

Energieeffizienz in Rechenzentren

Leitfaden

Herausgeber

Bitkom e.V.

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
Albrechtstraße 10 | 10117 Berlin

Ansprechpartner

Christian Herzog | Bitkom e.V.

Tel.: 030 27576-270 | c.herzog@bitkom.org

Verantwortliches Bitkom-Gremium

AK Rechenzentrum & IT-Infrastruktur in Zusammenarbeit mit AK Server, Storage, Networks

Titelbild

© Peter Wey – Stocksy United

Copyright

Bitkom 2015

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom.

Energieeffizienz in Rechenzentren

Leitfaden

Inhaltsverzeichnis

1 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren	8
1.1 Überblick	8
1.2 Energiebedarf in Rechenzentren	9
1.3 Herausforderungen für die Planung und den Betrieb von Rechenzentren	11
2 Energiemanagement	14
2.1 Der Energiemanagement Prozess	15
2.1.1 Übersicht	16
2.1.2 Monitoring	16
2.1.3 Accounting	17
2.1.4 Controlling	18
2.1.5 Management	22
2.1.6 Energiemanagementsystem	23
2.2 Key-Performance-Indikatoren (KPI)	23
2.2.1 Übersicht	24
2.2.2 Power Usage Effectiveness (PUE)	27
2.2.3 Der partielle PUE	28
2.2.4 Energy Reuse Efficiency (ERE)	30
2.2.5 Renewable Energy Factor (REF)	31
2.2.6 Energy Efficiency Ratio (EER) und Coefficient of Performance (COP)	31
2.2.7 Water Usage Effectiveness (WUE)	33
2.2.8 KPI zur Betrachtung von IT Komponenten	34
2.3 MSR-Technik	35
2.3.1 Serverraum mit Doppelboden-Klimatisierung	35
2.3.2 Serverraum ohne Doppelboden-Klimatisierung	38
2.3.3 Mehrstufige Kühlketten	38
2.3.4 Energie-Monitoring	38
2.4 Data Center Infrastructure Management	39
2.4.1 Monitoring	40
2.4.2 Dokumentation	41
2.4.3 Planung und Simulation	41
2.4.4 Workflows	42
2.4.5 Fazit	42
2.5 Energy Contracting	43
3 Optimierung der IT-Hardware und Software	46
3.1 Überblick	46
3.2 Generelle organisatorische Maßnahmen zur Optimierung der IT-Hard- und Software	46
3.2.1 Optimierte Auswahl- und Beschaffung der Komponenten nach dem Energieverbrauch	46
3.2.2 Energiebewusster Betrieb, energieorientierte Auslastung und Konsolidierung der Komponenten	48
3.2.3 Asset und LifeCycle-Management der Komponenten	49

3.3	Virtualisierung	50
3.4	Server-Komponenten	52
3.5	Storage-Komponenten	53
3.5.1	Storage – Rightsizing (stromsparende Storage-Systeme)	54
3.5.2	Storage – Effiziente Datenhaltung (Deduplizieren)	55
3.5.3	Storage – Effiziente Datenbereitstellung (Thin Provisioning)	56
3.5.4	Storage – Effiziente Datenaufteilung (Storage Tiering)	56
3.6	Netzwerk-Komponenten	57
3.7	Konsolidierung von Netzwerkelementen	59
3.8	Konsolidierung von Netzwerkinfrastrukturen	60
3.8.1	Infiniband HPC	60
3.8.2	Redundanzen	61
3.8.3	Zusammenfassung	61
4	Optimierung der RZ-Infrastruktur	64
4.1	Optimierung der Kühlung	64
4.1.1	Überblick	64
4.1.2	Kühlmedien	64
4.1.3	Luftführung im Rechenzentrum	66
4.1.4	Kühlvarianten	70
4.1.5	Lufttemperatur und Luftfeuchte im Rechenzentrum	72
4.1.6	Leistungsregelung	72
4.1.7	Wärmerückgewinnung	74
4.1.8	Übersicht der Kühlsysteme	74
4.2	Stromversorgung	80
5	Glossar	82
6	Danksagung	85

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung des Stromverbrauchs der Server und Rechenzentren in Deutschland	9
Abbildung 2: Aufteilung des Stromverbrauchs eines typischen Rechenzentrums (ca. 1.000 m ² Rechenzentrumsfläche) im Jahr 2008 und 2015	10
Abbildung 3: Prozess »Energiemanagement für Rechenzentren«	16
Abbildung 4: Messstellen für PUE-Messungen im RZ-Betrieb in Anlehnung an RAL UZ 161	20
Abbildung 5: ISO / IEC 30134 Series of Standards	24
Abbildung 6: Konzept der Data Centre Boundaries	26
Abbildung 7: Konzept der Data Centre Sub-systems	27
Abbildung 8: Temperaturverteilung im Rechenzentrum mit Hot Spot	36
Abbildung 9: DCIM und umgebende Systeme als Wolke	40
Abbildung 10: Wesentliche Kostenanteile der Beschaffung und des Betriebs von IT liegen unter der Oberfläche	47
Abbildung 11: Energieeinsparung durch Konsolidierung und Virtualisierung	50
Abbildung 12: Typische Aufteilung des Energieverbrauchs eines Servers	52
Abbildung 13: Energy savings Eco mode	55
Abbildung 14: Automated Storage Tiering	57
Abbildung 15: End-of-Row-Server-Anschluss	58
Abbildung 16: Top-of-Rack-Server-Anschluss	59
Abbildung 17: Ethernet und FC-Netzwerke getrennt	60
Abbildung 18: Beispiel Temperaturverlauf und Wärmetransport im Rechenzentrum	69
Abbildung 19: Übersicht der Kühlvarianten für den Rechenzentrumsbetrieb mit (Um-)Luftkühlung	70

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: PUE-Reifegrad in Abhängigkeit von der Messgenauigkeit nach TGG	19
Tabelle 2: Struktur der KPI der ISO 30134	25
Tabelle 3: Überblick über alle geplanten KPI und deren Zweck	25
Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren für nicht-elektrische Energie	26



1 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren

1 Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren¹

1.1 Überblick

Seit der ersten Auflage des Leitfadens Energieeffizienz in Rechenzentren hat sich die Bedeutung der Informations- und Telekommunikationstechnik (ITK) für die Gesellschaft allgemein und für die Wirtschaft insbesondere noch einmal deutlich erhöht. Die Nutzung von Internetdiensten mit Smartphone, Tablet oder PC im Sinne von »always online« gehört zum beruflichen und privaten Alltag. Ohne die von Menschen und Maschinen erzeugten Daten und deren Verarbeitung und Speicherung in Rechenzentren ist heute weder die industrielle Produktion noch der Bereich Forschung und Entwicklung denkbar. Die beginnende Entwicklung in Richtung Industrie 4.0 und die darin enthaltene Nutzung der IT-Systeme wird die Bedeutung von Sicherheit und Verfügbarkeit leistungsfähiger Rechenzentren noch erhöhen.

Die für die Bereitstellung der Dienste benötigten Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland wachsen daher ständig. Nach Berechnungen des Borderstep Instituts, Berlin, hat sich die Zahl der Server (inklusive virtueller Server) in deutschen Rechenzentren zwischen 2010 und 2014 auf knapp über vier Millionen mehr als vervierfacht. Die Zahl der physikalischen Server in Rechenzentren hat sich im genannten Zeitraum um ca. 50 Prozent auf 1,7 Millionen erhöht.

Auch für die mittelfristige Zukunft ist von weiterem Wachstum auszugehen. Setzen sich die aktuellen Entwicklungen weiter fort, so wird es im Jahr 2020 ca. 2,3 Millionen physikalische Server in deutschen Rechenzentren geben (plus 35 Prozent gegenüber 2014).

Trotz dieser dynamischen Entwicklung ist es seit 2008 gelungen, den Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland durch Effizienzmaßnahmen bei IT-Hardware und Rechenzentrumsinfrastruktur nicht ansteigen zu lassen. Allerdings: Durch die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft und aktuelle Entwicklungen wie Cloud Computing oder Big Data steigt die IT-Nutzung sogar noch stärker an, als in der Vergangenheit, sodass der Stromverbrauch in Rechenzentren wieder zuzunehmen scheint (Abbildung 1).

1 Quellen:

Hintemann, R. & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wettbewerbssituation. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (Bitkom), Berlin.

Hintemann, R., Fichter, K. & Schlitt, D. (2014). Adaptive computing and server virtualization in German data centers – Potentials for increasing energy efficiency today and in 2020. Environinfo 2014 – ICT for Energy Efficiency, 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Edited by Gómez, J.M., Sonneschein, M., Vogel, U., Winter, A., Rapp, B., Giesen, N. Gehalten auf der Environinfo 2014 – ICT for Energy Efficiency, 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection, September 10–12, 2014, Oldenburg.

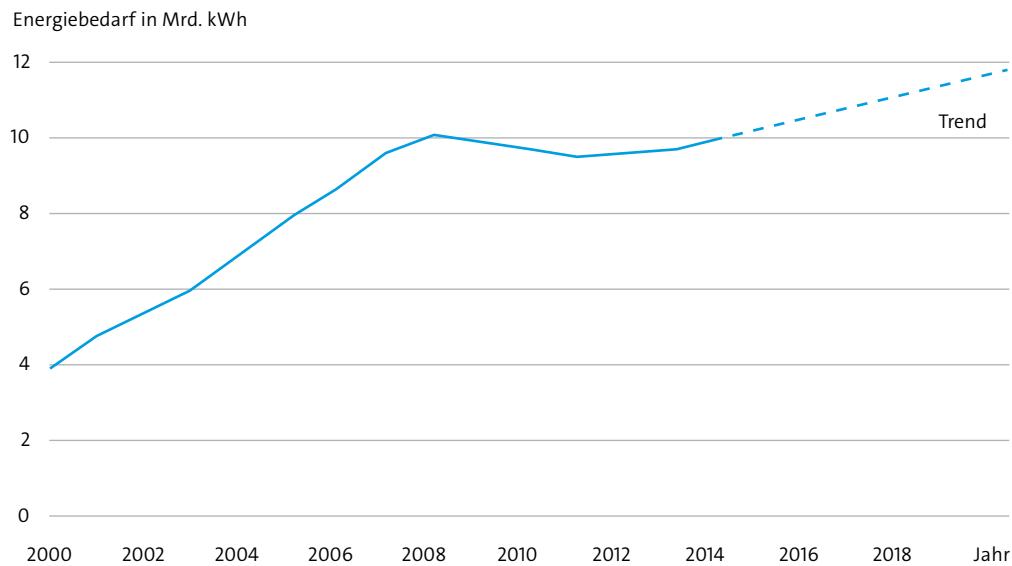


Abbildung 1: Entwicklung des Stromverbrauchs der Server und Rechenzentren in Deutschland²

Betrachtet man die Stromkosten der Rechenzentren in Deutschland, so sind diese zwischen 2008 und 2014 um 20 Prozent angestiegen – vor allem bedingt durch den Anstieg der EEG-Umlage. Von diesem Anstieg sind nahezu alle der über 50.000 Rechenzentren in Deutschland betroffen. Rechenzentren werden von der EU bisher nicht als energieintensive Branche eingestuft.

Dabei könnte zumindest ein Teil der Kosten eingespart werden. Große Rechenzentren haben Stromrechnungen in Millionenhöhe – hier rechnen sich Effizienzmaßnahmen oft schon nach wenigen Monaten. In den ca. 48.000 kleineren Lokationen (bis 100 m²) sind die absoluten Kosten zwar in der Regel nicht so hoch, dennoch können hier oft mehr als 30 Prozent der Energiekosten eingespart werden – meist schon durch einfachste Maßnahmen, wie z.B. die Messung und Auswertung der Verbraucher über einen bestimmten Zeitraum.

1.2 Energiebedarf in Rechenzentren

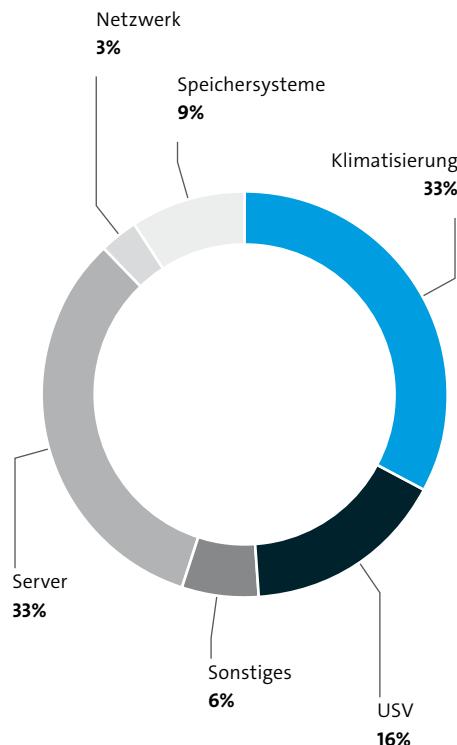
Eine Analyse der Geräte im Rechenzentrum zeigt, dass durchschnittlich immer noch etwas mehr als die Hälfte des Energiebedarfs durch die eigentliche IT bedingt ist. Den anderen Teil verbraucht die zusätzlich benötigte Infrastruktur wie zum Beispiel Klimatisierung und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV).

² Quelle: Borderstep.

Abbildung 2 zeigt die Aufteilung des Stromverbrauchs eines typischen Rechenzentrums in der Größenordnung von 1.000 m² in den Jahren 2008 und 2014. An der Grafik ist deutlich zu erkennen, dass auf Seiten der Rechenzentrumsinfrastruktur bereits größere Einsparungen erreicht wurden. Insbesondere der Anteil des Stromverbrauchs der Klimatisierung wurde um ca. ein Drittel reduziert. Obwohl der Stromverbrauch der IT insgesamt deutlich angestiegen ist, konnte der Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums reduziert werden. Dennoch ist die aktuelle Situation in typischen Rechenzentren noch weit von dem entfernt, was technisch möglich wäre.

2008

Jahresstromverbrauch:
Gesamt: ca. 6 Mio. kWh
Nur IT: ca. 2,75 Mio. kWh



2015

Jahresstromverbrauch:
Gesamt: ca. 5,5 Mio. kWh
Nur IT: ca. 3,25 Mio. kWh

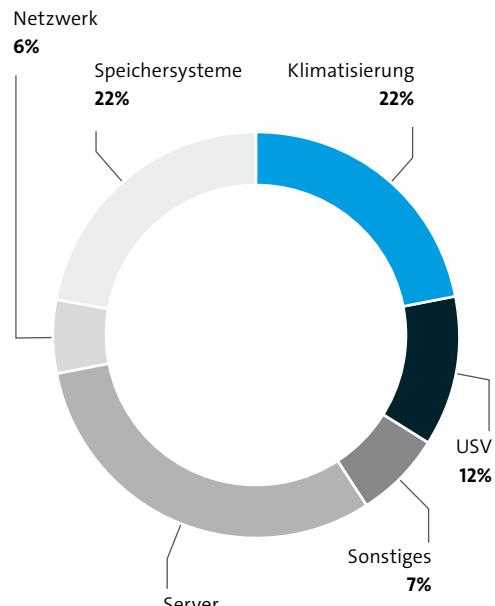


Abbildung 2: Aufteilung des Stromverbrauchs eines typischen Rechenzentrums (ca. 1.000 m² Rechenzentrumsfläche) im Jahr 2008 und 2015³

3 Quelle: Borderstep.

1.3 Herausforderungen für die Planung und den Betrieb von Rechenzentren

Die beschriebenen Entwicklungen führen zu großen Herausforderungen für Unternehmen bei der Konzeption, 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 drei bis fünf Kilowatt pro Quadratmeter und mehr sind keine Seltenheit mehr. Für IT-Verantwortliche und Facility-Manager stellen sich vor allem folgende Herausforderungen:

- Wie kann die IT-Leistung zuverlässig hochverfügbar, und dennoch energieeffizient bereitgestellt werden?
- Wie kann der Energieverbrauch angemessen überwacht werden? Welche Messtechnik, welche und wie viele Messstellen sind notwendig?
- Welche (neuen) Herausforderungen ergeben sich an Rechenzentren durch die zunehmenden Anforderungen hinsichtlich der Skalierbarkeit der zur Verfügung gestellten Leistung?
- Wie kann die Infrastruktur so konzipiert werden, dass eine zunehmende Dynamik im Stromverbrauch nicht zu sinkender Effizienz führt?
- 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 40 kW oder mehr installiert ist. Können Hotspots vermieden oder optimal gekühlt werden?
- Wie können Investitionsentscheidungen so getroffen werden, dass die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership (TCO)) minimiert werden? Insbesondere müssen neben den Kosten für Planung, Hardware, Implementierung und Management auch die Energiekosten in die Berechnung einbezogen werden. Bei einigen Rechenzentren sind die Energiekosten bereits der größte Kostenfaktor.
- Und nicht zuletzt: Wie können Rechenzentren mit den Herausforderungen der Energiewende umgehen? Bestehen sogar Möglichkeiten, sich hier aktiv zu beteiligen?

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



2 Energie- management

2 Energiemanagement

Mit dem Bitkom-Leitfaden Prozesse und KPI für Rechenzentren⁴ wird erstmals ein Energiemanagement Prozess für Rechenzentren vorgeschlagen. Er orientiert sich an dem Standard für Energiemanagementsysteme ISO 50001 (vormals EN 16001), der aber nur ein generelles Vorgehen beschreibt, das nicht spezifisch für Rechenzentren oder die IT-Industrie ist. Der nachfolgend dargestellte Energiemanagement Prozess ist für Rechenzentren entwickelt worden und hat dementsprechend Eingang in den neuen europäischen Standard EN 50600 gefunden, mit dem alle Aspekte des Rechenzentrum beschrieben werden sollen. Die Veröffentlichung des betreffenden Teils EN 50600-3-1 ist im 4. Quartal 2015 zu erwarten.

Darüber hinaus besteht für einen optimalen Betrieb von Rechenzentren die Notwendigkeit, die IT-Komponenten und ihren Energieverbrauch in einen ganzheitlichen Energiemanagement Prozess einzubeziehen. Dies wurde erstmals in einem Beitrag zur Informatik Konferenz 2013⁵ beschrieben und mit der Forderung nach einer entsprechenden IT Governance verbunden. Für die Betrachtung der IT-Komponenten ergibt sich dabei die Herausforderung, dass deren Energieverbräuche zwar gemessen werden können, aber zur Bestimmung der Energieeffizienz die Messung des Nutzens schwierig ist. Bisherige Ansätze beschränken sich auf Server, für die der Mittelwert der CPU-Nutzung als Wert für den Nutzen betrachtet wird. Dabei handelt es sich aber um einen eher sehr pragmatischen Ansatz, der von der Messbarkeit ausgeht und die Fähigkeit berücksichtigt, dass mit Hilfe des Power Management der Energieverbrauch eines Servers seiner CPU-Last teilweise angepasst werden kann.

In diesem Kapitel werden verschiedene Aspekte des Energiemanagement behandelt. Zunächst wird der Prozess näher betrachtet, um ein Verständnis für die notwendigen Schritte, den sinnvollen Einsatz von KPI und den Weg zu nachhaltigen Verbesserungen aufzuzeigen.

Anschließend werden verschiedene KPI zur Nachhaltigkeit von Rechenzentren vorgestellt, die derzeit im Rahmen des internationalen Normungs-Projektes ISO/IEC 30134 (bzw. EN 50600) diskutiert und definiert werden. Dabei werden auch die Konzepte der »Data Centre Boundaries« und der »Data Centre Sub-Systems« vorgestellt.

Weiterhin wird der zunehmenden Bedeutung der Techniken zur automatisierten Steuerung von Infrastrukturkomponenten im Abschnitt Messen, Steuern, Regeln (MSR) Rechnung getragen. Sie erhöht einerseits die Komplexität des Betriebs von Rechenzentren, ist andererseits aber eine wichtige Voraussetzung, um Klimatisierung und Kühlung bedarfsgerecht bereitzustellen und somit eine hohe Energieeffizienz unabhängig vom Energieverbrauch der IT und der damit verbundenen Wärmeerzeugung zu erreichen.

Während die MSR-Technik aus der Gebäudeleittechnik heraus Einzug ins Rechenzentrum gehalten hat, wurde das Data Center Infrastructure Management (DCIM) aus einer ganzheitlichen Sicht des Rechenzentrums entwickelt. Obwohl es keine scharfe Definition für DCIM gibt und auch die

4 www.bitkom.org/de/publikationen/38337_73901.aspx

5 Ackermann, L.; Arend, J. & Miede, A., Energiemanagement in der IT und im Rechenzentrum INFORMATIK 2013, Lecture Notes in Informatics, Springer, 2013, 1189–1201.

angebotenen Tools sich stark unterscheiden, soll der zunehmenden Bedeutung des DCIM in einem eigenen Abschnitt Rechnung getragen werden.

Im Abschnitt »Energy Contracting« wird ein Blick auf die Möglichkeit geworfen, die Energieversorgung nicht selbst zu übernehmen, sondern als Leistung von einem Dienstleister zu beziehen.

2.1 Der Energiemanagement Prozess

In der Beratung zur Energieeffizienz von Rechenzentren kommen seit vielen Jahren Best-Practice-Sammlungen zum Einsatz, wie sie vom EU Code of Conduct für Rechenzentren⁶ oder dem Blauen Engel für Rechenzentren⁷ veröffentlicht wurden. Für den Betreiber eines Rechenzentrums ist dabei nicht ohne weiteres klar, welchen Nutzen die einzelnen Maßnahmen in seinem konkreten Rechenzentrum jeweils haben werden, und welche Einsparungen mit ihrer Umsetzung erzielt werden können. Oftmals werden von den Herstellern der Infrastrukturkomponenten jene Maßnahmen besonders angepriesen, die mit einem Ersatz der von ihnen angebotenen Produkte einhergehen – also effizientere Stromversorgungen, Klimatisierungen oder Kühlungen. Ist das Einsparpotenzial dabei für den Betreiber nicht sofort ersichtlich, ergibt sich schnell der Verdacht des reinen Marketings. Hinzu kommt, dass mit dem Ergreifen einzelner Maßnahmen zwar kurzfristig Einsparungen erzielt werden können, es jedoch an einer dauerhaften, nachhaltigen Betrachtung der Energieeffizienz mangeln kann. Basierend auf praktischer Erfahrung in produktiven Rechenzentren ist daher ein Energiemanagement-Prozess entwickelt worden, der zunächst die Grundlagen für eine Analyse des Einsparpotenzials legt und die notwendigen Instrumente zum Nachweis der Wirksamkeit von Maßnahmen bereitstellt. Darüber hinaus wurde der Prozess als dauerhafte Aufgabe des RZ-Betriebs angelegt und betrachtet auch Auswirkungen anderer Prozesse, z. B. die Erweiterung von Kapazitäten der Infrastrukturkomponenten. Diese vermindern oft zunächst die Energieeffizienz des Rechenzentrums und können somit andere, positive Maßnahmen überlagern.

⁶ 2012 Best Practices for the EU Code of Conduct on Data Centres, veröffentlicht auf http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative.htm

⁷ Vergabegrundlage RAL-UZ 161 Energiebewusster Rechenzentrumbetrieb, veröffentlicht auf http://www.blauer-engel.de/de/produkte_marken/vergabegrundlage.php?id=226

2.1.1 Übersicht

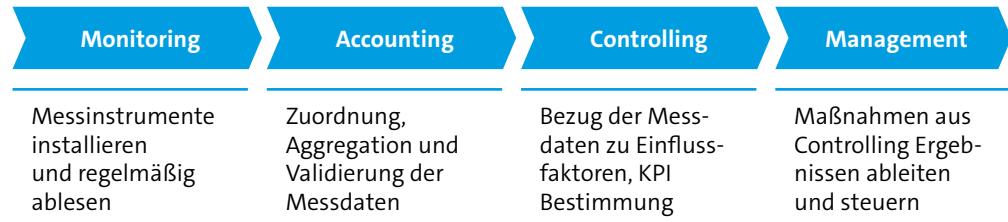


Abbildung 3: Prozess »Energiemanagement für Rechenzentren«⁸

Abbildung 3 zeigt den Energiemanagement-Prozess in vier Schritten, wie sie auch für den Aufbau eines Energiemanagementsystems vorgeschlagen werden.⁹

2.1.2 Monitoring

Im Rechenzentrum werden heute bereits viele Daten erfasst, die für den operativen Betrieb von Bedeutung sind. Für das Energiemanagement fehlen dennoch oftmals Daten über Energieverbräuche und Wärmefflüsse. Behelfslösungen, wie z.B. das Ablesen von Momentanwerten der Leistung und das Umrechnen dieser Daten auf Energieverbräuche, haben sich in der Praxis als zu ungenau erwiesen und können daher im Energiemanagement nicht dauerhaft sinnvoll verwendet werden.

Der Aufbau eines Monitorings für das Energiemanagement umfasst daher die Analyse, welche Zähler bereits vorhanden sind und welche ergänzt werden müssen. Insbesondere in gemischt genutzten Gebäuden kann die Separation der Energieverbräuche des Rechenzentrums von denen des restlichen Gebäudes zu einer Herausforderung werden. Die Dokumentation aller Zähler erfolgt in einfachen Single-Line-Diagrammen, die nachvollziehbar darstellen, welche Verbraucher angeschlossen sind.

Sind alle notwendigen Zähler installiert, müssen diese regelmäßig, möglichst zu einem konstanten Zeitintervall abgelesen werden. Eine Einbindung in eine oftmals vorhandene Gebäudeleittechnik kann diesen Vorgang automatisieren, allerdings müssen die Daten für eine Verarbeitung im Rahmen des Prozesses dann auch aus dem System wieder strukturiert zur Verfügung gestellt werden können.

⁸ Ackermann, L.; Arend, J. & Miede, A., Energiemanagement in der IT und im Rechenzentrum INFORMATIK 2013, Lecture Notes in Informatics, Springer, 2013, 1189–1201.

⁹ Reese, K, DIN EN ISO 50001 in der Praxis, Vulkan Verlag 2012, ISBN 978-3-8027-2382-7.

Bei der Einführung des Prozesses ist es durchaus legitim, die Daten für einen gewissen Zeitraum manuell abzulesen, um die weiteren Schritte aufbauen zu können. Dabei sollte auf eine gute Dokumentation der Ablesung geachtet werden, z.B. durch Fotografieren der Zählerstände, um später etwaige Fehler bei der Eintragung von Daten nachvollziehen und korrigieren zu können.

2.1.3 Accounting

Das Accounting berechnet zunächst aus den Ablesungen von Zählerständen die jeweiligen Energieverbräuche. Obwohl dieser Schritt nahezu trivial ist, stellt er bereits eine erste Ebene zur Validierung der Zählerstände dar, indem z.B. keine negativen Verbräuche akzeptiert werden. Weist ein Zähler einen niedrigeren Stand als bei der vorherigen Ablesung auf, handelt es sich entweder um einen Ablesefehler oder einen Defekt des Zählers.

Anschließend werden die einzelnen Verbräuche auf Basis der Dokumentation des Monitorings den großen Gruppen von Infrastrukturkomponenten zugeordnet.

Diese sind:

- IT
- Stromversorgung (USV und Elektroverteilung)
- Klimatisierung
- Kühlung
- weitere Verbraucher (z.B. Beleuchtung, Einrichtung für Security und Brandschutz, Aufzüge etc.)

Obwohl die weiteren Verbraucher in den meisten Rechenzentren keinen signifikanten Energieverbrauch erreichen, der Maßnahmen des Energiemanagements erforderlich machen würde, sollte ihr Verbrauch zum Zwecke der Validierung erfasst werden, sofern dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist.

Im Anschluss an die Aggregation wird eine Validierung der Verbräuche durchgeführt. So kann z.B. der Energieverbrauch der IT nicht größer sein als der Energieverbrauch, der am Eingang der Elektroverteilung, z.B. vor der USV gemessen wurde. Die Summe aller Unterzähler sollte zudem mit einem Gesamtzähler ungefähr übereinstimmen, wobei hier schon sichtbare Effekte der Messungsgenauigkeit auftreten können.

Im Accounting werden zudem alle Berechnungen durchgeführt, die erforderlich sind, um in gemischt genutzten Gebäuden den Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums zu ermitteln. Auch an dieser Stelle sind Validierungen sehr sinnvoll, indem z.B. in Bürogebäuden der Energieverbrauch pro Mitarbeiter berechnet wird.

2.1.4 Controlling

Das Controlling ermittelt aus den aggregierten Energieverbräuchen die gewünschten KPI der Energieeffizienz.

Mit den Key Performance Indicators (KPI) bzw. Leistungskennzahlen soll der Fortschritt für die entscheidenden Zielsetzungen des RZ-Betriebes gemessen werden. Für die Verwendung dieser Kennzahlen im Bereich des RZ-Betriebes ist es wichtig, dass die Begriffe eindeutig definiert sind und sauber verwendet werden.

Wie definiert sich **Energieeffizienz** in Bezug auf den **Betrieb** von **RZ**? Im RZ ist der *Aufwand* die Energie, die zum RZ-Betrieb benötigt wird. In den meisten Fällen besteht dieser Aufwand aus der elektrischen Energie, die für den Betrieb der IT-Hardware und der RZ-Infrastruktur benötigt wird. Der *Nutzen* eines RZ hingegen konnte bisher nicht allgemeingültig definiert werden. Mit den verschiedensten Betriebszwecken für RZ ergibt sich auch eine Vielzahl von unterschiedlichen Definitionen von »Nutzen« für das Unternehmen.

Die *eine* Kennzahl für die Energieeffizienz von RZ gibt es daher bisher nicht. Der eigentliche Nutzen der IT kann bisher nur unzureichend gemessen werden.

Für Rechenzentren ist derzeit der PUE der wichtigste, international anerkannte KPI (s. a. Kap. 2.2.2). Er ist definiert als:

$$PUE = \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Die Definition erlaubt, den Energieverbrauch der IT an verschiedenen Punkten im Strompfad zu messen, sodass insgesamt drei¹⁰ Kategorien definiert sind.

Die Kategorie richtet sich nach dem Messpunkt des Energieverbrauchs der IT. Für den Gesamt-Energiebedarf des RZ muss grundsätzlich für jede Kategorie eine geeignete Messstelle (z.B. Stromzähler) an der Stromzuleitung für das RZ gefunden werden. Hier wird der Gesamtenergieverbrauch im RZ für IT, Kühlung, Stromverteilung und sonstige RZ-relevante Verbraucher erfasst. Für RZ bzw. Serverräume, die zusammen mit anderen Anwendungen (z.B. Büro- oder Produktionsflächen) die Anlagen der allgemeinen Gebäudeinfrastruktur (z.B. Kühlsystem oder USV-Anlagen) gemeinsam nutzen, muss der Anteil für den RZ-Betrieb messtechnisch ermittelt werden. Sofern Anlagen zur Stromerzeugung selber betrieben (z.B. Blockheizkraftwerke) und für die Stromversorgung des RZ genutzt werden, muss dieser Stromanteil im Gesamtenergieverbrauch mit erfasst werden.

¹⁰ In der ISO/IEC 30134-2 (EN 50600-4-2), die den PUE als internationalen Standard entwickelt, sind nur noch drei Kategorien vorgesehen; Kategorie 0, deren Werte auf Momentanmessung der Leistung beruht, wird entfallen, die verbleibenden Kategorien 1–3 werden wie vorher beim GreenGrid definiert.

Für PUE-Kategorie 1 (PUE_1) wird der Energieverbrauch des IT-Equipments am Ausgang der USV-Anlage gemessen. Dabei werden alle Verluste, die nach der USV entstehen (z.B. Stromverteilungsverluste) dem IT Energieverbrauch zugeordnet. Der PUE_1 ist daher in der Regel »zu gut«. Die Messung kann z.B. über manuelles Ablesen der USV-Anzeige monatlich erfolgen.

Für PUE-Kategorie 2 (PUE_2) wird der Energieverbrauch des IT-Equipments am Ausgang der Stromunverteilung (PDU) gemessen. Der Energieverbrauch soll einmal täglich erfasst werden, manuelles Ablesen ist aber zulässig. In der Praxis wird für den PUE_2 i.d.R. aber ein automatisiertes Monitoring verwendet.

Für PUE-Kategorie 3 (PUE_3) wird der Energieverbrauch des IT-Equipments direkt am Eingang der einzelnen IT-Komponenten oder am Ausgang der Rack-PDU gemessen. Aufgrund der umfangreichen anfallenden Daten ist nur ein automatisiertes, softwaregestütztes Monitoring praktikabel.

Die Level 1-3 entsprechen damit den unterschiedlichen Reifegraden (Basic, Intermediate und Advanced) für die PUE-Messungen im RZ-Betrieb. Tabelle 1 fasst die Anforderungen zu den PUE-Messungen zusammen:

Tabelle 1: PUE-Reifegrad in Abhängigkeit von der Messgenauigkeit nach TGG

PUE-Reifegrad	Level 1 (L1) Basic	Level 2 (L2) Intermediate	Level 3 (L3) Advanced
Messstelle Strombedarf IT-Equipment	USV-Ausgang (MP_m)	PDU-Ausgang (MP_{ITZ})	IT-Equipment- Eingang
Messstelle Strombedarf Gesamt-RZ	Stromzähler RZ (MP_{RZ})	Stromzähler RZ (MP_{RZ})	Stromzähler RZ (MP_{RZ})
Messintervall	monatlich	täglich	alle 15 Minuten
Messmethode	per Hand	(per Hand) automatisiert	automatisiert

Die Messstellen für die Datenerfassung werden in Abbildung 4 dargestellt.

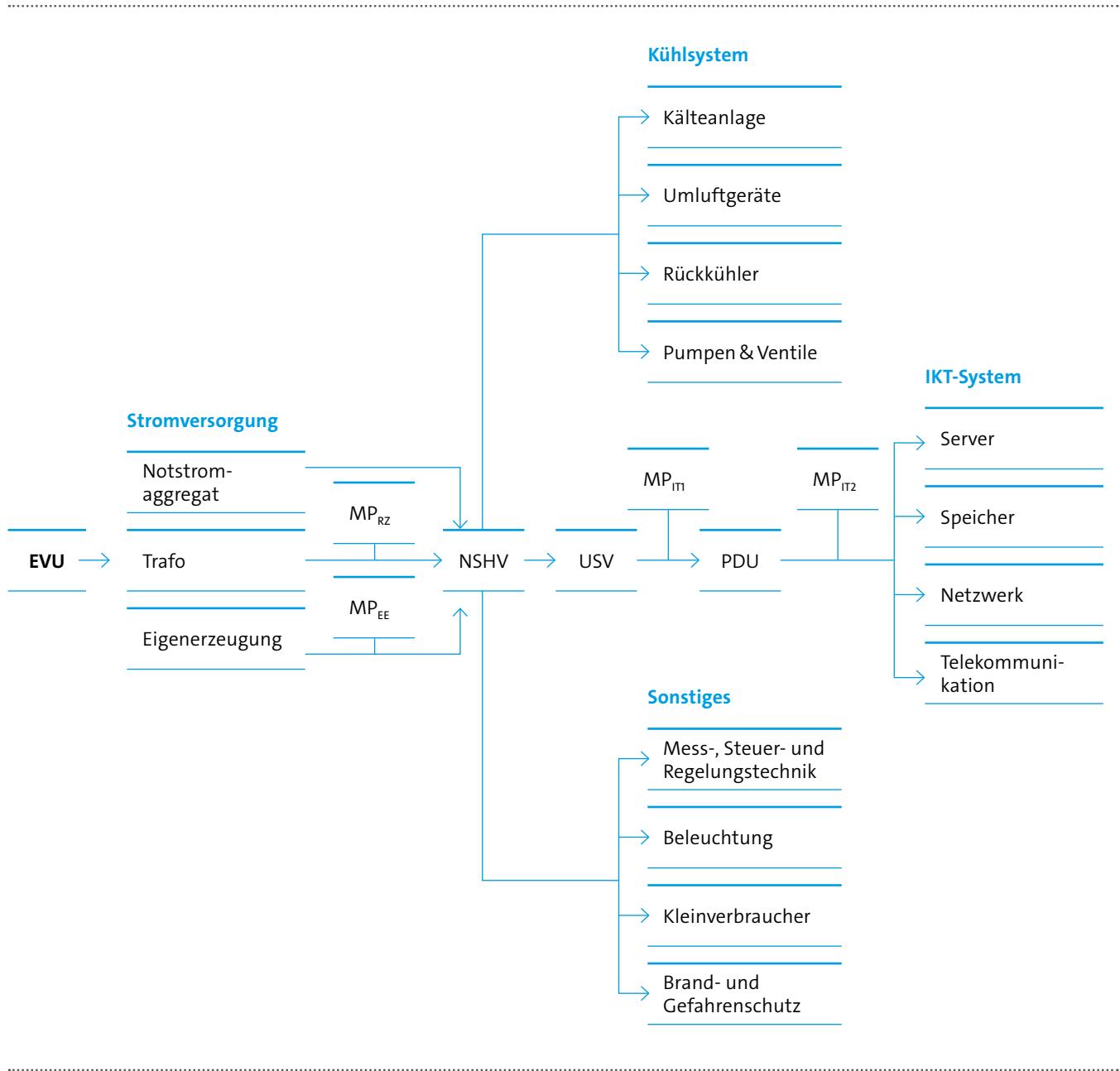


Abbildung 4: Messstellen für PUE-Messungen im RZ-Betrieb in Anlehnung an RAL UZ 161

MP_{RZ}: Messpunkt Gesamtenergie Rechenzentrum: elektrischer Energiebedarf zur Versorgung des gesamten RZ.

MP_{EE}: Messpunkt Eigenerzeugung: elektrischer Energiebedarf des selbst erzeugten Stroms (sofern vorhanden).

MP_{IT1}: Messpunkt Informationstechnik 1: elektrischer Energiebedarf am Ausgang der unterbrechungsfreien Stromversorgung.

MP_{IT2}: Messpunkt Informationstechnik 2: elektrischer Energiebedarf zur Versorgung des IKT-Systems.

Für die Anwendung des PUE-Wertes vor allem beim Vergleich verschiedener RZ ist folgendes zu berücksichtigen:

- Der PUE ist abhängig von verschiedenen externen Einflussfaktoren wie z.B. geographische Lage des RZ, Verfügbarkeitsanforderungen, Größe, Ausbaustufe und Auslastung des RZ und Betriebsweise der IT.
- Der PUE macht keine Aussage über die (Energie-)Effizienz der IT-Hardware.
- Wenn neben Strom auch anderen Energieformen für den RZ-Betrieb eingesetzt werden (z.B. Wärme zum Antrieb von Sorptionskältemaschinen), dann müssen diese Energieformen über entsprechende Gewichtungsfaktoren bewertet werden.
- Jede Änderung des IT-Load (Strombedarf) verändert auch den PUE-Wert. Ein erhöhter Strombedarf für die IT bedeutet automatisch einen besseren PUE-Wert ohne dass die Effizienz der RZ-Infrastruktur verbessert wurde.

Wichtig: PUE-Werte sollten nur in Verbindung mit den Angaben zu Messgenauigkeit (PUE Level 1–3), RZ-Verfügbarkeit (Redundanzkonzept), RZ-Betriebszweck, RZ-Ausbaustufe/-Auslastung, geographische Lage (Standort) und RZ-Größe (z.B. Anzahl IT-Komponenten) dargestellt werden. In der Praxis ist dies oft nicht der Fall, sodass für den Vergleich von Rechenzentren eine gewisse Unschärfe besteht. Zudem müssen gleiche Zeiträume der Messung des Energiebedarfes für einen Vergleich von Rechenzentren herangezogen werden, da der PUE u.a. vom Jahrestemperaturverlauf abhängig ist.¹¹

Ergebnis: Der PUE kann eine gute Kennzahl für die Bewertung der Energieeffizienz der RZ-Infrastruktur sein, wenn sichergestellt wird, dass im RZ auch energieeffiziente IT-Hardware eingesetzt und entsprechend betrieben wird.

Literaturquellen: The Green Grid, PUE™:

A COMPREHENSIVE EXAMINATION OF THE METRIC, WHITE PAPER #49, 2012

RAL-UZ 161 »Blauer Engel für energieeffizienten RZ-Betrieb«, 2015

Für das Controlling im Energiemanagement ist der PUE alleine jedoch nicht geeignet, um die Energieeffizienz eines Rechenzentrums zu beurteilen. In den PUE gehen alle Gruppen von Infrastrukturkomponenten gleichermaßen ein, sodass sich gegenläufige Änderungen nicht trennen lassen. Die partiellen PUE (pPUE) und der EER haben sich als tragfähige KPIs erwiesen (s.a. Kap. 2.2.3–2.2.6). Sie sind wie folgt definiert:

$$pPUE_{\text{Elektro}} = \frac{(\text{Energieverbrauch IT} + \text{Energieverbrauch Elektroversorgung})}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

¹¹ www.bitkom.org/files/documents/Leitfaden_PUE_Messung.pdf

$$pPUE_{\text{Klima}} = \frac{(\text{Energieverbrauch IT} + \text{Energieverbrauch Klimatisierung})}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

$$pPUE_{\text{Kühlung}} = \frac{(\text{Energieverbrauch IT} + \text{Energieverbrauch Kühlung})}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

$$EER = \frac{\text{abgeführte Wärme}}{\text{Energieverbrauch der Kühlung}}$$

Die partiellen PUEs und der EER sind erheblich sensibler gegen Änderungen in ihrer Gruppe von Infrastrukturkomponenten. Die pPUE sind wie der PUE darüber hinaus auf einen sich ändernden IT-Energieverbrauch normiert.

Aus den KPI können im Controlling folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist der Verlauf des KPI kontinuierlich? Sprunghafte Änderungen sollten nicht vorkommen, wenn keine Maßnahmen ergriffen wurden.
- Ist der Einfluss der Witterung nachvollziehbar? Für Rechenzentren mit freier Kühlung besteht eine starke Abhängigkeit des $pPUE_{\text{Kühlung}}$ und des EER an der Schwelle zur kompressorbasierten Kühlung, andere KPI sollten dagegen weniger von der Außentemperatur abhängen.
- Gibt es Fehler in der Datenerfassung? Weist der Verlauf der KPI Ungereimtheiten auf, ist nicht selten ein Fehler in der Datenerfassung die Ursache. Auch Fehler in der Dokumentation des Monitoring können dazu führen, dass Verbräuche im Accounting falsch zugeordnet wurden.

Vorrangiges Ziel des Controllings ist es, ein Verständnis für die Energieverbräuche zu entwickeln.

In den ersten drei Schritten des Energiemanagements (Monitoring, Accounting, Controlling) wurden noch keine Maßnahmen ergriffen, die Energieeffizienz des Rechenzentrums zu verbessern. Diese Schritte dienten dazu, die notwendigen Werkzeuge bereitzustellen, anhand derer Maßnahmen sinnvoll ergriffen und ihre Wirksamkeit nachgewiesen werden können. Vor der Umsetzung erster Maßnahmen sollte zudem eine Historie von Daten erfasst werden, die den Ausgangszustand ausreichend dokumentiert. Als Faustregel sollte ein minimaler Zeitraum von drei Monaten eingehalten werden.

2.1.5 Management

Aus den Daten des Controllings und den KPI können die Einsparpotenziale abgeleitet werden. Aufgrund des Planungs- und Implementierungsprozesses von Rechenzentren stellt der Teillast-Bereich für den Betrieb die größte Herausforderung dar. Die meisten Infrastrukturkomponenten im Rechenzentrum haben eine sehr gute Energieeffizienz bei höherer Auslastung, die sich jedoch mit sinkender Auslastung verschlechtert. In vielen Rechenzentren mit Doppelboden-Klimatisierung stellt der Energieverbrauch der Klimageräte einen Ansatzpunkt dar. Wird die Klimatisierung optimiert, kann oft auch die Kühlung energieeffizienter eingestellt werden. Die

Elektroversorgung kann dagegen häufig nur bei einer entsprechenden Modularisierung optimiert werden.

Die meisten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz stellen Änderungen an den Infrastrukturkomponenten dar, die prozessual als Changes behandelt werden sollten¹². Für das Energiemanagement sind folgende Punkte zu beachten:

- Welche KPI sollen zum Nachweis der Wirksamkeit genutzt werden?
- Liegen für diese KPI genügend historische Daten vor?
- Sind unmittelbar vor oder nach der Änderung weitere Änderungen geplant, die den Nachweis der Wirksamkeit erschweren oder gar verhindern?
- Muss das Messintervall für die betroffenen Zähler verkürzt werden, um die Wirksamkeit sicher nachweisen zu können?

Die Wirksamkeit einer Maßnahme wird ausgewertet, indem die Veränderung der ausgewählten KPI vor und nach der Maßnahme betrachtet wird. Beim PUE und den pPUE stellt eine Verringerung des Wertes eine Steigerung der Energieeffizienz dar, beim EER dagegen ein Ansteigen des Wertes.

2.1.6 Energiemanagementsystem

Vergleicht man den bisher beschriebenen Prozess mit den Anforderungen an ein Energiemanagementsystem, so müssen folgende zusätzliche Aspekte berücksichtigt werden:

- Definition einer Energiepolitik und Aufmerksamkeit des Managements
- Erstellung und Management von Dokumenten zum Energiemanagement
- Einführung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses

Für Unternehmen, die bereits ein Energiemanagementsystem aufgebaut haben und dieses nun auf ihr Rechenzentrum erweitern wollen, mögen darin sinnvolle Aktivitäten enthalten sein.

Für die meisten Rechenzentren stellt die Formalisierung des Prozesses in einem Managementsystem nur dann einen Vorteil dar, wenn damit die erforderliche Aufmerksamkeit des Managements erreicht werden kann.

2.2 Key-Performance-Indikatoren (KPI)

Zum Zeitpunkt der Überarbeitung dieses Leitfadens wird im Rahmen der internationalen Normung das Projekt ISO / IEC 30134 durchgeführt. Es hat die Aufgabe, KPI zur Ressourceneffizienz von Rechenzentren zu definieren. Dabei werden sowohl bereits bekannte KPI wie der PUE in eine Norm überführt, als auch neue KPI entwickelt. Die Veröffentlichung der ersten Teile wird für Ende 2015 erwartet, die gesamte Serie wird im Verlaufe der kommenden Jahre veröffentlicht.

12 Bitkom Leitfaden: Prozesse und KPI für Rechenzentren, www.bitkom.org/de/publikationen/38337_73901.aspx

Abbildung 5 zeigt die Serie mit ihren Teilen, von denen einige noch keine Nummer erhalten haben.

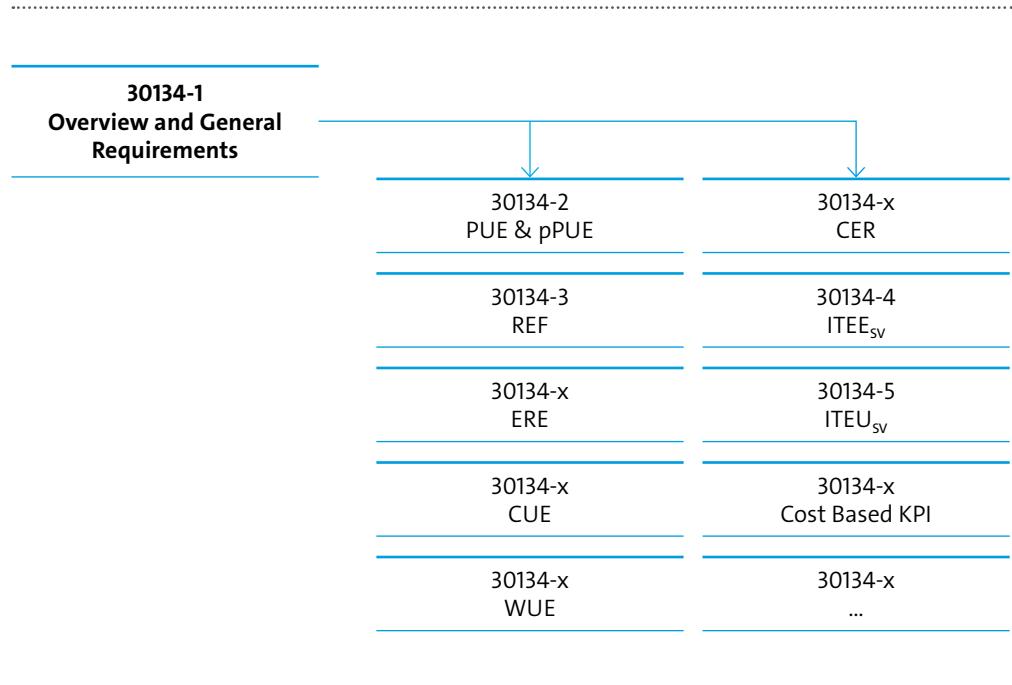


Abbildung 5: ISO/IEC 30134 Series of Standards

Obwohl der Standard ISO/IEC 30134 also noch in Arbeit und nicht öffentlich verfügbar ist, wird erwartet, dass sich dessen Inhalte als neuer Standard rasch durchsetzen werden. Da einige Mitglieder des Arbeitskreises Rechenzentrum des Bitkom intensiv an dem Projekt mitarbeiten, sollen in diesem Leitfaden bereits die zu erwartenden Ergebnisse dargestellt werden.

2.2.1 Übersicht

Ein frühes Ergebnis des Projektes ist eine Strukturierung der KPI bezüglich der Nutzung (usage) von Ressourcen, deren Werte am Eingang des Rechenzentrums gemessen werden, und der Wiederverwendung (reuse) von Ressourcen, deren Werte am Ausgang des Rechenzentrums gemessen werden (s. Tabelle 2). Dieses Vorgehen ist eng mit dem Konzept der Data Centre Boundaries verbunden (s. Kapitel 2.2.1.1).

Tabelle 2: Struktur der KPI der ISO 30134

Art der Ressource	Effektivität der Nutzung (Eingang) KPI	Effektivität der Nutzung (Eingang) KPI
Energie	Power Usage Effectiveness	Energy Reuse Effectiveness
Wasser	Water Usage Effectiveness	Water Reuse KPI
Andere		

Tabelle 3: Überblick über alle geplanten KPI und deren Zweck

KPI	Name	Zweck
Part 1	Overview and General Requirements	Kriterien für gute KPI, Criteria Checker, Konzept der »Data Centre Boundaries« und der der »Data Centre Sub-Systems«
PUE, pPUE	(partial) Power Usage Effectiveness	Energieeffizienz bezogen auf IT Energieverbrauch
ERE	Energy Reuse Effectiveness	Berücksichtigung von Energierückgewinnung
REF	Renewable Energy Factor	Berücksichtigung erneuerbarer Energien
CUE	Carbon Usage Effectiveness	Effizienz bezogen auf CO ₂ Erzeugung
WUE	Water Usage Effectiveness	Effizienz der Nutzung von Wasser
CER	Cooling Efficiency Ratio	Effizienz der Kühlung und anderer Sub-Systeme
ITEE_{sv}	IT Equipment Energy Efficiency for Servers	Energieeffizienz von Servern
ITEU_{sv}	IT Equipment Utilization for Servers	Nutzungsgrad von Servern
?	Cost Based KPI	Kosten-Effizienz bezogen auf IT Energieverbrauch

In der ISO 30134-1 werden grundlegende Eigenschaften beschrieben, die von den KPI der Serie erwartet werden. Dazu wurden Kriterien entwickelt, anhand derer KPI-Kandidaten beurteilt und für die Serie zugelassen werden.

Weiterhin werden in der ISO 30134-1 zwei Konzepte beschrieben, die sich aus dem Aufgabenbereich der ISO 30134 ergeben, nämlich die Beschränkung auf das Rechenzentrum. Diese Konzepte werden in den nachfolgenden beiden Abschnitten vorgestellt.

2.2.1.1 Konzept »Data Centre Boundaries«

Dieses Konzept beschreibt, dass für die Beurteilung der Ressourceneffizienz eines Rechenzentrums nur diejenigen Vorgänge zu betrachten sind, die innerhalb der Grenzen des Rechenzentrums stattfinden. Dazu werden alle Ressourcen am Eingang des Rechenzentrums erfasst

und gemessen. Findet eine Wiederverwendung von Ressourcen statt, so müssen diese am Ausgang des Rechenzentrums gemessen werden (s. Abbildung 6).

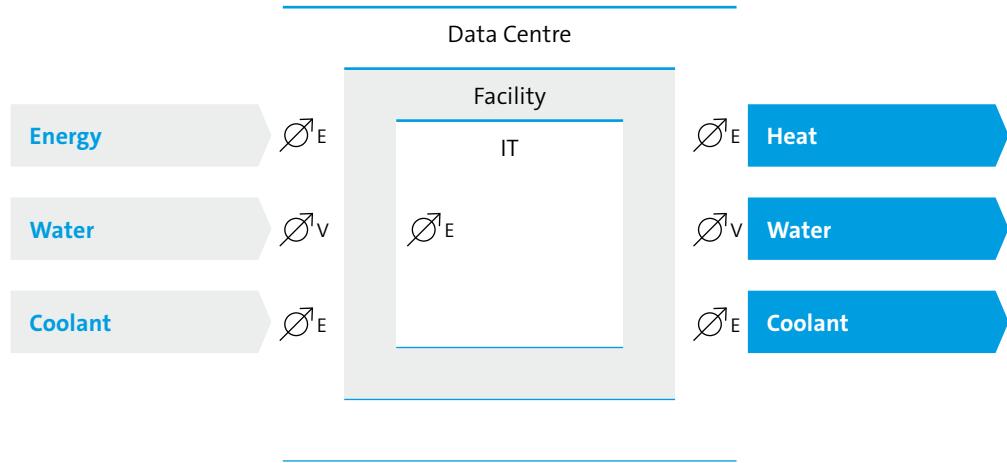


Abbildung 6: Konzept der Data Centre Boundaries

Das Konzept bedeutet inhaltlich, dass die tatsächliche Effizienz der Erzeugung oder der Wiederverwendung von Ressourcen nicht in die KPI eingeht. Stattdessen werden alle nicht-elektrischen Ressourcen nach einem einheitlichen Schlüssel umgerechnet (s. Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren für nicht-elektrische Energie).

Standard Umrechnungsfaktoren für nicht-elektrische Energie

Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren für nicht-elektrische Energie

Energietyp	Umrechnungsfaktor
Kaltwasser (aus Zuleitung)	0.4
Heißwasser (aus Zuleitung)	0.4
Dampf (aus Zuleitung)	0.4
Brennstoff (für Brennstoffzellen)	0.35

Für den Einsatz von Blockheizkraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärme oder Kälte bedeutet dies zum Beispiel, dass die Effizienz des Blockheizkraftwerks nicht in die KPI des Rechenzentrums eingehen, sondern die Umrechnungsfaktoren genutzt werden. Die Effizienz einer Energieerzeugung oder einer Wiederverwendung soll mit den zugehörigen KPI für diese Prozesse beurteilt werden und nicht mit KPI für Rechenzentren.

2.2.1.2 Konzept »Data Centre Sub-systems«

Aus den KPI, die zur Beurteilung der Ressourceneffizienz des gesamten Rechenzentrums eingesetzt werden, lässt sich im Energiemanagement-Prozess keine Analyse für das Einsparpotenzial durchführen (s. Kap. 2.1.4). Hierzu muss das Rechenzentrum granularer betrachtet werden.

Das Konzept der Data Centre Sub-systems unterteilt das Rechenzentrum in technisch logische Bereiche, deren Energieeffizienz betrachtet, analysiert und optimiert werden sollen (s. Abbildung 7: Konzept der Data Centre Sub-systems). Die Einteilung in Subsysteme ist dabei nicht starr vorgegeben, sondern muss sich am Design der Infrastruktur orientieren. Es ist auch legitim, die Einteilung anzupassen, wenn dies für eine Analyse im Rahmen des Prozesses notwendig erscheint, z. B. um vormals zusammengefasste Verbraucher einzeln betrachten zu können.

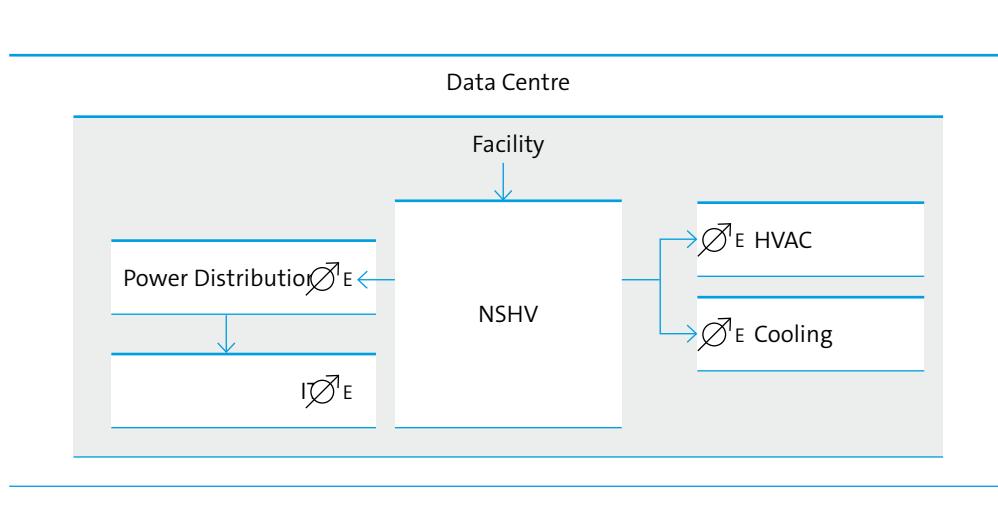


Abbildung 7: Konzept der Data Centre Sub-systems

2.2.2 Power Usage Effectiveness (PUE)

Der PUE ist ein KPI, um die Energieeffizienz des gesamten Rechenzentrums zu bestimmen. Er ist definiert als:

$$PUE = \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch RZ}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Er ist immer größer als 1 und gibt an, in welchem Verhältnis zum Energieverbrauch der IT der Mehrverbrauch der RZ-Infrastrukturkomponenten steht. Ein Rechenzentrum mit niedrigerem PUE ist also energieeffizienter, weil es einen geringeren Mehrverbrauch hat. Der PUE ist von der Außentemperatur abhängig, da die Effizienz der Kühlung ebenfalls von der Außentemperatur abhängig ist.

Der PUE wird in drei Kategorien gemessen, die sich in der Messung des Energieverbrauchs der IT unterscheiden. Die korrekte Vorgehensweise zur Messung des PUE ist im Whitepaper »Wie messe ich den PUE richtig?« ausführlich beschrieben.¹³

In den PUE gehen auch alle anderen Verluste der Infrastruktur, wie die USV-Verluste und der Energieverbrauch der Kühlung ein. Änderungen an der Klimatisierung haben daher nur einen Teileffekt auf den PUE, sodass dieser eher ein indirekter KPI für das Air Flow Management ist.

Viele Rechenzentren bestimmen aber inzwischen den PUE, sodass die Messinfrastruktur oft vorhanden ist.

Der PUE beruht auf dem Konzept der Data Centre Boundaries, d. h. es sind alle Energiemengen und -formen am Eingang des Rechenzentrums zu erfassen und zu berücksichtigen. Für alle PUE-Werte ist der Betrachtungszeitraum ein vollständiges Jahr.

2.2.3 Der partielle PUE

2.2.3.1 Partieller PUE der Elektroversorgung

Der partielle PUE ($p\text{PUE}_{\text{Sub}}$ -system) betrachtet den Anteil eines Teilsystems der RZ-Infrastruktur am PUE. Es gibt daher je einen pPUE für Elektroversorgung, Klimatisierung und Kühlung eines Rechenzentrums.

Der $p\text{PUE}_{\text{Elektro}}$ ist definiert als:

$$p\text{PUE}_{\text{Elektro}} = \frac{\text{(Energieverbrauch IT} + \text{Energieverbrauch Elektroversorgung)}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Der pPUE ist immer größer als 1 und kleiner als der PUE. Beträgt der PUE eines Rechenzentrums z. B. 1,8 und der pPUE der Elektroversorgung 1,3, so bedeutet dies, dass die Elektroversorgung mit 0,3 zum Mehrverbrauch der Infrastrukturkomponenten beiträgt, der insgesamt 0,8 beträgt.

Um den $p\text{PUE}_{\text{Elektro}}$ bestimmen zu können, muss man neben dem Energieverbrauch der IT die USV Verluste und die Verluste der elektrischen Verteilung messen.

¹³ www.bitkom.org/files/documents/Leitfaden_PUE_Messung.pdf

2.2.3.2 Partieller PUE der Klimatisierung

Der pPUE_{Klima} ist definiert als:

$$pPUE_{Klima} = \frac{(Energieverbrauch IT + Energieverbrauch Klimatisierung)}{Energieverbrauch der IT}$$

Um den pPUE_{Klima} bestimmen zu können, muss man neben dem Energieverbrauch der IT des betrachteten Serverraums den Energieverbrauch der Klimageräte messen. Sind die Klimageräte an einem eigenen Abgang der Unterverteilung angeschlossen, so können sie mit einem eigenen Zähler gemessen werden. Sind weitere Verbraucher im Serverraum mit angeschlossen, wie z.B. Beleuchtung, Sicherheitseinrichtungen wie Kameras etc. oder Brandschutzeinrichtungen, so wird ein etwas zu hoher pPUE bestimmt. Zum Nachweis des Effektes von Maßnahmen in der Luftführung (Air Flow Management) sollte der pPUE_{Klima} trotzdem geeignet sein.

Der pPUE_{Klima} ist ein sehr direkter KPI für die Effizienz der Luftführung im Rechenzentrum. Er ist unempfindlich gegen Änderungen im Energieverbrauch der IT und auch gegen äußere Einflüsse wie der Außentemperatur. Er sollte je Serverraum bestimmt werden, kann aber auch für das Rechenzentrum aggregiert werden. Hierzu werden die Teilverbräuche aller Klimageräte addiert und der gesamte Energieverbrauch der IT, den man zur Bestimmung des PUE schon verwendet hat, in die Formel eingesetzt.

2.2.3.3 Partieller PUE der Kühlung

Alle Maßnahmen zur Luftführung sollen auch dazu dienen, den Energieverbrauch der Kühlung zu verringern. Der Energieverbrauch der Kühlung wird über den pPUE_{Kühlung} nachgewiesen.

Er ist analog zum pPUE_{Klima} definiert als:

$$pPUE_{Kühlung} = \frac{(Energieverbrauch IT + Energieverbrauch Kühlung)}{Energieverbrauch der IT}$$

Zu seiner Bestimmung muss der Energieverbrauch aller Komponenten zur Bereitstellung der Kälte, also auch Pumpen, Ventile etc. gemessen werden. Sind diese nicht über einen gemeinsamen Zähler angeschlossen, so kann der jährliche Energieverbrauch hier im ersten Schritt über die Nennleistungen mit konstanter Leistungsaufnahme abgeschätzt werden. In jedem Fall müssen aber die Kompressoren und Lüfter der Kühlung gemessen werden.

Der pPUE_{Kühlung} ist von der Außentemperatur abhängig und ändert sich mit Maßnahmen im Bereich der Luftführung weniger stark als der pPUE_{Klima}. Zudem ist die Kühlung in der Regel eine zentrale Infrastrukturkomponente, die alle Serverräume zusammen bedient. Der pPUE_{Kühlung} ist daher ein sehr indirekter KPI. Trotzdem sollte er zu Zeitpunkten von Änderungen betrachtet werden, um die gesamten Effekte von Maßnahmen im Bereich der Luftführung bestimmen zu können.

2.2.3.4 Generische Anwendung des pPUE auf RZ Sub-Systeme

Die KPI des pPUE nutzen das Konzept der Data Centre Sub-systems. Für ein Rechenzentrum, dessen Sub-Systeme sich nicht anhand der »klassischen« Grenzen Elektro, Klima und Kühlung definieren lassen, kann das Prinzip des pPUE auf jedes Sub-System wie folgt angewendet werden:

$$pPUE_{Sub} = \frac{(Energieverbrauch IT + Energieverbrauch Sub-System)}{Energieverbrauch der IT}$$

Zur Beurteilung des Wertes müssen die Einflussparameter für das Sub-System analysiert werden.

2.2.4 Energy Reuse Efficiency (ERE)

Die Wiederverwendung der im Rechenzentrum erzeugten Wärme ist ein sehr sinnvolles Vorgehen. Auch wenn die Effizienz des Rechenzentrums dadurch nicht verbessert wird, können durch die Wiederverwendung insgesamt Ressourcen eingespart werden. Die Anrechnung der Wiederverwendung ist im PUE nicht erlaubt, daher wurde der KPI ERE wie folgt definiert:

$$ERE = \frac{(Gesamtenergieverbrauch des RZ - zurückgewonnene Energie)}{Energieverbrauch der IT}$$

Der ERE stellt also eine Erweiterung des PUE in der Gestalt dar, dass vom Gesamtenergieverbrauch die wiederverwendete Energie abgezogen wird. Für den Wertebereich des ERE gilt daher, dass er zwischen 0 (vollständige Rückgewinnung) und dem PUE (keine Rückgewinnung) liegt:

$$0 \leq ERE \leq PUE$$

Der ERE nutzt das Konzept der Data Centre Boundaries, d. h. für seine korrekte Anwendung müssen alle eingehenden und alle ausgehenden Energien gemessen werden.

Neben dem ERE kann auch der Energy Reuse Factor genutzt werden, der ausdrückt, welcher Anteil des Gesamtenergieverbrauchs zurückgewonnen wurde:

$$ERF = \frac{zurückgewonnene Energie}{Gesamtenergieverbrauch}$$

Der Wertebereich des ERF liegt zwischen 0 (keine Rückgewinnung) und 1 (vollständige Rückgewinnung):

$$0 \leq ERF \leq 1$$

2.2.5 Renewable Energy Factor (REF)

Der Einsatz erneuerbarer Energien¹⁴ ist ein weiteres Vorgehen, dass nicht die Energieeffizienz des Rechenzentrums direkt beurteilt, aber seine Nachhaltigkeit im gesellschaftlichen Kontext verbessert.

Der KPI zur Verwendung erneuerbarer Energien ist wie folgt definiert:

$$\text{REF} = \frac{\text{erneuerbare Energie}}{\text{Data Center Gesamtenergie}}$$

Der Faktor ist im Sinne der Data Center Boundaries auf 1 limitiert, d.h. für das Rechenzentrum können nicht mehr erneuerbare Energien angerechnet werden, als das Rechenzentrum an Gesamtenergie benötigt hat.

$$\text{REF} = 1 \text{ (if } E_r > E_{CD})$$

Als erneuerbare Energie wird im REF die Menge anerkannt, für die der Rechenzentrumsbetreiber das Nutzungsrecht im Sinne der Renewable Energy Certificates¹⁵ hat. Es spielt also keine Rolle, ob die erneuerbare Energie im Rechenzentrum selbst erzeugt oder von einem Lieferanten bezogen wurde. Der Erwerb von Zertifikaten ist der Eigenerzeugung gleichgestellt.

2.2.6 Energy Efficiency Ratio (EER) und Coefficient of Performance (COP)

2.2.6.1 Energy Efficiency Ratio (EER)

Eine anderer Kennwert zur Bestimmung der Energieeffizienz der Kühlung ist der EER (Energy Efficiency Ratio). Er ist als das Verhältnis aus abgeführter Wärme (kWhth) zu eingesetzter elektrischer Energie (kWhel) definiert:

$$\text{EER} = \frac{\text{abgeführte Gesamtwärmemenge}}{\text{elektrischer Energieverbrauch der Kühlung}}$$

Für eine rein Kompressor-basierte Kühlung liegen typische Werte zwischen 2 und 3, für eine freie Kühlung deutlich darüber. In Deutschland ist auch der Begriff Jahresarbeitszahl üblich, allerdings ist darauf zu achten, dass es sich um tatsächlich gemessene Werte handeln muss und nicht um Maschinenkennzahlen aus dem Labor.

¹⁴ Die Definition von erneuerbaren Energien erfolgt dabei in der ISO 30134-3 mit Bezug auf den Entwurf eines internationalen Standard: ISO/IEC DIS 13273-1 3.1.4.1. »energy source not depleted by extraction and naturally replenished at a rate faster than it is extracted«.

¹⁵ Für eine Übersicht siehe http://de.wikipedia.org/wiki/Renewable_Energy_Certificate_System und http://www.aib-net.org/portal/page/portal/AIB_HOME/EECS

Der EER nutzt das Konzept der Data Center Sub-Systems, verwendet aber im Vergleich zum pPUE nicht mehr den Energieverbrauch der IT als Bezugspunkt, sondern den Eigenverbrauch des Subsystems. Mit steigender Energieeffizienz des Rechenzentrums nähern sich die pPUE immer mehr der 1 an und sind als KPI zum Nachweis von Optimierungen schlechter geeignet. Die Werte für den EER steigen mit zunehmender Energieeffizienz an und sind daher auch für Rechenzentren gut geeignet, die schon eine hohe Effizienz im Bereich der Kühlung erreicht haben.

Für den EER ist wie bei den PUE-Werten der Betrachtungszeitraum ein ganzes Jahr. Für den Nachweis des Effektes von Änderungen können EER-Werte aber auch über kürzere Zeiträume bestimmt werden.

2.2.6.2 Coefficient of Performance (COP)

Betrachtet man sehr kurze Zeiträume für EER-Werte, so gelangt man zum COP, der wie folgt definiert ist:

$$COP = \frac{\text{Wärmelast}}{\text{elektrische Leistung der Kühlung}}$$

Dieser Wert ist als Maschinenkennzahl bekannt, die vom Hersteller aber unter definierten Umgebungsbedingungen und bei vorgegebener Last ermittelt wird. Der reale COP für die Kühlung im Rechenzentrum kann aufgrund des Teillast-Verhaltens und realer Außentemperaturen von diesem Herstellerangaben stark abweichen.

2.2.6.3 Generische Anwendung des EER auf RZ-Subsysteme

Das Prinzip des EER lässt sich auch auf die anderen Subsysteme des Rechenzentrums anwenden, sodass KPI zur Verfügung stehen, die sich bei zunehmender Energieeffizienz des Rechenzentrums weiter sinnvoll nutzen lassen.

Air handling efficiency ratio (AHER):

$$AHER = \frac{\text{von Klimageräten abgeführte Gesamtwärmemenge}}{\text{elektrischer Energieverbrauch der Klimageräte}}$$

Power distribution efficiency ratio (PDER):

$$PDER = \frac{\text{von der elektrischen Verteilung bereitgestellte elektrische Energie}}{\text{von der elektrischen Verteilung benötigte Energie (Verluste)}}$$

Oder im Falle von USV-Anlagen als Hauptverursacher von elektrischen Verlusten:

$$PDER = \frac{\text{Energieverbrauch IT}}{\text{USV Verlust}}$$

Wie bei den partiellen PUE lässt sich auch das Prinzip des EER generisch auf Sub-Systeme anwenden, die nicht einer klassischen Einteilung des Rechenzentrums folgen:

$$\text{SubER} = \frac{\text{vom SUB-System abgeführte Gesamtwärmemenge}}{\text{elektrischer Energieverbrauch des Sub-Systems}}$$

2.2.7 Water Usage Effectiveness (WUE)

Der Einsatz von Wasser zur Optimierung der Kühlung wird seit einigen Jahren zunehmend angewendet, entweder zur direkten oder indirekten wassergebundenen Kühlung, oder in adiabatischen Systemen, die Verdunstung zur Erzeugung von Kälte nutzen. Da Wasser eine wertvolle Ressource ist, soll dessen Nutzung mit einem eigenen KPI erfasst werden:

$$WUE = \frac{\text{genutzte Wassermenge}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Der Kennwert WUE wird in der folgenden Einheit gemessen:

$$[WUE] = \frac{\text{Liter}}{\text{kWhel}}$$

Entsprechend dem Konzept der Data Center Boundaries wird es voraussichtlich einen weiteren KPI für die Wiederverwendung von Wasser geben, für den aber noch kein Name und keine Abkürzung festgelegt wurden. Der Logik von PUE und ERE folgend kann man folgende Definition für einen KPI Water Reuse Effectiveness erwarten:

$$WRE = \frac{(\text{genutzte Wassermenge} - \text{rückgewonnene Wassermenge})}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

Für den WRE würde dann ein vergleichbarer Wertebereich in Bezug auf den WUE gelten:

$$0 \leq WRE \leq WUE$$

Rechenzentren mit einer Grundwasserkühlung, die das erwärmte Wasser vollständig versickern, würden einen WUE entsprechend ihrer Entnahme in Bezug auf den Energieverbrauch der IT angeben, und einen WRE von 1 erreichen.

2.2.8 KPI zur Betrachtung von IT Komponenten

Neben der technischen Infrastruktur von Rechenzentren geraten auch die Verursacher des Energieverbrauchs, die IT Komponenten, in den Fokus der Betrachtung der Energieeffizienz. Während der Energieverbrauch von IT Komponenten heute mit vertretbarem Aufwand gemessen werden kann, fällt es weiterhin schwer, den Nutzen messbar zu definieren.

Die ISO 30134 wird sich daher zunächst auf Server beschränken und für diese eine IT Equipment Efficiency (ITEE) definieren, die die Leistungsfähigkeit eines Servers in Bezug auf seine elektrische Leistungsaufnahme betrachtet sowie eine IT Equipment Utilization (ITEU), die den Nutzungsgang eines Servers betrachtet.

Beide Komponenten sind wichtig: die erste beschreibt, welche Rechenleistung ein Server pro eingesetztem elektrischen Watt erbringt, die zweite, ob ein effizienter Server auch entsprechend ausgelastet wird.

2.2.8.1 IT Equipment Efficiency for Servers (ITEE_{sv})

Der ITEE_{sv} soll in einer Zahl angeben, welche Rechenleistung ein Server in den verschiedenen Bereichen elektrischer Leistung zur Verfügung stellt. Das Verfahren zur Messung wird im Detail nicht festgelegt. Es können existierende Benchmark Verfahren genutzt werden, aber auch neue, die zum Zeitpunkt der Entwicklung der Norm noch nicht bekannt waren.

Derzeit ist der SPECpower ein gängiger Benchmark zur Bestimmung der Energieeffizienz von Servern. In den USA wird seit 2013 ein neuer Benchmark mit Namen SERT¹⁶ mit der dortigen Umweltbehörde EPA als Basis für das Energy Star Programm vorgeschlagen.

Der Betreiber eines Rechenzentrums wird die Freiheit haben, einen für seine Server angemessenen Benchmark auszuwählen oder gar selbst einen zu entwickeln. ITEE_{sv} wird in solchen Fällen zu einem KPI, der nur zum Nachweis der eigenen Verbesserungen (interner Benchmark) geeignet ist, nicht aber zum Vergleich von Rechenzentren untereinander (externer Benchmark).

2.2.8.2 IT Equipment Utilization for Servers (ITEU_{sv})

Die Messung der ITEU_{sv} soll ausschließlich die CPU-Nutzung eines Servers umfassen. Es wird erwartet, dass die notwendigen Werte aus dem Monitoring des IT Betriebs geliefert werden.

16 <https://www.spec.org/sert>

2.3 MSR-Technik

Ein wichtiger Schritt zur Energieeffizienz im Rechenzentrum sind Regelungssysteme für eine bedarfsgerechtere Bereitstellung von Luft zur Klimatisierung und Kälte zur Rückkühlung. Dabei gilt es zu verstehen, dass in einem Serverraum keine Präzisionsklimatisierung erforderlich ist, sondern in einem Klimamodell Spannweiten zu definieren sind, innerhalb derer sich die Parameter bewegen dürfen.

Für eine solche Regelung werden Messgrößen benötigt, die zur Steuerung geeignet sind. Es sind Infrastrukturkomponenten, die sich mit Hilfe einer MSR-Technik regeln lassen, erforderlich. Häufig wird als MSR-Technik eine Gebäudeleittechnik (GLT, oder englisch BMS – Building Management System) verwendet.

Mit Hilfe geeigneter Logik lässt sich die Steuerung der Klima- und Kältetechnik automatisieren, sodass nicht mehr fest eingestellte Parameter verwendet werden, die aus Gründen der Betriebssicherheit eher mit Reserve auf den maximalen Bedarf gewählt werden, sondern gleitende Werte von der MSR-Technik eingestellt werden, die sich der schwankenden IT-Last anpassen.

Mit der steigenden Nutzung von MSR-Technik steigt aber auch die Komplexität der Betriebsführung. Das Verhalten der verwendeten Steuergrößen muss verstanden werden, um bei Änderungen an der IT oder der Infrastruktur (Changes) die Auswirkungen richtig beurteilen zu können. Die Klima- und Kältetechniken können sich darin stark unterscheiden, sodass es für das Betriebsteam wichtig ist, die Konfiguration des eigenen Rechenzentrums genau verstanden zu haben.

2.3.1 Serverraum mit Doppelboden-Klimatisierung

Eine Klimatisierung mit Hilfe eines Doppelbodens ist heute ein gängiges und sinnvolles Design für den Serverraum (siehe 4.1.3).

2.3.1.1 Druck, Luftmenge und Temperaturregelung ohne Einhausung

Bei der heute üblichen Warm-/Kaltgangaufstellung der Rackreihen werden die Klimageräte i. d. R. auf eine Druckdifferenz geregelt, die sich zwischen dem Doppelboden und dem Raum aufbaut. Die Klimageräte regeln dabei die Drehzahl der Ventilatoren, um nicht mehr Luft zu bewegen als notwendig.

Werden die Öffnungen der Doppelbodenplatten nun verändert, passt sich die Drehzahl der Ventilatoren automatisch an und es ist sichergestellt, dass weiterhin die richtige Luftmenge bereitgestellt wird, vorausgesetzt die Anpassung der Doppelbodenplatten ist korrekt. Da diese manuell durchgeführt werden muss (es sei denn man verwendet auch automatisch gesteuerte Doppelbodenplatten), besteht hierin ein gewisses Fehlerpotenzial.

Eine Prüfung erfolgt durch Temperaturmessung an der Oberkante des Racks: diese sollte der Einlasstemperatur für die IT gemäß Klimamodell entsprechen. Ist sie höher, so wird wahrscheinlich warme Luft aus dem Warmgang in den Kaltgang gesaugt und anschließend in die IT-Komponente, die dadurch zu warme Luft erhält. Der Doppelboden muss dann weiter geöffnet werden.

Die Temperatursteuerung erfolgt auf die Ausblasttemperatur der Klimageräte, die der Kaltgang-Temperatur entspricht. Zwischen Warmgang und Kaltgang soll eine möglichst hohe Temperaturdifferenz angestrebt werden, um eine möglichst effiziente Kühlung durch die Klimageräte zu erreichen.

Bei niedriger Teillast kann die MSR-Technik nicht benötigte Klimageräte in Stand-by schalten und bei einem Ausfall eines Klimagerätes wieder hinzuschalten, um die Redundanz zu wahren.

2.3.1.2 Temperatur-Monitoring

Die detaillierte Erfassung der Temperaturverteilung und deren Visualisierung (s. Abbildung 8) bietet eine Reihe von Vorteilen. Hotspots 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.

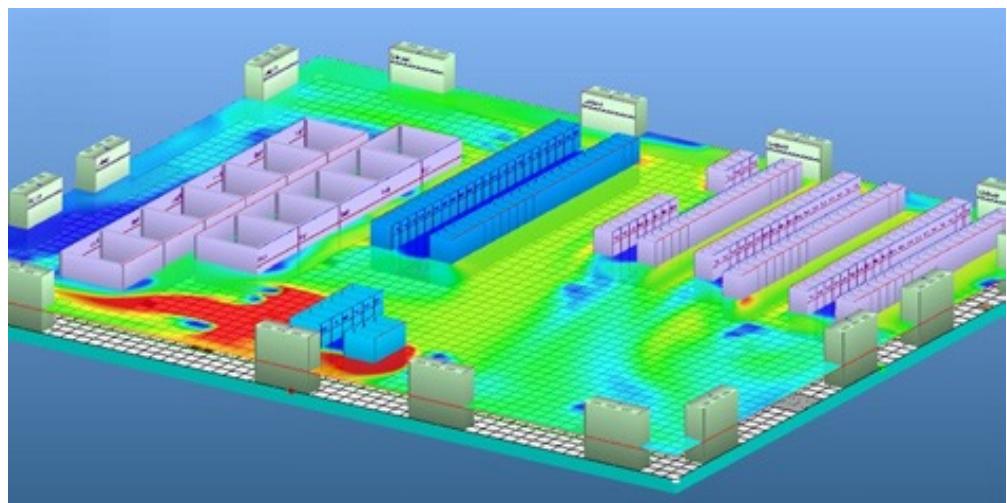


Abbildung 8: Temperaturverteilung im Rechenzentrum mit Hot Spot¹⁷

Für ein normales Monitoring ohne Visualisierung definiert die EN 50600 drei Stufen der Detailierung (Energy Efficiency Enablement Level):

17 Quelle: IBM.

- Level 1 (Basic): es werden nur die notwendigsten Daten erfasst, z. B. um KPI berechnen zu können
- Level 2 (Detailed): es werden in regelmäßigen Abständen Sensoren und Messgeräte installiert, um z. B. einen Energiemanagement Prozess zu unterstützen
- Level 3 (Granular): es werden sehr viele Sensoren und Messgeräte eingesetzt

Level 1 ist für ein Rechenzentrum mit der Zielsetzung hoher Energieeffizienz nicht ausreichend, Level 3 ist nur angebracht, wenn man aus anderen Gründen die Vielzahl von Sensoren benötigt. Für einen effektiven Energiemanagement Prozess ist Level 3 nicht erforderlich.

Für den hier zu empfehlenden Level 2 gibt die EN 50600-2-3 folgende Vorgaben für Sensoren:

1 Sensor etwa alle 5 Racks je im Kaltgang und im Warmgang für Temperatur, Feuchtigkeit und Druck. Dazu einen kombinierten Temperatur- und Feuchtigkeitssensor für die Außenluft, ein zweiter wird zur Redundanz empfohlen.

2.3.1.3 Druck, Luftmenge und Temperaturregelung mit Einhausung

Sollte zusätzlich zur Warm-/Kaltgangaufstellung auch eine Einhausung vorhanden sein, muss die Drucksteuerung der Klimageräte auf minimalen Druck zwischen Kaltgang und Warmgang eingestellt werden. Wird der Kaltgang zu sehr unter Druck gesetzt, können die Lager der Lüfter der IT-Komponenten Schaden nehmen und die Lüfter ausfallen. Trotzdem soll im Kaltgang ein ganz leichter Überdruck herrschen, damit im Zweifel ein wenig kalte Luft entweicht und nicht warme Luft eingesaugt wird.

2.3.1.4 Feuchtigkeit

Für die Feuchtigkeit sollte im Serverraum ein weiter Toleranzbereich genutzt werden, um Be- und Entfeuchtung soweit es geht zu vermeiden. Werte zwischen 20 und 80 Prozent rH stellen heute kein Risiko mehr für IT-Komponenten dar.

In vielen Serverräumen, denen nur geringe Mengen Frischluft zugeführt wird, stellt sich im Betrieb ein fester Wert, z.B. 30 Prozent rH für die Zuluft ein. Die Regelung sollte dann mit mindestens zehn Prozent Abstand zu diesem Wert eingestellt werden.

Eine weite Spreizung der Werte vermeidet insbesondere das gleichzeitige Befeuchten und Entfeuchten durch ein anderes Klimagerät. Ein derartiger Betriebszustand stellt eine enorme Verschwendug von Energie dar, wird aber auch heute noch gelegentlich in Serverräumen vorgefunden, bei denen eine Präzisionsklimatisierung eingesetzt wird.

2.3.2 Serverraum ohne Doppelboden-Klimatisierung

Aus Sicht der MSR-Technik wird nun nicht mehr ein ganzer Raum geregelt, sondern die jeweilige Einheit – ein oder mehrere Racks.

2.3.3 Mehrstufige Kühlketten

Werden DX-Klimageräte eingesetzt, so stellen diese Klimatisierung und Rückkühlung in einem Gerät bereit. In vielen Rechenzentren wird aber in den Klimageräten die Wärme in ein Kühlmedium (in der Regel Wasser) überführt, um dann effizient über Freikühler oder einen luftgekühlten Kälteprozess an die Außenluft abgegeben zu werden.

Damit die freie Kühlung möglichst große Zeitspannen im Jahr genutzt werden kann, muss die untere bereitzustellende Temperatur möglichst hoch sein. Bei modernen IT-Komponenten kann die Einlasstemperatur 23 – 25 °C betragen.

In mehrstufigen Kühlketten, wie sie die Übertragung der Wärme aus der Luft in Wasser in den Klimageräte, der Transport des Wasser zu Rückkühlern und die Kühlung des Wasser in der Außenluft darstellt, kommt es nun darauf an, die ursprüngliche Temperaturdifferenz möglichst gut zu erhalten. Dazu muss der Volumenstrom aller eingesetzten Medien so gesteuert werden, dass die Wärme sicher abgeführt werden kann, aber kein unnötiger Volumenstrom die Temperaturdifferenz herabsetzt.

Für die MSR-Technik bedeutet dies, dass die Temperaturdifferenz entlang der Kühlkette gemessen werden muss, um Einsparpotenzial ermitteln zu können.

2.3.4 Energie-Monitoring

Analog zum Temperatur-Monitoring wird für den Energiemanagement-Prozess ein Monitoring der Energieverbräuche benötigt. Auch hier wird der Level 2 (detailed) der EN 50600 empfohlen (s. Kap. 2.3.1.2).

In EN 50600-2-3 wird dazu gefordert, mindestens jeden Abgang der Hauptverteilung zu messen. Dazu sind alle Hauptversorgungen für IT-Komponenten zu messen. Im Falle einer USV-Absicherung sind dies die Abgänge der USV-Anlagen, falls IT-Komponenten ohne USV verbunden sind, müssen die entsprechenden Unterverteilungen gemessen werden. Die Umsetzung des Level 2 ermöglicht die Bestimmung der partiellen PUE (s. Kap. 2.2.3).

Neben dem Energieverbrauch sind für die Betriebssicherheit die Leistungsspitzen an den gleichen Stellen zu messen, wie der Energieverbrauch.

2.4 Data Center Infrastructure Management

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass in einem modernen Rechenzentrum viele Daten anfallen können, dass daraus unterschiedliche KPI berechnet werden können, dass MSR-Technik und Automation die Komplexität in Rechenzentren steigern kann und dass sich daraus neue Anforderungen an den Betrieb von Rechenzentren ergeben.

In diesem Kontext sind Software-Lösungen entwickelt worden, die unter dem Sammelbegriff Data Center Infrastructure Management (DCIM) vermarktet werden. DCIM ist kein scharf definierter Begriff: Abbildung 9 zeigt, was DCIM sein kann oder nicht sein kann als »Wolke«, sowie das bereits existierende Umfeld von DCIM Systemen.

Im blauen Kern finden wir Module, die einige, aber nicht alle Hersteller von DCIM-Systemen anbieten. In der grünen, erweiterten Wolke finden wir Dinge, die heute zu weiten Teilen schon im Rechenzentrum vorhanden sind, und für die sich die Frage stellt: Sollen sie weiter parallel betrieben werden, ersetzt oder integriert werden? In der lila Ebene der Wolke finden wir Überschneidungen mit der IT, in der Tools und Prozesse bereits eine weite Verbreitung haben, und in der roten Ebene Management-Funktionen, obwohl Prozesse im Rechenzentrum und das Data Center Management noch fast ganz am Anfang stehen.

Aus dieser Unsicherheit, was DCIM eigentlich ist, wie man es nutzbringend einsetzt, und ob es die Investitions- und Pflegekosten wirklich wert ist, folgt eine gewisse Zurückhaltung der Betreiber bei der Beschaffung und Implementierung von DCIM-Systemen. Es bedarf einer gewissen Zeit der Beschäftigung mit DCIM, um die eigenen Anforderungen zu entwickeln und zu verstehen, um überhaupt in einen Auswahlprozess gehen zu können. Zudem gibt es wenig Erfahrung hierzu im Markt, sodass auch die Unterstützung durch Berater noch nicht einfach zu erreichen ist.

In den nachfolgenden Abschnitten sollen die vier Kernfunktionen von DCIM kurz dargestellt werden.

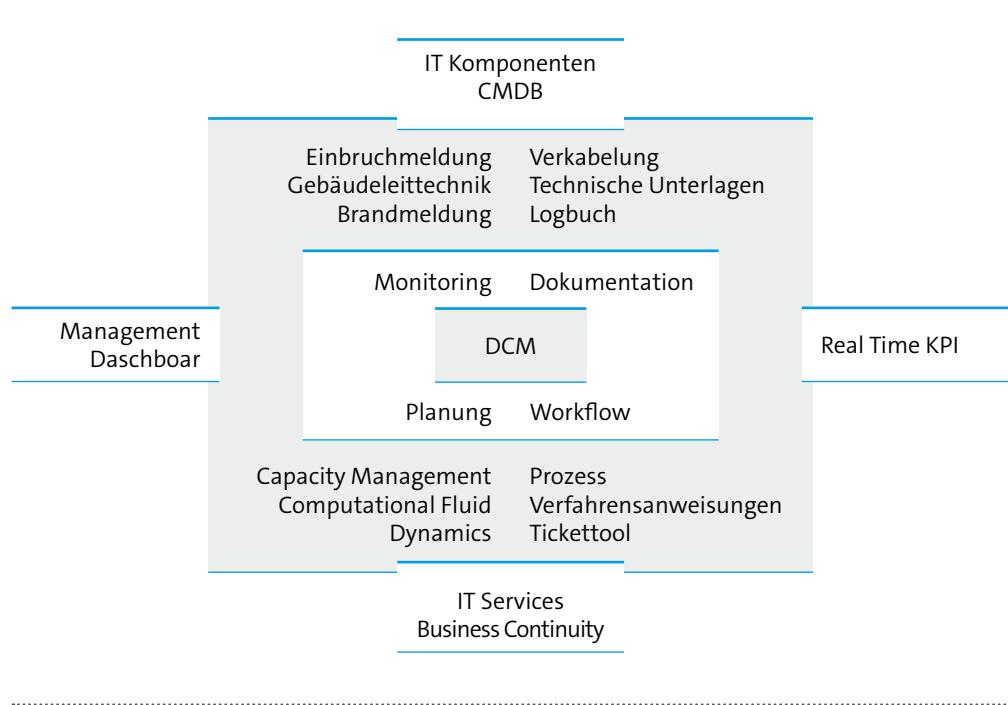


Abbildung 9: DCIM und umgebende Systeme als Wolke

2.4.1 Monitoring

Ein Monitoring aller technischen Infrastrukturkomponenten erfolgt in den meisten Rechenzentren heute bereits als Basis für ein Event Management und eine automatische Alarmierung. Meist werden dazu Systeme der Gebäudeleittechnik eingesetzt, aber auch spezialisierte Systeme wie Brandmeldeanlage (BMA) und Einbruchmeldeanlage (EMA).

DCIM verfolgt den Ansatz, alle Daten des Monitorings in einer Datenbank zusammen zu führen. Hier können sie gemeinsam dargestellt und ausgewertet werden. Ein wesentlicher Punkt ist dabei die Erfassung aller Infrastrukturkomponenten, auch wenn diese über unterschiedliche Protokolle wie ModBus, BACnet, SNMP etc. kommunizieren. Einige Hersteller bieten dazu ein Discovery an, das die Infrastrukturkomponenten automatisiert erfasst.

Die verschiedenen Räume eines Rechenzentrums können im DCIM selbst angelegt werden, oder aus Planungsunterlagen wie z. B. Zeichnungen importiert werden.

Für ein Alarm-Management, das die meisten Hersteller anbieten, müssen dann Schwellwerte konfiguriert, Wege der Alarmierung und Eskalationen definiert werden.

2.4.2 Dokumentation

In Teilbereichen des Rechenzentrums, z.B. der Verkabelung, ist eine exakte Dokumentation eine wichtige Voraussetzung für einen gut organisierten Betrieb. Da in diesen Bereichen auch Schnittstellen zur IT bestehen, die ihre Dokumentation i.d.R. in einer Configuration Management Database (CMDB) führt, wird eine entsprechend hohe Qualität und Aktualität erwartet. DCIM Systeme bieten häufig Unterstützung in der Erfassung aller Komponenten eines Rechenzentrums an, auch solcher, deren Verantwortung in der IT liegt: Server, Storage, Netzwerk. Für diese Komponenten stellt sich die Frage der Tool-Integration und des Datenmanagements.

Ein DCIM-System kann auch als zentrale Ablage für alle Arten von Dokumentation dienen. Häufig führen die unterschiedlichen technischen Disziplinen (Elektrotechnik, Klimatechnik, Brandschutz und Sicherheit) eigene Dokumentationen z.B. auf Fileservern. Bei Änderungen kann es dann anspruchsvoll werden, die Aktualisierung aller relevanten Dokumente zu prüfen.

Eine möglichst vollständige Erfassung der Räume und der Infrastruktur in einer Art Modell ist zudem Voraussetzung für die nachfolgende Funktion: Planung und Simulation.

2.4.3 Planung und Simulation

Einige DCIM-Systeme bieten Unterstützung bei der Planung von Änderungen an, indem sie auf Basis der aktuell erfassten Infrastruktur Änderungen am Modell vornehmen lassen, bevor die Änderung in der realen Umgebung durchgeführt wird. So kann der Bruch von Redundanzen, Unterversorgung in der Klimatisierung oder die Entstehung von Hot Spots ermittelt und vermieden werden, indem die Änderung besser geplant wird.

Einige Systeme bieten eine Simulation des Luftflusses auf Basis einer Computational Fluid Dynamics (CFD) an. Dabei werden zu erwartende Temperatur- und Druckverteilungen vergleichbar zu Abbildung 8 berechnet, um den Anwender darin zu unterstützen, den Serverraum gleichmäßig auszulasten. Ein solches Lastmanagement, das die thermischen Auswirkungen von IT-Komponenten mit betrachtet, ist eine fortgeschrittene Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz, wenn die einfacheren Maßnahmen bereits umgesetzt wurden.

In der Simulation können zum Teil auch zu erwartende KPI-Werte, wie z.B. der PUE berechnet werden. Im laufenden Betrieb kann dann ein Abgleich des Ist-Zustandes gegen die Werte des Modells vorgenommen werden. Der Anwender kann dann ggf. schwer zu bestimmende Parameter des Modells, wie z.B. den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Wände oder den Einfluss von Widerständen auf den Luftfluss im Doppelboden, anhand der realen Daten korrigieren.

Für einen Einsatz im Capacity Management müssen die Grenzen eines solchen Modells beachtet werden. Bei Grenzbelastungen der Klimatisierung, wie sie z.B. durch ungleiche Lastverteilung in einem Serverraum entstehen können, ist wie bisher Vorsicht geboten, auch wenn die Simulation

einen stabilen Betrieb vorhersagt. Die Verantwortung bleibt beim Betreiber, nicht beim Hersteller eines DCIM-Systems.

2.4.4 Workflows

Zur Unterstützung organisatorischer Abläufe bieten einige DCIM-Systeme die Konfiguration von Workflows an. Darin kann hinterlegt werden, wie wiederkehrende Arbeiten durchzuführen sind, sodass die Betriebssicherheit nicht gefährdet wird, oder wer zu informieren ist, wenn Abweichungen vom normalen Ablauf eintreten. Weiterhin können Workflows die Zusammenarbeit mit Lieferanten verbessern, indem der Workflow die strukturierte Dokumentation durchgeführter Arbeiten erzwingt.

Grundsätzlich sind Workflows weniger eine Frage der Energieeffizienz, als der Implementierung und Unterstützung von Prozessen durch Tools.¹⁸ Ein DCIM-System ist an dieser Stelle eher ein Data Center Management Tool.

2.4.5 Fazit

Ein DCIM-System stellt eine Möglichkeit dar, die recht umfangreich werdende Datenmenge aus dem Monitoring eines Rechenzentrums strukturiert abzulegen und für Auswertungen, Prozesse und KPI nutzbar zu machen.

Ein DCIM-System hat somit nur mittelbar mit der Energieeffizienz eines Rechenzentrums zu tun, als es die notwendigen Analysen unterstützen und Maßnahmen zur Optimierung z.B. anhand von Simulationen vorab prüfen kann.

Für den Einsatz eines DCIM-Systems sollte neben den initialen Aufwänden für Lizenzen und ein Implementierungsprojekt der Pflegeaufwand beachtet werden, der notwendig ist um den geplanten Nutzen zu erzielen.

Zu guter Letzt sei erwähnt, dass ein Tool nicht die Prozesse bringt, die es unterstützen soll. In der Regel muss man sich mit den Prozessen, und wie man diese in der Organisation des RZ-Betriebs umsetzen will, vorher beschäftigen, damit das DCIM-System nach den Anforderungen des Data Center Managements konfiguriert werden kann.

¹⁸ Bitkom Leitfaden: Prozesse und KPI für Rechenzentren, www.bitkom.org/de/publikationen/38337_73901.aspx

2.5 Energy Contracting

Das Management der Kühlung und Stromversorgung stellt für manchen Rechenzentrums-Betreiber eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Eine Möglichkeit, das Unternehmen 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 Energieanlagen getätigt werden und die frei werdenden 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 Anlagen
- 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 einer Immobilie wird gegebenenfalls sogar gesteigert durch den Einsatz modernster Technologien.



3 Optimierung der IT-Hardware und Software

3 Optimierung der IT-Hardware und Software

3.1 Überblick

Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Reduzierung des Energieverbrauchs in einem Rechenzentrum liegt in der Optimierung der IT-Hardware und der IT-Software.

Jedes Watt an Leistung, das auf Seiten der IT-Komponenten gespart wird, muss nicht gekühlt werden und nicht über eine USV abgesichert werden. Demzufolge spart man durch Optimierung der IT-Hardware und -Software zweifach!

Die Maßnahmen hierzu können aus einem generellen organisatorischen Blickwinkel und aus technisch spezifischen Blickwinkeln betrachtet werden:

- Generelle organisatorische Maßnahmen:
 - Auswahl und Beschaffung der Komponenten unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs/IT-Leistung
 - Optimierung des Betriebs nach dem Energieverbrauch, energieorientierte Auslastung und Konsolidierung der Komponenten
 - Asset und LifeCycle-Management der Komponenten
- Technisch spezifische Maßnahmen:
 - Virtualisierung der physikalischen Komponenten
 - Nutzung von Energiesparmöglichkeiten bei Servern
 - Nutzung von Energiesparmöglichkeiten bei Storage-Komponenten
 - Nutzung von Energiesparmöglichkeiten bei Netzwerk-Komponenten

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die derzeit wesentlichen Maßnahmen aus beiden Blickwinkeln gegeben.

3.2 Generelle organisatorische Maßnahmen zur Optimierung der IT-Hard- und Software

3.2.1 Optimierte Auswahl- und Beschaffung der Komponenten nach dem Energieverbrauch

In der Vergangenheit spielten meist der Anschaffungspreis und die Wartungskosten einer IT-Komponente (bei gleicher IT-Leistung und Zuverlässigkeit) die wesentliche Rolle bei der Kaufentscheidung. Dabei liegen wesentliche Kostenanteile der Beschaffung und des Betriebs von IT unter der Oberfläche:

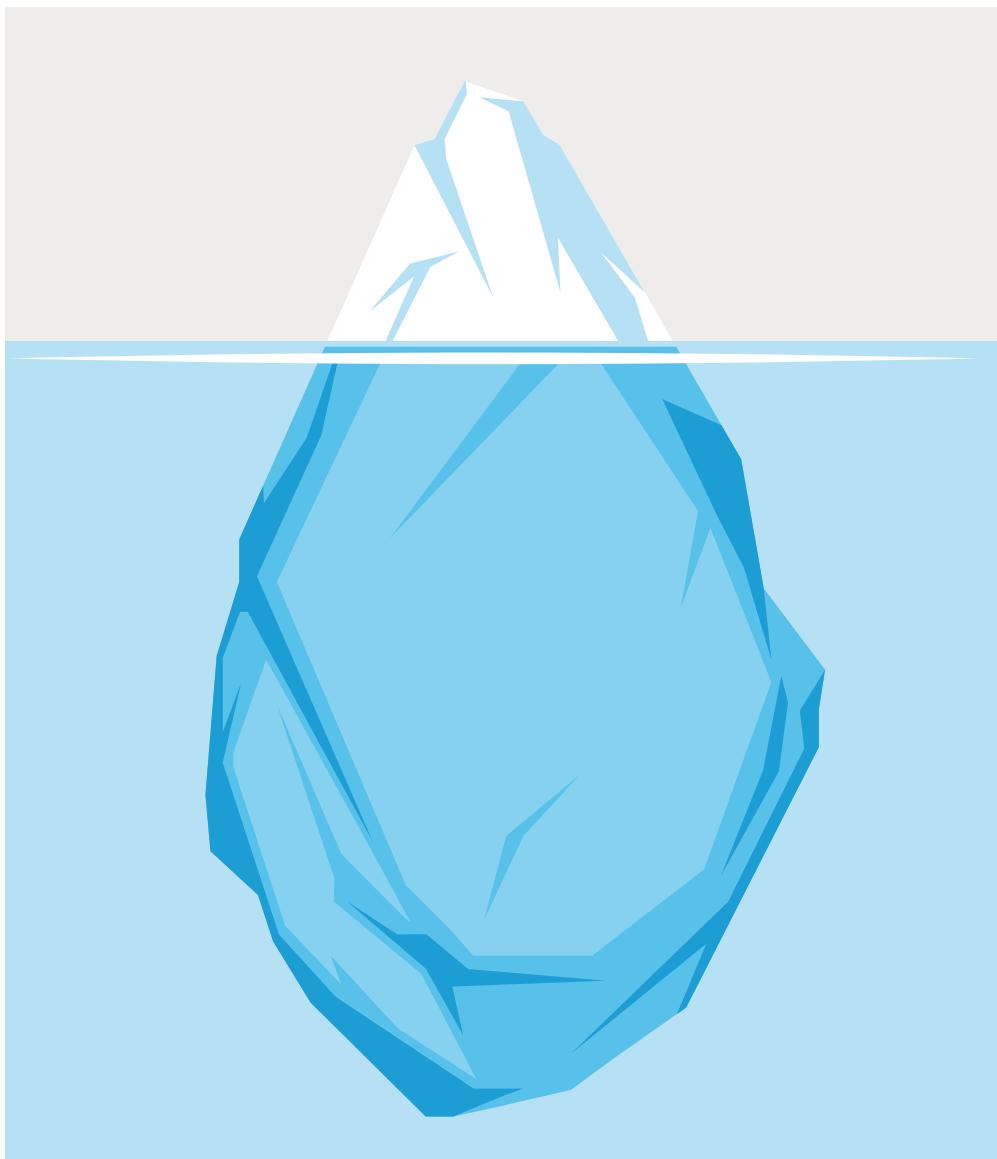


Abbildung 10: Wesentliche Kostenanteile der Beschaffung und des Betriebs von IT liegen unter der Oberfläche

Durch die gestiegenen Energieverbräuche der Systeme und Stromkosten sind mittlerweile die Energiekosten einer IT-Komponente sehr relevant. Anders ausgedrückt: Wie viel IT-Leistung bekomme ich für eine Energieeinheit, z. B. eine kWh?

In den Zertifizierungskriterien für den Blauen Engel für Energie- und ressourceneffizienten Rechenzentrumsbetrieb¹⁹ wird eine solche energiebewusste Beschaffung vorgeschrieben.

¹⁹ <https://www.blauer-engel.de/produktwelt/buro/energiebewusster-rechenzentrumbetrieb>

Anhaltspunkte dazu geben z.B.:

- Die SPECpower-Benchmarks für Server, die die Rechenleistung im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch angeben
- Die Klassifikationen des Wirkungsgrades für eingesetzte Netzteile in den IT-Komponenten (80 Plus Standard²⁰: Bronze, Silber, Gold ...)

3.2.2 Energiebewusster Betrieb, energieorientierte Auslastung und Konsolidierung der Komponenten

Was bei PCs, Laptops, Tablets, Handys u.a. bereits zum Standard gehört –

- Automatische Energiesparfunktion
 - Sleep-Modus
 - Anpassung des Energieverbrauchs an die Umgebung (Licht, Temperatur)
- ist in Rechenzentren auch möglich.

So können sich z.B. Server, Storage- und Netzwerkkomponenten bei Nicht-Nutzung (= Software ist im Wartemodus) automatisch in einen Sleep-Modus versetzen und so über 99 Prozent der Energieaufnahme während dieser Zeit einsparen.

Dies kann auch durch zeitgesteuerte Ab- und Anschaltung (z.B. während der Nacht- oder Ferienzeiten) sehr wirkungsvoll durchgeführt werden. Einsparungen über den Zyklus eines Jahres von über 60 Prozent sind realistisch.

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.

Bei der Konsolidierung wird häufig auf leistungsfähigere IT-Komponenten mit geringerem Energieverbrauch als die Summe der bisher eingesetzten einzelnen Komponenten umgestellt. Dies gilt sowohl für Hardware- wie auch für Software-Komponenten (die meist wieder eigene Hardware erfordern).

Durch die mittlerweile gegenüber den Energiekosten geringen Anschaffungs- und Abschreibungskosten amortisieren sich Konsolidierungsmaßnahmen oft in weniger als einem Jahr bei signifikanten Energieeinsparungen.

20 <http://www.plugloadsolutions.com>

3.2.3 Asset und LifeCycle-Management der Komponenten

Der zentrale Baustein einer DCIM-Software-Lösung im Rechenzentrum ist häufig das Asset-Management.

Im Asset-Management werden die Stammdaten zu Assets wie Servern, Netzwerkkomponenten, Schränken, Transfer Switchen hinterlegt, und diese mit all ihren Verbindungen erfasst und dargestellt.

Ein solches Werkzeug erleichtert den prozessorientierten und energieeffizienten Betrieb eines Rechenzentrums erheblich. Die Erst-Implementierung ist allerdings mit einen erheblichen Zeit- und Personalaufwand verbunden, bis alle Bestandsdaten sicher erfasst oder eingepflegt sind. Einmal implementiert, schlägt ein solches System unter Berücksichtigung von Energie-, Kühlung-, Raum- und Bodenlastgegebenheit optimale Einbauorte für neue Server vor. Es erleichtert auch den Rückbau von nicht mehr benötigten Leitungsverbindungen, sodass die Luftzirkulation weniger stark beeinträchtigt wird. Es erlaubt, Außerbetriebnahmen oder Kaufentscheidungen mit fundierten Daten zur Energieeffizienz von Servertypen zu untermauern. Darüber hinaus deckt es auch zu wenig oder aber gar nicht genutzte Server auf, sodass diese dekommissioniert werden können.

Generell kann ein RZ mit einer aktiv betriebenen DCIM- oder Asset-Management Lösung eine höhere Leistungsdichte haben, was energetisch sinnvoll ist. Auch können fundierte Entscheidungen über eine sichere Temperaturerhöhung der Serverzuluft erfolgen, um die benötigten Kühlungsressourcen zu reduzieren. Ein ordnungsgemäß implementiertes Asset-Management-System kann also – wenn die generierten Daten analysiert und weiterverwendet werden – einen erheblichen Beitrag zur Energieeffizienz eines Rechenzentrums liefern.

Im Prinzip ist das Asset Management eine Verwaltung der IT-Komponenten unter Betrachtung der aktuellen Nutzung. Wie bei einer Spedition nicht benutze Lkw aus dem Bestand genommen werden, geschieht dies auch für nicht mehr benötigte IT-Komponenten. Erforderlich dafür ist ein »Kümmerer«, dies kann eine Person oder ein automatisiertes System, z.B. DCIM sein.

Proaktiv und noch viel wirkungsvoller ist dagegen ein komplettes LifeCycle-Management aller Hard- und Software Komponenten, dazu gehört:

- Abhängig von unternehmensspezifischen Kriterien Festlegung und Überprüfung von Kriterien wie:
 - Nutzung/Auslastung
 - Energieverbrauch
 - Erhöhung der Leistungsdichte und Senkung des gesamten Energiebedarfs eines Rechenzentrums
 - Zeitnaher Rückbau von nicht mehr benötigten Komponenten
 - Optimierung der Luftzirkulation durch geringere Anzahl von Leitungsverbindungen

Generelle Abhilfe schafft hier die Einführung und der Betrieb eines konsequenten Asset- und Life-Cycle-Managements aller Komponenten, idealerweise durch eine DCIM-Lösung (siehe Kapitel 2.4).

3.3 Virtualisierung

Virtualisierung bedeutet 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, wodurch weniger Systeme benötigt und betrieben werden müssen.

In Abbildung 11 ist ein Beispiel für Serverkonsolidierung und Virtualisierung dargestellt. Bei gleicher Systemperformance und gleicher Verfügbarkeit kann durch den Übergang von vier 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

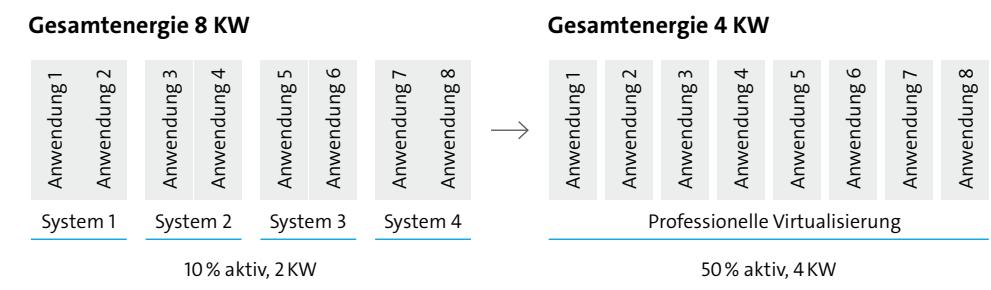


Abbildung 11: Energieeinsparung durch Konsolidierung und Virtualisierung

Virtualisierung bietet aber neben der Konsolidierung auch ein Load Balancing in einem Pool von physikalischen Servern. Intelligente Ressourcen Planungssysteme erlauben eine kontinuierliche Überwachung von genutzten Kapazitäten und Ressourcenanforderungen über verschiedenen Rechenzentren hinweg. Bei geringerer Auslastung werden virtuelle Maschinen ohne Ausfallzeiten oder Serviceunterbrechungen auf eine kleinere Anzahl von Servern verteilt. Ungenutzte Server werden dann auf Standby gesetzt. Wenn Anforderungen wieder steigen, werden die benötigten Systeme wieder gestartet, damit die vereinbarten Service Levels eingehalten werden können.

Es ist auch möglich, regelbasierte Kommissionierung und Dekommissionierung von virtuellen Systemen einzurichten. Auch diese Verfahren unterstützen eine verbesserte Auslastung im Rechenzentrum, was wiederum die Energieeffizienz des Rechenzentrums verbessert.

Die Nutzung der Virtualisierung in einem Rechenzentrum wird durch den Virtualisierungsgrad gemessen, der durch das Verhältnis von virtuellen zu physikalischen Servern bestimmt wird. So sind z.B. bei einem Virtualisierungsgrad von 2 doppelt so viele virtuelle wie physikalische Server im Einsatz. Moderne Rechenzentren erreichen mittlerweile häufig einen Virtualisierungsgrad von 8 und mehr.

Durch Servervirtualisierung konnten Unternehmen nachweisbar bis zu 80 Prozent des Energieverbrauchs der Server einsparen.

»State-of-the-Art«-Lösungen bieten inzwischen auch die Möglichkeit der Virtualisierung von Storage- und Netzwerkressourcen. Zusätzlich können kurzfristige Kapazitätsanforderungen zu Spitzenzeiten flexibel und unterbrechungsfrei in die Cloud (Private/Public/Hybrid) ausgelagert werden. Aktuelle Virtualisierungslösungen beinhalten Verfahren, die es RZ-Betreibern erlauben, Cloud Ressourcen aufzubauen und damit den Gesamtenergieverbrauch zu senken. Ein Rechenzentrum muss nicht die Maximalkapazität vorhalten und mit Energie versorgen, sondern kann dynamisch auf einen »Puffer« in der Cloud zugreifen, der grundsätzlich sehr energieeffizient betrieben werden und als »shared resource« einen höheren Auslastungsgrad erreichen kann. Die in der Cloud installierte Hardware kann im Standby-Modus gehalten werden, wenn sie nicht benutzt wird. Sie kann nach Bedarf anderen Rechenprojekten zugeordnet werden, während die Ressourcen des Cloud-Rechenzentrums gerade nicht für den Spitzenlastausgleich eines einzelnen Rechenzentrums genutzt werden.

Die praktische Umsetzung kann in Form einer Private Cloud geschehen, indem also eigene (unternehmensübergreifende) RZ-Leistungen bereitgestellt werden. Alternativ können sie vollständig bei einem externen Cloud-Provider vorgehalten werden. Auch ist eine Mischform möglich, die sogenannte Hybrid Cloud. Kommunikationsseitig stehen heute sichere und ausreichende Bandbreiten für die Cloud-Ressourcen zur Verfügung, um die Lösungen für die Produktion einzusetzen. Alle diese Anforderungen können zentral gemanagt werden und sorgen damit für Einsparungen an Hardware und Energie bei gleichzeitiger Einhaltung der Servicequalität und -bereitstellung.

Neben der Betrachtung aus der eigentlichen Rechenzentrumsicht kann auch die Bereitstellung von virtuellen Anwendungen oder virtuellen Arbeitsplätzen zu zusätzlicher Energieeffizienz beitragen.

3.4 Server-Komponenten

Etwa 2/3 des Energiebedarfs von IT-Hardware werden durch Volume-Server verursacht. Demzufolge liegen hier große Einsparpotenziale, um den Gesamtenergieverbrauch der IT zu senken. Dies wird noch dadurch begünstigt, dass Volume-Server zum großen Teil nur sehr gering ausgelastet sind. Durchschnittliche Auslastungen von unter zehn Prozent sind üblich. Niedrige Auslastungen bedeuten aber schlechte Wirkungsgrade. Selbst im Leerlauf braucht ein Server in der Regel deutlich mehr als 70 Prozent der Energie im Vergleich zur Vollauslastung.

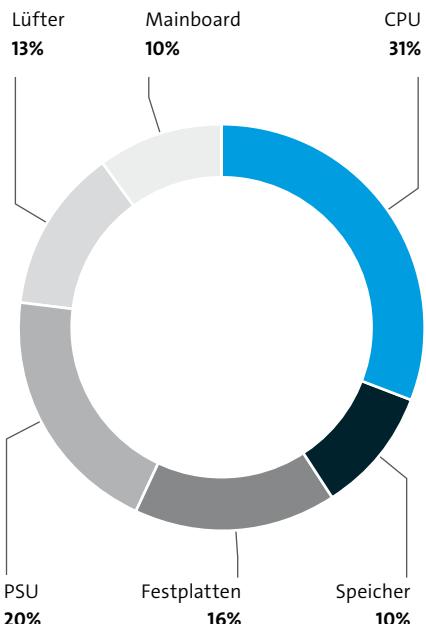


Abbildung 12: Typische Aufteilung des Energieverbrauchs eines Servers²¹

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.

Verbrauch der Systeme reduzieren

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

²¹ Quelle: Fujitsu.

Effiziente Nutzung der Hardwareressourcen

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

In Abbildung 12 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 größere 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 erreicht werden. Ein großes Speichermodul ist aus energetischen Gründen zwei kleinen Modulen mit gleicher Kapazität vorzuziehen. Am Markt verfügbar sind auch energie sparende CPUs, energiesparende Lüfter und Netzteile mit hohem elektrischem Wirkungsgrad.

Aber auch bei der Luftführung der Server lässt sich viel für die Energieeffizienz tun. So sollten die Geräte zur optimalen Kühlung möglichst in der Lage sein, über die gesamte Frontfläche Luft anzusaugen. Eine Vergrößerung der Lufteinlassfläche pro CPU Sockel ermöglicht es dem Lüftungssystem, mit einer höheren Zulufttemperatur zu arbeiten bzw. mit geringerem Energieaufwand für die Kühlung auszukommen. Insbesondere beim Formfaktor Blade-Server sollte das Lüftungsdesign gut mit dem Design der Stromversorgung abgestimmt sein, um an der richtigen Stelle Platz zu sparen. Eine unangemessene Verkleinerung der Gehäuse, die CPU und Arbeitsspeicher umgeben, erhöht die thermische Dichte, generiert Hot-Spots und bedarf größerer Energieaufwände, um durch einen geringeren Querschnitt die gleiche Luftmenge zu transportieren.

Sowohl aktuelle Server-Hardware wie auch -Betriebssysteme bieten vielfältige Möglichkeiten zur Einsparung von Energie. Das Heruntertakten oder Herunterfahren von Prozessorkernen und Speichermodulen oder Festplatten und weiteren Komponenten ist möglich, wird allerdings nur selten genutzt. Durch die Aktivierung sind deutliche Einsparungen möglich, gerade bei wenig ausgelasteten oder nur zeitweise genutzten Servern.

3.5 Storage-Komponenten

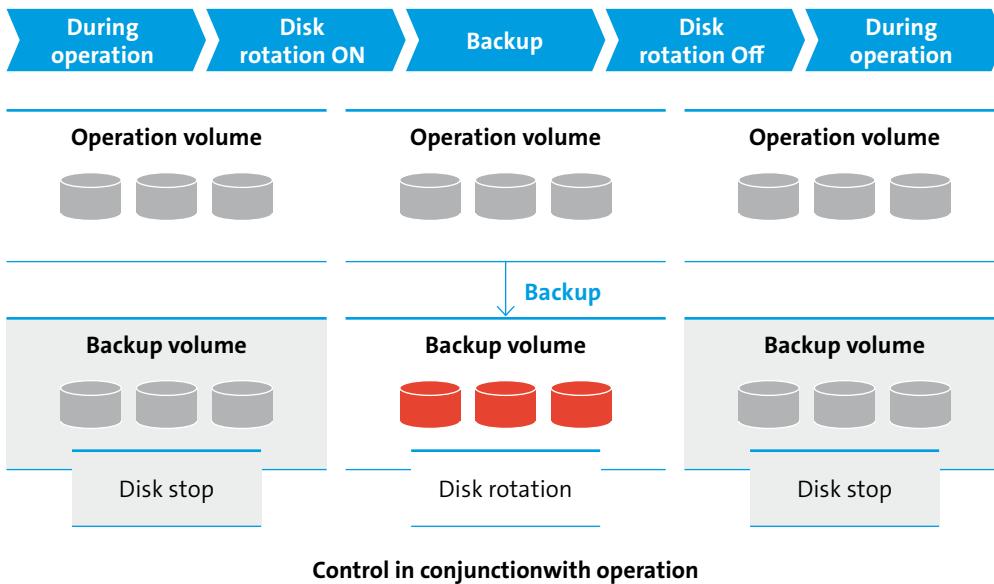
Nach aktuellen Schätzungen entfallen zwischen 25 und 40 Prozent des Stromverbrauchs eines Rechenzentrums auf Storage-Systeme, Tendenz steigend.

Unternehmen, die den Energiebedarf im Rechenzentrum senken oder zumindest begrenzen möchten, müssen angesichts dieser Entwicklung die Storage-Infrastruktur optimieren. Um bei Storage-Systemen Energiekosten einzusparen, gilt es, neben einer Reihe von Energie-Spar-

maßnahmen bei den Systemen selbst vor allem die explodierenden Datenbestände effizient zu verwalten. Dies gelingt nur, wenn die Storage-Komponenten auf optimale Leistungsfähigkeit zu ihrer benötigten Verfügbarkeit abgestimmt sind.

3.5.1 Storage – Rightsizing (stromsparende Storage-Systeme)

Ein erster Schritt auf dem Weg zu einer energieeffizienten Storage-Umgebung besteht darin, den vorhandenen Systembestand zu überprüfen und ältere Geräte gegen neue auszutauschen. Im Bereich Stromverbrauch hat sich in den vergangenen Jahren bei den Storage-Herstellern viel getan. Nicht zuletzt durch die Nutzung von stromsparenden Plattentechnologien, die es ermöglichen, während sehr kurzer Inaktivitätsphasen in einen Sparmodus zu »verfallen« und ohne Leistungseinbußen bei Bedarf wieder aktiviert zu werden. Der Strombedarf von Festplatten, die sich im Leerlauf befinden, wird hierbei oft unterschätzt. Nach Informationen der SNIA (Storage Networking Industry Association) benötigt eine Harddisk im »Idle«-Modus im Schnitt nur 15 Prozent weniger Strom als im Schreib-/Lesemodus. Moderne Speichersysteme verfügen deshalb über einen ECO-Stromsparmodus auf Grundlage der MAID-Technologie (Massive Array of Idle Disks). Mit MAID lassen sich die Motoren der Festplatten in einem Speichergerät nach Bedarf an- und abschalten. Wann dies erfolgen soll, legt der Administrator mithilfe von Policies fest. Eine solche Policy startet beispielsweise die Festplatten dann, wenn diese als Target-Volume für ein Backup benötigt werden. Ist die Datensicherung abgeschlossen, deaktiviert MAID die Festplattenmotoren wieder. So lässt sich mithilfe des ECO-Modus und von MAID der Energiebedarf eines Speichersystems um bis zu 25 Prozent verringern.

Abbildung 13: Energy savings Eco mode²²

Neue Storage-Systeme bieten weitere Vorteile. Neben der Erhöhung von Performance und Cache-Speicher benötigen diese meist deutlich weniger Platz als ihre Vorgänger Modelle. Eine Reduktion der benötigten Einbauhöhen wirkt sich positiv auf die Energie- und die CO₂-Bilanz aus, da das zu kühlende Volumen deutlich geringer ist und die Systeme besser im Rechenzentrum platziert werden können.

Mit Hilfe von Speichermanagement-Software sollte immer ein aktueller Überblick über den Stromverbrauch jedes Laufwerks vorhanden sein. Eine solche Funktion erlaubt die Überwachung der Stromverbrauchs- und Temperaturdaten in Echtzeit. Der Administrator hat im Idealfall zudem die Möglichkeit, ein Verlaufsprotokoll auf Basis eines Tages, einer Woche oder eines ganzen Jahres zu erstellen. Dies ist eine wertvolle Hilfe, um den Energiebedarf über einen längeren Zeitraum zu ermitteln und auf dieser Grundlage Optimierungen durchzuführen.

3.5.2 Storage – Effiziente Datenhaltung (Deduplizieren)

Um den vorhandenen Speicherplatz möglichst effizient zu nutzen, empfiehlt es sich, den Bestand an mehrfach vorhandenen Informationen auf den Festplatten eines Speichersystems mithilfe eines speziellen Verfahrens, der Deduplizierung zu minimieren. Abhängig von der Art der Daten verringert dies den Speicherbedarf um bis zu 90 Prozent. Durch den Einsatz von Deduplizierung werden weniger Speicherkapazitäten und somit auch weniger Storage- und

22 Quelle: Fujitsu.

Tape-Systeme benötigt. Dadurch reduzieren sich zudem der Platzbedarf und die notwendige Kühlleistung.

3.5.3 Storage – Effiziente Datenbereitstellung (Thin Provisioning)

Ein Kernproblem bei der Verwaltung von Storage-Ressourcen besteht darin, Applikationen und Anwendergruppen die notwendige Menge an Speicherkapazitäten bereitzustellen, die sie tatsächlich benötigen. Aus Sicherheitsgründen und um Engpässe zu vermeiden, weisen viele Administratoren Anwendungen zwischen zehn und 40 Prozent zu viel physischen Speicherplatz zu. Das Resultat: Auf den Storage-Systemen bleiben häufig Kapazitäten ungenutzt. Dieser unerwünschte Effekt lässt sich mithilfe von Thin Provisioning beseitigen. Das Verfahren weist jeder Anwendung dynamisch virtuellen Speicher zu, und zwar eine höhere Kapazität, als physisch auf den Festplatten im RAID-Verbund des Storage-Systems vorhanden ist. Der Applikation wird so vorgegaukelt, ihr stünde z. B. ein TByte zur Verfügung, während es tatsächlich nur z. B. 800 GByte sind. Dieses Vorgehen schöpft die brach liegenden Kapazitäten auf Harddisks aus. Die Zuweisung von virtuellem Speicher erfolgt automatisch. Der Administrator muss nicht von Hand die Kapazitäten erweitern, wenn eine Applikation mehr Festplatten-Platz benötigt. Erst dann, wenn tatsächlich mehr physischer Speicherplatz benötigt wird, als auf dem Speichersystem vorhanden ist, erhält er im Vorfeld eine Warnmeldung. Er kann anschließend das Storage-System um weitere Festplatten erweitern.

Thin Provisioning senkt die Investitionskosten, speziell die Einstiegskosten, weil der Anwender auf ein Speichersystem mit geringerer Kapazität zurückgreifen kann. Hinzu kommen deutliche Einsparungen beim Stromverbrauch.

Dank Thin Provisioning und Deduplizierung kann sich der Energiebedarf eines Speichersystems um bis zu 90 Prozent reduzieren.

3.5.4 Storage – Effiziente Datenaufteilung (Storage Tiering)

Viele Unternehmen halten ihre Daten auf Speichermedien vor, die dafür zu teuer und somit ineffizient sind. Eine Backup-Datei, auf die Anwender nur selten zugreifen, muss nicht zwangsläufig auf einer High-Speed-Festplatte oder gar einem Solid State Drive (SSD) vorliegen. In diesem Fall reichen beispielsweise ein Tape-Laufwerk oder eine preisgünstige SATA-Festplatte mit 5.200 Umdrehungen pro Minute aus. Kommt für Datensicherungen ein Bandlaufwerk statt einer Festplatte zum Einsatz, verringert das den Energiebedarf um etwa 90 Prozent.

Für Tier 0 empfiehlt sich der Einsatz von leistungsfähigen Speichermedien wie SSDs. Auf dieser Ebene kommt es auf hohe Leistung an. Typische Einsatzgebiete sind OLTP-Datenbanken (Online Transaction Processing), Online-Shops und Web-Server. Für den mittleren Geschwindigkeitsbereich (Tier 1) kommen SAS-Festplatten der Enterprise-Klasse mit 15.000 Umdrehungen pro Minute in Betracht, auf Tier 3 SAS-Harddisks mit 10.000 Umdrehungen pro Minute. Auf Tier 4

bietet sich dagegen der Einsatz von Bandlaufwerken oder SATA-Festplatten an. Hier lässt sich nochmals nach Umdrehungszahl differenzieren, etwa 5.400 U/min oder 7.200 U/min.

Wichtig ist, dass ein Storage-System das Verlagern von Daten zwischen diesen Ebenen (Tiers) automatisch vornimmt (Automated Storage Tiering-AST). Der Administrator gibt mithilfe von Regeln vor, wann welche Datenbestände auf einen bestimmten Tier verschoben werden. Das System erledigt dies anschließend ohne Zutun des IT-Managers.

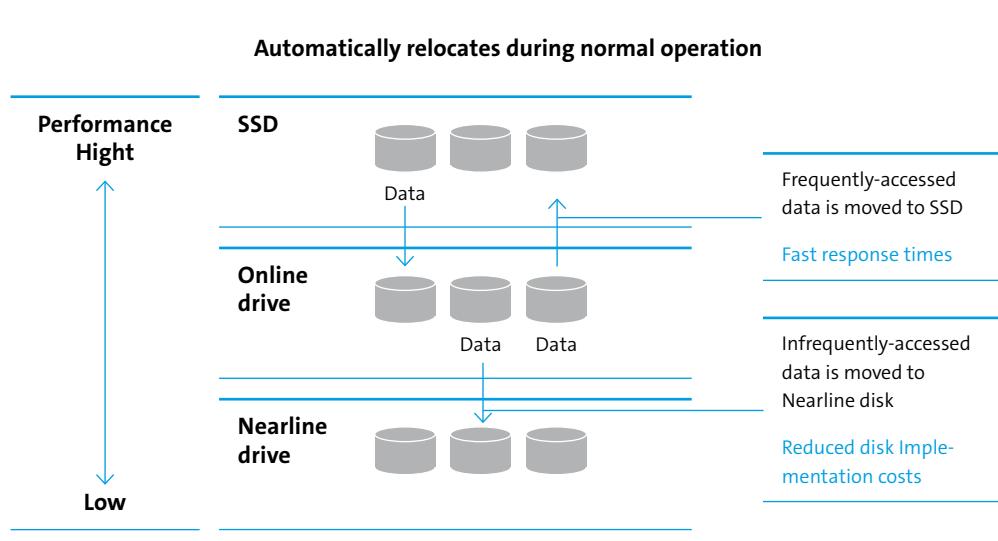


Abbildung 14: Automated Storage Tiering²³

3.6 Netzwerk-Komponenten

Auch wenn in der Gesamtbetrachtung des Stromverbrauchs eines Rechenzentrums der Netzwerkanteil ein eher kleinerer Teil ist, so besteht doch auch hier Optimierungs- und Einsparungspotenzial.

Eine Optimierung und damit verbundenes Einsparungspotenzial umfasst verschiedene Bereiche und beginnt bei der Architektur und dem Design der Netzwerk-Infrastruktur und geht bis zu einer optimalen Auslastung der Netzwerkelemente. Nachfolgend eine Auflistung der verschiedenen Handlungsbereiche:

- Architektur und Design der gesamten Netzwerkinfrastruktur. Das kann neben der Ethernet-Infrastruktur auch andere Netzwerke im Rechenzentrum umfassen wie Fiber-Channel oder Infiniband
- Platzierung der Netzwerkelemente im Rechenzentrum
- Konsolidierung der Netzwerkelemente

23 Quelle: Fujitsu.

- Konsolidierung von Netzwerkinfrastrukturen
- Redundanzen

Eine wichtige Grundlage für die Einsparung von Strom ist das Design und die Platzierung der Netzwerkelemente. Darauf können alle späteren Möglichkeiten aufsetzen. Es gibt grundsätzlich zwei Optionen für das Anordnen der Netzwerkelemente:

- End-of-Row (EoR) oder Mid-of-Row (MoR)
- Top-of-Rack (ToR)

Bei der End-of-Row-Anordnung werden die Switches, an die die Server-Ports angeschlossen werden, in einem Rack installiert, entweder am Ende einer Rackreihe oder in der Mitte einer Rack-Reihe. Das hat den Vorteil, dass alle Netzwerk-Ports in einem Rack und auch auf weniger Switchen konzentriert sind. Dies bedeutet, dass durch weniger Netzwerkkomponenten auch der Stromverbrauch sinken kann. Die vorhandenen Switches werden besser ausgenutzt, d.h. es gibt weniger freie ungenutzte Ports. Ein Nachteil dieser Topologie ist, dass die Verkabelung aufwändiger ist. Jede Verbindung muss zu zentralen Punkten geführt werden. Allerdings werden weniger Switches mit einer besseren Portauslastung benötigt, was zu einer höheren Effizienz führt.

End of Row (EoR)
Einfaches Management, effizient
 Kupfer/Glas Kabel von den Hosts zu den EoR switches
Weniger Geräte zu verwalten
Kein Layer 2 interconnect (kein STP)

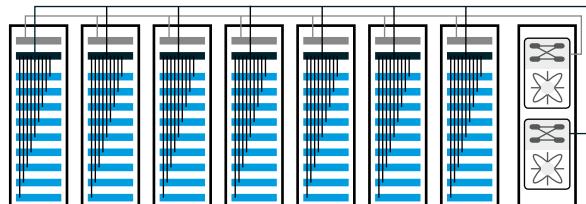


Abbildung 15: End-of-Row-Server-Anschluss²⁴

Bei der Top-of-Rack-Anordnung werden in jedem Rack Switches installiert. Das hat den Vorteil, dass die Verkabelung sehr einfach realisiert werden kann, da die Server im Rack mit den Top-of-Rack-Switchen verbunden werden. Die Effizienz ist davon abhängig, wie viele Server mit wie vielen Interfaces in einem Rack installiert werden können. Bei einer geringen Anzahl von Servern kann das zu einer nicht optimalen Nutzung der Ports in den Top-of-Rack-Switchen führen. Nicht optimale Nutzung bedeutet hierbei, dass in jedem Rack oder auch in jedem zweiten Rack ein Switch und damit auch ein Stromverbraucher installiert, aber die Portbelegung relativ gering ist.

Top of Rack (ToR)

Preisgünstige Verkabelung

Kurze Kupferkabel vom Host zu den ToR switches

Fiber uplinks von ToR switches

Traffic innerhalb des Racks lokal geswitcht

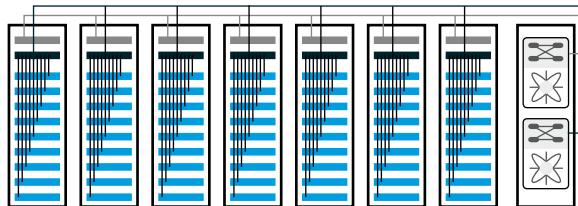


Abbildung 16: Top-of-Rack-Server-Anschluss²⁵

Es müssen immer die gesamten Anforderungen bewertet werden, um zu dem passenden Design zu kommen. In den vorangegangenen Ausführungen stand die Energieeffizienz im Mittelpunkt. Andere Faktoren können das Design ebenfalls beeinflussen. Grundsätzlich kann aber der Stromverbrauch abhängig vom Design optimiert werden.

3.7 Konsolidierung von Netzwerkelementen

Netzwerke in Rechenzentren sind aufgrund der Skalierbarkeit und der Funktionen in verschiedene Ebenen eingeteilt, z. B.:

- Server Access
- Distribution/Aggregation
- Core

Diese unterschiedlichen Ebenen werden durch physikalische Switches abgebildet. Durch »virtuelle Device-Kontexte« besteht die Möglichkeit, diese verschiedenen Ebenen in der gleichen Switch-Hardware abzubilden und dadurch die Anzahl der physikalischen Switches zu reduzieren, was auch zu einem geringeren Stromverbrauch beitragen kann.

Generell kann dies auch eine Option für Firewalls oder auch Loadbalancer sein. Hierbei können komplett virtualisierte Systeme, also eine Firewall oder Loadbalancer als virtuelle Maschine auf einem Hypervisor, verwendet werden. Auch durch diese Maßnahmen kann der Stromverbrauch reduziert werden.

Auch hier gilt, dass die zur Anwendung kommenden Lösungen abhängig von den Anforderungen sind und auf Grundlage einer Gesamtbetrachtung nicht immer alle technischen Möglichkeiten gleichermaßen sinnvoll eingesetzt werden können.

25 Quelle: Cisco.

3.8 Konsolidierung von Netzwerkinfrastrukturen

Neben der Ethernet-Infrastruktur werden in den meisten Rechenzentren noch Fibre-Channel Switches für Storage Area Networks (SAN) und z.T. auch noch Infiniband für High Performance Computing (HPC) betrieben. Das sind separate Netzwerke in den Rechenzentren, die auch Strom verbrauchen. Ab der Einführung von 10-Gigabit-Ethernet, und aktuell auch mit der Verfügbarkeit von 40-Gigabit- oder 100-Gigabit-Ethernet, besteht die Möglichkeit, diese separaten Netzwerke zu konsolidieren, um die Anzahl der Switches bzw. aktiven Netzwerkelemente zu reduzieren und damit auch den Stromverbrauch.

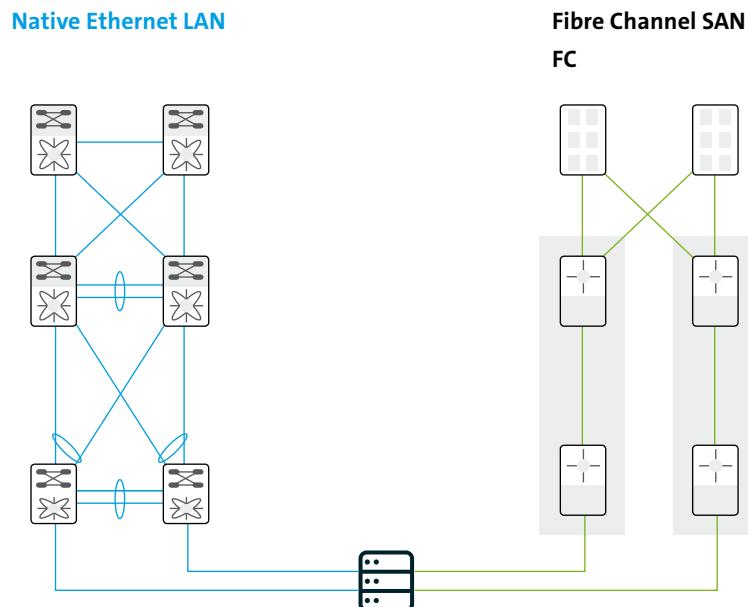


Abbildung 17: Ethernet und FC-Netzwerke getrennt²⁶

Eine andere Konsolidierungsoption ist die Ablösung der Nutzung der Fibre-Channel-Infrastruktur durch Nutzung von IP Storage (NFS/CIFS/iSCSI). Dies würde zu einer Reduzierung der notwendigen Infrastrukturkomponenten führen und damit auch zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs.

3.8.1 Infiniband HPC

Für High-Performance-Computing (HPC) wird in vielen Fällen auch Infiniband als Netzwerktechnologie genutzt. Auch hier wird eine separate Infrastruktur mit Infiniband Switchen aufgebaut.

26 Quelle: Cisco.

Mit Ultra-Low-Latency-Ethernet-Switchen kann auch hier eine Konsolidierung der Infrastrukturen erfolgen und auch dadurch eine Reduzierung des Stromverbrauchs.

3.8.2 Redundanzen

Redundanzen sind wichtig und sollen nicht in Frage gestellt werden. Es kann aber sinnvoll sein, an verschiedenen Stellen die Redundanzen zu überprüfen und ggf. auch zu reduzieren. Ein einfaches Beispiel können redundante Netzteile sein. Diese sind evtl. nicht an jeder Stelle notwendig.

3.8.3 Zusammenfassung

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Energieeffizienz im Bereich Netzwerkkomponenten zu verbessern. Nicht alle Optionen können in jeder Umgebung zur Anwendung kommen. Ein Punkt ist aber übergreifend wichtig und sollte immer eingeführt werden: Ein System, das den Energieverbrauch misst und damit die Möglichkeit bietet, die richtigen Maßnahmen auszuwählen und zu implementieren.

Um das gesamte Optimierungspotenzial zu nutzen, sollte darauf geachtet werden, dass Verbesserungen in der IT-Energieeffizienz (vgl. Kapitel 3) i.d.R. auch immer eine Anpassung im Bereich der RZ-Infrastruktur erfordern.



4 Optimierung der RZ-Infrastruktur

4 Optimierung der RZ-Infrastruktur

4.1 Optimierung der Kühlung

4.1.1 Überblick

Auf die Kühlung von Rechenzentren muss aus energetischer Sicht ein besonderes Augenmerk gelegt werden, weil im Bereich der RZ-Infrastruktur gerade hier die meisten Betriebskosten anfallen.

In den letzten Jahren sind die Entwicklungen für die unterschiedlichen Anlagensysteme stark vorangetrieben worden, weshalb es für Betreiber immer schwieriger wird, den Überblick über alle am Markt verfügbaren Systeme zu behalten. Jedes System hat dabei seine Berechtigung. Es gibt nicht das System, das für jede Anwendung passt. Eine durchdachte Planung mit Vergleich der möglichen Anlagenvarianten ist daher zu Beginn eines jeden Rechenzentrumsprojekts unerlässlich.

Neue am Markt befindliche Kühlösungen benötigen über das Jahr gerechnet teilweise unter zehn Prozent der Gesamtenergiiekosten. Es sind allerdings auch heute noch Installationen im Betrieb, bei denen der Anteil der Kühlung am Gesamtstromverbrauch bei über 60 Prozent liegt.

Die Anforderungen und Varianten im Bereich der IT-Komponenten haben sich in den letzten Jahren ebenfalls wesentlich verändert und werden sich auch zukünftig rasant weiterentwickeln. Daher müssen Lösungen eingesetzt werden, die flexibel auf neue IT-Leistungen, Leistungsdichten und IT-Architekturen reagieren können.

Im Folgenden werden die verschiedenen Kühlmethoden, die Einsatzgrenzen sowie deren Parameter aufgezeigt und erläutert, die zur Optimierung einer Rechenzentrumskühlung zu beachten sind, damit der Energieverbrauch möglichst gering gehalten werden kann.

4.1.2 Kühlmedien

Der Strombedarf der IT-Komponenten wird zu 100 Prozent in Wärme umgewandelt. Diese Abwärme der IT muss aus dem Serverraum abgeführt werden, um eine Überhitzung der IT-Komponenten zu verhindern.

Bei dem größten Teil der Anwendungen von IT-Technik, wird zur Abfuhr dieser Wärme kalte Luft (Kühlluft) als Kühlmedium benötigt. Bei Sonderlösungen mit speziellen Anforderungen werden anstelle von Luft gelegentlich andere Wärmeträger (z.B. Flüssigkeiten) verwendet.

Bei den meisten Klimatisierungssystemen wird die Kühlluft im Umluftprinzip durch die Server erwärmt und über ein Kühlerregister wieder abgekühlt. Als Kühlerregister werden in der Regel Kaltwasserregister oder Verdampferregister verwendet. An diesen Bauteilen erfolgt die Wärmeübergabe an ein zweites Medium, welches entweder Kühlwasser oder bei Direktverdampfungs-

systemen ein Kältemittel ist. Nach der Wärmeübergabe transportiert das Kühlsystem die Wärme aus dem Gebäude, wo sie an die Umgebung abgegeben wird.

Bei den Wassersystemen besteht eine Unterteilung in Kaltwasser- und Kühlwassersysteme, wobei Kühlwassersysteme zusätzlich zum Wasseranteil mit Frostschutzmittel, z.B. Glykol, betrieben werden. Häufig findet man diese Anwendung bei Nutzung der indirekten freien Kühlung, wobei kühle Umgebungstemperaturen über das Kühlwassersystem im Außenbereich aufgenommen werden. Damit das Kühlmedium nicht einfriert, wird dem Wasser Glykol beigegeben.

In Abhängigkeit von den Planungsparametern und den baulichen Gegebenheiten wird entweder Kaltwasser, Kühlwasser mit Glykol oder Kältemittel zu den Umluftkühlern transportiert. Bei der Entscheidung für einen Wärmeträger und ein Kühlsystem sind Faktoren, wie die Leitungslänge des Kühlsystems, Leistungsabgaben und Platzbedarf der Umluftkühlsysteme, wie auch Schallausbreitungen im Freien bei der Wärmeabgabe an die Umgebungsluft zu berücksichtigen und ausschlaggebend. So ist bei Kühlwassersystemen häufig eine Systemtrennung durch Wärmeübertrager zwischen dem System mit und dem ohne Frostschutzmittel vorzufinden. Diese Systemtrennung bringt automatisch Leistungsverluste mit sich. Aus Gründen der Energieeffizienz muss daher in der Planung berechnet werden, ob eine Systemtrennung sinnvoll ist. Insbesondere bei kurzen Leitungswegen kann ein Betrieb des gesamten Rohrnetzes mit einem Wasser-Glykol-Gemisch effizienter sein.

Bei direkter freier Kühlung wird ausschließlich Außenluft als Kühlmedium verwendet. Die Außenluft wird dafür in konditionierter Form (Feuchtegehalt und Reinheit) direkt zur Kühlung von IT-Komponenten verwendet wird. Aber auch hier müssen zusätzliche mit Wasser oder Kältemittel betriebene Kühlsysteme für Leistungsspitzen z.B. in den Sommermonaten vorgesehen werden.

Bei reinen Direktverdampfungssystemen (DX-Systeme) ist eine indirekte freie Kühlung nicht möglich. Aufgrund der neuen F-Gaseverordnung²⁷ und der damit verbundenen Verknappung der entsprechenden Kältemittelmengen ist anzustreben, zukünftig nur noch Systeme mit geringen Kältemittelmengen oder Kühlsysteme mit umweltgerechten (natürlichen), und nicht von der Verordnung betroffenen Kältemitteln einzusetzen.

Zu den Kältemitteln, die in Zukunft von den Verwendungseinschränkungen betroffen sind, zählen aufgrund ihres hohen Treibhauspotenzials fluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW, HFKW), wie z.B. R 404A, R 507A, R417B, R422D, sowie auch bekanntere Kältemittel, wie z.B. 134a, R407A/C/F, R410A, R417A und R32.

Als umweltfreundliche Kältemittel werden weiterhin in Industrieanwendungen Ammoniak (R717) und auch Kohlenstoffdioxid (R744) verwendet, wobei diese in Rechenzentren aufgrund des Gefährdungspotenzials und dem vom Kälteprozess abhängigen Temperaturniveau selten bis

²⁷ VERORDNUNG (EU) Nr. 517/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006.

sogar überhaupt nicht eingesetzt werden. Auch Kältemittel, wie z.B. Butan (R600/R600a) oder Propan (R290) werden bei der Kühlung von Rechenzentren wegen ihrer Brennbarkeit gemieden. Da die entwickelten sogenannten Sicherheitskältemittel aus fluorierten Kohlenwasserstoffen in der Zukunft in der Herstellung und Ihrem Einsatz beschränkt werden, ist ein erneutes Umdenken seitens der Hersteller, Planer und Betreiber von Kälteanlagen notwendig.

Hilfreich könnten dabei neue Kältemittel auf der Basis von Hydro Fluoro Olefins (HFO) sein, bei deren Freisetzung deren Moleküle schnell zerfallen und daher einen sehr geringen Treibhaus- effekt aufweisen. Jedoch ist bei Alternativkältemitteln mit verringerten Treibhauspotenzialen auf HFO-Basis mit Veränderungen in der Anlagentechnik durch eine geringere volumetrische Kälteleistung zu rechnen. Zusätzlich werden Maßnahmen wegen der veränderten Sicherheits- gruppenzugehörigkeit notwendig, da diese häufig brennbar sind.

Auch Wasser (R718) als umweltfreundliches (natürliches) Kältemittel eines Kälteprozesses zur Kühlung von Medien ist in einigen Anwendungen bereits im Einsatz (z.B. Sorptionskälteanlagen), jedoch kann von einer Marktdurchdringung dieser umweltfreundlichen Lösungen derzeit noch nicht gesprochen werden.

4.1.3 Luftführung im Rechenzentrum

Die wesentliche Wärme (Kühllast) im Rechenzentrumsbetrieb entsteht in den IT-Räumen durch die Abwärme der IT-Komponenten. Aber auch einzelne Technikräume, wie z.B. USV- und Batterie- Räume, müssen i.d.R. – wenn vorhanden – gekühlt bzw. klimatisiert werden. Für die Energieeffi- zienz im Bereich Kühlung/Klimatisierung ist eine optimale Luftführung von großer Bedeutung.

Bei den meisten Rechenzentren erfolgt die Kühlung heute in einem sogenannten indirekten Umluftkühlverfahren. Dabei zirkuliert der Luftvolumenstrom innerhalb der IT-Räume bzw. der zu kühlenden Technikräume in einem geschlossenen Kreislauf. Die Wärmeabgabe erfolgt über Wärmeübertrager ohne direkten Kontakt von Kühlmedium und Raumluft. Das Kühlmedium (z.B. Kaltwasser) läuft in einem separaten Kreislauf. Um die Luftfeuchte und andere Parameter der zu kühlenden Raumluft/Umluft zu kontrollieren kann zusätzlich eine Beimischung von konditio- nierter Außenluft (Frischluft) erfolgen.

Für eine energieeffiziente Luftführung müssen die Druck- und Temperaturverluste, die bei der Umwälzung der Raumluft entstehen, möglichst gering gehalten werden.

Konsequente Trennung von warmer und kalter Luft in den zu kühlenden Räumen!

Die Zufuhr von kalter Luft zu den zu kühlenden Komponenten (z.B. Server, Speicher) über einen Doppelboden ist heute ein gängiges und sinnvolles Design insbesondere für die IT-Räume.

Um eine Vermischung von kalter Zuluft aus dem **Doppelboden** mit der warmen Abluft der IT-Komponenten (Rückseite der Racks) zu vermeiden, sollten die Racks in einer **Kalt-/Warmgang-**

Aufstellung angeordnet werden. Die kalten Gänge werden von unten über den Doppelboden mit kalter Zuluft versorgt. Die Server saugen diese Kaltluft an und geben sie auf ihrer Rückseite wieder als Warmluft ab. Die erwärmte Luft steigt im Warmgang nach oben in den offenen Raum oder wird von einem Absaugsystem aufgenommen.

Eine vollständige Trennung von warmer und kalter Luft in den IT-Räumen wird durch eine **Einhäusung** erreicht. Dabei wird entweder der warme oder der kalte Gang zwischen den Rack-Reihen durch Seiten- und Deckenwände und/oder Kunststoffvorhänge geschlossen, die fest an den Rack-Profilen oder über zusätzliche Träger montiert sind. Die verwendeten Materialien müssen die Brandschutzzvorschriften für Rechenzentren erfüllen. Durch eine Einhausung ändert sich das gesamte Strömungsverhalten eines Serverraums. Wenn die Einhausung nahezu vollständig geschlossen ist, wird ein Luftkurzschluss und die Re-Zirkulation fast komplett vermieden. Die Klimageräte sollen nun nur noch so viel Luft liefern, wie die IT Komponenten benötigen. Wenn die Einhausung den gesamten Serverraum umfasst, können die Doppelbodenplatten mit Öffnungen gegen Gitterplatten ausgetauscht werden und der Doppelboden wird quasi um das Volumen des Kaltgangs erweitert. Solange der Strombedarf in den Serverschränken nicht zu groß wird (z. B. Leistungsdichte < 5kWel/Rack), ist die Kühlung bzw. Klimatisierung über die Raumluft mit entsprechender Kalt- oder Warmgangeinhäusung eine sehr effiziente und wirtschaftliche Lösung.

Hinweise zur Energieeffizienz

Der Doppelboden sollte mit geöffneten Platten derart versehen werden, dass genügend kalte Luft für die Abwärme der IT-Komponenten bereitgestellt wird. Ändert sich der Strombedarf der IT, müssen die Öffnungen der Doppelbodenplatten angepasst werden (siehe Kapitel 2.3). Vor leeren Racks sollte der Doppelboden geschlossen bleiben. Wichtig ist auch die vollständige Abdichtung aller Durchführungen aus dem Doppelboden (z. B. über Bürstendichtungen). Auch die nicht genutzten Höheneinheiten innerhalb der Racks sollten immer mit Blindblechen verschlossen werden.

Bei einer **offenen** Kalt-/Warmgang-Aufstellung ohne Einhausung ist eine Vermischung von kalter und warmer Luft (Luftkurzschluss bzw. Bypass) unvermeidlich. Bei offener Aufstellung muss stets mit einem leichten Überangebot kalter Luft gearbeitet werden. Ohne Überdruck besteht die Gefahr, dass die warme Abluft an der Oberkante der Racks zurück in den Kaltgang angesaugt wird. Dadurch entsteht die Gefahr von sogenannten Hot Spots.

Der notwendige Überdruck führt zu einem leicht erhöhten Strombedarf der Ventilatoren in den Klimageräten. Bei geringer Auslastung der IT (geringe Abwärme) sind die etwas höheren Stromkosten allerdings i. d. R. trotzdem deutlich günstiger als die Investitionskosten für eine Einhausung. Ab einer Teillast von ca. 50 Prozent der ausgelegten IT-Last kann eine Einhausung dagegen auch wirtschaftlich sinnvoll sein.

Ob dabei der Kaltgang oder der Warmgang eingehaust wird, hat keine direkte Auswirkung auf die Energieeffizienz des Rechenzentrums, entscheidend ist nur, eine Einhausung oder eine andere lufttechnische Trennung beider Luftströme vorzusehen.

Bei höheren Leistungsdichten ist eine Klimatisierung über den Doppelboden nicht mehr unbedingt sinnvoll, da große Mengen Luft ggf. über weite Wege transportiert werden müssen. Eine gängige Lösung ist der Einsatz sogenannter **Reihenkühlgeräte**, wie sie in Abschnitt 4.1.8.2 beschrieben werden. Bei Reihenkühlgeräten werden Klimageräte in der Bauart eines schmalen Racks in die Reihen der IT-Racks integriert. Sie saugen die warme Luft direkt aus dem Warmgang ab und blasen die kalte Luft mit Ventilatoren auf der Kaltgang-Seite direkt vor die zu kühlenden Racks. Wie viele Racks ein Reihenkühler kühlen kann, hängt von seiner Kühlleistung und der Leistungsdichte der Racks ab.

Für besonders hohe Leistungsdichten – z. B. in Hochleistungsräcks für High-Performance Computing – muss u. U. das Kühlmedium noch näher an die Wärmequelle (IT-Komponenten) herangeführt werden. Hier kommt die sogenannte **Rack-Kühlung** zum Einsatz. Bei der Rack-Kühlung wird die warme Luft direkt innerhalb des Racks durch ein Klimagerät gekühlt. Das Klimagerät wird dabei in die Seitenwände des Racks und/oder den Rack-Boden integriert.

Im Vergleich zur klassischen Doppelboden-Klimatisierung erfordern Reihen- und Rack-Kühlung die Möglichkeit, das Rückkühlmedium (in der Regel Wasser) durch den IT-Raum bis an die Rack-Reihen zu führen. Bestands-Rechenzentren, die für geringere Leistungsdichten entworfen wurden, fehlen meist die baulichen Voraussetzungen für eine zusätzliche Verrohrung im IT-Raum. Da der Doppelboden nicht mehr für die Klimatisierung genutzt wird, muss er auch nicht für den Luftfluss freigehalten werden, sondern kann für Installationen genutzt werden. Die Höhe richtet sich dann danach, welche Installationen im Doppelboden Platz finden sollen.

Die Vorteile einer konsequenten Trennung von warmer und kalter Luft im Rechenzentrum:

- die Wärmeübertragung wird effizienter,
- der Strombedarf für die Lüfter in den ULK und
- der unerwünschte Anteil der Luftentfeuchtung und
- die Gefahr von Hot Spots in den Racks kann verringert werden.

Einige dieser positiven Effekte gehen Hand in Hand (z. B. Verringerung der latenten Wärme und Effizienz der Kältebereitstellung), andere sind eher alternativer Natur (z. B. Hotspot-Vermeidung vs. Effizienzsteigerung der Kältebereitstellung). Hier muss sorgfältig abgewogen werden, ob die Steigerung von Energieeffizienz, Betriebssicherheit oder der Kapazität des Rechenzentrums im Vordergrund stehen soll, und welcher Nutzen mit der konsequenten Trennung von Warm- und Kaltluft erzielt werden soll.

Abbildung 18 zeigt einen typischen Temperaturverlauf für das Kühlsystem von Rechenzentren: vom Austritt aus dem Server bis zur Wärmeabgabe an die Umgebung.

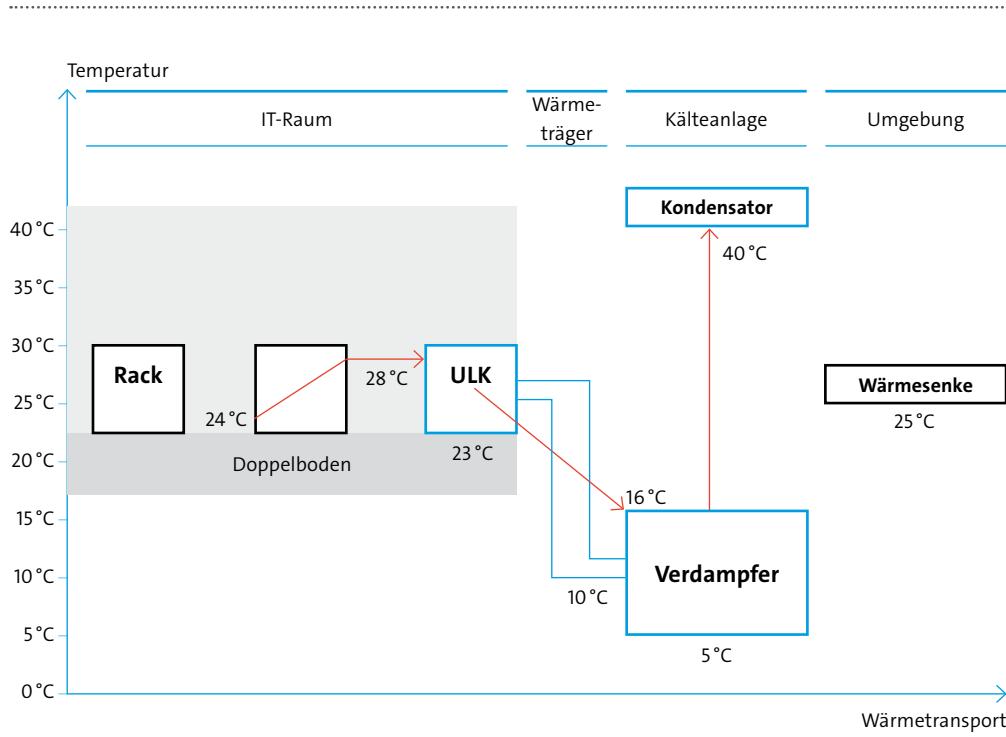


Abbildung 18: Beispiel Temperaturverlauf und Wärmetransport im Rechenzentrum

Die Luft im IT-Raum wird von einem ULK umgewälzt. Dabei erfolgt die Abkühlung der Raumluft im ULK; die abgekühlte Luft wird über den Doppelboden an die Vorderseite der IT-Racks geführt.

Die Wärmeabfuhr aus dem ULK erfolgt über einen Wärmeübertrager – das Wärmeträgermedium ist z.B. kaltes Wasser (Kaltwasserkreislauf), der die Abwärme von den ULK aufnimmt, transportiert und bei niedrigerer Temperatur an ein Kältemittel im Verdampfer der Kälteanlage abgibt.

Hier muss die Temperatur der Abwärme wieder soweit angehoben werden, dass sie an die Umgebung (Wärmesenke) abgegeben werden kann. Diese Anhebung erfolgt z.B. über einen Verdichter (Kompressionskälteanlage). Das Kältemittel wird i.d.R. über einen zweiten Wasserkreislauf (Kühlwasserkreislauf) abgekühlt – die Wärmeabgabe erfolgt über sogenannte Rückkühlgeräte. Hier gibt es verschiedene Varianten in Abhängigkeit von der gewählten Wärmesenke (siehe unten 4.1.4 Kühlvarianten), z.B. Wärmeübertrager mit Lüftern zur Aufstellung im Außenbereich (z.B. auf den Dachflächen) oder als Erdsonden mittels Geothermie.

Gleichzeitig steigt die Größe des Wärmestroms über die einzelnen Stufen des Transportes an. Es ist elektrische Hilfsenergie für den Luft- bzw. Wassertransport erforderlich (Lüfter und Pumpen). Dieser Strombedarf wird selbst wieder in Abwärme umgewandelt. Zum anderen erfolgt ein Wärmeeintrag über den Transportweg in die Kaltwasserleitungen.

Daher ist die Kälteleistung, die von der Kälteanlage benötigt und erbracht wird, nicht mit der IT-Abwärme gleichzusetzen, teilweise kann diese Abwärme wesentlich größer sein.

4.1.4 Kühlvarianten

Wie in Kapitel 3.4 beschrieben erfolgt die Kühlung der IT-Komponenten in dem meisten Fällen über eine Luftkühlung. Um die Abwärme aus den zu kühlenden Räumen abzuführen gibt es grundsätzlich zwei Kühlvarianten im Rechenzentrumsbetrieb: die direkte und die indirekte (freie) Kühlung der Raumluft. Diese beiden Varianten gibt es in den verschiedensten Ausprägungen, die nachfolgend kurz beschrieben werden sofern sie für die Kühlung in Rechenzentren relevant sind. Die Abbildung 19 zeigt eine grobe Übersicht zu den gängigen Kühlvarianten im Rechenzentrumsbetrieb.

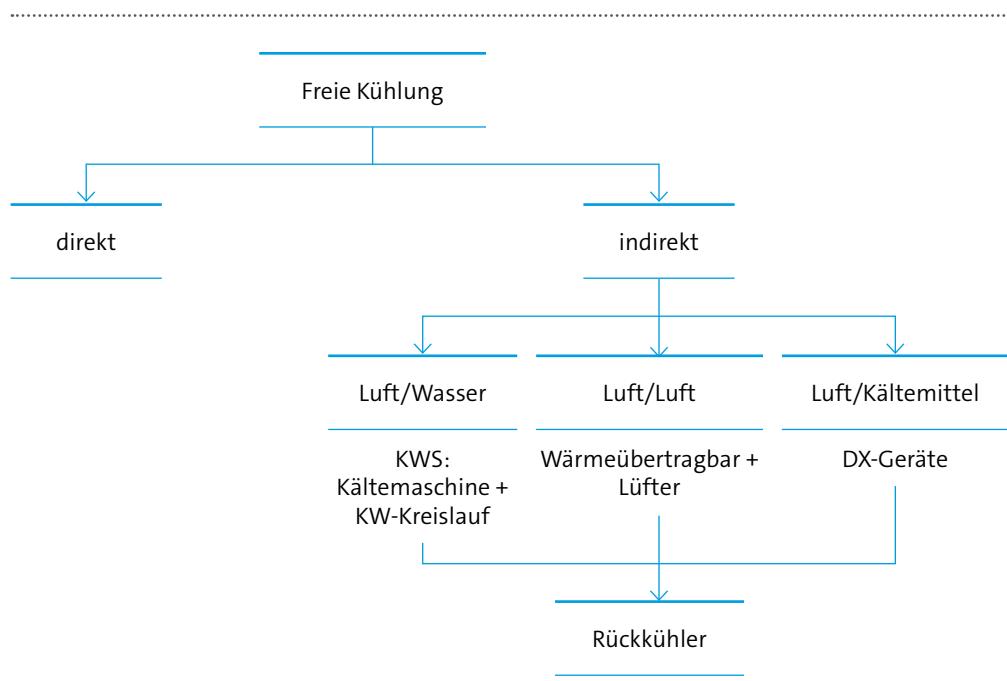


Abbildung 19: Übersicht der Kühlvarianten für den Rechenzentrumsbetrieb mit (Um-)Luftkühlung

Indirekte (freie) Kühlung (Wasserkühlung und Luftkühlung)

Bei der indirekten Kühlung der IT-Raumluft gibt es keinen direkten Kontakt zwischen dem Kühlmedium und der Raumluft. Hier lassen sich grundsätzlich drei Varianten unterscheiden: Um die Wärme aus den zu kühlenden Räumen abzuführen, kann die warme Raumluft entweder über einen Kaltwasserkreislauf (z.B. mit ULK) gekühlt werden, oder die Wärme wird an einen zweiten kalten Luftstrom abgeführt (z.B. über einen Luft-Luft-Wärmeübertrager). Die dritte Möglichkeit zur Wärmeabfuhr bei der indirekten Kühlung ist der Einsatz von sogenannten Direkt-

verdampfergeräten (DX-Geräte); hier wird durch die Wärmeaufnahme in den zu kühlenden Räumen ein Kältemittel ohne Umweg über weitere Transportmedien direkt verdampft (vgl. 4.1.2).

Direkte freie Kühlung (Luftkühlung)

Bei der direkten freien Luftkühlung wird die Luft in den zu kühlenden Räumen regelmäßig ausgetauscht. Dabei wird die erwärmte Luft aus den zu kühlenden Räumen durch kältere Außenluft ersetzt. Die Luftmassen kommen in direkten Kontakt. In der Regel wird bei Einsatz dieser Kühlvariante die Verwendung von speziellen Luftfilteranlagen notwendig sein, um die besonderen Anforderungen an die Luftqualität für den IT-Betrieb zu gewährleisten. Aus Sicht der Energieeffizienz ist darauf zu achten, dass die Druckverluste (z. B. durch Filter) möglichst gering bleiben, um den Energiebedarf für die Luftbewegung (i.d.R. Strombedarf der Lüfter) zu minimieren.

Wärmeabgabe an die Umgebung

Am Ende der Kühlkette muss die Wärme an die Umgebung abgegeben (rückgekühlt) werden. Auch hier sind im Rechenzentrumsbetrieb verschiedene Varianten der Rückkühlung im Einsatz. Die Rückküller bestehen i.d.R. aus einem Wärmeübertrager, in dem das Kühlmedium an die Wärmesenke (z. B. Umgebungsluft) geführt wird. Hier erfolgt dann die Wärmeabgabe mit oder ohne einen Phasenwechsel (z. B. Kondensation/Verflüssigung eines Kältemittels), mit oder ohne den Einsatz von Lüftern und/oder Befeuchtung (adiabatische Kühlung).

Auch die Form der Wärmesenken sind vielfältig: Umgebungsluft, Wasser (z. B. Brunnen oder Fluss), das Erdreich (Geothermie) aber auch die Wärmeabgabe an andere Prozesse wie z. B. Heizungsunterstützung wurden in der Rechenzentrumskühlung bereits umgesetzt.

Bei Einsatz offener Kühltürme zur Rückkühlung ist unbedingt auf die Einhaltung der geltenden Richtlinie (VDI 2047 Blatt 2 – Hygiene bei Rückkühlwerken) zu achten!

Hinweise zur Energieeffizienz

Das Kühlsystem eines Rechenzentrums ist ein gutes Beispiel dafür, wie wichtig es für die Effizienz des Gesamtsystems Rechenzentrum ist, dass die einzelnen Teile des Kühlsystems gut aufeinander abgestimmt sind. Energieeffiziente Einzelkomponenten sind zwar wichtige Bausteine der gesamten Prozesskette, aber längst noch kein Garant für eine gute Gesamteffizienz im Rechenzentrum.

Für die Auslegung der Raumklimatisierung sind folgende Richtlinien zu berücksichtigen:

- DIN EN 13779 »Lüftung von Nichtwohngebäuden«
- VDI 2054 »Raumlufttechnische Anlagen für Datenverarbeitung« und
- die amerikanische Richtlinie ASHRAE TC 9.9.

4.1.5 Lufttemperatur und Luftfeuchte im Rechenzentrum

Im Rechenzentrum ist nur die Zulufttemperatur und Luftfeuchte am Eintritt in das IT-Equipment von Interesse. Alle Klimatisierungssysteme müssen deshalb auf die Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte regeln. Die Rücklufttemperatur und die Rückluftfeuchte ergeben sich automatisch aus den Zuluftbedingungen, dem Volumenstrom der Klimatisierungsanlagen und aus den spezifischen Eigenschaften des IT-Equipments.

Bei der Wahl der Zulufttemperatur gilt folgender Grundsatz: Je höher die Temperatur, desto größer ist die mögliche Energieeinsparung.

Übliche Zulufttemperaturen liegen zwischen 22°C und 35°C und richten sich nach den Bedingungen des eingesetzten IT-Equipments. Zur Erhöhung der Energieeffizienz kann eine gleitende, d.h. nicht konstante Zulufttemperatur genutzt werden. Um hohe Zulufttemperaturen zu erreichen, muss sichergestellt sein, dass sich die warme Abluft aus dem IT-Equipment nicht mit der kühlen Zuluft vermischt.

Ohne die Einhausung ist eine Leistungsregelung und sichere Zuluftversorgung des IT-Equipments aus energetischer und betriebstechnischer Sicht nicht möglich.

Wegen der hohen Zulufttemperaturen sind niedrige Luftfeuchten notwendig, um den Energieaufwand für die Luftbefeuchtung zu begrenzen. Hierzu wird eine Mindestluftfeuchte von 30 Prozent empfohlen. Außerdem sollte der Regelbereich der Mindest- und Maximal-Luftfeuchte für die Zuluft groß gewählt werden (z.B. 20 – 80 Prozent rel. F.). Höhere Mindest-Luftfeuchten und Feuchtebereiche mit einer geringeren zugelassenen Bandbreite führen unweigerlich zu einem deutlich höheren Energiebedarf der Klimatisierungsanlagen.

Für die Auslegung der Befeucherleistung ist nicht der Umluftvolumenstrom maßgebend, sondern es sind die Außenluftrate bzw. die Menge und die Parameter der Außenluft, die in das Rechenzentrum geführt wird. Um ein kontrolliertes Klima im Rechenzentrum zu gewährleisten, ist die Außenluft entsprechend zu befeuchten und in die warme Abluft einzubringen. Auf eine Befeuchtung in den Umluftklimatisierungsanlagen kann deshalb verzichtet werden.

Eine gezielte Entfeuchtung der Zuluft ist in der Regel nicht notwendig, da das moderne IT-Equipment relative Luftfeuchten von 95 Prozent zulässt.

4.1.6 Leistungsregelung

Für eine betriebssichere Funktionsweise des Kühlsystems und aus energetischer Sicht ist es notwendig, die Leistung der Kühlsysteme an die dynamische Last des IT-Equipments anzupassen. Die Methoden der Leistungsregelung variieren jedoch stark je nach der Art des Klimatisierungssystems, die jedoch grundsätzlich in drei Systembereiche aufgeteilt werden können. Dies sind die Kälteerzeugung, die Kälteverteilung und die Kälteübertragung an das Rechenzentrum. In der

Regel erfolgt im Rechenzentrum die Kühlung der Server durch Luft, wodurch mit dem Kühl-system somit ein zweites System mit einem anderen Wärmeträger, nämlich Luft, eng verbunden ist.

Viele Rechenzentren werden entsprechend der maximalen Ausbaustufe und der maximal abzuführenden Wärme auf der Basis einer maximalen IT-Last geplant und ausgelegt. In diesem Fall ist besonders zu beachten, dass sehr häufig diese Ausbaustufe nicht über die gesamte Betriebs-dauer besteht, sondern die Bestückung der Racks und die IT-Last den Betrieb des Kühlsystems über einen langen Zeitraum im sogenannten Teillastfall erfordern.

Der Betrieb des Kühlsystems im Teillastfall muss durch die Absenkung der Leistungsabgabe der Kälteerzeuger, der Absenkung der Förderströme der Umwälzpumpen und durch eine Verringe-rung der Ventilatoredrehzahlen in den Umluftkühlern ermöglicht werden. Dabei ist zu beachten, dass die angesetzte und auch die tatsächlich mögliche Teilleistung bei allen beteiligten Kom-ponenten des Kühlkreislaufes auch als untere Regelungsgrenze möglich sind.

Bei Kälteerzeugern kann eine Absenkung bis auf max. zehn Prozent der Nennleistung durch die Verwendung von invertergeregelten Kompressoren, Heißgasbypassleitungen und auch durch die Kombination von Verdichtern verschiedener Bauart und Leistungsbereichen erreicht werden. Der Kondensatorkreis einer Kälteerzeugungsanlage muss ebenfalls für diese Teilleistungen durch die entsprechende Regelung der daran beteiligten Komponenten geeignet sein. Die Verwen-dung von Zwei-Wege-Ventilen für die mengenvariable Regelung der Leistungsabgabe der Umluftkühler in Kombination mit geregelten Pumpen ist (bei dem Vorhandensein einer System-trennung zwischen dem Primär- und dem Sekundärkreis) zu bevorzugen.

Als weitere Maßnahme zur effizienten Betriebsweise des Kühlsystems ist eine immer dem aktuellen Bedarf angepasste Regelung des Luftkühlkreises möglich. In Verbindung mit dem Temperaturniveau der Zu- und Abluft bzw. der Differenz zwischen dem Lufteintritt an den Frontseite der IT-Komponenten und Luftaustritt an der Rückseite der IT-Hardware (der soge-nannten luftseitigen Spreizung über die IT-Technik) kann damit die Kühlluftmenge zur Ver-sorgung der IT-Technik variiert und große Einsparungen durch eine verminderte Drehzahl der Ventilatoren zur Luftumwälzung erzielt werden.

Um genau die Kühlluftmenge zur Verfügung zu stellen, die bei dem momentanen Lastfall der IT-Technik benötigt wird, muss die tatsächlich benötigte Luftmenge aller Server und anderen Komponenten im Rechenzentrum ermittelt werden. Dafür sind Druck-, Temperatur- oder Strö-mungsmessungen im Kalt- und Warmgang notwendig.

Eine häufig verwendete Regelungsart der Leistung der Umluftkühlsysteme mittels der erwärmten Rücklufttemperatur, die in das Kühlsystem eintritt, ist nur noch bei Kühlösungen ohne Kalt-Warmgangtrennung bzw. Einhausung sinnvoll. Ein großer Nachteil dieser sogenannten Abluft-temperaturregelung bei raumbasierten Kühlösungen ist, dass durch Luftvermischung der Kühl- und Rückluft spezifische Lastfälle einzelner Racks oder Rechenzentrumsbereiche von der Regelung nicht erkannt werden können. In der Folge werden diese Systeme in der Regel zum Erreichen einer gewissen Reserve für mögliche Luftvermischung und zum Schutz vor mangelnder

Kühlluftversorgung von der Zulufttemperatur zu niedrig bzw. von der Luftmenge zu hoch eingestellt, was zu einem starken Nachteil in der Energieeffizienz führt und daher zu vermeiden ist.

Durch eine enge Verzahnung der IT-Anforderungen, der Verteilung des informationstechnischen Equipments und dem Layout des Rechenzentrums mit dem zu realisierenden Kühlkonzept, kann und muss bereits in frühen Planungsphasen auf eine energieeffiziente Regelungsart und einen ressourcenschonenden Betrieb von Kühlsystemen in der Informationstechnik Einfluss genommen werden. Auch heutzutage immer noch bestehende Vorurteile und falsche Ansichten zu der Kühlluftversorgung können somit frühzeitig diskutiert und abgeschafft werden, um das Ziel eines energetisch optimal betriebenen und sicheren Rechenzentrums zu erreichen.

4.1.7 Wärmerückgewinnung

Dieses Kapitel ist für eine spätere Ausgabe des Leitfadens vorgesehen.

4.1.8 Übersicht der Kühlsysteme

Auf dem Markt existiert eine breite Palette von Herstellern, die Kühlgeräte in unterschiedlicher Form anbieten. Zur Erleichterung der Auswahl einer vor allem unter energetischen Gesichtspunkten geeigneten Lösung, sollen im Folgenden die wichtigsten unterschiedlichen Systeme dargestellt werden.

In der Rechenzentrumsklimatisierung unterteilt man grundsätzlich in raumbasierte, reihenbasierte und rackbasierte Kühlung, wobei einige der modernen Systeme nicht immer eindeutig nur einer dieser Kategorien zugeordnet werden können und auch Zwittersysteme möglich sind.

4.1.8.1 Komfort- und Präzisionsklima

Komfortklimageräte sind dezentrale Umluftgeräte zur Erreichung einer definierten und konstant angenehmen Raumtemperatur. Dabei wird die Raumtemperatur durch Kühlen und Heizen im Umluftbetrieb geregelt. Die Raumfeuchte wird nur indirekt durch eine ungeregelte Entfeuchtung beeinflusst. Zum einen gibt es die Ventilatorkonvektoren (Fan-Coil-Units), die einen Luft-Kaltwasser-Wärmetauscher mit eigenem Ventilator besitzen und das Kühlwasser von einem Kaltwassersatz erhalten. Zum anderen gibt es die Splitgeräte, bei denen eine oder mehrere Verdampfer-Inneneinheiten der Raumluft die Wärme entziehen und diese zur Verflüssiger-Außeneinheit transportieren, wo sie an die Umgebungsluft abgegeben wird. Dabei dient Kältemittel als Transportmedium im Kühlkreislauf.

Im Vergleich mit Präzisionsklimageräten gleicher Leistung bewegen Komfortklimageräte sehr viel weniger Luft. Sie setzen einen großen Anteil ihrer Energie für die Entfeuchtung ein (latenter Anteil der Kühlleistung), während Präzisionsklimageräte oft fast die gesamte eingesetzte Energie in Kühlleistung umwandeln (sensibler Anteil). Die Regelungen der Komfortklimageräte

arbeiten mit relativ hohen Toleranzen und berücksichtigen die Raumfeuchte nicht. So werden Komfortklimageräte überwiegend in der Humanklimatisierung eingesetzt und sind häufig nicht für einen Dauerbetrieb über lange Zeiträume ausgelegt. Für kleinere Serverräume sind Komfortklimageräte dennoch mit Einschränkungen geeignet, wenn die sensible Leistung des Innengerätes passend zur sensiblen Kühllast gewählt wird und die geforderte Raumluftfeuchte gewährleistet werden kann.

Präzisionsklimageräte unterteilen sich nach der Luftführung in Downflow (Luftansaugung oben, Ausblasung nach unten) und Upflow (Ansaugung unten, vorne oder hinten, Ausblasung oben) sowie durch das Wärmeträgermedium als Kaltwassergerät (CW) oder Direktverdampfer (DX) mit integriertem Kompressor. Ihre Regelung berücksichtigt neben der Temperatur auch die relative Feuchte. Präzisionsklimageräte in der CW-Version können bei richtiger Auslegung eine bis zu 100 Prozent sensible Kälteleistung erbringen und setzen daher die aufgewendete Energie der Kälteerzeugung effizient zur Absenkung des Raumtemperaturniveaus ein. Alle Komponenten der Präzisionsklimageräte sind im Gegensatz zu Komfortklimageräten für einen Dauerbetrieb mit geringen Ausfallzeiten ausgelegt.

Ein wesentliches Kriterium für die Effizienz von Klimageräten ist die Größe der Wärmeübertragungsfläche. Präzisionsklimageräte besitzen, verglichen mit Komfortklimageräten, eine wesentlich größere Fläche für die Wärmeübertragung. Je größer die Wärmeübertragungsfläche ist, desto geringer ist die Entfeuchtungsleistung. Angestrebt wird eine möglichst geringe Differenz zwischen sensibler und Gesamtkühlleistung, da diese Differenz, die latente Kühlleistung, der Rückluft lediglich die Feuchtigkeit entzieht und dadurch kein Nutzen der Kälteerzeugungsleistung für die Lufttemperaturen im Raum besteht. Ein weiterer Effizienznachteil entsteht dadurch, dass unter Umständen die entnommene Feuchte aus der Raumluft unter nochmaligem Energieeinsatz mittels Dampfbefeuchter wieder zugeführt werden muss. Im Rechenzentrum sollte die relative Luftfeuchte innerhalb der vom Hardware-Hersteller vorgegebenen Grenzen gehalten werden.

Zusätzlich wird die bessere Energieeffizienz von Präzisionsklimageräten durch eine, wie der Name es sagt, höhere Regelgenauigkeit unterstützt.

Durch die Anordnung der Racks in Kalt- und Warmgänge und der Realisierung von Einhausungen, wird die Effizienz der Umluftkühlgeräte nochmals erhöht, da im gesamten System mit einem höheren Temperaturniveau gearbeitet werden kann (vgl. Kap. 4.1.6).

4.1.8.2 Reihenkühlsysteme

Bis zu einer mittleren Leistungsdichte ist die raumbasierte Kühlung mit Kalt- oder Warmgang-Einhausung eine sehr effiziente und wirtschaftliche Lösung. Bei Kühlleistungen, die ca. zehn kW pro Rack übersteigen, stellen häufig die Raum- und/oder Doppelbodenhöhe zunehmend begrenzende Faktoren dar. Solche Fälle erfordern die Umlösung immer größerer Luftmengen, sodass Doppelböden von bis zu einem Meter Höhe zur Luftführung bei geringen Druckverlusten nötig werden.

Durch Reihenkühlsysteme gelingt es, diese Abhängigkeit von der Raumgeometrie zu beseitigen. Technisch gesehen sind auch die Reihenkühlgeräte Präzisionsklimageräte, die in Kaltwasserversorgungen wie auch als Direktverdampfer erhältlich sind.

Der Unterschied liegt, neben ihrer schmalen, rackähnlichen Bauform und der Aufstellung in den Rack-Reihen zwischen den Racks, in der Luftführung. Die gekühlte Luft wird an der Vorderseite über die gesamte Höhe gleichmäßig ausgeblasen und die Racks müssen nach dem Kaltgang-Warmgang-Prinzip aufgestellt sein. Für einen effizienten Betrieb ist die Ausrüstung der Rack-Reihen mit Einhausungen erforderlich.

Bedingt durch die Nähe der Umluftkühler bei den Racks ergeben sich kurze Wege für die Luft, wodurch die Luftströmungen kalkulierbarer sowie mit weniger Druckverlusten behaftet sind und es wird kein Doppelboden für die Luftführung benötigt. Ein Doppelboden ist hier sinnvoll, um darin die Kaltwasserverrohrung unterzubringen. Im Vergleich mit Präzisionsklimageräten besitzen Reihenkühlgeräte aufgrund ihrer schmalen, kompakten Bauweise höhere Druckverluste. Außerdem sind das Vorhandensein von Flüssigkeit in der Nähe der Serverschränke bei Kaltwassersystemen und die fehlende räumliche Trennung zwischen Klima- und IT-Technik als Unterschied herauszustellen.

Eine Sonderform der Reihenkühlung sind Dachkühler. Dazu werden in der Decke der Kaltgang- oder der Warmgang-Einhäusung ein großer Kaltwasser-Wärmetauscher und große Axialventilatoren integriert. Dabei wird keine IT-Raum Fläche zur Aufstellung von Klimageräten benötigt. Gleichermaßen ist dieses System den Flächenkühlsystemen zuzuordnen, welche ebenfalls im weiteren Verlauf noch beschrieben werden.

4.1.8.3 Direkte Rack-Kühlung

Bei Hochleistungsrechnern oder High Performance Computing für hochspezialisierte Anwendungen mit abzuführenden Wärmelasten bis zu 60 kW pro Rack ist die direkte Rack-Kühlung die häufig bevorzugte technische Lösung. Dabei sind die Küleinheiten meistens seitlich am oder im Rack montiert, sodass jedes Rack sein eigenes Klimagerät besitzt. Ein weiteres wesentliches Merkmal ist die komplette Trennung der Kühlluft in den Racks von der Raumluft, da die Serverschränke inklusive der Seitenkühler komplett luftdicht sind. Die erwärmte Rückluft wird über kleine, geregelte Ventilatoren direkt an den Rückseiten der Server angesaugt, über seitlich angeordnete Wärmetauscher gekühlt und an der Vorderseite wieder eingeblassen. Dadurch, dass die Wärme direkt dort aufgenommen wird, wo sie entsteht, sind die Luftwege extrem kurz. Für die ordnungsgemäße und effiziente Funktion ist eine vertikale Schottung innerhalb der Racks zwischen der Warm- und Kaltluftseite zwingend erforderlich.

Mit direkt gekühlten Racks lassen sich auch sehr einfach Erweiterungen im Rechenzentrum temperaturneutral umsetzen. Auch für kleine Serverräume mit nur ein oder zwei Racks ist die direkte Rack-Kühlung interessant, da nicht der gesamte Raum betrachtet werden muss, sondern der Serverraum quasi nur aus den Racks besteht.

Die direkte Rack-Kühlung wird meist als Kaltwasserkühlung ausgeführt, es ist jedoch ebenfalls Kompressorkühlung möglich. Neben den Racks mit integrierten oder verbundenen Seitenkühlern gibt es auch solche, die den Wärmetauscher unten im Gerät platziert haben. Die Ventilatoren sind hier in die Rückwand des Racks integriert.

Verglichen mit den reihenbasierten ist bei den rackbasierten Systemen überhaupt keine Trennung zwischen der IT und der Klimatisierung vorhanden.

Diese Systeme sind nur dann in vollem Maße funktionsfähig, wenn die Türen geschlossen sind. Da Arbeiten an der Servertechnik die Klimatisierung stark beeinträchtigen, sollten diese selten und in Zeiten geringen Leistungsbedarfes der Server ausgeführt werden.

Ein Ausfall der Klimatechnik führt sehr schnell zu einer Überhitzung des Serverschrankes. Um dies zu vermeiden und für Anwendungen mit Redundanzanforderungen, können entsprechend für höhere Leistung ausgelegte Kühlgeräte im Wechsel mit den Serverschränken aufgestellt und verbunden werden, sodass jedes Rack gleichzeitig von zwei Geräten klimatisiert wird und sich die Kaltluft aus jedem Gerät auf zwei Racks aufteilt. Bei dieser Variante bildet der gesamte Komplex verbundener Geräte das geschlossene System. Wenn die Redundanzen zur Kühlung in den einzelnen Racks untergebracht werden müssen, steigt der Flächenbedarf für Kühlkomponenten auf der Serverraumfläche deutlich an.

4.1.8.4 Passive Rücktürkühlung

Eine rackbasierte Kühlung ist auch ohne zusätzliche Ventilatoren möglich, indem die Umwälzung der Luft durch die Lüfter der Server erfolgt. Bei diesem System sind Wärmetauscherlemente in die rückseitigen Türen der Racks integriert, welche als rein passives Bauteil fungieren. Die erwärmte Luft der Server wird von den Serverlüftern durch den Wärmetauscher gedrückt, abgekühlt und wieder in den Raum eingeblasen. Die passive Rack-Kühlung gibt es als CW-Version oder mit Wärmeleitrohr (Heat-Pipe).

Passive Rack-Kühlung verbraucht demnach selbst keine elektrische Leistung. Der durch die Luftbewegung entstehende Widerstand über den Wärmetauscher muss jedoch durch höhere Drehzahlen der Serverlüfter ausgeglichen werden, d. h. der erforderliche Energieverbrauch wird auf die Server verlagert. Diese müssen deshalb auch in der Lage sein, diese zusätzliche externe Pressung überwinden zu können. Für die Messung des PUE-Wertes ergibt sich damit ein mit anderen Systemen nicht vergleichbares Ergebnis.

Ein Vorteil der passiven Rack-Kühlung ist, dass sie nach dem Kaltraumprinzip arbeitet, denn die von den Servern erzeugte warme Luft gelangt erst gar nicht in den Raum. Kurzzeitiges Öffnen der Türen z. B. für Wartungsarbeiten an der IT-Technik stellt kein Problem dar.

Auch bei diesem Kühlungssystem besteht eine fehlende Trennung zwischen Klima- und IT-Technik, jedoch entfallen viele wartungsrelevante Teile der Kältetechnik im Vergleich zu der direkten Rack-Kühlung, wodurch die IT-Technik gestört werden könnte.

4.1.8.5 Aktive Rücktürkühlung

Das gleiche Prinzip der Rücktürkühlung ist am Markt auch als aktive Kühlösung erhältlich, wobei hier die Rücktür mit geregelten Ventilatoren ausgerüstet ist. Der zusätzliche Druckverlust des Wärmeübertragers muss in diesem Fall nicht von den Serverlüftern aufgebracht werden.

4.1.8.6 Flächenkühlsysteme

Flächenkühlsysteme nutzen die Wände oder einen Teil der Wandflächen des IT-Raumes selbst zur Luftführung. Es kann die komplette Fläche der Trennwand zwischen IT- und Infrastrukturbereich als Wärmetauscher- und Filterfläche genutzt werden.

Sie werden durch Ventilatoren im Doppelboden ergänzt, die die Warmluft aus dem Rechnerraum fördern und die mittels des Flächenwärmeübertragers gekühlte und gefilterte Luft über den Doppelboden zum Kaltgang transportieren. Diese Systeme funktionieren quasi wie ein Präzisionsklimagerät mit extrem vergrößerter Fläche.

Da die Kühlleistung direkt proportional zur Größe der nutzbaren Wärmeübertragerfläche ist, bieten Flächenkühlsysteme mit ihren großflächigen Wärmetauschern im Vergleich zu Präzisionsklimageräten eine gesteigerte Kühlleistung bei geringer Leistungsaufnahme. Die Anordnung der Einzelemente sorgt für eine homogene Anströmung und maximale Ausnutzung der Kühlflächen. Die Druckverluste beim Durchströmen des Filters und des Kühlregisters sind systembedingt minimal. Bei gleicher Kühlleistung können dementsprechend auch höhere Wassertemperaturen im Vorlauf zur Kühlung genutzt werden. Wird ein Freikühl-Wärmetauscher in den Kaltwasserkreislauf eingebunden, kann dadurch auch eine längere Nutzung der indirekten freien Kühlung ermöglicht werden.

Für Räume, deren Begrenzungsflächen nicht zur Luftführung verwendet werden können, sind sogenannte Raum in Raum-Lösungen möglich. Sie bestehen aus Grundmodulen mit Einhausung, wobei der Wärmetauscher integraler Bestandteil des Modularsystems ist.

Basierend auf verfügbaren, bewährten und risikoarmen Standardtechnologien, ermöglichen Kühlwände einen sehr effizienten Betrieb einer Rechenzentrumskühlung. Sie lassen sich durch die modulbauweise leichter als konventionelle große Klimageräte in den Serverraum einbringen und können mit Einhausung auch raumunabhängig installiert werden.

4.1.8.7 Systeme mit Kreuzstromwärmeübertrager

Für die Rechenzentrumsklimatisierung haben sich in der letzten Zeit vermehrt unterschiedliche Hersteller für eine Verwendung von Kreuzstromwärmeübertragern entschlossen und diese mit gleichem Wirkprinzip in verschiedenartiger Ausführung entwickelt. Diese nutzen zu einem hohen Grad die indirekte freie Kühlung, indem Sie einen Außenluftvolumenstrom und einen davon getrennten Umluftvolumenstrom des Rechenzentrums aneinander vorbeiführen. Im Zusammenhang mit hohen anzustrebenden Zulufttemperaturen und einer hohen luftseitigen

Spreizung über die Racks, welche auch hierbei mit Einhausungen versehen werden, ist eine Nutzung der indirekten freien Kühlung in unseren Breitengraden zu 100 Prozent bei Außentemperaturen, die bis zu zwei Kelvin unter der Zulufttemperatur liegen, möglich.

Zwei Ventilatorbaugruppen, eine für den Außen- und Fortluftvolumenstrom und eine für den Umluftkreis sorgen für die Luftumwälzung durch den Wärmeübertrager und die Filtereinheiten. Die Ventilatoren sind in diesen Lösungen bis zu einer sehr geringen Mindestdrehzahl (deutlich unter zehn Prozent) voll regelbar. Zur Abdeckung des Bereiches mit höheren Außentemperaturen wird entweder Adiabatik verwendet oder zusätzlich ein Kompressionskältesystem mit einem Kühlregister oder einem Verdampfer im Umluftkreis.

Die Rack-Anordnung im Kaltgang-Warmgang-Prinzip, die Verwendung von Einhausungen und ein Regelungskonzept der Ventilatoredrehzahl in Abhängigkeit zur tatsächlichen IT-Last sichern bei diesen Kühlsystemen eine sehr hohe Effizienz. Die Kosten im Betrieb sind durch wartungsarme und einfache Bauteile im Vergleich zu Speziallösungen auf Rack-Ebene gering und außerdem wird durch die einfache Technik eine hohe Ausfallsicherheit erreicht.

4.1.8.8 Systeme mit Rotationswärmetauscher

Rotationswärmetauscher stellen eine neue Technik für raumbasierte IT-Kühlung mit zentraler Luftkonditionierung dar. Üblicherweise als »Wärmerad« zur Wärmerückgewinnung eingesetzt, können sie auch als »Kühlrad« zur Kühlung von Serverräumen verwendet werden. Diese Systeme ermöglichen wie die zuvor beschriebenen Kreuzstromwärmeübertrager je nach Auslegung eine indirekte freie Kühlung bis zu einer Außentemperatur knapp unter der Zulufttemperatur. Bei höheren Außentemperaturen ist ebenfalls eine zusätzliche mechanische Kühlung mit einem Kaltwasser- oder Direktverdampferregister im Luftstrom notwendig.

Bei einem Rotationswärmetauscher wird Wärme von einem Luftstrom auf einen anderen übertragen, indem eine rotierende Speichermasse abwechselnd durch den einen Luftstrom aufgewärmt und durch den anderen abgekühlt wird. Der Rotor besteht aus zahlreichen luftdurchlässigen Röhrchen aus Aluminium oder ähnlichen Materialien mit hohem Wärmespeichervermögen und läuft mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von ca. zehn Umdrehungen pro Minute.

Die Außenluft wird mittels Ventilatoren angesaugt, nimmt die Wärme des Speichermaterials auf und wird als warme Fortluft ins Freie geblasen. Dreht sich der Rotor weiter, erreicht er den Bereich, wo die warme Abluft aus dem Rechenzentrum in entgegengesetzter Richtung angesaugt wird. Trifft diese auf die nun kalte Speichermasse, findet auf Grund des Temperaturgefälles ebenso ein Wärmeaustausch von der durchströmenden Abluft auf die Speichermasse statt. Die dadurch abgekühlte Luft wird als Zuluft ins Rechenzentrum geblasen.

4.1.8.9 Serverkühlungssysteme

Als Zukunftsperspektive der Kühlung auf Serverebene werden neuerdings direkt im Server angeordnete Kühlkörper an den leistungsabgebenden Bauteilen realisiert, die mit Wasser als

Wärmeträgermedium versorgt werden. Dabei sind extrem hohe Kühlwassertemperaturen möglich, die durch die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zur Luft sehr effizient betrieben werden können.

Zusätzlich zu dem Wasserkühlungssystem der Server ist trotzdem ein System für die raumbasierte Luftkühlung vorzusehen, da nicht alle leistungsabgebenden Bauteile in einem Server mit Kühlkörpern bestückt werden, sondern diese sich nur auf die Bauteile der Hauptplatine, wie z.B. CPU und GPU beschränken. Weitere Baukomponenten mit deutlich geringerer Leistungsabgabe, wie z.B. Elektrolytkondensatoren und das Netzgerät erfordern in der Regel eine konventionelle Kühlung durch Luft.

4.2 Stromversorgung

Dieses Kapitel ist für eine spätere Ausgabe des Leitfadens vorgesehen.

5 Glossar

AST

Automated Storage Tiering

BMA

Brandmeldeanlage

adiabate Kühlung

Wärmeabfuhr durch Verdunstung von Wasser

BMS

Building Management System, im Deutschen GLT = Gebäudeleittechnik

Bypass

Kalte Luft, die ohne durch eine IT Komponente gegangen zu sein zurück zum Klimagerät fließt

Change

Änderungen an der IT oder der Infrastruktur des Rechenzentrums, Change Management ist ein wichtiger Prozess im IT Service Management

CFD

Computational Fluid Dynamics, eine Methode zur Simulation von Luftflüssen im Serverraum

CMDB

Configuration Management Database, eine Datenbank, die im IT Service Management zur Erfassung und Verwaltung aller IT Komponenten (Configuration Items – CI) genutzt wird.

COP

Coefficient of Performance, Kühlleistung im Verhältnis zur elektrischen Leistung einer Kühlanlage.

CPU

Central Processing Unit (Hauptprozessor)

CRAC

Computer Room Air Conditioning (siehe ULK)

DCIM

Data Center Infrastructure Management

DCM

Data Center Management

DX-Klimageräte

DX = Direct Expansion; Klimageräte mit Direktverdampfer zur Klimatisierung und Kühlung in einem Gerät

EMA

Einbruchmeldeanlage

ΔT IT

Temperaturdifferenz der Luft zwischen Eingang und Ausgang von IT-Komponenten, KPI zur Betrachtung der Energieeffizienz von IT-Komponenten, relevant als Startpunkt einer Klima- und Kühlkette

EER

Energy Efficiency Ratio, Verhältnis aus abgeföhrter Wärmemenge und benötigter elektrischer Energie einer Kühlanlage, betrachtet über ein Jahr.

EN 50600 – Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren

Europäische Normen-Serie zur Standardisierung aller Aspekte von Rechenzentren, VDE-Verlag GmbH, 10591 Berlin, oder über den Online-Shop beim VDE-Verlag: www.VDE-Verlag.de

ENMS

Energiemanagementsystem (s.a. ISO 50001)

ERE

Energy Re-use Efficiency, KPI zur Berücksichtigung der Energierückgewinnung

GLT

Gebäudeleittechnik, oder englisch BMS – Building Management System

GPU

Graphic Processing Unit, Grafikprozessor

ITEE_{SV}

IT Equipment Efficiency, KPI zur Betrachtung der Leistungsfähigkeit eines Servers in Bezug auf seinen Energieverbrauch

ITEU_{sv}

IT Equipment Usage, KPI zur Betrachtung des Nutzungsgrades eines Servers

ISO 50001

Internationale Norm für Energiemanagementsysteme

KPI

Key-Performance-Indikatoren (Kennwerte bzw. Indikatoren)

MAID

Massive Array of Idle Disks

MSR

Messen, Steuern, Regeln, Bezeichnung für eine Disziplin des Gebäudemanagement als wichtige Grundlage zur Steuerung der Energieeffizienz

OLTP

OLTP-Datenbanken (Online Transaction Processing)

Recirculation

Warne Luft, die zurück in eine IT-Komponente gezogen wird und so doppelt erwärmt wird

PUE

Power Usage Effectiveness, Verhältnis aus Gesamtenergieverbrauch und Energieverbrauch der IT betrachtet über ein Jahr. Je nach Messpunkt des Energieverbrauchs der IT werden vier Kategorien unterschieden.

Der PUE ist immer größer als 1.

pPUE

Partieller PUE, bei dem der Anteil einer Infrastrukturkomponente am PUE betrachtet wird. Die Berechnung erfolgt als Verhältnis aus der Summe des Energieverbrauchs der IT und dem Energieverbrauch der Komponente durch den Energieverbrauch der IT.

Der pPUE ist immer größer als 1 und kleiner als der PUE.

REF

Renewable Energy Factor, KPI zur Berücksichtigung der Nutzung erneuerbarer Energien

Rack

Serverschrank

RAID

Redundant Array of Independent Disks

SAS

SAS-Festplatte (Serial Attached SCSI)

SATA

SATA-Festplatte (Serial Advanced Technology Attachment)

SERT

Neuer Benchmark zur Bestimmung der Energieeffizienz von Servern, vorgesehen für das Energy Star Programm für Server (<https://www.spec.org/sert/>)

SERT

Neuer Benchmark zur Bestimmung der Energieeffizienz von Servern, vorgesehen für das Energy Star Programm für Server (<https://www.spec.org/sert/>)

SNIA

Storage Networking Industry Association

SPECpower

SPECpower ist ein gängiger Benchmark zur Bestimmung der Energieeffizienz von Servern (www.spec.org/power)

SEER

Seasonal Energy Efficiency Ratio

SSD

Solid State Drive

TCO

Total Cost of Ownership

ULK

Umluftklimagerät (siehe CRAC)

USV

Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Virtualisierungsgrad (eines Rechenzentrums)

Verhältnis von virtuellen zu physikalischen Servern in einem Rechenzentrum

WUE

Water Usage Effectiveness, KPI zur Berücksichtigung der Nutzung von Wasser im Rechenzentrum

6 Danksagung

Der vorliegende Leitfaden »Energieeffizienz in Rechenzentren« entstand in Zusammenarbeit der Bitkom-Arbeitskreise »Rechenzentrum & IT-Infrastruktur« und »Server, Storage, Networks«.

Ein herzlicher Dank gilt allen Mitgliedern der beiden Arbeitskreise für die wertvollen Diskussionen und Anregungen sowie besonders für die Mitwirkung von:

- Dr. Ludger Ackermann, dc-ce Berlin-Brandenburg GmbH
- Peter Dümgig, Dell Halle GmbH
- Ralph Enderlin, Eaton Electric GmbH
- Wolfgang Gwildies, VMware Global, Inc.
- Ulrich Hamm, Cisco Systems GmbH
- Dr. Ralph Hintemann, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH
- Mathias Köster, Weiss Klimatechnik GmbH
- Knut Müller, erecon AG
- Volker Niedermeier, Fujitsu Technology Solutions GmbH
- Ralf Ploenes, Raritan Deutschland GmbH
- Dr. Georgios Rimikis, Hitachi Data Systems GmbH
- Ralph Wölpert, Rittal GmbH & Co. KG
- Marc Wilkens, DC-Datacenter-Group GmbH
- Carsten Zahn, dc-ce Berlin-Brandenburg GmbH

Bitkom vertritt mehr als 2.300 Unternehmen der digitalen Wirtschaft, davon gut 1.500 Direktmitglieder. Sie erzielen mit 700.000 Beschäftigten jährlich Inlandsumsätze von 140 Milliarden Euro und stehen für Exporte von weiteren 50 Milliarden Euro. Zu den Mitgliedern zählen 1.000 Mittelständler, 300 Start-ups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Hardware oder Consumer Electronics her, sind im Bereich der digitalen Medien oder der Netzwirtschaft tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 78 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, 9 Prozent kommen aus Europa, 9 Prozent aus den USA und 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom setzt sich insbesondere für eine innovative Wirtschaftspolitik, eine Modernisierung des Bildungssystems und eine zukunftsorientierte Netzpolitik ein.

**Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e.V.**

Albrechtstraße 10

10117 Berlin

T 030 27576-0

F 030 27576-400

bitkom@bitkom.org

www.bitkom.org

bitkom