



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Energieeffiziente Rechenzentren

Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien



IMPRESSUM

IMPRESSUM

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Referat Öffentlichkeitsarbeit · 11055 Berlin
E-Mail: service@bmu.bund.de · Internet: www.bmu.de

Projektbetreuung: Peter Franz, Dr. Florian Mayer
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Bearbeitung: PD Dr. Klaus Fichter
Dr. Jens Clausen
Maik Eimertenbrink
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Clayallee 323
14169 Berlin
E-Mail: info@borderstep.de · www.borderstep.de

Gestaltung: design_idee, büro_für_gestaltung, Erfurt
Druck: Silber Druck, Niestetal

Abbildungen:

Titelseite: Strato AG	S. 22: NetApp
S. 4: BMU	S. 23: NetApp
S. 5: BITKOM	S. 24: Stadtverwaltung Kopenhagen
S. 7: GISA GmbH	S. 25: Dell
S. 11: EWE TEL	S. 26: Rossol
S. 12: TDS AG	S. 27: Rossol
S. 14: Rudolf Herlitze/BMU	S. 28: EvoSwitch
S. 15: Strato AG	S. 29: EvoSwitch
S. 16: Host Europe	S. 30: Bechtle
S. 17: Host Europe	S. 31: Brach & Moll
S. 18: HP	S. 32: ITWM
S. 19: HP	S. 33: ITWM
S. 20: Borderstep	S. 34: Strato AG
S. 21: Christmann	S. 36: LBNL

Stand: November 2009
2. Auflage: 3.000 Exemplare

INHALT

Energieverbrauch von Rechenzentren: Trends und Effizienzpotenziale	6
Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren	10
Energieeffizienz-Kennzahlen	14
Energieeffiziente Neuplanung eines Internet-Hosting-Rechenzentrums bei der Host Europe GmbH in Köln	16
Dynamic Smart Cooling in einem HP-Rechenzentrum in Bangalore	18
Server Based Computing am Gymnasium Humboldtschule Hannover	20
Hohe Energieeinsparung durch freies Kühlen im NetApp-Rechenzentrum in Sunnyvale	22
Konsolidierung und Virtualisierung der Rechenzentren der Stadtverwaltung Kopenhagen	24
Die Vision vom „1%-Rechenzentrum“ der b.r.m. Technologie und Managementberatung Bremen	26
Das klimaneutrale Rechenzentrum EvoSwitch in Amsterdam	28
Kühlen mit der Erde bei Bechtle in Solingen	30
Das integrierte Energiekonzept im Rechenzentrum des Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern	32
Strato AG: Energie- und Kostensenkung durch intelligentes Last- und Luftstrommanagement	34
Ein neues hocheffizientes Rechenzentrum für Supercomputing in Berkeley, Kalifornien	36
Ausblick	38
Weiterführende Literatur und Links	39



Liebe Leserin, lieber Leser,

die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) bildet als zentrale Querschnittstechnologie die technische Basis für die moderne Informations- und Wissensgesellschaft und trägt als dynamisches Innovationsfeld maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung bei. Als Bindeglied vernetzt sie Maschinen, Prozesse und Menschen. Dadurch leistet sie auch einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Ressourcen und zur Reduzierung von klimarelevanten Emissionen. Beispiele sind die Steuerung von Produktionsprozessen, Stromnetzen und Gebäuden oder auch die Vermeidung von Verkehr durch intelligente Logistik, Telearbeit oder Telefon- und Videokonferenzen.

Der Einsatz von Computern und die Nutzung des Internet ist mit einem erheblichen Stromverbrauch verbunden. Der Stromverbrauch der IKT ist von rund 38 TWh im Jahr 2001 auf 55 TWh im Jahr 2007 gestiegen. Dies entsprach ca. 10,5 Prozent des deutschen Stromverbrauchs. Darüber hinaus betragen die durch den Stromverbrauch der IKT allein in Deutschland verursachten CO₂-Emissionen im Jahr 2004 bereits über 28 Mio. t CO₂-Äquivalente und lagen damit schon damals deutlich über den CO₂-Emissionen des Luftverkehrs.

Der größte Zuwachs ist bei den IKT-Infrastrukturen, dazu zählen Rechenzentren und Server, zu verzeichnen. Der Stromverbrauch der rund 50.000 Serverräume und Rechenzentren in Deutschland betrug im Jahr 2008 10,1 TWh und hat sich damit seit 2000 mehr als verdoppelt. Zur Versorgung der Rechenzentren wird mittlerweile die Leistung von rund vier mittelgroßen Kohlekraftwerken benötigt. Damit verursachten die Rechenzentren in Deutschland 2008 CO₂-Emissionen in Höhe von knapp 6,4 Mio. t. Ohne zusätzliche Effizienzanstrengungen werden der Stromverbrauch und die CO₂-Emissionen von Serverräumen und Rechenzentren in Deutschland weiter erheblich ansteigen.

Würden hingegen die heute bereits verfügbaren und bei Vorreitern bereits eingesetzten energieeffizienten Technologien auf breiter Front angewendet, könnten im Zeitraum bis 2013 insgesamt 25,8 TWh bzw. 15,3 Mio. t CO₂ eingespart werden. Die Betreiber von Rechenzentren könnten auf diese Weise bis 2013 insgesamt etwa 3,6 Mrd. € an Stromkosten einsparen.

Wie diese Potenziale ausgeschöpft werden können, zeigt die vorliegende Broschüre, die wir aus Anlass der CeBIT 2010 noch einmal auflegen. Die Beispiele zeigen exemplarisch die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Energieeinsparungsmaßnahmen auf und geben IT-Verantwortlichen, Rechenzentrumsleitern sowie Planern und Ausrüstern von Rechenzentren Anregungen zur Steigerung der Energieeffizienz.

A handwritten signature in black ink that reads "N. Röttgen". The signature is fluid and cursive, with the first letters of the first and last names being capitalized and prominent.

Dr. Norbert Röttgen
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

GRUSSWORT BITKOM



Für die IT-Verantwortlichen vieler mittelständischer und großer Unternehmen spielen die Energiekosten ihrer IT-Ausstattung eine zunehmende Rolle – und das nicht erst seit Beginn der Green-IT-Debatte im Jahr 2007. Nicht ohne Grund: Die Stromkosten für Rechenzentren haben sich nach Berechnungen des Borderstep Instituts seit dem Jahr 2000 mehr als vervierfacht.

Dabei sind die Potenziale zur Energieeinsparung sehr groß. Durch eine Optimierung der Kühlung, der unterbrechungsfreien Stromversorgung und insbesondere durch eine Konsolidierung und Virtualisierung der IT-Landschaft kann der Energieverbrauch um bis zu fünfzig Prozent reduziert werden. Das Wichtige: Die Energieeinsparung ist in der Regel sogar mit einer Verbesserung der Verfügbarkeit und einer Vereinfachung des IT-Managements verbunden.

Und das nicht nur in der grauen Theorie, sondern auch in der Praxis, wie die in dieser Broschüre dargestellten Best-Practice-Beispiele zeigen. Sie reichen vom Mini-Rechenzentrum mit weniger als zehn Servern bis hin zum Großrechenzentrum mit einigen

zehntausenden Servern und bilden damit die Vielfalt der Rechenzentren in Unternehmen und Verwaltung ab.

Die Broschüre ergänzt den BITKOM-Leitfaden „Energieeffizienz im Rechenzentrum“, der konkrete Hinweise zur Planung, zur Modernisierung und zum Betrieb von energieeffizienten Rechenzentren gibt. Beide Publikationen können dazu beitragen, das Bewusstsein um die möglichen Einsparpotenziale bei IT- und Kostenverantwortlichen in Wirtschaft und Behörden weiter zu erhöhen und damit sowohl die ökonomische als auch die ökologische Entwicklung in Deutschland zu unterstützen.



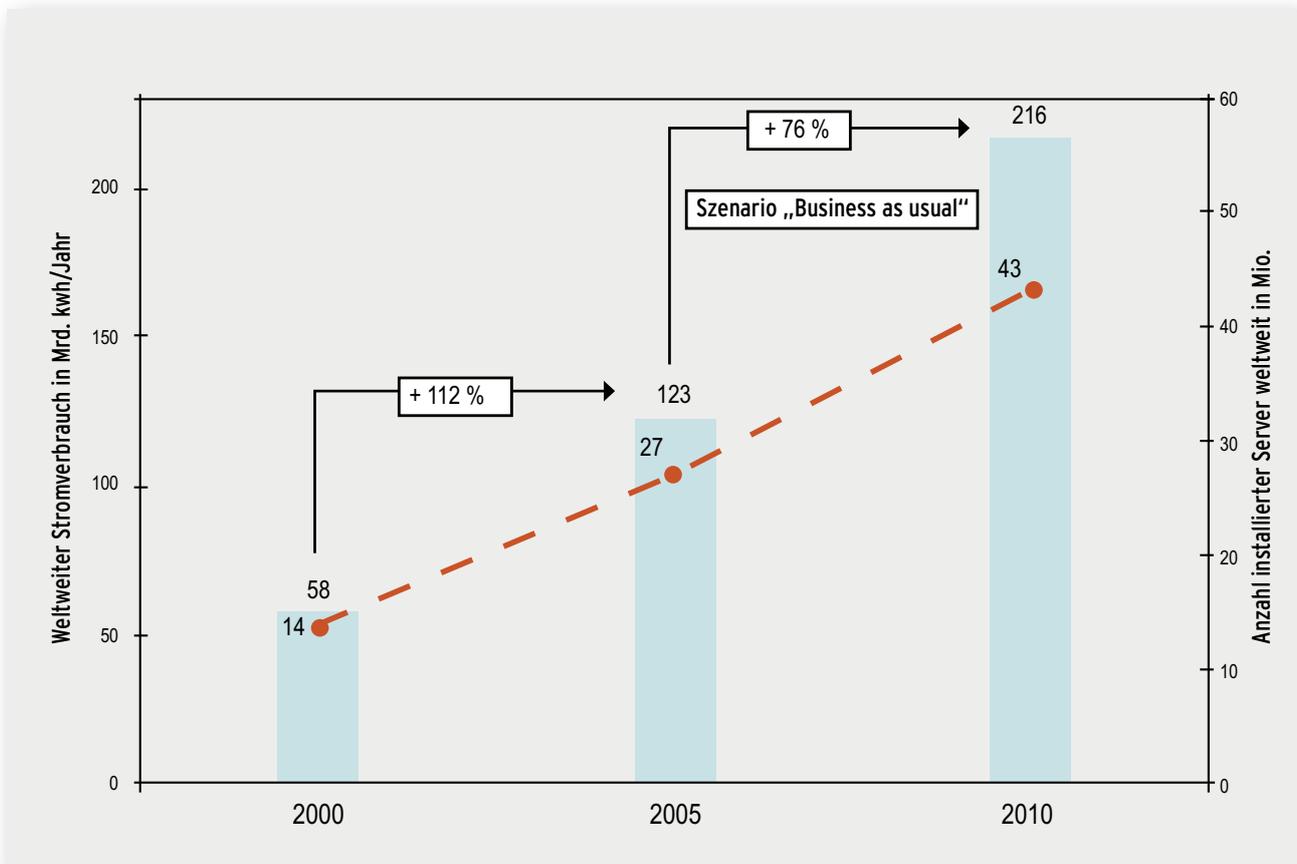
Martin Jetter
Präsidiumsmitglied BITKOM
General Manager IBM Germany
Vorsitzender der Geschäftsführung
IBM Deutschland GmbH

ENERGIEVERBRAUCH VON RECHENZENTREN: TRENDS UND EFFIZIENZPOTENZIALE

Mit zunehmender Nutzung von Internet, Telekommunikationsdienstleistungen und organisationsinternen IT-Netzwerken ist die Anzahl von Servern und deren Stromverbrauch in den letzten zehn Jahren rasant angestiegen. Auf Basis der Anzahl weltweit installierter Server sowie auf Basis typischer Servermodelle, ihres durchschnittlichen jährlichen Stromverbrauchs und der für ihren Betrieb notwendigen Infrastruktur (unterbrechungsfreie Strom-

versorgung, Kühlung usw.) kann errechnet werden, dass der weltweite Stromverbrauch durch Server von 58 Mrd. kWh im Jahr 2000 auf 123 Mrd. kWh 2005 angestiegen ist. Das entspricht rund 1 % des weltweiten Gesamtstromverbrauchs. Dabei ist davon auszugehen, dass der Stromverbrauch für Rechenzentren in den kommenden Jahren weiterhin erheblich zunehmen wird.

Abbildung 1: Anzahl installierter Server und deren Stromverbrauch weltweit



Quelle: IDC 2006 (Anzahl installierter Server), Koomey 2007 (Stromverbrauch 2000 und 2005) sowie Borderstep 2008 (Stromverbrauch 2010).



Nach Berechnungen des Borderstep Instituts lag der Stromverbrauch der rund 50.000 deutschen Serverräume und Rechenzentren 2008 bei 10,1 TWh, die Stromkosten bei rund 1,1 Mrd. €¹. Dies entspricht einem Anteil am Gesamtstromverbrauch von rund 1,8 % und bedeutet, dass in Deutschland vier mittelgroße Kohlekraftwerke fast ausschließlich für die Versorgung von Servern und Rechenzentren benötigt werden.

Bei der Frage, wie sich der Stromverbrauch von Serverräumen und Rechenzentren in Deutschland entwickeln wird, kann auf verschiedene Szenarien zurückgegriffen werden. Dabei soll die Betrachtung hier auf drei Szenarien beschränkt werden.

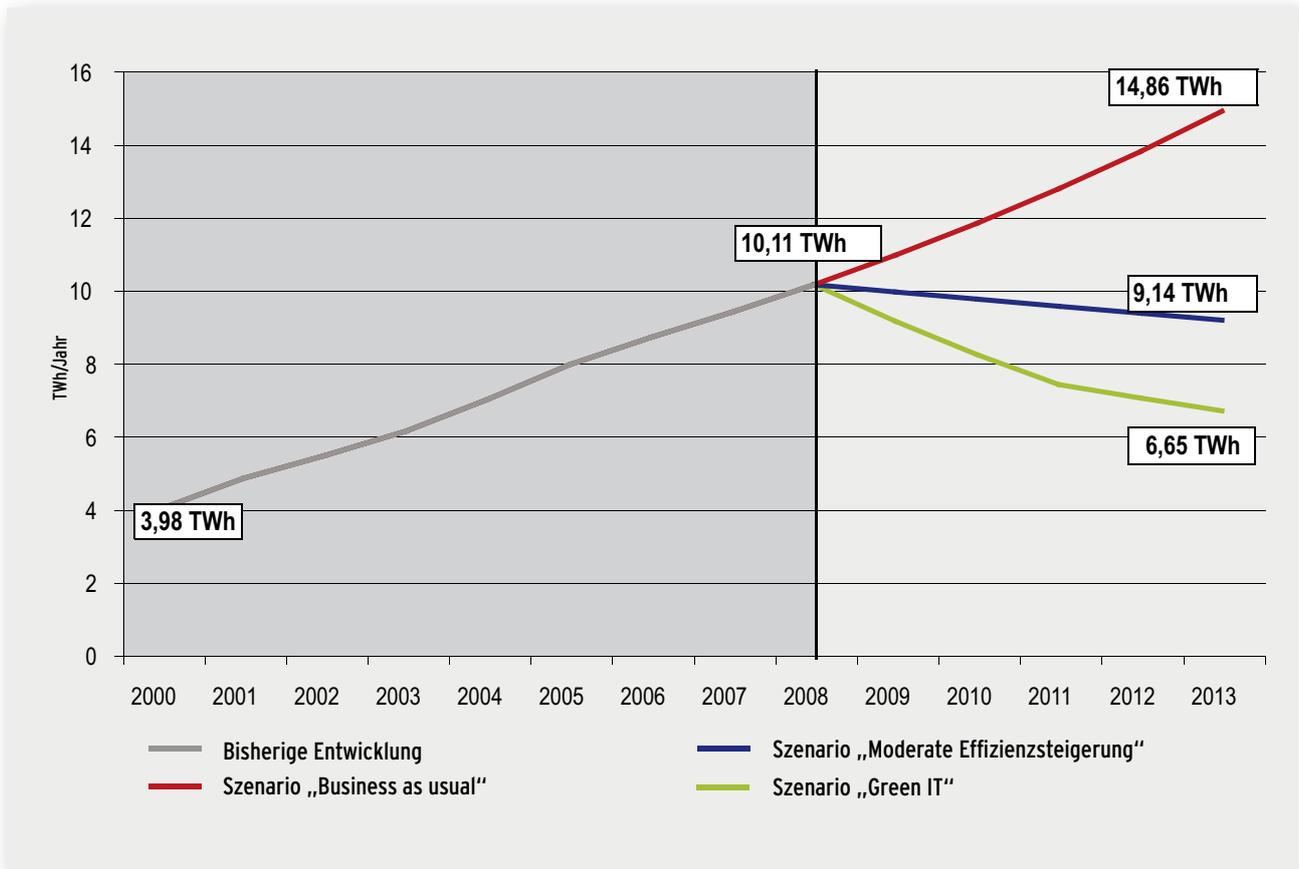
Das Szenario „Business as usual“ beschreibt den Fall, dass die bereits laufenden Effizienztrends (Servervirtualisierung etc.) sich fortsetzen, dass aber von Seiten der Politik, der IT-Hersteller und der Betreiber von Rechenzentren keine zusätzlichen Effizienzmaßnahmen ergriffen werden. In diesem Fall wird der Stromverbrauch deutscher Rechenzentren im Zeitraum von 2008 bis 2013 von 10,1 TWh auf 14,86 TWh ansteigen. Dies entspricht einer Zunahme des Stromverbrauchs von 47 %. Die Stromkosten

deutscher Rechenzentren verdoppeln sich in diesem Szenario bis 2013 auf 2,2 Mrd. €. Werden dahingegen von Seiten der Wirtschaft und der Politik zusätzliche Effizienzsteigerungsmaßnahmen ergriffen und ein Teil der heute bereits verfügbaren Best-Practice-Lösungen zumindest bei rund der Hälfte aller Rechenzentren angewendet, so ließe sich eine Senkung des Stromverbrauchs von rund 10 % erzielen. Sollte dieses „Moderate Effizienzsteigerung“-Szenario eintreten, würde der Stromverbrauch deutscher Rechenzentren auf 9,14 TWh in 2013 sinken.

Geht man davon aus, dass die besten heute verfügbaren Energieeffizienz-Technologien und -Lösungen durch massive Anstrengungen auf breiter Front, d.h. bei rund 90 % aller Rechenzentren, angewendet werden, so wird der Stromverbrauch durch Server und Rechenzentrumsinfrastruktur bis 2013 auf 6,65 TWh sinken. Im Falle dieses „Green IT“-Szenarios würde der Stromverbrauch von Rechenzentren trotz kontinuierlich steigender Rechen- und Speicherleistung innerhalb von nur fünf Jahren um fast 40 % sinken. Im „Green IT“-Szenario würden sogar die Stromkosten bis 2013 auf 998 Mio. € fallen, und dies trotz weiterhin steigenden Strompreisen.

¹ Berechnung auf Basis von BMWi 2007. Die Strompreise (ohne MwSt.) sind inflationsbereinigt und auf das Jahr 2000 indiziert. Bei der Berechnung wurde z.B. für 2008 von einem Strompreis von 0,11 €/KWh ausgegangen, was nach Einschätzung von Branchenexperten für Rechenzentren im Durchschnitt zu Grunde gelegt werden kann.

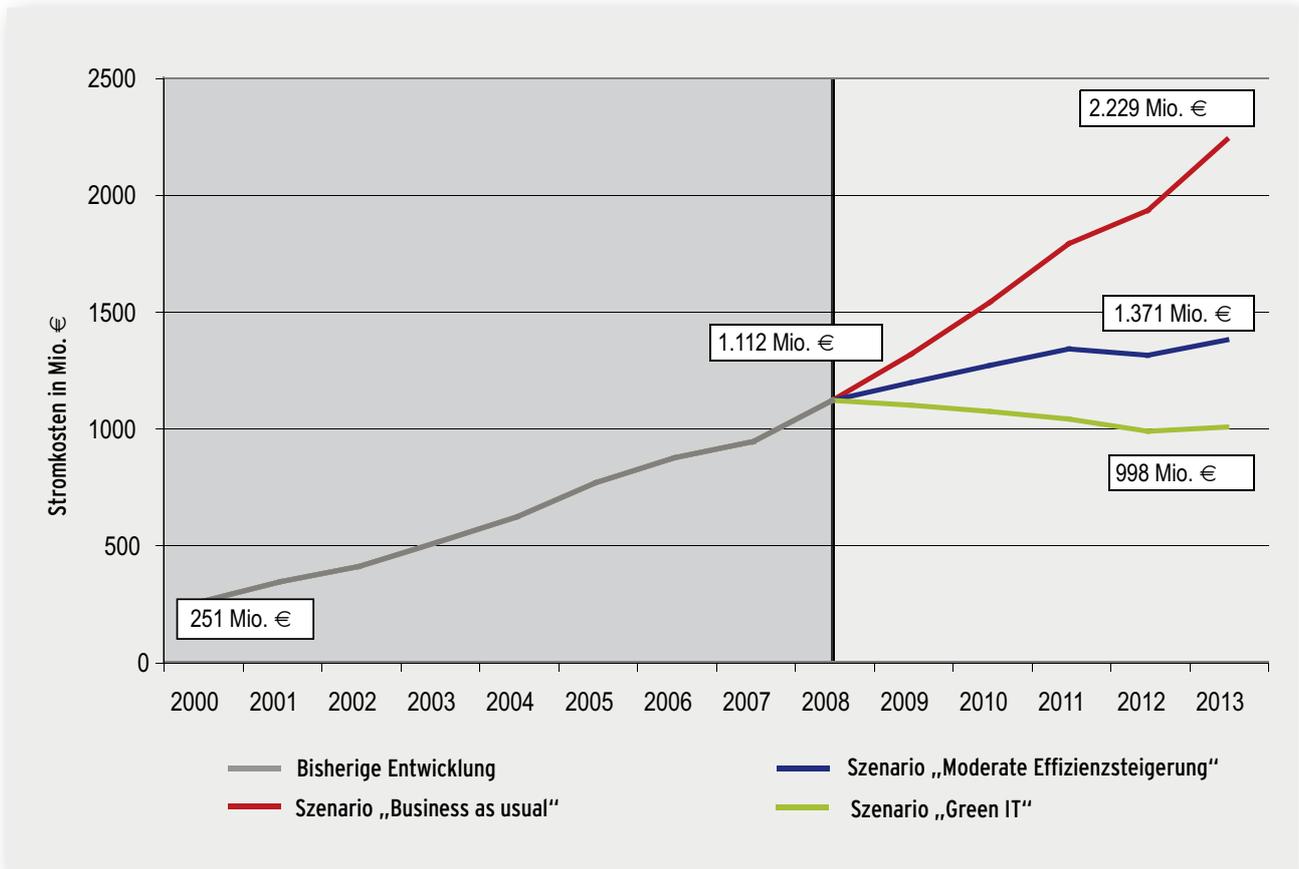
Abbildung 2: Stromverbrauch von Servern und Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Borderstep 2008

Die Betreiber von Rechenzentren sind schon allein aus technischen und betriebswirtschaftlichen Gründen gezwungen, sich mit Fragen der Stromersparung und der Energieeffizienz zu beschäftigen. Dabei geht es sowohl um die Sicherstellung der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit eines Rechenzentrums als auch zunehmend um die Frage der Einsparung von Stromkosten und der Reduzierung der Total Cost of Ownership. Die ökonomische Relevanz der Stromkosten von Rechenzentren zeigt Abbildung 3.

Abbildung 3: Entwicklung der Stromkosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Borderstep 2008

Die Unterschiede zwischen einem Business-as-usual und dem engagierten Ergreifen zusätzlicher Energieeffizienzmaßnahmen („Green IT“-Szenario) sind erheblich. Summiert man die Differenz zwischen beiden Zukunftsoptionen im Zeitraum von 2009 bis 2013 auf, so zeigt sich, dass die Betreiber von Rechenzentren in Deutschland innerhalb von nur fünf Jahren insgesamt 3,6 Mrd. Euro an Stromkosten

einsparen könnten, wenn die heute bereits verfügbaren und von Vorreitern auch schon erfolgreich angewendeten Effizienzlösungen auf breiter Front umgesetzt würden, und dies trotz weiterhin steigenden Strompreisen!

ANSATZPUNKTE ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON RECHENZENTREN

In Rechenzentren gibt es eine Vielzahl von Maßnahmen, die zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen werden können. Wie dabei vorgegangen werden kann und an welchen Punkten mit welchen Maßnahmen angesetzt werden kann, zeigen eine Reihe von Leitfäden und Unterstützungshilfen, die von Rechenzentrumsplanern, IT-Verantwortlichen und Gebäudemanagern genutzt werden können. Dazu zählt z.B. der Leitfaden „Energieeffizienz im Rechenzentrum“ des Branchenverbandes BITKOM. Eine Auswahl davon finden Sie unter „Weiterführende Literatur und Links“. Im Folgenden soll daher nur übersichtsartig auf die Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren eingegangen werden.

Die Wirkungskette beginnt bei den Applikationen und läuft über die IT-Hardware und die Stromversorgung bis zu Gebäudeplanung und Kühlung. Dabei ist grundsätzlich wichtig zu verstehen, dass am Beginn dieser Wirkungskette Maßnahmen am wirksamsten sind. Wird eine nicht mehr benötigte Applikation und damit auch der zugehörige Server abgeschaltet, so wird weniger Strom verbraucht, die Verluste in der USV gehen zurück und die Kühllast wird kleiner.

Erste Dimension: Applikationen und Daten

Erster Ansatzpunkt für ein energieeffizientes Rechenzentrum ist die kritische Infragestellung der Applikationen und Daten. Es kommt vor, dass ein Drittel aller Applikationen zwar nicht mehr benötigt wird, aber trotzdem auf den Servern weiterlebt. Und auch das Ausmaß, in dem bestimmte vergleichbare Applikationen Hardwareressourcen verbrauchen, unterscheidet sich oft nicht unerheblich. Und BITKOM befürchtet im Leitfaden „Energieeffizienz im Re-

chenzentrum“, dass in vielen Unternehmen Foto-, Video- und mp3-Dateien einen Großteil der Daten ausmachen, auch wenn sie für den Geschäftsablauf gar nicht benötigt werden. Für das Management des energieeffizienten Rechenzentrums ergibt sich daraus die Aufgabe, die Notwendigkeit der Applikationen und Daten regelmäßig zu prüfen und, wenn möglich, nicht mehr benötigte Applikationen und Daten zu löschen. Wird auch die Pflege von Applikationen und Daten den Nutzern in Rechnung gestellt, so würde zusätzlich bei diesen eine Motivation zur Effizienzsteigerung geschaffen.

Auch in der Softwarebeschaffung empfiehlt es sich, vergleichbare Anwendungen auch mit Blick auf ihren Bedarf an Hardwareressourcen zu prüfen und wesentliche Unterschiede mit Blick auf zu erwartende Hardware- und Energiekosten in die Beschaffungsentscheidung einfließen zu lassen.

Zweite Dimension: Virtualisierung

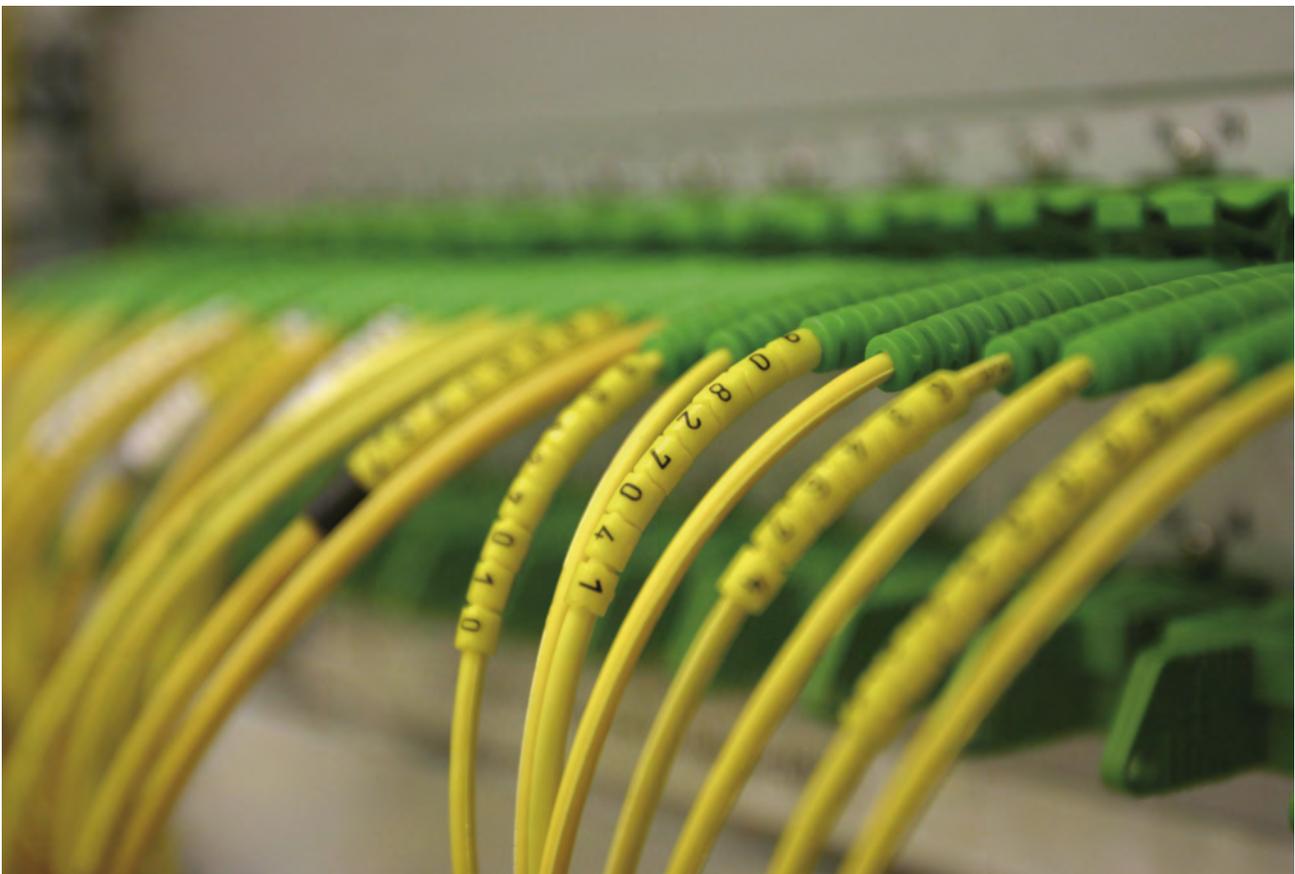
Die Fortschritte, die durch virtualisierte Umgebungen erzielt werden können, sind erheblich. Die Auslastung der Server lässt sich von 5 % bis 15 % auf 60 % und manchmal sogar 85 % steigern. Einzelne Rechenzentren haben ihren Stromverbrauch durch die Investition in neue Hardware und Virtualisierung halbiert. Aber nicht jeder Kunde eines Rechenzentrums akzeptiert, dass seine Anwendung auf einer virtuellen Maschine läuft. Bei einigen gilt Virtualisierung noch als unsicher und diese Kunden bestehen auf physischen Servern. Aber ihre Zahl nimmt bereits ab. Es ist zu erwarten, dass in einigen Jahren der Großteil aller Applikationen auf virtuellen Maschinen läuft. Für das energieeffiziente Rechenzentrum ist Virtualisierung fast immer ein „Muss“.

Dritte Dimension: IT-Hardware

Für die Beschaffung bestimmter IT-Komponenten gibt es viele verschiedene Gründe: Funktionalität, Kompatibilität mit der vorhandenen Infrastruktur, Bindung an einen bestimmten Hersteller und anderes mehr. Bisher war es kaum möglich, die Energieeffizienz z.B. von Servern in der Beschaffung planmäßig zu berücksichtigen, da ein vergleichbarer Maßstab nicht existierte. Das hat sich seit Ende 2007 geändert. Der SPECpower-Benchmark misst Performance und Energieaufnahme in der Maßeinheit „ssj_ops/Watt“. Zwar wird kritisiert, dass der Belastungstest nur mit einer Java-Anwendung durchgeführt wird, aber immerhin ist es ein Anfang.

Im Dezember 2007 wurden die ersten 12 Tests veröffentlicht, unter denen der Spitzenreiter 698 ssj_ops/Watt erreichte. Mitte 2008 hatte sich der Wert des besten Servers im Test auf 1124 ssj_ops/Watt schon fast verdoppelt. Dabei wurden die höchsten Effizienzen bisher nicht von den Geräten mit der höchsten Performance erreicht. Und besonders im Mittelfeld, bei Geräten, deren Spitzenleistung um die 200 ssj_ops liegt, variiert die Energieeffizienz um das Dreifache.

Es ist schon jetzt festzustellen, dass mit Blick auf den Test Serverkonfigurationen von den Herstellern angepasst werden. Verzichtbares wird weggelassen, um gute Werte zu erreichen. Es ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren erhebliche Fortschritte realisiert werden. Dementsprechend ist empfehlenswert, beim Serverkauf in Zukunft neben den üblichen Anforderungen auch die Energieeffizienz zu berücksichtigen.





Weitere Energieeffizienzpotenziale bieten die Datenspeicher. Hier gibt es – auch abhängig von den Performance- und Verfügbarkeitsanforderungen – mittlerweile eine Vielzahl unterschiedlicher Speicherarten. So verbrauchen z.B. 2,5"-Festplatten deutlich weniger Strom als Geräte der 3,5"-Baugröße. Und Daten, die dauerhaft gesichert werden sollen, können z.B. auch auf Magnetbändern abgelegt werden.

Vierte Dimension: Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) sichert die Verfügbarkeit bei kurzfristigen Stromausfällen. In den allermeisten Fällen wird eine batteriebetriebene USV verwendet. In ihr wird der Wechselstrom des Netzes in Gleichstrom gewandelt, dieser in die Batterie gespeist und gleichzeitig wieder in Wechselstrom verwandelt, der die Netzteile der IT-Hardware versorgt. Bei einem Stromausfall kann so die Batterie die Stromversorgung ohne Unterbrechung übernehmen. Die Ursachen für einen Stromausfall sind oft banal: Schon einfache Spannungs-

schwankungen oder Kurzausfälle im Stromnetz können reichen, um Hard- oder Software zu beschädigen oder so zu stören, dass schwere Fehler auftreten. Insbesondere bei kleinen Rechenzentren kommt es auch schon mal vor, dass ein Elektriker unachtsam ist oder das z.B. Reinigungspersonal der einfacheren Reinigung wegen den Stecker herauszieht.

Jedes der Bauteile einer USV kann hohe oder niedrigere Wirkungsgrade haben. In jedem der Bauteile fallen also gewisse Verluste an. Eine hochwertige USV hoher Leistung erreicht heute Wirkungsgrade bis zu 96 %. Auch kleinere Anlagen sollten mindestens 90 % Wirkungsgrad haben.

Wichtig ist bei der USV wie auch bei anderen Komponenten der Infrastruktur, dass sie nicht überdimensioniert ist. So versorgte in einem Ministerium eine USV mit 100 KVA Nennleistung ein kleines Rechenzentrum, dessen Leistung etwa 12 kW betrug. Diese „vorsichtige“ Überdimensionierung verursachte jährlich unnötige Stromkosten in Höhe von 2.000 €, mehr, als eine neue USV der richtigen Leistungsstufe gekostet hätte.

Fünfte Dimension: Klimatisierung

Klimatisierung war in der Vergangenheit der zentrale Ansatzpunkt, um ein Rechenzentrum energieeffizienter zu machen. Und ohne Zweifel ist die Klimatisierung gerade bei großen Rechenzentren von hoher Wichtigkeit. Bei älteren Rechenzentren kann der Energieaufwand für die Kühlung durchaus in derselben Höhe liegen wie der Verbrauch der IT-Hardware. Ein hochverfügbares Rechenzentrum (z.B. TIER 4, das älter als fünf Jahre ist) wird auch heute kaum eine Rechenzentrums-Energieeffizienz von 50 % (DCIE, vgl. S. 14) überschreiten können – selbst bei Ausreizung vieler Maßnahmen. Denn ein ganzes Bündel von Maßnahmen ist für eine effiziente Klimatisierung großer Rechenzentren erforderlich. Das beginnt bei verlustfreier Luftführung und getrennten Kalt- und Warmgängen, erfordert effiziente Kältemaschinen und berührt auch Fragen der Gebäudeplanung.

Ein DCIE-Wert von 50 % ist für neu geplante Rechenzentren heute nicht mehr akzeptabel. Bei großen Rechenzentren sind DCIE-Werte (vgl. S. 14) von 70 % erzielbar und kleine Rechenzentren können den Aufwand für Kühlung noch stärker senken. Werden z.B. Rechenzentren mit 20 oder 30 ineffizienten älteren Servern mit neuer, virtualisierter IT-Hardware ausgestattet, dann kann u.U. die Gesamtanschlussleistung der Server so stark gesenkt werden, dass auf eine Klimaanlage komplett verzichtet werden kann.

Moderne Kühltechnologie wie z.B. die geothermische Wasserkühlung, sind so energieeffizient, dass in einem der in dieser Broschüre dargestellten Best-Practice-Beispiele ein DCIE-Wert von 85 % erreicht wurde. Die Kühlung erfordert hier bei einer Arbeitszahl von ca. 20, also 20 kWh Kälteleistung pro elektrischer kWh, gerade noch 10 % des Energieaufwandes, der für den Betrieb der IT-Hardware gebraucht wird.

Zwei der Rechenzentren, ein kleines und ein großes, haben die Betriebstemperatur auf 33 °C bis 35 °C erhöht und können so fast ganzjährig frei kühlen. Auch mit diesen Systemen werden Arbeitszahlen der Kühlung möglich, wie sie noch vor wenigen Jahren undenkbar schienen.

Sechste Dimension: Gebäudeplanung und Wärmenutzung

Soll das Gebäude eines größeren Rechenzentrums im Inneren kühl gehalten werden, so ist nicht zuletzt wichtig, die Wärmeeinstrahlung niedrig zu halten. Eine Gebäudeplanung, die wenig Einstrahlung zulässt, die Beschattung der Fassade durch Bäume und ein möglichst kühler und schattiger Platz für Rückkühler sind wichtige Ziele der Planung.

Aber auch die Frage der Abwärmennutzung ist wichtig. Durch die langsam steigende Akzeptanz höherer Temperaturen im Rechenzentrum sind Abwärmeströme zunehmend zur Beheizung von Büroflächen geeignet. Auch die Abgabe von Abwärme an benachbarte Liegenschaften mag im Einzelfall zur Energieeffizienz beitragen.

Ein kleines Rechenzentrum von 48 m² wurde mitten in ein Büroloft hineingeplant. Durch die dort übliche Betriebstemperatur von 33 °C bis 35 °C kann das Büro bis zu einer Außentemperatur von -7 °C mit der Abwärme des Rechenzentrums geheizt werden, was erhebliche Primärenergiemengen spart.

Siebte Dimension: Stromeinkauf

Kalkulatorisch können die aus dem Betrieb eines Rechenzentrums resultierenden CO₂-Emissionen auch durch den Bezug von Ökostrom gesenkt werden. Durch eine Reihe von insbesondere größeren Rechenzentren wurde Ökostrom auch als Imageträger erkannt und der Ökostrombezug wird aktiv öffentlich bekannt gemacht. Kritisch könnte dabei angemerkt werden, dass genauso wie in der CO₂-Kompensation von Flugreisen auch in der Versorgung von ineffizienten Rechenzentren mit Ökostrom die Aura des Ablasshandels erkannt werden könnte. Der Bezug von Ökostrom darf daher kein Freibrief zur Energieverschwendung sein, sondern stellt eher die konsequente Ergänzung hoher Energieeffizienz dar.

ENERGIEEFFIZIENZ-KENNZAHLEN

Obwohl bislang noch keine weltweit einheitlichen Standards für die Messung des Energieverbrauchs von Rechenzentren und für die Darstellung ihrer Energieeffizienz vorliegen, hat sich hier gerade in jüngster Zeit viel getan. Neben Vorarbeiten aus dem wissenschaftlichen Bereich (Greenberg et al. 2006; Aebischer 2008) liegen mittlerweile eine Reihe von Konzepten und Vorschlägen von Unternehmensnetzwerken und Verbänden vor. Dazu zählen die Arbeiten von the green grid (2008), des Uptime-Instituts (Brill 2007), des BITKOM (2008b) sowie der Europäischen Union (2008).

Im Mittelpunkt der Diskussion steht bislang eine Energieeffizienzkennzahl, die den Energieverbrauch der IT-Systeme (Server, Speicher, Netzinfrastruktur) ins Verhältnis zum Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums setzt. Der Grundgedanke bei die-

ser Kennzahl ist, dass möglichst viel von der eingesetzten Energie dort landen soll, wo die eigentliche Funktion und Leistung eines Rechenzentrums liegt, nämlich in der Rechenleistung und den Diensten der IT (Server, Speicher etc.). Möglichst wenig des Gesamtenergieverbrauchs eines Rechenzentrums soll also auf die unterbrechungsfreie Stromversorgung, die Kühlung und Klimatisierung oder andere „Energieverbraucher“ der Infrastruktur entfallen. Daher ist die Infrastruktur-Energieeffizienz eines Rechenzentrums (Data Center Infrastructure Efficiency) eine erste gute Kennzahl, die für die Messung und Bewertung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums herangezogen werden kann.

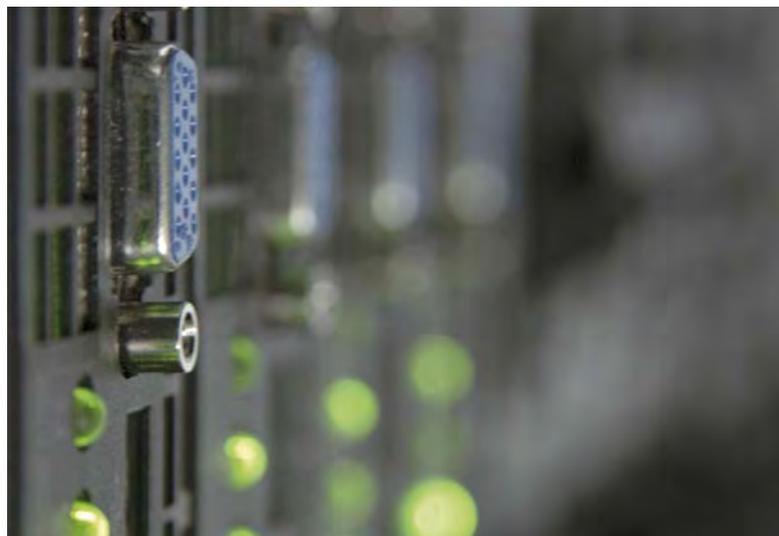
Die „Data Center Infrastructure Efficiency“ (DCIE)-Kennzahl wird im EU-Code of Conduct for Data Centers (2008) wie folgt definiert:



$$\text{DCIE} = \frac{\text{Energieverbrauch der IT}}{\text{Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums}} \times 100 \%$$

Im optimalen Fall beträgt die DCIE-Kennzahl also 100 %. Dies ist natürlich gerade für größere Rechenzentren nur ein theoretischer Zielwert, da u.a. eine unterbrechungsfreie Stromversorgung die Voraussetzung für eine Hochverfügbarkeit ist. Eine lediglich andere Darstellungsform der DCIE-Kennzahl ist der Indikator „Power Usage Effectiveness“ (PUE), der als Quotient von Gesamt-Energieverbrauch und Energieverbrauch der IT definiert ist.

Eine wichtige Unterscheidung bei dieser Kennzahl ist, dass sie sowohl auf die Leistungsaufnahme (kW) als auch auf den Energieverbrauch (kWh) eines Rechenzentrums bezogen werden kann. Während sich die Kennzahl DCIE-Leistung auf die Messung der Leistungsaufnahme (kW) bei Volllastbetrieb bezieht und eine punktuelle Messung darstellt, gibt die Kennzahl DCIE-Verbrauch den Energieverbrauch (kWh) innerhalb eines definierten Zeitraums (Tag, Woche, Monat, Jahr) an. Beide Varianten haben ihren Sinn, allerdings kommt es am Ende auf den realen Energieverbrauch eines Serverraums oder eines Rechenzentrums an, so dass für die Energieeffizienzangaben in der vorliegenden Broschüre nach Möglichkeit die Kennzahl DCIE-Verbrauch verwendet wurde.



Die Zahlenangaben in den folgenden Best-Practice-Beispielen beruhen auf Eigenangaben der jeweiligen Rechenzentrumsbetreiber und erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Die Angaben wurden von den Bearbeitern dieser Broschüre auf Plausibilität überprüft, umfassen aber nicht die Überprüfung der Messverfahren oder die Überprüfung der Dokumentation der Messungen vor Ort.

Die Zahlenangaben der einzelnen Beispiele können nicht ohne Weiteres miteinander verglichen werden, da die Serverräume und Rechenzentren in Größe, Funktion und Struktur erhebliche Unterschiede aufweisen und nicht nach einem einheitlichen Messstandard erhoben werden konnten, da ein solcher bislang nicht existiert (vgl. dazu auch die Ausführungen im „Ausblick“).

Energieeffiziente Neuplanung eines Internet Hosting Rechenzentrums bei der Host Europe GmbH in Köln



Patrick Pulvermüller, Geschäftsführer der Host Europe GmbH in Köln

Die Host Europe GmbH bietet seit 1997 Internet-Services für Privat- und Geschäftskunden in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Host Europe betreibt zwei eigene, räumlich getrennte Rechenzentren in Köln. Zusammen bieten diese Platz für ca. 24.000 Server. Während Host Europe seit 2001 ein Rechenzentrum eines großen Telekommunikationsunternehmens angemietet hatte, entstand im November 2005 der Plan, dieses Rechenzentrum in eigener Regie neu zu bauen. Patrick Pulvermüller, Geschäftsführer von Host Europe, und seine Kollegen sahen schon damals Potenziale: „Da gab es viele Dinge, da dachten wir, dass muss doch eigentlich besser gehen. Die Effizienz muss doch eigentlich höher sein, weil wir doch jeden Monat den Schmerz der Stromrechnung gespürt haben.“ Das neue Rechenzentrum sollte für 15 bis 20 Jahre zukunftsfähig sein. Für das Leitungsteam von Host Europe gehörten Nachhaltigkeit und hier besonders Energieeffizienz ganz einfach zur Zukunftsfähigkeit dazu. Es entstand sehr schnell die Idee, mal auszuprobieren, was da möglich wäre.

Anfang 2006 wurden Kontakte zu Zulieferern aufgenommen. Letztlich waren die Aussagen aller dieser Unternehmen ähnlich: Mit erheblichen Anstrengungen könnte in einem großen Rechenzentrum für etwa 10.000 Server ein PUE-Wert von etwa 1,6 erreicht werden. Dafür würden aber Mehrkosten in der Größenordnung von 20 % anfallen, die sich nach Vollaustattung des Zentrums in 3 bis 4 Jahren amortisieren würden. Obwohl gerade im IT-Geschäft be-

Daten & Fakten

Betreiber: Host Europe GmbH

Standort: Köln

Fläche: 550 m²

Serveranzahl: zzt. 4.200 Dell Server

Funktion: IT-Hosting für Dienstleistung und Gewerbe

Durchschnittliche Serverauslastung Mitte 2008: 40 %,

Steigerungspotenzial auf 80% wird erwartet

Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE):

69 % (PUE = 1,45)

Serverauslastung Anfang 2007 - Mitte 2008: + 166 %.

Energieverbrauch 2007: 4.000.000 KWh

Internet: www.hosteurope.de

sonders kurzfristig gedacht wird, ließ sich die Geschäftsführung von Host Europe auf diese Perspektive ein. In der festen Überzeugung, dass die schon 2005 hohen Stromkosten wohl weiter steigen würden, beschloss man im August 2006 die Realisierung eines energieeffizienten Rechenzentrums mit einem PUE-Zielwert von 1,6. Der Beschluss motivierte die Mitarbeiterschaft und spornte sie an, das gesteckte Ziel sogar zu übertreffen. Die Verantwortlichkeit für die Energieeffizienz lag von Anfang des Projektes an bei der Geschäftsführung.

Das Vorgehen umfasste Aktivitäten in vielen Bereichen. Es begann bei einer architektonischen Planung, die die Wärmeeinstrahlung in das Gebäude durch Ausrichtung und Oberflächen minimiert. „Die Aufstellung des Rückkühlers im Schattenbereich des Gebäudes verbessert dessen Effizienz ohne den Aufwand zu vergrößern. Dennoch wird so etwas immer wieder falsch gemacht“, so Pulvermüller.

Ein zentraler Punkt war auch die integrierte Kühlung und Wärmeversorgung des Gebäudes. Zur Be-

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Effizienzorientierte Gesamtplanung
- ▶ Abwärmenutzung zur Büroflächenheizung mit Wärmepumpe
- ▶ Virtualisierung
- ▶ Energiemanagement und KVP



Rückkühler im Schatten des Gebäudes

reitstellung der winterlichen Heizleistung von 75 kW für die 2.500 m² Bürofläche oberhalb des Rechenzentrums wird ein Teil der Abwärme mittels einer Wärmepumpe auf ein zur Heizung geeignetes Temperaturniveau „gepumpt“. Primärenergie für Heizzwecke ist so nur noch für den Betrieb der Wärmepumpe erforderlich. Für die eigentliche Kühlanlage wurden mehrere Alternativen geprüft und von externen Klimatechnikspezialisten gegengerechnet. Das letztlich eingesetzte Kühlsystem arbeitet bei Temperaturen zwischen 40 °C und 6 °C und kommt bereits bei 6 °C Außentemperatur komplett mit freier Kühlung aus. Auch der Einsatz stufenlos regulierbarer Ventilatoren trug zur Effizienz bei.

Ein weiteres Arbeitsfeld zur Steigerung der Effizienz ist die Virtualisierung. Vor zwei Jahren wollte allerdings noch kaum ein Kunde Virtualisierung kaufen. Patrick Pulvermüller sieht aber eine positive Tendenz: „Da gibt es Kunden, die sagen: ‚Virtualisierung, mag ich nicht.‘ Aber diese Menge wird immer kleiner.“ Lag die Serverauslastung Anfang 2007 noch bei 15 %, so stieg sie bis Mitte 2008 auf etwa 40 % an. Auf den zzt. ca. 8.000 physischen Servern von Host Europe befinden sich Mitte 2008 schon etwa 20.000 virtuelle Maschinen. Pulvermüller sieht ein weiteres Steigerungspotenzial der Serverauslastung bis zu ca. 80 %. Begrenzt wird die Auslastung zurzeit neben dem Kundenwunsch auch durch die Input-/Output-Leistung der Festplatten und anderer Hardwarefaktoren. Letztlich ist für die weitere Steigerung der Auslastung eine abgestimmte Entwicklung von Kundenverträgen, Hardwareausstattung und Virtualisierungssoftware erforderlich.

Ein zusätzliches Effizienzpotenzial wird gegenwärtig durch den Umstieg auf Quadcore-Prozessoren erschlossen. Die Auswahl von Servern unter dem Ge-

sichtspunkt der höchsten Rechenleistung pro Watt ist eher ein Ziel für die nächsten Jahre. Die Ergebnisse des Server-Benchmarks SPECpower_ssj2008 werden allerdings bereits aufmerksam verfolgt.

In die Planung wurde auch eine vergleichsweise hohe Zahl von Verbrauchsmessstellen integriert, um auch dauerhaft einen guten Überblick über den Energieverbrauch zu erhalten und durch regelmäßige Schwachstellenanalyse und Verbesserungsprogramme weitere Fortschritte zu erzielen. Im Januar 2007 wurde das Rechenzentrum mit 100 Servern eröffnet, Ende 2007 waren bereits 3000 Server installiert und monatlich kommen etwa 150 hinzu. Zur Vorbereitung eines nächsten Schrittes wird gegenwärtig auf 15 % der Rechenzentrumsfläche eine konsequente Kaltgangeinhausung durchgeführt. Ziel ist, die Ansaugtemperatur an den Klimaanlage von gegenwärtig 20 °C auf dann 27 bis 28 °C zu erhöhen, was weitere Effizienzgewinne in der Kühlung zur Folge hätte. Im Anschluss an den erfolgreichen Test auf einer Teilfläche würde auch der Rest des Rechenzentrums nach und nach umgerüstet. Auch von der Befeuchtung der Rückkühlerflächen im Außenbereich zur Nutzung der Verdunstungskälte versprach man sich einiges. Die vorhandene Rückkühlerfläche ist jedoch so groß, dass das Verfahren gegenwärtig keine Netto-Einsparungen erwarten lässt.

Eine Energieeffizienzertifizierung plant Host Europe gegenwärtig nicht. Die vielen Anbieter, die sich hier in den Startlöchern befinden, überzeugen noch nicht. Hilfreich wäre ein anerkannter Standard, wie er sich aus dem EU-Code-of-Conduct entwickeln könnte und über den erreicht würde, dass man auch zum Thema Energieeffizienz mit einer einheitlichen Sprache spricht.

Dynamic Smart Cooling in einem HP-Rechenzentrum in Bangalore



Chandrakant Patel, HP Fellow und Director of Sustainable IT Ecosystem bei HP

Im Jahr 2000 begann die zentrale Forschungseinrichtungen von HP, die HP-Labs, mit der Entwicklung der Dynamic Smart Cooling-Technologie (DSC). „Die Vision war, eine dynamisch bestimmbare Kühlleistung entsprechend der Wärmebelastung im Rechenzentrum zu ermitteln. Weiterhin sollte die Bereitstellung der EDV und die damit verbundene Wärmebelastung an die verfügbare Kühlleistung angepasst werden“, sagt Chandrakant Patel, Direktor des Sustainable IT Ecosystem Lab von HP's Zentrallabor in Palo Alto, Kalifornien.

Patel spielte schon früh eine Schlüsselrolle in der Etablierung von energieeffizienten Rechenzentren. In den frühen 1990er Jahren hatte er das „Thermische Technologien Forschungsprogramm“ der HP-Labs und anschließend das „Rechenzentrumsstruktur-Programm“ ins Leben gerufen. Patel regte dabei eine ganzheitliche Sichtweise von Rechenzentren an. Innerhalb des Rechenzentrums benötigte es ein durchgängiges Management und dabei sei Energie als eine Schlüsselressource zu betrachten. Anfang des neuen Jahrtausends strebte Patel bei Energiebedarf und Kühlleistung den Weg einer ganzheitlichen Lösung an, welche alle Komponenten, vom Computerchip und den EDV-Systemen über die Serverschränke bis zur Rechenzentrumsinfrastruktur, mit einbezieht.

Die anfängliche Arbeit, resultierend aus der Smart-Data-Center-Forschung der späten 90er Jahre, führte zur Entwicklung einer computergestützten Model-

Daten & Fakten

Betreiber: HP

Standort: Bangalore, Indien

Fläche des Rechenzentrums: 6.500 m²

Funktion: Rechenzentrum für Forschung und Testing

Energieeinsparung durch Dynamic Smart Cooling im Vergleich zu einer konventionellen Lösung: 20 % Kühlungsenergie: ~ 3.750.000 kWh pro Jahr

Geplante Energieeinsparung nach voller Implementierung von DSC: 40 % der Kühlenergie: ~ 7.500.000 kWh pro Jahr

Internet: www.hp.com/go/powerandcooling

lierung der Dynamik von Kühlmitteln, um auf diese Weise die Kühlung zu optimieren. In der ersten Phase wurde ein statisches Modell angewendet, welches noch nicht auf die dynamischen Änderungen von Rechenleistung und Kühlbedarf reagieren konnte. Dennoch konnte diese Methode in vielen Rechenzentren angewendet werden.

Als logische Weiterentwicklung arbeitete man in der Folgezeit an einer Lösung, die die notwendige Kühlleistung auf Basis der aktuellen Auslastung berechnete: Dynamic Smart Cooling (DSC). Das neue System wurde zunächst im Testlauf im Rechenzentrum der HP-Labs in Palo Alto, Kalifornien, angewandt.

Im Jahr 2007 begann HP mit dem Bau eines Rechenzentrums auf 6.500 m² Fläche in Bangalore, Indien. Das Projekt beinhaltete die Zusammenführung von 14 Labor-Rechenzentren in Bangalore in ein dicht bebautes, 6.500 m² großes Rechenzentrum, eines der größten in Indien. Das Rechenzentrum besteht, wie in der IT-Landschaft üblich, aus einem Mix von älteren Anlagen und neueren Servern, darunter auch Blade-Server.

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Konsolidierung von 14 alten Rechenzentren unter einem Dach
- ▶ Dynamic Smart Cooling

Patel und sein Team erkannten die Möglichkeit, in Bangalore die Technologie des Dynamic Smart Cooling im realen Umfeld eines großen Rechenzentrums zu demonstrieren. Statt die Server wie bisher üblich durchgehend zu kühlen, sollte die Kühlleistung durch DSC an den Bedarf der Server angepasst werden.

Basis des DSC in Bangalore sind 7.500 Temperatursensoren. Diese überwachen die Temperaturen in den einzelnen Racks und melden diese an die DSC-Software. Steuerungsgeräte in den Racks stellen die Belüftung ständig neu ein. Das Ergebnis ist eine 20%ige Reduzierung des Energieverbrauchs für die Kühlung seit Inbetriebnahme in einem der sensorreichsten Rechenzentren der Welt. Voll implementiert wird DSC laut HP sogar zu einer 40%igen Reduzierung des Energieverbrauchs führen, und zwar im Vergleich zu den heute üblichen Kühlungsstandards. Durch Dynamic Smart Cooling werden in Bangalore dann 7.500 MWh jährlich eingespart.

Dynamic Smart Cooling besteht aus hochentwickelter Software, angesiedelt in einem intelligenten Kontrollknoten, welcher kontinuierlich die Einstellungen der Klimatisierung des Rechenzentrums anpasst. Das System basiert auf den Echtzeit-Lufttemperatur-Messungen eines Netzwerkes von Sensor-Daten der IT Racks. Die Technologie sorgt dafür, die Kühlung dorthin zu liefern, wo sie am meisten gebraucht wird und ermöglicht somit erhebliche Kosteneinsparungen und verbesserte Kapazitäten für die Kunden. „Heute beträgt die Eingangstemperatur zu den Server-Racks in unserem Rechenzentrum in Palo Alto 25 °C. In Bangalore lassen wir unser Rechenzentrum bei 27 °C laufen und wir planen, die Temperatur darüber hinaus zu erhöhen, aber wir müssen natürlich vorher wissen, wel-



DSC-Steuerungsgerät im Rack



HP R&D Laboratory Data Center

che Effekte eine Erhöhung der Temperatur auf die Stabilität der Prozesse und die Ausfallzeiten der Anlage hat. Wir wollen letztlich die optimale Betriebstemperatur kennen lernen, um einerseits möglichst hohe betriebliche Energieeinsparungen zu haben und andererseits auch bei hohen Temperaturen eine lange Produktlebensdauer sicherzustellen“, sagt Chandrakant Patel.

Die Implementierung von Dynamic Smart Cooling-Technologie im Rechenzentrum in Bangalore erfolgte kooperativ durch die HP-Labs in Palo Alto und das Team der HP-Systems-Technologie-Software-Abteilung in Bangalore. Heute hat Patel in Palo Alto über das Internet vollen Zugriff auf das Dynamic Smart Cooling-System in Bangalore. Die HP-Labs können so an der Optimierung des Systems mitwirken und aus Erfolgen und Fehlern direkt lernen. Wenn er gefragt wird, ob die Manager von Rechenzentren neue Ansätze für Energieeinsparung akzeptieren würden, macht er auf eine Erfahrung aufmerksam, welche er vor einigen Jahren gemacht hat: „Bei einer Rede während einer Konferenz vor IT- und Facility-Managern 2002, habe ich auf die Idee von Energieeffizienz in Rechenzentren hingewiesen und numerische Modellierungen und Kontrollen zur Steigerung der Temperatur dargelegt sowie auf die Minderung von thermodynamischer Arbeit und die Reduzierung von Luft- und Arbeitsfluss hingewiesen. Einer der Teilnehmer merkte daraufhin an, dass kein Manager eines Rechenzentrums seinen Job verlieren würde, weil er Energie verschwendet, sehr wohl aber, wenn das IT-System zusammenbricht. Heute ist klar, dass beide Gründe zur Entlassung des Rechenzentrum-Managers führen können!“

Server Based Computing am Gymnasium Humboldtschule Hannover



Studiendirektor Claus-H. Schröder am Server Rack der Humboldtschule

Wie in vielen Schulen gab es im Gymnasium Humboldtschule Hannover vor wenigen Jahren überhaupt kein Rechenzentrum. Aber die Zahl der PCs nahm beständig zu. Begonnen hat alles in den 90er Jahren. „Als wir nur einen Raum und 15 Rechner hatten, da hat das alles genau eine Lehrkraft gemacht,“ berichtet der EDV-Verantwortliche der Schule, Studiendirektor Claus-H. Schröder.

Aber dann ist die Zahl der PCs kontinuierlich größer geworden. Für erste Netzwerkfunktionen wurden im Laufe der Zeit zwei Server angeschafft und die PCs vernetzt. Heute stehen in der Schule ungefähr 100 Computerarbeitsplätze, aber es sind keine PCs mehr. Der Wartungsaufwand für Einzel-PCs sprengte alle Dimensionen. Zuletzt, vor der Aufrüstung des Rechenzentrums, machte das ständige Wiederhochfahren abgestürzter PCs den verantwortlichen Fachlehrern und der mittlerweile zusätzlich beschäftigten 1-€-Kraft soviel Arbeit, dass oft 30 % der Computer nicht funktionsfähig waren. An manchen Stellen musste bis 3 Monate gewartet werden, bis ein eigentlich pädagogisch sinnvolles Gerät wieder funktionierte. So sollte es nicht weitergehen. „Wir haben es einfach vom Zeitbedarf her nicht mehr geschafft, einhundert Rechner lokal als Einzelplatzlösung zu installieren,“ sagt Schröder.

Im Frühjahr 2007 entwickelten Schröder und sein Kollege den Plan, zusätzliche Server anzuschaffen und die PC-Flotte der Schule in Terminalarbeitsplätze zu verwandeln, in denen keine eigene Software

Daten & Fakten

Betreiber: Gymnasium Humboldtschule Hannover

Standort: Hannover

Fläche: 28 m²

Serveranzahl: 7 Server, 94 CPUs

Funktion: Rechenzentrum für sämtliche pädagogische Software und Verwaltungssoftware

Durchschnittliche Serverauslastung 2008: 5 % bis 10 %, in Spitzen 30 %

Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE Leistung): 86 % (PUE power = ca. 1,16)

Energieverbrauch im Vergleich zu einer konventionellen Lösung: 50 %.

Internet: www.humboldtschule-hannover.de

mehr läuft, sondern die nur noch den Datenverkehr zwischen Server, Tastatur und Bildschirm organisieren. Später sollen diese dann nach und nach durch Thin Clients ersetzt werden, was auf die Dauer die Kosten für Ersatzbeschaffung wie auch den Energieverbrauch senkt und die zu erwartende Lebensdauer der Endgeräte erhöht.

Nun hat in der Humboldtschule der Umweltschutz schon lange eine wichtige Bedeutung. Dem Kollegium war es daher wichtig, auch bei der Gestaltung des Rechenzentrums Forderungen nach energieeffizienten Geräten umzusetzen.

Auf eine entsprechende Ausschreibung bot ein regionales Systemhauses an, Energiesparserver einzusetzen. Der Vergleich der Angebote ergab, dass zusätzlich zu den beiden vorhandenen Servern entweder 5 konventionelle oder 5 energiesparende Server eingesetzt werden müssten. Der Stromverbrauch der Geräte wurde mit ca. 120 Watt konventionell und 35 Watt energiesparend veranschlagt. Der neue Mailserver kommt sogar mit 22 Watt aus. Die Entscheidung fiel zugunsten der Energiesparserver, die in den Sommerferien 2007 installiert wurden.

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Energiesparserver
- ▶ Geplante Migrierung zum Thin Client-System

Durch den geringen Energieverbrauch der Server ist im Kellerraum des Rechenzentrums keine Klimatisierung notwendig. Auch Anfang Juli 2008 wurden nach einer langen Warmperiode im Rechnerraum nur 29 °C gemessen. Da die USV und die während der Wartungszeit betriebene Beleuchtung die einzigen Stromverbraucher sind, die nicht der IT-Hardware zuzurechnen sind, ergibt sich ein PUE-Wert von 1,16.

Heute läuft die gesamte Software der Schule im Rechenzentrum. Das beginnt bei Software für den Mathematik- und Informatikunterricht und geht über Bildbearbeitungsprogramme im Kunstunterricht, Multimediaeinsatz im Sprachunterricht, Internetrecherche bis zu den Verwaltungsprogrammen für die Schulverwaltung und die Stundenplanerstellung. Grundsätzlich gibt es, bis auf wenige Ausnahmen, keine Software mehr auf den Einzelplatzrechnern. Das wesentliche Ergebnis hiervon ist, dass die Störungsmeldungen deutlich abgenommen haben. Die Verfügbarkeit der Computerarbeitsplätze ist von etwa 70 % auf etwa 95 % gestiegen. Über die eingesparte Arbeit für das Wiederhochfahren von PCs sagt Schröder: „Die zeitliche Belastung mag etwas zurückgegangen sein, aber in der Zeit, die mir zur Verfügung steht, kann ich jetzt viel effizienter arbeiten.“

Gegen den Umbau der EDV zu einem rein serverbasierten System gab es keinen Widerstand. Lehrerkollegium und Verwaltung überließen Planung wie Entscheidung komplett den beiden zuständigen Fachlehrern. Letztlich haben sie alle von der neuen Struktur profitiert, da die deutlich höhere Verfüg-

barkeit allen nutzt. Schwierig war es allerdings, die Stadt als Schulträger von der Lösung zu überzeugen. Da die Investitionskosten durch die Stadt zu tragen waren, musste sie von der Wirtschaftlichkeit der Lösung überzeugt werden. Dabei spielte die Aufrechterhaltung einer hohen Verfügbarkeit der EDV eine wichtige Rolle. Die Tatsache, dass die ca. 23.000 € teure Serverlösung dabei nur verhältnismäßig moderate Stromkosten von ca. 600 € jährlich erwarten ließ, erleichterte die Entscheidungsfindung und sprach deutlich für die Installation der Energiesparserver, ohne die die Stromkosten doppelt so hoch ausgefallen wären.

Die Verantwortung für den Betrieb wie auch die Energieeffizienz des Rechenzentrums liegt bei den beiden zuständigen Fachlehrern. Zusammen mit der häufig wechselnden 1-€-Kraft übernehmen sie alle Rechenzentrumsaufgaben für die Schule mit ihrem Kollegium aus 90 Lehrerinnen und Lehrern. Da die überdurchschnittliche Energieeffizienz sich aus der vorhandenen Infrastruktur und nicht durch eine bestimmte Betriebsweise ergibt, sind bisher weder spezielle Verantwortlichkeiten noch regelmäßige Verbrauchsmessungen eingeführt worden.

Perspektivisch ist mit einem weiteren Ausbau des Rechenzentrums zu rechnen. Durch die in absehbarer Zeit beginnende Ausstattung einzelner Klassen mit Notebooks, auf denen ebenfalls ein Client installiert wird, wird die Nutzung des Rechenzentrums zunehmen. Der weitere Ausbau des Rechenzentrums könnte dabei durch die bisher nicht eingesetzte Virtualisierung noch effizienter werden.



Der Energiesparserver

Hohe Energieeinsparung durch freies Kühlen im NetApp-Rechenzentrum in Sunnyvale



Dave Shroyer, Controls engineer im NetApp Rechenzentrum in Sunnyvale, Kalifornien

Daten & Fakten

Betreiber: NetApp
Standort: Sunnyvale, Kalifornien
Fläche: 676 m²
Funktion: Rechenzentrum für firmeninterne Anwendungen und IT-Testing
Zertifikate des Gebäudes: LEED Green Building Rating System™
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE) 2006: 67 % (PUE = 1,48)
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE) 2007: 84 % (PUE = 1,19)
Gesamtenergieverbrauch 2006: 6.051.709 kWh
Gesamtenergieverbrauch 2007: 6.764.350 kWh
Internet: www.netapp.com.

Die Nutzung der Außenluft zur Kühlung kann zu großen Energieeinsparungen führen. Das zeigt das Rechenzentrum der Firma NetApp am Hauptsitz in Sunnyvale, Kalifornien. NetApp ist Marktführer für Speicher- und Datenmanagement-Lösungen und wurde 1992 gegründet. Das Unternehmen hat heute mehr als 8.000 Angestellte und 130 Büros weltweit. Das kalifornische Unternehmen ist Mitglied im Nasdaq 100. 2008 wurde NetApp für seine effizienten Speichertechnologien sowie für die Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs seiner Rechenzentren ausgezeichnet. NetApp gewann außerdem 2008 den Green Enterprise IT Award des Uptime Instituts.

Die Energieeinsparungsmaßnahmen, die NetApp in seinem Rechenzentrum in der Hauptverwaltung in Sunnyvale umgesetzt hat, wurden maßgeblich durch zwei Dinge ausgelöst: erstens, durch die Umweltziele, die sich NetApp im Rahmen seines betrieblichen Umweltmanagementsystems gesetzt hat. Das System wurde 2004 eingeführt und nach ISO 14001 zertifiziert. Im betrieblichen Umweltprogramm wurde ein Energieeinsparungsziel von 2 % pro Jahr für das gesamte Unternehmen festgelegt. „Das festgelegte Ziel spornte uns an, nach zusätzlichen Energieeinsparpotenzialen Ausschau zu halten“, sagt Dave Shroyer, Steuerungs-Ingenieur bei NetApp und verantwortlich für die Gebäudeinfrastruktur im NetApp Hauptquartier in Sunnyvale.

„Ein zweiter Grund, nach neuen Energieeinsparpotenzialen zu suchen, war das Energy-Watch-Programm der Silicon Valley Leadership Group, bei der NetApp Mitglied ist.“

2006 stellte NetApp ein organisations- und funktionsübergreifendes Team zusammen, um den Energieverbrauch zu reduzieren und die Energieeffizienz im Rechenzentrum zu steigern. „Es braucht ein gutes Team und besonders eine enge Zusammenarbeit zwischen IT-Leuten einerseits und Gebäude- und Infrastrukturingenieuren andererseits. Das sind zweifellos wesentliche Erfolgsfaktoren für die Ausarbeitung und Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in Rechenzentren“, sagt Dave Shroyer. Das NetApp-Team tauschte Ideen und Know-How aus und entwickelte effiziente Speicherlösungen und ein innovatives Konzept für die Aufstellung der Rechner

Maßnahmenschwerpunkte

- ▶ Erhöhung der Server-Zulufttemperatur
- ▶ Drahtlose Sensoren, um ein intelligentes Luftstrommanagement im Serverraum zu ermöglichen
- ▶ Freie Kühlung
- ▶ Trennung der heißen und kalten Bereiche durch Kunststoffvorhänge und -platten

und Racks. Auf diese Weise konnten die Energieeffizienz gesteigert und die Kühlsysteme des Rechenzentrums optimiert werden. Zu den Maßnahmen, die zwischen Mai und Juli 2007 umgesetzt wurden, zählt das „Data Center Cooling Control Program (DCCCP)“. Dieses umfasste folgende Aktivitäten:

- ▶ Heißgang-Kaltgang-Trennung durch Kunststoffvorhänge und -platten,
- ▶ Installation einer Reihe drahtloser Temperatursensoren an den IT-Racks, um die Klimatisierung auf Basis der Messwerte zu steuern, wobei Messpunkte in den Warmgängen der Kontrolle des Luftflusses dienen,
- ▶ Steuerung der Ventilatoren auf Basis der Temperaturmesswerte in den Kaltgängen.

Das Hauptergebnis dieser Maßnahmen war, dass durch die Vorhänge die Vermischung von Kalt- und Warmluft wesentlich reduziert wurde. Vor der Installation bestand ein Temperaturunterschied zwischen den warmen und kalten Bereichen von etwas über 3 °C. Die Montage der Vorhänge erhöhte diesen Temperaturunterschied auf mehr als 12 °C. Dies bedeutet, dass sich der Wärmeaustausch um den Faktor 3 verbessert hat. Als direkte Folge der Montage der Vorhänge wurde eine Kühllastreduktion von 41 kW festgestellt.

Ein weiteres Schlüsselergebnis bestand darin, das Blockheizkraftwerk zeitweise zu deaktivieren und in bestimmten Phasen des Jahres ausschließlich frei zu kühlen. Im Laufe des Jahres 2007 wurde das Klimatisierungssystem in einer fünftägigen Testphase ohne Blockheizkraftwerk betrieben, um mit den gewonnenen Daten die Einsparungen zu errechnen. Laut Berechnungen von NetApp führt das Maßnahmenbündel zu jährlichen Energieeinsparungen von 1.160.000 kWh und einer Reduzierung von jährlichen Energiekosten von 134.400 US-\$. Dies stellt eine Reduzierung von 19,2 % gegenüber dem Vorjahr dar. Der Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums im Jahr 2006 lag bei 6.051.709 kWh, was zu einer Verbesserung der Rechenzentrums-Energieeffizienz (DCIE) von 67 % 2006 auf 84 % 2007 führte. Das Rechenzentrum übertrifft damit schon heute den DCIE-Wert, den das US-amerikanische Umweltbundesamt (EPA) in seinem Best-Case-Szenario für 2011 als Branchenstandard angenommen hat.



Kunststoffvorhänge zur Trennung kalter und heißer Gänge

Darüber hinaus erhöhte NetApp drastisch die Speicherausnutzung und verringerte den Energieverbrauch durch innovatives Datenmanagement und -design. NetApp verdichtete ihre Speichersysteme und tauschte 50 alte Systeme gegen 10 NetApp® Speichersysteme aus und steigerte so die Kapazitätsauslastung auf mehr als 60 %.

Trotz der Tatsache, dass die Energieeffizienz substantiell verbessert wurde, ist der Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums in der NetApp Hauptniederlassung in Sunnyvale von 6.051.709 kWh 2006 auf 6.764.350 kWh 2007 gewachsen. Der gleichzeitige Anstieg der Energieeffizienz und des Gesamtenergieverbrauchs mag zwar widersprüchlich klingen, ist aber mit dem Zuwachs an Server- und Speichereinheiten zu erklären. Dave Shroyer zieht folgenden Rückschluss: „Der Anstieg des Energieverbrauchs läge viel höher, wenn wir keine Energieeffizienzmaßnahmen in den Kühl- und Klimaanlagen in unserem Rechenzentrum ergriffen hätten. Die Arbeit des IT-Teams zur Kapazitätsplanung und zum Energiemanagement war dabei sehr wertvoll.“

Konsolidierung und Virtualisierung der Rechenzentren der Stadtverwaltung Kopenhagen



Rechenzentrums-Team der Stadt Kopenhagen

Bis 2008 unterhielt die Stadtverwaltung Kopenhagen 15 kleine Rechenzentren. Die Gesamtzahl der in diesen Rechenzentren verfügbaren Server belief sich auf ca. 700; der Stromverbrauch summierte sich auf 1,4 Mio. kWh im Jahr. Letztlich erschien diese Struktur nicht effizient. Im Jahr 2007 wurde daher entschieden, die IT in einem neuen, gemeinsamen Rechenzentrum zu zentralisieren.

Die neue IT-Einheit wurde noch im Jahr 2007 mit 250 Beschäftigten ins Leben gerufen. 20 von ihnen arbeiten direkt für die Server, das Storage Area Network und den Betrieb des Rechenzentrums. Die IT-Einheit ist für alle IT-Aufgaben der Stadtverwaltung mit ihren 40.000 Beschäftigten verantwortlich, von denen 20.000 bis 25.000 häufige IT-Nutzer sind.

In einem der ersten Projekte ging es darum, die 15 kleinen Rechenzentren in einem gemeinsamen neuen Rechenzentrum zu konsolidieren, für das zwei Serverräume (180 m² und 50 m² groß) zur Verfügung standen. Für das Management dieses Projektes wurde die interne Consultingeinheit der Stadtverwaltung hinzugezogen. Andreas Hare wurde als interner Consultant eingesetzt. Die wesentlichen Ziele des Projektes waren die Einsparung von Kosten und die Steigerung der Arbeitseffizienz. Das Projekt startete noch 2007 und das neue Rechenzentrum wird Anfang 2009 seine Arbeit in vollem Umfang aufgenommen haben.

Daten & Fakten

Betreiber: Stadtverwaltung Kopenhagen

Standort: Kopenhagen

Fläche: 230 m²

Serveranzahl: vor dem Projekt 700, danach 80 Server

Funktion: Zentrale Applikationen der Stadtverwaltung

Durchschnittliche Serverauslastung vor dem Projekt:

< 20 %, danach ca. 70 %

Energieeinsparung: 75 %.

Internet: www.kk.dk

Zunächst wurde ein Team zusammengestellt und eine Statusanalyse der vorhandenen IT mit ihrer Soft- und Hardware durchgeführt. Die Statusanalyse kam zu dem Schluss, dass auf 650 der 700 vorhandenen Servern Applikationen liefen, die sich für eine Virtualisierung eignen würden. Auf 50 der alten Maschinen liefen Programme, deren Virtualisierung schwierig oder unangemessen kompliziert erschien. Damit wurde ein Bedarf an einer Virtualisierungssoftware klar. Weiter waren neue Server zu beschaffen. Parallel war auch Energieeffizienz für Andreas Hare und das Team immer ein Thema: „Man kann sagen, dass Energieeffizienz Geld spart. Wir haben das Thema häufig besprochen und es war ein wesentlicher Teil des Projektes.“

Das Projekt trägt auch zur Realisierung der Klimaziele von Kopenhagen bei, die die CO₂-Emissionen bis 2015 um 20 % senken wollen. Allein der verringerte Energieverbrauch der Server reduziert die CO₂-Emissionen um ca. 1.000 t pro Jahr.

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ **Konsolidierung**
- ▶ **Virtualisierung**
- ▶ **Freie Kühlung**
- ▶ **Energieeffiziente Server**
- ▶ **Heißgang- / Kaltgangtrennung**

IT-Lieferanten stießen zum Team hinzu, um die Detailplanung zu unterstützen. Ein weiterer Lieferant im Team vertrat die Infrastrukturkomponenten, wie Stromversorgung, Racks und Kühlung. Bedauerlicherweise erwies sich die Zusammenarbeit von IT-Lieferanten und Infrastrukturlieferant zuerst als problematisch. Erst im Laufe einer größeren Zahl von Meetings und wiederholter Diskussion der wichtigen Themen, begannen alle Beteiligten an einer gemeinsamen Lösung konstruktiv mitzuarbeiten.

Das Ergebnis des Planungsprozesses war ein Virtualisierungs- und Konsolidierungskonzept: „Ungefähr 650 Server werden auf 32 Maschinen virtualisiert, wodurch die Serverzahl um den Faktor 20 sinkt“, beschreibt Andreas Hare den Plan. Mit weiteren ungefähr 30 bis 50 Servern, die zunächst nicht virtualisiert werden, ergibt sich für das neue Rechenzentrum eine Gesamtzahl von 60 bis 80 Servern, auf denen in Zukunft sämtliche Anwendungen der Stadtverwaltung Kopenhagen laufen werden. Die durchschnittliche Serverauslastung wird von unter 20 % auf ca. 70 % steigen. Der erwartete Energieverbrauch der beiden neuen Serverräume wird bei 300.000 kWh bis 400.000 kWh pro Jahr liegen, was einer Energieeinsparung von 75 % bis 85 % entspricht.

Im Laufe des Prozesses wurde auch die Infrastruktur optimiert. Die Server wurden in 2 Reihen von Racks eingebaut, zwischen denen sich ein abgetrennter Warmgang mit einer Temperatur von meist über 30 °C befindet. Um die Racks herum befindet sich der Kaltbereich, der auf 22 °C gehalten wird.

Das Kühlen erfolgt meist als freies Kühlen. Rückkühler sind im Schatten an der Nordseite des Gebäudes aufgestellt und ermöglichen dem System bei Außentemperaturen unterhalb von 16 °C das freie Kühlen. In Kopenhagen sind solche Temperaturen 8 Monate im Jahr gegeben. Eine Kompressionskühlanlage übernimmt die Kühlung für den Teil der Temperaturdifferenz, für den die freie Kühlung nicht ausreicht.

Im Laufe des Projektes wurde beschlossen, die Abwärme nicht zu nutzen. Es gab keine ökonomisch machbare Möglichkeit, einen Wärmestrom von 30 °C nutzbringend einzusetzen.

Die Stromversorgung erfolgt durch das Kopenhagener Stromnetz. Eine Generatoranlage dient der Überbrückung von Netzausfällen. Zusätzlich wurde eine unterbrechungsfreie Stromversorgung mit hoher Effizienz von 94 % eingebaut.

Da die Hauptziele des Projektes die Einsparung von Kosten und die Steigerung der Arbeitseffizienz waren, gibt es keinen Verantwortlichen für Energieeffizienz. Dennoch war Energieeffizienz immer und besonders in Verhandlungen mit Lieferanten ein wichtiges Thema.

Letztlich wird durch die Maßnahmen eine Strommenge von ca. 1 Mio. kWh jährlich eingespart, was zu einer Kostenreduktion von jährlich 220.000 € führen wird. Die gesamten Einsparungen des neuen Rechenzentrums im Vergleich zur früheren Struktur werden mindestens 600.000 € jährlich betragen. Im Verhältnis zum gesamten zukünftigen IT-Budget von ca. 3 Mio. € wird damit eine wesentliche Kostensenkung erreicht.



Dell R 900 Server, der durch Virtualisierung 20 alte Server ersetzt

Die Vision vom „1%-Rechenzentrum“ der b.r.m. Technologie und Managementberatung Bremen



Harald Rossol, Gründer der b.r.m. Technologie- und Managementberatung, vor dem Blade-Server

Daten & Fakten

Betreiber: b.r.m.
Standort: Bremen
Fläche: 48 m²
Serveranzahl: 56 Blade-Server
Funktion: IT-Hosting für Dienstleistung und Gewerbe
Durchschnittliche Serverauslastung 2007: 50 bis 60 %
Energieverbrauch 2007: 62.000 kWh
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE): 80 % (PUE = 1,25)
Energieverbrauch 2003 - 2007: - 48 %
Internet: www.brm.de

Das Unternehmen b.r.m. – business resource management Technologie- und Managementberatung – betreibt seit 1994 ein Rechenzentrum, auf welchem verschiedenste Anwendungen für Kunden aus Dienstleistung und produzierendem Gewerbe laufen. Schon vor 2003 wurden erste Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz getroffen. So wurde die Klimaanlage regelmäßig gewartet, eine optimale Luftzirkulation ermöglicht und es erfolgte eine regelmäßige Kontrolle der Lüfter.

Aber diese Maßnahmen befriedigten den Gründer von b.r.m., Harald Rossol, im Februar 2003 nicht mehr. Wieder schien eine Erweiterung der Klimaanlage notwendig: „Ich stand im Serverraum und ärgerte mich. Es kann nicht sein, dass wir für den Betrieb unserer Server 1 kWh elektrische Leistung in den Server stecken und dann die gleiche oder noch eine höhere Menge an elektrischer Energie in die Entsorgung der Hitzeentwicklung stecken.“ Harald Rossol hat seinen Ärger nicht runtergeschluckt, sondern damit angefangen, sein Rechenzentrum komplett umzubauen. „Es schien uns einfach widersinnig, Technik, die enorm viel Wärme produziert, durch noch mehr Technik zu ergänzen, die den Raum wieder abkühlt“.

Dabei stellt Harald Rossol recht schnell fest, dass sich Angaben zu Wirkungsgraden, empfehlenswerten Raumtemperaturen und anderem mehr in der Literatur und im Vergleich verschiedener Lieferanten widersprachen. „Wir zogen alles in Zweifel,

wir glaubten nichts!“, so sein Resümee Anfang 2003. Der Umstellungsprozess begann im März 2003 mit der Integration der ersten Blade-Server. Diesen Servertyp wählte Rossol aus, weil er unter thermodynamischen Gesichtspunkten gut konstruiert war und es wahrscheinlich erschien, auch bei ungewöhnlich hoher Raumtemperatur die maximal am Prozessor zulässige Temperatur nicht zu überschreiten. Ein Blade-Server ersetzte ca. 14 konventionelle Server. Diese Maßnahme wurde begleitet von der sukzessiven Anhebung der Raumtemperatur von ursprünglich 21 °C auf heute 33 °C bis 35 °C. Die Erhöhung der Raumtemperatur wurde begleitet durch umfangreiche Messmaßnahmen, mit denen verschiedene Temperaturniveaus an den Servern überwacht wurden. Und bis heute gab es keine temperaturbedingten Ausfälle der IT-Hardware. Rossol spitzt es zu: „Es geht zu wie beim Spinat: Die Aussage, dass in einem Rechenzentrum 21 °C herrschen müssen, ist exakt genauso falsch wie die abgesicherte wissenschaftliche Erkenntnis, dass Spinat besonders viel Eisen enthält.“

Maßnahmenswerpunkte

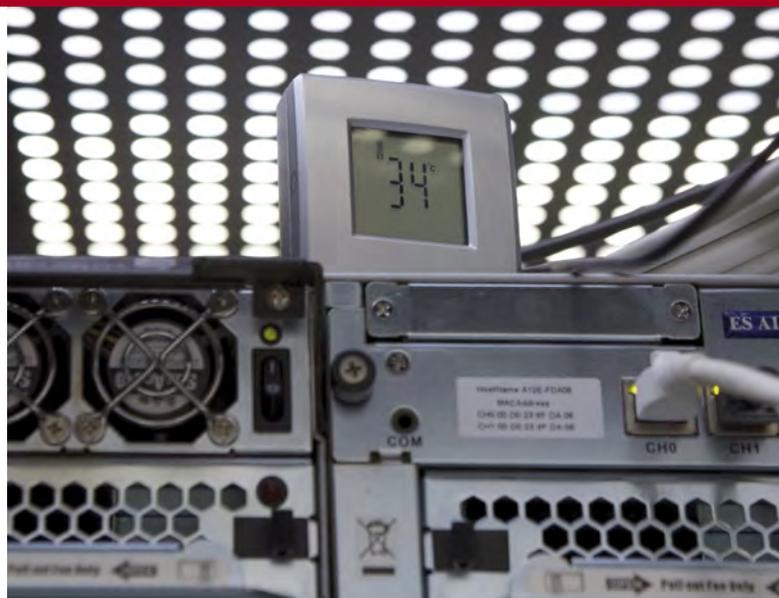
- ▶ Erhöhte Raumtemperatur
- ▶ Abwärmenutzung zur Büroflächenheizung mit Lüfter
- ▶ Freie Kühlung fast ganzjährig
- ▶ Virtualisierung

Gegen hohe Temperaturen wird oft eingewendet, man könne diese den Monteuren nicht zumuten. b.r.m. löst dies planerisch. Vor geplanten Montagearbeiten wird das Rechenzentrum innerhalb von 6 bis 8 Stunden oder über Nacht auf eine erträgliche Temperatur heruntergekühlt. Und Wartungsarbeiten am Server erfolgen heute generell über Fernwartung. „Und das zweite Szenario: totaler Crash einer Festplatte. Da geht einer rein, zieht die Festplatte raus, schiebt eine Neue rein, dauert zwei Minuten. Das geht auch bei 35 °C“, sagt Rossol.

Die hohe Raumtemperatur macht das Rechenzentrum zur Heizzentrale. Die Firma mit ihren zzt. 8 Angestellten ist seit 2006 in einem 6 m hohen Loft an der Weser in Bremen angesiedelt. Das Rechenzentrum, 56 Blade-Server mit 200 CPUs, steht als 48 m² großer Quader in der Mitte des Raumes. Und das Rechenzentrum ist über eine steuerbare Lüfteranlage bis zu -7 °C die einzige Heizung für das Loft. Nur unterhalb dieser in Bremen seltenen Temperatur muss zusätzlich geheizt werden. Und die hohe Temperatur des Rechenzentrums macht es auch möglich, mit Ausnahme weniger Spitzenlastzeiten und einiger Sommertage mit Außentemperaturen über 25 °C ohne Kühlanlage zu fahren. Das Ergebnis ist ein PUE-Wert von 1,25.

Neben dem richtigen Servertyp und einer hohen Raumtemperatur sind Rossol zwei weitere Aspekte besonders wichtig. Zum einen effiziente Netzteile, die bei geringen Mehrkosten weitere Einsparungen ermöglichen. Zum anderen ist dies die Virtualisierung der Anwendungen. Lag vor der Virtualisierung die durchschnittliche Serverauslastung bei 5 bis 20 %, so sind heute minimal 40 %, maximal 80 % und durchschnittlich 50 bis 60 % Auslastung erreicht.

Rossol sieht sich als Inhaber und Geschäftsführer von b.r.m. auch als verantwortlich für die Energieeffizienz. Dies hat seinen Grund, denn die innovativen Erfahrungen, die b.r.m. gesammelt hat, eröffnen auch Märkte in der Green-IT-Beratung. Auf dem Weg waren für b.r.m. dabei viele Partner wichtig, Installateure, Klimaspezialisten, IT-Fachleute. Nur gemeinsam mit seinem Team konnte er seine Visionen verwirklichen. Aber ganz hat er es noch nicht geschafft: „In einigen Jahren will ich das 1%-Rechenzentrum realisiert haben. Ein Rechenzentrum, welches dieselbe Rechenleistung wie 1998 mit nur noch einem Hundertstel der Energie erbringt.“ Denn habe ihn noch 2003 so mancher ausgelacht, wenn er 40 % geringeren Energieverbrauch anstrebte, so ist dies längst erreicht und auch die



34°C im Rechenzentrum

Zweifler sind längst verstummt. In den Jahren 2009 bis 2010 will Rossol noch eine Reihe von Maßnahmen umsetzen und seinem Ziel damit wieder ein deutliches Stück näherkommen.

Die Energieeinsparung aller Maßnahmen liegt bisher bei ca. 65 %. Zur Dokumentation werden Stromverbrauch, Temperatur und Feuchtigkeit innen und außen ständig gemessen. Das energiesparende High-End-Rechenzentrum ist neben seinem Hauptnutzen, rund 50 % weniger Stromverbrauch, durch zahlreiche Synergieeffekte geprägt:

- ▶ der Energiebedarf der Heizungsanlage sinkt,
- ▶ minimalste Geräuschemissionen und hoch integrierte Server ließen eine völlig neue bauliche Integrationen zu,
- ▶ eine sehr effiziente Serververwaltung senkt Personalkosten,
- ▶ der Imagegewinn bringt neue Kunden.

Um den Imagevorteil noch deutlicher zu machen, wird zzt. eine Energieverbrauchs-zertifizierung geplant. Auch Kostenvorteile ergeben sich durch den sinkenden Stromverbrauch. Dieser ist von rund 120.000 kWh 2003 auf 62.000 kWh 2007 gesunken, obwohl in der gleichen Zeit die Rechenkapazität um 30 % erhöht wurde. Die Stromkosten wurden auf diese Weise um etwa 11.000 EUR im Jahr gesenkt. Letztlich betragen die Energiekosten nur noch 10 % der Betriebskosten des Rechenzentrums. Weiterhin werden pro Jahr ca. 3.000 EUR an Heizkosten und Warmwasserkosten eingespart. Durch die geringere Beanspruchung der Klima- und Kältetechnik im Gebäude werden ca. 2.000 EUR jährlich eingespart.

Das klimaneutrale Rechenzentrum EvoSwitch in Amsterdam



Laurens Rosenthal, Mitgründer und Innovationsverantwortlicher bei EvoSwitch

EvoSwitch ist ein Co-Location-Rechenzentrum in dem viele Carrier, ISPs und Internet Ex-changes im Großraum Amsterdam angesiedelt sind. EvoSwitch wurde 2006 gegründet. Die Muttergesellschaft OCOM (www.ocom.com) hat heute 90 Beschäftigte, davon 25 im Rechenzentrum. Das Gebäude des Rechenzentrums wurde zur Zeit des New Economy Hypes um die Jahrtausendwende herum errichtet, damals aber überhaupt nicht in Betrieb genommen, da der Betreiber in den Konkurs ging.

Im Jahr 2006 formierte sich eine Gruppe aus drei erfahrenen IT-Hostern, die sich mit einem eigenen Rechenzentrum selbständig machen wollten. Laurens Rosenthal gehört als Innovationsverantwortlicher zu den Gründern. Die Gruppe erwarb das halbfertige Rechenzentrum und begann mit einer grundsätzlichen Neuplanung der Technik. Leitgedanke war dabei, ein leistungsfähiges und energieeffizientes Rechenzentrum zu gestalten. Der Neustart war dabei auch von Vorteil, da man unabhängig von gewohnheitsmäßig „erprobten Technologien“ war und quasi auf der grünen Wiese planen konnte.

Zusammengearbeitet wurde mit dem Niederländischen Institut für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO), aber auch mit vielen Spezialisten aus dem Sektor. In der Planung wurde schnell klar, dass die gesamte, bereits installierte Infrastruktur in Frage gestellt werden musste. So wurde die vorhandene Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) als zu ineffizient beurteilt und er-

Daten & Fakten

Betreiber: EvoSwitch

Standort: Amsterdam

Fläche: 9.000 m²

Serveranzahl: zzt. 14.000 Server, Ziel ca. 40.000 Server

Funktion: IT-Hosting für Internetanbieter

Durchschnittliche Serverauslastung Mitte 2008: je nach Kunde unterschiedlich

Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz DCIE Anfang 2007: 56 % (PUE = 1,8)

DCIE 2008: 63 % (PUE = 1,6)

DCIE geplant (Endzustand): 83 % (PUE = 1,2)

Energieverbrauch 2007: 44.000.000 kWh

Internet: www.evoswitch.com

setzt. Rosenthal erinnert sich: „Es gab eine USV in der bereits installierten Infrastruktur. Leider entsprach sie im Test nicht unseren Erwartungen an die Effizienz. Auch zeigte sie sich sehr wartungsanfällig und nicht zuverlässig genug. Im Endeffekt haben wir diese USV ausgebaut und ersetzt.“ Heute arbeitet bei EvoSwitch eine USV mit Delta Conversion und einem Wirkungsgrad von ca. 97 %.

Der Ausbau von EvoSwitch erfolgt in drei Phasen. Anfang 2007 wurden die ersten 2.000 m² mit etwa 900 Racks in Betrieb genommen. Eine gleichgroße Fläche konnte im Sommer 2008 in Betrieb genommen werden. In der dritten und letzten Phase werden weitere 5.000 m² in Betrieb folgen.

Für die Gesamteffizienz des Rechenzentrums ist dabei die Trennung von Kalt- und Warmgängen wichtig, denn nur über deren konsequente Trennung werden die hohen Temperaturen möglich. Die Kaltgänge werden mit Luft von 24 °C versorgt, in den Warmgängen herrschen Temperaturen von ca.

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Effizienzorientierte Gesamtplanung
- ▶ Hohe Temperaturen in den Warmgängen und freie Kühlung
- ▶ Energiekosten werden den Kunden in Rechnung gestellt

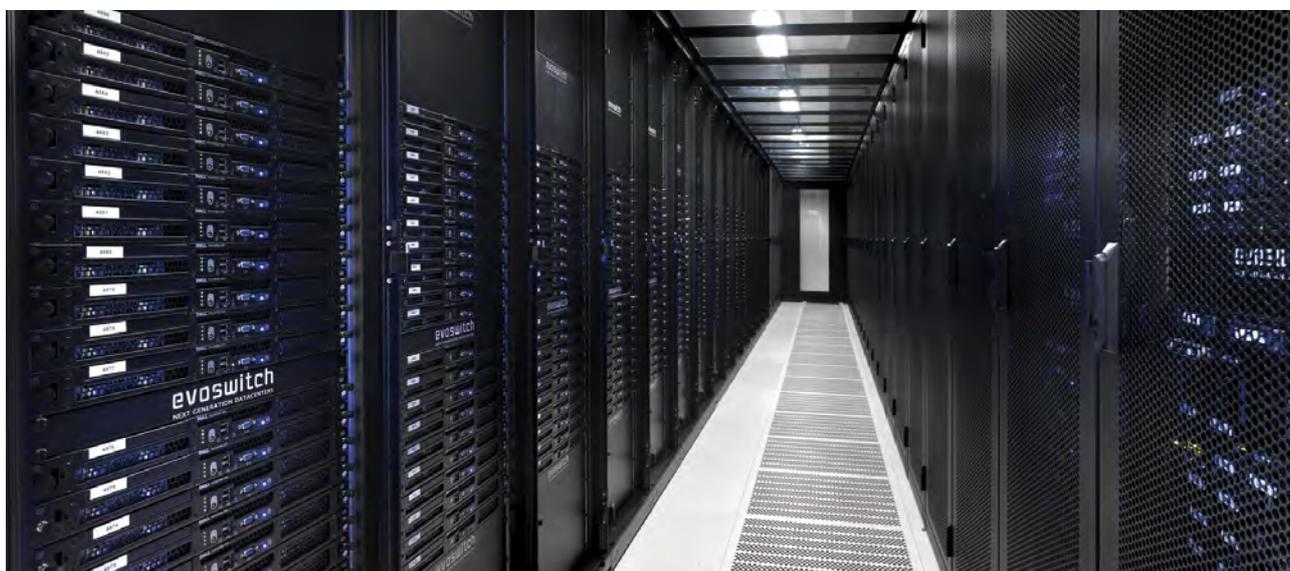
35 °C. Diese hohen Temperaturen in den Warmgängen wiederum ermöglichen es, einen großen Teil der Wärme nicht über Kältemaschinen, sondern über freie Kühlung abzuführen. Der COP-Wert der Kühlung konnte so schon auf einen Wert von etwa 9 gesteigert werden, d.h. mit jedem kW elektrischer Leistung können 9 kW Wärmeleistung abgeführt werden. Dabei hat EvoSwitch eine freie Kühlung einbauen lassen. Ein energiesparendes Kühlkonzept, bei dem auf geschickte Weise kühle Außenluft benutzt wird. Bei den Temperaturen, wie sie in den Niederlanden herrschen, ist der Kompressor so nur noch 200 Stunden pro Jahr nötig. Zurzeit entwickelt und testet EvoSwitch neue Methoden der freien Kühlung, mit denen mit Inbetriebnahme der letzten 5.000 m² ein COP von über 20 erreicht werden soll. Dabei sollen, so Rosenthal, „alle Wärmesenken genutzt werden, die Mutter Natur in Holland hergibt.“

Die effiziente USV sowie die sukzessive Verbesserung der Kühlung ermöglichen eine kontinuierliche Senkung des PUE-Wertes. Dieser lag bei Inbetriebnahme bei etwa 1,8, im Sommer 2008 sind etwa 1,6 erreicht und das Ziel liegt bei 1,2 bis 1,3 und damit bei einem Wert, der bei einem so großen Rechenzentrum bemerkenswert ist.

Co-Location-Rechenzentren haben grundsätzlich wenig Möglichkeiten, auf die eingesetzte Hardware und deren Energieverbrauch Einfluss zu nehmen. Um dennoch ein energiebewusstes Verhalten der Kunden zu fördern, werden bei EvoSwitch für jeden Kunden Stromzähler eingebaut. Der Stromverbrauch wird nicht nur für jedes Rack einzeln gemessen, sondern dem Kunden auch als Nebenkosten in Rechnung gestellt. Für viele neue Kunden, die von ihrem

bisherigen Rechenzentrum Pauschalpreise mit einer Flatrate für Energie gewöhnt waren, ist das eine Umstellung. Generell sieht EvoSwitch aber Verständnis für die Nebenkostenabrechnung bei den Kunden. „Und für energieeffiziente Rechenzentren sind zukünftig die Fragen effizienter Software, einer konsequenten Virtualisierung sowie effizienter Hardwarekomponenten entscheidend. Unsere Rolle ist, den Kunden zu beraten und sein Lernen zu Fragen der Energieeffizienz zu unterstützen“, so Rosenthal. Auf Seite der Kunden beobachtet Rosenthal zzt. das „roll-out“ der Virtualisierung. Das Interesse an energieeffizienter Hardware ist am Wachsen, die Verfügbarkeit von Benchmarks und eindeutigen technischen Daten ist allerdings noch begrenzt. Letztlich ist das Commitment der drei Gründer zentraler Treiber der Energieeffizienz. Das Thema wird regelmäßig auf den Management- und Designmeetings angesprochen. Neben den Zertifizierungen nach ISO 9.001 (Qualitätsmanagement) und ISO 27.001 (IT-Security) wird daher gegenwärtig auch die Zertifizierung nach ISO 14.001 (Umweltmanagement) angestrebt. Die aufkommenden Verfahren der Energieeffizienz-Zertifizierung werden dagegen erst dann für EvoSwitch interessant werden, wenn deren Bekanntheitsgrad sie für die Kunden wichtig macht.

EvoSwitch ist Mitglied in „The Green Grid“ und bezieht regenerativen Strom aus Wind, Sonne und Biomasse. Um den nicht nachhaltigen Energieverbrauch von EvoSwitch, das sind die Notstromaggregate und Firmenwagen, zu kompensieren, initiiert EvoSwitch Kompensationsprojekte gemeinsam mit der Climate Neutral Group.



Warmgang bei EvoSwitch

Kühlen mit der Erde bei Bechtle in Solingen



Bernhard Margos, Geschäftsführer von Bechtle Solingen, vor SideCooler

Das Systemhaus Bechtle betreibt an seinem Standort in Solingen, wie an anderen Standorten auch, ein kleines Rechenzentrum für die interne IT sowie für die Anwendungserprobung im Kundenauftrag. Im August 2007 begann die Planung einer Maßnahme zur Modernisierung des Rechenzentrums. Ziel war neben der Servervirtualisierung auch die Einführung einer modernen Form der Kühlung.

Zu dieser Zeit stieß Bernhard Margos, Geschäftsführer von Bechtle Solingen, bei einem Kunden auf die geothermische Kühlung von Servern: „Einer unserer Kunden hat sich für diese Form der Klimatisierung entschieden. Wir hatten mit ihm im Vorfeld auch über ein klassisches Klima-Splitgerät gesprochen. Uns hat die Entscheidung dann dazu angespornt, unsere eigene Technik zu modernisieren.“

Fachleute der nordrhein-westfälischen Energieagentur unterstützen Margos in dem Bestreben, auch bei Bechtle eine geothermische Kühlung zu realisieren. Zusätzlich setzt Bechtle auf das Konzept der seitlichen Rackkühlung durch so genannte SideCooler, die eine Abführung hoher Leistungsdichten mit dem Kühlmittel Wasser ermöglichen. Eine ideale Lösung in Kombination mit geothermisch gewonnenem Kühlwasser. Grob geschätzt durfte für die neue Kühltechnologie ein COP von etwa 20 erwartet werden, denn durch eine Pumpleistung von etwa 500 Watt konnte Kühlwasser mit einer Kühlleistung von ca. 10 kW gefördert werden.

Daten & Fakten

Betreiber: Bechtle GmbH

Standort: Solingen

Fläche: 40 m²

Serveranzahl: 6 Server zzgl. Backupserver

Funktion: Interne IT sowie Anwendungserprobung für Kunden

Durchschnittliche Serverauslastung Mitte 2008: 30 - 40 %

Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE):
85 % (PUE = 1,17)

Gesamtenergieverbrauch 2007: ca. 184.000 kWh/a

Gesamtenergieverbrauch 2008: ca. 72.000 kWh/a

Verbrauchsreduzierung von 61 % gegenüber 2007

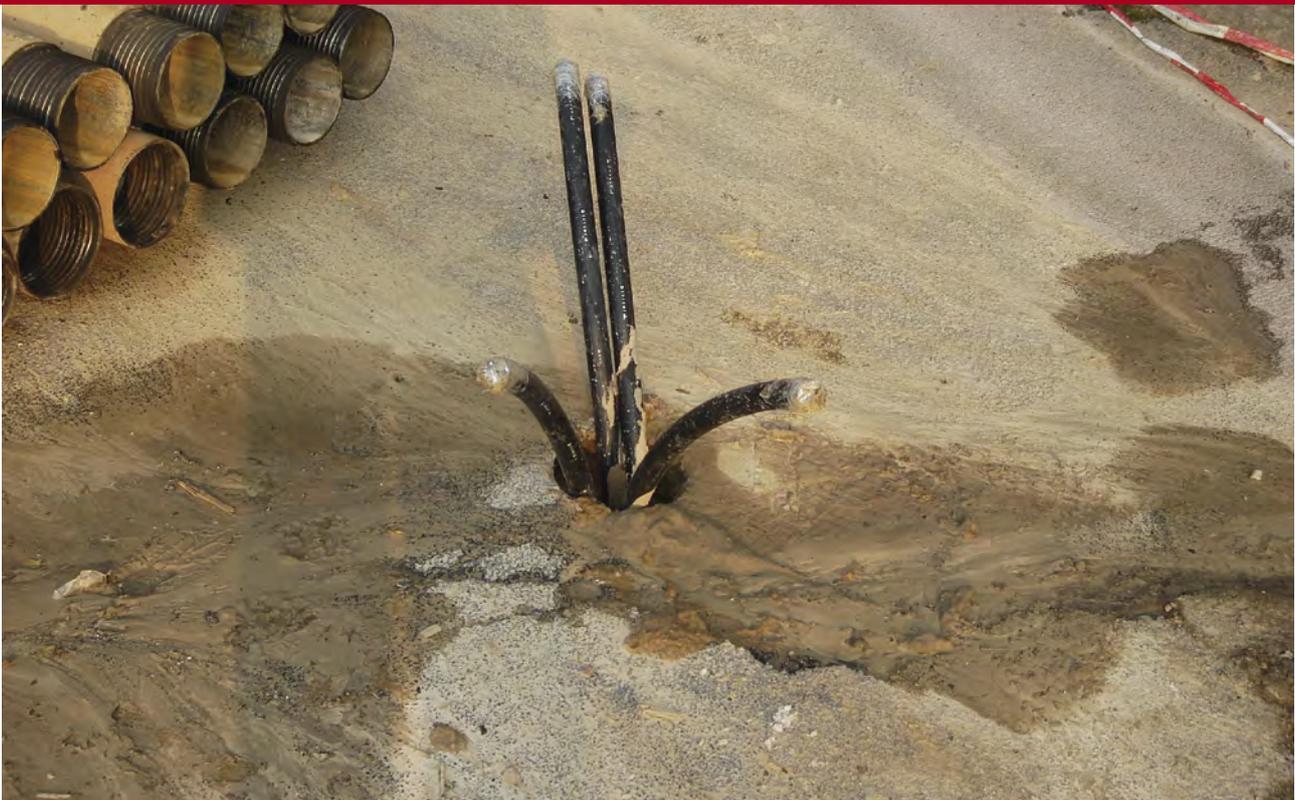
Internet: www.bechtle.com

Gegenüber der Kühlung mit Grundwasser ist eine Genehmigung dieser Technologie weitestgehend unproblematisch. Während eine Autorisierung zur Grundwasserentnahme nur selten erteilt wird, ist die Genehmigung einer geothermischen Anlage längst nicht mehr ungewöhnlich. Zur Wärmeversorgung von Einfamilienhäusern sind allein 2007 etwa 45.000 Wärmepumpenanlagen genehmigt und installiert worden. Zur Bereitstellung der bei Bechtle geplanten Kühlleistung von 12 kW wurden drei Bohrungen von jeweils 80 m Tiefe vorgenommen. Die Bohrungen sind jeweils sechs Meter voneinander entfernt. Zwei redundant arbeitende und über die USV versorgte Zirkulationspumpen halten die Kälteversorgung mit Zugriff auf jeweils verschiedene Bohrungen zuverlässig aufrecht.

Die zwei rechts und links der Rackschränke montierten SideCooler müssen mit einer Vorlauftemperatur von 14 °C versorgt werden, um einen kondensatfreien Betrieb zu ermöglichen. 80 m tief im Erdreich herrschen weitgehend konstante Temperaturen von ca. 11 °C. Die Solemischung kommt daher mit einer Temperatur von ca. 11 °C aus dem Erd-

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Geothermische Wasserkühlung
- ▶ Virtualisierung
- ▶ 2,5"- Festplattentechnik



Hier kommt die Erdkühle raus

reich. Die Vorlauftemperaturregelung sorgt für eine konstante Temperatur von 14 °C, die zu den SideCoolern gelangt. In den SideCoolern wird die Wärme aus den EDV-Komponenten (Server und andere aktive Bauelemente) aufgenommen, wodurch sich die Sole auf ca. 19 °C aufwärmt. Der Rücklauf mit der warmen Sole wird mit Hilfe der Zirkulationspumpe durch die Rohrleitungen in das Erdreich geführt, wo die Wärme wiederum entzogen wird. Infolgedessen wird die warme Sole von 19 °C auf 11 °C heruntergekühlt. Die 11 °C-Sole wird wieder zu den SideCoolern geführt.

Die zweite wesentliche Maßnahme bestand in der Virtualisierung der Server. Seit April 2008 werden auf sechs physischen Blade-Servern mit 22 CPU-Kernen ganze 89 virtuelle Maschinen betrieben. Die Auslastung der Server stieg durch diese Maßnahme von vorher ca. 10 % auf heute 30 bis 40 %. Durch weitere Optimierung der Hardware hält Margos es für möglich, diesen Wert mittelfristig auf ca. 50 bis 60 % zu steigern.

Bei der IT-Hardware entschied sich Bechtle für energiesparende Festplattentechnik der 2,5"-Größe – sowohl für den virtualisierten Speicher als auch für die Blade-Server.

Die kombinierte Maßnahme führte zu einer Reduzierung des Jahresverbrauchs im Rechenzentrum von 184 MWh für 2007 auf etwa 72 MWh. Den größten Anteil steuerte hier die Virtualisierung bei, die zu einem von 126.000 kWh auf 61.500 kWh gesunkenen Stromverbrauch der IT-Hardware führte. Aber auch das neue Kühlkonzept ist von Bedeutung. Wurde 2007 durch die Kühlung mit einem konventionellen Split-Gerät noch ein Stromverbrauch von ca. 50.000 kWh verursacht, sank dieser Verbrauch durch die geothermische Kühlung um über 90 % auf 4.500 kWh. Der PUE-Wert sank durch diese Maßnahmen von ca. 1,46 auf 1,17.

Für das Rechenzentrum verantwortlich ist mit Bernhard Margos der Geschäftsführer selbst, der auch die IT-Abteilung innerhalb des 60 Mitarbeiter starken Standorts leitet. Ziel des Rechenzentrums ist nicht nur die Abarbeitung der internen und externen Anwendungen, sondern das Rechenzentrum dient auch der Erprobung neuer Technologien, um Erfahrung für die Kundenberatung zu sammeln. Für die Zukunft plant Bechtle, die geothermische Kühlung mit einer geothermischen Raumheizung zu verbinden. Auf diese Weise kann auch langfristig sicher verhindert werden, dass sich der Untergrund durch die ständige Zuführung von Wärme langsam erwärmt. Denn im Winter würde den gleichen Bohrlochern zu Heizzwecken wieder Wärme entzogen.

Das integrierte Energiekonzept im Rechenzentrum des Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern



Dr. Franz Josef Pfreundt und der Rechner Pegasus, Nr. 1 der „Green500“-Rankingliste und damit der energieeffizienteste Supercomputer der Welt im Juni 2008

Der Neubau des Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) der Fraunhofer-Gesellschaft in Kaiserslautern wurde 2002 beschlossen. Für die Energieeffizienz des 2006 seiner Bestimmung übergebenen Gebäudes dürfte es ein glücklicher Zufall gewesen sein, dass Dr. Franz Josef Pfreundt nicht nur Leiter des Kompetenzzentrums für High Performance Computing (HPC) und Visualisierung und IT-Leiter des ITWM war, sondern darüber hinaus mit der Koordination der Bauplanung beauftragt wurde. In dieser Funktion konnte er eine Vision umsetzen: eine integrierte Planung des Gebäudes, die zum Ziel hatte den Energieverbrauch zu minimieren, die benötigte Energie effizient einzusetzen, den Primärenergieverbrauch möglichst gering zu halten und ein angenehmes Arbeitsklima zu schaffen. Der Energieverbrauch der IT und die Nutzung der Einbindung der Abwärme des Rechenzentrums waren dabei wesentliche Elemente.

Ausgangspunkt der Maßnahmen waren möglichst passive Maßnahmen am Gebäude, um den Kälte- und Wärmebedarf zu reduzieren sowie die Nutzung von Umweltenergie – kalte Außenluft und Sonnenschein. So wurde sehr frühzeitig die Umstellung auf Thin Client & Server Based Computing angegangen. Die Arbeitsplatz-PCs mit jeweils ca. 80 - 200 Watt Anschlussleistung konnten so durch Thin Clients mit ca. 20 Watt ersetzt werden, was den Kühlungsbedarf in den Büros absenkte. Gleichzeitig konnten die notwendigen Server im Rechenzentrum konsolidiert werden. Dadurch wurde insgesamt der Strom-

Daten & Fakten

Betreiber: Fraunhofer ITWM
Standort: Kaiserslautern
Fläche: 120 m²
Serveranzahl: 180 Server für IT Services, und > 400 im HPC Bereich
Funktion: Interne IT sowie wissenschaftliche HPC-Anwendungen
Durchschnittliche Serverauslastung: Terminalserver 10 %, HPC 70 %
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE): 70 % (PUE = 1,43)
Gesamtenergieverbrauch: ca. 1600 MWh/a
Internet: www.itwm.fraunhofer.de
Green 500: www.green500.org

verbrauch reduziert und die verbleibende Wärmemenge lässt sich zentral effizienter zu Heizzwecken einsetzen. Sie geht damit nicht verloren und muss schon gar nicht ganzjährig teuer wieder „herausgekühlt“ werden.

HPC-Systeme sind extreme Stromverbraucher. 2004 wurden in einem internen Forschungsprojekt Konzepte für ein energieeffizientes HPC-Cluster entwickelt und praktisch getestet. Zur Verbrauchsmessung der Computersysteme wurde der seit 1993 im High Performance Computing etablierte Linpack-Benchmark zur Messung der Rechenleistung eingesetzt. „Da der Test die Maschinen nahe bei 100 % auslastet, ist das gemessene Ergebnis in MFlop/Watt die richtige Messung für HPC-Systeme – man wird kaum einen höheren Stromverbrauch erzielen“, schätzt Pfreundt die Aussagekraft des Tests ein. Es

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ **Kühlung durch Außenluft**
- ▶ **Thin-Client-Einsatz**
- ▶ **Regelung der Ablufttemperatur auf ca. 30 °C**
- ▶ **Abwärmenutzung in den Atrien**
- ▶ **Kälteerzeugung durch Absorptionskältemaschine, die mit BHKW-Abwärme angetrieben wird**
- ▶ **Hardwareauswahl auch unter Energie-Aspekten**

ergab sich ein Energiesparpotenzial von 50 %, wenn alle Komponenten optimiert werden – Lüfter, Lüfterdrehzahl, Netzteile, Low Voltage CPUs und Festplatte. Die Ausschreibung erforderte vom Lieferanten die Messung der Energiekennzahlen. Mit dem neuesten 2008 beschafften System, einem Cell Cluster, schafften es die Kaiserslauterer sogar an die Weltspitze der „Green500“-Liste der energieeffizientesten Supercomputer.

Weiterer Baustein des Energiekonzeptes ist die hohe Ablufttemperatur, die innerhalb des Systems die Regelgröße darstellt. „Bei Inbetriebnahme war die Abluft mit 25 °C abgeführt worden, im Laufe der Zeit haben wir diesen Wert auf 30 °C gesteigert. Überhöhte Temperaturen an den Bauteilen treten dennoch nicht auf. Das überprüfen wir durch Messungen“, sagt Pfreundt. Zwar konnte auch die „kühleren“ Abluft mit 25 °C schon gut zur Erwärmung der Atrien eingesetzt werden, die Erhöhung der Ablufttemperatur ermöglicht aber in einem längeren Zeitraum des Jahres die freie Kühlung, die heute bis 18 °C Außentemperatur durch Zuführung von Frischluft erfolgt.

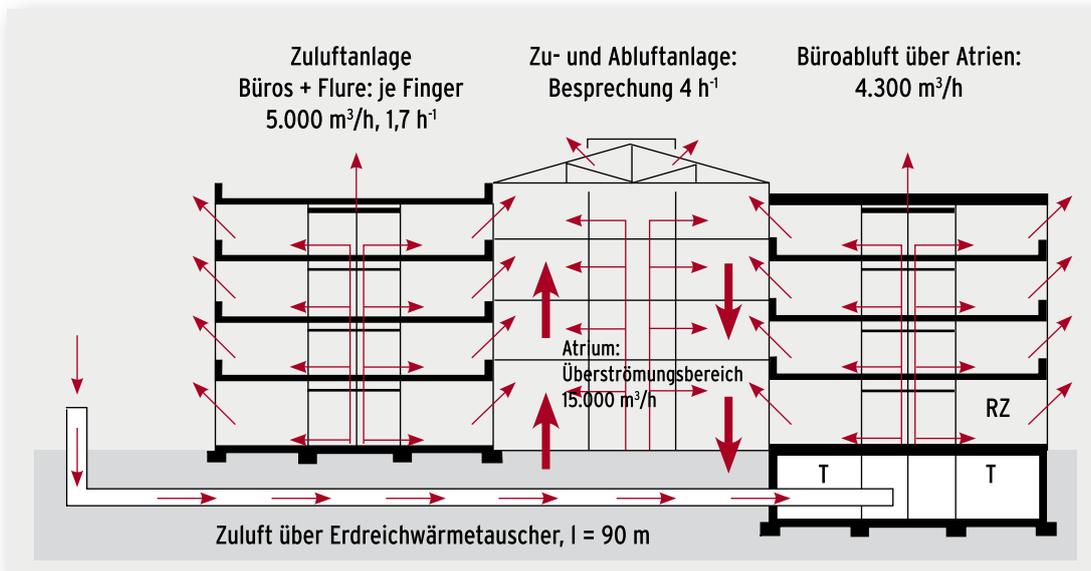
Im Sommer erfordert die Anlage dennoch Kälteleistung. Die Nutzkälte der Grundlast wird daher von einer 200-kW-Absorptionskältemaschine bereitgestellt, die ihre Antriebsenergie aus der Abwärme der gasgetriebenen 240-kWel-BHKWs bezieht. So kann auch im Sommer das BHKW betrieben und ein Teil seiner Abwärme genutzt werden. Zur Abdeckung von Lastspitzen sowie zur Erzielung der erforderlichen Redundanz der Kälteerzeugung stehen noch 460-kW-Kompressionskältemaschinen zur Verfügung.

Zwei Jahre nach der Inbetriebnahme wird die Energietechnik immer noch kontinuierlich opti-

miert. Besonders der Stromverbrauch für die Lüftung erscheint noch zu hoch. Generell jedoch ist Pfreundt mit dem realisierten Energiekonzept zufrieden. „Wir erreichen im Sommer einen DCIE-Wert von 0,67, im Winter einen von 0,77. Damit liegen wir in der Spitzengruppe moderner Rechenzentren.“

Die Planung der Rechenzentren sowie des gesamten Energiekonzeptes des ITWM-Neubaus war eine herausfordernde und kreative Tätigkeit. Geeignete Berater für ein so spezifisches und integriertes Projekt sah man nicht. Zwar gab es für jede Einzeltechnologie Spezialisten und kompetente Lieferanten, die Zusammenführung der Ideen und Technologien zu einem integralen Ganzen erfolgte aber durch das ITWM-Team in Zusammenarbeit mit den Architekten. Besonders die Bauspezialisten mussten dabei oftmals von der Machbarkeit neuer und unkonventioneller Lösungen überzeugt werden. Und auch die Einhaltung der Kostenpläne war eine Herausforderung. Der 2002 aufgestellte Kostenrahmen durfte nicht überschritten werden. Durch die Planung der Atrien und der aufwändigen Technik entstanden erhebliche Kostenbelastungen, die an anderer Stelle aufgefangen werden mussten. Dabei ließen sich die Atrien durch ihre energieeffizienzsteigernde Wirkung (kleinere Außenfläche), aber auch durch die Möglichkeit der Beheizung mit Abwärme begründen. Beiträge leisteten aber auch die einschläge Ausführung der Innenwände zu den Atrien. Auch die Verwendung von in Deutschland nicht üblichen, aber sehr praktisch und preiswerten Schiebefenstern sparte Geld.

Nicht umgesetzt werden konnte die direkte Auskopplung von Warmwasser aus dem Rechenzentrum. Über CPU-Kühlung erscheint eine Warmwassertemperatur von 50 °C mittelfristig erreichbar, die Prozessoren sind aber gegenwärtig noch nicht verfügbar.



Lüftungssituation
des ITWM im Winter

Strato AG: Energie- und Kostensenkung durch intelligentes Last- und Luftstrommanagement



René Wienholtz, Vorstand für Technologie und Innovation der STRATO AG

Als zweitgrößter Webhoster Europas ist die Strato AG in sechs europäischen Ländern aktiv und bietet ihren Kunden alles rund um Domain und Homepage („Webhosting“), Mietserver und Online-Shops. Das Unternehmen mit rund 500 Mitarbeitern verfügt über zwei geografisch getrennte Rechenzentren. Die Datenspiegelung zwischen Karlsruhe und Berlin sorgt für eine robuste und auch im Katastrophenfall belastbare Datensicherung. In beiden Rechenzentren waren 2007 rund 27.000 physische Server für ca. 1 Mio. Kunden im Einsatz. Damit bewältigen die TÜV-zertifizierten Rechenzentren (ISO 27001) über 200 Mio. E-Mails täglich und ein Transfervolumen von 3,5 Mio. GigaByte pro Monat. Die Strato AG hat das Thema Energieeffizienz schon früh aufgegriffen. „Uns war klar, dass sich damit Geld sparen lässt“, so René Wienholtz, Vorstand für Technik und Innovation der Strato AG, und führt weiter aus: „Wir waren eines der ersten Unternehmen, das eine Vollkostenrechnung für die gesamte Lebenszeit einer Hosting-Plattform angefertigt hat. Und da war die Frage, wie energieaufwändig das Ganze ist, sehr nahe liegend.“

Die Strato AG hat die Räumlichkeiten ihrer beiden Rechenzentren 1999 bzw. 2001 von anderen Betreibern übernommen. Die vielzähligen Energiesparmaßnahmen, die seither ergriffen wurden, konnten daher nicht bei der kompletten Gebäudeplanung ansetzen, sehr wohl aber bei der „Innenausstattung“ der Rechenzentren. „Wir haben schon vor der Inbetriebnahme die Frage der Energieoptimierung be-

Daten & Fakten

Betreiber: Strato AG
Standorte: Berlin und Karlsruhe
Fläche beider RZs: 4.500 m²
Serveranzahl beider RZs: 27.000
Funktion: Webhosting, Mietserver, Online-Shops
Zertifizierungen: TÜV ISO 27001
Durchschnittl. Serverauslastung RZ Karlsruhe 2007 (Shared Webhosting): 80 - 85 %
Durchschnittl. Serverauslastung RZ Berlin 2007 (Dedicated Server): 30 %
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE) 2007: 59 % (PUE = 1,69)
Gesamtenergieverbrauch beider Rechenzentren 2007: 30.000.000 kWh
Internet: www.strato.de

rücksichtigt“, so Wienholtz. Beispielsweise wurde das Berliner Rechenzentrum von vornherein mit einer umfangreichen Messtechnik ausgestattet, die ein detailliertes und kontinuierliches Energieverbrauchsmonitoring ermöglicht. An allen relevanten Verbrauchsstellen sind Energiedatenlogger installiert, so dass der Energieverbrauch bis auf die Ebene einzelner Server und Schränke nachvollzogen werden kann. Dies war und ist eine wichtige Grundlage, um den Erfolg von Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen mess- und nachvollziehbar zu machen. Im Bereich Hardware wurden die Shared-Webhosting-Plattformen auf Sun T2000 und T5220 Server umgestellt. Dadurch konnte auf CPU-Basis 90 % an Strom eingespart werden. In absoluten Zahlen bedeutet der Austausch eines alten Servers durch einen T5220 eine jährliche Reduzierung des Energieverbrauchs um 56.000 kWh, also 6.500 € Stromkosten weniger pro Jahr.

Maßnahmenswerpunkte

- ▶ Überarbeitung der Systemarchitektur
- ▶ Einsatz energieeffizienter Server und Prozessoren
- ▶ Intelligentes Stromlastmanagement
- ▶ Selbstentwickelte, optimal an Hardware angepasste Software
- ▶ Luftstrommanagement: Heißgang-Kaltgang
- ▶ Freie Kühlung

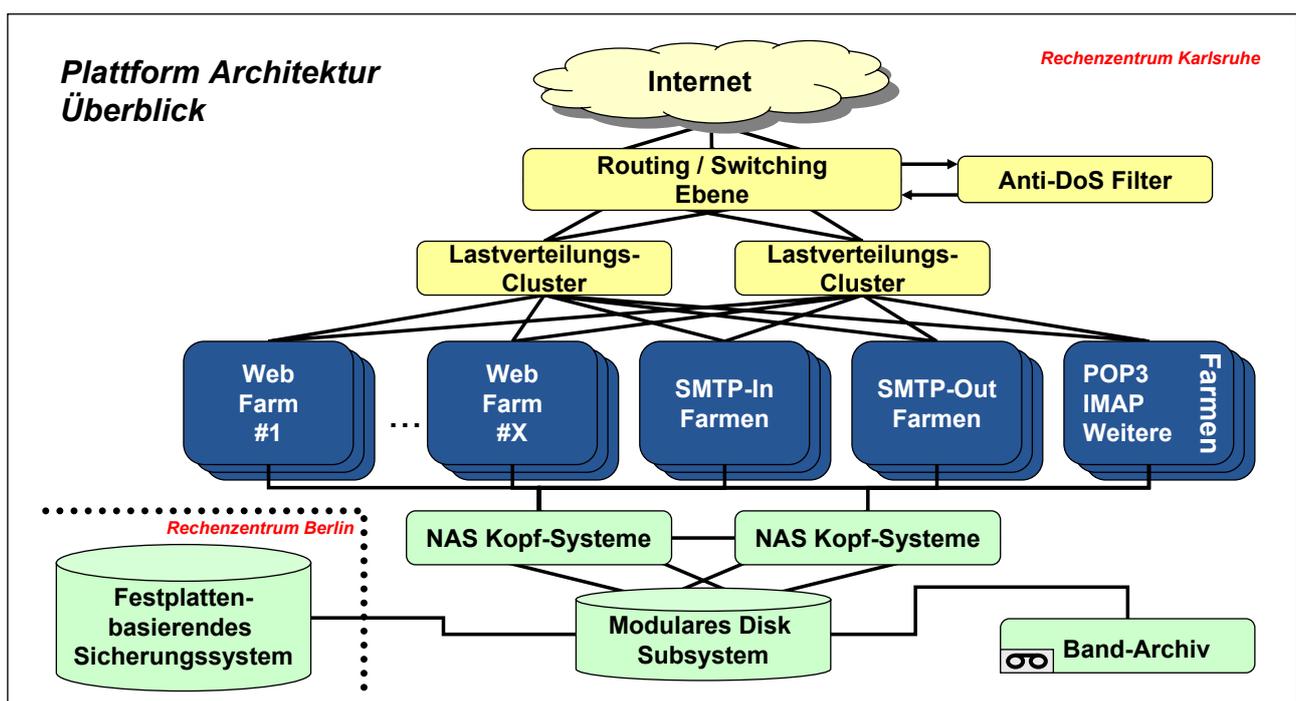
Bei den Dedicated-Servern konnte durch den Einsatz von AMD-Opteron™-Prozessoren aus der High-Efficiency-Serie eine Energieeinsparung von 75 % auf CPU-Basis erzielt werden. Auch die Umstellung der Massenspeicherplattformen auf NetApp FAS 6070 trugen erheblich zur Steigerung der Energieeffizienz bei. Hier kommen der Strato AG die Entwicklungspartnerschaften mit den Firmen AMD und Sun zugute. Dies ermöglichen es dem Webhoster, besonders energieeffiziente Hardware mitzugestalten, zu testen und einzusetzen, bevor diese auf dem Markt verfügbar ist.

Erhebliche Energieeinsparungen konnte Strato durch die Einführung eines intelligenten Stromlastmanagements im Shared-Webhosting-Rechenzentrum in Karlsruhe erzielen. Da die Rechnerauslastung und damit die Stromlast je nach Server bzw. Servercluster im Tagesverlauf nutzerbedingt sehr differieren kann, ist es sinnvoll, die Arbeit zwischen den Serverclustern, also z.B. zwischen den Web-Farmen, Mail-Farmen und Datenbank-Farmen, so zu verteilen, dass diese gleichmäßig ausgelastet werden. „Bei Mail-Lastspitzen zum Beispiel werden die Systeme automatisch so umkonfiguriert, dass freie Ressourcen der Plattform der Mail-Farm zugeordnet werden“, so Wienholtz. Dazu ist zwischen den über das Internet eingehenden Daten- und Diensteanforderungen und den Servern ein so genannter „Loadbalancer“ geschaltet. Durch diesen werden die Server gewichtet angesteuert und die Rechenlast (CPU-Last) intelligent verteilt. Damit konnte im Rechenzentrum Karlsruhe, welches das Shared Webhosting

beherbergt, 2007 eine durchschnittlich Serverauslastung von 80 bis 85 % erreicht werden.

Ein weiterer Schwerpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz lag in den vergangenen Jahren in der Optimierung der Kühlung und Klimatisierung der Strato-Serverräume. Dazu zählt z.B. die Anhebung der Kühllufttemperatur für Server (Intake-Temperatur) von 20,5 °C auf 23,5 °C. Auch der Aufbau eines intelligenten Luftstrommanagements, zu dem u.a. die Heißgang-Kaltgang-Kapselung gehört, trägt erheblich zur Energieeinsparung bei. Bei Außentemperaturen von bis zu 8 °C sorgt die Außenluft für die Kühlung des Berliner Rechenzentrums. Mit dieser so genannten freien Kühlung allein erreicht Strato eine Einsparung von 25 % bei der Kühlungsenergie.

Hinter den vielfältigen Optimierungsmaßnahmen steckt bei Strato ein systematischer und teamorientierter Managementprozess. „Viele Verbesserungsideen kommen von den operativen Mitarbeitern vor Ort“, so Strato-Vorstand Wienholtz. „Gute Vorschläge setzen wir im Team um und sorgen dafür, dass das Management die nötigen Ressourcen bereitstellt.“ Für die vielfältigen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wurde die Strato AG 2007 mit dem Berliner Umweltpreis des Bundes für Umwelt und Naturschutz ausgezeichnet; und nicht nur dafür: Als erster Webhoster betreibt das Unternehmen seine Rechenzentren zu 100 % mit zertifiziertem Regenerativstrom.



Ein neues hocheffizientes Rechenzentrum für Supercomputing in Berkeley, Kalifornien



Daten & Fakten

Betreiber: Lawrence Berkeley National Laboratory
Standort: Oakland, Kalifornien (derzeit), nach 2012: Berkeley, Kalifornien
Fläche: 1.600m² (aktuell), nach 2012: 3.200 m²
Funktion: Grundlagenforschung, wissenschaftliche Anwendungen
Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE) 2007: 68 % (PUE = 1,47)
Geplante Rechenzentrums-Infrastruktur-Energieeffizienz (DCIE) 2012: 83 % (PUE = 1,20)
Geplanter Energieverbrauch für 2012: 42.000.000 kWh
Internet: www.nersc.gov

Geplantes NERSC-Rechenzentrum, Berkeley, Kalifornien (Realisierung 2009 - 2012)

Das National Energy Research Scientific Computing Center (NERSC) ist eines der führenden Rechenzentren des Office of Science des U.S. Department of Energy. Als eine der größten Einrichtungen der Welt, welche Computer-Ressourcen und Expertisen für die Grundlagenforschung bereitstellt, ist die Beschleunigung wissenschaftlicher Entdeckungen durch Computereinsatz die Kernaufgabe des NERSC. Ein Großteil der Mitarbeiter des NERSC sind in einem Forschungsgebäude in Oakland, Kalifornien, angesiedelt, wo auch die Hochleistungscomputer- und Speicher-Systeme untergebracht sind.

Mehr als 3000 Wissenschaftler vieler Disziplinen nutzen die Rechendienste des NERSC für ihre Grundlagenforschung. Dazu zählen die Klimamodellierung, Forschung an neuen Materialien, Simulationen des frühen Universums, Datenauswertungen von physikalischen Hochenergie-Experimenten und Untersuchungen von Protein-Strukturen. Zu der Ausstattung des NERSC zählt z.B. auch ein Supercomputer namens „Franklin“. Franklin ist ein Cray XT4 Supercomputer mit 9.660 Datenknoten. Jeder Knoten hat einen Dual-Core-AMD-Prozessor mit 2,6 GHz. Franklin hat 19.320 Prozessorkerne, die für wissenschaftliche Anwendungen genutzt werden können. Jeder Knoten verfügt über 4 GB Speicherplatz. Die verwendbare Gesamtspeicherkapazität beträgt 350 TB.

Das NERSC-Rechenzentrum in Oakland hat eine Größe von ca. 1.600 m² und befindet sich in einem ca. 6.000 m² umfassenden, mehrgeschossigen Gebäudekomplex. Im Rechenzentrum befinden sich Server, Speicher-Laufwerke und ein Kontrollraum. Das Rechenzentrum ist rund um die Uhr im Betrieb. 2002 war das NERSC-Rechenzentrum eines von 14 teilnehmenden Einrichtungen bei einem Energie-Benchmarking-Projekt für Rechenzentren. Durchgeführt wurde das Projekt von der Umwelt und Energie-Abteilung des Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Die Messwerte von 2002 zeigten, dass die Energieeffizienz-Infrastruktur des NERSC Rechenzentrums (DCIE) 68 % betrug (PUE = 1,47) und somit eines der besten Werte von allen Rechenzentren erreichte, die während des LBNL-Benchmarking-Projekts ermittelt wurden.

Das NERSC-Rechenzentrum befindet sich ständig in der Erweiterung. Das aktuelle Gebäude ist allerdings räumlich begrenzt und durch NERSC lediglich gemietet. Es ist daher geplant, ein neues Rechenzentrum auf dem Grundstück des LBNL in Berkeley, Kalifornien, zu errichten. „Eine der Schlüsselideen zur Verbesserung der Energieeffizienz des neuen Rechenzentrums liegt darin, unnötige Redundanzen in der Stromversorgung, Kühlung und bei anderer Infrastruktur zu vermeiden“, sagt William Tschudi, Programm-Manager im LBNL-Umwelt-Energie-Tech-

nologie-Programm und Mitglied des Planungsteams. „Ein Rechenzentrum für wissenschaftliche Anwendungen hat natürlich andere Anforderungen an Redundanz als ein Co-Location-Rechenzentrum oder die Server eines Finanzdienstleisters. Jeder Typ von Rechenzentrum hat spezifische Ansprüche. Dabei ist es wichtig, dieses je nach Verwendungszweck mit derjenigen Redundanz zu planen, die wirklich erforderlich ist.“

Der Bau der neuen Computational Research and Theory Facility (CRTF) wird 2009 beginnen und voraussichtlich 2012 beendet sein. Das Gebäude wird der University of California gehören und das National Energy Research Supercomputing Center (NERSC) des Lawrence Berkley National Laboratories beherbergen. Mit einem Bauetat von 90 Millionen US-Dollar wird das CRTF ein Gebäude mit 14.000 m² Bruttogeschossfläche umfassen, wovon 3.200 m² dem Hochleistungscomputer-Rechenzentrum zugeordnet sind. Hinzu kommen Flächen für Verwaltung und Haustechnik. Die benötigte Anfangsleistung beträgt 7,5 MW und ist auf 17 MW erweiterbar. Etwa 300 Beschäftigte werden im Rechenzentrum und seinen Büros arbeiten.

Für das neue Rechenzentrum wird ein Energieeffizienzwert (DCIE) von 83 % angestrebt. Über dieses anspruchsvolle Ziel hinaus muss das Gebäude so flexibel gestaltet werden, dass über die nächsten Jahrzehnte verschiedene Generationen von Supercomputern installiert werden können, deren Leistungs- und Kühlungsanforderungen zzt. noch unbekannt sind.

Es ist beabsichtigt, die Temperatur- und Feuchtigkeitsgrenzwerte der Hersteller der IT-Hardware voll auszunutzen. Auch Berkeleys mildes Klima und mi-

nimale Anforderungen an eine ununterbrochene Stromversorgung helfen, die Energieeffizienz zu steigern. Beim Gebäudeentwurf wurden u.a. folgende Energieeffizienzmaßnahmen eingeplant:

- ▶ **High Performance Computing (HPC):** HPC ist für den größten Anteil am Energieverbrauch im Gebäude verantwortlich. Um die notwendige Kühlenergie des HPC zu reduzieren, wird die zulässige Luftkühlung über den empfohlenen ASHRAE-Wert hinaus angehoben – jedoch nicht über den ASHRAE-Höchstwert. Die Lüftung im Computerraum ist für 15,5 °C bis 24 °C und eine relative Feuchte von 30 % bis 60 % ausgelegt. Dies führt zu signifikanten Einsparungen, da die meiste Zeit frei gekühlt werden kann. Kompressionskühlanlagen werden dennoch eingebaut, um das Rechenzentrum während extrem warmer Zeiten zu kühlen und um ggf. der Zuluft Feuchtigkeit zu entziehen.
- ▶ **Niedrigdruck-Lüftung:** Die Lüftungssysteme sind für niedrigste Druckdifferenzen ausgelegt und reduzieren so den Energieverbrauch der Ventilatoren. Dabei betragen die Strömungsgeschwindigkeiten nur etwa 450 m/min.
- ▶ **Wände & Dach:** Gute Isolation von Wänden und Dach verringert die solare Einstrahlung im Sommer und den Wärmeverlust im Winter.
- ▶ **Effiziente Kühlanlage:** Die Effizienz der Kühlanlage ist mit einem COP von 8 höher als von ASHRAE 90.1-2004 gefordert wird.

Die Schlüsselkennzahl der Energieeffizienz für die geplante Supercomputer-Anlage ist die Data Center Infrastructure Efficiency (DCIE). Während das aktuelle Rechenzentrum einen DCIE-Leistungswert von 68 % hat (PUE = 1,47), liegt das Ziel des neuen Gebäudes bei 83 % (PUE = 1,2). Das Planerteam nimmt an, dass die Verbesserungen der Energieeffizienz sogar noch höher ausfallen könnten. William Tschudi hält einen DCIE-Leistungswert von 90 % (PUE = 1,1) für möglich. Wenn der jährliche Energieverbrauch statt der Energienlast als Bemessungsgrundlage genommen wird, könnten die Werte noch besser ausfallen. „Wir kalkulieren den jährlichen Energieverbrauch der neuen NERSC-Anlage mit ungefähr 42.000.000 kWh. 97 % der Energie wird dann von IT-Equipment und nur 3 % von der unterstützenden Infrastruktur, wie der unterbrechungsfreien Stromversorgung und Kühlsystemen, verbraucht. Das ergibt einen DCIE-Verbrauchswert von 97 % (PUE-Verbrauch = 1.03). Das heißt, dass das Systemdesign des neuen NERSC-Rechenzentrums wirklich sehr effizient werden könnte.“

Schwerpunkte für das Verbessern von Energieeffizienz

- ▶ Begrenzen der Redundanz auf das unbedingt Notwendige
- ▶ Erhöhung der Computerraumtemperatur innerhalb des zulässigen Bereiches
- ▶ Freie Kühlung
- ▶ Niedrigdruck-Lüftung
- ▶ Wand- und Dachisolierung, um die Solarlast und den winterlichen Wärmeverlust zu verringern.

AUSBLICK

Wie die Best-Practice-Beispiele dieser Broschüre zeigen, bestehen bereits heute vielfältige Möglichkeiten, den Energieverbrauch von Servern, Serverräumen und Rechenzentren zu senken und deren Energieeffizienz deutlich zu steigern. Praktikable und wirtschaftliche Lösungen sind also vorhanden. Was ist im Weiteren zu tun?

- ▶ **Umsetzung von Best-Practice-Lösungen auf breiter Front:** Mit Blick auf den Gesamtenergieverbrauch von Rechenzentren nützt es wenig, wenn nur einige Vorreiterunternehmen die Energieeffizienz deutlich steigern. Die bestehenden Lösungen müssen von möglichst vielen IT-Verantwortlichen aufgegriffen und in ihren Serverräumen und Rechenzentren umgesetzt werden.
- ▶ **Unterstützung von Rechenzentrumsbetreibern durch Beratungs- und Förderprogramme:** Gerade kleine und mittlere Unternehmen und Verwaltungen tun sich in der Regel schwerer mit einer systematischen Energieoptimierung, da ihnen die Kapazitäten und zum Teil das Know-How dafür fehlen. Ab 2009 bietet die Bundesregierung Förderprogramme an, die gerade kleine und mittlere Unternehmen bei der Steigerung der Energieeffizienz ihrer Server und Serverräume unterstützen werden.
- ▶ **Standardisierung der Messung des Energieverbrauchs von Rechenzentren:** Erste Vorschläge dazu liegen auf dem Tisch (Aebischer et al. 2008, BITKOM 2008, EU-Commission 2008), müssen aber in den kommenden Jahren in den relevanten Verbänden und Gremien abgestimmt und international vereinheitlicht werden.
- ▶ **Weiterentwicklung und Standardisierung von Energieeffizienzkennzahlen:** Dies ist bereits in Arbeit, muss in den kommenden Jahren aber weiter ausgearbeitet und international vereinheitlicht werden. Im Mittelpunkt muss dabei eine systemische Betrachtung stehen, bei der der Energieverbrauch auf den Dienst oder Service bezogen wird, den die IT für ihre Nutzer bietet.
- ▶ **Energiezertifizierung von Rechenzentren:** In Deutschland bieten einige Prüfinstitutionen bereits eine neutrale und unabhängige Energiezertifizierung von Rechenzentren an. Dies ist ein wichtiger Ansatz, gerade für große Rechenzentren und IT-Provider, muss aber mit Blick auf die zugrunde gelegten Messstandards und Indikatoren sowie die Prüf- und Vergabekriterien weiterentwickelt und branchenweit sowie international vereinheitlicht werden.
- ▶ **Benchmarking-Programme:** Erfahrungen aus verschiedenen Industriebranchen zeigen, dass anonymisierte Benchmarking-Programme die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz maßgeblich unterstützen können. Dies kann auch auf Rechenzentren übertragen werden und sollte von den Rechenzentrumsbetreibern sowie den zuständigen Verbänden organisiert werden.
- ▶ **CO₂-Neutralität von Rechenzentren:** Aus Sicht einer nachhaltigen Entwicklung ist die Steigerung der Energieeffizienz ein wichtiges, aber nicht das einzige Ziel. Auch die Klimaneutralität, d.h. das Betreiben von IT und Rechenzentren ohne schädliche Auswirkungen auf das Weltklima, stellt ein wichtiges Ziel dar. Die Bundesregierung geht hier mit gutem Beispiel voran und plant mittelfristig, alle Rechenzentren des Bundes klimaneutral zu betreiben.
- ▶ **Innovationen für „grüne“ Rechenzentren:** Die heute verfügbaren Best-Practice-Lösungen und Technologien können einen großen Beitrag zur kurz- und mittelfristigen Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren leisten. Mit Blick auf die weiterhin rasant wachsende Nutzung von Internet und mobilen Medien bedarf es aber langfristig grundlegender Innovationen, um den Gesamtenergieverbrauch der IKT zu reduzieren. Innovationen dieser Art unterstützen u.a. das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt im Umweltinnovationsförderprogramm.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR UND LINKS

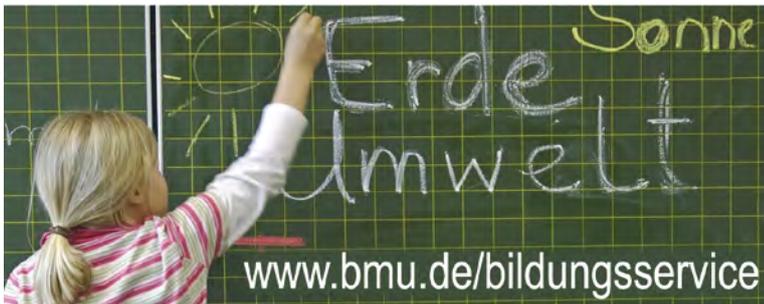
- Aebischer, B. et al. (2008): *Concept de mesure standardisé pour les centres de calculs et leurs infrastructures*, Genève
- BITKOM (2008a): *Energieeffizienz im Rechenzentrum. Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung und zum Betrieb von Rechenzentren*. Online unter www.bitkom.org
- BITKOM (2008b): *Energieeffizienz-Analysen in Rechenzentren, Messverfahren und Checkliste zur Durchführung*, Online unter www.bitkom.org
- Brill, K. (2007): *Data Center Energy Efficiency and Productivity, White Paper, The Uptime Institute*, Online verfügbar unter www.uptimeinstitute.org
- European Commission (2008): *Code of Conduct on Data Centres*. Online unter http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data%20centers.htm
- Fichter, K. (2007): *Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin*, verfügbar unter: www.borderstep.de
- Greenberg, S.; Tschudi, W.; Weale, J. (2006): *Self Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance, Version 1.0, May 2006, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, (LBNL Online verfügbar unter: <http://hightech.lbl.gov/DCTraining/self-benchmarking.html>*
- SPEC (2008): *SPECpower_ssj2008 Server Benchmark Test*. Online unter: http://www.spec.org/power_ssj2008/
- The green grid (2008): *The Green Grid Metrics: Data Center Infrastructure Efficiency (DCIE) Detailed Analysis*, verfügbar unter: www.thegreengrid.org

Der **EU-Code of Conduct on Data Centres** zielt auf die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz in Betrieb und Planung von Rechenzentren. Im Zentrum des Code steht die Selbstverpflichtung von Rechenzentren dazu, auf Basis einer ersten Erfassung der Energieverbräuche regelmäßig Verbesserungsprogramme vorzulegen und abzarbeiten. Der Code umfasst als Hilfestellung Dokumente zu Messverfahren sowie eine lange Best-Practice-Liste. Rechenzentren, deren Verbesserungsprogramm von der EU-Kommission anerkannt wird, dürfen das Logo des Code nutzen. Besonders gute Rechenzentren sollen jährlich ausgezeichnet werden. Mittelfristig sollen auch quantitative Mindestanforderungen formuliert werden.

Durch den **SPEC-Server-Benchmark-Test** der US-amerikanischen Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) kommt das Effizienz-Wettrennen der IT Hardware in Schwung. Zwar wird kritisiert, dass die Server-Performance zzt. nur mit einer Java-Anwendung gemessen wird, dennoch bemühen sich die Hersteller darum, möglichst effiziente Konfigurationen zu bauen und zu testen. Seit im Dezember 2007 die ersten Ergebnisse veröffentlicht wurden, wurde der erste Spitzenreiter IBM mit 854 ssj_ops zunächst durch Intel mit 910 ssj_ops und dann durch Fujitsu-Siemens mit 1.124 ssj_ops abgelöst.

„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...“

Grundgesetz, Artikel 20 a



BESTELLUNG VON PUBLIKATIONEN:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Postfach 30 03 61
53183 Bonn
Tel.: 0228 99 305-33 55
Fax: 0228 99 305-33 56
E-Mail: bmu@broschuerenversand.de
Internet: www.bmu.de

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Gedruckt auf Recyclingpapier.