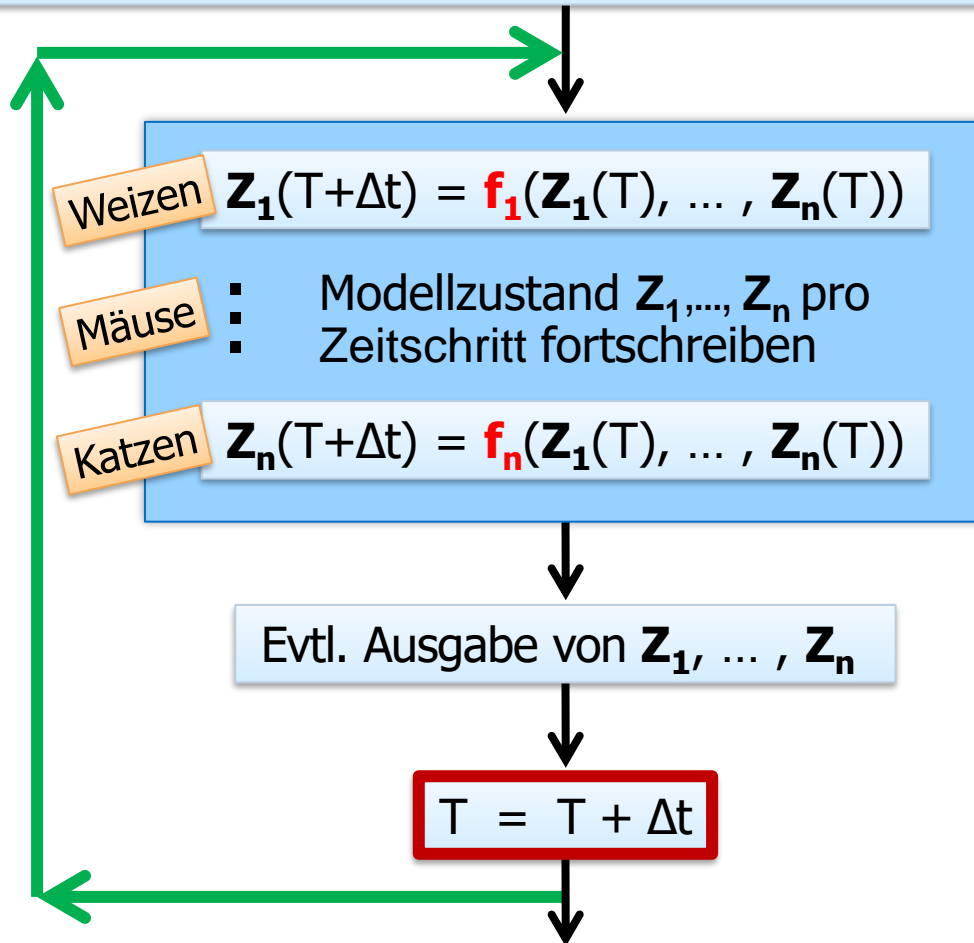


Zum Zeitpunkt  $T$   
viel zu langsam

Zum Zeitpunkt  $T$   
viel zu schnell

# Der Simulationszyklus (bei zeitgesteuerter Simulation)

Initialisiere alle Zustandskomponenten  $\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_n$  des Modells mit ihren jeweiligen Werten zum Zeitpunkt  $T = T_0$



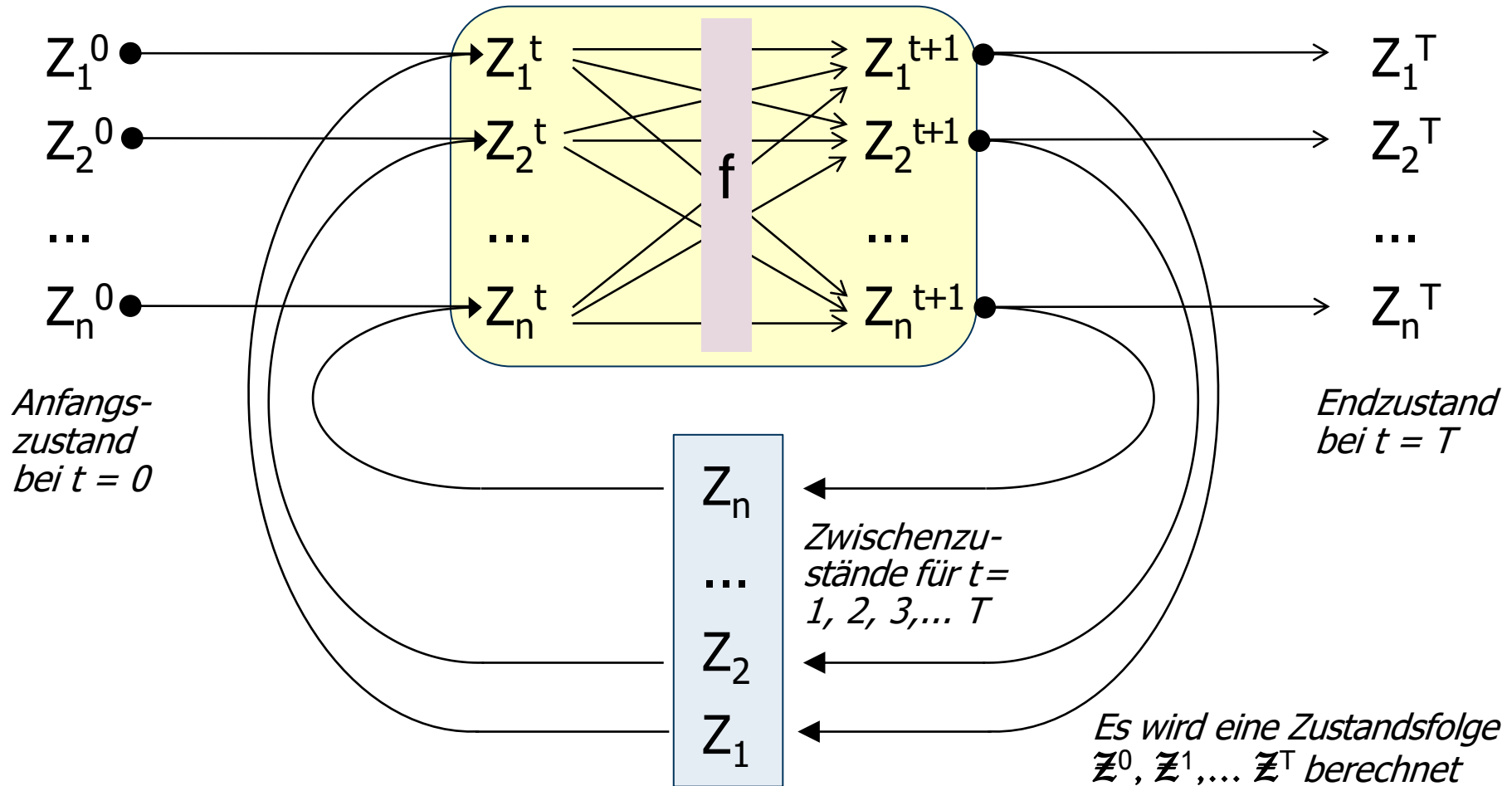
$\mathbf{f}_i$  gibt an, wie  $\mathbf{z}_i$  laut Modell von  $\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_n$  in der vorherigen Epoche abhängt.

$$\mathbf{z}(T + \Delta t) = \mathbf{f}(\mathbf{z}(T))$$

wäre eine etwas pauschalere Notation für die Zustandsfortschreibung des gesamten Modells bei Auffassung der  $\mathbf{z}_i$  als Komponenten eines Vektors  $\mathbf{z}$ .

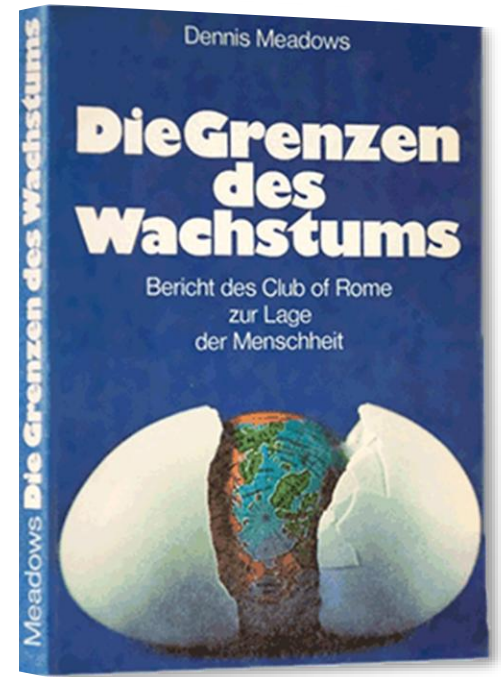
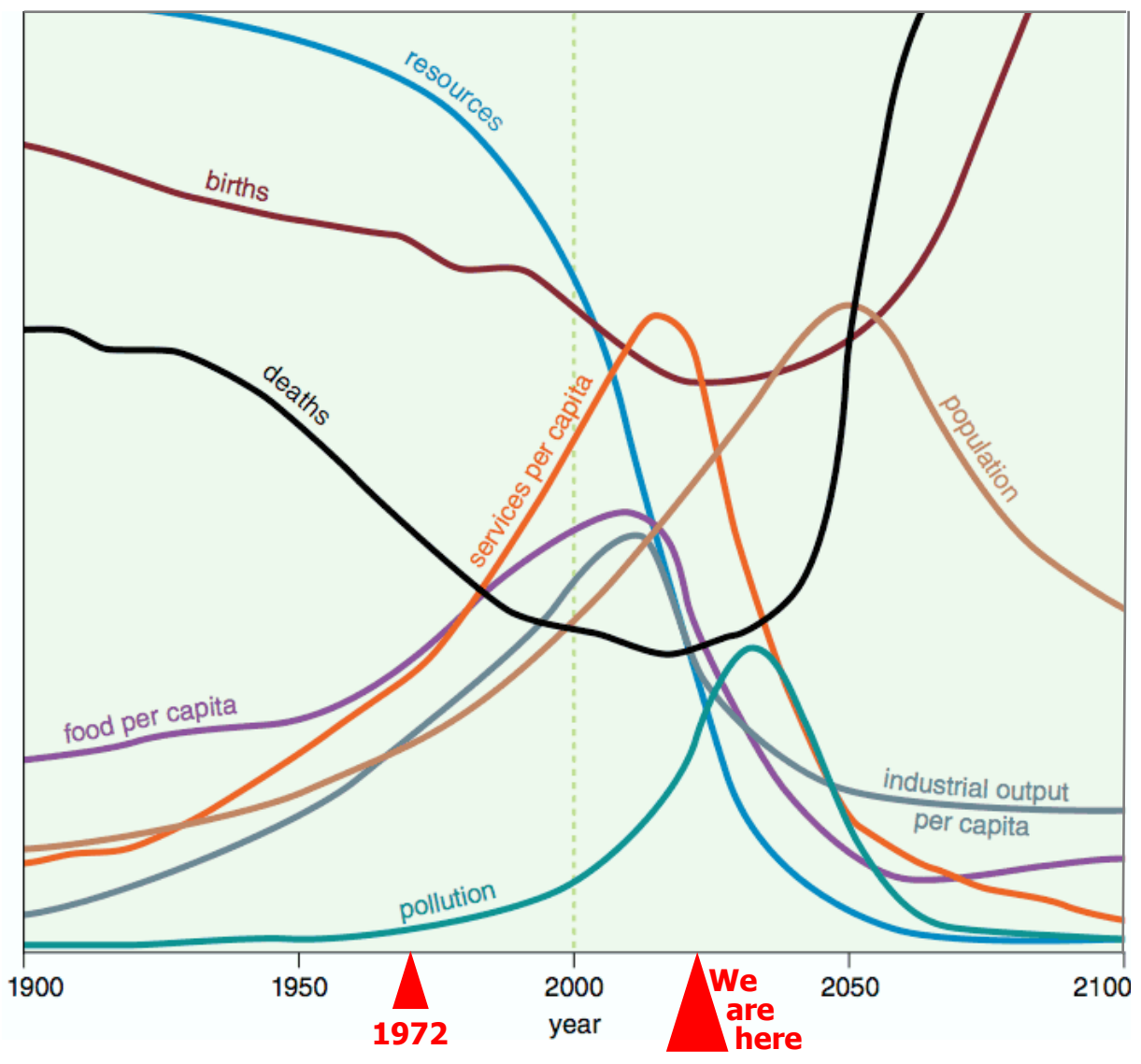
# Der Simulationszyklus (interpretiert als Automatenmodell)

*Taktgesteuerte Berechnung von  $f$ ; Ein-/Ausgänge entkoppelt (analog etwa zu einem MS-Flip-Flop)*



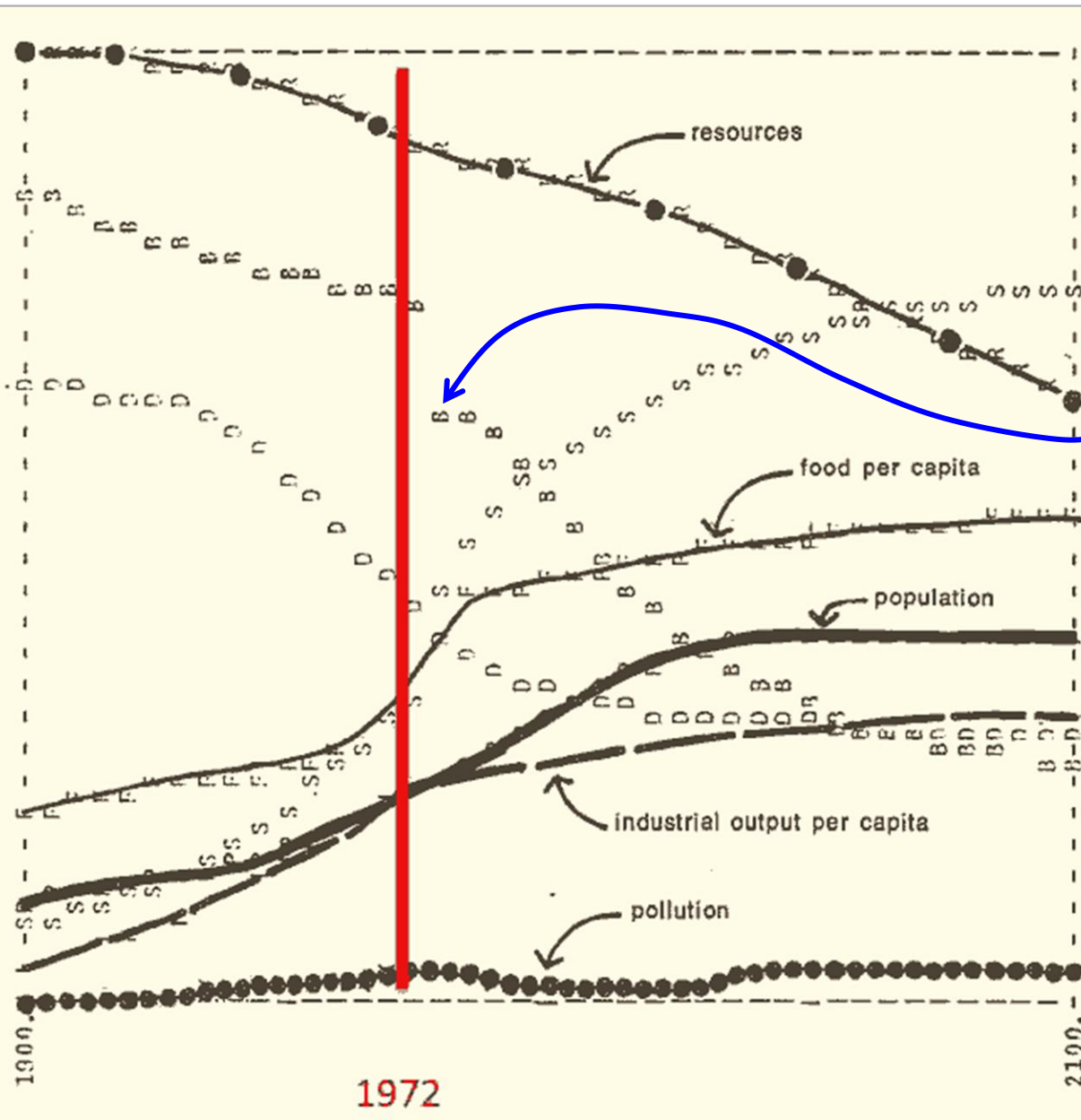
# Die Grenzen des Wachstums

Historische Notiz



Standardlauf des Weltmodells von J.W. Forrester und D. Meadows (*Die Grenzen des Wachstums*, 1972)





So sah in den 1970ern der von einem Zeilendrucker erzeugte, um 90° gedrehte und von Hand „übermalte“ **Computeroutput** im Original aus; hier mit Modellannahme „**2 Kinder pro Familie**“ ab 1975.

„Wir erwarten nicht, dass irgendeine dieser Massnahmen, die erforderlich sind, um ein stabiles System des Modells zu erreichen, tatsächlich auf der Erde im Jahr 1975 eingeführt werden. Eine Gesellschaft, die nach Stabilität strebt, muss sich diesem Ziel schrittweise nähern. Es muss aber betont werden, dass die Möglichkeiten, Stabilität zu erreichen, immer geringer werden, je länger das exponentielle Wachstum anhält.“



# Die Studie zu den Grenzen des Wachstums

Thomas Döring beschreibt in *50 Jahre „Grenzen des Wachstums“* (Aus Politik und Zeitgeschichte, Jg. 72, 3-4/2022, S. 18-23) die Studie kurz und prägnant so:

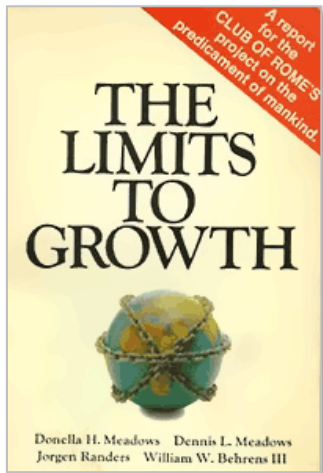
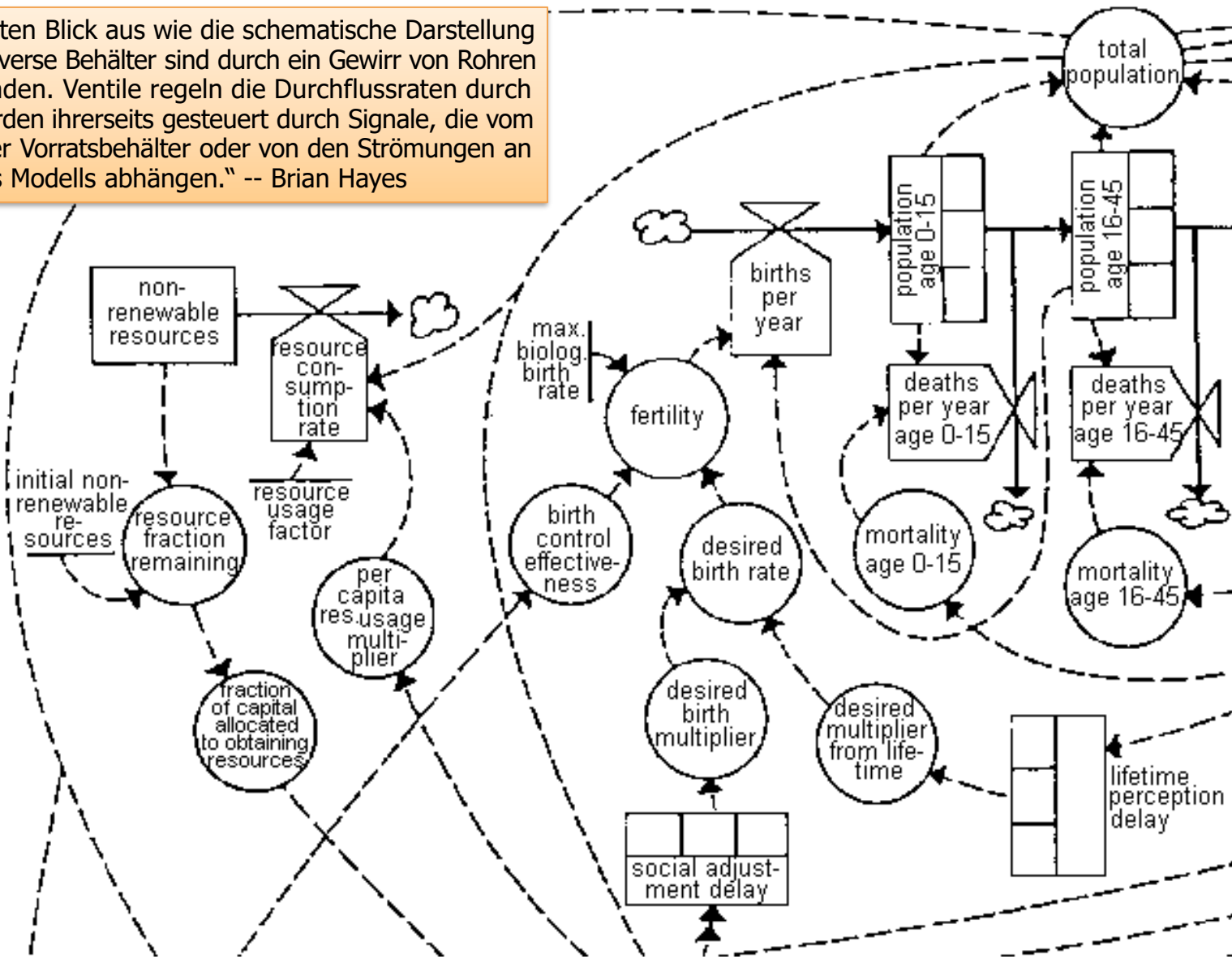
„Die Studie beruhte auf einem **computersimulierten Weltmodell**, mit dessen Hilfe **fünf grundlegende Entwicklungstendenzen** mit globalen Wirkungen (Bevölkerungswachstum, Industrialisierung, Unterernährung, Rohstoffausbeutung, Zerstörung von Lebensraum) untersucht wurden. Dabei unterschieden sich die analysierten **Szenarien** durch die jeweiligen Annahmen zu Rohstoffvorräten, zur Produktionseffizienz in der Landwirtschaft oder auch zum Ausmaß von Geburtenkontrolle und Umweltschutz. Die meisten **Simulationen** ergaben ein zunächst unauffälliges Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum bis zum Jahr 2100 – im heutigen Sprachgebrauch würde man dies als einen **Kipppunkt** bezeichnen –, worauf eine rasche und nicht aufzuhaltende Verringerung der Bevölkerungszahl und der Industriekapazitäten in Verbindung mit einer irreversibel zerstörten Umwelt sowie weitgehend aufgebrauchten Rohstoffen folgte. Die Ursache für diesen **Kollaps der Weltwirtschaft** in den verschiedenen Szenarien des Zusammenbruchs wurde – nicht allein, aber vor allem – in der Dynamik des zunächst unproblematischen, im weiteren Verlauf jedoch unter Umweltaspekten sich vermehrt negativ entwickelnden Wachstums gesehen.

Es konnten aber auch Szenarien errechnet werden, die durch ein langfristig tragfähiges **ökologisches wie wirtschaftliches Gleichgewicht** gekennzeichnet waren, unter dem sich sowohl die Weltbevölkerung als auch der Wohlstand konstant halten ließen. Als Voraussetzung hierfür wurden allerdings grundlegende Änderungen in den Wachstumsvoraussetzungen ermittelt, etwa sofortige durchgreifende Maßnahmen zum Umweltschutz, zur Geburtenkontrolle, zur Verringerung des Wirtschaftswachstums sowie verschiedene technologische Maßnahmen wie die Erhöhung der Recyclingrate, eine verlängerte Nutzung von Investitions- und sonstigen Kapitalgütern ebenso wie die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität.

Um dem Problem einer in Teilen unzureichenden Datenlage entgegenzutreten, wurden zum einen Modellrechnungen unter der Annahme eines vielfach höheren Rohstoffbestands, als 1972 bekannt war, durchgeführt. Zum anderen kamen unterschiedliche Annahmen bezüglich der wirtschaftlichen Wachstumsrate zur Anwendung.“

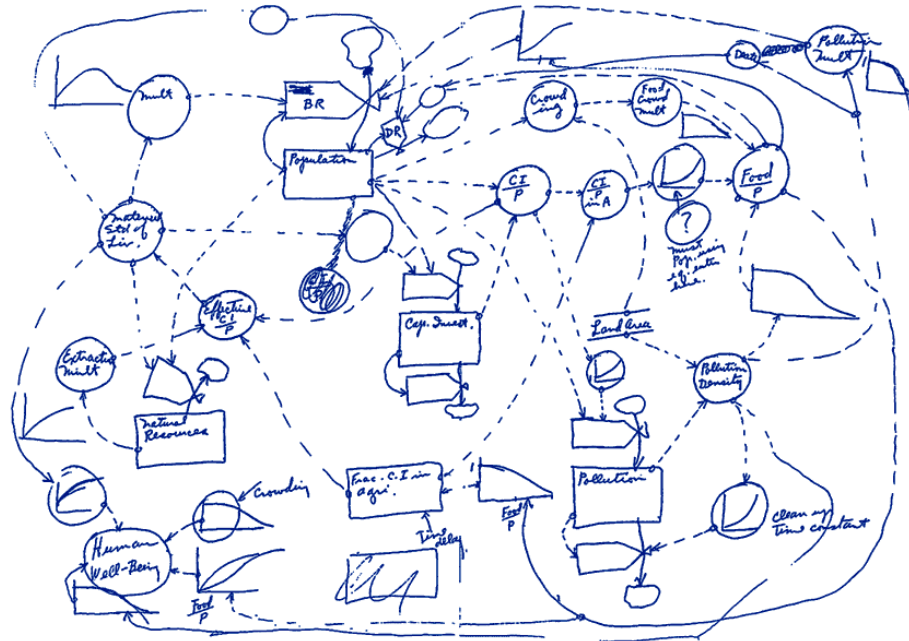
# Weltmodell von Forrester/Meadows Hier ein Ausschnitt:

„...sieht auf den ersten Blick aus wie die schematische Darstellung einer Ölraffinerie. Diverse Behälter sind durch ein Gewirr von Rohren miteinander verbunden. Ventile regeln die Durchflussraten durch diese Rohre; sie werden ihrerseits gesteuert durch Signale, die vom Füllstand bestimmter Vorratsbehälter oder von den Strömungen an anderen Stellen des Modells abhängen.“ -- Brian Hayes



Quelle: Meadows, Abb. 26, pp. 88-91

„Die Menschen sind nur Rollenspieler in einem System. Sie agieren innerhalb des Systems, auch wenn sie glauben, dass sie es managen. Das ist keine populäre Idee bei denen, die glauben, dass sie die echten Macher sind. Wer das System wirklich verändern will, muss das System verstehen.“ -- Jay W. Forrester

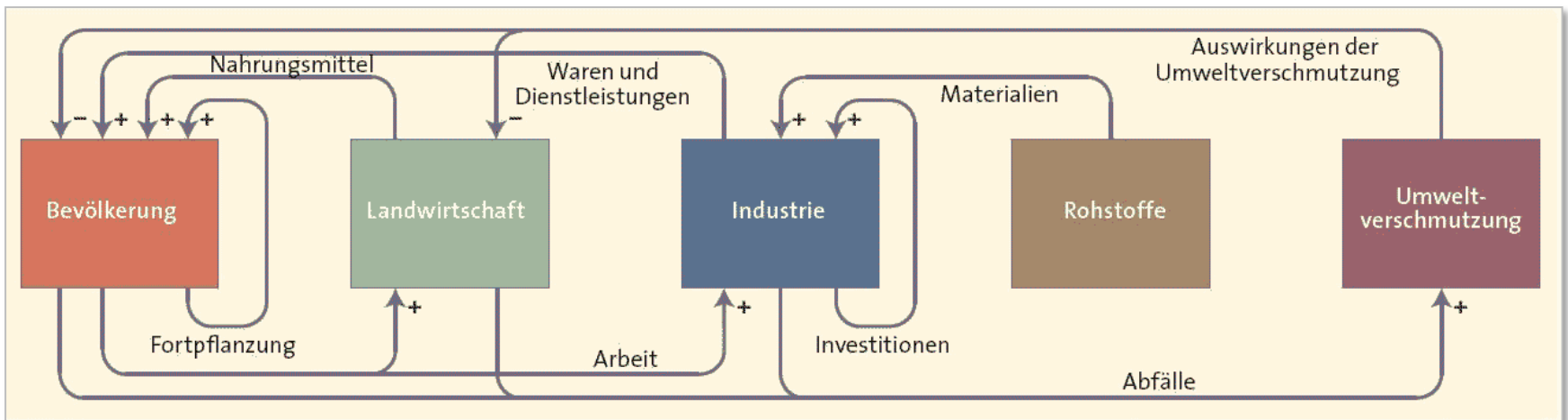


← In einer **ersten Handskizze** sah das Weltmodell „World1“ von Forrester so aus; er fertigte es im Juni 1970 auf dem Rückflug von einer Club-of-Rome-Tagung in Bern an.

Quelle: Forrester: Der teuflische Regelkreis – das Globalmodell der Menschheitskrise, 1972

Das in den „Grenzen des Wachstums“ vorgestellte Modell umfasst **fünf Haupt-sektoren mit zahlreichen gegenseitigen Abhängigkeiten**, die hier nur ausschnittsweise gezeigt sind. In den Sektoren „Bevölkerung“ und „Industrie“ gibt es selbstverstärkende Rückkopplungsschleifen, denn Menschen und Kapital pflegen sich umso stärker zu vermehren, je mehr davon schon da ist.

**Globalsicht des Modells** – Quelle: Spektrum der Wissenschaft, Februar 2013, S. 77





Die „Australian Broadcasting Corporation“ (ABC) strahlte im Nov. 1973 einen Bericht über eine Wiederholung des Simulationsexperiments mit „Australiens grösstem Computer“ aus.



# Weltuntergangs-Vision aus dem Computer

**Das Ende der Menschheit für spätestens das Jahr 2100 hat ein Forscher-Team vom renommierten Massachusetts Institute of Technology in einer Studie vorausgesagt.**

**Denn Bevölkerung, Nahrungsbedarf, Industrialisierung, Rohstoffverbrauch und Umweltverschmutzung treiben rapide an absolute Wachstumsgrenzen auf der Erde.**

Die Zukunftsforscher verfielen auf eine Parabel. In einem Gartenteich wächst eine Lilie, so schildern vier Wissenschaftler vom Massachusetts Institute of Technology (MIT), die jeden Tag auf die doppelte Größe wächst. Innerhalb von 30 Tagen kann die Lilie den ganzen Teich bedecken und alles andere Leben im Wasser ersticken. Aber selbst am 29. Tag denkt niemand daran, sie zurückzuschneiden; noch ist ja die Hälfte des Teiches frei. Aber schon am nächsten Tag ist kein Wasser mehr zu sehen.

Nach dem Urteil der Wissenschaftler — Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers und William W. Behrens III — hat für die Menschheit der 29. Tag bereits begonnen. Denn Bevölkerung, Nahrungsmittelbedarf,

Industrialisierung, Umweltverschmutzung und Ausbeutung von Rohstoffen nehmen nach dem Muster der Lilie zu, das Mathematiker als exponentielles Wachstum bezeichnen.

Wenn die Menschen sich weiterhin so vermehren wie bisher, wenn Umweltverschmutzung, Industrialisierung, Nahrungsmittelmangel und Rohstoffverbrauch so rapide steigen wie bislang, so schlußfolgert das MIT-Forscherteam in einer soeben in deutscher Übersetzung erschienenen Studie\*, „werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht. Mit großer Wahrscheinlichkeit führt dies zu einem ziemlich raschen und nicht aufhaltbaren Absinken der Bevölkerungszahl und der industriellen Kapazität“.

Den Menschheits-Kollaps für spätestens im Jahr 2100 ermittelten Meadows und seine insgesamt 16 Kollegen in rund 18monatiger Arbeit mit Hilfe eines Weltmodells, in dem sie Entwicklungstrends und ihre Ursachen, ihre Wechselwirkungen und die sich ergebenden Folgen für rund ein Jahrhundert mathematisch zu erfassen versuchten. Inspiriert hatte die Prognose der Club of Rome, der 1968 auf Anregung des italienischen Industriellen Aurelio Peccei von Wirtschaftlern und Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen als Diskussionsforum gegründet worden war. Das Geld für die Studie gab die Stiftung Volkswagenwerk.

In ihrem Weltmodell rechneten die MIT-Forscher verschiedene denkbare Ereignisse der Menschheitsentwicklung durch. Im Computer simulierten sie beispielsweise Veränderungen der Geburtenrate, Sterblichkeit, Kapitalinvestitionen und Nahrungsmittelproduktion. Sie analysierten, welche Faktoren sich am ehesten ändern und wie stark und wann das geschieht.

## GRENZEN DES WACHSTUMS?

Nach dem Computer-Weltmodell des Massachusetts Institutes of Technology wird die Menschheit bis zum Jahre 2100 wegen der Diskrepanz zwischen Bevölkerungswachstum und dem begrenzten Nahrungs- und Rohstoffvorrat der Erde zugrunde gehen

# Ein Computermodell als Bestseller

DER SPIEGEL, Nr. 12/1973

| BELLETRISTIK |   | SACHBÜCHER |  |
|--------------|---|------------|--|
| <b>1</b>     | <b>Bamm: Eines Menschen Zeit</b><br>Droemer; 25 Mark                      | (1)        | <b>Ceram: Der erste Amerikaner</b><br>Rowohlt; 29,80 Mark                                    |
| <b>2</b>     | <b>Finck: Alter Narr – was nun?</b><br>Herbig; 22 Mark                    | (2)        | <b>Ditfurth: Im Anfang war der Wasserstoff</b><br>Hoffmann und Campe; 29,50 Mark             |
| <b>3</b>     | <b>Kishon: Salomos Urteil zweite Instanz</b><br>Langen-Müller; 19,80 Mark | (3)        | <b>Däniken: Aussaat und Kosmos</b><br>Econ; 20 Mark  |
| <b>4</b>     | <b>Herdan-Zuckmayer: Das Scheusal</b><br>S. Fischer; 16,80 Mark           | (4)        | <b>Meadows: Die Grenzen des Wachstums</b><br>DVA; 16,80 Mark                                 |
| <b>5</b>     | <b>Forsyth: Die Akte Odessa</b><br>Piper; 26 Mark                         | (8)        | <b>Steinbuch: Kurskorrektur</b><br>Seewald; 24 Mark  |
| <b>6</b>     | <b>Böll: Gruppenbild mit Dame</b><br>Kiepenheuer & Witsch; 25 Mark        | (5)        | <b>Augstein: Jesus Menschensohn</b><br>C. Bertelsmann; 28 Mark                               |
| <b>7</b>     | <b>Wouk: Der Feuersturm</b><br>Hoffmann und Campe; 34 Mark                | (9)        | <b>Brown: Begrabt mein Herz an der Biegung des Flusses</b><br>Hoffmann und Campe; 29,50 Mark |



Erich von Däniken, Schweizer Autor, machte die pseudo-wissenschaftliche „Präastro-nautik“ einem breiten Lese-publikum bekannt. [Wikipedia]

Über Karl Steinbuch, einer der Informatik-Pioniere in Deutschland sowie früher Protagonist des maschinellen Lernens, wurde schon an anderer Stelle etwas gesagt. Sein zweiter Bestseller (nach „Falsch programmiert“) ist allerdings eine rein politische Schrift, in der Steinbuch, der damals politisch zunehmend nach rechts tendierte, die seinerzeitige Ideologie der politischen Linken angreift.

# Vom Wachstum zum Gleichgewicht?

Die [Konsequenzen der Studie](#) werden im Einleitungskapitel so zusammengefasst:

1. Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten Jahrhunderte erreicht. Mit grosser Wahrscheinlichkeit führt dies zu einem ziemlich raschen und anhaltbaren Absinken der Bevölkerungszahl und der industriellen Kapazität.
2. Es erscheint möglich, die Wachstumstendenzen zu ändern und einen ökologischen und wirtschaftlichen Gleichgewichtszustand herbeizuführen, der auch in weiterer Zukunft aufrechterhalten werden kann. Er könnte sogar so erreicht werden, dass die materiellen Lebensgrundlagen für jeden Menschen auf der Erde sichergestellt sind und noch immer Spielraum bleibt, individuelle menschliche Fähigkeiten zu nutzen und persönliche Ziele zu erreichen.
3. Je eher die Menschheit sich entschliesst, diesen Gleichgewichtszustand herzustellen, und je rascher sie damit beginnt, um so grösser sind die Chancen, dass sie ihn auch erreicht.

Es schliesst mit der Hoffnung, dass die „riesige Aufgabe“, der Übergang vom Wachstum zum Gleichgewicht, gelingen möge.

# Koinzidenz mit der ersten Ölkrise 1973

Einen **Vorgeschmack auf Wachstumsgrenzen** gab es bereits ein Jahr später  
Die Ölverknappung war allerdings eher politisch motiviert; schon nach einigen Wochen floss Öl wieder in ausreichender Weise – wenn auch deutlich teurer













# Grenzen des Wachstums: Die Anfänge

“When *The Limits to Growth* hit the World in 1972, Dennis and Donella Meadows – then married, later amicably divorced – were hotshot academics still in their early 30s. They had spent the last two years working on computer-based models of dynamic systems. The project was, at first, just something fascinating to do. ‘We didn’t even think about trying to change the world,’ said Donella. ‘We were just trying to make a good computer model.’

After they had presented their preliminary technical results to a range of audiences, from fellow scientists to United Nations bureaucrats, and received mixed reviews, Donella had a realization. ‘There needed to be a little popular book that communicated the central idea in a way that the average reader could understand, without all the computerese and scientific jargon. And the central message was about growth and limits.’ She set to work on the ‘popular’ book, and fought unsuccessfully with her colleagues and co-authors to keep the computer model totally out of it. In the end, it was the *inclusion* of the computer model that most captured the public imagination, and that – combined with the chilling message about the possible fate of humanity – propelled the book to the bestseller list.

The leak of an early manuscript to Time magazine, which immediately published a grim, doomsday article about their research, underscored the fact that they had a tiger by the tail: ‘It was out of our hands at that point, it was something bigger than we could control.’

*The Limits to Growth* was an international phenomenon. Donella and Dennis began to believe that the World could indeed be changed. ‘We were received politely wherever we went’, recalls Donella. ‘It lasted about two weeks. Then the big guns came out.’ The ‘big guns’ were a small army of prominent economists, scientists and political figures who took aim at Limits from all sides. They attacked the methodology, the computer, the conclusions, the rhetoric and the people behind the project.”

[Excerpts from Alan Atkisson: *Believing Cassandra: How to be an Optimist in a Pessimist's World*, 1999. ]

# Grenzen des Wachstums: Kritik und Rezeption

Das Buch erlangte bei seinem Erscheinen 1972 sehr schnell eine hohe mediale Aufmerksamkeit. Dies lag sicherlich einerseits an den apokalyptisch anmutenden Aussagen, andererseits aber auch am Mythos Computer, dem als Elektronengehirn oft noch eine Art Unfehlbarkeit unterstellt wurde. Zumindest galt in der Öffentlichkeit der „Grosscomputer“ als Garant wissenschaftlich fundierter Thesen und als Instrument so präziser Berechnungen, dass auf deren Grundlagen sogar Mondlandungen möglich waren. Auch die aus heutiger Sicht eher primitiv anmutenden „Computergraphiken“ in Form von Kurvenlinien aus einzelnen Buchstaben, die auf einem Zeilendrucker „automatisch“ ausgedruckt wurden, flössten Ehrfurcht ein. Die „Frankfurter Rundschau“ betitelte ihren Artikel über das Buch etwa mit „Düsterer Zukunftsbericht aus dem Computer“.

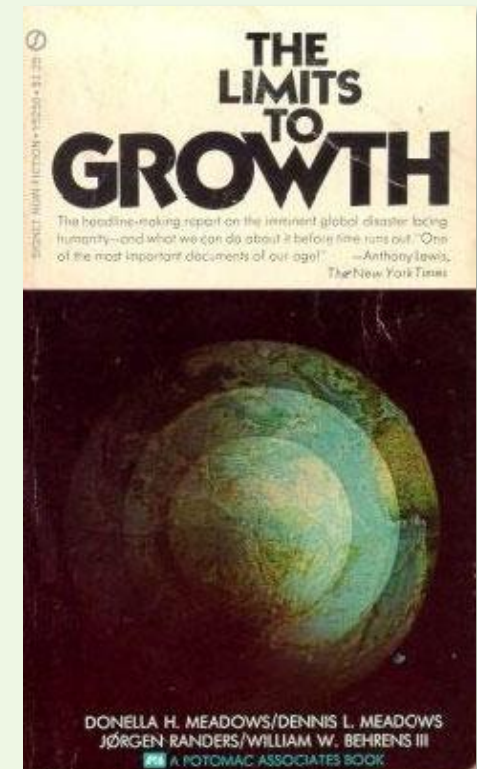
Von Seiten der Wissenschaft kam neben einiger Anerkennung allerdings auch Tadel. Kritisiert wurde etwa die eher geringe Zahl von Variablen des Weltmodells, aber auch, dass bis dato noch unentdeckte Rohstoffquellen nicht berücksichtigt wurden, genauso wenig wie der zu erwartende generelle technische Fortschritt. Weitere Kritikpunkte waren die unsichere Datenbasis und die rein technokratische Behandlung des Wachstumsaspektes und seiner Folgen, der soziale und politische Faktoren ausser Acht lassen würde. Insbesondere von wirtschaftswissenschaftlicher Seite wurden die Aussagen der Studie heftig kritisiert. Der „Economist“ charakterisierte die Studie als „the high-water mark of old-fashioned nonsense“, und der bekannte Oxford-Ökonom Wilfred Beckerman brandmarkte sie gar als „a brazen, impudent piece of nonsense by a team of whizz-kids from MIT.“

Politik und etablierte Parteien taten sich etwas schwer mit den Grenzen des Wachstums. Es herrschte weitgehend ein gesellschaftlicher Konsens, dass Wohlstandssteigerung sowohl in der entwickelten Welt wie in den Entwicklungsländern nur durch Wirtschaftswachstum zu erzielen sei und eine Gleichgewichtsgesellschaft daher nicht anzustreben sei. Soziale Gerechtigkeit, aber etwa auch die zu steigernden Anstrengungen für den Umweltschutz, benötigten das Wachstum. In den Ostblockstaaten, so etwa der DDR, wurden Meadows Thesen regierungsamtlich als „feindlich-negativ“ abgelehnt, aber angesichts erheblicher Umweltprobleme insbesondere von der kirchlichen Umweltbewegung und Opposition eingeführt und thematisiert. Im Westen blieb es den Umwelt- und „grünen“ Politikgruppen vorbehalten, auf den Erkenntnissen aufbauend einige Jahre später ein politisches Programm zu entwickeln und sich als neue politische Kraft zu etablieren.

## Rückblick 2007:

„Mit ‚Die Grenzen des Wachstums‘ legte der Club of Rome 1972 die heilige Schrift aller Zukunftsskeptiker vor. Die Computersimulation in Buchform war der erste Öko-Megaseller überhaupt und prägte das gesellschaftliche Klima der Siebziger wie kein anderes Werk. [...] Eine Publikation mit 160 Seiten und 48 Kurvendiagrammen, die zum erfolgreichsten und einflussreichsten Umwelt-Buch nach der biblischen Schöpfungsgeschichte wurde. [...] Die Hochrechnungen des MIT reichen von 1900 bis 2100 und untersuchen das Auf und Ab von fünf Werten: Erdbevölkerung, Industrieproduktion, Nahrungsversorgung, Rohstoffvorräte und Umweltverschmutzung. Aus vielen Einzelstudien schält sich eine Erkenntnis heraus: Nur wenn Pro-Kopf-Produktion und Bevölkerungszahl konstant bleiben und der Ressourcenverbrauch auf ein Viertel schrumpft, kann die Menschheit der Katastrophe entgehen. In allen anderen Fällen drohen im 21. Jahrhundert globale Hungersnöte und der Zusammenbruch der Industriekapazität. [...] Am 2. März 1972 erscheint in den USA ‚The Limits to Growth‘, die 160 Seiten starke Vorabversion des Projektberichts. Die deutsche Fassung ‚Die Grenzen des Wachstums‘, die zwei Monate nach der amerikanischen herauskommt, wird ein Bestseller. Die Botschaft vom ‚Nullwachstum‘ verbreitet sich rasant, und im Oktober 1973 erhält der Club of Rome den Friedenspreis des deutschen Buchhandels. [...] Weltweit wird ‚The Limits to Growth‘ in 37 Sprachen übersetzt und mehr als 12 Millionen mal verkauft. Zum einen trifft das Werk den Zeitgeist: [...] im Juni 1972 tagte in Stockholm die erste Umweltkonferenz der Vereinten Nationen. Zum anderen verknüpfte es den Mythos vom allwissenden Computer mit der Aura des Zirkels weiser Männer, als den man den Club of Rome wahrnimmt.“

*(Ralf Bülow: Apokalypse aus dem Computer, einestages.spiegel.de)*



## Rückblick 2008:

„Warten wir nicht seit 30 Jahren, bequem in den Fernsehsessel gelümmelt, auf die Katastrophe? Seit 1972 sagen der Wissenschaftler Dennis Meadows und seine Kollegen Schlimmstes vorher. Dabei ist das Bier hierzulande immer noch schön kühl, und die Erde dreht sich...

Damals stürmte die These vom nahen, selbstverschuldeten Untergang der Menschheit die Bestsellerlisten... Zum ersten Mal hatten Autoren den Mut und die argumentative Stärke, um mit Vehemenz auf die Endlichkeit der Erde aufmerksam zu machen. Und das zeigte glücklicherweise Wirkung: Sie verstärkten die Aufbruchsstimmung der 1980er-Jahre, in denen sich die Grünen gründeten. Sie bereiteten den Boden für den internationalen Umweltschutz. Und sie brachten die Ökonomen dazu, über Wirtschaften ohne Wachstum nachzusinnen.“

Petra Pinzler in „Die Zeit“ Nr. 19 vom 30. April 2008





Ebenfalls 2008 erschien im Onlineforum "The Oil Drum" ein bemerkenswertes Essay *Cassandra's Curse* von *Ugo Bardi*, Professor für Physikalische Chemie an der Universität Florenz und Mitglied des Club of Rome; hier einige Auszüge: [<http://theoildrum.com/node/3551>]

Cassandra's story is very old: she was cursed that she would always tell the truth and never be believed. But it is also a very modern story and, perhaps, the quintessential Cassandras of our age are the group of scientists who prepared and published in 1972 the book titled "The Limits to Growth". With its scenarios of civilization collapse, the book shocked the world perhaps more than Cassandra had shocked her fellow Trojan citizens when she had predicted the fall of their city to the Achaeans. Just as Cassandra was not believed, so it was for the "Limits to Growth" [...]. But, apparently, Cassandra's curse is still alive and well in our times. [...]

In 1997, the Italian economist Giorgio Nebbia noted that the reaction against "The Limits to Growth" study had arrived from at least four different fronts. One was from those who saw the book as a threat to the growth of their businesses and industries. A second set was that of professional economists, who saw it as a threat to their dominance in advising on economic matters. The Catholic world provided further ammunition for the critics, being piqued at the suggestion that overpopulation was one of the major causes of the problems. Then, the political left in the Western World saw the study as a scam of the ruling class, designed to trick workers into believing that the proletarian paradise was not a practical goal. And this by Nebbia is a clearly incomplete list; forgetting religious fundamentalists, the political right, the believers in infinite growth, politicians seeking for easy solutions to all problems and many others.

All together, these groups formed a formidable coalition that guaranteed a strong reaction against "The Limits to Growth". This reaction eventually succeeded in demolishing the study in the eyes of the majority of the public and of specialists at the same time. This demolition was greatly helped by a factor that initially had bolstered the credibility of the study: the world oil crisis of the 1970s. The crisis had peaked in 1979 but, in the years that followed, oil started flowing abundantly from the North Sea and from Saudi Arabia. With oil prices plummeting down, it seemed to many that the crisis had been nothing but a scam [...]. With the collapse of the Soviet Union and the "New Economy" appearing, all worries seemed to be over. History had ended and all what we needed to do was to relax and enjoy the fruits that our high technology would provide for us. [...]

Prophets of doom, nowadays, are not stoned to death, at least not usually. Demolishing ideas that we don't like is done in a rather subtler manner [...] exploiting our innate tendency of rejecting bad news. [...] In so doing, we have lost more than 30 years. Now, there are signs that we may be starting to heed the warning, but it may be too late and we may still be doing too little. Cassandra's curse may still be upon us.

# Süddeutsche Zeitung

## Viel erforscht, wenig erreicht

5. November 2018

Von Silvia Liebrich

Bereits vor 50 Jahren warnte der Club of Rome vor den Grenzen des Wachstums und forderte einen Wandel der Wirtschaft. Damals wurden die Prognosen als Unsinn abgetan. Heute ist klar: Das war ein Fehler.

Automanager mit erklärtem Hang zum Umwelt- und Klimaschutz sind heute eine äußerst rare Spezies. Kaum vorstellbar, dass etwa VW-Chef Herbert Diess oder BMW-Top-Mann Harald Krüger eine Organisation gründen, die einen grundlegenden Wandel der Weltwirtschaft fordert. Dennoch ist vor genau 50 Jahren dieser unwahrscheinliche Fall eingetreten. Damals ließ der italienische Automanager Aurelio Peccei 30 anerkannte Wissenschaftler nach Rom einfliegen, auf Rechnung der Fiat-Dynastie Agnelli. Ihr Arbeitsauftrag lautete ein zukunftsträchtiges „Modell der Welt“ zu entwerfen.

Der Zirkel von Visionären gab sich den Namen Club of Rome und erreichte wenige Jahre später mit seinem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ fast über Nacht weltweite Bekanntheit. Finanziell gefördert wurde er damals auch von der Volkswagenstiftung. Das 1972 erschienene Buch dazu verkaufte sich millionenfach. Die Analyse „zur Lage der Menschheit“ markierte zugleich den Beginn einer kritischen Zukunfts- und Umweltforschung. [...]

Tatsächlich war die Warnung unmissverständlich: „Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht“, heißt es in dem Bericht von 1972.

Eine Prognose, die sich inzwischen in den wesentlichen Punkten bewahrheitet hat, auch wenn Kritik an einzelnen Punkten der Analyse berechtigt war. So wurden etwa der technologische Fortschritt und eine effizientere Ressourcennutzung unterschätzt, auch gingen die Experten davon aus, dass keine nennenswerten Rohstoffvorkommen mehr entdeckt werden. Fehler wie diese wurden in folgenden Berichten korrigiert. [...]

„Die meisten der ursprünglichen Schlussfolgerungen gelten noch immer“, sagt der schwedische Resilienzforscher Johan Rockström, einer der Hauptautoren des neuen Berichts und Leiter des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung. „Das ist zwar befriedigend für die Wissenschaft, nicht aber für die Gesellschaft“.

**Zum 50-jährigen Jubiläum veröffentlichte Claudie Mäder einen längeren Artikel in der NZZ (26.2.2022, S. 42). Einige Auszüge (gekürzt) daraus:**

**Rückblick 2022:**

Die Bibel blieb unerreichbar. Mit geschätzten drei Milliarden verkauften Exemplaren belegt sie seit ewigen Zeiten den Spitzenplatz in allen Bestsellerlisten. In den mittleren Rängen der Langzeittabellen aber hat sich das Buch, das in diesen Tagen sein Jubiläum feiert, einen fixen Platz gesichert: «Die Grenzen des Wachstums» sind weltweit mehr als 12 Millionen Mal über den Ladentisch gegangen. In den Jahren 1972 und 1973 war das Werk nicht aus den Top Ten zu verdrängen, 15 Monate lang hielt es sich im «Spiegel»-Ranking. Und ein bisschen wurde das Buch in dieser Zeit eben doch zur Bibel. Seine Ergebnisse würden «wie eine neue Religion aufgenommen und vertreten», stellte der Ökonom Bruno S. Frey kritisch fest.

Die Vorgeschichte des Buches reicht in die späten 1960er-Jahre zurück. Allenthalben wurden Probleme manifest. In Europa gaben Gewässer- und Luftverschmutzungen zu reden, Gifte bedrohten die Gesundheit, in Indien wüteten Hungersnöte. In Boston machte sich eine junge, interdisziplinäre Forschungsgruppe ans Werk. Unter der Leitung des Ökonomen Dennis Meadows, der in der damals avantgardistischen «Systemdynamik» geschult war, konstruierten die Forscher ein computerbasiertes «Weltmodell». In zahlreichen Rechendurchläufen wurden verschiedene Szenarien simuliert, die Resultate waren durchgehend alarmierend. Auf die eine oder andere Weise lief das System bei anhaltendem exponentiellem Wachstum immer in den Kollaps.

In einem endlichen System, wie die Erde eines ist, war laut den Forschern unendliches materielles Wachstum schlicht nicht möglich. Dieser letztere Gedanke war weder völlig neu noch sonderlich kompliziert – einen Grossrechner hätte man dafür nicht gebraucht, spotteten zahlreiche Kommentatoren. Trotzdem verlieh das Buch den schon länger schwelenden Umweltfragen sofort eine neue Brisanz. Bis dahin waren Umweltprobleme auf lokaler Ebene betrachtet und von Experten behandelt worden: Heimische Gewässer wurden gesäubert, rauchende Schloten mit Partikelfiltern ausgestattet. Am MIT dagegen wurden die Probleme vernetzt. Das veränderte die Perspektive dramatisch.

Die grosse Diskussion lief rund um den Globus. Jedes politische Lager, jede gesellschaftliche Strömung und jedes Medium sah sich genötigt, die Debatte aufzugreifen und Stellung zu beziehen. Die NZZ zum Beispiel lobte «Die Grenzen des Wachstums» in einer ausführlichen Rezension als «ernste

Warnung». Es sei, hielt die Zeitung im Mai 1972 fest, «sicher kaum zu früh, die globalen Probleme, welche die künftige Existenz der Menschheit direkt berühren, ernsthaft zu studieren». Anderswo schlug der Studie weniger Sympathie entgegen: Verschiedene namhafte Ökonomen verwarfen das «dreiste und schamlose Stück Unsinn» in Bausch und Bogen.

Vor allem für marxistische Linke war der «bourgeoise» Club ein verlängerter Arm des Grosskapitals: Die «kapitalistischen Ideologiefabriken», schrieb ein Rezensent 1973, hätten den «Unsinn vom Wachstumsstopp» ersonnen. Dies, um Arbeiter und Arme klein zu halten und die Dritte Welt auf neokoloniale Weise an der weiteren Entwicklung zu hindern.

In der Schweiz haben sich die Positionen zu Umweltfragen im Verlauf der 1970er- und 1980er-Jahre merklich verschoben, und dies sei mindestens zu Teilen auf den Bericht des Club of Rome zurückzuführen, erinnert sich Lukas Fierz, der Mitgründer der Grünen Partei. «Auf mittlere Sicht hat der Bericht des Club of Rome zur Gründung der Grünen Partei geführt.»

Die Studie hat freilich auch kurzfristig auf das politische Leben eingewirkt. Von den «Grenzen des Wachstums» war ab 1972 in jeder erdenklichen Debatte und an jedem Ort der Schweiz die Rede. Der Winterthurer Stadtrat beriet in einer zweitägigen Klausur darüber, wie die Stadtplanung mit dem «die Welt beschäftigenden und bereits zum Schlagwort gewordenen Problem der ‚Grenzen des Wachstums‘» in Einklang zu bringen wäre. In Zürich war ein SVP-Politiker der Meinung, dass die damals geplante U-Bahn «die Grenzen des Wachstums der Agglomeration durchstossen» würde. Und auch in Bern führten etliche Parlamentarier das neue Wort im Mund: Ob es darum ging, einen bezahlten Bildungsurlaub für Arbeitnehmer zu fordern, die kommerzielle Schifffahrt zu beschränken oder die ansteigenden Staatsausgaben zu erklären – immer wieder wurde mit den «Grenzen des Wachstums» argumentiert.


Am stärksten aber prägten die Gedanken der «Grenzen» damals die Energiediskussionen. Als die arabischen Länder 1973 im Gefolge des Jom-Kippur-Krieges die Erdölförderung drosselten und damit die Preise steigen liessen, wurde die Abhängigkeit von dem Rohstoff zum grossen Thema. Dabei interpretierte selbst der Bundesrat die Krise als Hinweis auf die grundsätzliche Problematik der schwindenden Ressourcen. Um den Wohlstand zu sichern und das Land in der Zeit des ausgehenden Erdöls ausreichend mit Energie zu versorgen, galten Kernkraftwerke als beste Lösung.

Zumindest eine der diversen Modellierungen habe mit Blick auf den weiteren Verlauf der Umweltdiskussion eine «durchaus prophetische Qualität» gehabt, schreibt der Historiker Patrick Kupper. In einer ihrer Simulation gingen die MIT-Forscher nämlich davon aus, dass die weltweiten Ressourcen noch doppelt so gross wie gemeinhin angenommen seien. In diesem «optimistischen» Modell erwies sich nicht die Knappheit der Rohstoffe, aber die anhaltende Umweltverschmutzung als Problem für das Gesamtsystem – und tatsächlich ist der Ausstoss von Schadstoffen im Zusammenhang mit dem Klimawandel ab den 1990er-Jahren zum Zentrum der Umweltdiskussionen geworden. In den Jahrzehnten nach 1972 hat sich damit, wie Kupper sagt, ein «deutlicher Prioritätenwechsel» vollzogen: «weg von der Problematik begrenzter Ressourcen hin zu jener der Schadstoffemissionen».

Vom 5. bis zum 16. Juni fand in Stockholm der erste Uno-Umweltgipfel statt. Das Treffen war bereits 1968 einberufen worden. Der Sonderbeauftragte Maurice Strong liess dort verlauten, das Ziel liege in einer «Versöhnung»: zwischen den «legitimen sofortigen Ansprüchen der Menschen (...), dem Respekt vor den natürlichen Lebensgrundlagen und den Rechten der Generationen, die nach uns kommen». Passend dazu war das Motto des Gipfels gewählt: «Only One Earth». Nur wurde in Stockholm deutlich, dass auf dieser einen Erde sehr unterschiedliche «legitime Ansprüche» bestanden. Für die Vertreter der Drittweltländer war Umweltschutz ein Luxusproblem des Nordens. Sie wollten wachsen können, um der Armut zu entkommen, und trugen eine dezidierte Stellungnahme vor: «Wir lehnen Modelle der Stagnation, wie sie von gewissen alarmierten westlichen Ökologen, Ökonomen, Industriellen und Computer-Fans vorgeschlagen werden, auf das Entschiedenste ab.» Das war ein heftiger Seitenhieb gegen die Arbeit der MIT-Forscher. Deren «Weltmodell» hatte keinerlei soziale Faktoren einbezogen; für den Grosscomputer war die Erde ein Ort, an dem überall identische Verhältnisse herrschten.

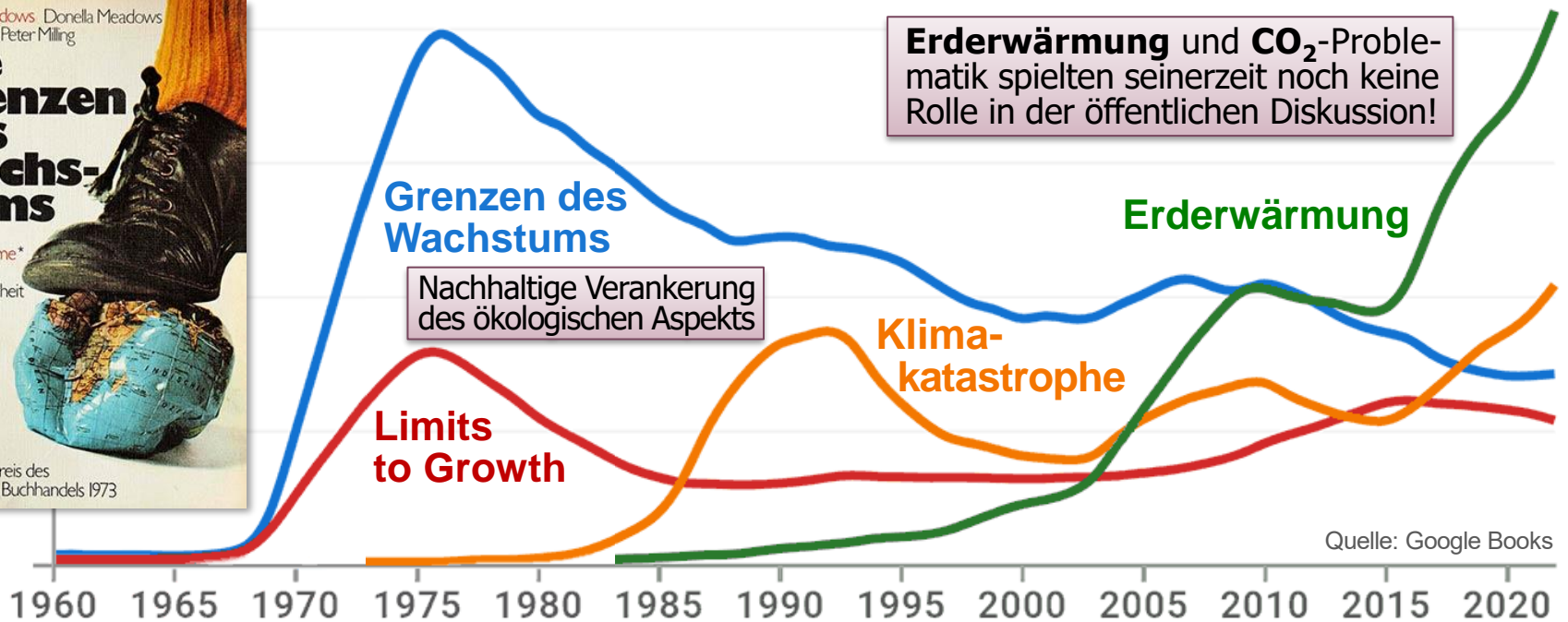
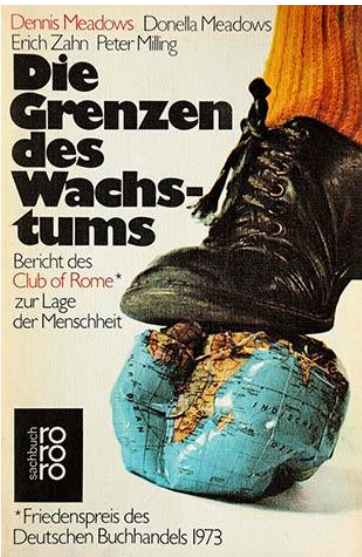
Hat die Schrift ihre Halbwertszeit inzwischen definitiv erreicht? Man könnte es meinen, denn zu dem Umweltproblem, das die Welt seit 30 Jahren überwiegend beschäftigt, hat der Bericht von 1972 so gut wie nichts zu sagen. Die Erderwärmung wird zwar in einer Passage des Buches als Problem erwähnt, das sich aus der Freisetzung von Kohlendioxid ergeben könnte. Konkret behandelt aber wird der Klimawandel nicht.

Das Buch hat eine globale Debatte angestossen, die unseren Blick auf die Umwelt bis heute bestimmt. Seine Gedanken haben Spuren in Lebensläufen hinterlassen, sie haben sich in Köpfen festgesetzt und in die Politik ausgegriffen.



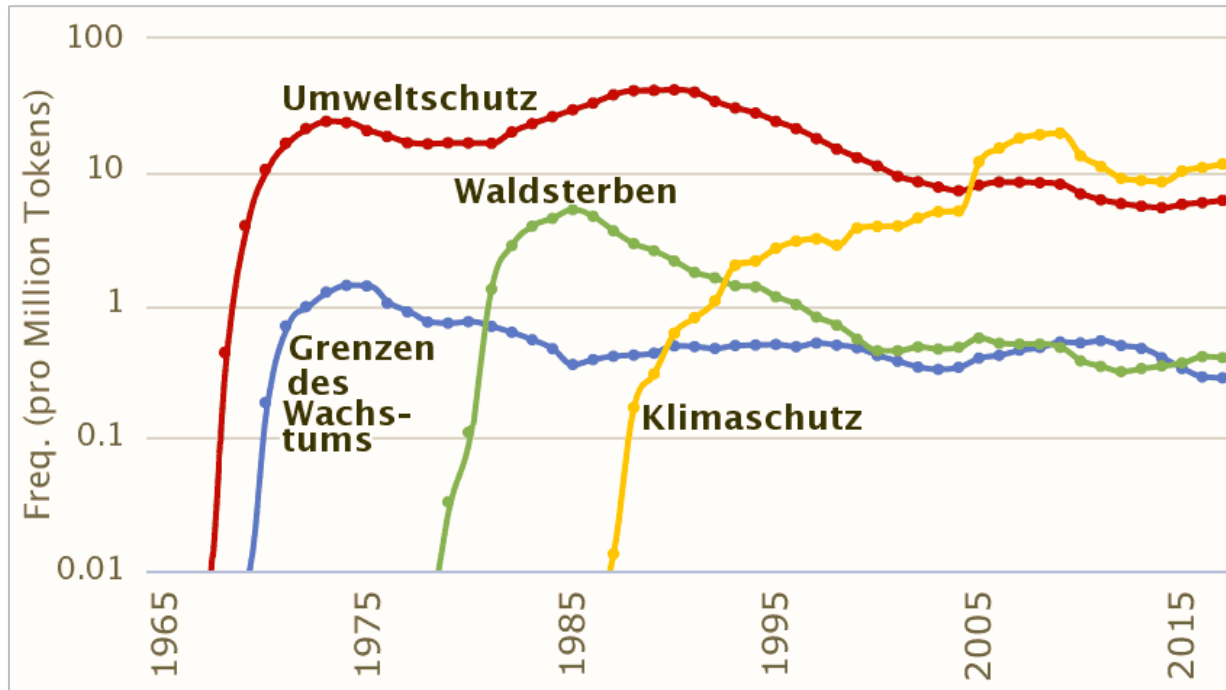


# Grenzen des Wachstums: Bewusstseinsprägend?



Es gibt nur wenige Bücher, die die Welt bewegen. Dieses gehört zweifelsfrei dazu, schärfte es doch das Bewusstsein für die Endlichkeit natürlicher Ressourcen und trug dazu bei, Ökologie als Argument ernster zu nehmen als zuvor. Aber auch wenn der Buchtitel zu einem geflügelten Wort aufstieg, zündete die „Bombe im Taschenbuchformat“ letztlich nicht – dass „Die Grenzen des Wachstums“ die Welt nachhaltig verändert hätten, bezweifelt angesichts der erneuten Wachstumseuphorie seit den 1990er-Jahren nicht nur Dennis Meadows. [Nils Freytag, „Eine Bombe im Taschenbuchformat“? (2006), H. 3, [www.zeithistorische-forschungen.de/3-2006/id=4478](http://www.zeithistorische-forschungen.de/3-2006/id=4478)]

# Grenzen des Wachstums: Bewusstseinsprägend?



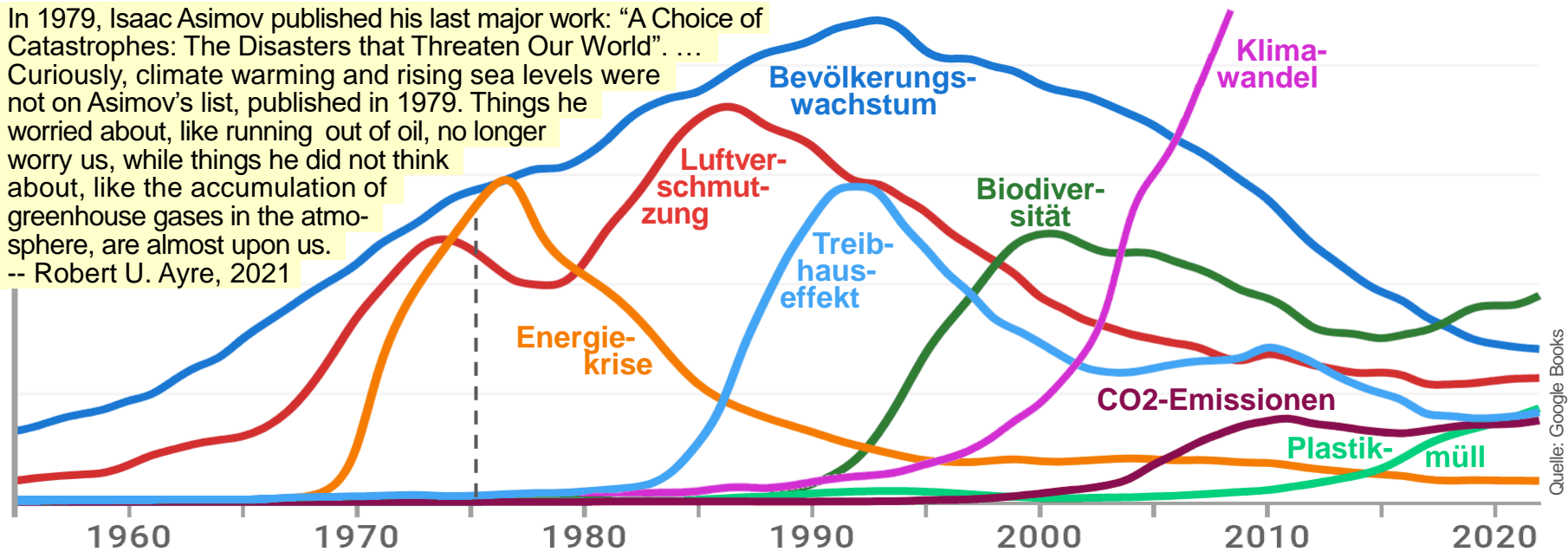
Einige relevante Begriffe aus dem DWDS-Zeitungs-korpus; man beachte, dass die y-Achse hier logarithmisch skaliert ist! Man sieht: **Umweltschutz** war gerade schon ein heisses Thema, als das Buch herauskam; bis aber der **Klimaschutz** auf der journalistischen Agenda erschien, dauerte es 20 weitere Jahre – und nochmal 15, bis er (oder der analoge Begriff „Klimawandel“) schliesslich grössere Bedeutung gewann.

Environmental historians have conceived of the time around 1970 as the 'threshold' period of environmentalism [...]. The late 1960s and early 1970s saw the emergence of an environmental movement in the Western world that called for an immediate and radical assessment and immediate cutback of the hitherto industrial and economical mode of the so-called developed world. [...] The 'years of decision' around 1970 have been portrayed as a historical turning point, an 'environmental revolution'. [...] 1972 was the year in which the UN Conference on the Human Environment in Stockholm took place and in which upsetting studies such as *The Limits to Growth* and the *Blueprint for Survival* were published. [...] The years 1973 and 1974 are often underlined for the oil price shock, which is said to have put an end to the 'age of ecological innocence'. [Sabine Höhler: *Spaceship Earth in the Environmental Age, 1960-1990.*]



# Wandel der Themen?

In 1979, Isaac Asimov published his last major work: "A Choice of Catastrophes: The Disasters that Threaten Our World". ... Curiously, climate warming and rising sea levels were not on Asimov's list, published in 1979. Things he worried about, like running out of oil, no longer worry us, while things he did not think about, like the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere, are almost upon us.  
-- Robert U. Ayre, 2021



Bei den „Grenzen des Wachstums“ von 1972 standen die knapper werdenden Ressourcen (manifestiert z.B. im Begriff der **Energiekrise**), die Umwelt- und **Luftverschmutzung** sowie das **Bevölkerungswachstum** im Vordergrund. Wenige Jahrzehnte später ist es vor allem der **Klimawandel** (**Treibhauseffekt**, **CO2-Emissionen**) und die **Biodiversität**, in jüngerer Zeit auch Feinstaub und **Plastikmüll**, was die Gemüter bewegt.

Der Umweltwissenschaftler und seinerzeitige Ko-Präsident des Club of Rome **Ernst Ulrich von Weizsäcker** sagte 2018 anlässlich des 50. Jahrestag seiner Gründung: „In diesen **letzten fünfzig Jahren** hat sich die Weltbevölkerung mehr als verdoppelt, hat sich der Konsum mehr als verzehnfacht, haben sich die ökologischen Bedingungen der Welt dramatisch verschlechtert.“ Auf ein paar Fortschritte kann er hinweisen, relativiert dies jedoch durch die neueren Probleme, die in den Fokus geraten sind: „Vor fünfzig Jahren war es noch empirisch absolut zutreffend: Je mehr Industrieproduktion, desto schmutziger wird die Welt. Dies ist überwunden. Wir haben heute Emissionsschutzgesetze, Wassergüte, die eine Abkopplung des Wirtschafts- und des Industriewachstums von der lokalen Verschmutzung bewirkt haben. Allerdings in puncto Klima, in puncto Bodenqualität, in puncto biologische Vielfalt hat diese Abkopplung noch überhaupt nicht funktioniert.“

# Grenzen des Wachstums: Die Autoren

*Dennis Meadows* referiert *an der ETH Zürich*: 2005 (rechts) und 1973 noch sichtlich jünger (links, mit 30 Jahren) neben *ETH-Professor Werner Stumm* (1924 – 1999), Direktor der Eidgen. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag)



Meadows (Jg. 1942) ist ein US-amerikanischer Systemtheoretiker mit natur-, sozial- und ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund. Bachelorstudium der Chemie, Managementstudium und Promotion am MIT. Em. Professor am MIT und ehem. Leiter d. Institute for Policy and Social Science Research an der Univ. of New Hampshire.

# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (2)

## **Ein Rückblick von Dennis Meadows 2012 in einem Interview der FAZ (Auszüge):**

**Vor 40 Jahren haben Wissenschaftler unter Ihrer Leitung die Studie „Grenzen des Wachstums“ vorgelegt – eine Sensation. Wer hatte die Idee dazu?**

Die Idee hatte der „Club of Rome“ gehabt. Es war ein Kreis von Intellektuellen, Wissenschaftlern, Industriellen und sonstigen Persönlichkeiten des öffentlichen Lebens. 1970 kam der Club zu seinem ersten offiziellen Jahrestreffen in der Schweiz zusammen. Er hat lange herumdiskutiert und wollte ein Forschungsprojekt anstoßen, in dem es um die Zukunft der Welt gehen sollte. Es gab ein Mitglied des Clubs, der eine konkrete Idee hatte. Das war Jay Forrester, ein damals schon berühmter Professor vom MIT. Er schlug vor, dass seine Computermodelle helfen könnten, die künftige Entwicklung der Weltbevölkerung, der Industrialisierung und den Ressourcenverbrauch zu simulieren.

Ich war damals bereits am MIT. Ich legte einen Vorschlag vor, wie man die Modelle von Forrester in der Computersprache Dynamo so verbessern könnte, dass man daraus ein sogenanntes „Weltmodell“ entwickeln könnte. Die Idee war, das Systemverhalten der Erde als Wirtschaftsraum unter der Voraussetzung verschiedener Szenarien zu simulieren. Und zu gucken, wie lange die Ressourcen der Welt halten.

**Solche Programme liefen damals nur auf teuren Großrechnern. Wie kamen Sie an den Computer?**

Nun, der Computer war kein Problem. Ich war ja am MIT. Das Forschungsinstitut hatte einige der besten Computer der Welt. Wir brauchten für unser Weltmodell einen leistungsfähigen Computer; heute würde unser Weltmodell sogar auf meinem iPhone laufen.

**Als das Forschungsvorhaben losging, waren Sie 28 Jahre alt. Wieso hat man Ihnen das zugetraut?**

Das ist sicher eine Frage von unterschiedlichen Kulturen. In Deutschland hätte ich mit 28 Jahren wohl keine Chance gehabt, ein solches Forschungsvorhaben zu übernehmen. In Amerika waren wissenschaftliche Karrieren schneller möglich. Das war damals nicht weiter bemerkenswert.

# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (3)

## **Wurden Sie mit dem Buch reich?**

Nein. Man kann sich natürlich immer darüber streiten, was reich bedeutet. Ich habe alles, was ich zum Leben brauche. Ich habe zwar Zehntausende von Dollar damit verdient, aber nicht Millionen.

## **Haben Sie persönlich damals Konsequenzen für Ihr tägliches Leben gezogen? Haben Sie zum Beispiel aufgehört zu fliegen?**

Nein, mit dem Fliegen aufgehört habe ich nicht. Im Gegenteil, durch das Buch und meine Arbeit bin ich so richtig zum Fliegen gekommen. Ich bin bis heute ständig in der Welt unterwegs. Neulich habe ich sogar bei einer Airline eine Million Vielflieger-Meilen erreicht. Bei anderen Dingen habe ich mein Leben umgestellt. Ich heize mein Haus heute mit Holz und habe einen Garten, aus dem ich mich zum Teil selbst versorge. Ich habe darauf geachtet, dass ich nicht zu weit von der Stadt weg wohne, damit ich nicht zu viel Auto fahren muss. Und wo es geht, nehme ich lieber den Zug. Aber ist das alles passiert, weil ich das Buch geschrieben habe? Das weiß ich nicht.

## **Sind Sie denn zuversichtlich, dass die Menschen rund um den Globus ihre Gewohnheiten so ändern werden, dass die Welt gerettet wird?**

Nein. Ich bin da Pessimist. Sie können in Ihrem persönlichen Umfeld etwas verändern. Das ist das Positive, das ich den Menschen auch hier in Amerika aus Anlass des 40-Jahr-Jubiläums unserer Studie mitgeben will – ich habe lange danach gesucht. Aber die globalen Probleme lösen Sie so nicht.

## **Was macht Sie so skeptisch?**

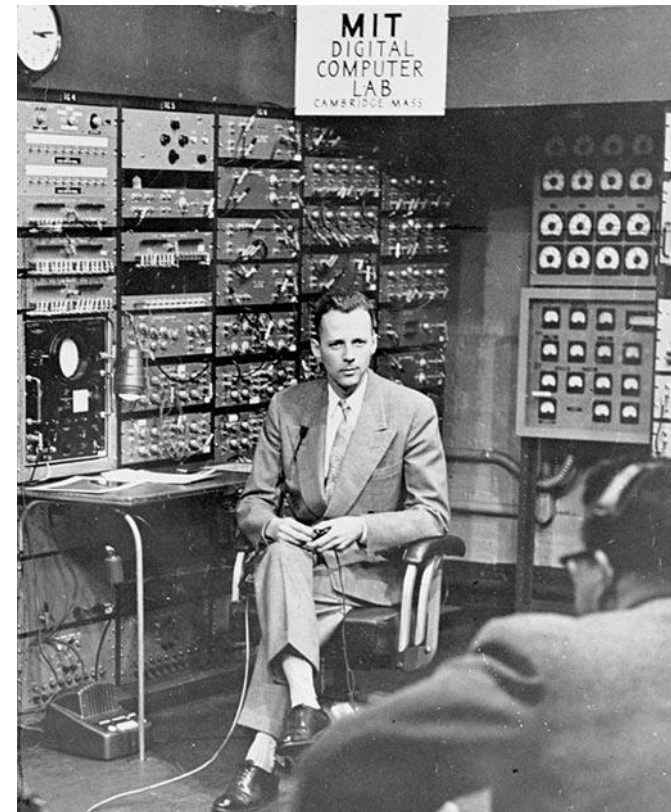
Die Menschen haben einen zu kurzen Zeithorizont. Wenn Sie die globalen Probleme lösen wollen, etwa den Klimawandel, müssen Sie einen Zeithorizont von 30, 40 oder 50 Jahren haben. Politiker aber denken nur bis zur nächsten Wahl. Selbst in Deutschland haben Sie es seit 1972 nicht geschafft, ein Tempolimit auf ihren Autobahnen einzuführen. Obwohl das sicher helfen würde, den Verbrauch von fossilen Brennstoffen stark zu senken.

# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (4)

Ein Erfolg hat bekanntlich oft viele Väter – hier spielen aber auch Mütter eine Rolle. Das amerikanische Original, „The Limits to Growth“ von 1972, nennt vier Autoren: [Donella H. Meadows](#), [Dennis L. Meadows](#), [Jørgen Randers](#) und [William W. Behrens III](#). Die erste deutsche Ausgabe von 1972 (DVA, Deutsche Verlags Anstalt) führt hingegen nur Dennis Meadows auf. Ein Jahr später erschien eine deutsche Taschenbuchausgabe bei rororo mit einem schockierenden Umschlagbild – ein Schnürschuh mit gelbem Grobstrickstrumpf im Schaft zertritt den Erdglobus – und nun werden zwar auch vier Autoren aufgeführt, als erster Dennis Meadows in roter Schrift, gefolgt von seiner damaligen Ehefrau Donella Meadows, aber als weitere Autoren werden jetzt die Deutschen [Erich Zahn](#) und [Peter Milling](#) genannt.

Tatsächlich wurde das Buch von einem interdisziplinären Team am Massachusetts Institute of Technology (MIT) produziert, welches von Dennis Meadows als Direktor geleitet wurde, und u.a. alle oben aufgeführten Personen umfasste. Dabei spielte [Donella Meadows](#) (1941 – 2001) eine herausragende Rolle; in einem Nachruf wird sie als „lead author“ bezeichnet. Sie war Mitarbeiterin von [Jay Forrester](#) (1918 – 2016), der früher das Whirlwind-Computerprojekt am MIT geleitet hatte, den gefädelten Magnetkernspeicher erfand und später mit der Systemdynamik diejenige Simulationsmethodik konzipiert hatte, auf der das „World3“-Simulationsmodell beruhte, das die Grundlage von „The Limits to Growth“ bildete.

*Jay Forrester vor dem Whirlwind-Computer im MIT Digital Computer Lab, 1957*



# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (5)

**Donella Meadows** kam 1992 eine besondere Ehre zu – sie war die erste Frau, die **Ehrendoktorin der ETH Zürich** wurde. Beim 137. ETH-Tag wurde die Urkunde verlesen: *Die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich verleiht mit dieser Urkunde Frau Prof. Dr. Donella H. Meadows*



*in Würdigung ihrer grossen wissenschaftlichen Leistungen bei der Entwicklung eines Weltmodells ökologischer Zusammenhänge und in Anerkennung ihres ausserordentlichen Einsatzes bei der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in Einsicht und adäquates Handeln die Würde eines Doktors der Technischen Wissenschaften ehrenhalber.*

*Fotoshooting für das Gruppenbild mit Dame: **Donella Meadows** in der ersten Reihe zwischen Rektor Hans von Gunten (links) und dem zweiten ETH-Ehrendoktor von 1992, **Ernst Basler** (rechts). [Bildarchiv ETH-Bibliothek, [blogs.ethz.ch/digital-collections](https://blogs.ethz.ch/digital-collections)]*



# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (6)

1992 war das Ehepaar Meadows schon mehrere Jahre lang geschieden. Donella Meadows merkte dazu 1987 an: "We live together amicably [...]. We thought we'd start a new trend called living together after marriage." Es war jedenfalls bemerkenswert, dass sie und nicht etwa Dennis Meadows, der Direktor des „Club of Rome Project on Predicament of Mankind“ am MIT, oder beide Personen zusammen, von der ETH geehrt wurden. Yvonne Voegeli, Mitarbeiterin der ETH-Bibliothek im Bereich wissenschaftshistorischer Sammlungen, schrieb dazu:

„Die Wahl fiel wahrscheinlich weder zufällig, noch kurzfristig auf Donella Meadows. Denn wer hätte sich auf der Forschungsseite besser als Vorbild geeignet für die frisch zu Diplomierenden und die künftigen Studierenden, insbesondere für die noch wenigen weiblichen unter ihnen, als die Universitätsprofessorin aus dem Club of Rome? Donella Meadows war trotz der damaligen gesellschafts- und wissenschaftspolitischen Situation keineswegs eine Alibi-Frau, die nur wegen des Zeitgeists geehrt wurde, ohne wirkliche Verdienste vorweisen zu können. Im Gegenteil: Sie hatte massgeblich das Computermodell mitentwickelt, das den Zukunftssimulationen des Club of Rome zugrunde lag. Zudem verfasste sie die Texte der



Ca. 1970, von links nach rechts: Jay Forrester, Donella Meadows, Dennis Meadows

# Grenzen des Wachstums: Die Autoren (7)

verschiedenen Team-Beiträge in einer allgemein verständlichen Sprache, was wesentlich zur Verbreitung der Ergebnisse in der Öffentlichkeit weit über die akademischen Zirkel hinaus beitrug.“

Im Zürcher Tages-Anzeiger berichtete die Journalistin Barbara Vonarburg am 24. November 1992 aus Anlass der Verleihung der Ehrendoktorwürde in einem längeren Artikel über Donella Meadows und ihre Arbeit. Darin heisst es u.a.: *Findet sie es nicht frustrierend, im Schatten ihres Ex-Mannes zu stehen? Nein, meint sie, das kümmere sie wenig. „Ich bin ziemlich schüchtern und liebe es nicht, im Brennpunkt zu sein.“ Sie versuche aber doch, ihre Rolle bei der Arbeit korrekt darzustellen, dies im Interesse von anderen Frauen. Dass bei der deutschen Ausgabe des ersten Buches nur Dennis‘ Name auf dem Umschlag stand, hätte sie nicht erlaubt, wenn sie davon gewusst hätte. Und am Ehrendokortitel der ETH, den sie vergangenen Samstag erhalten hat, freut sie besonders, dass damit erstmals eine Frau ausgezeichnet worden ist.“*



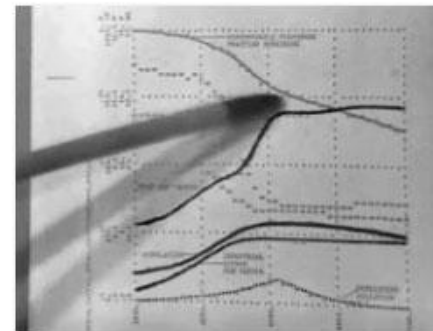
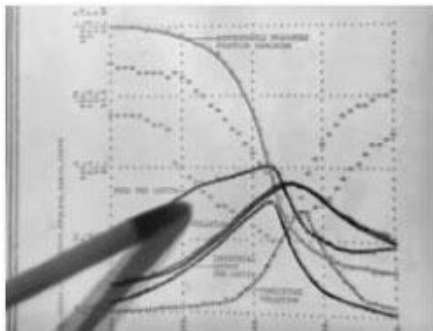
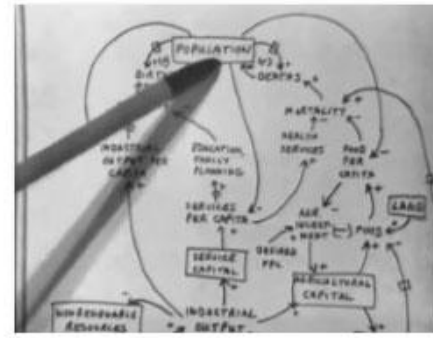
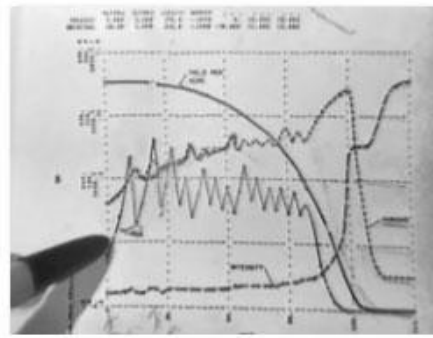
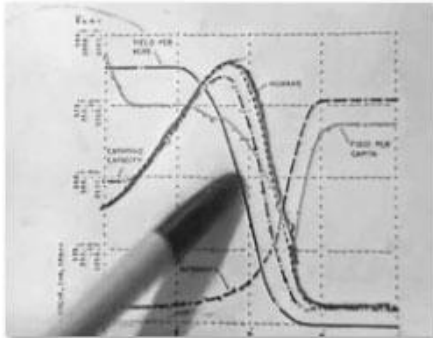
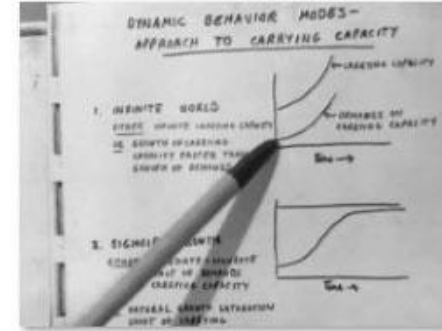
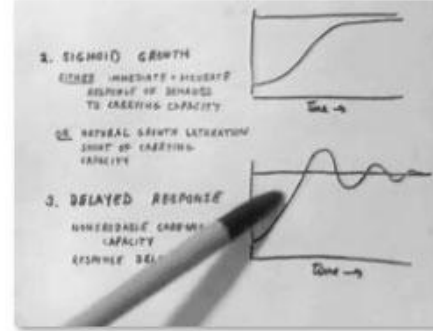
Donella Meadows, 1941 – 2001

Udo E. Simonis schrieb zu Donella Meadows: Dana, wie ihre Freunde sie liebevoll nannten, war eine führende Stimme im globalen Nachhaltigkeitsdiskurs. Und sie wurde gehört – mit ihren anderen Büchern, aber auch und besonders durch ihre wöchentliche Kolumne „The Global Citizen“, die seit 1985 regelmäßig erschien, vielfach abgedruckt wurde und mehrere Preise erhielt. Dana war eine vielseitige lokale Aktivistin mit globaler Perspektive: 27 Jahre lang hat sie einen organischen Bauernhof geführt, ein Ökodorf und das „Sustainability Institute“ gegründet. Ihre Mutter nannte sie eine „Earth missionary“, eine Erd-Missionarin. Sie selbst beschrieb sich einmal als „engagierte Kolumnistin, ewige Spendeneintreiberin, leidenschaftliche Gärtnerin, Opernliebhaberin, Bäckerin und Bäuerin, Lehrerin und weltweit emsige Stechfliege“.

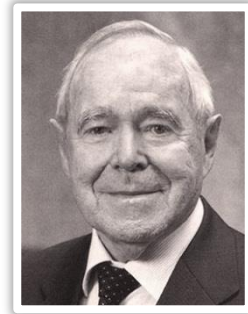


# Donella Meadows bei einer Vorlesung 1977

Donella Meadows war wesentlich an der Entwicklung des Weltmodells beteiligt sowie „leading author“ von „The Limits to Growth“; 1972 wurde sie Professorin am Dartmouth College.



# Ernst Basler – Raumschiff Erde



Zusammen mit Donella Meadows erhielt 1992 auch der Schweizer Bauingenieur und Unternehmer **Ernst Basler** die Ehrendoktorwürde der ETH Zürich. Basler war ebenfalls ein Pionier des ökologischen Nachhaltigkeitsdenkens und nahm teilweise Erkenntnisse des Club of Rome in Vorlesungen und Veröffentlichungen vorweg. In seinen Vorträgen übernahm Basler den bildhaften Begriff vom „Raumschiff Erde“ – von der britischen Ökonomin und Ökologin Barbara Ward (1914 – 1981) durch ihr Buch „Spaceship Earth“ 1966 populär gemacht und Ende der 1960er-Jahre durch die Fotos der Apollo-Raumflugmissionen von der weit entfernten Erde in Szene gesetzt. In einem Referat im November 1970 an der ETH Zürich vertrat er die These, die Menschheit müsse dazu kommen, einzusehen, dass sie auf einem Raumschiff lebe, mit beschränkten Ressourcen an Energie, Sauerstoff etc. und mit einem biologischen Haushalt, der nicht ungestraft gestört werden darf. Überleben bedeute somit „raumschiffgerecht leben und wirtschaften“. Anlässlich der Vorstellung des Buches „Endliche Erden“ zu seinem Leben und Schaffen erschien Anfang 2018 ein Interview im Blog seiner Firma; hier einige Auszüge:

**Frage:** Was hat Sie Anfang der 1970er-Jahren dazu gebracht, öffentlich vor den negativen Folgen eines weiteren ungebremsten Wachstums zu warnen?

**Ernst Basler:** Für mich waren damals drei Erkenntnisse ausschlaggebend: Erstens, dass Bevölkerung, Wirtschaft und Konsum und damit Umweltbelastungen und Ressourcenverbrauch nicht linear mit der Zeit ansteigen, sondern exponentiell. Zweitens, dass unser Lebensraum, die Biosphäre, beschränkt ist: Sie ist nur ein hauchdünner Schleier um den Erdball und dieser ein einsames Raumschiff in der Unendlichkeit des Universums. Und drittens, dass der Mensch bereits so zahlreich und mächtig ist, dass er in der Lage ist, Prozesse von der gleichen Grössenordnung auszulösen, wie sie in der Natur vorkommen. Die Schlussfolgerung lag für mich auf der Hand: Unbeschränktes Wachstum auf beschränktem Raum führt auf die Dauer zur Zerstörung unserer Lebensgrundlagen.

**Frage:** Sie begnügten sich nicht mit der Rolle des Mahners, sondern setzten sich intensiv damit auseinander, wie die Menschheit auch auf begrenztem Raum mit endlichen Ressourcen prosperieren kann. Dafür verwendeten Sie als einer der Ersten den Begriff „Nachhaltigkeit“. Wie kamen Sie darauf?

# Ernst Basler – Nachhaltigkeit

**Ernst Basler:** Ich stiess im Gespräch mit einem Forstingenieur zufällig auf diesen Begriff aus der Waldwirtschaft. Als er mir erklärte, was mit „nachhaltig“ gemeint ist, nämlich dass der Förster in einem Jahr nur so viel Holz schlägt, wie im gleichen Zeitraum nachwächst, wusste ich sofort: Das ist der Ausdruck, nach dem ich lange gesucht hatte, ein eingängiges deutsches Synonym für das englische „sustainable development“.

Ich war überzeugt, dass sich „Nachhaltigkeit“ als Metapher für den gesamten Umgang mit der Biosphäre eignet. Es war der Globalausdruck für einen Gleichgewichtszustand ohne übermässiges quantitatives Wachstum und ohne langfristige Übernutzung unserer Lebensgrundlagen. 1972 verwendete ich den Begriff in meinem Buch „Strategie des Fortschritts“ und in einer Artikelserie in der „Neuen Zürcher Zeitung“ in diesem Kontext. 1987 prägte die Brundtland-Kommission dann mit ihrem Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ das Konzept der nachhaltigen Entwicklung, wie es heute in aller Munde ist.

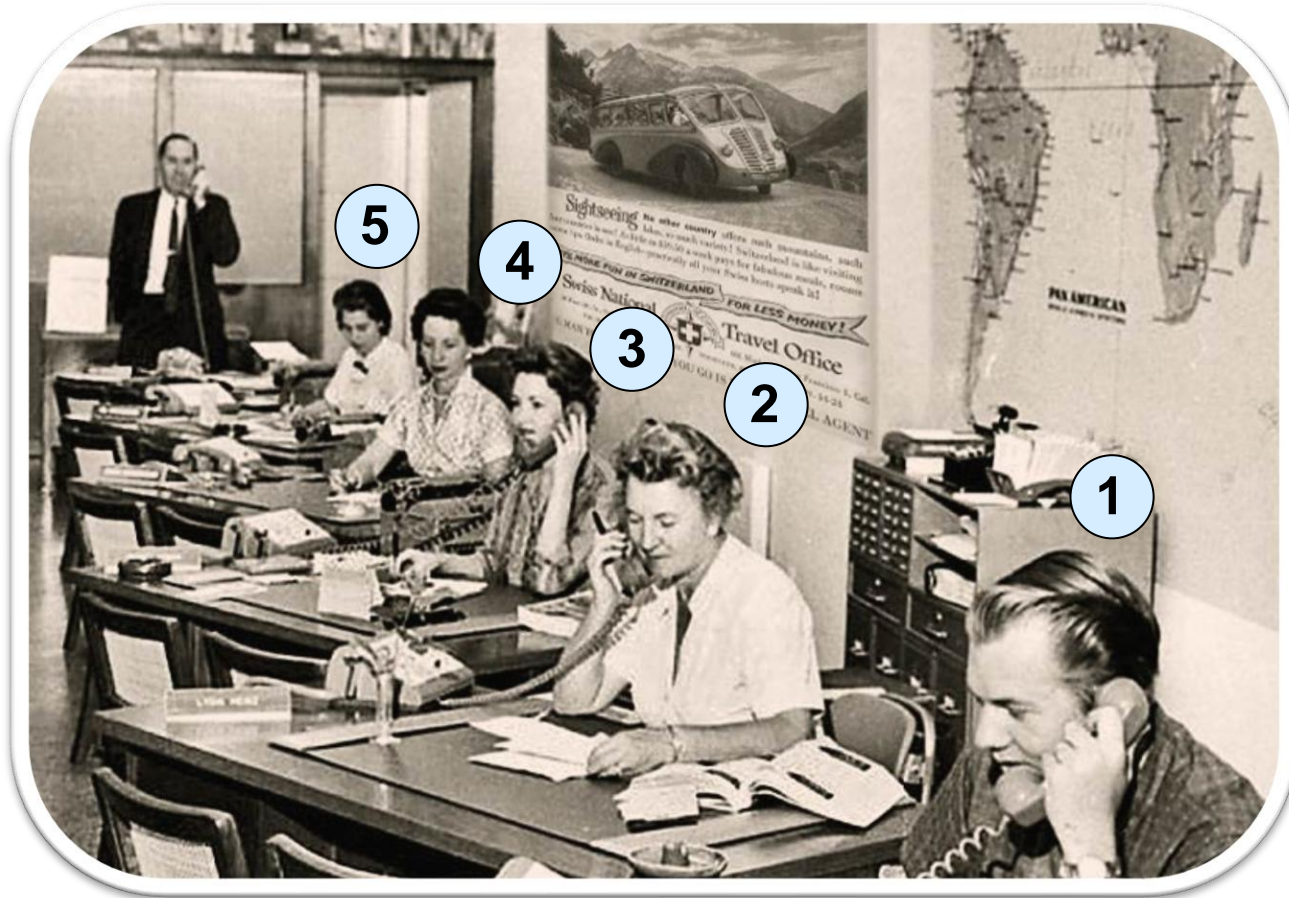
*Ernst Basler (geb. 1929 in Thalheim an der Thur, ZH) studierte nach der Sekundärschule in Andelfingen und der Kantonsschule in Winterthur (ebenso wie später sein Zwilingsbruder und langjährige SVP-Nationalrat Konrad) von 1949 bis 1954 Bauingenieurwesen an der ETH Zürich, gefolgt von einem viersemestrigen Studienaufenthalt am MIT. Dissertation 1960 an der ETH Zürich zu „Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken“, worin die Bruchwahrscheinlichkeit von Gebäudeteilen mit statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden formalisiert wird. 1963 Mitbegründer des Ingenieurbüros Basler & Hofmann, aus der 1981 die Firma Ernst Basler & Partner AG (EBP) in Zollikon hervorging. 1969-70 Gastdozent am MIT, dabei Entwicklung der Idee des nachhaltigen Wirtschaftens.*



Ende des historischen Exkurses

# Zurück zur **Simulationstechnik**: Eine weitere Simulationsanwendung

Telefonische Buchung bei einem **Call-Center**



# Eine weitere Simulationsanwendung

## Telefonische Buchung bei einem Call-Center

- 1) 5 Angestellte nehmen Buchungen entgegen
- 2) 18 Telefonverbindungen (d.h. bis zu 13 Anrufende warten)
- 3) „Bitte etwas Geduld“, wenn alle Angestellten belegt
- 4) Angest. wird frei → am längsten wartende Person bedienen

Warteschlange

- 5) Endgültiger Verzicht eines Kunden, wenn keine Verbindung mehr vorhanden oder wenn Wartebereitschaft überschritten
- 6) Wartebereitschaft normalverteilt (im Mittel 4 Minuten)
- 7) Zwischenankunftszeiten exponentialverteilt (20 Sek.)

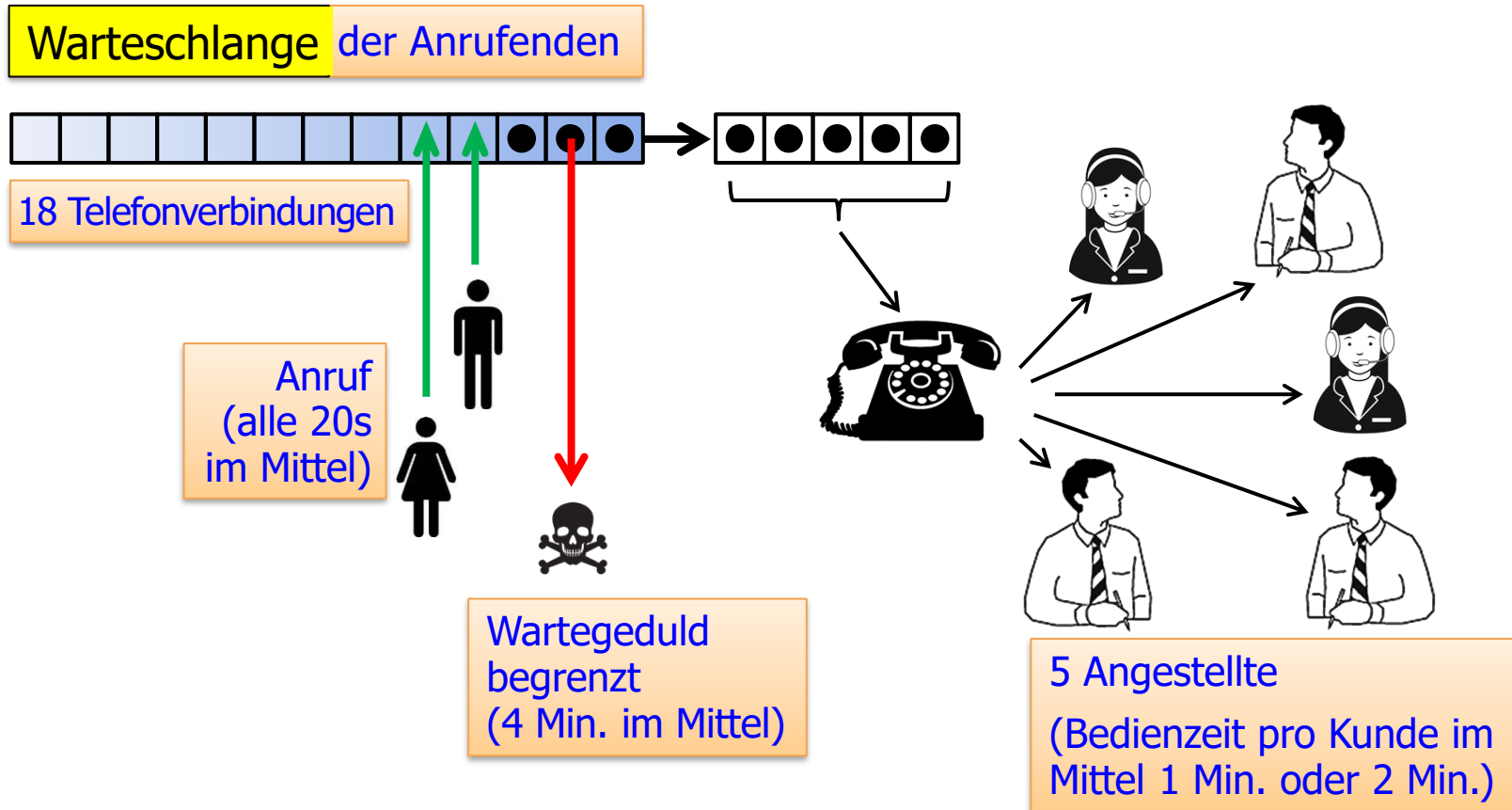


- 8) Bedienzeit exponentialverteilt  
(Bei 25% der Anrufe im Mittel 1 Min.; 75% 2 Min.)

Stochastische Simulation  
(→ Zufallszahlengenerator)

# Systemspezifikation

Man kann diese Art der Modellierung und Simulation auch als „**agentenbasiert**“ bezeichnen: Es gibt unterschiedliche Typen von Handlungsträgern („Agenten“) – individuelle Kunden und Angestellte, die einen (primitiven) Lebens- bzw. Handlungszyklus befolgen und miteinander wechselwirken.



# Telefonische Flugbuchung 1937

5 Angestellte nehmen Buchungen entgegen



*United Air Lines reservation office, Cleveland Airport, 1937: „...and sell him a round trip“.*

Bei wenigen zu verwaltenden Daten bzw. Sitzplätzen wurde die Arbeit noch mittels einer zentralen Führung einzelner Buchungslisten erledigt; dies konnte jedoch nicht hochskaliert werden, weshalb vor dem Einzug des Computers zunächst andere organisatorische Mittel angewendet wurden: →

# Telefonische Buchung bei der Eisenbahn



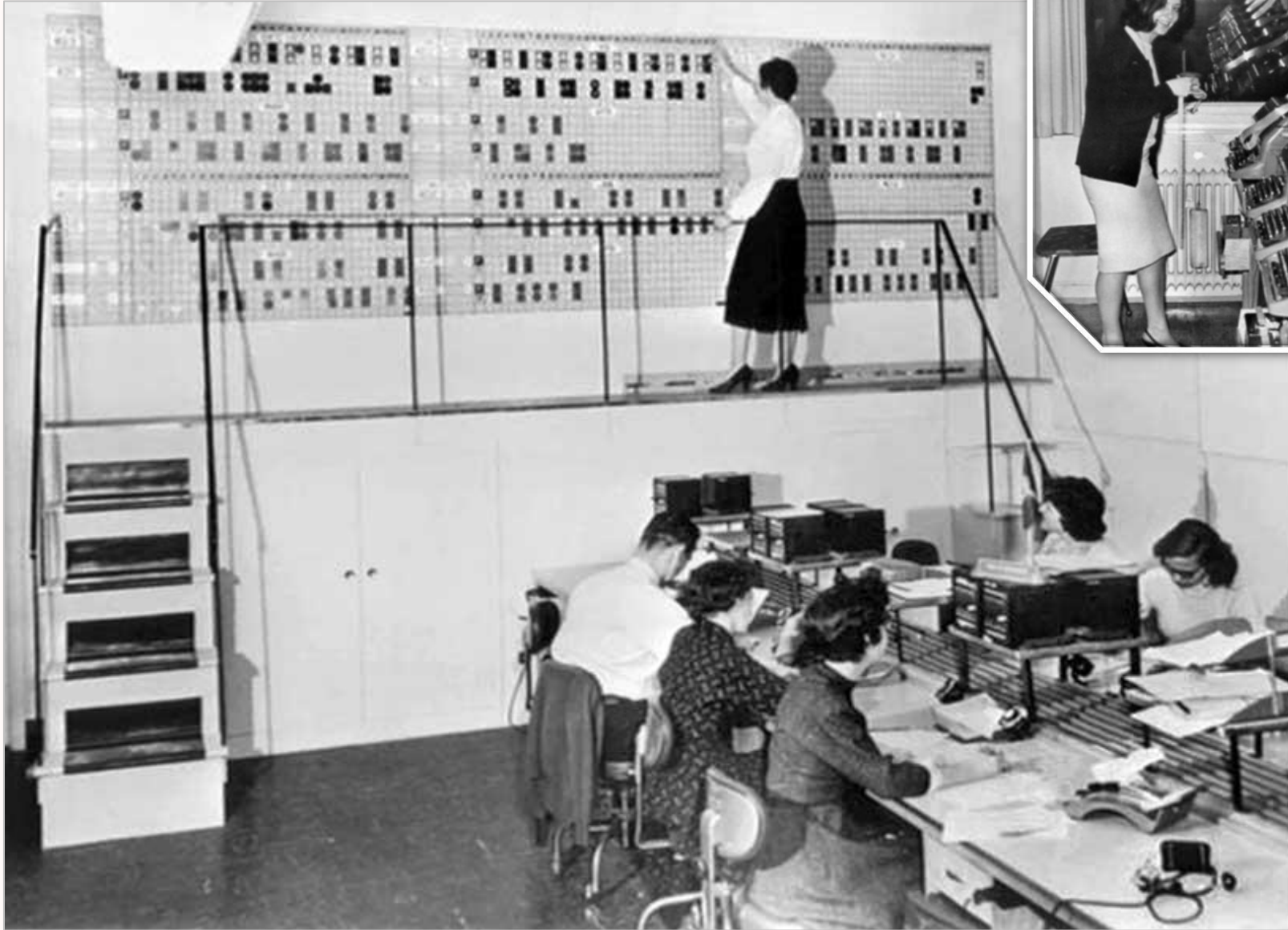
**Zentrale Reservierung** von Schlafwagenplätzen (später auch von Sitzplätzen) bei der schwedischen Eisenbahn. Airlines orientierten sich zunächst an diesem bewährten Modell.

Der Zugang für Reisebüros, Fahrkartenverkaufsstellen und Kunden erfolgte per Telefon. An einer „Telefonzentrale“ (links vorne im Bild) wurden eingehende Anrufe an freie Angestellte weitervermittelt.

Die zentralen Buchungslisten wurden manuell geführt, die Buchungsunterlagen waren in Ordnerdrehsäulen angeordnet, auf die alle Angestellten an einem runden Tisch einfach Zugriff hatten.



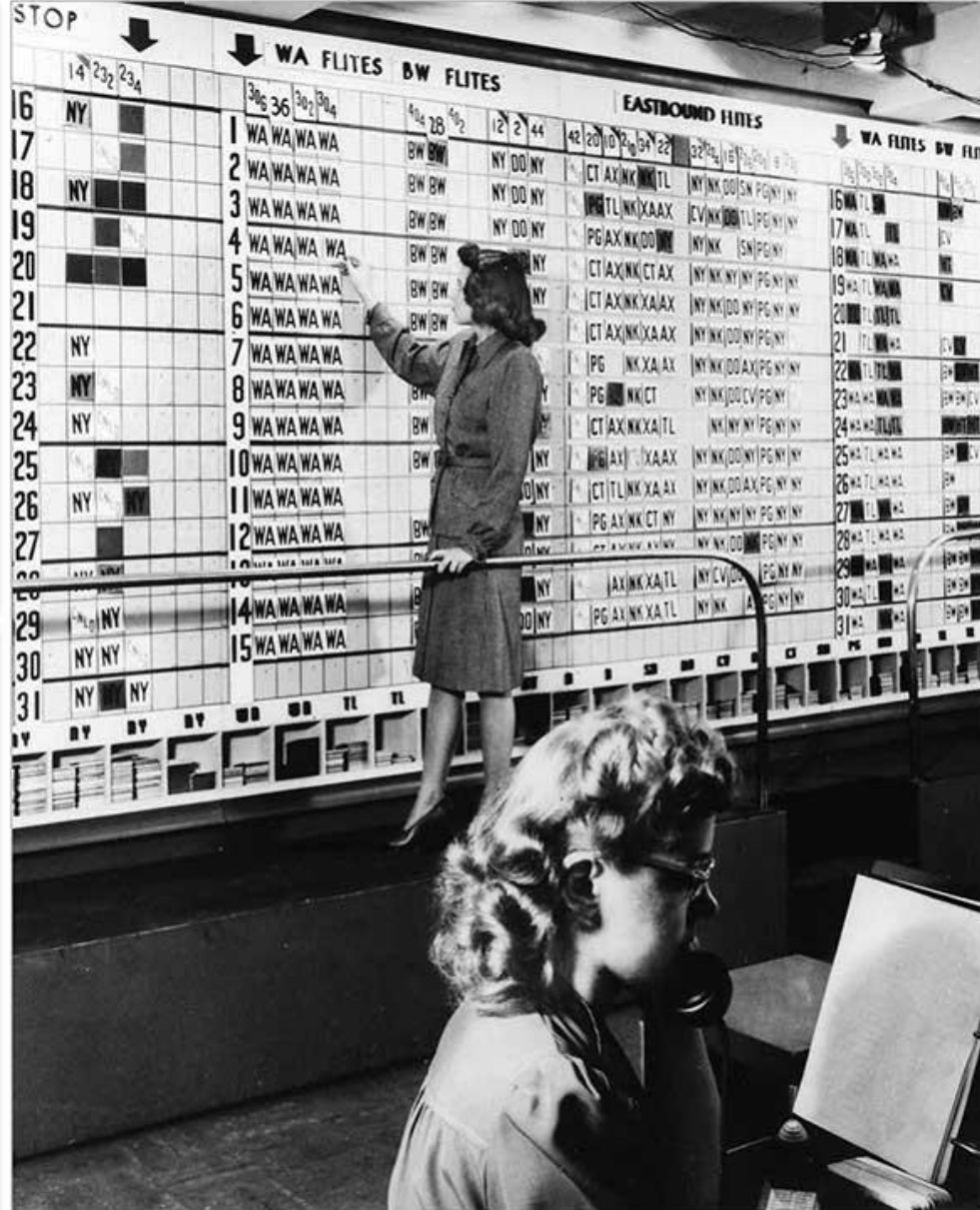
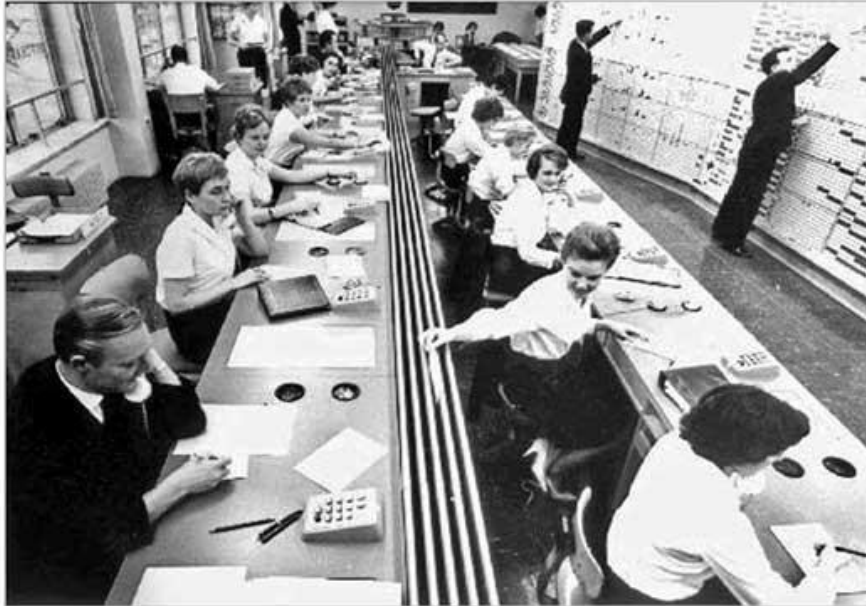
# Telefon. Flugbuchung ca. 1960



Oben: Kommunikation mit den Filialen per Fernschreiber.

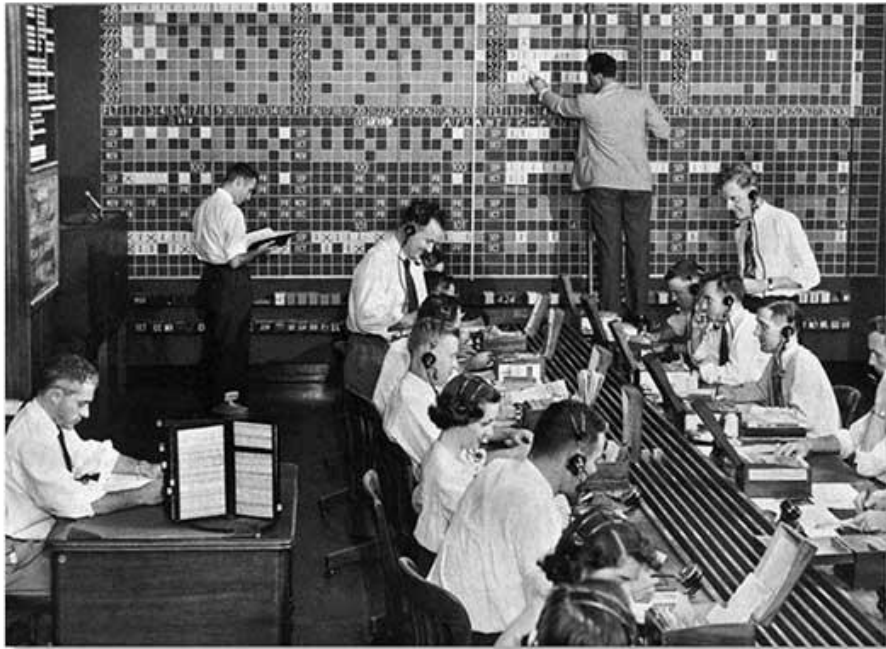
Ohne Computer bzw. elektronische Datenbanken war die Verwaltung der Flugzeugsitzplätze mühsame Arbeit.

Links: Tel. Buchung bei der Lufthansa; dabei hält eine zentrale Schautafel den Belegungszustand fest.



“Reservation operators sat around **circular tables** with scores of index cards – one for each flight – housed on a **rotating shelf** (a ‘Lazy Susan’). To book a seat, the operator would have to find the flight’s index card, mark it to indicate the booked seat, and write the flight ticket out by hand. The process would take 90 minutes for each reservation.” <https://retool.com/blog/air-travel-software/>

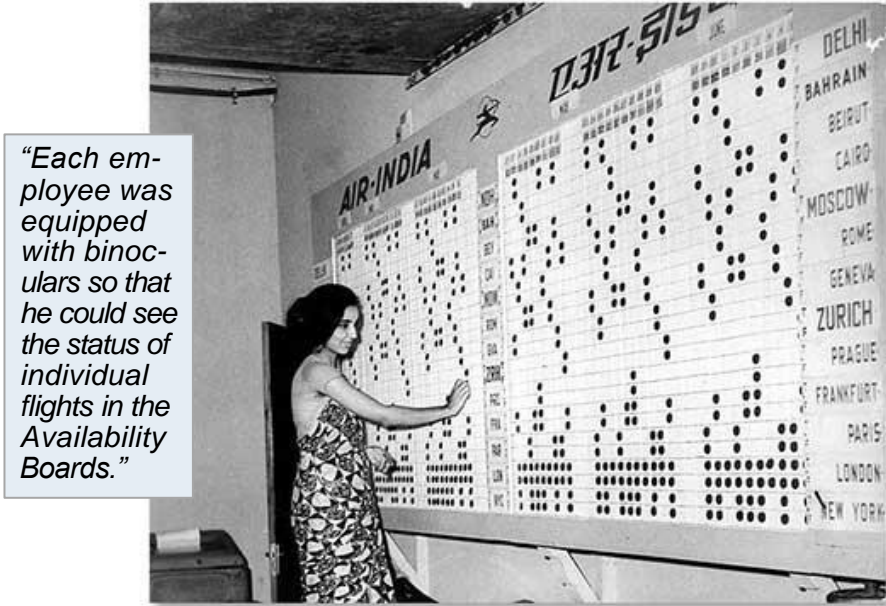
LH Systems / Lufthansa



<https://images.computerhistory.org/revonline/images/500004534-03-01.jpg?w=600>

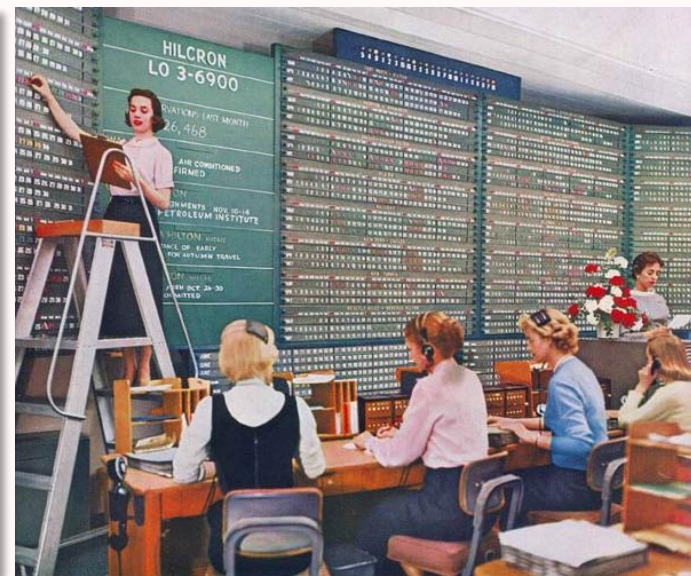
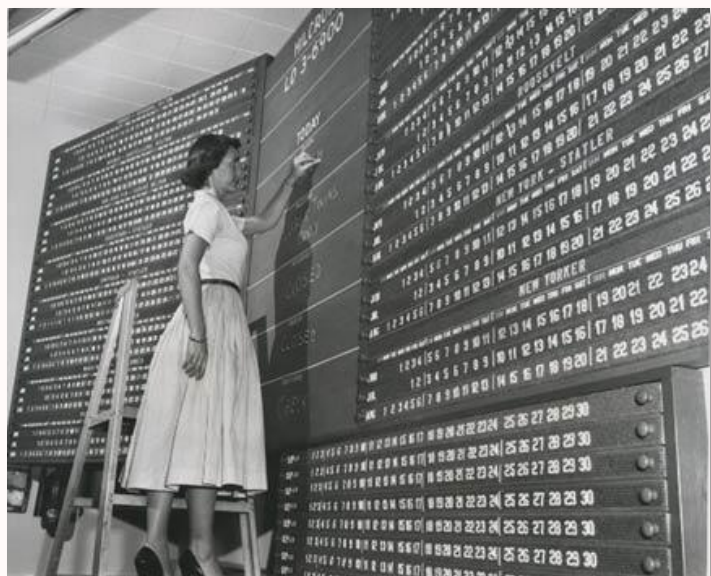
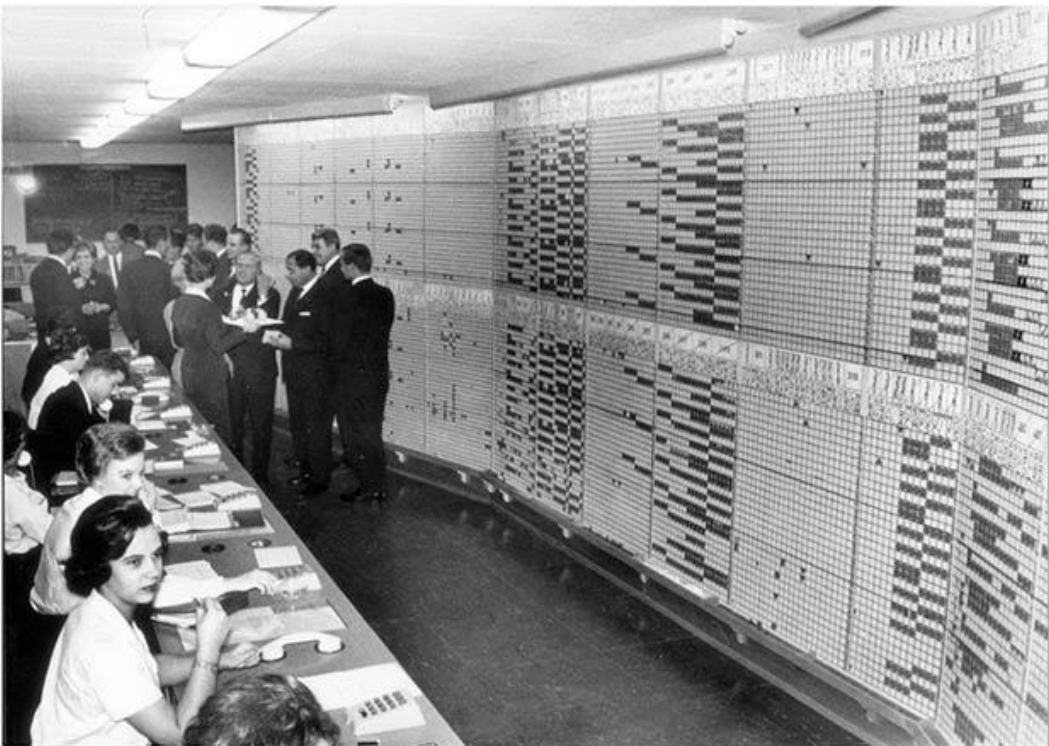


<https://hostagencyreviews.com/blog/what-is-gds>



*“Each employee was equipped with binoculars so that he could see the status of individual flights in the Availability Boards.”*

[https://images.outlookindia.com/public/uploads/gallery/20121024/air\\_india\\_20121105.jpg](https://images.outlookindia.com/public/uploads/gallery/20121024/air_india_20121105.jpg)



Grosse Schautafeln zur Visualisierung des Belegungszustands bei telefonischen Buchungen wurden nicht nur von den Airlines verwendet, sondern beispielsweise ab Mai 1955 bis in die 1970er-Jahre auch vom Hotelkonzern Hilton („one telephone call will give you immediate service on room reservations at Hilton Hotels around the world“).



### The Electronic Brain that solves Passenger Problems

In 1946, American Airlines introduced an automatic unit which vastly increased the speed and efficiency of passenger reservations.

In 1952, in its reservation office and ticket counter at LaGuardia Airport, New York, American Airlines began the use of an electronic device even more extensive in nature

that still further mechanizes the reservations handling and eliminates the chances for human error.

This new unit, developed at a cost of \$500,000, is called the "Magnetronic Reservisor." It is in effect an electronic brain, which is capable of handling and storing over

1,000,000 passenger reservations per day.

Product of unceasing research by American to find more efficient ways of serving the public, the "Magnetronic Reservisor" is only one of many milestones in the history of air transportation that have been introduced by American Airlines.

NO. 10 IN A SERIES OF ADS SHOWING THE PROGRESS OF AIR TRANSPORTATION



AMERICA'S LEADING AIRLINE **AMERICAN AIRLINES** INC.

American Airlines veröffentlichte von 1951 bis 1953 im Fortune Magazine elf verschiedene Anzeigen, die vom amerikanischen Comiczeichner und Illustrator Noel Sickles (1910– 1982) mit heroischen Kriegsmotiven und löblichen Erfolgstaten der Fluglinie gestaltet wurden. Dazu gehört auch die Anzeige von 1953 zum [Elektronengehirn](#) von 1952, [das Passagierprobleme löst](#).

Zum ["Reservisor"-System](#) von American Airlines ein Textauszug von <http://aviationtrivia.blogspot.com/>:

“The first pilot system was a massive room of switches, relays, and plugs called ‘The Brain’ which was installed in the Boston reservations office in 1946. Agents used a small device that looked like the early adding machines used by accountants. ‘The Brain’ replied on the agent's terminal if space was available – a green light meant space was available for booking, an amber light meant the flight was sold out. A one-year pilot of the Reservisor at the Boston office showed two hundred additional passengers could be booked each day with twenty less personnel.

The Reservisor as it was was a quantum leap over what American had done before and because the airline wanted accuracy and reliability, Teleregister incorporated [redundancy](#) into the Reservisor system. The challenge at that point wasn't just addressing the last step of the reservations process but to also speed up the system and increase its memory capacity as the airline not only grew but added faster aircraft like jets.

[Drum memory](#) is what replaced the relays and switches of ‘The Brain’ of the first version of Reservisor. The new upgraded Reservisor was called the [Magnetronic Reservisor](#) and first went into operation in [1952](#) at American's reservations office at New York La Guardia Airport. The system had a response time of one second and the drum unit could hold data for 1000 flights up to 10 days in advance. Four years later, a larger unit was installed in the West Side of New York City that had a half-second response time and could store data for 2,000 flights up to 31 days in advance.”

# Magnetronic Reservisor Automatically Handles Airplane Space Availability

An electronic "brain," the first of its kind in commercial use, has been put into service by American Airlines in New York, N. Y. The Magnetronic Reservisor is designed to keep accurate and up-to-the-moment information on seats available and to reduce to a matter of seconds the time it takes to make a passenger's reservation.

Developed jointly by American Airlines and The Teleregister Corporation at a cost of about \$500,000, the machine represents 8 years of effort during which the tremendous growth of air travel brought the reservations problem to a crisis. It is the first application of the electronic digital computer principle to a commercial inventory problem.

By simple manipulation of keys on an agent set resembling a small adding machine, a ticket or reservations agent can determine, in a matter of seconds, space available and make or cancel reservations.

The Magnetronic Reservisor puts the entire inventory at the fingertips of both the reservations agents and the ticket agents. Ticket agents no longer need to call the Reservations Office to determine space or to make or cancel reservations. It is all done by push-button electronics.

The brain, housed in a specially air-conditioned room in American's hangar at LaGuardia Airport, consists of a battery of electronic tubes which do the necessary

computing, and a "memory" in which is stored the inventory of seats. The memory consists of two magnetized drums which rotate at 1,200 rpm.

A running inventory of space on more than 1,000 American Airlines flights for a period of 10 days is recorded on the surface of the drums in the form of tiny areas of magnetized material.

The agent sets have access to the brain through direct cable from the Reservations Office in a nearby room and through leased lines from the remote ticket offices throughout the metropolitan area.

As an example of how the Reservisor works, assume that a passenger has requested three reservations for a flight from New York to Chicago: 1. The agent selects a destination plate from a file at his elbow. This plate is notched, much as a house key. 2. He inserts the plate in a slot behind eight lucite push-button lamps on the agent set. This sets up the connection with specific areas of the memory drum containing data on the proper flights. The sections of the plate above the eight lucite keys have printed data on flight number, departure time, and so forth, for each of eight flights. 3. The agent then pushes buttons designating the date and number of seats requested, and activates the "availability" key. 4. In as little as 3/4 of a second the Reservisor

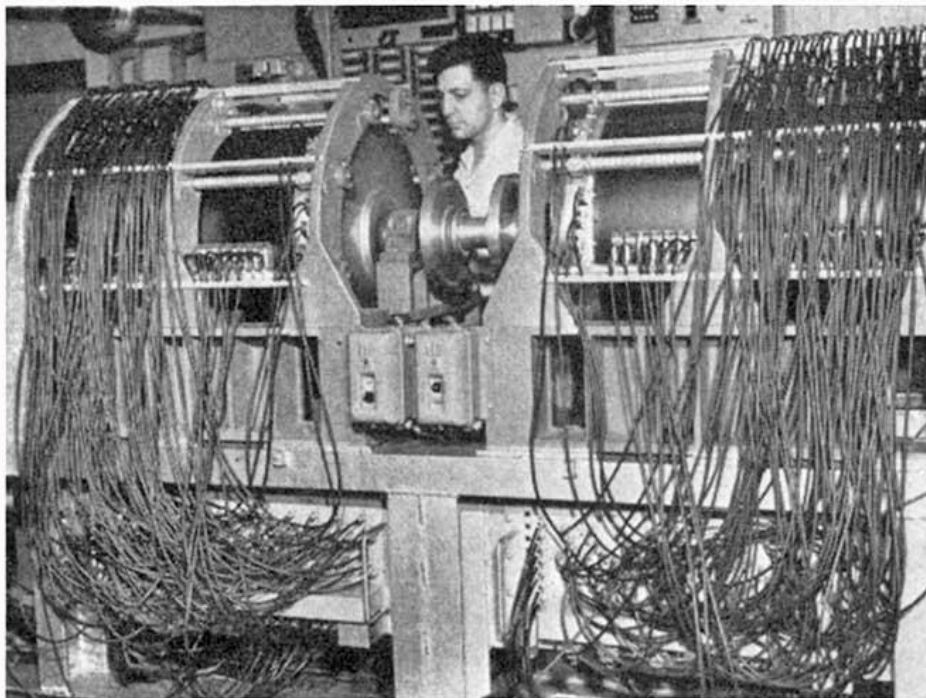
1952 beschreibt ein Artikel in der Zeitschrift „Electrical Engineering“ das weltweit erste elektronische Reservierungssystem. Es dient zur Sitzplatzbuchung bei der American Airlines. Ein Auszug:



responds by lighting the lucite lamps corresponding to those flights which have at least three seats available. 5. The passenger makes his choice of flight, the agent depresses the lighted lucite key for that flight and flips a key to "sell." 6. In as little as 1/4 of a second, a green light on the agent set indicates that the machine has completed the transaction, subtracting three seats from the inventory for that flight on the drum. →

To insure a high degree of accuracy in 24-hour-a-day service, the Reservisor is equipped with two complete Magnetronic systems, functioning simultaneously in synchronism. Automatic checking equipment continuously compares the performance of one system against another. If at any point

in the handling of an agent-set call both systems are not similarly conditioned, the call is stopped, the error lamp on the agent set lights, and an alarm is sounded. At the same time a page printer records the attempted operation and the progress made up to the time of disagreement.



**The “Memory” maintains the 10-day flight inventory as magnetized spots on the surface of the Reservisor’s rotating storage drums, which turn at 1,200 rpm. Requests are routed from the computer which adds to or subtracts from the inventory and then sends the answer back to the agent’s set**



Groundhostess am Terminal des „magnetronic reservisors“ und Businessman mit Hut als Kunde.

Aus einer Broschüre der Firma Teleregister von 1954: *Inventory control is a major problem for airlines, railroads and other transportation systems. Fast, accurate handling of reservations and sales of available space is vital. Without up-to-the-second control of sales, carriers risk loss of income; they impair their public relations; they create confusion among operating personnel. TELEREGISTER devised and installed the first successful commercial electronic inventory control system, the Magnetronic Reservisor, in 1952, using a magnetic storage drum to store information.*

*TELEREGISTER and American Airlines spent eight years in electronic research, testing and development before this pioneer reservations system was placed in operation at LaGuardia Airport in New York City in 1952. Today an agent can determine the availability of space, within seconds, on up to 1,000 flight legs per day for a twelve-day period.*



*Ein „reservation agent“ von American Airlines nutzt den Magnetronic Reservisor (Werbung Ende der 1950er-Jahre).*

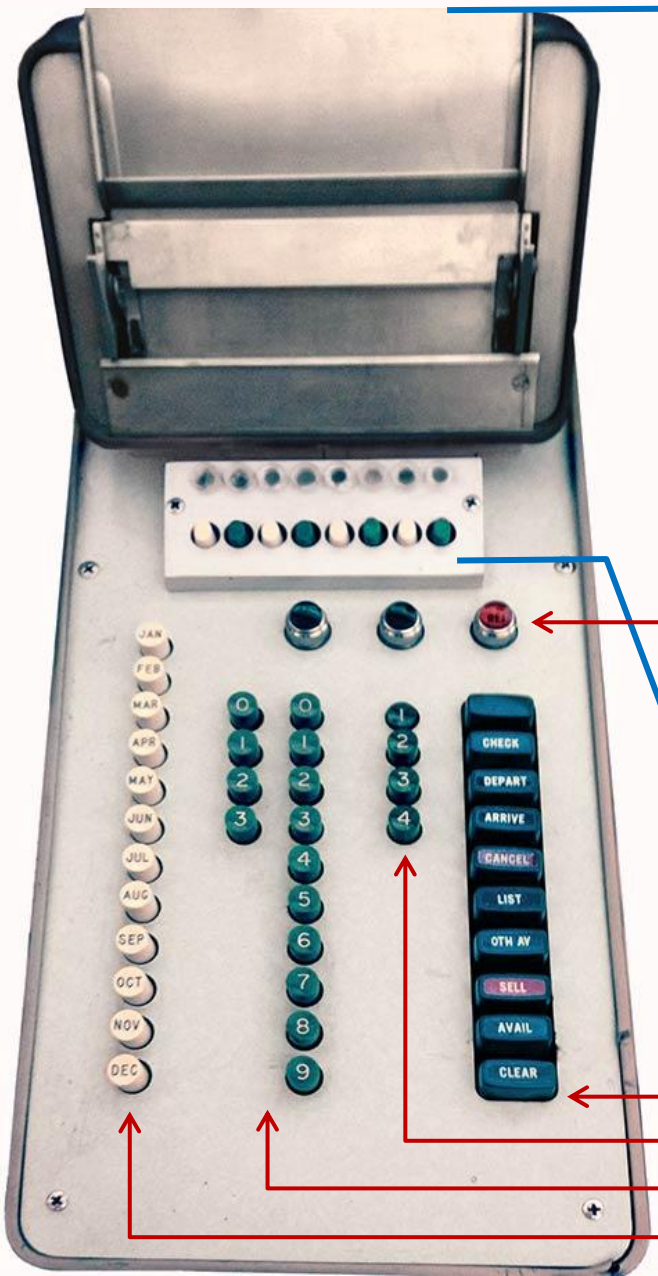
*Ein modernisierter „agent set“ des Magnetronic Reservoirs aus den 1960er-Jahren.*

Teleregister wurde in den 1920er-Jahren gegründet, um Börsenwerte mit **automatisierten Anzeigetafeln** anstelle handschriftlicher Angaben auf Kreidetafeln anzuzeigen. Grosse mechanische Teleregister-Anzeigetafeln wurden in vielen Maklerbüros installiert, und Teleregister wurde zum Marktführer dieser Technologie.

Das System von American Airlines funktionierte so gut, dass es bald auch Teleregister-Systeme bei mehreren **anderen amerikanischen Fluglinien** gab, darunter TWA.








Response lights

Flight operation strip ("plate")

Lights  
Push buttons

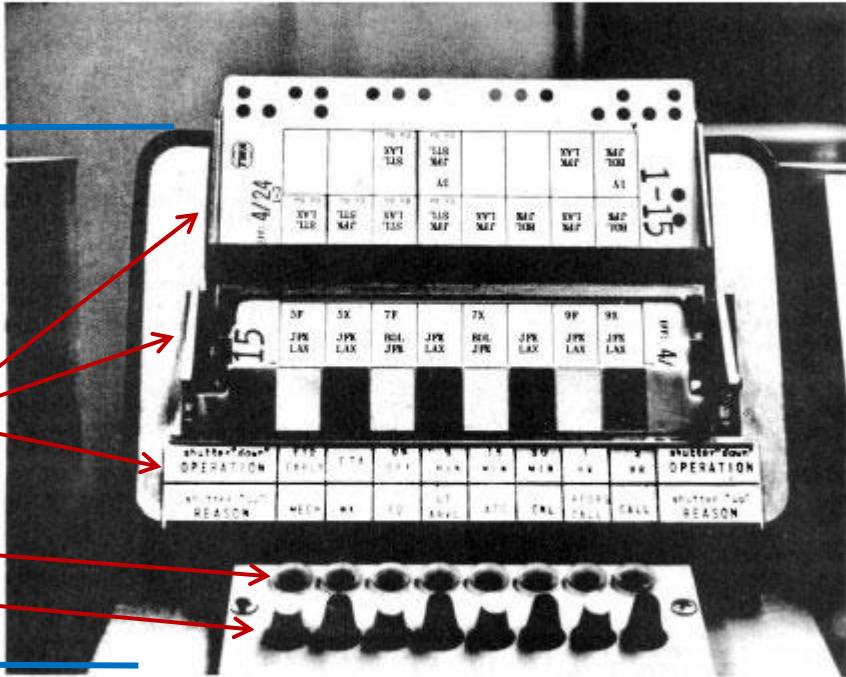
Action keys  
Seat keys  
Date keys  
Month keys

Marketing Training Center  
 **RESERVATIONS TRAINING MANUAL** Sep-1-66

TELEFLITE RESERVATIONS SYSTEM

**FLIGHT OPERATION STRIP**

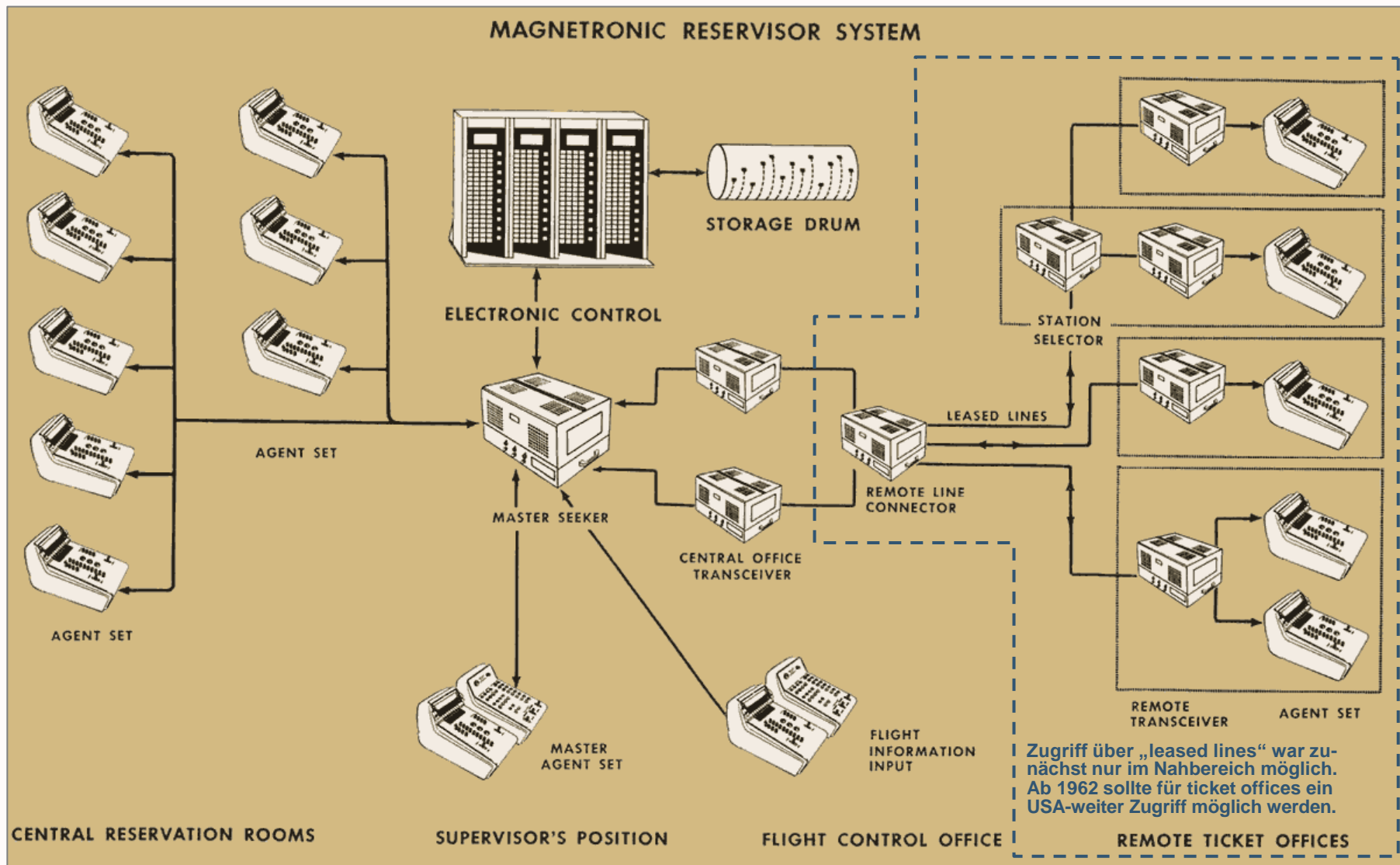
The Flight Information Strip makes available arrival and departure information for flights in and out of your station along with the reason(s) for any non-routine operation.



**BASIC FLIGHT INFORMATION RULES**

For Flight Arrivals or Departures:  
 First, push button under any flight number.  
 Second, shuttle up, then push arrive or depart button, below.  
 Lights will indicate, ETD, ETD Early, ETA by minutes.  
 Third, shuttle down, then push arrive or depart button, again.  
 Lights will indicate the reason, or for agent to call.

# SCHEMATIC DIAGRAM SHOWING ELEMENTS IN TYPICAL TELEREGISTER MAGNETRONIC RESERVISOR SYSTEM (1956)



Beim Magnetronic Reservisor handelt es sich um ein **spezielles elektronisches System**, aber noch nicht um einen Universalcomputer, der softwaregesteuert Buchungen verwaltet. Dies kam erst in den 1960er-Jahren. Die Terminals („agent sets“) waren in der Praxis in einem zentralen Grossraumbüro aufgestellt, Filialen und Reisebüros mussten dieses telefonisch kontaktieren, es war **kein weit entfernter Online-Zugriff** möglich.

# Magnetronic Reservisor bei TWA

Die Fluggesellschaft TWA („Trans World Airlines“) wurde 1936 erst unter anderem Namen gegründet und 1950 in TWA umbenannt. Der legendäre und etwas skurrile Flugpionier und Filmregisseur Howard Hughes machte TWA schliesslich zur grössten Fluggesellschaft der Welt. Die Fluglinie wurde allerdings 2001 zahlungsunfähig und von American Airlines übernommen.



www.nbcnews.com/id/wbna40769604 – Chicago Midway, 1961

Die TWA-Mitarbeiterzeitschrift „Skyliner“ brachte 1958 untenstehendes Bild und schrieb dazu: „New York reservations, largest reservations office in the TWA system, is shown in this wide-angle shot, which emphasizes the old and the new. Two agents can be seen scanning the availability board through binoculars. In the foreground, center, is an agent’s handset of the new magnetronic reservations system.“

## Magnetronic Teleflite System To Speed TWA Reservations Service



NEW YORK -- A compact electronic “know-it-all, tell-it-all,” only 18 inches long, 8 inches wide and 9 inches high, will soon put **within fingertip reach** of reservations and ticket agents complete, **instantaneous** and **up-to-the-second** status information about TWA flights over 35,000 miles of system routes.



Betonnt wird in den Berichterstattungen zum Reservisor-System wiederholt, dass Information nun „at the fingertips“ verfügbar sei. Der Slogan „**Information at Your Fingertips**“ wird dann in den 1970er-Jahren das Motto der „Information Industry Association“ und ab 1990 so populär, dass dafür sogar die Abkürzung „IAYF“ entstand.

# Univac Airlines Reservations System



[https://digital.hagley.org/1985261\\_303](https://digital.hagley.org/1985261_303)



[https://digital.hagley.org/1985261\\_316](https://digital.hagley.org/1985261_316)

1957 demonstrierte UNIVAC ein Reservierungssystem, das nicht auf einer speziellen Hardware basierte, sondern einen zentralen **Universalcomputer** nutzte – die **Programmierbarkeit** einer „variablen“ Anwendungssoftware wurde als „extreme Flexibilität“ angepriesen. Die Antworten des Computers auf eine Buchungsanfrage oder eine Verkaufs- bzw. Stornierungstransaktion eines Sitzplatzes wurden am Terminal durch 36 Lämpchen angezeigt. Ein Ausschnitt des Flugplans wurde von einer auswechselbaren Folie auf eine Glasscheibe projiziert, die Identitätsmarkierungen der Folie wurde dabei von Fozellen abgetastet. Neben Eastern Airlines (1958) nutzten ab 1959 auch Northwest Airlines und ab 1960 Capitol Airlines das System.

# SABRE

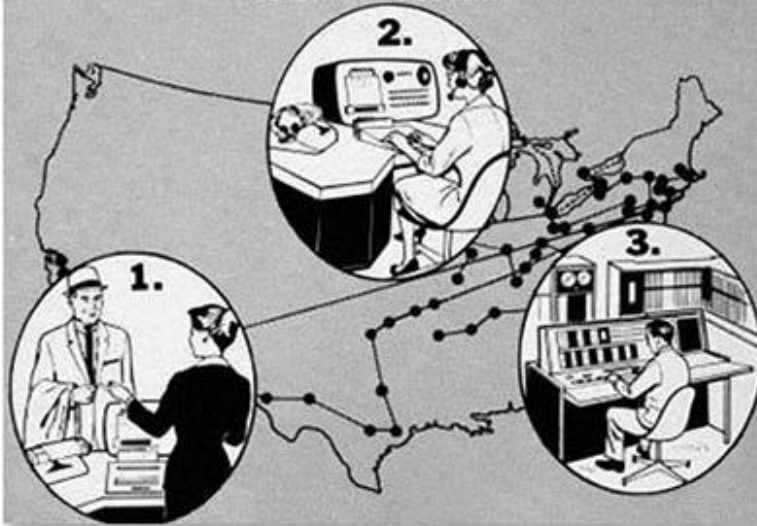
“Push-buttons-to-computer speed air travel reservations” – Werbeslogan der American Airlines



SABRE wurde Ende der 1950er-Jahre von IBM in Zusammenarbeit mit American Airlines entwickelt. Beide Partner brachten wertvolle Kompetenz in das Vorhaben ein: **IBM** hatte zuvor im SAGE-Projekt (dem ersten computergestützten Luftverteidigungssystem der USA und Kanadas) Erfahrung mit interaktiv bedienbaren Realzeitsystemen gewonnen, **American Airlines** konnte wegen seiner Vertrautheit mit dem Magnetronic Reservisor und dem Management einer grossen Flugzeugflotte die Bedürfnisse der Luftfahrtindustrie im Bereich der Informationstechnik für das bevorstehende Jet-Zeitalter gut abschätzen.

1960 wurde SABRE testweise eingesetzt, ab **1964** wurde es produktiv für alle Buchungsfunktionen verwendet. Die wesentliche Neuerung war eine **elektrische Schreibmaschine**, die als „teletype“ („tty“) zur Kommunikation mit dem zentralen Computer in einem entfernten Rechenzentrum diente. Zusätzlich gab es „**Air Information Cards**“, die sowohl lesbare Informationen für den menschlichen „agent“ als auch maschinenlesbare Lochungen enthielt, sodass das Terminal eine Karte identifizieren konnte. Die Karten wurden in eine Konsole oberhalb der Schreibmaschine eingelegt; mit Tasten links und oben davon konnte einfach ein Feld (durch die Auswahl je einer Zeile und Spalte) mit einer spezifischen Information (z.B. eine Flugverbindung) selektiert werden. Rechts neben der Schreibmaschine konnten auf dem „Director“ mit wenigen Tastendruckungen Instruktionen für Buchung, Stornierung, Sitzwünsche etc. gegeben werden. Die Schreibmaschine selbst diente zur Ausgabe von Nachrichten des Zentralcomputers und zur Eingabe von textuellen Daten wie Namen, Adressen und Telefonnummern – tatsächlich war die **Verwaltung von Fluggastdaten** eine weitere wichtige und zukunftssträchtige Innovation des Systems.

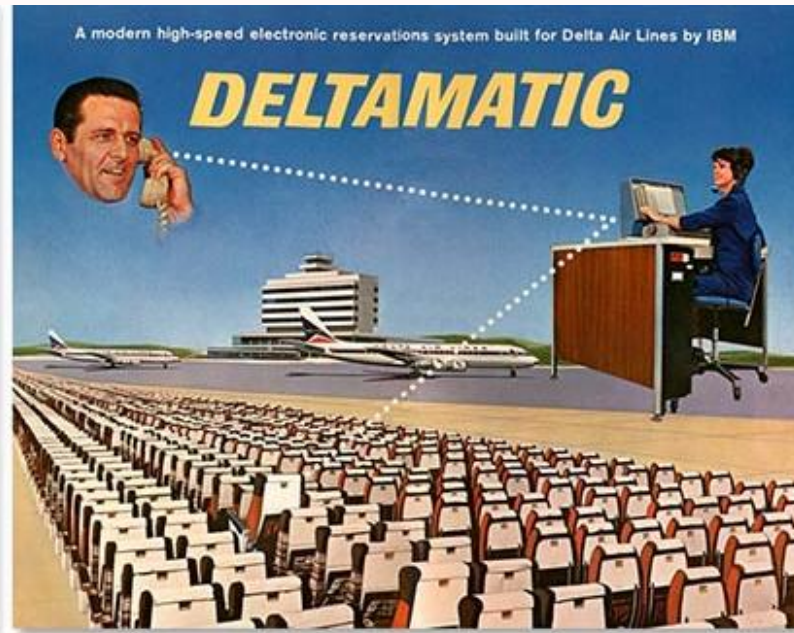
## New System Cuts Jet Reservation Time to Three Seconds



Das SABRE-System von American Airlines mit Computer in New York. Stark ausgebaut gibt es SABRE bis heute.



Ein „Airline Agent“ 1961 mit einem Teleregister-Terminal.



*“Employees working at reservations sets in such distant locations as Paris or Honolulu communicate directly with the New York data processing center.”*

Die Zentrale des Pan Am-Reservierungssystems in New York.

Anfang der **1960er-Jahre** installierten die grossen amerikanischen Airlines computergestützte Reservierungssysteme (hier Bilder zu American Airlines, Delta und Pan Am). Über das Telefonnetz waren jeweils mehrere hundert bis tausend Teilnehmer an das Buchungssystem angeschlossen, typischerweise „airline agents“ in Flughäfen oder Reisebüros. Dort buchten Reisende persönlich oder per Telefon ihren Flug.

Neben **Banken** gehörten in den **1960er-Jahren Airlines** zu den zivilen Pionieranwendern von **Dialogsystemen**. In den Filialen waren einfache Terminals (mit „Push-Button-Funktionalität“ und eventuell „teletypes“) via Standleitungen angeschlossen. Es entstanden erste **realzeitfähige Informationssysteme**.



Auf den drei Fotos sind Terminals des SABRE-Systems dargestellt; oben ein früher Prototyp.



Moving tape reels, revolving data graph, simulated flashing light panel, swing seat, ringing telephone

In den 1970er-Jahren waren Reisebüros und Computer so trendy, dass es für Barbie & Co. ein Spielzeugset dazu gab.



Kein Bildschirm, sondern Halterung für „Air Information Cards“

# Flugbuchung per Elektronenhirn

*Donnerwetter, das Fräulein Schmitz kann ja zaubern!*

Im Jahr 1961 bringt die Jugendzeitschrift „Rasselbande“, die von 1953 bis 1966 vierzehntäglich erschien, einen kurzen Artikel über **Flugbuchungen mit einem Elektronengehirn**. Die Zeitschrift war damals bei Jugendlichen (und ihren Eltern) beliebt. (Eigendarstellung: „Die Rasselbande ist eine saubere, sehr vielseitige und interessante Zeitschrift... Jedes Heft bringt eine Fülle von spannenden Erzählungen und reichbebilderten Reportagen, praktische Vorschläge für Sammler und Anregungen für Bastelarbeiten. Die Rasselbande berichtet von Sportereignissen und Sportlern genauso fesselnd wie über Bücher, Schallplatten und Jazz.“) Auch Artikel aus der Welt der Technik erschienen regelmässig. Man versuchte, dem Trend zur Konsumorientierung und zur Berichterstattung über Prominente, Film-, Fernseh- und Schlagerstars zu widerstehen, unterlag aber schliesslich der „Bravo“, welche voll auf diese Trendthemen setzte und mit ihrer offenen (und oft provozierenden) Sexualaufklärung der „Rasselbande“ letztlich das Wasser abgrub.

**D**irektor Obermüller klappert nervös mit den Fingerspitzen auf die Schreibtischplatte. Er hat es brandeilig, er muß in einer dringenden Angelegenheit nach Kairo fliegen. Der Direktor greift zum Telefon und wählt die Nummer seiner Sekretärin. Fräulein Schmitz im Vorzimmer vernimmt die Stimme ihres Chefs: „Rufen Sie bitte gleich den Flughafen an. Fragen Sie, wann der nächste Clipper in Richtung Kairo startet und ob noch ein Platz für mich frei ist.“ Herr Obermüller hat kaum das nächste Aktenstück angelesen, da meldet schon seine Sekretärin: „Herr Direk-

tor, das nächste Flugzeug geht um 17.10 Uhr. Ich habe einen Platz für Sie gebucht!“ Direktor Obermüller staunt. So viel Schnelligkeit überrascht sogar ihn. Ingeheim denkt er: „Donnerwetter, das Fräulein Schmitz kann ja zaubern!“ Aber in Wirklichkeit hat er die prompte Auskunft nicht Fräulein Schmitz zu verdanken, sondern einem gut funktionierendem Elektronengehirn.

Das Elektronengehirn gehört der Fluggesellschaft, bei der Herr Obermüller Kunde ist. Wie so viele Firmen, hat sich auch diese Fluggesellschaft die Elektronik nutzbar gemacht.





Das Elektronengehirn spart nicht nur Arbeitskräfte ein, sondern kann manche Frage viel schneller beantworten als ein Mensch. Wo üblicherweise einer oder mehrere Angestellte langwierig rechnen müssen, um ein richtiges Ergebnis herauszubekommen, schaltet das Elektronengehirn mit seinen Röhren, Kondensatoren und Transformatoren blitzschnell. Man braucht die Maschine nur mit Zahlenmaterial zu füttern, und auf das Resultat zu warten. Das Elektronengehirn unserer Fluggesellschaft beispielsweise kann bis zu 210 000 verschiedene Anfragen, die 700 Strecken-

abschnitte in aller Welt betreffen, beantworten. Es teilt auch mit, wieviel Platz noch in einem bestimmten Flugzeug vorhanden ist. Ferner macht die Rechenmaschine genaue Angaben über Verspätungen, Fracht, Gepäck und viele andere Dinge.

Die elektronischen Rechenmaschinen wurden von Menschen entworfen und gebaut, und sie sind heute unentbehrliche Helfer der Menschen geworden. So wie das Elektronengehirn Herrn Direktor Obermüller zu einer schnellen Auskunft verholfen hat, so prompt genau bedient es auch jeden anderen Kunden.



Ein Elektronengehirn von vielen; hier sehen wir den Kontrollstand.

Der Artikel „Die Maschine antwortet“ trug den Untertitel „Das Elektronengehirn ist ein unentbehrlicher Helfer des Menschen geworden“.

1961 war der Begriff „Computer“ noch nicht in die deutsche Alltagssprache eingedrungen: im technischen Sinne sprach man von „[Rechenautomaten](#)“, im Populären von [Elektronengehirnen](#). Was im Artikel nicht verraten wurde: Das Bild zeigt die Konsole eines [Univac-I-Computers](#), des ersten kommerziellen Computers. Er wurde von den ehemaligen ENIAC-Entwicklern J. Presper Eckert und John Mauchly entworfen. In der Bildmitte ist Reverend John William Ellison mit einer Bibel zu sehen – er erstellte 1956 mit dem Computer eine [Bibelkonkordanz](#): Ein alphabetisches Verzeichnis aller Wörter mit Kontextinformation. Der Bibeltext wurde doppelt manuell erfasst, um durch einen maschinellen Abgleich Fehler automatisch zu finden. 1957 promovierte Ellison in Harvard mit „The use of electronic computers in the study of the Greek New Testament text“.

The Bible therefore had to be put onto the tape. This was a typing job. Five girls, working in turns, hammered away on special typewriters, called Unitypers. It took the girls five months to transfer the approximately 800,000 words of the Bible onto four rolls of tape.

**ANGERED**  
 WORDS, AND WAS A., AND HE SWORE, DEU 1.34  
 OUR FATHERS HAD A. THE GOD OF EZ 5.12  
 THEY A. HIM AT THE WATERS OF Ps 106.32

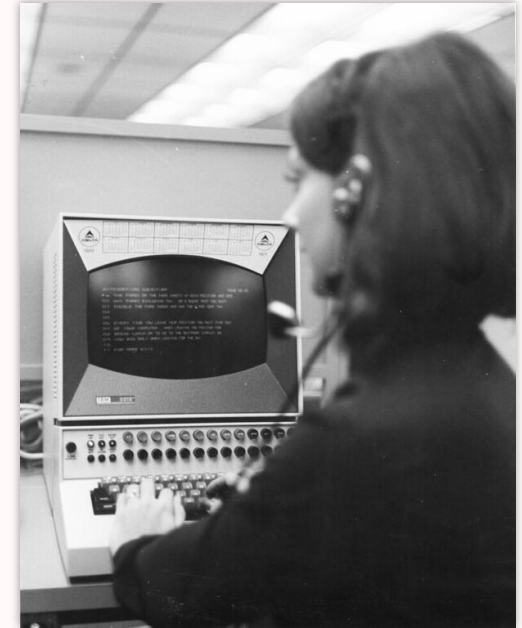
„DEU 1.34“ → 5. Mose 1,34: „Als aber der Herr euer Geschrei hörte, wurde er zornig und schwor...“



*Diese wurden anfangs "glass terminals" oder "glass tele-types" (bzw. "ttyps") genannt.*

# Neu: Terminals wie Fernseher!

In der zweiten Hälfte der 1960er-Jahre entwickelte IBM für Eastern Airlines ein Buchungssystem einer „neuen Generation“. Zwei Computer des innovativen „System/360“ (Modell 65) steuerten acht über die USA verteilte Reservierungszentren mit insgesamt ca. 1600 Terminals für die „agents“. Das Sensationelle waren die Terminals vom Typ IBM 2915; dies wurde damals so angekündigt: „Individual passenger records will be electronically displayed on **television-like** appliances with typewriter keyboards.“ Und etwas präziser an anderer Stelle so: „Messages sent from the central processing unit are **projected on the direct-view cathode ray tube (CRT)** display screen.“ Die monochromen Terminals konnten 12 Zeilen mit 80 Zeichen (Grossbuchstaben, Ziffern, einige Sonderzeichen) darstellen. 33 separate Tasten über der Tastatur ermöglichten es, einen jeweils spezifischen kurzen Code zu übermitteln, um häufig benötigte Aktionen beim zentralen Rechner direkt zu aktivieren.



Alle Bilder: Missouri State Archives, Collection RG104; www.flickr.com/photos/misouristatearchives/albums/7215765556895324

# Eastern Airlines' Miami Reservations Center (1970)

Noch sind nicht alle relevanten (statischen) Daten aus dem Flugplan etc. online verfügbar, daher ist jede Station auch noch mit einem Mikrofiche-Lesegerät ausgestattet:

Deutsch manchmal  
„Glasfernreiber“  
oder auch „gläser-  
ner Fernreiber“.



## Glass terminal:

A terminal that has a display which, because of hardware or software limitations, behaves like a teletype or some other printing terminal, thereby combining the disadvantages of both:

*“Like a printing terminal, it can’t do fancy display hacks, and like a display terminal, it doesn’t produce hard copy.”*

[www.catb.org/jargon/html/G/glass-tty.html](http://www.catb.org/jargon/html/G/glass-tty.html)

# Amazing Speed

1963 fertiggestellt;  
1992 umbenannt in  
"MetLife Building".



I want to fly Pan Am to Rome on the 18th, then go to Beirut on the 21st, Bangkok on the 24th, and fly home via Tokyo on the 30th - and I want a hotel room at every stop. Can you confirm that right away?



Yes, I can.  
With our new Panamac computer.



Angeblich  
verbrauchte  
der 4. Stock  
mehr Strom  
als der Rest  
des Gebäudes.



Schnelle Flugreservierungssysteme rationalisierten nicht nur die internen Abläufe und erlaubten das Hochskalieren des Geschäftsumfangs, sondern stellten auch ein wesentliches **Argument in der Werbung** dar, vor allem bei den wichtigen Geschäftskunden. Das **Panamac-System** („the most advanced international computer reservations network“) von Pan American Airways („Pan Am“) ging **1963** in Betrieb und war bis zur Insolvenz der Fluglinie 1991 im Einsatz, wobei es laufend weiterentwickelt wurde (Anzeige rechts von 1976). Es war ein zentralisiertes System, das aus Redundanzgründen von zwei identischen IBM 7080-Computern im vierten Stock des bekannten **New Yorker Pan Am-Gebäudes** (200 Park Avenue, 44th / 45th Street) betrieben wurde.



## I may not be the reason you fly Pan Am but I'll never be the reason you don't.

When you or your travel agent makes a reservation with us, you shouldn't have any reservations about the kind of service you'll get.

Because Pan Am reservationists average 8 years on the job. Which means we've been around long enough to know how to handle any travel requirement you may have.

In fact, many of us started before there were machines to help.

Like our new Panamac® II. The most advanced international computer reservations network in the business. With amazing speed it (and us) can get you flights, hotel rooms, rent-a-cars just about any place in the world.

Or even answer questions you might have, like: What's the temperature in Rio in October?

Come to think of it, if we're not the reason you fly Pan Am, maybe we should be.



# PANAMAC

Die Fachzeitschrift „Elektronische Rechenanlagen“ („Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung“) schrieb 1962:

„Das umfassendste elektronische Fernbuchungssystem der Welt für den Luftverkehr wird Pan American World Airways 1963 in den USA und in allen Kontinenten der Erde installieren. Innerhalb weniger Sekunden wird man Flugkarten bei allen PanAm-Büros auf dem ganzen Erdball buchen können. PANAMAC ist ein IBM-Tele-Processing-System, das in sechsjähriger gemeinsamer Forschung von der PanAm und der IBM entwickelt wurde.“

Das ‚Herz‘ von PANAMAC besteht aus zwei Datenverarbeitungssystemen IBM 7080. Acht Magnetplattenspeicher IBM 1301 sind an die beiden Systeme IBM 7080 angeschlossen, die insgesamt rd. 400 Millionen Zeichen auf ihren Magnetplatten speichern können. Ständig werden diese Magnetplatten den neuesten Stand der noch vorhandenen Passagierplätze enthalten und auf Anfrage mitteilen, gleichgültig für welche Route es auch sei. PANAMAC wird es ermöglichen, daß die mehr als 75000 Anfragen und Buchungen, die täglich in der ganzen Welt von Zweigstellen oder Reisebüros entgegengenommen werden, wesentlich schneller abgewickelt werden können. [...]

Über 600 IBM-Platzbuchungsanlagen werden im Laufe des nächsten Jahres aufgestellt werden. Mit dem Tele-Processing-System werden dann die PanAm-Vertretungen in 31 Städten der USA sowie in Frankfurt, Rom, Paris, London, Montreal, Toronto, Vancouver, San Juan und Honolulu ihre Anforderungen direkt in das PANAMAC-Zentrum in New York eingeben können. Zur Illustration der Aufgaben, die PanAm in Deutschland zu bewältigen hat, mögen folgende Angaben dienen: Von allen Büros der PanAm in Deutschland werden täglich rund 6500 Telefongespräche und 2500 Fernschreiben entgegengenommen.“



# Online-Buchung ab den 1970er-Jahren 20JANJFKLAX7A



Bei der [New Zealand National Airways Corporation](#) (NAC) werden 1977 das alte manuelle System aus Schautafeln mit farbigen Markierungen sowie das neue computerbasierte Reservierungssystem parallel betrieben. Bildschirmterminals (Raytheon PTS 100) in der Reservierungszentrale sind mit einem Mainframe-Zentralcomputer verbunden, der alle Reservierungen verwaltet.

In Reisebüros und Zweigstellen von Airlines waren [Online-Buchungen ab 1976](#) (United Airlines) möglich. Das amerikanische Computerreservierungssystem [SABRE](#) schloss 1977 die ersten Reisebüros an. In Deutschland wurde u.a. von der Lufthansa, der Bundesbahn und TUI die Betriebsgesellschaft [START](#) gegründet, damit Reisebüros über ein einheitliches Terminal- und Backend-System Reisedienstleistungen der beteiligten Firmen buchen und verkaufen konnten. Erste START-Terminals wurden 1979 in Betrieb genommen.

Terminals auf [PC-Basis](#) wurden erst [Mitte der 1980er-Jahre](#) eingeführt. Im Gegensatz zu den bisherigen Terminals, die nur zur Datenabfrage auf einem zentralen Rechner dienten, konnten nun in Reisebüros Daten auch lokal auf dem PC verarbeitet werden. Die Website des Online-Reisebüros [expedia.com](#) ging [1996](#) online. Direkte Buchungen durch Kunden via [Internet](#) unter Ausschaltung von Reisebüros wurden etwa [ab der Jahrtausendwende](#) möglich, zunächst im Bahnbereich. Buchungen via [Apps und mobilen Geräten](#) folgen in den [2010er-Jahren](#).

Vor der „Swiss“ gab es die Swissair (1931 – 2002)

# Flugbuchungen bei der Swissair



„Telefon-Sales“ und „Endbuchung“ im Verwaltungsgebäude der Swissair am Hirschengraben 84 („HIGRA“) in Zürich, noch ohne Computer. Die Reservationswand zeigt mit einem Farbcode für jeden Tag innerhalb von zwei Monaten den Status jeden Fluges an. Alle Bilder: ETH-Bibliothek

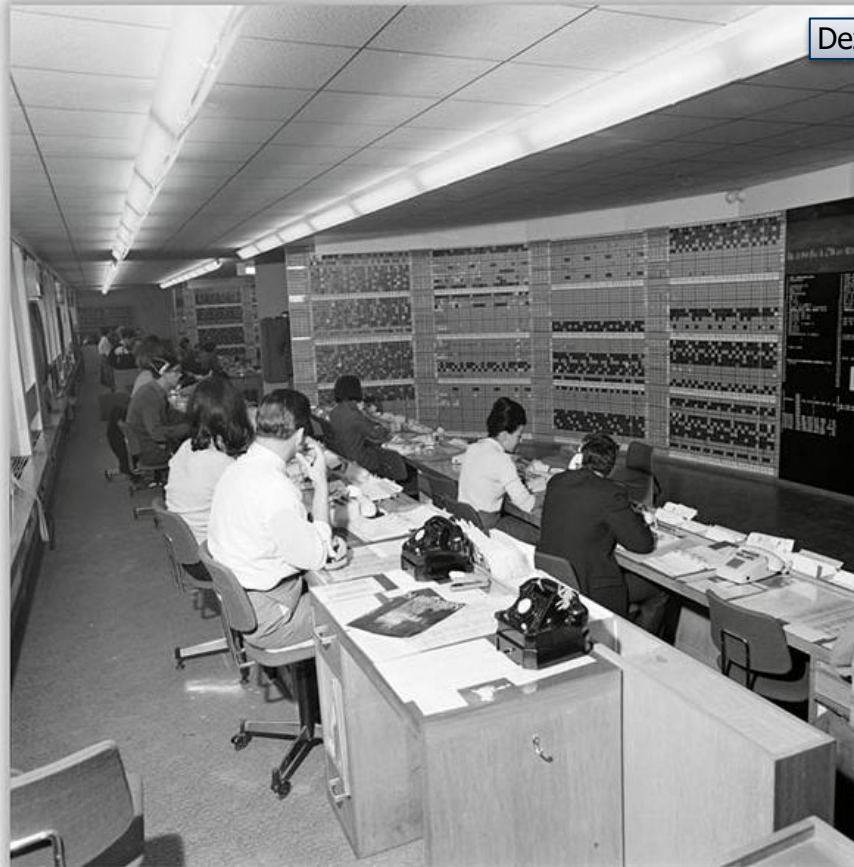


John McEneaney beschreibt eine analoge Situation bei Aer Lingus zu Anfang der 1960er-Jahre: “The booking offices and tele-sales staff handwrote the reservations transaction on punch cards, which were then passed to ‘Central Res’ via a **multichannel conveyor belt**, which ran the full length of the office.”

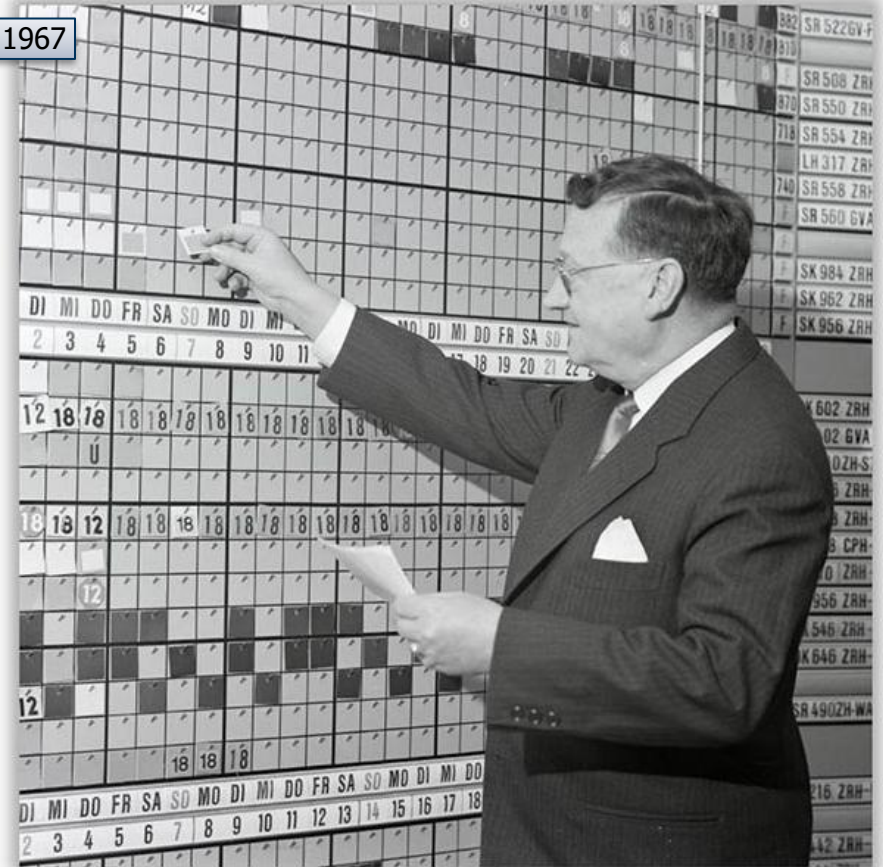


# Flugbuchungen bei der Swissair (2)

Alle Bilder: ETH-Bibliothek



Dez. 1967



Ebenfalls am Hirschengraben 84, vermutlich im Dezember 1967. An der [Reservationswand](#) steht Leopold (genannt Pöldi) Franken; er steckt hier eine gelbe Karte, dies bedeutet Warteliste für diesen Flug. Eine rote Karte zeigt, dass der Flug ausverkauft ist, grün bedeutet, dass er frei buchbar ist. Ist nur eine beschränkte Zahl von Sitzplätzen verfügbar, kann deren Zahl dort angezeigt werden; ausfallende Flüge werden durch ein rotes Cancel-Kreuz markiert.



# Flugbuchungen bei der Swissair (3)



Die Swissair besass schon früh Computer, und das Bild von 1962 mit den Bandgeräten des IBM 7070-Computers im Hirschengraben 84 ist beeindruckend.

Das Modell 7070 war der erste Rechner auf Transistorbasis von der Firma IBM. Der Hauptspeicher konnte maximal 10000 Worte aus 10-ziffrigen Dezimalzahlen fassen, die Geschwindigkeit betrug nur 0.027 MIPS.

Solche Rechner waren zur [Datenverarbeitung im Batchbetrieb](#) geeignet, eine Nutzung mit Terminals im Time-sharing und Dialogbetrieb war damit kaum möglich. Insofern war zu dieser Zeit (1962) auch noch [keine Online-Flugbuchung](#) in der Praxis realisierbar.

# Flugbuchungen bei der Swissair (4)

ca. 1948



Bei der **Swissair** verwalteten bis Ende der 1960er-Jahre „Heerschaaren“ von Telefonistinnen und Telefonisten die Flugbuchungen mittels aufwändiger manueller Systeme.

Ab **1969** kam dann das computerisierte Buchungssystem **PARS (Programmed Airline Reservation System)** zum Einsatz, mit dem Buchungsaufträge verarbeitet und die Platzverfügbarkeit geprüft werden konnte. Die gesamten Buchungsdaten waren nun direkt überblickbar. Vor allem konnten später auch Aussenstellen, z.B. die Swissair-Reisebüros, angeschlossen werden und erhielten Systemzugriff.

1970er-Jahre



Im **Swissair-Backoffice** (links) waren Cluster von zeichenbasierten monochromen IBM 2915 Video Display Terminals über eine gemeinsame Steuereinheit direkt an einen IBM-Mainframe-Computer angeschlossen; in den **Reisebüros der Swissair** (rechts: Bahnhofstrasse Zürich) waren nur einige hundert bit/s via Telefonleitungen und Modems möglich.

Alle Bilder: ETH-Bibliothek

# Flugbuchungen bei der Swissair (5)



Alle Bilder: ETH-Bibliothek



Reisebüro für Flugbuchungen in Genf (ob. li.) und Zürich (un. re.) mit Terminals „Raytheon PTS 100“.

Ob. re.: Einchecken am Flughafen Kloten.



Ende der historischen Notiz

# Typische Fragestellungen für Simulationsexperimente beim Call-Center

- 1) Mehr Angestellte → Kosten vs. Nutzen?
- 2) Ausfall von Angestellten → Konsequenzen?
- 3) Verkürzung der Bedienzeiten um 10% → Konsequenzen?
- 4) Bei Musik in der Warteschleife warten Kunden 25% länger → Konsequenzen für Systemleistung (und Profit)?
- 5) 50%ige Steigerung der Anrufrate vor Feiertagen → Auswirkung auf Auslastung, Anzahl bedienter / verärgerter Kunden?

# Simulativ zu bestimmende Leistungskennzahlen

## Key Performance Indicators

- Mittlere Wartezeit der Anrufer (→ ca. 70 Sekunden)
- Auslastung der Angestellten (→ ca. 91%)
- Auslastung der Verbindungen (→ ca. 45%)
- Anzahl bedienter Anrufe (→ 15800 = 88%)
- Anzahl „verzichtender“ Kunden (→ 2160 = 12%)
- Anteil der erfolglosen Anrufe (→ 161 von ca. 18000)

## Sneak preview

Ergebnis nach **100 Stunden Simulationszeit** im Normalbetrieb  
(= simulierter Zeit)



# Call-Center zeitgesteuert simulieren?

- **Prinzip:**
  - Simulationsuhr pro Simulationsschritt um  $\Delta t$  erhöhen
  - Alle „realen“ Zustandsänderungen während des **Intervalls**  $[T, T+\Delta t]$  zum simulierten **Zeitpunkt**  $T+\Delta t$  nachbilden
- **Bei jedem einzelnen Schritt** prüfen und für die Auswertung festhalten (mit Simulationszeitpunkt):
  - Sind „zwischenzeitlich“ Anrufe gekommen?
  - Sind Angestellte freigeworden?
  - ...

# Wahl von $\Delta t$ ?

- $\Delta t = 1 \mu s$  (Simulationszeit, nicht Rechenzeit!)
  - Zustandsänderung bei einem Schritt ist sehr unwahrscheinlich
  - Viele nutzlose Schritte
  - 100 Stunden  $\triangleq$  360 000 000 000 Schritte → sehr langsam!
- $\Delta t = 1000 s$ 
  - Warteschlange hat „plötzlich“ ca. 50 Kunden!
  - Alle Angestellten sind am Anfang lange unbeschäftigt
  - Fehlerhafte Werte! (*Performance Indicators*)
- $\Delta t = 1 s$ 
  - Nur etwa in jedem zehnten Schritt geschieht etwas
  - Wie „genau“ und gut ist dieser Kompromiss?

Ereignisgetrieben geht es sowohl genauer als auch effizienter!

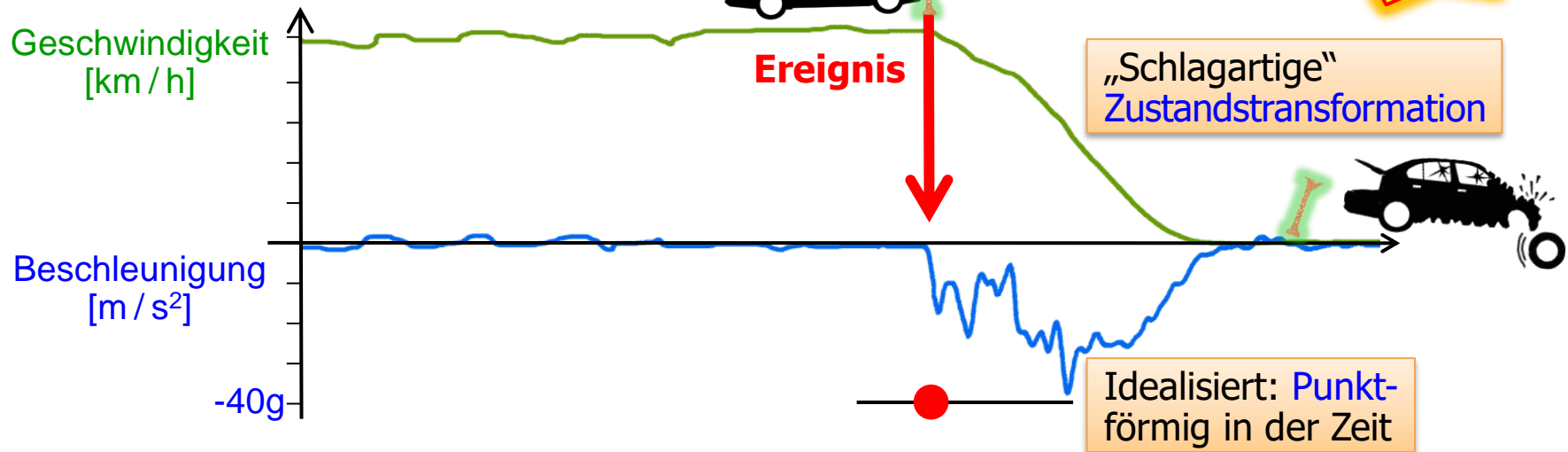
Überspringt automatisch Zeitintervalle, in denen nichts Relevantes geschieht.

# Ereignis = „Plötzliches, bemerkenswertes und bedeutsames Geschehnis mit Folgen“

Nach einem Ereignis ist anderes möglich als vorher, auch wenn das Ereignis selbst bestandslos ist

- **Beispiel:** Schadensereignis (Auslöser des Versicherungsfalls)

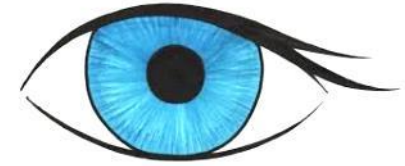
*I was proceeding down the road. The trees on the right were passing me in an orderly fashion at 60 miles an hour. Suddenly one of them stepped out into my path. Boom! -- John von Neumann*



- **Weitere Beispiele:** Mausklick, Blitz, am Ziel ankommen, Geburt (freudig), Tod (traurig)
- *Raymond **lisait** tranquillement son journal lorsque soudainement la porte **claqua**.*
  - Aspekt differenzierung romanischer Sprachen: Handlungsverlauf vs. **Inzidenzakt**
  - Unterscheide **Vorgang** und **Vorfall**



# Ereignis = „Plötzliches, bemerkenswertes und bedeutsames Geschehnis mit Folgen“



- „Sich ereignen“ von „sich eräugnen“, d.h. vor Augen treten, sichtbar werden; daraus dann die heutige Bedeutung „sich zeigen“ bzw. „geschehen“

II. Eräugnet sich nun, daß kein Rest übrig bleibt, oder auch, daß der mit der folgenden Ziffer vermehrte Rest noch immer kleiner sey, als der Divisor, so setze man, so oft sich dieses eräugnet, in dem Quotienten an die gehörige Stelle eine Nulle. Geschieht nun dieses bey der letzten Ziffer des Dividendus, so setze man in dem Quotienten die Nulle an, und füge darnach den nämlichen Rest als einen Bruch hinzu; z. B.

5 in 43 geht 8 mal; 8 mal  
54 sind 432; 432 von  
435 bleiben 3; 5 in 3,  
das ist 54 in 32 geht 0 mal  
u. s. w.

$$\begin{array}{r} 435257 : 54 = 8060\frac{17}{54} \\ \underline{432} \phantom{000} \\ 325 \phantom{00} \\ \underline{324} \phantom{00} \\ 17 \end{array}$$

Eräugnet sich nun, daß kein Rest übrig bleibt, oder auch, daß der mit der folgenden Ziffer vermehrte Rest noch immer kleiner sey, als der Divisor, so setze man, so oft sich dieses eräugnet, in dem Quotienten an die gehörige Stelle eine Nulle. [Georg Freiherr von Vega: Vorlesungen über die Mathematik – Erster Band, welcher die allgemeine Rechenkunst enthält, 1782]

- „Ereignis“ bzw. Eräugniß s.d. 18. Jh.; vorher: „Ereignung“ / „Eräugnung“
- Engl. „event“ geht zurück auf lat. „eventus“ (herausgekommen), Partizip des Verbs „evenire“ [ex-venire] (heraus-, hervorkommen); „eventus“ als Substantiv mit der Bedeutung „Ausgang, Folge, Ergebnis, Vorfall“; vgl. Advent, Convent

# Ereignisgesteuerte Simulation

- **Grundannahme:** Zustand bleibt abschnittsweise konstant; es passiert nichts von Relevanz zwischen zwei Ereignissen
  - Zeit springt von Ereignis zu Ereignis
  - Nur Ereignisse ändern den Zustand

Die **Kunst des Modellierens** besteht darin, diese Grundannahme zu respektieren

- **Typische Simulationsereignisse**

- Anruf eines Kunden
- Betreten eines Aufzuges
- Anstellen an die Warteschlange
- Bearbeitungsende eines Werkstücks



Generell: **Anfang** bzw. **Ende** einer ansonsten ereignislosen **Aktivität**

Der Fortschritt der Simulation wird also nicht durch Ändern einer Simulationsuhr getrieben; stattdessen werden umgekehrt die Simulationsuhr und **die Welt von den stattfindenden Ereignissen vorangetrieben**

„event driven“

- **Ein Ereignis:**

- Hat einen **Eintrittszeitpunkt** (in Simulationszeit)
- Bewirkt beim „Stattfinden“ eine **schlagartige Zustandsänderung**

# Was treibt die Welt voran?



Raffael stellt 1508 in einem Eckfresko der Gewölbedecke der **Stanza della Segnatura** (Apostolischer Palast, Vatikan, Rom) einen „primären unbewegten Beweger“ (*primus motor immobilis*) in Gestalt der Urania, der Muse der Astronomie, dar, der nach der Metaphysik von Aristoteles die Welt antreibt.



Die Schule von Athen (Raffael)

# Was treibt die Welt voran?

Im letzten Buch der Physik (Buch VIII) und im Vorfeld seiner Theologie (Buch XII) argumentiert **Aristoteles** für die Notwendigkeit eines „unbewegten Bewegers“, d.h. einer Kraft, die alle Bewegung auf der Welt verursacht. Wenn die Bewegung einen Anfang gehabt hätte, so nur durch eine andere Bewegung, die dem Anfang schon vorausgegangen war. Etwas wird nur aktuell durch ein anderes Aktuelles, das seinerseits etwas voraussetzt, bis man zu einem ersten unbewegten Bewegenden (**primus motor immobilis**) kommt, das aus sich selbst reine Aktualität ist.

## **De aeternitate mundi** MAGISTRI BOETII DACI

Boethius von Dacien war ein vehementer Vertreter der Metaphysik von Aristoteles; er lehrte im 13. Jh. an der Pariser Universität.

Natura non potest causare aliquem motum novum, nisi ipsum praecedat alius motus qui sit causa eius. Sed primum motum non potest alius motus praecedere, quia tunc ipse non esset primus motus. Ergo naturalis, cuius primum principium est natura, non potest ponere secundum sua principia primum motum esse novum. Maior patet, quia natura materialis nihil agit de novo nisi prius agatur ab alio; natura enim materialis non potest esse primus motor. Quomodo enim ens genitum erit primus motor? Et omne agens materiale est ens genitum. Nec est instantia de corpore caeli, quia si sit ens materiale, tamen non habet materiam univoce cum rebus generabilibus.



# Was treibt die Welt voran?



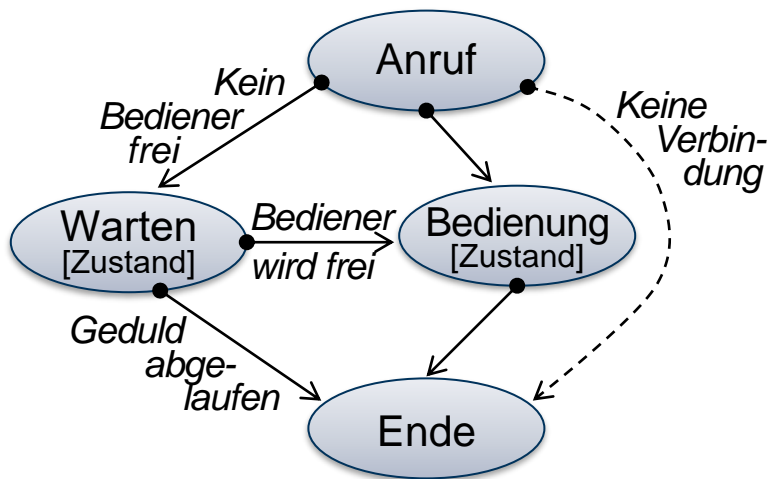
Vor dem weltweit ersten Ereignis gab es noch keine Zeit, oder?

# Zurück zu unserer ereignisorientierten Miniwelt: Modellentwurf des Reisebüros

- **Modellzustand („Schnappschuss“)**  
zu einem bestimmten Zeitpunkt:
  - Angestellten-Status (frei / beschäftigt)
  - Anzahl freier Verbindungen
  - Liste z.Z. wartender Anrufenden



- **Ereignisbedingte Zustandsübergänge**
  - Aus Sicht eines individuellen Kunden:



## Ereignistypen (Kanten im Zustandsgraphen):

- Beginn Bedienung / Beginn Warten (nach Anruf)
- Ende Warten (freie Angestellte / abgelaufene Geduld)
- Ende Bedienung

# Der ereignisgesteuerte Simulationsablauf

Der Initialzustand



08:00



18



5

frei



Ein erster „vorhergesehener“ Kundenanruf

Zeit springt, getrieben durch das erste Ereignis

*Zustand vor Stattfinden des ersten Ereignisses*

*Zustand unmittelbar danach*



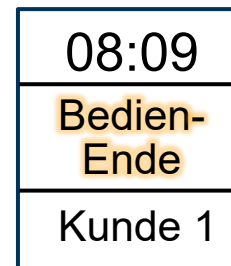
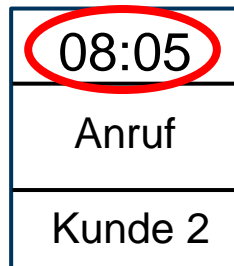
08:03



17



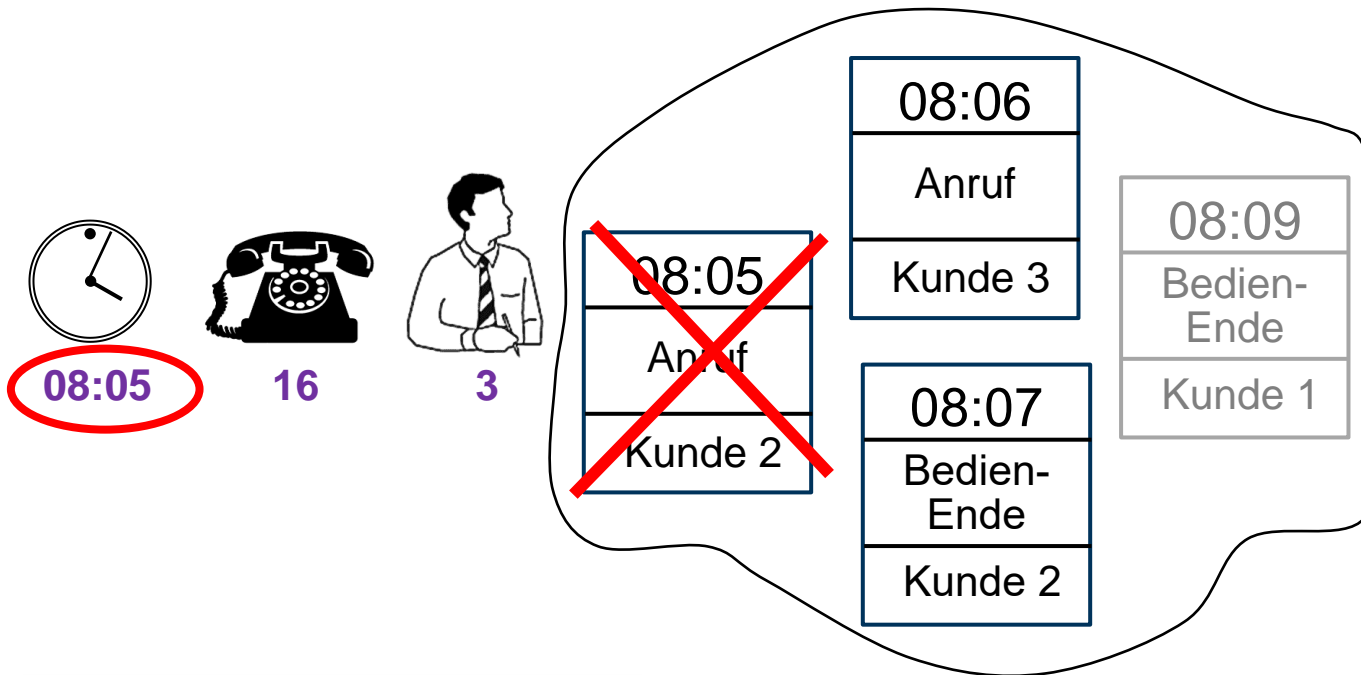
4



„Ereignisliste“ (bzw. „pending event set“): Menge der z.Z. vorgemerkten Ereignisse; realisiert in Form sogenannter „Ereignisnotizen“

Bedien-Ende-Ereignis wird bereits bei Beginn der Bedienung vorgemerkt!

# Der ereignisgesteuerte Simulationsablauf (2)



Modellierung: Jeder erfolgte Anruf plant bereits den nächsten Kundenanruf ein → Es gibt stets mindestens ein vorgemerktetes Anruf-Ereignis!

Etc., bis zu folgendem Zustand:  
(keine Angestellten mehr frei!)

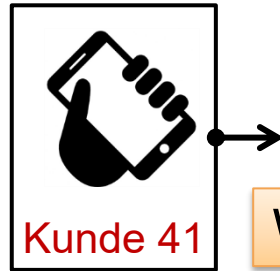


- 5 eingeplante Bedien-Ende-Ereignisse
- 1 eingeplantes Anruf-Ereignis

**Anruf  
08:49!**



# Der ereignisgesteuerte Simulationsablauf (3)



Wartende Kunden

- 5 eingeplante Bedien-Ende-Ereignisse
- 1 eingeplantes Anruf-Ereignis

|                 |
|-----------------|
| 08:55           |
| Geduld-<br>Ende |
| Kunde 41        |

Warteschlange wird durch das „Eintreten“ eines Anrufes erzeugt, falls der Kunde nicht sofort bedient wird, sondern warten muss

# Der ereignisgesteuerte Simulationsablauf (4)



08:57

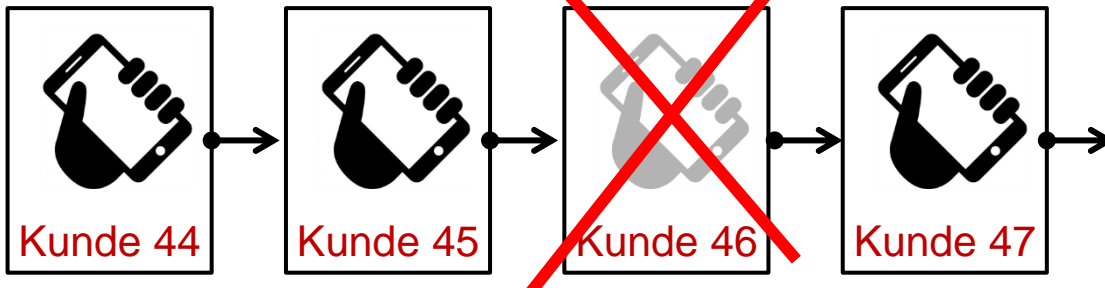


9



0

- Noch 3 eingeplante Geduld-Ende-Ereignisse  
- ...



Warteschlange

Frühester Kunde kommt als nächster dran (FIFO)

Kunde 46 hat soeben aufgegeben (Geduld-Ende!)

...und so weiter...

Anruf Kunde

Bedien-Ende

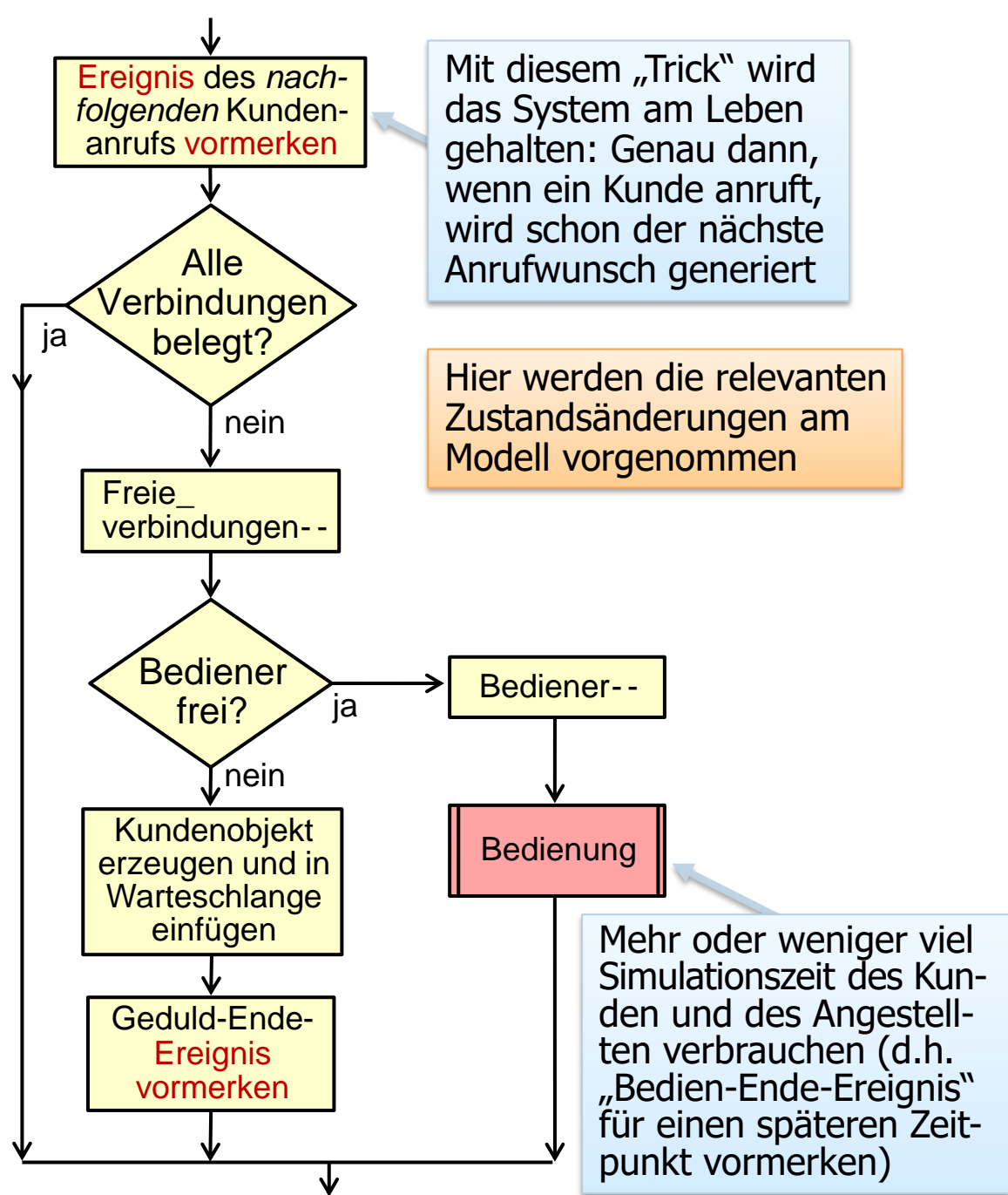
Geduld-Ende

Anruf Kunde

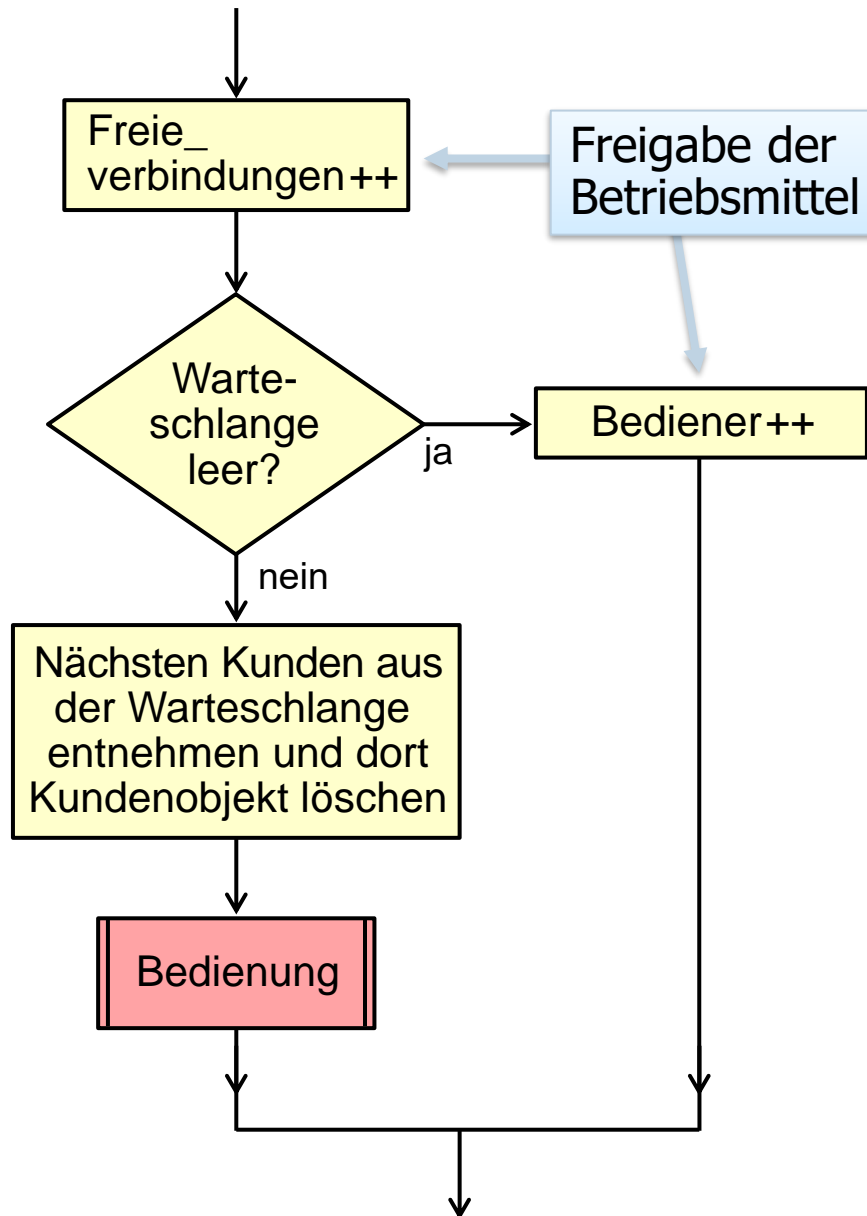


# Ereignisroutine „Kundenanruf“

Ereignisroutinen (*event handler*) werden bei „Eintreten“ von Ereignissen des entsprechenden Typs ausgeführt

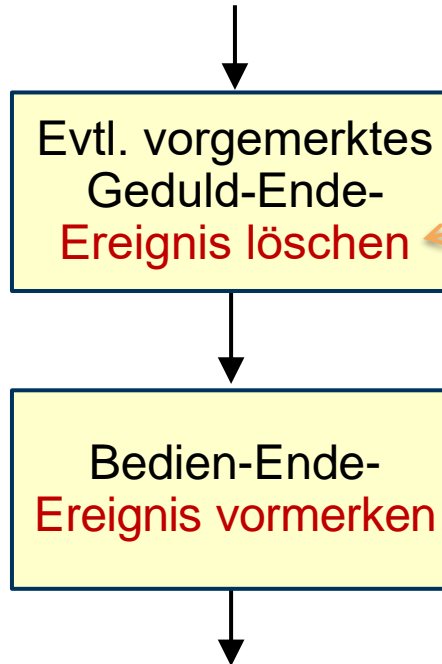


# Ereignisroutine „Bedien-Ende“



# Methode „Bedienung“

Die Methode wird in den Ereignisroutinen „Kundenanruf“ und „Bedien-Ende“ aufgerufen

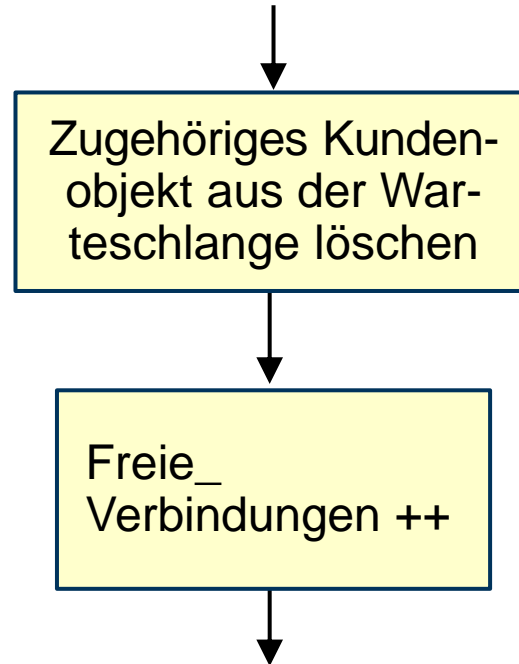


„Cancel“-Operation (vgl. Abstellen des Weckers, weil man schon vorzeitig aufgewacht ist)

Der eigentliche Vorgang der **Bedienung** ist **irrelevant** für die Simulation und wird nicht modelliert; der Simulator wird erst wieder durch das Eintreten des Bedienungsende-Ereignisses aufmerksam



# Ereignisroutine „Geduld-Ende“



# Statistik und Animation

- Evtl. zusätzliche Pseudo-Aktionen in den Ereignisroutinen durchführen, um **Statistikdaten** zu sammeln
- Evtl. auch „**Animation**“ durch Statusmeldungen (mit aktuellem Zeitstempel) in den Ereignisroutinen, z.B.:

- **08:17**, Kunde 29 ruft an
- **08:19**, Kunde 26 wird bedient
- **08:20**, Angestellter 3 beendet Bedienung von Kunde 24
- **08:27**, Kunde 28 gibt nach 5 Minuten Warten entnervt auf

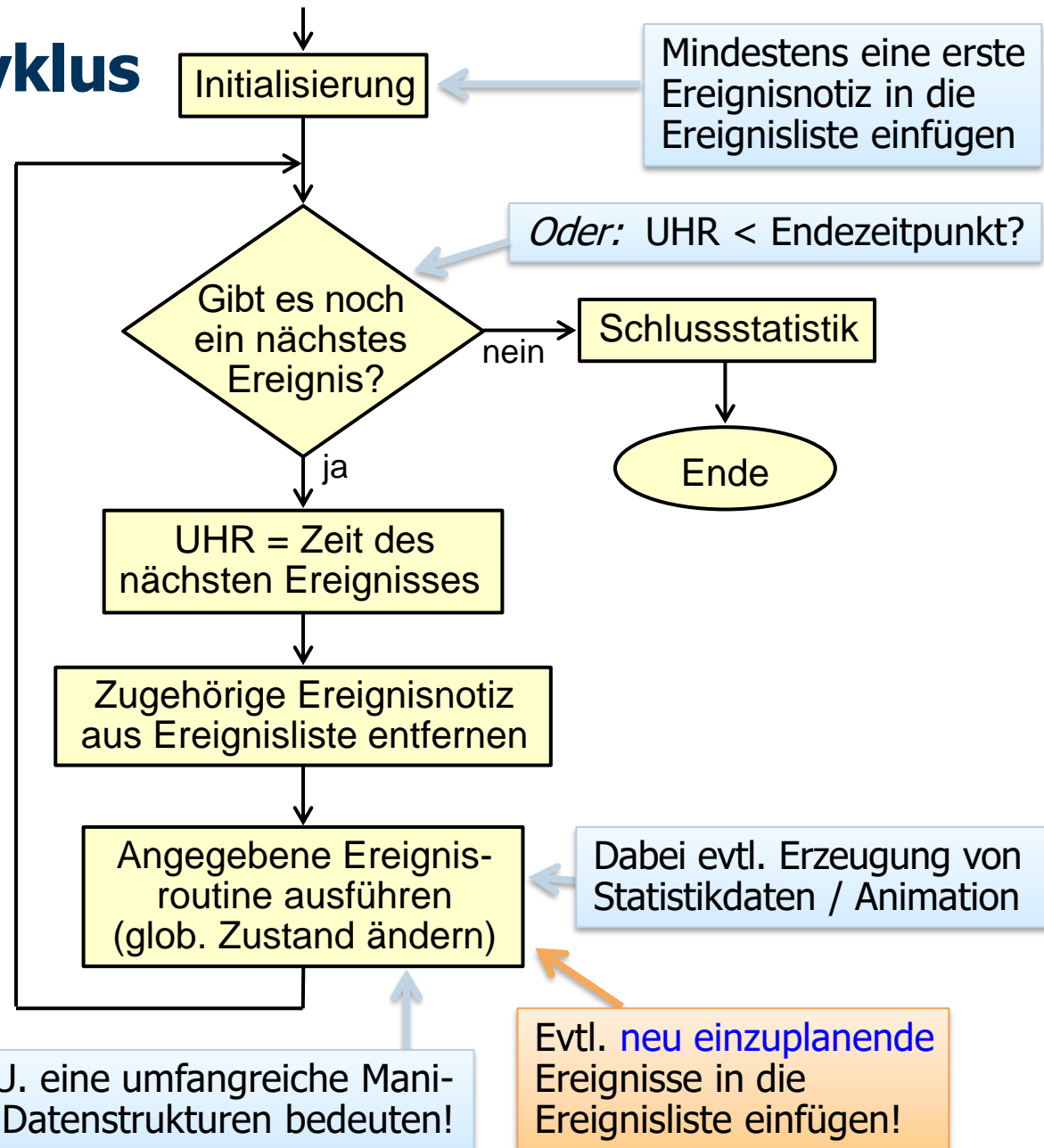
Die **Zeit** ist in einem so erzeugten Ereignisprotokoll **monoton steigend**

Damit lässt sich ggf. auch eine **Visualisierung** steuern

# Der Simulationszyklus (ereignisgesteuert)

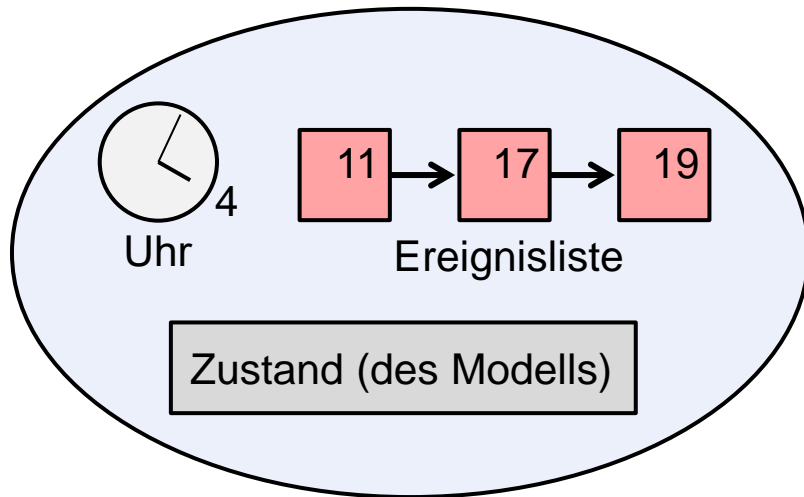
## Prinzip:

- Führe die Aktion des jeweils (chronologisch) **nächsten eingeplanten Ereignisses** aus
- Dabei können zukünftig auszuführende **neue Ereignisse entstehen**





# Ereignisgesteuerter Simulator



Simulator enthält ausserdem noch Programmcode (Ereignisroutinen, Steuerung des Simulatorzyklus, Ausgabestatistik,...)

Ereignisnotizen in der Ereignisliste enthalten einen **Eintrittszeitpunkt**

→ **Simulationszeit** („Uhr“) **springt** zum jew. **nächsten Ereignis**

- Ausführung der zugehörigen Ereignisroutine, dabei:
- Änderung des (globalen) Zustands
- Evtl. Einplanen neuer Ereignisse (in der „Zukunft“)

Simulationszyklus

# Quasi-Parallelismus

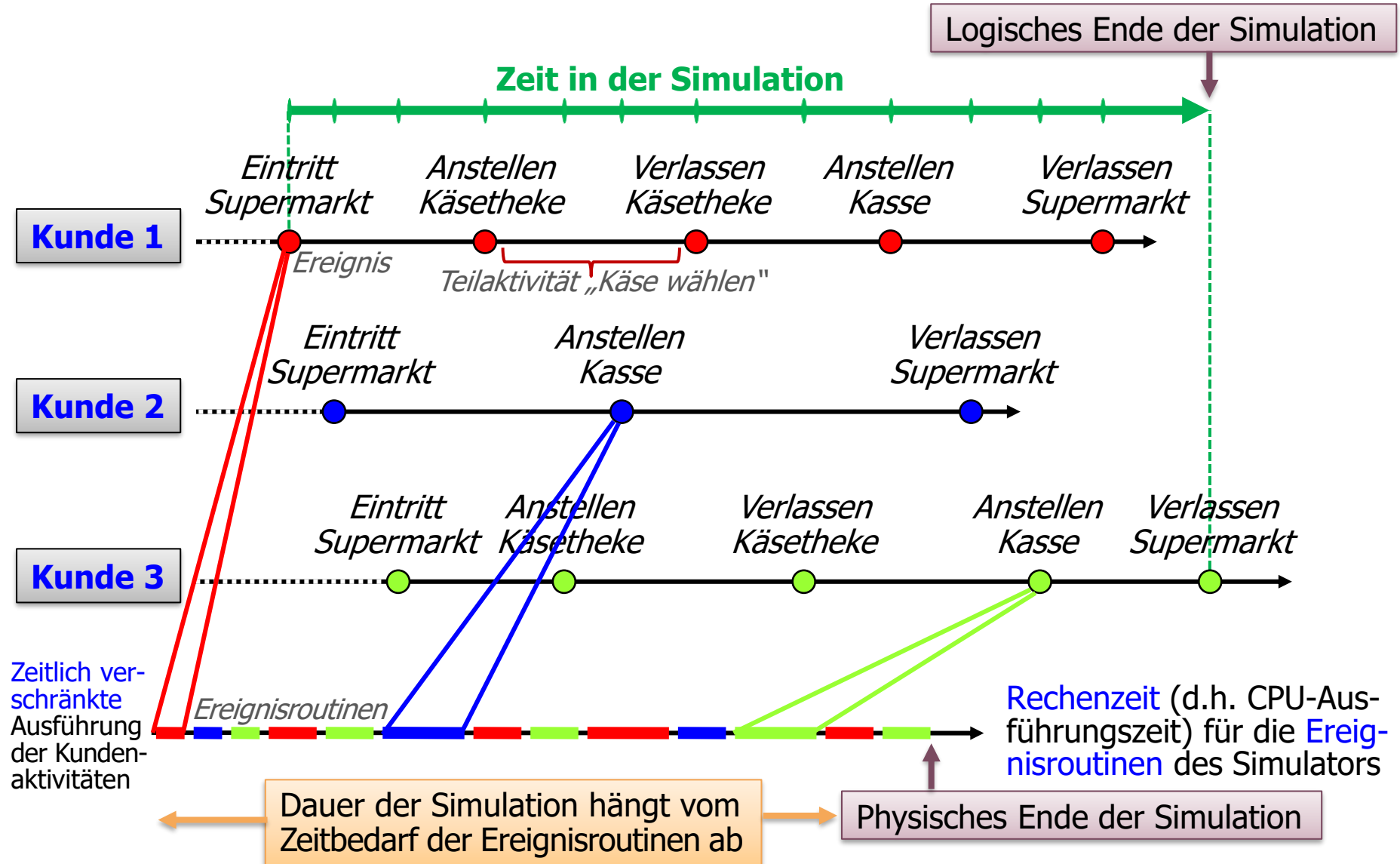
Pour moy, j'ay marqué plus d'une fois que je tenois l'espace pour quelque chose de purement relatif, comme le temps. Le temps est un ordre de successions. ... C'est un rapport, un ordre, non seulement entre les existants, mais encor entre les possibles comme s'il existoient. – G.W. Leibniz.

- In der **Realität gleichzeitig** ablaufende **Aktivitäten** werden in der Simulation abschnittsweise **sequentialisiert**
- Durch die **Auflösung in Ereignisse** (am Anfang und Ende von Teilaktivitäten) werden Aktivitäten **zeitlich verzahnt**
- **Beispiel Supermarkt**: Zwischen Ankunft- und Abgangereignis eines Kunden (also während dieser mit Einkaufen als Teilaktivität beschäftigt ist) betreten weitere Kunden das Geschäft

---

Supermarkt und Callcenter sind natürlich nur Einzelbeispiele einer grossen Klasse von Anwendungen (Arztpraxis, Tankstelle, Produktionsprozess, Frachthafen, Paketverteilzentrum, Signale in einer Digitalschaltung, Computernetze,...) mit vielen (quasi-)parallelen und teilweise miteinander wechselwirkenden Aktivitäten, die sich ereignisorientiert gut simulieren und analysieren lassen.

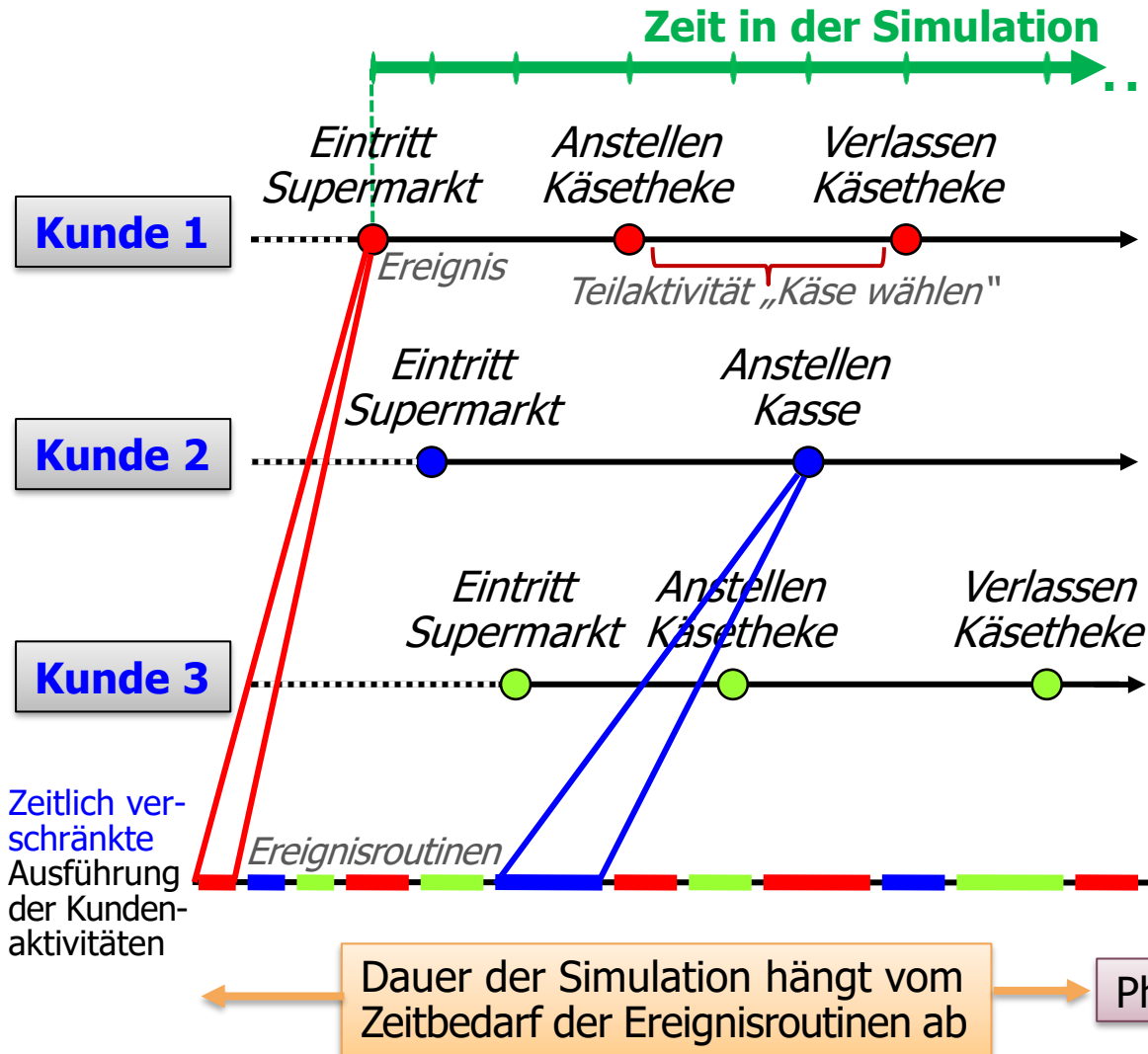
# Quasi-Parallelismus: Beispiel



# Quasi-Parallelismus: Beispiel



Beachte den Dualismus der beiden Zeitbegriffe!



Ereignisse geschehen in Simulationszeit **instantan**, der Simulator benötigt zur Ausführung zugehöriger Ereignisroutinen aber **Rechenzeit**.

Zwischen Ereignissen vergeht Simulationszeit, der Simulator überspringt aber diese „ereignislosen Aktivitäten“ und benötigt dafür **keine Rechenzeit**.

**Denkübung:** Lässt sich die Rechenzeit durch Parallelausführung auf mehreren CPUs vermindern?

**Rechenzeit** (d.h. CPU-Ausführungszeit) für die **Ereignisroutinen** des Simulators

# Modellierung paralleler Aktivitäten

- **Modellierungskunst:** Die einzelnen Aktivitäten der Realität so in Teilaktivitäten mit begrenzenden Ereignissen auflösen, dass
  - die **Wechselwirkung** zwischen den Aktivitäten beschränkt bleiben auf die Ereignisse;
  - die **Ereignisse** sich korrekt gegenseitig **einplanen**;
  - die zugehörigen Ereignisroutinen die **Zustandsänderung des Modells** korrekt wiedergeben;
  - das Gesamtverhalten die **Realität adäquat** widerspiegelt.

Gibt es verschiedene Ereignisse mit exakt gleichem Eintrittszeitpunkt? Soll es sie geben? (Wenn ja, in welcher Reihenfolge sollen sie bearbeitet werden?)

# Beispiele für das Einplanen von Ereignissen

- **Abfahren eines Autos** an einer Kreuzung bewirkt Einplanung des **Ankunftseignisses** zu einem späteren Zeitpunkt bei einer anderen Kreuzung
- Ein Kassierer „würfelt“ das **Bedienungsende** des Kunden aus, sobald er mit der Bedienung des Kunden beginnt
- Ein beim Supermarkt eintreffender Kunde „würfelt“ den **Ankunftszeitpunkt des nächsten Kunden** aus



Das ist ein sehr **effektiver Trick**: Auf diese Weise muss man nicht initial alle jemals eintreffenden Kunden als vorgemerkte Ereignisse in die Ereignisliste einfügen; es ist stattdessen immer nur der jeweils nächste eintreffende Kunde vorgemerkt!

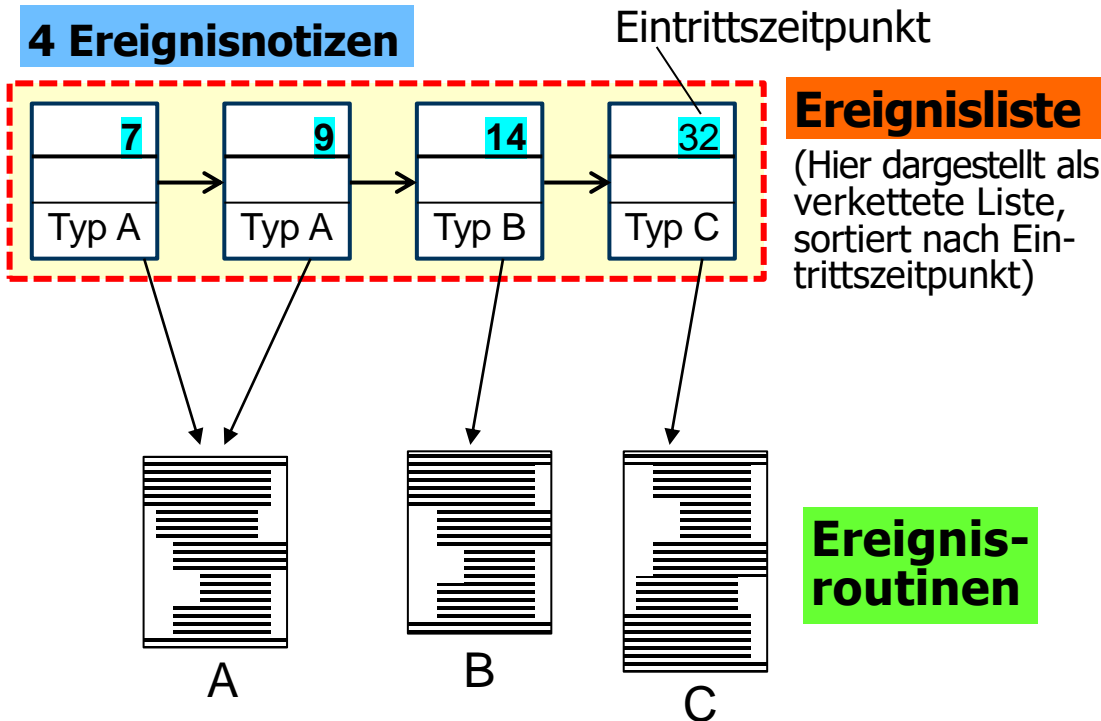
→ „**Scheinkausalität**“:  
In Wirklichkeit ist das Eintreffen eines Kunden *nicht* die Ursache für das Eintreffen eines weiteren Kunden!

# Zeit- vs. ereignisgesteuerte Simulation

- Verkörpern unterschiedliche „Weltsichten“ bzw. Paradigmen
- Zeitgesteuerte Simulation geeignet, wenn:
  - Ein **Zeittakt** in natürlicher Weise existiert (z.B. bei Animationen)
  - Das System aus **vielen gleichartigen Elementen** besteht, deren Entwicklung in der Zeit sich alle auf ähnliche Art fortschreiben lassen
  - Ein **kontinuierliches System** (Bsp.: Füllstand eines Stausees) durch mathematische Gleichungen (z.B. Differentialgleichungen) beschrieben ist, die mit einem ausreichend feinen Zeitraster berechnet werden
- Ereignisgesteuerte Simulation geeignet, wenn:
  - Das Modell aus **unterschiedlichen Objekten** besteht, die „sporadisch“ miteinander wechselwirken (→ Eintreten eines Ereignisses)
  - Zustandsänderungen des Systems durch solche **Ereignisse** definiert sind

# Ereignisverwaltung bei der Simulation

## 4 Ereignisnotizen



**Ereignisnotizen** benennen den Eintrittszeitpunkt und die Ereignisroutine (d.h. den Ereignistyp) eines eingeplanten (d.h. noch auszuführenden) Ereignisses

Die **Ereignisliste** speichert alle Ereignisnotizen und **liefert früheste** auf Anforderung des Simulators

**Ereignisroutinen** („event handler“) enthalten Anweisungen zur Änderung des Modellzustands (sowie evtl. zum Einplanen weiterer Ereignisse, d.h. Einfügen neuer Ereignisnotizen in die Ereignisliste)



# Your Job Today

Your job today is to sit behind a counter and manage a group of objects (four-inch cubes, each with a unique number) that people will be working with.

Specifically, you have to:

1. Collect cubes that people come by and drop off.
2. When somebody asks for a cube, you have to give him the lowest-numbered cube you currently have in your possession.

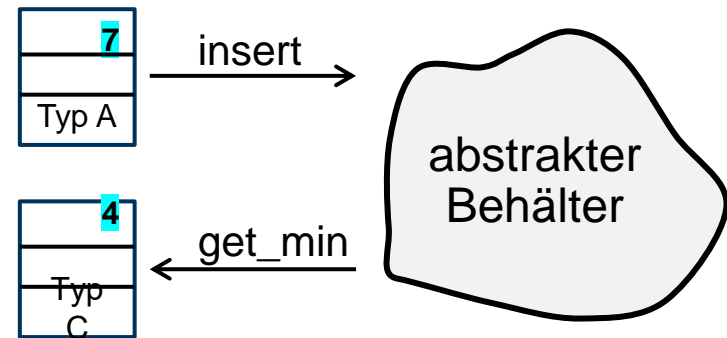
*That's all you have to do.*



# Ereignisliste als abstrakter Datentyp

- **Insert** fügt eine Ereignisnotiz in einen „abstrakten Behälter“ ein
- **Get\_min** liefert die Ereignisnotiz mit dem **kleinsten** Zeitstempel der im Behälter z.Z. gespeicherten zurück und entfernt diese aus dem Behälter (Exception falls Behälter leer war)
- Die Ereignisliste muss man allerdings nicht als verkettete Liste realisieren!

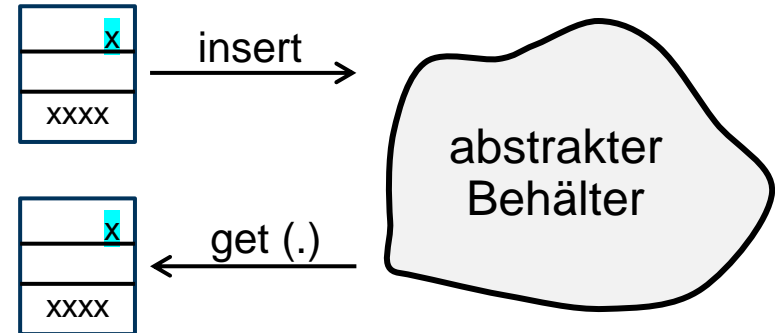
Definiert durch die *Wirkung* der Operationen, nicht durch eine *Implementierung*



Ein Datentyp mit diesen beiden Operationen heisst „**Priority Queue**“

- **Beispiel:** Die Folge von Operationen  
*insert(5); insert(2); insert(8); get\_min; insert(4); insert(7); get\_min;*  
liefert: 2; 4

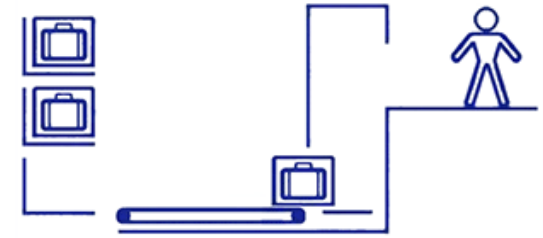
# Auch ein abstrakter Behälter...



„Der Kunde bedient hierbei einen zentralen Abgabe- und Abholautomaten. Nach Entrichten des Mietbetrags am Automaten wird durch ein automatisches Fördersystem ein leerer Behälter zur Aufnahme des Gepäcks bereitgestellt, in den der Reisende sein Gepäck hineinstellt. Nachdem dies erfolgt ist, fährt der Behälter ebenfalls automatisch in ein zentralisiertes Lager, wo er für die Dauer der Aufbewahrung verbleibt. Für den Kunden ist der automatisierte Vorgang nicht zu bemerken, was häufig zu Irritationen und Missverständnissen führt.“

de.wikipedia.org

# Auch ein abstrakter Behälter...



„Letztens war ich auf einer Städtereise nach Köln. Am letzten Tag meines Aufenthalts wollte ich mein Gepäck in einem Schliessfach am Bahnhof deponieren und mich danach noch einmal ins Getümmel stürzen, bis mein Zug abfährt. So weit so gut, doch die Suche nach einem Schliessfach endete vor diesem Apparat.

Obwohl ich grundsätzlich ein technikaffiner Mensch bin, beschlich mich beim Anblick dieser Maschine ein leises Unbehagen. Wo landet mein Gepäck, wenn ich es diesem Gerät anvertraue? Hat es irgendwo unter dem Boden ein Lager? Erhalte ich dann wirklich das richtige Gepäckstück zurück und was mache ich, wenn ich 15 Minuten vor Abfahrt wiederkomme und die Maschine spinnt?



Dass ich mit meinem Gefühl nicht alleine war, sah man den Menschen, die sich um die Automaten versammelten, deutlich an. **Misstrauisch liefen Sie um den Automaten herum und beäugten das Ungetüm von allen Seiten.** Sie studierten die angeschlagene Bedienungsanleitung und beobachteten die anderen Reisenden dabei, wie diese ihr **Gepäck schweren Herzens in die Öffnung stellten**, den geforderten Betrag in den Münzschlitz einwarfen, zusahen wie sich die Schliessfachtüre schloss und schliesslich das Ticket entgegennahmen.

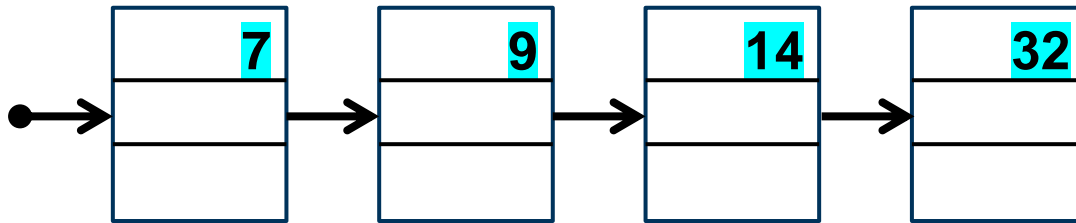
Als Psychologe vermute ich, dass dieses Misstrauen damit zusammenhängt, dass wir kein mentales Modell von einer Schliessfachanlage haben. Wir stellen das Gepäck ein, wissen aber nicht, was damit passiert. Bei einem traditionellen Schliessfach ist uns das sonnenklar und auch bei der Gepäckaufbewahrung sehen wir im Hintergrund die Gestelle, auf denen die Gepäckstücke deponiert werden. Aber bei diesem Automaten verschwinden die Gepäckstücke irgendwo, was das Prinzip der **Objektpermanenz** unterläuft. [...]"



Phillip Mukorwsky: Puzzle ITC. Auszug aus: <https://zeix.com/durchdacht/2008/11/04/tag-9-die-schliessfachautomaten-zu-koln/>

# Implementierung von Priority Queues

## 1. Implementierung: Sortierte verkettete Liste



- → **insert** benötigt  $O(n)$  Schritte  
(richtige Stelle finden und dort einfügen)
- → **get\_min** benötigt  $O(1)$  Schritte  
(vorderstes Element entfernen und zurückliefern)

Für ein „zufälliges“  
Element (bei  
Gleichverteilung)

$n$  = Anzahl der Ele-  
mente in der Liste

Diese Realisierung gibt der „Priority Queue“ ihren Namen: Eine Warteschlange („queue“), die aber nicht wie üblich nach Ankunftsreihenfolge (FIFO) geordnet ist, sondern nach Prioritäten

# Implementierung von Priority Queues

## 2. Implementierung: Unsortierte verkettete Liste

- → **insert** benötigt  $O(1)$  Schritte  
(z.B. vorne anfügen)
- → **get\_min** benötigt  $O(n)$  Schritte  
(kleinstes Element suchen und ausketten)

Ist diese Lösung besser oder schlechter als die vorherige?

---

## 3. Implementierung: Heap-Datenstruktur

„partiell“ sortiert

- → **insert** und **get\_min** benötigen *beide*  nur  $O(\log n)$  Schritte

Denkübung: Wieso eigentlich nicht einen Suchbaum verwenden? Da kann man doch auch schnell einfügen und das Minimum schnell finden, oder?

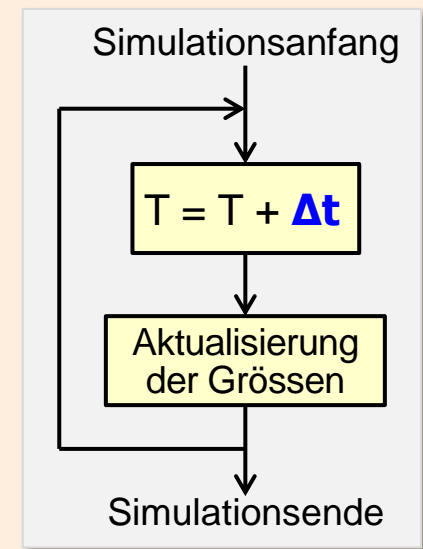
# Resümee des Kapitels

## ■ Simulation

- Zweck
- Anwendungsgebiete: vielfältige Beispiele
- Historie der numerischen Wetterprognose
- Modell, Modellierung, adäquate Abstraktion, Rückschluss
- Simulation „=“ Experiment mit einem Modell

## ■ Zeitgesteuerter Simulation

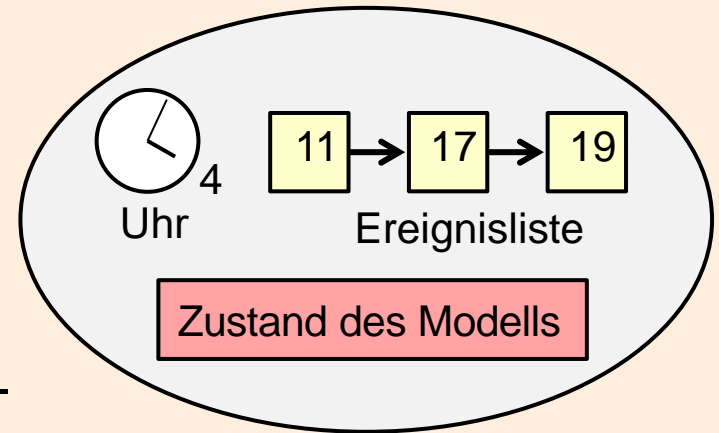
- Miniwelt „Weizen, Mäuse, Katzen“: Von der Spezifikation zum ausführbaren Simulationsmodell
- Simulationszyklus: Iterative Neuberechnung der Zustandsgrößen für  $T + \Delta t$  aus den Zustandsgrößen der vorangehenden Zeitepoche



# Resümee des Kapitels (2)

## ■ Ereignisgesteuerte Simulation

- Stutzfindende Ereignisse treiben die Simulation (& Simulationszeit!) voran
- Modellierung von parallelen Abläufen durch global verzahnte Ereignisfolgen
- Simulationszyklus: Sprung zum chronologisch nächsten Ereignis; Zustandsaktualisierung; Einplanung zukünftiger Ereignisse
- Beispiel: Call-Center (Ermittlung relevanter Leistungskenngrößen)



## ■ Priority Queues als abstrakte Datentypen

- Operationen *insert*, *get\_min*
  - Realisierungen: sortierte Liste; unsortierte Liste; Heap („partiell sortiert“)
- $O(n) ; O(1)$                        $O(1) ; O(n)$                        $O(\log n) ; O(\log n)$