

# Virtualisierung: Optimierung der Stromversorgung und Kühlung optimiert den GesamtNutzen

Von Suzanne Niles

## Whitepaper Nr. 118

Enthält  
Energiekostenrechner für Virtualisierungsprojekte

**APC**  
TRADE ~~OFF~~ TOOLS™

**APC**  
by Schneider Electric

## Zusammenfassung

Bei Virtualisierungsprojekten in Rechenzentren wird das volle Einsparungspotenzial von den Betreibern in der Regel nicht erkannt und darum auch keine volle Wertschöpfung erzielt. Neben den unbestrittenen Vorteilen der Virtualisierung für die IT – vom reduzierten Hardware-Bedarf bis zu modernen Anwendungen wie Disaster Recovery – gibt es ein weiteres großes Nutzenpotenzial durch die Optimierung der physikalischen Infrastruktur, welche die IT-Systeme unterstützt. Insbesondere die reihenbasierte Kühlung, die richtige Dimensionierung von Stromversorgung und Kühlung sowie ein Kapazitätsmanagement in Echtzeit sind wichtige Voraussetzungen für eine volle Wertschöpfung durch Virtualisierungsmaßnahmen in Hinsicht auf Kostensenkungen und Verbesserung der Effizienz sowie der Verfügbarkeit.

- 3 Einführung
- 4 Herausforderungen für Stromversorgung und Kühlung
- 5 Reihenbasierte Kühlung
- 7 Skalierbare Stromversorgung und Kühlung
- 9 Kapazitätsmanagement
- 12 Auswirkungen auf Energieverbrauch und Effizienz
- 22 Verfügbarkeitsaspekte
- 23 Fazit
- 25 Anhang

# Einführung

Es gibt drei wissenswerte Zusammenhänge zwischen der Virtualisierung und der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur eines Rechenzentrums:

- **Mit heute verfügbaren Stromversorgungs- und Kühltechnologien** ist es möglich, die Verfügbarkeit zu schützen und die besonderen Anforderungen der hohen Leistungsdichte und dynamischen Lastverteilung zu erfüllen, die durch Virtualisierung und Konsolidierung häufig entstehen.
- **Der Energieverbrauch wird durch Virtualisierung grundsätzlich niedriger**, weil die IT-Prozesse konsolidiert werden und die Zahl der physischen Geräte reduziert wird. Werden auch Stromversorgung und Kühlung optimiert, um ungenutzte Kapazitäten zu minimieren (Thema dieses Dokuments), kann der Energieverbrauch **nochmals reduziert** werden.
- **Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur (Data Center Infrastructure Efficiency bzw. DCiE) sinkt** durch Virtualisierung. Dies ist auf den hohen Anteil der konstanten Verluste bei überdimensionierten Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten zurückzuführen. Durch die Minimierung ungenutzter Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten kann die Stromversorgungs- und Kühleffizienz (DCiE) annähernd das Niveau vor der Virtualisierung erreichen – manchmal sogar ein höheres, je nach der Art der Verbesserungen an der Kühlarchitektur.

Durch Virtualisierung wird die Leistungsdichte im Rack und Dynamik im Rechenzentrum erhöht, sodass die Anforderungen an die Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur steigen (siehe Kasten rechts). Glücklicherweise ist High Density kein neues Phänomen mehr und es konnten bereits effiziente Strategien für den Umgang damit entwickelt werden. Auch wenn die Konsolidierung und Dynamik der IT-Prozesse durch Virtualisierung ein außergewöhnlich hohes Niveau erreichen kann, sind die Stromversorgungs- und Kühlanforderungen für virtualisierte Anwendungen mit denen vergleichbar, die man seit dem Aufkommen der leistungsintensiven Blade-Server vor ca. 10 Jahren kennt. Aus diesem Grund sind heute schon Technologien verfügbar, mit denen auch die Anforderungen einer virtualisierten Umgebung an Stromversorgung, Kühlung und Management erfüllt werden können.

## Hohe Leistungsdichte und weitere Probleme

Virtualisierung führt nicht nur zu erhöhter Dichte im Rack, sondern auch zu weiteren Veränderungen, die bei der Stromversorgung und Kühlung einer virtualisierten Umgebung berücksichtigt werden müssen.

### Was wird anders:

- **Der einzelne Server wird wichtiger:** Durch die Virtualisierung wird die Prozessordichte und somit die Geschäftsbedeutung des einzelnen Servers erhöht. Dadurch wächst die Bedeutung einer effizienten Stromversorgung und Kühlung für den Schutz der Verfügbarkeit.
- **Zeitliche und lokale Schwankungen der Hotspots:** Virtualisierte Prozesse können dynamisch gestartet und gestoppt werden, sodass die Lasten zeitlich und räumlich schwanken. Dies ist eine neue Herausforderung für die versorgende Infrastruktur und das Management von Stromversorgung und Kühlung.
- **Reduzierung der IT-Last:** Die abrupte, manchmal extreme Reduzierung der IT-Last durch Virtualisierung bietet eine Möglichkeit zur Kosteneinsparung bei den Stromversorgungs- und Kühlsystemen, die oft übersehen wird.

Die physische Konsolidierung durch Virtualisierung führt in zweifacher Hinsicht zur Reduzierung des Energieverbrauchs: (1) Direkt durch den geschrumpften Serverbestand und (2) indirekt durch die Eliminierung eines Teils der Leistungsaufnahme der Stromversorgungs- und Kühlsysteme, die die Server unterstützen (obwohl diese Reduzierung wegen der konstanten inneren Verluste geringer als erwartet sein

kann, wie wir später zeigen werden). Die parallele Modernisierung der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur mit dem Ziel einer an die virtualisierte IT angepassten schlanken Auslegung führt zu einer größeren indirekten Reduzierung (2) – **sie kann dadurch oft das Doppelte oder mehr der nur durch Virtualisierung erzielten Einsparungen bei den Stromkosten (1) betragen.**

Wenn Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten nicht optimiert und reduziert werden, um sie an die neue niedrigere IT-Last anzupassen, *sinkt* die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur (DCiE) durch Virtualisierung (trotz des insgesamt niedrigeren Stromverbrauchs im Rechenzentrum). Dies ist auf die Betriebskosten für übergroße, ungenutzte Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten bei einer kleineren IT-Last zurückzuführen. In diesem Dokument erklären wir, wieso moderne Stromversorgungs- und Kühlsysteme nicht nur effektive und zuverlässige, sondern auch *effiziente* Unterstützung für eine virtualisierte Umgebung bieten – und die Effizienzgewinne auf der IT-Ebene, die der typische Vorteil der Virtualisierung sind, beträchtlich verstärken können. **Eine gut geplante physikalische Infrastruktur bietet nicht nur Lösungen für die spezifischen Stromversorgungs- und Kühlanforderungen virtualisierter Umgebungen, sondern kann – besonders wenn man von herkömmlichen raumbasierten Kühlkonzepten abgeht – die Leistungsdichte und gesamte Rechenzentrumseffizienz wesentlich mehr erhöhen, als es nur durch Virtualisierung möglich gewesen wäre.**

## Herausforderungen für die Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur

Die Virtualisierung löst Veränderungen im Rechenzentrum aus, die neue Anforderungen an die Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur bedeuten, sowohl in Hinsicht auf die Wirksamkeit+ (wie gut die Aufgabe erfüllt wird, die IT-Last zu schützen) als auch auf die Effizienz (d. h. die Energieeffizienz bei der Erfüllung dieser Aufgabe). Auch wenn eine Modernisierung der Stromversorgungs- und Kühlsysteme nicht unbedingt notwendig ist, damit ein Virtualisierungsprojekt „funktioniert“, lassen sich große Effizienzgewinne erzielen, wenn Stromversorgung und Kühlung an die Anforderungen der virtualisierten Umgebung angepasst werden. Diese können folgendermaßen beschrieben werden:

	Anforderungen der Virtualisierung an Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur	Lösung
1	Dynamische und wandernde High-Density-Lasten	<b>Reihenbasierte Kühlung</b>
2	Nicht ausgelastete Stromversorgungs- und Kühlsysteme	<b>Skalierbare Stromversorgung und Kühlung</b>
3	Bedarfsgerechte Bereitstellung von Kapazitäten auf Reihen-, Rack- und Serverebene	<b>Kapazitätsmanagement-Tools</b>

Obwohl diese Anforderungen nicht grundsätzlich neu sind und nicht nur für virtualisierte Rechenzentren gelten, treten sie nach Virtualisierungsmaßnahmen immer gleichzeitig auf und erhalten dadurch eine neue Dringlichkeit; insbesondere im Hinblick auf die steigenden Energiekosten.

In diesem Dokument behandeln wir die genannten Anforderungen und Lösungen im Zusammenhang mit virtualisierten Umgebungen. Die im Anhang aufgelisteten Whitepaper bieten weiterführende Informationen allgemeiner und spezieller Art zu diesen Fragestellungen im Zusammenhang mit virtualisierten, aber auch nicht virtualisierten Rechenzentren.

## Ganzheitlicher Ansatz

Zu Erklärungs- und Analysezielen können Stromversorgungs- und Kühlprobleme auch isoliert betrachtet werden, aber für die wirksame Implementierung einer vollständigen Virtualisierungslösung muss die gesamte Umgebung als System betrachtet werden. Der Trend zur Virtualisierung mit ihren neuen Anforderungen an die physikalische Infrastruktur hat den Bedarf für integrierte Lösungen und einen ganzheitlichen Ansatz verstärkt – das bedeutet, alles muss im Gesamtzusammenhang betrachtet werden und als **System** funktionieren. Alle Teile des Systems müssen miteinander kommunizieren und zusammenarbeiten. Anforderungen und Kapazitäten müssen von einem zentralen System in Echtzeit auf Rackebene überwacht, koordiniert und verwaltet werden, um die effiziente Nutzung der Ressourcen zu gewährleisten und vor knappen oder nicht nutzbaren Ressourcen zu warnen. Das Thema zentrales Management werden wir unter „Herausforderung Nr. 3“ behandeln.

## Reihenbasierte Kühlung

### *Variable Kühlung in der Nähe der Wärmequellen*

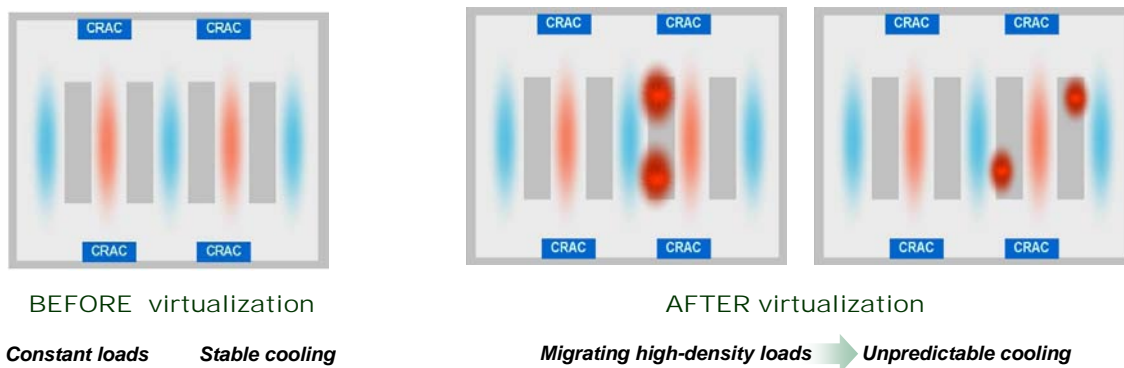
Obwohl die Leistungsaufnahme in einer virtualisierten Umgebung *insgesamt* sinkt, entstehen durch die Art der Installation und Anordnung virtualisierter Server „Hotspots“ genannte lokale Bereiche mit hoher Leistungsdichte und Wärmeentwicklung. Neben steigender Dichte bewirkt Virtualisierung die dynamische Verlagerung sowie das Anlaufen und Stoppen von IT-Prozessen – das Ergebnis sind Lasten, die zeitlich *und* hinsichtlich ihrer Zuordnung zu den physischen Geräten im Raum veränderlich sind.

### Herausforderung Nr. 1

**Dynamische und wandernde High-Density-Lasten**

Bevor die dynamische Zuweisung von Serverlasten durch die Virtualisierung entstand, waren Bereiche mit erhöhter Leistungsdichte und Abwärme an einen festen Ort gebunden. Wenn man eine klassische raumbasierte Kühlung über den Doppelboden für eine ausreichende Kühlung der Hotspots konfiguriert hätte, wäre diese erst wieder geändert worden, wenn Servergeräte hinzugefügt, entfernt oder an anderer Stelle installiert worden wären. Die thermischen Bedingungen im Raum wurden meist nur bei einem Durchgang mit einem Thermometer überprüft und die Kühlung wurde angepasst, indem man Doppelbodenplatten mit Lüftungsöffnungen neu positionierte. Bei dynamischen Serverlasten kann sich die Wärmeverteilung im Raum jedoch unmerklich und ohne physische Veränderungen an den Geräten verschieben (**Abbildung 1**).

**Abbildung 1:** Durch virtualisierte und konsolidierte IT-Lasten entstehen „Hotspots“ genannte Bereiche mit hoher Wärmeentwicklung, deren Leistungsdichte **und** räumliche Zuordnung schwankt

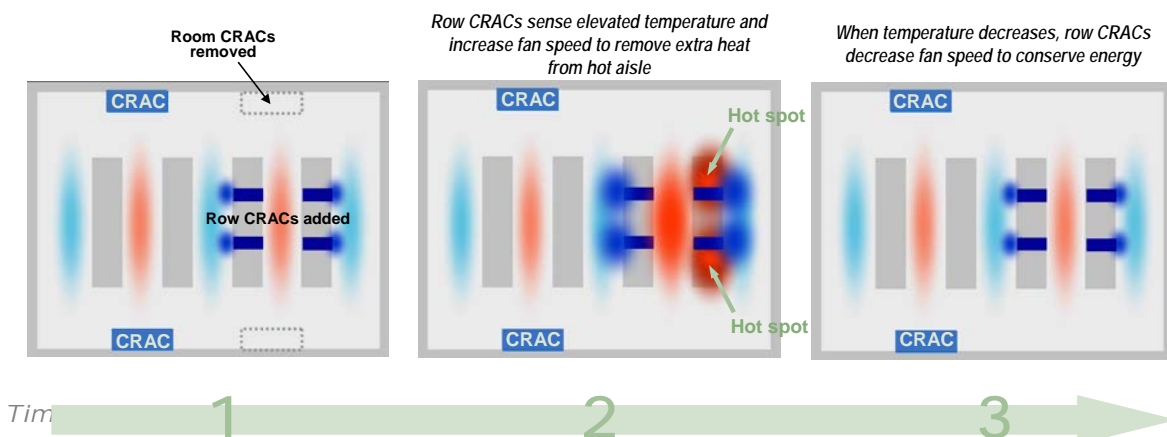


Berechenbare und effiziente Kühlung ist nur möglich, wenn ein System vorhanden ist, das diese Veränderungen erkennt und die Ausrichtung sowie Intensität der Kühlung automatisch an die schwankende Leistungsdichte anpasst. Die Schlüsselmerkmale eines solchen Kühlsystems sind:

- Kurze Luftströmungspfade zwischen Kühlsystem und Last
- Dynamische Anpassung an Laständerungen

Mit Kühlsystemen, die sich innerhalb der Rackreihe befinden und über die Ausstattung für die Messung von Temperaturänderungen und entsprechende Reaktionen verfügen, können diese zwei Schlüsselmerkmale erfüllt werden. Die reihenbasierte Kühlung ermöglicht eine wesentliche Effizienzerhöhung, weil Kühlung nur dort und dann sowie in dem Umfang wie erforderlich bereitgestellt wird (**Abbildung 2**).

**Abbildung 2:** In der Rackreihe installierte Klimaanlage<sup>1</sup> arbeiten zusammen, um erhöhte Abwärme aus dem Warmgang abzuführen



<sup>1</sup> Der in der Abbildung verwendete Begriff „CRAC“ (*Computer Room Air Conditioner*) ist eigentlich technisch unzutreffend, wenn die Wärmeabfuhr wie z. B. bei Kaltwasserkühlsystemen außerhalb des Raums stattfindet. In diesem Fall müsste man von einem „CRAH“ (*Computer Room Air Handler*) sprechen. Der Begriff wird hier verwendet, weil damit im Allgemeinen sowohl echte Präzisionsklimaanlagen (CRACs) als auch (CRAHs) bezeichnet werden.

Die Platzierung der Kühlsysteme in der Nähe der Server ist der Schlüssel zu einer effizienten Kühlung: **kurze Luftströmungspfade**. Ein kurzer Luftströmungspfad zwischen Kühlsystem und Last bietet eine Reihe von Vorteilen in Hinsicht auf die Effizienz- und Verfügbarkeit:

- Die unerwünschte Vermischung kühler Zuluft mit warmer Abluft wird reduziert (Rückflüsse)
- Die Ablufttemperatur wird erhöht (dadurch intensivere Wärmeabfuhr über den Wärmetauscher)
- Die Kühlung kann auf räumliche Lastschwankungen reagieren
- Es kann Lüfterleistung eingespart werden
- Die Notwendigkeit zur Luftbefeuchtung (als Ausgleich für Kondensat, das sich durch eine zu niedrige Solltemperatur an zu kalten Kühlschlangen bildet) wird reduziert und häufig ganz beseitigt

Dynamische Leistungsschwankungen bei virtualisierten IT-Lasten sind der wichtigste Grund für die Hinwendung des Marktes von der Raumkühlung zur Reihen- oder Rackkühlung. Weitere Informationen zu reihen- und rackbasierter Kühlung können Sie APC Whitepaper Nr. 130 entnehmen: [„Die Vorteile von reihen- und rackbasierten Kühlarchitekturen für Datacenter“](#).

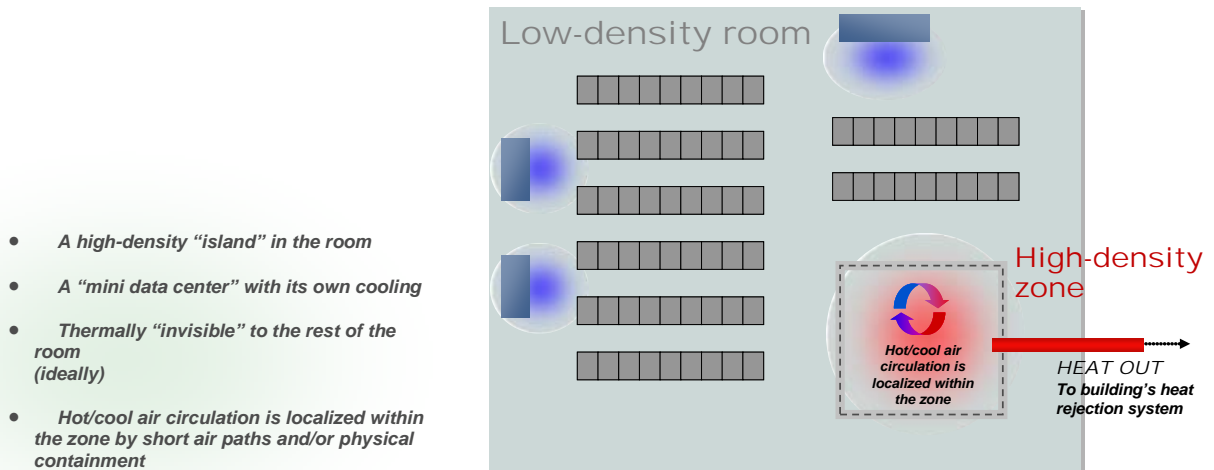
## Zonen mit hoher Leistungsdichte

Bei Virtualisierungsprojekten werden Server, z. B. Blade-Server, häufig clusterförmig in einem bestehenden Rechenzentrum mit niedriger Leistungsdichte installiert. Die reihenbasierte Kühlung – also die Platzierung und gezielte Ausrichtung von Kühlsystemen in der Nähe der Lasten – kann bei der nachträglichen Bereitstellung hoher Leistungsdichte in einem existierenden Rechenzentrum mit niedrigerer Leistungsdichte angewendet werden: der **High-Density-Zone**.

Eine High-Density-Zone ist ein physisch umgrenzter Bereich im Rechenzentrum, der dem Betrieb mit hoher Leistungsdichte vorbehalten und mit einer in sich abgeschlossenen Kühlung ausgestattet ist. Diese Zone verhält sich der Raumumgebung gegenüber thermisch „neutral“; benötigt also keine Kühlung außer der eigenen und hat wenige oder keine störenden Auswirkungen auf die vorhandenen Luftströme im Raum.

**Abbildung 3** ist eine schematische Darstellung einer High-Density-Zone. Diese Zone kann unabhängig von der übrigen Umgebung gekühlt und verwaltet werden, sodass die Bereitstellung vereinfacht und störende Auswirkungen auf die existierende Infrastruktur minimiert werden.

Abbildung 3: Die High-Density-Zone ermöglicht die Virtualisierung in bestehenden Rechenzentren



Nähere Informationen zu High-Density-Zonen siehe APC Whitepaper Nr. 134: "[Einrichtung von High-Density-Zonen in konventionellen Rechenzentren](#)".

Die Flexibilität der Kühlung und kurze Luftströmungspfade sind nur einige der Gründe für die Überlegenheit reihenbasierter gegenüber raumbasierter Kühlung. Weitere beträchtliche Vorteile liegen in der **Modulierbarkeit** und **Skalierbarkeit** der reihenbasierten Kühlung, weil man dadurch der zweiten Herausforderung der Virtualisierung begegnen kann: die Erhöhung der Effizienz durch die *bedarfsgerechte Bereitstellung von Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten*, die wir im nächsten Abschnitt erläutern werden.

## Skalierbare Stromversorgung und Kühlung

### Die Anpassung der Stromversorgung und Kühlung an die Last

Eine in Folge einer Serverkonsolidierung reduzierte IT-Last ist ein neuer Ansatzpunkt für die Nutzung der Vorteile modularer, skalierbarer Stromversorgungs- und Kühlarchitekturen. Das bisher übliche Argument für den Einsatz skalierbarer Architekturen war die Fähigkeit, anfänglich kleinere Kapazitäten bereitzustellen und diese bei Bedarf ausbauen zu können, um so überflüssige Investitionen und Betriebskosten für eine Infrastruktur zu vermeiden, die wahrscheinlich nie voll genutzt werden kann. In virtualisierten Umgebungen bieten skalierbare Architekturen jetzt den Vorteil, dass sie man sie *verkleinern* kann, um Überkapazitäten zu beseitigen, die nach Virtualisierungsmaßnahmen anfänglich bestehen, und später wieder ausbauen kann, wenn die virtualisierte Umgebung wächst. Das Prinzip ist bei der Aufwärts- und Abwärtsskalierung dasselbe – Stromversorgungs- und Kühlsysteme sind weniger effizient, wenn sie nicht ausgelastet sind; darum ist der Betrieb von überdimensionierten Stromversorgungs- und Kühlsystemen eine Verschwendung von

### Herausforderung Nr. 2

**Nicht ausgelastete  
Stromversorgung und  
Kühlung**

Ressourcen. Bei einer „richtig dimensionierten“ Infrastruktur werden die Kapazitäten an den aktuellen Bedarf angepasst (unter Berücksichtigung des gewünschten Redundanz- und Sicherheitsniveaus).

## Wieso entstehen durch Überdimensionierung Verluste?

Den Betrieb von überdimensionierten Stromversorgungs- und Kühlsystemen kann man mit einem stehenden Auto vergleichen, dessen Motor im Leerlauf läuft – Energie wird verbraucht, aber ohne eine nutzbare Leistung zu erzielen.

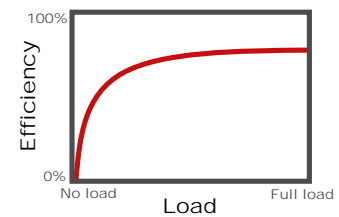
Alle Stromversorgungs- und Kühlsysteme weisen elektrische Verluste (Verlustleistung) auf, die in Form von Wärme frei werden. Ein Teil dieser Verluste sind **konstante Verluste** – Energie, die unabhängig von der Last verbraucht wird. Bei Nulllast (Leerlauf) ist diese Verlustleistung die einzige

Energie, die von dem Gerät verbraucht wird, sodass die aufgenommene Leistung zu 100 Prozent in elektrische Verluste (Wärme) verwandelt wird und das Gerät einen Wirkungsgrad von null Prozent besitzt; also keine nutzbare Leistung abgegeben wird. Bei zunehmender Last kommen zu den konstanten inneren

Verlusten des Geräts andere Verluste hinzu, die von Größe der Last abhängen und allgemein als **proportionale Verluste** bezeichnet werden, weil sie proportional zur Last zunehmen. Bei *steigender* Last werden die konstanten Verluste im Verhältnis zur gesamten verbrauchten Energie kleiner und bei *sinkender* Last werden die konstanten Verluste im Verhältnis zum gesamten Energieverbrauch größer. Die entscheidende Rolle der konstanten Verluste bei schlechter Auslastung (Überdimensionierung) werden wir in dem Abschnitt „**Auswirkungen der Virtualisierung auf Energieverbrauch und -effizienz**“ erläutern.

## Zusammenhänge zwischen Virtualisierung und Überdimensionierung

Da die Last durch Virtualisierung erheblich reduziert werden kann, stellt Überdimensionierung ein großes Effizienzproblem in virtualisierten Rechenzentren dar. Auch ohne Virtualisierung war Überdimensionierung schon immer einer der wichtigsten Gründe für die Ineffizienz von Rechenzentren. Durch Serverkonsolidierung und Server-Powermanagement wird die Last zusätzlich reduziert und wenn Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten dann nicht verkleinert werden, sinkt die Effizienz noch weiter an das untere Ende der Kurve. Auch wenn die Stromkosten tatsächlich kleiner werden, weil die IT-Last sinkt und weniger Kühlleistung verbraucht wird, ist der *Anteil* an der Stromzufuhr für das Rechenzentrum, der bei den IT-Lasten ankommt – in anderen Worten: der Wirkungsgrad des Rechenzentrums – geringer, was bedeutet, dass hier ein Spielraum zu weiterer Energieersparnis und Effizienzoptimierung



Zum Thema Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Last siehe APC Whitepaper Nr. 113: [Elektrisches Wirkungsgradmodell von Datencentern](#)

## Folgen extrem niedriger Auslastung

Neben den Effizienzvorteilen schützt eine optimal dimensionierte Stromversorgung und Kühlung vor einer Reihe nachteiliger Effekte, die durch eine **extrem** niedrige Auslastung entstehen können. In einem Rechenzentrum, das durch Redundanz oder aus anderen Gründen bereits eine niedrige Auslastung aufweist, kann die Auslastung durch Virtualisierung auf ein außergewöhnlich niedriges Niveau reduziert werden. Wenn Stromversorgung und Kühlung nicht kleiner ausgelegt werden, um die Auslastung in den normalen Betriebsbereich zurückzuführen, können die Folgen einen Teil der Energieeinsparungen zunichte machen oder unter Umständen die Verfügbarkeit gefährden.

### **Kühlsystem** (zu niedrige thermische Last)

- Sicherheitsabschaltung wegen Überlastung der Kompressoren
- Zu häufiges Abschalten und Anlaufen der Kompressoren verkürzt ihre Lebensdauer
- Eventuell Verfall der Garantie durch ständigen Betrieb unterhalb der zulässigen Grenzwerte für die Auslastung
- Kosten für die Heiße Gas Umgehung zu den Kompressoren, mit dem eine normale Last simuliert und ständige Ausfälle vermieden werden soll

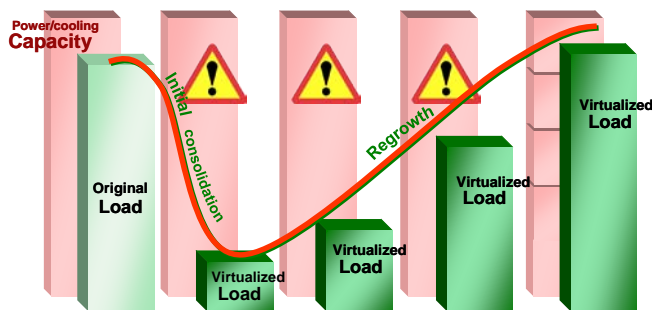
### **Generator** (zu niedrige elektrische Last oder zu viele Generatoren)

- Unverbrannter Treibstoff im System („Verrußen“) kann Bußgelder wegen Umweltverschmutzung nach sich ziehen oder die Brandgefahr erhöhen
- Kosten für überflüssige Wasserheizmäntel zur Erwärmung der Motoren
- Kosten für die Bevorratung, Überprüfung und Wartung bei überschüssigen Brennstoffvorräten

existiert.<sup>2</sup>

Virtualisierung ist ein neuer Ansatz für die Nutzung der Vorteile skalierbarer Infrastrukturen. Durch Stromversorgungs- und Kühlgeräte mit skalierbarer Kapazität lässt sich der Anteil der konstanten Verluste reduzieren und die Effizienz erhöhen. Eine skalierbare Architektur erleichtert nicht nur den Rückbau der Kapazitäten im Zuge einer IT-Konsolidierung, sondern auch den späteren Wiederausbau bei erneutem Wachstum der inzwischen virtualisierten IT-Last (**Abbildung 4**).

**Abbildung 4:** Nutzung skalierbarer Stromversorgung und Kühlung zur Minimierung der Verluste durch ungenutzte Kapazitäten bei Konsolidierung und Wiederausbau



**Abb. 4a** – Ohne Verkleinerung der Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten nach einer Virtualisierung  
Ungenutzte Kapazitäten verschlechtern den Wirkungsgrad (niedriger DCiE-Wert)

**Abb. 4b** – Bedarfsgerecht ausgelegte Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten  
Skalierbare Kapazitäten maximieren die Effizienz

## Kapazitätsmanagement

### *Umfassende Informationen über den Status der Umgebung in Echtzeit*

Der dynamische Charakter virtualisierter IT-Anwendungen erfordert präzise, zeitnahe und verwertbare Informationen über die Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten, um zu gewährleisten, dass Stromversorgung und Kühlung mit einem veränderlichen Lastprofil, das sich von einem Tag auf den nächsten verlagern kann, Schritt halten können.

**Kapazitätsmanagement** bietet Instrumente und Software für die Echtzeitüberwachung und Analyse der Daten zu den wichtigsten Ressourcen im Rechenzentrum:

- Stromversorgung
- Kühlung
- Stellfläche

### Herausforderung Nr. 3

**Anpassung der Kapazitäten an den Bedarf auf Reihen-, Rack- und Serverebene**

<sup>2</sup> Die US-amerikanische Umweltschutzbehörde EPA und das Industriekonsortium The Green Grid unterstützen die Aufklärung von RZ-Betreibern über die großen Energieeffizienzvorteile einer bedarfsgerechten Auslegung der physikalischen Infrastruktur in engerer Kopplung an die IT-Last.

In jedem Bereich einer IT-Umgebung, in dem Geräte neu installiert oder konfiguriert werden sollen, müssen all diese drei Ressourcen *an diesem Ort* und *in ausreichendem Umfang* zur Verfügung stehen, um die geplante Installation unterstützen zu können. Wenn eine dieser drei Ressourcen nicht in ausreichender Kapazität zur Verfügung steht, ist die Installation nicht machbar.

Kapazitätsmanagement ermöglicht eine wirksame und effiziente Nutzung der gesamten Ressourcen eines Rechenzentrums durch die kontinuierliche Erfassung der Kapazitäten in Echtzeit *auf Rack- und Serverebene*. Anhand dieser Daten kann eine Managementsoftware Orte erkennen, an denen Kapazitäten von einer oder mehreren dieser Ressourcen verfügbar sind, an denen bei einer der Kapazitäten ein Engpass besteht oder an denen nicht nutzbare (blockierte) Kapazitäten von einer oder mehreren Ressourcen vorhanden sind (siehe Kasten rechts). Nicht nutzbare Kapazitäten sind ein großes Effizienzproblem in dynamischen Rechenzentren; nicht nur, weil sie den Wirkungsgrad direkt herabsetzen (Ressourcen, die Kosten verursachen, aber keinen Nutzen erbringen), sondern auch deswegen, weil blockierte Kapazitäten durch ungeplante Veränderungen *verursacht* werden.

Ein effizientes Kapazitätsmanagementsystem nutzt eine automatische Informationserfassung und Modellierung, um die Stromversorgungs-, Kühl- und Raumkapazitäten auf Raum-, Reihen-, Rack- und Serverebene zu erfassen und kann auf dieser Grundlage die besten Standorte für die Installation zusätzlicher Geräte empfehlen, die Auswirkungen geplanter Änderungen prognostizieren und ungünstige Bedingungen oder Entwicklungen rechtzeitig zur Einleitung von Gegenmaßnahmen erkennen. Ein Kapazitätsmanagement, das die Standorte der Server und der Lasten kennt sowie die Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten, die den Servern zur Verfügung stehen, und Temperaturschwankungen und den Stromverbrauch erfasst, schützt nicht nur gegen Ausfälle durch die punktuelle Verknappung von Stromversorgung oder Kühlung, sondern **erhöht außerdem die Rechenzentrumseffizienz durch eine optimierte Nutzung der verfügbaren Ressourcen**.

Mit einem umfassenden System wie diesem kann man:

- Die systemweiten Folgen geplanter Serveränderungen im Modell berechnen
- Alternative Layouts anhand einer detaillierten Konfigurationsanalyse vergleichen
- Vor der Installation überprüfen, ob eine geplante Änderung eine Überlastung von Stromversorgung oder Kühlung auslösen würde

### Blockierte Kapazität = Ineffizienz

Wenn eine oder zwei der drei essenziellen Ressourcen – Stromversorgung, Kühlung oder Stellfläche – an einem bestimmten Ort nicht in ausreichender Menge vorhanden sind, kann dieser Ort nicht genutzt werden, auch wenn Kapazitäten der übrigen Ressourcen verfügbar sind. Ressourcen, die an einem Ort verfügbar sind, aber wegen der übrigen fehlenden Ressourcen nicht genutzt werden können, werden blockierte Kapazitäten genannt. Wenn die an einem Ort vorhandene Rackstellflächen- und Stromversorgungskapazität nicht genutzt werden kann, weil die Kühlkapazität nicht ausreicht, sind die Raum- und Stromversorgungskapazitäten blockiert. An einem Ort mit großen Kühlkapazitäten, aber ohne verfügbare Stellfläche oder Stromversorgung, ist die Kühlkapazität blockiert.

Blockierte Kapazität bedeutet verschwendete Ressourcen – Inseln von Stromversorgungs-, Kühl- oder Stellflächenkapazitäten, die nicht genutzt werden können. Diese verschwendeten Ressourcen können Ergebnis von ursprünglichen Planungsfehlern sein oder späteren ungeplanten Änderungen. Die Identifikation und Wiederverwendung blockierter Kapazitäten führt zu einer direkten Verbesserung der Rechenzentrumseffizienz, weil mit den vorhandenen Ressourcen eine größere Anzahl von IT-Geräten unterstützt werden kann.

- Überprüfen, ob eine Änderung gemäß der Planung durchgeführt wurde
- Stromversorgungs-, Kühl- und Rackstellflächenkapazitäten reservieren, damit neue Geräte schnell installiert werden können

Am wichtigsten ist das Kapazitätsmanagement bei *Änderungen* in der IT-Umgebung, die gerade für moderne virtualisierte Rechenzentren typisch sind – Veränderungen im Serverbestand, schwankende Leistungsdichte, wandernde Lasten, schnelle Entwicklung neuer Technologien und der wachsende Druck, Energie zu sparen. Ungeplante Veränderungen können in *jedem* Rechenzentrum zu Verfügbarkeitsrisiken, Planungsfehlern und Ressourcenverschwendung führen. Wirksames Kapazitätsmanagement berücksichtigt die Gesetzmäßigkeiten und weit reichenden Folgen von Veränderungen und ermöglicht so die optimale Nutzung der Stromversorgungs-, Kühl- und Raumressourcen eines Rechenzentrums. Dieses intelligente Management ermöglicht die volle Erschließung des Potenzials der Virtualisierung zur Optimierung des geschäftlichen Nutzens und der Effizienz.

Durch die Virtualisierung werden eine Reihe von Faktoren eingeführt oder verschärft, die zusammengefasst das Anforderungsprofil für ein Kapazitätsmanagementsystem ergeben:

- **Laständerungen in Hinsicht auf Leistungsdichte und Ort:** Durch dynamische Servernutzung können auch ohne die Installation zusätzlicher Geräte Hotspots entstehen. Hotspots können an immer neuen Stellen auftreten, weil die virtuellen Systeme im Serverbestand hin- und herwandern und das Server-Powermanagement einige der physischen Server abschaltet und andere hochfährt.
- **Höheres Tempo der Veränderungen:** Bei dem hohen Tempo der Veränderungen durch die Virtualisierung und die technologische Weiterentwicklung jagt eine Veränderung die andere. Die Erhaltung der Systemstabilität erhält eine herausragende Bedeutung, besonders wenn mehrere Parteien ohne zentrale Koordination Änderungen durchführen.
- **Komplizierte Wechselwirkungen:** Durch die Virtualisierung sind die wechselseitigen Abhängigkeiten und die indirekten Auswirkungen in den Beziehungen zwischen Stromversorgung, Kühlung und Stellflächenkapazitäten schwerer zu durchschauen. Es kann schwierig sein, die umgebungsweiten Auswirkungen abzusehen, wenn Server hinzugefügt, entfernt oder neu platziert werden.
- **Unsichtbare Veränderungen:** Auch ohne Installation zusätzlicher Servergeräte können durch Virtualisierung unsichtbare Veränderungen der Anforderungen an Stromversorgung und Kühlung auftreten. Ohne Vorwarnung durch sichtbare Anzeichen für einen bedrohlichen Engpass kann eine Unregelmäßigkeit eskalieren und zu Überlast, Überhitzung oder dem Verlust der Kühlredundanz führen.
- **Schlanke Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten:** Bei einer effizienten Auslegung von Stromversorgung und Kühlinfrastruktur sind die Kapazitäten eng an den Bedarf angepasst. Dadurch bleibt wenig Toleranz für unerwartete Veränderungen in der einen oder anderen Richtung.

Ein effizientes Management dieser Umgebung ist nur mit einem System möglich, das Grundriss und Maße des Raums kennt (um die verfügbare Stellfläche zu überwachen), die Werte der erforderlichen und gelieferten Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten auf Geräteebene erfasst und ein integriertes Modell für

die Analyse aktueller Bedingungen, die Trenderkennung und die Hochrechnung zukünftiger Anforderungen nutzt (**Abbildung 5**).

*Abbildung 5: Herausforderungen beim Management einer virtualisierten Umgebung*

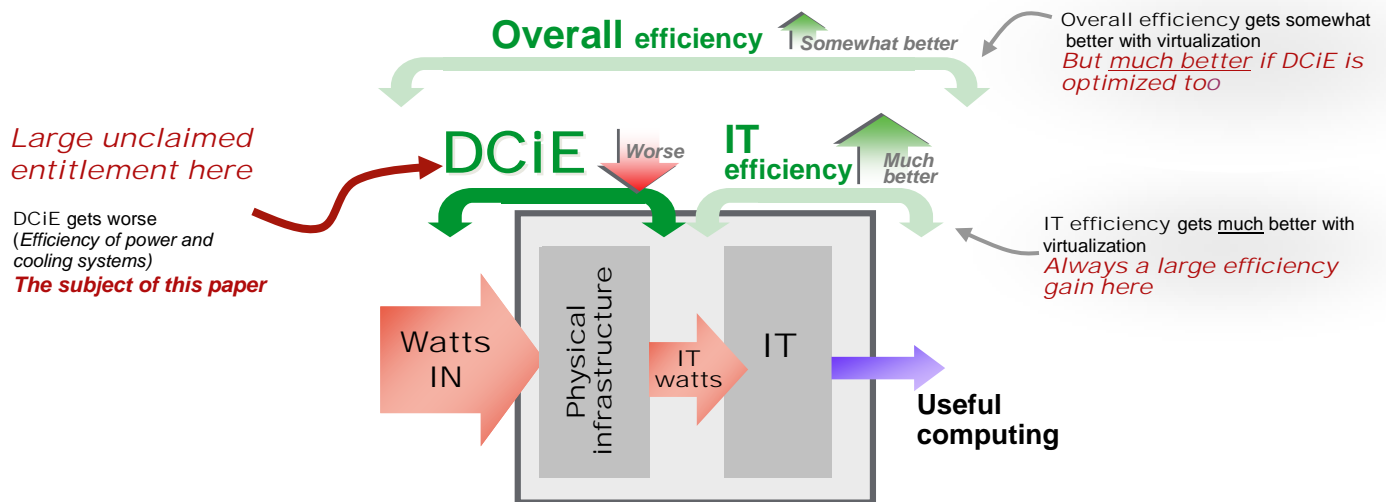
Ein umfassend informiertes, analytisches und interaktives Managementsystem ist das Herzstück einer integrierten Infrastruktur, in dem die Subsysteme mit einem zentralen Koordinator kommunizieren. Dieser erkennt wechselseitige Abhängigkeiten und erstellt Analysen, Empfehlungen, Warnungen sowie Prognosen. Ein derartiges System erkennt den aktuellen Zustand und die Einschränkungen der Infrastruktur *unmittelbar* und kann auch ihren zukünftigen Zustand einschließlich der Auswirkungen von Veränderungen durch Modellierung vorhersagen.

Weitere Informationen über Kapazitätsmanagement siehe APC Whitepaper Nr. 150: Kapazitätsmanagement für Stromversorgung und Klimatisierung in Datacentern.

# Auswirkungen der Virtualisierung auf Energieverbrauch und Effizienz

Eine Diskussion der Rechenzentrumseffizienz kann verwirrend sein, weil die Thematik noch relativ neu ist und die Terminologie noch nicht einheitlich verwendet wird. Wie in **Abbildung 6** dargestellt, hat die Virtualisierung und damit verbundene Konsolidierung Auswirkungen auf alle drei Ebenen der Rechenzentrumseffizienz. Die Energieeffizienz der *physikalischen Infrastruktur* des Rechenzentrums (DCiE) – die überwiegend aus Stromversorgungs- und Kühlsystemen besteht – ist das Thema dieses Dokuments. Wenn der DCiE-Wert niedrig ist, existiert ein großes Potenzial zur Verbesserung der Gesamteffizienz. Dazu muss die Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur optimiert werden, um sie an die neue, schlanke, virtualisierte IT-Umgebung anzupassen.

**Abbildung 6:** Typische Auswirkungen der Virtualisierung auf die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur



Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass durch die Virtualisierung eines bestehenden Rechenzentrums ohne eine Anpassung der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur die Effizienz der physikalischen Rechenzentrumsinfrastruktur (die DCiE-Komponente der Gesamteffizienz) immer *sinkt* – und zwar aufgrund der konstanten Verluste (Leerlaufverluste) der Stromversorgungs- und Kühlsysteme. In diesem Abschnitt wird erklärt, wodurch dieser Effizienzabfall verursacht wird und wie er gemessen und vermieden werden kann.

Der Hauptanreiz für Virtualisierungsmaßnahmen ist die erhöhte Effizienz der IT-Prozesse – mehr Rechenleistung pro Watt der Leistungsaufnahme des Rechenzentrums (die „Gesamteffizienz“ in **Abbildung 6**). Die Reduktion der Leistungsaufnahme allein durch die Konsolidierung der IT-Last macht jedoch nur einen Teil der Einsparungspotenzials aus, das durch Virtualisierung erzielt werden kann. In den meisten bestehenden Rechenzentren existiert darüber hinaus ein erhebliches Einsparungspotenzial bei den

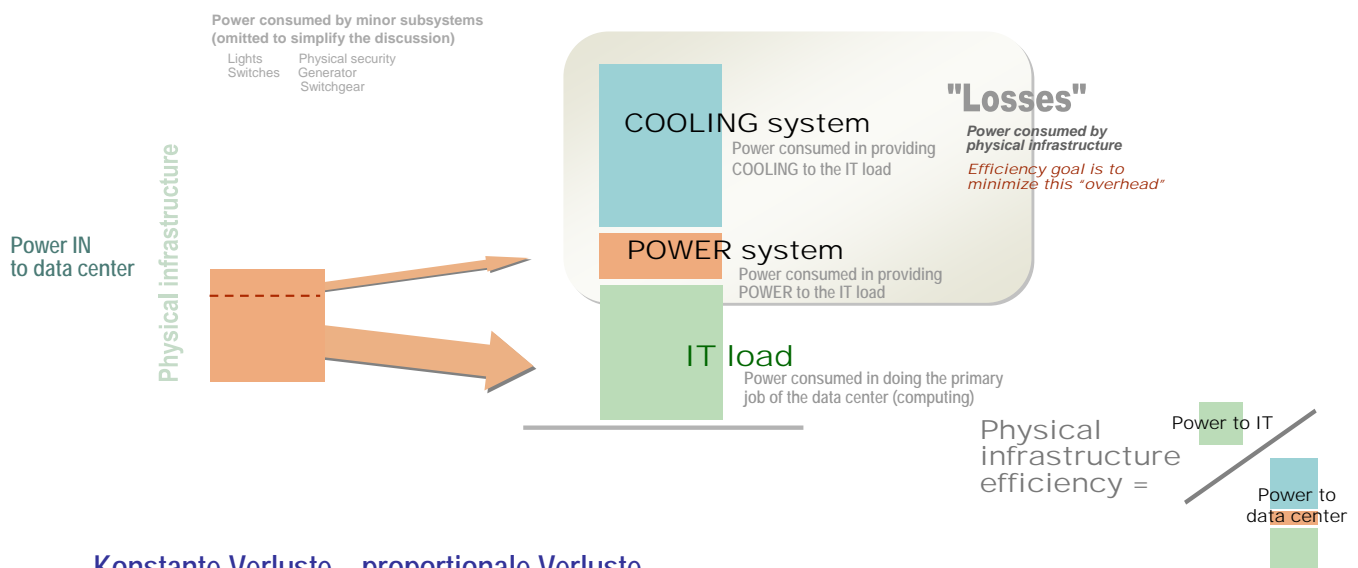


In diesem Zusammenhang wird *die übrige im Rechenzentrum verbrauchte Energie* – oder anders gesagt, alle Energie, die *nicht* von der IT-Last verbraucht wird, als „Verlust“ angesehen. Dieser Nicht-IT-Energieverbrauch oder Verlust beinhaltet:

- Die internen Verluste des Stromversorgungssystems (Stromführende Komponenten wie USV-Systeme, Stromverteiler, Verkabelung, etc.), die in Form von Wärme freiwerden
- Die gesamte vom Kühlsystem verbrauchte Energie
- Die gesamte von anderen Subsystemen der physikalischen Rechenzentrumsinfrastruktur verbrauchte Energie (im Vergleich vernachlässigbar und in **Abbildung 7** nicht dargestellt).

**Abbildung 8** stellt diese Verluste im Zusammenhang mit der gesamten im Rechenzentrum verbrauchten Energie dar. Weitere Erläuterungen zu dem Begriff der Rechenzentrumseffizienz und der Unterscheidung zwischen Verlust und Nutzleistung siehe APC Whitepaper Nr. 113: Elektrisches Effizienzmodell für Rechenzentren.

**Abbildung 8:** Definition der Verlustanteile am Energieverbrauch eines Rechenzentrums



## Konstante Verluste – proportionale Verluste

Ein Teil der von den Stromversorgungs- und Kühlsystemen verbrauchten Energie (in **Abbildung 8** „Verluste“ genannt) bleibt immer gleich hoch, egal wie groß oder klein die IT-Last ist, während sich der übrige Teil proportional zur Größe der IT-Last verändert. Diese zwei Komponenten der verbrauchten Energie (Verlustleistung) werden **konstanter Verlust** und **proportionaler Verlust** genannt.<sup>4</sup>

- **Konstante Verluste:** Der Betrag ist immer gleich groß, egal wie hoch die Last ist. Ein konstanter Verlust ist der Energieverbrauch, der beim Betrieb eines Geräts oder Systems unabhängig von der vorhandenen Last immer entsteht. Die Reduzierung der Last hat keine Auswirkungen auf diesen

<sup>4</sup> Es existiert auch eine dritte, meist geringfügigere Art von Verlusten: quadratische oder ohmsche Verluste – die sich *quadratisch* mit der Last ändern. Weitere Informationen über die drei Verlustarten siehe APC Whitepaper Nr. 113: [Elektrisches Wirkungsgradmodell von Datencentern](#)

unveränderlichen Verlustanteil. Beispiele für Geräte mit einem großen Anteil von konstanten Verlusten sind Transformatoren und nicht regelbare Lüfter. Das Vorhandensein konstanter Verluste ist der Grund, warum der Wirkungsgrad bei höherer Last größer ist (weil die konstanten Verluste dann im Verhältnis zum gesamten Energieverbrauch *kleiner* sind) und bei niedriger Last kleiner ist (weil die konstanten Verluste dann im Verhältnis zum gesamten Energieverbrauch *größer* sind) – siehe **Abbildung 11** unten. **Die Reduzierung der konstanten Verluste durch Geräte mit höherem Wirkungsgrad und/oder eine bessere Systemkonfiguration ist der effizienteste Weg zur Erhöhung des Wirkungsgrads von Stromversorgung und Kühlung.**

- **Proportionale Verluste:** Der Betrag ist direkt proportional zur Größe der Last, die von dem Gerät unterstützt wird. Durch einer Verdoppelung der Last verdoppeln sich auch die proportionalen Verluste. Durch eine Reduzierung der Last um 75 Prozent werden die proportionalen Verluste um 75 Prozent reduziert. Beispiele für Geräte mit einem großen Anteil an proportionalen Verlusten sind regelbare Lüfter und Pumpen.

Wie wir in den folgenden Abschnitten zeigen, sind die konstanten Verluste dafür verantwortlich, dass sowohl die Energieeinsparungen als auch die durch Virtualisierung erzielbare Effizienzverbesserung begrenzt sind, weil die konstanten Verluste gleich bleiben, egal *um welchen Betrag die IT-Last reduziert wird.*

## Konstante Verluste begrenzen die möglichen Energieeinsparungen

Durch Konsolidierung sinkt der gesamte Energieverbrauch eines Rechenzentrums. Die entscheidende Fragestellung bei der Planung von Virtualisierung und Konsolidierung ist: „Wie **groß** sind die erzielbaren Energieeinsparungen?“. Die Antwort auf diese Frage ist eng mit den konstanten Verlusten in der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur verbunden. **Abbildung 9** stellt die Beziehung zwischen Konsolidierung und Energieeinsparung dar und wie die konstanten Verluste der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur die möglichen Energieeinsparungen begrenzen.

Der Schlüssel zur Maximierung der Einsparungen durch Konsolidierung liegt in der *Reduzierung der konstanten Verluste* in der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur. Die Reduzierung der konstanten Verluste kann durch die *Eliminierung* eines Teils dieser Verluste erreicht werden (z. B. die Eliminierung der Kosten für die Wiederbefeuchtung der Kühlluft durch eine Optimierung der Kühlsysteme), die *Reduzierung* anderer Verluste (z. B. durch den Einsatz eines USV-Systems mit einem höheren Wirkungsgrad) oder die Verwandlung konstanter in proportionale Verluste (z. B. durch den Einsatz von Lüftern und Pumpen mit variabler statt gleich bleibender Drehzahl). **Abbildung 10** zeigt den Effekt einer Reduzierung der konstanten Verluste.

Abbildung 9: Konstante Verluste begrenzen die möglichen Energieeinsparungen durch Konsolidierung

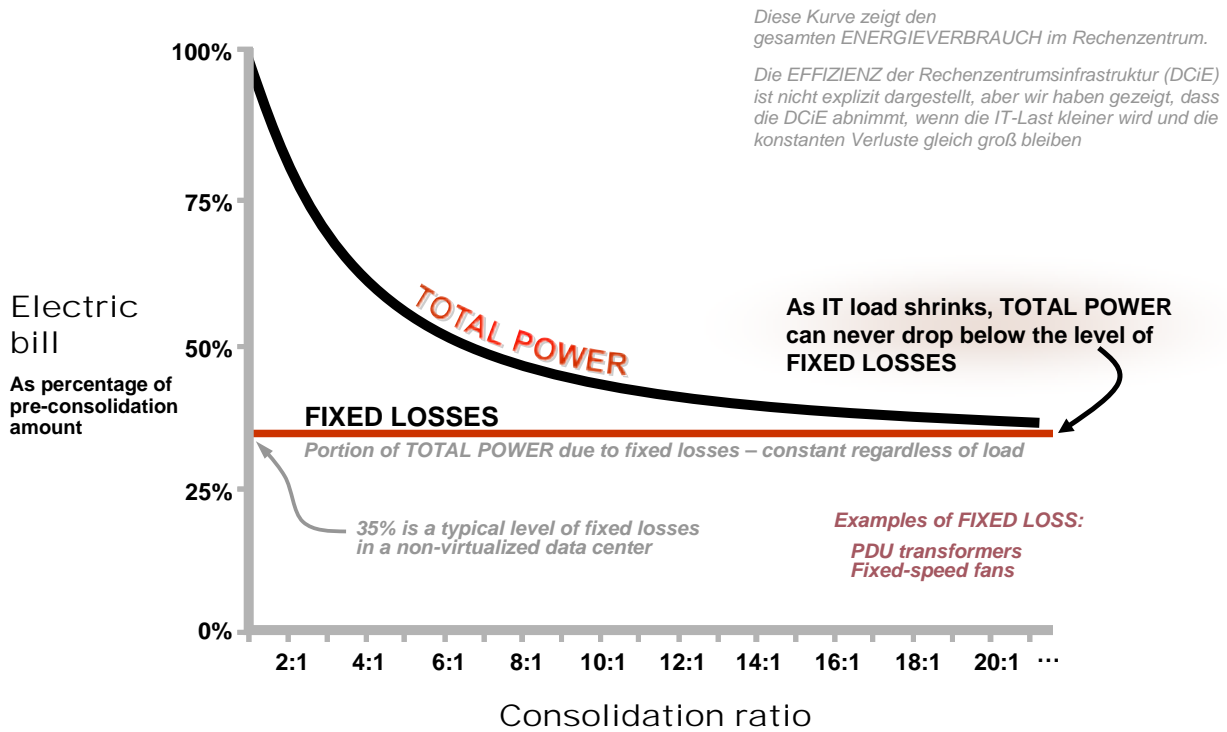
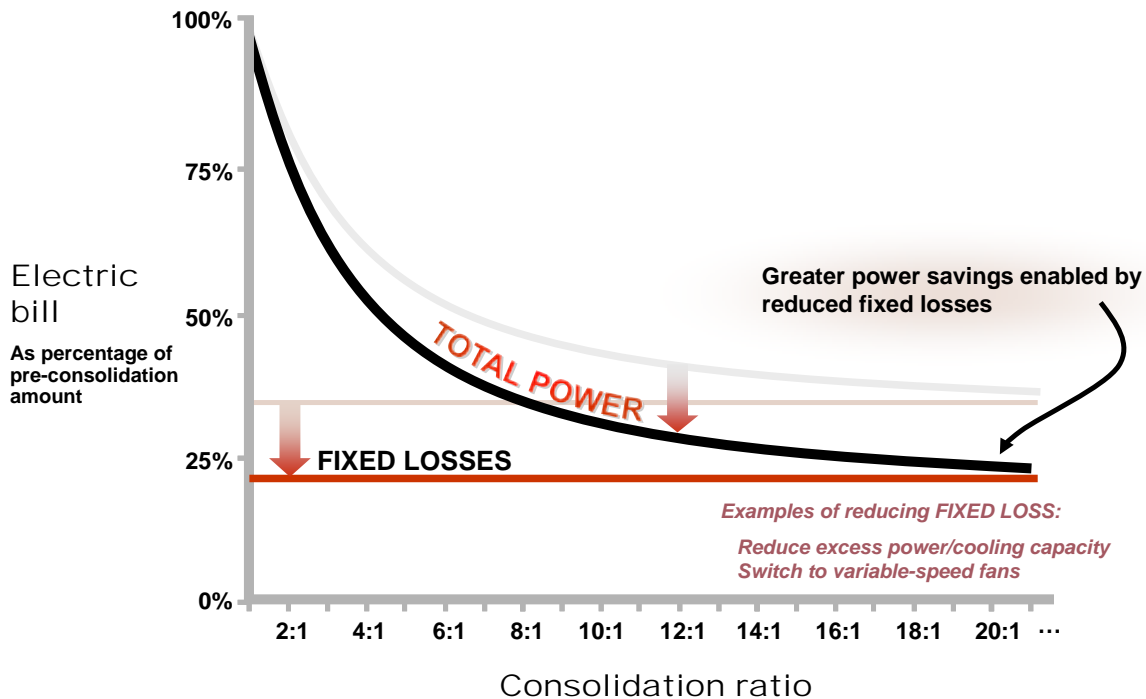


Abbildung 10: Die Reduzierung der konstanten Verluste ermöglicht größere Einsparungen durch Konsolidierung

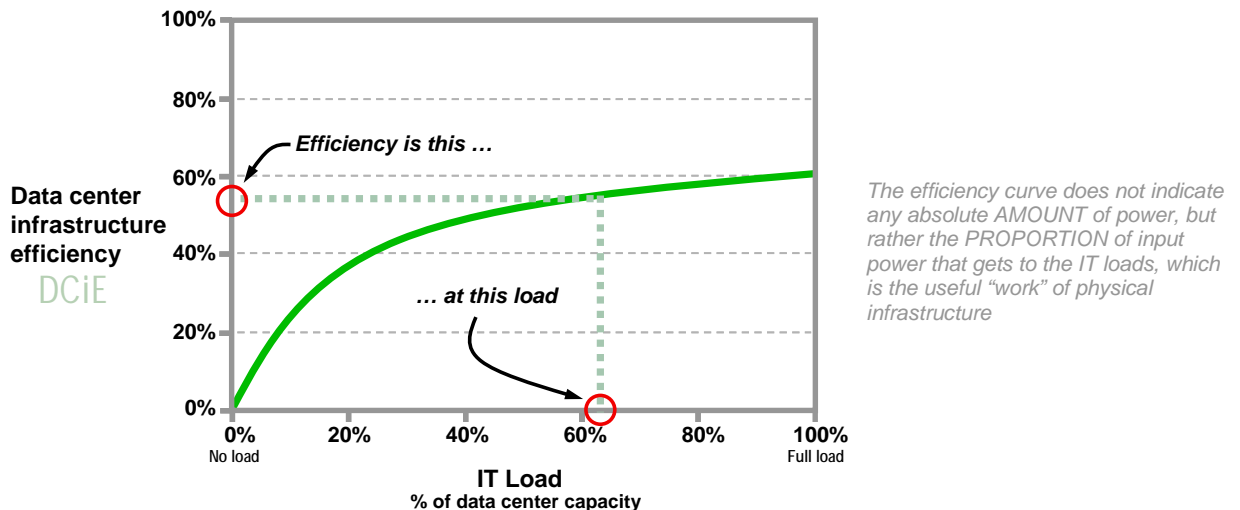


## Die Rechenzentrumseffizienz ist eine Funktion der IT-Last

Im Kontext der Rechenzentrumseffizienz bestehen die in **Abbildung 8** dargestellten „Verluste“ aus dem Gesamtbetrag der von den Systemen der physikalischen Infrastruktur verbrauchten Energie, also aus der Energie, die bei der *Unterstützung* der IT-Last verbraucht wird und nicht von der IT-Last selbst. Wie bei dem Energieverbrauch eines einzelnen Geräts, wie zum Beispiel einer USV, sind ein Teil der Verluste **konstante Verluste**, die unabhängig von der Last immer den gleichen Betrag haben – Energie, die immer dann verbraucht wird, wenn das System eingeschaltet ist. Der Rest der Verluste sind **proportionale Verluste**, die sich im gleichen Verhältnis wie die IT-Last ändern und durch Geräte wie Lüfter und Pumpen mit variabler Drehzahl entstehen.

Wären alle Verluste proportionale Verluste (die mit der IT-Last steigen oder sinken), könnte man die Rechenzentrumseffizienz durch eine Zahl ausdrücken – sie wäre für jede IT-Last gleich groß. Dies ist in Rechenzentren jedoch niemals der Fall, weil konstante Verluste in Rechenzentren *immer auftreten* und dazu führen, dass die Effizienz bei hoher Last immer höher und bei niedriger Last immer niedriger ist. Die Rechenzentrumseffizienz hat jedoch immer einen kurvenförmigen Verlauf – *die Effizienz ist eine Funktion der Last*. Abbildung 11 zeigt eine typische Kurve für die Effizienz einer Rechenzentrumsinfrastruktur.

Abbildung 11: Typische Kurve für die Effizienz einer Rechenzentrumsinfrastruktur



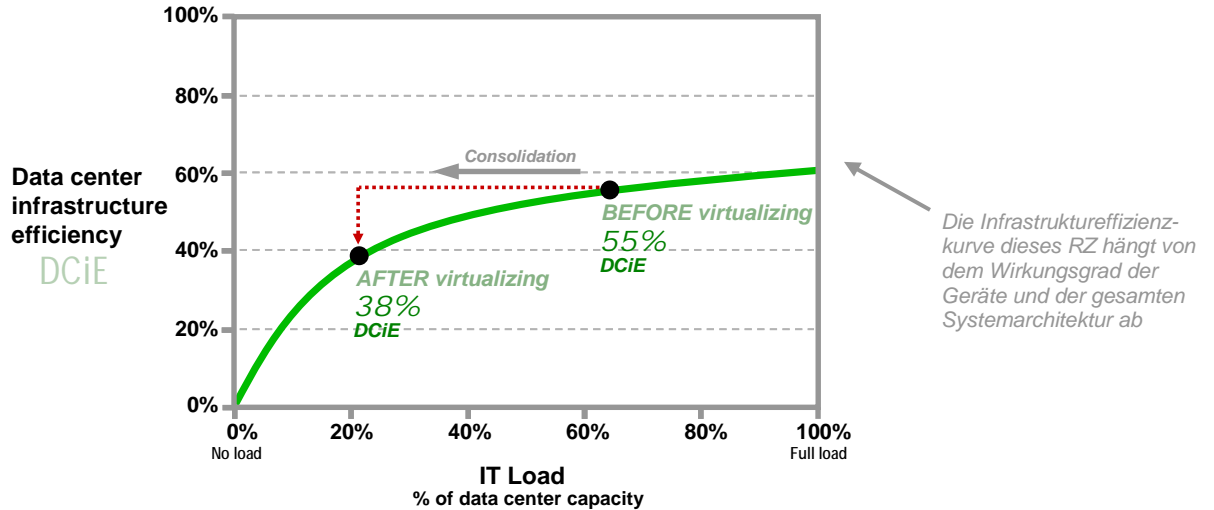
Für jedes Rechenzentrum ist die Infrastruktureffizienzkurve je nach dem Wirkungsgrad der einzelnen Geräte und der Effizienz der Systemkonfiguration steiler oder flacher – die Kurve hat ihren Ursprung jedoch immer bei Null und immer annähernd den gleichen Verlauf.

## Auswirkung der Virtualisierung auf die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur

Bei einer Virtualisierung wird der Energieverbrauch durch die Optimierung und Konsolidierung der IT-Prozesse verbunden mit einer Verkleinerung des Gerätebestands grundsätzlich reduziert. Wenn jedoch Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur nicht im gleichen Zug kleiner ausgelegt und ihre Effizienz

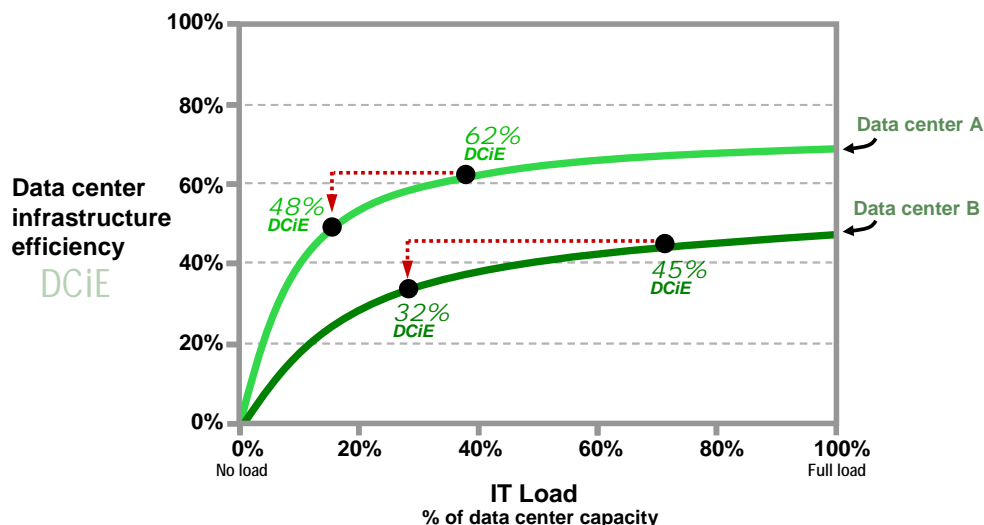
verbessert wird, fällt die Effizienz der Infrastruktur (DCiE) eines Rechenzentrums durch die neue, niedrigere Last auf einen niedrigen Wert in der für sie charakteristischen Kurve zurück (**Abbildung 12**).

**Abbildung 12:** Konsolidierung reduziert zwar die Last, verschlechtert aber die Effizienz der Infrastruktur



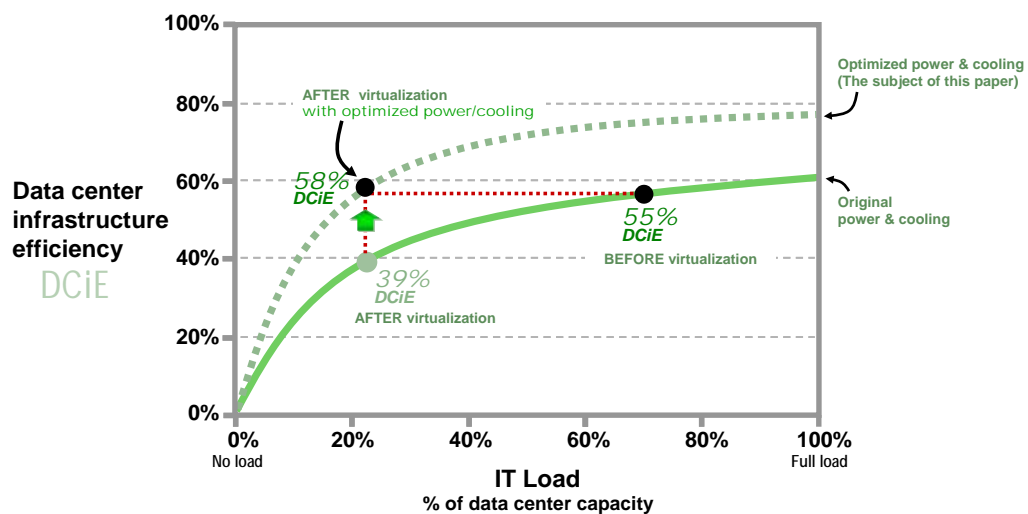
Beachten Sie, dass die Effizienz abnimmt, obwohl der Energieverbrauch gesunken ist. Effizienz bemisst sich nicht nach der *verbrauchten* Energie – sie steht für das Verhältnis der Energie, die *verloren* geht, zu der *zugeführten* Energie. Sie ist im Grunde genommen ein Maß für „die Möglichkeiten zur Verbesserung“. Die Abnahme der Effizienz tritt nach einer Virtualisierung immer ein, unabhängig von der spezifischen Effizienzkurve eines gegebenen Rechenzentrums (deren *Form* der hier dargestellten immer ähnelt) und unabhängig von dem DCiE-Wert vor der Virtualisierung. Wenn keine Veränderung an den Stromversorgungs- und Kühlsystemen vorgenommen wird – um die Effizienzkurve anzuheben –, ist der DCiE-Wert nach der Konsolidierung *bei jedem Rechenzentrum* niedriger (**Abbildung 13**).

**Abbildung 13:** In jedem Rechenzentrum sinkt die Effizienz der Infrastruktur durch eine Konsolidierung, wenn die Infrastruktur nicht ebenfalls optimiert wird



Um den DCiE-Wert nach der Virtualisierung anzuheben, muss die Kurve der Rechenzentrumsinfrastruktureffizienz durch eine Optimierung der Stromversorgungs- und Kühlsysteme *angehoben werden*, um die Verlustleistung durch überdimensionierte, weil nicht an die neue, niedrigere Last angepasste Systeme zu reduzieren (**Abbildung 14**) – diese Optimierung ist das Thema dieses Dokuments. Die Effizienzkurve lässt sich am wirksamsten durch die Umstellung von der raumbasierten zur reihenbasierten Kühlung beeinflussen und durch eine bedarfsgerechte Dimensionierung der Stromversorgungs- und Kühlsysteme. **Neben einer Verbesserung der Effizienz bewirkt die Optimierung von Stromversorgung und Kühlung eine unmittelbare Senkung der Stromkosten durch die Reduzierung des Energieverbrauchs ungenutzter Stromversorgungs- und Kühlkapazitäten.**

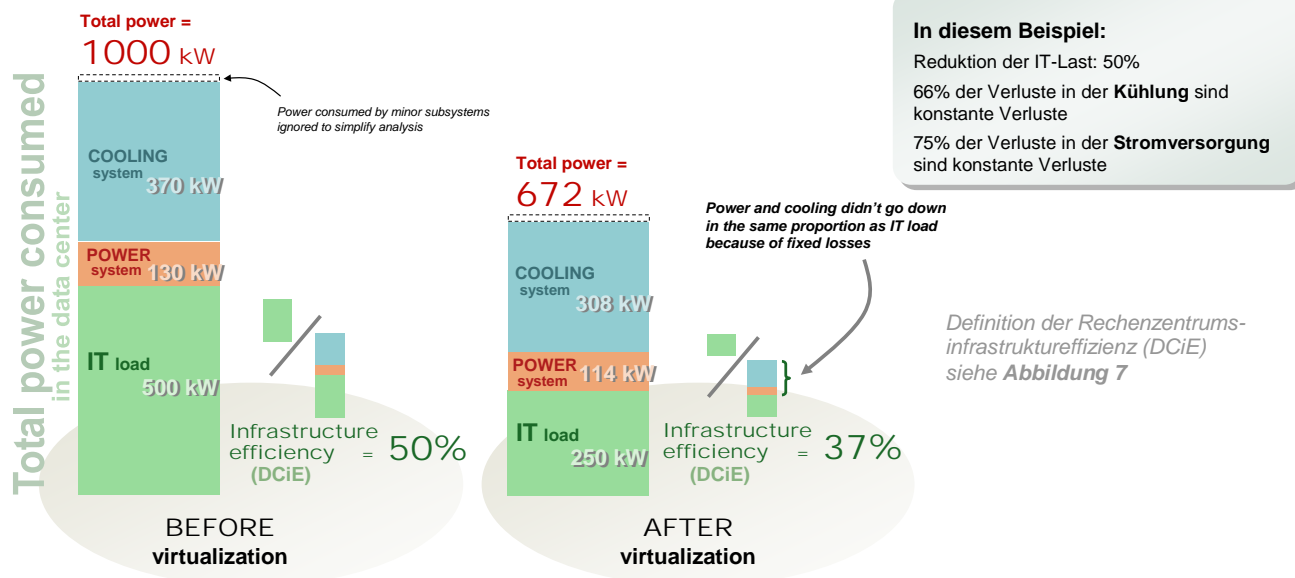
Abbildung 14: Durch eine Optimierung der Stromversorgung und Kühlung steigt die Effizienzkurve



### Warum ist die Effizienz der Infrastruktur (DCiE) trotz reduziertem Energieverbrauch im RZ niedriger?

Der Stromverbrauch ist nach einer Virtualisierung immer niedriger (besser), was auf den geschrumpften Serverbestand und die damit verbundene Reduzierung des Energieverbrauchs der Stromversorgungs- und Kühlsysteme zurückzuführen ist (die oben beschriebenen *proportionalen Verluste*). Die Rechenzentrumsinfrastruktureffizienz ist trotzdem niedriger (schlechter), wenn die Kapazität von Stromversorgungs- und Kühlsystemen nicht verkleinert und ihre Konfiguration nicht optimiert wird, um sie an die neue, kleinere IT-Last anzupassen. **Abbildung 15** zeigt das typische Resultat: ein reduzierter Stromverbrauch in Verbindung mit einer niedrigeren Effizienz der Infrastruktur.

Abbildung 15: Beispiel für die Reduzierung des Energieverbrauchs bei gleichzeitig sinkender Effizienz der RZ-Infrastruktur (DCiE)



## Der Weg zur Erhöhung der Effizienz: Die Reduzierung der konstanten Verluste

In den vorangegangenen Abschnitten haben wir erklärt, warum der DCiE-Wert durch die Virtualisierung sinkt und dass konstante Verluste in der Rechenzentrumsinfrastruktur für diesen Effekt verantwortlich sind. Um dem Problem entgegenzuwirken und die Energieeinsparungsmöglichkeiten durch Virtualisierung voll ausschöpfen zu können, muss – wie bereits dargestellt – eine optimierte Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur mit folgenden Merkmalen implementiert werden, um die konstanten Verluste zu minimieren und die Energieeffizienz des Virtualisierungsprojekts zu maximieren:

- Verkleinerte Stromversorgungs- und Kühlkapazität in Anpassung an die Last
- Lüfter und Pumpen mit variabler Drehzahl, die weniger Leistung abgeben, wenn der Bedarf sinkt
- Geräte mit höherem Wirkungsgrad, die weniger Energie bei der Erfüllung ihrer Aufgabe verbrauchen
- Eine Kühlarchitektur mit kürzeren Luftströmungspfaden (d. h. Übergang von der Raum- zur Reihenkühlung)

## Kühlung nach dem „Just in time“-Prinzip

Die Philosophie, eine Ressource nur zur richtigen Zeit und im richtigen Umfang bereitzustellen, ist nicht neu – aber ihre Anwendung auf Rechenzentren ist neu. Für die Effizienzvorteile der hier beschriebenen regelbaren Kühlung innerhalb der Rackreihe existiert eine bekannte Parallele in der industriellen Produktion:

„Just in time“ ist eine Philosophie, die von Toyota um 1950 für seine Fertigungsprozesse entwickelt wurde. Sie hat sich zu einer anerkannten Management-Theorie entwickelt und besagt, dass Verluste vermieden werden können, wenn die richtigen Teile in der richtigen Menge zur richtigen Zeit und am richtigen Ort sind – immer dem aktuellen Bedarf entsprechend. Das Prinzip ist die Vermeidung überflüssiger Lagerhaltungs- und Logistikprozesse mit dem Ziel eines „schlanken“ und gleichmäßigen Materialflusses durch den Fertigungsprozess.

Die RZ-Industrie hat bereits ihre Lehren aus den Erfahrungen gezogen, die man in anderen Branchen gewonnen hat – zum Beispiel mit Standardisierung und Modularität. Weil der wichtigste Rohstoff für den RZ-Betrieb – Strom – immer knapper und teuer wird, sind Technologien und Strategien für die Einsparung von Energie jetzt in den Mittelpunkt des Interesses der Branche und der Betreiber gerückt.

Die Kühlung als einer der größten Energieverbraucher in Rechenzentren ist der aussichtsreichste Kandidat für die Anwendung des Prinzips: „Nur benutzen, was man braucht, wo man es braucht und wann man es braucht – und dabei *sehr* sparsam sein“.

- Kapazitätsmanagementsystem, um die Kapazität an den Bedarf anzupassen und blockierte Kapazitäten zu identifizieren
- Rackblenden, um die Vermischung warmer und kalter Luftströme im Rack zu verhindern

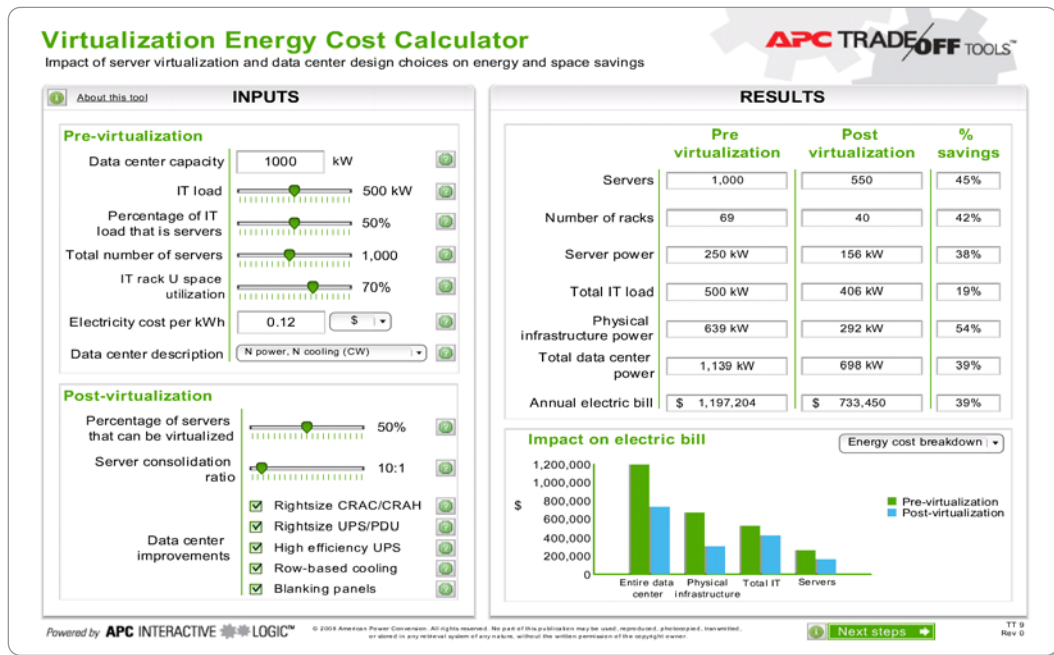
Die Minimierung der aufgewendeten Energie, um eine Arbeit zu verrichten – d. h. ein effizienter Betrieb – erfordert die zielgerichtete Bereitstellung von Ressourcen im richtigen Umfang, zur richtigen Zeit und am richtigen Ort (siehe Kasten). Die gleichen Prinzipien gelten für das Design von Geräten und Architekturen, welche die *funktionalen* Anforderungen der Virtualisierung erfüllen, wie in der ersten Hälfte dieses Dokuments dargelegt. Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur kann daher durch den Einsatz der zuvor beschriebenen Lösungen zuverlässig optimiert werden: reihenbasierte Kühlung, skalierbare Stromversorgung und Kühlung sowie Kapazitätsmanagement-Tools.

## Das APC TradeOff Tool™ für die Kalkulation der Einsparungen durch Virtualisierung

Abbildung 16 zeigt das APC TradeOff Tool™. Dieses interaktive Werkzeug berechnet die erzielbaren Einsparungen durch die Virtualisierung von Servern in einem Rechenzentrum in Hinsicht auf die IT, physikalische Infrastruktur und Energieverbrauch. Der Benutzer kann die Rechenzentrumskapazität, Last, Anzahl der Server, Energiekosten und andere Eckdaten seines Rechenzentrums in das Tool eingeben.

Abbildung 16: APC TradeOff Tool für die Kalkulation der Einsparungen durch Virtualisierung

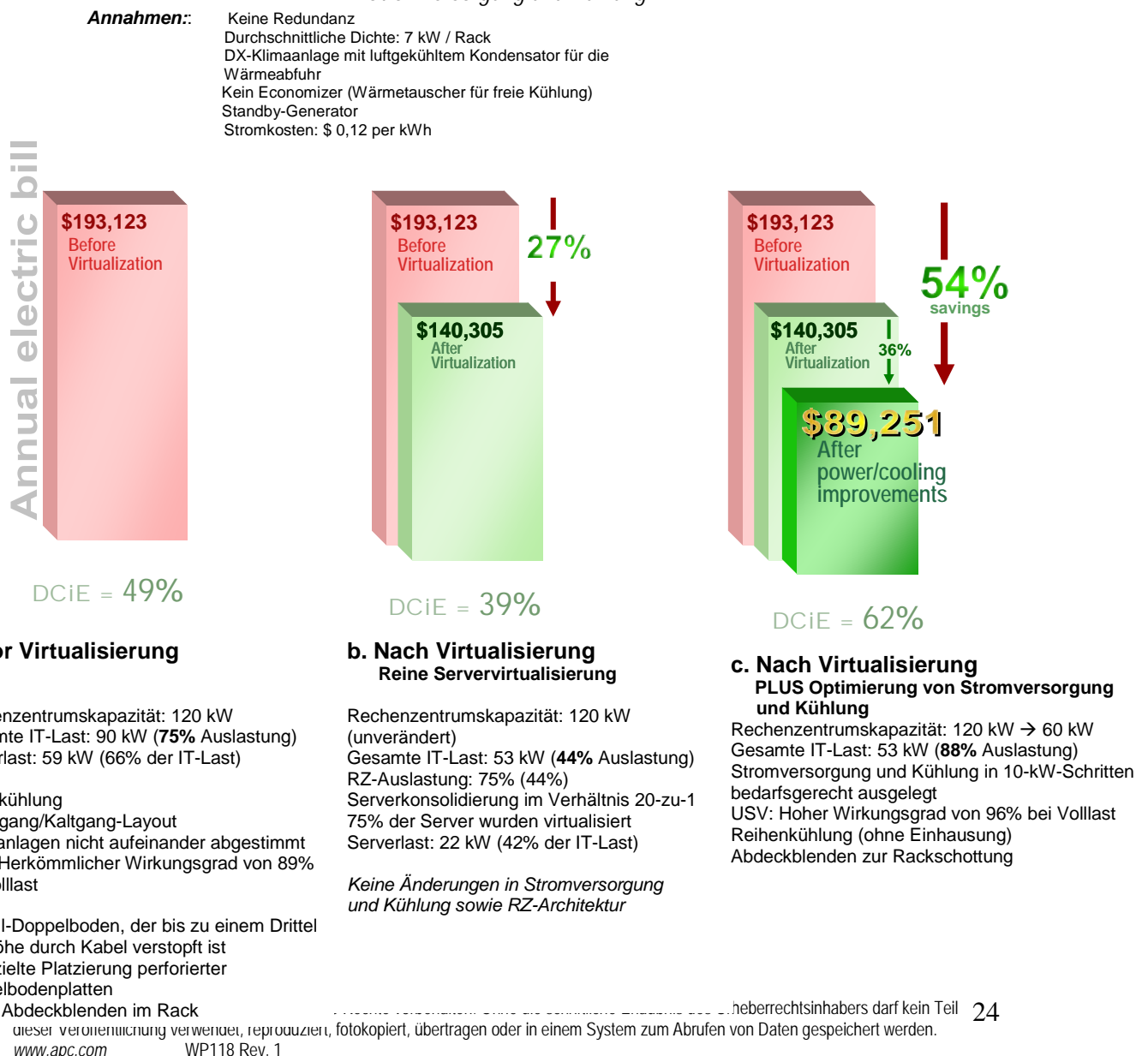
Diesen Screenshot können Sie als Link zur Online-Version des interaktiven Werkzeugs nutzen



## Fallstudie

Diese Fallstudie wurde mit dem APC TradeOff Tool™ *Virtualization Energy Cost Calculator* (Abbildung 16, oben) durchgeführt. Für das hypothetische Rechenzentrum wurde eine Auslastung der Kapazitäten von 75 Prozent, eine nicht redundant ausgelegte Stromversorgung und Kühlung (Abbildung 17a) und Stromkosten in Höhe von 193.123 US-Dollar angenommen. Durch die reduzierte Last nach der Virtualisierung ist ein 53-kW-Rechenzentrum entstanden, dessen Kapazität um 126 Prozent überdimensioniert ist (Kapazität von 120 kW) (Abbildung 17b). In Folge der Überdimensionierung ist die Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur nicht mehr ausgelastet, wodurch die Infrastruktureffizienz (DCiE von 39 Prozent) wie bereits erwähnt durch die konstanten Verluste abnimmt. Die Gesamtstromkosten können nur im Verhältnis 1,4 zu 1 reduziert werden (27 Prozent), wenn keine Verbesserungen an der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur vorgenommen werden.

**Abbildung 17:** Fallstudie für die Einsparung durch Virtualisierung mit und ohne Verbesserungen an Stromversorgung und Kühlung



Durch Verbesserungen an der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur können die Stromkosten im Verhältnis 2 zu 1 und mehr reduziert werden (54 Prozent) und der DCiE-Wert auf 62 Prozent gesteigert werden (**Abbildung 17c**).

## Verfügbarkeitsaspekte

Erhöhte Leistungsdichte und veränderliche Lasten nach einer Virtualisierung können ohne eine Neubewertung von Stromversorgung und Kühlung zu Sicherheitslücken führen, die bei *jeder* Erhöhung der Leistungsdichte auftreten. Das führt in Kombination mit der erhöhten Bedeutung des einzelnen Servergeräts (und mehr Applikationen, die pro Server unterstützt werden) zu erhöhten Anforderungen, wenn man eine effektive Anpassung von Stromversorgung und Kühlung an den neuen Bedarf erreichen will.

In der ersten Hälfte dieses Dokuments haben wir die drei größten Herausforderungen der Virtualisierung an die physikalische Infrastruktur beschrieben: dynamische und wandernde High Density-Lasten, schlecht ausgelastete Stromversorgungs- und Kühlinfrastrukturen und die Bedeutung eines Managements der dynamischen Wechselwirkungen bei der bedarfsgerechten Bereitstellung von Kapazitäten. Diese Herausforderungen haben außerdem Auswirkungen auf die Verfügbarkeit.

Eine Analyse der empfohlenen Lösungen zeigt, dass sie neben ihrer Effizienz- und Management-Vorteile auch Verfügbarkeitsprobleme lösen, die durch die erhöhte Komplexität und Dynamik einer virtualisierten Umgebung bedingt sind (**Tabelle 1**).

### Folgen eines reduzierten Energieverbrauchs auf Energieversorgungs- und Serviceverträge

Eine abrupte Reduzierung des Stromverbrauchs kann unerwartete Folgen auf Energieversorgungs- und Serviceverträge haben. Diese Verträge müssen möglicherweise überprüft und neu verhandelt werden, damit erzielte Einsparungen nicht dem Energieversorger, Gebäudebesitzer oder Serviceprovider zu Gunsten kommen.

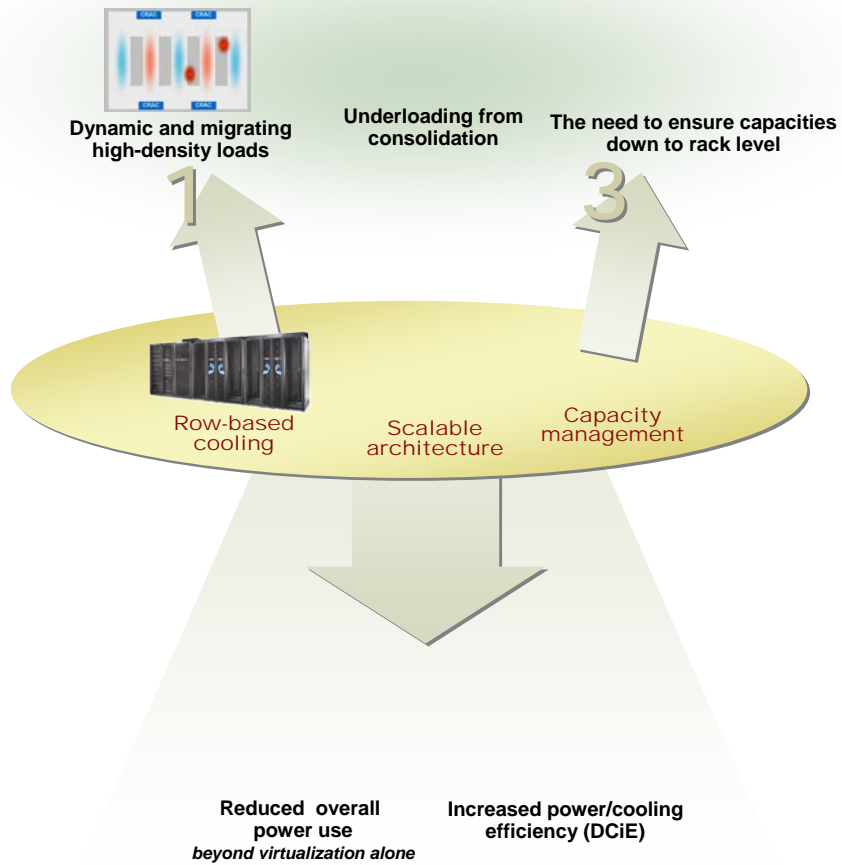
- **Energieversorgungsverträge:** Verträge mit Energieversorgern können Strafklauseln für den Fall enthalten, dass der Gesamtstromverbrauch des Kunden unter eine festgelegte monatliche Untergrenze fällt.
- **Energieklauseln in Gebäudenutzungsverträgen:** In manchen dieser Verträge sind die Stromkosten in Form eines Pauschbetrags enthalten, der sich meist aus den Kosten pro Quadratmeter errechnet. Ein derartiger Vertrag muss möglicherweise neu verhandelt werden, weil der Kostenvorteil durch Virtualisierung sonst dem Gebäudebesitzer zufällt.
- **Geräteserviceverträge:** Serviceverträge sollten überprüft werden, um ungenutzte Stromversorgungs- und Kühlgeräte davon auszunehmen, damit keine Serviceleistungen für Geräte bezahlt werden, die durch Kapazitätenverkleinerung nicht mehr in Betrieb sind.

Tabelle 1 – Lösung von Verfügbarkeitsproblemen durch eine optimierte Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur

Verfügbarkeitsrisiko	Ursache	Lösung
<b>Menschliche Fehler</b>	Menschliche Fehler sind schon immer eine wichtige Ursache für Ausfälle in Rechenzentren gewesen. Durch mehr Komplexität und Änderungen – einschließlich unsichtbarer Änderungen – wächst die Gefahr für menschliche Irrtümer und Versehen.	Die in diesem Dokument beschriebenen Systeme – z. B. Kühlsysteme, die gezielt auf Wärmestatus ausgerichtet werden können, Messinstrumente und Kapazitätsmanagement auf Rackebene – reduzieren durch automatische Regelung die Notwendigkeit von Interpretation und Eingriffen durch den Bediener.
<b>Unberechenbare Kühlung</b>	Die übliche raumbasierte Kühlung ist für die dynamischen High Density-Lasten einer virtualisierten Umgebung nicht flexibel genug.	Bei reihenbasierten, gemanagten Systemen wird die Kühlleistung zielgerichtet und in der Intensität bedarfsgerecht bereitgestellt. Lastbedingungen, die die lokale Kühlkapazität zu überschreiten drohen, werden von dem Kapazitätsmanagementsystem proaktiv erkannt, sodass entsprechende Maßnahmen ergriffen werden können.
<b>Verlust der Kühlredundanz</b>	Dynamische Lasten können den Kühlbedarf punktuell so stark erhöhen, dass die Kapazität nicht ausreicht, um geplante oder ungeplante Ausfälle von Kühlsystemen abzudecken.	Reihenbasierte Kühlsysteme können installiert werden, um die gewünschte Redundanz für diese Reihe zu gewährleisten. Das Kapazitätsmanagementsystem kann vor unzureichender oder verllorener Redundanz durch Laständerungen warnen.
<b>Überlastete Schaltkreise</b>	Durch häufigere Änderungen des Leistungsbedarfs – aufgrund der Rekonfiguration physischer Server oder der Migration zu virtuellen Servern – entsteht ein erhöhtes Risiko für eine Schaltkreisauslastung bis zu der Obergrenze, an der der Leistungsschalter auslöst.	Das Kapazitätsmanagementsystem kann vor Lastschwankungen warnen, <i>bevor</i> ein Verfügbarkeitsrisiko entsteht.

## Fazit

Die Virtualisierung ist ein unbestritten ein großer Fortschritt in der Entwicklung der Rechenzentrumstechnologien – sie ermöglicht Energieeinsparungen, die Erhöhung des Durchsatzes in der Datenverarbeitung, eine sparsamere Stellflächennutzung, die Migration der Last und unterstützt Anwendungen zur Wiederherstellung im Katastrophenfall. Weniger bekannt ist die Tatsache, wie stark der geschäftliche Nutzen der Virtualisierung durch eine Optimierung der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur in Anpassung an die neue, schlankere IT-Umgebung gesteigert werden kann. Neben den gesteigerten Einsparungseffekt bieten diese modernen Stromversorgungs- und Kühllösungen den Vorteil, dass damit verschiedene funktionale Probleme und Verfügbarkeitsrisiken lösbar sind, die durch Virtualisierung entstehen. **Abbildung 18** fasst die in diesem Dokument beschriebenen Folgen einer Optimierung der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur noch einmal zusammen – sowohl in Hinsicht auf die technischen Herausforderungen der Virtualisierung als auch die allgemeinen Effizienzvorteile.



Rechenzentrumsinfrastruktureffizienz (DCIE) nach einer Virtualisierung in der Regel aufgrund der Ineffizienz nicht ausgelasteter Stromversorgungs- und Kühlsysteme sinkt. Dieser Effizienzabfall bietet gleichzeitig einen Spielraum zur Verbesserung der Stromversorgungs- und Kühlsysteme – er ist im Grunde genommen sogar ein Maß für das Potenzial einer weiteren Erhöhung des Nutzens (pro Dollar Energiekosten).

Bei einem Virtualisierungsprojekt wird durch die parallele Modernisierung der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur sowohl die Architektur als auch der Betrieb in verschiedener Hinsicht optimiert: die Gewährleistung der Verfügbarkeit, das Management, die Reduzierung des Stromverbrauchs und Erhöhung der Effizienz. Eine bedarfsgerecht ausgelegte physikalische Infrastruktur bietet nicht nur Lösungen für die besonderen Anforderung der Virtualisierung, sondern kann auch die Fähigkeit zur Unterstützung hoher Leistungsdichte und die Erhöhung der Rechenzentrumseffizienz beträchtlich über das vor der Virtualisierung erreichbare Maß hinaus erhöhen.

### Zwei neue Begriffe in der Diskussion über die Effizienz von Rechenzentren

**Konstante Verluste:** Ein bisher „unsichtbarer“ Kostenfaktor erhält wegen des verstärkten Interesses an Energieeffizienz größere Beachtung. Ein Teil der von der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur verbrauchten Energie bleibt konstant, egal wie stark die IT-Last reduziert wird. Durch die Optimierung von Stromversorgung und Kühlung werden die konstanten Verluste reduziert und die durch Virtualisierung möglichen Einsparungen stark erhöht.

**Der Energieverbrauch kann gesenkt werden, aber die Effizienz der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur (DCIE) sinkt:** Obwohl der Energieverbrauch durch Virtualisierung insgesamt reduziert werden kann, fällt die Effizienz der Stromversorgungs- und Kühlinfrastruktur durch schlechte Auslastung (und die Auswirkungen der konstanten Verluste) in der Regel ab. Siehe **Abbildungen 6** und **15** für einen schnellen Überblick über diesen scheinbaren Widerspruch.

## Über den Autor

**Suzanne Niles** ist ein Senior Research Analyst am APC Data Center Science Center. Sie studierte Mathematik am Wellesley College und erwarb danach einen Bachelor-Abschluss in Informatik des MIT mit einer Abschlussarbeit über Handschriftenerkennung. Sie kann auf eine Lehrtätigkeit von über 30 Jahren für verschiedene Zielgruppen zurückblicken, in der sie eine Bandbreite von Medien eingesetzt hat, die von Softwarehandbüchern über Fotografie bis zu Kinderliedern reicht.

# Anhang

## Quelldaten für die Fallstudie in Abbildung 17

Die Berechnungen für diese Fallstudie wurden mit dem APC TradeOff Tool™ „Virtualization Energy Cost Calculator“ durchgeführt

### Modellannahmen

#### Allgemeine Annahmen

- Warmgang-/Kaltgang-Layout
- Kein Economizer (Wärmetauscher für freie Kühlung)
- Standby-Generator



Hier klicken, um zur Online-Version dieses interaktiven Tools zu gelangen

#### Annahmen bei nicht optimierter Kühlung

- Falls „Reihenbasierte Kühlung“ und „bedarfsgerecht dimensionierte Klimaanlage“ nicht angekreuzt:
  - Klassische raumbasierte Kühlung mit nicht aufeinander abgestimmten Klimaanlagen
  - Keine abgedeckte Decke für ein Warmluftplenum
  - Ein 18-Zoll-Doppelboden, der zu einem Drittel der Höhe durch Kabel verstopft ist
  - Zufällige Anordnung perforierter Doppelbodenplatten

#### Annahmen bei nicht optimierter Stromversorgung

- Falls „Hocheffizientes USV-System“ und „bedarfsgerecht dimensionierte USV/Stromverteiler“ nicht angekreuzt:
  - Herkömmliche USV, nicht skalierbar, Effizienz von 89 Prozent bei Vollast

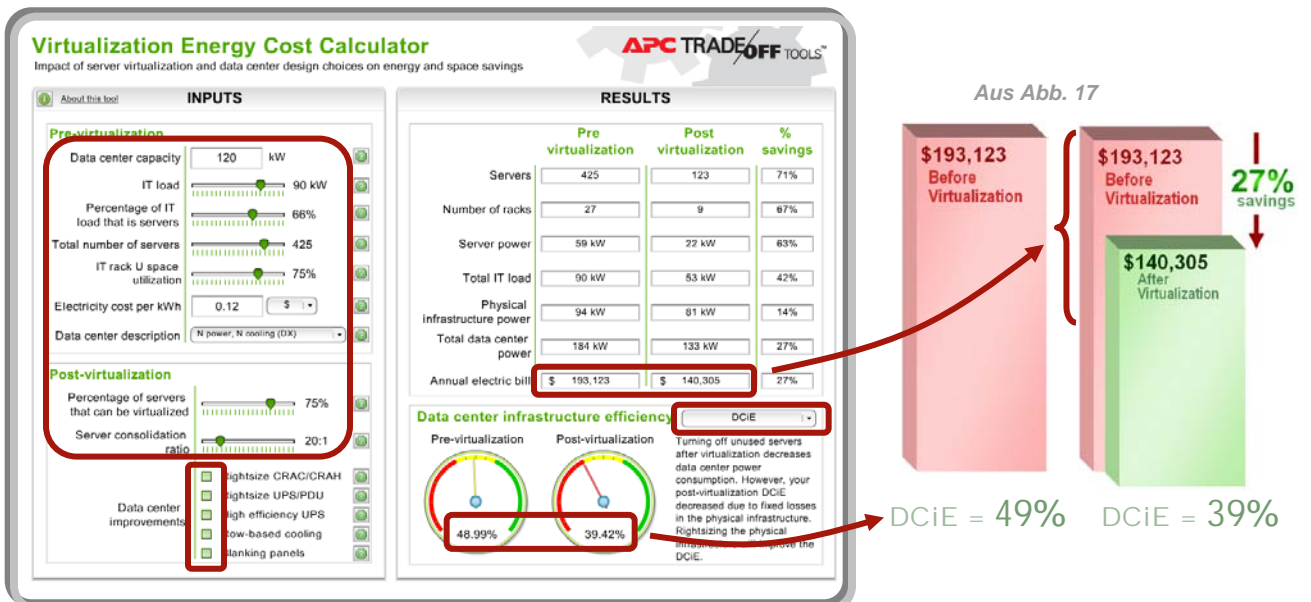
### Angenommene Benutzereingaben für die Fallstudie

#### Allgemein

Stromkosten: \$ 0.12/kWh = 0,099 €/kWh

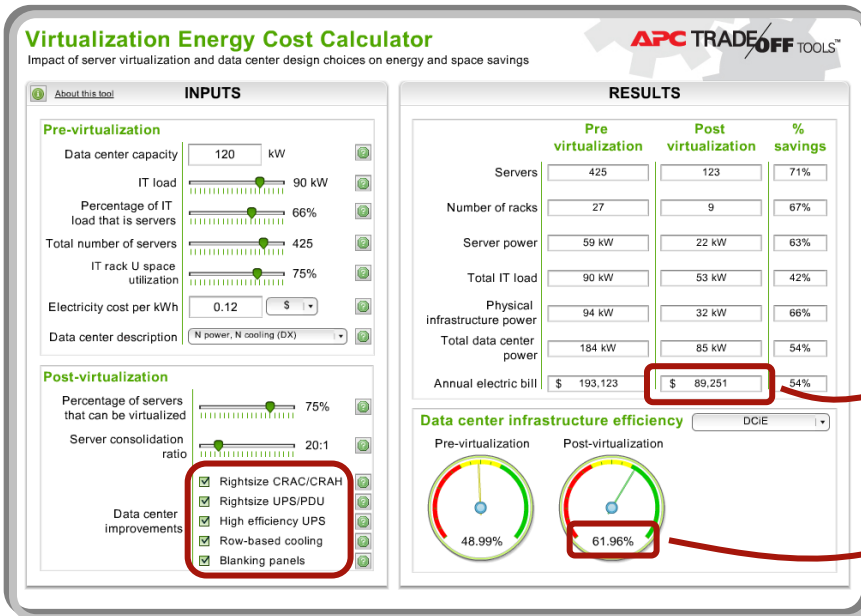
#### Nur Servervirtualisierung – ohne Verbesserungen an Stromversorgung und Kühlung

- Rechenzentrumskapazität: 120 kW
- IT-Last: 90 kW
- Prozentualer Anteil der IT-Last durch Server: 66%
- Gesamte Anzahl der Server: 425
- Stellflächenauslastung im Rack: 75%
- Keine Redundanz (N Stromversorgung, N Kühlung)
- Luftgekühlte Kondensatoren für die Wärmeabfuhr – Direktexpansion (DX)
- Prozentualer Anteil der virtualisierten Server: 75%
- Verhältnis der Serverkonsolidierung: 20:1
- Rechenzentrumsoptimierungen (Stromversorgung und Kühlung): **Keine** (keine Möglichkeit angekreuzt)



## Servervirtualisierung PLUS Optimierung von Stromversorgungs- und Kühlsystemen (alle Möglichkeiten angekreuzt)

- Bedarfsgerechte Kühlung
- Bedarfsgerechte Stromversorgung
- Hocheffiziente USV
- Reihenbasierte Kühlung
- Rackabdeckblenden



Aus Abb. 17



# APC Whitepaper zu ähnlichen Themen



130 [Die Vorteile von reihen- und rackbasierten Kühlarchitekturen für Datencenter](#)



150 [Power and Cooling Capacity Management for Data Centers](#)



126 [Eine verbesserte Architektur für hocheffiziente Datencenter mit hoher Packungsdichte](#)



134 [Deploying High-Density Zones in a Low-Density Data Center](#)



154 [Electrical Efficiency Measurement for Data Centers](#)



113 [Elektrisches Wirkungsgradmodell von Datencentern](#)



114 [Die Umsetzung energiesparender Datencenter](#)



37 [Avoiding Costs From Oversizing Data Center and Network Room Infrastructure](#)



43 [Dynamic Power Variations in Data Centers and Network Rooms](#)