

Energieeffizienz in der Informationstechnologie

Wolfgang Gnettner, Bruckmühl

1. Einleitung: warum ist Energieeffizienz in der Informationstechnologie wichtig?

Spätestens seit dem das öffentliche Bewusstsein die bevorstehende Ressourcenknappheit und den drohenden Klimawandel zur Kenntnis genommen hat, wird intensiv über Energieeffizienz geredet. Zwei Bücher haben diesen Prozess besonders beeinflusst: „The Economics of Climate Change“ von Nicolas Stern und „an inconvenient truth“ von Al Gore.

Die Informationstechnologie ist zwar „nur“ mit ca. 2% am globalen Primärenergieverbrauch beteiligt, aber dieser Anteil könnte einerseits in der Zukunft sehr deutlich ansteigen, wenn nicht gegengesteuert wird. Andererseits gibt es in der IT viel Potential zu Energieeinsparungen ohne große Kosten und ohne wesentliche Einschränkungen bei den gewünschten Leistungen.

Um ein Gefühl für die Energiemengen zu bekommen, die bei der IT genutzt werden, hier zwei Größenordnungen:

- Ein Serverschrank, wie er zu Tausenden in einem großen Rechenzentrum und zu Dutzenden in einem kleinen steht, braucht mehr Energie als 12 deutsche Durchschnittshaushalte.
- Eine ständig aktive Peer-to-Peer-Verbindung, wie man sie heute in vielen Jugendzimmern findet, braucht etwas weniger Energie als ein Durchschnittsmensch in einem hochentwickelten Land und deutlich mehr als in einem mittleren Entwicklungsland.

IT kann zwar einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz anderer Wirtschaftszweige sowie des öffentlichen und privaten Lebens leisten. Das betrifft die Optimierung existierender Prozesse, die Möglichkeit, Dinge ganz anders und damit ressourcenschonender als bisher zu tun oder völlig andere Geschäftsmodelle als bisher zu verfolgen. Das darf die IT-Branche aber nicht davon abhalten, auch im eigenen Bereich effizienter zu werden und vor allem die IT-Nutzer über Einsparmöglichkeiten zu informieren. Die Politik kann durch Informationen, kluge regulatorische Vorgaben und eine vorbildliche Einkaufspolitik der Behörden ebenfalls ihren Teil beitragen.

Durch die weiter fortschreitende Miniaturisierung der Bauteile wird automatisch bei jeder neuen Generation signifikant weniger Energie pro IT-Produkt verbraucht. Dies wird von der IT-Industrie und ihren Zulieferern auch entsprechend lautstark verkündet. Dieser Effekt wird aber zunichtegemacht durch den noch dramatischeren Anstieg der Zahl eingesetzter Produkte in vielen Bereichen und das fast unvorstellbare Leistungswachstum der Produkte.

Wenn man nun die Aufteilung des ITK-bezogenen Strombedarfs ansieht (Abb. 1, hier z.B. aus einer Studie von Dr. Lutz Stobbe, Fraunhofer Gesellschaft IZM, 2009) und die Unterhaltungsanteile (v.a. Fernseher) hier nicht behandelt, bleiben PCs in Haushalten, Rechenzentren und PCs in Unternehmen als die drei größten Blöcke zu betrachten. Die Kommunikation ist demgegenüber ein deutlich geringerer Stromnutzer.

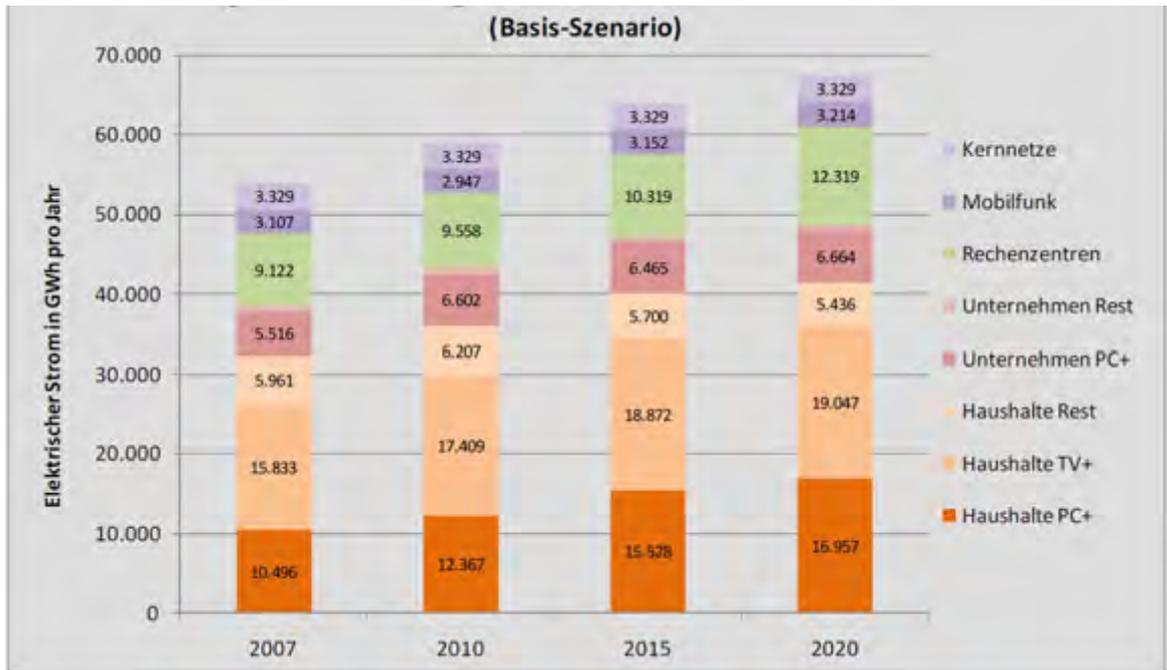


Abb. 1: Prognose des IKT-bezogenen Strombedarfs in Deutschland bis 2020 (Stobbe, FHG IZM 2009)

Wenn man nicht nach Einsatzfall, sondern nach Gerätetyp aufschlüsselt (Abb. 2), erkennt man den überwältigenden Anteil der PCs und Monitore, gefolgt von den Servern (hier nach einer Studie von Simon Mingay von der Gartner Group, 2007, aufbereitet von Fujitsu).

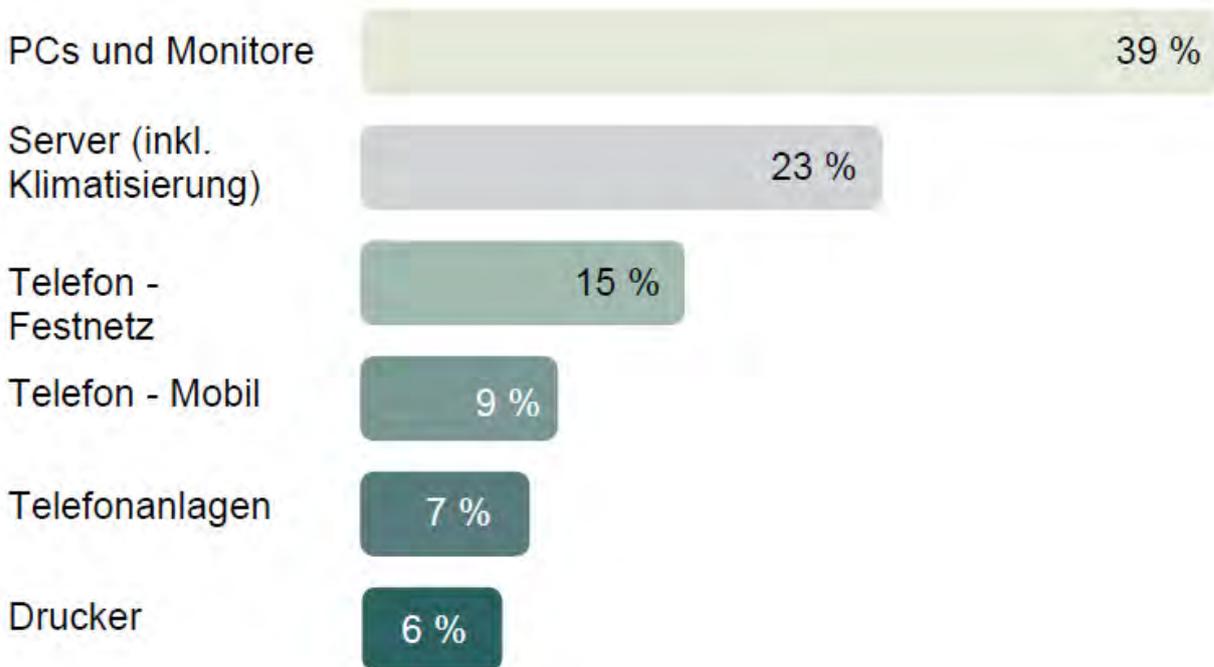


Abb. 2: Prozentuale Aufteilung des Strombedarfs nach Gerätetyp (Fujitsu, nach S. Mingay, Gartner 2007)

2. Rechenzentren

Eine detaillierte Analyse des Strombedarfs innerhalb der Rechenzentren hat die Environmental Protection Agency (etwa vergleichbar mit dem Umweltbundesamt) im Auftrag der US-Kongresses 2007 erstellt (Abb. 3).

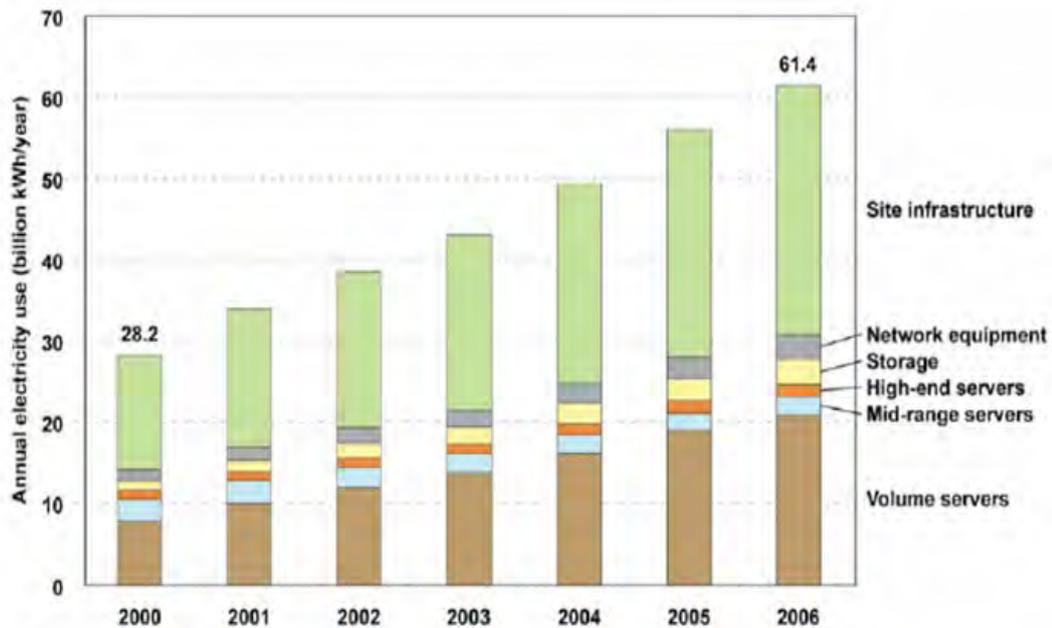


Abb. 3: Jährlicher Strombedarf in Rechenzentren

Innerhalb der IT-Komponenten sind – für viele, auch Insider, erstmal überraschend – die Großrechner (Mainframes) und die großen und mittelgroßen Server ziemlich unscheinbar im Strombedarf, verglichen mit dem Großverbraucher Kleinserver. Dies liegt einerseits an der riesigen Zahl der kleinen Server, aber auch an zwei wesentlichen Schwächen dieser Systeme. Bei kleinen Servern ist der Preis ein immer noch entscheidendes Kaufkriterium, was bedeutet, dass bei der BauteilAuswahl notgedrungen Preis vor Effizienz geht. Und weil die kleinen Server so schön billig sind, gibt der Anwender sich keine große Mühe (und hat wegen der ebenfalls billigen Betriebssysteme auch nur begrenzte Möglichkeiten), die Server gut auszulasten. Einen weiteren Server hinzustellen ist unterm Strich billiger, als sich Gedanken darüber zu machen, wie man eine weitere Aufgabe zusätzlich auf einem schon existierenden Server erledigen könnte. So ergibt sich in der Praxis eine durchschnittliche Auslastung kleiner Server von weit unter 20% - im Vergleich zu großen (z.B. Unix-)Servern von über 80% und Großrechnern von deutlich über 90%.

Prognosen, wie z. B. die von Dr. Klaus Fichter vom Borderstep Institut 2007, zeigen, dass zwischen „weiter so“ und „State of the Art“ etwa ein Faktor von 2,5 liegt (Abb. 4) – genügend Potential für lohnende Anstrengungen!

Nun zu konkreten Verbesserungsmöglichkeiten. Auf die Kühlungstechnologie soll hier nicht weiter eingegangen werden, da dies ein eigenes Thema wäre; an dieser Stelle nur einige Anmerkungen dazu. In vielen Rechenzentren, vor allem in mittleren und kleineren, werden noch leicht korrigierbare Fehler gemacht, die viel Energie kosten, z.B.

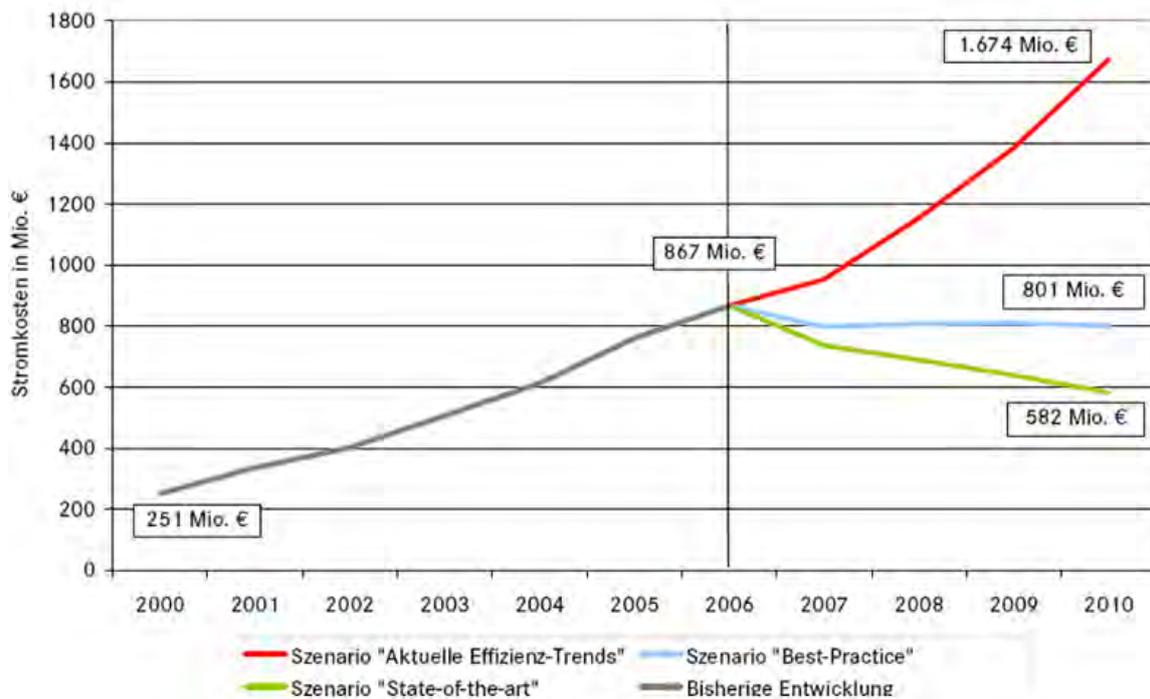


Abb. 4: Szenarien der Stromkostenentwicklung

- überdimensionierte Klimaanlage wegen überzogener Wachstumserwartung oder falscher Beratung, hier kann u. U. Teilabschaltung helfen;
- zu niedrige Betriebstemperaturen aus übertriebener Vorsicht oder aus veraltetem Wissen heraus (frühere Rechner mussten tatsächlich stärker gekühlt werden);
- schlechte Luftführung: warme Abluft wird gleich wieder von Rechnern angesaugt, zugeführte Kaltluft landet durch „Kurzschluss“ gleich wieder in der Luftabsaugung, der Luftweg wird durch Hindernisse blockiert. Als Folge wird noch stärker gekühlt, es gibt trotzdem „Hotspots“ und zu kalte Zonen.

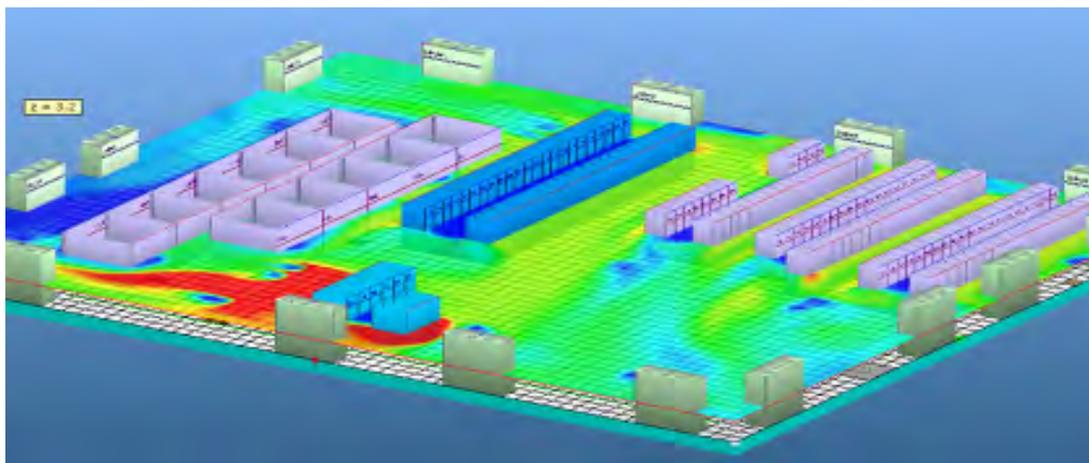


Abb. 5: Beispiel eines Temperaturverlaufs im Kühlluftkreislauf eines Rechenzentrums

Dazu kommt, dass die technische Lebensdauer und langen Abschreibungsfristen von Klimaanlage dazu führen, dass die Anlagen sehr lange laufen und damit oft technisch veraltet sind, mit der Folge eines hohen Energieverbrauchs trotz scheinbarer Tauglichkeit. Eine vorzeitige Ablösung oder gar eine Neukonzeption, z.B. mit stärkerer Nutzung von

Frischlufkühlung, kann zwar die Energieeffizienz oft deutlich verbessern. Das kann allerdings mit erheblichen Investitionen und z. T. massiven und betriebsstörenden Umbauten verbunden sein.

Bei der Serverauswahl (Abb. 6) kommt es darauf an, die richtige, d.h. den Aufgaben angemessene Mischung aus verschiedenen Parametern zu treffen, die sich z. T. widersprechen, z. T. aber auch überraschend ergänzen. Höchste Rechenleistung braucht überproportional viel Strom. Hohe Verfügbarkeit senkt die Effizienz, z. B. sind zwei auf Redundanz ausgelegte Netzteile deutlich ineffektiver als ein nicht redundantes. Die Redundanz ist aber in manchen Fällen unsinnig, z. B. wenn der ohnehin sehr seltene Ausfall eines Rechners durch ein defektes Netzteil praktisch keinen Schaden anrichtet – Verzicht auf unnötige Redundanz spart Investitions- und Stromkosten. Ein weiteres unsinniges (und leider doch vorkommendes) Beispiel ist eine eingebaute USV, wenn der Rechner ohnehin von einer unterbrechungsfreien Stromversorgung des Rechenzentrums betrieben wird. Leider sind manche Bauteile mit besonders günstigem Stromverbrauch besonders teuer. Aber schon, wenn man die besonders schlechten vermeidet, ist viel gewonnen. Den größten Anteil am Stromverbrauch hat die CPU, d.h. hier sind die Hersteller in der Pflicht – und die Kunden, die nicht nur nach Gigahertz fragen sollten!

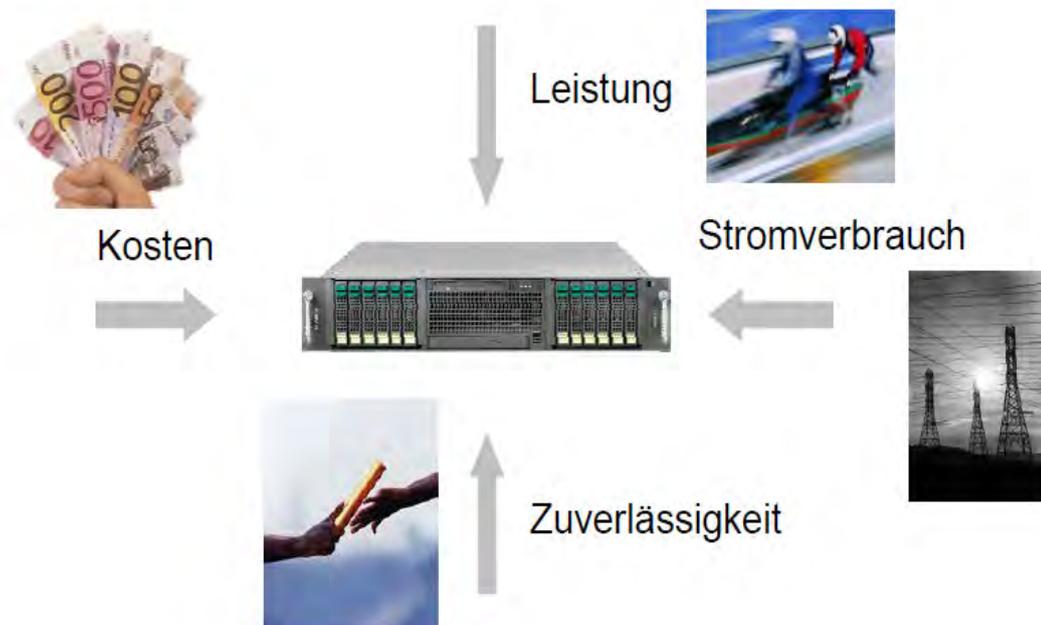


Abb. 6: Optimierungsfaktoren bei der Serverauswahl

Wesentlich wirkungsvoller als teils teure Optimierungen an den Servern selbst sind Verbesserungen bei den Parametern des Serverbetriebs und der Architektur (Abb. 7). Hier kann oft sogar bei der Investition und den Betriebskosten gleichzeitig gespart werden. Dagegen stehen allerdings oft geistige Trägheit und mangelndes Wissen. So braucht nicht jeder Server eigene, meist schlecht ausgenutzte Plattenlaufwerke: eine zentrale Daten- und Programmablage mit NAS (network attached storage) oder SAN (storage area network) ist zwar scheinbar teurer in der Investition und setzt zusätzliches Knowhow voraus, zahlt sich aber bald aus, v. a. bei den Administrationskosten. Viel zu wenig wird auf die Betriebszeit geachtet. Aus Bequemlichkeit oder wegen schlechter Anwendungs- und Prozessstruktur läuft der Server rund um die Uhr, obwohl er viele Stunden lang nicht wirklich gebraucht wird. Mit etwas Redesign könnten die echten Daueraufgaben (z.B. Web- und

Kommunikationszugang in betriebsschwachen Zeiten) auf wenige Rechner konzentriert werden und die anderen außerhalb ihrer Kernzeiten abgeschaltet werden.



Abb. 7: Optimierungsfaktoren beim Serverbetrieb

Ein besonders wichtiger Parameter ist die Auslastung. Da ein Server im Leerlauf etwa 70% des Stroms braucht, den er bei Volllast benötigt, ist eine niedrige Auslastung offensichtlich Stromverschwendung. Da andererseits eine hohe Auslastung schwer mit einer Anwendung zu erreichen ist und ein Mischbetrieb von Anwendungen mit den typischen Betriebssystemen für kleine Rechner instabil sein kann, kann hier die Virtualisierung helfen. Dabei läuft auf dem Server eine Software, die mehrere unabhängige Rechner vorgaukelt. In jedem dieser virtuellen Rechner kann dann ein Betriebssystem mit Anwendungen installiert werden (Abb. 8).

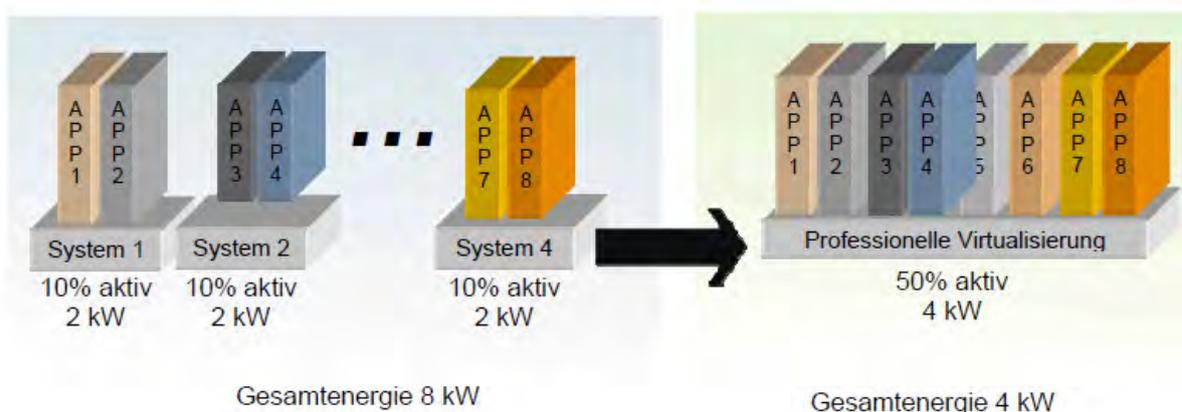


Abb. 8: Virtualisierung zur Auslastungsoptimierung

Diese virtuellen Rechner teilen sich die realen Ressourcen, wodurch eine höhere Auslastung erzielt werden kann. So können problemlos vier Systeme mit den oben erwähnten 20% Auslastung auf einem realen Server ablaufen, ohne diesen an seine

Leistungsgrenzen zu bringen. Meist liegt die Auslastung weit unter 20%, so dass bei Virtualisierungsprojekten in der Realität manchmal sogar über 10 virtuelle Server auf einem realen laufen, ohne dass Leistungseinschränkungen spürbar werden. Zwar kostet das zusätzliches Geld für die Virtualisierungs-Software und die Projektimplementierung, aber dafür spart man neben Strom auch Hardware-Investitionen und gewinnt mittelfristig an Flexibilität.

Speichersysteme sind zwar nicht die großen Stromverbraucher im Rechenzentrum, aber sie haben die größten Zuwachsraten, so dass sich ein frühzeitiger kritischer Blick auch hier lohnt. Der erste Schritt sollte hier sein, überflüssige Daten zu löschen – das kostet (fast) nichts außer Nachdenken, spart aber viel am notwendigen Gerätebestand (und nebenbei noch am Sicherungsaufwand). Als nächstes sollte man bei größeren Datenbeständen eine mehrstufige Architektur (hierarchical storage management) und ein „Information Lifecycle Management“ planen. Schnell verfügbare Daten kosten viel Geld und Strom im Vergleich zu Daten, auf die man etwas warten kann – insbesondere wenn man rechtzeitig vorher weiß, wann man die Daten braucht. Und bei jungen IT-Managern fast vergessen: Magnetbänder brauchen keinen Strom, wenn man nicht gerade auf die Daten zugreift. Erst an letzter Stelle sollten dann die Überlegungen zur Plattentechnologie stehen.

Radikaler als die hier dargestellten Überlegungen selbst im Unternehmen anzustellen sind Ansätze, die das eigene Rechenzentrum gleich ganz aufgeben und die Arbeit in noch größere Rechenzentren verlagern, die von fremden Spezialisten betrieben werden. Die Idee ist dabei, dass diese Spezialisten sich intensiv mit den dargestellten Themen befassen und es sich aufgrund der Größe eher leisten können, die besten Lösungen einzusetzen. Hier gibt es eine Reihe verschiedener Vertrags- und Abrechnungsmodelle (Outsourcing, Software as a Service, Storage as a Service, Cloud Computing, ...) und viel Hype. Aber der Kern ist immer die Hoffnung auf bessere Lösungen durch Skalierungseffekte und Spezialisierung, Dienstleistungsvergabe statt Selbermachen.

3. Haushalt und Büro

Wie bereits in der Einleitung gezeigt, stellen Haushalt und Büro einen riesigen Anteil der Energienutzung der IT dar, darin wiederum PC und Monitor mit Abstand den Löwenanteil. Daher sollte man hier besonders genau hinsehen, denn es gibt ein großes und teils sehr leicht zu realisierendes Einsparpotential.

Beim PC ist das zum einen der Unterschied zwischen einem (aus Energiegesichtspunkten) guten und schlechten PC, der ungefähr einen Faktor 3 ausmacht. Das bedeutet, dass man beim Kauf auch auf den Stromverbrauch achten sollte. Schon die Nachfrage der Kunden wird das Niveau des Angebots verbessern. Aber auch hier gilt es zuallererst, ein den Aufgaben angemessenes Gerät zu kaufen, da Überdimensionierung immer unnötigen Stromverbrauch bedeutet. Ein neuer PC ist meist deutlich energieeffizienter als ein alter. Aber Vorsicht: oft ist er dann unnötig leistungsstark und überdimensioniert, was den Vorteil wieder aufhebt. Außerdem ist der Energieverbrauch bei Herstellung und Logistik sowie der zusätzliche Ressourcenverbrauch zu berücksichtigen. Wichtig ist auch die Überlegung, ob es ein PC sein muss oder ein deutlich energiesparenderes Notebook sein kann.

Zum anderen geht es um die Nutzung aller Energiesparmöglichkeiten beim Betrieb. Zwischen nachlässigem Dauerbetrieb und gutem Ausnutzen der Energiesparmöglichkeiten liegt im Durchschnitt ein Faktor 5, in Extremfällen sogar noch mehr. Ein wichtiger Punkt ist dabei die geschickte Einstellung der Stromsparmodi: angemessen kurze Zeiten, nach denen bei Inaktivität der PC in einen Ruhezustand (standby oder hibernate) geht, und differenzierte vorzeitige Abschaltung von Komponenten, v.a. dem Bildschirm. Eine weit

verbreitete Unsitte sind Bildschirmschoner (was heutzutage ein irreführender Begriff ist): dabei wird etwa genauso viel Strom verbraucht wie im Normalbetrieb, der Bildschirm wird kaum oder gar nicht geschont. Teils wird sogar in Unternehmen, die Energie-Effizienz auf ihre Fahnen geschrieben haben, ein Bildschirmschoner wegen zweifelhafter Vorgaben für die „Corporate Identity“ erzwungen. Hier ist Aufklärung dringend erforderlich.

Auf der technischen Seite gibt es auf dem Markt bereits deutliche Verbesserungen beim Standby-Verbrauch, sehr kleine stromsparende PCs, die vor allem für viele Standardtätigkeiten in Unternehmen und in Haushalten völlig ausreichen, und wesentliche Verbesserungen bei allen Komponenten, insbesondere Netzteilen.

Bei den Bildschirmen ist der Wechsel von Röhrenmonitoren zu LCD-Flachbildschirmen weitgehend vollzogen. Leider (aus Energiesicht) war damit auch eine deutliche Vergrößerung der Bildschirmfläche verbunden, so dass nicht das ganze Potential ausgeschöpft wird. Eine typische Sünde der Benutzer ist hier, den Bildschirm zu hell einzustellen. Weitere Technologiefortschritte stehen auch bei den Monitoren an: kurzfristig verbesserte Lichtquellen (LED) in den Bildschirmen, langfristig OLED statt LCD. Auch hier gilt aber: nicht gleich wegen einer mittelmäßigen Energieeinsparung den alten Monitor verschrotten, sondern die gesamte ökologische und ökonomische Auswirkung im Blick haben! Ansonsten gibt es bereits Verbesserungen beim Standby-Verbrauch und eine automatische Anpassung an die Umgebungshelligkeit.

Mit größerem gedanklichem Aufwand und mit signifikanten Anfangsinvestitionen, dafür auf Dauer umso lohnender in geeigneten Anwendungsszenarien, ist der Umstieg von konventionellen PC-Strukturen zu „Server based Computing“ mit „Thin Clients“ (Abb. 9). Dies eignet sich nur bei einer Mindestanzahl ähnlicher Arbeitsplätze, typisch ab 5-10, und vor allem, wenn die Aufgaben aus IT-Sicht nicht zu individuell sind. Typische Einsatzfälle sind Behörden sowie mittlere und größere Unternehmen (wo es meist viele ähnliche Instanzen einer Aufgabe gibt) und Schulen (wo meist klassenweise das Gleiche ansteht und der konventionelle Administrationsaufwand beim Wechsel zu einer anderen Klasse oder einem anderen Fach oder Thema relativ groß ist).

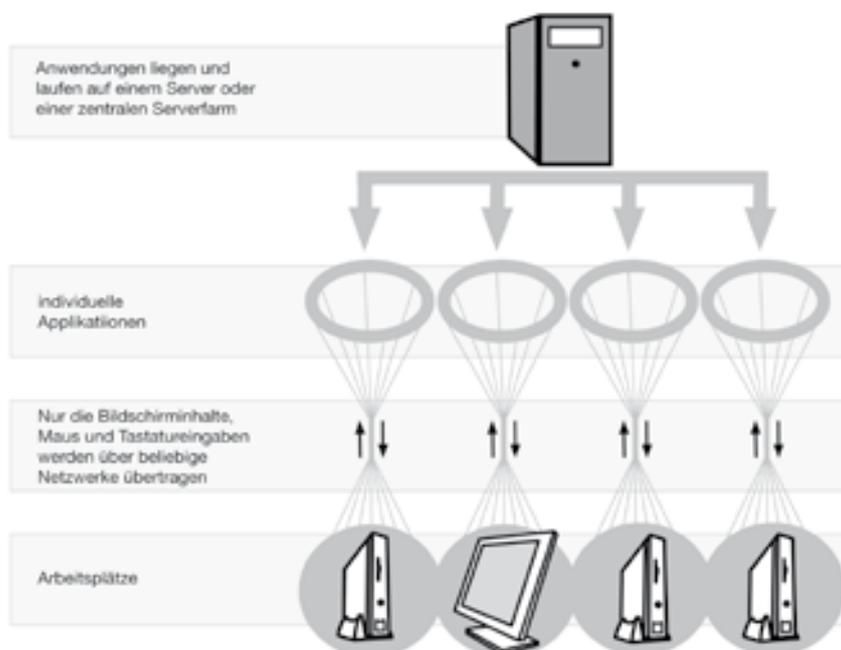


Abb. 9: Server-basierte Architektur

Dabei wird nicht am Arbeitsplatz jeweils für eine Person die maximal erforderliche Rechenleistung und Kapazität vorgehalten. Vielmehr geschieht die eigentliche Rechenarbeit auf einem Server, der Arbeitsplatzrechner ist stark reduziert und dient letztlich nur der Eingabe und Anzeige. Das spart nicht nur Strom, sondern auf Dauer auch erheblich Investitionskosten und vor allem Administrationskosten. Die Investitionszyklen sind länger, da ein Thin Client typischerweise mindestens sieben Jahre in Betrieb bleiben kann, während ein PC meist schon nach drei bis vier Jahren ausgetauscht werden muss. Der oder die Server, in großen Implementierungen eine Serverfarm, sind wegen des virtuellen Betriebs der PC-Umgebungen sehr flexibel nutzbar und können optimal an die Last angepasst werden. Technisch kann dies durch Terminalserver und/oder durch virtuelle Maschinen erfolgen. Nebenbei werden auch Ausfallschutz und Sicherheit signifikant besser. Da die Elektronik des Thin Client in einem kleinen Kästchen hinter dem Bildschirm untergebracht werden kann, ist auch die Verkabelung deutlich übersichtlicher, was im Fall eines Umzugs oder einer Erweiterung von Vorteil ist, siehe das folgende Beispielbild (Abb. 10).



Abb. 10: Thin clients

Aufwand und Nutzen wurden 2007 vom Fraunhofer-Institut UMSICHT einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unterzogen, die für die Kosten eine Nutzungsdauer von 5 Jahren annahm. Der gefundene Unterschied ist sehr deutlich, wie die Grafik auf der folgenden Seite zeigt (Abb. 11).

Bei den zusätzlichen Bestandteilen eines Büronetzwerks sollte noch darauf geachtet werden, dass Drucker, Internet- und Kommunikationszugänge gemeinsam im Netzwerk genutzt werden können, statt an jeden PC einzeln installiert zu sein. Auch hier wieder gilt: nicht nur Strom, sondern auch Investitionskosten und vor allem Administrationskosten werden gespart, Ausfallschutz und Sicherheit werden besser.

Eine kleine und in vielen Fällen nützliche Investition für Einzelarbeitsplätze mit angeschlossenen Geräten ist eine schaltbare Steckerleiste, womit am Feierabend alle Geräte gemeinsam völlig stromlos geschaltet werden können.

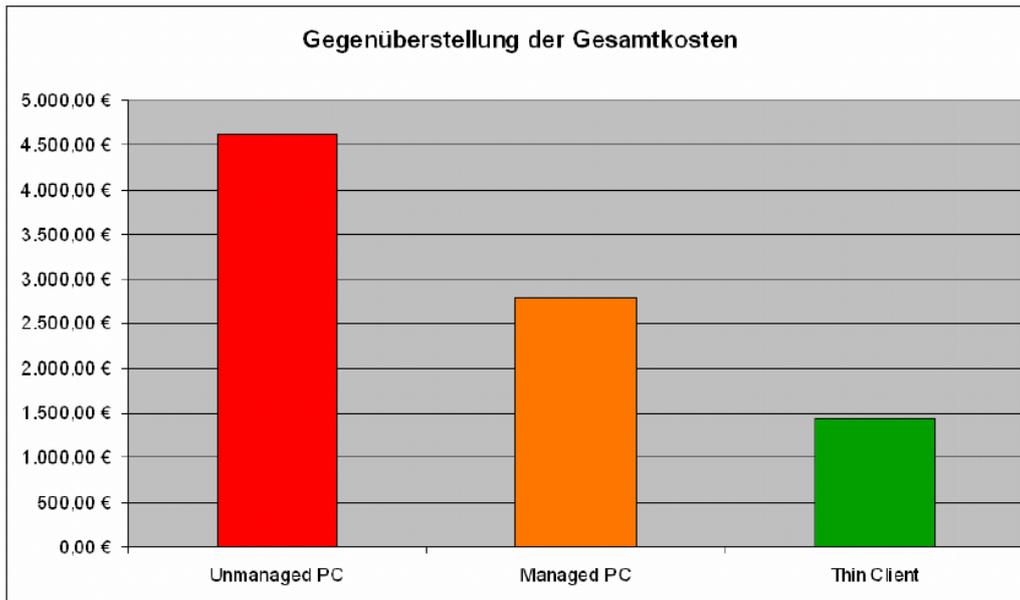


Abb. 11: Gesamtkosten bei verschiedenen Betriebsmodellen (FHG UMSICHT, 2007)

4. Schlussbemerkungen zu Green IT

Green IT ist mehr als nur effizienter Umgang mit Energie in der Betriebsphase. Von der Designphase bis zur Entsorgung, von der Bauteileherstellung über Produktion bis zu Logistik und Service sollte an Umweltverträglichkeit gedacht werden. Rückkopplungen von den Nutzern, den Logistikern und Servicetechnikern und sogar den Entsorgern zur Entwicklung können hier helfen (Abb. 12).

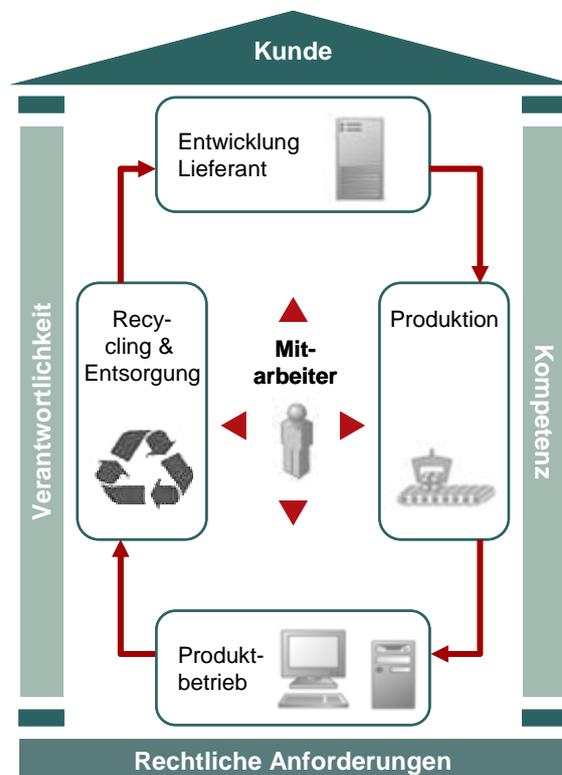


Abb. 12: Gesamtkomplex von Green IT

Bedauerlicherweise wird „Green IT“ bei manchen Unternehmen der IT-Branche als Marketing-Schlagwort verwendet, ohne dass entsprechende Substanz dahinter wäre. So sind oft Produkte jetzt auf einmal „grün“ geworden, die in Wirklichkeit ganz normal oder gar schlecht sind („Greenwash“). Als Kunde sollte man daher kritisch hinterfragen, was wirklich an umweltschonenden Eigenschaften in den Produkten und Dienstleistungen steckt.

Vor allem sollte aus den Ausführungen klar geworden sein, dass das Verhalten der Benutzer und ein intelligenter Umgang mit IT der wesentlichste Faktor ist.

Aber es sollte auch klargeworden sein, dass es viele Möglichkeiten gibt, ohne allzu große Kosten und ohne unakzeptable Einschränkungen sehr viel Energie einzusparen.

Dank

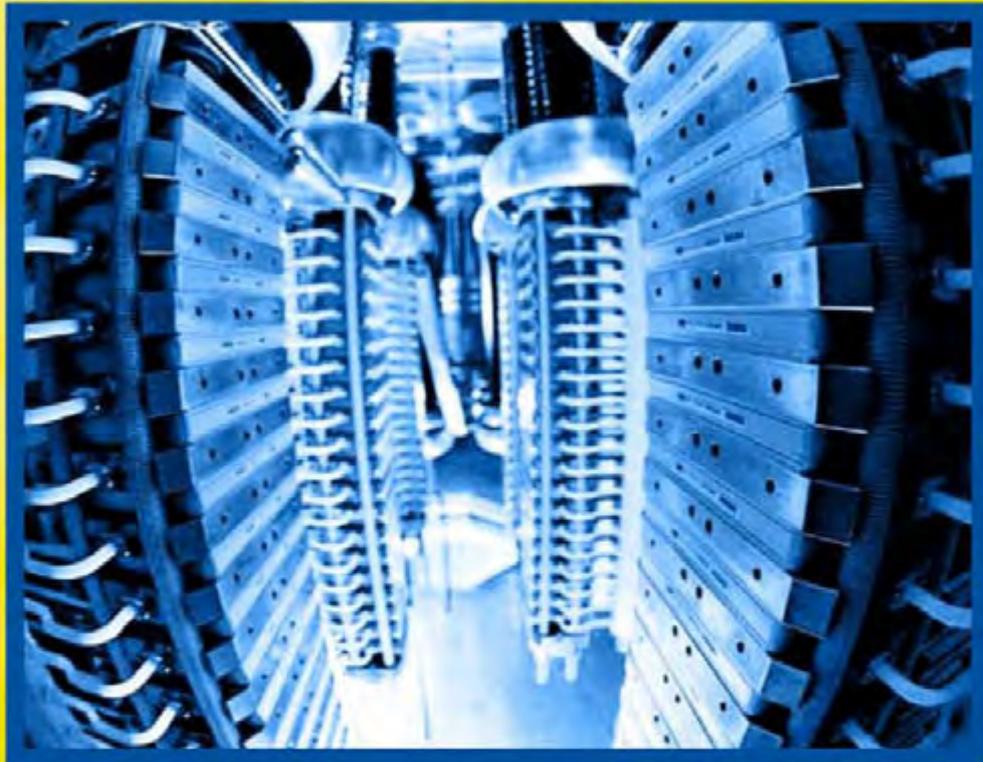
Für Informationen und Bilder danke ich Fujitsu Technology Solutions und dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM).

Dr. Wolfgang Gnettner
Heufelder Str. 7a
83052 Bruckmühl
IT@gnettner.de

Exzerpt aus Tagungsband des AKE, DPG-Tagung 2010 Bonn

home:

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2010-AKE_Bonn/Links_DPG2010.htm



Energie

Technologien für die Zukunft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Bonn 2010

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Energie

Technologien für die Zukunft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Bonn 2010

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Bad Honnef, April 2011

Frühjahrstagung des Arbeitskreises Energie
in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
Bonn, 15. und 16. März 2010

Hauptvorträge

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Einleitung..... | 5 |
| Übersicht über die Fachsitzungen..... | 7 |
| Abstracts | 8 |
| Energieeffizienz in der Informationstechnologie (vorgetragen von W. Gnettner)..... | 18 |
| ITER, the Decisive Step towards Fusion Energy (vorgetragen von G. Janeschitz) | 29 |
| The Physics Base for ITER and DEMO (vorgetragen von H. Zohm)..... | 44 |
| Neue Reaktorenkonzepte für die Kernspaltung, Entwicklungen von AREVA (vorgetragen von W. Dams)..... | 55 |
| Brennstoffzellen für mobile Anwendungen – Wo stehen wir auf diesem Weg? (vorgetragen von D. Stolten) | 67 |
| Elektrische Energiespeicher (vorgetragen von M. Rzepka) | 77 |
| Strom aus solarthermischen Kraftwerken im Sonnengürtel (vorgetragen von R. Pitz-Paal) | 90 |
| Stromtransport: Erfordernisse und Lösungen für ein europäisches Verbundnetz unter Nutzung solaren Stroms aus Nordafrika (vorgetragen von T. Benz) | 97 |
| Intelligente Stromnetze - Perspektiven und Potenziale (vorgetragen von F. Schulte) | 108 |
| Geothermische Stromerzeugung - Vom Reservoir bis zur Turbine (vorgetragen von E. Huenges)..... | 114 |
| Energie aus Biomasse – Perspektiven für Europa (vorgetragen von D. Thrän)..... | 126 |
| Thermodynamisch optimiertes Heizen und Kraft-Wärme-Kopplung (vorgetragen von G. Luther)..... | 137 |

Der vorliegende Band fasst schriftliche Ausarbeitungen der Hauptvorträge der AKE Tagung des Jahres 2010 in Bonn zusammen. Leider ist es nicht gelungen, von allen Vortragenden Manuskripte zu erhalten. Die Präsentationsfolien aller Hauptvorträge können auf der Webseite des Arbeitskreises über:

<http://www.dpg-physik.de/dpg/organisation/fachlich/ake.html>

(von dort zu dem Archiv des AKE weiterklicken) eingesehen werden. Allen, die zu diesem Sammelband beigetragen haben, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

Düsseldorf, im Dezember 2010

Hardo Bruhns

Direkter Link zum AKE - Archiv:

<http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/index.htm>

Direkter Link zum AKE - Archiv, Tagung 2010 -Bonn:

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2010-AKE_Bonn/Links_DPG2010.htm