

Green IT und Rechenzentren

Dr. Bernard Aebischer, CEPE/ETH Zürich

Tagung der ERFA-Gruppe "IT Engineering & IT Operations"

IBM-ISL Rüschlikon, 16. März 2010



Inhalt

Green IT → Energie → Auswahl:

1. Energieverbrauch und Energieeffizienz
2. Indikatoren und Messkonzepte
3. Anwendung und Nutzen von DCiE / PUE

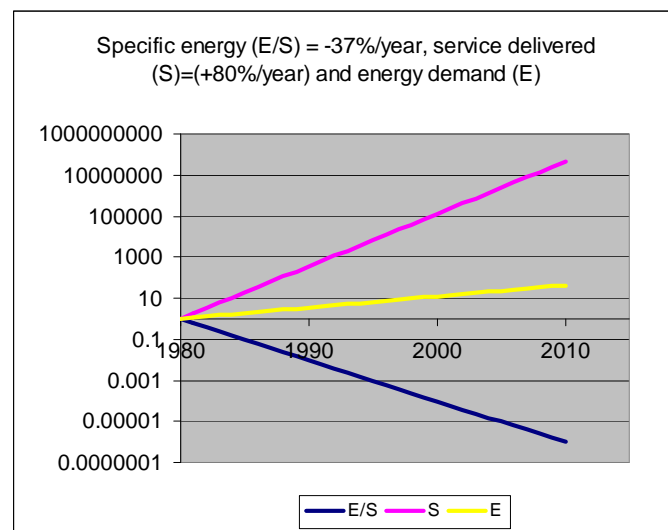
1. Energieverbrauch und Energieeffizienz

1. IKT langfristige Entwicklung: Wachstum mit "Störungen"
2. Mittel- und kurzfristige Szenarien für IKT und RZ
3. Grosse Energie(kosten)einsparungen bei der Infrastruktur von RZ

Long term energy demand by ICT

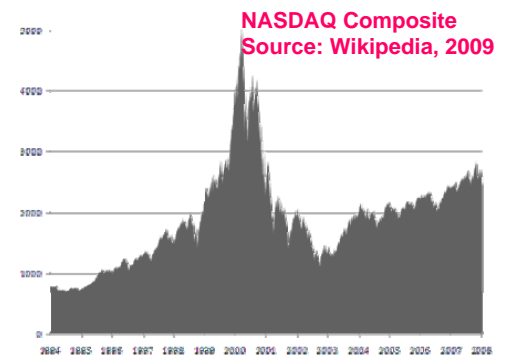
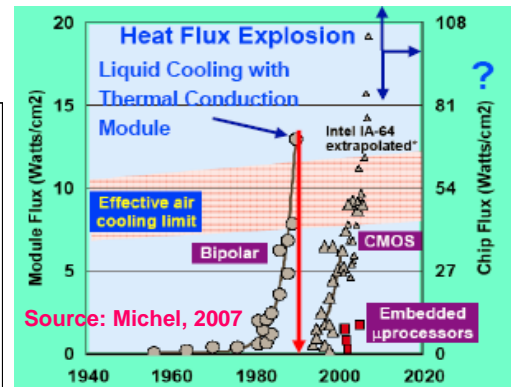
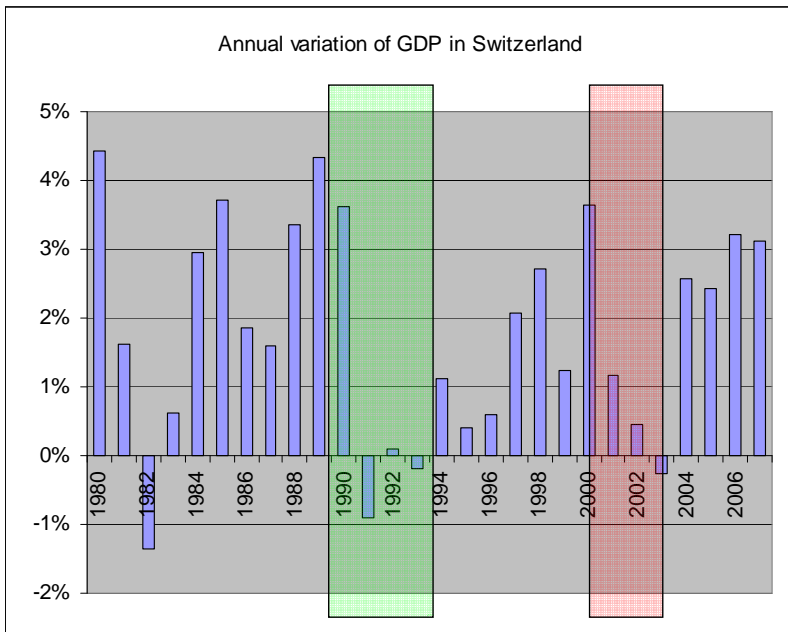
Energy demand = service delivered * (energy/unit-service)

- Trend of specific consumption, e.g. energy/MIPS:
reduction by factor **100** in 10 years!
- Energy demand:
increase by factor **2-5** in 10 years
- Service delivered:
increase by factor **200-500** in 10 years!



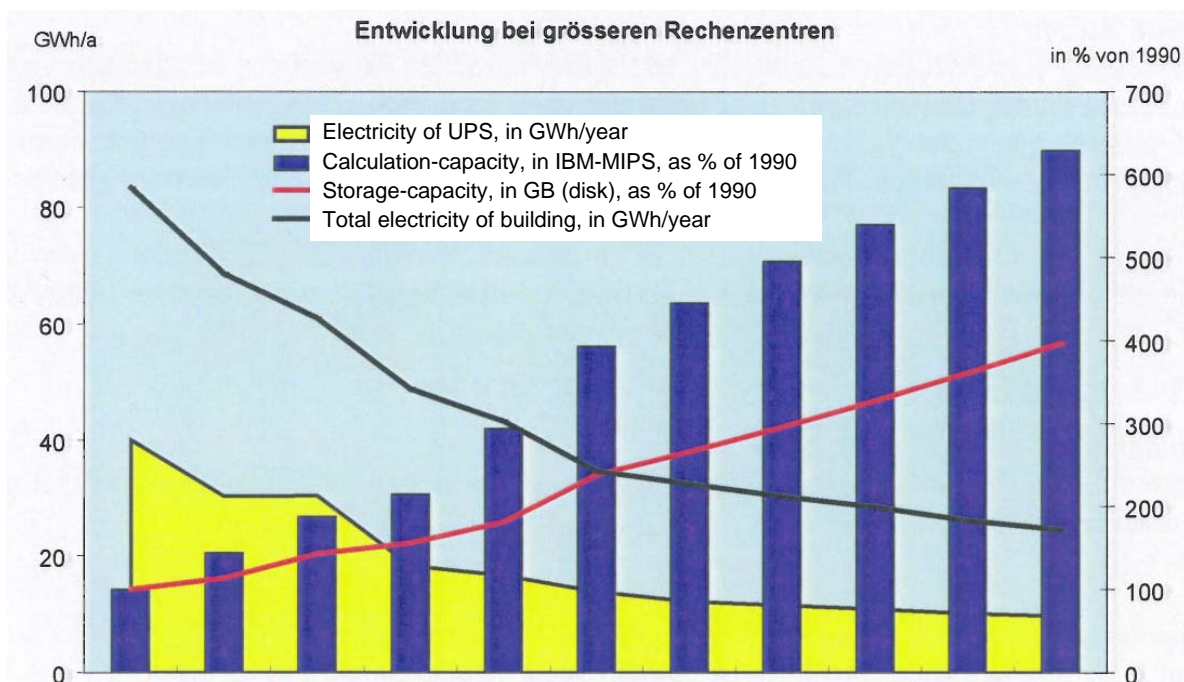
But "disturbances": technical, economic; use/operation

Example of technical and economic disturbance



Energy Demand

Monitoring and planning of electricity demand in a DC of a Swiss bank between 1990 and 2000



Source: Bänninger, 1996

IKT in Deutschland 2001-2007

(inkl. Infrastruktur für RZ)

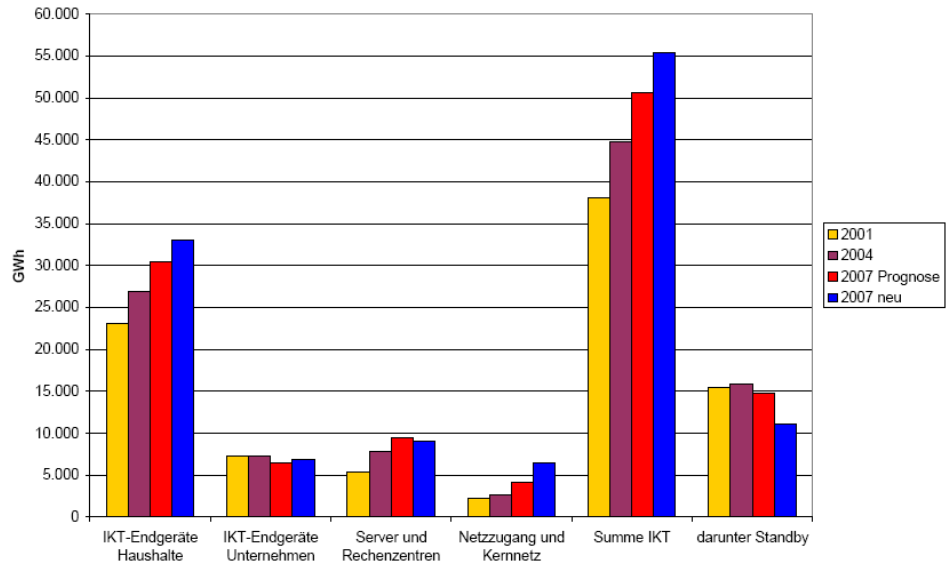


Abbildung 13: Vergleich der Ergebnisse der Bestandsaufnahme für 2007 ("2007 neu") mit den Ergebnissen früherer Studien zum Energiebedarf für IKT in Deutschland (Quellen: Fraunhofer ISI/Cepe 2003, Fraunhofer ISI/Ffe/TU Dresden 2005; aktuelle Berechnungen Fraunhofer IZM/ISI)

Quelle: Stobbe L. et al., 2009.

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
Unternehmen³⁾	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

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)

Quelle: Stobbe L. et al., 2009.

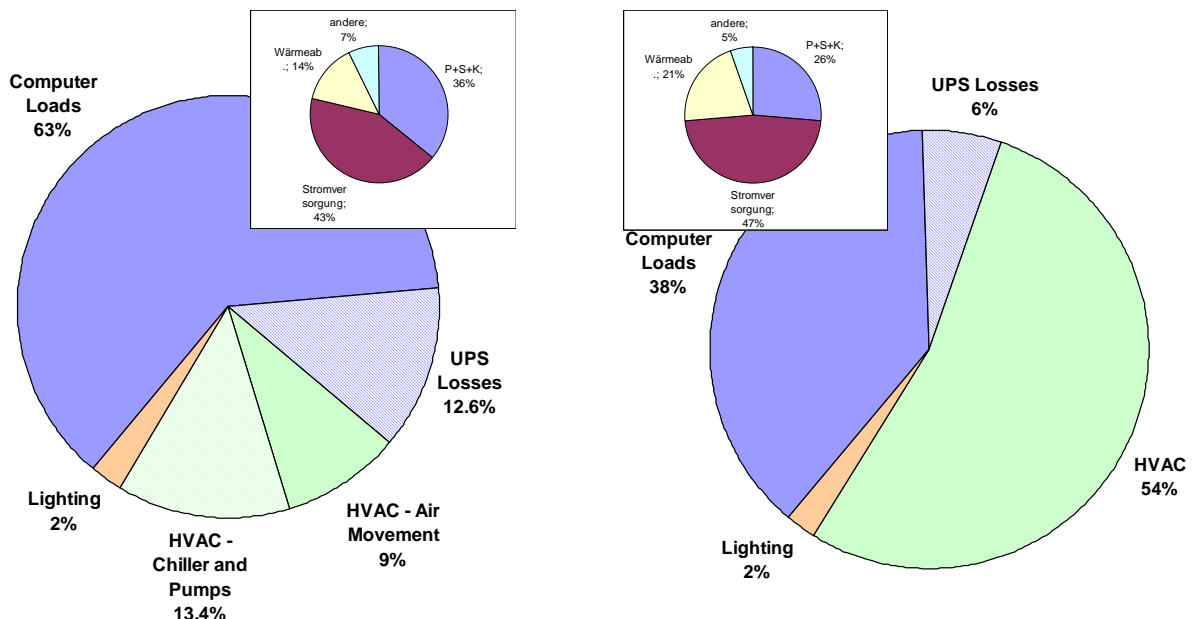
Energieverbrauch Rechenzentren, früher (ohne Infrastr.!) (ohne Infrastr.!)

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 (Koomey, 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)

Energieverbrauch im Rechenzentrum



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

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

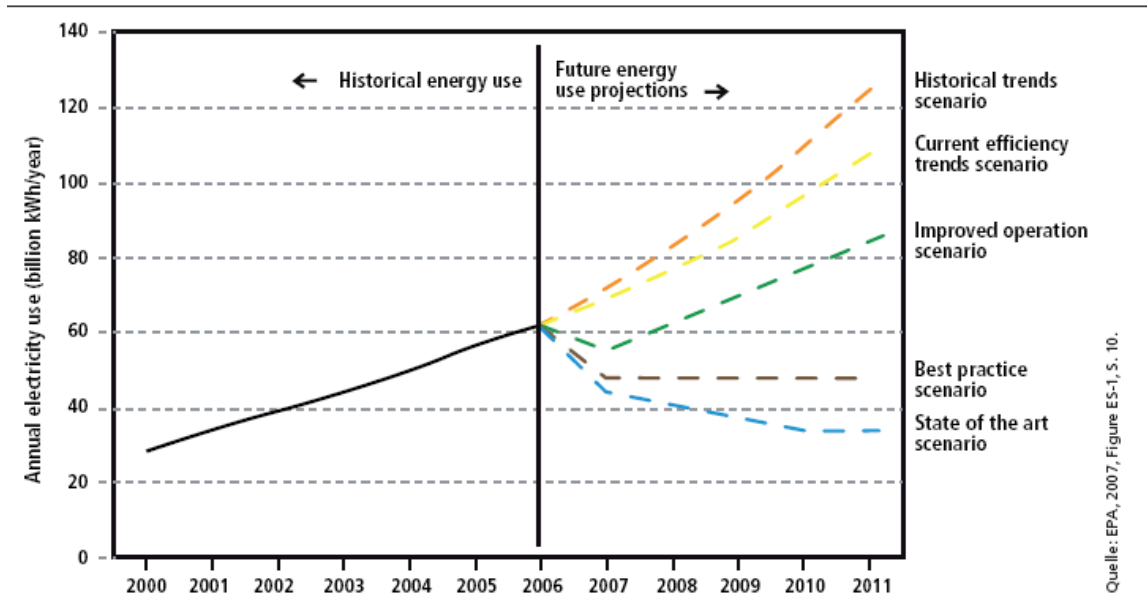


Abbildung 2: Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage der Rechenzentren in den USA von 2000 bis 2006 und Szenarien charakterisiert durch getätigte Effizienzmassnahmen für die zukünftige Entwicklung bis 2011.

Massnahmen zur Energieeffizienzsteigerung

- IT-Geräte
 - Server Power Management
 - Konsolidierung
 - Virtualisierung
 - Optimierung Speicherung/Archivierung
- Infrastruktur
 - Effizientere Geräte/Anlagen: Transformatoren, UPS, Kühlung
 - Bessere Kontrolle, höhere Toleranz Temperatur und Feuchtigkeit
 - Free cooling

Quelle: EPA, 2007/2

Systematische Massnahmen und Best Practice → CoC, 2009

Beispiele von durchgeführten Massnahmen → Fichter et al., 2009

→ E-Server-Konsortium, 2009

Massnahmen: Was ist neu?

Unterschiede Fallbeispiele früher → heute

- Konsolidierung, Virtualisierung!
- Luftströmung
 - Messungen dank Sensoren und Simulationen dank schnellen Computern
 - Kalt/warm trennen
 - Einhausung
- Toleranzen Temperatur und Feuchtigkeit

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		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

2. Indikatoren und Messkonzepte

1. Energie pro Dienstleistung eines RZ (Hardware + Software + Algorithmen)
2. Energieeffizienz der IT-Geräte (nicht System)
3. Energieeffizienz der Infrastruktur (System) eines RZ

Energie pro Dienstleistung

Energieproduktivität eines RZ = Data Center Energy Productivity

$$DCeP = \frac{\text{useful work produced in a data center}}{\text{total energy consumed in the data center to produce that work}}$$

Problem: wie Dienstleistung (useful work) messen?

- Anzahl Transaktionen (Bank)
- Anzahl Zugriffe („Google“)
- Anzahl Rechenoperationen (Forschung)
- ???

Eine Definition für alle Bereiche?

Mass für die Dienstleistung eines RZ?

The Green Grid

www.thegreengrid.org

PROXY PROPOSALS FOR MEASURING DATA CENTER PRODUCTIVITY

→ Haas et al, 2009

PROXY NAME	PROXY FORMULA	VARIABLE DESCRIPTION
Proxy #1 - Useful Work Self-Assessment and Reporting	$\frac{\sum_{i=1}^n (N_i * W_i)}{E_{DC}}$	n is the number of instrumented applications running during the assessment window. N_i is a normalization factor for each software application. W_i is the number of units of useful work reported by a particular instrumented application.
Proxy #2 - DCeP Subset by Productivity Link	$\frac{\left(\frac{N_{DC}}{N_{subset}}\right) * \sum_{i=1}^n W_i}{E_{DC}}$	N_{DC} is the total number of servers in the data center. N_{subset} is the number of servers in the subset. n is the number of instrumented applications running during the assessment window. W_i is the number of units of useful work reported by an instrumented application.
Proxy #3 - DCeP Subset by Sample Workload	$\left(\frac{N_{DC}}{N_{subset}}\right) * W_{subset}$	N_{DC} is the total number of servers in the data center. N_{subset} is the number of servers in the subset. W_{subset} is the useful work number produced by instrumented software running on a server subset.
Proxy #4 - Bits per Kilowatt-hour	$\frac{\sum_{i=1}^k b_i}{E_{DC}}$	k is the total number of outbound routers. b_i is the total number of bits coming out of the i th router during the assessment window.
Proxy #5 - Weighted CPU Utilization - SPECint_rate	$\frac{T * \sum_{i=1}^n \left(U_{avgCPU_i} * B_i * \left(\frac{CLK_{CPU_i}}{CLK_B} \right) \right)}{E_{DC}}$	T is the length of the assessment window. n is the number of servers being measured. U_{avgCPU_i} is the average CPU utilization for the i th server. B_i is the benchmark result for the i th server. CLK_{CPU_i} is the nominal clock speed of the CPU in the i th server. CLK_B is the clock speed of the CPU that was used to establish B_i .
Proxy #6 - Weighted CPU Utilization - SPECpower	$\frac{T * \sum_{i=1}^n \left(U_{avgCPU_i} * S_i * \left(\frac{CLK_{CPU_i}}{CLK_B} \right) \right)}{E_{DC}}$	T is the length of the assessment window. n is the number of servers in the data center. U_{avgCPU_i} is the average CPU utilization for the i th server. S_i is the SPECpower ssj_ops/sec at 100% server utilization for the i th server. CLK_{CPU_i} is the nominal clock speed of the CPU in the i th server. CLK_B is the clock speed of the CPU that was used to establish B_i .
Proxy #7 - Compute Units per Second Trend Curve	$\frac{T * \sum_{i=1}^n \left(7 * \left(\frac{year_i}{2007} \right) * Num_i * Util_i \right)}{E_{DC}}$	T is the length of the assessment window. m is the year of purchase of the oldest server in the data center. n is the year of purchase of the newest server in the data center. Num_i = number of servers in data center that were purchased in year i . $Util_i$ = average server utilization during the assessment window of the servers in the data center purchased in year i .
Proxy #8 - OS Workload Efficiency	$\frac{Count_{OS}}{P_{DC}}$	$Count_{OS}$ is the total OS instance count.

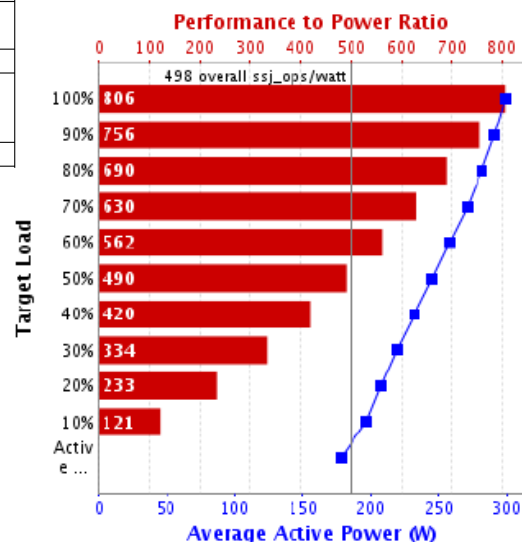
Energieeffizienz eines Servers

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	SPECmail2009
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)



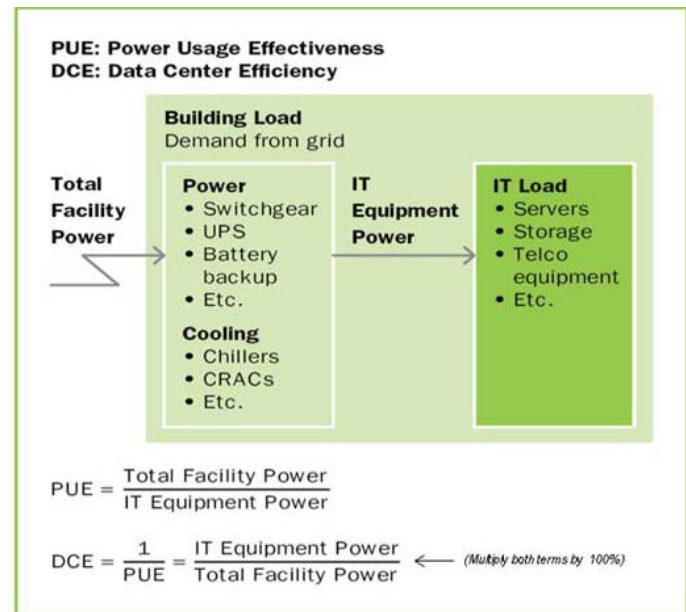
Energieeffizienz der (zentralen) Infrastruktur

Indikator: DCiE = 1/PUE
hat sich international
durchgesetzt

- Green Grid (global, US)
- CoC (EU)
- DoE, EPA (US)
- → (7x24 Exchange, 2010)

Anwendungsfelder

- Monitoring einzelner RZ
- Vergleich zwischen RZ und mit „Best Practice“
- Festlegung von Standards und Mindestanforderungen
- Zertifizierung



Source: The Green Grid

Messkonzept für DCiE / PUE

Kanton Genf → Maucoronel/Duc/Willers, 2008/2009

- Energie (oder durchschnittliche aber nicht punktuelle Leistung),
- wohldefinierte Messstellen,
- mindestens monatliches Auslesen

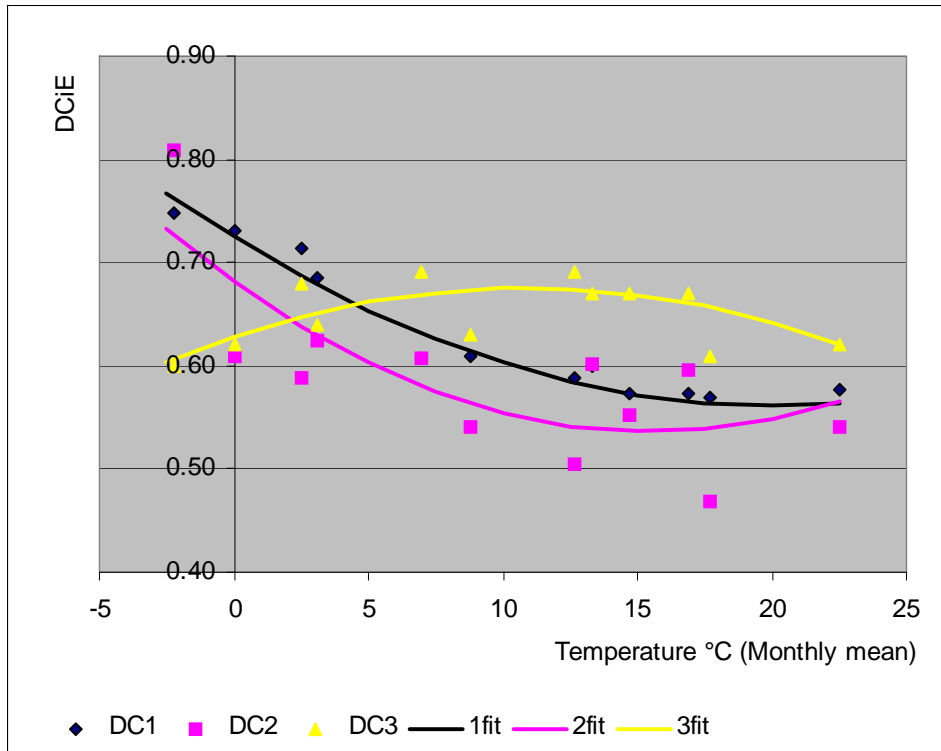
Green Grid (CoC) → Green Grid, 2009

- „Power“ → „average power“ (für Reporting)
- Präzise (aber nicht einheitliche) Messstellen: UPS oder PDU
- Mindestens monatlich → kontinuierlich

EnergyStar → EnergyStar, 2009

- Energie („source energy“ = Primärenergie)
- UPS oder PDU → UPS, weil zu wenig Daten mit PDU-Messungen
- ?

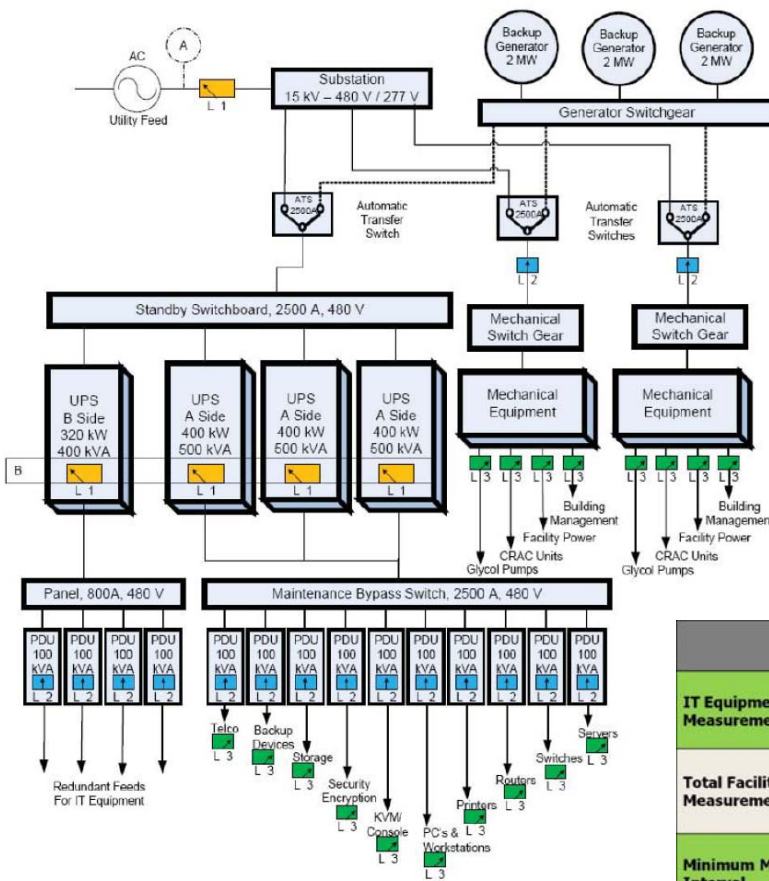
DCiE (energy) in function of outdoor temperature



Source:

Swiss DCEE
Group, 2007;

Bänninger, 2007



Quelle: Green Grid, 2009

	Level 1 (Basic)	Level 2 (Intermediate)	Level 3 (Advanced)
IT Equipment Power Measurement From...	UPS	PDU	Server,...
Total Facility Power Measurement From...	Data Center input power	Data Center input less shared HVAC	Data Center input less shared HVAC plus building lighting, security...
Minimum Measurement Interval	Monthly/ Weekly	Daily	Continuous

0.45 DCiE _{L1,-}	Single DCiE measurement (0.45) taken using a Level 1 meter placement
0.51 DCiE _{L1,YM}	Yearly average DCiE (0.51), using data points gathered monthly with a Level 1 meter placement
1.6 PUE _{L1,MW}	Monthly average PUE (1.6) using data points gathered weekly with a Level 1 meter placement
0.43 DCiE _{L1,WD}	Weekly average DCiE (0.43), using data points gathered daily with a Level 1 meter placement
1.8 PUE _{L2,WC}	Weekly average PUE using data points gathered continuously with a Level 2 meter placement.
2.1 PUE _{L3,YC}	Yearly average PUE (2.1) using continuous measurements with a Level 3 meter placement.

'M' = monthly, 'W' = weekly, 'D' = daily,
'C' = continuously (frequency one hour or less)

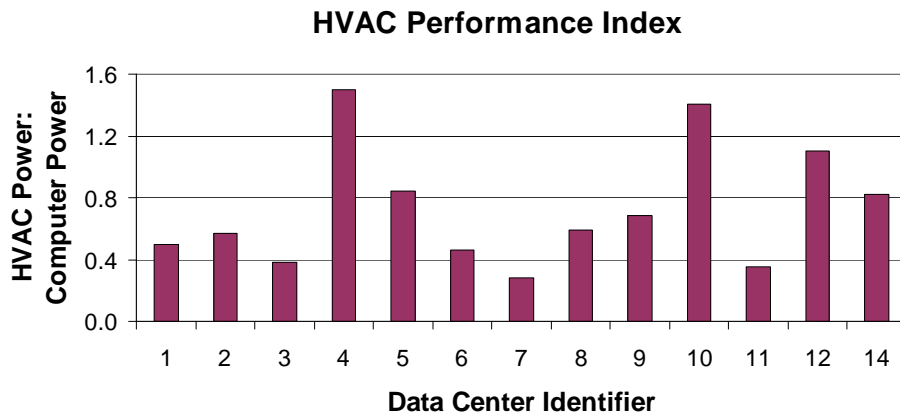


3. Anwendung und Nutzen von DCiE / PUE

- Zeitliche Entwicklung in einem RZ
 - Prozesskontrolle
 - Evaluation einer Massnahme → **CoC, Green Grid**
- Vergleich von RZ
 - Benchmarking → **Energy Star**
 - Qualität
- Vorgabe, Ziel → **Kanton Genf (?)**
(Aebischer et al., 2003)
 - Planung, Neubau, Sanierung
- Grenzen des Nutzens
 - keine Erklärung und
 - keine Hinweise auf Verbesserungen/Massnahmen
- Ergänzungen
 - Abwärmenutzung
 - Spezifischere Indikatoren, z.B. Auslastung von Geräten/Anlagen, HVAC Performance Index

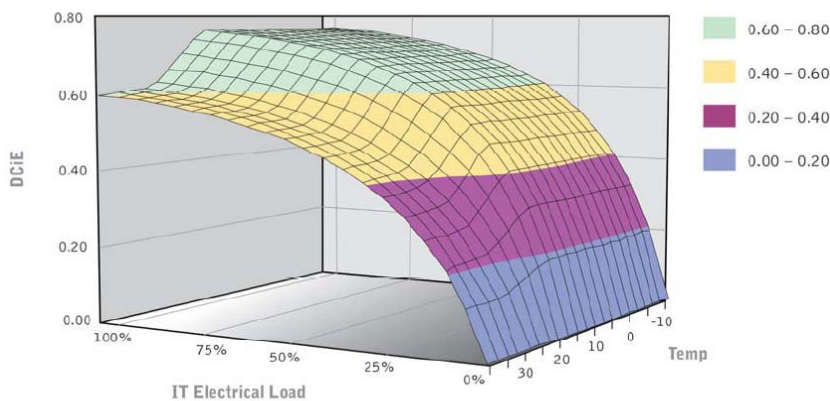
Spezifischere Indikatoren

$$HVACperformanceindex(\%) = \frac{kW_{HVAC}}{kW_{UPSOutput}}$$



Quelle: Greenberg et al., 2006

DCiE by IT Electrical Load and External Temperature for Free Cooling



Grenzen der Vergleichbarkeit, z.B. Klima und Auslastung

Figure 8-4 DCiE by IT electrical load and external temperature, fresh air cooling

Effizienzverbesserung kann zu schlechterem DCiE führen!

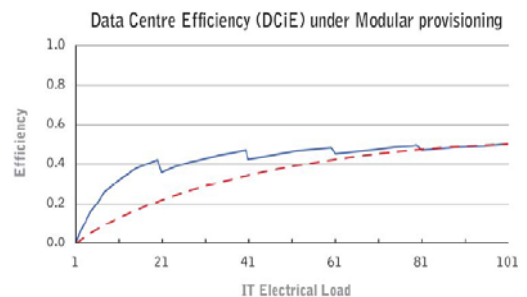


Figure 4-9 DCiE under modular provisioning

Quelle: Newcombe L., 2009.

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

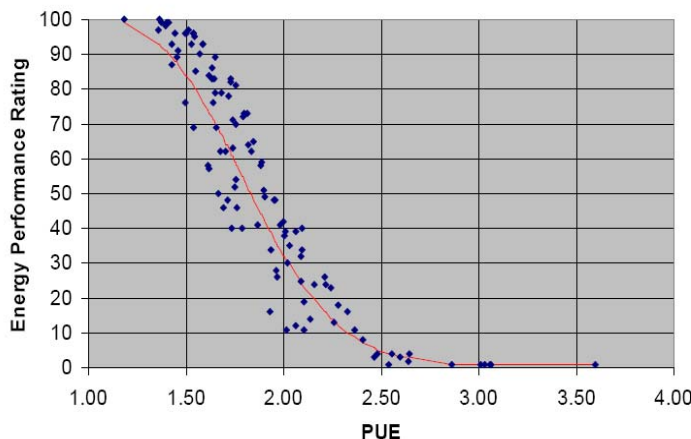
- Datensammlung
- Erste Ergebnisse der Analyse von 108 DC:
 - keine signifikante Abhängigkeit von Auslastung, Klima, Tier, free cooling!
 - Abhängig von Grösse, ...

Mögliche Erklärung:

- Qualität der Daten
- Konzeption und/oder Betrieb der technischen Anlagen
- → Kriterien EnergyStar Label für Data Centres (Tier 1)

EnergyStar Label... (Tier 1): 25% tiefsten korrigierten PUE

Rating vs. PUE



> 25% = PUE < ~ 1.6

→ DCiE > ~ 0.63

(eigene Berechnung! Offizielle Ankündigung Juni 2010)

Zielwert (Standard) für Kanton Genf

- bestehende 0.55
- neue 0.65

(Aebischer, 2009)

- Wird im Juni in den USA eingeführt
- Einige 100 (?) RZ werden in 2011 Energy Star Label nutzen
- Wird EU nachziehen? Und die Schweiz?
- Und die Schweiz?
 - Die Schweiz ist Partner des US-Energy Star Programms
→ www.energystar.ch
 - Kann Energy Star für Geräte/Anlagegruppen übernehmen
 - Bisher nur für IT-/Bürogeräte, aber nicht z.B. für Gebäude
 - Für IT-/Bürogeräte → Datenbank der EU
 - Für RZ → „Registrierung und Vergabe“ in der Schweiz? → Aufwand/Kosten
- Interesse bei Behörden, IT-Industrie, Firmen, RZ-Betreibern?
- Weiteres Vorgehen?

- Wie wertvoll ist Energy Star für ...
- Alternative Auszeichnungen
 - CoC (kein Benchmarking!)
 - Zertifizierung (Labelsalat!)
- Proaktiv handeln?
- ENERGY SUPER STAR? (EPA, 2009/2)

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., 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)

Baenninger, M., 2007. Energy consumption of large data centres in the financial sector in Zurich. Internal working paper.

Bänninger M., 1996. Mitteilung, SBG, Zürich

CoC, 2009. 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

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, 2009. ENERGY STAR® Data Center Infrastructure Rating Development Update. Web Conference November 12, 2009

http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/Data_Center_Rating_Development_Results_Nov12.pdf

EPA, 2009/2. Enhanced Program Plan for ENERGY STAR Products, December 2 2009.

http://www.energystar.gov/ia/partners/downloads/mou/Enhanced_Program_Plan_for_ENERGY_STAR_Products.pdf

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

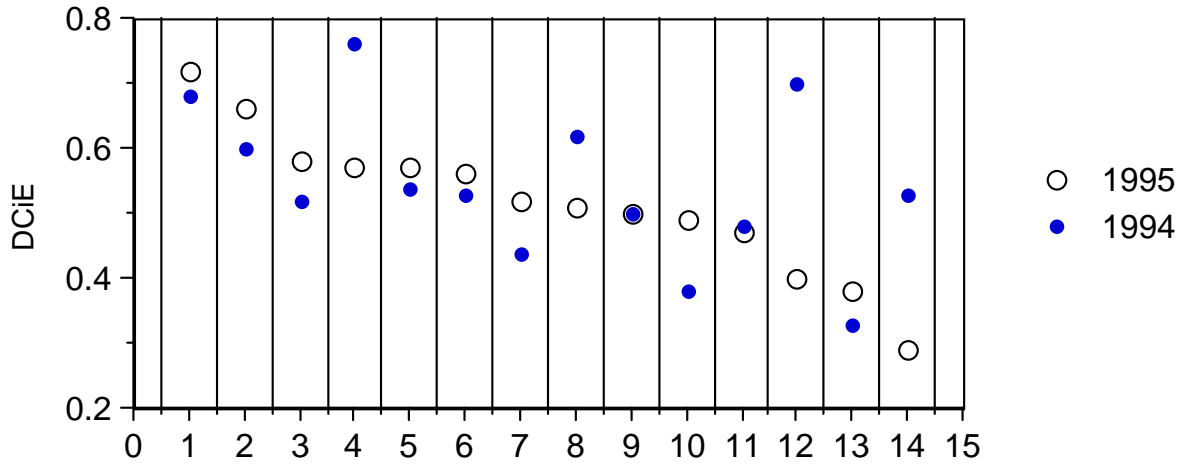
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer_servers/ES_Servers_V_2.0_Development_Update.pdf

- 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
- 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
- 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
- Greenberg S., W. Tschudi, J. Weale, 2006. Self Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance, Version 1.0. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/self_benchmarking_guide-2.pdf
- 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>
- 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>
- Koomey J.G., 2007. ESTIMATING TOTAL POWER CONSUMPTION BY SERVERS IN THE U.S. AND THE WORLD, Stanford/Berkeley <http://enterprise.amd.com/Downloads/svrpwrusecompletefinal.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., 2007. Kühlung / Wärmerückgewinnung / Energieweiternutzung mittels Flüssigkeitskühlung. Rechenzentrum Thementag, 25. April, 2007, ETH.
- Newcombe L., 2009. Data centre energy efficiency metrics. Existing and proposed metrics to provide effective understanding and reporting of data centre energy. Data Centre Specialist Group. British Computer Society (BCS), London.
www.bcs.org/upload/pdf/data-centre-energy.pdf
- 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
- 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>
- 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
- Swiss DCEE (data centre energy efficiency) Group, 2007. Internal working paper.

$K = C1 = DCiE = 1/PUE$ is a good indicator

... but a good enough **measurement concept** – with **energy and not power to be measured** - is essential



DCiE in 1994 and 1995 in 14 computer centres in Switzerland

Source: Bänninger (1996) in Aebischer (1996)