



Schriftenreihe
**Umwelt
&
Energie**



Band 2

Energieeffizienz im Rechenzentrum

Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung
und zum Betrieb von Rechenzentren

In Zusammenarbeit mit:



■ Impressum

Herausgeber: BITKOM
Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e.V.
Albrechtstraße 10 A
10117 Berlin-Mitte
Tel.: 030.27576-0
Fax: 030.27576-400
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org

Ansprechpartner: Holger Skurk
Tel.: 030.27576-250
h.skurk@bitkom.org

Redaktion: Dr. Ralph Hintemann (BITKOM), Dr. Stefanie Pfahl (Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit)

Redaktionsassistenz: Christine Faßnacht (BITKOM)

Gestaltung / Layout: Design Bureau kokliko / Anna Müller-Rosenberger (BITKOM)

Copyright: BITKOM 2010

Band 2

Energieeffizienz im Rechenzentrum

Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung
und zum Betrieb von Rechenzentren



Energieeffiziente Rechenzentren sind wichtig für den Klimaschutz

- Grußwort von Bundesumweltminister Dr. Norbert Röttgen



Dr. Norbert Röttgen, Bundesminister
für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) bildet als zentrale Querschnittstechnologie die technische Basis für die moderne Informations- und Wissensgesellschaft und trägt als dynamisches Innovationsfeld maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung bei. Als Bindeglied vernetzt sie Maschinen, Prozesse und Menschen. Dadurch leistet sie auch einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Ressourcen und zur Reduzierung von klimarelevanten Emissionen. Beispiele sind die Steuerung von Produktionsprozessen, Stromnetzen und Gebäuden oder auch die Vermeidung von Verkehr durch intelligente Logistik, Telearbeit oder Telefon- und Videokonferenzen. Der Einsatz von Computern und die Nutzung des Internet sind jedoch auch mit einem erheblichen Stromverbrauch verbunden. In Deutschland betrug der Stromverbrauch der IKT im Jahr 2007 rund 55 TWh und machte damit 10,5 % des gesamten Stromverbrauchs des Landes aus. Dies verursachte CO₂-Emissionen von ca. 33

Mio. t CO₂-Äquivalenten – mehr als die Emissionen aus dem Luftverkehr. Der größte Zuwachs ist bei den IKT-Infrastrukturen, dazu zählen Rechenzentren und Server, zu verzeichnen. Der Stromverbrauch der rund 50.000 Serverräume und Rechenzentren in Deutschland betrug im Jahr 2008 etwa 10,1 TWh und hat sich damit seit dem Jahr 2000 mehr als verdoppelt. Zur Versorgung der Rechenzentren wird mittlerweile die Leistung von rund vier mittelgroßen Kohlekraftwerken benötigt. Damit verursachten die Rechenzentren in Deutschland 2008 CO₂-Emissionen in Höhe von knapp 6,4 Mio. t. Ohne zusätzliche Effizienzanstrengungen werden der Stromverbrauch und die CO₂-Emissionen von Serverräumen und Rechenzentren in Deutschland weiter erheblich ansteigen. Würden hingegen die heute bereits verfügbaren und bei Voreitern bereits eingesetzten energieeffizienten Technologien auf breiter Front angewendet, könnten im Zeitraum bis 2013 insgesamt 25,8 TWh bzw. 15,3 Mio. t CO₂ eingespart

werden. Die Betreiber von Rechenzentren könnten auf diese Weise bis 2013 insgesamt etwa 3,6 Mrd. € an Stromkosten einsparen. Mit der vorliegenden Neuauflage dieses Leitfadens soll ein Beitrag zur Erreichung dieses Ziels geleistet werden. Er zeigt in kompakter und verständlicher Form die verschiedenen praktischen Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz in Rechenzentren, z.B. bei der Raumkühlung. Verbesserungsmaßnahmen, die CO₂-Emissionen und Geld sparen, können dadurch schnell und effektiv umgesetzt werden. Der Leitfaden informiert auch über das Green IT Beratungsbüro beim BITKOM. Es wurde im Jahr 2009 mit Fördermitteln aus dem Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums eingerichtet und soll Anwender in Unternehmen, Behörden und Organisationen über Einsparpotentiale, Produkte und Dienstleistungen sowie Fördermöglichkeiten beraten.

Dr. Norbert Röttgen Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Inhaltsverzeichnis

Energieeffiziente Rechenzentren sind wichtig für den Klimaschutz	3
Vorwort	6
1 Einleitung	8
2 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren	9
2.1 Überblick	9
2.2 Energieverbraucher in Rechenzentren	9
2.3 Herausforderungen für die Planung und den Betrieb von Rechenzentren	10
3 Messung von Energiebedarf und Temperaturen im Rechenzentrum	11
3.1 Überblick	11
3.2 Energie-Monitoring	12
3.3 Temperatur-Monitoring	12
4 Optimierung der IT-Hard- und Software	13
4.1 Überblick	13
4.2 Server	13
4.3 Speicherlösungen	15
5 Optimierung der Kühlung	16
5.1 Überblick	16
5.2 Luftstrom im Raum und im Rack	16
5.3 Leistungsregelung	19
5.4 Freie Kühlung	22
5.5 Kaltwassertemperatur	24
5.6 Darstellung unterschiedlicher Kühlgerätearten	25
5.7 Darstellung unterschiedlicher Kühlmedien	26
5.8 Rücklufttemperatur	27
6 Optimierung der Stromversorgung	28
6.1 Überblick	28
6.2 Der Einfluss von USV-Systemen auf den Energieverbrauch von Rechenzentren	28
6.3 Sicherer und energieeffizienter Aufbau einer USV	30
6.4 Redundanz: Sicherheit und Effizienz	31
6.5 Lastcharakteristik, Leistungsklasse und Halbleiter-Bauelemente	33
6.6 Aktuelle Entwicklungen bei den Wirkungsgraden von USV	34
6.7 Abwägungen zwischen Energieeffizienz, Sicherheit und Qualität	36
6.8 Einsatz von intelligenten Steckdosenleisten im Rack	36
7 Energy Contracting	39
Endnoten	40
8 Glossar	41
9 Literatur	43
10 Danksagung	44

Vorwort



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

Für viele Rechenzentren wird der Energieverbrauch in den nächsten fünf Jahren zu einem der größten Kostenfaktoren. Nach Berechnungen des Borderstep-Instituts haben sich die Stromkosten von Rechenzentren bereits in den Jahren 2000 bis 2006 mehr als verdreifacht. Dabei lohnen sich Investitionen in energieeffiziente Produkte und Prozesse betriebswirtschaftlich meist erstaunlich schnell: Amortisationszeiten von zwei Jahren und weniger sind hier die Regel.

Nach einer aktuellen Umfrage der Marktforscher von Experton kennen jedoch nur 7 Prozent der deutschen IT-Entscheider den Energiebedarf der eigenen IT! Kein Wunder, dass Rechenzentren oft mit hohem Aufwand auf 18 Grad heruntergekühlt werden, obwohl sie auch bei bis zu 26 Grad Celsius laufen könnten. Ursache dieser Energieverschwendungen ist oft ein Kostenrechnungsproblem: Der Energieverbrauch von Unternehmen läuft unter „Facility Management“. Wer Green IT zum Durchbruch verhelfen will, wer Ausgaben reduzieren, Energie sparen und gleichzeitig die Umwelt schonen will – der sollte die Verantwortung für den Energieverbrauch der IT-Systeme

dorthin legen, wo die Entscheidungen getroffen werden: in das IT-Management.

Durch die Klimadebatte ist das Thema Green IT in letzter Zeit stark in den Fokus der Öffentlichkeit geraten. Der prognostizierte Klimawandel bedroht unseren Planeten und wird massiv unseren Lebensstil beeinflussen. Um den globalen Temperaturanstieg einzudämmen, müssen die CO₂-Emissionen rapide gesenkt werden. Die ITK-Branche ist zwar für rund zwei Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich, leistet aber etwa sechs Prozent der weltweiten Wertschöpfung. Die Energieeffizienz der Branche ist also um den Faktor drei besser als der allgemeine Schnitt durch alle Sektoren.

Dennoch gibt es viel zu tun: Schon seit Jahren beschäftigt sich unsere Branche mit der Fragestellung, wie wir den globalen Energieverbrauch weiter senken können. Moderner Umweltschutz braucht High-Tech. Der Klimawandel kann nur mit Innovationen und der intelligenten Nutzung von ITK-Technologien eingedämmt werden.

Die ITK-Branche steht daher wie kaum eine andere Branche für Klimaschutz. Um den Paradigmenwechsel jedoch einzuläuten, müssen wir im ersten Schritt unsere eigenen Produkte und Lösungen noch energieeffizienter gestalten. Der vorliegende Leitfaden stellt daher heute schon verfügbare Lösungen dar, die Kostensenkungen und Energieeffizienz in Rechenzentren ermöglichen.

1 Einleitung

Die Rechenleistung in modernen Unternehmen steigt ständig an. Immer mehr Unternehmensabläufe werden durch die zentrale Informationstechnik (IT) unterstützt. Neue und verbesserte Anwendungen und Programm-Features erfordern leistungsfähige Server. Vielfach ist es nur durch eine umfassende IT-Unterstützung der Geschäftsprozesse noch möglich, im globalen Wettbewerb erfolgreich zu sein. 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 führt aber auch zu hohen notwendigen Strom- und Kühlleistungen in Rechenzentren. 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:

- Die Betriebskosten eines Rechenzentrums sinken in beträchtlichem Umfang. Da die Betriebskosten einen hohen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen, rechnen sich Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Rechenzentren zum Teil 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.

Dieser Leitfaden bietet praktische Hinweise wie bei der Planung, Implementierung und beim Betrieb eines Rechenzentrums moderne Technologien eingesetzt werden können, um die Energieeffizienz deutlich zu erhöhen.¹ 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 Prozent und mehr möglich sind. Die Hinweise beziehen sich sowohl auf die Neuplanung eines Rechenzentrums als auch auf die Modernisierung vorhandener Infrastrukturen.

2 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren

■ 2.1 Überblick

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 Prozent gewachsen und ist jetzt größer als die der Automobilindustrie und des Maschinenbaus. Im Jahr 2007 hatte der ITK-Markt in Deutschland ein Volumen von rund 148 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.

Diese sehr positive Entwicklung hatte in der Vergangenheit aber auch zur Folge, dass der Energiebedarf der ITK kontinuierlich angestiegen ist. In einer Studie² für das Bundesumweltministerium schätzt das Borderstep-Institut, dass sich der Energiebedarf von Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2006 von 3,98 Mrd. kWh auf 8,67 Mrd. kWh mehr als verdoppelt hat. Bedingt durch die gestiegenen Strompreise haben sich die Stromkosten von Rechenzentren sogar von 251 Mio. Euro auf 867 Mio. Euro mehr als verdreifacht. 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 halbiert werden und damit trotz der vermutlich steigenden Strompreise die Stromkosten für Rechenzentren deutlich reduziert werden (Abbildung 1).

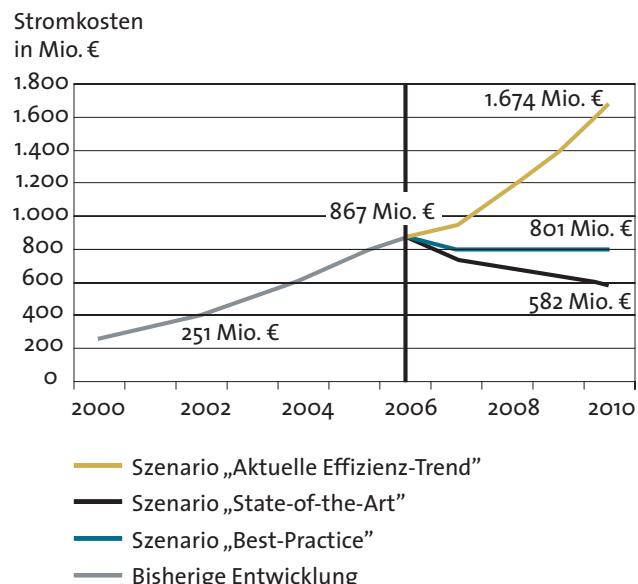


Abbildung 1: Entwicklung der Stromkosten im Rechenzentrum³

■ 2.2 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 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 Prozent des direkt durch die IT benötigten Energiebedarfs.

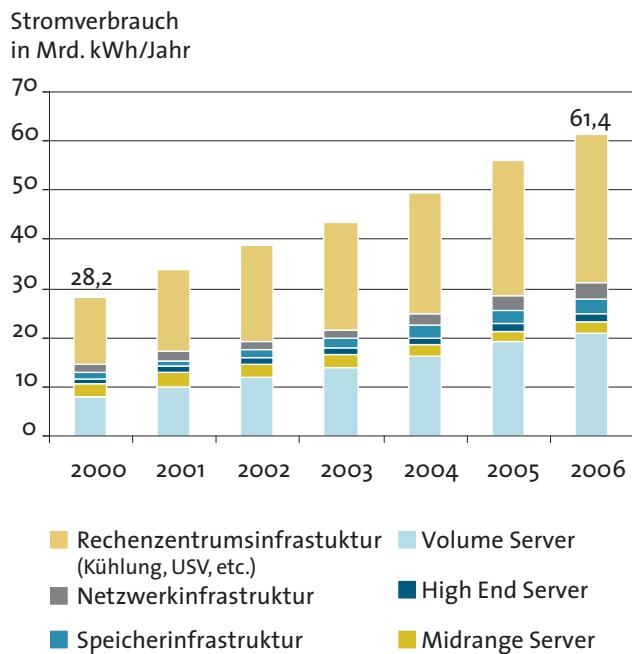


Abbildung 2: Entwicklung des Energieverbrauchs in Rechenzentren – Anteile der einzelnen Verbraucher⁴.

■ 2.3 Herausforderungen für die Planung und den 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 in den letzten Jahren sehr stark erhöht. Allein der durchschnittliche Pro-Rack-Energieverbrauch hat sich in den letzten drei Jahren verdreifacht. Rechenzentren mit einem Leistungsbedarf von 2.500 Watt pro Quadratmeter und mehr sind keine Seltenheit mehr. 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 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? 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? Heute gibt es 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 (Total Cost of Ownership (TCO)) minimiert werden? Insbesondere müssen neben den Kosten für Hardware, Planung, Implementierung und Management auch die Energiekosten in die Berechnung einbezogen werden. In einigen Gebieten, z.B. bei den Volumenservern, liegen diese Kosten schon heute in der Größenordnung der Anschaffungskosten.

Der vorliegende Leitfaden bietet eine Hilfestellung, um sich diesen Herausforderungen und Fragen zu stellen.

3 Messung von Energiebedarf und Temperaturen im Rechenzentrum

■ 3.1 Überblick

Was nicht gemessen werden kann, kann nicht optimiert werden. Hier besteht Nachholbedarf bei vielen Rechenzentren. Ein großer Anteil der Unternehmen, der über ein Rechenzentrum verfügt, kann nicht darüber Auskunft geben, wie groß der Anteil der IT an dem Gesamtenergieverbrauch ist. Das kann daran liegen, dass in vielen IT-Budgets zwar die Kosten für die Planung, Anschaffung und das Management der IT berücksichtigt sind, nicht aber die Energiekosten. Diese werden häufig als Gemeinkosten über das Facility Management abgerechnet.

Allein schon die Messung des Gesamtenergiebedarfs eines Rechenzentrums führt häufig dazu, dass Potenziale zur Senkung von Energieverbrauch und Kosten aufgedeckt werden. Wird der Energieverbrauch bei der Ausstattung eines Rechenzentrums adäquat berücksichtigt, fallen die Investitionsentscheidungen oft anders aus. So kann sich beispielsweise eine etwas höhere Investition in eine energieeffiziente Kühlung schon nach wenigen Monaten rentieren.

Zur Beurteilung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums gibt es eine Reihe von Kennzahlen. Beispiele sind in Tabelle 1 aufgeführt. So kann das Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs zum Energieverbrauch der IT (Site Infrastructure-Energy Efficiency Ratio) eines sehr guten Rechenzentrums bei 1,5 liegen. Es sind aber auch Rechenzentren in Betrieb, bei denen der Wert bei zwei bis drei liegt, d.h. zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf für IT werden die gleiche bis die doppelte Menge für Klimatisierung, USV, etc. verbraucht. Mit Hilfe einer entsprechenden Softwareunterstützung können diese Kennzahlen auch laufend berechnet und überwacht werden, um so weitere Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz zu erschließen.

Green Grid (USA)⁵ :

- PUE (Power Usage Effectiveness): Quotient aus Gesamt-Energieverbrauch durch Energieverbrauch (nur) des IT-relevanten Inhaltes
- DCE (Data Center Efficiency): Quotient aus Energieverbrauch des IT-relevanten Inhaltes durch Gesamt-Energieverbrauch (= 1/PUE)
- IEP (IT Equipment Power): Verbrauch der Energie von IT-Verarbeitung, Speicherung und Verteilung plus Management
- TFP (Total Facility Power): Gesamt-Energieverbrauch inkl. der Energie von Klima (Kühlung), Stromlieferung, Überwachung, Beleuchtung, etc.

Uptime-Instituts (USA)⁶:

- 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 1: Energieeffizienz-Kennzahlen

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 geschafft 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 effizienzierte Betriebsmanagement sind jedoch kontinuierliche und flächendeckende Messungen sowie die Darstellung der historischen Entwicklung erforderlich.



■ 3.2 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

■ 3.3 Temperatur-Monitoring

Die detaillierte Erfassung der Temperaturverteilung und deren Visualisierung (Abbildung 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. Ein weiterer Ausbau des Rechenzentrums kann bei bekannter Temperaturverteilung energieoptimiert erfolgen.

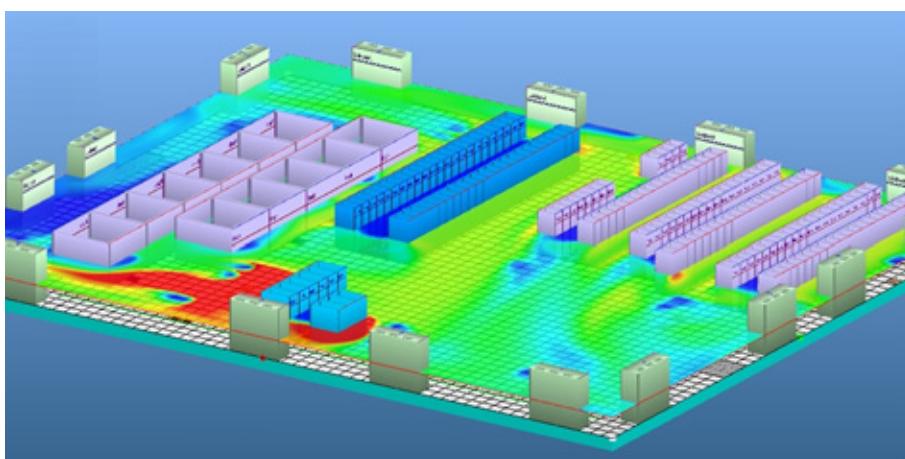


Abbildung 3: Temperaturverteilung im Rechenzentrum mit Hot Spot
(Quelle: IBM)

4 Optimierung der IT-Hard- und Software

■ 4.1 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. Der vorliegende Leitfaden befasst sich schwerpunktmäßig mit dem Thema „Planung und Ausstattung von Rechenzentren“ und kann nicht auf detaillierte Fragen des IT-Betriebs und der dafür geeigneten Hard- und Software eingehen. An dieser Stelle soll daher nur ein kurzer Überblick über die Einsparpotenziale durch IT-Hard- und Software gegeben werden.

■ 4.2 Server

Wie Abbildung 2 zeigt, werden ca. 2/3 des Energiebedarfs von IT-Hardware durch Volume-Server verursacht. Im Bereich Volume-Server liegen demzufolge große Einsparpotenziale, um den Gesamtenergieverbrauch der IT zu senken. Dies wird noch dadurch begünstigt, dass Volume-Server heute zum großen Teil nur sehr gering ausgelastet sind. Durchschnittliche Auslastungen von nur 10 Prozent sind keine Seltenheit. Niedrige Auslastungen bedeuten aber schlechte Wirkungsgrade. Selbst im Leerlauf braucht ein Server in der Regel deutlich mehr als 70 Prozent seiner Maximalleistung.

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).

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

Effiziente Nutzung der Hardwareressourcen

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

Tabelle 2: Überblick für Ansatzpunkte zur Energieeinsparung bei Servern

In Abbildung 4 ist eine typische Aufteilung des Energieverbrauchs von einzelnen Serverkomponenten dargestellt. Hier ergeben sich Energieeinsparpotenziale: So verbrauchen z.B. kleine 2,5“-Festplatten weniger Energie als 3,5“-Festplatten, Festplatten mit geringeren Umdrehungszahlen verbrauchen weniger Energie als Festplatten mit hohen Umdrehungszahlen. Spielen die Zugriffsgeschwindigkeit und die Datenübertragungsraten der Festplatten bei der geplanten Anwendung keine kritische Rolle, so ist in der Systemleistung oft kein Unterschied festzustellen.

Durch die Auswahl geeigneter und auf den Anwendungsfall abgestimmter Komponenten kann aufgrund der Wechselwirkungen auch bei den anderen Komponenten eine geringere Energie-/Leistungsnachfrage stattfinden. Ein großes Speichermodul ist aus energetischen Gründen zwei kleinen Modulen mit gleicher Kapazität vorzuziehen. Am Markt verfügbar sind auch energiesparende CPUs, energie sparende Lüfter und Netzteile mit hohem Wirkungsgrad.

Aber 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

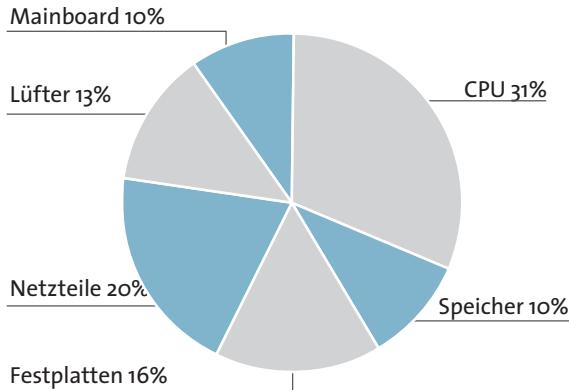


Abbildung 4: Typische Aufteilung des Energieverbrauchs eines Servers
(Quelle: Fujitsu Siemens Computers)

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 Energieaufwändungen, um durch einen geringeren Querschnitt die gleiche Luftmenge zu transportieren.

So können durch eine Optimierung der Hardware 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 häufig 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. Dies kann die Auslastung der Systeme erheblich erhöhen und damit viel Energie einsparen.

In Abbildung 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 Prozent. Hierbei handelt es sich eher um ein konservativ ausgewähltes Beispiel - je nach Anwendungsfall sind auch deutlich höhere Einsparungen möglich.

Serverkonsolidierung spart Energie

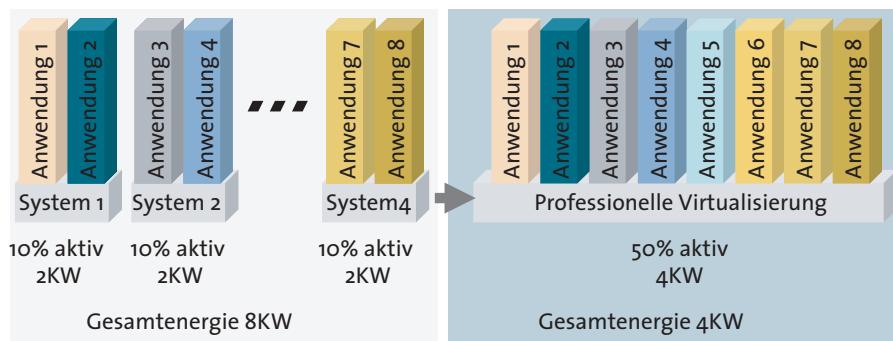


Abbildung 5: Energieeinsparung durch Konsolidierung und Virtualisierung.

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 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 ausgewogenen Energienachfrage.

■ 4.3 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 und damit auch der Anteil des Energiebedarfs von Speicherlösungen am Gesamtenergiebedarf der IT (vgl. Abbildung 2).

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 machen heute Multimedia-Dateien wie mp3 oder Videodateien den Großteil der Daten aus – 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.

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 Speicherdicthe und andere moderne Technologien wie De-Duplikation und das automatisierte Abschalten nicht benötigter Festplatten helfen den Energieverbrauch zu minimieren.

In Tabelle 3 sind die empfohlenen Schritte zur Reduktion des Energieverbrauchs bei der Datenspeicherung in ihrer Reihenfolge dargestellt.

1. Datenmanagement optimieren

- Löschen veralteter Daten
- Löschen unnötiger Daten

2. Infrastruktur optimieren

- Konsolidierung
- Nutzung von ILM
- Nutzung von Bändern

3. Geräte optimieren

- “State of the art” Technologie einsetzen

Tabelle 3: Empfohlene Schritte bei der Reduktion des Energieverbrauchs bei der Datenspeicherung

5 Optimierung der Kühlung

■ 5.1 Überblick

Bei Planung, Errichtung und Betrieb eines Rechenzentrums kommt dem Bereich der Kühlung eine besondere Bedeutung zu. Dies liegt zum einen daran, dass die Kühlung einen deutlichen Anteil an den Energiekosten darstellt. Dieser Anteil liegt – je nach örtlichen Gegebenheiten und Auslegung der Kühlung – üblicherweise bei mindestens 20 % der Gesamtenergiiekosten. Dies ist allerdings als untere Grenze zu verstehen. Es sind auch Installationen in Betrieb, bei denen der Anteil der Kühlung am Gesamtstromverbrauch bei über 60 % liegt. Zum anderen stellt die Projektierung der Kühlung 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.

■ 5.2 Luftstrom im Raum und im Rack

5.2.1 Warmgang-Kaltgang-Anordnung

In herkömmlichen Rechenzentren wird im Rack und im Raum Luft als Kühlmedium verwendet. Die dabei abzuführenden Wärmelasten steigen stetig an.

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

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.

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.

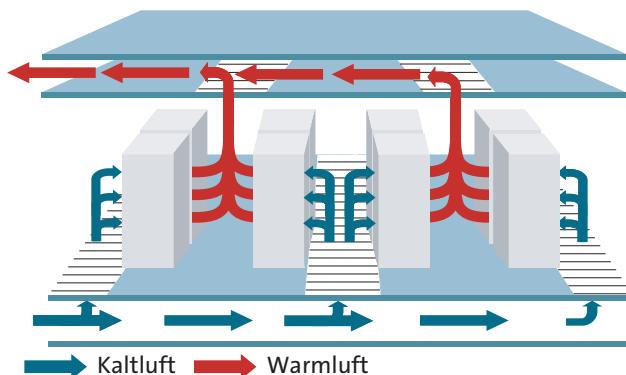


Abbildung 6: Warmgang/Kaltgang Konfiguration.

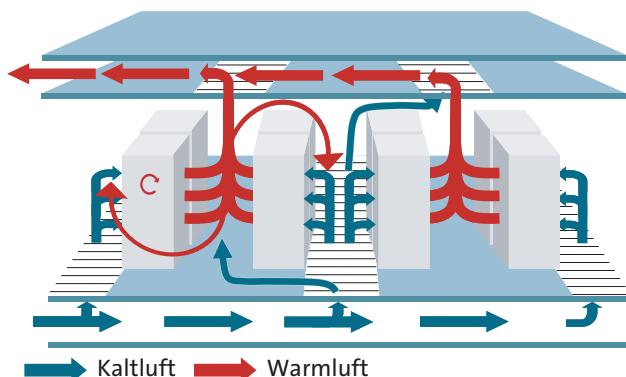


Abbildung 7: Beispiel für Luftverhältnisse in einem Rechenzentrum mit Warmgang-Kaltgang-Anordnung mit nachteiligen Bypässen und Rezirkulationen von Luft

Die Temperaturspreizung (Differenz zwischen Luftaustritt und Lufteintritt) ist durch die maximal erlaubten Luftaustrittstemperaturen der IT-Komponenten begrenzt. Um die wachsenden erforderlichen Kühlleistungen an die Verbraucher zu bringen, wird daher entweder die Luftvorlauftemperatur sehr weit abgesenkt oder eine immer größere Menge an Kühlluft von den Umluftkühlgeräten (ULK) zu den Servern gebracht. Die Strömungsgeschwindigkeiten der Luft im Raum werden sehr groß.

Kommt man auch mit dieser Anordnung an die Grenze der Kühlleistung, treten aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten unerwünschte Effekte wie Bypässe oder Rezirkulationen von Kühlluft auf (vgl. Abbildung 7). Die Vermeidung dieser Erscheinungen bringt erhebliche Einsparungen in den Betriebskosten.

Der Flaschenhals für die Versorgung der Racks mit konditionierter Luft liegt in erster Linie im Doppelboden. Hier muss trotz Strömungshindernissen wie der Verkabelung oder der Verrohrung für flüssige Kühlmedien die Kühlluft für den gesamten Raum transportiert werden. 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 Warmgang/Kaltgang-Aufteilung 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.

Die perforierten Doppelbodenplatten werden nur in den Kaltgängen angeordnet, die Umluftklimageräte werden an den Enden der Warmgänge aufgestellt – NICHT parallel zu den Rackreihen. Das parallele Aufstellen der Umluftklimageräte zu den Rackreihen bewirkt andernfalls ein Vermischen der Warmluft mit der Kaltluft und führt zu einer ungenügenden Kühlung der Ausstattung im oberen Rackbereich. 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.

5.2.2 Einhausung von Kalt- oder Warmgang

Die Vorteile der Warmgang/Kaltgang-Ausführung werden durch das Einhausen des Kalt- oder des Warmgangs weiter gesteigert. Dadurch werden Luftkurzschlüsse oder die Durchmischung von Zu- und Abluft vermieden. Das Luftmanagement muss immer der Serverbestückung angepasst werden.

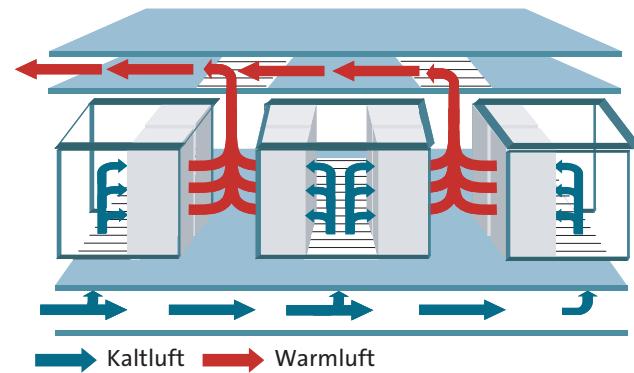


Abbildung 8: Einhausung des Kaltgangs

Es ist zu beachten, dass eine vollständige Einhausung vorgenommen wird. Im Falle einer Kaltgangeinhäusung 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).

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 (vgl. Abbildung 9) erfolgen, da die Durchmischung der warmen Abluft mit der kalten Zuluft effizient verhindert wird.

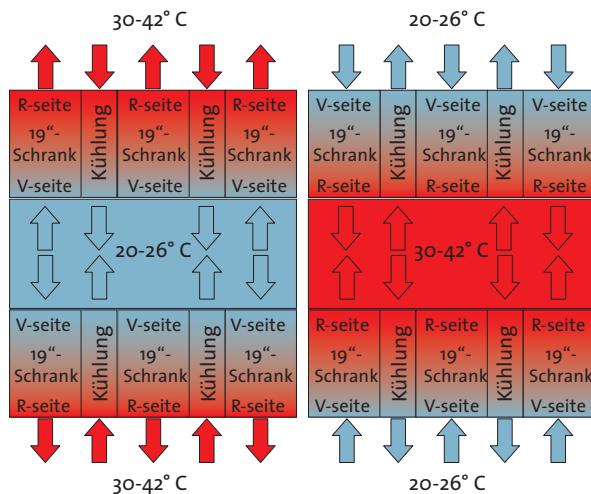


Abbildung 9: Positionierung der Kühlgeräte parallel zu den Racks bei Kalt- oder Warmgangeinhäusung

Sollten weitere Strecken oder eine größere Anzahl von Rackreihen mit parallel aufgestellten Umluftkühlgeräten klimatisiert werden, bietet sich bei einer Kaltgangeinhäusung die gezielte Absaugung der Warmluft aus einer Zwischendecke oder einem Kanalsystem an. Weiterhin bringt eine Warmgangeinhäusung eine Effizienzsteigerung. Das

einsetzende Luftführungssystem ist aber prinzipiell an die jeweilige Raumsituation anzupassen.

5.2.3 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 der unabdingbaren Kühlung zu versorgen. Dafür sind einige physikalische Gesetzmäßigkeiten zu beachten, ohne die auch der beste Doppelboden keine guten Ergebnisse erzielen kann.

Üblicherweise wird ein doppelter Boden oberhalb des eigentlichen Flächenbodens (Estrich, Beton, Industrieboden etc.) in einer Ständerbauweise eingezogen. Ziel dabei ist es, Raum für die Einbringung von Kaltluft, für Leitungen und für Kabeltrassen zu schaffen.

Um den optimalen Einsatz eines Doppelbodens zu gewährleisten, sind folgende Hindernisse zu vermeiden:

- zu geringe Doppelbodenhöhe
- falsche Dimensionierung der Lüftungsplatten (Schlitzplatten) und der Luftaustrittsöffnungen in den Platten
- Undichtigkeiten: An den Schnittstellen zu anderen Platten und den angrenzenden Wandelementen gibt es Fugen, die mit geeigneten Materialien permanent zu verschließen sind. Der Druck im Doppelboden muss mindestens 25Pa betragen, damit an den Schlitzplatten eine möglichst gleichmäßige Luftverteilung realisiert wird.
- Querschnittsverengungen innerhalb des Doppelbodens
- die Verlegung von Kabeltrassen quer zum Luftstrom

Eines der am häufigsten auftretenden Probleme bei der Klimatisierung ergibt sich aus der reduzierten Kühlwirkung durch den Missbrauch von Doppelböden als Stauraum. Im Doppelboden finden sich nicht selten beträchtliche Mengen an Kabeln und Röhren, die die Luftzirkulation behindern und die die zur Serverklimatisierung

erforderlichen Luftdruck-Verhältnisse nachhaltig beeinträchtigen. 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.

Der im Doppelboden verfügbare Querschnitt sollte möglichst vollständig dem Luftvolumenstrom zur Verfügung gestellt werden. Unnötige Hindernisse im Doppelboden müssen 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.

Es empfiehlt sich, schon in der Planungsphase die Höhe des Doppelbodens so zu wählen, dass auch bei später notwendigen Änderungen, z.B. der IT oder der Verkabelung, kein Engpass entsteht.

5.2.4 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.

Arbeiten heterogene Server-Systeme in ein und demselben Rack – was eher die Regel als die Ausnahme darstellt – müssen die IT-Verantwortlichen einen tiefenvariablen Ausbau durchführen. Eine homogene Anordnung aus Sicht der Energieeffizienz ist anzustreben.

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)).

Ein intelligentes Kabelmanagement sowie der Einsatz neuester Produkte im Rack sind für eine optimale und energieeffiziente Kühlung notwendig. Die Verkabelung darf den Luftstrom nicht behindern.

Bei geschlossenen Schrankkühlösungen und Schränken mit sehr hoher Wärmelast können allerdings 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.

■ 5.3 Leistungsregelung

5.3.1 Leistungsregelung als Ansatz zur Erhöhung der Energieeffizienz

Eine Leistungsregelung ist für den energieeffizienten und energieoptimierten Betrieb eines Rechenzentrums unabdingbar.

Für den Wärmetransport vom Chip aus dem Gebäude mittels gasförmiger und flüssiger Medien sorgen verschiedene klimatechnische Anlagen und Systeme wie Umluftkühlgeräte, Kaltwassersätze, Chiller, Rückkühler und Kondensatoren. Diese müssen einzeln betrachtet und aufeinander optimal abgestimmt werden.

5.3.2 Leistungsregelung im Luftkreislauf

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 drehzahlgeregelten 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 Nenndrehzahl umgeschaltet werden.

Die Komponenten und Systeme müssen möglichst energieeffizient betrieben werden, was in erster Linie dadurch erreicht wird, dass die auf eine Maximallast dimensionierten klimatechnischen Anlagen und Systeme in der Leistung geregelt werden und sich damit auf die jeweils anstehende Wärmelast automatisch einstellen lassen. Eine auf Energieeffizienz optimierte Leistungsregelung muss sowohl den Luft- als auch den Wasser-/Kältemittelkreislauf umfassen.

Eine Leistungsregelung optimiert die Klimatechnik dabei zunächst auf statische Betriebsbedingungen. Die anfallenden Wärmelasten im Rechenzentrum variieren aber 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 komplett 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 heruntergeregt werden. Es ist darauf zu achten, dass die minimale Luftmenge der Klimageräte den erforderlichen Vordruck im Doppelboden von mindestens 25Pa sicherstellt.

Eine entsprechende Aufstellung und Anordnung der IT-Komponenten im Rechenzentrum ist daher für einen energieeffizienten Einsatz der Kühltechnik von großer Bedeutung.

Durch die gezielte Leistungserfassung der Racks mittels Zu- und Ablufttemperaturfühler besteht die Möglichkeit, direkt auf die Leistungsaufnahme und den Luftvolumenstrom der Klimaschränke Einfluss zu nehmen. Es ergeben sich dabei Einsparpotenziale von 30 Prozent bis 60 Prozent der aufgewendeten Klimatisierungsenergie.

Als Führungsgrößen für die Leistungsregelung können gemessene Temperaturen oder auch die aufgenommene elektrische Energie verwendet werden, da die gesamte elektrische Energie mit einer geringen zeitlichen Verzögerung in Wärme umgewandelt wird. Dies gilt allerdings nur mit der Einschränkung, dass keine wesentlichen sonstigen Energieeinträge in das Rechenzentrum, wie beispielsweise über Sonneneinstrahlung, erfolgen. Innen liegende Räume sind daher auch aus Gründen der Energieeffizienz bevorzugt als Rechenzentrumsfläche zu wählen.

Ein weltweit gebräuchlicher Standard für die Luftsaugtemperatur von elektronischen Geräten in Rechenzentren wird durch das ASHRAE Technical Committee 9.9 gesetzt.⁷ Demnach liegt die empfohlene Ansaugtemperatur für elektronische Komponenten im Rechenzentrum zwischen 20° und 25°C, ein erweiterter erlaubter Bereich reicht von 15° bis 32°C. Diese aus dem Jahr 2004 stammenden Empfehlungen werden zurzeit überarbeitet. Es ist davon auszugehen, dass sich das von ASHRAE empfohlene Temperaturniveau erhöhen wird. Luftausblasttemperaturen und zulässige Feuchtigkeitsbereiche sind durch die Hersteller von Servern, Massenspeichergeräten, Switchern und anderer Geräte vorgegeben. Aus Gründen der Energieeffizienz sollte ein möglichst hohes Temperaturniveau

erreicht werden, da dieses sehr deutlichen Einfluss auf den Energiebedarf der Kühlung hat (vgl. Abschnitt 5.8).

Herkömmliche Server erlauben unter Einhaltung der ASHRAE - Empfehlungen eine Spreizung von etwa 15K, Blade Server etwa 28K (zwischen Ansaug- und Ausblasseite). Durch eine volle Ausnutzung dieser Spreizung minimiert man die für die Kühlung erforderliche Luftmenge und die für deren Umwälzung im Raum erforderliche Energie. Diese Faktoren sollten bei der Projektierung eines Rechenzentrums im Vorfeld geprüft werden und in die Planung einfließen.

5.3.3 Leistungsregelung im Wasser-/ Kältemittelkreislauf

Im Wasser-/Kältemittelkreislauf wird die Wärmelast gesammelt aus dem Gebäude geführt und in der Regel an die Umgebung abgegeben.

Maßgebend für die Energieeffizienz einer Kühlanlage sind die Temperaturniveaus sowohl im Kühleinlauf als auch in der die Wärmelast aufnehmenden Umgebung und die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklaufleitung. Das höhere Niveau ist durch die Umgebungstemperatur vorgegeben, das untere Niveau durch die Übergabेमperatur aus dem Luftkreis.

Die Umgebungstemperatur ist abhängig von der geografischen Lage des Rechenzentrums sowie von Tages- oder Jahreszeiten. Nicht zu vernachlässigen ist dabei der Aufstellort der Rückkübler. Eine direkte Sonneneinstrahlung ist unbedingt zu vermeiden, da hierdurch die Leistung und der Wirkungsgrad der Kälteanlage verringert werden.

Damit ergeben sich verschiedene Ansätze für eine energieoptimierte Regelung dieses Kreises.

Erstens kann durch eine Regelung die Abwärme an die Umgebung gesteuert abgegeben werden, wenn die Umgebungstemperatur relativ niedrig ist. Die Wärme müsste dann entsprechend zwischengespeichert werden. Da in Rechenzentren große Wärmemengen anfallen,

welche nicht beliebig lang gespeichert werden können, kommt hier vorrangig die Nutzung der Tagesschwankungen in Frage. Ein entsprechender Zwischen speicher müsste so groß dimensioniert werden, dass er tagsüber die Abwärme eines Tages speichern und diese nachts wieder abgeben könnte.

Zweitens kann man die in den Komponenten entstehende Wärme auf möglichst hohem Temperaturniveau abgreifen. Je höher das abgegriffene Temperaturniveau an der ITK Ausstattung ist, desto effizienter lässt sich die Kühlung und Klimatisierung insbesondere die Freie Kühlung betreiben. Die optimale Lösung wäre hier eine „Chip-Kühlung“, bei der die Wärme im flüssigen Wärmeträger etwa auf dem Niveau der Bauteilbetriebstemperatur abgenommen werden kann. In Spezialanwendungen wird diese Chip-Kühlung bereits verwendet, zu einer breiten Markteinführung ist es aber bislang noch nicht gekommen. Dazu müssten die Server konstruktiv stark verändert werden. Zudem wären diese Lösungen spezifisch vom jeweiligen CPU- und Servermodell abhängig und damit nicht standardisierbar.

Drittens kann über eine Leistungsregelung, ähnlich wie im Luftkreis, auch im Fluidkreis der Massenfluss so geregelt werden, dass die optimierte Temperaturspreizung ausgenutzt wird.

5.3.4 Dynamische Leistungsregelung und Wartung der Anlagen

Neben dem Einsatz optimierter Komponenten und Systeme erlaubt eine dynamische Regelung dieser Systeme eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz.

Während die Betriebsbedingungen am Auslegungspunkt der Systeme (max. Wärmelast) relativ fest sind, können bei verminderter Wärmelast über eine Leistungsregelung verschiedene Parameter verändert werden.

Die klimatechnischen Systeme können über die Leistungsregelung so weit heruntergeregt bzw. abgeschaltet, wie es die jeweils aktuelle Gesamtwärmelast

erlaubt. Dabei sind insbesondere folgende Ansätze möglich:

- Im Luftkreis kann die Luftmenge durch den Einsatz von drehzahlgeregelten Lüftern minimiert werden. (ACHTUNG: Mindestdruck von 25Pa im Doppelboden 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 Antriebsleistungen der Kältemaschinen in den Chillern sinkt, da deren Wirkungsgrad mit sinkender Differenz zwischen Abgabeterminatur und Vorlauftemperatur steigt.
- Die Zeiten, in denen auf aktive Kälteerzeugung verzichtet und mit Freier Kühlung gefahren werden kann, verlängern sich bedeutend.

Ein weiterer 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.

■ 5.4 Freie Kühlung

5.4.1 Freie Kühlung als Ansatz zur Erhöhung der Energieeffizienz

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 Klimaanlagen werden seit mehr als 30 Jahren mit Freier Kühlung 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.

5.4.2 Direkte Freie Kühlung

Die Klimageräte sind 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.

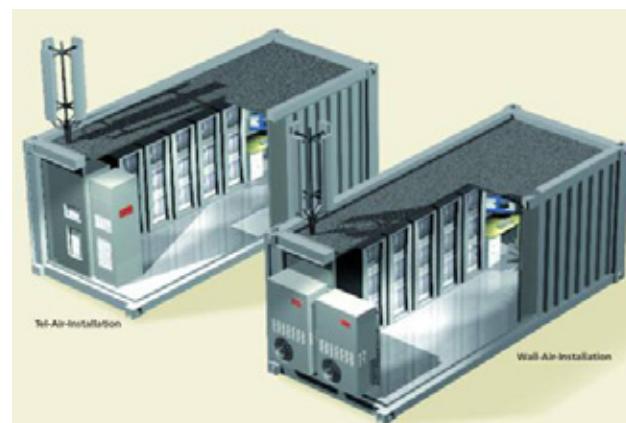


Abbildung 10: Klimageräte mit direkter Freier Kühlung

Die Außenbedingungen und die geforderten Raumbedingungen geben die Betriebsweise des Klimagerätes vor. Hierbei ist zwischen dem Freikühlungsbetrieb, dem Mischbetrieb (Freikühlungsbetrieb mit zusätzlicher Kälteerzeugung durch den Kältekreislauf) und dem Umluftbetrieb (Kälteerzeugung nur durch den Kältekreislauf) zu unterscheiden.

Bei der direkten Freien Kühlung wird kalte Außenluft dem Raum zugeführt. Die Wärmelast des IT-Equipments wird an den Luftstrom übergeben und verlässt den Raum mit dem Luftstrom wieder. Die Luftwalze wird über einen Außenluftfilter und einen Ventilator geführt bzw. umgewälzt.

Diese Betriebsweise ermöglicht erhebliche Energieeinsparungspotenziale aufgrund des Jahrestemperaturverlaufs insbesondere in kalten und gemäßigten Klimazonen. Steigt die Außentemperatur an, steuert das Klimagerät in den Mischbetrieb und dem Luftstrom wird zusätzlich Wärme über den Kältekreislauf entzogen.

Im Mischbetrieb ist der Kältekreislauf bei niedrigen Außentemperaturen zunächst nur kurzzeitig in Betrieb. Steigt die Außentemperatur weiter, 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.

Die direkte Freie Kühlung findet insbesondere Anwendung 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 Rechenzentrumsklimatisierung die Raumluftfeuchte innerhalb einer engen Toleranz geregelt werden muss, scheidet die direkte Freie Kühlung für diese Anwendungen im Normalfall 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.

5.4.3 Indirekte Freie Kühlung

Im Unterschied zu der direkten Freien Kühlung wird bei der indirekten Freien Kühlung die Außenluft zur Entwärmung der ITK-Ausstattung nicht direkt genutzt. Für alle nachfolgend beschriebenen, indirekten Freikühlungssysteme gilt, dass ein Wasser/Glykolgemisch im Freikühlungsbetrieb an der Außenluft, ohne den Betrieb eines Kältekreislaufes, abgekühlt wird und im Raum zur Abkühlung des Umluftstroms genutzt werden kann. Das zwischengeschaltete Wasser/Glykolgemisch übernimmt die Funktion des Kälteträgers und zirkuliert mittels Pumpen in einem Rohrleitungssystem.

Die indirekte Freie Kühlung bietet erhebliche Energieeinsparungspotenziale bei der Rechenzentrumsklimatisierung. 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 Einsparpotenziale, die durch indirekte Freie Kühlung erreicht werden können, sind insbesondere im kalten und gemäßigten Klima sehr groß. Aufgrund von niedrigen Außentemperaturen kann die Laufzeit der Kältemaschine reduziert werden, dadurch verringert sich der Energiebedarf für die Klimatisierung erheblich. Steigt die Außentemperatur, wird der Kältekreislauf immer häufiger betrieben. Abhängig von der Systemauslegung schaltet das System die Freikühlfunktion bei hoher Außentemperatur ab, um die Kälteerzeugung vollständig über den Kältekreislauf zu erzeugen. Diese Betriebsart ist nur bei hohen Außentemperaturen notwendig und benötigt dann den größten Energieeinsatz.

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

5.4.4 Weitere Möglichkeiten zur Energieeinsparung: Systemauslegung der Freien Kühlung

Die Systemauslegung 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.

Hierzu muss sowohl die Raumtemperatur als auch die Raumluftfeuchte beachtet werden, damit das Gesamtsystem die Freie Kühlung optimal ausnutzen kann.

Raumtemperatur

In der Anlagenkonzeption hat 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.

Raumfeuchte

Die Raumfeuchte hat ebenso wie die Raumtemperatur einen Einfluss auf die Energieeffizienz. Eine niedrige relative Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit einer höheren Raumtemperatur führt zu einer effizienteren Betriebsweise der Klimageräte. Diese Betriebsweise ermöglicht es

den Klimageräten, die Kälteleistung sensibel zu erbringen, d.h. eine Entfeuchtung findet nicht statt.

Eine zu hohe relative Feuchte im Raum und eine niedrigere Raumtemperatur werden zwangsläufig dazu führen, dass die Klimageräte einen latenten Kälteleistungsanteil erbringen und somit zwangsläufig den Luftvolumenstrom entfeuchten. Die reduzierte Feuchte muss dem Raum wieder mit hohem Energieeinsatz mit Hilfe einer Befeuchtungseinrichtung zugeführt werden, um das Feuchteniveau nicht unzulässig abzusenken.

Skalierbare Kälteleistungen

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.

5.5 Kaltwassertemperatur

Der Energietransport in großen Rechenzentren findet zu ca. 90 Prozent 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. Es hat sich gezeigt, dass bei einer mittleren Raumlufttemperatur von 26°C gegenüber 22°C der Stromverbrauch der Klimatisierung um ca. 15 Prozent reduziert werden kann. Durch die höhere Raumlufttemperatur lassen sich höhere Kaltwasservorlauftemperaturen fahren, diese erlauben den Freikühlbetrieb wesentlich länger zu betreiben und bewirken einen wesentlich höheren Wirkungsgrad (EER).

■ 5.6 Darstellung unterschiedlicher Kühlgerätearten

Damit alle vorgenannten Kühlstrategien realisiert werden können, ist hierzu die geeignete Hardware auszuwählen. Es gibt eine breite Palette von Herstellern auf dem Markt, die Kühlgeräte in unterschiedlicher Form anbieten. Um hier die unter energetischen Gesichtspunkten geeignete Auswahl richtig treffen zu können, werden im Folgenden unterschiedlichste Systeme beleuchtet.

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 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 (= Ventilatorkonvektoren), 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. Dieser Art von Geräten sind aber einige Nachteile zu Eigen, die einer Verwendung in Rechnerräumen entgegen stehen: 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 Rechnerräumen entwickelt und unterteilen sich nach der Luftführung in downflow (= Luftsaug oben, Ausblas nach unten) und upflow (= Ansaug unten vorne oder hinten, Ausblas 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 Prozent 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 Dampfbefeuerter 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 Kühlung aller Rechner im Rack sicher. Andererseits werden eben nur die Rechner gekühlt, nicht aber sonstige Lasten durch Transmission, Beleuchtung und andere.

4. Neben den bisher behandelten Standardgeräten zur Kühlung gibt es auch noch herstellerspezifische 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.

■ 5.7 Darstellung unterschiedlicher Kühlmedien

Die Kühlsysteme für die IT-Umgebung lassen sich nicht nur nach der Geräteart unterscheiden, sondern auch nach dem verwendeten Kühlmedium. 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

Wasser als Kühlmedium bietet sich vor allem durch die leichte Beherrschbarkeit und die einfache Verfügbarkeit bei gleichzeitig sehr geringen Kosten an. Es kommt hinzu, dass mit Wasser bei niedrigen Außentemperaturen ein Kühlbetrieb mit reduziertem Energieeinsatz einfach und günstig unter Nutzung der freien Kühlung machbar ist.

Die 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 zurückgeregelte 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 Leitungsritten mit gezielter Entwässerung.

Kältemittel als Kühlmedium

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 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, die alle zu den halogenierten Kohlenwasserstoffen zählen, sind folgende:

- Augenblicklich ist in vielen Anlagen noch das Kältemittel R22 im Einsatz. Bis 31.12.2009 darf dieses Mittel noch für Service und Wartung verkauft werden und

bis 31.12.2014 darf dann noch mit Recycle-Ware der Service weiter durchgeführt werden. Doch ist damit zu rechnen, dass die letzten Anlagen mit R22 im Jahr 2010 stillgelegt oder zumindest auf ein anderes Kältemittel ohne Ozonabbaupotenzial umgestellt werden müssen.

- R407C als Nachfolger von R22 ist am Weitesten verbreitet. Es handelt sich dabei um ein Gemisch aus drei Einzelstoffen: 23 Prozent R32 (Difluormethan CH₂F₂), 25 Prozent R125 (Pentafluorethan CHF₂CF₃), 52 Prozent R134A (1,1,1,2 Tetrafluorethan CH₂FCF₃). R22 kann gegen R407C mit relativ geringem Aufwand ausgetauscht werden. R407C hat kein Ozonabbaupotenzial, aber ein hohes Treibhauspotenzial.
- Aufgrund von Nachteilen im Betrieb von R407C hat die chemische Industrie als Ersatz R410A entwickelt. Dies ist ebenfalls ein Gemisch und besteht aus 50 Prozent R32 (Difluormethan CH₂F₂) und 50 Prozent R125 (Pentafluorethan CHF₂CF₃). Ein Austausch gegen R22 in bestehenden Anlagen ist aber nicht möglich, da die Drücke im Kältekreis bei R410A wesentlich höher sind. Das Treibhauspotenzial ist etwas geringer als das von R407C.
- R134A ist als Reinstoff ein bekanntes und häufig verwendetes Kältemittel. Da aber die volumetrische Kälteleistung je nach Einsatzbedingungen nur ca. 50 bis 70 Prozent von R22 beträgt, haben Anlagen bei gleicher Größe eine entsprechend geringere Leistung. Die Umweltbelastungen bzgl. Treibhauseffekt sind bei ausschließlicher Betrachtung der Kältemittelemissionen etwas geringer als bei R407C oder R410A.

Kohlendioxid als Kühlmedium

An dieser Stelle soll kurz gesondert auf das Medium Kohlendioxid (R744) eingegangen werden. Auch wenn dies im ersten Anschein etwas seltsam erscheint, stellt Kohlendioxid als Kühlmedium eine energieeffiziente Alternative dar.

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.

■ 5.8 Rücklufttemperatur

Ein wesentlicher Faktor beim Energieverbrauch ist bei luftgekühlten Räumen die Rücklufttemperatur.¹¹ Dabei gilt prinzipiell: Je höher die Rücklufttemperatur ist, desto energieeffizienter arbeitet die Anlage.¹² Allerdings ist hierbei auf die im Rechenzentrum befindliche IT-Ausstattung zu achten, damit keine Schäden oder verkürzte Lebensdauer auftreten.

Mit der Erhöhung der Rücklufttemperatur ist auch gleichzeitig eine Erhöhung der Zuluft- bzw. Raumlufttemperatur verbunden.

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.¹³

Für eine Erhöhung der Zulufttemperatur ist es notwendig, dass die Luftführung im Rechenzentrum optimal ausgelegt und ausgeführt wird. Das Kalt-/Warmgang-Prinzip muss zum Beispiel komplett eingehalten werden, damit es zu keinen Luftverwirbelungen kommt, durch die die kalte Luft zum einen nicht an die notwendigen Stellen gelangt und zum anderen die Rücklufttemperatur absenkt.

Ansonsten kann es zur Warmluftrückströmung in den kalten Gang kommen, die zu lokaler Überhitzung und zu sogenannten Hot Spots führt. Typische Gegenmaßnahmen wie die Senkung der Zulufttemperatur und/oder die Erhöhung des Luftvolumenstroms sind dann die Regel, was aber nicht energieeffizient ist.

6 Optimierung der Stromversorgung

■ 6.1 Überblick

Hinsichtlich der Optimierung der Stromversorgung stellt insbesondere die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) einen wesentlichen Ansatzpunkt zur Reduktion des Energieverbrauchs von Rechenzentren dar. Die USV ist ein wesentlicher Bestandteil der Stromversorgungsinfrastruktur von Rechenzentren. Aufgrund des Charakters einer Absicherung wird im Normalbetrieb durch eine USV keine „produktive“ Umwandlung der elektrischen Energie erfolgen. Für USV-Systeme spielt neben dem Begriff „Effizienz“ besonders die gebotene Sicherheit beim Energiemanagement eine große Rolle. Die Abschnitte 6.2 bis 6.7 stellen den Einfluss der USV auf den Energieverbrauch von Rechenzentren dar, beleuchten verschiedene Konzepte und gehen insbesondere auf den Zielkonflikt zwischen Sicherheit und Energieeffizienz ein.

In Abschnitt 6.8 wird auf einen weiteren Ansatzpunkt zur Optimierung der Stromversorgung eingegangen: Der Einsatz von intelligenten Steckdosenleisten. Diese sind über IP-Netzwerke fernsteuerbar und ermöglichen eine integrierte Leistungsmessung.

■ 6.2 Der Einfluss von USV-Systemen auf den Energieverbrauch von Rechenzentren

6.2.1 Energieeffizientes Energiemanagement mit USV-Systemen

Betrachtet man die USV als eine Art „Versicherung“, so ist die eingesetzte elektrische Energie beim USV-Betrieb vergleichbar mit den Prämienzahlungen für verschiedene Versicherungsleistungen – wie etwa Haftpflicht, Teilkasko und Vollkasko bei der Kfz-Versicherung. Der Versicherungsnehmer möchte die Leistung am liebsten gar nicht in Anspruch nehmen. Aber er möchte auch keine Folgen fürchten müssen, falls der Eventualfall doch eintritt.

Im Folgenden soll daher die Wechselwirkung von Effizienz und Sicherheit aufgezeigt und diskutiert werden. Gerade beim Thema USV greift ein Energiemanagement, das sich nur am Stromsparen orientiert, eindeutig zu kurz.

	USV Typ 1	USV Typ 2	USV Typ 3	USV Typ 4	USV Typ 5
Wirkleistung der Verbraucher in Kilowatt (kW)	100	100	100	100	100
Wirkungsgrad der USV in %	96,0%	94,0%	92,0%	90,0%	88,0%
Eingangsleistung der USV in kW	104,2	106,4	108,7	111,1	113,6
Verlustleistung der USV in kW	4,2	6,4	8,7	11,1	13,6
Kilowattstunde (kWh) pro Jahr	36.500	55.915	76.174	97.333	119.455
Stromkosten in EUR pro kWh	0,10 €	0,10 €	0,10 €	0,10 €	0,10 €
Mehrkosten durch Verlustleistung pro Jahr (ohne Kühlung)	3.650,00 €	5.591,49 €	7.617,39 €	9.733,33 €	11.945,45 €
CoP (Coefficient of Performance) für die Kühlung (=0,4)	1.460,00 €	2.236,60 €	3.046,96 €	3.893,33 €	4.778,18 €
kWh pro Jahr inkl. Kühlung	51.100	78.281	106.643	136.267	167.236
Mehrkosten durch Verlustleistung pro Jahr (inkl. Kühlung)	5.110,00 €	7.828,09 €	10.664,35 €	13.626,67 €	16.723,64 €
Mehrkosten über 10 Jahre Betriebsdauer	51.100,00 €	78.280,85 €	106.643,48 €	136.266,67 €	167.236,36 €
Mehrkosten durch Verlustleistung gegenüber Typ 1 über 10 Jahre		27.180,85 €	55.543,48 €	85.166,67 €	116.136,36 €

Durch die USV-Verlustleistung verursachter CO ₂ -Ausstoß pro Jahr	USV Typ 1	USV Typ 2	USV Typ 3	USV Typ 4	USV Typ 5
1 kWh Strom = 0,6 kg CO ₂ *	30.660 kg	46.969 kg	63.986 kg	81.760 kg	100.342 kg
Differenz gegenüber Typ 1 an CO ₂ pro Jahr		16.309 kg	33.326 kg	51.100 kg	69.682 kg
Entspricht einer Strecke mit einem PKW der Golf-Klasse pro Jahr von:		70.290 km	143.635 km	220.241 km	300.329 km

*Quelle: Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) - <http://www.iwr.de/re/eu/co2/co2.html>

Tabelle 4: Beispielhafte Berechnung von USV Verlustleistung und CO₂ Ausstoß

6.2.2 Auswirkungen des USV-Wirkungsgrades auf Energieeffizienz und CO₂ Ausstoß

Tabelle 4 macht deutlich wie wichtig der Wirkungsgrad der USV ist. Das Beispiel zeigt ein Rechenzentrum mit 100 kW Belastung und Stromkosten von € 0,10 pro kWh mit einem CoP Faktor von 0,4 (Coefficient of Performance = Faktor für die zusätzliche Kühlleistung, um die Verlustleistung zu kühlen). Anschließend wird der CO₂ Ausstoß für die unterschiedlichen Wirkungsgrade errechnet und gleichzeitig mit dem CO₂ Ausstoß von einem PKW verglichen.

6.2.3 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 5 beschrieben.

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 11 zeigt diese Aufteilung.

Art	Beispiel
Allgemeine Stromversorgung (AV)	Versorgung aller im Gebäude vorhandenen Anlagen und Verbraucher
Sicherheitsstromversorgung (SV)	Versorgung von Anlagen, die im Gefahrenfall schützen, z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ■ Sicherheitsbeleuchtung ■ Feuerwehraufzüge ■ Löschanlagen
Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	Versorgung empfindlicher Verbraucher, die bei AV-Ausfall/Störung unterbrechungsfrei weiterbetrieben werden müssen, z.B.: <ul style="list-style-type: none"> ■ Server/Rechner ■ Kommunikationstechnik ■ Leitsysteme ■ Notbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung

Tabelle 5: Art der Stromversorgungseinspeisung¹⁴

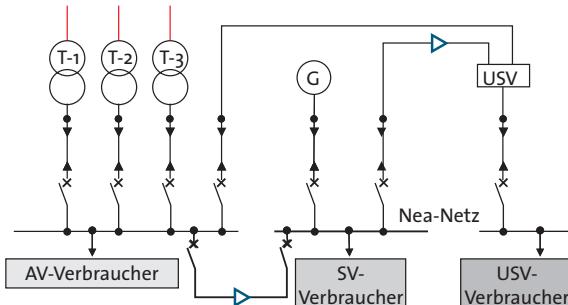


Abbildung 11: Netzstruktur nach Verbraucheranforderungen¹⁵

Ein interessantes Beispiel für die Bedeutung der Unterbrechungsfreien Stromversorgung 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 Stromversorgungsnetz unterbrechungsfrei auf den bereit stehenden sicheren USV-Pfad umgeschaltet.

■ 6.3 Sicherer und energieeffizienter Aufbau einer USV

Jedes Glied in der Stromversorgungskette zum Verbrauchersystem hin verursacht Kosten bei der Beschaffung und beim Betrieb, sei es durch Verluste oder für den Service und die Überwachung. Da im Folgenden von einer Unterbrechungsfreien Stromversorgung ohne Lücke (Unterbrechung = 0 ms) ausgegangen wird, wird die Versorgungsspannung durch die Leistungselektronik der USV zweimal gewandelt. Der Gleichrichter macht aus der Eingangswechselspannung eine Gleichspannung. Durch die kann sowohl die Batterie im DC-Zwischenkreis geladen als auch im Normalbetrieb der Wechselrichtereingang mit der nötigen Energie versorgt werden. Der Wechselrichter wandelt die DC-Spannung in eine saubere Wechselspannung am Ausgang, die ihrerseits völlig unabhängig von Störungen und Schwankungen der Eingangsspannung ist. Neben der Pufferung von Stromausfällen liefert diese sogenannte Doppelwandler-USV eine optimale „Power Quality“ und die permanente Überwachung einer solchen. In Abbildung 12 sind schematisch die Bauteile einer typischen Doppelwandler-USV mit den Verlusten im Normalbetrieb dargestellt.

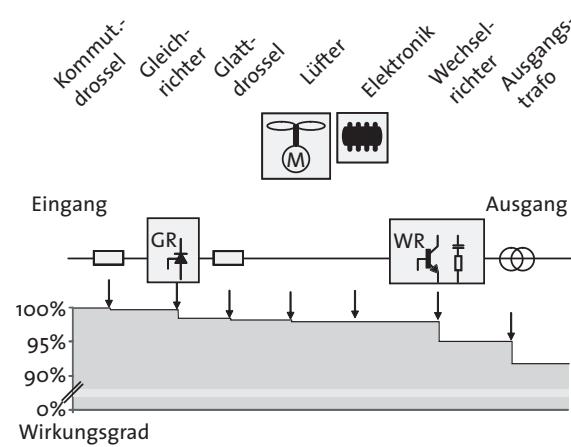


Abbildung 12: Schematische Darstellung eines USV-Aufbaus und Einfluss der Komponenten auf den Wirkungsgrad

Die Anforderungen an die einzelnen Bausteine einer Doppelwandler-USV hängen stark von den Einsatzbedingungen und Sicherheitsansprüchen bei der Nutzung ab. Für eine gute Verträglichkeit mit einem Generator sollte der Eingangs-Powerfaktor nahe 1 liegen. Dies lässt sich durch Powerfaktorkorrektur im USV-Eingang oder durch den Einsatz von sogenannten IGBT's (Insulated-Gate-Bipolar-Transistor) im USV-Gleichrichter erreichen. Mögliche Nachteile der Powerfaktorkorrektur beim Wirkungsgrad können durch geringere Netzrückwirkungen der IGBT-Schaltung ausgeglichen werden. Diese können die Eingangsumgebung beeinflussen.

Die Weiterentwicklung in der Leistungselektronik erlaubt es heute den IGBT-Wechselrichter ohne Ausgangstransformator zu betreiben. Die Qualität der Ausgangsspannungskurven wird dabei nicht verschlechtert. Einerseits werden die Verluste im Wechselrichtertransformator vermieden. Andererseits entfallen die galvanische Trennung der Batteriespannung von der angeschlossenen Last und die Nutzung des Trafos bei der Gestaltung der Netzform am

Ausgang. Die frühzeitige Einbindung von Fachleuten bei Planung und Beratung ist demzufolge ein verlässlicher Rat.

■ 6.4 Redundanz: Sicherheit und Effizienz

6.4.1 Der Zielkonflikt zwischen Redundanz und Energieeffizienz

Beim Energiemanagement muss neben den technischen Randbedingungen auch die geforderte Zuverlässigkeit der Einrichtungen berücksichtigt werden. Während in der schematischen Darstellung von Abbildung 12 keine Aussage über die Redundanz der Versorgungswege gemacht wird, beschäftigen sich immer mehr Organisationen mit der Einstufung der Strominfrastruktur nach Verfügbarkeitsklassen. Bekanntestes Beispiel dürfte die „Tier-Klassifizierung“ des amerikanischen Uptime-Institutes sein.

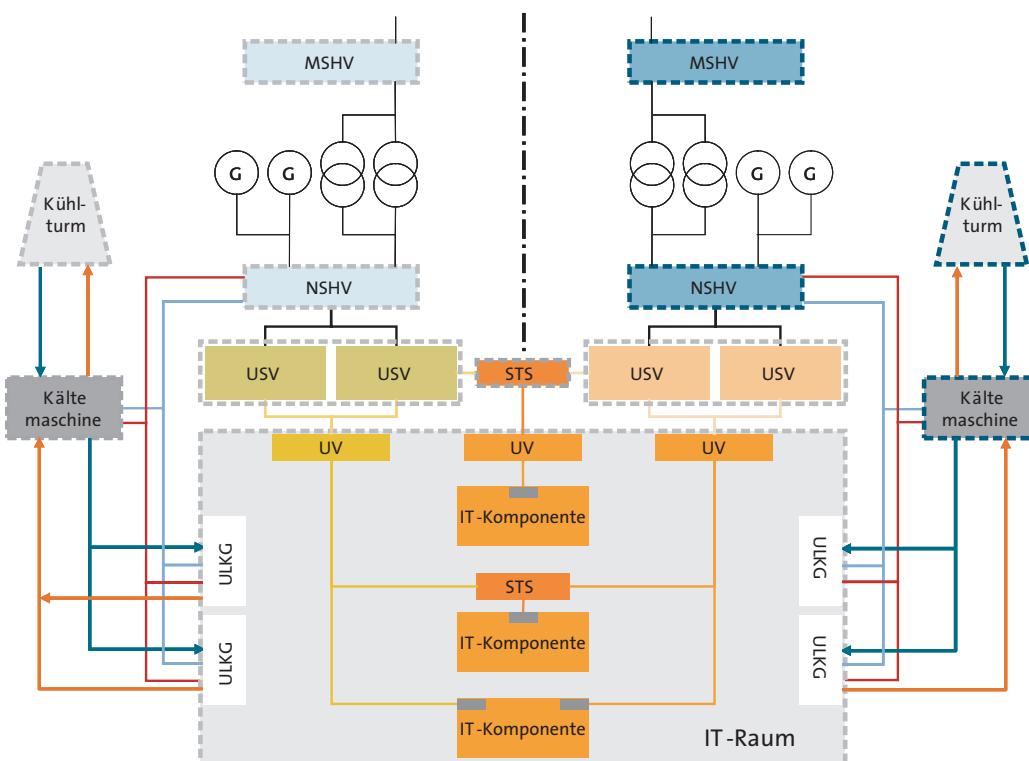


Abbildung 13: Infrastruktur entsprechend der Tier-IV-Klassifikation nach Uptime-Institute.¹⁸

Abbildung 13 zeigt eine Anordnung nach „Tier IV“, deren technische Umsetzung rechnerisch einer Verfügbarkeit von 99,99 Prozent entspricht.

Ähnliche Schemas bieten IEEE (Verfügbarkeitsklassen, z.B. 99,999 Prozent entspricht Klasse 5) und die Harvard-Research Group (AEC = Availability Environment Classification). Eine übersichtliche Darstellung aus dem Rechenzentrumsbereich, mit Ausführungsvorschlägen für die einzelnen Gewerke, bietet der Leitfaden „Betriebssicheres Rechenzentrum“ und die Planungsmatrix „Betriebssicheres Rechenzentrum“ des BITKOM.¹⁷

Auch bei Redundanzkonzepten gilt es abzuwegen zwischen Sicherheit und Effizienz in den Planungs-betrachtungen.

Die typische Wirkungsgradkurve von USV-Anlagen (Abbildung 14) zeigt geringe Wirkungsgrade bei geringer Auslastung und die besten Wirkungsgrade bei Volllast. Dies ist insbesondere darin begründet, dass Verluste bereits im Leerlaufbetrieb der Anlage entstehen, die über den gesamten Lastbereich konstant auftreten. Mit zunehmender Auslastung treten proportionale Verluste auf. Der Anstieg der Wirkungsgradkurve sollte möglichst steil erfolgen und dann lange flach verlaufen. Manche USV-Anlagen zeigen beste Wirkungsgrade zwischen 50 und 80 Prozent Auslastung.

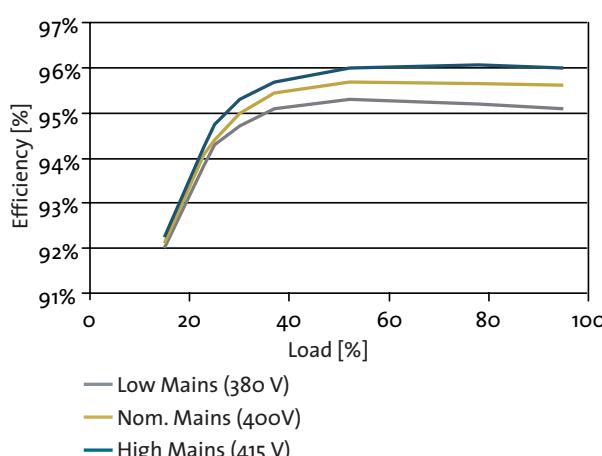


Abbildung 14: Typische Wirkungsgradkurve einer USV (Low mains: 380 V, Nom. mains: 400 V, High mains: 415 V)

Es gilt die Empfehlung, USV-Anlagen im Dauerbetrieb mit nicht mehr als ca. 80 Prozent Last zu betreiben, um Reserven für Lastsprünge und sofortige Erweiterungen bereitzustellen.

6.4.2 Vergleich der USV-Einsatzkonzepte

Einzelanlagen

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 unnötigen Verlusten führt (vgl. Wirkungsgradkurve der gewählten USV).

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 ausgelegt und wird noch dazu verschärft, weil jede Anlage nur bis max. 50 Prozent 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 Servicebypass-schalter 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. Leistungsmodulen können aus nachstehender Tabelle entnommen werden.

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 Prozent	100	50	66	75	80
Redundanzgrad	2N	2 (N+1)	2 (N+1)	2 (N+1)	2 (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 Prozent	50	25	33	37,5	40

Tabelle 6: Auslastung von USV-Anlagen in verschiedenen Redundanzkonzepten (zulässige Maximalwerte unter Einhaltung der Redundanzklasse)

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.

■ 6.5 Lastcharakteristik, Leistungsklasse und Halbleiter-Bauelemente

Der Einfluss der Last auf den Wirkungsgrad zeigt sich nicht nur am Leistungsbetrag, sondern auch an der geforderten Spannungsform. Geschaltete Netzteile in Servern, PCs oder Festplatten-Arrays können z.B. eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung verursachen, die durch den Lastleistungsfaktor gekennzeichnet wird. Oberschwingungen können zum nicht-linearen Charakter der Last beitragen. Der Einfluss nicht-linearer Lasten im Vergleich zu einer linearen (ohmschen) Last ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt.

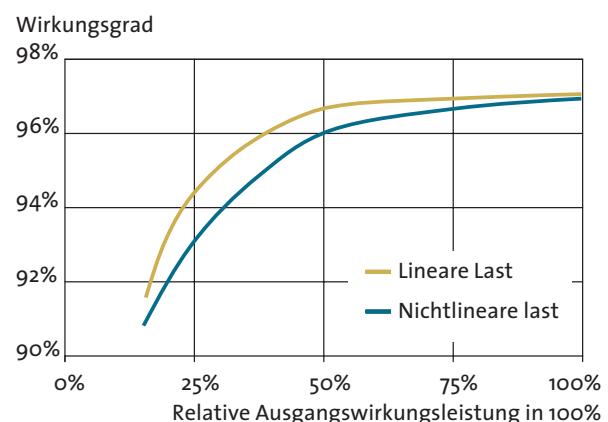


Abbildung 15: USV-Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Lastausnutzung bei linearer und nicht-linearer Last¹⁹

Auch für die USV gilt, dass bei gleicher Technologie und Klassifizierung die Verluste leistungsgrößerer Geräte einfacher zu reduzieren sind als die der kleinen Geräte. Eine Rolle spielen dabei die Abmessungen der Geräte. Je kompakter sie sein sollen, desto stärker muss in die

Wärmeführung eingegriffen werden. Ein schlechter Wirkungsgrad der Bauelemente erhöht die Abwärme, so dass zusätzlicher Aufwand für die Wärmeführung, eventuell durch mehr oder durch größere Lüfter, betrieben werden muss. Ein weiterer Vorteil größerer USV-Geräte ist, dass bei einem dreiphasigen Drehspannungsnetz 400 V verwendet werden können, gegenüber der einphasigen Wechselspannung von 230 V. Auch ist in der USV-Technik die Entwicklung bei Leistungshalbleitern und Steuerungstechnik in den letzten 40 Jahren nicht stehen geblieben. Kennzeichnend war hier neben der Materialentwicklung bei Metallen, Halbleitern und Kunststoffen der Übergang vom Thyristor zum Transistor und weiter zum IGBT-Transistor für die Leistungsbauelemente der Wechselrichter (Abbildung 16).

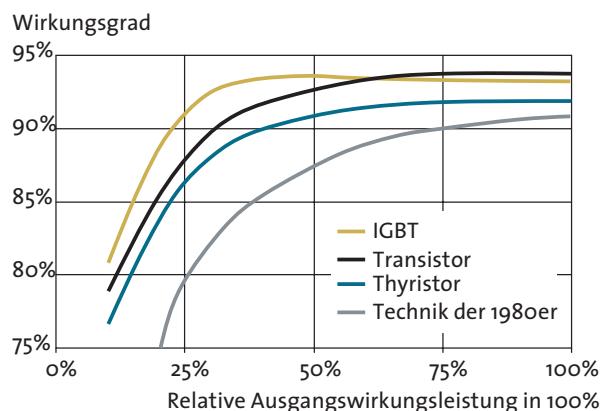


Abbildung 16: USV-Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Lastausnutzung bei unterschiedlichen Elektronikbauteilen¹⁹

Wirkungsgrad im Normalbetrieb mit nicht-linearer Last gemäß EN62040-3 bei:	USV-Ausgangsleistung ≥ 10 bis < 20 kVA			USV-Ausgangsleistung ≥ 20 bis < 40 kVA		
	Klass. /1/	Klass. /2/	Klass. /3/	Klass. /1/	Klass. /2/	Klass. /3/
25% der Nennleistungen	83,0%	88,0%	93,0%	84,0%	88,5%	93,5%
50% der Nennleistungen	89,0%	92,0%	95,0%	89,5%	92,5%	95,5%
75% der Nennleistungen	90,5%	92,5%	95,7%	91,0%	93,0%	96,3%
100% der Nennleistungen	91,0%	92,5%	96,0%	91,5%	93,0%	96,5%

Höhere Leistungsdichten fordern zwar besondere Kühlung, sie bieten aber wesentliche Vorteile bei der Baugröße und den leistungsbezogenen Verlusten. Die Erhöhung der Schaltfrequenz der Leistungshalbleiter, die Einführung der Echtzeit-Steuerung und schließlich die modernen Vektor-Regelungsverfahren haben sich positiv auf die Qualität der Lastspannung und auf die Reduzierung der Verluste ausgewirkt.

■ 6.6 Aktuelle Entwicklungen bei den Wirkungsgraden von USV

Hersteller von USV-Geräten erarbeiteten gemeinsam mit der EU eine Vereinbarung zur Harmonisierung von Wirkungsgradbetrachtungen und Funktionsanforderungen an die USV. Vorläufiges Ergebnis ist ein gemeinsamer Beschluss von Zielvorgaben für USV-Wirkungsgrade ab 2008²⁰.

Grundlage für die Kategorisierung der USV-Geräte und die Definition der Prüfbedingungen ist die europäische Norm EN 62040-3.

Tabelle 7 zeigt die vorgesehenen CoC-Vorschläge für die verschiedenen USV-Klassifizierungen bei den verschiedenen Last- und USV-Leistungseinteilungen.

	USV-Ausgangsleistung ≥ 40 bis < 200 kVA			USV-Ausgangsleistung ≥ 200 kVA		
	Klass. /1/	Klass. /2/	Klass. /3/	Klass. /1/	Klass. /2/	Klass. /3/
25% der Nennleistungen	86,5%	89,0%	94,0%	89,0%	91,5%	95,0%
50% der Nennleistungen	90,5%	93,0%	96,0%	92,0%	94,5%	97,0%
75% der Nennleistungen	92,0%	93,5%	96,7%	93,0%	94,5%	97,7%
100% der Nennleistungen	92,0%	93,5%	97,0%	93,0%	94,5%	98,0%

Anmerkungen:

Klass. /1/: USV-Typen „VFI-S-...“ nach EN62040-3

Klass. /2/: alle USV-Typen „VI“ und „VFI“ nach EN62040-3, außer „VFI-S-...“

Klass. /3/: alle USV-Typen „VFD“ nach EN62040-3

Tabelle 7: USV-Wirkungsgradvorgaben nach CoC für USV²¹

Ebenfalls zu berücksichtigen sind die Festlegungen zu wirkungsgradmindernden Komponenten, deren Einfluss nicht zwangsläufig bei der USV-Kategorie deutlich wird. Hier spielen die Spannungsqualität und der

Sicherheitsaspekt beim USV-Einsatz eine wesentliche Rolle. Derzeit werden Zusatztransformatoren für USV-Geräte und Filter aufgeführt, die harmonische Verzerrungen mindern sollen.

Normalbetrieb: Last nach EN62040-3	Zusätzliche Einrichtungen zur Reduktion der harmonischen Ströme am Eingang besser als IEC 61000-2-2, 61000-3-2 und 61000-3-12 <i>Die gemessene Verluste dafür können von den Systemverlusten abgezogen werden und dürfen pro Einrichtung nicht die angegebenen Werte übersteigen.</i>			
25%		0,6%		
50%		1,0%		
75%		1,6%		
100%		2,5%		
Normalbetrieb: Last nach EN62040-3	Zusätzliche Trenntrafo im Ein- oder Ausgang des Strompfads im Normalbetrieb <i>Maximale Verluste je Transformator (in kVA)</i>			
	≥ 10 bis < 40	≥ 40 bis < 200	≥ 200 bis < 500	≥ 500
25% der nom. Trafoleistung	1,5%	1,0%	0,7%	0,5%
50% der nom. Trafoleistung	1,9%	1,5%	1,1%	0,7%
75% der nom. Trafoleistung	2,6%	2,0%	1,7%	1,3%
100% der nom. Trafoleistung	3,6%	3,2%	2,7%	2,0%

Tabelle 8: Einfluss von USV-Zusatzkomponenten auf den Wirkungsgrad nach CoC für USV²²

■ 6.7 Abwägungen zwischen Energieeffizienz, Sicherheit und Qualität

Wie die Ausführungen in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt haben, haben USV-Geräte sehr unterschiedlichen Anforderungen zu genügen. Abschließend zu dieser Thematik sollen einige Überlegungen zu Anforderungen an die unterschiedlichen USV-Bauelemente aufgestellt werden, die auch den Energieeigenbedarf der USV beeinflussen.

So kann bei dem in Abbildung 12 gezeigten USV-Aufbau das Eingangsfilter unterschiedlich ausgeführt sein. Angestrebt wird zumeist eine möglichst geringe Beeinflussung der Netzinstallationsumgebung neben der USV. Beispielsweise können elektrische Antriebe und Motoren durch die Netznachwirkungen der USV gestört werden. Passive oder aktive Filter, der Einsatz unterschiedlicher Gleichrichter wie sechs- oder zwölfpulsige Brückenschaltung mit Diodenbauteilen oder IGBT-Transistortechnik können zu unterschiedlichen Filterwirkungen und auch zu unterschiedlichen Eigenverlusten der USV-Energie führen.

Eine weitere USV-Kenngröße ist der Spannungsbereich, in dem der Gleichrichter den Wechselrichter mit Energie versorgen kann, ohne auf Batteriebetrieb umschalten zu müssen. Wird dieser großzügiger ausgelegt, dann ist vielleicht der USV-Wirkungsgrad im Normalbetrieb niedriger. Aber da die Batterie seltener entladen und geladen werden muss, könnte die Gesamt-Energiebilanz auf Dauer günstiger sein. Der Gleichrichter wird meist auch bei der Ladung der Batterie beansprucht. Er sollte deshalb nicht zu knapp ausgelegt sein. Der Batterieladung und -beobachtung wird große Aufmerksamkeit gewidmet, um die Akkublöcke möglichst schonend zu behandeln. Diese ist mittlerweile so komplex geworden, dass sie noch gar nicht in die Wirkungsgrad-Betrachtung eingeflossen ist. Ein Batteriemanagement, das optimal auf den eingesetzten Akku-Typ abgestimmt ist und die Überwachung der Blöcke übernimmt, kann rechtzeitig auf Probleme hinweisen.

Jede Überwachungs- und Steuerungs-Elektronik benötigt elektrische Energie. Soll deshalb auf eine Überwachung der Eingangsgrößen oder auf die Lüftersteuerung verzichtet werden, um bei der im Normalbetrieb vorgesehenen Vollauslastung Strom zu sparen? Oder auf den Batterietest, den man dann jede Woche mit dem Messgerät von Hand durchführt?

Auch die Kommunikationsschnittstellen und Anzeigen am Gerät, wie LCD und LED, benötigen Energie. Selbst die EMV-Maßnahmen in der USV, die Störungen innerhalb der USV und in der USV-Umgebung mindern sollen, beeinflussen den Wirkungsgrad. Die EMV-Anforderungen werden wesentlich vom Einsatzort der USV abhängen. Um die Energieverluste zu mindern, könnte man auch auf den elektronischen Bypass-Schalter verzichten. Doch bei einer Zuverlässigkeitsermittlung würde sich das Fehlen des elektronischen Bypasses negativ bemerkbar machen.²³

Auch bei der Wechselrichter-Technik hat sich einiges getan. Die mit hohen Schaltfrequenzen arbeitende moderne Leistungselektronik kann eine saubere Ausgangsspannung liefern, ohne dass ein Wechselrichter-Transformator benötigt wird. Dadurch ließe sich der Wirkungsgrad um ein bis drei Prozent verbessern. Sicherheitsbewusste Benutzer schätzen allerdings den Wechselrichter-Transformator als galvanische Trennung der angeschlossenen Last gegenüber einer Gleichspannungsbelastung für den Fall eines Wechselrichterdefekts. Bei den so genannten trafilosen USV-Geräten wird eine Sicherung eingebaut, die bei Gleichspannungsanteilen in der USV-Ausgangsspannung wirksam wird.

■ 6.8 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 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).

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

Tabelle 9: Überblick Stromleisten

7 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.

Zusammenfassend lassen sich die potenziellen Vorteile, die sich für den Contracting-Nehmer ergeben, wie folgt darstellen:

- Entlastung des Facility Management und der IT-Abteilung. Die Koordinierung und die Abwicklung der Aufgaben übernimmt der Contractor.
- Keine Aufwendungen für Investitionen: Finanzmittel stehen dadurch für andere Maßnahmen zur Verfügung, die Liquidität erhöht sich.
- Erhöhte Versorgungssicherheit.
- Einsatz effizienter und energiesparender Technik.
- Effektives Energie-Monitoring.
- Unterstützung der internen und externen Leistungsverrechnung.
- Regelmäßige Instandhaltung und Wartung der Anlage.
- Kostenvorteile und Synergieeffekte entstehen durch die Abwicklung von Einkauf, Planung und Errichtung der Anlage über den Contractor, z.T. auch durch Eigenproduktion von Strom, Wärme, Kälte und effiziente Nutzung von Abwärme.
- Der Wert der Immobilie wird gegebenenfalls sogar gesteigert durch den Einsatz modernster Technologien.

Endnoten

1. Der Leitfaden ergänzt damit den BITKOM-Leitfaden „Betriebssicheres Rechenzentrum“ und die Matrix „Planungshilfe Betriebssicheres Rechenzentrum“, die auf der BITKOM-Webseite zum kostenfreien Download zur Verfügung stehen. Die Leitfäden und die Planungshilfe ersetzen nicht eine fachkundige Beratung und Unterstützung durch kompetente Berater und Planer.
2. Fichter, Klaus: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); (Borderstep Institut); 2007
3. Fichter, Klaus: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); (Borderstep Institut); 2007
4. 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
5. The Green Grid: GREEN GRID METRICS: Describing Datacenter Power Efficiency. Technical Committee White Paper, February 20, 2007
6. Brill, Kenneth G.: Data Center Energy Efficiency and Productivity, White Paper, The Uptime Institute, 2007
7. ASHRAE, Thermal Guidelines for Data Processing Environments; 2004
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.
10. Auch wenn Wasser als Kühlmedium häufig verwendet wird, hat es sich im Rechenzentrumsbereich für den Einsatz als Kältemittel nicht bewährt.
11. Die Rücklufttemperatur ist nur bei Kühlung der Rechenzentren mit Luft von Bedeutung. Werden beispielsweise ausschließlich wassergekühlte Serverracks eingesetzt, sind die Raumlufttemperatur und damit auch die Rücklufttemperatur 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.
12. Wie oben schon ausgeführt, liegt ein weiterer Vorteil einer erhöhten Rücklufttemperatur in der höheren Temperaturspreizung, die im Kühlmedium Wasser gefahren werden kann. Durch die Erhöhung der Spreizung kann auf der Rückkühlseite ebenfalls mit höheren Temperaturen gearbeitet werden, wodurch eine Freie Kühlung bereits bei höheren Außentemperaturen möglich wird. Je länger die Freie Kühlung genutzt wird, desto weniger Energie wird für den Betrieb von Kompressoren verbraucht.
13. Bundesamt für Energiewirtschaft: Risikofreier Betrieb von klimatisierten EDV-Räumen bei 26° C Raumtemperatur, Bern 1995
14. Totally Integrated Power: Applikationshandbuch – Grundlagenermittlung und Vorplanung (Siemens AG); 2006
15. Totally Integrated Power: Applikationshandbuch – Grundlagenermittlung und Vorplanung (Siemens AG); 2006
16. Fichter, Klaus: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); (Borderstep Institut); 2007
17. Beide Publikationen stehen zum kostenlosen Download auf der BITKOM-Webseite zur Verfügung.
18. High performance buildings: Data centers uninterruptible power supplies (EPRI-Solutions, Ecos Consulting); 2005
19. Swiss Federal Office of Energy: Program „Electricity“ Code of Conduct / Label for Uninterruptible Power Supplies (UPS); 2005
20. Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems; 2006
21. Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems; 2006
22. Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems; 2006
23. White paper: The classifications define site infrastructure performance (The Uptime Institute Inc.); 2001-2006



8 Glossar

19“-Schrank	Rack mit circa 40 HE, Gesamthöhe ca. 2 Meter, Einbaubreite 483 mm, Einbauhöhe wird in Höheneinheiten (HE) gemessen: 1 HE = 44,45 mm
AV	Allgemeine Stromversorgung
Chiller	Wasserkühlsatz
CPU	Central Processing Unit (Hauptprozessor)
CW	Chilled Water; Klimaanlagen mit Kaltwasser
Datencenter	Serverraum und/oder Rechenzentrum
DX	Direct Expansion; Klimaanlagen mit Kältemittel
Elektroverteilung	auch NSHV (Niederspannungshauptverteilung) oder PDU (Power Distribution Unit)
Emission	von einem Gerät ausgehende, auf die Umwelt einwirkende Einflüsse
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GR	Gleichrichter
Hot Spots	lokale Überhitzungen
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
ILM	Information Lifecycle Management
Immission	von der Umwelt ausgehende, auf einen bestimmten Ort einwirkende Einflüsse
IT	Information Technology (früher EDV = elektronische Datenverarbeitung)
ITK	Informations- und Telekommunikationstechnik
KVM-Switch	Keyboard-Video-Mouse-Switch
modular	Aufbau eines Systems aus mehreren Modulen (Baugruppen)

MSHV	Mittelspannungs-Hauptverteilung
NEA	Netzersatzanlage (meist als Notstromdiesel)
NSHV	Niederspannungs-Hauptverteilung
Parallelbetrieb	zwei oder mehr Einrichtungen, die gemeinsam die Versorgung von angeschlossenen Verbrauchern durchführen
Präzisionsklimaanlage	Klimaanlage, die sowohl die Temperatur als auch die Luftfeuchtigkeit konstant halten kann
PSU	Power Supply Unit (Netzteil)
redundant	mehrfach ausgelegt zur Erhöhung der Verfügbarkeit (Fehlertoleranz)
skalierbar	schrittweise an den Bedarf anpassbar
SNMP	Simple Network Management Protocol (einfaches Netzwerkverwaltungsprotokoll)
Sole	Wasser/Glykolmischung
SPS	Smart Power Strips ("intelligente" Steckdosenleisten)
STS	Statischer Transfer Schalter / Statisches Transfersystem
SV	Sicherheitsstromversorgung
TCO	Total Cost of Ownership (gesamte Betriebskosten)
Überspannungsschutzkonzept	klassischer Überspannungsschutz umfasst den Grob-, Mittel- und Feinschutz
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV	Unterverteilung
ULKG	Umluftkühlgerät
WR	Wechselrichter

9 Literatur

ASHRAE: Thermal Guidelines for Data Processing Environments; 2004

BITKOM-Matrix: Ausfallzeit Rechenzentrum V3.0 (BITKOM); 2006

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, 1995.

Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems (<http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/Code%20of%20conduct%20UPS%20efficiency-V1-2006-12-22%20Final.pdf>); 2006

EN62040-3 Ed. 1.0 b: Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme Teil 3: Methoden zur Festlegung von Prüfungs- und Leistungsanforderungen; 1999

Fichter, Klaus: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), (Borderstep Institut); 2007

The Green Grid: GREEN GRID METRICS: Describing Datacenter Power Efficiency. Technical Committee White Paper; February 20, 2007

High performance buildings: Data centers uninterruptible power supplies (EPRI-Solutions, Ecos Consulting); 2005

Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2003/l_037/l_03720030213de00190023.pdf); 2003

Swiss Federal Office of Energy: Program „Electricity“ Code of Conduct / Label for Uninterruptible Power Supplies (UPS) (http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/Workshop_May.2005/power%20supply/Brueniger%20PS.pdf); 2005

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

Wenzl, Heinz/ Sachs, Klaus: Planung und Auswahl von USV-Anlagen; 1999

White paper: The classifications define site infrastructure performance (The Uptime Institute); 2001-2006

10 Danksagung

Der vorliegende Leitfaden „Energieeffizienz im Rechenzentrum“ entstand in Abstimmung mit dem BITKOM-Arbeitskreis „Betriebssicheres Rechenzentrum & Infrastruktur“.

Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen Mitgliedern des Arbeitskreises für die wertvollen Diskussionen und Anregungen sowie bei folgenden Personen für ihre Beiträge und Kommentare:

- Dr. Wolfgang Gnettner (Fujitsu Siemens Computers GmbH)
- Frank Hauser (Raritan Deutschland GmbH)
- Dieter Henze (Rittal GmbH & Co. KG)
- Robert Horn (KKT Kraus Kälte und Klimatechnik GmbH)
- Dr. Siegbert Hopf (Masterguard GmbH)
- Eberhard Knödler (Brach + Moll Kälte und Klimatechnik GmbH)
- Stephan Lang (Weiss Klimatechnik GmbH)
- Achim Pfleiderer (Stulz GmbH)
- Dr. Georg Riegel (deZem GmbH)
- Staffan Reveman (Newave USV Systeme GmbH)
- Christian Richter (Emerson Network Power GmbH)
- Michael Schumacher (APC Deutschland GmbH)
- Judith Wagener (Bull GmbH)
- Manfred Willnecker (Knürr AG)
- Ingolf Wittmann (IBM Deutschland GmbH)
- Ralph Wölpert (Lampertz GmbH & Co. KG)
- Eckhard Wolf (AEG Power Supply Systems GmbH)
- Carsten Zahn (Schnabel AG)

Unseren ganz besonderen Dank richten wir an Harry Schnabel (Schnabel AG), Leiter des Arbeitskreises.





Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. vertritt mehr als 1.300 Unternehmen, davon 950 Direktmitglieder mit etwa 135 Milliarden Euro Umsatz und 700.000 Beschäftigten. Hierzu zählen Anbieter von Software, IT-Services und Telekommunikationsdiensten, Hersteller von Hardware und Consumer Electronics sowie Unternehmen der digitalen Medien. Der BITKOM setzt sich insbesondere für bessere ordnungspolitische Rahmenbedingungen, eine Modernisierung des Bildungssystems und eine innovationsorientierte Wirtschaftspolitik ein.



Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e.V.

Albrechtstraße 10 A
10117 Berlin-Mitte
Tel.: 030.27576-0
Fax: 030.27576-400
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org