

The Sustainability of ICT

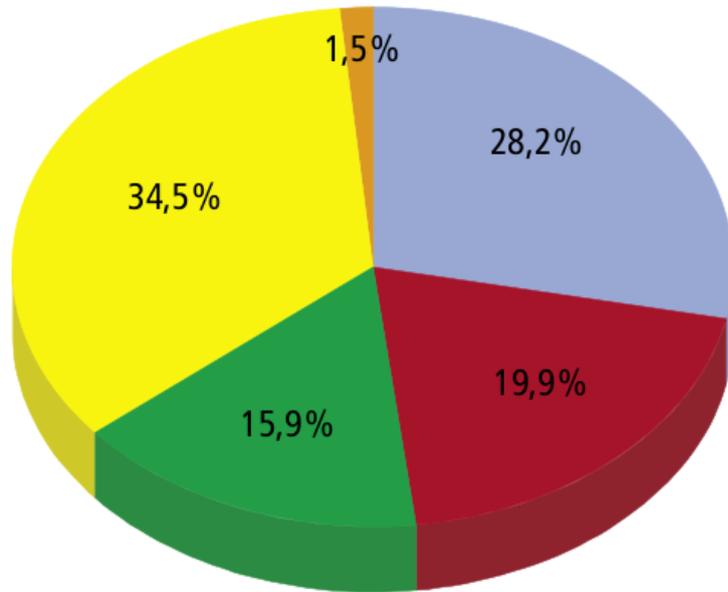
Fachseminar Verteilte Systeme
„Smart Energy“, FS 2010

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

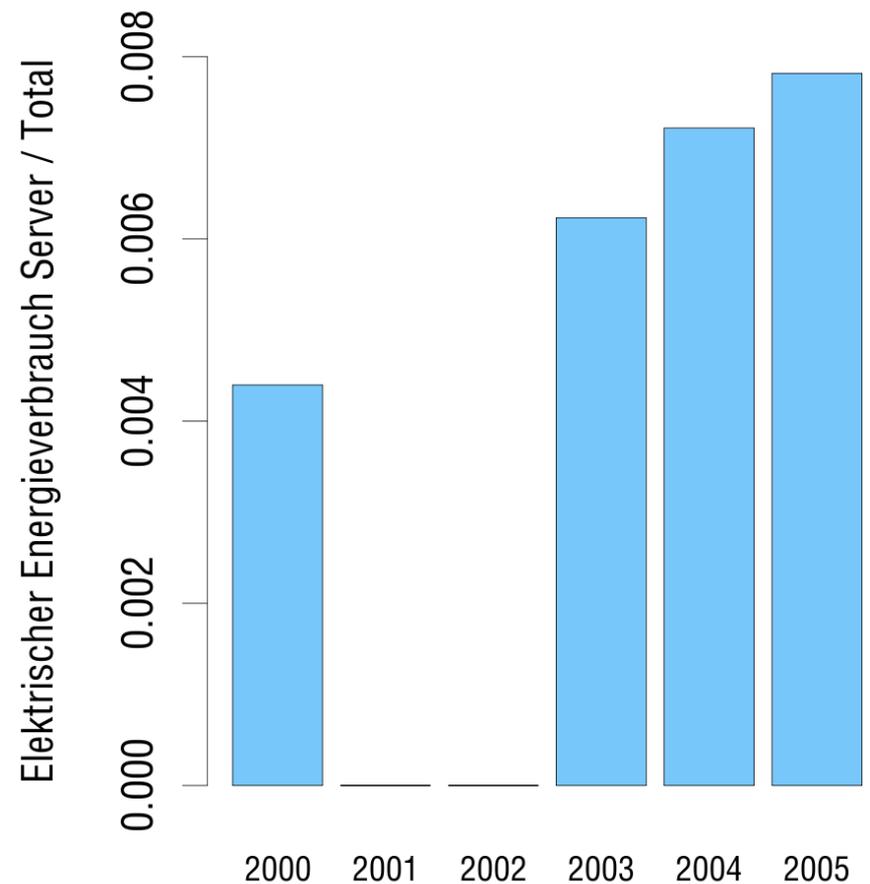
Dies gilt aber nur für den Teil der ICT, der für die Steuerung von Anlagen verwendet wird

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!)

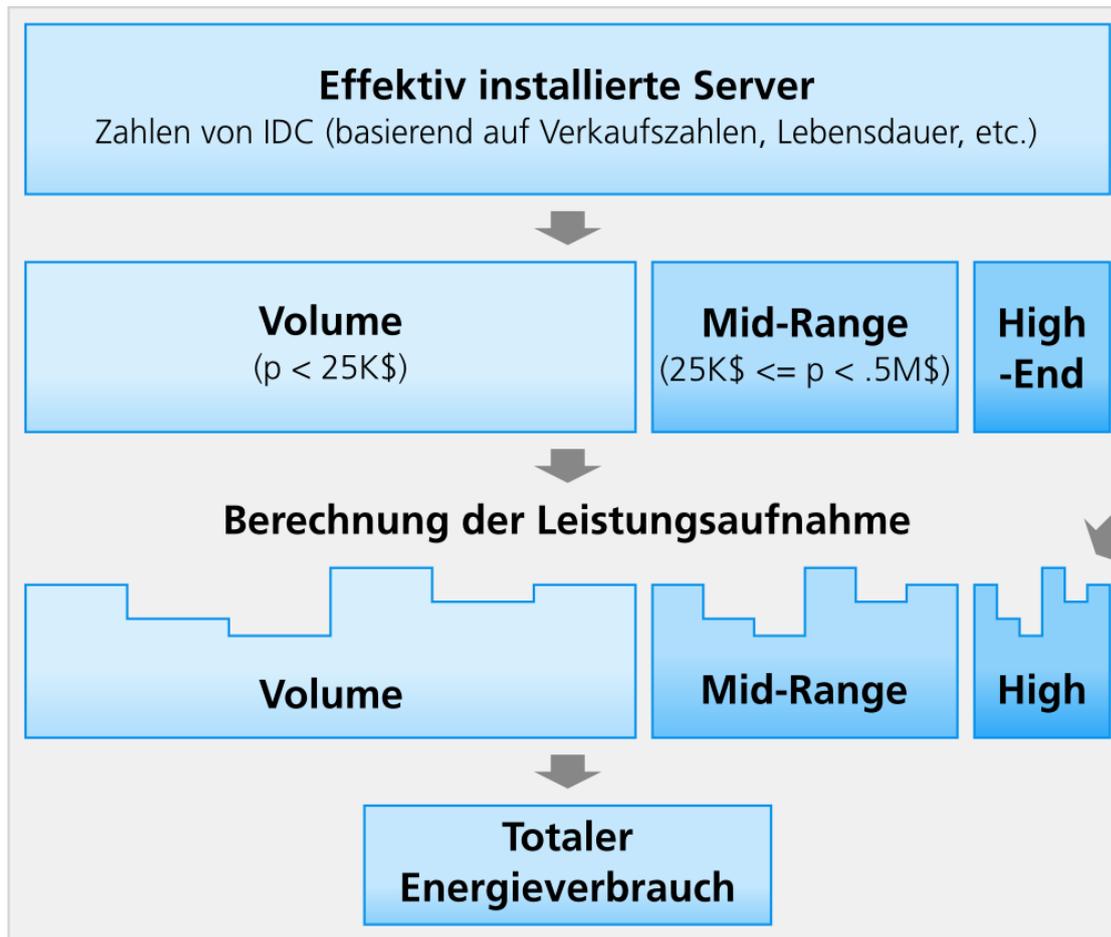
Energieverbrauch ICT: Messbar?

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

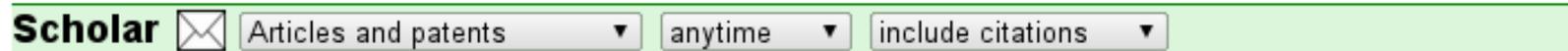
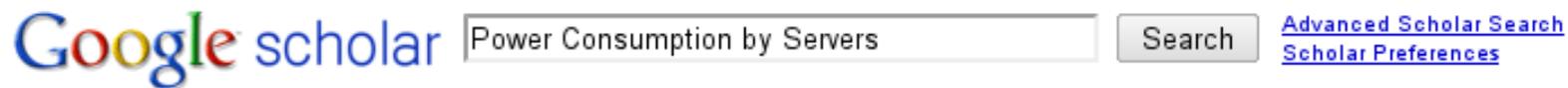
2000: 58 Milliarden kWh

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](#)

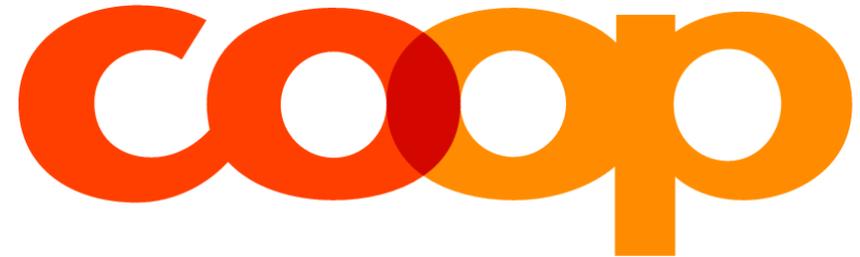
- **Vernachlässigt 'selbergebaute' Server**
Google baut Server aus Personal Computer Motherboards selber. Schätzungen gehen 2006 von 450'000 Servern aus. Diese würden die Anzahl der Volumeserver um knapp 2% vergrößern.

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 Kühlschranksabluft
- 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

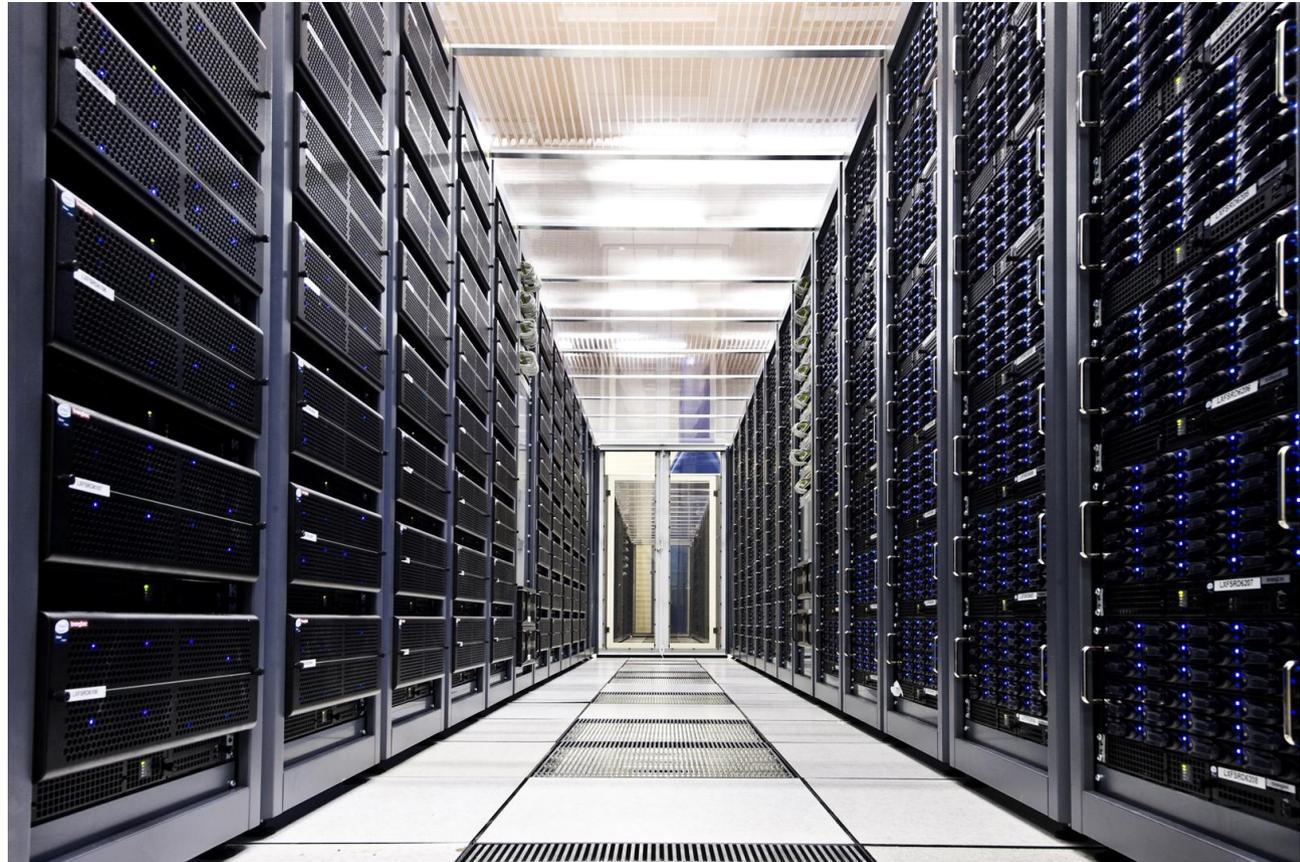
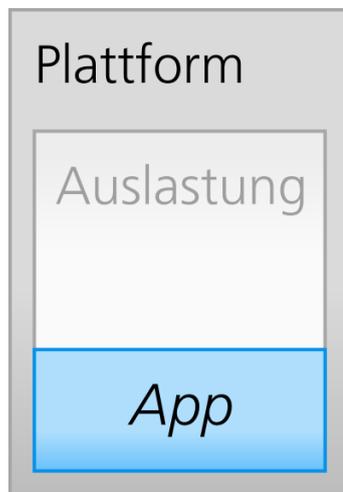
Folgende Energieersparnisse konnten u.a. mit Hilfe von ICT erreicht werden:

- 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%!

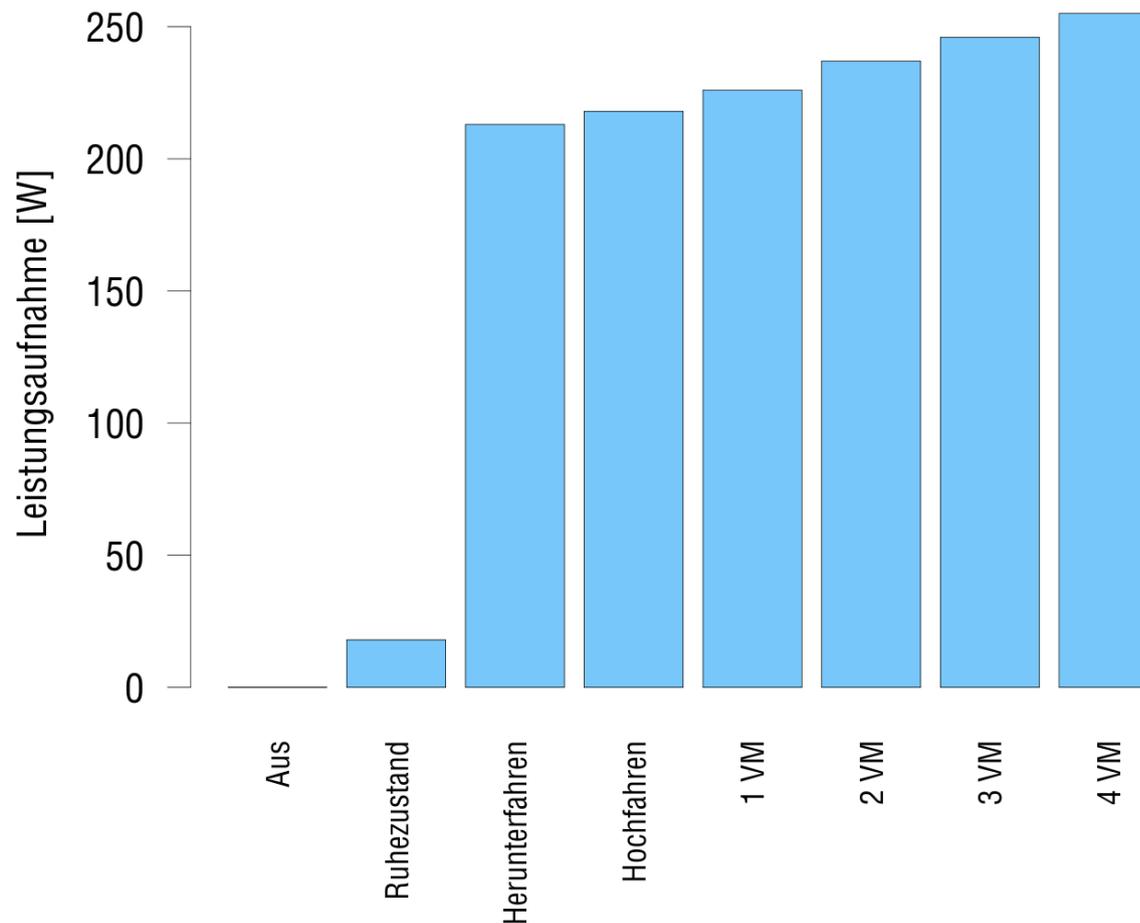


Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

Aber: Wenig Auslastung = wenig Verbrauch?

Leider nein!

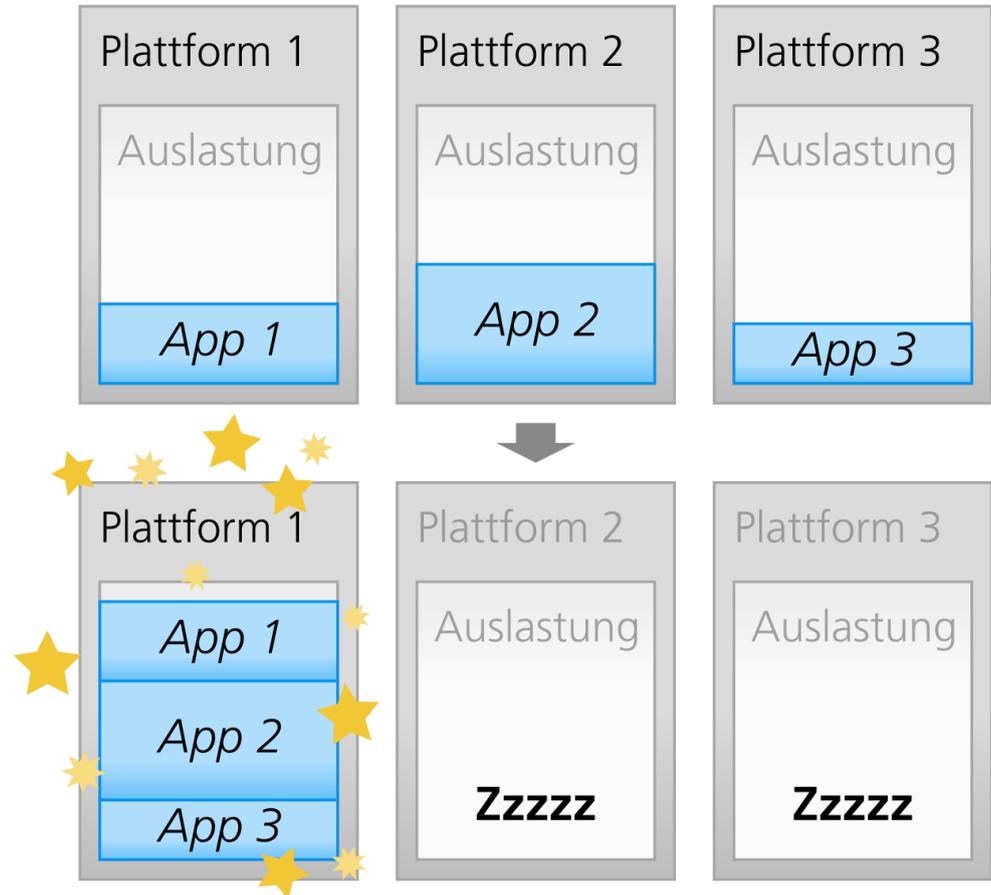
Leistungsaufnahme Dell 1950 pro Betriebsmodus



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!**

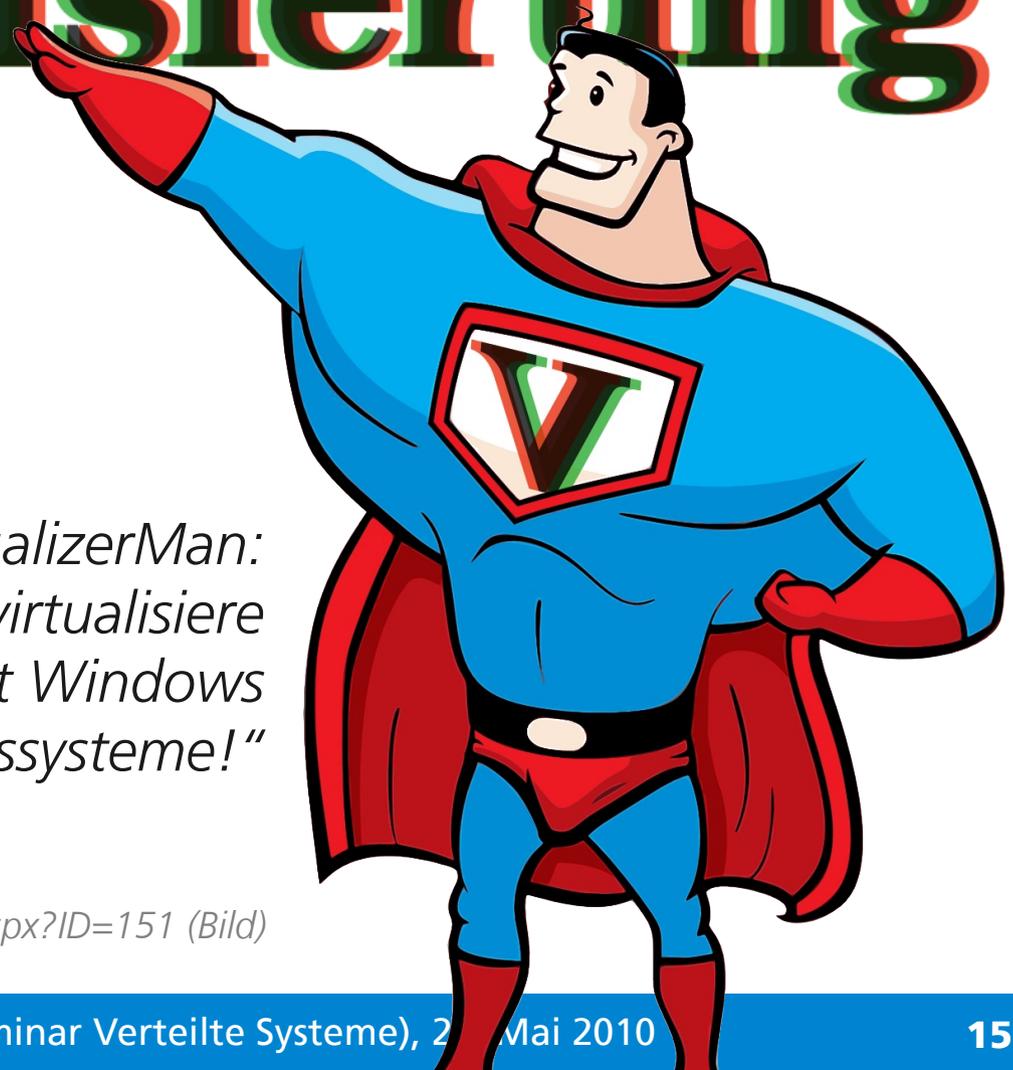


Die Technologie dafür existiert bereits!

Virtualisierung

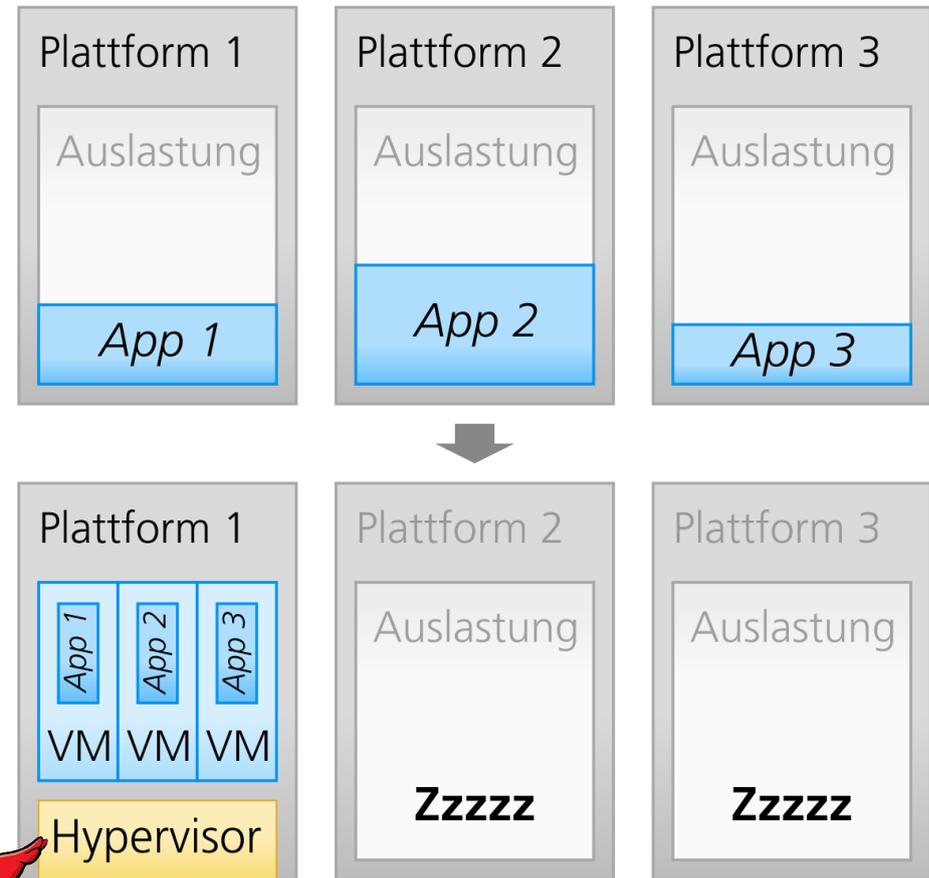
*VirtualizerMan:
„Ich virtualisiere
selbst Windows
Betriebssysteme!“*

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!“

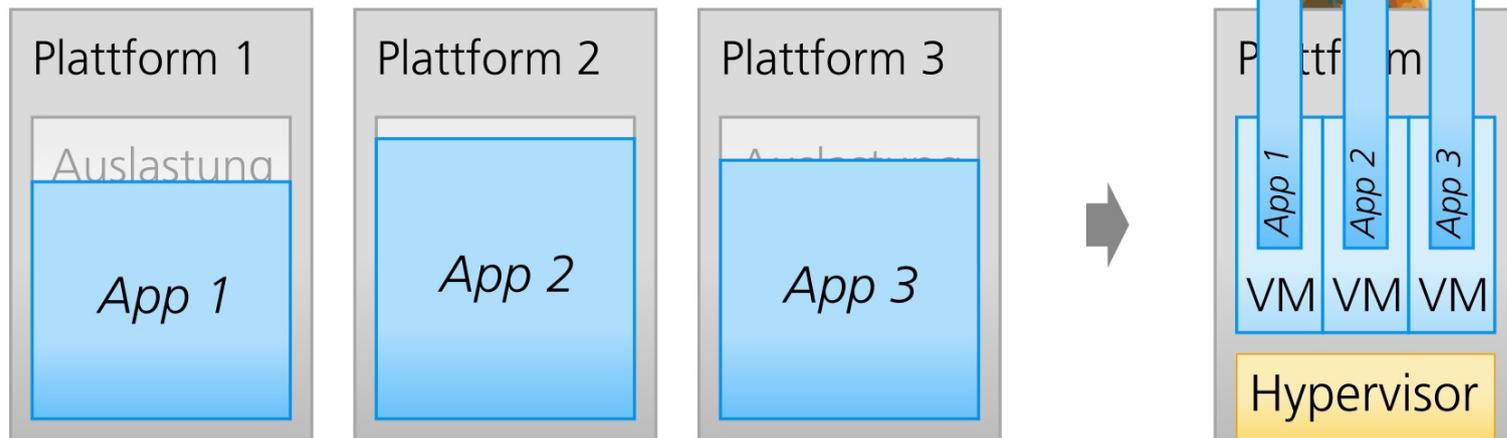
Verhalten bei Lastspitzen?

Virtualisierung ermöglicht:

- Isolation einzelner VM
- Einfaches Herumschieben derselben

Virtualisierung allein hilft nicht bei:

- Überlastung

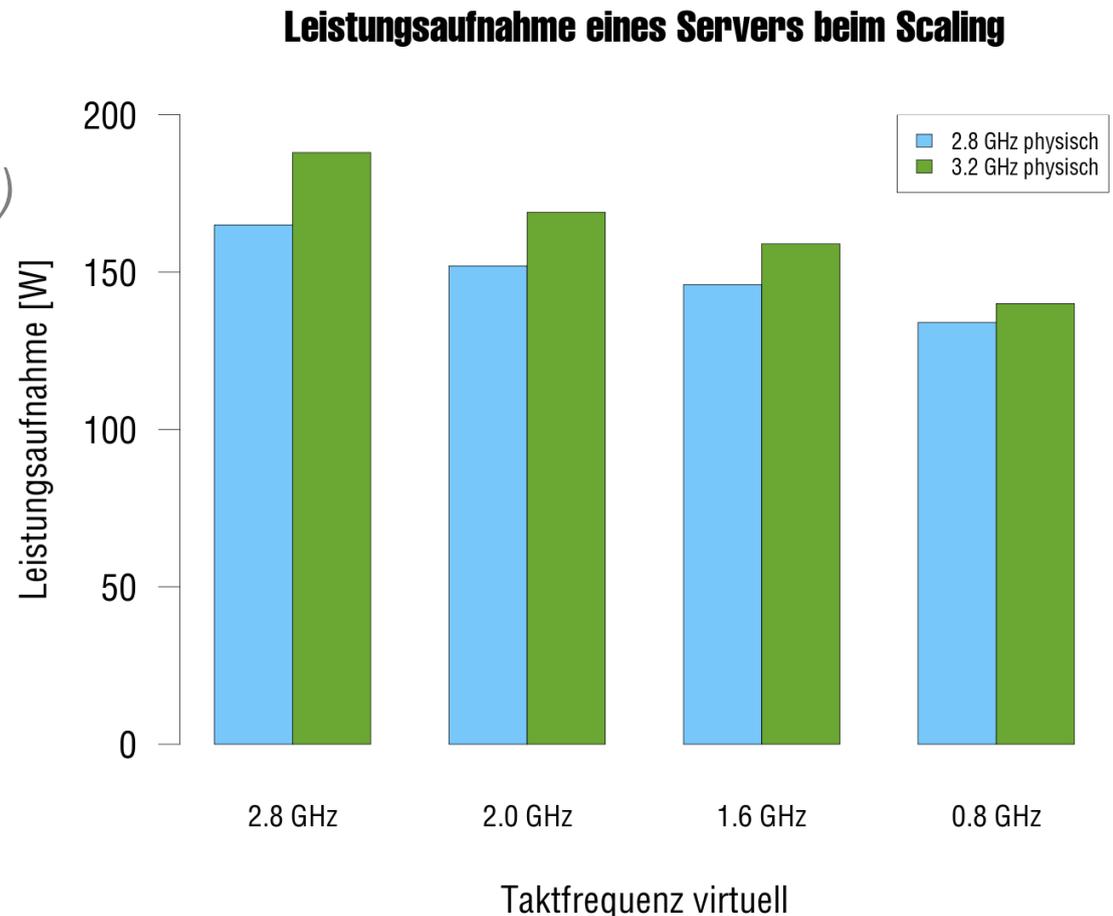


Quelle: <http://www.nv.doe.gov/library/photos/photodetails.aspx?ID=65> (Bild)

„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**

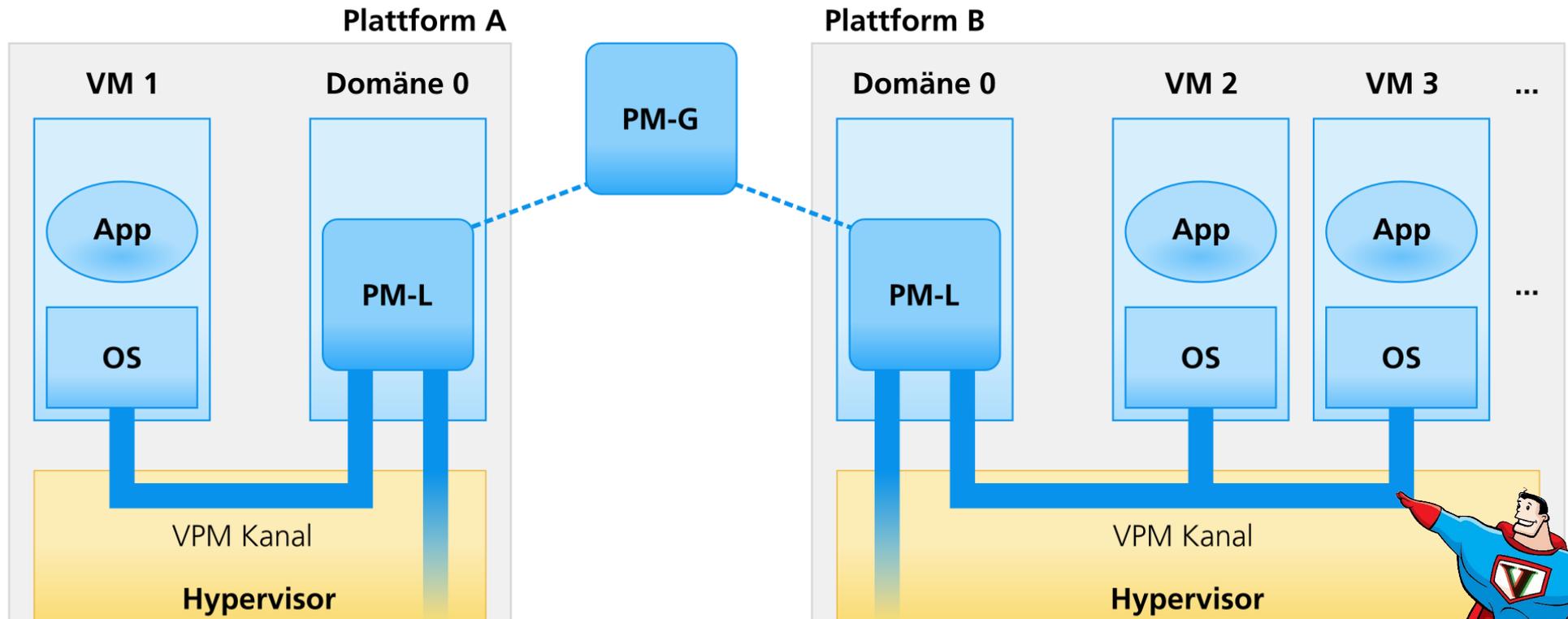


Quelle: Nathuji and Schwan, VirtualPower: [...] Power Management in Virtualized Enterprise Systems, 2007

„VirtualPower“ Architektur: Schema

Kontrollinstanzen:

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



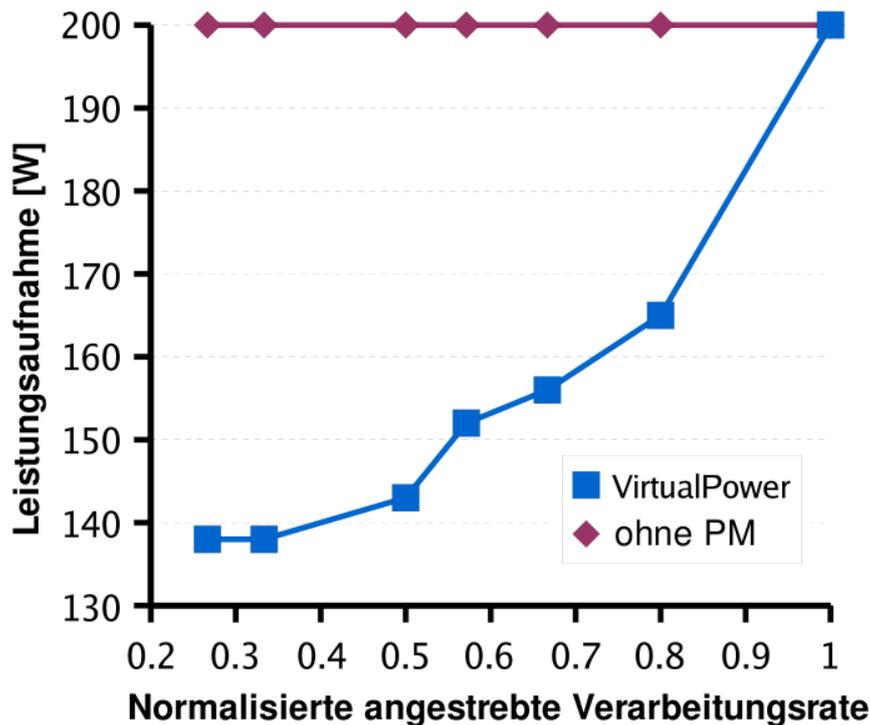
Quelle: Nathuji and Schwan, *VirtualPower: [...] Power Management in Virtualized Enterprise Systems*, 2007



„VirtualPower“ Architektur: Resultate

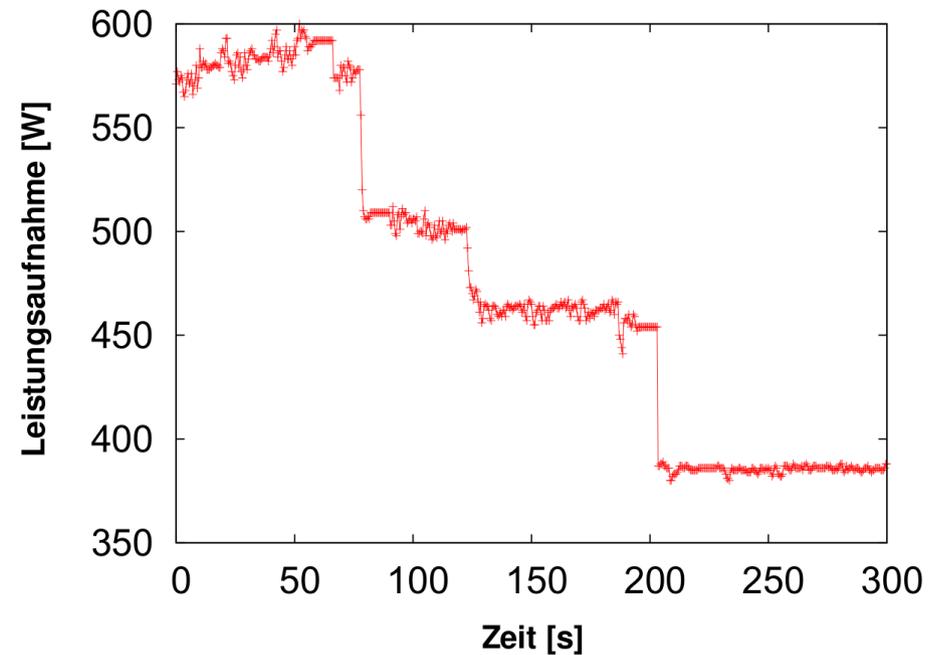
PM-L Performance

Eine VM auf einer Plattform



PM-G Performance

Vier VM auf anfänglich zwei ineffizienten Plattformen

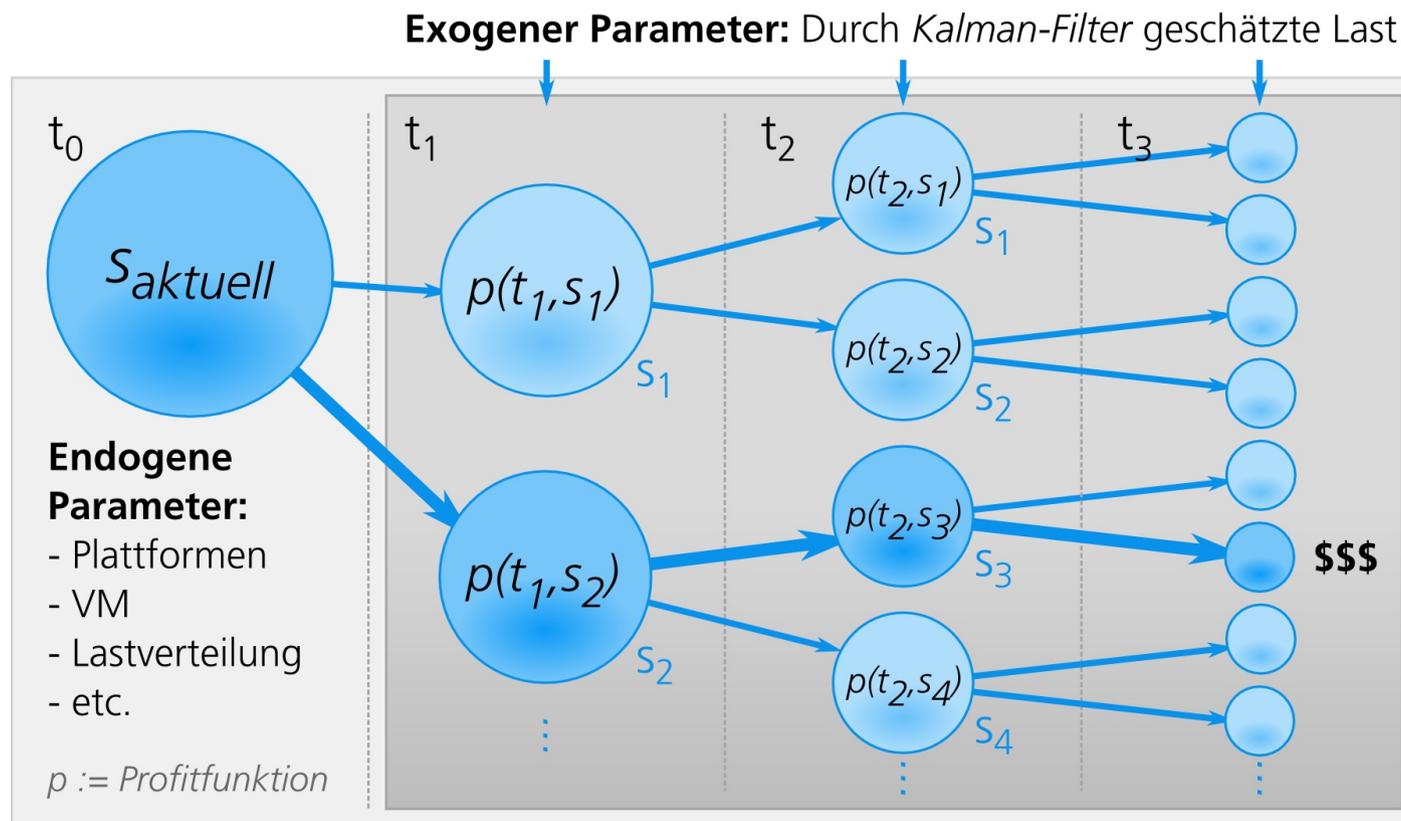


Aber: Da das System reaktiv ist, kann es nur mit Zeitverzögerung auf Laständerungen reagieren: **Schlechte „Quality of Service“ (QoS)!**

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.



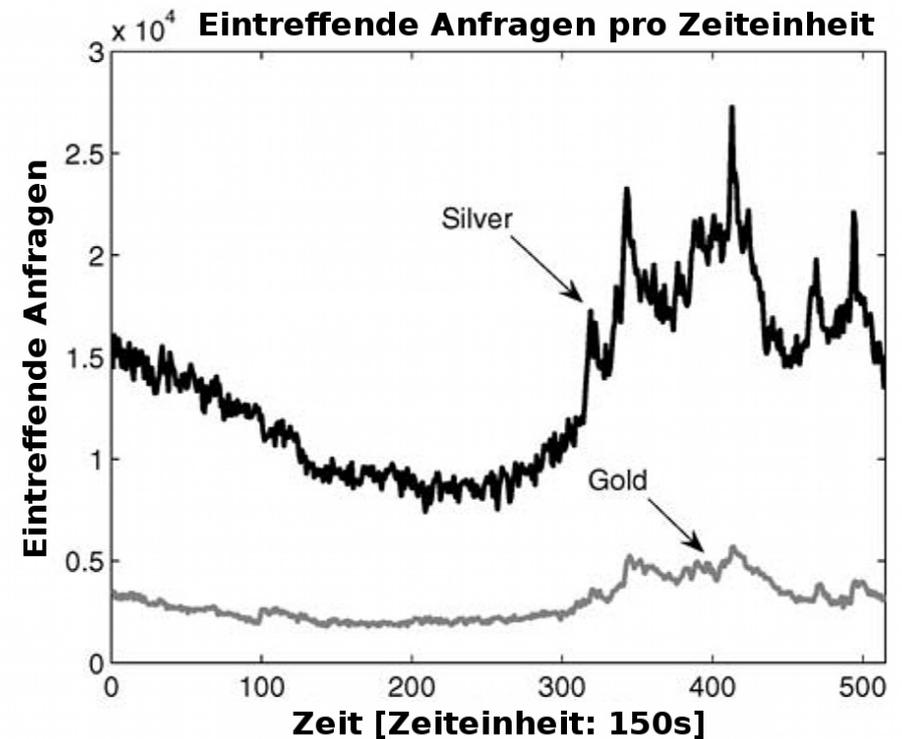
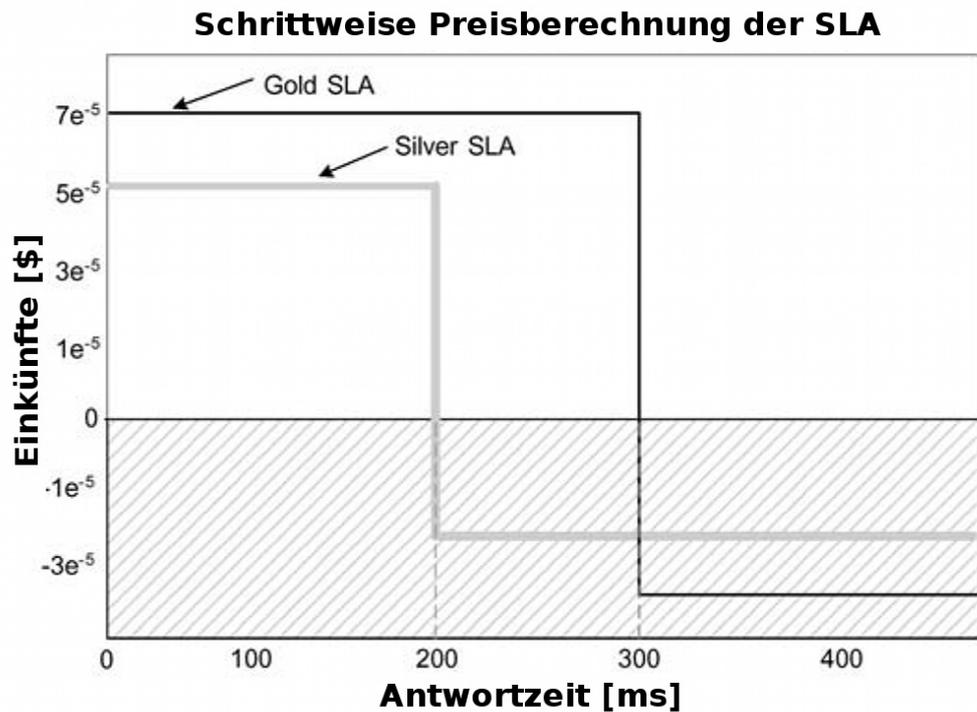
Quelle: Kusic et al., „Power [...] Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control“, 2009

„LLC“ Architektur: Profitmodellierung

Vereinfachte Profitformel:

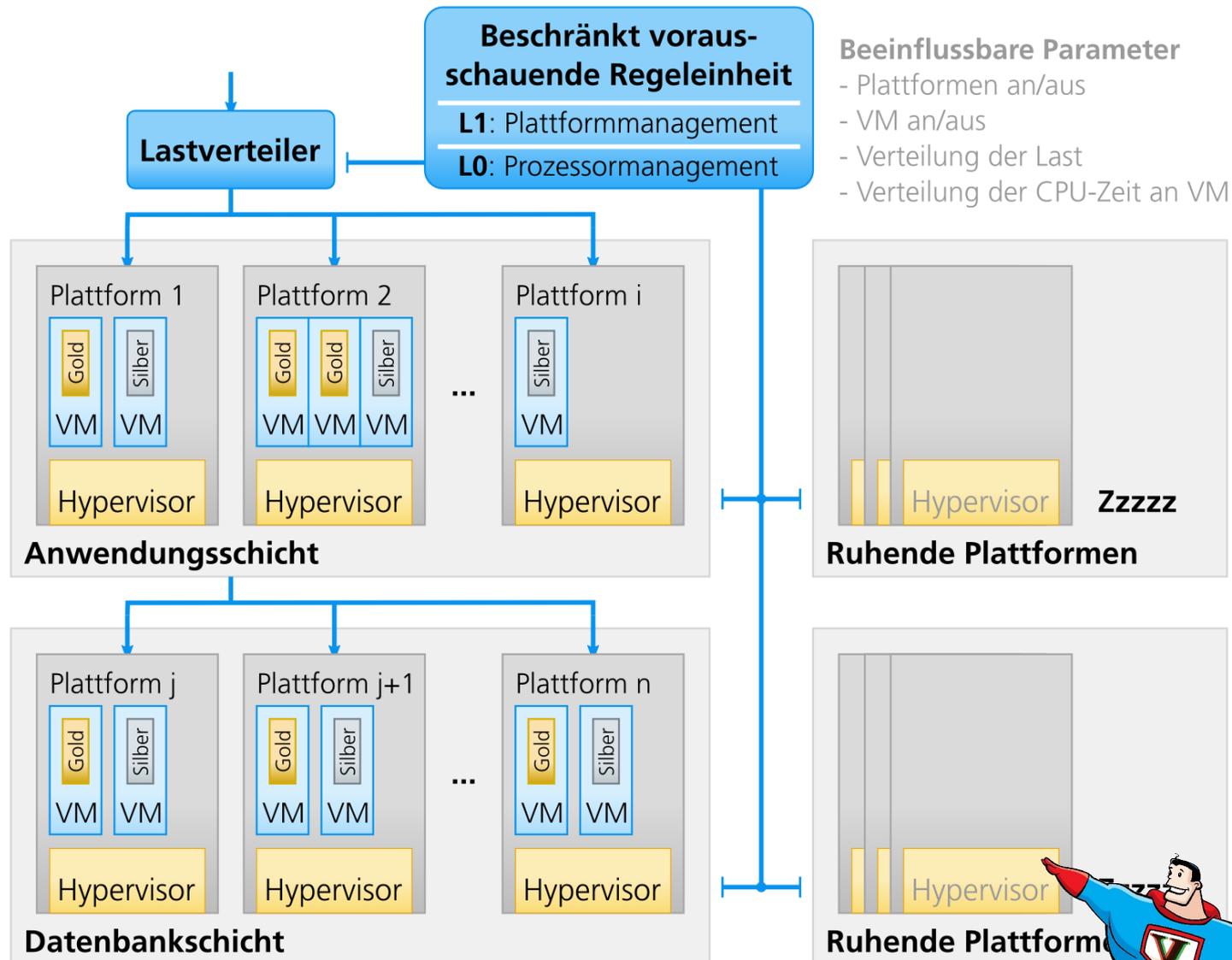
$$\text{Profit} := \text{SLA}_{\text{Belohnung}} - \text{SLA}_{\text{Bestrafung}} - \text{Energieaufwand} - \text{Wechselkosten}$$

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