

Gregor Drenkelfort  
Thorsten Pröhl  
Koray Erek

**Energiemonitoring von IKT-Systemen**  
Kennzahlen

### **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 Repositorium der Technischen Universität Berlin:

URL <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2013/3925/>

URN [urn:nbn:de:kobv:83-opus-39258](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:83-opus-39258)

[<http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:83-opus-39258>]

**ISBN 978-3-7983-2519-7 (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 Erek, [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>4</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Kennzahlen</b> .....	<b>5</b>
2.1. Energieeffizienzkennzahlen .....	5
2.2. Vorrecherche: Energieeffizienzkennzahlen für Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerk .....	6
2.3. Kriterien zur Bewertung von Einzelkennzahlen und Kennzahlensystemen (Betriebskennzahlen) .....	7
<b>3 Bewertung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen zur Darstellung der Energieeffizienz von IKT</b> .....	<b>9</b>
3.1. Rechenzentrum .....	10
3.2. Kennzahlen, die Teil eines Kennzahlensystems sind .....	10
3.2.1. Allgemeine Kennzahlen für das System Rechenzentrum .....	17
3.2.2. Klimatisierung .....	24
3.2.3. Server.....	31
3.2.4. Storage .....	33
3.2.5. Zusammenfassung - Betriebskennzahlen in Rechenzentren .....	38
3.3. Netzwerkkumgebungen .....	39
3.4. Büroumgebung .....	44
3.5. Energielabel .....	50
3.5.1. Energy Star .....	51
3.5.2. Blauer Engel .....	52
<b>4 Ergebnis</b> .....	<b>55</b>
<b>5 Rückkopplung mit den Partnern</b> .....	<b>58</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>59</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kennzahlen des PUE/DCiE (Wilkins u. a. 2012).....	10
Abbildung 2: Bewertung des PUE/DCiE (Wilkins u. a. 2012) .....	11
Abbildung 3: Einzelkennzahlen der FourMetrics (Wilkins u. a. 2012).....	12
Abbildung 4: Bewertung der Einzelkennzahlen der FourMetrics (Wilkins u. a. 2012) .....	13
Abbildung 5: Einzelkennzahlen des CADE (Wilkins u. a. 2012) .....	13
Abbildung 6: Bewertung der Einzelkennzahlen des CADE-Ansatzes (Wilkins u. a. 2012) .....	14
Abbildung 7: Einzelkennzahlen des LBNL Self-Benchmarking Guide (Wilkins u. a. 2012) .....	15
Abbildung 8: Kennzahlen des Cost of Service Ansatzes (BCS) (Wilkins u. a. 2012) .....	16
Abbildung 9: Bewertung der Einzelkennzahlen des Cost of Service-Ansatzes (Wilkins u. a. 2012) .....	17
Abbildung 10: Bewertung der Kennzahlensysteme für Rechenzentren (Wilkins u. a. 2012) .....	17
Abbildung 11: Bewertung der Einzelkennzahlen, die nicht Teil eines Kennzahlensystems sind. ....	38
Abbildung 12: Bewertung der Kennzahlen für das Netzwerk.....	44
Abbildung 13: Bewertung der gefundenen Kennzahlen für die Büroumgebung	50
Abbildung 14: Logo des EU Energy Star-Gütezeichens .....	52
Abbildung 15: Logo des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“ .....	53
Abbildung 16: Energieverbrauch / Betriebszuständen (Köwener u. a. 2004)....	57

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Typische Ausprägungen von Nutzen und Aufwand für IKT-Endgeräte in der Büroumgebung.....	56
Tabelle 2: Betriebskennzahlen zur Nutzungseffizienz für IKT-Endgeräte in der Büroumgebung.....	57

# 1 Einleitung

Mit stark zunehmenden Energiepreisen stehen IKT-Verantwortliche unter großem Druck, die Energieeffizienz ihrer Hardware zu beurteilen und zu erhöhen. Zur Bewertung der Energieeffizienz werden häufig Kennzahlen eingesetzt. Im Bereich der IKT sind diese vorwiegend aus dem Rechenzentrum (RZ) bekannt, daher werden diese in Band 2 genauer untersucht. In (Wilkens u. a. 2012) wurden bereits Kennzahlensysteme strukturiert auf ihre Eignung zur Bestimmung der Energieeffizienz von RZ untersucht. In Anlehnung an (Wilkens u. a. 2012) liefert der vorliegende Band eine Übersicht über verbreitete Kennzahlen zur Bestimmung der IKT-Energieeffizienz als Ergebnisse des Forschungsprojekts GreenIT Cockpit. Dabei werden neben dem Rechenzentrum auch die Bereiche Netzwerk- und Büroumgebung betrachtet. Zunächst werden wichtige Kennzahlen aus den mit den Kriterien aus (Wilkens u. a. 2012) bewertet. Darauf werden Kriterien für statische Kennzahlen (Bestandskennzahlen/Energielabel) festgelegt und zwei wichtige, Energielabel vergebende Organisationen anhand dieser bewertet. Anschließend wird die Rückkopplung mit den Partnern dargestellt.

## 2 Kennzahlen

Kennzahlen sind "Zahlen, die quantitative erfassbare Sachverhalte in konzentrierter Form wiedergeben". Sie werden in vielen Bereichen zur Analyse, Planung und Steuerung eingesetzt, dabei sollten sie von definierten Zielen abgeleitet werden und messbar sein. Mehrere Kennzahlen können auch zu einem Kennzahlensystem gebündelt werden (Kütz 2011).

### 2.1. Energieeffizienzkennzahlen

Nach (Newcombe 2006) ist es für die Analyse und Verbesserung der Energieeffizienz im Betrieb von Rechenzentren wichtig, dass ein grundsätzliches Verständnis und eine Übereinkunft für ein Kennwert- und Messsystem gibt. Nach dieser Definition werden nur Kennzahlen beschrieben, die die Effizienz der Nutzung der Komponenten (=Betrieb) bewerten. Darüber hinaus kann auch eine Kennzahl gebildet werden, die bspw. aussagt, wie effizient die eingesetzte Komponente von ihrem Design her ist. Die Kennzahlen der ersten Gruppe sind

dynamisch, d.h. zeitabhängig und über die Nutzung der Komponente beeinflussbar. Die zweite Gruppe von Kennzahlen ist mehr statischer Natur, sie beschreibt, wie energieeffizient einzelne Komponenten gebaut sind und können bspw. Auskunft über Anteile von energieeffizienten Komponenten in der Gesamtmenge geben. Diese Kennzahlen können nur an bestimmten Zeitpunkten, nämlich bei der Neubeschaffung bzw. Bestandsänderungen beeinflusst werden. Für die folgenden Betrachtungen werden die Energieeffizienz Kennzahlen in zwei Typen unterteilt:

### **1. Betriebskennzahlen (Dynamische Kennzahlen):**

Diese Kennzahlen zeigen an, wie effizient die Nutzung von Komponenten ist. Sie sind stark von der Auslastung der Komponenten abhängig und können im zeitlichen Verlauf starken Schwankungen unterliegen. Beispiel für eine Kennzahl solchen Typs ist die PUE.

### **2. Statische Kennzahlen (Bestandskennzahlen/Energielabel):**

Die statischen Kennzahlen geben Auskunft darüber, wie effizient eine Komponente in Ihrem Aufbau ist. Das Energielabel 80PlusGold für Netzteile ist eine solche Kennzahlen. Mit Hilfe dieser Energielabel können bspw. Informationen über die Designeffizienz der vorhandenen Hardware eines Unternehmens gewonnen, z.B. über den einfachen Koeffizienten:

$$\frac{\text{Anzahl der Netzteile in Endgeräten der IKT mit Energieeffizienzklasse 80GoldPlus}}{\text{Gesamtanzahl der Netzteile in IKT – Endgeräten}}$$

Die statischen Kennzahlen dienen i.d.R. als Beschaffungskriterium (z.B. beim UBA bei der Beschaffung neuer Geräte). Die Betriebskennzahlen dienen der Beurteilung der Effizienz der Nutzung der Komponenten. Beide Typen von Kennzahlen sind miteinander verbunden, da effizientere Komponenten einen niedrigeren Energiebedarf beim Betrieb aufweisen sollten.

## **2.2. Vorrecherche: Energieeffizienz Kennzahlen für Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerk**

Die Ermittlung der Kennzahlen erfolgte durch Literaturrecherche und Expertenbefragung. Die Vorrecherche zeigt, dass die statischen Kennzahlen kaum eine Bedeutung außerhalb der Beschaffung haben. Dies ist auch leicht einzusehen,



da sie nur bei Neuanschaffung wirklichen Einfluss haben. Zu Betriebskennzahlen sind sehr viele Kennzahlen und Kennzahlensysteme für den Bereich Rechenzentrum zu finden. Im Bereich Netzwerk existieren einzelne Kennwerte, aber keine Kennzahlensysteme. Kaum Kennzahlen gibt es zur IKT-Energieeffizienz in der Büroumgebung.

Der Fokus der folgenden Bewertung von Energieeffizienz Kennzahlen und Energieeffizienz Kennzahlensystemen liegt wegen ihrer großen Bedeutung auf den Betriebskennzahlen. Statische Kennzahlen werden nach den Betriebskennzahlen für alle Bereiche dargestellt. Zunächst werden Kriterien zur Bewertung von Einzelkennzahlen definiert. Dabei werden die Definitionen aus (Wilkens u. a. 2012) übernommen. Kriterien zur Bewertung von Kennzahlensystemen werden nicht vorgestellt, da Kennzahlensysteme nur bei Rechenzentren relevant sind und diese bereits in (Wilkens u. a. 2012) umfassend dargestellt sind.

### **2.3. Kriterien zur Bewertung von Einzelkennzahlen und Kennzahlensystemen (Betriebskennzahlen)**

(Wilkens u. a. 2012) definieren fünf Kriterien zur Bewertung von Energieeffizienz Kennzahlen (Betriebskennzahlen):

#### **1. Messbarkeit**

Grundsätzlich sollten die benötigten Daten des Kennwerts messbar und der Aufwand für die Datenerfassung angemessen sein.

#### **2. Verständlichkeit**

Der Kennwert soll möglichst intuitiv sein, d. h. die Bedeutung und Aussage des Kennwertes muss den Anwendern (RZ-Betreiber) möglichst schon anhand der Kennwertbezeichnung klar werden. Darüber hinaus soll auch die Zielrichtung des Kennwertes möglichst intuitiv sein: Ist es bspw. für die Zielerreichung besser, wenn der Kennwert größer oder kleiner wird<sup>1</sup>? Weiterhin muss die inhaltliche Aussage der Kennwerte grundsätzlich eindeutig sein, um z.B. Fehlinterpretationen zu vermeiden.

---

<sup>1</sup>der untere Grenzwert von 1,0 beim PUE ist nicht intuitiv.

### **3. Zielbezug**

Für jeden Kennwert muss ein klares, eindeutiges und nachvollziehbares Ziel formuliert werden: Was soll der Kennwert abbilden bzw. messen? Wenn der Kennwert Teil eines Kennzahlensystems ist, muss außerdem der Bezug zum Ziel des übergeordneten Systems definiert sein.

### **4. Maßnahmenfähigkeit**

Der Kennwert sollte grundsätzlich beeinflussbar sein und auch Hinweise für Maßnahmen bezüglich einer Optimierung bzw. Verbesserung ermöglichen.

### **5. Vergleichbarkeit**

Für den externen (und ggf. auch für den internen) Vergleich von Kennzahlen zur Energieeffizienz von RZ ist es notwendig eine einheitliche Erfassungsmethode zu verwenden, damit so eine eindeutige Datenbasis für den Vergleich gewährleistet wird. Für die Bewertung und den Vergleich der Energieeffizienz in RZ anhand von Kennwerten sind u. a. einheitliche Vergleichszeiträume notwendig, damit z. B. klimatische Einflussfaktoren im RZ-Betrieb wie Tages- oder Jahreszeiten berücksichtigt, ggf. korrigiert bzw. normiert werden können.

Diese Kriterien eignen sich auch für Betriebskennzahlen aus den Bereichen Bürorumgebung und Netzwerk und werden daher für alle Bereiche übernommen.

Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 0 (sehr schlecht) bis 4 (sehr gut). Die Vergabe der Ausprägungen erfolgte durch die Autoren im Vergleich zu allen Kennzahlen, da nicht jeder Ausprägung eines Kriteriums ein Wert auf der Skala von 0 bis 4 zugeordnet werden kann.

Weiterhin definieren (Wilkens u. a. 2012) drei Kriterien für übergeordnete Kennzahlensysteme für die Bewertung von Betriebskennzahlen für Rechenzentren:

#### **1. Unabhängigkeit:**

Die Kennzahlen eines Systems, die sich auf einer hierarchischen Ebene befinden (bei Rechensystem, das Kennzahlen hierarchisch anordnet und diese durch Berechnung von unten nach oben verknüpft; ähnelt im Aufbau einer Pyramide) oder sich innerhalb einer Gruppe befinden (bei Ordnungssystem, das Kennzahlen nach logisch ähnlichen Gruppen ordnet), sollten

möglichst unabhängig voneinander sein. (Wilkens u. a. 2012) weisen darauf hin, dass in komplexen Systemen wie dem Rechenzentrum Abhängigkeiten und vielschichtige Wechselwirkungen zwischen den Anlagen, Geräten etc. u.U. nicht zu vermeiden sind. Daher können solche Wechselwirkungen auch bei den Kennzahlen einer Ebene bzw. logischen Gruppen eines Kennzahlensystems auftreten. Diese Wechselwirkungen sollten deshalb nach (Wilkens u. a. 2012) deutlich dargestellt und nach Möglichkeit quantifiziert werden.

## **2. Vollständigkeit:**

Das Kennzahlensystem sollte in der Lage sein, die einzelnen funktionalen Systeme des Rechenzentrums (IKT, Kühlsystem, Stromversorgung und Sonstiges) analysieren und steuern zu können. Um die Gesamt-Energieeffizienz aufzuzeigen, muss das Kennzahlensystem alle funktionalen Systeme vollständig abbilden.

## **3. Einheitliche Datenerhebung:**

Grundsätzlich sollten die Datenerhebungsmethoden in einem Kennzahlensystem für Kennzahlen mit gleicher Bedeutung für das System ähnlich sein. Es ist z.B. nicht sinnvoll, exakte Messwerte mit Daten aus Schätzungen zu kombinieren.

Die Bewertung dieser Kriterien erfolgt analog zur Bewertung der Einzelkennzahlen.

# **3 Bewertung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen zur Darstellung der Energieeffizienz von IKT**

Im folgenden Abschnitt werden Kennzahlen und Kennzahlensysteme zur Abbildung der Energieeffizienz in Rechenzentrum, Büroumgebung und Netzwerk anhand der Kriterien aus (Wilkens u. a. 2012) bewertet. Die Darstellung erhebt aufgrund der Komplexität des Themas keinen Anspruch auf Vollständigkeit..

### 3.1. Rechenzentrum

In (Wilkens u. a. 2012) fehlen die Bewertungen von einigen Einzelkennzahlen, die im Zuge der Recherche ermittelt wurden, da diese kein Kennzahlensystem bilden. Im nächsten Abschnitt folgt die Darstellung und Bewertung der Kennzahlen, die Teil eines Kennzahlensystems sind.

### 3.2. Kennzahlen, die Teil eines Kennzahlensystems sind

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Kennzahlen und Kennzahlensysteme werden in (Wilkens u. a. 2012) umfassend dargestellt und bewertet. In diesem Band werden die Systeme kurz beschrieben und die Ergebnisse der Bewertung vorgestellt. Für die vollständige Darstellung und Bewertung wird auf den Originalartikel verwiesen.

#### PUE / DCiE (Green Grid)

Die Green Grid Association beschreibt sich selbst als offene non-profit Organisation aus Endnutzern, Entscheidern und Herstellern. Allerdings wird sie sehr stark von den Herstellern dominiert. Im Folgenden werden die Kennzahlen Power Usage Effectiveness (PUE) und Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE) beschrieben und bewertet. Die PUE und die DCiE sind de facto kein Kennzahlensystem, aber die Darstellung des Green Grid, die Bezeichnung und die Anwendung in der Praxis suggerieren, dass es sich um Kennzahlen zur Abbildung der gesamten Energieeffizienz eines Rechenzentrums handelt (Wilkens u. a. 2012).

Abbildung 1 zeigt die Kennzahlen des PUE/DCiE-Systems.

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit
PUE	Power Usage Effectiveness	Leistung des RZ [kW] / Leistung der IT [kW]	[-]
PUE0	Power Usage Effectiveness	Spitzenleistung des RZ [kW] / Spitzenleistung der IT [kW]	[-]
PUE1	Power Usage Effectiveness	Jahresbedarf des RZ [kWh] / Jahresbedarf der IT am USV-Ausgang gemessen [kWh]	[-]
PUE2	Power Usage Effectiveness	Jahresbedarf des RZ [kWh] / Jahresbedarf der IT am PDU-Ausgang gemessen [kWh]	[-]
PUE3	Power Usage Effectiveness	Jahresbedarf des RZ [kWh] / Jahresbedarf der IT am IT-Eingang [kWh]	[-]
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency	$1 / PUE = (Leistung\ der\ IT\ [kW] / Leistung\ des\ RZ\ [kW]) \times 100\%$ (PUE-Kategorien sind auf DCiE übertragbar, hier: DCiE0)	[%]

Abbildung 1: Kennzahlen des PUE/DCiE (Wilkens u. a. 2012)

Die ursprüngliche Version der PUE bildet den Quotient aus Gesamtleistung des RZ und der Gesamtleistung der IT (PUE). Sie wurde von Malone und Belady auf dem Power Forum 2006 erstmals vorgestellt und 2007 vom Green Grid übernommen. Für diese Version gab es keine klare Definition der Eingangsdaten (Messpunkte, Intervalle etc.), die Vergleichbarkeit war daher nicht gegeben. 2010 begann das Green Grid eine Standardisierung und führte vier PUE-Kategorien ein, von denen nur noch eine auf Leistung bezogen wurde. Die anderen PUE verlangen Jahresverbräuche an verschiedenen Messpunkten. Allgemein ist die PUE wegen ihres unteren Grenzwerts von 1 und ihrer Bezeichnung nicht gut verständlich. Frei übersetzt bedeutet sie etwa Effizienz der Strom- bzw. Energienutzung. Diese Bezeichnung impliziert, dass die Kennzahl auch Angaben zur IT-Effizienz macht. Das ist nicht der Fall. Mit der DCiE, die den Kehrwert der PUE darstellt, wird damit aufgeräumt: Rechenzentrumsinfrastruktureffizienz ist genau das, was die Kennzahl abbildet. Weiterhin ist sie nun normiert zwischen 0 und 1, was die Verständlichkeit gegenüber der PUE deutlich erhöht. Die DCiE kann analog zu den PUE Kategorien gebildet werden. Die Messbarkeit nimmt bei der PUE von Kategorie 1 zu 3 ab, da ein immer größerer Messaufwand betrieben werden muss. Die Vergleichbarkeit ist bei PUE1 und bei PUE2 schon recht gut, bei PUE3 weniger, weil hier nicht genau gesagt wird, was der IT-Eingang genau ist. Die Maßnahmenfähigkeit ist für alle Kategorien gleich schlecht, da die Kennzahlen keine Hinweise liefern, wo genau die Infrastruktur ineffizient ist (Wilkens u. a. 2012).

Die Bewertung für die Einzelkennzahlen ist in Abbildung 2 dargestellt:

Kennzahl	Bezeichnung	Bewertung der kennzahlenbezogenen Kriterien*				
		1	2	3	4	5
PUE	Power Usage Effectiveness					
PUE0	Power Usage Effectiveness					
PUE1	Power Usage Effectiveness					
PUE2	Power Usage Effectiveness					
PUE3	Power Usage Effectiveness					
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency					

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

Abbildung 2: Bewertung des PUE/DCiE (Wilkens u. a. 2012)

### FourMetrics (Uptime Institute)

Die FourMetrics sind ein Kennzahlensystem des Uptime Institute., welches 1993 gegründet wurde und ein unabhängiges Forschungsinstitut der 451 Group ist. Das Uptime Institute konzentriert Fachwissen rund um das RZ.

Abbildung 3 zeigt die Einzelkennzahlen der FourMetrics (Uptime Institute)

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit
SI-EOM / SI-POM (=PUE)	Site Infrastructure Energy / Power Overhead Multiplier	Strombedarf bzw. Leistungsaufnahme des RZ [kWh (kW)] / Strombedarf bzw. Leistungsaufnahme der IT am PDU-Ausgang gemessen [kWh (kW)]	[-]
H-EOM / H-POM	IT Hardware Energy / Power Overhead Multiplier	Strombedarf bzw. Leistungsaufnahme der Hardware am PDU-Ausgang gemessen [kWh (kW)] / Strombedarf bzw. Leistungsaufnahme der IT nach Netzteil [kWh (kW)]	[-]
DH-UR (Server)	Deployed Hardware Utilization Ratio (Server)	Anzahl der Server auf denen Anwendungen laufen [n] / Gesamtanzahl an Servern, die in Betrieb sind [m]	[-]
DH-UR (Storage)	Deployed Hardware Utilization Ratio (Storage)	Wichtige, oft aus dem Storage-System abgerufene Daten (innerhalb der letzten 90 Tage) [TB] / Insgesamt Kapazität des laufenden Storage [TB]	[-]
DH-UE (Server)	Deployed Hardware Efficiency Ratio (Server)	Minimale Anzahl der Server, um die Spitzenauslastung bearbeiten zu können [i] / Gesamtanzahl an Servern, die in Betrieb sind [m]	[-]
Free Cooling Potential	kWh saved each year at utility meter	(kWh (thermisch) pro Jahr durch Freie Kühlung bereitgestellt x kW (elektrisch) für das Kühlsystem pro kW (thermisch) bereitgestellter Kühlleistung) / COP des Kühlsystems	[-]

**Abbildung 3: Einzelkennzahlen der FourMetrics (Wilkins u. a. 2012)**

Außer „Useful Work Done“ (H-POM) sind alle Kennzahlen messbar. Die Verständlichkeit ist bis auf die SI-EOM/SI-POM und H-EOM/H-POM recht gut. Der Zielbezug ist für die IT-Komponenten (H-EOM/H-POM) allerdings noch ausbaufähig und die Ergebnisse sind nur in geringem Maße vergleichbar, da die Anzahl der Server nur einen indirekten Bezug zum Energiebedarf aufweist. Der geringe Detaillierungsgrad für das funktionale System „Gebäudeinfrastruktur“ schränkt zudem die Maßnahmenfähigkeit der Kennwerte ein (Wilkins u. a. 2012).

Die Bewertung der Einzelkennzahlen der FourMetrics zeigt Abbildung 4:

Kennzahl	Bezeichnung	Bewertung der kennzahlenbezogenen Kriterien*				
		1	2	3	4	5
SI-EOM / SI-POM (=PUE2)	Site Infrastructure Energy / Power Overhead Multiplier					
H-EOM / H-POM	IT Hardware Energy / Power Overhead Multiplier					
DH-UR (Server)	Deployed Hardware Utilization Ratio (Server)					
DH-UR (Storage)	Deployed Hardware Utilization Ratio (Storage)					
DH-UE (Server)	Deployed Hardware Efficiency Ratio (Server)					
Free Cooling Potential	kWh saved each year at utility meter					

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

Abbildung 4: Bewertung der Einzelkennzahlen der FourMetrics (Wilkins u. a. 2012)

### CADE (Uptime Institute)

Der CADE-Ansatz ist ein Kennzahlensystem, das vom Uptime Institute gemeinsam mit McKinsey & Company entwickelt wurde. Die Corporate Average Data Center Efficiency ist dabei eine zusammengesetzte Größe, Abbildung 5 zeigt die Kennzahlen und die Berechnungsmethode für die CADE:

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit
CADE	Corporate Average Data Center Efficiency	Facility Efficiency x IT Asset Efficiency = F-EE x F-U x IT-EE x IT-U	[%]
F-EE (=1/PUE1)	Facility Energy Efficiency	Strombedarf der IT [kWh] / Strombedarf des RZ [kWh]	[-]
F-U	Facility Utilization	aktuelle Leistung der IT [kW] / maximale Leistung des RZ [kW]	[-]
IT-EE	IT Energy Efficiency	Zukünftige Metrik, derzeit 1, da noch nicht etabliert	[-]
IT-U	IT Utilization	Durchschnittliche CPU-Auslastung	[%]

Abbildung 5: Einzelkennzahlen des CADE (Wilkins u. a. 2012)

Der CADE-Ansatz kann insgesamt als gut verständliche Übertragung der Corporate Average Fuel Economy (CAFE) aus der Automobilindustrie gesehen werden. Das Rechenzentrum als Produktionsbereich für IT-Dienstleistungen wurde ebenfalls von Rüdiger Zarnekow (Zarnekow 2007) beschrieben. Der Zielbezug der Kennzahlen ist damit prinzipiell gegeben. Die Messung der zugrunde liegenden Größen ist aufwendig. Problematisch ist, dass die wichtigste Größe des Ansatzes, die „IT-EE“, bisher nicht messbar ist und daher geschätzt werden soll. Deshalb sind die Ergebnisse nicht vergleichbar. Die Maßnahmenfähigkeit ist aus diesem Grund auch nicht gut. Die Vergleichbarkeit

ist nicht besonders gut, da nur wenige Angaben über die Datenerfassung gemacht werden (Wilkens u. a. 2012).

Abbildung 6 stellt die Bewertung der Einzelkennzahlen des CADE-Ansatzes dar:

Kennzahl	Bezeichnung	Bewertung der kennzahlenbezogenen Kriterien*				
		1	2	3	4	5
CADE	Corporate Average Data Center Efficiency					
F-EE (=DCiE1)	Facility Energy Efficiency					
F-U	Facility Utilization					
IT-EE	IT Energy Efficiency					
IT-U	IT Utilization					

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

**Abbildung 6: Bewertung der Einzelkennzahlen des CADE-Ansatzes (Wilkens u. a. 2012)**

### **LNBL Self-Benchmarking Guide**

Das LBNL ist ein vom U.S. Department of Energy finanziertes Forschungsinstitut, welches der University of California angegliedert ist. Der Self-Benchmarking Guide soll es RZ-Betreibern ermöglichen, die Energieeffizienz Ihrer RZ anhand eines Kennzahlensystems zu bestimmen und ggf. mit anderen RZ zu vergleichen. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass der Guide nicht die IT Effizienz bewertet bzw. vergleicht, sondern nur die Infrastruktur des Rechenzentrums (Wilkens u. a. 2012).

Die Einzelkennzahlen des LBNL Self-Benchmarking Guide sind in Abbildung 7 dargestellt:



Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit
A1(PUE2)	Power Usage Effectiveness	Jährlicher Strombedarf des RZ [kWh] / Jährlicher Strombedarf der IT am PDU-Ausgang [kWh]	[-]
B1	Supply Temperature	Zulufttemperatur (bei mehreren ULK bzw. Serverräumen gewichtet nach Volumenströmen) [°F]	[°F]
B2	Relative Humidity Range at IT Inlet	Bereich der relativen Luftfeuchte: niedrigste gem. Luftfeuchte am Eingang der IKT (Racks) - höchste gem. Luftfeuchte [%]	[%]
B3	RTI (Return Temperature Index)	(Zulufttemp. - Ablufttemp. (Durchschnitt über alle ULK) [°F / °C] / durchschnittl. Rack-Ausgangstemp. - durchschnittl. Rackeingangstemp. (Durchschnitt von Messungen an allen Racks) [°F / °C]) x 100%	[%]
C1	Cooling System Efficiency	Durchschnittl. Strombedarf des Kühlsystems [kW] / durchschnittl. Kühllast im RZ [t] ACHTUNG: Beide Eingangsdaten nur in dem Zeitraum, in welchem die Kälteanlage in Betrieb ist!	[kW / t]
C2	Cooling System Sizing Factor	Installierte Kapazität der Kälteanlage [t (kW <sub>th</sub> )] / Spitzenlast der Kälteanlage während eines Jahres [t (kW <sub>th</sub> )]	[-]
C3 & C4	C3: Air economizer utilization Factor (full cooling)	C3: (Jährl. Stunden mit vollständiger freier Kühlung [h] / 8760 [h]) x 100%	[%]
	C4: Air economizer utilization Factor (partial cooling)	C4: (Jährl. Stunden mit partieller freier Kühlung (reduzierte Last für Kälteanlage) [h] / 8760 [h]) x 100%	
C5 & C6	C5: Water Economizer Utilization Factor (full cooling)	C5: (Jährl. Stunden mit Befeuchtung der Rückkühler (ohne Betrieb der Kälteanlage) [h] / 8760 [h]) x 100%	[%]
	C6: Water Economizer Utilization Factor (partial cooling)	C6: (Jährl. Stunden mit Befeuchtung der Rückkühler (mit partiellem Betrieb der Kälteanlage) [h] / 8760 [h]) x 100%	
C7	Airflow Efficiency	Gesamtleistung der Ventilatoren des Kühlsystems (z.B. im ULK) [kW] / Luftvolumenstrom der Ventilatoren [cfm] ACHTUNG: LBNL erlaubt hier auch Auslegungsdaten, falls keine Messwerte verfügbar sind.	[kW / cfm]
E1	UPS Load Factor	Durchschnittl. jährliche USV-Auslastung [kW] / Nennlast der USV [kW]	[-]
E2	UPS System Efficiency	Eingangsleistung der USV [kWh] / Ausgangsleistung der USV [kWh] Messdauer: 1 Jahr oder repräsentative Periode.	[-]
E3	Lighting Density	Leistungsaufnahme der RZ-Beleuchtung [kW] / Fläche des RZ [ft <sup>2</sup> ]	[kW / ft <sup>2</sup> ]

**Abbildung 7: Einzelkennzahlen des LBNL Self-Benchmarking Guide (Wilkens u. a. 2012)**

Insgesamt enthält der LBNL Self-Benchmarking Guide viele Kennzahlen zur guten Bewertung der Gebäudeinfrastruktur. Der Aufwand für die Messungen ist manchmal allerdings sehr hoch. Es gibt Kennzahlen, die nicht-messbare Eingangsdaten haben. Die Kennzahlen sind bis auf die Kennzahl „Effizienz des Kühlsystems“ (C1) verständlich. Diese Kennzahl berücksichtigt nur die Kälteanlage, die anderen Komponenten des Kühlsystems werden nicht erfasst, daher ist die Bezeichnung irreführend. Die RZ-weiten Durchschnittswerte können nur eingeschränkt den Zielbezug und die Vergleichbarkeit herstellen (bspw. B1 und B3); hier ist auch die Maßnahmenfähigkeit nicht gegeben. Teilweise ist der Zielbezug ungenau, wie z.B. bei E2, wo die Kombination von einer älteren USV mit neuerer Hardware aufgrund einer Verschiebung von nachteiligem zu

voreilem Leistungsfaktor der Hardware zu Ineffizienzen in der USV führen kann (Wilkens u. a. 2012).

### Cost of Services (British Computer Society)

Die Data Center Specialist Group (DCSG) gehört zur British Computer Society (BCS) und kooperiert u.a. mit dem Green Grid. Sie bietet ein offenes Forum für Diskussionen und Informationsaustausch zu technischen Aspekten RZ-relevanter Themen. Die BCS hat das "Cost of Services Model" entworfen, das eng mit dem DCiE verwandt ist (Wilkens u. a. 2012).

Die Kennzahlen des BCS Cost of Services-Ansatzes werden in Abbildung 8 dargestellt:

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit
CoS	Cost of Services	Kosten [ € ] / ausgelieferter IT-Service Anmerkung: Die Kosten beinhalten Administration, Softwarelizenzen etc.	[€ / IT-DL]
FO	Fixed Overhead	Strombedarf wenn IT-Last gleich Null [kW] / Nennlast der IT [kW]	[-]
PO	Proportional Overhead	(Strombedarf bei voller IT-Last [kW] - Strombedarf wenn IT-Last gleich Null [kW] ) / Nennlast der IT [kW]	[-]
SL	Square Law Losses	$I^2R$ [kW] / Strombedarf des RZ [kW] Anmerkung: $I^2R$ bezeichnet die Verluste, die aufgrund der Strombereitstellung, die in Kabeln oder Transformatoren in Abhängigkeit von der Stromstärke entstehen.	[-]

**Abbildung 8: Kennzahlen des Cost of Service Ansatzes (BCS) (Wilkens u. a. 2012)**

Die Cost of Services sind nicht messbar, sie ergeben sich aus den anderen Kennzahlen. Insgesamt ist die Messung für die Kennzahlen aufwendig oder nicht möglich (z.B. muss für FO und PO die Last bei 0% IT-Auslastung und bei 100%-Auslastung bestimmt werden). Konkrete Maßnahmen können auch nicht abgeleitet und da detaillierte Angaben zur Datenerhebung fehlen, ist die Vergleichbarkeit eher schlecht (Wilkens u. a. 2012).

Kennzahl	Bezeichnung	Bewertung der kennzahlenbezogenen Kriterien*				
		1	2	3	4	5
CoS	Cost of Services	○	◐	◑	◒	◓
FO	Fixed Overhead	◐	◑	◒	◓	◔
PO	Proportional Overhead	○	◐	◑	◒	○
SL	Square Law Losses	◐	◑	●	◒	◓

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

Abbildung 9: Bewertung der Einzelkennzahlen des Cost of Service-Ansatzes (Wilkins u. a. 2012)

### Gesamtbewertung der vorgestellten Kennzahlensysteme

Die Kennzahlensysteme sind alle nicht vollständig, um alle funktionalen Systeme gut abbilden zu können. Der umfassendste Ansatz (LBNL) stellt die Infrastruktur umfassend dar, berücksichtigt aber nicht die IT. Die Unabhängigkeit der Kennzahlen lässt sich aufgrund der komplexen Wechselwirkungen nicht vermeiden. Die Wechselwirkungen werden oft nicht in ausreichendem Umfang beschrieben bzw. quantifiziert. Bzgl. der Einheitlichkeit der Datenerhebung besteht bei allen Systemen noch Verbesserungsbedarf, da teilweise genaue Mess-Vorschriften fehlen oder gemessene Werte mit ungenauen Schätzwerten kombiniert werden (Wilkins u. a. 2012).

Die Übersicht zur Bewertung der Kennzahlensysteme zeigt Abbildung 10:

Kennzahlensystem	Vollständigkeit	Unabhängigkeit	Einheitliche Datenerhebungsmethode
PUE	◐	◐	◑
FOUR METRICS	◑	◒	◑
CADE	◑	◑	◐
LBNL	◒	◒	◑
COST OF SERVICES	◐	◐	◐

Abbildung 10: Bewertung der Kennzahlensysteme für Rechenzentren (Wilkins u. a. 2012)

### 3.2.1. Allgemeine Kennzahlen für das System Rechenzentrum

In diesem Abschnitt werden allgemeine, für das gesamte System Rechenzentrum gültige Einzelkennzahlen dargestellt und bewertet, die nicht Teil von

Kennzahlensystemen sind. Die Bewertung anhand der Kriterien für Einzelkennzahlen aus (Wilkens u. a. 2012) bewertet.

### **CUE – Carbon Usage Effectiveness**

Die CUE zielt zusammen mit der WUE auf die Erhöhung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren ab. Über diese Kennzahl kann die Menge der Treibhausgasemissionen ermittelt werden, die durch den Betrieb des Rechenzentrums erzeugt wird. Sie wird in kgCO<sub>2</sub>/kWh angegeben. Der ideale Wert der CUE liegt bei null. Je höher diese ist, desto höher ist folglich der Kohlenstoffdioxid-ausstoß pro genutzte Kilowattstunde des IT-Equipments.

Quelle The Green Grid Association (Christian Belady 2010)

Berechnung 
$$CUE = \frac{CO_2 - \text{Ausstoß durch den Betrieb des gesamten Rechenzentrums}}{\text{benötigte Energie für das IT - Equipment}}$$

Messstellen Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß kann direkt gemessen werden, wenn die Energie am Standort durch einen thermo-chemischen Umwandlungsprozess erzeugt wird. Ist dies nicht möglich, kann er mithilfe von Angaben zu genutzten Kraftstoffen und Verbrauch bzw. zu den genutzten Energiequellen berechnet werden.

### **Eignung zur Messung des Energieverbrauches der IKT**

Messbarkeit (0/4) Die direkte Messung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes scheint aufgrund des Messaufwandes mit Hinblick auf den Nutzen eher unpraktikabel. Eine Abschätzung durch Berechnungen mit einheitlichen Richtlinien zur Wahrung der Vergleichbarkeit ist jedoch problemlos möglich. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von gebräuchlichen Kraftstoffen und Energiequellen ist durch einschlägige Fachliteratur bekannt und damit gut berechenbar.

Verständlichkeit (3/4) Die CUE ist einfach aufgebaut und die Absicht seiner Aussage intuitiv erfassbar. So kann leicht

erkannt werden ob eine Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ratsam ist oder entsprechende Maßnahmen Folge tragen. Nur die Zielrichtung des Kennwertes ist nicht ganz intuitiv verständlich. Je größer die Kennzahl ist, desto größer ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, desto geringer also ist die betrachtete CO<sub>2</sub>-Effizienz. Intuitiver verständlich wäre die CUE, wenn die Kennzahl bei größerer Effizienz steigen würde.

Zielbezug (3/4)

Aus der Bezeichnung der Kennzahl geht der Zielbezug hervor. Es soll die Effektivität der CO<sub>2</sub>-Freisetzung beim Betrieb eines RZ erfasst werden.

Maßnahmenfähigkeit (1/4)

Auswirkungen auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch eine Verringerung der Energie, die für die IT benötigt wird, können nur rechnerisch ermittelt werden.

Vergleichbarkeit (1/4)

Es wird weder eine genaue Erfassungsmethode definiert, noch werden Anhaltswerte für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung gegeben. So müssen diese individuell für die Ermittlung recherchiert werden. Durch Abweichungen der Angaben in verschiedenen Quellen können Fehler auftreten, die Vergleichbarkeit ist dann nur noch eingeschränkt gewährleistet.

### **WUE – Water Usage Effectiveness**

Mit der WUE lässt sich die Wassermenge ermitteln, die für den Betrieb des IT-Equipments nötig ist. Der ideale Wert der WUE beträgt Null, er wird in Liter pro Kilowattstunde angegeben. Zusammen mit der PUE (Power Usage Effectiveness, vgl. (Data Center Metrics Task Force 2011)) und der CUE kann schnell überblickt werden, ob und in welchem Maße effizienzsteigernde und ressourcenschonende Maßnahmen getroffen werden müssen. Eine Verringerung des Wasserverbrauchs, vor allem für den Bereich der Klimatisierung, ist vor allem durch die optimale Auslegung der entsprechenden Anlagen möglich. Den

ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment 2008 (Mike Patterson 2010) zufolge wird eine Kombination aus Serverraumlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit empfohlen, bei der der Taupunkt der Serverraumluft in der Untergrenze bei bis zu 5,2°C liegen kann. Dies ist zum Beispiel bei einer Raumluft von 24°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 30% der Fall. Bei einer empfohlenen maximalen Raumlufttemperatur von 27°C kann die relative Luftfeuchtigkeit sogar bei einer Untergrenze von 20% liegen. Empfehlungen der ASHRAE 2004 zufolge, nach denen die relative Luftfeuchte mindestens 40% betragen sollte, werden damit drastisch reduziert. Eine Befeuchtung der einströmenden Luft in den Serverraum wird damit in immer weniger Fällen nötig.

Soll im Bereich der Wärmeabfuhr des Rechenzentrums eine Kühltechnologie eingesetzt werden, die einen geringeren Wasserbedarf verspricht, so muss geprüft werden, ob ein damit verbundener höherer Energieverbrauch das Gesamtsystem nicht ineffizienter gestaltet. Ein Abwägen zwischen Wasserverbrauch und Energiebedarf, also zwischen WUE und PUE sowie örtlicher Gegebenheiten ist damit unerlässlich.

Quelle The Green Grid Association (Michael Patterson 2011)

Berechnung 
$$WUE = \frac{\text{jährlicher Wasserverbrauch des Rechenzentrums}}{\text{benötigte Energie für das IT - Equipm}}$$

Messstellen An allen Stellen des Anlagensystems, an denen Wasser zugegeben wird, muss die zugeführte Wassermenge ermittelt werden. Diese kann je nach Aufbau der Gebäudeinfrastruktur variieren. Idealerweise kann der jährliche Wasserverbrauch am zentralen Wassermengenzähler abgelesen werden.

Für die Ermittlung des jährlichen Energiebedarfs des IT-Equipments sind die Messstellen der PUE einzuhalten.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (4/4)	Die Messung der zugegebenen Wassermenge ist über Wassermengenzähler problemlos möglich. Die jährlich benötigte Energie für das IT-Equipment ist über geeignete Monitoring Software auslesbar.
Verständlichkeit (3/4)	Die WUE ist einfach aufgebaut und die Absicht seiner Aussage intuitiv erfassbar. Die Zielrichtung der Kennzahl ist auch hier nicht ganz intuitiv verständlich. Je größer die Kennzahl ist, desto größer ist der Wasser-Verbrauch, desto geringer also ist die betrachtete Effizienz der Wassernutzung. Intuitiver verständlich wäre die WUE, wenn die Kennzahl bei größerer Effizienz steigen würde.
Zielbezug (4/4)	Der Zielbezug der Kennzahl geht aus seiner Bezeichnung hervor. Die Effektivität, mit der das Wasser im Betrieb eines Rechenzentrums genutzt wird, soll abgebildet werden.
Maßnahmefähigkeit (2/4)	Da die WUE eine übergeordnete Kennzahl für das Rechenzentrum darstellt, können konkrete Maßnahmen aus der Höhe der Kennzahl nicht abgelesen werden. Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz sollten hier jedoch ablesbar sein.
Vergleichbarkeit (2/4)	Zur Wahrung der Vergleichbarkeit sollte die Messstelle der Energie für das IT-Equipment genannt werden, da eine Messung nach PUE-Kategorie 1 eine geringere WUE ergibt als beispielsweise nach Kategorie 3. Eine genaue Messstelle für die benötigte Energie des IT-Equipments wird jedoch nicht definiert.

## **ERE – Energy Reuse Effectiveness**

Die PUE bildet die Energieeffizienz des Energieumsatzes innerhalb des Rechenzentrums ab (vgl. (Wilkens u. a. 2012)). Zunehmend wird jedoch die Abwärme eines Rechenzentrums genutzt. Um dies abbilden zu können und zur Nachvollziehbarkeit der Auswirkungen durch Änderungen in diesem Bereich, wurde die Energy Reuse Effectiveness (ERE) definiert. Während die PUE die gesamte benötigte Energie der Gebäudeinfrastruktur und des IT-Equipments berücksichtigt, zählt für die ERE nur die Abwärme der IT, die weiter genutzt wird. Wie effizient diese jedoch weitergenutzt wird bzw. wie groß der Nutzen hierdurch ist, wird in der ERE nicht abgebildet. Eine Abschätzung ob und wie viel Abwärme genutzt wird, kann aufgrund der Anlehnung an die PUE bzgl. der Berechnung nur im direkten Vergleich mit diesem getroffen werden.

Quelle The Green Grid Association (Mike Patterson 2010)

Berechnung  $ERE = (1 - ERF) * PUE$

$$ERF = \frac{\text{genutzte Abwärme IT}}{\text{gesamte Energie des Rechenzentrums}}$$

Der ideale Wert des ERF beträgt 1. Liegt der ERF bei null, wird die Abwärme außerhalb des Rechenzentrums nicht weiter genutzt.

genutzte IT-Abwärme – Hier kann nur die Abwärme berücksichtigt werden, die zur Nutzung außerhalb des Rechenzentrums genutzt wird (z.B. warmes Wasser oder erwärmte Luft). Wird Abwärme der IT für den Anlagenbetrieb innerhalb des Rechenzentrums genutzt, kann dies nur in der PUE berücksichtigt werden. Andernfalls wäre eine doppelte Berücksichtigung nicht auszuschließen.

Messstellen Für die Ermittlung des jährlichen Energiebedarfs des IT-Equipments sowie des Energiebedarfs für die Gebäudetechnik sind die Messstellen der PUE einzuhalten.

Die Messstellen der Abwärme werden nicht genauer definiert. Je nach Übertragungsmedium



wird der Abwärmestrom dort gemessen, wo er die Systemgrenzen des Rechenzentrums übertritt.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

- Messbarkeit (2/4) Der Energiebedarf der Gebäudetechnik (Klimatisierung, Verluste der Stromversorgung, Beleuchtung) sowie der Energiebedarf des IT-Equipments sind über geeignete Monitoring Software messbar. Unter Umständen müssen zwei getrennte Mess-Systeme implementiert werden, um beide Bereiche abdecken zu können. Sind nach dem Stromzähler des Rechenzentrums keine Gebäudebereiche angeschlossen, die nicht zum Rechenzentrumsbetrieb zählen, kann auch hier der jährliche Energiebedarf des gesamten Rechenzentrums abgelesen werden.
- Verständlichkeit (4/4) Die ERE ist einfach aufgebaut und die Absicht seiner Aussage schon anhand seiner Bezeichnung verständlich.
- Zielbezug (2/4) Die ERE soll ihrer Bezeichnung nach die Effektivität abbilden, mit der Abwärme des Rechenzentrums wiedergenutzt wird. Sie trifft jedoch nur Aussagen darüber, in welchem Maße Abwärme des Rechenzentrums weitergenutzt wird. Der Nutzen der Abwärme und ob diese effizient weitergenutzt wird, bleibt unberücksichtigt.
- Maßnahmenfähigkeit (2/4) Es werden alle Energieströme erfasst, die in das Rechenzentrum einfließen sowie alle Energieströme, die aus dem Rechenzentrum abgeführt und weiter genutzt werden. Wie gut die abgeführten Energieströme genutzt werden können, also ein Exergiegehalt, wird nicht angegeben. Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau kann

nur eingeschränkt bzw. ineffektiver genutzt werden als Abwärme mit hohen Temperaturen. Wird nun ein ausgehender Energiestrom mit höherem Exergiegehalt weitergenutzt oder geschieht die Nutzung der abgeführten Wärme effektiver als zuvor, wird diese Veränderung nicht anhand des ERE ersichtlich.

Vergleichbarkeit (1/4)

Es muss die Messstelle der Energie für das IT-Equipment genannt werden, bzw. die PUE-Kategorie, nach der gemessen wurde.

### 3.2.2. Klimatisierung

Dieser Abschnitt beschreibt Kennzahlen zur Energieeffizienzbewertung des Kühlsystems des Rechenzentrums.

#### EER – Energy Efficiency Ratio (Kälteleistungszahl)

Die Energieeffizienz für den Kühlbetrieb eines Rechenzentrums wird durch den Energy Efficiency Ratio abgebildet. Als Leistungszahl setzt dieser den Nutzen ins Verhältnis zum Aufwand. Bei einer Kälteanlage sind dies die Kälteleistung der Anlage sowie die zur Bereitstellung dieser nötigen elektrischen Leistungsaufnahme<sup>2</sup>. Leistungszahlen werden stets für einen bestimmten Betriebspunkt der Anlage ermittelt. Die Messgrößen zur Berechnung des EER werden unter Vollast gemessen.

Quelle Eurovent Certification

Berechnung 
$$EER = \frac{Q_0}{P}$$

$Q_0$  – Kälteleistung in  $W_{th}$

$P$  – Leistungsaufnahme in  $W_{el}$

Messstellen Zu der elektrischen Leistungsaufnahme der Anlage zählt neben der Verdichterleistung auch

---

<sup>2</sup> Dies gilt für Kompressionskälteanlagen. Bei anderen Kälteanlagen, bei denen außer elektrischer Antriebsenergie noch weitere Energieformen nötig sind (z.B. bei Absorptionskälteanlagen, vgl. (IKET 2010)), lässt sich die Kennzahl nicht ohne weitere Umrechnungen anwenden.

die Leistungsaufnahme von Steuerung, Regelung, der Pumpe für Wasser bzw. Sole sowie der Ventilatoren.

Die Kälteleistung wird bei einer Außenlufttemperatur von 35°C und einer Raumtemperatur von 27°C über die Ermittlung des Volumenstromes  $\dot{V}$  und der Dichte  $\rho$  (bzw. des Massenstroms  $\dot{m}$ ), der spezifischen Wärmekapazität  $c_p$  sowie der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  mit folgender Formel berechnet.

$$Q_c = \dot{V} * \rho * c_p * \Delta T \text{ bzw.}$$

$$Q_c = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

Am Beispiel einer Kompressionskälteanlage wird mithilfe eines Durchflussmessgerätes zwischen Kondensator und Expansionsventil die Geschwindigkeit gemessen, aus der der Volumenstrom ermittelt wird. Die Temperaturdifferenz wird bei einer Kälteanlage mit einem externen Kreislauf (Kaltwassersatz, z.B. Glykol-Wassergemisch-Kreislauf zwischen Umluftklimageräten und Kompressionskälteanlage) zwischen Eingang und Ausgang des Verdampfers gemessen.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (4/4)

Alle Messgrößen, die zur Berechnung des EER benötigt werden, können ohne übermäßigen Aufwand gemessen werden.

Verständlichkeit (4/4)

Die Aussage des EER wird aus seiner Formel als auch seiner Bezeichnung deutlich. Je größer der Wert des Energy Efficiency Ratios ist, desto mehr Kälteleistung kann bei gleichbleibender elektrischer Leistungsaufnahme erzeugt werden. So kann im Vergleich mehrerer Anlagen schnell

die energieeffizienteste ermittelt werden. Anlagenoptimierungen oder gegebenenfalls Verschlechterungen werden ebenfalls sichtbar. Damit ist auch die Zielrichtung der Kennzahl intuitiv verständlich (großer Wert, große Effizienz)

Zielbezug (2/4)

Die Kennzahl soll die Effizienz abbilden, mit der die zugeführte elektrische Arbeit der Kälteanlage genutzt wird. Wie bei Leistungszahlen üblich, geschieht dies auch hier nur für einen bestimmten Betriebspunkt der Anlage, was bei wechselnden Betriebspunkten problematisch sein kann.

Maßnahmenfähigkeit (2/4)

Der EER bildet einen Moment im Betrieb der Anlage ab, bei vorgegebenen Temperaturen und unter Volllast. Optimierungsmaßnahmen, die diesen Betriebspunkt beeinflussen, können mit dem EER abgebildet werden. Greifen diese Maßnahmen hingegen z.B. nur im Teillastbetrieb, bleibt dies mit dem EER unentdeckt. Anhand der Ausprägung des EER können demzufolge nur Maßnahmen abgeleitet werden, die das Volllastverhalten der Anlage beeinflussen. Eine unter Volllast betriebene Kälteanlage ist über das gesamte Jahr gesehen allerdings eher selten der Fall.

Vergleichbarkeit (4/4)

Die Außen- sowie Innentemperatur zum Zeitpunkt der Messung ist festgelegt. Es soll stets unter Volllast gemessen werden. Damit ist die Vergleichbarkeit gegeben.

### **ESEER – European Seasonal Energy Efficiency Ratio**

Um die Effizienz von Kühlsystemen mit Kaltwassersätzen darzustellen, wird ebenfalls der EER verwendet. Zur Berücksichtigung der Tatsache, dass diese oft viele Stunden des Jahres im Teillastbetrieb laufen, hat die Eurovent Certifi-

ation den ESEER entwickelt – den European Seasonal Energy Efficiency Ratio. Dieser beachtet die wechselnden klimatischen Bedingungen bei der Einschätzung der Effizienz und der gegebenenfalls daraus folgende Teillastbetrieb der Kälteanlage. Dazu wird eine durchschnittliche Leistungszahl ermittelt, die vier festgelegte Betriebszustände berücksichtigt. Diese sind durch die Teillast der Anlage sowie der Wasser- und der Lufttemperatur definiert und werden durch einen Gewichtungsfaktor ihrer auftretenden Häufigkeit im Jahr nach gewichtet.

Für einen hohen Wert des ESEER ist ein effizienter Verdichter nötig, dessen Leistung in Abhängigkeit des momentanen Betriebszustands reguliert wird. Der ESEER findet nur im europäischen Raum Anwendung. Eine amerikanische Methode, die Effizienz von Kälteanlagen mit Kaltwassersatz zu bestimmen, ist die Bestimmung des IPLV (Integrated Part Load Value). Dieser Wert entspricht im Aufbau dem ESEER, wird aber unter anderen Randbedingungen ermittelt (Claudio Müller 2008).

Quelle

Eurovent Certification

Berechnung

*ESEER*

$$= \frac{3 * EER_{100\%} + 33 * EER_{75\%} + 41 * EER_{50\%} + 23 * EER_{25\%}}{100}$$

Betriebspunkte des ESEER:

$EER_{100\%}$  - Volllastbetrieb bei Lufttemperatur 35°C, Wassertemperatur 30°C

$EER_{75\%}$  - 75% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 30°C und Wassertemperatur 26°C

$EER_{50\%}$  - 50% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 25°C und Wassertemperatur 22°C

$EER_{25\%}$  - 25% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 20°C und Wassertemperatur 18°C

*IPLV*

$$= \frac{1 * EER_{100\%} + 42 * EER_{75\%} + 45 * EER_{50\%} + 1}{100}$$

Betriebspunkte des IPLV:

$EER_{100\%}$  - Vollastbetrieb bei Lufttemperatur 35°C

$EER_{75\%}$  - 75% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 26,7°C

$EER_{50\%}$  - 50% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 18,3°C

$EER_{25\%}$  - 25% der Anlagen-Nennleistung bei Lufttemperatur 12,8°C

Messstellen

Auch hier zählt zur elektrischen Leistungsaufnahme der Anlage neben der Verdichterleistung auch die Leistungsaufnahme von Steuerung, Regelung und der Pumpe für Wasser bzw. Sole sowie der Ventilatoren. Die Messstellen zur Ermittlung der Kälteleistung in den verschiedenen Betriebspunkten sind die Gleichen wie zur Ermittlung des EER.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (3/4)

Die Messungen zur Ermittlung des European Seasonal Energy Efficiency Ratio sind aufwendiger als zur Bestimmung des EER, da in 4 Betriebspunkten gemessen werden muss. Angesichts der realistischeren Aussage über die Gesamteffizienz einer Kühlanlage ist dieser erhöhte Messaufwand jedoch vertretbar.

Verständlichkeit (4/4)

Der ESEER ist einfach aufgebaut und die Absicht seiner Aussage intuitiv verständlich.

Zielbezug (3/4)

Die Absicht des ESEER ist es, auch das saisonal auftretende Teillastverhalten der Kälteanlage abzubilden. Durch die Gewichtung der verschiedenen Teillastzustände scheint dies gut zu

gelingen. Da nicht jedes Jahr auf die Umgebungsbedingungen bezogen gleich verläuft, kann dieses Modell nicht absolut realistisch das Verhalten der Kälteanlage abbilden. Für die Vergleichbarkeit hingegen ist die Anwendung des Modells von großem Vorteil.

Maßnahmenfähigkeit (3/4)	Optimierungsmaßnahmen müssen innerhalb dieser Betriebspunkte Anwendung finden, wenn diese im ESEER Abbildung finden sollen.
Vergleichbarkeit (4/4)	Wie schon angedeutet ist die Vergleichbarkeit durch genau angegebene Temperaturen und Auslastungen gewährleistet.

**JAZ – Jahresarbeitszahl für Kälteanlagen (SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio)**

Die Jahresarbeitszahl wird nach Messungen der thermischen und elektrischen Energie der Anlage über einen Zeitraum von einem Jahr ermittelt. Sie bildet im Gegensatz zur Leistungszahl (EER) nicht nur einen momentanen Zustand ab, sondern berücksichtigt die Schwankungen der Randbedingungen (Kühllast, Luft- und Wassertemperatur), die über ein Jahr verteilt auftreten. In Kompressionskälteanlagen können Jahresarbeitszahlen von 5 bis 6 erreicht werden. Wird eine Freie Kühlung eingesetzt sind Werte über 20 möglich (Beat Wellig 2006).

Zum Vergleich verschiedener Anlagen kann die Jahresarbeitszahl nicht verwendet werden. Sie liefert nur einen relativen Wert, der zur Einschätzung des Systems in einem bestimmten Gebäude unter Berücksichtigung der Kühlgeohnheiten der Nutzer bzw. des vorliegenden Kühlbedarfes dient (Klima-Innovativ e.V. o. J.).

Berechnung

$$JAZ = \frac{Q_0}{P}$$

$Q_0$  – erzeugte Kälteenergie in kWh<sub>th</sub>/a

$P$  – dafür nötige elektrische Energie in kWh<sub>el</sub>/a

Messstellen

Auch zur Ermittlung der JAZ zählt zur aufgenommenen elektrischen Energie der Anlage

neben der elektrischen Energie der Verdichter auch die elektrische Energie, die von Steuerung, Regelung und der Pumpe für Wasser bzw. Sole sowie den Ventilatoren benötigt wird. Die Messgrößen und Messstellen zur Berechnung der erzeugten Kälteenergie sind die Gleichen wie bei der Ermittlung des EER.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| Messbarkeit (4/4)        | Alle nötigen Werte können gut gemessen werden. Für die permanente Durchflussmessung können eingriffsfreie Messgeräte, zum Beispiel mithilfe von Ultraschall, genutzt werden.  |
| Verständlichkeit (4/4)   | Die Aussage der Jahresarbeitszahl wird aus der Berechnung und der Bezeichnung klar. Die Zielrichtung ist intuitiv verständlich. Steigt die JAZ, so steigt die Effizienz der betrachteten Anlage.  |
| Zielbezug (4/4)          | Die Jahresarbeitszahl soll eine Gesamteffizienz einer Kälteanlage über einen Messzeitraum von einem Jahr abbilden. Dies kann durch oben genannte Messungen und Berechnung erreicht werden.  |
| Maßnahmenfähigkeit (3/4) | Die Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen können anhand der JAZ einer Anlage gut abgebildet werden. Dies gibt Aufschluss über die Gesamteffizienz der Anlage unter den optimierten Bedingungen. Da die JAZ aber ein Mittelwert über das gesamte Jahr ist, zeigt die Kälteleistungszahl in verschiedenen Betriebspunkten gemessen gegebenenfalls deutlicher die Auswirkungen einzelner Maßnahmen. |
| Vergleichbarkeit (1/4)   | Verlässt man sich allein auf die Angaben zur Jahresarbeitszahl der Hersteller, kann diese durch die Randbedingungen, bei denen gemes-   |



sen wird, beeinflusst werden. Weichen die Randbedingungen im realen Betrieb ab, kann die Jahresarbeitszahl schnell geringer sein. Es ist also keine Vergleichbarkeit gegeben, wenn die Randbedingungen voneinander abweichen.

Genauso wenig kann man verschiedene Anlagen mithilfe der JAZ miteinander vergleichen, wenn diese nicht über das gesamte Jahr den gleichen Temperaturen und Auslastungen ausgesetzt waren.

### **3.2.3. Server**

#### **DCcE – Data Center Compute Efficiency**

Die DCcE bildet die Effizienz ab, mit der Server eines Rechenzentrums arbeiten. Bereiche mit großer Ineffizienz können identifiziert und beseitigt werden. So kann der Energiebedarf sowie die Abwärme der IT gesenkt und die Gesamteffizienz eines Rechenzentrums erhöht werden. Die DCcE wird dabei in Abhängigkeit der ScE (Server Compute Efficiency) bestimmt. Diese beschreibt den prozentualen Anteil primärer Prozesse im Vergleich zu allen Prozessen, die auf einem Server laufen.

Unter primären Prozessen sind die Dienste zu verstehen, für die der Server vornehmlich in Betrieb genommen wurde. Zweit- oder drittrangige Dienste können zusätzlich auf einem Server laufen. Diese dienen jedoch in erster Linie dem Betrieb der primären Dienste. Sekundäre oder Tertiäre Dienste können Wartungs- oder Monitoring-Funktionen haben. Sie sorgen für CPU-Auslastung, bringen aber keinen primären Nutzen. Anhand von Auslastungsstatistiken des Server-Betriebssystems kann festgestellt werden, wie hoch der Anteil der primären Prozesse ist. Der Nachteil dieser Betrachtungsweise ist, dass nicht immer exakt festgelegt werden kann, welcher der laufenden Prozesse primär ist und welcher nur untergeordnete Funktionen bereitstellt. Zum anderen ist diese Analyse für ein Rechenzentrum mit zahlreichen Servern äußerst zeitintensiv. Weiterhin ist für die Bestimmung der Metrik der Zugriff auf die IT (Betriebssystemen) nötig, da Informationen über die laufenden Prozesse benötigt werden.

Die DCcE bildet den Mittelwert der ScE aller Server im Rechenzentrum. Da die Anzahl der untergeordneten Prozesse der Server stark variieren kann, ist die DCcE nicht geeignet, um mehrere Rechenzentren miteinander zu vergleichen.

Quelle The Green Grid Association (Mark Blackburn 2010)

Berechnung 
$$DCcE = \frac{\sum_{j=1}^m ScE_j}{m}$$

$$ScE = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} * 100$$

$p_i$  – Anzahl primärer Prozesse über Messzeitraum

$n$  – Anzahl aller Prozesse über Messzeitraum

$m$  – Anzahl aller Server im Rechenzentrum

Messstellen Betriebssysteme geben die Verteilung der Auslastung der CPU auf die laufenden Prozesse an.

Eine Variante der ScE eines Servers zu ermitteln ist es daher, die Auslastung der CPU durch sekundäre und tertiäre Dienste von der Gesamtauslastung der CPU abzuziehen.

Eine andere Messmöglichkeit ist es, die In- und Outputs (I/O) der untergeordneten Prozesse von der Gesamtanzahl der I/O abzuziehen. Diese Variante bietet sich an, wenn die primären Prozesse wenig CPU-Auslastung, aber eine hohe Anzahl von I/O verursachen.

**Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (2/4) Zur Messung der primären und untergeordneten Prozesse muss der Zugriff auf das Betriebssystem für ein Monitoringsystem gewährleistet sein. Der Aufwand zur Bestimmung gerade in größeren Rechenzentren kann daher sehr groß sein.

Verständlichkeit (1/4)	Die Aussage der DCcE und der ScE sind nicht intuitiv verständlich. Die Beschreibung der Kennzahl durch die Green Grid Association trägt nur wenig zum besseren Verständnis bei.
Zielbezug (3/4)	Das Ziel des DCcE ist es, die Effizienz der Server in einem RZ abzubilden, mit der diese arbeiten. Mithilfe der ScE die den prozentualen Anteil primärer Prozesse im Vergleich zu allen Prozessen, die auf einem Server laufen, beschreibt, gelingt dies. Nur die Einordnung der Prozesse in die Kategorien primär, sekundär, tertiär kann nicht ganz eindeutig und allgemeingültig definiert werden.
Maßnahmenfähigkeit (4/4)	Maßnahmen, die die Anzahl der primären Prozesse oder der Anzahl aller Prozesse verändern, spiegeln sich im DCcE wieder.
Vergleichbarkeit (2/4)	Es muss die Art der Messung sowie die Frequenz der Messungen angegeben werden. Andernfalls ist die Vergleichbarkeit gefährdet.  Ist die Frequenz zu hoch (etwa deutlich unter einer Minute) beeinflusst die Messung selbst das Ergebnis, da hier eine höhere CPU-Auslastung gemessen werden kann.

### 3.2.4. Storage

#### Idle Power Metric

Die Storage Networking Industry Association (SNIA) schlägt für die Bewertung der Energieeffizienz von Online-Storage-Systemen, die die meiste Zeit im Idle-State gehalten werden, den Idle Power Kennwert vor. Dieser bildet das Verhältnis aus der Kapazität des Storage in GB, die so jederzeit zur Verfügung steht, und der Leistung, die im Idle-State benötigt wird. So kann festgestellt werden wie viele GB mit einem Watt Storage-Leistung bereitgestellt werden.

Quelle Green Storage Initiative (GSI) der Storage

Networking Association (SNIA) (SNIA 2009)

Berechnung

$$P = \frac{C}{P_i}$$

$$P_i = \frac{\text{Summe aller gemessenen Leistungen}}{\text{Anzahl der Messungen}}$$

C – Kapazität des Storage-Systems in GB

$P_i$  – Mittelwert der Leistung des Systems im Idle-State in W

Messstellen

Die Leistungsmessung des Storage-Systems im Idle-State erfolgt über geeignete PDUs (Power Distribution Units) im Rechenzentrum bzw. über ein Monitoringsystem, das den Energiebedarf mit Hilfe von Sensoren in der Hardware (z.B. über IPMI abrufbar) oder über Energieverbrauchsprofile bestimmt.

#### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (3/4)

Das System muss vermessen werden, oder über entsprechende Sensoren verfügen, die ausgelesen werden können. Der Aufwand hierfür ist stark abhängig von der Art und Anzahl der eingesetzten Systeme.

Verständlichkeit (4/4)

Die Aussage der Idle Power Metric ist klar verständlich. Diese geht sowohl aus der Bezeichnung des Kennwertes als auch aus der Berechnungsformel hervor.

Zielbezug (4/4)

Mithilfe dieser Kennzahl können Schlüsse bezüglich der Effizienz von Online-Storagesystemen im Idle-State gezogen werden. Anhand der Idle Power Metric kann über die Eignung eines Storagesystems für den Online-Einsatz in einem Rechenzentrum entschieden werden. Abwägungen zwischen Energiekosten und ständiger Verfügbarkeit des Storagesystems

sind leichter möglich.

Maßnahmenfähigkeit (4/4)	Die Verbesserung zwischen einem alten ineffizienten Storage-Equipment und einem aktuellen, energiesparenden System kann direkt in der Veränderung der Kennzahl abgelesen werden.
Vergleichbarkeit (2/4)	Ein Messzeitraum wird nicht vorgegeben. Dies erschwert die Vergleichbarkeit.

### **PA - Average Active Power**

Um die Energieeffizienz von Storage-Systemen beurteilen zu können, die die meiste Zeit aktiv sind, empfiehlt die SNIA den Kennwert PA – Average Active Power. Dieser stellt den Mittelwert der Leistung dar, die im aktiven Zustand benötigt wird.

Quelle	Green Storage Initiative (GSI) der Storage Networking Association (SNIA) (SNIA 2009)
Berechnung	$PA = \frac{\sum W_s}{n}$ <p><math>W_s</math> – gemessene Leistung im aktiven Zustand <math>n</math> – Anzahl der Messungen im aktiven Zustand</p>
Messstellen	Die momentane Leistung eines Storage wird am Netzteil, also über eine PDU oder einem Strommessgerät, gemessen.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (2/4)	Soll die PA für das gesamte Storage-Equipment eines Rechenzentrums ermittelt werden, ist dies nur über geeignete Monitoringsysteme bzw. dauerhafte Leistungsmessungen möglich. Der Aufwand ist daher höher als bei der Idle Power Metric.
Verständlichkeit (4/4)	Die Aussage der Average Active Power ist intuitiv verständlich. Diese geht sowohl aus der Bezeichnung der Kennzahl als auch aus der

	Berechnungsformel hervor.
Zielbezug (4/4)	Mithilfe dieser Kennzahl können Schlüsse bezüglich der Effizienz von Stagesystemen im aktiven Zustand gezogen werden.
Maßnahmenfähigkeit (3/4)	Hat man über einen repräsentativen Zeitraum gemessen (im Idealfall unter gleicher Auslastung) und vergleicht nun zwei Storage-Systeme anhand der Average Active Power, so wird der energetische Unterschied deutlich. Die Verbesserung zwischen einem alten ineffizienten Storage-Equipment und einem aktuellen, energiesparenden System kann direkt in der Veränderung der Kennzahl abgelesen werden.
Vergleichbarkeit (2/4)	Die Average Active Power ist über die Wahl des Messzeitraumes erheblich beeinflussbar. Dieser sollte daher so groß gewählt werden, dass hohe und geringe Auslastungen des Storage in einem repräsentativen Maße vertreten sind. Wird über einen Messzeitraum gemessen, in dem die Auslastung des Storage gering ist, während diese im Durchschnitt viel höher ist, entsteht kein realistisches Abbild der Energieeffizienz des Storage-Equipments im aktiven Zustand. Dies beeinträchtigt die Vergleichbarkeit.

### **Bandwidth Metric**

Die Bandwidth Metric der SNIA bildet die Menge der Daten ab, die mit einem Watt Leistung übertragen wird. Diese Kennzahl ist für vornehmlich aktive Storage-Systeme interessant.

Quelle Green Storage Initiative (GSI) der Storage Networking Association (SNIA) (SNIA 2009)

Berechnung 
$$\text{Bandwidth Metric} = \frac{\text{Menge der übertragenen Daten}}{\text{Leistung, die dafür nötig}}$$

Messstellen

Mit geeigneter Monitoringsoftware kann sowohl die Menge der übertragenen Daten als auch die dazu benötigte Leistung aufgezeichnet werden. Die Leistung kann auch über Messungen bestimmt werden.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (2/4)

Die Messung der benötigten Daten ist problemlos möglich, erfordert aber ein Monitoringsystem, das den Datentransfer bestimmt. Die Leistung ist entweder über direkte Messungen, Energieverbrauchsprofile (in Kombination mit Monitoringsystem) oder Sensoren der Hardware (z.B. IPMI) bestimmbar.

Verständlichkeit (4/4)

Die Aussage der Bandwidth Metric ist leicht erfassbar.

Zielbezug (4/4)

Neben der Average Activ Power können mithilfe dieser Kennzahl Schlüsse bezüglich der Effizienz von Stagesystemen im aktiven Zustand gezogen werden.

Maßnahmenfähigkeit (4/4)

Die Verbesserung zwischen einem alten ineffizienten Storage-Equipment und einem aktuellen, energiesparenden System kann direkt in der Veränderung der Kennzahl abgelesen werden.

Vergleichbarkeit (2/4)

Der Messzeitraum muss so gewählt werden, dass hohe und geringe Auslastungen des Storage in einem repräsentativen Maße vertreten sind. Für eine bessere Vergleichbarkeit sollten technologiespezifische Aspekte berücksichtigt werden. So ist etwa bei gleicher Rotationsgeschwindigkeit einer Festplatte der Datendurchsatz am Rand der Scheibe größer als in der Mitte. Für den Vergleich verschiedener Geräte muss die Messdauer und die Auslastung ange-

geben werden.

### 3.2.5. Zusammenfassung - Betriebskennzahlen in Rechenzentren

Abbildung 11 zeigt die Bewertung der gefundenen RZ-Einzelkennzahlen.

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit	Bewertung der Kennzahlenbezogenen Kriterien*				
				1	2	3	4	5
CUE	Carbon Usage Effectiveness	CO2-Ausstoß [kgCO2] / Energie der IT [kWh]	[kgCO2/kWh]	○	◐	◑	◒	◓
WUE	Water Usage Effectiveness	Wasserverbrauch des RZ [l] / Energie der IT [kWh]	[l/kWh]	●	◐	●	◒	◓
ERE	Energy Reuse Effectiveness	genutzte Abwärme der IT [kWh]/Energie des RZ [kWh]	[-]	◒	●	◒	◒	◓
<b>Klimatisierung</b>								
EER	Energy Efficiency Ratio	Kälteleistung [W]/el. Leistungsaufnahme [W]	[-]	●	●	◒	◒	●
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio	EER bei verschiedenen Auslastungen /100	[-]	◒	●	◒	◒	●
JAZ	j	erzeugte Kälteenergie [kWh]/el. Energieaufnahme [kWh]	[-]	●	●	●	◒	◓
<b>Server</b>								
DCcE	Data Center Compute Efficiency	((Anzahl primärer Prozesse/Anzahl aller Prozesse)*100) / Anzahl Server	[-]	◒	◐	◑	●	◒
<b>Storage</b>								
Idle Power Metric		Storage-Kapazität [GB]/(Gesamtleistung [W]/Anzahl der Messungen)	[-]	◒	●	●	●	◒
PA	Average Active Power	Gesamtleistung im aktiven Zustand [W]/Anzahl der Messungen	[W]	◒	●	●	◒	◒
Bandwith Metric		Menge der übertragenen Daten [MBS]/dafür nötige Leistung [W]	[MBS/W]	◒	●	●	●	◒

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

Abbildung 11: Bewertung der Einzelkennzahlen, die nicht Teil eines Kennzahlensystems sind.



### 3.3. Netzwerkkumgebungen

Für die Netzwerkkumgebung existieren einige Kennzahlen. Die vorgestellten Kennzahlen sollen die Geräteeffizienz vergleichbar machen, sie sollen unter standardisierten Bedingungen einmalig für jeden Gerätetyp bestimmt werden. Daher sind sie statisch. Weil sie aber auch Ansätze für dynamische Kennzahlen liefern, werden sie hier vorgestellt.

#### TEER – Telecommunication Energy Efficiency Ratio

Die Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS) entwickelte 2009 den Telecommunications Energy Efficiency Ratio. Dieser bildet das Verhältnis des maximal möglichen Datendurchsatzes und einer gewichteten Leistung eines Netzwerkgerätes und wird in Mbps/W angegeben. Dabei werden sowohl verschiedene Auslastungszustände als auch die Art des Netzwerkequipments, die Platzierung im Netzwerk und eine Klassifizierung (Kern, Transport oder Zugang) berücksichtigt.

Quelle Spirent (Spirent 2011)

Berechnung

$$TEER = \frac{T_d}{P_w}$$

$$P_w = a * P_{u1} + b * P_{u2} + c * P_{u3}$$

$$a + b + c = 1$$

$T_d$  – maximaler Datendurchsatz

$P_w$  – gewichtete Leistung

$a, b, c$  – Wichtungsfaktoren, zur Berücksichtigung der Equipment-Klasse sowie der Position im Netzwerk

$P_{u1}, P_{u2}, P_{u3}$  – Leistung bei verschiedenen Auslastungen

Die Wichtungsfaktoren  $a, b$  und  $c$  sowie die berücksichtigten Auslastungen variieren je nach Equipment-Klasse (z.B. Access, High Speed Access, Distribution/Aggregation, Core) und

Standort im Netzwerk.

Messstellen

Vorbereitend wird zunächst der maximale Datendurchsatz des Gerätes ermittelt sowie die am häufigsten auftretenden Auslastungen (z.B. 0%, 10% und 100%). Es wird 15 Min bei maximalem Datendurchsatz die benötigte Leistung des Gerätes gemessen. Der Mittelwert dieses Messintervalls bildet den  $P_{u3}$ . Dies wird mit den beiden anderen gewählten Auslastungen wiederholt. Man erhält die Werte  $P_{u2}$  und  $P_{u1}$ .

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (3/4)

Spirent hat für die Ermittlung des TEER einen Messaufbau entwickelt. Die Leistungsmessung stellt kein Problem dar, entscheidend ist der Datendurchsatz, der generiert werden muss, um verlässliche Informationen zu erhalten.

Verständlichkeit (4/4)

Die Aussage des Telecommunications Energy Efficiency Ratio ist intuitiv verständlich. Es wird der Datendurchsatz in Mbps ermittelt, der mit einem Watt elektrischer Energie realisiert werden kann.

Zielbezug (4/4)

Über den TEER kann schnell die Energieeffizienz von verschiedenen Geräten eingeschätzt werden.

Maßnahmenfähigkeit (4/4)

Die Auswirkungen eines Austausches ineffizienter Geräte sind leicht ermittelbar. Gezielte Veränderungen werden abgebildet.

Vergleichbarkeit (4/4)

Durch das Messkonzept sind klare Regeln für die Messungen vorgegeben. Der Kennwert berücksichtigt recht umfangreich die Randbedingungen in einem Netzwerk. Der TEER verschiedener Geräte ist dadurch gut vergleichbar.

## ECR – Energy Consumption Rating

Die Energy Consumption Rating-Kennzahl wurde von der Energy Consumption Rating Initiative entwickelt und bildet die Energieeffizienz von Netzwerkequipment ab. Der Energieverbrauch von Netzwerkgeräten wird auf den maximal möglichen Datendurchsatz bezogen. So wird die Leistung ermittelt, die bei maximalem Datendurchsatz nötig ist, um 1 Gigabit übertragen zu können. Netzwerkgeräte verschiedener Hersteller aber gleicher Art können auf diese Weise miteinander verglichen werden, selbst wenn diese mit unterschiedlichen Kapazitäten und Auslastungen arbeiten. Ein geringerer ECR weist auf eine höhere Energieeffizienz.

Quelle	The Energy Consumption Rating (ECR) Initiative (Energy Consumption Rating Initiative ) (Alimian u. a. 2010)
Berechnung	$ECR = \frac{E_{100}}{T_f}$ <p><math>E_{100}</math> – Energieverbrauch in W</p> <p><math>T_f</math> – maximaler Datendurchsatz in Gbps</p>
Messstellen	Der Energieverbrauch sowie der maximale Datendurchsatz können gemessen werden oder den Angaben des Datenblattes des Gerätes entnommen werden. Zur Messung gibt die ECR-Initiative genaue Richtlinien und Testprozeduren vor (Energy Consumption Rating Initiative).

### Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)

Messbarkeit (3/4)	Ähnlich wie die Größen des TEER können auch die Berechnungswerte des ECR gut gemessen werden, jedoch nur mithilfe eines standardisierten Messaufbaus. Zur Erleichterung der Ermittlung des Kennwertes ist auch die Verwendung von Herstellerangaben möglich.
Verständlichkeit (4/4)	Die Aussageabsicht des Energy Consumption Ratings wird aus der Berechnungsformel deutlich.

Zielbezug (3/4)	Es soll der Energieverbrauch pro übertragenem Gb ermittelt werden – bei maximalem Datendurchsatz. Damit wird jedoch lediglich die Effizienz in diesem Betriebspunkt der Geräte ermittelt. Wie effizient die Umsetzung der elektrischen Energie unter anderen Auslastungen geschieht, ist nicht Bestandteil der Untersuchung.
Maßnahmenfähigkeit (4/4)	Bei dem Vergleich von ECR-Werten verschiedener Geräte kann schnell das Gerät ermittelt werden, das bei maximaler Auslastung am effizientesten arbeitet, wenn die Daten zur Berechnung auf gleiche Weise ermittelt wurden.
Vergleichbarkeit (2/4)	Da auch Herstellerangaben verwendet werden können, ist eine Vergleichbarkeit nicht unmittelbar gegeben. Die Quelle der Daten, die zur Berechnung herangezogen wurden, sollten genannt werden.

### **ECR -VL – Energy Consumption Rating over a variable-load cycle**

Der ECR-VL normiert den Energieverbrauch eines Netzwerkgeräts auf ein übertragenes Gigabit. Im Unterschied zum ECR aber beachtet der ECR-VL neben dem Zustand der maximalen Auslastung auch den Energieverbrauch unter fünf geringeren Auslastungen. Die Häufigkeiten, mit der diese auftreten, werden mithilfe von Gewichtungsfaktoren berücksichtigt. Der ECR-VL stellt daher einen Mittelwert des Energieverbrauches pro übertragenen Gigabit über verschiedene Auslastungszustände dar.

Quelle The Energy Consumption Rating (ECR) Initiative (Energy Consumption Rating Initiative ) (Alimian u. a. 2010)

Berechnung

$$ECR - VL = \frac{\alpha * E_{100} + \beta * E_{50} + \gamma * E_{30} + \delta * E_{10}}{\alpha * T_f + \beta * T_{50} + \gamma * T_{30} + \delta * T_{10}}$$

T<sub>f</sub> – maximaler Datendurchsatz in Gbps

$T_{50} = T_f * 0,5$  (Datendurchsatz bei 50%iger Auslastung)

$T_{30} = T_f * 0,3$  (Datendurchsatz bei 30%iger Auslastung)

$T_{10} = T_f * 0,1$  (Datendurchsatz bei 10%iger Auslastung)

$E_{100}$  – Energieverbrauch in W, gemessen unter Testprozedur 1, Schritt 2 (Energieverbrauch bei maximaler Auslastung)

$E_{50}$  – Energieverbrauch in W, gemessen unter Testprozedur 1, Schritt 3 (Energieverbrauch bei 50%iger Auslastung)

$E_{30}$  – Energieverbrauch in W, gemessen unter Testprozedur 1, Schritt 4 (Energieverbrauch bei 30%iger Auslastung)

$E_{10}$  – Energieverbrauch in W, gemessen unter Testprozedur 1, Schritt 5 (Energieverbrauch bei 10%iger Auslastung)

$E_i$  – Energieverbrauch in W, gemessen unter Testprozedur 1, Schritt 6 (Energieverbrauch im Standby)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$  – Gewichtungsfaktor der Auslastungszustände, es gilt:  $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon = 1$

Messstellen

Der Energieverbrauch sowie der maximale Datendurchsatz werden nach den Richtlinien und mithilfe der Testprozeduren, die die ECR-Initiative in (Alimian u. a. 2010) angibt gemessen.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (2/4)

Alle angegebenen Größen zur Berechnung des ECR-VL sind mithilfe der Richtlinien und Test-

prozeduren der ECR-Initiative gut messbar. Der Aufwand ist minimal größer als beim ECR.

Verständlichkeit (4/4)

Die Absicht des ECR-VL ist verständlich.

Zielbezug (4/4)

Um die Gesamteffizienz von Netzwerkgeräten besser einschätzen zu können, berücksichtigt der ECR-VL fünf verschiedene Auslastungszustände und mittelt die unterschiedlichen Energieverbräuche auf ein Gigabit. So können Netzwerkgeräte direkt miteinander verglichen und das effizienteste Gerät ermittelt werden.

Maßnahmenfähigkeit (3/4)

Bei dem Vergleich von ECR-Werten verschiedener Geräte kann schnell das Gerät ermittelt werden, das bei maximaler Auslastung am effizientesten arbeitet.

Vergleichbarkeit (4/4)

Aufgrund der Messrichtlinien und der vorgegebenen Testprozeduren ist der ECR-VL verschiedener Geräte gut vergleichbar.

Kennzahl	Bezeichnung	Formel	Einheit	Bewertung der Kennzahlenbezogenen Kriterien*				
				1	2	3	4	5
TEER	Telecommunication Energy Efficiency Ratio	maximaler Datendurchsatz [Mbps] / gewichtete Leistung [W]	[Mbps/W]	●	●	●	●	●
ECR	Energy Consumption Rating	Energieverbrauch [W] / maximaler Datendurchsatz [Gbps]	[W/Gbps]	●	●	●	●	●
ECR-VL	Energy Consumption Rating over a variable load cycle	Energieverbrauch [W] / Datendurchsatz bei verschiedenen Auslastungen [Gbps]	[W/Gbps]	●	●	●	●	●

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

Abbildung 12: Bewertung der Kennzahlen für das Netzwerk

### 3.4. Büroumgebung

#### Energie-Flächenbezugszahl

Bei der Energie-Flächenbezugszahl wird der Elektrizitätsverbrauch der IKT ins Verhältnis zur Fläche des Arbeitsbereiches gesetzt, in dem die Energie

benötigt wird.

Quelle In Anlehnung an Centre for Energy Policy and Economics Swiss Federal Institutes of Technology (Bernard Aebischer 1999), (Energiesparverband O.Ö., Ökologische Betriebsberatung und Wirtschaftskammer O.Ö. 1997)

Berechnung 
$$\text{Energie - Flächenbezugszahl} = \frac{\text{Strombedarf der Endgeräte}}{\text{Bruttogeschossfläche in m}^2}$$

$$\text{Energie - Flächenbezugszahl} = \frac{\text{Strombedarf der Endgeräte}}{\text{Nettogeschossfläche in m}^2}$$

Messstellen Sollen einzelne Bereiche innerhalb eines Gebäudes miteinander verglichen werden, benötigen diese jeweils einen separaten Stromkreis für IKT mit eigenem Stromzähler; eine weitere Möglichkeit besteht in der sehr aufwendigen Vermessung jedes einzelnen IKT-Endgeräts. Eine Messung für das gesamte Gebäude am Stromzähler des Energieversorgers ist für die Ermittlung der Energie-Flächenbezugszahl in diesem Fall nicht ausreichend.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (1/4) Unter oben genannten Umständen (eigener Stromkreis für IKT-Endgeräte) ist die zusätzliche Installation von Stromzählern nötig. Die Vermessung jedes IKT-Endgeräts ist sehr aufwendig.

Verständlichkeit (4/4) Der Kennwert ist intuitiv verständlich, anhand seiner Bezeichnung als auch anhand der Formel zur Berechnung.

Zielbezug (2/4) Mithilfe der Energie-Flächenbezugszahl kann der Energiebedarf der IKT-Endgeräte für ein Gebäude bzw. einen Gebäudebereich bestimmt werden. Problematisch ist hierbei, dass die sehr unterschiedliche Ausstattung mit IKT-Endgeräten und die ggf. arbeitsplatz- bzw. branchenspezifischen

schen Nutzungsprofile aus der Kennzahl nicht sofort ersichtlich sind.

Maßnahmenfähigkeit (1/4) Die Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen können teilweise an der Energie-Flächenbezugs Kennzahl abgelesen werden. Konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz können aus der Kennzahl allerdings nicht abgeleitet werden, vor allem dann nicht, wenn die Energie-Flächenbezugszahl für ein ganzes Gebäude ermittelt wird (vgl. Zielbezug).

Vergleich-barkeit (1/4) Bei der Angabe der Energie-Flächenbezugszahl ist in jedem Fall anzugeben, ob diese auf die Brutto- oder die Nettogeschossfläche bezogen wird. Ohne diese Angabe ist die Vergleichbarkeit zwischen mehreren Gebäuden oder Etagen nicht gegeben. Zudem sollte die Nutzung des Berechnungsbereiches angegeben werden, da diese wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Kennzahl hat. Weitere Angaben zur Branche sind erforderlich, da sich eine sehr unterschiedliche Ausstattung mit IKT-Endgeräten ergeben kann.

### **Energie-Personenbezugszahl**

Bei der Energie-Personenbezugs-Kennzahl wird der jährliche Strombedarf der IKT-Endgeräte ins Verhältnis zur Anzahl der Mitarbeiter gesetzt, die in dem untersuchten Bereich tätig sind.

Quelle Centre for Energy Policy and Economics Swiss Federal Institutes of Technology (Bernard Aebischer 1999), (Energiesparverband O.Ö., Ökologische Betriebsberatung und Wirtschaftskammer O.Ö. 1997)

Berechnung 
$$\text{Energie - Personenbezugszahl} = \frac{\text{Strombedarf der Endgeräte (IKT) in kWh}}{\text{Anzahl der Mitarbeiter} \times 8760 \text{ h}}$$



Messstellen Auch bei dieser Kennzahl gilt: Sollen einzelne Bereiche innerhalb eines Gebäudes miteinander verglichen werden, benötigen diese jeweils einen separaten Stromzähler. Sollen nur ganze Gebäude verglichen werden, reicht der zentrale Stromzähler aus.

### **Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (1/4) Die Messbarkeit ist wie bei der flächenbezogenen Kennzahl zu bewerten, da die Herausforderungen dieselben sind.

Verständlichkeit (4/4) Die Aussage der Energie-Personenbezugszahl wird intuitiv klar.

Zielbezug (3/4) Der jährliche Strombedarf der IKT-Endgeräte wird auf die Anzahl der Mitarbeiter bezogen. Bei gleichbleibender Anzahl der Mitarbeiter werden im Vergleich mehrerer Jahre die Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen deutlich. Die Kennzahl hat einen größeren Zielbezug, da sie den Energiebedarf der IKT-Endgeräte direkt auf deren Nutzer bezieht

Maßnahmenfähigkeit (2/4) Die Maßnahmenfähigkeit ist wie bei der flächenbezogenen Kennzahl schwierig, da die Kennzahl keine Information über die Nutzung der IKT-Endgeräte liefert.

Vergleichbarkeit (2/4) Die Vergleichbarkeit ist geringfügig besser als die der personenbezogenen Kennzahl.

### **Spezifischer Stromverbrauch**

Der spezifische Stromverbrauch setzt den Strombedarf eines Jahres (oder eines beliebigen Zeitraumes) ins Verhältnis zur Anzahl der damit gefertigten Produkte während dieser Zeit. In Branchen bzw. Bereichen mit standardisierten Produkten oder einer immer gleich bleibenden Produktpalette, kann diese Kennzahl gut für den Vergleich verschiedener Gebäude/Firmen herangezogen

werden. Ist die Zuordnung des Produktes zu einer Branche schwierig, ist der Vergleich nur schwer möglich. Bei gleichbleibenden Produkten und gleicher Herstellungsart kann in diesem Fall nur ein Vergleich des eigenen Energieverbrauches innerhalb mehrerer Betrachtungszeiträume erfolgen. In der Büroumgebung kann der spezifische Stromverbrauch auf Druckerzeugnisse oder Dienstleistungen mit gleichem Arbeitsumfang übertragen werden.

Quelle Umweltbundesamt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010)

Berechnung 
$$\text{spezifischer Stromverbrauch} = \frac{\text{Gesamstrombedarf eines Endgeräts(IKT) in kWh}}{\text{Anzahl Endprodukte}}$$

Messstellen Am Ende eines Betrachtungszeitraumes wird der Stromverbrauch am Stromzähler des Energieversorgers abgelesen. Zur Beschreibung der Energieeffizienz spezieller Bereiche im Gebäude anhand des spezifischen Stromverbrauches sollten dort separate Zähler installiert werden. Wo diese einzurichten sind, ist stark vom hergestellten Produkt abhängig und kann nur individuell entschieden werden.

**Bewertung für die Kriterien (Einzelkennzahlen)**

Messbarkeit (1/4) Handelt es sich bei den Produkten um Dienstleistungen stets unterschiedlichen Umfangs, kann der spezifische Stromverbrauch nur schwer Anwendung finden. Die Kennzahl würde in diesem Fall einen Mittelwert darstellen und an Aussagekraft verlieren. Gibt es jedoch ein standardisiertes Produkt, das mit immer ähnlichem Arbeits- und Energieaufwand hergestellt bzw. bearbeitet wird, kann die Anzahl der Produkte eindeutig erfasst und der spezifische Strombedarf gut ermittelt werden. Im Fall von IKT-Dienstleistungen ist die Standardisierung

schwer möglich<sup>3</sup>. Betrachtet man bspw. das Verfassen einer Email, liegt der zeitliche Aufwand im Bereich von einigen Sekunden bis hin zu Stunden. Die Messbarkeit verlangt eine klare Definition der IKT-Dienstleistungen, ohne diese kann die Kennzahl nicht auf IKT-Endgeräte übertragen werden.

Verständlichkeit (4/4)

Die Aussage des spezifischen Stromverbrauches ist eindeutig, die Zielrichtung ist intuitiv erfassbar.

Zielbezug (2/4)

Es soll der Stromverbrauch bezogen auf das hergestellte Produkt ermittelt werden. Wird dieser Kennwert für mehrere Betrachtungszeiträume erfasst, kann eine Tendenz des Stromverbrauches abgelesen werden. So werden die Auswirkungen von Effizienzmaßnahmen gut sichtbar. Für eine Anwendung auf IKT-Endgeräte bedarf es einer klaren Definition der IT-Dienstleistung.

Maßnahmenfähigkeit (1/4)

Werden effizientere Geräte verwendet und ist die dadurch eingesparte Energiemenge groß genug, sollte sich dies in der Kennzahl widerspiegeln. Konkrete Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Effizienz können nur schwer abgeleitet werden, da die Kennzahl mit dem gesamten Stromverbrauch berechnet wird. Aus der Kennzahl wird nicht klar in welchem Bereich (Verwaltung; Administration der IKT; Bereiche, in denen das „Produkt“ bearbeitet wird etc.) die Einsparungen am sinnvollsten wären.

Vergleichbarkeit (1/4)

Für den internen Vergleich über mehrere Messzeiträume ist die Vergleichbarkeit gegeben. Sollen verschiedene Gebäude oder Bereiche miteinander verglichen werden, sollte die Bran-

---

<sup>3</sup> Als eine der wenigen Größen, wo eine Zuordnung in der Büroumgebung relativ leicht möglich ist, ist der Energiebedarf pro gedruckte Seite.

che übereinstimmen.

Abbildung 13 zeigt die Bewertung der gefundenen Kennzahlen für die Bewertung IKT-Energieeffizienz in der Büroumgebung.

Kennzahl	Formel	Einheit	Bewertung der Kennzahlenbezogenen Kriterien*				
			1	2	3	4	5
Energie-Flächenbezugszahl	Strombedarf [kWh] / Bruttogeschossfläche [m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]					
Energie-Personenbezugszahl	Strombedarf [kWh] / Anzahl der Mitarbeiter * 8760 h	[kW]					
spezifischer Stromverbrauch	Gesamtstrombedarf [kWh] / Anzahl Endprodukte	[kWh/Stück]					

\* 1: Messbarkeit 2: Verständlichkeit 3: Zielbezug 4: Maßnahmenfähigkeit 5: Vergleichbarkeit

**Abbildung 13: Bewertung der gefundenen Kennzahlen für die Büroumgebung**

### 3.5. Energielabel

Für die Bewertung von Energielabeln gelten andere Bewertungskriterien, da es sich nicht um Betriebskennzahlen handelt. Eine Bewertung auf einer qualitativen Skala von 0 bis 4 ist ebenfalls schwer möglich, da Energielabel für sehr viele verschiedene Produkte und IKT-Endgeräte vergeben werden. Daher muss bei Anschaffung von Geräten auf Grundlage eines Energielabels dessen Vergabegrundlage genau studiert werden. Im Folgenden wird kurz erläutert, wie die Entscheider hierbei helfen können. Anschließend werden mit den Kriterien kurz zwei große, Energielabel vergebende Organisationen im IKT-Bereich (Blauer Engel und Energy Star) bewertet.

#### 1. Erkennbarkeit

Das Energielabel sollte gut sichtbar auf dem Produkt platziert sein, damit der Kunde beim Kauf eines Geräts auf die zertifizierte Effizienz des Gerätes aufmerksam wird. Zusätzlich oder alternativ sollten die Produkte in frei zugänglichen Datenbanken aufgeführt sein. So kann vor einem Kauf gezielt nach energieeffizienten Geräten gesucht werden.

#### 2. Vergabegrundlage

Für den Käufer sollte (zumindest im Internet) die Möglichkeit gegeben werden, sich über die Vergabegrundlagen des Labels zu informieren. Auf diese

Weise kann das Vertrauen in Energielabel und damit ihre Akzeptanz gestärkt werden. Außerdem sollte die Vergabegrundlage Details über bspw. die Vorgehensweise zur Messung des Energiebedarfs enthalten.

### **3. Aktualität der Vergabegrundlage**

Mit der Weiterentwicklung der Geräte kann auch die Effizienz dieser gesteigert werden. Daher müssen die Vergabegrundlagen regelmäßig aktualisiert werden. Informationen über den zeitlichen Abstand bzw. die letzte Aktualisierungen der Kriterien sollten dem Käufer zugänglich sein.

### **4. Unabhängigkeit**

Die Kommission, die die Energielabel vergibt, sollte möglichst herstellerunabhängig sein.

### **5. Vollständigkeit**

Die zertifizierten Produkte sollten möglichst umfassend und im Hinblick auf den realen Gebrauch auf ihre Energieeffizienz getestet werden.

#### **3.5.1. Energy Star**

Bei der Neuanschaffung von Bürogeräten sollte auf die Energieeffizienz geachtet werden. Ein Hinweis auf einen effizienten Energieumsatz ist das Energy Star Gütezeichen. In der EU Energy Star Datenbank können Herstellerangaben zum Energieverbrauch sowie die wichtigsten Leistungswerte der Geräte abgefragt werden. Mit dem Energierechner, der auf der Webseite des Energy Stars zu finden ist, können in Abhängigkeit der Leistung der Geräte in verschiedenen Zuständen sowie dem Nutzungsverhalten die Unterhaltskosten und der Stromverbrauch in kWh pro Jahr ermittelt werden. Zertifizierte Geräte sind unter anderem Monitore, Tischcomputer, Notebooks, integrierte Tischcomputer, Thin Clients, Small Scale Server, Arbeitsplatzrechner, Kopierer, Faxgeräte, Frankiermaschinen, Drucker, Scanner, Mehrzweckgeräte. Die Kennzeichnung der Bürogeräte erfolgt freiwillig.



Abbildung 14: Logo des EU Energy Star-Gütezeichens

Quelle	EU Energy Star (EU Energystar 2012)
Erkennbarkeit	Das Gütezeichen ist auf den zertifizierten Geräten aufgebracht. Zusätzlich kann der Energiebedarf untersuchter Geräte in einer Datenbank auf der Webseite des Energy Star abgefragt werden.
Vergabegrundlage	Die Kriterien zur Vergabe des Energy Star werden von der U.S. Umweltbehörde (EPA), der EU Kommission und von Experten der Informationstechnologie entwickelt.
Aktualität der Vergabekriterien	Die Kriterien zur Vergabe werden den fortschreitenden technischen Möglichkeiten regelmäßig angepasst. In der Regel halten rund ein Viertel der am Markt verfügbaren Geräte die Energiestandards des Energy Star ein (DENA 2012).
Unabhängigkeit	Das Gütezeichen wird von einer unabhängigen Kommission vergeben.
Vollständigkeit	Der Energy Star wird allein nach dem Energiebedarf der untersuchten Geräte vergeben.

### 3.5.2. Blauer Engel

Das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wird an Produkte und Dienstleistungen vergeben, die besonders umweltfreundlich sind und hohe Ansprüche an den

Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie an die Gebrauchstauglichkeit erfüllen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010). Zusammen mit Experten der einzelnen Bereiche entwickelte das Umweltbundesamt technische Kriterien zur Vergabe des Blauen Engels für Arbeitsplatzcomputer, tragbare Computer, Tastaturen, elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen, Mobiltelefone, Drucker, Beamer, Schnurlostelefone, Steckdosenleisten, Netbooks, Espresso- und Kaffeemaschinen, Voice Over IP-Telefone, Lampen, E-Book Reader, Router und Rechenzentren.



**Abbildung 15: Logo des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“**

Quelle	Der Blaue Engel – Jury Umweltzeichen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010)
Erkennbarkeit	Das Umweltzeichen kann auf Produkten und für Dienstleistungen verwendet und in der damit verbundenen Werbung eingesetzt werden.
Vergabegrundlage	Die inhaltliche Ausgestaltung der Vergabegrundlagen erfolgt durch die Geschäftsstelle der Jury in Zusammenarbeit mit den Fachabteilungen des Umweltbundesamtes oder durch von diesem beauftragte Dritte. Die vollständigen Vergabegrundlagen werden in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht und auf der Homepage des Blauen Engels in das Internet eingestellt.
Aktualität der Vergabekriterien	Die Kriterien zur Vergabe des Blauen Engels werden periodisch im Hinblick auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse weiterentwickelt. Eine Jury entscheidet über neue Vergabekriterien, die

in der Regel eine Gültigkeitsdauer von vier Jahren haben.

Vorschläge für die Entwicklung neuer Umweltzeichen können von jedermann bei der Geschäftsstelle der Jury Umweltzeichen im Umweltbundesamt eingereicht werden. Die Geschäftsstelle nimmt eine Plausibilitätsprüfung der eingereichten Anträge sowie eine Vorauswahl entsprechend den von der Jury festgelegten Prioritäten vor. Sie schlägt der Jury auf dieser Grundlage Produktgruppen und Dienstleistungen vor, für die Kriterien zur Vergabe des Umweltzeichens erarbeitet werden sollen.

#### Unabhängigkeit

Das 1978 begründete Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ ist ein Zeichen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Die Vergabe des Umweltzeichens „Der Blaue Engel“ erfolgt durch ein weisungsfreies, unparteiisches und ehrenamtlich tätiges Gremium, die „Jury Umweltzeichen“.

Die Zusammensetzung der Jury sowie die Amtszeiten der Mitglieder sind in den „Grundsätzen zur Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel“ geregelt und können u. a. auf der Website des Gütezeichens abgerufen werden.

#### Vollständigkeit

Das Umweltzeichen fördert sowohl die Anliegen des Umwelt- und Gesundheits- als auch des Verbraucherschutzes. Ausgezeichnet werden Produkte und Dienstleistungen, die in einer ganzheitlichen Betrachtung besonders umweltfreundlich sind und zugleich hohe Ansprüche an Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie an die Gebrauchstauglichkeit erfüllen.



## 4 Ergebnis

Es existieren viele verschiedene Kennzahlensysteme zur Energieeffizienz in Rechenzentren. Die Effizienz (Nutzen/Aufwand) einzelner Komponenten, insbesondere der Infrastruktur, können teilweise sehr gut abgebildet werden (z.B. RTI des LNBL). Dies liegt daran, dass im Bereich der Infrastruktur die Begriffe Nutzen und Aufwand relativ gut abgegrenzt sind.

Prinzipiell gilt für Infrastrukturkennzahlen: Je kleiner die Bereiche, die die Kennzahlen abbilden, desto besser sind sie. Denn je konkreter das Gerät oder das zu beschreibende System wird, desto genauer kann der jeweilige Nutzen des Bereichs oder der Anlage beschrieben werden. Gleichzeitig steigt mit dem Detaillierungsgrad. Die Herausforderung ist somit, ein Kennzahlensystem zu entwickeln, das sowohl die unteren(genauen) Ebenen abbildet, als auch die Gesamteffizienz hinreichend gut darstellen kann, ohne dass der Aufwand zu groß wird.

Die Netzwerkkennzahlen sind statische Kennzahlen, die die Effizienz eines Geräts beschreiben. Um zur Nutzungseffizienz im Betrieb zu gelangen, kann der Datendurchsatz in Bezug zum Energiebedarf des entsprechenden Netzwerkgeräts gesetzt werden.

Statische Kennzahlen können eingesetzt werden, um die Effizienz der IKT-Landschaft zu beschreiben (z.B. Anteil der IKT-Endgeräte mit 80PlusGold-Standard). Somit sind diese Kennzahlen ein geeignetes Mittel, um die Effizienz der Bestandsgeräte zu ermitteln. Geeignete Kennzahlen sind bspw. der Anteil der Endgeräte mit einem Netzteil der Energieeffizienzklasse 80 Gold Plus an der Gesamtanzahl der Geräte. Weiterhin ist der Anteil der Geräte, die zum Leistungsprofil des entsprechenden Arbeitsplatzes passen, eine geeignete Kennzahl.

Problematisch ist nach wie vor, dass der Nutzen der IT, die IT-Dienstleistung, nicht sehr genau auf Komponentenebene messbar ist, da das Ergebnis(IT-Dienstleistung) eine komplexe, von vielen einzelnen IKT-Systemen abhängige Größe darstellt. Problematisch ist hier, eine Nutzendefinition zu finden, die allgemein gültig und von allen Beteiligten akzeptiert wird (Wilkens u. a. 2012).

Im Bereich Büroumgebung existieren mit der Energie-Personenbezugszahl und der Energie-Flächenbezugszahl Kennzahlen, die zu einem ersten Vergleich geeignet sind, aber schnell an ihre Grenzen stoßen. Mit der Endgerätenutzungseffizienz könnte hier eine Kennzahl geschaffen werden, die Auskünfte über die Effizienz der Nutzung der IKT-Endgeräte in der Büroumgebung liefert. Hier könnten arbeitsrechtliche Probleme auftreten, da die Kennzahl Endgeräte bewertet, die i.d.R. einem konkreten Mitarbeiter zugeordnet werden können. Außerdem setzt sie voraus, dass es ein vollständiges Monitoring aller IKT-Endgeräte gibt. Da in der Büroumgebung der größte Bedarf für neue Kennzahlen besteht, geht der nächste Abschnitt näher auf Kennzahlen für die Büroumgebung ein.

### Überlegungen für den Bereich Büroumgebung

Wie bereits erwähnt, bilden die gefundenen Kennzahlen den Bereich der Büroumgebung nur unzureichend ab. Um wirklich die Betriebseffizienz mit Kennzahlen abzubilden, muss der Nutzen für die eingesetzten Endgeräte in Bezug zum Gesamtaufwand (hier: Energiebedarf des IKT-Endgeräts) gesetzt werden. In dieser Weise können Kennzahlen der Form Nutzen / Aufwand erhalten werden. Allerdings kommen solche Kennzahlen nur für Endgeräte in Frage, wo der Nutzen offensichtlich ist. Im Kontext der Büroumgebung sind dies Drucker, Scanner, Fax- und Multifunktionsgeräte. Tabelle 1 zeigt beispielhaft für Drucker und Scanner den Aufwand, den Nutzen und die Einheit der Kennzahl Nutzen / Aufwand.

**Tabelle 1: Typische Ausprägungen von Nutzen und Aufwand für IKT-Endgeräte in der Büroumgebung**

Gerät	Nutzen	Aufwand	Einheit
Drucker	Anzahl der bedruckten Seiten	Gesamtenergiebedarf des Endgeräts	Gedruckte Seiten / kWh
Scanner	Anzahl der gescannten Seiten	Gesamtenergiebedarf des Endgeräts	Gescannte Seiten / kWh

Einen solchen Ansatz verfolgt Typical Electricity Consumption (TEC), die für Geräte wie z.B. Drucker und Faxgeräte einen Strombedarf in kWh / Woche angibt. Der Verbrauchswert wird über ein gerätespezifisches Nutzungsprofil und Messungen an den Geräten in verschiedenen Betriebszuständen bestimmt (Energy Star 2005).

Bei anderen Endgeräten, wie z.B. Fat-Clients oder Laptops ist der Nutzen, die mit diesen Geräten geleistete Arbeit. Da diese Arbeit schwer zu messen ist, könnten hier Informationen zur Effizienz der Nutzung des entsprechenden Geräts nützlich sein. IKT-Endgeräte in der Büroumgebung sind nach (Köwener u. a. 2004) die meiste Zeit nicht in Betrieb (=aktive Nutzung). Auch der Energieverbrauch zeigt diese Aufteilung, wie Abbildung 16 zeigt:

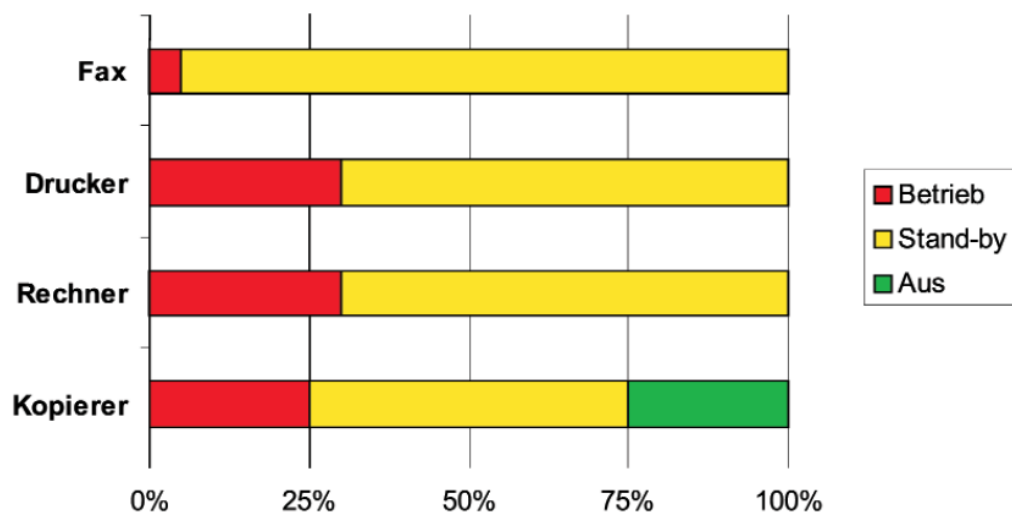


Abbildung 16: Energieverbrauch / Betriebszuständen (Köwener u. a. 2004)

Mit diesen Daten können entsprechende Kennzahlen gebildet werden, Tabelle 2 zeigt solche Kennzahlen.

**Tabelle 2: Betriebskennzahlen zur Nutzungseffizienz für IKT-Endgeräte in der Büroumgebung**

Kennzahl	Nutzen	Aufwand	Einheit
Nutzanteil	Energiebedarf während der aktiven Nutzungszeit	Gesamtenergiebedarf des Endgeräts	-
Leerlaufanteil	Energiebedarf während der Leerlaufzeit	Gesamtenergiebedarf des Endgeräts	-
Standby-Anteil	Energiebedarf während des Standbybetriebs	Gesamtenergiebedarf des Endgeräts	-

Ein wesentliches Problem dieser Kennzahlen ist der Datenschutz bei IKT-Endgeräten, die direkt einer Person bzw. einer sehr kleinen Personengruppe zugeordnet sind.

## 5 Rückkopplung mit den Partnern

In Arbeitstreffen, Workshops und Telefonaten wurde mit den Partner über sinnvolle Kennzahlen diskutiert.

Aus Sicht der Partner lautet die wichtigste Kennzahl: Energieverbrauch pro Geschäftsprozess(-instanz) [kWh]. Dazu möchten sie Informationen über StandBy- bzw. Leerlaufverbrauch, peripheren Energieverbrauch und den direkten Energieverbrauch erhalten.

Der geschäftsprozessbezogene Energieverbrauch ist eine sinnvolle Kennzahl, allerdings nur in Verbindung mit Kennzahlen, die die Nutzungseffizienz der zugrundeliegenden IKT-Ressourcen beschreiben. Daher sollten folgende Kennzahlen mit berücksichtigt werden:

- RZ: Effizienz des IKT-Geräts und Infrastruktureffizienz (z.B. DCiE)
- Büroumgebung: IKT-Endgeräteeffizienz
- Netzwerk: Datentransfereffizienz der Router und Switches

Diese sehr allgemeinen Definitionen müssen für jeden Geschäftsprozess konkretisiert werden. Dies kann erst nach Abschluss der IKT-Ressourcenabgrenzung erfolgen und muss daher im weiteren Projektverlauf abgesprochen werden.

## Literaturverzeichnis

Alimian, A., Nordman, B. & Kharitonov, D., 2010. Network and Telecom Equipment - Energy and Performance Assessment. Available at: <http://www.ecrinitiative.org/> [Zugegriffen September 11, 2012].

Beat Wellig, 2006. *Wege aus der „Stromfalle“ in der Gebäudekühlung: Klimakälteanlagen mit JAZ > 20*, Zürich: Ernst Basler + Partner AG.

Bernard Aebischer, 1999. *Veränderung der Elektrizitätskennzahlen im Dienstleistungssektor in der Stadt Zürich und im Kanton Genf*, Zürich: Bundesamt für Energie Schweiz.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2010. *Energiemanagement in der Praxis – DIN EN 16001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen*, Available at: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/>.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2010. Grundsätze zur Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel.

Christian Belady, 2010. *Carbon Usage Effectiveness (CUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric*, The Green Grid.

Claudio Müller, 2008. Leistungszahlen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpensysteme. , (1-2008). Available at: <http://www.reftec.ch/downloads/Leistungszahlen.pdf>.

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

DENA, 2012. Thema Energie: Das Energy-Star-Programm der EU. Available at: <http://www.thema-energie.de/strom/effizienzlabel/das-energy-star-programm-der-eu.html> [Zugegriffen September 11, 2012].

Energiesparverband O.Ö., Ökologische Betriebsberatung und Wirtschaftskammer O.Ö., 1997. *Energiekennzahlen und -sparpotenziale für Bürogebäude*, Available at: <http://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/>.

Energy Star, 2005. ENERGY STAR Qualified Imaging Equipment Typical Electricity Consumption (TEC) Test Procedure.

EU Energystar, 2012. EU ENERGY STAR - Kennzeichnung für Stromsparende Bürogeräte [DE]. Available at: <http://www.eu-energystar.org/de/index.html> [Zugegriffen September 11, 2012].

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

Klima-Innovativ e.V., *Definiton der Jahresarbeitszahl*, Available at: [www.jahresarbeitszahlen.info](http://www.jahresarbeitszahlen.info).

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

Kütz, M., 2011. *Kennzahlen in der IT*, dpunkt.verlag.

Mark Blackburn, 2010. *The Green Grid Data Center Compute Efficiency Metric: DCcE*,

Michael Patterson, 2011. *Water Usage Effectiveness (WUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric*, The Green Grid.

Mike Patterson, 2010. *ERE: A Metric For Measuring The Benefit Of Reuse Energy From A Data Center*, The Green Grid.

Newcombe, L., 2006. *Data center energy efficiency metrics*, BSC.

SNIA, 2009. *SNIA Green Storage Power Measurement Technical Specification*,

Spirent, 2011. Green Test Global Services.

Wilkens, M., Drenkelfort, G. & Dittmar, L., 2012. *Bewertung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen zur Beschreibung der Energieeffizienz von Rechenzentren*, TU Berlin.

Zarnechow, R., 2007. *Produktionsmanagement von IT-Dienstleistungen: Grundlagen, Aufgaben und Prozesse* 1. Aufl., Springer Berlin Heidelberg.

**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