

Kontinuierliche Erfassung und Überwachung von PUE-Daten in Datacentern

White Paper 204

Version 0

von Wendy Torell

Zusammenfassung

Die Erfassung von PUE-Werten (PUE - Power Usage Effectiveness) im Datacenter kann auf sehr einfache Weise erfolgen. Theoretisch würden nur zwei Messpunkte ausreichen, es können jedoch auch mehrere Dutzend Messpunkte verwendet werden. Dieses Dokument gibt einen Überblick über den angemessenen Aufwand für die Messwerterfassung in bestimmten Datacentern. Die relevanten Kriterien sind die Kapazität (kW), Leistung und Kühlarchitektur des Datacenters sowie die Unternehmensziele und Angaben dazu, in welchem Maße die Infrastruktursysteme (z. B. Kaltwassersätze und Generatoren) auch von anderen Installationen genutzt werden.

Einleitung

Power Usage Effectiveness (PUE) ist der branchenweit anerkannte Parameter für die Effizienz der technischen Infrastruktur (wie Stromversorgung und Kühlung), die IT-Systeme im Datacenter unterstützt. Es gibt zahlreiche Gründe, den PUE-Wert eines Datacenters zu ermitteln. Das können unternehmensinterne Anforderungen im Rahmen einer Green Energy Initiative sein oder die Erfüllung externe Richtlinien (wie die Vorgabe der US-Behörden, den PUE-Wert in den eigenen Datacentern zu erfassen) oder einfach das Bestreben, für das eigene Datacenter den Status „Best-in-Class“ zu erreichen. Grundsätzlich gibt es drei Konzepte für die Ermittlung des PUE-Werts (**Tabelle 1**), die entsprechend den individuellen Anforderungen zum Einsatz kommen.

Tabelle 1

Verschiedene Konzepte zur Ermittlung des PUE-Wertes im Datacenter

Konzept	Pro	Kontra
Schätzung anhand eines Modells	Keine bis geringe Kosten Zeigt die Zusammenhänge zwischen Effizienz und Design-Optionen Basiert auf typischen Bedingungen	Die Annahmen der Modelle können von der tatsächlichen Installation abweichen
Punktuelle Messungen	Moderate Kosten für einmaliges Energieaudit Erfasst exakte PUE-Werte während der Messung	Berücksichtigt keine Wetterveränderungen im Jahresverlauf Berücksichtigt keine Lastschwankungen im Verlauf von Tagen, Monaten oder Jahren
Kontinuierliche Messungen	Exakte PUE-Werte, weil unterschiedliche Wetterlagen, Lasten und Systemleistungen über das Jahr berücksichtigt werden	Höhere Kosten; unterschiedliche Granularität der Messungen ist möglich

White Paper 154, [Electrical Efficiency Measurement for Data Centers](#) gibt eine Einführung in die Messung von PUE-Werten, beschreibt die treibenden Faktoren sowie die Bedeutung der Modelle und Messungen für die Bewertung der Daten und entsprechende Maßnahmen. Es gibt frei verfügbare Hilfsmittel wie das Schneider Electric TradeOff Tool [Effizienzrechner für Datacenter](#), die anhand bestimmter Angaben wie Kapazität, IT-Last, Stromversorgungsarchitektur, Kühlarchitektur, Luftstromführung usw. Schätzungen des PUE-Werts ermöglichen. Doch jedes Tool für Berechnungen oder Schätzungen geht von festen Annahmen aus, die sich je nach Datacenter als richtig oder falsch erweisen können. Darüber hinaus gibt es Anbieter und Berater, zu deren Serviceleistungen die Effizienzbewertung von Datacentern gehört. Dabei kommen vor Ort und zeitlich befristet Messsysteme zum Einsatz, um den PUE-Wert eines Datacenters zu bestimmen. Dadurch erhalten Datacenter-Betreiber einen hervorragenden Benchmark als Ausgangspunkt für Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz. Doch die erfassten Daten beziehen sich dann nur auf einen begrenzten Zeitraum.

Betrachten wir einmal das folgende Szenario: Sie führen vor Ort ein Energieaudit durch, um den PUE-Wert des Datacenters zu ermitteln. Es gibt keine fest installierten Messsysteme, daher schließt der Techniker ein mobiles Messgerät an, um die Werte der verschiedenen Stromkreise zu erfassen. Zunächst misst er die IT-Last am Morgen, wenn die Last hoch ist. Er misst die Leistungsaufnahme der Lüfter mit variabler Geschwindigkeit noch einmal im Laufe des Tages. Dabei stellt er fest, dass sich diese Werte gegenüber dem Morgen verändert haben. Ergibt die zweite Messung geringere Werte, wäre der resultierende PUE-Wert niedriger als der reale Wert, weil die Lüfter später am Tag mit niedrigerer Geschwindigkeit laufen. Hinzu kommt, dass die erforderliche Kühlenergie vom jeweiligen Wetter abhängig ist.

Daher ergibt die Messung an einem Tag keine aussagekräftigen Ergebnisse für den ganzjährigen PUE-Wert. **Messsysteme, die dauerhaft installiert sind, stellen sicher, dass die Daten laufend erfasst werden und sämtliche Schwankungen im Laufe eines Jahres berücksichtigen.**

In diesem Dokument befassen wir uns mit dem dritten Konzept in **Tabelle 1**, das auf kontinuierlichen bzw. „Echtzeit“-Messungen basiert. Wir führen Sie durch die einzelnen Schritte, die zur Implementierung eines effektiven Systems für kontinuierliche PUE-Messungen erforderlich sind.

1. Auswahl des angemessenen Umfangs der PUE-Messungen basierend auf den individuellen Zielen
2. Bestandsaufnahme der Stromkreise, um alle Lasten (IT und IT-fremde) im Datacenter zu erfassen
3. Erfassung der vorhandenen Messsysteme (z. B. integrierte Systeme) und des Bedarfs für zusätzliche Systeme sowie Festlegung der Einsatzorte
4. Installation der Messsysteme im aktiven Datacenter
5. Implementierung eines Monitoring-Systems, das die erfassten Daten sammelt

Umfang der PUE-Messungen

The Green Grid definiert vier Level des PUE-Reportings, die sich hinsichtlich Genauigkeit, Kosten und Komplexität der Messungen unterscheiden. Level 0 bezieht sich nicht auf kontinuierliche Messungen, daher konzentrieren wir uns auf die Level 1, 2 und 3. Der wesentliche Unterschied zwischen den einzelnen Leveln ist Einsatzort der Messsysteme für die IT-Last.

- **Level 1** – USV-Ausgang
- **Level 2** – PDU-Ausgang
- **Level 3** – Eingang der IT-Systeme (z. B. durch Verwendung von Rack-PDUs mit Messfunktion)

Die Auswahl des passenden Levels wird im Wesentlichen bestimmt durch die Ziele, die das Unternehmen mit der Ermittlung des PUE-Werts verfolgt. Level 1 lässt sich am einfachsten implementieren, weil die USV-Systeme im Datacenter wahrscheinlich schon über eine integrierte Messfunktion verfügen und so die IT-Last erfassen. Wenn beispielsweise ein PUE-Reporting vorgeschrieben ist, kann dieses Level ausreichend sein. Doch wenn es darum geht, Ineffizienzen im Datacenter aufzudecken, ist eine komplexere Lösung gefragt.

Bei Level 2 kann die IT-Last voraussichtlich ebenfalls mit integrierten Messfunktionen ermittelt werden, weil die meisten Energieverteiler (PDUs), Unterverteilungen und Bussysteme bereits über Messfunktionen verfügen. Der Unterschied der Genauigkeit zwischen Level 1 und Level 2 hängt davon ab, ob auch IT-fremde Lasten über die USV versorgt werden. Sind z. B. auch Lüfter über die USV angeschlossen, wären die am USV-Ausgang gemessenen Werte zur Ermittlung der reinen IT-Last ungenau und würden den resultierenden PUE-Wert verfälschen. Wenn die gesamte Last, die über die USV abgesichert ist, IT-Systeme betrifft, dann ist der Unterschied relativ klein und entsteht durch die Verluste der Energieverteilung zwischen USV und IT-Systemen.

Beim Reporting auf Level 3 ist die Anzahl der Messpunkte höher, weil die Last auf Ebene der IT-Racks gemessen wird. Das erhöht die Komplexität, ermöglicht aber die genaueste Ermittlung der IT-Last. Letztlich erhöht sich beim Reporting nach Level 3 das Volumen der erfassten Daten, um Veränderungen des PUE-Werts im Datacenter über einen längeren Zeitraum besser nachzuvollziehen und – was noch viel wichtiger ist – entsprechende Maßnahmen einzuleiten. **Tabelle 2** gibt einen Überblick über die drei oben genannten Level, die von The Green Grid definiert wurden.

Tabelle 2 zeigt zudem, dass die PUE-Richtlinie von The Green Grid für alle drei Level Messsysteme am Einspeisepunkt erfordert, um den Wert für die Gesamtinstallation (Total Facility Energy) zu ermitteln. Für Level 2 und 3 werden weitere Messpunkte empfohlen, z. B. an Ein- und Ausgängen von USV-Systemen und Eingängen von mechanischen Systemen.

Für welches Level Sie sich auch entscheiden, wichtig ist, dass in jedem Datacenter des Unternehmens das gleiche Level implementiert wird, wenn die Ergebnisse (zumindest in Teilen) vergleichbar sein oder für PUE-Benchmarking genutzt werden sollen. Im weiteren Verlauf dieses Dokuments werden wir aufzeigen, dass die Messungen letztlich immer eine Gratwanderung zwischen Genauigkeit, Kosten und Komplexität sind.

Tabelle 2

Definitionen der PUE Level nach The Green Grid

Where do I measure?		Level 1 (L1)	Level 2 (L2)	Level 3 (L3)
How often do I measure?		Basic	Intermediate	Advanced
IT Equipment Energy	Required	UPS outputs	PDU outputs	IT equipment input
Total Facility Energy	Required	Utility inputs	Utility inputs	Utility inputs
	Additional recommended measurements*		UPS inputs/outputs	PDU outputs UPS inputs/outputs Mechanical inputs
Measurement Intervals	Required	Monthly	Daily	15 minutes
	Additional recommended measurements*	Weekly	Hourly	15 minutes or less

Quelle: [The Green Grid, White Paper 49, PUE: A Comprehensive Examination of the Metric](#)

PUE: Ein Parameter mit Einschränkungen

Der PUE-Wert ein sehr nützlicher Parameter, doch nicht perfekt, wenn es um die Bewertung der Effizienz einer technischen Infrastruktur mit Stromversorgung und Kühlung geht.

Die Senkung des Gesamtenergieverbrauchs eines Datacenter durch Reduzierung der IT-Last (z. B. durch Virtualisierung), würde das Ergebnis verfälschen. Der PUE-Wert wird schlechter (höher), wenn Sie die Last senken, auch wenn Sie damit letztlich den Gesamtenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Datacenters reduzieren.

Wie häufig muss ich die Daten erfassen?

Wie der Tabelle von The Green Grid¹ zu entnehmen ist, variiert die Häufigkeit der Messungen auch von einem Level zum anderen. Level 1 erfordert monatliche Messungen. Natürlich sind die Daten beim monatlichen Reporting nicht so genau wie bei wöchentlichen, täglichen oder noch häufigeren Messungen, da Wetterveränderungen (z. B. bei Messungen an einem ungewöhnlich warmen oder kalten Tag) und Lastschwankungen zwischen Tag und Nacht oder von Werktag zu Wochenende nicht so exakt erfasst werden. Level 3 erfordert kontinuierliche Messungen im Abstand von 15 Minuten oder weniger. So können auch in einer dynamischen Installation wie einem Datacenter sehr genaue Daten erhoben werden.

Die Messintervalle variieren beträchtlich zwischen den verschiedenen Arten von Messsystemen. Systeme, die die Stromqualität messen, arbeiten mit einer höheren Frequenz als ein integriertes System in einer USV. Wenn es um die Ermittlung der PUE geht, **erfüllt die Mehrzahl der Systeme für kontinuierliche Messungen (integrierte und Standalone-Systeme) die Mindestvorgabe der 15-Minuten-Frequenz.**

¹ http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf

Welche Möglichkeiten gibt es in einem Mehrzweck-Gebäude?

Grundsätzlich ist die Ermittlung des PUE-Wertes nicht kompliziert, weil dafür lediglich zwei Angaben erforderlich sind: Gesamtenergieverbrauch der Installation und Gesamtenergieverbrauch der IT-Last. Wenn Sie ein eigenes Datacenter mit einem USV-Ausgang für alle Verbraucher (Messpunkte an der Einspeisung und am USV-Ausgang) betreiben und es darum geht, einen grundlegenden PUE-Wert (Level 1) zu ermitteln, *kann es ausreichen*, nur zwei Messsysteme zu installieren. Doch in den meisten Fällen ist es nicht so einfach, weil (1) die Installation in einem Mehrzweck-Gebäude ist, (2) ein PUE-Wert nach Level 2 oder 3 erforderlich ist, (3) die Last im Datacenter partitioniert ist, (4) redundante Komponenten installiert sind oder (5) zusätzliche Messsysteme erforderlich sind, die den Energieverbrauch von wichtigen Subsystemen erfassen, um den PUE-Wert zu optimieren.

In einem Mehrzweck-Gebäude, wird auch die Infrastruktur für Stromversorgung und Kühlung mit Schaltanlagen, Generatoren und Kaltwassersätzen gemeinsam genutzt. Um den PUE-Wert für ein Datacenter zu ermitteln, das die Infrastruktur mit anderen Gebäudefunktionen teilt, muss ein Teil der von den Infrastruktursystemen genutzten Energie dem Datacenter zugeordnet werden. Dafür gibt es verschiedene Optionen:

- Erfassung der Messwerte der gesamten Installation und Kalkulation des prozentualen Anteils, der auf das Datacenter entfällt, basierend auf dem Verhältnis zwischen Gesamtlast des Gebäudes und der IT-Last des Datacenters.
- Erfassung der Messwerte der gesamten Installation und Subtraktion der gemessenen Werte von Systemen, die nicht zum Datacenter gehören. Diese Variante funktioniert sehr gut für elektrische Schalttafeln.
- Abzug der von den gemeinsam genutzten Subsystemen genutzten Energie und Bestimmung des geschätzten Datacenter-Anteils am Energieverbrauch der Subsystemen anhand eines Modells.

Die geeignete Methode für ein spezifisches Datacenter ist immer abhängig von der Komplexität der Architektur, aber auch vom Budget, das für das Projekt verfügbar ist. Je mehr Messsysteme eingesetzt werden, desto exakter sind die Ergebnisse, desto höher sind aber auch die Kosten.

Bestandsaufnahme der Stromkreise

Die Bestandsaufnahme der Stromkreise ist ein wichtiger Schritt für die Definition der optimalen Messpunkte zur PUE-Ermittlung. Damit wird gewährleistet, dass alle Stromkreise für IT- und IT-fremde Lasten exakt definiert sind. In den meisten Datacentern gibt es keine Dokumentation der aktuellen Stromkreise und Lasten. Das gilt insbesondere für die IT-Last (z. B. Stromkreise, die Rack-PDUs versorgen), weil sich die IT-Konfiguration häufig verändert. Die Elektroinstallation ist in der Regel in einem Schaltplan dokumentiert, der dem Facility Management vorliegt. Einige grundlegende Fragen, die Sie stellen sollten: Wird das IT-Team vom Facility-Management über Änderungen informiert? Gibt die Dokumentation den aktuellen Status wieder? Wurden Teile der Infrastruktur ersetzt oder hinzugefügt?

Abbildung 1 zeigt eine die Leistungsbeschreibung für eine entsprechende Bestandsaufnahme der Stromkreise.

Diese Bestandsaufnahme stellt sicher, dass die Schaltpläne mit allen Infrastrukturkomponenten aktuell sind, bevor der Einsatz vorhandener und zusätzlicher Messsysteme geplant wird. Im Idealfall zeigen die aktualisierten Schaltpläne auch, wo es bereits Messpunkte gibt, sodass sich die Investitionen in neue Messsysteme auf ein Minimum reduzieren lassen.

Neben der Bestandsaufnahme sämtlicher Datacenter-Stromkreise muss auch die Versorgung aller mechanischen Systeme dokumentiert werden. Dazu gehören Systeme für die Wärmeableitung, Pumpen, Leitungen usw., die IT-Lasten versorgen. So lassen sich diese von anderen Systemen abgrenzen, die IT-fremde Lasten im Gebäude versorgen.

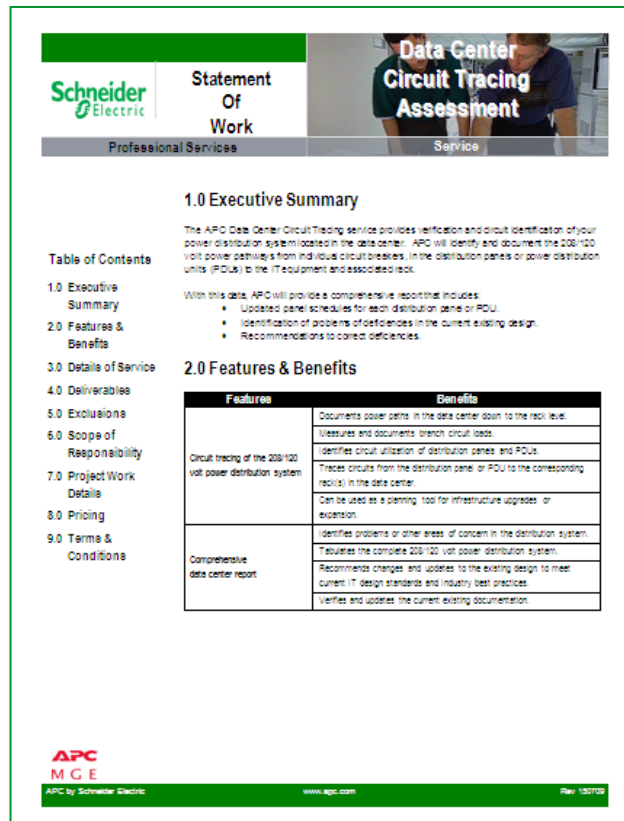


Abbildung 1
Beispiel für die Dokumentation einer Bestandsaufnahme

Definition der Messpunkte

Wie bereits erwähnt, sind die Anzahl der erforderlichen Messsysteme und der Kosten von zahlreichen Faktoren abhängig. Letztlich geht es immer darum, die richtige Balance zwischen Kosten und Genauigkeit der PUE-Messungen zu finden.

Die Ermittlung der IT-Last ist relativ unkompliziert und erfordert in vielen Fällen keine zusätzlichen Messpunkte, weil die USV-Systeme und Energieverteiler (PDUs) häufig über integrierte Messfunktionen verfügen. Die Messungen der technischen Infrastruktur sind jedoch wesentlich komplexer und damit auch kostenintensiver. In den folgenden Abschnitten beschreiben wir die Positionierung der Messpunkte für verschiedene typische Datacenter-Szenarien.

Messen der IT-Last

White Paper 172 [Types of Electrical Meters in Data Centers](#), nennt die typischen Kosten pro kW für verschiedene Messsysteme. Die Systeme zur Messung der IT-Last sind zu sehr unterschiedlichen Preisen erhältlich – integrierte Systeme verursachen keine zusätzlichen Kosten, andere können bis zu 300 US-Dollar pro kW IT-Last kosten. In den meisten Datacentern reichen die vorhandenen Systeme aus, um den PUE-Wert gemäß Green Grid Level 1 zu bestimmen, da die USV-Systeme in der Regel genug Daten liefern.

Wird die IT-Last über mehrere USV-Systeme versorgt, können die Messwerte addiert oder am gemeinsamen Ausgang (z. B. an den Leistungsschaltern) erfasst werden, um die gesamte IT-Last zu ermitteln. Die Zusammenführung der Daten erfolgt dabei in einem Energiemanagement-System, z. B. in einer DCIM-Software.

Wenn über die USV-Ausgänge ausschließlich IT-Lasten versorgt werden (keine Kühlsysteme oder andere Lasten, die nicht zum Datacenter gehören), empfiehlt sich Level 1 als kostengünstigste Variante. Hinweis: Die IT-Last wird leicht erhöht, falls die Verluste durch PDU-Transformatoren und Kabel von der USV zur angeschlossenen Last nicht heraus gerechnet werden.

Um die Genauigkeit der Messungen zu steigern oder in Datacentern, in denen die USV große IT-fremde Lasten versorgt, sollte der PUE-Wert nach Level 2 oder Level 3 ermittelt werden. Rack-PDUs mit Messfunktion (wie in **Abbildung 2**) ermöglichen die genauesten Messungen der Stromverbrauchs von IT-Systemen, wenn sie in jedem Rack installiert sind und die Werte anschließend addiert werden. Hinweis: Bei diesen Varianten wird die Addition der Daten komplexer, weil mehr Messpunkte vorhanden sind. Damit steigt auch das Risiko einer falschen Berechnung, wenn die Datenerfassung einzelner Messpunkte nicht funktioniert oder bei der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Daher wird diese Variante nur für Datacenter empfohlen, die über ein strukturiertes Change Management verfügen und sicherstellen können, dass Veränderungen der IT-Racks bei der Erfassung von Messwerten berücksichtigt werden. Werden die Racks über Stromschienen versorgt, lässt sich dieses Konzept mithilfe von Messpunkten an den Einspeisepunkten jedes Racks realisieren.

Abbildung 2
Beispiel für eine PDU
mit Messfunktion



Ein zusätzlicher Vorteil der Messung auf Rackebene ist, dass die Verluste in der eingangsseitigen Energieverteilung besser kalkuliert werden können. Wenn beispielsweise die Verluste der eingangsseitigen Verteilung größer sind als bei anderen, vergleichbaren Datacentern oder Modelldaten, könnten Maßnahmen eingeleitet werden, um diese Verluste zu reduzieren z. B. durch Zusammenfassen von Verbrauchern und PDUs, die wenig ausgelastet sind).

Messen der technischen Infrastruktur

Ist das Datacenter in einem separaten, eigens dafür gebauten Gebäude untergebracht, lässt sich der Gesamtenergieverbrauch sehr einfach ermitteln. In diesem Fall reicht ein Messsystem am Einspeisepunkt, um die Daten zum Gesamtenergieverbrauch zu erhalten. Doch für die Mehrzahl der Datacenter reicht dies nicht aus, weil:

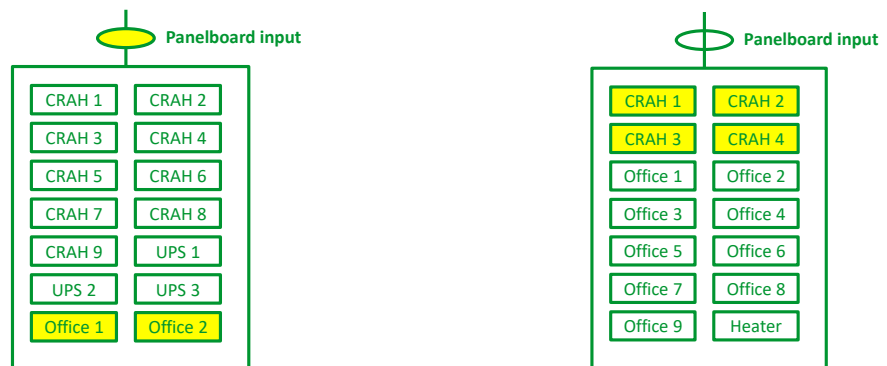
- mehr Daten erforderlich sind (auf Subsystem-Ebene), um geeignete Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen ODER

- sie in Mehrzweckgebäuden untergebracht sind, wo sie die technische Infrastruktur wie Kaltwassersätze und Generatoren gemeinsam mit anderen Unternehmensbereichen nutzen.

Es gibt keine allgemein gültige Antwort auf die Frage „wo sollen wir die Messpunkte zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs platzieren?“ Das ist immer abhängig von der elektrischen und mechanischen Struktur des jeweiligen Gebäudes. Eine effiziente Strategie minimiert jedoch die Anzahl der erforderlichen Messsysteme. In Mehrzweckgebäuden reicht es nicht, Messungen am Haupteinspeisepunkt vorzunehmen, daher muss hier der Energieverbrauch für die Datacenter-Last separat erfasst werden.

Die in **Abbildung 3** dargestellten Verteilertafeln verdeutlichen die Vorgehensweise. Auf der linken Seite lassen sich die meisten der angeschlossenen Verbraucher dem Datacenter zuordnen, während die Verbraucher rechts mehrheitlich für andere Funktionen genutzt werden. Im linken Szenario ist es sinnvoll, am Einspeisepunkt der Verteilertafel und an den beiden Leistungsschaltern für IT-fremde Verbraucher zu messen. Die Werte der IT-fremden Verbraucher können dann von den Einspeisewerten abgezogen werden. Im rechten Szenario reicht es, nur an den vier Leistungsschaltern zu messen, über die Systeme des Datacenters versorgt werden. Je nach Konfiguration kann es daher kostengünstiger sein, die IT-Last und Gesamtlast zu messen, oder nur die IT-fremde Last zu messen.

Abbildung 3
Beispiele für die
Positionierung
der Messpunkte



Minimum number of meters for data center loads = 3
Panelboard input – Office 1 – Office 2

Minimum number of meters for data center loads = 4
CRAH 1 + CRAH 2 + CRAH 3 + CRAH 4

Die Messpunkte sollten sorgfältig ausgewählt werden, um sicherzustellen, dass keine Verbraucher doppelt berechnet werden. Wenn also eine Schalttafel eine zweite versorgt, sollten die Messwerte nicht addiert werden. Daher ist – wie bereits erwähnt – eine exakte Bestandsaufnahme der Schaltkreise so wichtig. Nur so können Sie sich einen Überblick über den Stromfluss verschaffen. Darüber hinaus muss sichergestellt sein, dass niemand zusätzliche Systeme an einem Verteiler mit Datacenter-Last installieren oder deinstallieren kann, ohne zuvor das Datacenter-Team zu informieren. Ohne ein Change Management mit sorgfältiger Dokumentation lassen sich mit diesen Maßnahmen keine exakten PUE-Werte messen, sobald die ersten Veränderungen durchgeführt werden. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe Genauigkeit, wenn die gleichen Verteilertafeln IT-fremde und IT-Verbraucher versorgen.

Einige elektrische Komponenten in der Datacenter-Architektur sind gut geeignet, um Schätzungen des Energieverbrauchs vorzunehmen, wenn ein knappes Budget die Installation von Messsystemen verhindert. Generatoren eignen sich sehr gut dafür, weil sie häufig ganze Gebäude versorgen und keinen großen Einfluss auf die PUE-Werte haben. Auch hier sollten die Vor- und Nachteile von Messungen und Schätzungen anhand von Modellen abgewogen werden (Details dazu finden Sie im White Paper 154, [Electrical Efficiency Measurement for Data Centers](#)).

Neben den IT-Systemen sind Kühlsysteme die größten Stromverbraucher in Datacentern. Dazu gehören Systeme wie:

- Kaltwassersätze
- Kühltürme
- Pumpen für Kaltwasser und Kondensatoren
- Kondensatoren
- CRAC- und CRAH-Systeme

Mechanische Systeme verlieren im Laufe der Zeit an Leistung und werden ineffizient. Daher lohnt sich der Aufwand zur Messung dieser Systeme generell, damit Maßnahmen eingeleitet werden können, sobald die Leistung nachlässt. Sind diese Systeme ausschließlich dem Datacenter zugeordnet, reicht es aus, Energiezähler am entsprechenden Eingangsleistungsschalter zu installieren. Die Messung des Energieverbrauchs eines *gemeinsam genutzten* Kühlsystems ist jedoch wesentlich aufwändiger. Es gibt mehrere ausführliche Publikationen zu den Optionen für die indirekte Messung des Energieverbrauchs gemeinsam genutzter Kühlsysteme.² Diese können sehr hilfreich sein, wenn Sie Ihren Plan für die Messsysteme im Datacenter erstellen. Die Empfehlungen reichen von der Einrichtung sehr weniger Messpunkte und der Schätzung des Energieverbrauchs gemeinsam genutzter Systeme anhand typischer Leistungswerte bis zum Einsatz von Thermometern und Durchflussmessgeräten für „thermische Messungen“, die helfen, den Anteil des Datacenters zu ermitteln. Die zweite Variante ist teurer, führt aber zu mehr verwertbaren Daten. Ein passender Plan für die Messpunkte muss basierend auf den Vorgaben und dem Budget definiert werden.

Berechnung der abgeführten Wärmeenergie

Mit zwei Temperatursensoren und einem Durchflussmesser lässt sich in Kaltwassersystemen die Menge der Wärmeableitung Q (kW) wie folgt berechnen:

$$Q = 4,2 \times \text{Durchfluss (L/s)} \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$Q = \frac{500 \times \text{Durchfluss (GPM)} \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{F)}}{3412}$$

Dabei wird die Flussrate mit einem Durchflussmesser und ΔT durch Subtraktion der Werte der beiden Temperatursensoren ermittelt. Die Konstante in jeder Formel (4,2 und 500) bezieht sich auf reines Wasser und verändert sich leicht für Glykol.

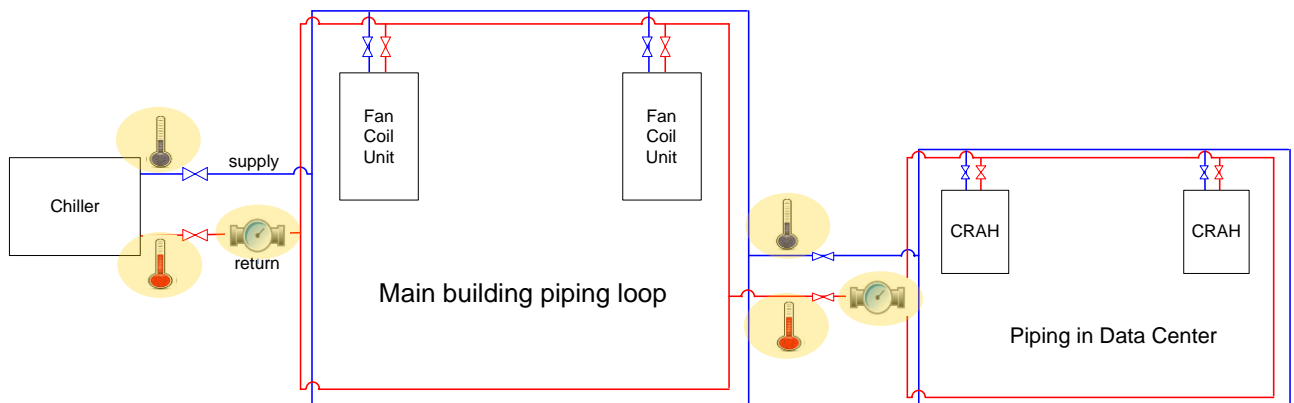
Wenn das Budget es zulässt, sollten die Temperaturen direkt am Kaltwassersatz gemessen werden. **Abbildung 4** zeigt ein einfaches Schema für ein Gebäude mit einem zentralen Kaltwassersatz, der unterschiedliche Bereiche versorgt. Um die den Stromverbrauch nur für das Datacenter zu ermitteln, sollten die folgenden Maßnahmen durchgeführt werden:

- Installieren Sie Temperatursensoren an den Hauptleitungen (je einen für Versorgung und Rücklauf) sowie einen Durchflussmesser. Berechnen sie die vom **Kaltwassersatz** abgeführte Wärmeenergie in kW (siehe **Kasten links**).
- Installieren Sie Temperatursensoren an den Leitungen zum Datacenter (je einen für Versorgung und Rücklauf) sowie einen Durchflussmesser. Berechnen sie die aus dem **Datacenter** abgeführte Wärmeenergie in kW.
- Installieren Sie elektrische Energiezähler (falls nicht bereits integriert) am Kaltwassersatz, um den Stromverbrauch (in kW) zu messen.
- Multiplizieren Sie den Quotienten der Wärmeableitung (**Datacenter / Kaltwassersatz**) mit dem am Kaltwassersatz gemessenen Stromverbrauch.

² US DOE Data Center Metering and Resource Guide, https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/DataCenterMeteringandResourceGuide_07272016.pdf and PUE : A Comprehensive Examination of the Metric, ASHRAE Datacom Series, Book 11, 2014 ASHRAE and The Green Grid, http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/WP49-PUE_A_Comprehensive_Examination_of_the_Metric_v6.pdf

Abbildung 4

Einfaches Schema für einen zentralen Kaltwassersatz, der unterschiedliche Gebäudebereiche versorgt, mit Positionen der Durchflussmesser und Energiezähler.



Die Installation der Temperatursensoren und Durchflussmesser liefert aussagekräftige Informationen zum Betrieb des Datacenters. Diese können zur Optimierung der Leistung von Pumpen und Kaltwassersätzen genutzt werden, um die ursprünglich angestrebten Werte (ΔT) des Kaltwassersystems zu erreichen.

Eine kostengünstigere Option für Szenarien, in denen die Last der anderen Gebäudeteile relativ konstant bleibt: Multiplikation des Quotienten von IT-Last (kW) und Gesamtlast mit dem Stromverbrauch des Kaltwassersatzes.

Temperatursensoren im IT-Bereich, eignen sich nicht für die Ermittlung des PUE-Werts, können aber zur Identifikation von Wärmenestern (Hotspots) oder zu stark gekühlten Bereichen beitragen. Dies ist die Basis für Maßnahmen zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs (z. B. durch Deaktivierung von CRAHs ohne Überschreiten von Temperatur-Schwellenwerten).

Installation der Messsysteme

Nachdem weitere Messpunkte definiert wurden, (zusätzlich zu den integrierten Systemen), beginnt die Auswahl der Messgeräte und Sensoren sowie Planung für die Installation. PUE-Richtlinien enthalten keine Vorgaben für Sensortypen³, daher hängt die Auswahl im Wesentlichen davon ab, ob es sich um ein neues oder vorhandenes (aktuell genutztes) Datacenter handelt. Grundsätzlich sollten Sensoren gewählt werden, deren Installation Ausfallzeiten reduziert oder vermeidet. Daher eignen sich einige Sensoren besser als andere für Datacenter im laufenden Betrieb. Sensoren mit geteiltem Kern (Klappkern), wie in **Abbildung 5** arbeiten nicht so exakt wie Sensoren mit geschlossenem Kern, eignen sich aber am besten für die Installation in einem vorhandenen Datacenter, weil sie an stromführenden Leitern installiert werden können.

Abbildung 5

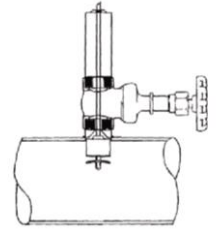
Beispiel für einen Klappkern-Stromsensor



³ Elektrische Energiezähler werden generell an separate Sensoren angeschlossen. Für die Erfassung der Strom- (kW) und Energiewerte (kWh) müssen Spannung und Strom für jede Phase einer dreiphasigen Installation gemessen werden.

Für die Installation von Temperatursensoren und Durchflussmessern an Kühlsystemen gelten die gleichen Vorgaben. Es gibt zwei Möglichkeiten, diese Systeme in einem vorhandenen Datacenter zu installieren.

Hot-Tapping – bei dieser Methode werden Messsysteme im laufenden Betrieb an Leitungssystemen installiert (mit nur minimalem Wasserverlust), sodass keine Betriebsunterbrechungen erforderlich sind. „Dieses Verfahren ist teurer als die Installation an einem neuen Rohrsystem, das gerade eingebaut wird. Doch weil der Zeitaufwand für die Entleerung, Neubefüllung und Drucktests bei der Installation an vorhandenen Systemen entfällt, ist Hot-Tapping wesentlich kostengünstiger.“⁴



Ultraschallsysteme – diese Systeme werden ohne Schneiden oder Bohren an der Außenseite der Rohre befestigt und nutzen Ultraschallsignale zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit. Anhand der Geschwindigkeit und des Rohrschmessers lässt sich das Durchflussvolumen berechnen. „Um exakte Messungen durchzuführen, müssen die Systeme an einem geraden Rohrstück mit ausreichender Länge befestigt werden.“⁴ Ultraschallsysteme sind wesentlich teurer als Systeme für Hot-Tapping und kommen daher seltener zum Einsatz.



Einige Systeme zeigen die gemessenen Werte lokal an, andere übermitteln sie an eine zentrale Einheit. Auch dieser Aspekt ist bei der Auswahl der Messsysteme zu berücksichtigen. Ist es erforderlich, die Messwerte lokal an den Messpunkten anzuzeigen? Wenn ja, sind zusätzliche Kosten einzuplanen.

Die eigentliche Installation der elektrischen und thermischen Messsysteme wird in der Regel von einem externen Fachbetrieb durchgeführt. Diese muss über die entsprechenden Zulassungen verfügen, um sicherzustellen, dass die Arbeiten fachgerecht und ohne Unterbrechung des laufenden Datacenter-Betriebs ausgeführt werden.

Monitoring-System

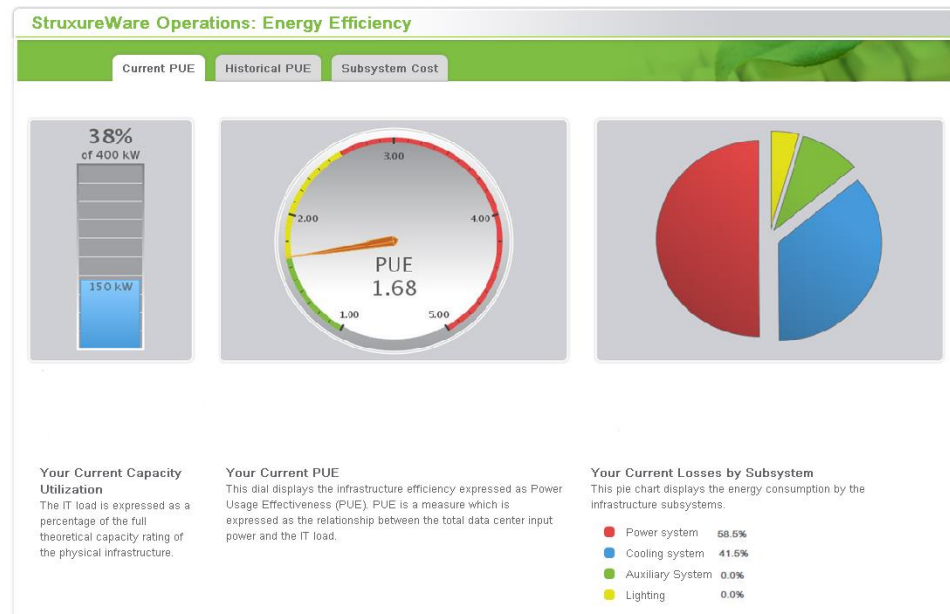
DCIM Softwaretools wie z. B. ein Electrical Power Monitoring System (EPMS) sind ein wichtiger Bestandteil der PUE-Messungen. Das Monitoring-System sammelt und präsentiert die Daten als nützliche Informationen, die als Basis für entsprechende Maßnahmen dienen. Die Messsysteme müssen synchronisiert werden und die Abstände des Reportings festgelegt werden. Die Zusammenführung der erfassten Messwerte muss gut geplant und dokumentiert werden. Die Ermittlung der exakten PUE-Werte hängt in hohem Maße von richtigen Einordnung der Messwerte ab. Nur so können die gesamte IT-Last und die Last des Datacenters- im richtigen Verhältnis erfasst werden.

Ein effizientes PUE-Monitoring-System muss drei Arten von Daten ermitteln: Den PUE-Wert, die prozentuale Last und die Verteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Bereiche (siehe **Abbildung 6**).

⁴ US DOE Data Center Metering and Resource Guide, https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/DataCenterMeteringandResourceGuide_07272016.pdf

Abbildung 6

Beispiel für ein DCIM
Energiemanagement
Dashboard

**PUE**

Sowohl punktuelle als auch durchschnittliche historische PUE-Werte (Quartals- oder Jahreswerte) sind von Bedeutung. Unter bestimmten Bedingungen können historische Daten besonders wichtig sein. So kann beispielsweise das Wetter (zu verschiedenen Jahreszeiten) die PUE-Werte beeinflussen. Eine zeitlich begrenzte, punktuelle Messung ist daher nicht aussagekräftig.

Prozentuale Last des Datacenters

Die IT-Last hat den größten Einfluss auf den PUE-Wert. Entscheidend ist, ob der PUE-Wert schlecht ist, weil der Betrieb bzw. die Konstruktion der Stromversorgung und Kühlung ineffizient sind, oder ob lediglich die Last des Datacenters sehr gering ist.

Ein Best Practice-Datacenter, dessen Last sehr gering ist, kann allein aufgrund der geringen Last einen hohen (schlechten) PUE-Wert haben. So ein Datacenter würde sich gut eignen, um weitere Systeme darin zu konsolidieren, anstatt es aufgrund des PUE-Werts zu schließen.

Aufgliederung des Energieverbrauchs nach wichtigen Subsystemen

Um den PUE-Wert zu verbessern, müssen Sie die größten Verbraucher kennen. Sie können auch den tatsächlichen Energieverbrauch der Subsysteme mit dem Verbrauchsvorgaben im Modell vergleichen, um mögliche Minderleistungen aufzudecken.

Die Benennung von Infrastrukturkomponenten innerhalb der DCIM Software sollte systematisch und durchdacht erfolgen. Dies ist die Voraussetzung für eine schnelle Einordnung der Informationen. „PDU Seite A“, „PDU Seite B“ oder „Kaltwasser-Versorgungspumpe“ sind gute Beispiele für eindeutige Benennungen. „Panel 1“ und „Panel 2“ hingegen sind mehrdeutig und verhindern eine exakte Zuordnung der Systeme in einem elektrischen Schaltplan. Eine Kombination von alphanumerischer und farbiger Kodierung erleichtert die Zuordnung der richtigen Systeme zu den jeweiligen Daten in der Software.

Die Integrität des PUE-Monitoring-Systems ist sehr wichtig. Um diese zu erhalten, muss das Datacenter-Team diszipliniert und sorgfältig vorgehen. Daher müssen elektrische Schaltbilder und andere Dokumentationen stets auf dem aktuellen Stand gehalten werden und Änderungen im Datacenter oder Gebäude reflektieren.

Fazit

Betreiber von Datacentern müssen auch weiterhin den Energieverbrauch verringern. In den vergangenen Jahren haben sich die PUE-Werte in der Branche insgesamt verbessert, doch es gibt immer noch viele Datacenter, die keine kontinuierlichen Messungen durchführen. Entsprechende Mess- und Monitoring-Systeme ermöglichen die Ermittlung von PUE-Werten in Echtzeit unter realen Bedingungen sowie Benchmarking und die Überprüfung regulatorischer Auflagen (interner und externer) von einzelnen Standorten. Systematische Messungen sind eine Voraussetzung zur Optimierung der Werte.

Die IT-Last kann in der Regel auch mithilfe vorhandener Energiezähler an der USV, den Energieverteilern oder den Rack-PDUs gemessen werden. Rack-PDUs mit Messfunktion ermöglichen die genaueste Messung der IT-Last, da Leitungsverluste zwischen USV und Last nicht berücksichtigt werden.






Die Ermittlung der Datacenter-Last ist einfach, wenn das Datacenter in einem eigenen Gebäude untergebracht ist. Sind auch andere Funktionen im gleichen Gebäude untergebracht, erfolgt die Berechnung durch Addition und Schätzungen. Bei entsprechendem Budget können auch Messungen an den Kühlsystemen durchgeführt werden, weil diese das größte Potenzial für die Optimierung des PUE-Werts bieten. Detaillierte Messungen einzelner Subsysteme schaffen bessere Möglichkeiten für Optimierungen bzw. Bewertung von Modifikationen.





Über die Autorin

Wendy Torell ist Senior Research Analyst im Schneider Electric Data Center Science Center. In dieser Funktion forscht sie zu Best Practices bei Auslegung und Betrieb von Datacentern, veröffentlicht White Papers und Artikel und entwickelt TradeOff Tools, um Kunden bei der Optimierung der Verfügbarkeit, Effizienz und Kosten ihrer Datacenter-Umgebungen zu helfen. Darüber hinaus berät sie Kunden zu Ansätzen der Verfügbarkeitskunde und Auslegungstechnik, um sie beim Erreichen der Leistungsziele ihrer Datacenter zu unterstützen. Sie hat ihr Studium am Union College in Schenectady, NY, als Bachelor of Mechanical Engineering sowie ein MBA-Studium an der University of Rhode Island abgeschlossen. Wendy Torell ist ASQ Certified Reliability Engineer.



Ressourcen

-  [Electrical Efficiency Measurement for Data Centers](#)
White Paper 154
-  [Types of Electrical Meters in Data Centers](#)
White Paper 172
-  [Guidance for Calculation of Efficiency \(PUE\) in Data Centers](#)
White Paper 158
-  [An Improved Architecture for High-Efficiency, High-Density Data Centers](#)
White Paper 126
-  [Alle White Paper anzeigen](#)
whitepapers.apc.com

-  [Power Sizing Calculator](#)
TradeOff Tool 1
-  [Energy Efficiency Calculator](#)
TradeOff Tool 6
-  [Cooling Economizer Mode PUE Calculator](#)
TradeOff Tool 11
-  [Alle TradeOff Tools™](#)
tools.apc.com



Kontaktieren Sie uns

Rückmeldungen und Anmerkungen zum Inhalt dieses White Paper:

Data Center Science Center
dcsc@schneider-electric.com

Falls Sie Kunde sind und Fragen zu Ihrem spezifischen Datacenter-Projekt haben:

Wenden Sie sich an Ihre Schneider Electric-Vertretung unter
www.apc.com/support/contact/index.cfm