

Energieeffizienz und Ökologie in Rechenzentren

Dr. Bernard Aebischer

Tagung der FG FAU und der EAEM
OIZ Stadt Zürich, 20. Oktober 2011



Inhalt

1. Energieverbrauch RZ: Größenordnungen
2. Indikatoren für Energie- und Ökoeffizienz RZ
3. Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz RZ
4. Potentiale → Umsetzung
5. Längerfristiger Energieverbrauch

Energieverbrauch Rechenzentren (ohne Infrastr.!) (ohne Infrastr.!)

Anteil Landesverbrauch Elektrizität: ca. 1%

- 1.3%: Grossrechner, 1988, Schweiz (Spreng/Aebischer, 1990)
- 0.7%: Grossrechner/Server, 1999, Schweiz (Aebischer et al., 2002)
- 0.3%: Grossrechner, Server, 2000, USA (Roth et al., 2002)
- 0.8%: Server, 2001, Deutschland (Cremer et al., 2003)
- 0.6%: Server, 2005, USA (Kooimey, 2007)
- 0.7%: Server /RZ, 2007, Deutschland (Stobbe et al., 2009)
- 1.0%: Server, 2008, Schweiz (Aebischer et al., 2009)

Energieverbrauch regional/lokal: bis 10% (und mehr)

IKT in Deutschland 2007-2020

(inkl. Infrastruktur
für RZ)

Tabelle 11: Zusammenfassender Überblick über die Ergebnisse der Bestandsaufnahme für 2007 und der Prognose für das Jahr 2020 nach Szenarien, Sektoren und Betriebszuständen

Sektor	Stromverbrauch (GWh)					
	2007 Bestandsaufnahme		2020 Basisprognose		2020 Green IT-Szenario	
	Strom alle Modi	darunter Standby ¹⁾	Strom alle Modi	darunter Standby ¹⁾	Strom alle Modi	darunter Standby ¹⁾
Private Haushalte	33.010	9.462	40.864	6.235	33.599	4.878
Computer ²⁾	11.217	2.552	16.016	1.349	13.299	1.344
Mobile Geräte	479	146	731	221	584	74
Television ²⁾	15.833	3.714	19.047	2.866	15.442	2.051
Audio-Geräte	3.212	1.925	2.114	779	1.724	390
Telefone/Router	2.270	1.125	2.956	1.020	2.550	1.020
Unternehmen ³⁾	6.817	1.689	7.037	1.124	5.869	969
darunter: öffentl. Verw.	578	152	452	100	387	92
Computer ²⁾	6.196	1.188	6.386	518	5.244	468
Telefone, Router	622	501	651	605	625	502
Server/Rechenzentren	9.122	0	12.319	0	10.577	0
darunter: öffentl. Verw.	644	0	762	0	654	0
Server	3.649	0	6.159	0	5.817	0
RZ-Infrastruktur	5.473	0	6.159	0	4.760	0
Netzzugang/Kernnetz	6.436	0	6.543	0	5.889	0
Mobilfunk	3.107	0	3.214	0	2.560	0
Festnetz	3.329	0	3.329	0	3.329	0
Summe IKT	55.385	11.151	66.762	7.358	55.933	5.847

Quelle: Stobbe L.
et al., 2009.

1) Netzwerk-Standby, passives Standby, Schein-Aus

2) Inkl. Peripheriegeräte

3) In der Abgrenzung der WZ2003-Systematik der Wirtschaftszweige: WZ D-O; darunter "Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung" (WZ L)

Zukünftiger Energieverbrauch RZ

Rank		Average % projected growth in power requirements 2011-2012 across sample (Against % projected facility growth)	Actual projected increase in sample (MW)	Average kW/Rack
1st	Turkey	85% (80%)	110 MW	3.61 kW
2nd	Colombia	50% (40%)	90 MW	3.60 kW
3rd	Brazil	48% (45%)	280 MW	3.05 kW
4th	China	46% (28%)	500 MW	2.75 kW
5th	Argentina	41% (36%)	120 MW	3.14 kW
6th	Nordics	35% (14%)	160 MW	4.74 kW
7th	Middle East	28% (9%)	70 MW	2.88 kW
8th	South East Asia	24% (11%)	180 MW	3.75 kW
9th	Eastern USA	22% (13%)	320 MW	4.35 kW
10th	Russia	22% (29%)	130 MW	4.22 kW
11th	Mexico	18% (17%)	90 MW	3.13 kW
12th	India	16% (12%)	70 MW	3.50 kW
13th	Italy	14% (13%)	140 MW	2.93 kW
14th	Central USA	13% (12%)	400 MW	4.43 kW
15th	Benelux	12% (14%)	100 MW	3.86 kW
16th	Germany	12% (16%)	500 MW	4.38 kW
17th	Australia	11% (11%)	130 MW	4.60 kW
18th	France	10% (7%)	300 MW	3.58 kW
19th	Canada	9% (10%)	120 MW	4.33 kW
20th	Spain	8% (6%)	200 MW	3.77 kW
21th	United Kingdom	7% (6%)	280 MW	4.22 kW
22nd	Western USA	2% (3%)	100 MW	5.32 kW

Table 1. World power consumption growth ranking

Kurzfristige Szenarien Stromverbrauch RZ in den USA (inkl. Infrastr.!)

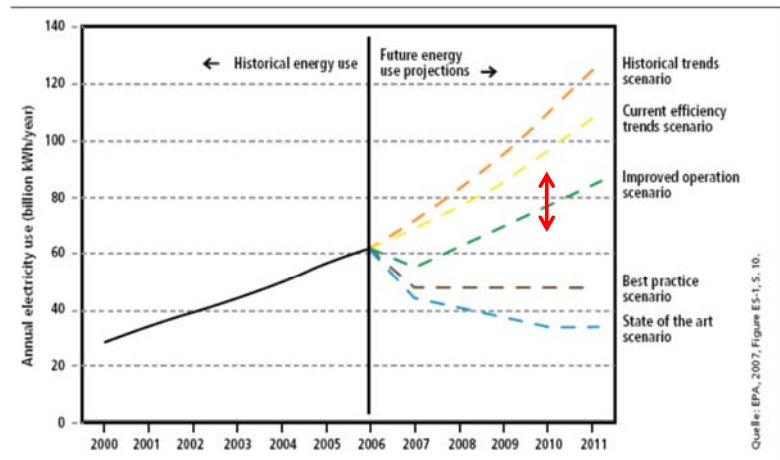


Abbildung 2: Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage der Rechenzentren in den USA von 2000 bis 2006 und Szenarien charakterisiert durch getätigte Effizienzmassnahmen für die zukünftige Entwicklung bis 2011.

Quelle: EPA, 2007; Koomey, 2011

Quelle: DCD, 2011

Energieeffizienz eines RZ

Effizienzmetrik: Dienstleistung (useful work) / Energie

Useful work in a data center (DC) can take many forms.

- *High performance computing (HPC) centers may measure work in terms of the number of proteins folded, genomes calculated, or weather models iterated.*
- *Web-search data centers might measure the number of queries served or the number of pages indexed.*
- *Corporate data centers might handle a mixture of emails, web pages, application transactions, and even voice traffic using Voice Over Internet Protocol (VOIP).*

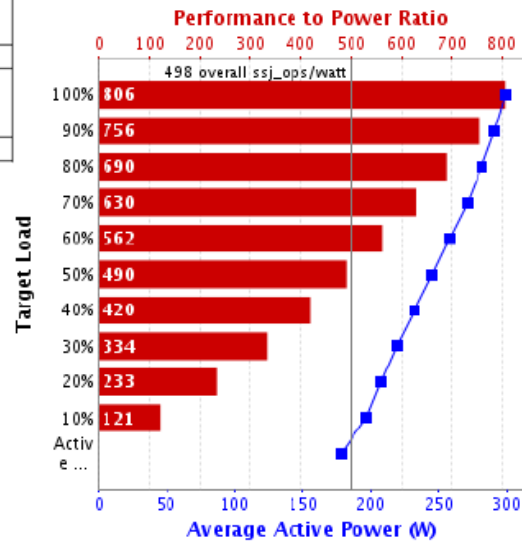
Proxies for useful work and productivity in a data center (Haas et al., 2009)

Energieeffizienz eines Servers

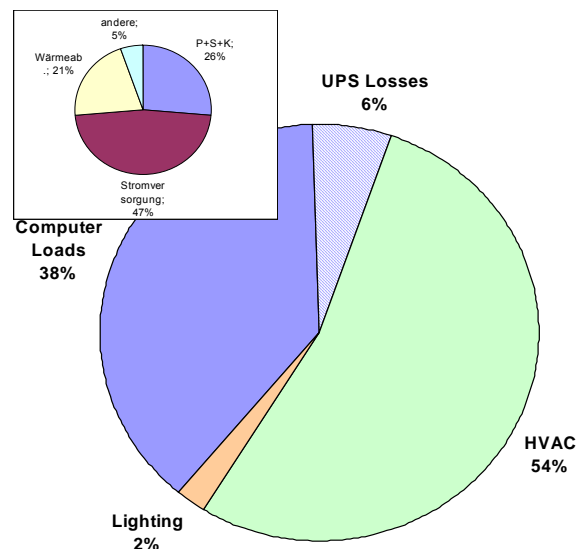
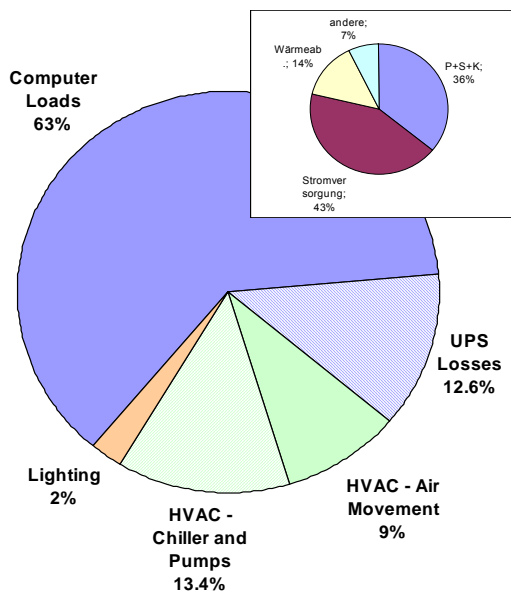
Existierende Spezifikationen (Fanara et al., 2009)

Data Center Workload Category	Available Benchmarks
High performance computing (HPC)	LINPACK, Green 500*, SPEC_CPU2006
Web services or other accessed services	SPECpower_ssj2008*, SPECweb2009*, TPC-App
Email services	SPEcmall2009
Database management	NNA Server Power Efficiency*, NNA Server Transaction Throughput Benchmark, TPC-C, TPC-E, TPC-H
Shared file services	SPECsfs2008

In Entwicklung: Energy Star Servers Version 2.0 mit Anforderungen für Energieeffizienz im Betrieb (EPA, 2010)
→ SPECpower_ssj2008 (SPEC, 2008)



Energieverbrauch im Rechenzentrum



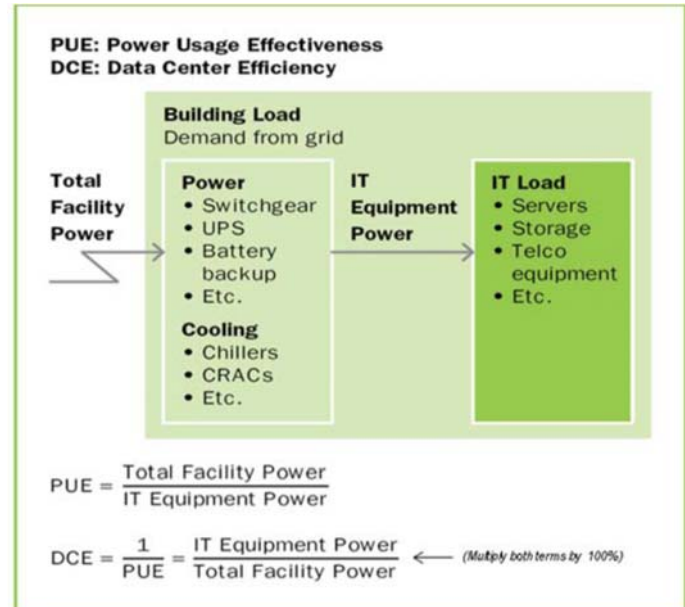
Grobe Aufteilung nach Verwendungszweck des Stromverbrauchs in zwei Rechenzentren (LBNL, Messung) und feinere Aufteilung nach Verwendungszweck der „Computer Loads“ (CEPE, typisch)

Energieeffizienz der (zentralen) Infrastruktur

Indikator: **PUE** = 1/ DCiE
hat sich international
durchgesetzt

- ERFA RZ (CH, 1980/90)
 - ...
 - Kanton Genf (CH, 2003)
 - ...
 - DoE, EPA (US)
 - Green Grid (global, US)
 - CoC (EU)
- (7x24 Exchange, 2010)

Messkonzept → Maucoronel, 2008;
Green Grid, 2011



Source: The Green Grid

Andere Indikatoren und Ökologie

- CO₂-Emissionen
 - CUE= CO₂ Emissionen total / Energieverbrauch IT
in kg CO₂ / kWh (Green Grid, Dezember 2010 → Green Grid, 2011/2)
- Wasserverbrauch
 - WUE= Wasserverbrauch total / Energieverbrauch IT
in Liter Wasser / kWh (Green Grid, März 2011 → Green Grid, 2011/2)
- Abwärmenutzung
 - PUE_{DA} → PUE^{DA} = PUE – Gutschrift → (PUE_{DA}, 2011/2)
- Kältemittelverluste
- Nutzungsdauer?
- Entsorgung
- Erneuerbare Energie

Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz (1)

Effizienz RZ (IT + Infrastruktur)

- Neue Geräte einsetzen
- Migration zu anderen Geräten (Mainframe <-> Blade Server)
- Geräte effizienter nutzen (Konsolidierung, Virtualisierung, Power Management)
- Besser Programmieren, andere Software
- Welche Dienstleistungen
- Wie hohe Zuverlässigkeit, "wieviele 9"
- Datenspeicherung reorganisieren/optimieren

Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz (2)

Effizienz der Infrastruktur

- Effizientere Geräte (USV, Transformatoren, Netzgeräte, Kälteproduktion)
- DC Verteilung?
- Modularität, Flexibilität → möglichst optimale Auslastung von USV, Transformatoren, Netzgeräte, Kompressoren, ...
- Kalt-/Warmgang, Einhausung
- Höhere Inlet-Temperaturen and grössere Toleranz betr. Feuchtigkeit
- Free Cooling
- Effizientere Wärmeabfuhr und Nutzung der Abwärme
- Monitoring, Überwachung und (automatische) Regulierung

Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz (3)

Systematische Massnahmen und Best Practice → CoC, 2010

Massnahmen und Einsparungen in Szenariorechnungen für die RZ in den USA → EPA, 2007/2, Seite 40 ff

Vorschläge zur Optimierung von Serverräumen → Mäder, 2010, 2010/2

Massnahmenkatalog der Fachgruppe Green IT der Schweizerischen Informatik Gesellschaft SI → SI, 2011

Beispiele von durchgeführten Massnahmen → Fichter et al., 2009
→ E-Server-Konsortium, 2009
→ Google, 2011

Interessante Beispiele für geplante Neubauten in der Schweiz: OIZ, Yahoo in Avenches, green-ch in Lupfig, DeepGreen in Mollis, Deltalis im Kt. Uri, ...

Aquasar → Michel, 2011

Energieeffizienz bei Infrastruktur ist relevant!

Szenariorechnung EPA übertragen auf die Schweiz

- **DCiE 50%** → in 2011 **30%** aller RZ bei **80%** best practice (PUE=1.25), **85%** state of art (PUE=1.18)
- **CH: 2.8%** der Server in USA

DCiE	Energy cost savings Infrastruct in CH, Mio.CHF/y										
	Reference	BAU	eff operat	best practice	state of art						
2000	50.0%					2000	0				
2001	50.0%					2001	0				
2002	50.0%					2002	0				
2003	50.0%					2003	0				
2004	50.0%					2004	0				
2005	50.0%					2005	0				
2006	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	2006	0	0	0	0	0
2007	50.0%	51.0%	55.0%	55.0%	55.0%	2007	0	9	57	75	88
2008	50.0%	52.0%	56.3%	56.9%	58.1%	2008	0	20	72	108	130
2009	50.0%	53.0%	57.5%	58.8%	61.3%	2009	0	42	94	150	178
2010	50.0%	54.0%	58.8%	60.6%	64.4%	2010	0	61	132	199	236
2011	50.0%	55.0%	60.0%	62.5%	67.5%	2011	0	72	156	241	278

Quelle: EPA, 2007/2; eigene Berechnungen

Hemmnisse für Effizienzverbesserung Infrastruktur

- Nutzungsdauer Infrastruktur >> IT-Geräte
- Fehlende Zusammenarbeit IT- und Facility-Abteilung
- Separate Budgets für IT und Infrastruktur
- TCO kaum beachtet

Überwindung von Hemmnissen – Anreize schaffen

- Struktur/Organisation der Firma verändern um die Zusammenarbeit von IT- und Facility-Abteilung zu fördern
- Substantielle Budgets über mehrere Jahre; Anreize/Auszeichnungen!
- Erfahrungen austauschen → ERFAs

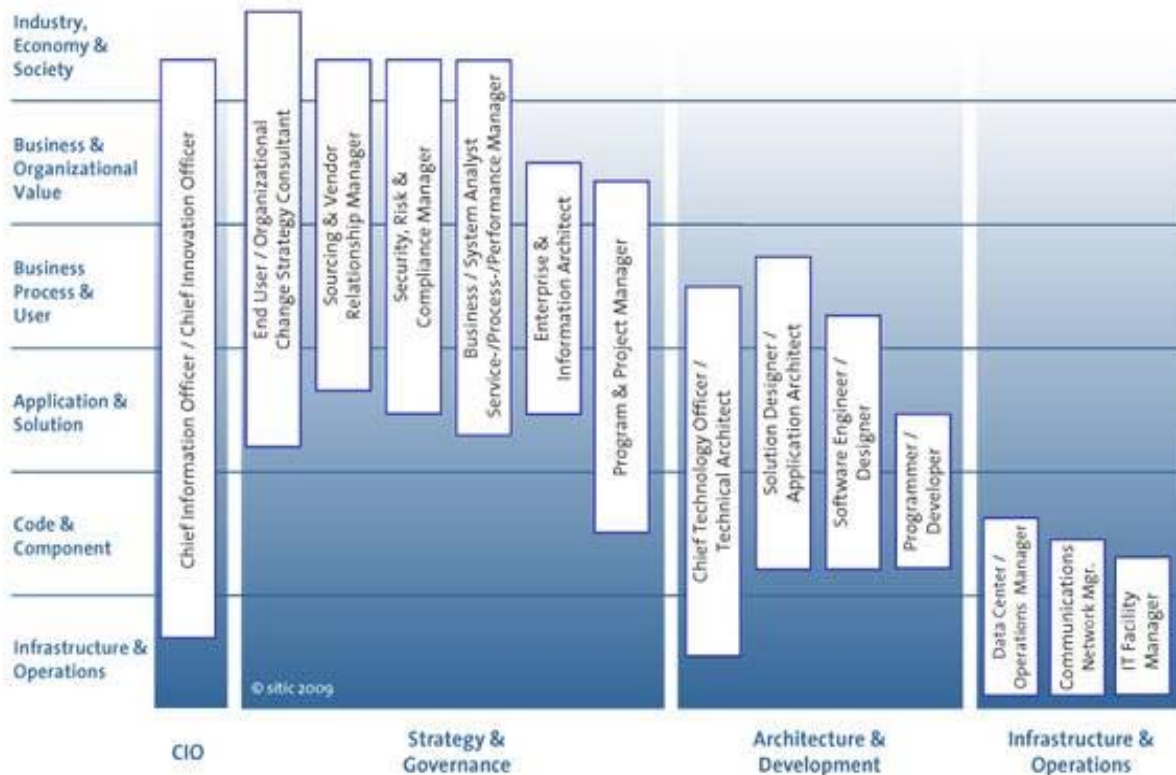
Schweiz: 3 Beispiele

- ERFA RZ seit 1980s
 - Benchmarking der Energieeffizienz: $K (= DCiE = 1/PUE)$
 - Heute integriert in EnergieSchweiz, EnAW, Grossverbraucher
- ERFA-Gruppe IT Engineering & IT Operations
www.swissinstitute.ch/i/ERFA_Gruppe_Info_Kit_100306.pdf
- Infrastructure & Operations Community c/o Swiss IT Intelligence Community www.sitic.ch

US und EU

- Green grid, EPA/DOE, Uptime Institute, ...
- Code of Conduct

Sitic-“Communities”



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



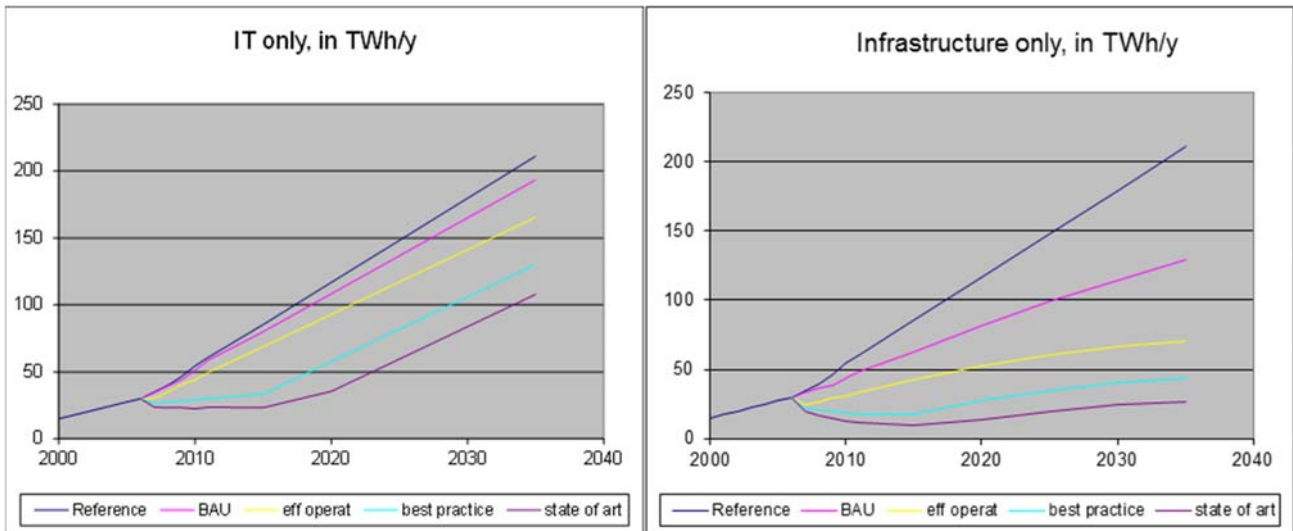
Centre for Energy Policy and Economics
Department of Management, Technology
and Economics

Programme, Zertifizierung

- PUEDA: fachliche und finanzielle Unterstützung → PUEDA, 2011
 - European Code of Conduct : fachl. Unterstützung, Bestätigung
→ CoC, 2011
 - ENERGY STAR: fachl. Unterstützung, Label! → EPA, 2011
 - Zertifizierung
 - ISO 9.001 (Qualitätsmanagement)
 - ISO 27.001 (it-Security)
 - ISO 14.001 (Umweltmanagement)
 - Energieeffizienz:
 - Angebote durch verschiedene TÜFs → (Sicherheitsberater, 2010);
 - Ankündigung im Programm eines Seminars in Wien → (IIR, 2011)
- http://www.grothusen.at/ges/pdf/T0403_Rechenzentrum_Grothusen.pdf

Ausblick (1)

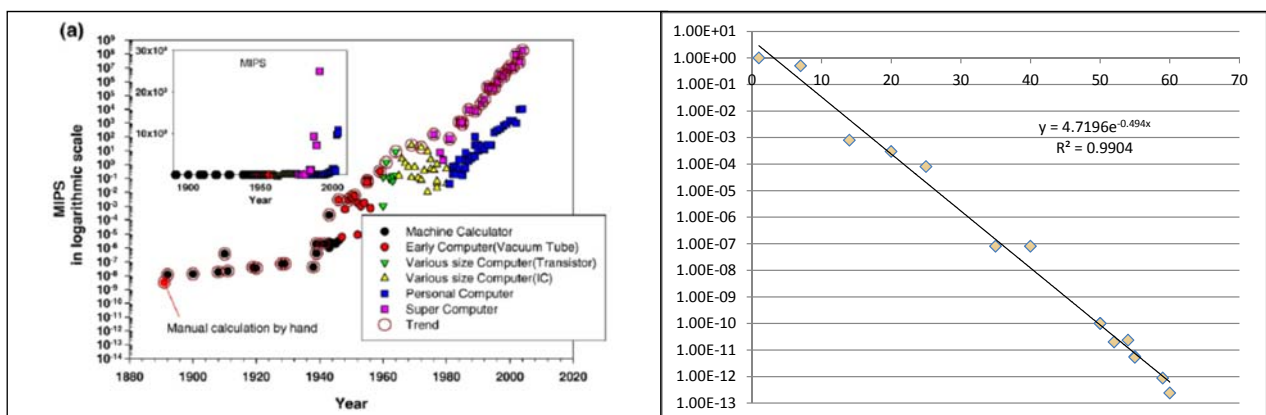
Längerfristige Szenarien Strom IT und Infrastr. in RZ (USA)



Quelle: 2000-2011 (EPA, 2007); 2011-2035 eigene Berechnung

Ausblick (2)

Historische Entwicklung der Rechenleistung der «Rechenmaschinen» und des Stromverbrauchs pro «Rechnung»



Rechenleistung der «Rechenmaschinen» 1890-2004:

1940-2004 Grossrechner: $e^{+0.425} \rightarrow +53\%/Jahr$
(Koh/Magee, 2006)

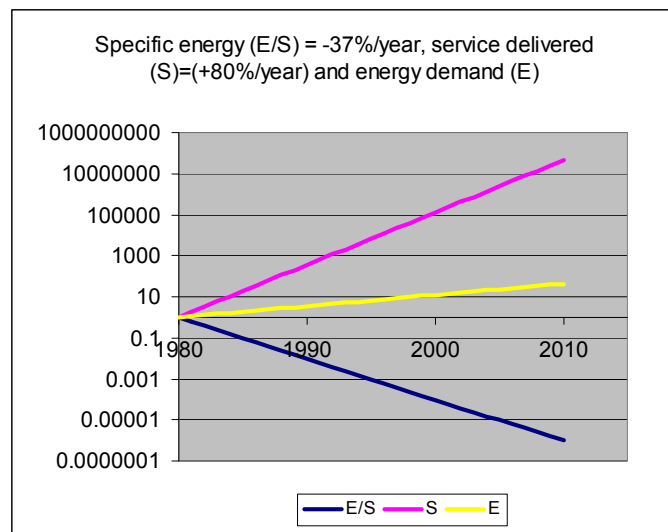
Stromverbrauch pro «Rechnung» 1950-2010:
 $e^{-0.494} \rightarrow -39\%/Jahr$

Quellen: Aebischer/Mutzner/Spreng, 1994;
Aebischer/Bradke/Kaeslin, 2000; Feng, 2005;
Green500 List www.green500.org; TOP500
List www.top500.org

Ausblick (3)

Stromverbrauch IKT = Dienstleistung x Stromverbrauch pro DL

- Erbrachte Dienstleistungen: Wachstum um Faktor **200-500** in 10 Jahren!
- Stromverbrauch: Wachstum um Faktor **2-5** in 10 Jahren
- Spezifischer Verbrauch, z.B. Energie/MIPS: Reduktion um Faktor **100** in 10 Jahren!



Stromverbrauch durch energiepolitische technische Massnahmen wenig beeinflussbar! Stromverbrauch beschränkt durch akzeptablen Stromverbrauch pro Gerät und durch Stromkosten

7x24 Exchange, 2010. Data Center Industry Leaders Reach Agreement on Guiding Principles for Energy Efficiency Metrics. February

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/DataCenters_AgreementGuidingPrinciples.pdf

Aebischer B., 2009. Energieeffizienz im Rechenzentrum. Aufsatz in "Umwelt Perspektiven", April 2009, Illnau

http://www.cepe.ethz.ch/publications/Aebischer_Energieeffizienz-Rechenzentrum_UmweltPerspektiven_04-09.pdf

Aebischer B., G. Catenazzi, M. Jakob, 2009. Ex-Post Analyse des Energieverbrauchs 2000-2008 in den Sektoren Dienstleistungen und Landwirtschaft nach Bestimmungsfaktoren und Verwendungszwecken. Interner Bericht, Zürich

Aebischer B., R. Frischknecht, Ch. Genoud, A. Huser, F. Varone, 2003. Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres. Report commissioned by the Canton of Geneva, Geneva, Switzerland

http://www.cepe.ch/research/projects/datacentres/data_centres_final_report_05012003.pdf

Aebischer et al., 2002. CO₂-Reduktionspotential Erdgas. Projektphase 1: Referenzszenario. Studie im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Gasindustrie. Zürich

http://www.cepe.ethz.ch/publications/Aebischer_2002_CO2-Erdgas_Phase_1.pdf

Aebischer B., Bradke H. und Kaeslin H. (2000). Energie und Informationstechnik. Energiesparer oder Energiefresser?. Bulletin der ETH Zürich, Nr. 276 (January), 40-42.

Aebischer B., 1996 Rationellere Energieverwendung beim Einsatz von Computern. Proceedings der Fachtagung SIWORK '96 "Workstations und ihre Anwendungen". Zürich 14.-15. Mai 1996. vdf-Verlag (ISBN: 3 7281 2342 0)

Aebischer B., Mutzner J. und Spreng D. Strombedarfsentwicklung im Dienstleistungssektor. Bulletin SEV/VSE 16/94

CoC, 2011. EU Code of Conduct for Data Centres.

http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data_centers.htm

CoC, 2010. 2010 Best Practices for the EU Code of Conduct on Data Centres

<http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/CoC%20DC%20new%20rep%20form%20and%20guidelines/Best%20Practices%20v2.0.0%20-%20Release.pdf>

Cremer et al., 2003. Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010. Summary of the final report to the German Federal Ministry of Economics and Labour. FhG-ISI and CEPE, Karlsruhe/Zürich

http://www.cepe.ethz.ch/publications/ISI_CEPE_ICT_english.pdf

DCD, 2011. DCD Industry Census 2011: Forecasting Energy Demand.

http://static.datacenterdynamics.com/assets/pdf_file/0009/227664/CENSUS_energyforecasting.pdf

EPA, 2011. ENERGY STAR Data Center Energy Efficiency Initiatives

www.energystar.gov/index.cfm?c=prod_development.server_efficiency

EPA, 2007. Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency. Public Law 109-431. U.S. Environmental Protection Agency. ENERGY STAR Program. Washington, August

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf

EPA, 2007/2. REPORT TO CONGRESS ON SERVER AND DATA CENTER ENERGY EFFICIENCY. APPENDICES

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Final_Appendices.pdf

EPA, 2010. ENERGY STAR Servers Version 2.0: Updates. The Green Grid Technical Forum 2010 San Jose, CA February 2, 10

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer_servers/ES_Servers_V_2.0_Development_Update.pdf

E-Server-Konsortium, 2009. Fallstudien zu Energie- und Kosteneinsparung durch energieeffiziente Server. http://www.efficient-server.eu/fileadmin/docs/reports/2009/E-Server_casestudies_EN.pdf

http://www.efficient-server.eu/fileadmin/docs/reports/2009/E-Server_casestudies_EN.pdf

Fanara A. et al., 2009. The State of Energy and Performance Benchmarking for Enterprise Servers. Lecture Notes in Computer Science, Volume 5895. ISBN 978-3-642-10423-7. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, p. 52

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/State_of_Energy_and_Performance_Benchmarking_for_Enterprise_Servers_Final.pdf

Feng Wu-chun, 2005. The Importance of Being Low Power in High-Performance Computing. CTWatch Quarterly August 2005.

<http://sss.lanl.gov/pubs/CTWatch-Quarterly-Excerpt.pdf>

Fichter et al., 2009. Energieeffiziente Rechenzentren. Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien. Hrsg.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2. Auflage, Berlin

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_rechenzentren_bf.pdf

Google, 2011. European Data Centre Summit 2011 <http://www.google.com/about/datacenters/events/2011-summit.html#>

Green Grid, 2009. Data Center Energy: Going Forward. EMEA Technical Forums, 13 Octobre

<http://www.thegreengrid.org/~media/Presentations/Data%20Center%20Energy%20Going%20Forward.ashx?lang=en>

Green Grid, 2011. Recommendations For Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency Version 2 - Measuring PUE for Data Centers (May 2011)..

<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/Data%20Center%20Metrics%20Task%20Force%20Recommendations%20V2%205-17-2011.pdf?lang=en>

Green Grid, 2011/2. The Green Grid Overview. The Green Grid EMEA Technical Forum 2011. 13 October 2011. Presented by Mark Monroe.

http://www.thegreengrid.org/~media/Presentations/2011EMEAtechForum_TheGreenGridOverview.pdf?lang=en

Haas J. et al., 2009. PROXY PROPOSALS FOR MEASURING DATA CENTER PRODUCTIVITY. The Green Grid

<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/White%20Paper%2017%20-%20Proxies%20Proposals%20for%20Measuring%20Data%20Center%20Efficiencyv2.ashx?lang=en>

IIR, 2011. Energieeffizienz im Rechenzentrum und Serverraum. Ankündigung einer Seminarreihe.

http://www.grothusen.at/ges/pdf/T0403_Rechenzentrum_Grothusen.pdf

Koh H., Magee Ch.L., 2006. A functional approach for studying technological progress: Application to information technology. Technological Forecasting & Social Change 73 (2006) 1061–1083.

http://s352047256.onlinehome.us/cmagee/documents/15%5Bkoh_magee%5Dfsc_functional_approach_studying_technological_progress_vol73p1061-1083_2006.pdf

Koomey J.G., 2011. GROWTH IN DATA CENTER ELECTRICITY USE 2005 TO 2010.

<http://www.mediafire.com/file/zzqna34282fr2f/koomeydatacenterlectuse2011finalversion.pdf>

Koomey J.G., 2007. ESTIMATING TOTAL POWER CONSUMPTION BY SERVERS IN THE U.S. AND THE WORLD,

Stanford/Berkeley <http://enterprise.amd.com/Downloads/svrpwusecompletefinal.pdf>

Mäder Ch., 2010. Vorschläge zur Optimierung der Serverräume an der ETH Zürich basierend auf einer Kosten- und

Energieanalyse. Masterarbeit. http://www.biblioite.ethz.ch/downloads/Masterarbeit_Christoph_Maeder.pdf

Mäder Ch., 2010/2. Vorschläge zur Optimierung der Serverräume an der ETH Zürich basierend auf einer Kosten- und Energieanalyse. Anhang der Masterarbeit.

http://www.biblioite.ethz.ch/downloads/Anhang_der_Masterarbeit_von_Christoph_Maeder.pdf

Maucoronel C., P.-J. Duc, J. Willers, 2008. Standardized energy measurement concept for data centers and their infrastructures.

Elaborated on behalf of the Canton of Geneva by Amstein+Walthert and Willers Engineering.

http://www.biblioite.ethz.ch/downloads/Measurement-concept_DCIE_10-2-09.pdf

Michel B., 2011. Aquasar: Der Weg zu optimal effizienten Rechenzentren. Green IT für eine nachhaltige Welt Informationstagung

der Schweizer Informatik Gesellschaft, 27. September 2011 http://www.greenit.s-i.ch/media/archive1/lifefair2011/Michel_EffizienteRechenzentren_270911.pdf

PUEDA, 2011. Förderprogramm PUEDA. www.pueda.ch

PUEDA, 2011/2. Anleitung Phase 2. <http://www.pueda.ch/CFDOCS/cms3/admin/cms/download.cfm?FileID=219&GroupID=250>

Roth et al., 2002. Energy Consumption by Office and Telecommunications Equipment in Commercial Buildings. Volume I: Energy

Consumption Baseline. http://www.eere.energy.gov/buildings/info/documents/pdfs/office_telecom-vol1_final.pdf

SI, 2011. Massnahmenkatalog für Rechenzentren. Fachgruppe Green IT der Schweizerischen Informatik Gesellschaft SI

www.greenit.s-i.ch/index.php?page=325

Sicherheitsberater, 2010. Zertifizierung energieeffizienter Rechenzentren [http://www.sicherheits-](http://www.sicherheitsberater.de/schwerpunktheft/artikel-ohne-abo/zertifizierung-von-rechenzentren-ausgabe-1415-2010/zertifizierung-energieeffizienter-rechenzentren.html)

[berater.de/schwerpunktheft/artikel-ohne-abo/zertifizierung-von-rechenzentren-ausgabe-1415-2010/zertifizierung-energieeffizienter-rechenzentren.html](http://www.sicherheitsberater.de/schwerpunktheft/artikel-ohne-abo/zertifizierung-von-rechenzentren-ausgabe-1415-2010/zertifizierung-energieeffizienter-rechenzentren.html)

SPEC, 2008. SPEC Power and Performance. Benchmark Methodology V1.1.1. Standard Performance Evaluation Corporation (Editor), http://www.spec.org/power_ssj2008/docs/SPECpower-Methodology.pdf
→ Results: http://www.spec.org/power_ssj2008/results/power_ssj2008.html

Spreng D., B. Aebischer, 1990. Computer als Stromverbraucher. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 50 Dezember

Stobbe L. et al., 2009. Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Bearbeitungsnummer I D 4 – 02 08 15 – 43/08. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/abschaetzung-des-energiebedarfs-der-weiteren-entwicklung-der-informationsgesellschaft.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>