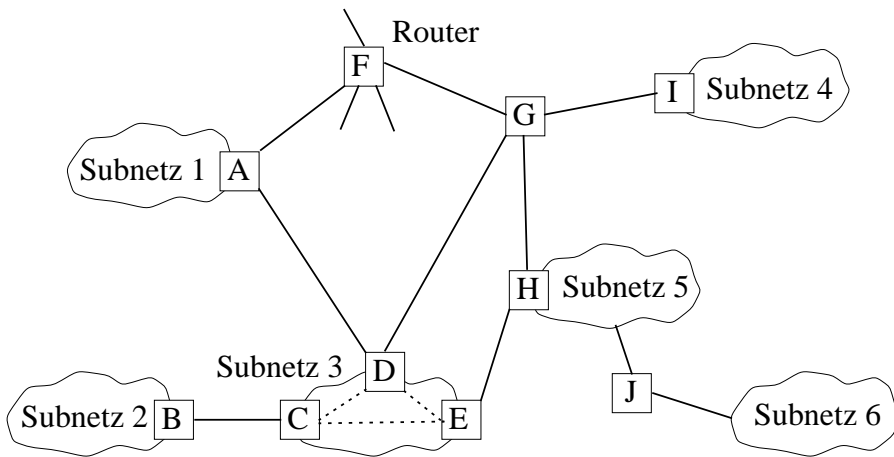


Internetworking mit Routern



- Subnetz kann z.B. ein ganzes Campusnetz oder ein einfaches LAN sein
 - ggf. auch ein virtuelles Netz aller Kunden eines Providers
- Router können unterschiedlich eingesetzt werden
 - Koppeln zweier LANs auf Ebene 3 (z.B. J)
 - reine Infrastrukturknoten zur Wegwahl bzw. Übergangspunkt zwischen verschiedenen Providern (z.B. F, G)
 - Realisieren virtueller Verbindungen innerhalb eines Subnetzes (C, D, E)
- Oft hierarchisches Routing (meist aber nur 2-stufig)
 - Interior Gateway Protocol (Wegesuche innerhalb eines Subnetzes)
 - Exterior Gateway Protocol (Wegesuche zwischen den Subnetzen bzw. den durch sie vertretenden Routern)

Was ist das Internet?

Max Kittelmann, 6, Erstklässler, Eilenburg:

Das Internet gibt es in grossen Städten. In Eilenburg, Afrika oder Japan gibt es kein Internet. Es gehört den Leuten aus dem Internet-Cafe.

Helmut Sahlfeld, 69, Land- und Forstwirt, Apelern:

Man kann sich damit Daten von sonstwo kommen lassen und die halbe Börse abrufen. Wenn man genug zu tun hat, so wie ich, ist einem so ein Internet mehr als egal.

Marga Bruhns, 78, Seniorenbeauftragte, Emden:

Ich höre oft den Satz "Das steht im Internet" und verstehe ihn nicht. Das hat nicht jeder Fernseher, nicht? Man kann damit Nachrichten verschicken, es ist vielleicht so was wie ein Fax.

Zitate aus "Spiegel Spezial" Nr. 3 / 99

- Internet-Technologie

- globales Adressierungsschema ("IP-Adresse")
- TCP/IP-Protokolle + Routing-Verfahren + Hilfsdienste
- Anwendungsprotokolle: E-mail, ftp, news, telnet, http,...

Vgl. z.B. Comm. of the ACM, Vol. 37 No. 8 (Aug. 1994): Sonderheft "Internet Technology"

Internet-Geschichte: Überblick

- Das Internet ist eine unerwartete Erfolgsgeschichte der (US-amerikanischen) Informatik
 - Mythos: es sei eine Erfindung der Militärs (wurde von DARPA gefördert)

- 70er Jahre: *Pionierzeit*

das Internet ist also **30 Jahre alt** und verkraftete den Technologiewandel

- 1969: Erstes "Internet" aus 4 Knoten: University of California at Los Angeles (UCLA), Stanford Research Institute (SRI), University of California at Santa Barbara (UCSB), University of Utah

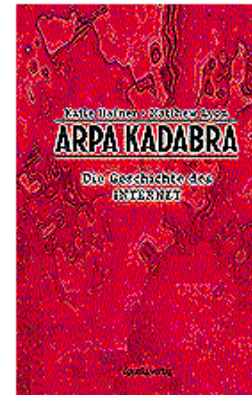
- 80er Jahre: *Wissenschaftsnetz*

- getrieben durch die Informatik
- erste europäische Universitäten schliessen sich an das Internet an

- 90er Jahre: *Kommerzialisierung und Popularisierung*

- 1991 erster Commercial Internet Exchange ("CIX")
- 1997 Streit der deutschen kommerziellen Internetprovider mit dem deutschen Wissenschaftsnetz (DFN-Verein) um die Kosten
- 1998 Überall in der Werbung finden sich WWW-Adressen

Geschichte des Internet



Katie Hafner, Matthew Lyon:
ARPA Kadabra
Die Geschichte des Internet

330 Seiten, DM 49.00
ISBN: 3-920993-90-X
dpunkt-Verlag, 1997

<http://www.dpunkt.de/arpa-kadabra/>

Der amerikanische Bestseller "Where Wizards Stay up Late - The Origins of the Internet" ist 1997 unter dem Titel "ARPA Kadabra - Die Geschichte des Internet" beim dpunkt.verlag erschienen.

ARPA Kadabra erzählt die Geschichte des Internet, die Geschichte einer der faszinierendsten technischen Entwicklungen unserer Zeit. Aber auch die Geschichte einer kleinen Gruppe junger Wissenschaftler und Ingenieure, die vor 25 Jahren...

ARPA Kadabra

Der Mythos:

“Ende der 60er Jahre entwickelte das U.S. Verteidigungsministerium ein Computernetzwerk namens ARPAnet, welches am 1.9.1969 an der University of California, Los Angeles (UCLA) in Betrieb genommen wurde. Es sollte auch bei einem Ausfall von Teilen des Netzwerkes durch einen nuklearen Angriff weiter funktionieren und so die akademische und militärische Forschung sicherstellen.”

Die Wahrheit:

Wie Katie Hafner und Matthew Lyon in ihrem Buch “ARPA Kadabra - Die Geschichte des Internet” darlegen, hatte das ARPAnet in Wirklichkeit nichts mit der Unterstützung eines nuklearen Krieges zu tun. Im Gegenteil ging es den Wissenschaftlern darum, die Computer von verschiedenen wissenschaftlichen Instituten des Landes zu verbinden, um gemeinsam Ressourcen nutzen zu können.

Tatsächlich begann die ganze Entwicklung damit, dass Bob Taylor, ein Mitarbeiter der Defence Department’s Advanced Research Projects Agency (ARPA), sich über ein technisches Problem in seiner Abteilung ärgerte: Es waren drei verschiedene Computer-Terminals notwendig, um die ARPA mit drei Computersystemen von Universitäten zu verbinden. Taylors Ziel war es, einen Weg zu finden, um die drei unterschiedlichen Systeme zu vernetzen.

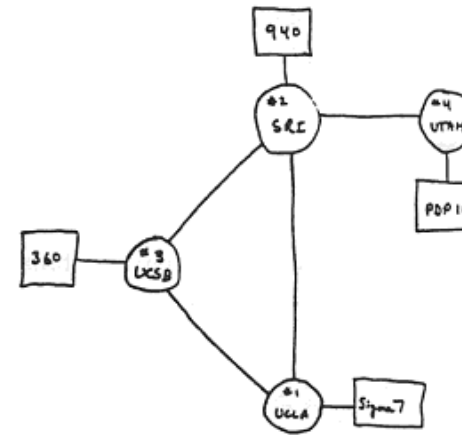
Computernetzwerke existierten zu dieser Zeit - in den 60er Jahren - noch nicht, ausser in den Köpfen einer Handvoll Wissenschaftler.

...

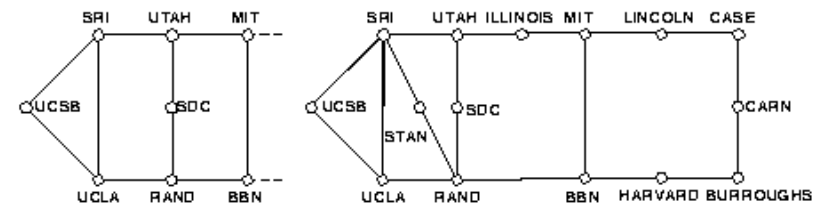
Ein landesweites Netzwerk, genannt ARPAnet, wurde ab jetzt ständig weiterentwickelt. Dabei machten die Entwickler - eher zufällig - eine Reihe von nützlichen Entdeckungen wie zum Beispiel E-Mail, das wichtigste Kommunikationsmedium seit Erfindung des Telefons. Das ARPAnet schloss sich am Ende mit anderen Netzwerken zusammen, um zum heutigen Internet zu werden.

Internet-Geschichte: Pionierzeit

- 1967: ARPA (Advanced Research Project Agency) des DoD vergibt Auftrag “Projektstudie ausfalltolerantes Paketnetz” an SRI (Stanford Research Institute)
- 1969: Erstes “Internet” aus 4 Knoten: University of California at Los Angeles (UCLA), Stanford Research Institute (SRI), University of California at Santa Barbara (UCSB), University of Utah



- 1971: Betriebsaufnahme des ARPAnet

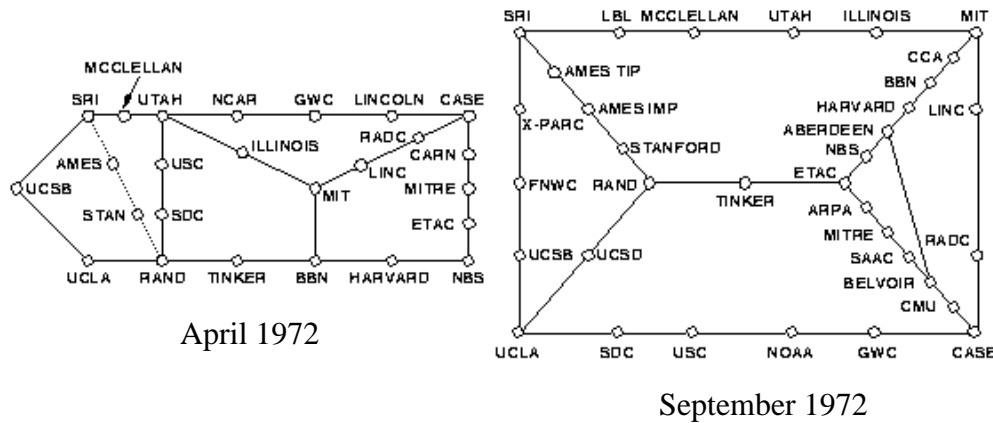


Juli 1970

März 1971

- 1971: Experiment zum Einloggen auf entfernten Rechnern; erstmalig Nutzung von E-Mail
- 1972: Erste öffentliche Demonstration des Netzes
- 1974: Neue Protokollsuite: TCP/IP

Internet-Geschichte: Wachstum



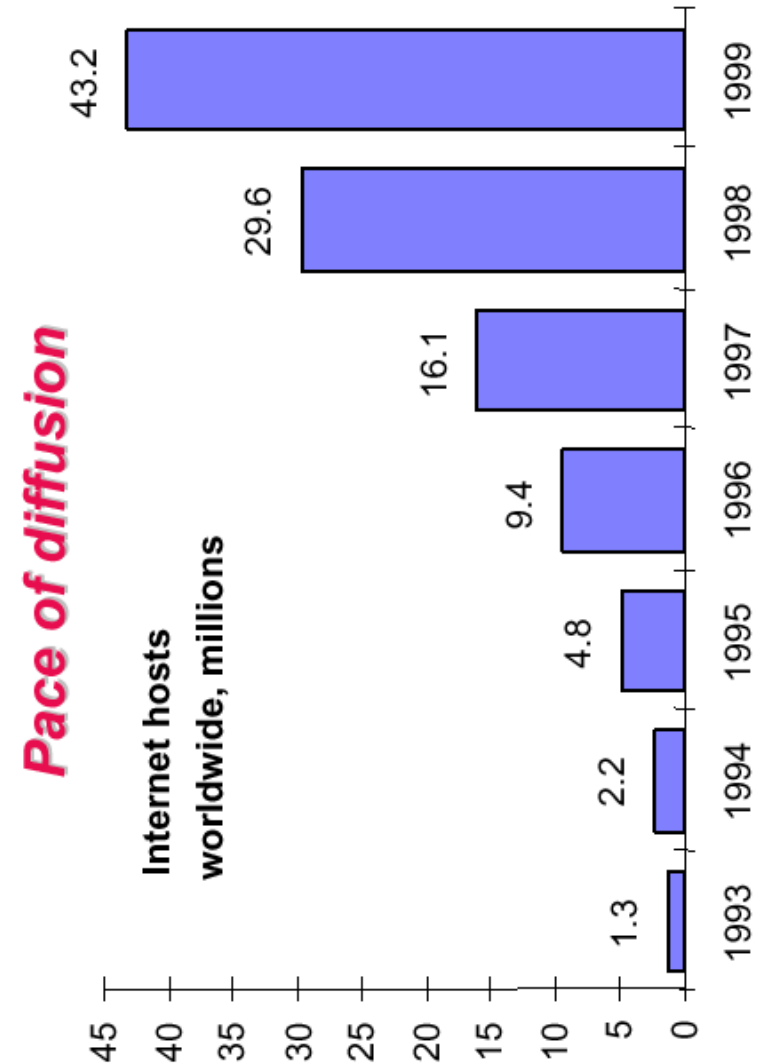
- Netz für Computer Science und andere Wissenschaften

- 1980: Integration der TCP/IP-Protokolle in UNIX
- 1981: Gründung des CSnet (Computer Science Network) durch NSF (National Science Foundation)
- 1986: NSFnet als zweites Backbone
- 1988: IP-Verbindung zum Internet aus Deutschland
- 1991: EBONE: Europäisches Backbone

- Kommerzialisierung und Popularisierung

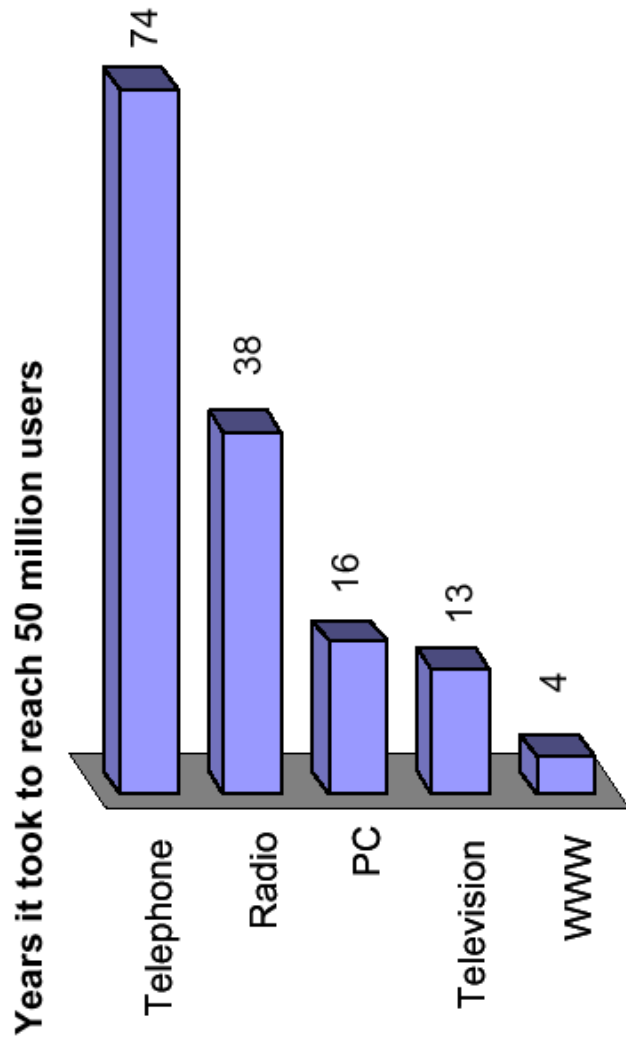
- 1991: Internet Exchange CIX ("Commercial Internet Exchange")
- 1997: Streit der deutschen kommerziellen Internetprovider mit dem deutschen Wissenschaftsnetz des DFN-Vereins
- Dez. 1999: 293 996 Rechner in der Schweiz, 1 635 067 in Deutschland

<http://www.ripe.net/statistics/hostcount.html>
<http://www.nic.de/DENICdb/stats/index.html>
<http://navigators.com/statall.gif>
<http://www.isc.org/ds/>
<http://www.nw.com/zone/WWW/>



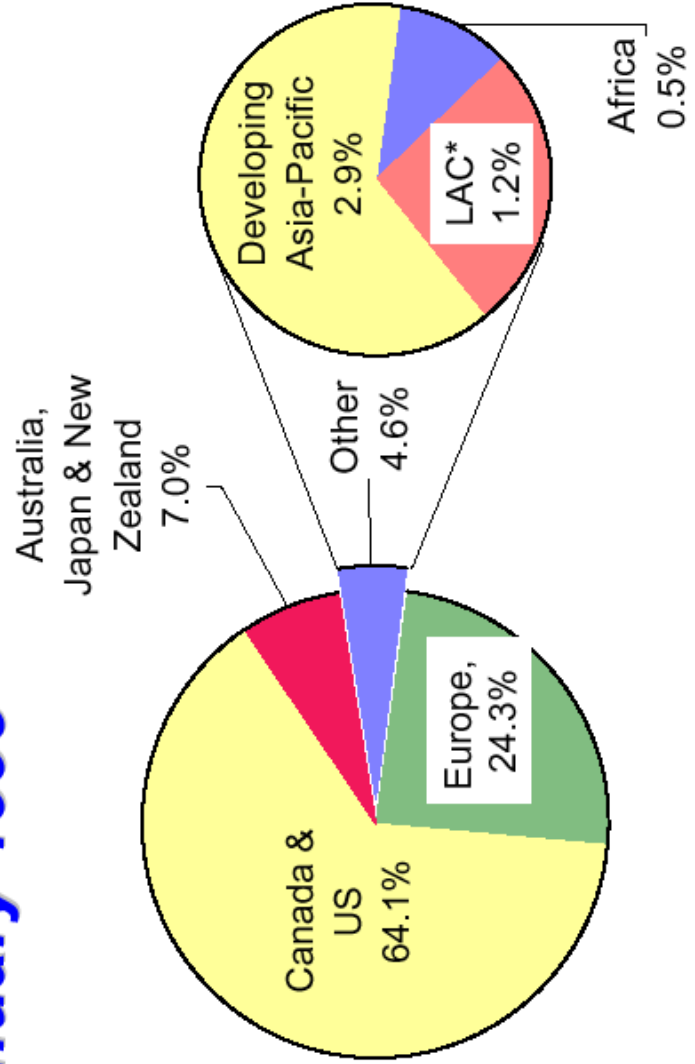
Quelle: LAURA MÄNNISTÖ, BEN PETRAZZINI, STRATEGIC PLANNING UNIT, ITU:CHALLENGES TO THE NETWORK 1999
 2 nd World Telecommunication Indicators Meeting, Geneva, 29 - 31 March 1999
<http://www.itu.int/ti/WTIM99/Documents.html>

Pace of diffusion



Quelle: LAURA MÄNNISTÖ, BEN PETRAZZINI, STRATEGIC PLANNING UNIT, ITU:CHALLENGES TO THE NETWORK 1999
 2 nd World Telecommunication Indicators Meeting, Geneva, 29 - 31 March 1999
<http://www.itu.int/ti/WTIM99/Documents.html>

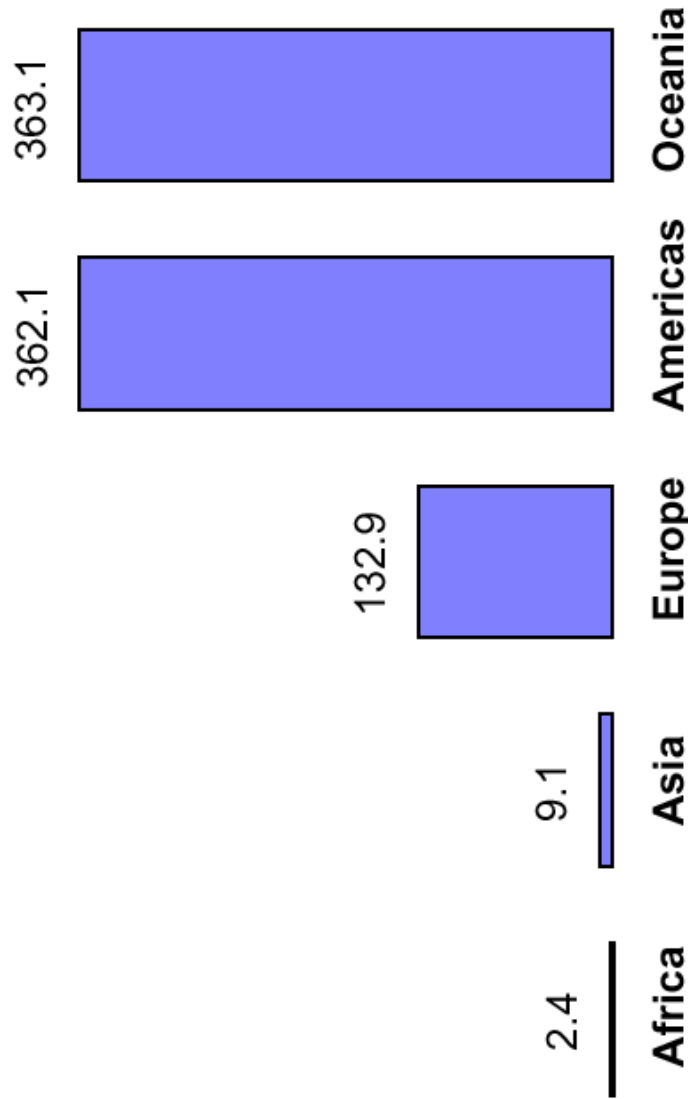
Distribution of Internet hosts, January 1998



Source: ITU "Challenges to the Network: Internet for development, 1999".

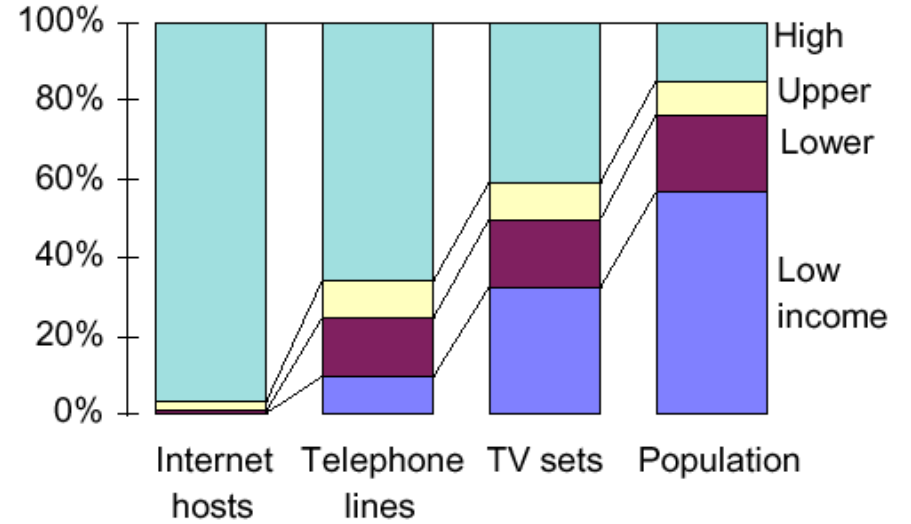
<http://www.itu.int/ti/papers/witwatersrand/inet-3.pdf>
<http://www.itu.int/ti/papers/witwatersrand/index.htm>

Internet host density by region, January 1999, Per 10'000 inhabitants



Source: ITU "Challenges to the Network: Internet for Development, 1999", Network Wizards.

Persistence of inequalities in service take up: Distribution in percentages

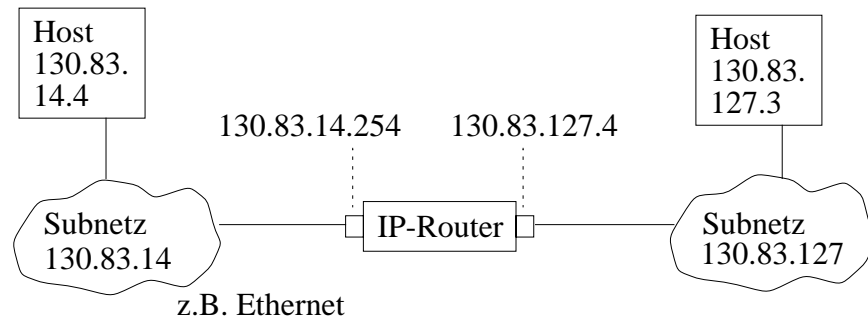


Source: ITU "Challenges to the Network: Telecoms and the Internet", 1997. Network Wizards (www.nw.com).

<http://www.itu.int/ti/papers/ISS97/23sep97.pdf>

Internet: Namen und Adressen

- Symbolische Namen von Maschinen
 - z.B. www.inf.ethz.ch
 - gut zu merken; relativ unabhängig von spezifischer Maschine
 - muss bei Verwendung in eine IP-Adresse umgesetzt werden!
 - dazu verteilte Namensdienste (DNS; nslookup etc.)
- Jede Maschine am Internet hat eine IP-Adresse
 - 32 Bit lang
 - typischerweise als 4 Dezimalzahlen geschrieben
 - Bsp.: 192.130.10.121 (= 11000000.10000010.00001010.01111001)



- Zuordnung IP-Adresse zur 6-gliedrigen Adresse der MAC-Ebene (z.B. Ethernet) eines Subnetzes durch ARP (“Address Resolution Protocol”; RFC 826)
 - Broadcast: “Wer hat die IP-Adresse 1.2.3.4?” z.B. im Subnetz 1.2.3
 - jede Maschine prüft ihre IP-Adresse
 - eine antwortet mit ihrer Ethernet-Adresse

IP, UDP und TCP

| | | |
|------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ebene 4 (Transport) | Transmission Control Protocol TCP | User Datagram Protocol UDP |
| Ebene 3 (Network) | Internet Protocol IP | |

- Internet Protokoll (IP)
 - verbindungsloses, ungesichertes Protokoll
 - sorgt für Routing der Pakete
 - “best effort”: Pakete können u.U. verloren gehen oder verfälscht werden
- UDP
 - i.w. Hinzufügen von Port-Nummern (“Transportadressen”) zu IP
 - damit eine Kommunikationsbeziehung von einem Sendeport eines Rechners zu einem Empfangsport eines anderen Rechners
 - Ports können von (den Prozessen) einer Anwendung benutzt werden
 - ungesichert bzgl. Paketverlust
 - broadcast- und multicastfähig
- TCP
 - aufwendiger als UDP: gesicherte Verbindungen (“byte stream”)
 - Verbindung besteht aus Sendeportnummer, Sende-IP-Nummer, Empfangsportnummer, Empfangs-IP-Nummer
 - Sequenznummern und acknowledge / retransmit
 - Timeouts und Fenstergrößen werden dynamisch angepasst
 - ebenfalls Ports (16-Bit-Nummern) als Kommunikationsendpunkte
- Auf TCP/IP (bzw. UDP/IP) bauen weitere Internet-Protokolle höherer Ebene auf, z.B.: telnet, ftp, smtp, http
 - ferner Systeme wie NFS (verteiltes Dateisystem) etc.

logische Kommunikationsendpunkte, durch 16-Bit-Zahlen identifiziert

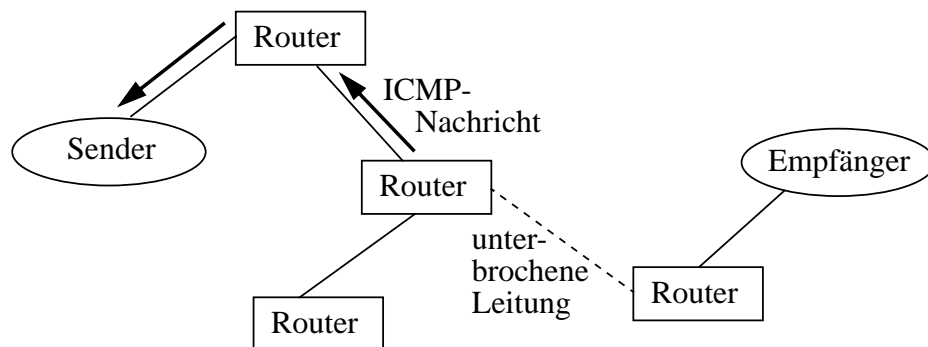
ICMP

- Hilfsprotokoll ICMP (Internet Control Message Protocol) auf IP-Ebene

- schwerwiegende Probleme (z.B. Unterbrechung einer Leitung) werden zur Vermeidung von Folgefehlern mittels ICMP den Kommunikationspartnern mitgeteilt
- ICMP unterstützt den Austausch von Statusanfragen und Zustandsinformation zur Kontrolle und Fehlersuche im Netz (Test von Routen; Messen von Verzögerungen etc.)
- ICMP nutzt IP selbst als "Transportdienst"
- ICMP meldet keine Fehler bzgl. ICMP-Pakete

- Einige Meldungen von ICMP:

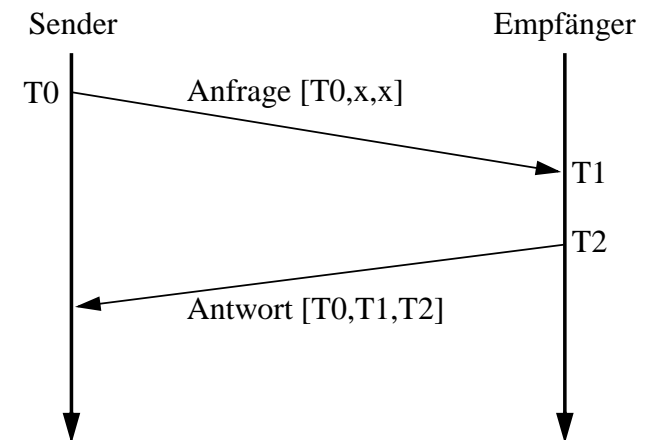
- *Zieladresse nicht erreichbar* (destination unreachable): Ein Datenpaket konnte nicht zugestellt werden.
- *Zeit abgelaufen* (time exceeded): Ein Datenpaket wurde wegen Ablauf seiner Lebenszeit von einem Router verworfen.
- *Quellendämpfung* (source quench): Ein überlastetes Kommunikationssystem fordert den Sender auf, die Übertragungsrate zu senken.



ICMP (2)

- Statusanfragen mit ICMP

- *Echo* und Echoantwort (echo request and echo reply): Dient der Überprüfung der Aktivität von Kommunikationssystemen. Der Empfänger einer Echo-Anfrage sendet in der Echo-Antwort die erhaltenen Daten an den Kommunikationspartner zurück.
- *Zeitstempel* und Zeitstempelantwort (timestamp request and timestamp reply): Dient der Bestimmung von Paketumlaufzeiten. Die Meldungen umfassen mehrere Felder zur Aufnahme von Zeitstempeln, an Hand derer die Paketbearbeitungszeiten beim Empfänger und die Verzögerung im Netzwerk bestimmt werden können.



- ICMP wird z.B. von "ping" benutzt:

- Ping utilizes the ICMP protocol's ECHO_REQUEST datagram to elicit an ICMP ECHO_RESPONSE from the specified host or network gateway. Ping computes round trip times and packet loss statistics; it displays a summary of this information ...

Netzstatistik auf IP-Ebene

- Beispiel für einen ping-Aufruf:

```
ping www.altavista..com
PING altavista.digital.com: 56 data bytes
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=0. time=282. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=2. time=358. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=4. time=290. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=5. time=304. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=6. time=265. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=8. time=456. ms
64 bytes from altavista.com (204.123.2.69): icmp_seq=10. time=251. ms
----altavista.com PING Statistics----
15 packets transmitted, 9 packets received, 40% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 251/309/456
```

- Explizites Setzen des time-to-live-Parameters

```
ping -t 1 www.altavista.com
ICMP Time exceeded in transit from rou-ifw-inf-vs.ethz.ch (129.132.13.65)
ping -t 3
ICMP Time exceeded in transit from swiez1-eth-switch-fast.ethz.ch (192.33.92.87)
ping -t 5
ICMP Time exceeded in transit from swiNY1-A5-0-0-200.switch.ch (130.59.33.202)
ping -t 7
ICMP Time exceeded in transit from ATM2-0.XR2.NYC4.ALTER.NET (152.63.22.14)
ping -t 10
ICMP Time exceeded in transit fromt ATM6-0.XR2.PAO1.ALTER.NET (152.63.49.33)
```

Dies lässt sich mit dem Kommando “traceroute” automatisieren...

Traceroute

NAME

traceroute - print the route packets take to network host

DESCRIPTION

The Internet is a large and complex aggregation of network hardware, connected together by gateways. Tracking the route one’s packets follow (or finding the miscreant gateway that’s discarding your packets) can be difficult...

This program attempts to trace the route an IP packet would follow to some internet host by launching UDP probe packets with a small ttl (time to live) then listening for an ICMP “time exceeded” reply from a gateway. We start our probes with a ttl of one and increase by one... Three probes are sent at each ttl setting and a line is printed showing the ttl, address of the gateway and round trip time of each probe.

AUTHOR

Implemented by Van Jacobson...

traceroute from Munich-EBS.Ebone.NET to munich.de.eu.net - May 31 08:11:23 1995:

```
1 Munich-EBS.Ebone.NET (193.23.5.98) 197 ms 70 ms 72 ms
2 Paris-EBS2.Ebone.NET (192.121.158.10) 93 ms 95 ms 93 ms
3 Vienna-EBS1.Ebone.NET (192.121.156.18) 114 ms 121 ms 128 ms
4 Amsterdam1.NL.EU.net (192.121.159.75) 405 ms 305 ms 318 ms
5 Amsterdam6.NL.EU.net (134.222.85.6) 421 ms 352 ms 414 ms
6 Dortmund3.DE.EU.net (134.222.1.2) 605 ms 669 ms 946 ms
7 Munich.DE.EU.net (139.4.4.2) 1258 ms * 815 ms
```

Die Rechner Munich-EBS.Ebone.NET und Munich.DE.EU.net stehen vielleicht 20-30m auseinander, nämlich beide beim ECRC in München!

Traceroute to Microsoft

```

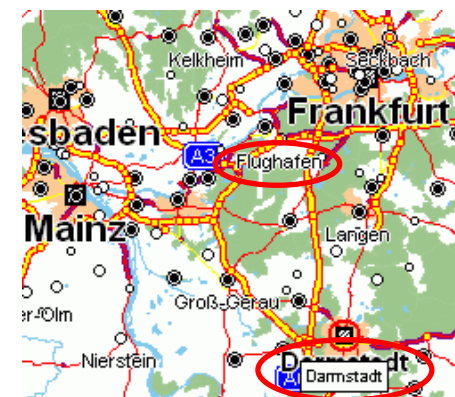
traceroute to www.microsoft.com (198.105.232.6)
 0  swiEZ2.switch.ch (130.59.1.202)  3 ms  2 ms  2 ms
 1  swiEZ6.switch.ch (130.59.20.206)  4 ms  2 ms  2 ms
 2  swiBT2.switch.ch (130.59.34.1)    13 ms  7 ms  9 ms
 3  swiBT1.switch.ch (130.59.37.1)   15 ms  9 ms  15 ms
 4  CH-s0.dante.bt.net (194.72.26.129) 13 ms  13 ms  15 ms
 5  CH-f0-0.eurocore.bt.net (194.72.24.65) 9 ms  10 ms  11 ms
 6  194.72.24.241 (194.72.24.241) 40 ms  59 ms  39 ms
 7  UK-f0.dante.bt.net (194.72.7.5)  39 ms  44 ms  37 ms
 8  New-York2.dante.net (194.72.26.210) 253 ms  293 ms  279 ms
 9  mf-1.cnss32.New-York.t3.ans.net (204.149.4.5) * 255 ms  294 ms
10  t3-0.cnss48.Hartford.t3.ans.net (140.222.48.1) * 235 ms  271 ms
11  t3-2.cnss43.Cleveland.t3.ans.net (140.222.43.3) 300 ms * 248 ms
12  t3-1.cnss27.Chicago.t3.ans.net (140.222.27.3) 278 ms  307 ms  271 ms
13  t3-1.cnss96.Denver.t3.ans.net (140.222.96.2) 279 ms  290 ms *
14  t3-1.cnss8.San-Francisco.t3.ans.net (140.222.8.2) 309 ms  330 ms  279 ms
15  mf-0.cnss11.San-Francisco.t3.ans.net (140.222.8.195) * 341 ms  390 ms
16  enss257-F.ans.net (198.32.128.65) 318 ms  322 ms  365 ms
17  enss456-H.ans.net (198.32.128.226) 334 ms  315 ms  361 ms
18  pb-F1.MCI.net (198.32.128.197) 341 ms * 316 ms
19  borderx1-hssi3-0.SanFrancisco.mci.net (204.70.158.105) 308 ms  335 ms  291 ms
20  core2-fddi-0.SanFrancisco.mci.net (204.70.158.49) 325 ms  317 ms *
21  core1-hssi-2.Sacramento.mci.net (204.70.1.146) 349 ms * 356 ms
22  core-hssi-3.Seattle.mci.net (204.70.1.150) 379 ms * 319 ms
23  border1-fddi-0.Seattle.mci.net (204.70.2.146) * 451 ms  525 ms
24  nwnet.Seattle.mci.net (204.70.52.6) 353 ms * 373 ms
25  seabr1-gw.nwnet.net (192.147.179.5) * * 355 ms
26  microsoft-t3-gw.nwnet.net (198.104.192.9) 402 ms  354 ms *
27  131.107.249.3 (131.107.249.3) 346 ms  331 ms  345 ms
28  www.microsoft.com (198.105.232.6) 409 ms  359 ms  392 ms
  
```

So sah es jedenfalls vor 1999 aus - man probiere selbst, ob inzwischen die Verbindung kürzer und schneller geworden ist!

Der schnellste Weg von Darmstadt nach Frankfurt?

```

 3  TU-Darmstadt2.WiN-IP.DFN.DE (188.1.11.17)  2 ms
 4  ZR-Frankfurt1.WiN-IP.DFN.DE (188.1.11.113)  4 ms
 5  IR-Perryman1.WiN-IP.DFN.DE (188.1.15.2)   114 ms
 6  bordercore3-hssi0-0.Washington.mci.net (166.48.41.249) 130 ms
 7  core3.Washington.mci.net (204.70.4.29)    134 ms
 8  * * f3-1.t56-2.Washington-DC.t3.ans.net (140.222.56.122) 133 ms
 9  h4-1.t32-1.New-York.t3.ans.net (140.223.33.21) 250 ms
10  f0-0.cnss38.New-York.t3.ans.net (140.222.32.198) 517 ms
11  enss567.t3.ans.net (199.222.50.14) 282 ms
12  204.151.208.166 (204.151.208.166) 375 ms
13  Hamburg1-s4-0.is-bone.net (195.180.0.5) 289 ms
14  Frankfurt-BB-h5-0.is-bone.net (195.180.0.222) 268 ms
15  Frankfurt5-e0.is-bone.net (195.180.3.14) 284 ms
16  195.180.3.154 (195.180.3.154) 279 ms
17  www.frankfurt-airport.de (194.195.240.85) 268 ms
  
```



Seitdem es den *Commercial Internet Exchange* in Frankfurt gibt, geht es besser:

```

 3  TU-Darmstadt2.WiN-IP.DFN.DE (188.1.11.17)  4 ms
 4  ZR-Frankfurt1.WiN-IP.DFN.DE (188.1.11.113)  4 ms
 5  cix-frankfurt1.WiN-IP.DFN.DE (188.1.164.14)  4 ms
 6  DECIX.maz.net (194.31.232.14) 4 ms
 7  Frankfurt-BB-h0-1-0.is-bone.net (195.180.0.29) 5 ms
 8  Frankfurt5-fe1.is-bone.net (195.180.3.14) 5 ms
 9  195.180.3.154 (195.180.3.154) 5 ms
10  www.frankfurt-airport.de (194.195.240.85) 6 ms
  
```

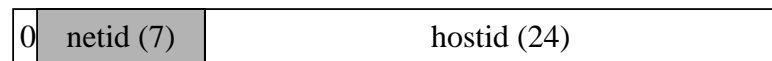
IP-Adressformat

- Es gibt 3 verschiedene Adressformate (“Adressklassen”)

- *Class A*: 126 Netze mit jeweils bis zu ca. 4 Mio. Rechnern

- Netze zu praktisch 100% aufgebraucht

1 8 16 24 32 Bit



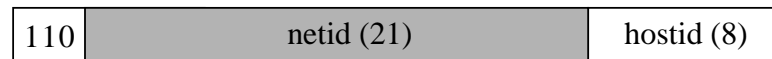
- *Class B*: 16382 Netze mit jeweils bis zu 65534 Rechnern

- Okt. 95: Netze zu 62% aufgebraucht



- *Class C*: ca. 2 Mio. Netze mit jeweils bis zu 254 Rechnern

- Okt. 95: Netze zu 31% aufgebraucht



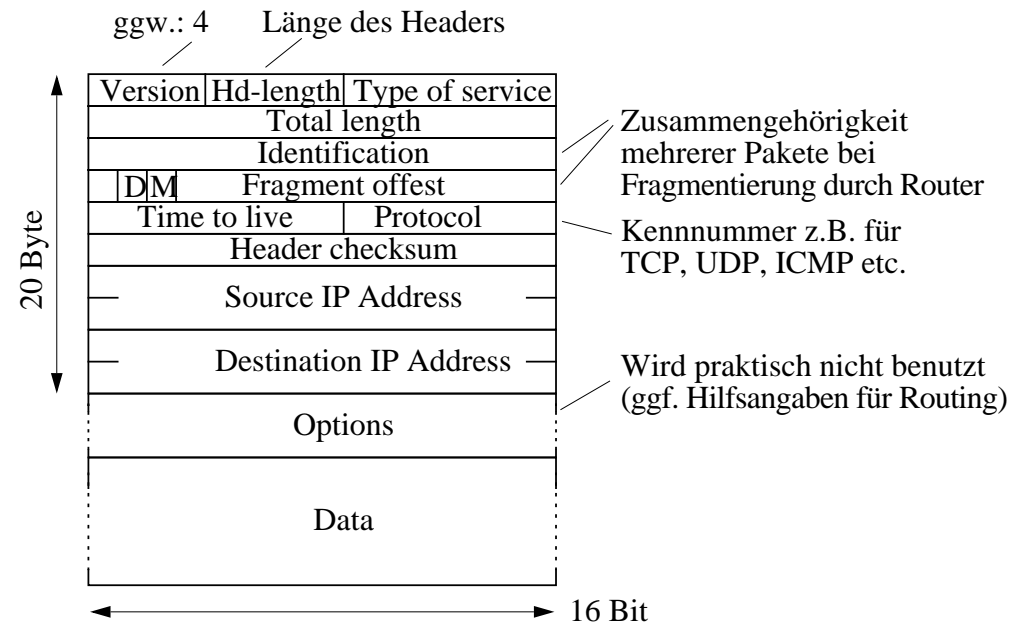
- Es gibt einige spezielle Adressen, z.B.

- 0.0.0.0 : “this host”; bzw. 255.255.255.255 : broadcast auf dem LAN

- 1110... sind Multicast-Adressen (Class D),
z.B. 224.0.0.2 : alle Router im Subnetz

- es gibt spezielle Multicast-Adressen, z.B. 224.0.1.7 für Mbone, AudioNews...

IP-Datenpakete



- **Type of service**: Priorität + “quality of service”

- Idee: bei Dateitransfer ist reliability wichtiger als low delay
- bei Audio ist low delay wichtiger als reliability
- Router könnte z.B. zwischen Glasfaser und Satellit entscheiden
- wird in der Praxis aber kaum genutzt

- **Paketlänge max. 64k**

- in der Praxis meist < 1500 (IP-Pakete in Ethernet-Rahmen!)

- **Fragmentierung**

- D=1: Don't fragment: Router darf Paket nicht fragmentieren
- M=1: More fragments (nur letztes Fragment hat dieses Bit = 0)

- **Time to live**: bei jedem Router um 1 vermindert

- falls 0: Paket vernichten und Fehlermeldung an Absender (ICMP)

- **Header checksum** wird in jedem Router neu berechnet!