

Richtlinien für die Spezifikation der Leistungsdichte in Datacentern

Technische Dokumentation 120

Version 1

Neil Rasmussen

> Zusammenfassung

Herkömmliche Methoden zur Spezifikation der Leistungsdichte in Datacentern liefern oft mehrdeutige oder sogar irreführende Ergebnisse. Die Darstellung der Dichte in Watt/m² reicht nicht aus, um die Kompatibilität der Stromversorgung und Kühlung mit Computerlasten hoher Dichte, wie etwa Blade-Servern, zu bestimmen. Bis heute hat sich kein standardisiertes Verfahren zur Spezifikation von Datacentern durchgesetzt, mit dem sich das Leistungsverhalten bei Lasten hoher Dichte voraussagen lässt. Eine geeignete Spezifikation für die Datacenterdichte muss die Kompatibilität mit geplanten Lasten hoher Dichte sicherstellen, eindeutige Vorgaben für die Konzeption und Installation der Stromversorgungs- und Kühleinrichtungen liefern, Überdimensionierung verhindern und den elektrischen Wirkungsgrad maximieren. In dieser technischen Dokumentation wird die theoretische und praktische Anwendung einer verbesserten Methode zur Spezifikation der Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur in Datacentern beschrieben.

Inhalt

Hier klicken, um zu dem Abschnitt zu gelangen

Einführung	2
Die verschiedenen Methoden der Dichtespezifikation	2
Nutzungsstrategie	8
Das Modell	14
Ergebnisse	20
Ressourcen	21
Anhang	22

Einführung

Die Spezifikation der im laufenden Betrieb erreichten Leistungsdichte für Datacenter und Netzwerkräume stellt für IT-Profis eine immer größer werdende Herausforderung dar. Die Spezifikation mit herkömmlichen Dichtewerten im Bereich von 430 bis 860 Watt/m² bedeutet letztendlich, dass IT-Komponenten der neuesten Generation nicht mehr zuverlässig zu installieren sind. Setzt man eine Leistungsdichte von 6.500 bis 11.000 Watt/m² an, die von IT-Komponenten der neuesten Generation während des Betriebs erreicht wird, entsteht ein Datacenter, das sich in Bezug auf Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf bereits den Leistungsgrenzen der entsprechenden Systeme nähert. Gleichzeitig sind mit einem solchen Datacenter außergewöhnliche Investitionskosten und ein niedriger elektrischer Wirkungsgrad verbunden.

Das Problem bei der Planung der Leistungsdichte wird zusätzlich dadurch verschärft, dass ein Datacenter während seiner Lebensdauer verschiedene Aktualisierungsphasen durchlaufen muss, wobei die Merkmale der zu installierenden IT-Komponenten natürlich kaum bekannt sind.

Die bisher übliche Methode der Spezifikation in Watt/m² ermöglicht nur sehr vage Antworten auf die kritischen Fragen, denen sich die Betreiber von Datacentern heute gegenübersehen. Vor allem die Hauptfrage bleibt unbeantwortet: „Was geschieht, wenn ein Rack eingerichtet wird, das die Dichtespezifikation überschreitet?“ Diese Frage ist von höchster praktischer Relevanz, denn im typischen Datacenter von heute gilt eine Nennleistungsdichte von 1,5 kW pro Rack, während typische IT-Komponenten eine weitaus höhere Leistungsdichte im Bereich von 3 bis 20 kW pro Rack aufweisen.

Das bedeutet, dass eine neue und umfassendere Methode zur Spezifikation der Leistungsdichte in Datacentern benötigt wird. Eine solche Methode muss die folgenden Faktoren berücksichtigen:

- Die Kompatibilität mit IT-Komponenten hoher Dichte muss sichergestellt sein.
- Die Vergeudung von elektrischer Energie, Platz und Kapital muss weitgehend ausgeschlossen sein.
- Als Resultat muss ein Instrument vorliegen, das auf Basis der IT-Planung die Konzeption und
- Dimensionierung von Stromversorgung und Kühlung zulässt.

Schwerpunkt dieser technischen Dokumentation ist eine verbesserte Methode zur Spezifikation der Leistungsdichte. Die Implementierung von Stromversorgung, Kühlung, Racks und Management in Anwendungen mit hoher Dichte wird in verschiedenen APC Technische Dokumentation beschrieben, unter anderem im APC Technische Dokumentation 46, *Kühlungsstrategien für Ultra-Hochdichte Racks und Blade Server Anwendungen*.

In der Literatur wird der Begriff der Leistungsdichte sehr uneinheitlich verwendet, wodurch sich die herrschende Verwirrung unter den Anwendern erklärt. Zum besseren Verständnis der verschiedenen Definitionen soll hier ein hypothetisches Datacenter mit einem Gesamtleistungsbedarf von 500 kW betrachtet werden:

 Ressourcen
APC Technische
Dokumentation 46
*Kühlungsstrategien für
Ultra-Hochdichte Racks und
Blade Server Anwendungen*

Die verschiedenen Methoden der Dichtespezifikation

Tabelle 1

*Hypothetical 500 kW
data center*

Parameter für ein Datacenter mit 500 kW	Englisch	Metrisch
Gesamt-Leistungsaufnahme der IT-Komponenten	500.000 Watt	
Gesamt-Platzbedarf der IT-Komponenten	2.800 ft ²	Gesamt-Platzbedarf der IT-Komponenten
Zusatzfläche für Kühlanlagen, Schaltanlagen usw.	1.400 ft ²	Zusatzfläche für Kühlanlagen, Schaltanlagen usw.
Gesamt-Grundfläche des Datacenters	4.200 ft ²	Gesamt-Grundfläche des Datacenters
Stellfläche pro IT-Rack	6,7 ft ²	Stellfläche pro IT-Rack
Anzahl der Racks	100	

Tabelle 2

Unterschiedliche Definitionen für die Leistungsdichte bei Anwendung auf dasselbe Datacenter liefern unterschiedliche Werte center

Definition der Dichte	Berechnung	Dichte	Anmerkungen
Leistungsaufnahme der IT-Komponenten dividiert durch die Fläche, die von allen IT-Racks belegt wird	500.000 Watt / (6,7 ft ² x 100 Racks) 500.000 Watt / (0,622 m ² x 100 Racks)	746 W/ft ² 8039 W/m ²	Bei dieser Methode wird nur die Fläche berücksichtigt, die vom Rack belegt wird, nicht jedoch die für den Zugang benötigten umgebenden Flächen sowie der Platz für andere Komponenten der physikalischen Infrastruktur für hochverfügbare Netzwerke. Diese Methode liefert weit höhere Dichtewerte als andere Methoden. Sie wird hauptsächlich von Geräteherstellern verwendet.
Leistungsaufnahme der IT-Komponenten dividiert durch die Fläche, die von allen IT-Racks belegt wird, einschließlich der jeweiligen Abstandsflächen	500.000 Watt / 2.800 ft ² 500.000 Watt / 260 m ²	179 W/ft ² 1923 W/m ²	Diese Definition ist in der Literatur am häufigsten zu finden. Typischerweise wird eine Fläche von 28 ft ² (2,6 m ²) pro Rack angesetzt. Es handelt sich um eine brauchbare Methode zur Bestimmung der Anforderungen an Stromversorgungs- und Kühlungsverteilung. Häufig vom IT-Personal verwendet.
Leistungsaufnahme der IT-Komponenten dividiert durch die gesamte Grundfläche des Datacenters	500.000 Watt / 4.200 ft ² 500.000 Watt / 390 m ²	119 W/ft ² 1282 W/m ²	Zur gesamten Grundfläche des Datacenters zählen die Stellflächen der IT-Komponenten sowie die Flächen der Räume für Stromversorgungs- und Kühltechnik. Diese Methode eignet sich gut zur Planung des gesamten Grundflächenbedarfs, da hierbei auch die Zusatzflächen berücksichtigt sind, die gerade bei Installationen mit hoher Dichte erheblichen Platz beanspruchen können. Häufig in der Gebäudeplanung verwendet.
Gesamt-Leistungsaufnahme der IT-Komponenten sowie der Stromversorgungs- und Kühlanlagen dividiert durch die gesamte Grundfläche des Datacenters	(500.000 Watt + 295.000 Watt) / 4.200 ft ² (500.000 Watt + 295.000 Watts) / 390 m ²	189 W/ft ² 2038 W/m ²	Diese Definition wird häufig für die Planung von Gebäuden und Versorgungseinrichtungen verwendet, weil sowohl die gesamte Grundfläche des Datacenters als auch der gesamte Bedarf an Netzstromversorgung berücksichtigt sind. Für die Kühlanlagen wird eine Leistungsaufnahme von 265 kW (mit Wirkungsgradverlusten) angesetzt, für Wirkungsgradverluste des Stromversorgungssystems werden weitere 30 kW angesetzt.
Leistungsaufnahme pro Rack	500.000 Watt / 100 Racks	5 kW pro Rack	Bei dieser Definition wird rein auf Rack-Basis gerechnet. Dadurch lässt sich bei der Bestimmung der Leistungsdichte ein großer Teil der Ergebnisschwankungen eliminieren.

Sämtliche in **Tabelle 2** zusammengestellten Definitionen für die Dichte sind in der veröffentlichten Literatur und in technischen Datenblättern zu finden. Die vier Definitionen, bei denen mit W/m^2 (W/ft^2) gerechnet wird, liefern nur dann eindeutige Ergebnisse, wenn feststeht, wie sich die verwendeten Flächen- und Leistungswerte zusammensetzen. Bei den meisten veröffentlichten Dichteberechnungen wird man diese Angaben vergeblich suchen. Dies hat in der Branche zu erheblicher Begriffsunsicherheit geführt, so dass es bei der Kommunikation zwischen IT-Profis und Anlagenplanern regelmäßig zu Kommunikationsschwierigkeiten kommt. Die Daten in **Tabelle 2** zeigen ganz deutlich, dass die **Dichtespezifikationen für ein- und dieselbe Einrichtung je nach zugrunde liegender Dichtedefinition um den Faktor 8 voneinander abweichen können.**

Die Aussage über die Dichte, die am wenigsten Unsicherheiten birgt, ist die Angabe der Leistungsaufnahme pro Rack. Diese Größe bildet eine ganz eindeutige Vorgabe für den Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf eines Racks. (Bei IT-Komponenten kann die elektrische Leistungsaufnahme in Watt mit der erforderlichen Kühlleistung in Watt gleichgesetzt werden.) Diese technische Dokumentation (White paper) soll deutlich machen, dass die Betrachtung der Leistungsaufnahme pro Rack bei der Spezifikation der Datacenterdichte einen weiteren großen Vorteil bietet, nämlich den, dass es sich hierbei um die geeignetste Methode zur Darstellung der Dichteschwankungen innerhalb eines Datacenters handelt.

In einem realen Datacenter ist die Leistungsdichte nicht homogen. Einige Racks nehmen mehr elektrische Leistung auf als andere und erzeugen dementsprechend mehr Wärme. Gleichzeitig nehmen Racks, in denen ausschließlich Patchfelder untergebracht sind, gar keine elektrische Leistung auf. Racks, die mit Blade-Servern bestückt sind, nehmen 20 kW und mehr auf. Ein flankierendes Problem dieser Konstellation ist die Notwendigkeit, die IT-Komponenten ständig zu aktualisieren, was wiederum bedeutet, dass die Leistungsaufnahme eines bestimmten Racks über die Zeit hinweg nicht konstant bleibt. In konventionellen Spezifikationen der Dichte werden diese Leistungsschwankungen nicht in vollem Umfang berücksichtigt. Im Laufe der Zeit werden solche Spezifikationen deshalb immer unzuverlässiger.

Grenzen konventioneller Methoden der Dichtespezifikation

Die beiden folgenden Beispiele illustrieren, wo die Mängel konventioneller Dichtespezifikationen liegen.

Im ersten Beispiel wird der Fall eines Datacenters betrachtet, das für $538 W/m^2$ ($50 W/ft^2$) spezifiziert ist. Berechnet man die Dichte aus dem Quotienten von gesamter IT-Last und der Summe von Rack- und Abstandsflächen, ergibt sich eine Leistung von 1400 W pro Rack ($50 W/ft^2 \times 28 ft^2/Rack$). Ein Datacenter, das für eine maximale Stromversorgungsleistung von 1400 W und eine maximale Kühlleistung von 1400 W pro Rack ausgelegt ist, erfüllt diese Anforderung. Allerdings gibt es viele Typen von IT-Komponenten, wie etwa Blade-Server, die den Wert von 1400 W pro Rack überschreiten. In einem Datacenter, in dem die strikte Begrenzung auf 1400 W pro Rack gilt, kann demnach **keine** einzige Komponente dieses Typs installiert werden. Das Ergebnis: Das Datacenter ist mit vielen Typen von IT-Komponenten nicht kompatibel. Gleichzeitig gilt Folgendes: Wenn Lasten mit geringerem Leistungsbedarf in ein Rack eingebaut werden, etwa Patchfelder, dann steht die ungenutzte Leistung nicht in anderen Racks zur Verfügung, denn der Grenzwert von 1400 W für Stromversorgung und Kühlung gilt für alle Racks. Als Endergebnis ist ein ineffektives Datacenter entstanden, das mit vielen Arten von IT-Komponenten gar nicht kompatibel ist und das darüber hinaus keine Möglichkeit zur effizienten Nutzung des verfügbaren Rack-Platzes, der installierten Stromversorgungskapazität sowie der verfügbaren Kühlleistung bietet.

Im zweiten Beispiel wird die Datacenterdichte für jedes Rack individuell spezifiziert. Das heißt, dass für jeden einzelnen Rack-Standort die Leistung und die Kühlung exakt beziffert werden. Diese Spezifikation kann bei der Planung uneingeschränkt berücksichtigt werden, so

dass das Datacenter bereits im Voraus vollständig charakterisiert ist. Allerdings handelt es sich hierbei um eine idealisierte Situation. Leider lässt sich für die meisten realen Datacenter im Voraus keine exakte Leistungsspezifikation auf Rack-Ebene angeben. Grund dafür ist, dass die Last pro Rack nicht für die gesamte Lebensdauer der Installation vorhergesagt werden kann. Eine Diskrepanz zwischen der ursprünglichen Spezifikation auf Rack-Ebene und der tatsächlichen Dichte in der IT-Installation kann schwer wiegende Konsequenzen haben. Unter anderem gilt auch hier wieder, dass ungenutzte Rack-Leistung nicht den anderen Racks zur Verfügung steht, weil für jedes Rack ein bestimmter Grenzwert für die Stromversorgungs- und Kühlleistung gilt. Das Endergebnis ist ein ineffektives Datacenter, das genaue Informationen über zukünftige IT-Installationen verlangt, und diese Informationen sind in der Regel nicht vorhanden.

Diese beiden Beispiele zeigen häufig verwendete Methoden für die Spezifikation der Dichte in Datacentern. Sowohl für die Spezifikation mit Bezug zur Gesamtfläche als auch für die exakte Spezifikation auf Rack-Basis gelten erhebliche Einschränkungen bei der praktischen Umsetzung. Diese führen zu Umsetzungen, die den Erwartungen des Kunden nicht entsprechen. Ein verbesserter Ansatz zur Spezifikation muss sich durch ausreichende Flexibilität und durch Kompatibilität im Hinblick auf wechselnde IT-Lasten auszeichnen, gleichzeitig jedoch zu einem Maximum an elektrischem Wirkungsgrad führen und die best-mögliche Ausnutzung von Stromversorgung, Kühlung und Platz gewährleisten.

Anforderungen an die Dichtespezifikation

In den vorangegangenen Abschnitten konnten verschiedene Anforderungen herausgearbeitet werden, die eine verbesserte Methode der Spezifikation für Leistungsdichte erfüllen muss. Dies sind:

- **Kalkulierbarkeit:** Die Dichtespezifikation muss es ermöglichen, die Stromversorgungs- und Kühlkapazität an einem beliebigen Rack-Standort für sämtliche geplanten oder realisierten Installationen von IT-Komponenten zu bestimmen.
- **Toleranz gegenüber unvollständig spezifizierten zukünftigen Anforderungen:** Die Dichtespezifikation darf nicht voraussetzen, dass der exakte Leistungsbedarf für jeden Rack-Standort im Voraus bekannt ist. In der Praxis beträgt die Nutzungsdauer einer IT-Komponente nur einen Bruchteil der Lebensdauer des gesamten Datacenters. Der Austausch gegen eine leistungsfähigere oder andersartige Komponente ist ein Routinevorgang.
- **Pooling von Stromversorgungs- und Kühlleistung:** Ungenutzte Kapazität von Stromversorgung und Kühlung muss anderen Racks zur Verfügung stehen.
- **Minimale Verluste:** Elektrische Wirkungsgradverluste müssen auf ein Minimum reduziert werden. Die verfügbare Kapazität an Stromversorgung, Kühlung und Platz muss so gut wie möglich genutzt werden. Investitions- und Betriebskosten müssen ebenfalls minimiert werden.
- **Stufenweise Installation:** Die Dichtespezifikation muss eine Installation in verschiedenen Stufen zulassen. Dies gilt auch dann, wenn die einzelnen Stufen unterschiedliche Dichtewerte mit sich bringen oder wenn die exakten Daten für zukünftige Installationsstufen in frühen Projektphasen noch nicht bekannt sind.

Einige der genannten Anforderungen stehen in einem gewissen Konflikt zueinander. Dennoch entsteht daraus die Basis für die Entwicklung einer verbesserten Methode zur Dichtespezifikation in Datacentern.

Rahmenbedingungen in der Praxis

Eine praktikable Methode zur Spezifikation der Leistungsdichte muss die eingrenzenden Rahmenbedingungen berücksichtigen, die bei der praktischen Planung eines Datacenters ins Spiel kommen. Im Folgenden soll eine Reihe dieser einschränkenden Aspekte oder Optionen zusammen mit ihrem Einfluss auf die Dichtespezifikation untersucht werden:

- Erweiterte Stromverteilung:** Die Kosten und die Komplexität der Stromverteilung stehen in einem nichtlinearen Zusammenhang zur übertragenen elektrischen Leistung. Beispielsweise kostet eine drei-phasige 18-kW-Stromzuleitung nicht nur das Dreifache einer einphasigen 6-kW-Stromzuleitung. Es gibt verschiedene optimale Leistungskapazitäten für Netzspannungsverteilungen. Diese ergeben sich aus der Abstimmung der Sicherungsautomaten auf die Steckdosen und aus der Zuordnung der Sicherungsautomaten zu den verschiedenen abzusichernden Bereichen. Diese Aspekte und geeignete Verteilungsnetze sind in der APC technischen Technische Dokumentation 29, *Rack-Stromversorgungsoptionen für hohe Leistungsdichte*, beschrieben. Die Auslegung der Stromverteilung sollte sich an diesen optimalen Stromkreisgrößen orientieren. Dabei sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.
- Einschränkungen durch die Luftverteilung:** Die Verteilung der Kühlluft im Datacenter ist ein ganz wesentlicher limitierender Faktor für die Leistungsdichte der Racks. IT-Komponenten benötigen etwa 47 bis 76 Liter Luft pro Sekunde. In vielen Datacentern ist der Doppelboden bereits vorhanden, oder die Raumhöhe begrenzt die Höhe eines neu zu errichtenden Doppelbodens. Wenn der Boden in das Luftverteilungssystem integriert ist, gelten praktische Grenzen für das Luftvolumen, das dort zuverlässig bewegt werden kann. Damit sind auch die durchschnittliche und die maximale Leistungsdichte pro Rack begrenzt. In vielen bestehenden Installationen beträgt die tatsächlich erreichbare durchschnittliche Leistungsdichte ca. 5 kW pro Rack. Wenn höhere Werte erforderlich sind, müssen zusätzliche Klimatisierungs- und / oder Luftumwälzanlagen installiert werden. Oberhalb einer bestimmten kritischen Leistungsdichte kann es dadurch zu rapide steigenden Kosten kommen. Mit einer geeigneten Dichtespezifikation lässt sich diese Entwicklung rechtzeitig erkennen und verhindern, bevor ein tatsächliches Problem daraus entsteht.
- Gewicht:** In einigen Gebäuden ist die Flächenlast begrenzt. Dies gilt besonders dann, wenn ein Doppelboden vorhanden ist. IT-Komponenten, die eine besonders hohe Leistungsdichte erreichen, bedeuten in der Regel auch ein besonders hohes Rack-Gewicht. In einigen Fällen folgt daraus eine ganz praktische Limitierung für Installationen mit hoher Dichte. Die Konsequenz ist, dass eine Dichtespezifikation keine irrealen Leistungsdichte vorsehen darf, die mit der maximal zulässigen Flächenlast des Gebäudes nicht zu erreichen ist.
- Reservierte Flächen:** In vielen Datacentern sind bestimmte Flächen für Funktionen reserviert, die aus der Dichteberechnung ausgeschlossen werden müssen. Dazu gehören Stellflächen für Bandspeichermedien, Arbeitsbereiche für das Personal oder Bereiche mit besonderem Zugangsschutz. Die Konsequenz ist, dass diese Flächen nicht in das Modell einer Dichtespezifikation eingehen dürfen und ausgenommen werden müssen, wenn es darum geht, Funktionen zur Implementierung hoher Dichte zu verteilen.
- Möglichkeit zur flächenbezogenen Lastverteilung:** Die zunehmende Verbreitung von Glasfaserkabeln hat dazu geführt, dass heute die meisten IT-Komponenten innerhalb des Datacenters räumlich verteilt werden können. Die Anordnung der Komponenten mit der höchsten möglichen Dichte bringt in vielen Fällen keine Vorteile mehr und ist auch nicht notwendig. Blade-Server und 1 HE Server sind Beispiele für IT-Komponenten mit hoher Dichte, die problemlos auf verschiedene Racks verteilt werden können, um die Dichte zu senken. Zunächst scheint die möglichst enge Bestückung von Racks mit Blade-Servern oder 1-HE-Servern die Raumausnutzung zu verbessern. In vielen Fällen ergibt sich allerdings kein wirklicher Vorteil, und die Zusatzkosten für Stromversorgung und Kühlung eines Racks mit hoher Dichte übersteigen die Kosten für zusätzliche Racks in der Regel bei weitem. Die Konsequenz ist, dass ein Dichtemodell



Ressourcen
APC Technische
Dokumentation 29

*Rack-Stromversorgungsoptionen
für hohe Leistungsdichte*

keine Dichtewerte liefern darf, die rein auf der möglichen Geräteleistung basieren. Vielmehr muss die Möglichkeit der flächenbezogenen Verteilung von Lasten berücksichtigt werden, um die Kosten und die Verfügbarkeit des gesamten Systems zu optimieren.

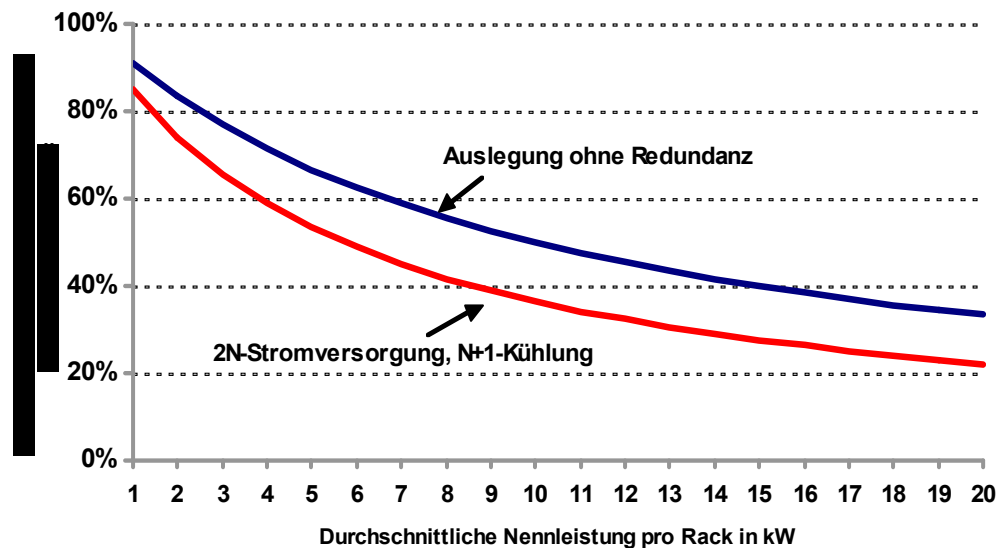
- Räumliche Begrenzungen an einem bestimmten Standort:** Der physische Platz, der an einem bestimmten Standort verfügbar ist, beeinflusst ganz wesentlich das Kosten-Nutzen-Potenzial einer Installation mit hoher Dichte. In vielen bestehenden Einrichtungen, die ursprünglich für niedrige Dichte geplant wurden, scheint eine Erhöhung der Dichte die Lösung für Platzprobleme zu sein. Allerdings ist der Nutzen einer Komprimierung der IT-Fläche nicht allzu groß. Andererseits gibt es Einrichtungen, in denen der begrenzte physische Platz eine sehr grundlegende Einschränkung darstellt, weil zusätzliche Fläche extrem teuer ist oder überhaupt nicht zur Verfügung steht. Die Konsequenz ist, dass bei der Dichtespezifikation berücksichtigt werden muss, welchen finanziellen oder ökonomischen Wert Raum und Fläche darstellen und wie schwer sich räumliche Begrenzungen überwinden lassen.

Platzverlust durch Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur

Die Infrastruktur für Stromversorgung und Kühlung belegt Fläche, die andernfalls mit IT-Komponenten belegt werden könnte. Gelegentlich werden Stromversorgungs- und Kühlanlagen auch in einem benachbarten Raum untergebracht. Dennoch handelt es sich um real benötigten Platz, der in die Berechnung der erreichbaren Dichte als Verlust eingeht. Der für Stromversorgung und Kühlung benötigte Platz lässt sich als äquivalente Racks darstellen. Gleichzeitig vergrößert sich dieser Platz mit zunehmender Stromversorgungs- und Kühlungs-kapazität. **Abbildung 1** zeigt diesen Zusammenhang.

Abbildung 1

Einfluss der Spezifikation der durchschnittlichen Rack-Dichte auf den Anteil für Racks verfügbaren Platz



Hinweis: Der Kurvenverlauf in dieser Abbildung ergibt sich aus Formeln, die im

Es ist deutlich zu sehen, dass immer weniger Platz für IT-Komponenten zur Verfügung steht, je höher die spezifizierte durchschnittliche Leistung pro IT-Rack (Leistungsdichte) ist. Auf der horizontalen Achse ist die durchschnittliche Leistung pro Rack im Raum dargestellt. An der vertikalen Achse kann abgelesen werden, welcher Anteil der verfügbaren Rack-Standorte im Raum durch Anlagen für Stromversorgung und Kühlung verloren geht. Hierzu gehören USVen, Stromverteilungseinheiten und Klimaanlage für Computerräume.

Die untere Kurve in **Abbildung 1** gilt für ein System mit doppelter Stromversorgung (2N) und redundanten Klimageräten (N+1). Hierbei handelt es sich um eine typische Anwendung mit hoher Dichte. Typische Datacenter, die heute in Betrieb sind, arbeiten mit einer Dichte von 1,5 kW pro Rack, wobei ca. 15 % der Grundfläche verloren gehen. Wenn die Dichtespezifikation jedoch erhöht wird, ist ein ganz erheblicher Platzverlust die Folge. Wenn die spezifizierte

durchschnittliche Leistung pro Rack den Wert von 7 kW überschreitet, werden mehr als 50 % der Fläche von der Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur belegt und stehen nicht mehr für IT-Racks zur Verfügung. Es spielt keine Rolle, ob die tatsächliche Dichte geringer ist als die spezifizierte Dichte. Die Fläche wird auf jeden Fall für Stromversorgung und Kühlung benötigt. Daraus lässt sich ein wichtiges Prinzip für die Planung von Datacentern mit hoher Dichte ableiten: Wird ein Datacenter für eine höhere Dichte als tatsächlich erforderlich spezifiziert, wird der für IT-Komponenten verfügbare Platz unnötig reduziert. Damit verbinden sich gleichzeitig höhere Kosten für Anschaffung und Betrieb. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die Dichte sinnvoll und effizient geplant wird und dass Stromversorgungs- und Kühlsysteme für hohe Dichte nur dann installiert werden, wenn auch tatsächlicher Bedarf besteht.

Gliederung der Fläche in Dichtebereiche

Die zuvor genannten Anforderungen machen deutlich, dass die Dichteverteilung innerhalb der verschiedenen Bereiche eines Datacenters spezifiziert werden muss. Dies ist schon allein deshalb erforderlich, weil eine sukzessive Installation in einzelnen Stufen unterschiedliche Dichten mit sich bringt. Die Alternative, das heißt die Spezifikation des gesamten Datacenters für die in Zukunft maximal zu erwartende Last, ist absolut impraktikabel. Dadurch würden völlig ohne Grund die Investitions- und Betriebskosten um einen Faktor im Bereich von drei bis acht steigen, gleichzeitig würde der elektrische Wirkungsgrad dramatisch sinken.

Selbst wenn die Installation nicht in mehreren Stufen abläuft, kann es erhebliche Vorteile bringen, ein Datacenter in Bereiche unterschiedlicher Dichte zu gliedern. So ist beispielsweise die Dichte von Blade-Servern und Speicherkomponenten sehr unterschiedlich. In einem Datacenter, in dem Server und Speicher getrennt sind, könnte es von großem Nutzen sein, verschiedene Zonen mit unterschiedlicher Dichtespezifikation vorzusehen, selbst wenn sich dadurch die Gesamtleistung des Datacenters nicht ändert. Wenn sich die Anordnung von Server- und Speicher-Racks zufällig ergibt und im Voraus nicht bekannt ist, dann müssen die Verteilungssysteme von Stromversorgung und Kühlung so dimensioniert werden, dass an jeder Stelle im Raum maximale Dichte möglich ist. Gelingt es dagegen, im Voraus eine Zone für Speichersysteme mit geringerer Dichte festzulegen, können die **Verteilungssysteme** dieser Zone für geringere Kapazität ausgelegt werden. Die Vorteile sind niedrigere Investitions- und Betriebskosten sowie ein verbesserter elektrischer Wirkungsgrad.

Dichtebereiche innerhalb eines Datacenters lassen sich im Grundrissplan festlegen, indem die Racks in verschiedene Zonen eingeteilt werden. **Es empfiehlt sich, diese Flächeneinteilung nicht willkürlich vorzunehmen. Die Unterteilung sollte in Reihen erfolgen, wobei jede Reihe aus einer Gruppe von Racks beliebiger Größe besteht, die nebeneinander angeordnet sind.** Die Reihe als bevorzugte Gliederungseinheit bietet sich aus folgenden Gründen an:

- Viele Stromverteilungsarchitekturen für Racks orientieren sich an Reihen.
- Viele Stromverteilungsarchitekturen für die Kühlung orientieren sich an Reihen.

Dies bedeutet, dass die Reihe die geeignetste und kostengünstigste Gliederungsebene für die Dichte und auch für die Installationsstufen darstellt. Im Folgenden ist die Reihe deshalb auch die Ebene, auf der Dichteschwankungen für Zonen definiert werden.

Eine Dichtespezifikation muss der Tatsache Rechnung tragen, dass sich die IT-Last mit der Zeit ändert und dass die Nutzung in verschiedenen Stufen ablaufen kann. In Bezug auf die

Frage, ob und wie sich die Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur über die Zeit hinweg ändert, müssen verschiedene Annahmen getroffen werden.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich bestehende Stromverteilungs- und Luftumwälzanlagen nach Belieben an veränderte IT-Lasten anpassen lassen. Eingriffe in solche Systeme, wie etwa Arbeiten an spannungsführenden elektrischen Leitungen oder wasserführenden Rohren, bedeuten die Notwendigkeit oder zumindest das Risiko, einzelne Racks oder sogar das gesamte Datacenter herunterfahren zu müssen. Die Erfahrung zeigt, dass menschliche Fehler die Hauptursache für Ausfälle in Datacentern sind und dass Änderungen an bestehenden Anlagen den größten Anteil an der gesamten Ausfallzeit bedingen. **Es empfiehlt sich daher, die Verteilungseinrichtungen für Stromversorgung und Kühlung einer Reihe oder Zone so zu installieren, dass während der gesamten Lebensdauer der betreffenden Reihe oder Zone keine nachträglichen Änderungen mehr erforderlich sind.**

Aus der praktischen Umsetzung dieser Empfehlung ergibt sich eine Installationsstrategie, die sich folgendermaßen zusammenfassen lässt:

- Unter Berücksichtigung der üblichen Gangbreiten werden in den Grundrissplan Reihen aus Racks bzw. Gehäusen eingezeichnet.
- Die Dichtespezifikation für eine Reihe wird festgelegt. Dann wird eine vollständige Reihe aufgebaut, die dieser Spezifikation entspricht.
- Wenn Komponenten zu installieren sind, die innerhalb der Spezifikation für eine bestehende, noch nicht bestückte Reihe liegen, können diese Komponenten in der betreffenden Reihe installiert werden.
- Wenn Komponenten zu installieren sind, deren Dichtebedarf erheblich von der Dichtespezifikation einer unbestückten Reihe abweicht, darf nicht das Stromversorgungs- oder Kühlungssystem modifiziert werden, um die Installation in der betreffenden Reihe zu ermöglichen. Statt dessen sollte eine neue Reihe aufgebaut werden, die für die höhere Dichte ausgelegt ist.
- Wenn sich herausstellt, dass bestimmte Reihen auf Dauer nur mit wenigen Komponenten bestückt sind, sollte in Betracht gezogen werden, diese Reihen abzubauen und mit einer anderen Dichtespezifikation, die dem tatsächlichen Bedarf besser entspricht, neu zu errichten.

Diese Strategie minimiert die Möglichkeit für menschliche Fehler bei der Arbeit an Reihen während des Betriebs. Gleichzeitig bringt diese praktische und effiziente Strategie keine Einschränkungen für das Modell der Dichtespezifikation mit sich. Die Verteilung von Stromversorgung und Kühlung für eine Reihe wird nach der Installation nicht mehr verändert.

Es sei angemerkt, dass auf dem Markt verschiedene Verteilungssysteme für Stromversorgung und Kühlung angeboten werden, die eine Modifikation ohne Ausfallrisiko zulassen. Das System APC InfraStruXure bietet hierfür unter anderem die folgenden Möglichkeiten:

- Anpassung der USV-Ausgangsleistung mithilfe von Modulen, die sich während des Betriebs wechseln lassen
- Anpassung von Bauform und Belastbarkeit der Steckdosen in einem Rack mithilfe von Stromverteilungseinheiten, die sich während des Betriebs wechseln lassen
- Erweiterung der Luftstromkapazität für ein Rack durch Geräte zur Aufsteckmontage

Diese Art von Geräten sorgt für eine gewisse zusätzliche Flexibilität nach der Installation und ist besonders in kleineren Installationen von Vorteil, in denen die stufenweise Installation von Reihen nicht in Frage kommt.

Spitzendichte gegenüber Durchschnittsdichte innerhalb einer Reihe oder Zone

Natürlich würde die Dichtespezifikation wesentlich leichter fallen, wenn in jedem Rack Lasten mit exakt derselben Leistungsaufnahme installiert würden. Doch wie die vorangegangenen Betrachtungen gezeigt haben, lässt sich dieses Prinzip in realen Installationen nicht verwirklichen. In der Praxis schwankt die Leistungsdichte eines Racks zwischen null (Patchfelder) und 30 kW (Blade-Server mit hoher Dichte). Diese Schwankungsbreite hat ganz erheblichen Einfluss auf die Gestaltung einer verwertbaren Dichtespezifikation.

Wenn in einer bestimmten Reihe oder Zone die Leistung pro Rack variiert, liegt die durchschnittliche Rack-Leistung unter der Rack-Spitzenleistung. Das äußerst bedeutsame Verhältnis von tatsächlicher Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung pro Rack innerhalb einer Reihe ist deshalb immer größer oder gleich eins.

Es ist aufschlussreich, für die Planung einer Reihe eine Anzahl von alternativen Methoden zur Spezifikation der Leistungsdichte zu betrachten, wenn bei diesen Methoden eine bekannte Kombination von Racks mit unterschiedlichen Leistungen pro Rack berücksichtigt wird.

Für alle Racks in einer Reihe die Spitzenleistung ansetzen: Eine Möglichkeit zur Spezifikation der Reihendichte besteht darin, für sämtliche Racks in der Reihe eine Stromversorgungs- und Kühlungsdichte anzusetzen, die der maximalen geplanten Spitzenleistung pro Rack entspricht. In diesem Fall basiert die Dimensionierung der gesamten Stromversorgungs- und Kühlkapazität auf der Annahme, dass sämtliche Racks die Maximalleistung aufnehmen können. Dies führt natürlich zu einer beträchtlichen Überdimensionierung von Stromversorgung und Kühlung, was wiederum erhöhte Investitions- und Betriebskosten sowie einen schlechten elektrischen Wirkungsgrad verursacht. Solche negativen Effekte verschwinden, wenn das Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung pro Rack gleich eins ist. Wenn das Verhältnis innerhalb der Reihe jedoch Werte von 1,5 oder höher erreicht, dann wirken diese Effekte ganz erheblich. Außerdem wird bei dieser Spezifikation die Möglichkeit außer Acht gelassen, dass die Lasten, die für die maximale Rack-Spitzenleistung verantwortlich sind, flächenmäßig verteilt werden könnten, wodurch sich das Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung pro Rack reduzieren würde. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Spezifikation der Dichte für die gesamte Reihe nur dann am schlechtesten Wert, das heißt an der Rack-Spitzenleistung bemessen werden sollte, wenn das Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung pro Rack ungefähr bei eins liegt. Dies ist jedoch in typischen Installationen kaum der Fall.

Für alle Racks in einer Reihe die Durchschnittsleistung ansetzen: Eine andere Möglichkeit besteht darin, für alle Racks eine durchschnittliche Leistungsdichte anzunehmen. Ebenso wie der vorherige Ansatz liefert diese einfache Methode keine zufrieden stellenden Ergebnisse, jedoch aus anderen Gründen. Diese Methode setzt voraus, dass alle Rack-Lasten, die ein Überschreiten des Durchschnittswerts verursachen, durch Entfernen von Komponenten so angepasst werden, dass ihre Leistungsaufnahme letztendlich auf oder unter dem Durchschnittswert liegt. Darüber hinaus verbindet sich mit dieser Methode eine weitere heikle Einschränkung: Sämtliche Racks, deren tatsächliche Dichte unterhalb des projektierten Wertes liegt, lassen verfügbare Stromversorgungs- und Kühlkapazität ungenutzt, die auch von anderen Racks nicht verwendet werden kann. Dies liegt daran, dass die Reihe nur für die Stromversorgung und Kühlung der Racks auf Durchschnittsniveau ausgelegt ist. Ein Beispielszenario zur Illustration: Ein IT-Betreiber möchte ein Blade-Server-Modul mit einer Leistungsaufnahme von 4 kW in einer Reihe installieren, die für 2 kW pro Rack ausgelegt ist. Nun scheint es eine nahe liegende Lösung zu sein, einen 2-kW-Abzweig vom Blade-Modul zu einem ungenutzten Rack zu führen (falls vorhanden). Allerdings wird dann die Kühllast von 4 kW problematisch, weil das Kühlsystem nicht für die Kühlung von Racks mit mehr als 2 kW ausgelegt ist. Darüber hinaus verbleibt ein Rack, das auf Dauer nicht mit aktiven IT-

Komponenten zu belegen ist, weil dessen Anschlussleistung für ein anderes Rack verwendet wurde.

Ein Vergleich der alternativen Szenarien mit den Anforderungen führt zu folgendem Schluss: Eine effektive Dichtespezifikation basiert auf dem Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung der Racks in einer Reihe, und dieser Wert sollte größer als eins sein. Die Auswahl des geeigneten Verhältniswerts richtet sich nach der erwarteten Schwankungsbreite unter den Racks. In **Abbildung 2** ist dieser Zusammenhang für die typischen Rahmenbedingungen dargestellt, die bei der Planung eines Datacenters gelten:

Abbildung 2

Effekt der Dichtespezifikation als Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert pro Rack auf die Gesamtbetriebskosten für Stromversorgung und Kühlung bei verschiedenen Schwankungen der tatsächlichen Dichte unter den Racks

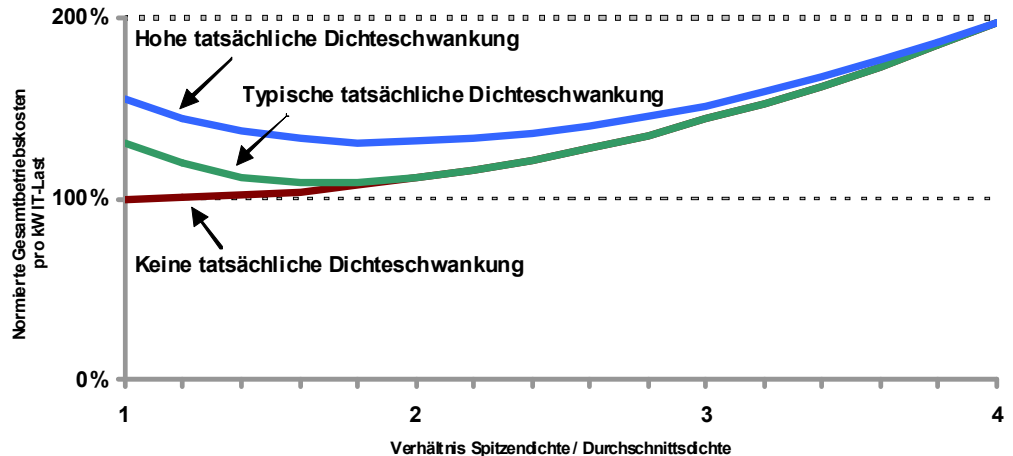


Abbildung 2 zeigt, wie sich die Dichtespezifikation als Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert pro Rack auf die normierten Gesamtbetriebskosten¹ für die Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur auswirkt. Die Darstellung ist auf kW der installierten IT-Komponenten gerechnet, und zwar für drei verschiedene Szenarien der Variation der tatsächlichen Rack-Leistung. Für den Fall, dass alle Racks die gleiche Leistung aufnehmen, wird deutlich, dass die Gesamtbetriebskosten dann am günstigsten (niedrigsten) sind, wenn das Verhältnis von maximaler zu durchschnittlicher Rack-Dichte gleich eins ist. Dieser Zusammenhang lässt sich dadurch erklären, dass zusätzliche Spitzenleistungsdichte die Kosten für Stromversorgungs- und Kühlungsverteilung erhöht, jedoch keinen Nutzen bringt, wenn alle Racks den gleichen Leistungsbedarf haben. Wenn die Schwankungsbreite der Rack-Leistungsaufnahme zunimmt, ergibt sich ein bedeutender negativer Effekt, falls die Spezifikation für das Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert nicht erhöht wird. Dies liegt an der fest zugeteilten, jedoch ungenutzten Stromversorgungs- und Kühlkapazität in Kombination mit dem erhöhten Stellflächenbedarf für eine bestimmte IT-Last. Die Konsequenz ist, dass ein Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert der Rack-Dichte die Gesamtbetriebskosten für reale Installationen optimiert.

Dies führt zu einem weiteren zentralen Aspekt einer effektiven Spezifikation der Datacenterdichte: Das **Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert der Rack-Dichte innerhalb einer Reihe sollte für typische Konstellationen ungefähr zwei betragen. Gleichzeitig gilt: Wenn die erwartete Schwankungsbreite von Spitzenwert zu Durchschnittswert**

¹ Zu den Gesamtbetriebskosten zählen hier die Investitionskosten für Stromversorgung und Kühlung sowie die über 10 Jahre anfallenden Kosten für Wartung, Gebäudefläche und Elektrizität. Diese Kosten schwanken je nach Ausstattung und Nutzungsgrad zwischen 50.000 USD und 90.000 USD pro Rack. Zu bemerken ist, dass die Aufwendungen für USV und Kühlung nicht vom Verhältnis von Spitzenleistung zu Durchschnittsleistung beeinflusst werden. Die Schwankungen der Gesamtbetriebskosten sind auf die Kosten für die Stromversorgungs- und Kühlungsverteilung zurückzuführen.

innerhalb einer Reihe größer als zwei ist, dann empfiehlt sich die Verteilung der IT-Lasten mit den höchsten Dichten auf verschiedene Racks, um den Verhältniswert zu begrenzen. Alternativ dazu kann es sinnvoll sein, überdurchschnittliche Lasten in anderen Reihen anzuordnen.

Regelbasierte Dichtespezifikationen

Wenn die durchschnittliche und die maximale Rack-Leistungsdichte für eine Reihe oder Zone spezifiziert wurde, ist eine Planung zur kalkulierbaren Umsetzung dieser Spezifikation möglich. In Fällen, in denen die Rack-Spitzenleistung in der Größenordnung des Durchschnittswerts liegt, fällt die Implementierung relativ leicht. Wenn das Verhältnis von Spitzenwert zu Durchschnittswert der Rack-Leistung innerhalb einer Reihe jedoch einen Wert von 1,5 oder höher erreicht, sind mit der Implementierung der Planung zusätzliche Herausforderungen und Kosten verbunden. Die Forderung, dass sämtliche Racks mit der Rack-Spitzenleistung betrieben werden können, solange die Durchschnittsleistung nicht überschritten wird, kann sich als ernsthaftes Problem erweisen, wenn die Luftverteilung über einen Doppelboden erfolgt. Die insgesamt erreichbare durchschnittliche und maximale Leistungsdichte lässt sich erhöhen, wenn innerhalb der Dichtespezifikation eine regelbasierte Dichtezuordnung vorgesehen wird.

Zum Verständnis des Problems, das durch regelbasierte Spezifikationen gelöst wird, soll folgender Fall betrachtet werden: In einem bestehenden System mit Kühlung über den Doppelboden soll eine Reihe installiert werden. Das empfohlene Verhältnis von maximaler zu durchschnittlicher Rack-Leistungsdichte beträgt zwei. Aus Sicht der Stromversorgung muss jedes Rack mit einer Stromverteilung versehen werden, die für die maximale Rack-Dichte ausgelegt ist. Die Versorgung über eine PDU oder USV muss dagegen für die durchschnittliche Rack-Dichte multipliziert mit der Anzahl der IT-Racks ausgelegt sein. Dies lässt sich einfach umsetzen. Aus Sicht der Kühlung dagegen existiert für die einzelnen Racks kein ausreichend definiertes Luftumwälzsystem, das für das Doppelte der durchschnittlichen Rack-Dichte ausgelegt ist. Racks, die mit einer Dichte über dem Durchschnittswert betrieben werden, müssen ungenutzte Kapazität von benachbarten Racks abziehen, die mit einer Dichte unter dem Durchschnitt arbeiten. Im Fall des Doppelbodens mit seiner begrenzten Luftstromkapazität bedeutet dies, dass Racks mit hoher Dichte innerhalb der Reihe voneinander getrennt werden müssen, um eine örtliche Überlastung des Luftumwälzsystems so weit wie möglich auszuschließen. Wenn eine Spezifikation die Aufstellung von Regeln zulässt, welche die Anordnung von Racks mit hoher Dichte in der Reihe bestimmen, können innerhalb der für das System geltenden Rahmenbedingungen höhere maximale und durchschnittliche Dichten erreicht werden.

Ein Beispiel für eine einfache Regel: Ein Rack darf die durchschnittliche Nennleistung nur um den Betrag überschreiten, um den der durchschnittliche Verbrauch der benachbarten Racks unter dem Durchschnitt liegt. Mit komplexeren Regeln ließe sich die kalkulierbare Leistungsdichte maximieren, die in einer bestimmten Installation erreicht werden kann. Solche Regeln könnten außerdem in das Managementsystem für Stromversorgung und Kühlung einfließen.²

Festlegung von Dichteoptionen für zukünftige Erweiterungen

Viele Datacenter werden nicht in einem Zug vollständig ausgebaut, sondern im Laufe der Zeit weiterentwickelt und erweitert. In diesen Fällen ist es nicht immer wünschenswert oder praktikabel, im Voraus die Dichte für Reihen oder Zonen festzulegen, die noch nicht geplant sind. Jede praktisch sinnvolle Methode zur Spezifikation der Datacenterdichte muss zukünftige Anforderungen berücksichtigen, für die keine eindeutige Vorhersage der Dichte möglich ist, und gleichzeitig größtmögliche Flexibilität bei der zukünftigen Dichte ermöglichen.

² Die Umsetzung von Regeln für die Kühlungsdichte innerhalb eines Managementsystems basiert auf Verfahren, für die APC Patentschutz beantragt hat.

Idealerweise werden Aufwendungen an finanziellen und personellen Mitteln für die Installation einer Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur so weit wie möglich aufgeschoben. Darüber hinaus darf eine spätere Erweiterung des Datacenters die Verfügbarkeit der bereits in Betrieb befindlichen IT-Komponenten nicht beeinträchtigen.

Häufig entscheidet man sich dafür, die gesamte Infrastruktur für Stromversorgung und Kühlung bereits im Voraus zu errichten, um eine vordefinierte Leistungsdichte unterstützen zu können. Dies hat auf der einen Seite den Vorteil, dass die vorgezogene Installation dieser Anlagen spätere umfangreiche Arbeiten an den Versorgungseinrichtungen während des laufenden Betriebs überflüssig macht. Auf der anderen Seite jedoch können daraus viele negative Effekte aus Kostensicht sowie andere Risiken entstehen:

- Die zukünftige IT-Dichte übersteigt die Dichte der bestehenden Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur und kann deshalb nicht effektiv installiert werden.
- Die zukünftige IT-Dichte ist geringer als die Dichte der bestehenden Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur. Damit werden bereits getätigte Investitionen nutzlos.
- Die Einrichtung wird entgegen der Planung nicht erweitert, oder die Erweiterung findet an einem anderen Standort statt, weil gesetzliche Bestimmungen oder geschäftliche Faktoren dies verlangen. Damit sind erhebliche Infrastrukturinvestitionen vergeudet.
- Die kurzfristige Lastprognose für das Datacenter liegt wesentlich unter der Nennkapazität der Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur, was den elektrischen Wirkungsgrad erheblich verschlechtert und gleichzeitig hohe, unnötige Elektrizitätskosten verursacht.
- Wird gegenwärtig nicht benötigte Stromversorgungs- und Kühlkapazität im Voraus installiert, entstehen unnötiger Kapitalbedarf und Wartungskosten.

In einem tragfähigen Modell zur Spezifikation der Dichte werden solche Entwicklungen vermieden, indem ein Planungs- und Implementierungsansatz für eine modulare und skalierbare Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur gefördert wird. Eine solche Architektur muss auf der vorbereitenden Installation der Hauptversorgungseinrichtungen basieren, etwa der Strom- und Kühlungsleitungen auf Reihen- oder Zonenebene. Gleichzeitig wird die Installation kostenintensiver Stromversorgungs- und Kühlungskomponenten zurückgestellt. Dies betrifft unter anderem USV-Systeme, PDUs, Racks, Stromverteilungseinrichtungen innerhalb der Reihe, Klimageräte und Luftumwälzanlagen. Die Entscheidung für eine bestimmte Dichte, die innerhalb einer Zone oder Reihe ermöglicht werden soll, fällt erst dann, wenn die tatsächliche Installation erfolgt. Die Infrastruktur für Stromversorgung und Kühlung wird Reihe für Reihe erweitert. Das System APC InfraStruXure ist ein praktisches Beispiel für eine solche Architektur.

Diese Betrachtung führt zu einem weiteren zentralen Aspekt der vorgeschlagenen Methode zur Dichtespezifikation: **Reihen oder Zonen innerhalb eines Datacenters, deren Installation erst in Zukunft geplant ist, müssen für den höchsten (schlechtesten) anzunehmenden Dichtewert ausgelegt sein. Die Kabel bzw. Rohre für die Hauptanschlussleitungen müssen im Vorfeld installiert werden und an diesem Dichtewert bemessen sein. Gleichzeitig jedoch sollte die eigentliche Auswahl der Stromversorgungs- und Kühlungskomponenten für die Reihen zurückgestellt werden, bis die Dichte der Installation festgelegt und die Planung abgeschlossen ist.** Auf diese Weise lassen sich die kostenintensivsten Komponenten der Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur nach Maßgabe der tatsächlichen Anwendung dimensionieren und zur erforderlichen Zeit am passenden Ort installieren. Damit werden nicht nur die Investitions- und Betriebskosten gesenkt, sondern es entsteht auch ein Datacenter mit wesentlich verbesserter Energieausnutzung.

Das Modell

Nun kann ein Modell für die Spezifikation der Leistungsdichte entwickelt werden, das einerseits die zuvor beschriebenen Anforderungen erfüllt und andererseits den praktischen Rahmenbedingungen gerecht wird.

Das Modell setzt sich aus den folgenden zentralen Elementen zusammen:

- Für das Datacenter wird ein Plan erstellt, der die Anordnung der Reihen aus Racks und Gehäusen vorgibt.
- Für jede Reihe werden die Daten aus Tabelle 2 benötigt.

Tabelle 3

Erforderliche Daten auf Reihenebene

Daten	Einheit	Beschreibung	Hauptzweck
Anzahl der Rack-Standorte	#	Anzahl der Rack-Standorte in einer Reihe. Hierzu zählen alle Standorte, von denen jedoch einige letztendlich von Stromversorgungs- und Kühlanlagen belegt werden können (je nach Architektur).	Bestimmung des Gesamtbedarfs an Stromversorgungs- und Kühlleistung der Reihe
Durchschnittliche Rack-Leistung in der Reihe	kW/Rack	Die durchschnittliche Leistungsdichte pro Rack, die durch IT-Racks in einer bestimmten Reihe entsteht. Dieser Wert muss für jede Reihe innerhalb des Raums ermittelt werden.	Bestimmung des Gesamtbedarfs an Stromversorgung und Luftumwälzung für eine Reihe
Rack-Spitzenleistung in der Reihe	kW/Rack	Die Spitzen-Leistungsdichte pro Rack, die durch ein einzelnes Rack in einer bestimmten Reihe entsteht. Dieser Wert muss für jede Reihe innerhalb des Raums ermittelt werden.	Dimensionierung des Stromversorgungs- und Kühlungssystems auf Rack-Ebene

- Für Reihen, die erst in Zukunft genutzt werden, müssen realistische Maximalwerte für die Durchschnitts- und Spitzenleistung pro Rack angesetzt werden. Dabei sollte man sich vor Augen halten, dass diese Werte vor der tatsächlichen Installation verringert werden können, ohne dass sich ein größerer Nachteil als der ergibt, dass die Kabel und Rohre für die Hauptanschlussleitungen überdimensioniert sind.
- Aus den oben gewonnenen Informationen lassen sich die Daten in **Tabelle 4** berechnen.

Tabelle 4

Berechnete Dichtedaten

Daten	Einheit	Beschreibung	Hauptzweck
Gesamtzahl der verfügbaren IT-Racks	#	Anzahl der IT-Racks, die laut Planung verfügbar sind. Rack-Standorte für Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur sind hier ausgenommen.	Bestimmung des gesamten verfügbaren Platzes für IT-Racks zu Planungszwecken
Anfänglicher Gesamtleistungsbedarf	kW	Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf für den IT-Raum ohne Berücksichtigung zukünftiger Erweiterungen	Ermittlung der kurzfristig erforderlichen Investitionen in die Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur
Endgültiger Gesamtleistungsbedarf	kW	Gesamter Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf für den ganzen Raum im schlechtesten Fall	Dimensionierung der zentralen Versorgungsinfrastruktur, einschließlich Schaltanlagen und Verkabelung für die Stromversorgung sowie Verrohrung für die Kühlung
Spitzen-Leistungsdichte	kW/Rack	Höchste Leistungsdichte innerhalb einer Reihe	Entwicklung der Architektur für die Kühlungsverteilung
Durchschnittliche Leistungsdichte im Datacenter	kW/Rack	Zusammenfassendes Dichteattribut des Datacenters	Möglichkeit zur Umrechnung in andere gängige Einheiten wie W/m^2 oder W/ft^2 . Eine solche Umrechnung setzt die Auswahl einer Definition aus Tabelle 1 voraus.

Das schwierigste Problem bei der Definition der Dichte mit dieser Methode besteht in der Bestimmung der Rack-Standorte, die für die Stromversorgungs- und Kühlungsinfrastruktur erforderlich sind und deshalb nicht für IT-Komponenten zur Verfügung stehen. Zur Abschätzung der Dichte eignet sich folgende Faustregel: Pro 15 kW IT-Last wird ein Rack-Standort für Stromversorgungs- und Kühlgeräte benötigt. Diese Regel basiert auf dem durchschnittlichen Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf in bestehenden Datacenter-Installationen (einschließlich aller Abstandsflächen) mit dem Redundanzschema 1N oder 2N. Der exakte Wert hängt von der ausgewählten Stromversorgungs- und Kühlungsarchitektur ab sowie von den räumlichen Bedingungen und den Vorgaben des Systemanbieters. Für das Datacentersystem APC InfraStruXure beispielsweise bietet APC computergestützte Planungstools an, mit denen sich diese Berechnung für jedes Raumkonzept durchführen lässt.

Richtlinien für die Praxis

Allein die Verwendung des beschriebenen Modells zur Dichtespezifikation garantiert nicht automatisch eine optimale Raumbelagung. Der Erfolg der letztendlichen Installation hängt gleichzeitig davon ab, wie der Anwender die Dichteanforderungen einschätzt, welcher Raum gewählt wird und für welche Nutzungsvariante sich der Anwender entscheidet. Dennoch ergeben sich aus der Verwendung des Modells einige wichtige Vorteile:

- Im Vergleich zu anderen häufig verwendeten Spezifikationsmethoden entsteht eine umfassendere und genauere Beschreibung der Datacenterdichte.
- Die Leistung eines Datacenters, das gemäß der Spezifikation erstellt wurde, ist besser kalkulierbar.
- Das Modell ist ausreichend konkret, so dass sich Kosten, einschließlich der Investitions- und Betriebskosten, schneller abschätzen lassen. Dies verkürzt die Entwurfsphase und ermöglicht die Analyse alternativer Szenarien.

- Das Modell unterstützt eine modulare, skalierbare Installation des Datacenters, wodurch sich die Gesamtbetriebskosten erheblich senken lassen und der elektrische Wirkungsgrad steigt. Einige praktische Anwendungen der beschriebenen Methode zur Dichtespezifikation:
- Vergleich der Gesamtbetriebskosten alternativer Datacenter- oder Raumstandorte
- Abschätzung der Kosten für eine Erhöhung der Dichte in einem geplanten oder bestehenden Datacenter
- Entwicklung einer Spezifikation, die eine unmissverständliche Darstellung der projektierten Dichte liefert, und zwar in einer Form, die für IT-Anwender verständlich ist. Dadurch wird gewährleistet, dass IT-Anwender, Datacenterbetreiber und Systemanbieter von denselben Voraussetzungen ausgehen und dieselben Ziele verfolgen.

Die Umsetzung dieser Methode zur Dichtespezifikation in computergestützte Entwicklungstools für Datacenter kann die Prozesse der Spezifikation und des Entwurfs vereinfachen oder sogar automatisieren.

Beispiel für eine Datacenterspezifikation

An einem Beispiel soll gezeigt werden, wie das Modell zur Spezifikation eines tatsächlichen Datacenters eingesetzt werden kann. In diesem Fall steht ein Raum für ein Projekt zur Serverkonsolidierung zur Verfügung. Alle USV-, Stromverteilungs- und Kühlsysteme müssen innerhalb des Raums untergebracht werden. Zur Zeit sind jedoch noch nicht alle Systeme vorhanden. Aufgrund der Raumhöhe ist kein Doppelboden vorhanden und auch nicht nachträglich realisierbar. Es muss eine Kombination von Netzwerkkomponenten installiert werden. Dazu gehören Blade-Server, Server für die Rack-Montage, Speicher- und Netzwerkkomponenten. Die Blade-Server müssen als Gruppe angeordnet werden. Unter Berücksichtigung des aktuellen Bedarfs geht man davon aus, dass nur die Hälfte des zur Verfügung stehenden Raums tatsächlich belegt wird. Für den verbleibenden Raum ist eine Dichte vorgesehen, die um 20 % über der Dichte der aktuellen Installation liegt. Dabei soll die Möglichkeit bestehen, mindestens drei Racks mit zukünftig installierten Blade-Servern aufzustellen, die eine geschätzte Leistung von 25 kW pro Rack aufnehmen werden. Die Verfügbarkeitsanforderung orientiert sich an einem nichtredundanten Stromversorgungs- und Kühlsystem.

Abbildung 3 zeigt den Grundriss des Raums mit einem Vorschlag für die Rack-Anordnung. Es entstehen 41 Rack-Standorte im Raum. Man hat sich dafür entschieden, die Reihen 1, 2 und 3 sofort aufzustellen und die Reihen 4, 5, 6 und 7 zu einem späteren Zeitpunkt zu installieren. Eine Überprüfung der aktuellen Installationsplanung ermöglicht es, Komponenten mit ähnlichem Leistungsbedarf bestimmten Reihen zuzuteilen, um dort das Verhältnis zwischen Spitzenleistung und Durchschnittsleistung zu senken. Die Blade-Server werden entsprechend der Vorgabe als Gruppe angeordnet, und zwar in Reihe 2. Die Spezifikation auf Reihenebene für die Reihen 1, 2 und 3 wird in **Tabelle 5** eingetragen.

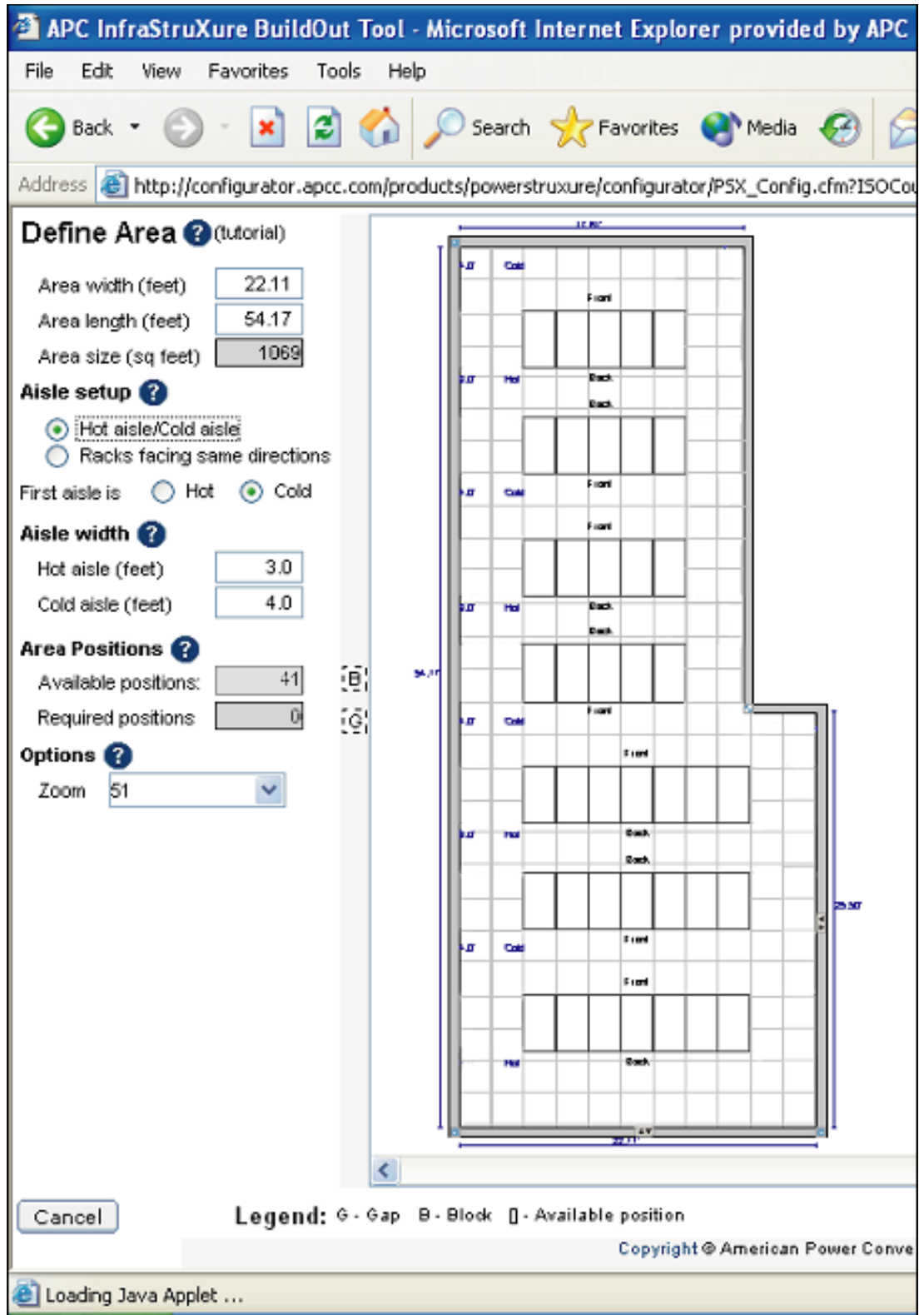


Abbildung 3

Grundriss des geplanten Datacenters mit vorgesehener Rack-Anordnung (Grafik erstellt mit dem APC InfraStruXure Build-Out Tool (BOT))

Tabelle 5

Reihendichte des geplanten Datacenters

Daten	Einheit	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7	Gesamt
Anzahl der Rack-Standorte	#	7	7	7	5	5	5	5	41
Durchschnittliche Rack-Leistung in der Reihe	KW/Rack	2	5	3	4	4	4	4	3.7
Rack-Spitzenleistung in der Reihe	KW/Rack	4	15	6	15	15	15	15	15

Aus diesen Daten lässt sich die durchschnittliche Dichte der ersten Installationsstufe berechnen. Es ergibt sich: $(2 \cdot 7 + 5 \cdot 7 + 3 \cdot 7) / 21 = 3,3$ kW pro Rack. Wenn die zusätzlichen Reihen mit einer 20 % höheren Dichte geplant sind (ohne bereits jetzt die Detaildaten der Reihen zu spezifizieren), dann ergibt sich die durchschnittliche Dichte des gesamten Datacenters folgendermaßen: $(2 \cdot 7 + 5 \cdot 7 + 3 \cdot 7 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5) / 41 = 3,7$ kW pro Rack. Wenn für die später installierten, im Moment noch undefinierten Reihen eine hohe Spitzendichte von 15 kW angesetzt wird, garantiert dies im Hinblick auf spätere Änderungen an der Auslegung dieser Reihen eine sehr hohe Flexibilität. **Tabelle 5** zeigt diese zukünftigen Spezifikationen für die Reihen 4, 5, 6 und 7. Die einzige Konsequenz, die sich aus dem angenommenen hohen Spitzenwert für die später installierten Reihen ergibt, besteht darin, dass die primären Stromversorgungs- und Kühlanlagen konservativ dimensioniert werden.

Aus der Kurve in **Abbildung 1** kann eine erste Abschätzung dafür abgeleitet werden, welcher Platz letztendlich von Stromversorgungs- und Kühlanlagen belegt wird, nämlich 30 % bei einer durchschnittlichen Rack-Dichte von 3,7 kW. Dies entspricht der Stellfläche von 13 Racks (30 % x 41 Racks). Das bedeutet, dass insgesamt 70 % der Fläche für IT-Racks zur Verfügung stehen. Somit können 28 Racks aufgestellt werden.

Die Dichtespezifikation für unser geplantes Projekt zur Serverkonsolidierung basiert auf den Daten in **Tabelle 5** und den berechneten Werten in **Tabelle 6**.

Table 6

Computed room-level data for
the proposed data center

Daten	Wert	Einheit	Anmerkung
Gesamtzahl der verfügbaren IT-Racks	28		Ein bestimmter Anteil der Datacenterfläche wird von Stromversorgungs- und Kühlanlagen belegt.
Anfänglicher Gesamtleistungsbedarf	47	kW	Zu Beginn müssen mindestens 47 kW an Stromversorgungs- und Kühlleistung installiert werden. Unter Berücksichtigung der Dichte für die Reihen 1, 2 und 3 ergibt sich die Anzahl der verfügbaren Plätze für IT-Racks: 6, 4 und 5 (6 x 2 kW/Rack + 4 x 5 kW/Rack + 5 x 3 kW/Rack = 47 kW)
Endgültiger Gesamtleistungsbedarf	104	kW	Die Installation der verbleibenden Stromversorgungs- und Kühlkapazität, ca. 60 kW, wird solange zurückgestellt, bis die Daten der verbleibenden Reihen eindeutig bekannt sind (28 IT-Racks x 3,7 kW/Rack = 104 kW)
Spitzen-Leistungsdichte	15	KW/Rack	Die Kühlung bei dieser hohen Dichte schränkt die Flexibilität ein und erhöht die Kosten. Bevor die endgültige Entscheidung für die Planung bei dieser Dichte fällt, sollte noch einmal versucht werden, die Spitzenlasten zu verteilen.
Durchschnittliche Leistungsdichte im Datacenter	3,7	KW/Rack	Entsprechend der Spezifikation entsteht in diesem Datacenter eine mehr als doppelt so hohe Dichte wie im durchschnittlichen bestehenden Datacenter. Gegenwärtig erreichen weniger als 2 % der Datacenter eine solche Dichte.

Ausgehend hiervon kann mit der Detailplanung begonnen werden. Der nächste Schritt besteht darin, die Standorte für die Stromversorgungs- und Kühlanlagen festzulegen. Dabei werden die technische Ausführung dieser Anlagen und das Systemdesign berücksichtigt. Dieser Prozess basiert auf komplexen mathematischen Modellen der tatsächlichen Anlagen sowie auf Optimierungsregeln und kundenspezifischen Vorgaben. Der Prozess läuft je nach Anlagenhersteller anders ab und wird hier deshalb nicht beschrieben. Idealerweise ist in der Planung zunächst nur der Stromversorgungs- und Kühlungsbedarf für die erste Installationsstufe berücksichtigt, jedoch in einer Form, welche die spätere Erweiterung der Stromversorgungs- und Kühlkapazität mit größtmöglicher Flexibilität zulässt. Dazu gehört beispielsweise, dass bereits auf der ersten Installationsstufe die Hauptversorgungsleitungen für Stromversorgung und Kühlung in ausreichender Dimensionierung für die zukünftig zu installierenden Racks vorgesehen werden. Obwohl die später hinzukommenden Reihen gegenwärtig nur über die durchschnittliche Dichte pro Rack und die Spitzendichte pro Rack spezifiziert sind, können diese Werte jederzeit vor der Realisierung weiterer Installationsstufen geändert werden, sofern die Gesamtleistung des Bereichs nicht den gegenwärtig geplanten Wert überschreitet.

Ergebnisse

Konventionelle Methoden zur Beschreibung der Datacenterdichte orientieren sich an ungeeigneten Parametern und liefern unvollständige, mehrdeutige Ergebnisse. Mit solchen Methoden gelingt es nicht, verbindliche Vorgaben für die Planung zu entwickeln und damit eine im Voraus kalkulierbare Stromversorgungs- und Kühlleistung für das Datacenter zu gewährleisten, insbesondere dann nicht, wenn die hohe Leistungsdichte der IT-Komponenten neuester Generation berücksichtigt werden muss.

In dieser technischen Dokumentation (White paper) wurde zunächst untersucht, welche Anforderungen an die Dichtespezifikation gestellt werden. Dann wurde eine neue Methode der Dichtespezifikation vorgestellt. Diese Methode liefert verbindliche Spezifikationen, die einerseits eine unmissverständliche Kommunikation zwischen IT-Profis und Anlagenplanern ermöglichen und andererseits die Errichtung von Datacentern vereinfachen, die kalkulierbar, kostenwirksam und energieeffizient sind.



Über den Autor:

Neil Rasmussen ist einer der Gründer und Chief Technical Officer von American Power Conversion. Bei APC arbeitet Neil Rasmussen mit dem weltgrößten F&E-Budget für die Stromversorgungs-, Kühlungs- und Rack-Infrastruktur kritischer Netzwerke. Die wichtigsten Produktentwicklungszentren befinden sich in Massachusetts, Missouri, Rhode Island, Taiwan, Dänemark und Irland. Zurzeit leitet er die APC-Initiative zur Entwicklung von modular skalierbaren Datacenterlösungen.

Vor der Gründung von APC im Jahre 1981 graduierte Neil Rasmussen am MIT zum Bachelor und Master in Elektrotechnik. Hier veröffentlichte er auch seine Dissertation zur Analyse einer 200-MW-Stromversorgung des Tokamak-Fusionsreaktors. Von 1979 bis 1981 arbeitete er bei den MIT Lincoln Laboratories an der Entwicklung von Schwungrad-Energiespeichersystemen und Solarstromsystemen.



Ressourcen



Kühlungsstrategien für Ultra-Hochdichte Racks und Blade Server Anwendungen

APC White Paper 46



Rack-Stromversorgungsoptionen für hohe Leistungsdichte

APC White Paper 29



Alle APC Whitepaper anzeigen

whitepapers.apc.com



Alle APC TradeOff Tools anzeigen

tools.apc.com



Kontaktieren Sie APC

Feedback und Kommentare zum Inhalt dieses Whitepapers

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

Wenn Sie Kunde sind und spezielle Fragen zu Ihrem oder einem Rechenzentrumsprojekt haben

Kontakt mit Ihrem APC by Schneider Electric Ansprechpartner aufnehmen

Anhang

Bestimmung des anteiligen Rack-Platzes im Datacenter, in dem keine Stromversorgungs- und Kühlanlagen angeordnet sind

Die Kurve in **Abbildung 1** ergibt sich aus der Verteilung zwischen der Laststromversorgung und der Kapazität für Stromversorgungs- und Kühlanlagen. Dabei gilt:

P_I = Leistung für IT-Komponenten

P_N = Kapazität für Stromversorgungs- und Kühlanlagen

D_I = Dichte der IT-Komponenten in kW/Rack-Standort

D_N = Dichte der Stromversorgungs- und Kühlanlagen in kW/Rack-Standort

R_N = Anzahl der Rack-Standorte, die von Stromversorgungs- und Kühlanlagen belegt werden

R_I = Anzahl der Rack-Standorte die von IT-Komponenten belegt werden

R_T = Gesamtanzahl der Rack-Standorte im Raum

$$P_N = P_I$$

$$R_N D_N = R_I D_I$$

$$R_N = \frac{R_I D_I}{D_N}$$

Es gilt jedoch: $R_N = R_T - R_I$

Daraus ergibt sich: $R_T - R_I = \frac{R_I D_I}{D_N}$ $R_T = R_I \left(1 + \frac{D_I}{D_N} \right)$

$$\frac{R_I}{R_T} = \frac{1}{\left(1 + \frac{D_I}{D_N} \right)}$$

Diese letzte Formel führt zu der Kurve in **Abbildung 1**. Die Werte für D_N richten sich nach den spezifischen Merkmalen der Stromversorgungs- und Kühlanlagen sowie nach der Redundanzkonfiguration.