

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 101 (2010)  
**Heft:** 9: 100 Jahre Diskurs zur schweizerischen Energiepolitik = 100 ans de discussion sur la politique énergétique suisse

**Artikel:** Das Rechenzentrum im Jahr 2020  
**Autor:** Bagehorn, Frank / Boxler, Oliver  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856124>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Das Rechenzentrum im Jahr 2020

## 10 Thesen zu Cloud Computing und Energieeffizienz

Cloud Computing ist das Computing-Modell der Zukunft. Die dafür notwendigen Megarechenzentren müssen energieeffizient gebaut sein, um nachhaltig betrieben werden zu können. Ein Beispiel für die sich abzeichnenden Trends ist der an der ETH Zürich installierte Superrechner Aquasar, dessen Kühlwasser für die Gebäudeheizung eingesetzt werden kann.

**Frank Bagehorn, Oliver Boxler**

Immer mehr Rechenzentren (RZ) sind den steigenden Anforderungen nicht mehr gewachsen. Zwar wurden häufig über Jahre hinweg immer wieder bauliche Veränderungen vorgenommen und die Infrastruktur erweitert. Allerdings ist durch neue operative Paradigmen, wie zum Beispiel Virtualisierung, der Betrieb komplexer und anspruchsvoller geworden. Hinzu kommt, dass viele Rechenzentren hinsichtlich des Energieverbrauchs und der möglichen Energiedichte an ihre Kapazitätsgrenzen stossen. Ein Blick in die Zukunft und Überlegungen, wie sich das Rechenzentrum und der RZ-Betrieb verändern, sind deshalb notwendig. Im Folgenden werden zehn Thesen zu zentralen Trends in der RZ-Entwicklung diskutiert.

### These 1 – Konsolidierung von Rechenzentren

Im Verlauf der letzten Jahre hat die Bedeutung der IT-Unterstützung innerhalb der Firmen kontinuierlich zugenommen. Viele Unternehmensprozesse sind in immer stärkerem Masse von IT abhängig. Diese Entwicklung hat den Fokus auf die Ausrichtung von Business und IT verstärkt und Initiativen im Bereich IT Governance und IT-Architektur vorangetrieben. Dabei steht auch die Effizienz beim Betreiben von Rechenzentren im Blickpunkt. Mittels Virtualisierung wird die Auslastung der Hardware optimiert. Neue Paradigmen wie Cloud Computing betonen den Servicecharakter der Informationstechnologie.

### Cloud Computing

Cloud Computing ist ein Service-Delivery-Modell von gemeinsam genutzten, über das Netz verfügbaren Dienstleistungen,

bei denen der Endbenutzer nur die Anwendung sieht, ohne sich über die Implementierung oder Infrastruktur Gedanken machen zu müssen. Dieses Modell erlaubt eine grosse Agilität und Flexibilität für den Benutzer und ermöglicht es dem Service Provider, die effektiven Kosten für die Bereitstellung eines Dienstes zu senken. Die technischen Grundlagen, die Cloud Computing ermöglichen, sind Virtualisierung auf allen Ebenen – vom Server bis zur Anwendung – Standardisierung und Automatisierung.

Cloud Computing als neues Paradigma für IT Service Delivery bedeutet, dass immer mehr und vielfältigere IT-Dienstleistungen über das Internet von Cloud-Dienstleistern bezogen werden können. Dies umfasst nicht nur einfache Programme wie Mail oder Instant Messaging, sondern in zunehmendem Masse auch komplexe Anwendungen wie Customer-Relationship-Management, Datenbanken und Anwendungsserver. Für viele kleine und mittelständische Unternehmen wird damit keine Notwendigkeit mehr bestehen, ein eigenes Rechenzentrum zu betreiben. Es kann auf die Cloud ausgelagert werden. In grossen Unternehmen führt das Cloud-Computing-Modell zu einer Fokussierung auf die Kernanwendungen, also auf den Teil der IT, den man selber betreiben will. Vor diesem Hintergrund wird die Zahl der Rechenzentren künftig eher abnehmen.

### These 2 – Cloud Computing braucht Megarechenzentren

Durch die Konsolidierung nimmt die durchschnittliche Grösse eines Rechenzentrums zu. Anbieter von Cloud-Dienstleistungen nutzen Rechenzentren von mehreren Tausend Quadratmetern Fläche,

da diese ökonomische Vorteile bieten. Dank Skaleneffekten können operative Kosten gesenkt werden und Methoden und Prozesse aus der Güterfabrikation Anwendung finden [1]. Das bedeutet, dass solche Megarechenzentren ähnlich wie eine Produktion betrieben werden und bewährte Industriekonzepte wie Standardisierung, Qualitätsmessungen und Arbeitsplanung Einzug halten müssen.

Eine zentrale Herausforderung wird der Energieverbrauch sein, der mit wachsender Grösse des Rechenzentrums zunimmt. Steigende Energiepreise verursachen höhere Kosten. Auch der gesellschaftliche und politische Druck im Rahmen der Klimaschutz-Diskussionen, CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und Grenzen in der Verfügbarkeit elektrischer Energie werden die Entwicklung hoch effizienter Rechenzentren weiter vorantreiben.

### These 3 – Cloud Computing braucht dynamische und modulare Rechenzentren

Cloud Computing erfordert eine dynamische Verfügbarkeit von Rechenkapazität. Daher müssen Rechenzentren leicht ausbaubar sein, um eine steigende Nachfrage befriedigen zu können. Andererseits muss es bei sinkender Nachfrage möglich sein, ohne Beeinträchtigung der Energieeffizienz Teile des Rechenzentrums stillzulegen. Dies führt zwangsläufig zu einem modularen Ansatz bei der Konstruktion von Rechenzentren.

Bei einigen Neubauten findet dieser Ansatz bereits erste Anwendung. Mehrere Einzelmodule werden dabei zu einem grösseren Rechenzentrum zusammengestellt. Es hat sich gezeigt, dass hierfür eine Modulgrösse zwischen 300 und 500 m<sup>2</sup> Nutzfläche ideal ist. Die Module müssen alle notwendigen RZ-Komponenten, wie Kühlung, Stromversorgung und Sicherheitstechnik, enthalten und sich nahezu beliebig miteinander kombinieren lassen. Solche modularen RZs sind in einem Bruchteil der Zeit und zu viel geringeren Kosten realisierbar als herkömmliche RZs. So können im Bedarfsfall Ad-hoc-Rechenzentren aufgebaut werden, z. B. in Krisen- oder Katastrophengebieten oder auch für sportliche Grossanlässe. Ebenso lassen sich mit solchen Modulen bereits existierende RZs erweitern.



#### Energieeffizienz-Kennzahlen:

- PUE (Power Usage Effectiveness):  
Quotient aus Gesamt-Energieverbrauch durch Energieverbrauch (nur) des IT-relevanten Inhalts
- DCIE (Data Center Efficiency):  
Quotient aus Energieverbrauch des IT-relevanten Inhalts durch Gesamt-Energieverbrauch (= 1/PUE)
- IEP (IT Equipment Power):  
Energieverbrauch für IT-Verarbeitung, Speicherung und Verteilung sowie Management
- TFP (Total Facility Power):  
Gesamt-Energieverbrauch inkl. Klima (Kühlung), Stromlieferung, Überwachung, Beleuchtung etc.
- SI-EER (Site Infrastructure-Energy Efficiency Ratio):  
Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs zur Energie nur für die IT
- IT-PEW (IT Productivity per Embedded Watt):  
Wert, der die IT-Produktivität (Transaktionen, Speichermenge, Rechenzyklen) ins Verhältnis zur dafür benötigten Leistung setzt.
- DC-EEP:  
Multiplikation aus SI-EER und IT-PEW

**Tabelle** Heute verwendete Kennzahlen für Energieeffizienz von RZs.

die Nutzung der RZ-Abwärme zur Energierückgewinnung und ermöglicht so einen Vergleich von RZs.

Beim Umgang mit Energieeffizienz-Kennzahlen muss man sich allerdings immer bewusst sein, dass sie keine Aussage über den Betriebsnutzen eines RZs zulassen. Die heute verwendeten Kennzahlen adressieren nur die Effizienz der physischen Hardware-Komponenten (**Tabelle**). Sie geben Aufschluss darüber, wie nah ein RZ am «Designpunkt» betrieben wird und wie effizient die IT-Systeme die zur Verfügung stehende Kühlung nutzen. Künftig wird ein Messsystem gefordert sein, das den Energieverbrauch eines RZs auch in Bezug auf die verrichtete nützliche Arbeit erfasst und vergleichbar macht. Erste Versuche, die in diese Richtung unternommen wurden, blieben jedoch bisher unbefriedigend [8, 9].

### These 4 – Datenspeicherung wird zum Cloud Service

Durch den zunehmenden Einsatz von Sensoren und Geräten, die Informationen digitalisieren, übersteigen die Daten weltweit bereits bei Weitem den heute verfügbaren Speicherplatz. Für 2010 prognostiziert eine IDC-Studie eine Datenmenge von 1,2 Zettabyte [2]. Und Schätzungen zufolge wird die Nachfrage nach Speicherkapazität auch weiterhin jedes Jahr um fast 60% wachsen. Gemäss dem Marktanalysten Forrester werden die IT-Ausgaben für Speichersysteme in diesem Jahr in den USA das schnellste Wachstum im Hardware-Technologie-Segment verzeichnen [3]. Für Unternehmen ist Datenspeicherung zu einem signifikanten Kostenfaktor geworden. CIOs beklagen bereits heute die hohen Hard- und Softwarekosten für Datenspeicherung. Aber auch Auflagen und gesetzliche Richtlinien, wie etwa Sarbanes-Oxley oder Basel II, sowie die Verarbeitungsdauer von Back-ups stellen viele RZ-Betreiber vor technische Herausforderungen. Künftig werden daher «Storage as a Service»-Modelle attraktiv, bei denen der Betrieb von Back-ups und die Archivierung zu einem Cloud-Anbieter ausgelagert werden, der die Verantwortung für Online-Back-ups inklusive Web-Datensicherung und Langzeitarchivierung übernimmt. Die Kosten dürften schätzungsweise unter einem Franken pro Gigabyte und Monat zu liegen kommen.

### These 5 – Energieeffizienz muss messbar sein

Bereits kurz nach der Jahrtausendwende gab es Bestrebungen, eine Metrik zur Energieeffizienz von Rechenzentren

zu definieren [4]. Im Jahre 2007 wurde vom Industriekonsortium «The Green Grid» [5] mit der Power Usage Effectiveness (PUE) eine Metrik vorgeschlagen, die mittlerweile in Fachkreisen allgemeine Akzeptanz gefunden hat. Auch die Erweiterung der bekannten EnergyStar-Zertifizierung auf Rechenzentren, die das amerikanische Umweltministerium derzeit erarbeitet [6], wird auf dem PUE basieren, sodass nur RZs unterhalb eines noch zu definierenden Zielwerts die Zertifizierung erhalten.

#### Power Usage Effectiveness

PUE definiert sich als Quotient des Gesamtenergieverbrauchs des Rechenzentrums geteilt durch den Energieverbrauch der IT-Komponenten im Rechenzentrum. Damit wird auch der prozentuale Mehrverbrauch für Nicht-IT-Komponenten wie Kühlung, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) etc. erfasst, und Rechenzentren können miteinander verglichen werden. Typische RZs in der Schweiz weisen je nach Alter einen PUE zwischen 1,5 und 2 auf. Container-Modul-Rechenzentren, die mit Aussenluftkühlung kombiniert sind, erreichen PUE-Spitzenwerte von 1,1, die sehr nah am theoretischen Minimum von 1 liegen. Neue Technologien wie die Heisswasserkühlung werden künftig weiter zur Verbesserung des PUE beitragen (siehe These 6). Mit vermehrter direkter Nutzung von Abwärme stellt sich zunehmend die Frage nach einem modifizierten PUE, der diese Rücknutzung einbezieht und damit Werte <1 zuliesse. Als Alternative dazu entwickelt «The Green Grid» eine zusätzliche Metrik mit dem vorläufigen Namen «Energy Reuse Factor» [7]. Diese Metrik berücksichtigt

### These 6 – Sensorik und Monitoring werden wichtiger

Betrachtet man die Definition des PUEs, so wird deutlich, dass Energiemessungen der verschiedenen Komponenten eine wichtige Rolle spielen, insbesondere wenn das Rechenzentrum nicht über eine separate Stromversorgung verfügt.

Um die Vergleichbarkeit von PUE-Messungen zu gewährleisten, muss zusätzlich zum Wert spezifiziert werden,

- wo der IT-Stromverbrauch gemessen wurde: an der USV, der Stromverteilung oder dem Server;
- wie der Gesamtstromverbrauch gemessen wurde: nur Eingangsverbrauch, Eingangsverbrauch ohne gemeinsam genutzte Klimageräte oder Eingangsverbrauch ohne gemeinsam genutzte Klimageräte, aber inklusive Licht, Sicherheitstechnik sowie weiterer peripherer Technik;
- wie oft die Messung durchgeführt wurde: monatlich, täglich oder kontinuierlich.

Für die genauen Messungen kommt Sensorik zum Einsatz. Sensoren können direkt in der Stromversorgung installiert und über das Gebäudeleitsystem ausgelesen werden. Für eine detailliertere Erfassung werden Sensoren in den Stromverteilungseinheiten im Serverschrank oder in den Rechnern selbst angebracht. Zum Betreiben einer solchen umfassenden Sensorik werden Konzepte wie das Energy Harvesting interessant. Hierbei wird Energie aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen gewonnen, die die Sensoren kontinuierlich mit Strom versorgt.



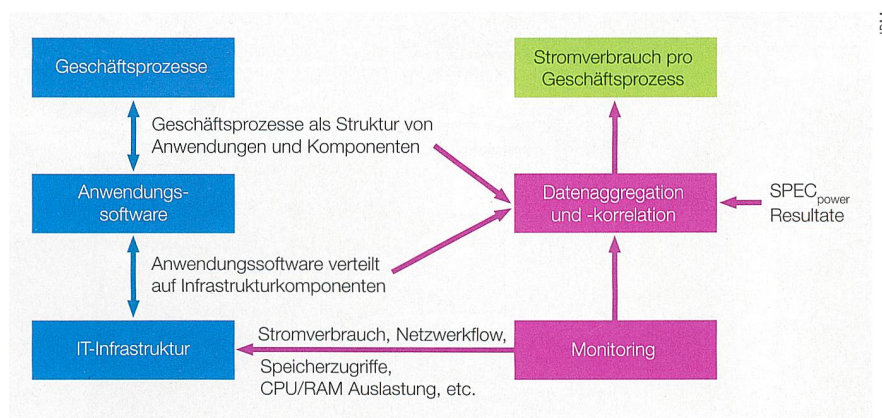
Zusätzlich zur Erfassung des Stromverbrauchs lassen sich durch Temperaturmessungen Wärmestaus oder überkühlte Zonen in einem RZ aufspüren und eliminieren. So kann die Kühlung optimiert und die durchschnittliche Temperatur im Rechenzentrum angehoben werden, was den Energieverbrauch weiter reduziert. Daneben hilft die mathematische Modellierung von thermodynamischen Wechselwirkungen, ein vertieftes Verständnis von Kühlvorgängen im RZ zu gewinnen. Dies wird in Zukunft die Planung von optimierten RZs vereinfachen und die Entwicklung von neuen autonomen Regelkreisen ermöglichen – die in Echtzeit messen, analysieren und steuern.

### These 7 – Direkte Nutzung der Abwärme

Ein grosses Potenzial für künftige Effizienzsteigerungen liegt in neuen Kühlkonzepten. In heutigen luftgekühlten RZs entfallen bis zu 50% des Strombedarfs auf den Betrieb der Kühlinfrastruktur, was einem PUE von 2 entspricht. Aus thermodynamischer Sicht ist Kühlen mit Flüssigkeiten bedeutend effizienter: Die volumetrische Wärmekapazität von Kühlflüssigkeiten ist um Grössenordnungen höher als die von Luft, jene von Wasser etwa rund 4000-mal. Wird der Wärmewiderstand dank leistungsfähiger Flüssigkühlung, die möglichst nah an die Wärmequelle herangeführt wird, minimiert, erlaubt dies neue Kühlkonzepte – wie etwa das effiziente Kühlen mit heissem Wasser. Damit werden energieintensive Kühlgeräte überflüssig, was den Energieverbrauch im Rechenzentrum signifikant verringert. Zusätzlich kann die abgeführte Wärme direkt, d.h. ohne zusätzlichen Energieaufwand, weiterverwendet werden, etwa für das Heizen von Gebäuden.

### Potenzial der Abwärmenutzung

Ein grösseres RZ generiert rund 10 MW Wärme. Bei 100% Wiederverwendung könnten damit bis zu 1400 Minergie-Häuser geheizt werden. Durch direkte Abwärmenutzung kann auch die CO<sub>2</sub>-Bilanz von RZs erheblich verbessert werden. Das Pilotsystem Aquasar erreicht eine Reduktion von 85% (siehe Kasten nächste Seite). Für Luftkühlung hingegen existieren keine ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Konzepte, um Abwärme direkt nutzbar zu machen. Denn Wärme erhält nur dann einen realen Wert, wenn sie eine hohe Temperatur (>50°C) hat und möglichst verlustarm transportiert werden kann. Flüssigkühlkonzepte werden daher in der



**Bild 1** Die Verknüpfung von Abhängigkeiten zwischen IT-Komponenten mit Sensordaten erlaubt eine prozessbezogene Energieabrechnung.

Entwicklung von hoch effizienten und nachhaltigen RZs eine massgebende Rolle spielen.

### These 8 – Das RZ der Zukunft wird im Smart Grid sein

Ein sogenanntes Smart Grid integriert alle Akteure auf dem Strommarkt durch das Zusammenspiel von Erzeugung, Speicherung, Netzmanagement und Verbrauch [10]. Aus der verstärkten Interaktion von Verbrauchern und Erzeugern ergibt sich ein Nutzen für beide Seiten. Das intelligente RZ als Teilnehmer in diesem Netz kennt dabei alle Angebote von Energielieferanten und korreliert diese mit dem eigenen Bedarf. So weiss das RZ etwa, welche Verarbeitungsabläufe auf dem Programm stehen, und wird entsprechend versuchen, diese mit dem günstigsten Anbieterstrom und dem günstigsten Zeitpunkt zu kombinieren. Intelligente Steuerungen im RZ erfassen und analysieren Energiebedarf und -angebot.

### Standortwahl gewinnt an Bedeutung

Bei der Standortwahl für Mega-RZs wird neben der IP-Anbindung die Verfügbarkeit von günstigem Strom zu einem zentralen Entscheidungskriterium werden. Schon heute beobachtet man, dass grosse Rechenzentren in die Nähe von Stromverteilzentren gebaut werden. In heisswassergekühlten RZs wird auch die Entfernung zu Abnehmern von Abwärme für die Standortwahl wichtig sein. Die Verfügbarkeit von Kühlwasser aus Flüssen und Seen wird an Bedeutung verlieren.

### These 9 – Energieeffizienz-Kriterien steuern Rechenlast

Die Transparenz im intelligenten Stromnetz erlaubt, Rechenlast gezielt in

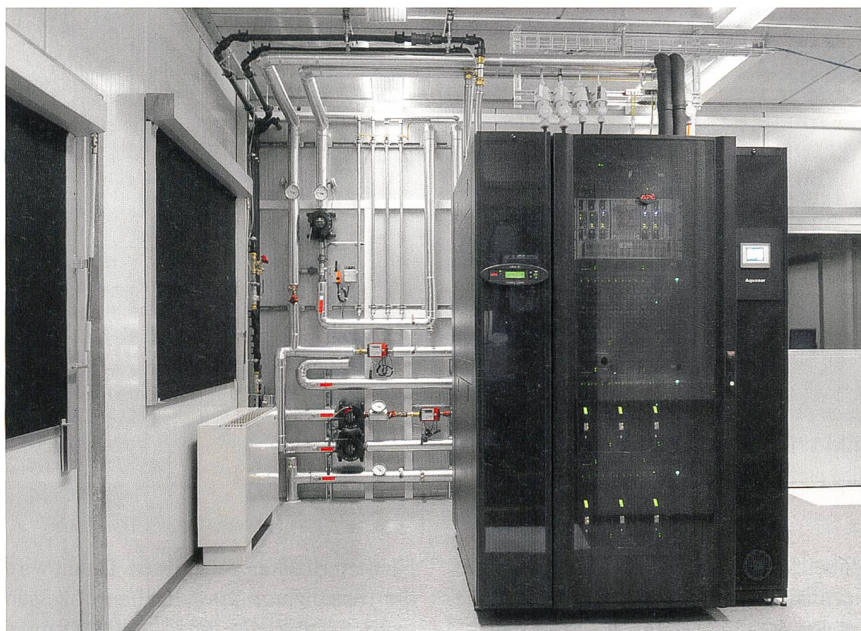
Niedertarifzeiten zu verlegen. Damit wird die Erledigung von Rechenprozessen nach energieoptimierten Kriterien möglich. Es steht nicht mehr die Verfügbarkeit von freien Rechenressourcen im Vordergrund. Dies erfordert neue IT-Architekturen und Technologien zur Lastverteilung. Intelligente Workload-Scheduler starten nicht zeitkritische Aufträge automatisch, wenn der Stromtarif einen gewissen Schwellwert unterschreitet. Dabei werden die energieeffizientesten zur Verfügung stehenden Maschinen ausgewählt. In Zeiten hoher Stromtarife wird die Last auf kritische Anwendungen beschränkt, wobei wiederum die energieeffizientesten Maschinen benutzt werden. Nicht verwendete Systeme werden abgeschaltet oder gedrosselt. Jeff Kephart hat Möglichkeiten aufgezeigt, wie Server intelligent ausgeschaltet oder in einen Stand-by-Modus (S3 – Suspend to RAM respektive Suspend to Memory oder S4 – Suspend to Disk) gefahren werden können, wobei die Servicequalität immer noch eingehalten wird. Dies führt zu einer Strom einsparung von rund 25% [11].

### These 10 – Neue energiebezogene Service Level Agreements kommen

Kombiniert man detaillierte Strommessungen auf dem Level einzelner IT-Komponenten mit IT-Monitoring und Informationen über die Abhängigkeiten zwischen einem Geschäftsprozess, der Anwendungs- und Middlewareschicht sowie der darunterliegenden Hardware, so lässt sich der Energieverbrauch pro Geschäftsprozess aufzeigen (Bild 1). Damit können «stromfressende» Prozesse aufgedeckt und optimiert werden.

Mit der so gewonnenen Transparenz lassen sich neue, auf Energieeffizienz ba-





**Bild 2** Der Supercomputer Aquasar im Maschinenlabor der ETH Zürich.

#### Im Fokus

##### **Aquasar: Heisswassergekühlter Supercomputer**

Aquasar ist der erste Rechner, der mit heissem Wasser gekühlt wird und dessen abgeführte Wärme direkt für die Gebäudeheizung eingesetzt werden kann (**Bild 2**). Der Hochleistungsrechner wurde in einem einjährigen Pilotprojekt von IBM-Forschern und Ingenieuren in Zürich und Böblingen für die ETH Zürich entworfen und gebaut.

Er besteht aus 28 speziell für das Projekt angefertigten, wassergekühlten IBM-BladeCenter-Servern (22 QS22 mit jeweils 2 IBM-PowerXCell-8i-Prozessoren und 6 HS22 mit jeweils 2 Intel-Xeon-Prozessoren). Für eine direkte Vergleichbarkeit mit herkömmlichen, luftgeköhlten Rechnern sind im Gesamtsystem auch 14 luftgekühlte IBM-BladeCenter-Server (11 QS22 und 3 HS22) untergebracht. Insgesamt erreicht das System eine Rechenleistung von 6 TFlops (1012 Gleitkommazahl-Operationen/s) und erzielt eine Energieeffizienz von 450 MFlops/W. Zusätzlich werden 9 kW Wärmeenergie dem Gebäudeheizsystem der ETH Zürich zugeführt. Das Kühlsystem setzt direkt dort an, wo am meisten Wärme entsteht: beim Prozessor (**Bild 3**). Leistungsfähige Mikrokanalkühler sind auf der Rückseite des Chips angebracht. Die etwa 2 cm<sup>2</sup> grossen, aus Kupfer gefertigten Wasserkühler verfügen über eine kammförmige Mikrostruktur im Inneren, durch die das Wasser effizient verteilt und hindurchgeleitet wird. Dies ermöglicht es, die Chips selbst mit bis zu 60 °C heissem Wasser noch auf ihre Betriebstemperatur von rund 80–85 °C zu kühlen und wertvolle Abwärme zu gewinnen.

Das Kühlsystem des Rechners ist ein hermetisch geschlossener Kreislauf. Das Wasser im System, insgesamt etwa 20 l, wird mit einer Rate von 30 l/min durch den Hochleistungsrechner gepumpt. Durch den einzelnen Mikrokanalkühler strömen so ca. 0,5 l/min. Die durch das Wasser transportierte Abwärme wird durch einen Wärmetauscher an einen externen, zweiten Wärmekreislauf weitergegeben, im Fall von Aquasar dem Gebäudeheizsystem der ETH Zürich, und so sinnvoll weiterverwendet. Dank der Heisswasserkühlung wird der Energieaufwand für die Kühlung um bis zu 40 % reduziert. Durch diese direkte Abwärmenutzung kann das System im Betrieb seinen CO<sub>2</sub>-Fussabdruck um bis zu 85 % reduzieren. Aquasar setzt so neue Massstäbe in Energieeffizienz und Nachhaltigkeit.

Der Aquasar-Supercomputer wird für die Forschung im Einsatz stehen. Das «Computational Science and Engineering»-Labor des Lehrstuhls für Computerwissenschaften der ETH Zürich wird die Rechenkapazität für komplexe Strömungssimulationen nutzen. Darüber hinaus wird in einem dreijährigen, gemeinschaftlichen Forschungsprogramm «Direkte Abwärmenutzung von flüssiggeköhlten Supercomputern: Der Weg zu energiesparenden, emissionsfreien Hochleistungsrechnern und Rechenzentren», an dem neben der ETH Zürich und dem IBM-Forschungszentrum in Rüschlikon auch die ETH Lausanne beteiligt ist, die Heisswasserkühlung weiterentwickelt.

sierte Kriterien für die Servicequalität definieren. Verbraucher können diese dann neben traditionellen Messgrössen wie Antwortzeit oder Verfügbarkeit für die Definition von Service Level Agreements (SLA) berücksichtigen. Solche energiebezogenen SLAs könnten z. B. beinhalten:

- durchschnittlichen Energieverbrauch pro Geschäftsprozess;
- Maximalwert des PUE bei ausgelagerten RZs oder Minimalwert des Energy Reuse Factors;
- Anteil von Leistungen während Hoch- bzw. Niedertarifzeiten;
- Anteil von EnergyStar-zertifizierten Geräten im RZ.

Es ist zu erwarten, dass sich IT-Anbieter künftig über ein ausgewogenes Dienstleistungsportfolio, das Energieeffizienz und traditionelle Service Level Agreements berücksichtigt, im Wettbewerb stärker positionieren und abheben müssen.

#### Fazit

Die Themen Nachhaltigkeit, Effizienz und Cloud Computing werden die RZ-Entwicklung in den nächsten zehn Jahren dominieren. Das RZ der Zukunft hat standardisierte, vorkonfigurierte, modulare IT- und Infrastruktur-Elemente, ist skalierbar, erlaubt Just-in-time-Anpassungen von Kapazitäten und stellt Services schnell und günstig rund um den Globus zur Verfügung.

Kleine evolutionäre Schritte werden nicht ausreichen, um diese Eigenschaften und das angestrebte Niveau an Effizienz zu erreichen. Technologiesprünge wie zum Beispiel durch die Heisswasserkühlung werden notwendig. Ausserdem muss eine deutliche Annäherung der beiden

#### Résumé

##### **Le centre de calcul**

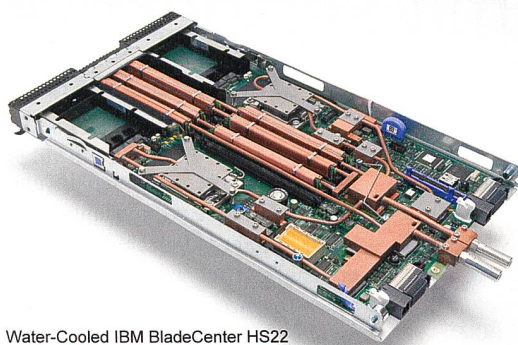
##### **en 2020**

##### **10 thèses sur le cloud computing et l'efficacité énergétique**

Le cloud computing est le concept informatique de l'avenir. Les mégacentres de calcul nécessaires doivent être construits de manière énergétiquement efficace afin de pouvoir être exploités de manière durable. Cet article expose en 10 thèses les futures tendances des centres de calcul permettant une exploitation efficace au niveau énergétique. Un exemple illustre les tendances qui se dessinent: le superordinateur Aquasar installé à l'EPF de Zurich, dont l'eau de refroidissement peut servir à chauffer le bâtiment.

No





Water-Cooled IBM BladeCenter HS22

Disziplinen Informatik und Gebäude-  
technik stattfinden, um eine gesamtheit-  
liche Optimierung zu erzielen.

Angesichts dieser Trends und der da-  
mit verbundenen Investitionen müssen  
Unternehmen vermehrt analysieren, ob

**Bild 3** Ein wasser-  
gekühlter IBM-Blade-  
Center-Server HS22 mit  
speziellen Mikrokanal-  
kühlern für die beiden  
Prozessoren (graue  
Elemente mit Y-Klam-  
mern).

der Betrieb eines eigenen RZs langfristig  
sinnvoll ist oder ob die Nutzung von  
Cloud Services die nachhaltigere Lösung  
darstellt.

#### Angaben zu den Autoren

Dr. **Frank Bagehorn** wechselte nach seinem PhD  
in Physik 1999 von der TU Dresden an das IBM-For-  
schungslabor in Rüschlikon. Als IT-Architekt und Leiter  
der IT-Abteilung ist er unter anderem für den Betrieb  
des RZ verantwortlich und an Forschungsprojekten im  
Bereich Service-Management und Energieeffizienz  
beteiligt.

IBM Research Zürich, 8803 Rüschlikon,  
fba@zurich.ibm.com

Dr. **Oliver Boxler** studierte und promovierte an der  
ETH Zürich. Seit 2007 arbeitet er im IBM-Forschungs-  
labor in Rüschlikon. Seine Arbeitsgebiete umfassen  
Technologie-, Marktentwicklung und Innovations-  
management.

IBM Research – Zürich, 8803 Rüschlikon,  
obo@zurich.ibm.com

Anzeige

NUKLEARFORUM SCHWEIZ  
FORUM NUCLÉAIRE SUISSE

#### VERTIEFUNGSKURS NUKLEARFORUM SCHWEIZ

## MANAGEMENT VON KKW-GROSSPROJEKTEN: MODERNISIERUNG UND NEUBAUTEN

16./17. November 2010, Brugg-Windisch

### WAS SIND DIE HERAUSFORDERUNGEN RUND UM DIE ERNEUERUNG DES SCHWEIZER KERNKRAFTWERKPARKS? WELCHE ERFAHRUNGEN IM MANAGEMENT SOLCHER GROSSPROJEKTE SIND VORHANDEN?

Antworten auf diese Fragen erhalten Sie am diesjährigen Vertiefungskurs von Projektleitern  
bestehender und geplanter Schweizer Kernkraftwerke, von hochrangigen Vertretern internationaler  
Technologieanbieter und weiteren Experten und Expertinnen.

WEITERE INFOS UND ANMELDUNG UNTER [WWW.NUKLEARFORUM.CH](http://WWW.NUKLEARFORUM.CH)