

2 Energieeffizienz im Rechenzentrum

Von Dr. Ralph Hintemann und Holger Skurk

Dr. Ralph Hintemann ist Senior Researcher am Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH.

Holger Skurk, ist Bereichsleiter IT-Infrastruktur & Digital Office des BITKOM und leitet dort diverse Arbeitskreise.

2.1 Einführung in das Kapitel¹

2.1.1 Überblick

In den stark automatisierten, arbeitsteiligen Wirtschaftssystemen der Industrienationen ist die eine effiziente und zuverlässige zentrale Informationstechnik (IT) der Unternehmen entscheidend für den Geschäftserfolg. Immer mehr Unternehmensabläufe werden durch die IT unterstützt. Vielfach ist es sogar nur noch durch die umfassende IT-Unterstützung der Geschäftsprozesse möglich, im globalen Wettbewerb erfolgreich zu sein. Die installierte Rechenleistung in modernen Unternehmen steigt dabei ständig an. Neue und verbesserte Anwendungen und Programm-Features erfordern leistungsfähige Server. In den Rechenzentren kleiner und mittlerer Unternehmen sind heute Rechenleistungen installiert, die vor wenigen Jahren ausschließlich einigen Großunternehmen vorbehalten waren. Diese im Grundsatz positive Entwicklung kann aber auch zu hohen Strom- und Kühlleistungen in Rechenzentren führen. Damit stellen sich neue Herausforderungen an die Planung, Ausführung und den Betrieb einer IT-Infrastruktur.

Durch den Einsatz moderner Technologien ist es heute möglich, den Energiebedarf eines Rechenzentrums deutlich zu reduzieren. Damit sind gleich mehrere Vorteile verbunden:

¹ Dieses Kapitel gibt in verkürzter Form den Inhalt des BITKOM-Leitfadens „Energieeffizienz im Rechenzentrum“ wieder. Dieser Leitfaden steht auf der BITKOM-Webseite zum kostenfreien Download zur Verfügung.

- Die Betriebskosten eines Rechenzentrums sinken in beträchtlichem Umfang. Die Energiekosten machen einen hohen Anteil an den Gesamtkosten der IT aus., teilweise sind sie, über die Nutzungsdauer gesehen, bereits höher als die Anschaffungskosten für die Hardware. Deshalb zahlen sich Investitionen zur Energieeinsparung schnell aus: Für Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Rechenzentren sind Amortisationszeiten von ein bis zwei Jahren typisch; zum Teil rechnen sich die Investitionen auch schon nach wenigen Monaten.
- Vielfach stößt der Strom- und Kühlleistungsbedarf eines Rechenzentrums an Grenzen, die durch die vorhandene Infrastruktur oder auch den Energieversorger vorgegeben sind. Eine Verbesserung der Energieeffizienz hilft hier, dass diese Grenzen nicht erreicht werden und so teure Investitionen vermieden werden können.
- Mit Blick auf die gesellschaftliche Verantwortung eines Unternehmens ist eine Reduktion des Energiebedarfs seines Rechenzentrums und den damit verbundenen positiven Umweltauswirkungen eine Investition in die Zukunft.

In diesem Kapitel werden praktische Hinweise gegeben, wie bei der Planung, Implementierung und beim Betrieb eines Rechenzentrums moderne Technologien eingesetzt werden können, um die Energieeffizienz deutlich zu erhöhen. Und dies bei insgesamt sinkenden Kosten: Praktische Erfahrungen zeigen, dass Einsparung bei den Gesamtkosten eines Rechenzentrums (Planung, Bau, Ausstattung, Betrieb) in der Größenordnung von 20 % und mehr möglich sind. Die Hinweise beziehen sich sowohl auf die Neuplanung eines Rechenzentrums als auch auf die Modernisierung vorhandener Infrastrukturen.

2.1.2 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren

Die Informations- und Telekommunikationstechnik (ITK) ist ein bedeutender Faktor für moderne Volkswirtschaften: Allein in Deutschland ist die Bruttowertschöpfung der Branche seit Mitte der 90er Jahre um fast 50 % gewachsen.² Sie ist heute höher als die der Automobilindustrie und des Maschinenbaus. Im Jahr 2008 hatte der ITK-Markt laut einer Erhebung des BITKOM in Deutschland ein Volumen von rund 145 Milliarden Euro. In der Branche sind rund 800.000 Angestellte und Selbstständige tätig, zusätzlich arbeiten fast eine Million ITK-Fachkräfte in anderen Branchen. Gleichzeitig ist die ITK-Branche einer der Hauptmotoren des Wirtschaftswachstums. In den Anwenderbranchen erhöhen ITK-Investitionen die Arbeitsproduktivität und ermöglichen maßgebliche Produkt- und Prozessinnovationen.

² Vgl. BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Roland Berger (Hrsg.): Zukunft digitale Wirtschaft, Berlin 2007, S. 5.

Diese sehr positive Entwicklung hatte in der Vergangenheit aber auch zur Folge, dass der Energiebedarf der ITK kontinuierlich angestiegen ist. In einer Studie³ für das Bundesumweltministerium schätzt das Borderstep-Institut, dass sich der Energiebedarf von Rechenzentren in Deutschland im Zeitraum von 2000 bis 2008 um den Faktor 2,5 erhöht hat. Mit einem Stromverbrauch von 10,1 TWh im Jahr 2008 sind sie für 1,8 % des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich. Bedingt durch die gestiegenen Strompreise haben sich die Stromkosten von Rechenzentren sogar von 251 Mio. Euro auf 1,1 Mrd. Euro mehr als vervierfacht. Setzt sich diese Entwicklung fort, werden sich die Stromkosten in den nächsten fünf Jahren noch einmal verdoppeln.

Die Studie zeigt aber auch auf, dass über den Einsatz von modernen Technologien trotz weiter steigender IT-Leistung die Entwicklung umgekehrt werden kann: Bei Einsatz von State-of-the-Art-Technologien könnte in den nächsten fünf Jahren der Gesamtstromverbrauch von Rechenzentren um fast 40 % reduziert werden. Trotz steigender Strompreise ließen sich damit die Stromkosten der Rechenzentren insgesamt wieder reduzieren.

³ BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Energieeffiziente Rechenzentren. Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien, Berlin 2008.

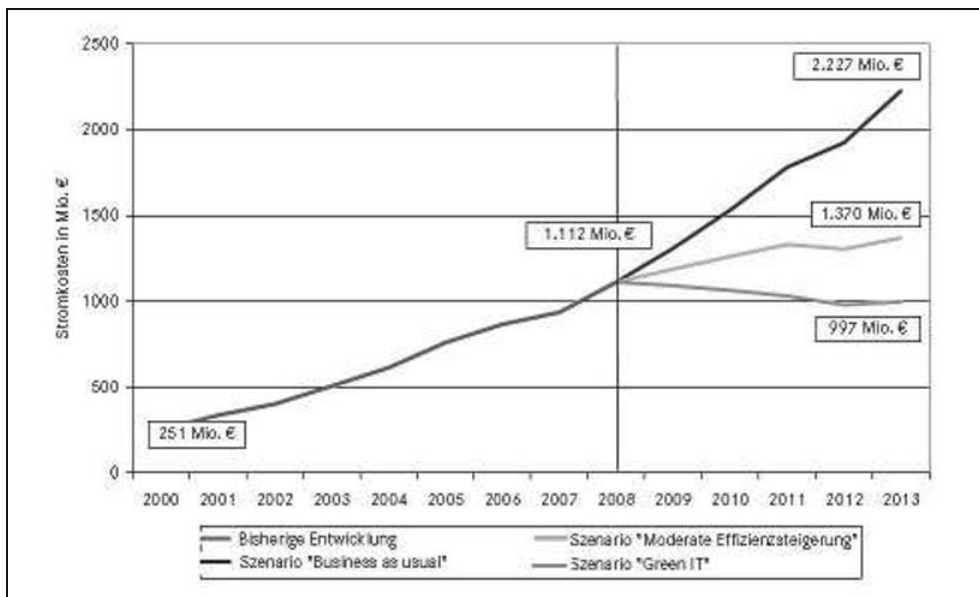


Abbildung 2-1: Entwicklung der Stromkosten im Rechenzentrum⁴ (Quelle: Borderstep)

2.1.3 Energieverbraucher in Rechenzentren

Eine Analyse der Geräte im Rechenzentrum zeigt, dass durchschnittlich nur ca. die Hälfte des Energieverbrauchs durch die eigentliche IT bedingt ist. Die andere Hälfte verbraucht die zusätzlich benötigte Infrastruktur wie zum Beispiel Klimatisierung und Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Abbildung 2-2 zeigt die Aufteilung des Energieverbrauchs in den USA in den Jahren 2000 bis 2006. Auf Seiten der IT sind die Zuwächse im Energiebedarf vor allem auf die starke Zunahme im Bereich Volume Server zurückzuführen. Durch die stark ansteigenden Datenmengen ist auch der Energiebedarf des Speicherbereichs sehr deutlich gewachsen und liegt heute in der Größenordnung von 15 % des direkt durch die IT benötigten Energiebedarfs.

⁴ Quelle: Fichter, Klaus: Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland - Trends und Einsparpotenziale bis 2013, Borderstep Institut, Berlin 2008.

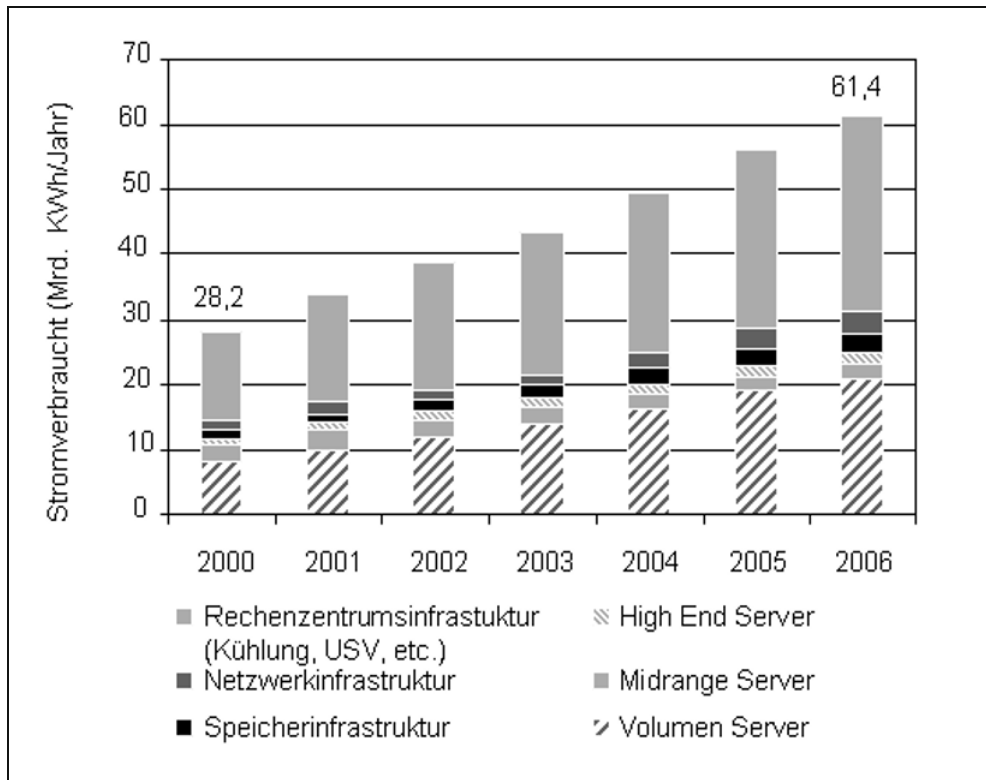


Abbildung 2-2: Entwicklung des Energieverbrauchs in Rechenzentren –
Anteile der einzelnen Verbraucher⁵

2.1.4 Herausforderungen für Planung und Betrieb von Rechenzentren

Die beschriebenen Entwicklungen führen zu großen Herausforderungen für Unternehmen bei der Planung und beim Betrieb ihrer Rechenzentren. Die Leistungsdichten in den Rechenzentren haben sich sehr stark erhöht. Allein der durchschnittliche Pro-Rack-Energieverbrauch hat sich in den letzten drei Jahren verdreifacht. Für IT-Verantwortliche und Facility-Manager stellen sich vor allem folgende Herausforderungen:

- Kann die benötigte Gesamtleistung sichergestellt werden? Gerade in Ballungsräumen können die Energieversorger die hohen Leistungen teilweise

⁵ Quelle: US EPA (U.S. Environmental Protection Agency, Energy Star Program): Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431; 2007

nicht mehr bereitstellen. Welche Möglichkeiten gibt es also, den Energiebedarf zu verringern?

- Wie kann die entstehende Wärme aus dem Rechenzentrum wieder herausgeleitet werden? Reicht die existierende Klimatisierungstechnik aus und/oder wie kann sie den Anforderungen entsprechend optimal ergänzt oder modernisiert werden, um so zusätzlich Energie einzusparen? Gibt es Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme, zum Beispiel zur Gebäudebeheizung?
- Wie kann optimal mit den zum Teil sehr hohen Leistungen in einzelnen Racks umgegangen werden? Es gibt bereits Racks, in denen eine Gesamtleistung von 30 kW oder mehr installiert ist. Wie können Hot-Spots vermieden oder optimal gekühlt werden?
- Wie können Investitionsentscheidungen so gefällt werden, dass die Gesamtkosten (TCO – Total Cost of Ownership) minimiert werden? Insbesondere müssen neben den Kosten für Hardware, Planung, Implementierung und Management auch die Energiekosten in die Berechnung einbezogen werden.

Die folgenden Abschnitte bieten eine Hilfestellung bei der Bewältigung dieser Herausforderungen. Dabei werden zunächst Hinweise zur Messung von Energiebedarf und Temperaturen gegeben, bevor die Energieeinsparpotenziale in der IT, in der Klimatisierung und in der Stromversorgung dargestellt werden. Abschließend wird kurz erläutert, welche Potenziale zur Kosten- und Energieeinsparung durch Energy Contracting bestehen.

2.2 Messung von Energiebedarf und Temperaturen

2.2.1 Überblick

Was nicht gemessen wird, kann nicht optimiert werden. Hier besteht Nachholbedarf bei vielen Rechenzentren. Viele Unternehmen wissen nicht, wie groß der Anteil der IT am Gesamtenergieverbrauch ist. Dabei ist dieser Kostenfaktor erheblich: In einigen Bereichen, z.B. bei den Volumenservern, liegen diese Kosten schon heute im Bereich der Anschaffungskosten. Das heißt, während der Nutzungszeit dieser Server fällt der Kaufpreis noch einmal an, dann allerdings auf der Stromrechnung. Häufig ist die Unkenntnis über die Energiekosten der IT in der Unternehmensorganisation begründet: Die IT-Manager sind nicht für den Stromverbrauch verantwortlich. So werden in vielen IT-Budgets zwar die Kosten für die Planung, Anschaffung und das Management der IT berücksichtigt, nicht aber die Energiekosten. Diese werden als Gemeinkosten über das Facility Management abgerechnet.

Allein schon die Messung des Gesamtenergiebedarfs eines Rechenzentrums führt in der Regel dazu, dass Potenziale zur Senkung von Energieverbrauch und Kosten aufgedeckt werden. Wird der Energieverbrauch bei der Ausstattung eines Rechen-

zentrums adäquat berücksichtigt, fallen die Investitionsentscheidungen oft anders aus. Eine etwas höhere Investition in eine energieeffiziente Kühlung kann sich beispielsweise schon nach wenigen Monaten rentieren.

Für eine Gesamtbewertung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums existieren eine Anzahl von Mess- und Bewertungskonzepten⁶. Diese verschiedenen Ansätze versuchen, die Energieeffizienz von Rechenzentren anhand geeigneter Kennzahlen zu bewerten. Der Energieverbrauch wird dabei zu einer anderen Leistungsgröße des Rechenzentrums ins Verhältnis gesetzt. Idealerweise würde man die Energieeffizienz über eine Kennziffer bewerten, die den Rechenzentrumsoutput ins Verhältnis zum Energieeinsatz darstellt. Allerdings gibt es bislang keine geeignete Output-Größe, die für alle Typen von Rechenzentren und Anwendungsfälle hinreichend genau die eigentliche Leistungsfähigkeit beschreibt. An dieser Fragestellung wird in verschiedenen internationalen Gremien jedoch intensiv gearbeitet und es sind in den nächsten Jahren erste Ergebnisse zu erwarten. Einen bereits existierenden Ansatz für eine solche Bewertung liefert die Liste Green500-List (www.green500.org). In dieser Liste sind die 500 energieeffizientesten Supercomputer der Welt zusammengestellt. Die Bewertung erfolgt anhand des Quotienten von Rechenleistung in Flops (Floating Point Operations per Second) zu Leistungsaufnahme in Watt.

In der Fachwelt weitgehend akzeptiert ist eine Rechenzentrums-Kenngröße die als Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE) bezeichnet wird. Sie setzt den Energieverbrauch der IT-Systeme (Server, Speicher, Netzinfrastruktur) ins Verhältnis zum Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums. Damit ist die Kennzahl ein Qualitätsmaß dafür, wie viel der Energie tatsächlich für die eigentliche Funktion und Leistung eines Rechenzentrums eingesetzt wird. Möglichst wenig des Gesamtenergieverbrauchs eines Rechenzentrums soll auf die Infrastruktur des Rechenzentrums, also z.B. auf die unterbrechungsfreie Stromversorgung, die Kühlung und Klimatisierung oder andere „Energieverbraucher“ entfallen. Die DCiE wird im EU-Code of Conduct for Data Centers wie folgt definiert:

⁶ Z.B. Greenberg, S.; Tschudi, W.; Weale, J.: Self Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance, Version 1.0, May 2006, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 2006; Aebischer, B. et al.: Concept de mesure standardisé pour les centres de calculs et leurs infrastructures, Genève 2008; The green grid: The Green Grid Metrics: Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE) Detailed Analysis, 2008; BITKOM (Hrsg.): Energieeffizienzanalysen in Rechenzentren, Band 3 der Schriftenreihe Umwelt & Energie, Berlin 2008; European Commission: Code of Conduct on Data Centres.

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

Im optimalen Fall beträgt die DCiE-Kennzahl also 100 %. Dies ist allerdings nur ein theoretischer Zielwert. Bei der Ermittlung der DCiE werden in der Praxis sowohl Leistungsgrößen (in kW) als auch Energiegrößen (in kWh) herangezogen. Bei der Verwendung von Leistungsdaten werden punktuelle Werte zur aktuellen DCiE des Rechenzentrums ermittelt, während bei der Energiebetrachtung Verbrauchswerte für einen definierten Zeitraum zugrunde liegen. Beide Varianten haben ihren Sinn, allerdings kommt es am Ende auf den realen Energieverbrauch eines Rechenzentrums an.

Die DCiE eines sehr guten Rechenzentrums kann bei 65 % oder höher liegen. Es sind aber auch Rechenzentren in Betrieb, bei denen der Wert unter 50 % liegt. Das bedeutet, dass zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf für IT mehr als die gleiche Menge an Energie für Klimatisierung, USV, etc. verbraucht wird. Mit Hilfe einer entsprechenden Softwareunterstützung können Kennzahlen wie die DCiE auch laufend berechnet und überwacht werden, um so weitere Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz zu erschließen.

Die Messung von Energieverbrauch und Temperatur im Rechenzentrum kann aber noch viel weiter gehen: Moderne Systeme ermöglichen es, detailliert den Energieverbrauch und die Temperaturverteilung im Rechenzentrum zu erfassen und zu visualisieren.

Mit aktuellen, flexiblen Methoden kann schnell, anschaulich und in Echtzeit auf allen Ebenen des Energieeinsatzes in einem Rechenzentrum Transparenz geschaffen werden - bis hinunter zu den einzelnen aktiven oder passiven Komponenten und den Optionen ihrer Verwendung. Temperaturen können z.B. mit Infrarotkameras aufgenommen werden, womit sich eine sehr gute Momentaufnahme erzielen lässt. Für das dauerhaft sichere und effizienzorientierte Betriebsmanagement sind jedoch kontinuierliche und flächendeckende Messungen sowie die Darstellung der historischen Entwicklung erforderlich.

2.2.2 Energie-Monitoring

Zum Monitoring des Energiebedarfs in Rechenzentren lassen sich zwei Vorgehensweisen unterscheiden, die sich gegenseitig ergänzen: Das Server-Monitoring und das Energie-Monitoring. Das Server-Monitoring erfasst die „Produktion“, das Energie-Monitoring die „Versorgung“.

Server-Monitoring („Produktion“)

- kostengünstiges IT-Monitoring aller relevanten Auslastungsdaten
- effizientes Auffinden von Auffälligkeiten
- schnelle und detaillierte Analyse einzelner Phänomene
- klare Dokumentation von Maßnahmen (vorher - nachher)

Energie-Monitoring („Versorgung“)

- Zusammenführung von IT- & Energiemanagement
- Einbeziehen weiterer Parameter (meteorologische Daten, etc.)
- gemeinsame Werkzeuge für IT, Energie, Controlling, Einkauf, etc.
- Entwicklung einer kurz-, mittel- und langfristigen Energiestrategie

2.2.3 Temperatur-Monitoring

Die detaillierte Erfassung der Temperaturverteilung und deren Visualisierung (Abbildung 2-3) bietet eine Reihe von Vorteilen. Hot-Spots können identifiziert werden und über geeignete Maßnahmen beseitigt werden. Die Temperaturverteilung im Rechenzentrum kann z.B. über die Regelung des Luftvolumenstroms optimiert werden: Unnötig niedrige Temperaturen und gefährlich hohe Temperaturen werden vermieden. Damit werden Kosten gespart und die Verfügbarkeit verbessert. Der weitere Ausbau des Rechenzentrums kann bei bekannter Temperaturverteilung energieoptimiert erfolgen.

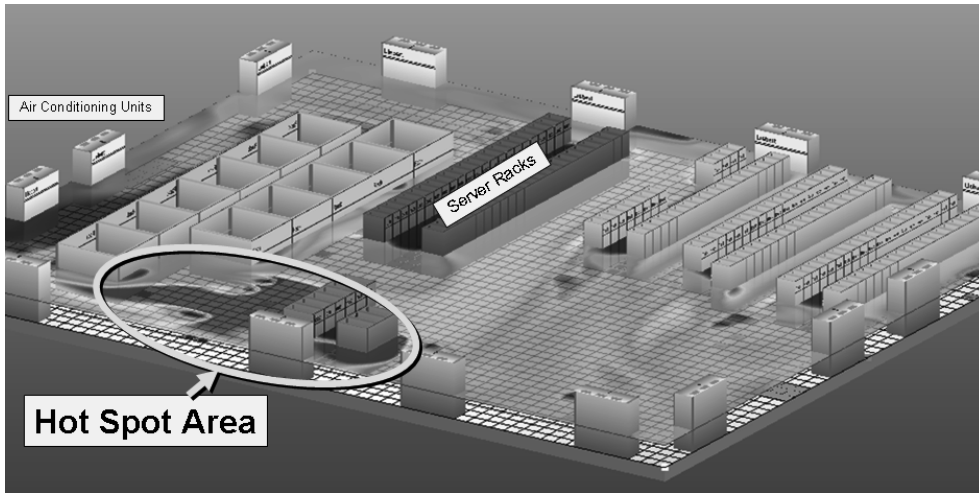


Abbildung 2-3: Temperaturverteilung im Rechenzentrum mit Hot Spot (Quelle: IBM)

2.3 Optimierung der IT-Hard- und Software

2.3.1 Überblick

Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Rechenzentrum liegt in der Optimierung der IT-Hard- und Software. Jedes Watt an Leistung, das auf Seiten der IT gespart wird, braucht nicht gekühlt werden oder über eine USV abgesichert werden. Demzufolge spart man zweifach. In diesem Abschnitt wird ein Überblick über die Einsparpotenziale durch IT-Hard- und Software gegeben. Zunächst werden die Server und die auf ihnen installierte Software betrachtet. Anschließend wird den Datenspeicherlösungen ein gesonderter Abschnitt gewidmet, da in diesem Bereich sehr hohe Wachstumsraten sowohl hinsichtlich des Datenvolumens als auch des Energieverbrauchs zu verzeichnen sind.

2.3.2 Server

Wie Abbildung 2-2 zeigt, werden ca. 2/3 des Energiebedarfs von IT-Hardware durch Volume-Server verursacht. Durch die sinkenden Hardwarepreise hat sich dieses Segment in den letzten Jahren sehr stark ausgeweitet. Dabei sind Volume-Server heute zum großen Teil nur sehr gering ausgelastet. Durchschnittliche Auslastungen von nur 10 % sind keine Seltenheit. Niedrige Auslastungen bedeuten aber schlechte Wirkungsgrade. Selbst im Leerlauf braucht ein Server in der Regel deutlich mehr als 70 % des Stroms, den er bei Volllast benötigt.

Prinzipiell lassen sich zwei Vorgehensweisen unterscheiden, um den Energieverbrauch von Servern zu reduzieren. Zum einen kann die Hardware optimiert

werden, so dass weniger Strom verbraucht wird. Zum zweiten kann der Betrieb dieser Hardware so verbessert werden, dass die durchschnittliche Auslastung der Systeme erhöht wird. Dabei kann gleich zweifach gespart werden: Durch geringeren Strombedarf und durch weniger Hardware, die benötigt wird. Beide Vorgehensweisen sollten parallel verfolgt werden, um eine optimale Lösung zu erreichen (vgl. Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Überblick für Ansatzpunkte zur Energieeinsparung bei Servern

1. Verbrauch der Systeme reduzieren

- Eine effiziente Hardware hängt sehr stark vom Produktdesign ab.
- Die richtige Komponenten- und Softwareauswahl und die präzise Dimensionierung reduzieren den Energieverbrauch.

2. Effiziente Nutzung der Hardwareressourcen

- Eine Konsolidierung und eine Virtualisierung können den Energie- und Materialverbrauch stark reduzieren.
- Eine optimierte Infrastruktur erlaubt das Abschalten nicht genutzter Hardware.

In Abbildung 2-4 ist eine typische Aufteilung des Energieverbrauchs von einzelnen Serverkomponenten dargestellt. Hier zeigen sich Energieeinsparpotenziale: Energiesparende CPUs verbrauchen oft weniger als die Hälfte im Vergleich zu konventionellen Prozessoren. Kleine 2,5“-Festplatten brauchen deutlich weniger Energie als 3,5“-Festplatten und auch Festplatten mit geringeren Umdrehungszahlen sind energiesparender als schneller rotierende Platten. Spielen die Zugriffsgeschwindigkeit und die Datenübertragungsraten der Festplatten bei der geplanten Anwendung keine kritische Rolle, so ist in der Systemleistung oft kein Unterschied festzustellen. Ein großes Arbeitsspeichermodule ist aus energetischen Gründen zwei kleinen Modulen mit gleicher Kapazität vorzuziehen.

Durch die Auswahl geeigneter und auf den Anwendungsfall abgestimmter Komponenten kann aufgrund der Wechselwirkungen auch bei den anderen Komponenten eine geringere Energie-/Leistungsnachfrage stattfinden. Am Markt verfügbar sind auch energiesparende Lüfter und Netzteile mit hohem Wirkungsgrad. Insbesondere beim Netzteil lohnt sich häufig das genaue Hinsehen. Ineffiziente Netzteile verbrauchen im Teillastbetrieb oft allein ein Drittel des Stroms der Server. Dabei sind heute Netzteile verfügbar, die über den gesamten Auslastungsbereich Wirkungsgrade von 80 % und höher haben.

Auch bei der Luftführung der Server lässt sich viel für die Energieeffizienz tun. So sollten die Geräte zur optimalen Kühlung mittels Konvektion möglichst über die gesamte Frontfläche in der Lage sein, Luft anzusaugen. Eine Vergrößerung der Lufteinlassfläche pro CPU Sockel ermöglicht es dem Lüftungssystem, mit einer

höheren Zulufttemperatur zu arbeiten bzw. mit geringerem Energieaufwand für die Kühlung auszukommen. Insbesondere beim Formfaktor Blade-Server sollte das Lüftungsdesign gut mit dem Design der Stromversorgung abgestimmt sein, um an der richtigen Stelle Platz zu sparen. Eine unangemessene Verkleinerung der Gehäuse, die CPU und Arbeitsspeicher umgeben, erhöht die thermische Dichte, generiert Hot-Spots und bedarf größerer Energieaufwendungen, um durch einen geringeren Querschnitt die gleiche Luftmenge zu transportieren.

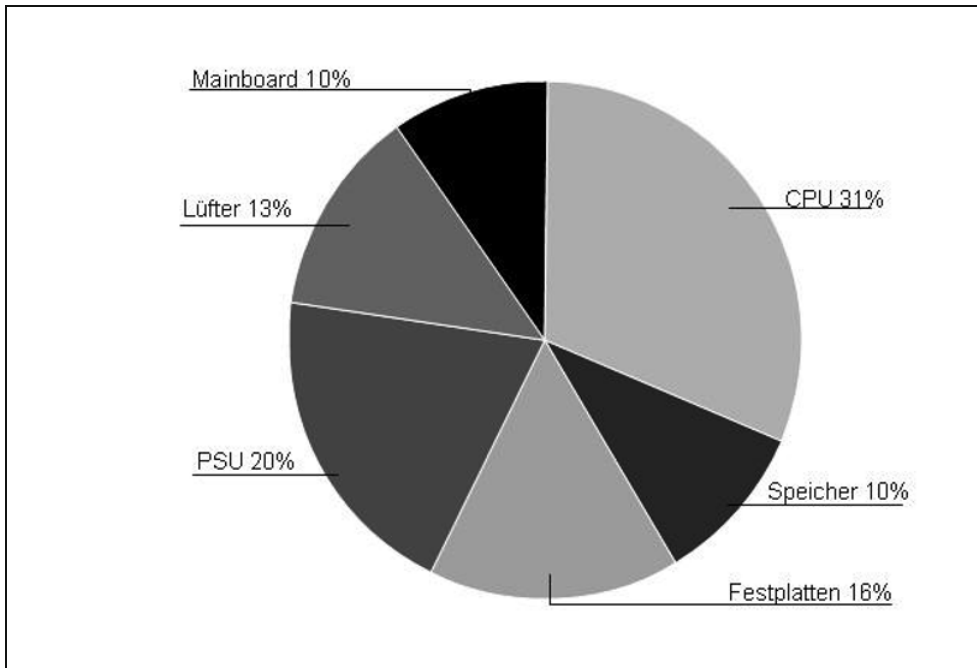


Abbildung 2-4: Typische Aufteilung des Energieverbrauchs eines Servers
(Quelle: Fujitsu Siemens Computers)

Eine Hilfestellung bei der Auswahl von energieeffizienten Servern kann beispielsweise der Energy Star bieten. Seit Mai 2009 ist im Rahmen des Energy Star Programms die Version 1.0 der Anforderungen für Server verfügbar⁷. Dabei sind die Anforderungen so konzipiert, dass sie laufend weiterentwickelt werden. Eine Überarbeitung und Ergänzung der Anforderungen ist bereits für den 15. Oktober 2010 angekündigt. Aktuell beziehen sie sich insbesondere auf den Wirkungsgrad

⁷ EPA: ENERGY STAR® Program Requirements for Computer Servers, verfügbar unter http://www.energystar.gov/index.cfm?c=new_specs.enterprise_servers; 2009.

der Servernetzteile, den Stromverbrauch der verschiedenen Serverarten im Leerlauf sowie ergänzende Anforderungen für Serverbauteile wie Speicher, Prozessoren, Festplatten und Netzwerkanschlüsse. Außerdem werden Mindestanforderungen an die kontinuierlich vom Server gelieferten Daten hinsichtlich des Stromverbrauchs und der Temperatur des Prozessors bzw. der Prozessoren gestellt.

Die Anforderungen des Energy Stars für Server hinsichtlich der verwendeten Netzteile sind anspruchsvoll und liegen mit erforderlichen Wirkungsgraden von bis zu 95 % (je nach Größe und Auslastung) deutlich über dem aktuell in installierten Servern üblichen Standard.

Durch eine Optimierung der Hardware können schon erhebliche Energieeinsparungen erreicht werden. Noch größer sind die Potenziale häufig durch eine effiziente Nutzung der Systeme: Konsolidierung und Virtualisierung sind hier die Stichworte.

Mit Konsolidierung ist der Prozess der Vereinheitlichung und Zusammenführung von Systemen, Applikationen, Datenbeständen oder Strategien gemeint. Ziel ist hier meist die Vereinfachung und Flexibilisierung der Infrastruktur. Damit einher geht in der Regel auch eine erhebliche Absenkung des Energieverbrauchs.

Virtualisierung meint Abstraktion: Logische Systeme werden von der realen physischen Hardware abstrahiert. Ressourcen werden dabei nicht dediziert, sondern gemeinsam genutzt. So können sie flexibler bereitgestellt werden und die Kapazitäten besser ausgenutzt werden. Die Auslastung der Systeme wird erheblich erhöht und damit viel Energie gespart.

In Abbildung 2-5 ist ein Beispiel für Serverkonsolidierung und Virtualisierung dargestellt. Bei gleicher Systemperformance und gleicher Verfügbarkeit kann durch den Übergang von 4 Systemen auf ein leistungsfähiges System mit professioneller Virtualisierung der Gesamtenergiebedarf deutlich gesenkt werden – im Beispiel um 50 %. Hierbei handelt es sich eher um ein konservativ ausgewähltes Beispiel - je nach Anwendungsfall sind auch deutlich höhere Einsparungen möglich.

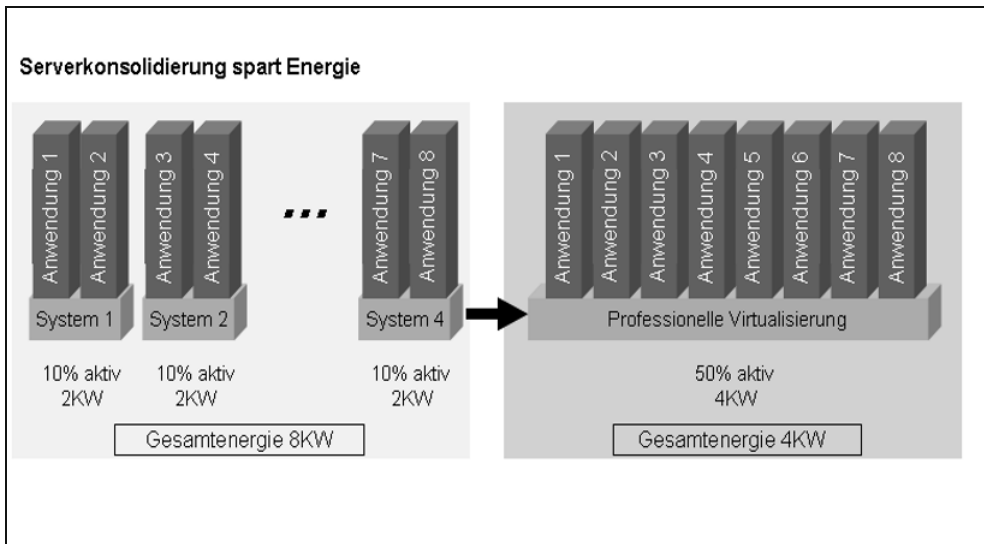


Abbildung 2-5: Energieeinsparung durch Konsolidierung und Virtualisierung

Große Potenziale zur Energieeinsparung bieten auch Lösungen, die automatisiert Server herunterfahren und wieder starten können. Viele Anwendungen nutzen die Server im Zeitverlauf nur teilweise aus – z.B. nur während der Bürozeiten oder nur von Montag bis Freitag. In Zeiten, in denen bekanntermaßen nur geringe Rechenleistungen benötigt werden, können gezielt und automatisiert Server heruntergefahren werden. Hierzu existieren heute bereits Lösungen am Markt – insbesondere in Verbindung mit Virtualisierung.

Auch beim zeitlichen Management der Serveraktivitäten bestehen Möglichkeiten, Energie und Kosten zu sparen. Überlagerungen von zeitgleichen Serveraktivitäten führen zu kurzzeitig hohen Energienachfragen, da Standardeinstellungen (z.B. zu jeder vollen Stunde werden bestimmte Dienste ausgeführt) nicht verändert werden. Zeitlich abgestimmte Serverlasten führen zu einer ausgeglichenen Energienachfrage. Damit können sowohl Ausgaben für zusätzliche Hard- und Software als auch Energiekosten gespart werden.

2.3.3 Speicherlösungen

Der Anteil der Datenspeicherung am Gesamtenergieverbrauch von Rechenzentren ist zwar verhältnismäßig gering. Dennoch lohnt es sich, auch hier über eine Optimierung hinsichtlich der Energieeffizienz nachzudenken. Denn das Datenvolumen steigt immer noch sehr stark an – eine Verdopplung pro Jahr ist keine Seltenheit.

Damit steigt auch der Anteil des Energiebedarfs von Speicherlösungen am Gesamtenergiebedarf der IT.

Eine auf den ersten Blick simple Möglichkeit, den Energiebedarf bei der Datenspeicherung zu reduzieren, ist die Optimierung des Datenmanagements: Unnötige und veraltete Daten sollten gelöscht werden.

In vielen Unternehmen benötigen heute Multimedia-Dateien wie mp3 oder Video-dateien den Großteil des verfügbaren Speicherplatzes – auch wenn sie für den Geschäftsablauf gar nicht benötigt werden. Hinzu kommt, dass Dateien häufig mehrmals abgespeichert werden. Klare Regelungen zum Umgang mit Daten sowie eine leistungsfähige Softwareunterstützung können die zu speichernde Datenmenge erheblich reduzieren und damit Hardware- und Betriebskosten sparen helfen.

Wie bei Servern können auch im Speicherbereich durch Konsolidierung und Virtualisierung erhebliche Kosten- und Energieeinsparungen erreicht werden. Durch SAN (Storage Area Networks) und NAS (Network Attached Storage) Systeme lassen sich Kosten sparen und das Datenmanagement vereinfachen.

In diesem Zusammenhang ist auch das Konzept des Information Lifecycle Management (ILM) zu nennen. ILM ist ein Storage Management-Konzept, welches Informationsobjekte während der gesamten Lebenszeit aktiv verwaltet. Dabei bestimmt eine Regelmaschine unter Berücksichtigung von Vorgaben aus den Geschäftsprozessen und der Bewertung der Kostenstrukturen der Speicherhierarchie in einem Optimierungsprozess den best geeigneten Speicherplatz für die verwalteten Informationsobjekte. Nur Informationsobjekte, die hoch verfügbar sein müssen, werden auf teurem Speicher mit hohem Energieverbrauch abgelegt. ILM hilft Energie zu sparen, indem jeweils der optimale – und damit auch der energiesparendste – Datenträger verwendet wird und die Informationsobjekte am Ende des Lebenszyklus automatisch gelöscht werden.

Weitere Ansatzpunkte für eine energieeffiziente Datenspeicherung sind z.B. die Nutzung von Bändern zur Archivierung von Daten. Im Gegensatz zu Festplatten benötigen Bänder keine Energie, solange die Daten nicht wieder abgerufen werden müssen. Energieoptimierte Speichersysteme, Laufwerke mit hoher Speicherdichte und andere moderne Technologien wie De-Duplikation und das automatisierte Abschalten nicht benötigter Festplatten helfen den Energieverbrauch zu minimieren.

In Tabelle 2-2 sind die empfohlenen Schritte zur Reduktion des Energieverbrauchs bei der Datenspeicherung in ihrer Reihenfolge dargestellt.

Tabelle 2-2: Empfohlene Schritte bei der Reduktion des Energieverbrauchs bei der Datenspeicherung

1. Datenhaltung optimieren

- Löschen veralteter Daten
- Löschen unnötiger Daten

2. Infrastruktur und Geräte optimieren

- Konsolidierung
 - Nutzung von ILM
 - Nutzung von Bändern
 - “State of the art” Technologie einsetzen
-

2.4 Optimierung der Kühlung

2.4.1 Überblick

Bei Planung, Errichtung und Betrieb eines Rechenzentrums kommt dem Bereich der Kühlung eine besondere Bedeutung zu. Die Kühlung hat einen deutlichen Anteil an den Energiekosten. Je nach örtlichen Gegebenheiten und Auslegung der Kühlung liegt der Anteil üblicherweise bei mindestens 20 % der Gesamtenergiekosten. Dies ist allerdings als untere Grenze zu verstehen. Es sind auch Installationen in Betrieb, bei denen der Anteil der Kühlung am Gesamtstromverbrauch bei 60 % und höher liegt. Die Projektierung der Kühlung stellt eine besondere Herausforderung dar, da es sich meist um mittel- bis langfristige Investitionen handelt, die über mehrere IT-Generationen in Betrieb sein werden. Im Folgenden werden verschiedene Ansatzpunkte gezeigt, wie die Kühlung eines Rechenzentrums so optimiert werden kann, dass ihr Energieverbrauch möglichst gering ist. Ausgehend von einer Darstellung der verschiedenen Kühlgerätearten und -kühlmedien werden insbesondere die Themen Luftstrom im Raum und Rack, Freie Kühlung, Temperaturen im Rechenzentrum und Leistungsregelungen behandelt.

2.4.2 Kühlgerätearten und Kühlmedien

Kühlgerätearten

Es gibt eine breite Palette von Herstellern auf dem Markt, die Kühlgeräte in unterschiedlicher Form anbieten. Im Folgenden werden überblicksartig die verschiedenen Systeme dargestellt.

Grundsätzlich unterteilt man die zur Verfügung stehenden Gerätearten in die Komfort- und die Präzisionsklimageräte. In beiden Fällen kann sowohl Kaltwasser (CW = chilled water) als auch Kältemittel (DX = direct expansion) als Medium zur Abfuhr der der Raumluft entnommenen Wärmeenergie zum Einsatz kommen.

Darüber hinaus gibt es die direkt wassergekühlten Racks und noch einige herstellerspezifische Sonderlösungen.

Bei den Komfortgeräten gibt es zum einen Fan-Coil-Geräte (= Ventilator-konvektoren), die einen Luft-Kaltwasser-Wärmetauscher mit eigenem Gebläse besitzen, und die Split-Klimageräte, die mit Kältemittel betrieben werden und eher aus kleinen Räumen bekannt sind. Diese Geräteart ist aber nur sehr bedingt für den Einsatz im Rechenzentrum geeignet. Die umgewälzte Luftmenge ist sehr gering, die Kaltluft wird thermodynamisch höchst ungünstig von oben eingeblasen, die Split-Geräte entfeuchten sehr stark, die Regelungen sind nur sehr einfach und berücksichtigen die Raumfeuchte nicht. Zudem arbeiten die Split-Geräte mit schlechten Wirkungsgraden bezüglich der sensiblen Kühlleistung⁸. Damit sind sie nicht energieeffizient und auch nicht für den Ganzjahresbetrieb geeignet.

Die Präzisionsklimageräte wurden ursprünglich eigens für den Einsatz in Rechenräumen entwickelt und unterteilen sich nach der Luftführung in downflow (= Luftansaugung oben, Ausblasung nach unten) und upflow (= Ansaugung unten vorne oder hinten, Ausblasung oben). Dabei besitzen diese Geräte Mikroprozessor-Regelungen, die neben der Temperatur auch die relative Feuchte berücksichtigen und auf energetisch optimierten Betrieb programmiert sind. Präzisionsklimageräte erbringen eine nahezu 100 % sensible Kälteleistung und setzen die aufgewendete Energie für die Kälteerzeugung effizient zur Absenkung des Raumtemperaturniveaus ein. Bei der Auslegung von energieeffizienten Präzisionsklimageräten ist ein weiterer Ansatzpunkt die Dimensionierung der Wärmetauscherfläche⁹. Je größer diese ist, desto geringer ist die Entfeuchtungsleistung. Erkennbar ist dies an einer möglichst geringen Differenz zwischen sensibler und Gesamtkühlleistung. Diese Differenz, auch latente Kühlleistung genannt, entzieht der Rückluft Feuchtigkeit und kostet Energie. Da aber im Rechenzentrum die relative Luftfeuchte innerhalb der vom Hardware-Hersteller vorgegebenen Grenzen gehalten werden sollte, um Probleme mit statischer Aufladung zu vermeiden, muss diese entnommene Feuchte unter nochmaligem Energieeinsatz der Raumluft mittels Dampfbefeuchter wieder zugeführt werden.

Durch die Entwicklung der Computer-Hardware zu immer höherer Leistung bei immer geringeren Abmessungen und insbesondere durch die Entwicklung der (Blade-)Server sind heute abzuführende Wärmelasten von 30 kW und mehr je Rack eine zusätzliche Herausforderung für die Klimatechnik. Dieser begegnet man mit Racks, die einen Luft-Wasser-Wärmetauscher und lastabhängig Drehzahl geregelte Ventilatoren eingebaut haben. Dadurch stellt man einerseits eine ausreichende

⁸ Sensible Kühlleistung des Geräts ist diejenige Kühlleistung, die vom Gerät zur Kühlung der Luft ohne Feuchteausscheidung erbracht wird.

⁹ Genaugenommen ist das Verhältnis der Luftmenge zur Wärmetauscherfläche zu optimieren. Eine große Wärmetauscherfläche erfordert eine ausreichende Luftmenge.

Kühlung aller Rechner im Rack sicher. Andererseits werden eben nur die Rechner gekühlt, nicht aber sonstige Lasten durch Transmission, Beleuchtung und andere.

Neben den bisher behandelten Standardgeräten zur Kühlung gibt es auch noch herstellereigenspezifische Lösungen (wie z.B. Kühlgeräte, die auf die Racks aufgesetzt werden und so die Kühlung im Kaltgang unterstützen), auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann. Diese haben jeweils für den spezifischen Anwendungsfall ihre Berechtigung, für den sie erdacht wurden. Eine ausführliche Betrachtung zur Energieeffizienz würde diesen Rahmen jedoch sprengen.

Kühlmedien und Kältemittel

Die Kühlsysteme für die IT-Umgebung lassen sich nicht nur nach der Geräteart unterscheiden, sondern auch nach den verwendeten Kühlmedien und Kältemitteln. Sämtliche Kühlungsarten basieren auf dem physikalischen Naturgesetz, dass Energie nur transportiert, aber nicht vernichtet werden kann. Aufgrund der einfacheren Verteilung verwendet man Luft als primären Energieträger in der Rechnerumgebung. Da jedoch Wasser - im Vergleich zu Luft - Wärme ca. 3.500 Mal besser speichern kann, ist dieses Medium die bessere Wahl zum Transport der dem Raum entnommenen Wärme nach außen. Je nach Anwendungsfall und örtlichen Gegebenheiten werden alternativ zu Wasser auch andere Kühlmedien eingesetzt.

Wasser als Kühlmedium bietet sich vor allem durch die leichte Beherrschbarkeit und die einfache Verfügbarkeit bei gleichzeitig sehr geringen Kosten an. Die früher vorhandenen Nachteile von Wasser in einem Rechnerraum sind durch den im Lauf der Jahrzehnte erreichten Stand der technischen Entwicklung heute nicht mehr ausschlaggebend:

- Heutige Pumpensysteme sind in Abhängigkeit der benötigten Wassermenge und Temperaturdifferenz stufenlos regelbar. Dabei bedeutet eine zurückge-regelte Pumpenleistung auch gleichzeitig eine reduzierte Energieaufnahme.
- Durch den Zusatz von Frostschutzmitteln („Glykol“) kann der Gefrierpunkt weit unter 0°C gedrückt werden. Dabei sind diese Mittel heute gleichzeitig auch korrosionshemmend, so dass dadurch ein doppelter Nutzen entsteht.
- Wasser ist heute das sicherere Kühlmedium im Rechenzentrum im Vergleich zu Kältemitteln. Dies wird bedingt durch die Detektierung von Wasseraustritt und/oder der Abschottung des Wassersystems gegen elektrische Systeme durch Leitungsrinnen mit gezielter Entwässerung.

Kältemittel sind häufig künstlich erzeugte, chemische Stoffe oder Stoffverbindungen, deren geringer Siedepunkt in Kältemaschinen ausgenutzt wird. Daneben gibt es auch natürliche Stoffe wie Wasser¹⁰, Ammoniak oder Kohlendioxid, die als Kältemittel verwendet werden. Insbesondere Ammoniak ist eines der wichtigsten

¹⁰ Auch wenn Wasser als Kühlmedium häufig verwendet wird, hat es sich im Rechenzentrumsbereich für den Einsatz als Kältemittel nicht bewährt.

Kältemittel überhaupt, wird aber aufgrund der Sicherheitsanforderungen in Rechenzentren nicht verwendet. Aufgrund ökologischer Aspekte wie Ozonschichtzerstörung und Treibhauseffekt durch die Emissionen künstlicher Stoffe hat sich der Markt der Kältemittel in den letzten 10 – 15 Jahren stark gewandelt. In der Klimatechnik wird daher auch versucht, die in einem System eingesetzte Kältemittelmenge auf das absolut notwendige Minimum zu reduzieren oder auf natürliche Kältemittel umzusteigen. Die gebräuchlichsten künstlichen Kältemittel zählen zu den halogenierten Kohlenwasserstoffen.

An dieser Stelle soll kurz gesondert auf das Medium Kohlendioxid eingegangen werden. Kohlendioxid besitzt im Vergleich mit Wasser ein wesentlich besseres Speichervolumen, wodurch die Rohrleitungen entsprechend kleiner ausfallen können. Die notwendige einzusetzende Energie für den Transport des Mediums vom Erzeuger bis zum Verbraucher ist ebenfalls geringer.

Ein Nachteil sind die zurzeit noch hohen Investitionskosten. Der ökonomische Einsatz steigt daher mit der Größe der Anlagenleistungen.

Einen weiteren Nachteil bei der Verwendung von Kohlendioxid als Kühlmedium stellen die notwendigen hohen Betriebsdrücke dar. Die entsprechenden kältetechnischen Komponenten für Hochdruck-Systeme sind aber bereits entwickelt, so dass eine Nutzung von Kohlendioxid auch im Rechenzentrum möglich ist.

2.4.3 Luftstrom im Raum und im Rack

Warmgang-Kaltgang-Anordnung

In herkömmlichen Rechenzentren wird im Rack und im Raum Luft als Kühlmedium verwendet. Die dabei abzuführenden Wärmelasten steigen stetig an. Noch vor wenigen Jahren gab es nur wenige Rechenzentren mit einem Leistungsbedarf von mehr als 1.000 Watt pro Quadratmeter. Dagegen sind heute selbst Rechenzentren mit einem Leistungsbedarf von 2.500 Watt pro Quadratmeter und mehr keine Seltenheit mehr.

Die Mehrheit der heute gefertigten Server saugt die konditionierte Zuluft vorne ein und bläst sie an der Rückseite wieder aus. Dies legt eine Anordnung der Serverracks mit gelochten Front- und Rücktüren in der Art nahe, dass ein Warmgang und ein Kaltgang entstehen.

Daher ist die gebräuchlichste und wirkungsvollste Lösung für die Raumkühlung mit Luft eine Anordnung mit abwechselnden Warm- und Kaltgängen (vgl. Abbildung 2-6) mit Kühlluftzuführung über einen Doppelboden mit entsprechend angeordneten perforierten Doppelbodenplatten und Kühlluftabführung unter der Rechenzentrumsdecke.

Bei diesem Lösungsansatz stellt man die Racks Front gegen Front auf, wie auch in der VDI 2054 oder vom Technical Committee 9.9 der ASHRAE empfohlen. Die

gekühlte Zuluft wird so in den Kaltgang eingeblasen, auf beiden Seiten von den Servern angesaugt und auf der Rückseite der Racks in den Warmgang ausgeblasen.

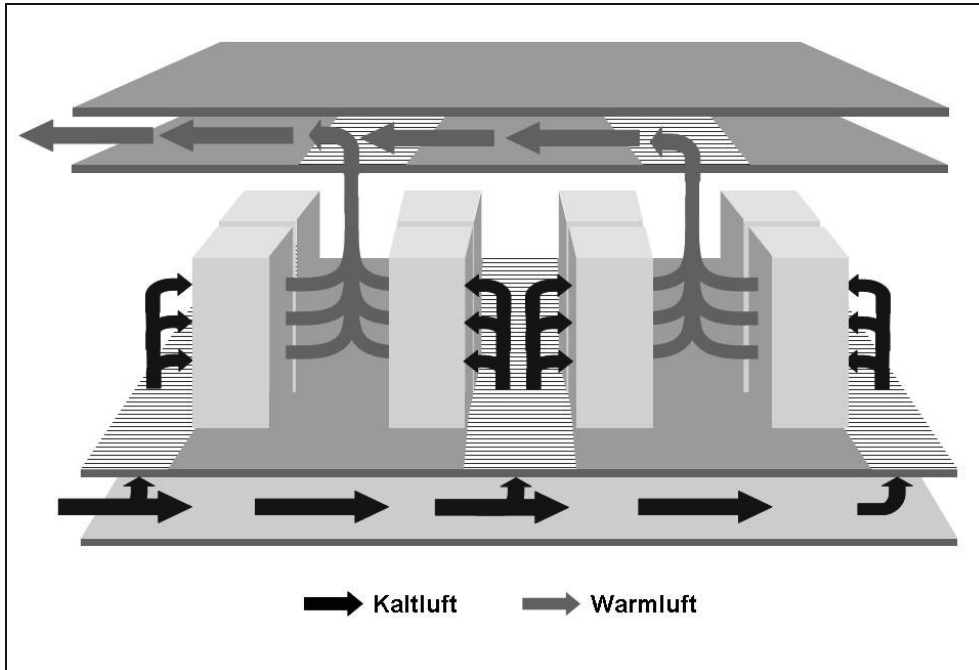


Abbildung 2-6: Warmgang/Kaltgang Konfiguration

Bei der Kalt-/Warmganganordnung ist darauf zu achten, dass die Umluftklimageräte an den Enden der Warmgänge aufgestellt werden und nicht parallel zu den Rackreihen. Andernfalls wäre ein Vermischen der Warmluft mit der Kaltluft die Folge, was zu einer ungenügenden Kühlung der Ausstattung im oberen Rackbereich führte. Weiterhin wird durch die niedrigere Ansaugtemperatur der Umluftklimageräte der Gesamtwirkungsgrad der Anlage deutlich schlechter ausfallen.

Mit der Kaltgang/Warmgang-Anordnung lassen sich, sorgfältige Planung und Ausführung vorausgesetzt, bis ca. 5 kW Kühlleistung pro Rack abführen. In älteren Rechenzentren liegen diese Werte meist erheblich niedriger, etwa bei 1 bis 2 kW pro Rack. Die Kaltgänge sind bei guter Planung vollständig mit kühler Luft gefüllt, die Warmluft strömt über die Schränke und wird gesammelt zu den Kühlgeräten zurückgeführt.

Zur Unterstützung bzw. Erhöhung der Kühlung gibt es unterschiedliche Systeme von verschiedenen Herstellern, die eine zusätzliche Einbringung von gekühlter Luft in den Kaltgang, aber nicht über den Doppelboden, ermöglichen.

Kommt man auch mit dieser Anordnung an die Grenze der Kühlleistung, treten aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten nicht erwünschte Effekte wie Bypässe oder Rezirkulationen von Kühlluft auf. Durch eine geeignete Auslegung und Regelung der Anlage sowie Maßnahmen zur Luftführung können diese Erscheinungen vermieden und so erhebliche Betriebskosten eingespart werden.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Luftführung ist das Einhausen des Kalt- oder des Warmgangs. So werden Luftkurzschlüsse oder die Durchmischung von Zu- und Abluft vermieden. Das Luftmanagement muss dabei immer der Serverbestückung angepasst werden.

Es ist zu beachten, dass eine vollständige Einhausung vorgenommen wird. Im Falle einer Kaltgangeinhausung bedeutet dies neben der Abdichtung des Kaltgangs oben mittels Abdeckung und an den Stirnseiten durch Türen auch eine Warm-/Kalt-Trennung in den Schränken (leere Höheneinheiten und seitlich neben dem 19"-Bereich) sowie eine Abdichtung des Bodens im Warmbereich (im Schrank und im Warmgang).

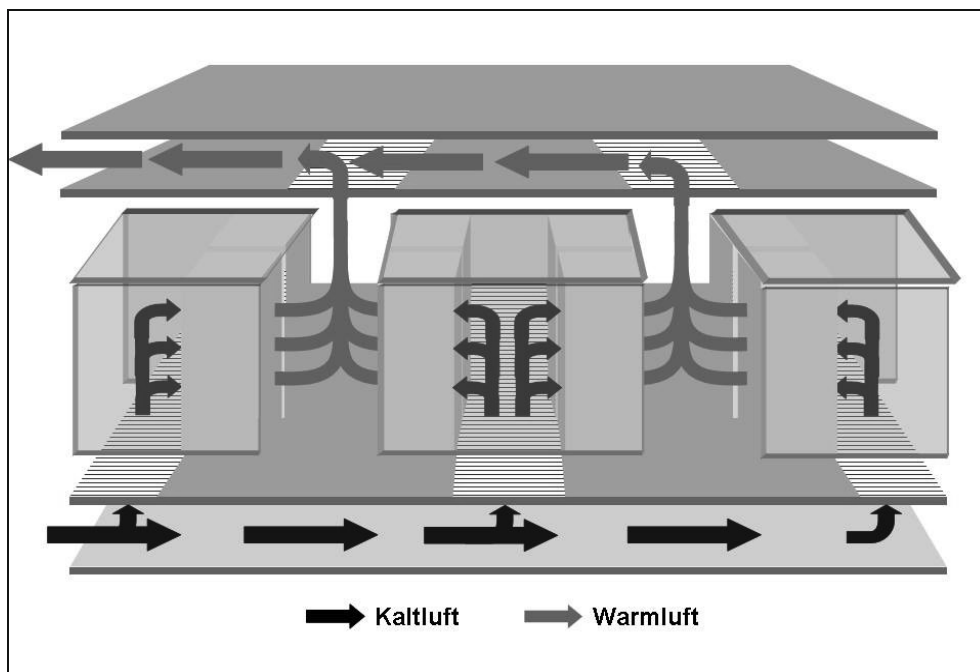


Abbildung 2-7: Einhausung des Kaltganges

Durch eine solche Anordnung kann der Temperaturgradient von der Oberkante des Doppelbodens bis zum oberen Bereich des Racks von ca. 4 Kelvin auf ca. 1

Kelvin reduziert werden und dadurch die optimale Kaltluftversorgung der Server über die gesamte Höhe des Luftansaugbereichs der Racks sichergestellt werden.

Durch die Einhausung des Kalt- oder Warmgangs kann auch die Aufstellung der Umluftkühlgeräte parallel zu den Rackreihen erfolgen, da die Durchmischung der warmen Abluft mit der kalten Zuluft effizient verhindert wird.

Reduzierung von Hindernissen im Doppelboden

Der Einbau eines Installationsdoppelbodens in einem Rechenzentrum stellt eine der technisch sinnvollen Möglichkeiten dar, ein Rechenzentrum einerseits mit den nötigen Leitungen für Energie und Datenverkehr, andererseits aber auch mit Kühleuft zu versorgen. Installierte Doppelböden beginnen daher heute bei einer Höhe von 300 mm und erreichen in Höchstleistungsrechenzentren Etagenhöhen von 2 bis 3 Metern oder sogar noch mehr. Durch die zweifache Funktion stellt der Doppelboden oft aber auch den Flaschenhals für die Versorgung der Racks mit konditionierter Luft dar. Die Verkabelung bzw. die Verrohrung für flüssige Kühlmedien stellen Strömungshindernisse für die Kühleuft dar. Die Folge: Die Klimaanlage muss verstärkt kalte Luft ins Rechenzentrum pumpen, um die benötigte Kühlwirkung zu erzielen. Mehr kalte Luft bedeutet aber höhere Klimatisierungskosten. Neben dem Kostenaspekt ist aber auch der Sicherheitsaspekt zu berücksichtigen, wie etwa das Vermeiden so genannter Hot-Spots im Rack bzw. die Vermeidung von Fehlerquellen bei der Änderung der Kabelführung.

Daher sollte unnötige Hindernisse im Doppelboden eliminiert werden: Überflüssige Kabel müssen entfernt und die notwendigen Kabel so verlegt werden, dass sie keine hohen Kreuzungen bilden.

Um die Durchführungen für Kabelstränge und Leitungen so gut wie möglich abzudichten, empfiehlt sich zudem der Einsatz spezieller Bürstenleisten, die wechselseitig versetzt angeordnet selbst bei sehr großen Kabelmengen eine gute Abdichtung garantieren.

Schon in der Planungsphase sollte darauf geachtet werden, die Höhe des Doppelbodens ausreichend zu wählen, so dass auch bei später notwendigen Änderungen, z.B. der IT oder der Verkabelung, kein Engpass entsteht.

Die Warmgang/Kaltgang-Aufteilung bietet auch Vorteile hinsichtlich Verkabelung im Doppelboden. Hier ergibt sich die Möglichkeit ein verbessertes Kabelmanagement auszuführen, sowohl innerhalb der Racks als auch im Doppelboden. Soweit möglich sollte dabei die Kabelführung auf den Warmgang beschränkt werden, um die freie Luftströmung im Kaltgang zu gewährleisten.

Erweiterung der Racktiefe

Die Racktiefe ist eine für die Ausrüstung eines Rechenzentrums sehr bedeutende Größenangabe. In der üblichen Aufstellung mit abwechselnden Warm- und Kaltgängen ist die Racktiefe ein Bestimmungsfaktor für die Achsenabstände innerhalb des Rechenzentrums.

Bis vor einigen Jahren war bei Serverracks eine Tiefe von 1000mm Standard. In den vergangenen Jahren sind auch Racks mit größeren Tiefen von 1070mm, 1100mm oder 1200mm auf den Markt gebracht worden.

Die Ursachen dafür liegen zum einen in der Einführung von Servern mit einer Einbautiefe größer als der Standard von 740mm und zum anderen an dem Wunsch nach mehr Raum hinter den Einbauten für die Verkabelung sowie für Steckdosenleisten (Power Distribution Units (PDUs)).

Bei geschlossenen Schrankkühlösungen und Schränken mit sehr hoher Wärmelast können auch noch größere Schranktiefen erforderlich sein, da vor und hinter den 19"-Einbauten zusätzlicher Raum für den Transport der sehr großen Kühlluftmengen (bis zu 6.000 cbm/h in einem Schrank) benötigt wird. Hierfür sind auch Schranktiefen von 1300mm, 1400mm und 1500mm auf dem Markt erhältlich.

Wie im Doppelboden gilt auch im Rack, dass ein intelligentes Kabelmanagement unter Zuhilfenahme aktuell verfügbarer Techniken und Produkten für eine optimale und energieeffiziente Kühlung notwendig sind. Die Verkabelung darf den Luftstrom nicht behindern.

2.4.4 Freie Kühlung

Bei der Klimatisierung von Rechenzentren kann insbesondere in kalten und gemäßigten Klimazonen die Freie Kühlung eingesetzt werden. Es wird zwischen der direkten Freien Kühlung und der indirekten Freien Kühlung unterschieden. Entsprechende Klimaanlage werden seit mehr als 30 Jahren gebaut. Die Ausführung der Anlagen hat sich in den letzten Jahren aufgrund von technologischen Fortschritten (Mikroprozessorregelung, drehzahlgeregelte Komponenten etc.) weiter entwickelt, wodurch immer größere Energieeinsparungspotenziale erschlossen wurden.

Bei der direkten Freien Kühlung sind die Klimageräte zusätzlich zu dem Kältekreislauf mit einem Luftklappensystem ausgestattet. Die Klappensteuerung ermöglicht es, Außenluft in den Raum und Raumluft wieder nach außen zu leiten oder auf einen Umluftbetrieb umzusteuern, d.h. die Luft wird nur im zu klimatisierenden Raum umgewälzt und über den Kältekreislauf gekühlt.

Die direkte Freie Kühlung bietet erhebliche Energieeinsparungspotenziale. Steigt die Außentemperatur an, steuert das Klimagerät in den Mischbetrieb und dem Luftstrom wird zusätzlich Wärme über den Kältekreislauf entzogen. Bei weiter steigenden Temperaturen wird der Kältekreislauf immer häufiger betrieben, bis schließlich das Klimagerät die Zufuhr von Außenluft über das Luftklappensystem ganz unterbindet und das Klimagerät im Umluftbetrieb arbeitet. Im Umluftbetrieb bei hohen Außentemperaturen übernimmt der Kältekreislauf vollständig den Wärmeentzug aus dem Umluftstrom und somit aus der ITK-Ausstattung. In dieser Betriebsweise ist der Energiebedarf des Systems dann auch am höchsten.

Anwendung findet die direkte Freie Kühlung insbesondere bei kleineren Einrichtungen, hier seien z.B. Mobilfunkcontainer/-shelter erwähnt. Aufgrund der Tatsache, dass für größere Anwendungen mit höherer Wärmelast im Verhältnis auch immer größere Außenluftmengen durch die Gebäudehülle in den Raum geführt werden müssen und bei der Rechenzentrums Klimatisierung die Raumluftfeuchte innerhalb einer engen Toleranz geregelt werden muss, scheidet die direkte Freie Kühlung für diese Anwendungen in vielen Fällen aus.

Darüber hinaus ist im Betrieb der Anlagen mit direkter Freier Kühlung ein besonderes Augenmerk auf die Luftfilter zu legen. Die hohen Außenluftmengen verkürzen insbesondere an staubbelasteten Standorten drastisch die Filterstandzeit und reduzieren die Leistungsfähigkeit der Klimaanlage und erhöhen die Betriebskosten.

Im Unterschied zu der direkten Freien Kühlung weist die indirekte Freie Kühlung die beschriebenen Nachteile nicht auf und ist gut für die Rechenzentrums Klimatisierung geeignet. Hier wird die Außenluft zur Entwärmung der ITK-Ausstattung nicht direkt genutzt. In der Regel wird dabei ein Wasser/Glykolgemisch an der Außenluft ohne den Betrieb eines Kältekreislaufes abgekühlt und im Raum zur Abkühlung des Umluftstroms genutzt. Das zwischengeschaltete Wasser/Glykolgemisch übernimmt die Funktion des Kälteträgers und zirkuliert mittels Pumpen in einem Rohrleitungssystem.

Die zusätzlichen Komponenten für die indirekte Freikühlungsfunktion bringen zwar höhere Investitionskosten für das Klimatisierungssystem mit sich, diese Mehrkosten werden aber in der Regel mittelfristig durch erheblich geringere Betriebskosten kompensiert.

Die Art und Ausführung der Systeme der indirekten Freien Kühlung unterscheidet sich zum Teil erheblich und lässt sich in drei Gruppen kategorisieren:

- Klimageräte mit integrierter Freikühlungsfunktion und Rückkühlwerk (kleinere und mittlere Räume),
- kaltwassergekühlte Klimageräte mit zentraler Kaltwassererzeugung und integrierter Freikühlfunktion in den Kaltwassererzeugern (mittlere und große Räume),
- kaltwassergekühlte Klimageräte mit zentraler Kaltwassererzeugung und externer Freikühlfunktion über Rückkühlwerk (große Räume).

Die Systemauslegung der indirekten Freien Kühlung muss sich am Jahrestemperaturverlauf des jeweiligen Standortes orientieren. Eine sorgfältige Auslegung aller Systemkomponenten ist notwendig, damit das System im späteren Betrieb die größtmögliche Energieeinsparung realisieren kann. Dabei hat in der Anlagenkonzeption der Parameter Raumtemperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Systemauslegung und auf die Energieeffizienz. Eine höhere Raumtemperatur kann über einen längeren Betriebszeitraum durch die indirekte Freie Kühlung ohne Einsatz von zusätzlicher Kälteerzeugung gewährleistet werden und trägt somit unmittelbar zur Energieeinsparung bei.

Darüber hinaus sollten moderne Klimatisierungssysteme flexibel auf Teillastzustände der Ausstattung reagieren und bedarfsgerecht die entsprechende Kälteleistung mit dem niedrigsten Energieeinsatz zur Verfügung stellen. Dies kann über eine Anhebung der Kaltwassertemperatur erfolgen, da die Betriebszeit der Freien Kühlung auf diesem Weg weiter maximiert werden kann. Die Skalierbarkeit ist insbesondere bei einem schrittweisen Ausbau der Ausstattung oder bei wechselnden Wärmelasten von besonderer Bedeutung.

Welches System Anwendung findet, muss in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt werden. Dabei müssen auch die Aufstellsituationen, Lasten und akustischen Bedingungen betrachtet werden, um letztendlich eine machbare Variante auswählen zu können.

2.4.5 Temperaturen im Rechenzentrum

Der Energietransport in großen Rechenzentren findet zu ca. 90 % durch eine Wasser/Glykol-Mischung (Sole) statt. Der große Vorteil von Sole als Wärmeträger gegenüber Direktverdampfungssystemen ist die Möglichkeit, bei Freikühlungssystemen ab bestimmten Außentemperaturen die kalte Außenluft gezielt zur Kühlung des Rechenzentrums auszunutzen.

Um diesen Effekt maximal nutzen zu können und den latenten Anteil der Kühlung möglichst gegen Null zu senken, sollte das Temperaturniveau der Sole im Rechenzentrum möglichst hoch liegen, z.B. bei ca. 12°C Vorlauftemperatur und ca. 18°C Rücklauftemperatur. Noch höhere Temperaturen sind hinsichtlich der Energieeffizienz noch besser.

Die mittlere Raumlufttemperatur im Rechenzentrum korrespondiert direkt mit der Solevorlauftemperatur. Untersuchungen der Schweizerischen Bundesanstalt für Energiewirtschaft haben ergeben, dass im Bereich von 22-26°C jedes Grad Raumtemperaturerhöhung zu einer Energieeinsparung von ca. 4 % führt.¹¹ Durch die höhere Raumlufttemperatur lassen sich höhere Kaltwasservorlauftemperaturen fahren, diese erlauben den Freikühlbetrieb wesentlich länger zu betreiben und bewirken einen wesentlich höheren Wirkungsgrad (EER).¹²

¹¹ Vgl. Bundesamt für Energiewirtschaft: Risikofreier Betrieb von klimatisierten EDV-Räumen bei 26° C Raumtemperatur, Bern 1995.

¹² Die Raumlufttemperatur ist nur bei Kühlung der Rechenzentren mit Luft von Bedeutung. Werden beispielsweise ausschließlich wassergekühlte Serverracks eingesetzt, ist die Raumlufttemperatur nicht mehr entscheidend für die Energieeffizienz der Rechenzentren. In diesem Fall muss mehr Augenmerk auf die Systemtemperaturen auf der Wasserseite in den Racks gelegt werden.

2.4.6 Leistungsregelung

Eine Leistungsregelung der klimatechnischen Anlagen und Systeme ist für den energieeffizienten und energieoptimierten Betrieb eines Rechenzentrums unabdingbar. Dabei müssen die einzelnen für den Wärmetransport verantwortlichen Baugruppen wie Umluftkühlgeräte, Kaltwassersätze, Chiller, Rückkühler und Kondensatoren einzeln betrachtet und optimal aufeinander abgestimmt werden. Eine auf Energieeffizienz optimierte Leistungsregelung muss sowohl den Luft- als auch den Wasser-/Kältemittelkreislauf umfassen.

Wie bei jedem technischen Gerät, so kann auch bei den Präzisionskühlern an vielen unterschiedlichen Bauteilen der Energiesparhebel angesetzt werden. Großes Einsparpotenzial steckt beispielsweise in der richtigen Wahl der Ventilatoren. Denn diese laufen 24 Stunden am Tag und somit 8760 Stunden im Jahr. Unter diesem Gesichtspunkt haben sich die EC-Ventilatoren (EC: Electronically Commutated) innerhalb kürzester Zeit durchgesetzt. Der Leistungsbedarf solcher drehzahlregelten Ventilatoren sinkt erheblich bei reduziertem Luftvolumenstrom.

Bei Vorhaltung eines Klimagerätes zur Redundanz kann man erhebliche Energieeinsparungen erreichen, wenn alle Geräte gleichzeitig mit entsprechend reduzierter Drehzahl betrieben und nur bei Ausfall eines Gerätes die anderen auf Nenn-drehzahl umgeschaltet werden.

Eine Leistungsregelung sollte die Klimatechnik aber nicht nur auf statische Betriebsbedingungen optimieren. Die anfallenden Wärmelasten im Rechenzentrum variieren über die Zeit je nach Auslastung der Einbauten, insbesondere sinken sie meist nachts und am Wochenende ab. Bei wechselnden Lasten ist es daher Aufgabe der Regelung, die Klimatechnik entsprechend der variierenden Wärmelasten dynamisch nachzustellen.

Insbesondere durch den Trend zur Servervirtualisierung entstehen hier völlig neue Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung. Anwendungen können innerhalb kurzer Zeit auf andere physische Server umziehen, in Schwachlastzeiten können komplette Schränke oder gar Schrankreihen von Anwendungen leer geräumt und abgeschaltet werden. Die Klimatechnik ist darauf entsprechend anzupassen, indem beispielsweise einzelne Umluftkühlgeräte abgeschaltet oder mehrere dieser Geräte heruntergeregelt werden.

Möglich ist es auch, durch eine gezielte Leistungserfassung der Racks mittels Zu- und Ablufttemperaturfühler, direkt auf die Leistungsaufnahme und den Luftvolumenstrom der Klimaschränke Einfluss zu nehmen. Es ergeben sich dabei Einsparpotenziale von 30 % bis 60 % der aufgewendeten Klimatisierungsenergie.

Während die Betriebsbedingungen am Auslegungspunkt der Systeme – also bei maximaler Wärmelast – relativ fest sind, können bei verminderter Wärmelast über eine Leistungsregelung verschiedene Parameter verändert werden. Dabei sind insbesondere folgende Ansätze möglich:

- Im Luftkreis kann die Luftmenge durch den Einsatz von drehzahlgeregelten Lüftern minimiert werden. Hierbei ist der Mindestdruck von 25Pa im Doppelboden zu beachten.
- Die Vorlauftemperatur im Fluidkreis kann – unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Betriebsbedingungen – möglichst hoch eingestellt werden.
- Durch eine dynamische Regelung des Einschaltpunktes der Freien Kühlung kann eine längere Kühlung ohne Einsatz des Kompressors der Kältemaschine ermöglicht werden.

Damit werden die Hauptkomponenten im Energieverbrauch der Klimatechnik optimiert:

- Die für die Luftumwälzung erforderliche Antriebsenergie der Lüfter sinkt.
- Die Antriebsleistung der Kältemaschinen in den Chillern sinkt, da deren Wirkungsgrad mit sinkender Differenz zwischen Abgabetemperatur und Vorlauftemperatur steigt.
- Die Zeiten, in denen auf aktive Kälteerzeugung verzichtet und mit Freier Kühlung gefahren werden kann, verlängern sich bedeutend.

Ein wichtiger Aspekt, um einen energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb zu gewährleisten, ist die regelmäßige Wartung aller Anlagen, die auch gesetzlich vorgeschrieben ist. Vor allem verschmutzte Filter bedeuten einen erheblichen Energieverbrauch durch die dadurch steigende Ventilatorleistung, bzw. Pumpenleistung im Wasserkreis. Eine Leistungsregelung bietet nur dann die optimale Ausnutzung, wenn die Anlagen gut gewartet werden.

2.5 Optimierung der Stromversorgung

2.5.1 Überblick

Die Stromversorgung hat einen Anteil von ca. 10 bis 15 % am Stromverbrauch eines Rechenzentrums. Hauptansatzpunkt für Verbesserungen stellt oft die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) dar. In diesem Abschnitt wird daher im Anschluss an einen generellen Überblick über die Stromversorgung eines Rechenzentrums der Einfluss der USV auf den Energieverbrauch dargestellt. Außerdem werden verschiedene USV-Konzepte beleuchtet und kurz auf den Zielkonflikt zwischen Sicherheit und Energieeffizienz eingegangen.

Anschließend wird auf einen weiteren Ansatzpunkt zur Optimierung der Stromversorgung eingegangen: Der Einsatz von intelligenten Steckdosenleisten. Diese sind über IP-Netzwerke fernsteuerbar und ermöglichen insbesondere eine integrierte Leistungsmessung.

2.5.2 Stromversorgung beim Gebäudemanagement

Um den effizienten Einsatz der elektrischen Energie zu erreichen, ist bereits bei der Planung der Versorgungswege zunächst eine Klassifizierung der elektrischen Verbraucher hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen wichtig. Diese Art der Klassifizierung ist in Tabelle 2-3 beschrieben.

Tabelle 2-3: Art der Stromversorgungseinspeisung¹³

Art	Beispiel
Allgemeine Stromversorgung (AV)	Versorgung aller im Gebäude vorhandenen Anlagen und Verbraucher
Sicherheitsstromversorgung (SV)	Versorgung von Anlagen, die im Gefahrenfall schützen, z.B.: Sicherheitsbeleuchtung Feuerwehraufzüge Löschanlagen
Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	Versorgung empfindlicher Verbraucher, die bei AV-Ausfall/Störung unterbrechungsfrei weiterbetrieben werden müssen, z.B.: Server/Rechner Kommunikationstechnik Leitsysteme Notbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung

Die Gebäudeeinspeisung erfolgt bei der allgemeinen Stromversorgung (AV) entweder über einen direkten Anschluss an das öffentliche Netz (in der Regel bis 300 kW bei 400 V) oder über das Mittelspannungsnetz (bis 52 kV) über Verteiltransformatoren bis 2 MVA. Für die Netzersatzversorgung (Netzersatzanlage NEA) wird entsprechend der zulässigen Unterbrechungszeit nach Sicherheitsversorgung (SV) und Unterbrechungsfreie Stromversorgung durch USV-Systeme unterschieden. Abbildung 2-8 zeigt diese Aufteilung.

¹³ Vgl. Totally Integrated Power: Applikationshandbuch – Grundlagenermittlung und Vorplanung (Siemens AG); 2006

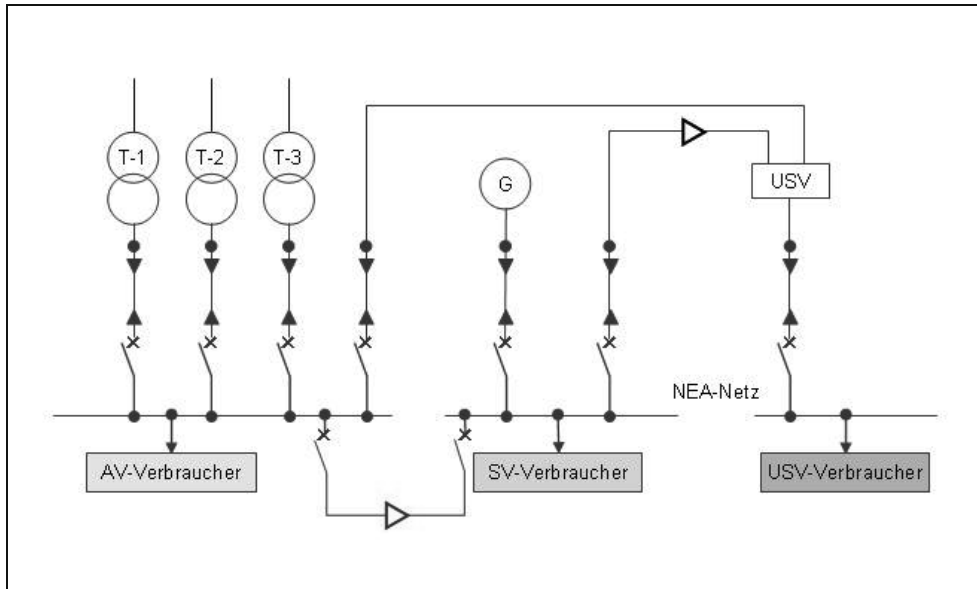


Abbildung 2-8: Netzstruktur nach Verbraucheranforderungen¹⁴

Ein interessantes Beispiel für die Bedeutung der Unterbrechungsfreien Stromversorgung für Energieeffizienz und Ausfallsicherheit liefert die Klimatisierung im Rechenzentrum. Grundsätzlich führt eine Unterbrechung der Stromversorgung für Klimageräte zu keinen Schwierigkeiten, wenn der Generator für die Sicherheitsstromversorgung (SV) wie geplant binnen 10 oder 15 Sekunden startet. Aber falls der Generator nicht anspringt, kommt es unter Umständen auf der SV-Schiene zu Problemen. Durch den Ausfall der Klimatisierung im Rechnerraum könnten die Computer, Plattensysteme und Server während des Shutdowns überhitzen und schlimme Hardwaredefekte die Folge sein. Also macht eine zumindest teilweise Einordnung der Klimatisierung zur USV-Schiene Sinn.

Um dennoch keine Einbußen hinsichtlich der Energieeffizienz zu erhalten, kann das Energiemanagement bei der USV-Absicherung der Klimatisierung folgendermaßen ausgelegt werden. Moderne USV-Geräte bieten über digitale Regelung und den statischen Bypass-Schalter die Möglichkeit einen sogenannten „Digital-Interactive-Mode“ für Klimageräte zu nutzen. Dabei werden die Klimageräte, unter Umgehung der verlustbehafteten USV-Leistungselektronik, direkt über das Netz versorgt. Durch die USV-Überwachung wird bei Problemen mit dem Strom-

¹⁴ Quelle: Totally Integrated Power: Applikationshandbuch – Grundlagenermittlung und Vorplanung (Siemens AG); 2006

versorgungsnetz unterbrechungsfrei auf den bereit stehenden sicheren USV-Pfad umgeschaltet.

2.5.3 Der Einfluss von USV-Systemen auf den Energieverbrauch

In der Regel werden heute in Rechenzentren USV-Anlagen verwendet, die mit Batterien arbeiten. Diese können einen Stromausfall von wenigen Minuten bis zu – in Einzelfällen – eine Stunde und mehr überbrücken. Es sind aber auch USV-Anlagen im Einsatz, in denen kinetische Energie mit Hilfe von Schwungrädern gespeichert ist. Außerdem sind erste Anlagen mit Brennstoffzellen am Markt verfügbar.

Wird die IT des gesamten Rechenzentrums über die USV abgesichert, so hat deren Wirkungsgrad einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch. In Tabelle 2-4 ist beispielhaft dargestellt, welche Energieeinsparungen und damit CO₂-Minderungen durch die Modernisierung einer USV für ein größeres Rechenzentrum mit 1 MW Wirkleistung der abgesicherten Verbraucher erreicht werden könnten. Bei einer durchaus realistischen Wirkungsgradverbesserung von 5 Prozentpunkten ergibt sich eine Einsparung des durch die USV bedingten Stromverbrauchs von 760 MWh jährlich. Das entspricht 41,6 % und einer CO₂-Minderung von 469 t jährlich. In der Berechnung ist berücksichtigt, dass die Stromverluste in der USV zu einer Temperaturerhöhung im Rechenzentrum führen und damit die notwendige Kühlleistung erhöhen.

Tabelle 2-4: Rechenbeispiel zur Modernisierung einer USV

	Alte USV	Neue USV
Wirkleistung der über die USV abgesicherten Verbraucher	1 MW	1 MW
Wirkungsgrad der USV	87 %	92 %
Verlustleistung der USV	149 kW	87 kW
Energieverbrauch der USV pro Jahr	1.305.240 kWh	762.120 kWh
Durch die USV bedingter Energieverbrauch für die Kühlung pro Jahr (CoP - Coefficient of Performance für die Kühlung =0,4)	522.096 kWh	304.848 kWh
Insgesamt durch die USV bedingter Energieverbrauch pro Jahr	1.827.336 kWh	1.066.968 kWh
Energieeinsparung pro Jahr	760.368 kWh (= 41,6 %)	
CO ₂ -Ersparnis pro Jahr (Deutscher Strom-Mix: 617 g/kWh)	469,15 t	

Eine Hilfestellung bei der Auswahl einer USV liefert der Code of Conduct für USV¹⁵. Er dokumentiert das vorläufige Ergebnis einer Vereinbarung von USV-Herstellern mit der EU-Kommission zu Zielvorgaben an die Wirkungsgrade von USV-Anlagen ab 2008. Abbildung 2-9 zeigt beispielhaft die Zielvorgaben für USV-Anlagen vom häufig verwendeten Typ VFI-S (Voltage and Frequency Independent – sinusoidal under all kinds of loads).

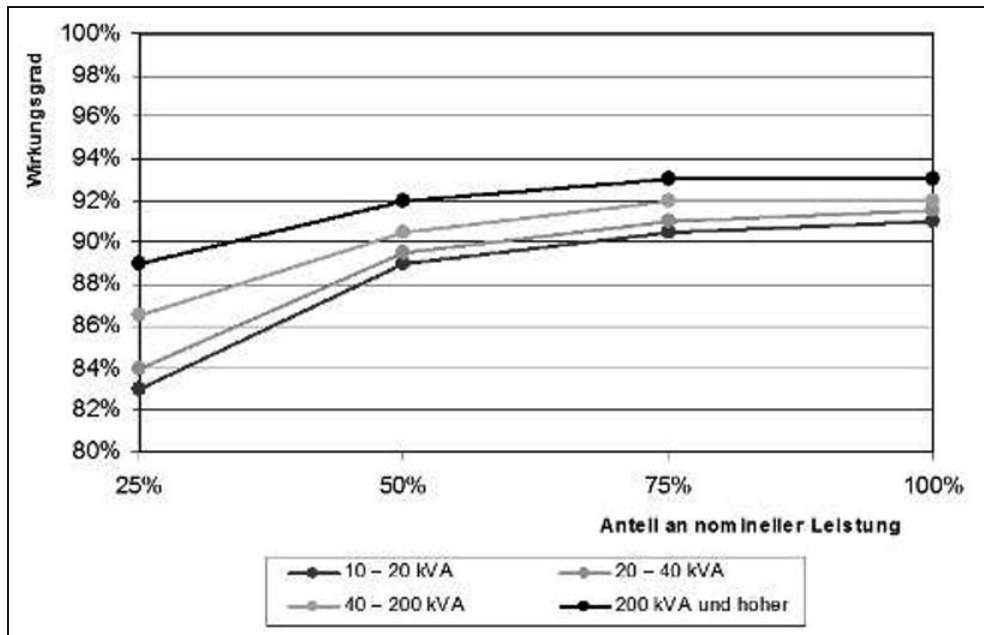


Abbildung 2-9: Zielvorgaben für Wirkungsgrade von Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (Typ VFI-S) nach Code of Conduct für USV

2.5.4 USV-Anlagen und Ausfallsicherheit

Die USV ist ein wesentlicher Bestandteil der Stromversorgungsinfrastruktur von Rechenzentren. Für USV-Systeme spielt neben dem Begriff „Effizienz“ besonders die gebotene Sicherheit beim Energiemanagement eine große Rolle. Grundsätzlich wäre es die energieeffizienteste Lösung, gänzlich auf eine USV-Anlage zu verzichten. Damit würde aber ein in der Regel nicht hinnehmbares Ausfallrisiko in Kauf genommen. Im Falle einer USV-Anlage ist also folgendes Optimierungsproblem zu

¹⁵ European Commission: Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems,

lösen: Zunächst ist festzulegen, welche Ausfallsicherheit der Stromversorgung für das gesamte Rechenzentrum bzw. für einzelne Systeme notwendig ist. Unter dieser Rahmenbedingung ist die wirtschaftlichste – und damit zumeist auch energieeffizienteste Lösung – zu wählen. Dieser Prozess kann durchaus eine oder mehrere Schleifen durchlaufen. Wird z.B. festgestellt, dass die gewählten Ausfallsicherheitsziele nicht finanzierbar sind, ist deren Anpassung nötig. Denkbar wäre beispielsweise nicht alle Systeme im Rechenzentrum gleich ausfallsicher zu gestalten, sondern hier eine Unterscheidung zu treffen, wie gefährdend ein Ausfall für den Unternehmenserfolg wäre. Umgekehrt ist auch denkbar, dass die Anforderungen an die Ausfallsicherheit im Zeitverlauf zunehmen und daher in einen Ausbau der USV-Anlage investiert wird.

Man kann die USV also als eine Art „Versicherung“ betrachten, bei der die eingesetzte elektrische Energie beim USV-Betrieb vergleichbar mit den Prämienzahlungen die Versicherungsleistungen ist. Der Versicherungsnehmer legt zunächst fest, welche Versicherungsleistungen er benötigt und sucht dann eine Versicherung mit niedrigen Prämienzahlungen.

Eine übersichtliche Darstellung zu Aufbau und Auslegung von USV-Anlagen aus dem Rechenzentrumsbereich, mit Ausführungsvorschlägen für die einzelnen Gewerke, bietet der Leitfaden „Betriebssicheres Rechenzentrum“ und die Planungsmatrix „Betriebssicheres Rechenzentrum“ des BITKOM.¹⁶

An dieser Stelle soll noch auf verschiedene Redundanzkonzepte bei USV-Anlagen eingegangen werden. Auch eine USV kann ausfallen und damit die Stromversorgung der IT gefährden. Redundanz bei der USV bedeutet in der Regel Wirkungsgradverluste. Typische USV-Anlagen haben geringe Wirkungsgrade bei geringer Auslastung und die besten Wirkungsgrade bei Volllast. Hier gilt es ebenfalls zwischen Sicherheit und Effizienz in den Planungsbetrachtungen abzuwägen.

Einzel-USV-Anlagen

Bei Einzelanlagen ist die Dimensionierung immer ein kritischer Faktor, da diese Anlagen auf die zu erwartende Last in der Zukunft dimensioniert werden. Aus Angst zu früh an Leistungsgrenzen zu stoßen, werden diese Anlagen häufig großzügig überdimensioniert, was zu geringer Auslastung und damit zu unnötigen Verlusten führt.

Zwei USV-Anlagen im Parallelbetrieb für N+1-Redundanz (auch 1+1)

Hierbei handelt es sich um eine Aufbauform im Leistungsbereich zwischen ca. 20 kVA / kW und 250 kVA / kW Einzelblockleistung, da sie bessere Verfügbarkeitswerte liefert als Einzelanlagen. Bei dieser Anlagenkonfiguration ist das Thema Dimensionierung ebenso wie bei Einzelanlagen auf eine mögliche Endleistung

¹⁶ Beide Publikationen stehen zum kostenlosen Download auf der BITKOM-Webseite zur Verfügung.

ausgelegt und wird noch dazu verschärft, weil jede Anlage nur bis max. 50 % ausgelastet werden darf, da sonst das Redundanzkonzept nicht mehr greift.

Mehrere USV-Anlagen im Parallelbetrieb für N+1-Redundanz

Hierbei handelt es sich um eine Aufbauform im Leistungsbereich zwischen ca. 20 kVA / kW und 1000 kVA / kW Einzelblockleistung, da sie bessere Skalierbarkeit bietet als zwei USV-Anlagen im Parallelbetrieb. Bei dieser Anlagenkonfiguration kann durch einen - auf die gewünschte Endleistung dimensionierten - externen Servicebypassschalter mit der entsprechenden Anzahl von USV-Anschlussmöglichkeiten die für die momentane Leistung und den Redundanzgrad notwendigen USV-Anlagen installiert werden. Bei einem höheren Leistungsbedarf können eine oder mehrere USV-Anlagen im laufenden Betrieb hinzugefügt werden. Damit sind höhere Auslastungsgrade zu erreichen als bei der 1+1 Konfiguration und der Betrieb der USV-Anlagen bei geringeren Verlusten.

Modulare USV-Anlagen mit Leistungsmodulen im Parallelbetrieb für N+1-Redundanz

Hierbei handelt es sich um eine Aufbauform im Leistungsbereich zwischen ca. 10 kVA / kW und 200 kVA / kW Einzelmodulleistung, die eine einfachere Skalierbarkeit bietet als zwei oder mehrere USV-Anlagen im Parallelbetrieb. Bei modularen USV-Anlagen wird der Anlagenrahmen auf die gewünschte Endleistung ausgelegt. Die Leistungserhöhung kann im laufenden Betrieb der USV möglich sein, ohne einen externen Bypassschalter mit einer Vielzahl von USV-Anschlussmöglichkeiten vorzusehen. Es können viele Leistungsmodule parallel geschaltet werden, was den Auslastungsgrad je Modul erhöht und damit den Betrieb der USV-Anlagen bei geringeren Verlusten ermöglicht.

Zwei USV-Anlagen im unabhängigen Betrieb für 2N-Redundanz

Hierbei handelt es sich um ein hochverfügbares Redundanzkonzept mit zwei getrennten, unabhängigen, vollständig wartbaren Versorgungswegen. Bei den Auslastungen verhält sich diese Konfiguration identisch mit zwei USV-Anlagen im Parallelbetrieb für N+1-Redundanz (auch 1+1).

Weitere Redundanzkonzepte und die möglichen Auslastungsgrade der einzelnen USV-Anlagen bzw. Leistungsmodule können aus nachstehender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 2-5: Auslastung von USV-Anlagen in verschiedenen Redundanzkonzepten (zulässige Maximalwerte unter Einhaltung der Redundanzklasse)

Redundanzgrad	N	N+1	N+1	N+1	N+1
Konfiguration	1	1+1	2+1	3+1	4+1
USV Anzahl	1	2	3	4	5
Auslastung pro USV in %	100	50	66	75	80
Redundanzgrad	N	N+1	N+1	N+1	N+1
Konfiguration	2	2 (1+1)	2 (2+1)	2 (3+1)	2 (4+1)
USV Anzahl	2	4	6	8	10
Auslastung pro USV in %	50	25	33	37,5	40

Die Angaben zu Wirkungsgraden sind eine gute Orientierungshilfe bei der Planung einer USV, sie ergänzen die USV-Klassifizierungen. Doch aufgrund der allzu komplexen Beziehung zwischen Technik, Betrieb, Sicherheit, Umgebungsbedingungen und Störverhalten sollten sie nie der ausschließliche Maßstab für eine Bewertung sein.

2.5.5 Einsatz von intelligenten Steckdosenleisten im Rack

Neben Möglichkeiten der Optimierung der Energieeffizienz von USV-Anlagen bietet sich auch an, „intelligente“ Steckdosenleisten zu verwenden, so genannte Smart Power Strips (SPS) die auf Seiten der Stromversorgung Energie sparen. Diese SPS, die nicht mehr wie frühere Steckdosenleisten nur das Unterbringen der Stecker übernehmen, zeichnen sich durch verschiedene Funktionen aus: einfaches Plug and Play, Modularität sowie leichten Zugriff auf unterschiedliche Stromkreise. Dazu kommen noch die Fernsteuerbarkeit über IP-Netzwerke und eine integrierte Leistungsmessung. Bedingt durch die erhöhten Anforderungen im Rechenzentrum wurden Sondervarianten mit angepassten Gehäusen und Belastungen entwickelt.

Typischerweise kommen zwei verschiedene Bauformen am Rack zum Einsatz:

- 19'' 1U oder 2U (8 Ports, bis 16 Ports),
- Stangen für seitliche Montage am Rack (12 Ports, 20 Ports).

Im funktionalen Bereich der Stromleisten sind drei Kategorien verfügbar:

- Passive Stromleisten für die IT-Umgebung,
- Schaltbare Stromleisten mit Steuereingang,
- Intelligente Stromleisten mit Steuereingang und Messfunktionen.

Passive Stromleisten für die IT-Umgebung

Bei den einfachen Modellen gilt es zu beachten, dass die Leiste über eine ausreichende Anzahl von Steckdosen (Schuko- oder Kaltgeräteanschluss), sowie über eine hochwertige mechanische Qualität verfügt. Vom Einsatz von Steckdosenleisten mit Ein-Aus-Schalter wird dringend abgeraten, da die Gefahr einer versehentlichen Abschaltung durch mechanische Berührung viel zu groß ist. Optional kann eine Variante mit Überspannungsschutz verwendet werden. Dies hilft bei der Vermeidung von Defekten durch kurzzeitig auftretende Spannungsspitzen. Die wesentlichen Nachteile der einfachen Variante sind die unvermeidbaren Einschaltspitzen (alle Verbraucher werden gleichzeitig eingeschaltet), sowie die fehlende Steuerung hinsichtlich An- und Abschalten und Verbrauchsmessungen.

Schaltbare Stromleisten mit Steuereingang

Die Weiterentwicklung der Kategorie 1 umfasst schaltbare Stromleisten mit einem Steuereingang (z.B. seriell RS232, teilweise Ethernet), die eine kontrollierte Inbetriebnahme von Geräten ermöglichen. Die Steuerung der Leisten erfolgt typischerweise über einen darüber geschalteten Keyboard-Video-Mouse-Switch (KVM-Switch), der auch die Gruppierung der einzelnen Steckdosen zu den angeschlossenen Geräten (z.B. Server) ermöglicht.

Intelligente Stromleisten mit Messfunktionen

Die neueste Generation von Stromleisten beinhaltet neben der Schaltfunktion auch die Möglichkeit, Verbrauchsmessungen (Gesamtverbrauch und Einzelmessung je Steckdose) durchzuführen, um somit hinsichtlich der Energieeffizienz im Rechenzentrum einen genauen Überblick bezüglich des Energieverbrauchs zu erreichen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang eine Einzelmessung je Steckdose, um die genaue Lastverteilung im Rack festzustellen und gegebenenfalls für neue Server die beste räumliche Positionierung im Rechenzentrum zu finden. Eine Optimierung des Einsatzes der Kühl- und Klimatechnik kann hiermit erfolgen.

Die Messdaten lassen sich via Ethernet und SNMP mit einem Monitoring-Tool auslesen und als Verlauf protokollieren. Eine weitere Möglichkeit danach ist die Auswertung der einzelnen Verbraucher im Rahmen einer Kostenaufstellung für eine individuelle Zuordnung der Kosten je Verbraucher (z.B. Berechnung der Energiekosten je Abteilung oder Server). Intelligente Stromleisten verfügen darüber hinaus über weitere Funktionen wie z.B. Umgebungsmonitoring (Temperatur, Feuchtigkeit) sowie einstellbare Schwellwerte (z.B. Strom) mit Alarmfunktionen (Benachrichtigung via E-Mail oder SNMP).

Tabelle 2-6: Überblick Stromleisten

Kategorie	Einsatz in	Vorteile	Nachteile
Passive Leisten	einfache Installationen	Anschaffungspreis	keine Steuerung Stromspitzen bei Inbetriebnahme keine Messung
schaltbare Leisten	Rechenzentrum mit Servermanagement	Schaltfunktionen verzögertes Einschalten der Server	keine Verbrauchsmessung meist nur in Verbindung mit KVM Switch oder Consoleserver
intelligente Leisten	Energieeffiziente Rechenzentren	ermöglicht volle Kontrolle über Geräte und Energieverbrauch autark einsetzbar	Anschaffungspreis

2.6 Energy Contracting

Das Management der Kühlung und Stromversorgung stellt eine anspruchsvolle Aufgabe für Rechenzentrums-Betreiber dar. Eine Möglichkeit, das Unternehmen selbst hinsichtlich dieser Aufgabe zu entlasten bietet Energy Contracting. Der Bezug von Energie über einen Dritten (Contractor) kann für den passenden Kunden (Contracting-Nehmer) verschiedene Vorteile haben. Zum Beispiel müssen keine Investitionen in die Energieanlage getätigt werden und die freiwerdenden Investitionen können an anderer Stelle verwendet werden.

Zu den Aufgaben des Contractors gehören in der Regel die Beratung, Planung, Finanzierung und der Betrieb von Energieanlagen. Dazu übernimmt der Dienstleister den Bezug von Strom, aber auch von Gas, Öl, Fernwärme oder auch Fernkühlung zu marktgerechten Konditionen auf der Basis ausgehandelter mittel- und langfristiger Bezugsverträge. Der Contractor bietet ein professionelles Energiemanagement und kann die für ein modernes Rechenzentrum notwendige Verfügbarkeit garantieren. Ebenso kann er Potenziale zur Reduzierung des Energieverbrauchs und des durch den Betrieb verursachten Schadstoffausstoßes nutzen. Umfassende Instandhaltungs- und Reparaturgarantien können ebenso zum Service eines Energy-Contractors gehören.

Die ökologischen und ökonomischen Potenziale können freigesetzt werden, da der Contractor aufgrund seiner Größe, Erfahrung und fachspezifischen Kompetenz

Maßnahmen ergreifen kann, für die beim Rechenzentrumsbetreiber selbst häufig keine personellen und finanziellen Ressourcen zur Verfügung stehen.

Literatur

- Aebischer, B. et al.: Concept de mesure standardisé pour les centres de calculs et leurs infrastructures, Genève 2008.
- ASHRAE: Thermal Guidelines for Data Processing Environments; 2004
- BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Energieeffizienz im Rechenzentrum, Band 2 der Schriftenreihe Umwelt & Energie, Berlin 2008.
- BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): BITKOM-Matrix Ausfallzeit Rechenzentrum V5.0, Berlin 2009.
- BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Energieeffizienzanalysen in Rechenzentren, Band 3 der Schriftenreihe Umwelt & Energie, Berlin 2008.
- BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., Roland Berger (Hrsg.): Zukunft digitale Wirtschaft, Berlin 2007.
- BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Betriebssicheres Rechenzentrum, Berlin 2006.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Energieeffiziente Rechenzentren. Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien, Berlin 2008.
- Brill, Kenneth G.: Data Center Energy Efficiency and Productivity, White Paper, The Uptime Institute, 2007.
- Bundesamt für Energiewirtschaft: Risikofreier Betrieb von klimatisierten EDV-Räumen bei 26° C Raumtemperatur, Bern 1995.
- European Commission: Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems, Online unter: <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/Code%20of%20conduct%20UPS%20efficiency-V1-2006-12-22%20Final.pdf>; 2006
- European Commission: Code of Conduct on Data Centres, Online unter http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative_data%20centers.htm; 2008
- EPA: ENERGY STAR® Program Requirements for Computer Servers, verfügbar unter http://www.energystar.gov/index.cfm?c=new_specs.enterprise_servers; 2009.

- Fichter, Klaus: Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland - Trends und Einsparpotenziale bis 2013, Borderstep Institut, Berlin 2008.
- Fichter, Klaus: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (Borderstep Institut); 2007
- Greenberg, S.; Tschudi, W.; Weale, J.: Self Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance, Version 1.0, May 2006, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 2006
- The green grid: The Green Grid Metrics: Data Center Infrastructure Efficiency (DCIE) Detailed Analysis, 2008
- The Green Grid: GREEN GRID METRICS: Describing Datacenter Power Efficiency. Technical Committee White Paper, February 20, 2007
- Totally Integrated Power: Applikationshandbuch – Grundlagenermittlung und Vorplanung (Siemens AG); 2006
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency, Energy Star Program): Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431; 2007
- White paper: The classifications define site infrastructure performance (The Uptime Institute Inc.); 2001-2006