

# The Sustainability of ICT

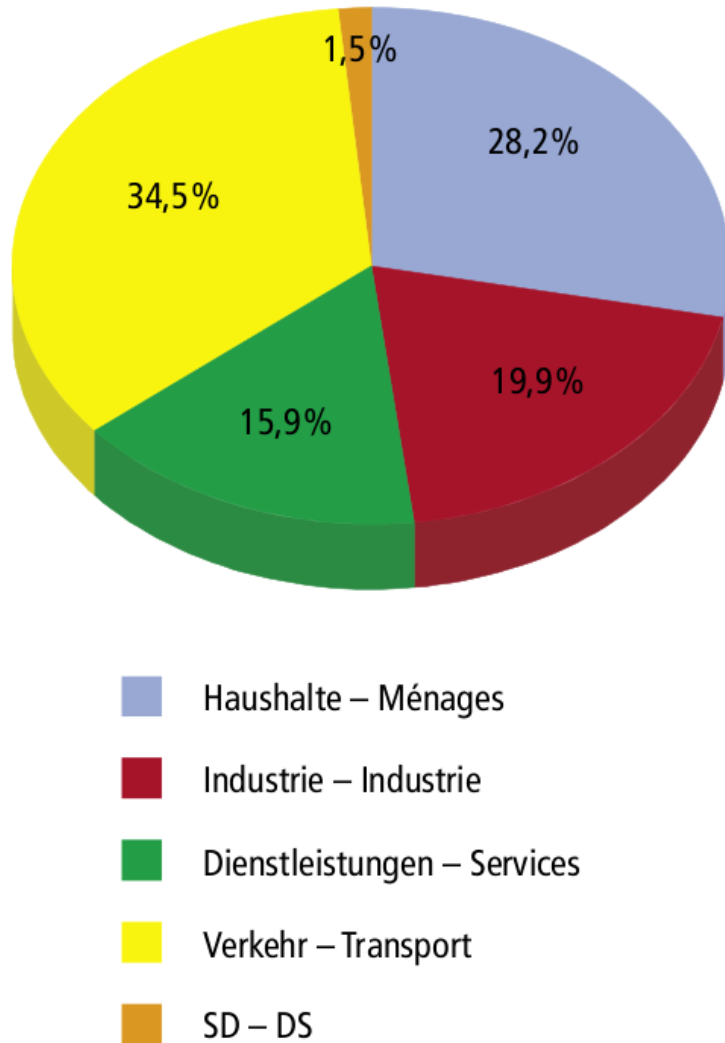
Fachseminar Verteilte Systeme  
„Smart Energy“, FS 2010

**Nico Waldispühl**

nicow@student.ethz.ch

25. Mai 2010

# Was bisher geschah...



## Wir betrachteten:

- Haushalte
- Verkehr

## Nun:

# Industrie + Dienstleistungen!

## ICT wird eingesetzt für:

- Steuerung von Anlagen
- Verarbeitung von Daten

Quelle: Bundesamt für Energie: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2008

# Wie sieht das denn genau aus mit der Energie?

## The Good

ICT hilft dabei, Industrieanlagen energieeffizienter zu betreiben

## The Bad

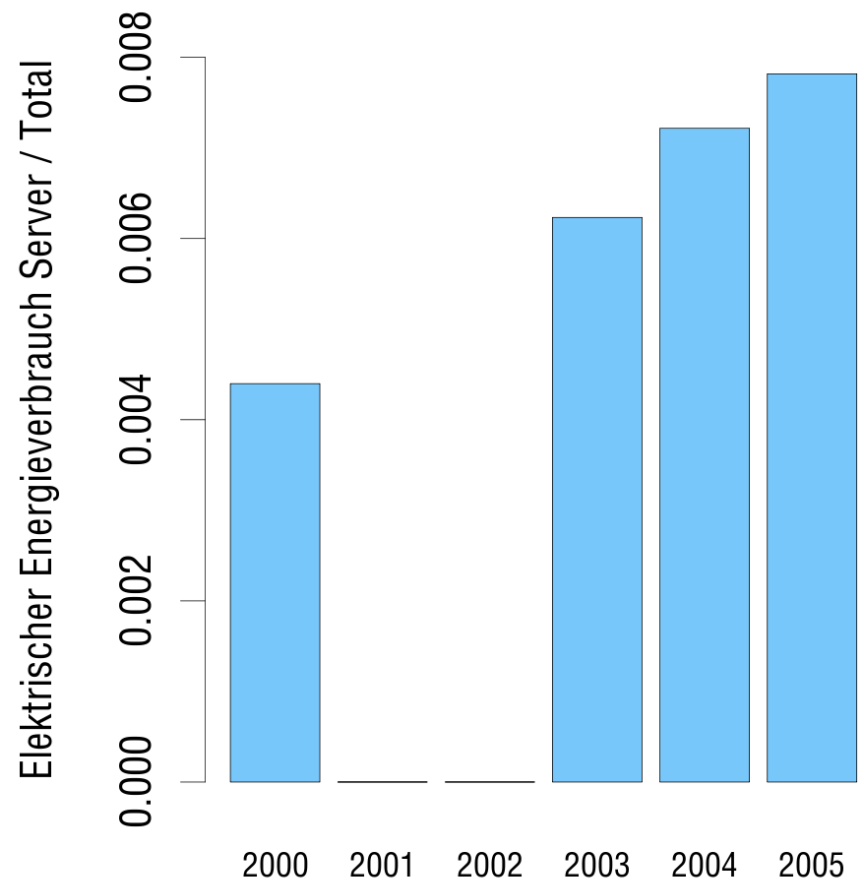
Dies gilt aber nur für den Teil der ICT, der für die Steuerung von Anlagen verwendet wird

## The Ugly

Der vermehrte Einsatz von ICT führt zu erhöhtem Energieverbrauch (sowohl direkt als auch durch 'Rebound-Effekt')

## → Energieeffizienz ICT

Rel. Verbrauch Server global (inkl. Kühlung)



Quellen: Koomey, „Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World“, 2007,  
US Energy Information Administration: <http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=2>

# Inhaltsübersicht

## Wir betrachten:

- warum es **schwierig** ist, den **Energieverbrauch** von ICT zu **messen** (und wie es trotzdem geht)
- wie man den **Energieverbrauch** eines **Industriebetriebs** durch geschickten Einsatz von ICT **reduzieren** kann (ein Fallbeispiel)
- wie man den **Energieverbrauch** von Rechnern eines **Rechenzentrums reduzieren** kann (ohne neue Rechner zu kaufen!)

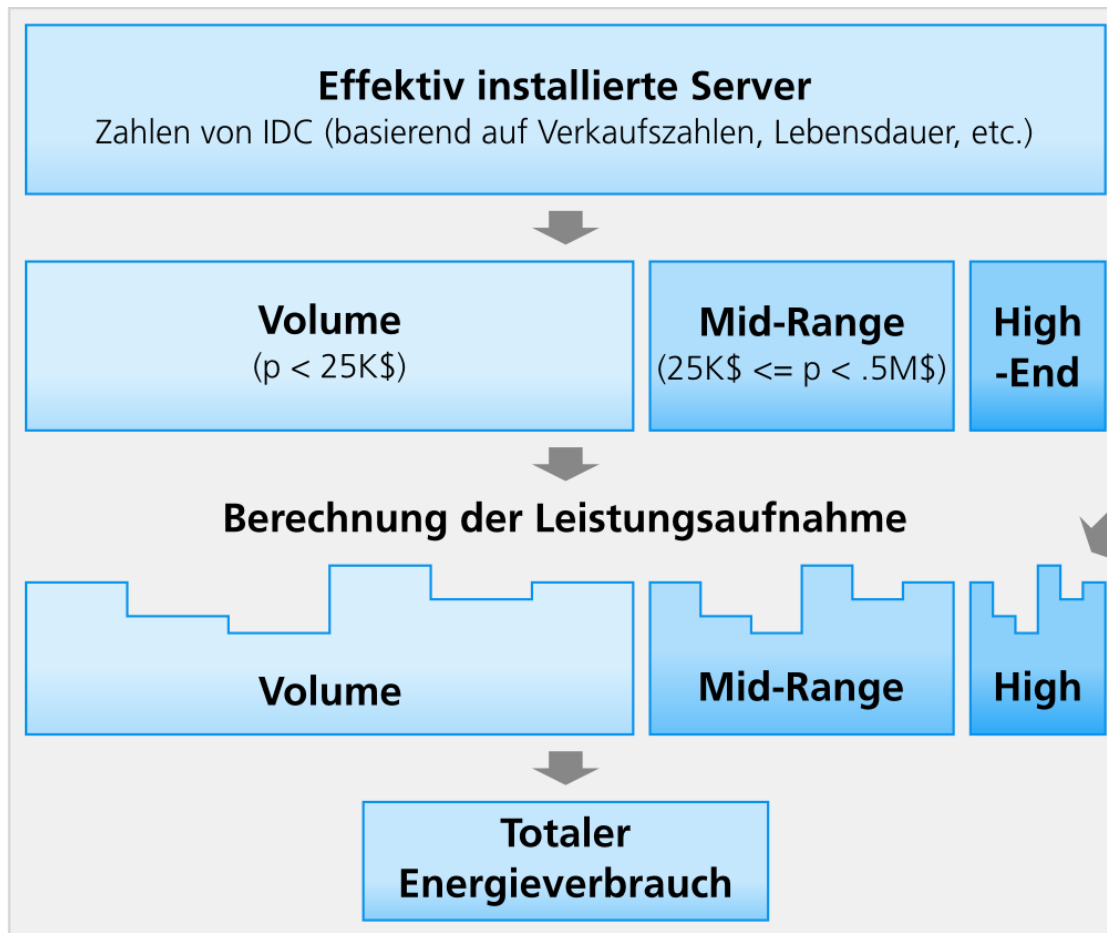
# Energieverbrauch ICT: Messbar?

**Die Messung des Energieverbrauchs von Servern ist schwierig:**

- **Wer hat alles Server in Betrieb?**  
Server weit verteilt in Datenzentren und Industriebetrieben
  - **Firmen geben kaum Auskunft**  
Anzahl Server häufig Geschäftsgeheimnis
  - **Konfiguration unbekannt**  
Prozessoren, Arbeitsspeicher, Anzahl Festplatten etc.
  - **Auslastung unbekannt**  
Je nach Last andere Verbrauchsdaten
  - **Geräte messen Energieverbrauch nicht selber**  
Messung 'an der Wand': Inkl. Kühlung etc.
- Praktisch unmöglich zu messen.**

# Energieverbrauch ICT: Berechenbar!

[Kooimey07] verwendet diese Methode:



2000: 14.1 Millionen

2005: 27.3 Millionen

2000: **V:** 12.2 Mio, **M:** 1.8 Mio, **H:** 0.07 Mio

2005: **V:** 25.9 Mio, **M:** 1.2 Mio, **H:** 0.06 Mio

## Berechnung

- Wahl der jeweils 6 verbreitetsten Modelle
- Ermittlung der durchschnittlichen Auslastung (durch Messungen, Studien)
- Gewichtetes Mittel

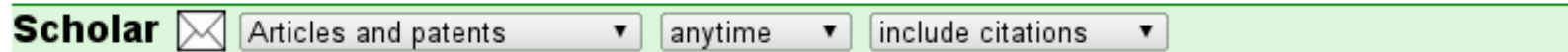
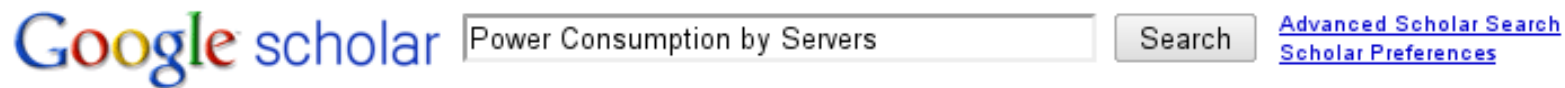
2000: 58 Milliarden kWh

2005: 123 Milliarden kWh

Quelle: Kooimey, „Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World“, 2007

# Energieverbrauch ICT: Berechnung brauchbar?

- Mit älteren Arbeiten konsistent
- **Bericht in der Fachwelt weit verbreitet:**  
(Das sagt allerdings leider nichts über die Qualität aus...)



[PDF](#) [Estimating total power consumption by servers in the US and the world](#)

JG Koomey - 2007 - Citeseer

The amount of electricity used by **servers** and other Internet infrastructure has become an important issue in recent years as demands for new Internet services (like music downloads, video-on-demand, and Internet telephony) have become more widespread. One of the ...

[Cited by 117](#) - [Related articles](#) - [View as HTML](#) - [All 26 versions](#)

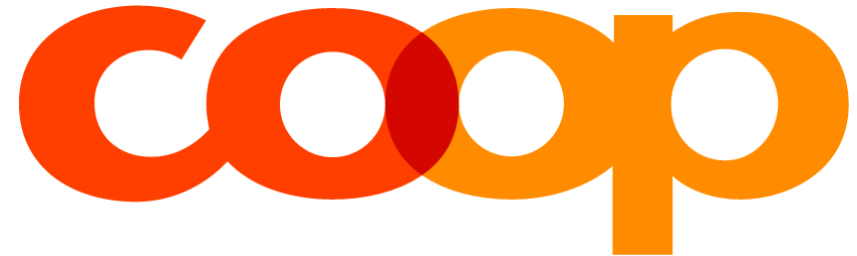
- **Vernachlässigt 'selbergebaute' Server**  
Google baut Server aus Personal Computer Motherboards selber. Schätzungen gehen 2006 von 450'000 Servern aus. Diese würden die Anzahl der Volumeserver um knapp 2% vergrößern.

Quellen: <http://scholar.google.com/scholar?q=Power+Consumption+by+Servers>,  
Koomey, „Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World“, 2007

# Industrie: Fallstudie Coop

[RWTHAachen08] führt die schweizer Handelskette **Coop** aufgrund ihres breiten Einsatzes von ICT als Fallbeispiel auf.

Coop hat ~45'000 Mitarbeiter und ist die zweitgrösste Handelskette der Schweiz (nach Migros).



## Einsatz von ICT in Coop:

E-Business, Logistik (beide nicht besprochen), Gebäudeverwaltung

## Resultate:

- Anstieg des elektrischen Verbrauchs wurde verlangsamt
- Bedarf für Heizungsenergie sinkend (!)

*Quellen: RWTH Aachen University and DIW Berlin, „The implications of ICT for Energy Consumption“, 2008, Coop Medienarchiv, <http://www.coop.ch/pb/site/medien/node/62869617/Ldel/index.html> (Bild)*



# Industrie: Fallstudie Coop, Facility-Mgmt.

## Getroffene Massnahmen:

- In neuen und umgebauten Märkten: Energiekontrollsysteme für u.a.
  - Automatische Schliessung von Fensterläden
  - Kühlung im Sommer durch Kühlschrankabluft
- Einsatz von Umweltsensorknoten mit Grenzwertüberwachung
- Licht- und Heizungssteuerung zentralisiert



Quellen: RWTH Aachen University and DIW Berlin, „The implications of ICT for Energy Consumption“, 2008, Coop Medienarchiv, <http://www.coop.ch/pb/site/medien/node/62973923/Ldel/index.html> (Bild Coop), <http://www.bus-house.ch/downloads/publikationen/Themen/Energie/Tetrag-GA-SEB-08.pdf> (Bild MESA)

# Industrie: Fallstudie Coop, Resultate

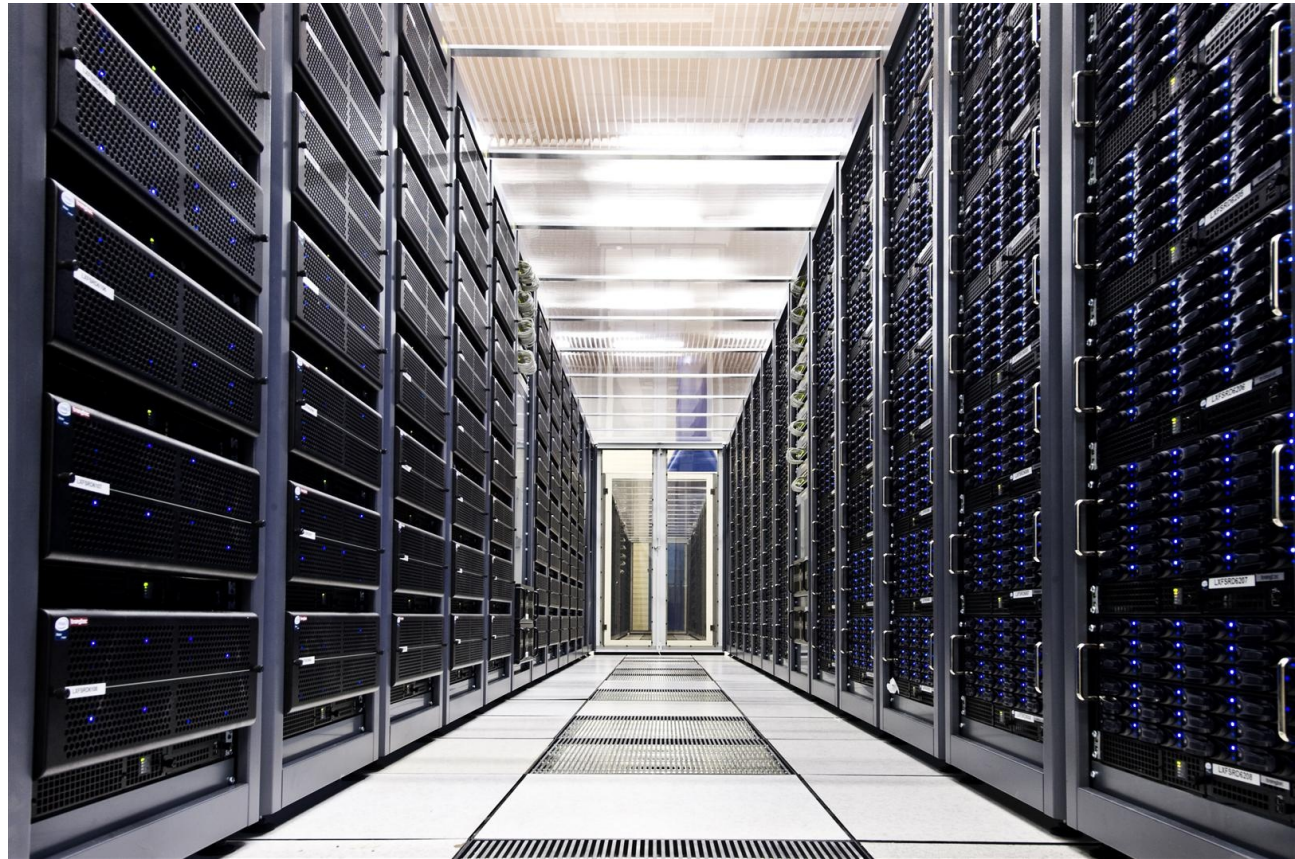
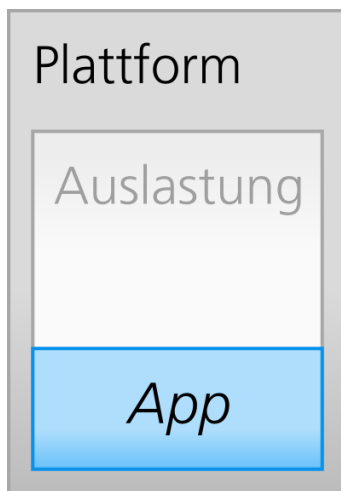
**Folgende Energieersparnisse konnten u.a. mit Hilfe von ICT erreicht werden:**

- Bereits **10 Verkaufsstellen** (von insg. ~1500) sind bezüglich Heizenergie **selbstversorgend** (2007)
- Eine signifikante Anzahl Coop Baumärkte wurde mit erwähnter Steuertechnologie ausgerüstet was deren **Heizenergieverbrauch** um **die Hälfte senken** konnte
- **Heizenergiebedarf sank** konzernweit **um 18%**, der Bedarf an **elektrischer Energie stieg** allerdings **um 2.9%** (2003)

*Quellen: RWTH Aachen University and DIW Berlin, „The implications of ICT for Energy Consumption“, 2008, Coop Zahlen und Fakten, <http://www.coop.ch/pb/site/uebercoop/node/11398/Ldel/index.html>*

# Energieverbrauch von Rechenzentren

- **Rechenzentrum besteht aus Servern (Plattformen)**  
*Häufig Hunderte!*
- **Server beherbergen Geschäftsanwendung („App“)**  
*Der Einfachheit halber: Eine!*
- **Server läuft unter gewisser Last:**



Quelle: Maximilien Brice, CERN, <http://cdsweb.cern.ch/record/1103476>, 2008 (Bild)

# Problem mit Rechenzentren?

**Pro Anwendung wird ein einzelner Server betrieben:**

- Sicherheit (Isolation)
- Reserven für mögliche Spitzenlasten

**Auslastung durchschnittlich: 20%!**

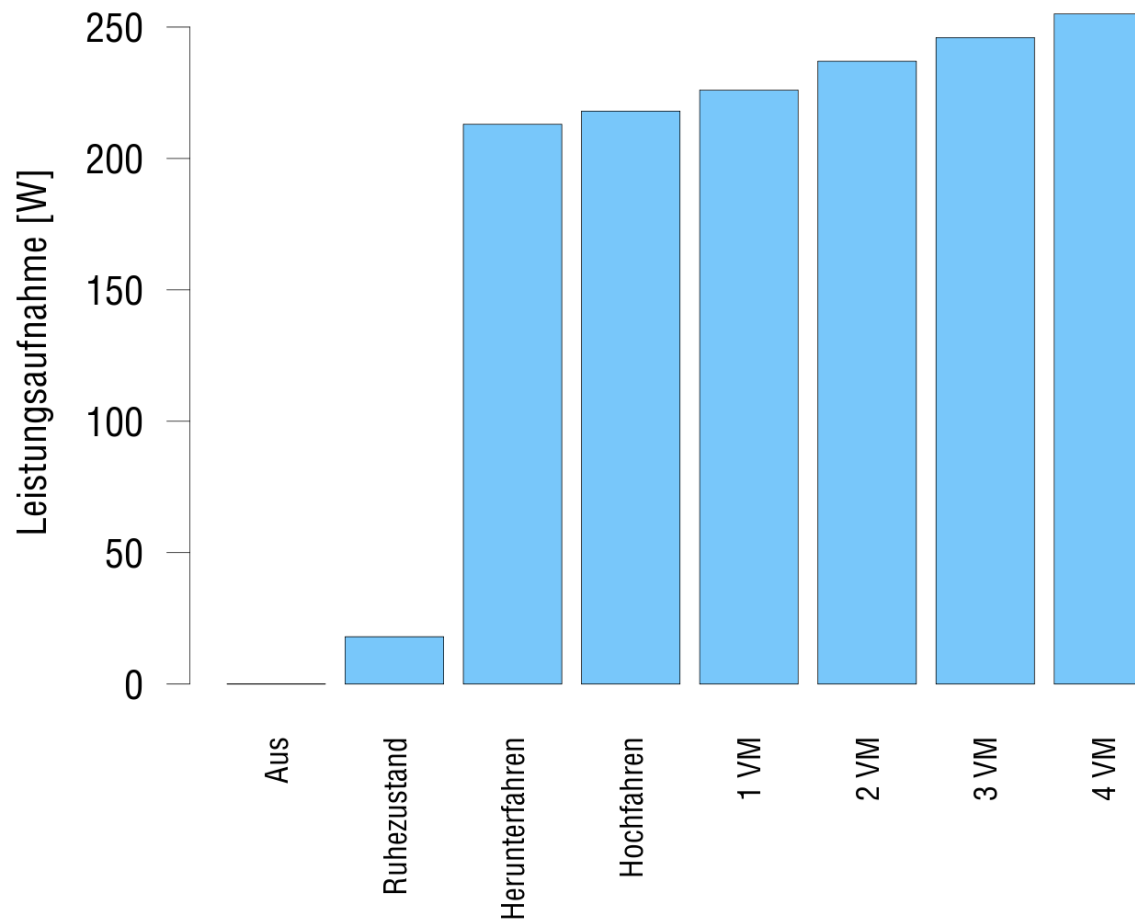


Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

# Aber: Wenig Auslastung = wenig Verbrauch?

Leider nein!

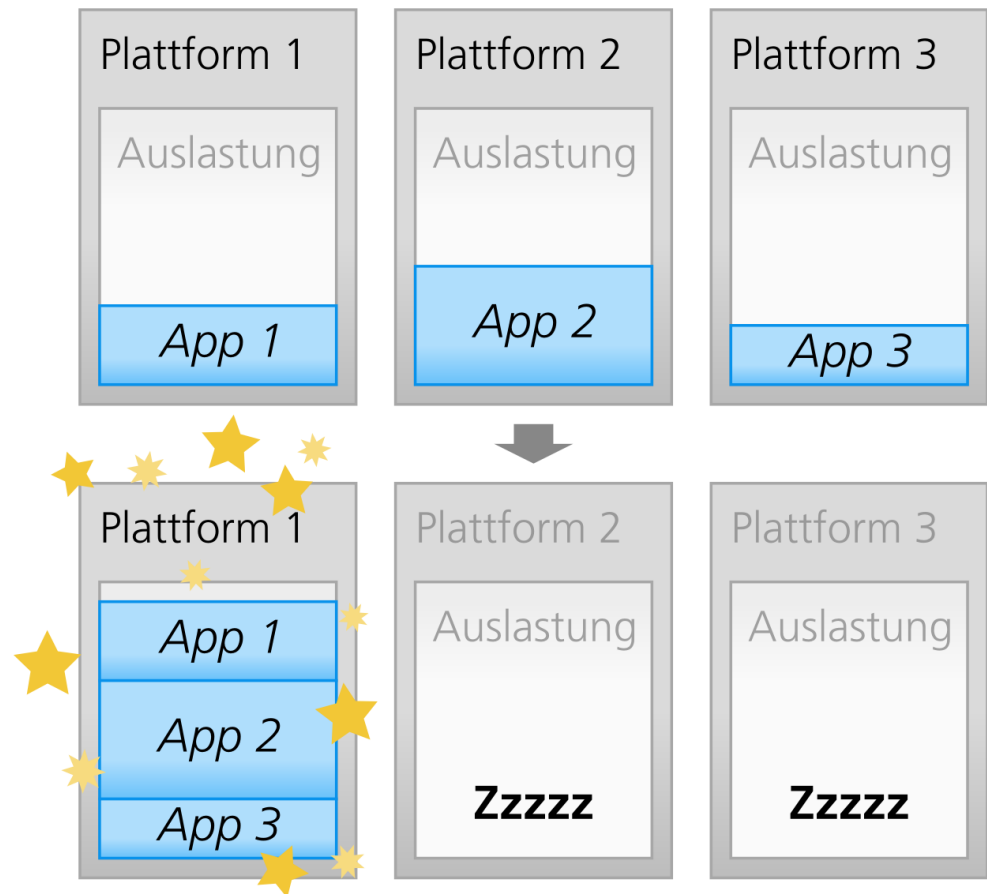
**Leistungsaufnahme Dell 1950 pro Betriebsmodus**



Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

# Wünschenswert: Plattformen abschalten

Falls es nun eine Möglichkeit gäbe, die Anwendungen aller dieser Plattformen auf einer kleineren Anzahl Plattformen **zusammenzufassen**, könnte man einige Plattformen **abschalten!**

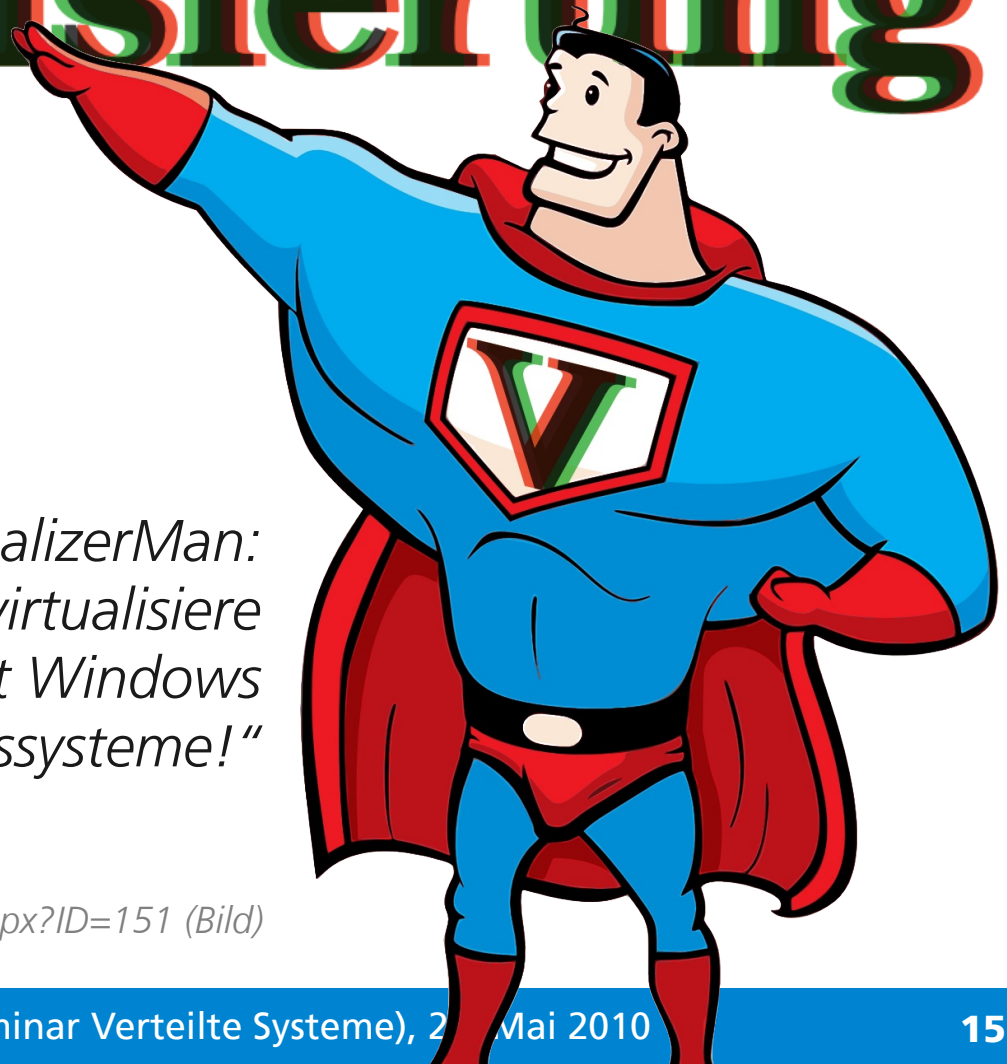


Die Technologie dafür existiert bereits!

# Virtualisierung

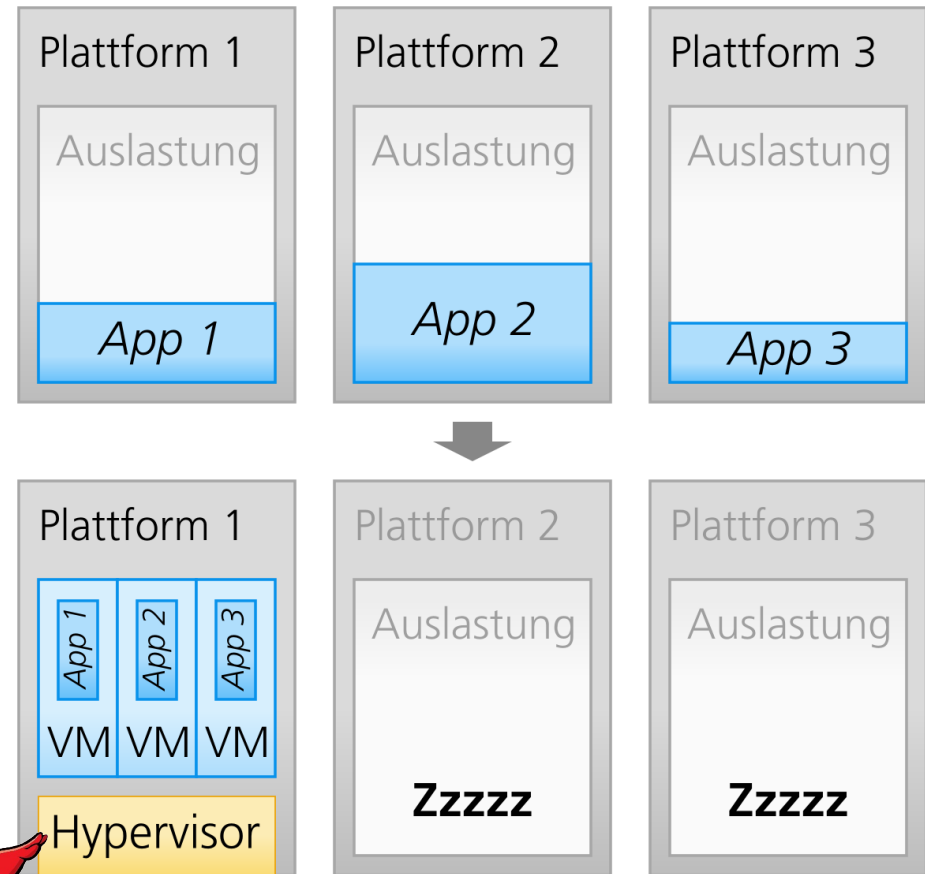
*VirtualizerMan:  
„Ich virtualisiere  
selbst Windows  
Betriebssysteme!“*

Quelle: <http://www.darebin-libraries.vic.gov.au/Page.aspx?ID=151> (Bild)



# Wie kann Virtualisierung eingesetzt werden?

- Einführung einer zusätzlichen Schicht welche die Anwendungen (und BS) von der Hardware entkoppelt
- Anwendungen werden auf weniger Plattformen konzentriert



**Aber: Problem wirklich gelöst?**



*„Mission accomplished!“*



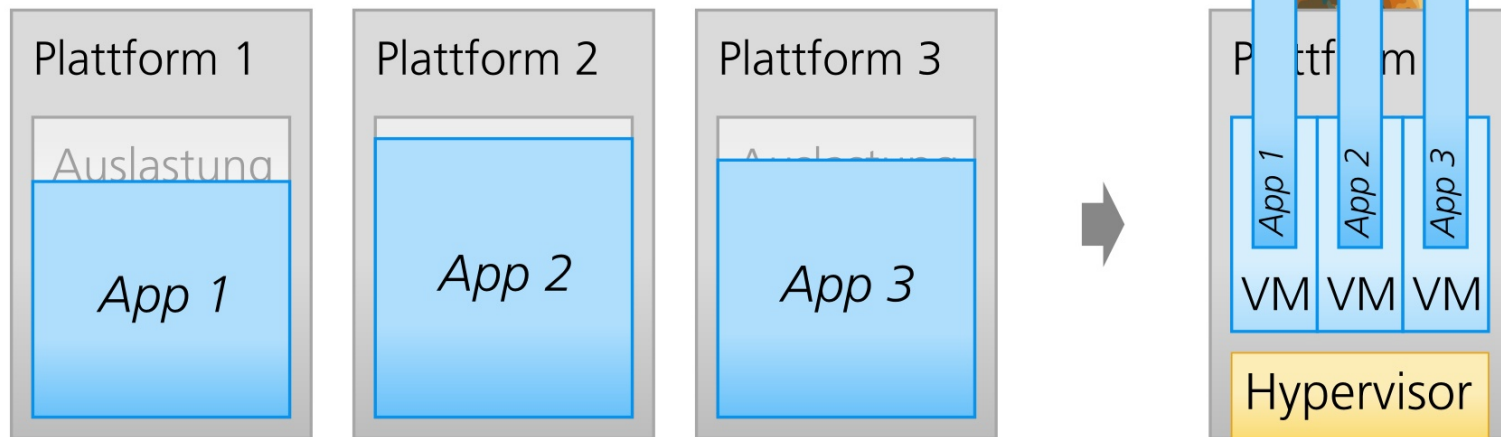
# Verhalten bei Lastspitzen?

## Virtualisierung ermöglicht:

- Isolation einzelner VM
- Einfaches Herumschieben derselben

## Virtualisierung allein hilft nicht bei:

- Überlastung

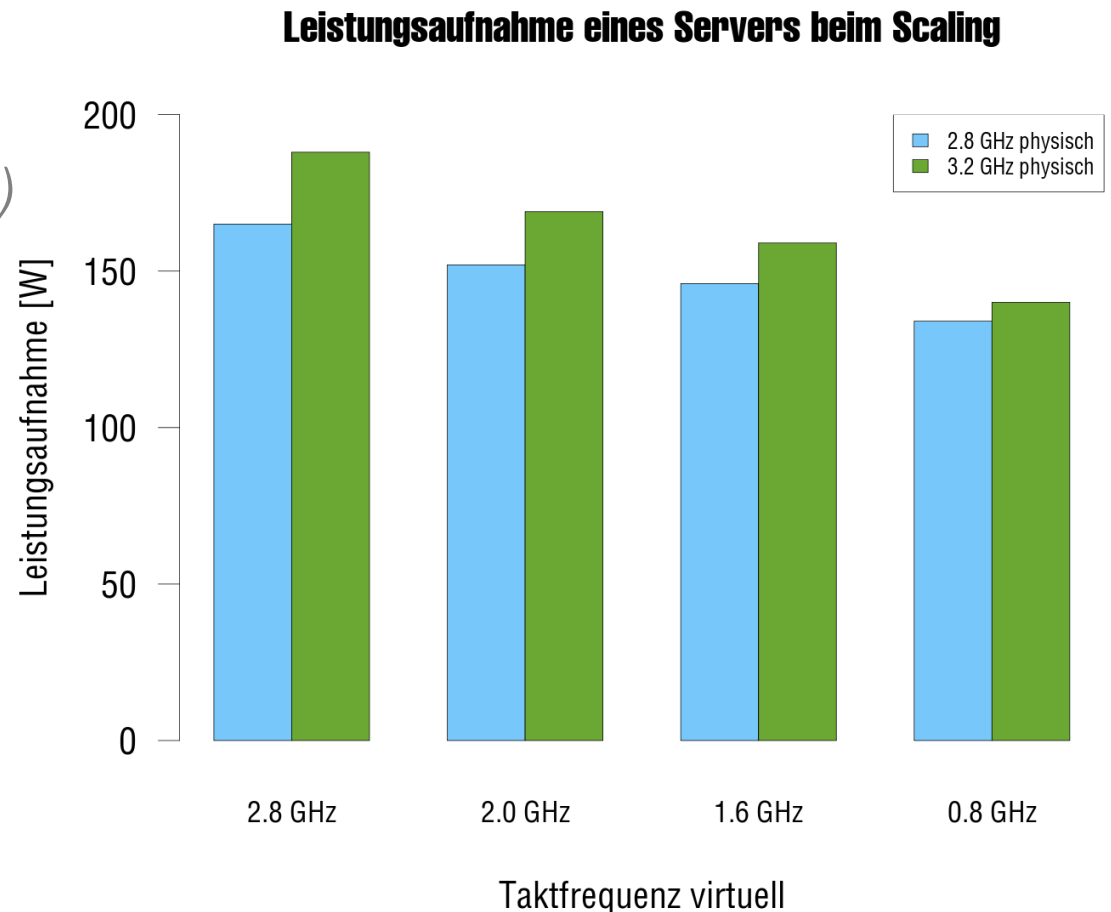


Quelle: <http://www.nv.doe.gov/library/photos/photodetails.aspx?ID=65> (Bild)

# „VirtualPower“ Architektur

[Nathuji, Schwan07] wollen das Problem der Lastverteilung durch eine Architektur lösen, welche je nach ermittelter Last:

- **Prozessortakte anpasst**  
Physisch, als auch 'virtuell'  
(Dies wird 'Scaling' genannt)
- **VM konsolidiert oder wieder auf verschiedene Plattformen verteilt**

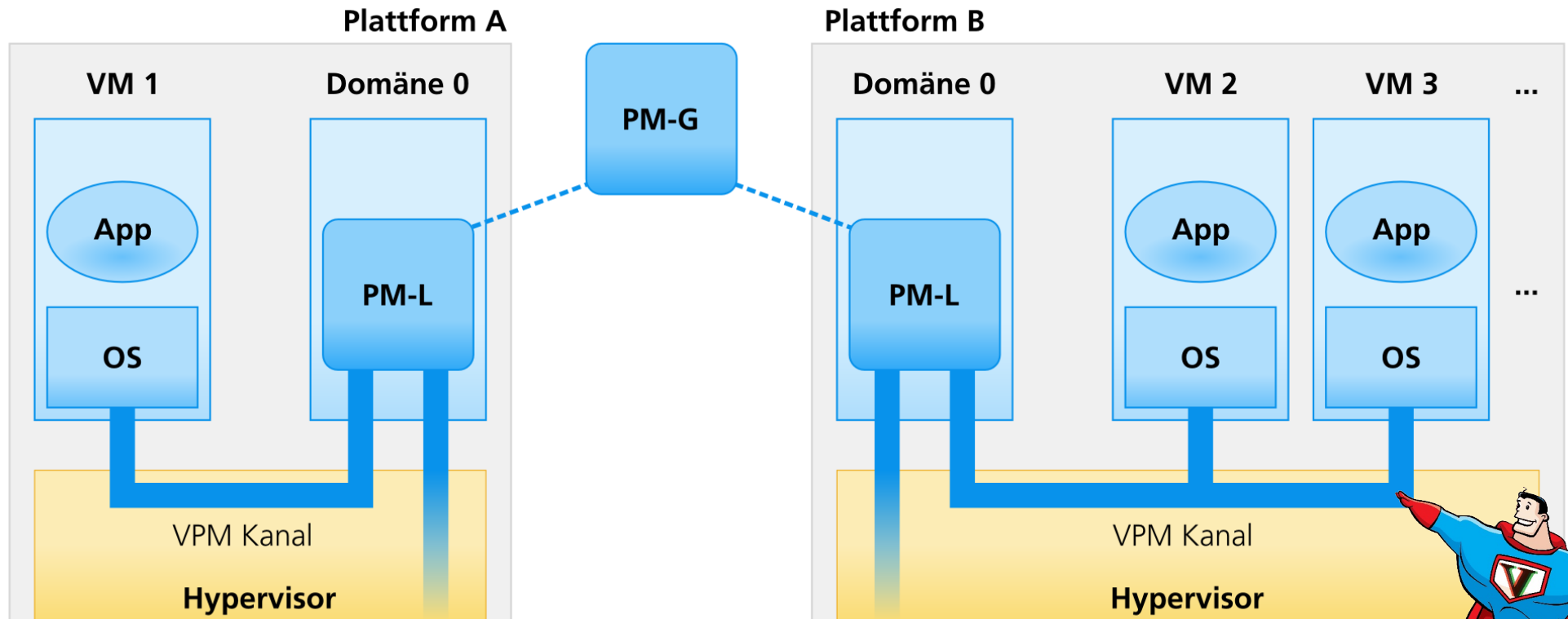


Quelle: Nathuji and Schwan, VirtualPower: [...] Power Management in Virtualized Enterprise Systems, 2007

# „VirtualPower“ Architektur: Schema

## Kontrollinstanzen:

- Globaler PowerManager (**PM-G**) befindet über Konsolidierung
- Lokaler PowerManager (**PM-L**) befindet über Prozessortakte



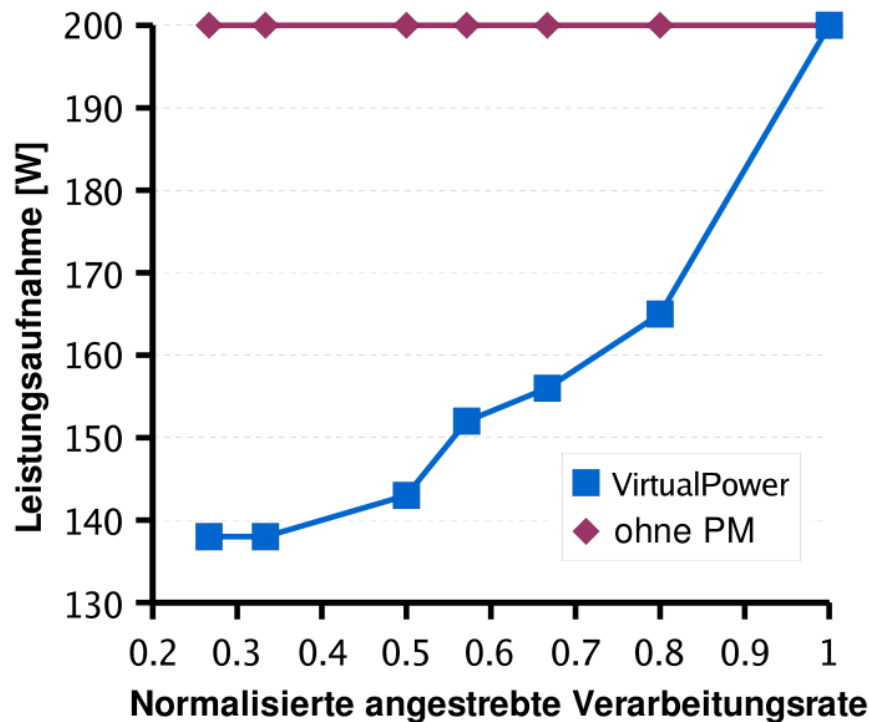
Quelle: Nathuji and Schwan, *VirtualPower: [...] Power Management in Virtualized Enterprise Systems*, 2007



# „VirtualPower“ Architektur: Resultate

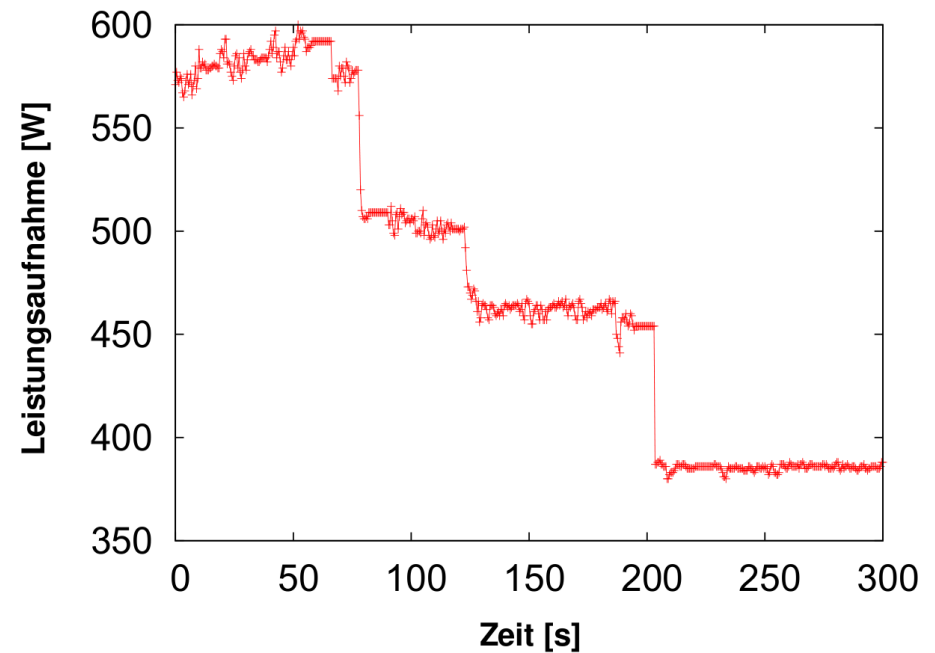
## PM-L Performance

Eine VM auf einer Plattform



## PM-G Performance

Vier VM auf anfänglich zwei ineffizienten Plattformen

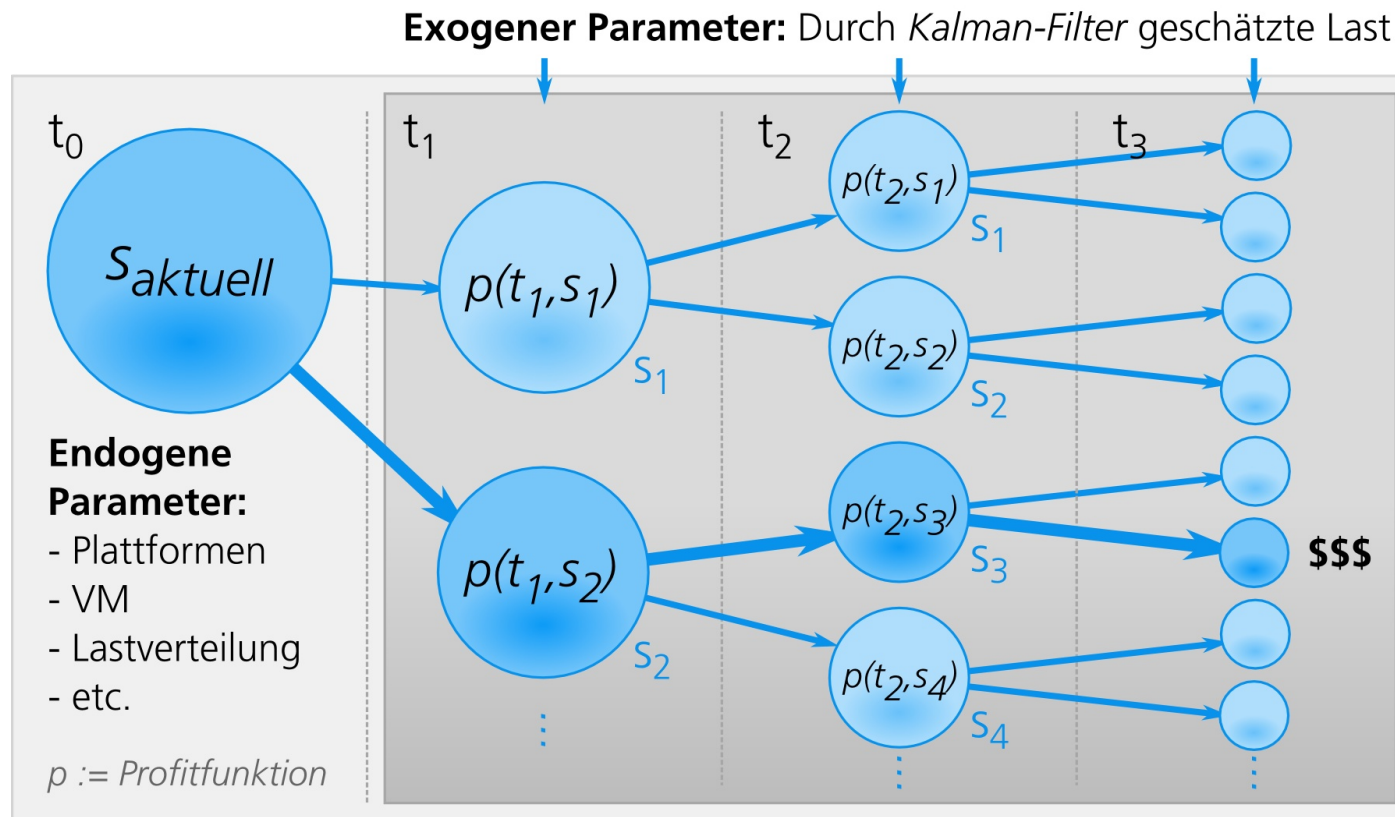


**Aber:** Da das System reaktiv ist, kann es nur mit Zeitverzögerung auf Laständerungen reagieren: **Schlechte „Quality of Service“ (QoS)!**

Quelle: Nathuji and Schwan, *VirtualPower: [...] Power Management in Virtualized Enterprise Systems*, 2007

# „Limited Lookahead Control (LLC)“ Architektur

[Kusic et al.09] gehen nun das Problem des **QoS** an. Die Methode ist vergleichbar mit derjenigen von [Nathuji, Schwan07], allerdings setzen [Kusic et al.09] zur Einschätzung der Last eine vorausschauende Regeleinheit – **Limited Lookahead Control (LLC)** genannt – ein.



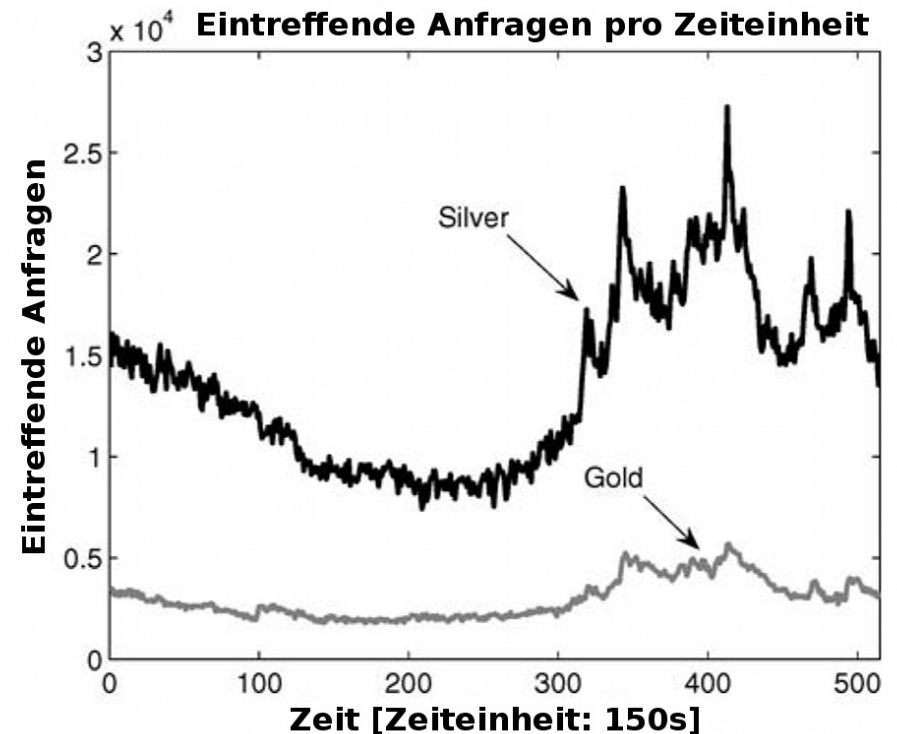
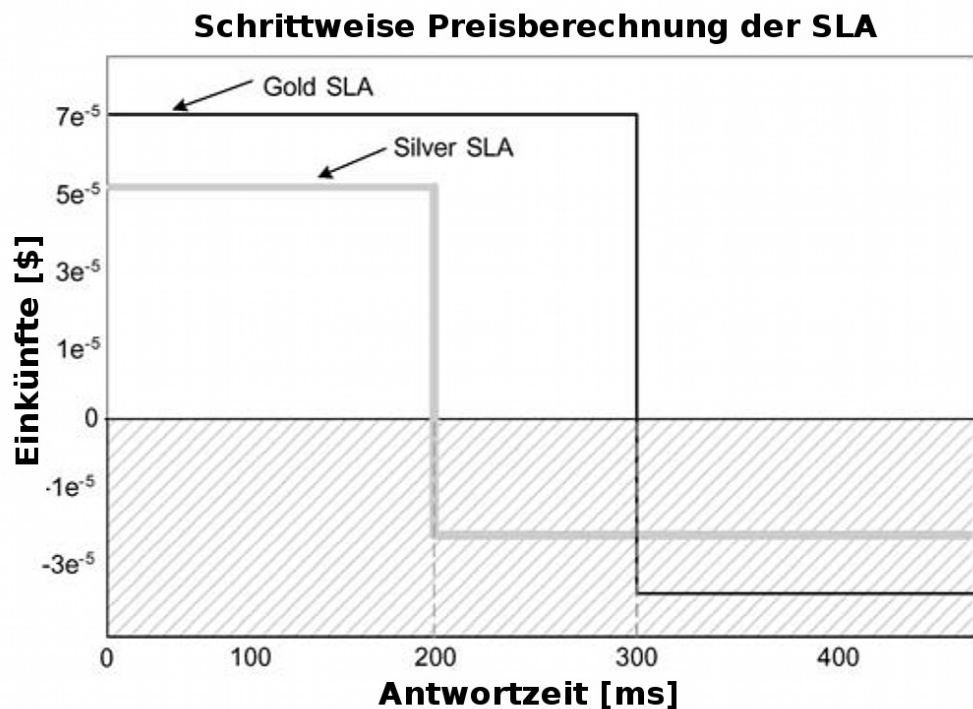
Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

# „LLC“ Architektur: Profitmodellierung

## Vereinfachte Profitformel:

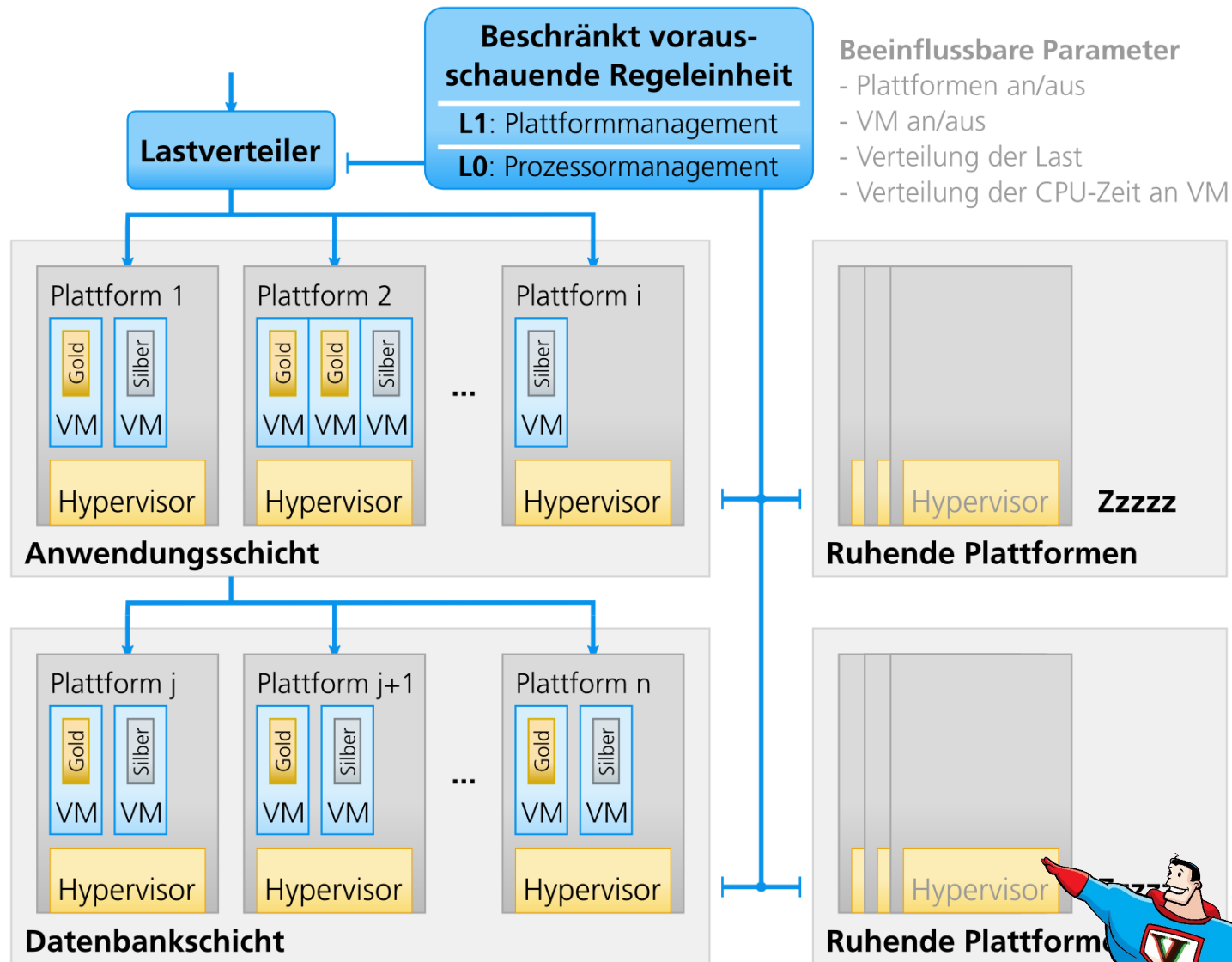
$$\text{Profit} := \text{SLA}_{\text{Belohnung}} - \text{SLA}_{\text{Bestrafung}} - \text{Energieaufwand} - \text{Wechselkosten}$$

Last auf Geschäftsanwendung wird mittels zwei Service Level Agreements (SLA) modelliert: **Silver** und **Gold**.



Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

# „LLC“ Architektur



## Beeinflussbare Parameter

- Plattformen an/aus
- VM an/aus
- Verteilung der Last
- Verteilung der CPU-Zeit an VM

Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Look-Local Control“, 2009



# „LLC“ Architektur: Resultate

**Testszenario:** Zweischichtige, clusterbare Geschäftsanwendung

**Einsparungen:**

Workload	Total energy savings	% SLA violations (Gold)	% SLA violations (Silver)
Workload 1	19%	3.1%	2.5%
Workload 2	19%	1.3%	1.2%
Workload 3	14%	1.9%	0.5%
Workload 4	26%	1.2%	0.3%
Workload 5	30%	1.4%	0.6%

*Möglichkeit: Erzwingen eines risikobewussteren Verhaltens (mehr Reserven) verringert SLA-Verletzungen weiter und macht gegen Lastschwankungen unempfindlicher.*

*Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009*



# Zusammenfassung

- **Der weltweite elektrische Energiebedarf der ICT steigt**  
Grund: Der Bestand an ICT steigt!
- **ICT diffundiert in die Industrie und hat positiven Einfluss auf Effizienz von Industrieanlagen**  
Aber auch dort trägt sie zum elektrischen Energieverbrauch bei...
- **Mittels geschicktem Einsatz von Virtualisierung kann der Energieverbrauch von Rechnerverbänden (z.B. in Rechenzentren) um ein Fünftel verringert werden**  
Sicher die schnellste Möglichkeit um in einem Rechenzentrum Strom zu sparen!

Aber: Methode nur für bestimmte Umgebungen geeignet!

*„Ich rette die Welt!“*



# Quellen

## Die Präsentation basiert primär auf folgenden Arbeiten:

- *J. G. Koomey. **Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World.*** Technical report, Stanford University, February 2007
- *P. D. R. Madlener. **The implications of ICT for Energy Consumption.*** Technical report, RWTH Aachen University and DIW Berlin, September 2008
- *R. Nathuji and K. Schwan. **VirtualPower: Coordinated Power Management in Virtualized Enterprise Systems.*** Proceedings of the 21st ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 2007), pages 265–278, October 2007
- *D. Kusic, J. O. Kephart, J. E. Hanson, N. Kandasamy, and G. Jiang. **Power and Performance Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control.*** Journal of Cluster Computing, 10:1–15, March 2009

## **Danke für Eure Aufmerksamkeit!**

Fachseminar Verteilte Systeme  
„Smart Energy“, FS 2010

Nico Waldispühl  
nicow@student.ethz.ch