

Gregor Drenkelfort  
Thorsten Pröhl  
Koray Erek

**Energiemonitoring von IKT-Systemen**  
Periphere Energiebedarfe

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de/> abrufbar.

### **Universitätsverlag der TU Berlin 2013**

<http://www.univerlag.tu-berlin.de>

Fasanenstr. 88 (im VOLKSWAGEN-Haus), 10623 Berlin

Tel.: +49 (0)30 314 76131 / Fax: -76133

E-Mail: [publikationen@ub.tu-berlin.de](mailto:publikationen@ub.tu-berlin.de)

Herausgeber: Prof. Dr. Rüdiger Zarnekow

Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.

Satz/Layout: Dr. Koray Erek

Zugleich online veröffentlicht auf dem Digitalen Repository  
der Technischen Universität Berlin:

URL <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2013/3926/>

URN [urn:nbn:de:kobv:83-opus-39261](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:83-opus-39261)

[<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:83-opus-39261>]

**ISBN 978-3-7983-2520-3 (online)**

**ISSN 2196-3606 (online)**

# Projektbeschreibung

## GreenIT Cockpit

Organisationsweites, geschäftsprozessorientiertes Management-Cockpit für die Energieeffizienz von IKT

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Ziel des Projekts ist die Erforschung und Entwicklung eines organisationsweiten, geschäftsprozessorientierten Management Cockpits für die Energieeffizienz von IKT (Green IT Cockpit). Dabei werden Key Performance Indikatoren (KPIs) in einem Performance Measurement System auf unterschiedlichen Ebenen verknüpft und zusammengeführt, um Managern entscheidungsrelevante Informationen hinsichtlich Green IT zur Verfügung zu stellen. Das zu entwickelnde Management Cockpit ermöglicht es, Informationen zur Energieeffizienz der IKT aus verschiedenen Systemen (Rechenzentrum, Netzinfrastruktur und Peripherie wie Thin Clients bzw. Desktops, Drucker, Scanner usw.) bereichs- und geschäftsprozessorientiert zusammenzutragen und diese in einfacher, aggregierter und leicht interpretierbarer Form zur strategischen Planung und Verbesserung der IKT-bedingten Energieeffizienz der Organisation aufzubereiten. Die Visualisierung dieser Informationen durch das Cockpit erfolgt beispielsweise in Form von Ampeln, Skalen oder Tachometern, um gezielt und unmittelbar Verbesserungs- und Optimierungspotenziale sichtbar zu machen.

Inhalt und Benutzeroberfläche des Cockpits bieten neben der Analyse relevanter Kennzahlen die Möglichkeit der detaillierten Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Zur Sicherstellung einer maximalen Übertragbarkeit der Ergebnisse werden KPIs und Benchmarks zu Energieeffizienz der IKT in Prozess- und Wertschöpfungsketten in Großunternehmen, KMUs und Verwaltung Gegenstand der Untersuchung sein.

Ansprechpartner: Dr. Koray Ereğ, [koray.erek@tu-berlin.de](mailto:koray.erek@tu-berlin.de)

Partner: TimeKontor AG, Axel Springer AG, Technische Universität Berlin und Umweltbundesamt

Laufzeit: 36 Monate

# Inhaltsverzeichnis

<b>Projektbeschreibung .....</b>	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Allgemeinen.....	7
1.2. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Rechenzentrum	8
1.3. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten in der Büroumgebung .....	8
1.4. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Netzwerk .....	9
1.5. Quantifizierbarkeit der peripheren Energiebedarfe für die Bereiche Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerkumgebung.....	9
<b>2 Peripherer Energieverbrauch im Rechenzentrum.....</b>	<b>11</b>
2.1. Stromversorgung .....	12
2.2. Klimatisierung .....	18
2.3. Standby-Verluste der IKT .....	23
2.4. Sonstige periphere Energiebedarfe .....	24
2.5. Auswirkungen höherer Redundanz-Standards auf den peripheren Energieverbrauch .....	25
<b>3 Peripherer Energieverbrauch in der Büroumgebung .....</b>	<b>27</b>
3.1. Stromversorgung .....	28
3.2. Klimatisierung .....	28
3.3. Standby-Verluste der IKT .....	29
<b>4 Peripherer Energieverbrauch in Netzwerken.....</b>	<b>30</b>
4.1. Stromversorgung .....	31
4.2. Klimatisierung .....	31
<b>5 Abstimmung mit den Verbundpartnern .....</b>	<b>31</b>
<b>6 Bestimmung von peripheren Energiebedarfen .....</b>	<b>32</b>
<b>7 Fazit.....</b>	<b>35</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>36</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamter Strombedarf für IKT im Jahr 2007: 55,4 TWh (Stobbe u. a. 2009) .....	6
Abbildung 2: Energiebedarf für IKT in Deutschland (Stobbe u. a. 2009) .....	6
Abbildung 3: Aufbau eines großen Rechenzentrums (Barroso & Hölzle 2009) ..	8
Abbildung 4: Aufteilung des Energieverbrauches in einem Rechenzentrum (Barroso & Hölzle 2009).....	11
Abbildung 5: Anteile der Energiebedarfe der Teilbereiche / Funktionalen Systeme am Gesamtenergiebedarf eines RZ (Dittmar & Schaefer 2009) .....	12
Abbildung 6: Typischer Aufbau der elektrischen Energieversorgung in einem Rechenzentrum (Schaefer u. a. 2008) .....	13
Abbildung 7: Verlauf des Wirkungsgrades von Transformatoren (Eaton Powerware 2007) .....	14
Abbildung 8: Lastkurven verschiedener USV (Sawyer 2007) .....	14
Abbildung 9: Typische Lastkurve einer USV (Sawyer 2007) .....	15
Abbildung 10: Energieverteilung im Serverraum, Power Distribution Units (Rittal 2009) .....	15
Abbildung 11: Verluste in einem typischen Rechenzentrum, PDU-Verluste betragen 5 % (Computerwoche 2007) .....	16
Abbildung 12: Lastkurven verschiedener Server-Netzteile (Barroso & Hölzle 2009) .....	16
Abbildung 13: Schematischer Ablauf des Wärmetransportes in einem Rechenzentrum (Informatik-Paper: Schödwell u. a. 2012) .....	19
Abbildung 14: Teillastverhalten eines Turboverdichters (Schramek u. a. 2006)	20
Abbildung 15: Teillastverhalten eines Schraubenverdichters (Schramek u. a. 2006) .....	20
Abbildung 16: Betriebsverhalten von Kaltdampf-Hubkolbenverdichtern mit Kältemittel R 404 A (Schramek u. a. 2006).....	21
Abbildung 17: Stufenlose Drehzahlregelung bei konstanter Förderhöhe H (P – Leistungsaufnahme, Q – Wärmeleistung) (Schramek u. a. 2006) .....	22

Abbildung 18: Typische Lastkurve und der Verlauf des Pumpenwirkungsgrades eines Radiallüfters (FH Wolfenbüttel 2004) .....	22
Abbildung 19: Acer Incorporated AT 110 F1 (Dezember 2009).....	24
Abbildung 20: Dell Inc Power Edge 2950 III (Intel Xeon E5440) (März 2008) ..	24
Abbildung 21: Fujitsu Primergy RX300 S7 (Intel Xeon E5 2660) (April 2012) ..	24
Abbildung 22: HP Company ProLiant DL 385 (2.3 GHz, AMD Opteron Prozessor 2356) (März 2008) .....	24
Abbildung 23: Strombedarf für IKT-Endgeräte in Unternehmen 2007: 6,8 TWh (Stobbe u. a. 2009) .....	27
Abbildung 24: Energieverbrauch / Betriebszuständen (Köwener u. a. 2004)....	30
Abbildung 25: Strombedarf für IKT-Endgeräte in Unternehmen 2007 nach Betriebszuständen (Stobbe u. a. 2009).....	30

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Überblick über die peripheren Energieverbräuche in Rechenzentren, Büro- sowie in Netzwerkumgebungen .....	10
Tabelle 2: Auswirkung des Redundanz-Konzeptes auf die Auslastung der Komponenten (Kühr 2010).....	26
Tabelle 3: USV-Wirkungsgrad nach Code of Conduct (European Comission) (Kühr 2010) .....	26

# 1 Einleitung

Der Stromverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik betrug 2007 rund 55,4 TWh. Abbildung 1 zeigt die Aufteilung des IKT-Strombedarfs. Wie in Abbildung 2 dargestellt, steigt der Stromverbrauch im IKT-Bereich jährlich. Zur Reduzierung des Stromverbrauches können periphere Energieverbräuche minimiert werden. In diesem Band wird dieser für die Bereiche Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerk genauer untersucht.

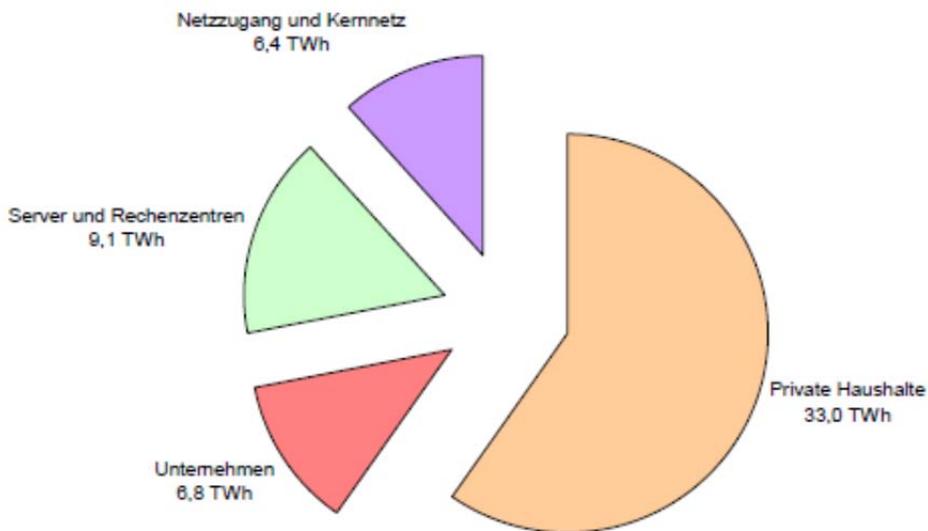


Abbildung 1: Gesamter Strombedarf für IKT im Jahr 2007: 55,4 TWh (Stobbe u. a. 2009)

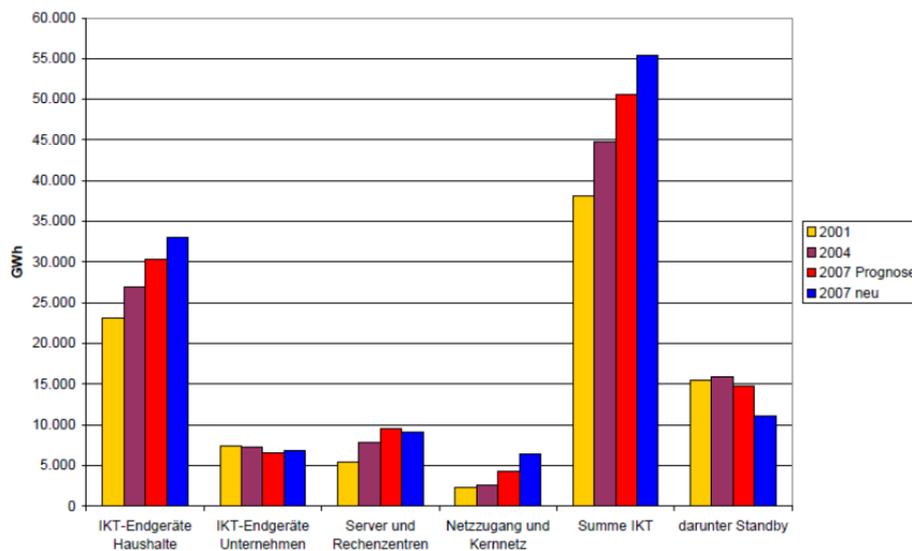


Abbildung 2: Energiebedarf für IKT in Deutschland (Stobbe u. a. 2009)

Der Energiebedarf der IKT kann in direkten und peripheren (indirekten) Energiebedarf eingeteilt werden. Der direkte Energiebedarf entspricht dem Strombedarf, die die IKT-Komponenten zu ihrem Betrieb direkt benötigen. Der periphere Energiebedarf entspricht der Energie, die zusätzlich zur direkten Energie für die Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs der IKT benötigt wird. Dies muss nicht zwangsläufig nur elektrische Energie sein, sondern kann auch thermische Energie sein. So kann z.B. ein Kühlsystem mit einer Absorptionskälteanlage thermische Energie als Antriebsenergie nutzen<sup>1</sup>.

Es wird zunächst für die Bereiche Rechenzentrum, Büro und Netzwerk der Begriff „ordnungsgemäßer Betrieb“ näher erläutert. Im Anschluss werden die Auswirkungen der damit verbundenen Maßnahmen auf den Energieverbrauch geklärt und analysiert.

## **1.1. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Allgemeinen**

Um IKT-Komponenten betreiben zu können, benötigen sie Strom. Die IKT-Komponenten bestehen aus Halbleitern und elektrotechnischen Bauteilen, die bestimmte Anforderungen an die Umgebungsbedingungen, wie Temperatur und Luftfeuchte, stellen. Da die Komponenten für einen Betrieb unter „Alltagsbedingungen“ ausgelegt sind, stellt das Einhalten dieser Anforderungen bei nicht zu hoher Leistungsdichte keine große Herausforderung dar (Bürobetrieb). Bei höheren Leistungsdichten, wie sie in Rechenzentren und ggf. auch in Netzwerkräumen relevant sind, ist dies anders. In Rechenzentren ohne Kühlsystem kann die Temperatur schnell auf Werte über 50 bzw. 60°C steigen. Dieses Temperaturniveau erlaubt keinen ordnungsgemäßen Betrieb der Hardware mehr. Darüber zählen auch die Verluste entlang der Versorgungskette der elektrischen Energie bis zu den IKT-Komponenten als periphere Energiebedarfe. Dies sind z.B. die Verluste des Trafos und der USV in Rechenzentren, aber auch die Verluste der einzelnen Netzteile der IKT-Endgeräte.

Gegenstand der Betrachtung dieses Bands sind nur periphere IKT-Energiebedarfe. Weitere Energiebedarfe, wie z.B. die Beleuchtung in Büros, werden nicht betrachtet.

---

<sup>1</sup> Weitere Energieformen wie z.B. Strom fallen hier auch für die weiteren Komponenten wie Lüfter, Pumpen an.

## 1.2. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Rechenzentrum

Aufgrund der Leistungsdichte in mittleren und großen Rechenzentren kann das Einhalten eines definierten Temperaturbereichs ohne zusätzliche Anlagen zur Klimatisierung nicht garantiert werden (Schaefer u. a. 2008). Weiterhin können beispielsweise erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen an das Rechenzentrum eine **unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und/oder eine Netzesatzanlage** zum Betrieb des Rechenzentrums auch bei Ausfall des Stromnetzes erfordern. Außerdem führen erhöhte Verfügbarkeitsanforderungen auch dazu, dass die **Klimatisierung** redundant ausgelegt werden muss. Diese zusätzlichen Anlagen laufen oft permanent, um die Ausfallsicherheit zu erhöhen. Somit dienen sie dem ordnungsgemäßen Betrieb des Rechenzentrums und zählen daher zum peripheren Energiebedarf desselben.

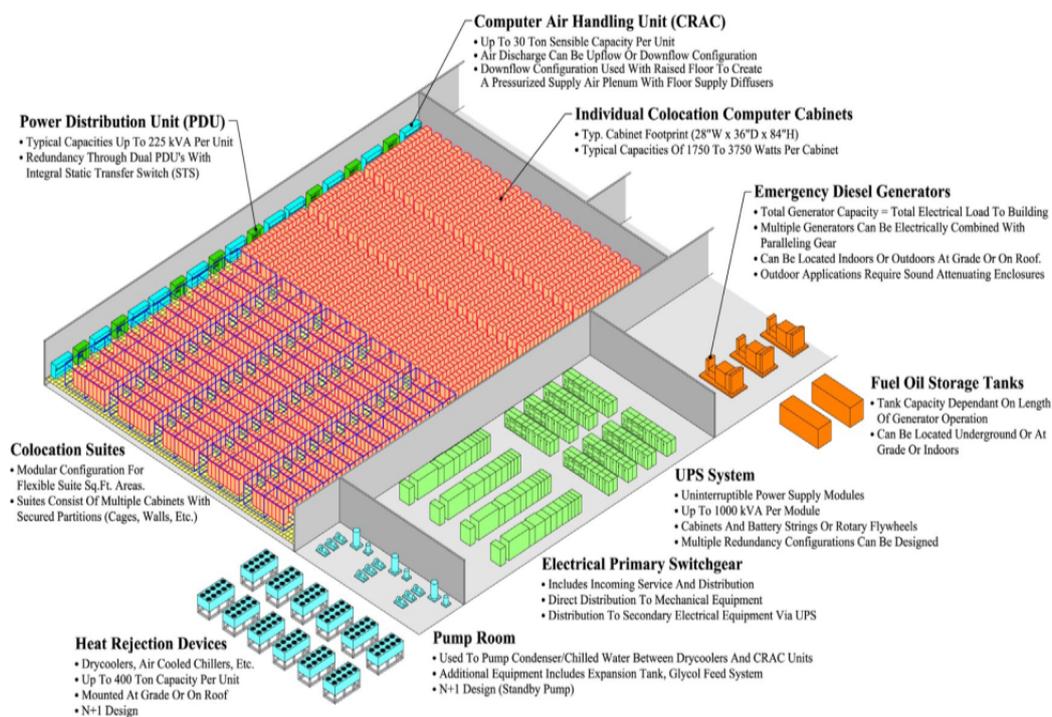


Abbildung 3: Aufbau eines großen Rechenzentrums (Barroso & Hölzle 2009)

## 1.3. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten in der Büroumgebung

In der Büroumgebung können als periphere Energieverbräuche prinzipiell wieder die Klimatisierung (falls die IKT-Endgeräte in einem klimatisierten Büro

untergebracht sind) und die USV betrachtet werden<sup>2</sup>. Die quantitative Bestimmung dieser Bedarfe ist schwierig, weil neben den IKT-Endgeräten im Büro noch andere Wärmequellen (z.B. Sonneneinstrahlung) relevant sind und somit der Anteil IKT-Endgeräte Gesamtaufwand der Klimatisierung messtechnisch nicht oder nur sehr schwer zu erfassen ist.

#### **1.4. Ordnungsgemäßer Betrieb von IKT-Komponenten im Netzwerk**

Auch für das Netzwerk können wieder die Klimatisierung und die USV als peripherer Energieverbrauch betrachtet werden. Wie bei der Büroumgebung ist die quantitative Bestimmung schwierig.

#### **1.5. Quantifizierbarkeit der peripheren Energiebedarfe für die Bereiche Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerkkumgebung**

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick darüber, wo in den funktionalen Systemen der drei betrachteten Bereiche Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerkkumgebung periphere Energieverbräuche auftreten. Des Weiteren werden die Einflussfaktoren auf die Höhe des peripheren Energieverbrauches aufgezeigt und die Quantifizierbarkeit beurteilt. Die Quantifizierung der Netzteilverluste ist für ein einzelnes Netzteil bei bekanntem Nutzungsprofil gut möglich. Wenn allerdings viele Endgeräte mit verschiedenen Netzteilen zu betrachten sind, ist die Erfassung mit einem höheren Aufwand verbunden, weshalb die Quantifizierbarkeit als mittelmäßig eingestuft wird.

---

<sup>2</sup> USV in der Büroumgebung sind unüblich.

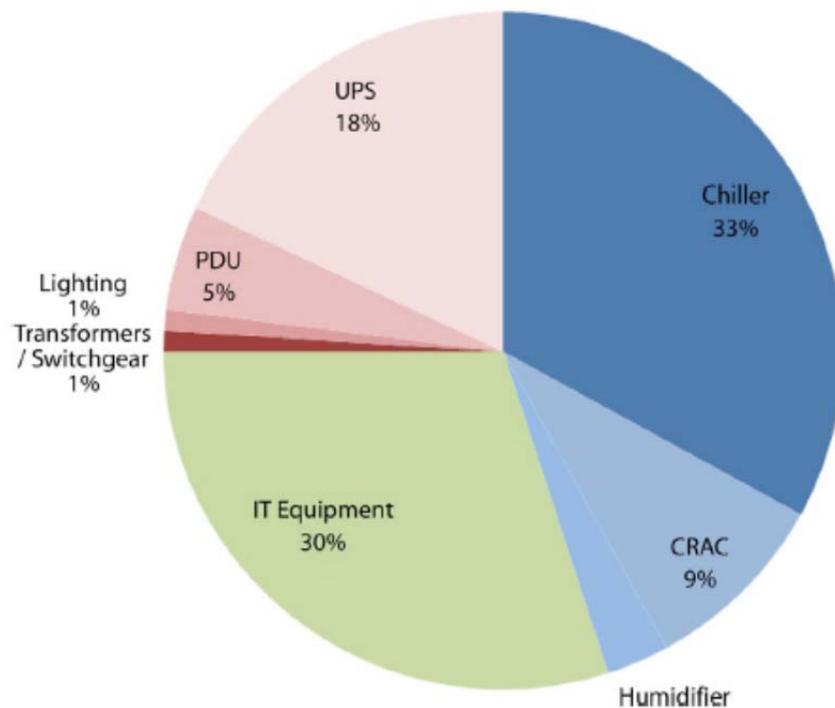
**Tabelle 1: Überblick über die peripheren Energieverbräuche in Rechenzentren, Büro- sowie in Netzwerkkumgebungen**

Bereich	Funktionales System	Peripherer Energieverbrauch	Einflussfaktoren auf den peripheren Energieverbrauch	Quantifizierbarkeit	
Rechenzentrum	Stromversorgung	Notstromversorgung	Anzahl der Testbetriebe (vorgeschrieben?), Anzahl der Einsätze, Stromverbrauch im „Standby“, Redundanz	gut	
		Transformatoren	Wirkungsgrad	sehr gut	
		USV	Dimensionierung/Redundanz, Wirkungsgrad bei geringer Auslastung, Auslastung	gut	
			PDUs	PDU-Standard	gut
			Netzteile	Wirkungsgrad bei geringer Auslastung, Auslastung, Redundanz	mittelmäßig
			Leitungsverluste	Länge der Leitungen, Blindstromkompensation, Redundanz	gut
	Klimatisierung	Kälteanlage		Möglichkeit der freien Kühlung, Auslastung/Dimensionierung, Wirkungsgrad im Teillastbetrieb	gut
			Pumpen	Kühllast	gut
			Wärme-Abtransport aus Serverraum(Lüfter der ULK oder Split-Geräte)	Serverraumtemperatur, Drehzahlreglung der Lüfter, Abstimmung der Geräte aufeinander bzgl. der Regelung (läuft ein ULK voll und alle anderen sind aus oder laufen alle auf halber Drehzahl), Möglichkeit der direkten freien Kühlung, Redundanz/Dimensionierung	gut
	IKT	Standby-Verluste	Nutzerverhalten, Auslastung der IKT	schlecht	
	Sonstiges	Beleuchtung, Brandschutzanlage etc.	vernachlässigbar	gut	
Büroumgebung	Stromversorgung	USV (falls vorhanden)	Dimensionierung, Auslastung	gut	
		Netzteile	Wirkungsgrad bei geringer Auslastung, Auslastung	mittelmäßig	
		Leitungsverluste	Länge der Leitungen	gut	
	Klimatisierung			Branche, Nutzerverhalten	Außerhalb von Serverräumen schlecht
		IKT	Standby-Verluste	Nutzerverhalten, Auslastung der IKT	schlecht
Netzwerkkumgebung	Stromversorgung	USV (falls vorhanden)		gut	
		Netzteile		mittelmäßig	
	Klimatisierung	Kälteanlage (falls vorhanden)	Möglichkeit der Freien Kühlung, Auslastung/Dimensionierung, Wirkungsgrad im Teillastbetrieb	schlecht	
			Wärmeabtrans-	Serverraumtemperatur,	schlecht

		port aus Serverraum (Lüfter der ULK oder Split-Geräte) (falls vorhanden)	Drehzahlreglung der Lüfter, Abstimmung der Geräte aufeinander bzgl. der Regelung (läuft ein ULK voll und alle anderen sind aus oder laufen alle auf halber Drehzahl), Möglichkeit der direkten freien Kühlung, Redun- danz/Dimensionierung	
--	--	--	---	--

## 2 Peripherer Energieverbrauch im Rechenzentrum

Der Energiebedarf eines Rechenzentrums teilt sich je nach Auslegung der Gebäudetechnik und Auslastung der IT recht unterschiedlich auf. Das in Abbildung 4 dargestellte Rechenzentrum benötigt für das IT-Equipment nur rund 30% des Gesamtenergiebedarfes des Rechenzentrums. 69% der Energie des Rechenzentrums wird daher für periphere Energieverbraucher der Stromversorgung als auch für die Klimatisierung genutzt.



**Abbildung 4: Aufteilung des Energieverbrauches in einem Rechenzentrum (Barroso & Hölzle 2009)**

Andere Rechenzentren, können einen unterschiedlich aufgeteilten Energiebedarf aufweisen. So kann, wie in Abbildung 5 dargestellt, die Energie des IT-Equipments 65 % des Gesamtenergiebedarfes einnehmen, nur 34 % der

Gesamtenergie des Rechenzentrums werden für periphere Bereiche verwendet.

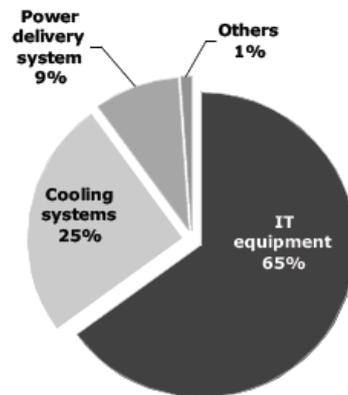


Abbildung 5: Anteile der Energiebedarfe der Teilbereiche / Funktionalen Systeme am Gesamtenergiebedarf eines RZ (Dittmar & Schaefer 2009)

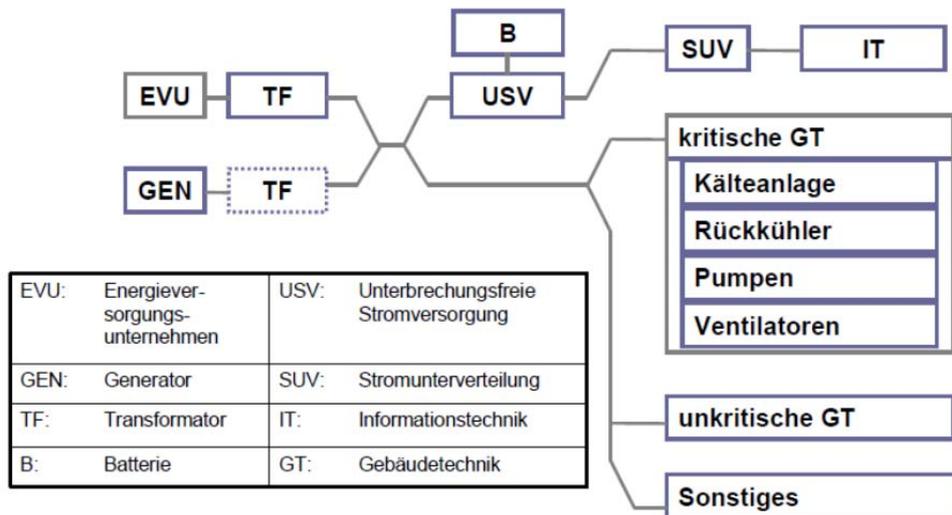
## 2.1. Stromversorgung

Zur Stromversorgung gehören der Anschluss (bei Redundanz mehrere) des Energieversorgers, Transformatoren, eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, die Stromverteilung inklusive der Power Distribution Units (PDU) in den Serverschränken sowie eine Notstromversorgung bzw. Netzersatzanlage (NEA) für den Fall einer Unterbrechung der Stromversorgung (Dittmar & Schaefer 2009).

Die Transformatoren sorgen für die adäquate Spannungsversorgung des Rechenzentrums. Die USV stellt eine unterbrechungsfreie Stromversorgung des empfindlichen IT-Equipments sicher und sorgt für den Ausgleich möglicher Spannungsschwankungen. Im Falle eines Stromausfalles übernimmt die Batterie der USV für einen Moment die Stromversorgung bis sich die Netzersatzanlage (zumeist Dieselgeneratoren) zuschaltet. Diese übernimmt die Stromversorgung für den weiteren Betrieb oder für das geregelte Herunterfahren der Server. Zur Stromverteilung gehören neben den Verteilungsleitungen die PDUs in den IT-Racks. Dies sind Strom-Verteilerleisten, an denen, je nach Ausstattung der Leisten, die Leistung der Racks bzw. der einzelnen Server ausgelesen werden kann. Werden diese Daten automatisiert in regelmäßigen Abständen aufgenommen und in ein Monitoring-System integriert, kann gezielt auf die jeweilige Auslastung der Server eingegangen werden, so zum Beispiel

durch die Regelung der Klimatisierung in Abhängigkeit der IT-Auslastung oder durch die Erhöhung der Leistungsdichte durch Virtualisierung (Schaefer u. a. 2008).

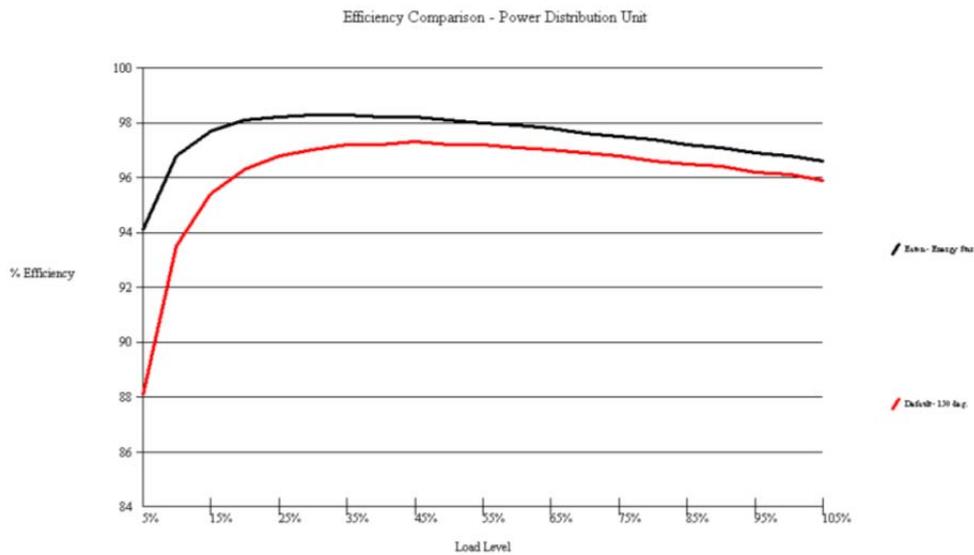
Abbildung 6 zeigt beispielhaft einen Aufbau der Stromversorgung in einem Rechenzentrum. Der Generator steht dabei für die Notstromversorgung.



**Abbildung 6: Typischer Aufbau der elektrischen Energieversorgung in einem Rechenzentrum (Schaefer u. a. 2008)**

Ein peripherer Verbraucher im Bereich der Stromversorgung ist die Netzersatzanlage, also Dieselgeneratoren, die im Falle einer Unterbrechung der Stromversorgung diese übernehmen. Die Generatoren müssen regelmäßig einem Testbetrieb unterzogen werden. Zudem muss der Diesel für möglichst kurze Anlaufzeiten ständig auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden.

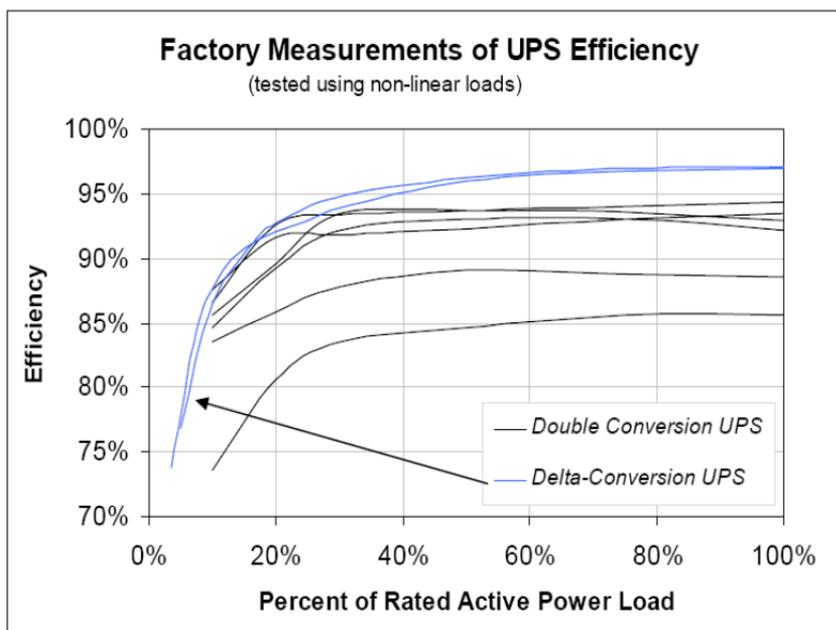
Über Transformatoren wird die elektrische Energie in das Rechenzentrum geleitet. Meist werden effiziente Trockentransformatoren eingesetzt (dry-type Distribution Transformer). Diese weisen Wirkungsgrade zwischen 96 und 99 % auf (Eaton Powerware 2007). Herstellerangaben beziehen sich dabei meist auf die volle Auslastung des Transformators. In Rechenzentren sind Transformatoren aber nur selten bis nie voll ausgelastet. Daher ist vor allem der Verlauf des Wirkungsgrades bei geringerer Auslastung (je nach Auslastung des Rechenzentrums) von Bedeutung. Ein qualitativer Verlauf des Wirkungsgrades wird in Abbildung 7 dargestellt. Dabei entspricht die schwarze Kurve dem Wirkungsgradverlauf eines Trockentransformators. Die rote Kurve entspricht älteren Transformatortechnologien.



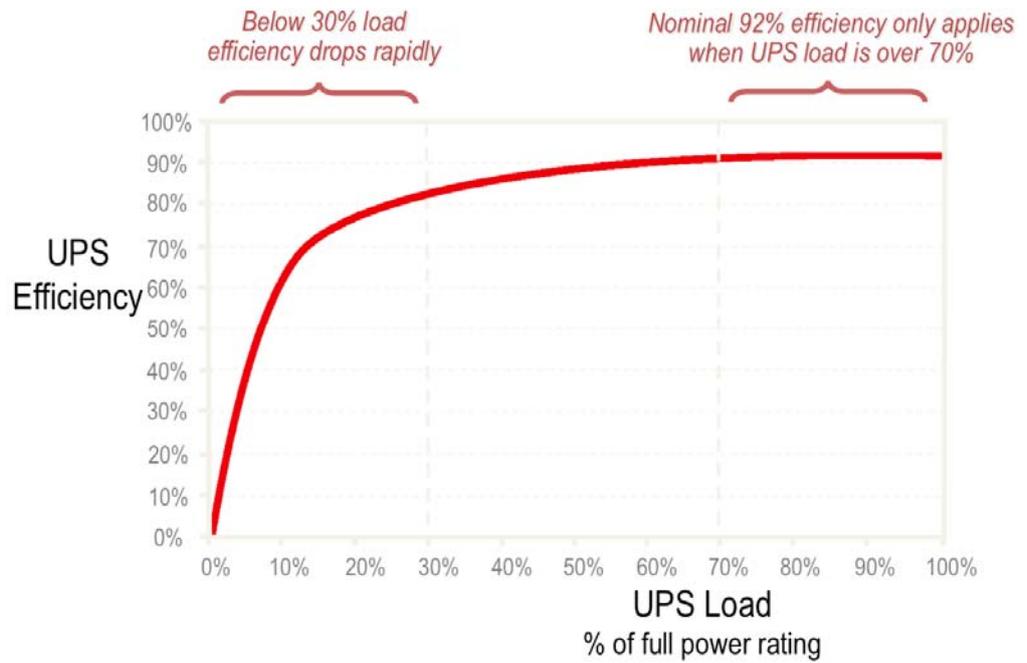
**Abbildung 7: Verlauf des Wirkungsgrades von Transformatoren (Eaton Powerware 2007)**

Im Bereich der Stromversorgung treten des Weiteren Verluste vor allem an der USV, den PDUs sowie an den Servernetzteilen auf.

Lastkurven von unterbrechungsfreien Stromversorgungen sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt.

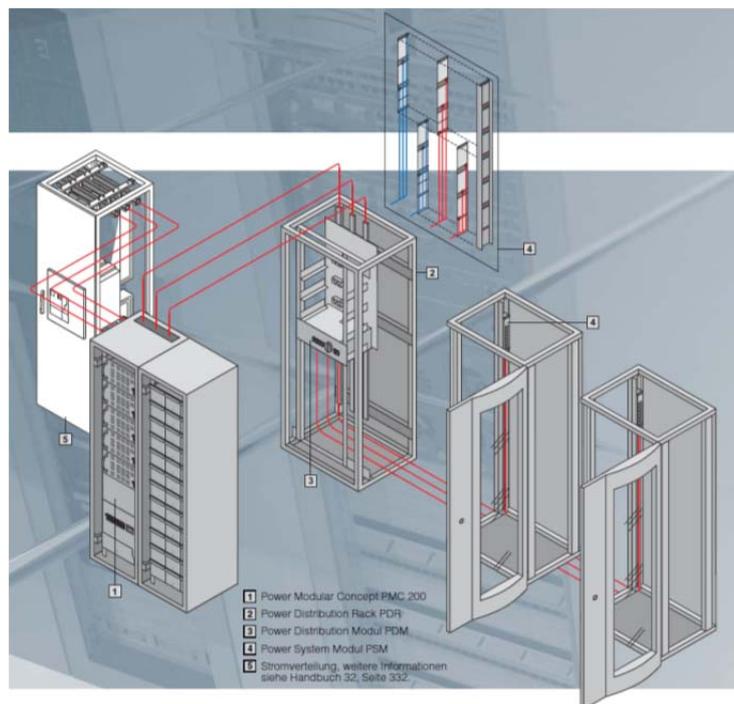


**Abbildung 8: Lastkurven verschiedener USV (Sawyer 2007)**



**Abbildung 9: Typische Lastkurve einer USV (Sawyer 2007)**

Die Energieverteilung im Serverraum über PDU-Leisten veranschaulicht Abbildung 10.



**Abbildung 10: Energieverteilung im Serverraum, Power Distribution Units (Rittal 2009)**

Abbildung 11 zufolge beträgt der Anteil des Energiebedarfes von PDUs rund 5 % am Gesamtenergiebedarf eines Rechenzentrums.

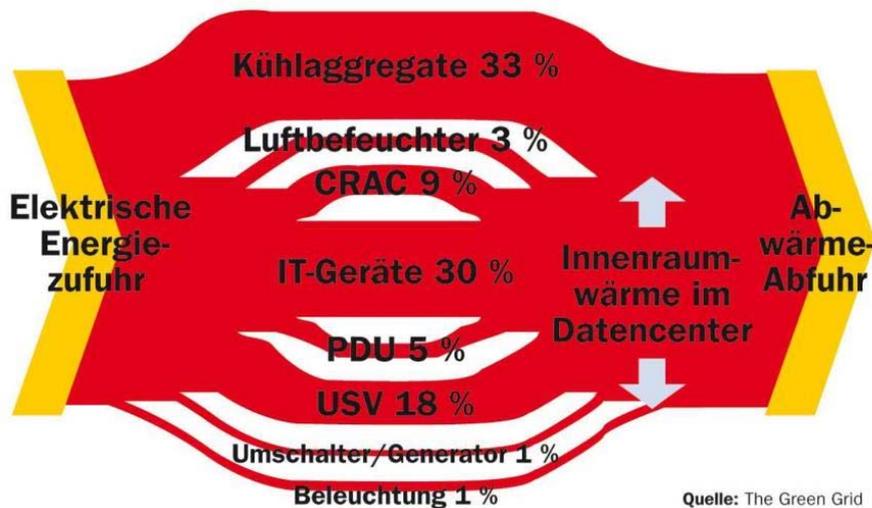


Abbildung 11: Verluste in einem typischen Rechenzentrum, PDU-Verluste betragen 5 % (Computerwoche 2007)

Abbildung 12 zeigt die Lastkurven verschiedener Servernetzteile. Bei einer Auslastung kleiner als 30 % sinkt der Wirkungsgrad eines Netzteilteil in der Regel schnell ab. Ab einer Auslastung von ca. 80 % sinkt die Effizienz wieder geringfügig. Im Bereich dazwischen erreichen die Netzteilteil ihren höchsten Wirkungsgrad. Der durchschnittliche Wirkungsgrad eines Servernetzteilteil liegt Abbildung 12 zufolge bei rund 75 %.

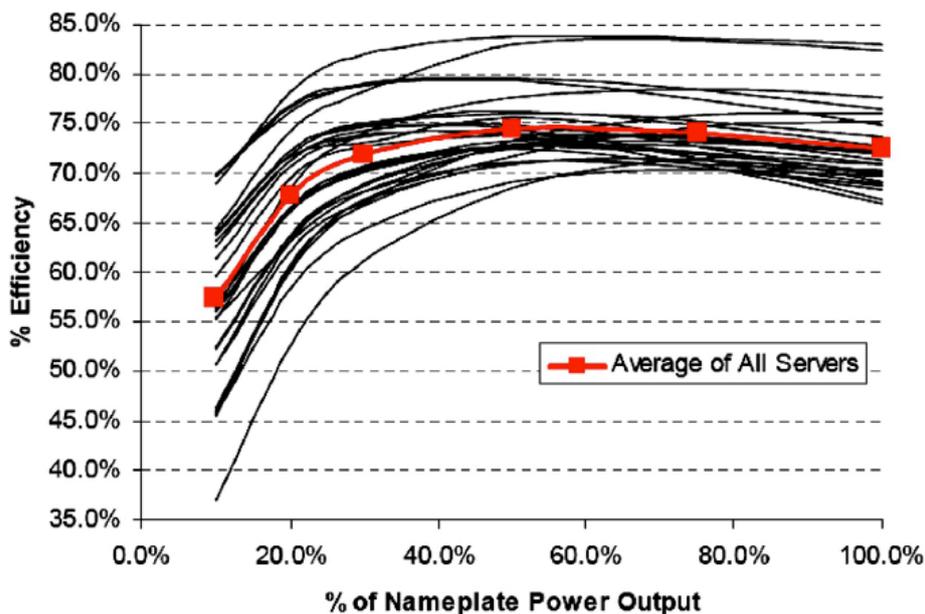


Abbildung 12: Lastkurven verschiedener Server-Netzteilteil (Barroso & Hölzle 2009)

Zu den peripheren Energieverbräuchen durch die Stromversorgung müssen auch die Leitungsverluste an sämtlichen Stromleitungen gezählt werden. Diese können in Abhängigkeit vom eingesetzten Material, vom Leitungsquerschnitt

sowie der Länge der verwendeten Stromleitung, der Netzspannung und der angeschlossenen Gesamtleistung, wie folgt berechnet werden:

Zunächst muss der Widerstand der Stromleitung  $R_L$  berechnet werden.

$$R_L = \rho * \frac{l}{A}$$

$\rho$  – spezifischer Widerstand der Leitung in Abhängigkeit des Materials der Leitung in  $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$

$l$  – Länge der Leitung in m

$A$  – Querschnitt der Leitung in  $\text{mm}^2$

Im nächsten Schritt muss der Widerstand des angeschlossenen Verbrauchers  $R_V$  ermittelt werden. Dazu kann die Nennlast des Verbrauchers verwendet werden.

$$R_V = \frac{U^2}{P}$$

$U$  – Netzspannung in V

$P$  – Nennleistung des Verbrauchers in W

Der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  des Stromkreises setzt sich aus dem zweifachen Widerstand der Stromleitung (Hin- und Rückweg) sowie dem Widerstand des Verbrauchers zusammen.

$$R_{ges} = 2 * R_L + R_V$$

Mithilfe des Gesamtwiderstandes des Stromkreises und des ohmschen Gesetzes kann die vorherrschende Stromstärke  $I$  berechnet werden.

$$I = \frac{U}{R_{ges}}$$

Mit der Stromstärke kann nun die Spannung an der Stromleitung  $U_L$  berechnet werden.

$$U_L = R_L * I_{ges}$$

Die Verlustleistung  $P_V$  an der Stromleitung berechnet sich nun aus

$$P_V = 2 * U_L * I_{ges}$$

Da die Verlustleistung sowohl auf dem Hinweg zum Verbraucher als auch auf dem Rückweg vom Verbraucher im Stromkreis auftritt, muss diese, wie in der Gleichung gezeigt, verdoppelt werden.

Die Leitungsverluste werden durch Blindleistungen im Wechselstromsystem zusätzlich erhöht. Um unnötige Stromkosten zu vermeiden, Leitungsquerschnitte kleiner sowie Transformatoren und Schalter kleiner gestalten zu können, sollte für eine Blindstromkompensation gesorgt werden. Nicht zuletzt kann durch eine Blindstromkompensation der Brennstoffeinsatz in Kraftwerken reduziert werden (Stadtwerke München 2004).

Blindstrom bzw. Blindleistung entsteht durch induktive Verbraucher und dient zur Erzeugung elektrostatischer oder elektromagnetischer Felder. Diese Felder bauen sich im Wechselstromsystem kontinuierlich auf und ab. Die elektrische Energie pendelt daher zwischen Erzeuger und Verbraucher hin und her. Mittels eines speziellen Energiezählers wird die auftretende Blindenergie erfasst. Ein nach der Höhe der auftretenden Blindleistung ausgelegter kapazitiver Verbraucher, der parallel hinzugeschaltet wird, wirkt mit seinem kapazitiven Blindstrom dem induktiven Blindstrom entgegen. In der Blindleistungskompensationsanlage können je nach auftretender Belastung durch Blindstrom Kondensatoren hinzu- oder abgeschaltet werden.

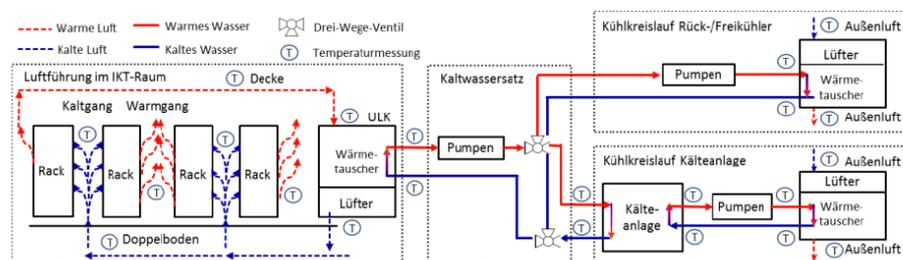
## **2.2. Klimatisierung**

Der Bereich der Klimatisierung umfasst die Kälteanlage (meist Kompressionskälteanlage), den Kaltwassersatz zur Übertragung der Abwärme aus dem Serverraum an die Kälteanlage, die Klimatisierung der Server bzw. des Serverraumes (zum Beispiel über Umluftklimageräte) sowie sämtliche Pumpen, Lüfter, Rohre und Rückkühler (Hintemann u. a. 2010). Andere Systeme, wie zum Beispiel die direkte Abführung der Abwärme aus dem Serverraum an die Außenluft über Splitgeräte, sind ebenfalls denkbar.

Neben der Übertragung der Abwärme der IT über einen Kaltwassersatz an einer Kompressionskälteanlage werden auch Freikühlermodule eingesetzt. Hier wird die Abwärme über einen Kaltwassersatz und Rückkühler direkt an die Außenluft übertragen (indirekte Freie Kühlung). Zum Teil sind Technologien im Einsatz, bei denen die kalte Außenluft zur Kühlung direkt in den Serverraum geleitet wird (direkte freie Kühlung). Die Einsatzhäufigkeit der freien Kühlung ist

stark von der Außenlufttemperatur am Standort des Rechenzentrums sowie der angestrebten Temperatur im Serverraum abhängig. Bei der partiellen freien Kühlung übernimmt das Freikühler-Modul nur einen Anteil der Kühllast, dessen Größe von der momentanen Außenlufttemperatur bestimmt wird. Der Rest der Kühllast wird durch die Kälteanlage abgeführt.

Im Serverraum selbst trägt unter anderem die Einhausung der Racks zu einer Verbesserung der Effizienz bei. Diese verhindern die Vermischung warmer und kalter Luftströme bei der Klimatisierung. Abbildung 13 zeigt den beispielhaften Wärmetransport in einem Rechenzentrum. CRAC steht dabei für **C**omputer **R**oom **A**ir **C**onditioner und bezeichnet ein Umluftklimagerät.



**Abbildung 13: Schematischer Ablauf des Wärmetransportes in einem Rechenzentrum (Informatik-Paper: Schödwel u. a. 2012)**

Energieverbraucher der Klimatisierung sind vor allem der Kompressor bei einer Kompressionskälteanlage, Rückkühler, Pumpen des Kaltwassersatzes sowie die Lüfter in Umluftklimageräten der Serverräume.

Die Kälteanlage wird in Abhängigkeit der Kühllast ausgelegt, die in allen Kühlzonen maximal gleichzeitig auftreten kann und unter Berücksichtigung der zu erwartenden Außentemperaturen. Werden große Lastschwankungen oder nur selten die volle Auslastung der Kälteanlage erwartet, wird die Kälteanlage in Teillast betrieben. Dargestellt werden im Folgenden die wesentlichen Komponenten von Kompressionskälteanlagen. Für weitere Anlagentypen, wie z.B. Absorptionskältemaschinen wird auf Spezialliteratur wie z.B. (IKET 2010) verwiesen.

Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen das Teillastverhalten eines Turboverdichters, eines Schraubenverdichters und eines Hubkolbenverdichters (Schramek u. a. 2006). Der Verlauf der Kühlleistung ist bei diesen drei Verdichterarten annähernd gleich.

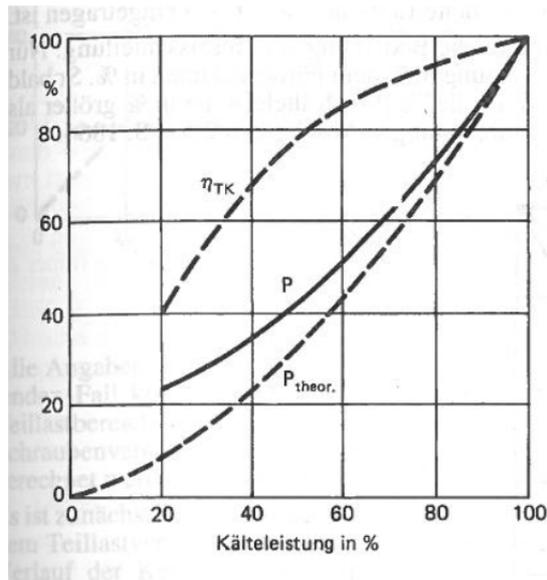


Abbildung 14: Teillastverhalten eines Turboverdichters (Schramek u. a. 2006)

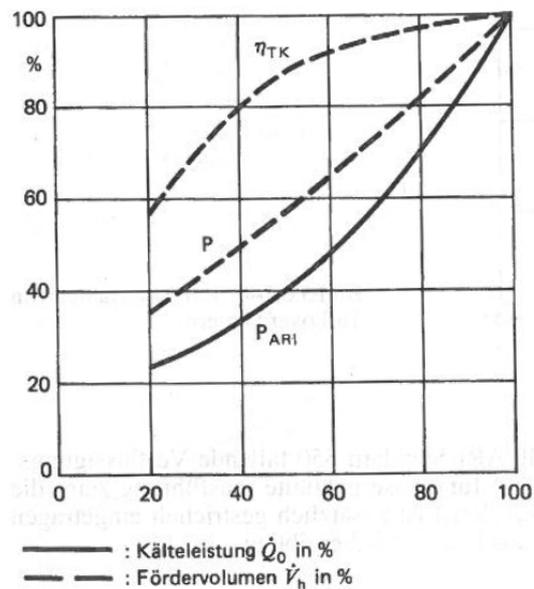
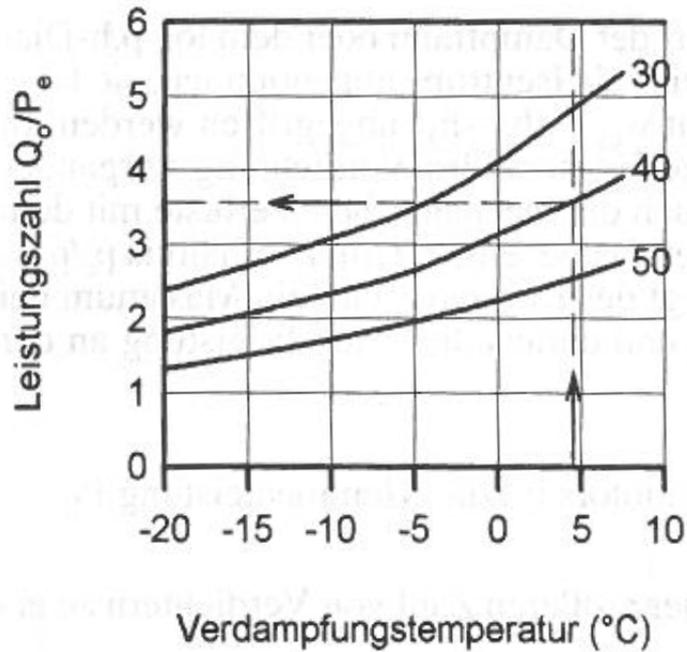


Abbildung 15: Teillastverhalten eines Schraubenverdichters (Schramek u. a. 2006)

Für die Effizienz von Kälteanlagen als periphere Verbraucher der IT gilt allgemein auch, dass die Leistungszahl steigt, je geringer die Verflüssigungstemperatur bei gleichbleibender Verdampfungstemperatur ist. Dies verdeutlicht Abbildung 16 anhand eines Kaltdampf-Hubkolbenverdichters. Um die Funktion der Anlage jedoch zu gewährleisten, sind der Absenkung der Verflüssigungstemperatur Grenzen gesetzt.



**Abbildung 16: Betriebsverhalten von Kaldampf-Hubkolbenverdichtern mit Kältemittel R 404 A (Schramek u. a. 2006)**

Nach (Schramek u. a. 2006) gilt, dass es oft effizienter ist, zwei Flüssigkeitskühler parallel mit Teillast zu betreiben als nur einen davon mit Volllast.

Zu den peripheren Energieverbräuchen gehört zudem der Energieverbrauch aller Pumpen im Kühlsystem. Abbildung 17 zeigt die Leistungskennlinie einer stufenlosen Drehzahlregelung bei konstanter Förderhöhe einer Pumpe als Bestandteil einer Heizungsanlage. Der Verlauf der Kennlinie in einem Kühlsystem ist ähnlich.

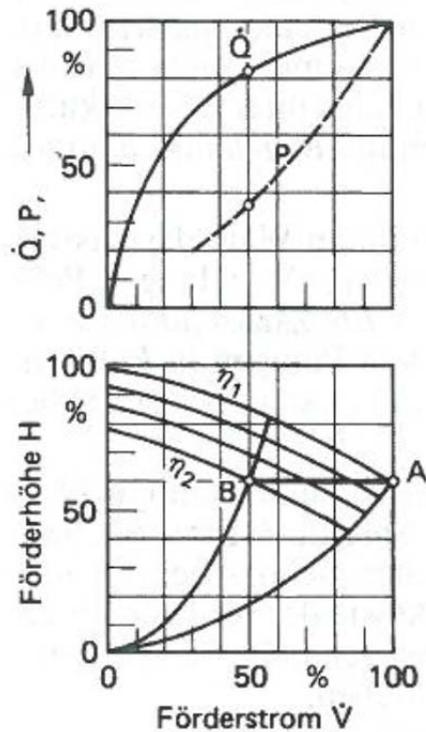


Abbildung 17: Stufenlose Drehzahlregelung bei konstanter Förderhöhe H (P – Leistungsaufnahme, Q – Wärmeleistung) (Schramek u. a. 2006)

Zumeist werden in der Gebäudetechnik Radialpumpen eingesetzt. Abbildung 18 zeigt sowohl den Verlauf des Wirkungsgrades als auch eine Lastkurve einer Radialpumpe.

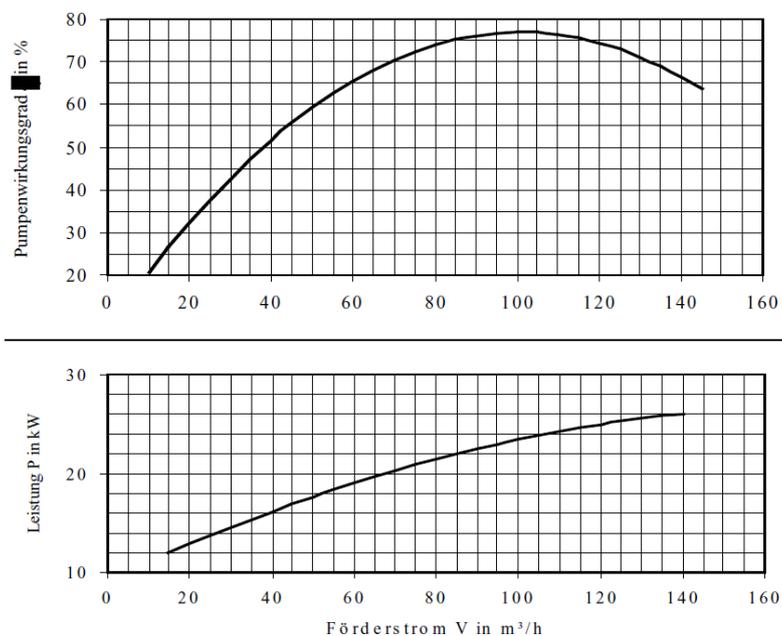


Abbildung 18: Typische Lastkurve und der Verlauf des Pumpenwirkungsgrades eines Radiallüfters (FH Wolfenbüttel 2004)

Für die Berechnung des Volumenstromes zu einer bestimmten Drehzahl gilt folgende Gleichung.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Die Leistung zu einer bestimmten Drehzahl eines Radiallüfters kann wie folgt berechnet werden.

$$\frac{P_{n1}}{P_{n2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Des Weiteren haben die Lüfter in Umluftklima- oder Splitgeräten, die dem Abtransport der Server-Abwärme aus dem Serverraum dienen, einen Anteil am peripheren Energieverbrauch (Schramek u. a. 2006).

### **2.3. Standby-Verluste der IKT**

Einen großen Anteil am peripheren Verbrauch im Rechenzentrum haben die Wärmeverluste der Server, des Storage und der Netzwerke, wenn diese sich im Idle-State befinden. Obwohl die Standby-Verluste nicht zu den peripheren Energiebedarfen zählen, fällt durch sie peripherer Energiebedarf an, da auch bei keiner Auslastung die Geräte elektrische Energie benötigen und daraus Abwärme erzeugen. Abbildung 19 bis Abbildung 22 zeigen repräsentativ Lastkurven verschiedener Server-Prozessoren aus dem spec-power-Benchmark (SPEC 2012). Dabei wird deutlich wie hoch der Energiebedarf im Idle-State gerade bei älteren Servern (vor 2011) ist. Rund 50 % der Leistung, die bei voller Auslastung benötigt wird, verbrauchen viele Server schon im Standby-Betrieb. Bei Servern, die ab 2012 erhältlich waren, lag die Leistung im Standby-Betrieb nur noch bei ca. 20 %<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Zu beachten ist hierbei, dass der SPEC-Powerbenchmark bisher nur die CPU-Auslastung berücksichtigt; ein neuer Standard, der auch Speicher und Festplatten mit ihn die Bewertung aufnehmen soll, den SPEC SERT, wird entwickelt (Spec 2012).

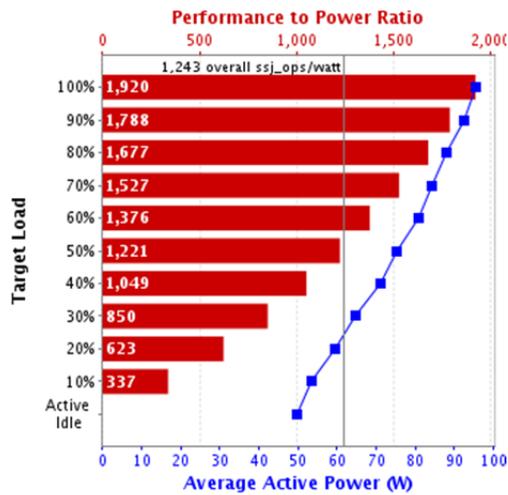


Abbildung 19: Acer Incorporated AT 110 F1 (Dezember 2009)



Abbildung 20: Dell Inc Power Edge 2950 III (Intel Xeon E5440) (März 2008)

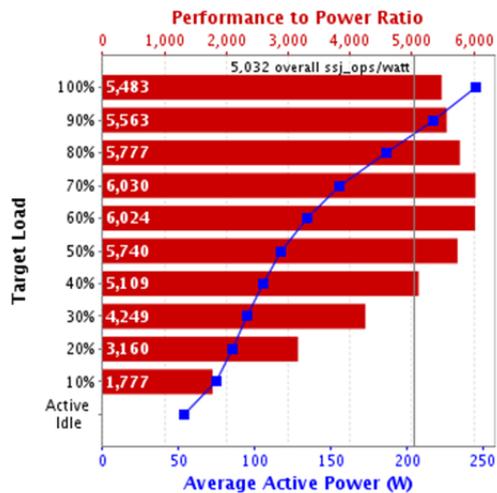


Abbildung 21: Fujitsu Primergy RX300 S7 (Intel Xeon E5 2660) (April 2012)



Abbildung 22: HP Company ProLiant DL 385 (2.3 GHz, AMD Opteron Prozessor 2356) (März 2008)

Durch einen hohen Virtualisierungsgrad oder den Zusammenschluss mehrerer Server oder Rechenzentren zu einer Cloud, können die Auslastungen einzelner Server erhöht und somit entstehende Überkapazitäten abgebaut werden (abschalten nicht mehr genutzter Server). Auf diese Weise können unnötige Verluste durch den Standby-Betrieb reduziert werden.

## 2.4. Sonstige periphere Energiebedarfe

Zu den sonstigen peripheren Energiebedarfen im Rechenzentrum gehört z.B. die Brandvermeidungsanlage. Diese besteht oft aus einem Gaslöschsystem.

Weiterhin kann durch eine Sauerstoffreduktionsanlage der Sauerstoffanteil im Luftkreislauf des RZ vermindert werden, um die Brände zu verhindern. Die Bestimmung des benötigten Energiebedarfs hängt von der konkreten Technologie ab und sollte messtechnisch bestimmt werden (Alger 2005).

## **2.5. Auswirkungen höherer Redundanz-Standards auf den peripheren Energieverbrauch**

Der Redundanz-Standard (Tier-Klassifikation) beschreibt den Sicherheitsstandard, mit dem das System im Falle eines Ausfalles einer oder mehrerer Komponenten abgesichert ist.

### **Tier I**

Systeme im Tier I-Standard verfügen über keine Redundanz. Alle Komponenten der Stromversorgung sowie der Klimatisierung sind nur einfach vorhanden. Im Falle einer Störung oder einer Wartung muss der Betrieb des Rechenzentrums unterbrochen werden.

### **Tier II**

Die Komponenten der Stromversorgung sowie der Klimatisierung sind teilweise redundant ausgelegt, sodass im Falle eines Ausfalles einer Komponente die Leistung von einer anderen Komponente übernommen werden kann. So werden meist die USV sowie die Umluftklimaschränke redundant geplant, der Anschluss eines Energieversorgers, Stromleitungen sowie die Kälteanlage sind hingegen nur einfach vorhanden. Im Falle einer Störung oder Wartung muss daher u. U. der Betrieb des Rechenzentrums weiterhin unterbrochen werden.

### **Tier III**

Hier gibt es zwei Anschlüsse an untereinander unabhängige Stromnetze, redundante Stromverteilungen, Transformatoren, Netzersatzanlagen sowie redundante USV. Die Kälteanlage ist nur einfach vorhanden.

### **Tier IV**

Das Rechenzentrum wird komplett gespiegelt, so dass alle Komponenten (inkl. redundanter Komponenten) ein weiteres Mal vorhanden sind.

Die Energieeffizienz der Stromversorgung, Kälte- bzw. der Klimatechnik wird durch den Wirkungsgrad der Einzelkomponenten bestimmt. Wird die Redun-

danz im Rechenzentrum erhöht führt dies zu einem Teillastbetrieb fast aller Komponenten des peripheren Energiebedarfs, da die redundanten Komponenten fast immer parallel betrieben werden müssen. Dieser Effekt verstärkt sich, je größer die Redundanz ist. Tabelle 2 verdeutlicht dies. Um die Auslastung der Einzelkomponenten trotz Einhaltung des Redundanz-Konzeptes zu erhöhen, muss die Anzahl der Module einer Anlage vergrößert werden. So kann eine USV bei einem Redundanz-Konzept von N+1 beispielsweise in 4 Teile geteilt werden, wovon ein Teil die Redundanz darstellt (3 sind zur Versorgung notwendig). Das redundante Modul hat demnach eine geringere Leistung, die gesamte USV hat damit eine Dimensionierung, die der bei einem N-Konzept näher ist, als wenn nur 2 USV-Module verwendet werden. Dabei ist zu beachten, dass ein kleineres redundantes Modul natürlich auch nur eine geringere Leistung abfangen kann, wenn es zum Ausfall von Komponenten kommt. Die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Module gleichzeitig ausfallen, ist jedoch als gering einzuschätzen.

**Tabelle 2: Auswirkung des Redundanz-Konzeptes auf die Auslastung der Komponenten (Kühr 2010)**

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

Tabelle 3 zeigt den durchschnittlichen USV-Wirkungsgrad für verschiedene Auslastungen. Wie schon anhand der Lastkurven in Abbildung 8 und Abbildung 9 gezeigt wurde, wird auch hier deutlich, dass der Wirkungsgrad einer USV im Teillastbetrieb sinkt. Es ist daher die größtmögliche Auslastung aller USV-Module anzustreben, die im Rahmen des gewünschten Redundanz-Konzeptes möglich ist.

**Tabelle 3: USV-Wirkungsgrad nach Code of Conduct (European Commission) (Kühr 2010)**

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

Quelle: IKTOW

Klass./1/ USV-Typen „VFI-S-...“ nach EN62040-3  
 Klass./2/ alle USV-Typen „VI“ und „VFI“ nach EN62040-3, außer „VFI-S-...“  
 Klass./3/ alle USV-Typen „VFD“ nach EN62040-1

### 3 Peripherer Energieverbrauch in der Büroumgebung

Der Energiebedarf in Bürogebäuden ist stark abhängig von der Branche, der Ausstattung der Gebäudetechnik und des vorhandenen IKT-Equipments. So liegt der spezifische Strombedarf von Bürogebäuden zwischen 3000 und 12000 kWh pro Person und Jahr (Köwener u. a. 2004). Der Anteil für Server und Netzwerke sowie für periphere Verbraucher (USV, Kühlung) wird am Beispiel einer Behörde mit ca. 30 % angegeben (Köwener u. a. 2004).

Betrachtet man den Gesamtstrombedarf von IKT-Geräten in Unternehmen im Jahr 2007 (Stobbe u. a. 2009), so teilt dieser sich wie in Abbildung 23 dargestellt auf. Rund die Hälfte des Stromes wurde von Desktop-PCs benötigt. Monitore verbrauchten weitere 19 % des Gesamtstrombedarfs von IKT-Geräten in Unternehmen. Rund 30 % des Strombedarfs für die Informations- und Kommunikationstechnik kann Druckern, Telefonen, Routern und Notebooks zugeschrieben werden.

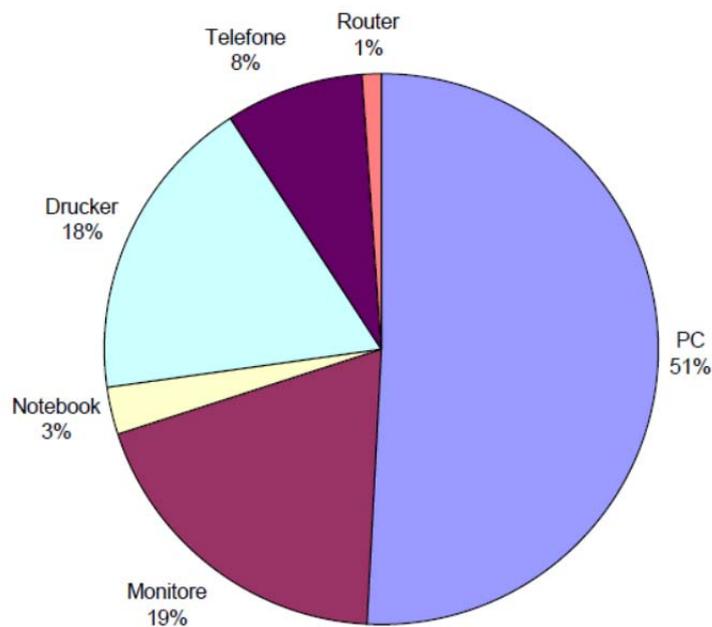


Abbildung 23: Strombedarf für IKT-Endgeräte in Unternehmen 2007: 6,8 TWh (Stobbe u. a. 2009)

### **3.1. Stromversorgung**

Auch in Bürsumgebungen kann die Informations- und Kommunikationstechnik ganz oder teilweise durch unterbrechungsfreie Stromversorgungen gesichert werden. Welche Geräte dabei über eine USV versorgt werden, ist abhängig von der Branche, in der gearbeitet wird und vom eigenen Ermessen der Betreiber. Generelle Aussagen können daher nicht getroffen werden. Die Verluste einer USV und damit der Beitrag dieser zum peripheren Energieverbrauch der IKT wird auch hier von ihrer Dimensionierung sowie der Auslastung bestimmt. Abbildung 9 zeigt den typischen Verlauf des Wirkungsgrades einer USV.

Genauso wie in Rechenzentren zählen auch in der Bürsumgebung die Verluste an allen Netzteilen von IKT-Geräten zum peripheren Energieverbrauch. Auch hier ist es wichtig möglichst effiziente Netzteile einzusetzen, die vor allem bei geringer Auslastung einen guten Wirkungsgrad aufweisen. Abbildung 12 zeigt den durchschnittlichen Verlauf des Wirkungsgrades an Server-Netzteilen. Dieser kann auf Netzteile anderer IKT-Geräte übertragen werden.

Zu den peripheren Energieverbräuchen in Bürsumgebungen zählen zudem die Leitungsverluste an sämtlichen Stromleitungen. Diese können wie in Abschnitt 2.1 dargestellt berechnet werden.

### **3.2. Klimatisierung**

Den peripheren Energieverbrauch durch die Klimatisierung von IKT-Geräten zu bestimmen, fällt in der Bürsumgebung schwerer als im Rechenzentrum. Wird nur ein Serverraum klimatisiert, kann der Energieverbrauch hierfür leicht ermittelt werden. Werden jedoch auch Büros klimatisiert, kann der Anteil für den Abtransport von Abwärme der IKT-Geräte nur rechnerisch von dem Energieverbrauch für die Kühlung von anderen Wärmeinträgen des Raumes (Sonneneinstrahlung, Abwärme von Personen, Beleuchtung und anderen Geräten) getrennt werden. Die Lastkurven für das Teillastverhalten von Verdichtern in Kälteanlagen, wie in Abbildung 14 bis Abbildung 17 gezeigt, gelten jedoch auch hier.

### 3.3. Standby-Verluste der IKT

Neben dem peripheren Energieverbrauch in der Stromversorgung sowie der Klimatisierung, spielen die Verluste durch den Standby-Betrieb von PCs, Monitoren, Servern und Netzwerken für den Gesamtstrombedarf in Büroumgebungen eine große Rolle. Streng genommen handelt es sich bei Standby-Verlusten nicht um periphere Energiebedarfe, aber da die Geräte auch im Standby-Modus Energie benötigen, fällt auch zusätzlicher peripherer Energiebedarf an. Aufgrund der großen Bedeutung von Standby-Verlusten in der Büroumgebung (viele Geräte im Büroumfeld befinden sich oft im Standby-Modus oder in einem inaktiven Zustand) wird an dieser Stelle ausführlich auf sie eingegangen.

Der in Abbildung 19 bis Abbildung 22 gezeigte Leistungsbedarf von Servern im Standby-Betrieb im Verhältnis zur Leistung bei voller Auslastung kann qualitativ auch auf PCs in der Büroumgebung übertragen werden.

Abbildung 24 zeigt den Anteil des Standby-Betriebes am Gesamtenergieverbrauch verschiedener IKT-Geräte in der Büroumgebung. Es wird deutlich, dass bei allen gezeigten Geräten der Standby-Betrieb den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch einnimmt. Abbildung 25 zeigt, dass durch das Fraunhofer Institut (Stobbe u. a. 2009) ermittelte Verhältnis aus Stromverbrauch durch den Standby-Betrieb und dem Stromverbrauch im aktiven Modus von IKT-Geräten. Hier beträgt der Stromverbrauch durch Standby nur ein Viertel des Gesamtstromverbrauches von IKT-Geräten und zeichnet damit ein weniger drastisches Bild als Abbildung 24. Die Angaben des Fraunhofer Institutes beruhen auf Unternehmensumfragen. Beide Quellen verdeutlichen jedoch, dass durch eine Änderung des Nutzerverhaltens an dieser Stelle viel Energie eingespart werden kann.

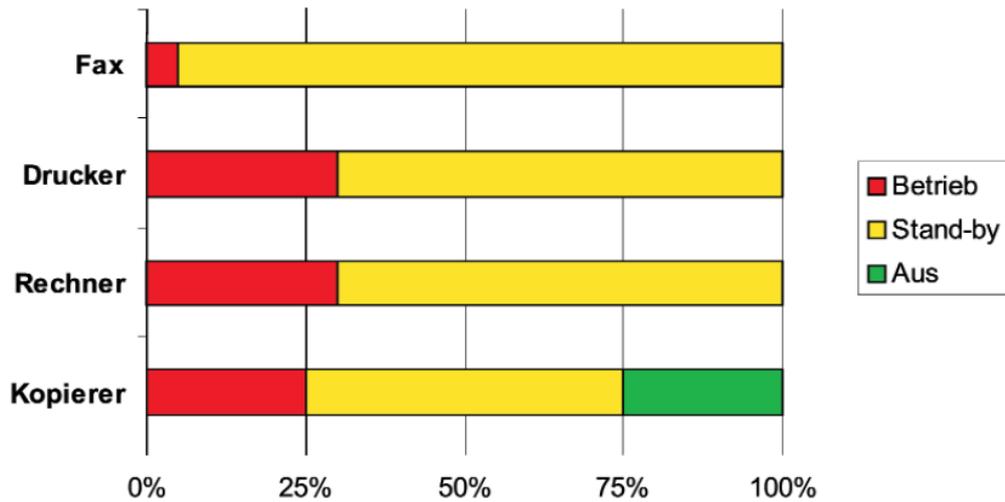


Abbildung 24: Energieverbrauch / Betriebszuständen (Köwener u. a. 2004)

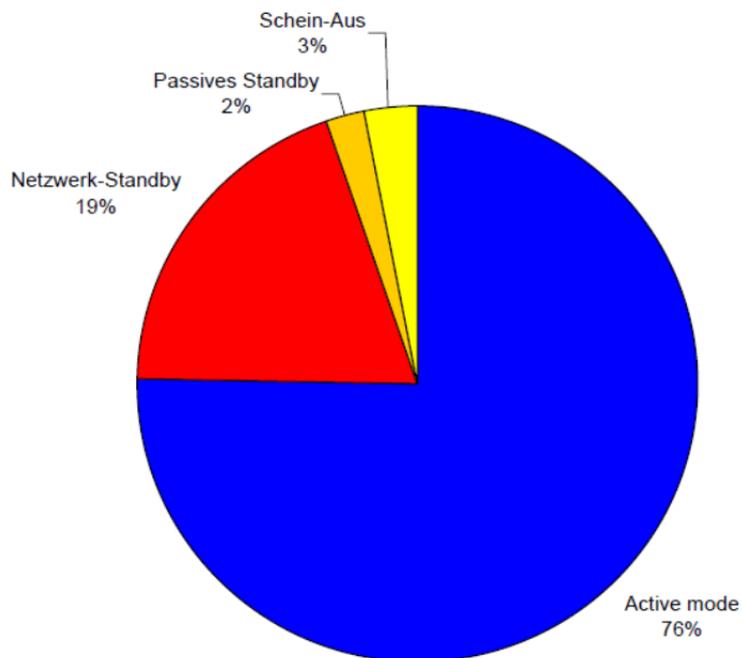


Abbildung 25: Strombedarf für IKT-Endgeräte in Unternehmen 2007 nach Betriebszuständen (Stobbe u. a. 2009)

## 4 Peripherer Energieverbrauch in Netzwerken

Im Folgenden wird der periphere Energieverbrauch in Netzwerken dargestellt.

## **4.1. Stromversorgung**

Auch in der Netzwerkumgebung treten periphere Energieverbräuche durch die unterbrechungsfreie Stromversorgung auf. Den Anteil der USV-Verluste zu ermitteln, die aufgrund der Versorgung der Netzwerkumgebung anfallen, ist im Serverraum als auch in der Büroumgebung nicht mühelos möglich, da stets auch andere IKT-Geräte über die USV versorgt werden. Der übliche Verlauf des Wirkungsgrades einer USV ist in Abbildung 9 dargestellt.

Des Weiteren fallen genau wie in Rechenzentren und Büroumgebungen Leitungsverluste an. Die Berechnung dieser wurde in Abschnitt 2.1 in der Büroumgebung gezeigt.

Auch die Verluste von Netzteilen gehören zum peripheren Energieverbrauch in Netzwerkumgebungen. Hier sind ebenfalls effiziente Netzteile nötig, um den Energieverlust in Form von Abwärme bei geringerer Auslastung gering zu halten. Der typische Verlauf des Wirkungsgrades von Server-Netzteilen wird in Abbildung 12 gezeigt. Dieser kann auf Netzteile von Netzwerkkomponenten übertragen werden.

## **4.2. Klimatisierung**

Auch die Energie, die für den Abtransport von Abwärme von Netzwerkkomponenten und das Kühlen dieser benötigt wird, kann nur schwer bestimmt werden, da diese selten getrennt von anderen IKT-Geräten aufgestellt werden.

# **5 Abstimmung mit den Verbundpartnern**

Die peripheren Energieverbräuche wurden mit den Verbundpartnern in den Workshops zum Thema Energiemonitoring (vgl. Band 2) diskutiert. Als wesentliche Bestandteile des peripheren IKT-Energiebedarfs wurden die Klimatisierung und die Stromversorgung identifiziert.

Das Umweltbundesamt setzt als Besonderheit am Standort Dessau eine Absorptionskältemaschine ein, deren Energiebedarf durch einen Zähler erfasst wird.

Während der Workshops wurde zwischen den Partnern der Konsens hergestellt, dass der Projektfokus zunächst auf der Erfassung der direkten IKT-

Energiebedarfe (Server, Switches, Rechner etc.) liegt. Die peripheren Energiebedarfe sollen zunächst pauschal über Zuschlagsfaktoren dargestellt werden und wo möglich, durch Messungen ergänzt werden. Im weiteren Projektverlauf sollen dann die peripheren Energieverbräuche über Faktoren auf die IKT umgeschlagen werden.

## 6 Bestimmung von peripheren Energiebedarfen

Periphere Energiebedarfe können über Messungen und Vergleichsdaten erhalten werden. Im Folgenden werden verschiedene Methoden der Erhebung dargestellt.

### Messungen

Da die den peripheren Energiebedarf verursachenden Systeme (Kühlsystem, Stromversorgung, Sonstiges) recht unterschiedlich aufgebaut und stark abhängig von lokalen Aspekten, wie z.B. dem Verfügbarkeitskonzept, sind, wird die höchste Genauigkeit bei der Bestimmung mit Messdaten für das konkrete System erreicht.

Die Online-Messung bringt allerdings auch Probleme mit sich:

Im Sommer ergeben sich aufgrund des höheren Verbrauchs des Kühlsystems deutlich höhere periphere Energieverbräuche. Mit Jahresdurchschnittswerten kann diese „unfaire“ Gewichtung ausgeglichen werden. Allerdings muss bedacht werden, dass dann die gewünschte zeitabhängige Genauigkeit nicht mehr gegeben ist.

Ist eine solche Vermessung des Systems nicht möglich, sollten Vergleichsdaten herangezogen werden. Solche Daten können vom System selbst stammen (bspw. ältere Effizienzkennzahlen) oder von vergleichbaren Systemen.

### Vergleichsdaten vom System selbst: DCiE bzw. PUE oder Gebäudedaten

Wenn der aktuelle periphere Energiebedarf nicht durch Messungen für das konkrete System bestimmt werden kann, sollte zunächst geprüft werden, ob dieser aus anderen Quellen zu bestimmen ist. Eine Möglichkeit sind Vergleichswerte des Systems selbst auf Jahresbasis<sup>4</sup>. Für das Rechenzentrum ist

---

<sup>4</sup> Oft liegt keine Online-Messtechnik vor, sondern Zähler. Diese werden monatlich oder jährlich, manchmal auch in kleineren Intervallen, ausgelesen.

ein möglicher Vergleichswert beispielsweise über die PUE bzw. DCiE der Kategorien 1-3 (vgl. (Data Center Metrics Task Force 2011)) zugänglich, es gilt:

$$E_{\text{peripher},rz} = (PUE_{rz}[1 - 3] - 1) \cdot E_{IKT}$$

Mit  $E_{IKT}$  als direktem Energiebedarf der IKT-Komponenten.  $E_{IKT}$  kann auch der direkte Energiebedarf einer einzelnen IKT-Komponente, z.B. einem Server, sein. Dann entspricht  $E_{\text{peripher}}$  dem peripheren Energiebedarf der einzelnen Komponente. Wenn keine Daten des Systems vorliegen, kann der PUE auch abgeschätzt werden. Die Abschätzung sollte mit geeigneten Vergleichsdaten erfolgen, da nur ein Vergleich ähnlicher RZ (z.B. Größe und Redundanzkonzept) sinnvoll ist. Solche Daten können bspw. aus dem Green IT-BB RZ Benchmarking erhalten werden, wie im nächsten Abschnitt dargestellt wird.

Da Netzwerktechnik oft auch in Serverräumen bzw. in eigenen Netzwerkräumen untergebracht wird, kann der periphere Energiebedarf für alle bzw. einzelne Netzwerkkomponenten analog zum Rechenzentrum ermittelt werden:

$$E_{\text{peripher},Netzwerk} = (PUE_{Netzwerk}[1 - 3] - 1) \cdot E_{Netzwerk}$$

Wobei  $E_{Netzwerk}$  für den direkten Energiebedarf der Netzwerkkomponente(n) steht.

Für die Büroumgebung muss zunächst geprüft werden, welche peripheren Energiebedarfe relevant sind. Die Verluste der Stromversorgung fallen immer an, können aber außer bei fehlender Blindstromkompensation vernachlässigt werden (vgl. Abschnitt 3.1), es sei denn, die Verluste der Strombereitstellung stehen über die GLT zur Verfügung. Das Kühlsystem hingegen wird nur in klimatisierten Gebäuden berücksichtigt. Dafür wird ein Umlagefaktor  $X_{Klima}$ <sup>5</sup> definiert, der angibt, wie viele kWh Energie (i.d.R. Strom, bei anderen Energieformen sind entsprechende Umrechnungsfaktoren zu berücksichtigen) pro kWh IKT-Last im Kühlsystem anfallen, es gilt:

$$X_{Klima} = \frac{E_{Klima}}{W_{Gebäude}}$$

Dabei ist  $E_{Klima}$  der Gesamtenergiebedarf des Kühlsystems (gesamtes System inkl. Pumpen, Rückkühlern, Kälteanlagen etc.) und  $W_{Gebäude}$  die Wärmelast des gesamten Gebäudes, in denen sich das betrachtete IKT-Endgerät befindet.

---

<sup>5</sup> Ein solcher Umlagefaktor kann analog für die Stromversorgung und Sonstiges gebildet werden, wenn diese Daten aus der GLT verfügbar sind.

## Verwendung der Daten aus dem Green IT-BB RZ Benchmarking

Sollten auch keine geeigneten Vergleichsdaten aus dem System zur Verfügung stehen, schlägt die TU Berlin für Rechenzentren vor, reale Messdaten aus dem GreenIT RZ Benchmarking einzusetzen. Die Vergleichbarkeit hängt dabei stark vom umgesetzten Verfügbarkeitskonzept ab. Daher schlagen wir die folgende Vorgehensweise vor:

1. Bestimmung der Vergleichsgruppe (ähnliche Rechenzentren), anhand folgender Kriterien:
  - Alle Rechenzentren im GreenIT RZ-Benchmarking mit gleichem Verfügbarkeitskonzept des zu betrachtenden RZ (für Stromversorgung und Kühlung) und klimatisch ähnlichem Standort (wegen der Abhängigkeit der Effizienz des Kühlsystems von der Außentemperatur) auswählen.
2. Bildung eines Faktors  $X_{\text{peripher}}$ :

$$X_{\text{peripher}} = \frac{\sum_{rz \in \text{Vergleichsgruppe}} E_{\text{peripher},rz}}{\sum_{rz \in \text{Vergleichsgruppe}} E_{IT,rz}}$$

mit:

$$E_{\text{peripher},rz} = \sum_{k \in \text{Periphere Energieverbräuche von rz}} E_k$$

falls  $E_k$  für alle peripheren Energieverbräuche vorhanden ist, sonst:

$$E_{\text{peripher},rz} = E_{\text{gesamt},rz} - E_{\text{IKT},rz}$$

3.  $X_{\text{peripher}}$  gibt an, wie viele kWh des peripheren Energiebedarfs auf eine kWh IKT-Strombedarf anfallen.
4. Zur Bestimmung des gesamten Energiebedarfs (direkter und peripherer) eines Prozesses aus dem zu betrachtenden RZ muss der Energiebedarf des Prozesses mit dem Faktor  $(1 + X_{\text{peripher}})$  multipliziert werden.

Auf diese Weise können angenäherte Faktoren zur Bestimmung des peripheren Energiebedarfs aus dem GreenIT RZ Benchmarking für „ähnliche“ RZ bestimmt werden.

## 7 Fazit

Die Bestimmung von Lastkurven ist besonders für den Bereich der Klimatisierung schwierig, da das System aus vielen einzelnen Anlagen besteht. So können meist nur Lastkurven für einzelne Anlagenkomponenten ermittelt werden.

Für die USV können zur Ermittlung der Verlustleistungen in erster Näherung die Lastkurve in Abbildung 9 verwendet werden.

Da viele Lastkurven aus theoretischen Betrachtungen stammen, sind sie oft mit einem großen Fehler behaftet. Aus diesem Grund sind messtechnisch bestimmte periphere Energieverbräuche berechneten Werten vorzuziehen. Falls diese nicht vorliegen, kann mit der unter Abschnitt 6 beschriebenen Vorgehensweise aus Vergleichswerten wie bspw. der DCiE bzw. PUE ein peripherer Energiebedarf abgeschätzt werden. Für Rechenzentren kann der periphere Energiebedarf bei Fehlen von Mess- oder Vergleichsdaten mit der auch in Abschnitt 6 dargelegten Methode mit Daten aus dem GreenIT RZ Benchmarking abgeschätzt werden.

## Literaturverzeichnis

Alger, D., 2005. *Build the Best Data Center Facility for Your Business* 1. Aufl., Cisco Press.

Barroso, L.A. & Hölzle, U., 2009. *The Datacenter as a Computer An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines*, Available at: <http://www.cs.berkeley.edu/~rxin/db-papers/WarehouseScaleComputing.pdf> [Zugegriffen Juni 6, 2012].

Computerwoche, 2007. Große Wirkung dank kleiner Schritte - computerwoche.de - Archiv 2007 / 42. Available at: <http://www.computerwoche.de/heftarchiv/2007/42/1220948/> [Zugegriffen Juni 11, 2012].

Data Center Metrics Task Force, (DCMTF), 2011. *Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency, Version 2 Measuring PUE for Data Centers*,

Dittmar, L. & Schaefer, M., 2009. *Electricity Demand Modeling of German Data Centers: Dealing with Uncertainties* Lars Dittmar Marc Schaefer *Schriftreihe Innovationszentrum*, Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.

Eaton Powerware, 2007. *Energy efficient transformers reduce data center utility costs*, Available at: [http://pqlit.eaton.com/ll\\_download\\_bylitcode.asp?doc\\_id=6732](http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=6732) [Zugegriffen Juni 6, 2012].

FH Wolfenbüttel, 2004. *Kennlinien und Kennlinienfeld einer Kreiselpumpe*, Available at: [http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kennlinien\\_pumpen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kennlinien_pumpen.pdf) [Zugegriffen Juni 6, 2012].

Hintemann, R., Fichter, K. & Stobbe, L., 2010. Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland: eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. *OPUS-IDN/9831*. Available at: <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2010/9831/> [Zugegriffen Juni 11, 2012].

IKET, 2010. *Pohlmann - Taschenbuch der Kältetechnik: Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften* 20., überarbeitete und erweiterte Aufl., Vde-Verlag.

Köwener, D., Böde, U. & Renner, G., 2004. *Bürogebäude - viel sparen mit weniger Strom*, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

Kühr, K., 2010. *Harmonisierung redundanter Kühlungs- und Stromversorgungskonzepte für ausfallsichere Hochleistungs-Rechenzentren*, Data Center Convention Congress Track.

Rittal, 2009. *Data Centre Efficiency - Savings with IT infrastructure solutions*, Available at:  
[http://www.rittal.de/downloads/PrintMedia/PM5/de/live\\_data\\_center.pdf](http://www.rittal.de/downloads/PrintMedia/PM5/de/live_data_center.pdf)  
[Zugegriffen Mai 3, 2012].

Sawyer, R.L., 2007. *Increasing the Efficiency of UPS Systems – And Proving It*

## **Bisher erschienene Bände der Schriftenreihe Projektberichte IKM**

### **Band 01**

Labes, Stine

#### **Grundlagen des Cloud Computing – Konzept und Bewertung von Cloud Computing**

ISBN (online) 978-3-7983-2478-7

ISSN 2196-3606

Published online 2012

### **Band 02**

Erek, Koray; Drenkelfort, Gregor; Pröhl, Thorsten

#### **Energiemonitoring von IKT-Systemen – State-of-the-Art von Energiemonitoringsystemen**

ISBN (online) 978-3-7983-2459-6

ISSN 2196-3606

Published online 2013

### **Band 03**

Drenkelfort, Gregor; Pröhl, Thorsten; Erek, Koray

#### **Energiemonitoring von IKT-Systemen – Kennzahlen**

ISBN (online) 978-3-7983-2519-7

ISSN 2196-3606

Published online 2013