

Rittal – Das System.

Schneller – besser – überall.



Whitepaper – Metriken in der IT- und RZ-Technologie

Bernd Hanstein

SCHALTSCHRÄNKE

STROMVERTEILUNG

KLIMATISIERUNG

IT-INFRASTRUKTUR

SOFTWARE & SERVICE

FRIEDHELM LOH GROUP



Inhaltsverzeichnis

Einführung	5
Metriken	6
PUE – Power Usage Effectiveness.....	6
pPUE – partial Power Usage Effectiveness	7
DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency	8
CUE – Carbon Usage Effectiveness	10
WUE – Water Usage Effectiveness	11
EER – Energy Efficiency Ratio	11
COP – Coefficient of Performance.....	12
ESEER/SEER – (European) Seasonal Energy Efficiency Ratio.....	12
cos ϕ – Leistungsfaktor	13
AC-AC Effizienz.....	14
Literatur	15
Abkürzungsverzeichnis	17

Autor: Bernd Hanstein

Nach Abschluss des Diplomstudiengangs der Physik an der Justus-Liebig-Universität in Gießen im Jahr 1987 hat Bernd Hanstein in der Zentralen Forschung der Siemens AG auf dem Gebiet der Testverfahren für hochintegrierte Schaltungen gearbeitet. Anschließend war er in verschiedenen Positionen innerhalb der Siemens AG im Unternehmensbereich Öffentliche Netze für die Implementierung großer ITK-Projekte zuständig. Nach dem Wechsel zu Siemens VDO Automotive im Jahre 2002 war Bernd Hanstein als Hauptabteilungsleiter für den weltweiten Systemtest der Multimediageräte für Kraftfahrzeuge verantwortlich. Seit 2007 hat er die Leitung des IT-Produktmanagements bei Rittal in Herborn inne. Seine Schwerpunkte: IT-Komponenten, RiMatrix-Systemlösungen und Rechenzentrumstechnologie.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PUE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6.....	7
Abbildung 2: pPUE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6.....	8
Abbildung 3: DCiE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6.....	9
Abbildung 4: CO ₂ -Berechnung anhand des Strommix Deutschland (1990-2014)	10
Abbildung 5: Temperaturabhängigkeit des EER	12

Verzeichnis der Definitionen

Definition 1: PUE- Power Usage Effectiveness.....	6
Definition 2: pPUE – partieller PUE	7
Definition 3: DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency	8
Definition 4: mittlerer PUE	9
Definition 5: CUE – Carbon Usage Effectiveness	10
Definition 6: WUE – Water Usage Effectiveness.....	11
Definition 7: EER – Energy Efficiency Ratio.....	11
Definition 8: COP – Coefficient of Performance	12
Definition 9: ESEER– European Seasonal Energy Efficiency Ratio.....	13
Definition 10: SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio.....	13
Definition 11: cos ϕ – Leistungsfaktor.....	13
Definition 12: AC-AC Effizienz	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Metriken.....	5
Tabelle 2: ESEER-Faktoren	13
Tabelle 3: Eingangseitiger Leistungsfaktor ABB-Rittal DPA Upscale.....	14
Tabelle 4: Darstellung der lastabhängigen Effizienz einer ABB-Rittal DPA Upscale	14

Executive Summary

Rechenzentren sind in der digitalen Welt des 21. Jahrhunderts elementare Bausteine in allen wichtigen Bereichen der Gesellschaft und finden sich in der Industrie, in Krankenhäusern und Flughäfen, aber ebenso in allen Gebieten der Kommunikation und des Internets. Gerade die stetig wachsende Nutzung mobiler Endgeräte und die damit steigende Menge übertragener Daten führen dazu, dass Rechenzentren auch in der Zukunft weiter wachsen werden.

Große Rechenzentren von Cloud und Collocation Anbietern benötigen dabei Energiemengen im zweistelligen Megawatt-Bereich. Die Gesamtheit aller Rechenzentren weltweit hat einen wachsenden Anteil am globalen CO₂-Ausstoß. So wird von GeSI (Global e-Sustainability Initiative) [Ref. 1] prognostiziert, dass der Anteil der ITK am weltweiten CO₂-Ausstoß von 1.3% im Jahr 2002 auf 2.3% im Jahr 2020 ansteigen wird.

Die Senkung der Emission von Treibhausgasen ist nicht nur eine politische und gesellschaftliche Aufgabe, sondern sie geht einher mit der Einsparung von Stromkosten und ist daher für jeden Betreiber von Rechenzentren – gleichgültig welcher Größenordnung – von wachsender Bedeutung.

In einem stetig wachsenden Wettbewerbsumfeld können zudem effizient und nachhaltig genutzte Rechenzentren – im Rahmen einer „Green IT Policy“ – ein wichtiger Vorteil sein, wie die Beispiele von Google [Ref. 2] und Apple [Ref. 3] zeigen.

Um die Effizienz von Rechenzentren zu bewerten gibt es eine ganze Reihe von Metriken, die die Bewertung der Nutzung der Energie, dem Ausstoß von CO₂, aber auch der nachhaltigen Verwendung von Wasser ermöglichen. Weiterhin können über Metriken auch einzelne Komponenten und Gewerke eingestuft und so die Lösungen verschiedener Anbieter miteinander verglichen werden.

Das vorliegende Whitepaper gibt einen Überblick über die wichtigsten Metriken, die für IT Infrastrukturen von Rechenzentren von Bedeutung sind. Dabei wird ersichtlich, dass einzelne Metriken alleine nicht aussagekräftig genug sind, sondern dass der RZ-Betreiber einen geeigneten Satz unterschiedlicher Kenngrößen definieren muss, die für seinen Anwendungsfall zugeschnitten sind.

Das kontinuierliche Erfassen der relevanten Daten und deren transparente Darstellung in Form von Trendanalysen erlaubt es, Rechenzentren effizient und nachhaltig zu betreiben. So können Verbesserungen gegenüber den Vergleichsmonaten des Vorjahres aufgezeigt werden und ebenso Ursachen für Abweichungen von den Zielwerten gesucht werden.

Einführung

Da Rechenzentren einen nicht unerheblichen Beitrag zum globalen CO₂-Ausstoß beitragen, wächst die Notwendigkeit für einen effizienten Betrieb und einem nachhaltigem Umgang mit den natürlichen Ressourcen. Die Senkung des CO₂-Ausstoßes geht einher mit der Einsparung von Stromkosten und ist daher für jeden Betreiber von Rechenzentren von wachsender Bedeutung.

Essentiell ist es, alle relevanten Parameter zu erfassen, aufzuzeichnen und zu bewerten. Nur der Vergleich der aktuellen Werte mit den Zielvorgaben wie auch mit den historischen Daten ermöglicht es, nachhaltig Verbesserungen zu realisieren.

Im Rahmen dieses Whitepapers werden eine Reihe von Metriken vorgestellt, die für die Bewertung der Effizienz physischer IT Infrastrukturen definiert wurden. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick.

Metrik	Beschreibung
PUE- Power Usage Effectiveness	Bewertung der Effizienz der physischen IT Infrastruktur eines Rechenzentrums
pPUE – partieller PUE	Einschränkung dieser Betrachtung auf einen Teilbereich eines Rechenzentrums
DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency	Bewertung der Effizienz der physischen IT Infrastruktur eines Rechenzentrums
CUE – Carbon Usage Effectiveness	Bewertung des CO ₂ -Ausstoß in Abhängigkeit des genutzten Stromerzeugung
WUE – Water Usage Effectiveness	Bewertung der Wassernutzung (z.B. bei adiabatischer Kühlung eines Rechenzentrums)
EER – Energy Efficiency Ratio	Klassifizierung von kältetechnischen Geräten und Anlagen
COP – Coefficient of Performance	Klassifizierung von kältetechnischen Geräten und Anlagen
ESEER– European Seasonal Energy Efficiency Ratio	Berücksichtigung des Aufstellortes / Außentemperatur bei der Bewertung von kältetechnischen Geräten und Anlagen
SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio	Berücksichtigung des Aufstellortes / Außentemperatur bei der Bewertung von kältetechnischen Geräten und Anlagen
cosφ – Leistungsfaktor	Bewertung der Effizienz von USV-Systemen
AC-AC Effizienz	Bewertung der Effizienz von USV-Systemen

Tabelle 1: Übersicht der Metriken

Metriken

PUE – Power Usage Effectiveness

Bei der Organisation „The Green Grid“ [Ref. 4] handelt es sich um einen nicht-profitorientierten Zusammenschluss von Firmen, Instituten und Organisationen, der im Jahr 2006 gegründet wurde, deren Ziel es ist, die Effizienz und Nachhaltigkeit von Rechenzentren zu steigern. Zu diesem Zweck wurden von „The Green Grid“ eine Reihe von Metriken wie beispielsweise der PUE, CUE und WUE definiert, um eine internationale Vergleichbarkeit der Messungen und der darauf aufbauenden Schlussfolgerungen zu gewährleisten.

Eine der wichtigsten Metrik ist in diesem Zusammenhang der PUE (Power Usage Effectiveness) [Ref. 5], der wie folgt definiert ist:

$\text{PUE} := \frac{\text{Gesamtleistung Rechenzentrums}}{\text{Gesamtleistung IT Geräte}}$ <p>wobei: Gesamtleistung Rechenzentrums := IT Infrastruktur und IT Geräte IT Geräte := z.B.: Server, Switches, Storage-Systeme</p>

Definition 1: PUE- Power Usage Effectiveness

Mit dem PUE wird das Verhältnis der gesamten Leistungsaufnahme eines Rechenzentrums im Verhältnis zu der Leistung berechnet, die von den aktiven Komponenten wie Server, Speicher und Netzwerk genutzt wird.

Je weniger Leistung die IT Infrastruktur (z.B. Klimatisierung, Stromabsicherung, Beleuchtung) benötigt, desto mehr nähert sich der PUE der Zahl „1“. Dieser theoretische Wert kann nur erreicht werden, wenn der gesamte Strom eines Rechenzentrums ausschließlich von den Servern, Speichern und den anderen aktiven IT Komponenten genutzt wird.

Ein PUE-Wert sagt nichts über den Gesamtverbrauch eines Rechenzentrums aus. Daher ist der PUE alleine als Metrik nicht aussagefähig, ob wirklich Strom eingespart wird. Ein einfaches Beispiel illustriert diese Problematik:

Wird die Servereinblasteremperatur höher gelegt, so sinkt der Anteil des Stroms, der zur Kälteerzeugung benötigt wird. Ist die Temperatur jedoch so hoch, dass die Ventilatoren der Server auf Vollast zur Notkühlung gehen, steigt der Stromverbrauch der IT-Geräte. Der PUE wird vordergründig besser, während der Stromverbrauch jedoch ansteigt.

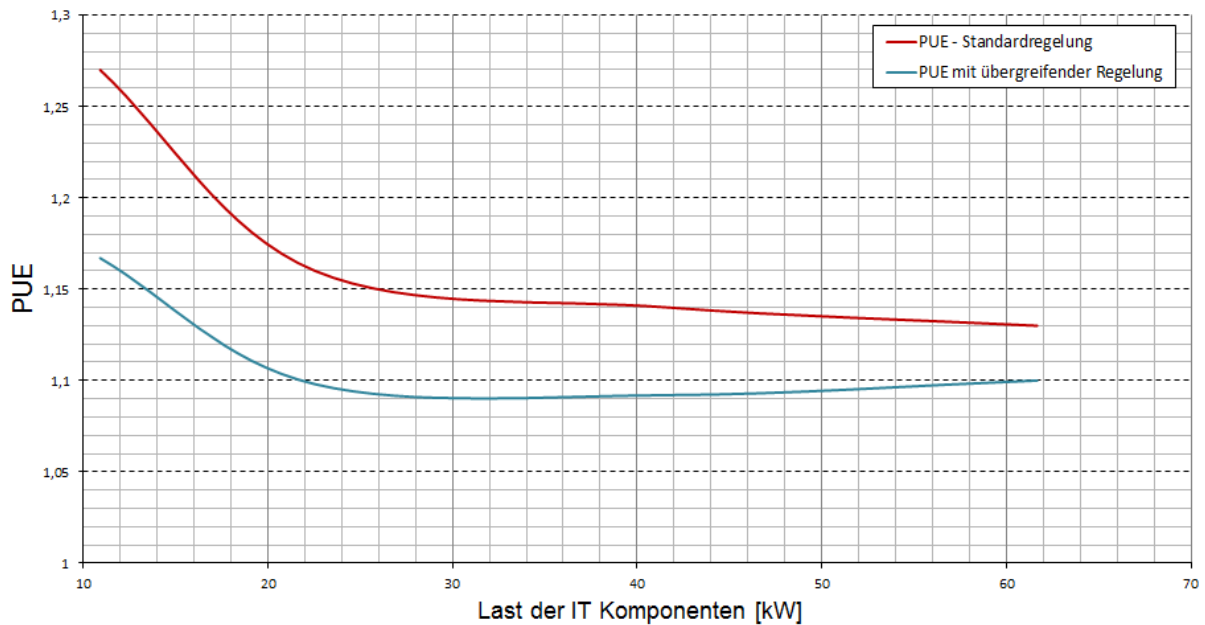


Abbildung 1: PUE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6

Der PUE eines Rechenzentrums ist aus diesem Grund auch lastabhängig, wie Abbildung 1 zeigt. Bei niedriger Serverlast ist er schlechter, da hier Infrastrukturanteile – wie zum Beispiel die USV und die Kälteversorgung – stärker ins Gewicht fallen. Bei einer „übergreifenden Regelung“ sucht die DCIM-SW Gewerke-übergreifend den optimalen Arbeitspunkt des Rechenzentrums. Im Falle einer Standard-Regelung optimieren sich die Geräte separat.

pPUE – partial Power Usage Effectiveness

Mit dem partiellen PUE, dem pPUE [Ref. 5], wird nur ein Teilbereich eines Rechenzentrums betrachtet. So ist es zum Beispiel zulässig, bei der Berechnung eines pPUE-Wertes die Kälteerzeugung mit Hilfe eines Freikühlers/Chillers nicht mit zu betrachten. Die Schnittstelle des pPUEs wäre in diesem Falle beispielsweise die Gebäudegrenzen der Technik- und Serverräume. Der pPUE ist daher wie folgt definiert:

$$pPUE := \frac{\text{Gesamtleistung in einem Teilbereich eines RZs}}{\text{Gesamtleistung IT Geräte in diesem Bereich}}$$

Definition 2: pPUE – partieller PUE

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt den pPUE eines Rechenzentrums-Moduls RiMatrix S, welches zum Betrieb an eine externe Kälteversorgung angeschlossen werden muss. Diese kann kundenseitig oder auch durch ein entsprechendes Kältemodul realisiert werden.

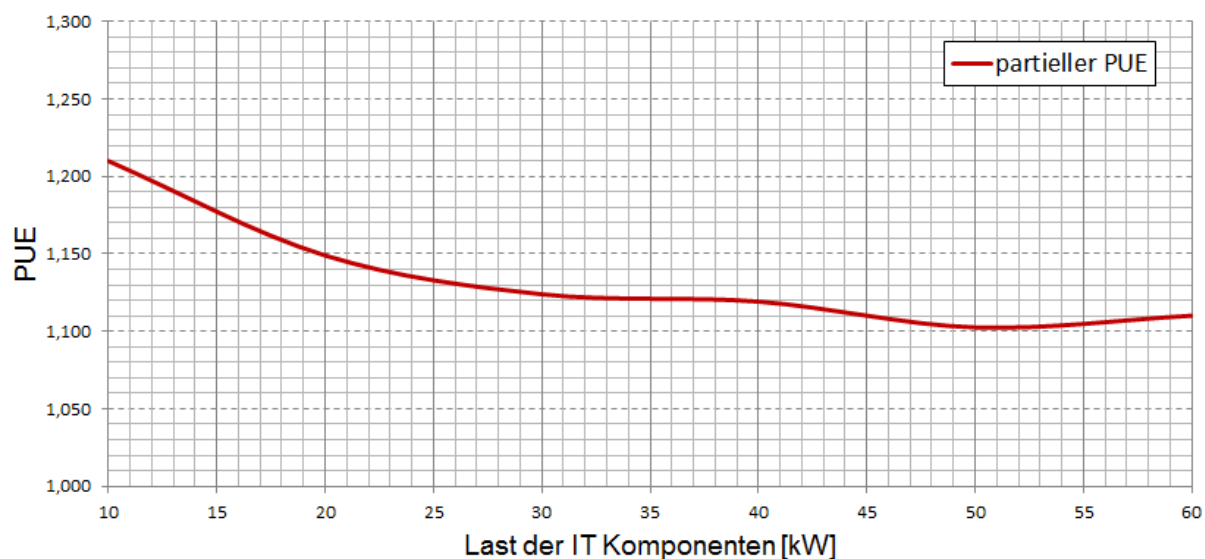


Abbildung 2: pPUE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6

Der pPUE gibt in diesem Beispiel an, wie effizient das Modul ohne die externe Kälteerzeugung ist.

DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency

Der DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency) [Ref. 5] ist als der Kehrwert des PUE definiert:

$$\text{DCiE} := \frac{\text{Gesamtleistung IT Geräte}}{\text{Gesamtleistung Rechenzentrum}}$$

wobei:
IT Geräte := z.B.: Server, Switches, Storage-Systeme
Gesamtleistung Rechenzentrums := IT Infrastruktur und IT Geräte

Definition 3: DCiE – Data Center Infrastructure Efficiency

Mit dem PUE wird das Verhältnis der gesamten Leistungsaufnahme eines Rechenzentrums im Verhältnis zu der Leistung berechnet, die von den aktiven Komponenten wie Server, Speicher und Netzwerk genutzt wird.

Der DCiE wird in der Regel als eine Prozentzahl angegeben, wie Abbildung 3 zeigt. Ein ideales Rechenzentrum hätte damit einen DCiE-Wert von 100% und wäre damit „hundertprozentig effizient“.

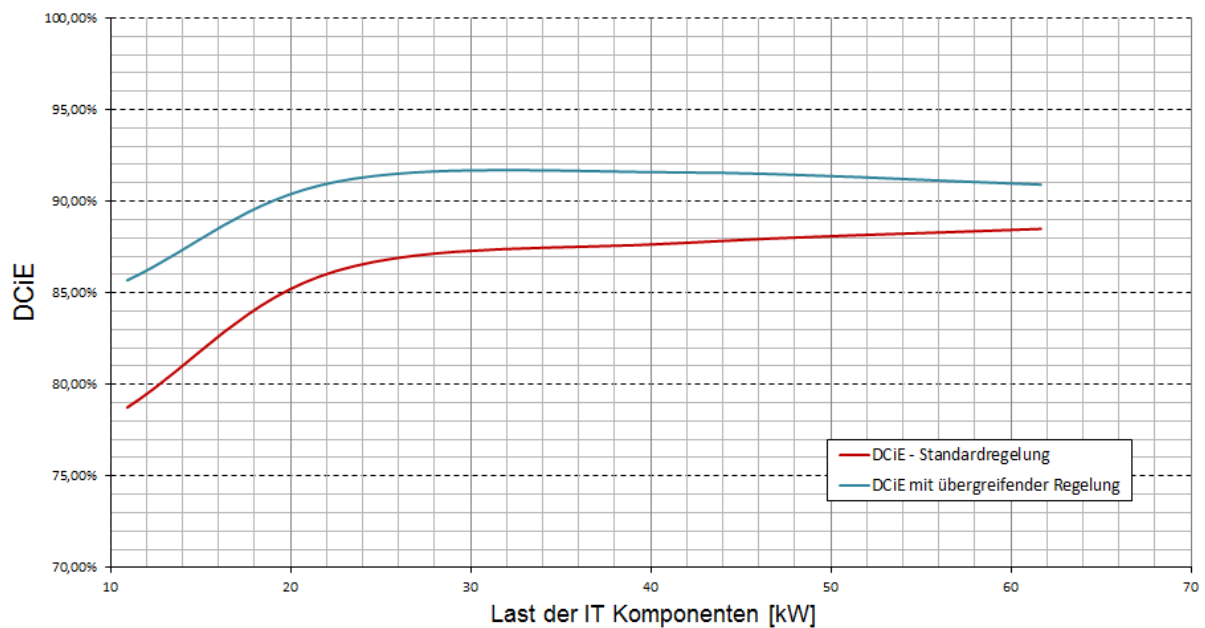


Abbildung 3: DCiE des Rechenzentrums RiMatrix S – Single 6

Um die Nachhaltigkeit abzusichern, ist die Betrachtung des PUE bzw. DCiE über den zeitlichen Verlauf anhand von Trendanalysen im Jahresgang notwendig, da die Kälteerzeugung von den äußeren klimatischen Einflüssen des jeweiligen Standorts abhängig ist.

Sowohl bei PUE- wie auch bei DCiE-Angaben ist darauf zu achten, wie diese Werte ermittelt wurden:

- Handelt es sich um theoretische Werte, die auf Basis der Datenblätter der verbauten Komponenten und Geräte ermittelt wurden?
- Handelt es sich um gemessene Werte, wobei zu unterscheiden ist zwischen:
 - a) aktueller Wert, der an einem bestimmten Zeitpunkt gemessen wurde,
 - b) mittlerer Wert, der über einen vorgegebenen Zeitraum z.B. einem Jahr gemessen wurde?

Für die Ermittlung eines mittleren PUE-Wertes gilt dann die folgende Formel:

$$PUE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n PUE(i)$$

n := Anzahl der gemessenen Werte

Definition 4: mittlerer PUE

Wobei auf zeitlich äquidistante Messungen zu achten ist.

CUE – Carbon Usage Effectiveness

Die Metrik CUE (Carbon Usage Effectiveness) [Ref. 6] wurde von „The Green Grid“ [Ref. 1] definiert, um die PUE Metrik zu ergänzen. Mit dem CUE soll die nachhaltige Nutzung der elektrischen Energie eines Rechenzentrums beschrieben werden. Dabei wurde der CUE so definiert, dass ein ideales Rechenzentrum keinen CO₂-Ausstoss hat:

$$\text{CUE} := \text{CEF} \times \text{PUE}$$

Wobei der Term CEF (Carbon Emission Factor) den CO₂-Faktor des Strom-Mix angibt.

Definition 5: CUE – Carbon Usage Effectiveness

Die Berechnung des CO₂-Ausstosses pro kWh verbrauchten Stroms ist jeweils Länder spezifisch, da diesem der jeweilige Strom-Mix (Atomstrom, Kohle- und Gas, erneuerbare Energien) zugrunde liegt. In Deutschland wird die Berechnung des Faktors vom Bundesumweltamt [Ref. 7] durchgeführt und jährlich publiziert, wie Abbildung 4 zeigt.

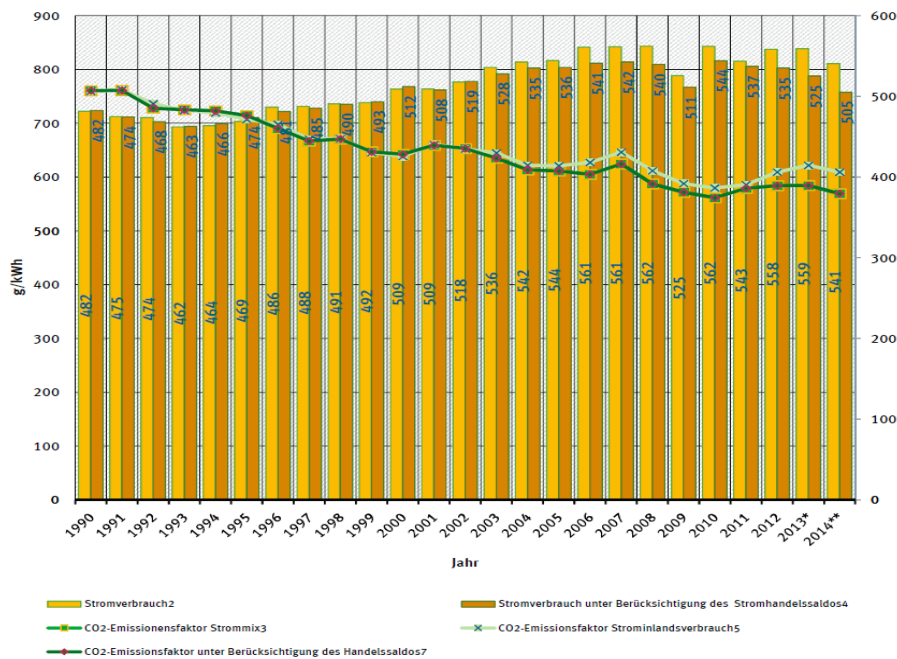


Abbildung 4: CO₂-Berechnung anhand des Strommix Deutschland (1990-2014)

Ebenso werden diese Zahlen und Faktoren in anderen Ländern veröffentlicht, wie beispielsweise in den USA von der U.S. Energy Information Administration [Ref. 8]. Aus obiger Gleichung [Definition 5] wird ersichtlich, dass der CUE den Wert „0“ dann annimmt, wenn ein Rechenzentrum ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien bezieht.

WUE – Water Usage Effectiveness

Gerade im Hinblick auf die wachsende Nutzung von direkter Freikühlung kommt der Nutzung und der nachhaltigen Verwendung von Wasser eine wachsende Bedeutung zu. Die Organisation ASHRAE [Ref. 9] gibt genaue Vorgaben hinsichtlich Temperatur- und Feuchte heraus [Ref. 10], in denen die aktiven IT Komponenten eines Rechenzentrums betrieben werden sollen. Ist im Falle einer direkten Freikühlung die Luft zu trocken, muss beispielsweise befeuchtet werden. Oft wird eine Freikühlung auch in Verbindung mit einer adiabatischen Kühlung genutzt. Hierbei wird in an den heißen Tagen der Luft-Luft-Wärmetauscher mit Wasser besprüht. Die Verdunstungskälte senkt dabei die Temperatur der über den Wärmetauscher dem Rechenzentrum zugeführte Kaltluft. Auch hierzu wird Wasser genutzt, wie es z.B. in den großen Facebook RZ in Prineville [Ref. 10, Ref. 12] gezeigt wird.

Um diesem Trend Rechnung zu tragen, wurde von „The Green Grid“ [Ref. 1] eine WUE Metrik [Ref. 11] definiert, mit der die Verwendung von Wasser im Verhältnis zum Stromverbrauch der IT Komponenten gesetzt wird:

$\text{WUE} := \frac{\text{Jährlicher Wasserverbrauch}}{\text{Gesamtleistung aktiver IT Komponenten}}$ <p>Die Einheit des WUE ist demnach: [l/kWh] (Liter/Kilowattstunde)</p>
--

Definition 6: WUE – Water Usage Effectiveness

EER – Energy Efficiency Ratio

Der EER (Energy Efficiency Ratio) wird genutzt um die Effizienz von Kühlystem / -geräten anzugeben. Der EER ist definiert als Verhältnis der Kühlleistung zur aufgenommenen elektrischen Leistung:

$\text{EER} := \frac{\text{Kühlleistung des Kältesystems}}{\text{Elektrische Leistungsaufnahme des Kältesystems}}$
--

Definition 7: EER – Energy Efficiency Ratio

Der EER ist demnach eine Zahl, die angibt, wie effizient ein Kältesystem arbeitet. Je größer der EER ist, desto effizienter wird die elektrische Energie genutzt, um Kälte zu erzeugen.

COP – Coefficient of Performance

Der COP (Coefficient of Performance) einer Wärmepumpe oder Kältemaschine ist das Verhältnis der Änderung der Wärme zu der dazu aufgewandten Arbeit. Für ein Kühlsystem gilt daher:

$$\text{COP} := \frac{\text{Kühlleistung}}{\text{aufgewandte Arbeit}}$$

Durch eine Umrechnung lässt sich ein COP auch als EER darstellen:

$$\text{EER} := 3.41214 \times \text{COP}$$

Definition 8: COP – Coefficient of Performance

In der Norm DIN EN 255 [Ref. 13] bzw. DIN EN 14511 [Ref. 14] wird beschrieben, wie der COP bzw. der EER zu messen ist. Dies gewährleistet, dass die Datenblätter der unterschiedlichen Hersteller von Kältemaschinen miteinander vergleichbar sind.

ESEER/SEER – (European) Seasonal Energy Efficiency Ratio

Die Effizienz eines Kältesystems ist von den äußeren klimatischen Bedingungen abhängig, wie auch die nachfolgende Abbildung 5 zeigt, in der die EER Kurven für einige Rittal-Chiller mit Freikühler gezeigt werden.

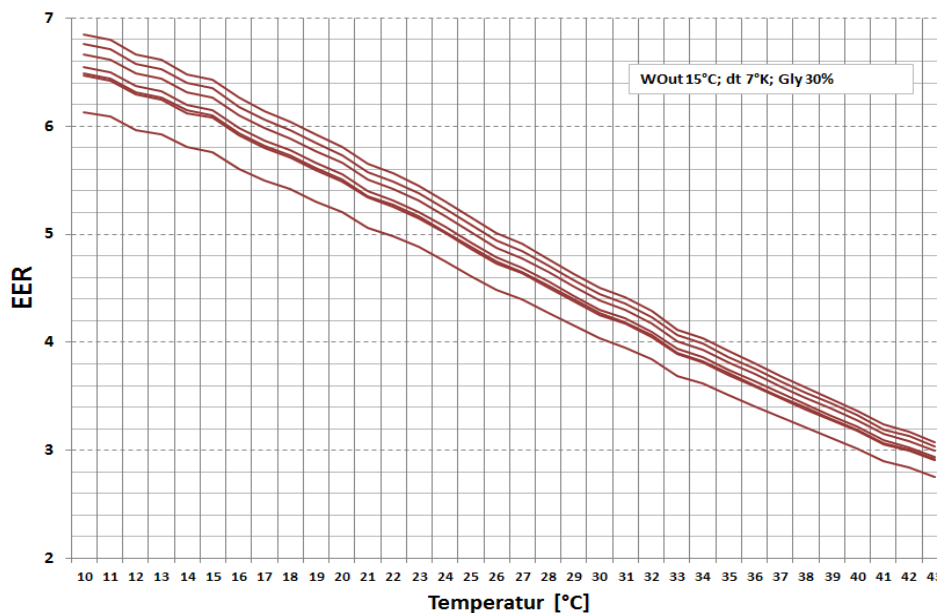


Abbildung 5: Temperaturabhängigkeit des EER

Um den EER auf die Temperatureinflüsse anzupassen, wurde von Eurovent [Ref. 15] der ESEER definiert. In nachfolgender Tabelle 2 sind die jeweiligen Faktoren aufgelistet, wie sie

sich entweder für eine Luft- oder Wassergekühlte Kältemaschine für die jeweiligen Lastbereiche ergeben.

Last / Teillast	Lufttemperatur	Wassertemperatur	Faktor
100%	35°C	30°C	3%
75%	30°C	26°C	33%
50%	25°C	22°C	41%
25%	20°C	18°C	23%

Tabelle 2: ESEER-Faktoren

Gemäß den Eurovent-Vorgaben [Ref. 15] berechnet sich dann der ESEER aus dem EER wie folgt:

$$\text{ESEER} := \text{EER}[100\%] \times 0.03 + \text{EER}[75\%] \times 0.33 + \text{EER}[50\%] \times 0.41 + \text{EER}[25\%] \times 0.23$$

Definition 9: ESEER– European Seasonal Energy Efficiency Ratio

Die SEER-Metrik (Seasonal Energy Efficiency Ratio) wird im ANSI/AHRI STANDARD 210/240 [Ref. 16] wie folgt festgelegt:

$$\text{SEER} := \frac{\text{gesamte Jahreskühlleistung}}{\text{gesamte jährliche elektrische Leistungsaufnahme}}$$

Definition 10: SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio

cosφ – Leistungsfaktor

In Verbindung mit USV-Systemen wird oftmals der Leistungsfaktor benutzt, um die Effizienz solcher Systeme zu charakterisieren. Dies ist zulässig, wenn ausgangsseitig die Signalform ein reiner Sinus ist und keine Oberwellen besitzt. Für moderne Doppelwandlersysteme der Kategorie VFI-SS-111 gemäß IEC EN 62040-3 [Ref. 17] ist dies zutreffend.

Der Leistungsfaktor cosφ ist dabei wie folgt definiert:

$$\text{cos}\varphi := \frac{\text{Wirkleistung}}{\text{Scheinleistung}}$$

Definition 11: cosφ – Leistungsfaktor

Je näher Leistungsfaktor an der Zahl „1“ ist, desto effizienter ist das USV-System. Der Leistungsfaktor, definiert durch das Verhältnis zwischen Wirk- und Scheinleistung, ist ein Maß für die Phasenverschiebung zwischen Strom- und Spannung des Wechselstroms, wie er aufgrund kapazitiver oder induktiver Wirkungen auftritt.

Der eingangseitige Leistungsfaktor einer USV ist zudem lastabhängig und wird in der Regel für verschiedene Belastungen des USV Systems angegeben, wie es die nachfolgende Tabelle 3 für ein ABB-Rittal DPA Upscale System zeigt:

cosφ	Last
0.999	100%
0.995	75%
0.985	50%
0.960	25%

Tabelle 3: Eingangseitiger Leistungsfaktor ABB-Rittal DPA Upscale

Da ausgangseitig aus der Batterie wieder ein reiner Sinus erzeugt wird, ist der Leistungsfaktor auf der Ausgangseite „1“.

AC-AC Effizienz

Eine weitere, wichtige Kenngröße eines USV-Systems ist die Effizienz, die sich aus dem Verhältnis der abgegebenen zur aufgenommenen Leistung berechnet. Die AC-AC-Effizienz ist demnach:

$$\text{AC-AC-Effizienz} := \frac{\text{Ausgangsleistung}}{\text{Eingangsleistung}}$$

Definition 12: AC-AC Effizienz

Aufgrund der internen Verluste der USV ist die Effizienz von der Last abhängig. Die Effizienz ist umso besser, je stärker ein USV-System ausgelastet ist.

Effizienz	Last
95,5%	100%
95.5%	75%
95.0%	50%
94.5%	25%

Tabelle 4: Darstellung der lastabhängigen Effizienz einer ABB-Rittal DPA Upscale

Literatur

- Ref. 1 Global e-Sustainability Initiative, „GeSI SMARTer2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future“, Link:
http://gesi.org/assets/js/lib/tinymce/jscripts/tiny_mce/plugins/ajaxfilemanager/uploaded/SMARTer 2020 - Executive Summary -December 2012.pdf
- Ref. 2 Google Rechenzentren – Effizienz, Link:
<http://www.google.com/about/datacenters/inside/efficiency/power-usage.html>
- Ref. 3 Apple Rechenzentren – Erneuerbare Energien, Link:
<http://www.apple.com/environment/renewable-resources/>
- Ref. 4 The Green Grid, Link:
<http://www.thegreengrid.org/>
- Ref. 5 The Green Grid, WHITE PAPER #49, PUE™: A COMPREHENSIVE EXAMINATION OF THE METRIC
<http://www.thegreengrid.org/en/Global/Content/white-papers/WP49-PUEAComprehensiveExaminationoftheMetric>
- Ref. 6 The Green Grid, WHITE PAPER #32, CARBON USAGE EFFECTIVENESS (CUE™):A GREEN GRID DATA CENTER SUSTAINABILITY METRIC
<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/CUE>
- Ref. 7 Umweltbundesamt, 2015, Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen, Link:
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>
- Ref. 8 U.S. Energy Information Administration, 2015, Environment Analysis and Projections, Link
<http://www.eia.gov/environment/emissions/carbon/>
- Ref. 9 <https://www.ashrae.org>
- Ref. 10 <https://nsidc.org/about/green-data-center/project.html>
- Ref. 11 The Green Grid, WHITE PAPER #35, WATER USAGE EFFECTIVENESS (WUE™):A GREEN GRID DATA CENTER SUSTAINABILITY METRIC
<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/WUE>
- Ref. 12 Gigaom, 2015, Link:
<https://gigaom.com/2012/08/17/a-rare-look-inside-facebooks-oregon-data-center-photos-video/>

- Ref. 13 DIN EN 255, „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern“
- Ref. 14 DIN EN 14511, „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung“
- Ref. 15 Eurovent Association, Link:
<http://www.eurovent-association.eu/>
- Ref. 16 ANSI/AHRI STANDARD 210/240, „Performance Rating of Unitary Air - Conditioning & Air - Source Heat Pump Equipment“
- Ref. 17 IEC EN 62040-3, Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) Teil 3: Methoden zum Festlegen der Leistungs- und Prüfungsanforderungen

Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AC-AC	AC-AC Efficiency: Wirkungsgrad bei USV-Systemen
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating
CEF	Carbon Emission Factor
COP	Coefficient of Performance
CUE	Carbon Usage Effectiveness
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency
DPA	Digital Parallel Architecture
EER	Energy Efficiency Ratio
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio
IT	Informationstechnik
ITK	Informations- und Telekommunikationstechnik
pPUE	Partial Power Usage Effectiveness
PUE	Power Usage Effectiveness
RZ	Rechenzentrum
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
SPEC	Standard Performance Evaluation Corporation
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VFI-SS	Voltage, Frequency Independent – Sinusform an Eingang und Ausgang
WUE	Water Usage Effectiveness

Rittal – Das System.

Schneller – besser – überall.

- Schaltschränke
- Stromverteilung
- Klimatisierung
- IT-Infrastruktur
- Software & Service

RITTAL GmbH & Co. KG
Auf dem Stützelberg · D-35726 Herborn
Phone + 49(0)2772 505-0 · Fax + 49(0)2772 505-2319
E-Mail: info@rittal.de · www.rittal.de · www.rimatrix5.de



SCHALTSCHRÄNKE

STROMVERTEILUNG

KLIMATISIERUNG

IT-INFRASTRUKTUR

SOFTWARE & SERVICE

FRIEDHELM LOH GROUP