

# Sustainable Data Centers

Informatik und nachhaltige Entwicklung HS2012

Christoph BRÄUNLICH und Katja KEVIC

31. Oktober 2012

## 1 Einführung

Schätzungen zum Stromverbrauch von Rechenzentren gehen von einem steigenden Stromverbrauch in den letzten Jahren aus. So hat sich nach [Kooomey, 2008] in den Jahren 2000 bis 2005 der weltweite Stromverbrauch von Rechenzentren verdoppelt. Die US amerikanische Environmental Protection Agency EPA [Brown, 2008] geht für die USA von einer Verdoppelung des Stromverbrauchs innert 6 Jahren aus. Für Deutschland schätzen [Dittmar and Schaefer, 2009] dass sich der Stromverbrauch zwischen 1998 und 2008 verfünffacht hat. Vergleicht man die Studien, so kann man sehen, dass alle einen ähnlichen Trend aufweisen (vgl. Abb. 1).

Aus diesen Zahlen lässt sich erkennen, dass im Jahr 2005 Rechenzentren 1 % des weltweiten Stromverbrauchs ausmachten und im Jahr 2008 machten deutsche Rechenzentren 1.5 % des deutschen Stromverbrauchs aus. Gemäss [Pettey, 2007] ist die IKT Industrie schon jetzt für 2 % der weltweiten  $CO_2$  Emissionen verantwortlich.

Dieser Trend steht im Gegensatz zu den aktuellen politischen Plänen (z.B. in der Schweiz [Schweizer Fernsehen, 2012], [Neue Zürcher Zeitung, 2012]) den gesamten Stromverbrauch zu reduzieren. In diesem Artikel möchten wir der Frage nachgehen, ob es möglich ist, den Stromverbrauch der Rechenzentren zu verringern, ohne den wirtschaftlichen Fortschritt durch politische Eingriffe verlangsamen zu müssen.

## 2 Begriffsklärung

### 2.1 Rechenzentrum

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *Rechenzentrum* ähnlich, wie in den Artikeln der gefundenen Fachliteratur (z.B. [Kooomey, 2008] oder [Brown, 2008]) verwendet:

Unter dem Begriff *Rechenzentrum* verstehen wir die Orte, deren Hauptfunktion es ist, Server unterzubringen. Inbegriffen sind auch Serverräume und Schränke mit Servern.

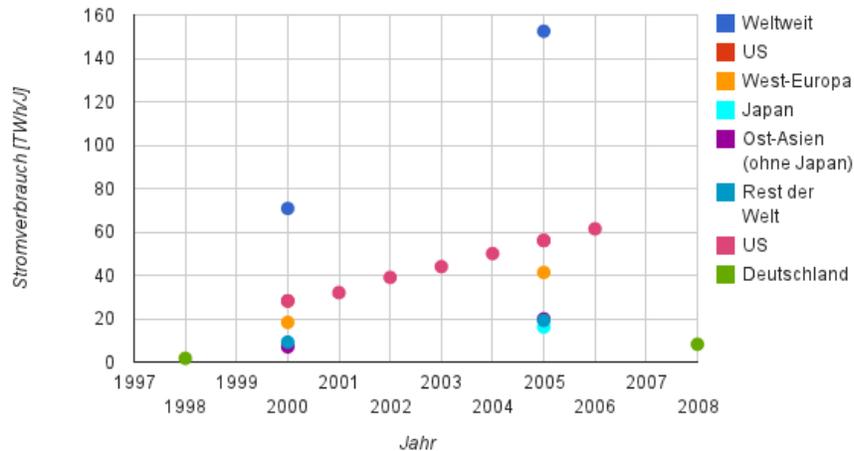


Abbildung 1: Veränderung des Stromverbrauchs von Rechenzentren [Kooomey, 2008], [Brown, 2008], [Dittmar and Schaefer, 2009]

## 2.2 Stromverbrauch

Zum *Stromverbrauch* von Rechenzentren zählen auch der Stromverbrauch von zugehörigen Hilfsanlagen und die Verluste, so wie der Verbrauch für den Unterhalt eines Rechenzentrum. Also z.B. auch den Stromverlust, der durch die unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen eines Rechenzentrum entsteht oder der Aufwand für Kühlung, Beleuchtung, Messpunkte oder Umluftgeräte.

Als *Einheit für den Stromverbrauch* verwenden wir je nach Kontext die Leistung in Watt (W) oder die Energie in Wattstunden pro Jahr ( $\frac{Wh}{a}$ ) mit passendem SI-Präfix gemäss DIN 1301.

## 3 Gründe für die Zunahme des Stromverbrauchs in den Rechenzentren

Viele Firmen bieten sehr viel mehr unterschiedliche Web-basierte Dienste als vor 5 Jahren an. Diese neuartigen Services benötigen eine sehr hohe Rechenleistung. Dies ist einer der Hauptgründe für den Anstieg des Stromverbrauchs. Ein prominentes Beispiel für die Veränderung der Arbeitsweise von Firmen und Benutzern ist das Cloud-Computing. Firmen wie Amazon, Apple oder Microsoft bieten schon neuartige Cloud-Computing-Produkte an, und IBM plant eigene

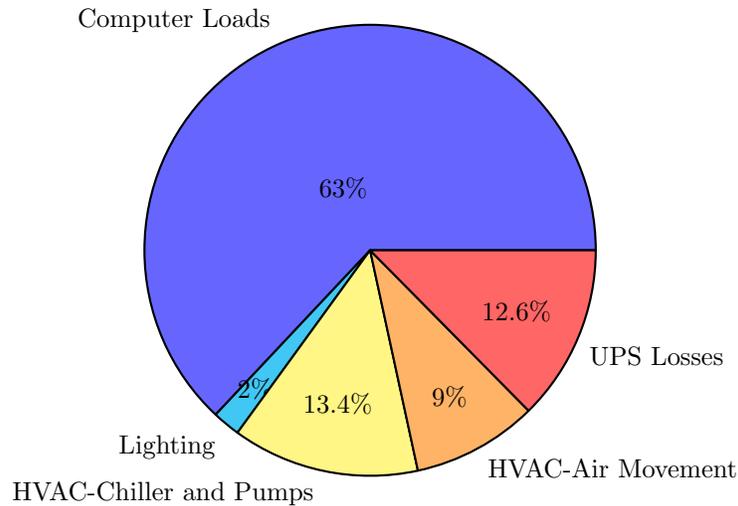


Abbildung 2: Typische Aufteilung des elektrischen Energieverbrauchs in einem Rechenzentrum [Aebischer, 2008]

Cloud-Dienste. [Greenpeace, 2012].

Dank technischer Entwicklungen benötigt ein moderner Prozessor für die gleiche Anzahl an Operationen weniger Strom. Doch durch diese dicht bepackten Prozessoren wird mehr Abwärme erzeugt, welche mit grösserem Aufwand wieder abgeführt und gekühlt werden muss. Dieser zunehmende Kühlvorgang beansprucht ein beträchtlichen Teil des totalen Stromverbrauchs eines Rechenzentrums (siehe Abbildung 2) [Ralph Hintermann, 2010].

Ein weiterer Grund für die Zunahme der benötigten Rechenleistung und der damit verbundene Stromverbrauch ist, dass immer mehr, auch informatikfremde, Wissenschaften mehr Rechenleistung benötigen. So wurde zum Beispiel in einem Hochleistungscomputer Daten über das Innere der Erde gesammelt und so zusammengefügt, dass Einblicke in das Erdinnere möglich sind [Ulmer, 2011].

## 4 Aufbau von Rechenzentren

Der Stromverbrauch in einem typischen Rechenzentrum teilt sich wie in Abbildung 2 gezeigt auf [Aebischer, 2008].

Typischerweise ist der Energieverbrauch des IT Loads (vor allem CPU Leistung) am grössten. Da die Rechenleistung von aussen definiert ist, lässt sich dieser Energieverbrauch nur durch die Optimierung geeigneter Hardware oder Software verbessern. So kann man Hardwarekomponenten einsetzen, die die Rechenleistung mit weniger Energie herstellen können. Um diese Hardwarekomponenten energieeffizient zu nutzen, sollten sie optimal ausgelastet werden. Eine Möglich-

keit bietet hier die Virtualisierung von Systemen, so dass diese von mehreren Komponenten gemeinsam genutzt werden können. Zudem können auch effizientere Algorithmen komplexe Probleme schneller lösen, so dass die Resultate in kürzerer Zeit generiert werden können und Hardware abgebaut werden kann. In der Gesamtbetrachtung muss man auch berücksichtigen, dass für jede gesparte Energieeinheit im IT Load die dazugehörige Kühlleistung und Stromabsicherung ebenfalls gespart werden kann. [Ralph Hintermann, 2010]

Das heating, ventilation and air conditioning (HVAC) beansprucht am zweitmeisten Strom in einem typischen Rechenzentrum. Im Unterschied zu dem IT Load, wird diese Komponente nicht von aussen bestimmt. Es bieten sich zahlreiche Möglichkeiten an, um diese Anlagen umweltfreundlicher zu gestalten. Auf einige dieser Methoden wird im Kapitel 5 eingegangen.

Auch die uninterruptible power supply (UPS) Anlage gehört zu den ausschlaggebenden Komponenten des Gesamtstromverbrauchs eines Rechenzentrums. Auch hier gibt es Möglichkeiten, um diese Anlage effizienter und somit umweltfreundlicher zu nutzen. In Abschnitt 5 wird auch auf diese Möglichkeit eingegangen [Aebischer, 2008].

Letztendlich braucht auch die Beleuchtung im Rechenzentrum Strom. Diese Komponente kann zum Beispiel sparsamer betrieben werden, wenn Sensoren eingesetzt würden, so dass das Rechenzentrum nicht unnötig beleuchtet ist [Aebischer, 2008].

## 5 Möglichkeiten zur Nachhaltigkeit

Wie im obigen Abschnitt erwähnt, gibt es keine Möglichkeiten beim IT Load Energie zu sparen, ausser effizientere Hardware oder Software einzusetzen. Doch oft produzieren Maschinen mit hoher Rechenleistung auch mehr Wärme. Das Abführen dieser Wärme ist extrem wichtig, da sich die Maschinen sonst überhitzen können. Doch die Kühlanlage kann effizienter arbeiten, desto höher die Temperatur der Rückluft ist [Ralph Hintermann, 2010]. Deswegen konzentrieren sich die Techniken, um ein Rechenzentrum energieeffizienter zu gestalten vor allem auf die Hilfsbetriebe (Lighting, Kühlanlagen, UPS Losses). Im folgenden werden ausgewählte Methoden zur Kühlung des Rechenzentrums vorgestellt. Des weiteren wird diskutiert, was für die Optimierungen der Stromabsicherung (USV) unternommen wird und was dies für Auswirkungen haben kann.

### 5.1 Free-cooling

Speziell in kalten oder gemässigten Klimazonen ist das Free-Cooling eine weit verbreitete Alternative zu den herkömmlichen Kühltechniken. Wie der Namen schon verrät, wird entweder Luft oder Wasser durch die tiefere Aussentemperatur gekühlt. Auf diese Weise kann der natürliche Energietransfer ausgenutzt werden. [Greenberg et al., 2006].

Bei der direkten Variante (Luftkühlung) wird die erwärmte Luft im Rechenzentrum mit der kalten Luft von aussen im klimatisierten Rechenzentrum durch

Umwälzungen vermischt [Ralph Hintermann, 2010]. Diese Variante wird insbesondere in kleinen Rechenzentren eingesetzt, denn durch die zugeführte Luft können die unausgeglichene Luftfeuchtigkeit oder der Staubgehalt zu Risikofaktoren werden [Potts, 2011].

Bei der indirekten Free-cooling Variante wird Wasser durch kalte Luft von Aussen abgekühlt. In diesem Fall gelangt keine Luft von aussen ins Rechenzentrum, wie bei der direkten Variante. Das gekühlte Wasser wird benutzt, um die Luft im Rechenzentrum zu regulieren [Ralph Hintermann, 2010].

Beide Varianten komplementieren den Kältekreislauf eines Rechenzentrums. In der Schweiz zum Beispiel können durchschnittlich während 8 Monaten Rechenzentren ganz oder teilweise mit Free-cooling Methoden gekühlt werden (wie wir von der UBS erfahren konnten). Beim Free-cooling steht der Standort des Rechenzentrums im Fokus und muss sorgfältig analysiert werden.

## 5.2 Kalt-/Warmgang-Prinzip

Eine weitere Möglichkeit Energie in den Hilfsbetrieben eines Rechenzentrums zu sparen ist die Kältegang - respektive Wärmegangtechnik. Da nicht das komplette Rechenzentrum gekühlt werden sollte, sondern nur der abgeschottete Gang zwischen zwei Rackreihen-Fronten, kann man die kalte respektive warme Luft durch das Rechenzentrum führen und so massiv Energie einsparen. Zudem kann sich so genügend warme Luft ansammeln, um die Rücklufttemperatur so zu erhöhen, dass die Kühlanlage effizient arbeiten kann. Forschungen haben gezeigt, dass die Erhöhung der Rücklufttemperatur (zwischen 22 und 26°) bei jeder Erhöhung um ein weiteres Grad 4% an Energie gespart werden kann [Ralph Hintermann, 2010].

Das Kalt-/Warmgang-Prinzip fordert aber auch die passende Hardware, da die operationellen Temperaturen von Hardwarekomponenten vom Hersteller vorgegeben werden. In Abbildung 3 ist das Kalt-/Warmgang-Prinzip schematisch aufgezeichnet. Die gekühlte Luft durch ein Gitter im Doppelboden zwischen die Rackreihen strömt, die gekühlt werden müssen. Da die Server diese kühle Luft aktiv ansaugen, gelangt die kalte Luft durch das Rack in den anliegenden Wärmegang und strömt zur Decke, wo sie in die Richtung der Kühleinrichtung gelenkt wird. Dort wird die Luft gekühlt und wieder in den Doppelboden gepumpt. Man sollte darauf achten, dass der Doppelboden möglichst wenig Hindernisse für das Durchströmen der Luft bietet [Greenberg et al., 2006]. Das Kalt-/Warmgang-Prinzip birgt jedoch auch Risiken. So können sich sogenannte HotSpots in den Racks bilden. Bei sehr starker Überhitzung kann dies zu einem Ausfall der Hardware führen.

Die UBS AG nutzt beide dieser Techniken seit 2 Jahren in ihren Data Centern. Die Kühlung der Luft kann von November bis bis März unterstützt werden durch Free-cooling und so ist es möglich 2.3 MW (War das pro Jahr??) einzusparen. (Interview).

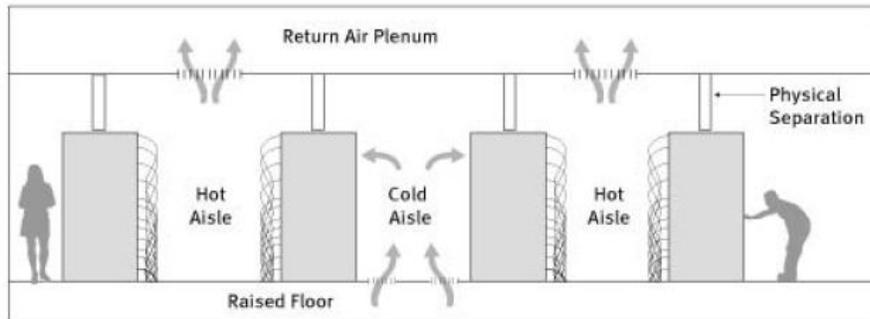


Abbildung 3: Kälte - und Wärmegang.

### 5.3 Direkte Wasserkühlung

Da die Luft einen kleineren Wärmetransfer Koeffizienten aufweist als Wasser (Wasser transportiert 3500 mal mehr Wärme als Luft) und das Bewegen von Wasser bei gleicher Wärmeeigenschaft ein Vielfaches weniger Energie braucht, gibt es auch die Möglichkeit die Server in einem Rechenzentrum direkt mit Wasser (oder einem anderen Kühlmedium) zu kühlen. Bei der Auswahl des Kühlmediums spielt der Standort eine entscheidene Rolle. Das Kühlmedium darf nicht gefrieren, deshalb wird Frostschutzmittel zugemischt [Ralph Hintermann, 2010]. Bei der direkten Wasserkühlung wird kaltes Wasser in einem Schlauch an der Frontseite des Racks zugeführt, um die Server zu kühlen. Auf der Hinterseite des Racks führt ein weiterer Wasserkreislauf die Abwärme fort [Greenberg et al., 2006].

### 5.4 Nutzung der Abwärme

Die Energiebilanz eines Rechenzentrums kann verbessert werden, wenn man die Abwärme nutzt, um zum Beispiel Büroräume oder Hallenbäder zu heizen, anstatt sie an die Umgebung abzugeben. In Paris startete 2011 ein Pilotprojekt, bei dem bis zu 600 000 Quadratmeter Büroraum geheizt und mit Warmwasser versorgt wurde mit der Wärme, die in einem Rechenzentrum produziert wurde. Berechnungen der Initiatoren zeigen, dass so jährlich 5 400 Tonnen weniger CO<sub>2</sub> produziert werden. Zusätzlich bietet ein Rechenzentrum als Energielieferant den Vorteil, dass Energie 7x24 Stunden zum gleichen Preis verfügbar ist [Wiener Zeitung, 2011]. Auch Nestle nutzt die Abwärme eines Rechenzentrums und kann so zu 40% 1200 Mitarbeiter in Frankfurt mit Beheizung und Warmwasseraufbereitung versorgen [Nestle, 2012].

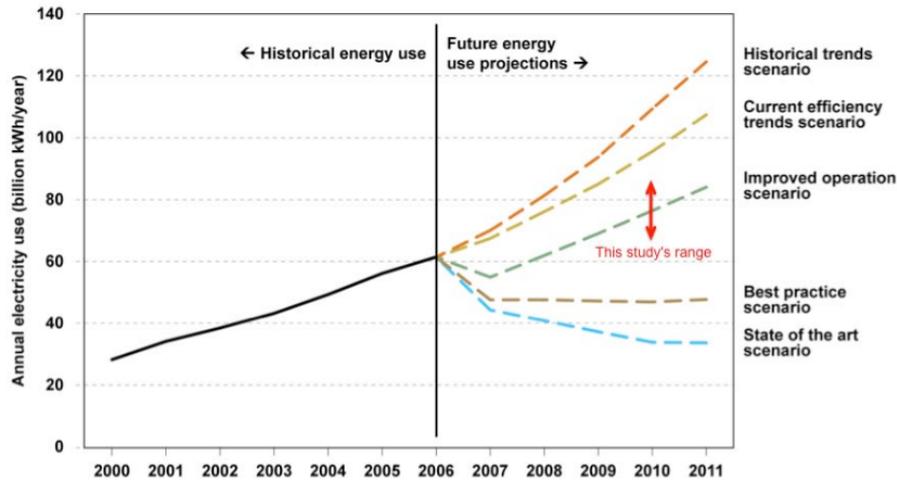


Abbildung 4: Prognose des Stromverbrauchs US Amerikanischer Rechenzentren von [Kooamey, 2011] vermutlich ist ungefähr das 'Current efficiency trends scenario' eingetroffen.

## 5.5 Energieeffizient oder Sicherheit?

Grundsätzlich arbeitet eine Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV Anlage) effizienter je mehr diese ausgelastet ist. Doch da ein Rechenzentrum typischerweise für mehrere Jahre in Betrieb genommen wird, lastet man anfänglich die USV Anlage nicht aus, sondern konzipiert für zukünftige Energieanstiege, so dass das Rechenzentrum erweiterbar bleibt. Da ein Rechenzentrum Spannungsausfällen vorbeugen muss, werden sogenannte Redundanz-Prinzipien verfolgt. Dabei darf jede USV Anlage nur soweit ausgelastet werden, dass diese bei einem Ausfall der  $n$  anderen USV Anlagen, deren Leistungen übernehmen könnte. Dies hat wiederum einen niedrigeren Wirkungsgrad zur Folge [Ralph Hintermann, 2010].

## 6 Fazit

[Kooamey, 2011] zeigt in seinem Artikel einige Szenarien auf, wie sich der Stromverbrauch der Rechenzentren in der Zukunft ändern könnte. In dem Artikel wurde die Verbrauchsentwicklung in den Jahren 2006 bis 2011 für die USA prognostiziert (vgl. Abb. 4). Leider hatten wir keinen Zugang zu Schätzungen wie dieser Stromverbrauch in den USA tatsächlich zugenommen hat. Analysiert man aber Zahlen aus anderen Regionen (z.B. Deutschland bis zum Jar 2008, [Dittmar and Schaefer, 2009]) so kann man davon ausgehen, dass sich der Anstieg des Stromverbrauchs auch in den letzten Jahren nicht markant verändert

hat und das Szenario 'Current efficiency trends' eingetroffen ist.

Der Anstieg muss wohl darauf zurückgeführt werden, dass zahlenmässig viel mehr Dienste von Rechenzentren eingerichtet und in Anspruch genommen werden, da für bereits bestehende Dienste durch die Entwicklung in der Technik und den hier beschriebenen Stromeinsparungen (insbesondere bei der Kühlung), immer weniger Strom benötigt wird.

Diese Überlegungen geben Grund zur Annahme, dass der Anstieg ähnlich weiter verlaufen wird, solange dabei wirtschaftliche Vorteile für die Betreiber entstehen. Das würde bedeuten, dass das Wachstum des Stromverbrauchs erst zurück geht, wenn die Strompreise teurer werden als die Erträge der Dienste, die von den Rechenzentren angeboten werden.

## Literatur

- [Aebischer, 2008] Aebischer, B. (2008). Rechenzentren heute: sicher und ökologisch. *Energieverbrauch und Energieeffizienz in Rechenzentren. SSI-Fachtagung*.
- [Brown, 2008] Brown, R. (2008). Report to congress on server and data center energy efficiency: Public law 109-431. *Lawrence Berkeley National Laboratory*.
- [Dittmar and Schaefer, 2009] Dittmar, L. and Schaefer, M. (2009). Electricity demand modeling of german data centers: dealing with uncertainties. *Schriftenreihe Innovationszentrum Energie Band 1, ISBN 978-3-7983-2168-7*.
- [Greenberg et al., 2006] Greenberg, S., Mills, E., Tschudi, B., Berkeley, L., Laboratory, N., Rumsey, P., and Engineers, R. (2006). Best practices for data centers: Lessons learned from benchmarking 22 data centers. In *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings in Asilomar, CA. ACEEE*, pages 76–87.
- [Greenpeace, 2012] Greenpeace (2012). How clean is your cloud? [http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user\\_upload/themen/klima/HowCleanisYourCloud\\_final.pdf](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/HowCleanisYourCloud_final.pdf).
- [Kooimey, 2008] Kooimey, J. G. (2008). Worldwide electricity used in data centers. *Environmental Research Letters*, 3(3):034008.
- [Kooimey, 2011] Kooimey, J. G. (2011). Growth in data center electricity use 2005 to 2010. *Oakland, CA: Analytics Press. August*, 1:2010.
- [Nestle, 2012] Nestle (2012). Initiativen - wärmerückgewinnung in frankfurt. @ONLINE.
- [Neue Zürcher Zeitung, 2012] Neue Zürcher Zeitung (2012). Wie der bundesrat die energiewende schaffen will @ONLINE.

- <http://www.nzz.ch/aktuell/schweiz/schweiz-energiewende-bundesrat-vernehmlassung-1.17651710>.
- [Petty, 2007] Petty, C. (2007). Gartner estimates ict industry accounts for 2 percent of global co2 emissions @ONLINE. <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=503867>.
- [Potts, 2011] Potts, Z. (2011). Free cooling technologies in data centre applications. Technical report, Sudlows.
- [Ralph Hintermann, 2010] Ralph Hintermann, S. P. (2010). Energieeffizienz im rechenzentrum. *Schriftreihe Umwelt Energie*.
- [Schweizer Fernsehen, 2012] Schweizer Fernsehen, s. (2012). Bundesrat zeigt weg in akw-freie stromzukunft @ONLINE. <http://www.tagesschau.sf.tv/Nachrichten/Archiv/2012/09/28/Schweiz/Energiepolitik/Bundesrat-zeigt-Weg-in-AKW-freie-Stromzukunft>.
- [Ulmer, 2011] Ulmer, S. (2011). Wild rocks in focusterra @ONLINE. [http://www.ethlife.ethz.ch/archive\\_articles/110825\\_Wild\\_Rocks\\_su/index](http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/110825_Wild_Rocks_su/index).
- [Wiener Zeitung, 2011] Wiener Zeitung (2011). Green-it einmal anders: Rechenzentren als energiequellen. abwärme aus rechenzentrum soll bei paris büroräume heizen @ONLINE. [http://www.wienerzeitung.at/themen\\_channel/wz\\_digital/digital\\_news/410940\\_Abwaerme-aus-Rechenzentrum-soll-bei-Paris-Bueroraume-heizen.html](http://www.wienerzeitung.at/themen_channel/wz_digital/digital_news/410940_Abwaerme-aus-Rechenzentrum-soll-bei-Paris-Bueroraume-heizen.html).