

Stromversorgung und Kühlung für ultra- kompakte Racks und Blade-Server

Von Neil Rasmussen

Whitepaper Nr. 46

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Eine Rack-Leistung von 10 kW pro Rack oder höher ist beim Einsatz von IT-Ausrüstung, z. B. Blade-Servern, möglich. Daraus ergeben sich Herausforderungen hinsichtlich Kühlung und Stromversorgung in einem Datacenter, in dem branchenweit die durchschnittliche Rack-Leistungsaufnahme bei weniger als 2 kW liegt. Die Planung von Strategien für den Umgang mit ultrakompakten Racks und praktische Lösungen für neue und bestehende Datacenter werden hier beschrieben.

Einführung

Die Leistungsaufnahme der Ausrüstung in einem Einzel-Rack-Gehäuse kann erheblich variieren. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme eines Gehäuses in einem Datacenter beträgt etwa 1,4 kW, aber wenn ein Rack mit verfügbaren kompakten Servern wie Blade-Servern bestückt wird, liegt die aufgenommene Leistung bei etwa 18 kW. Solche Belastungen überschreiten die Fähigkeiten der Stromversorgung und Kühlung eines typischen Datacenters erheblich.

Betreiber von Datacentern haben sehr wenige Erfahrungen mit Gehäusen, die über 10 kW aufnehmen, aber neuere Trends deuten darauf hin, dass viele mit der Aufgabe konfrontiert werden, Stromversorgung und Kühlung für kompakte Racks einzeln oder in Gruppen zu installieren und bereitzustellen.

Als einfache Antwort auf dieses Problem könnte ein Datacenter so ausgelegt werden, dass es jedem Gehäuse 18 kW redundante Stromversorgung und Kühlung bietet. *Allerdings ist dies leider in den wenigsten Fällen technisch durchführbar oder wirtschaftlich.* Die falschen Entscheidungen beim Einrichten eines Datacenters zum Betrieb in hoher Dichte kann die Kosten hinsichtlich der Gesamtnutzungsdauer der physischen Infrastruktur unnötigerweise um ein Vielfaches erhöhen. Dieses Dokument umreißt praktische und wirksame Strategien für den Einsatz von kompakten Gehäusen und Blade-Servern.

Zunächst wird das Konzept der Leistungsdichte betrachtet. Darauf folgt die Überprüfung der tatsächlichen Leistungsdichte von aktuellen und neuen Datacentern. Praktische Methoden zur Erreichung einer hohen Dichte werden mit ihren Einschränkungen und Vorzügen erläutert. Schließlich werden logische und praktische Strategien für den Einsatz von kompakten Computern vorgestellt.

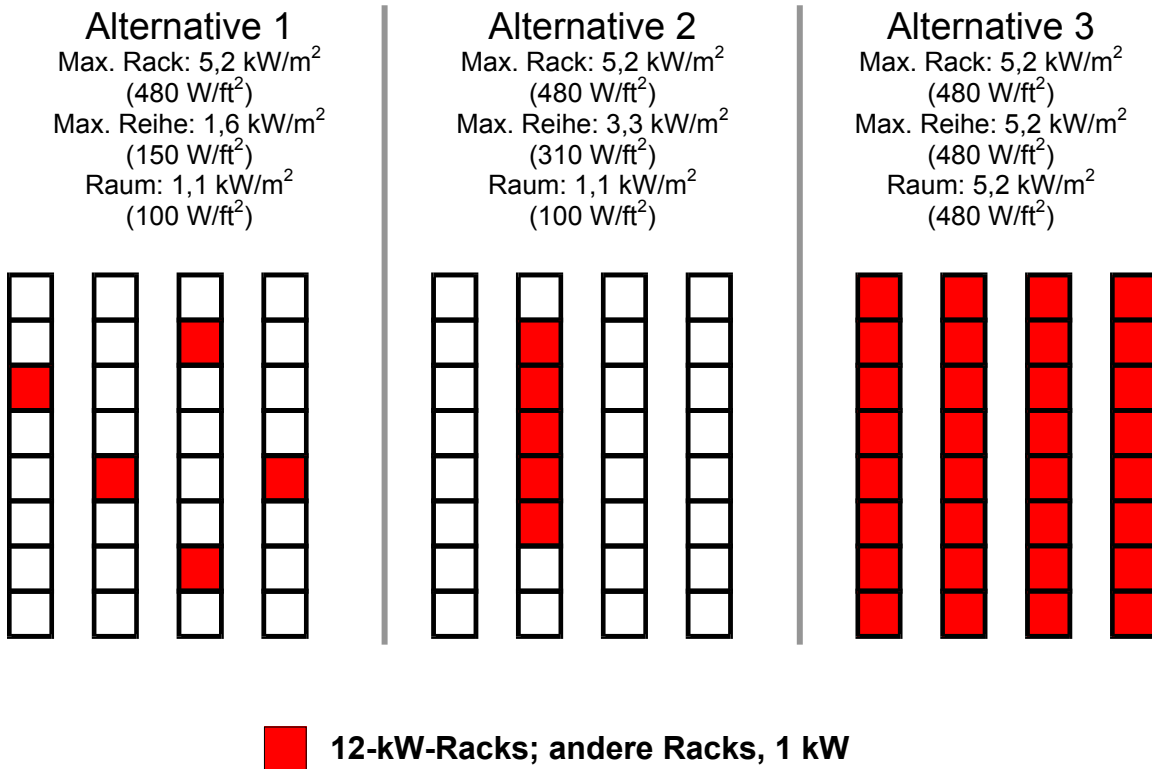
Klare Definition der Leistungsdichte im Datacenter

Bei der Beschreibung der Leistungsdichte können erhebliche Missverständnisse auftreten, denn die Bedeutung des Begriffs „Leistungsdichte“ ist mehrdeutig. Leistungsdichte wird häufig in Kilowatt pro Quadratmeter oder Watt pro Gehäuse ausgedrückt. Diese einfache Beschreibung genügt, wenn die Leistungsaufnahme für alle Gehäuse gleich ist. In der Praxis variiert die Leistungsaufnahme pro Gehäuse jedoch erheblich. In der Realität kann sich die Leistungsdichte, die auf Rack-Ebene, Reihenebene und Raumebene gemessen wird, deutlich unterscheiden. Diese Variation der Leistungsdichte, die pro Gehäuse, Reihe und Raum gemessen wird, hat einen großen Einfluss auf die Gestaltung des Hilfssystems der Leistungsinfrastruktur und sogar einen noch größeren Einfluss auf die Auslegung des Kühlungssystems.

Abbildung 1 zeigt die unterschiedlichen Leistungsdichten, die auf Rack-, Reihen- und Raumebene gemessen wurden. In der Abbildung sind 12-kW-Gehäuse in einem typischen Raum installiert. In einem Fall nehmen 15 % der Gehäuse 12 kW auf und die übrigen nehmen 1 kW auf. Im zweiten Fall nimmt prozentual dieselbe Anzahl an Gehäusen 12 kW auf, jedoch sind die Gehäuse in einer einzigen Reihe

zusammengeschlossen. Im dritten Fall nehmen alle Gehäuse im Raum 12 kW auf. In jedem dieser Fälle ist die Spitzenleistungsdichte mit 12 kW pro Rack gleich, was $5,2 \text{ kW/m}^2$ (480 W/ft^2) bedeutet. Jedoch variieren die Leistungsdichten der Reihe und des Raums zwischen den Fällen ganz erheblich.

Abbildung 1 – Leistungsdichte in Watt pro Einheitenfläche, pro Rack, pro Reihe und pro Raum für drei unterschiedliche Raumkonfigurationen



Die in Abbildung 1 gezeigten Unterschiede zwischen den Leistungsdichten pro Rack, pro Reihe und pro Raum sind repräsentativ für realistische alternative Installationen. Diese Unterschiede beeinflussen die Gestaltung der Leistungs- und Kühlungsinfrastruktur erheblich. Die gesamte Nennleistung der Stromversorgung und des Kühlungs-systems ist einfach die Gesamtsumme der von den Lasten aufgenommenen Leistung. Damit lässt sich die Gesamtgröße der unterbrechungsfreien Stromversorgung und der Klimaanlage für den Rechnerraum einfach ermitteln. Das Hauptproblem hinsichtlich der Schwankungen und der Spitzenwerte der Leistungsdichte bezieht sich auf die Leistungs- und Luftverteilung innerhalb des Datacenters.

Beachten Sie, dass die obigen Beschreibungen der Dichte gemäß der Gesamtfläche ausgedrückt werden, also einschließlich von Flächen wie Gängen, die zusätzlich zur Standfläche des Gehäuses erforderlich sind. Das ist die am häufigsten verwendete Methode zur Beschreibung von Dichte, und diese Terminologie wird

einheitlich im ganzen vorliegenden Dokument benutzt. Zum Teil wird in der Literatur, insbesondere von Computer-OEMs, die Dichte in Watt pro Einheitenfläche angegeben, wobei sich die Fläche auf die Standfläche des Gehäuses beschränkt. Diese Dichtewerte auf der Basis von Gerätestandflächen müssen um etwa 75 % nach unten angepasst werden.

Tatsächlich mögliche Leistungsdichte von aktuellen Datacentern

APC und andere Organisationen haben Umfragen bei Entwicklern und Betreibern von Datacentern durchgeführt, um die aktuellen Betriebsleistungsdichten und Entwicklungsgrenzen von neuen und bestehenden Datacentern und großen Netzwerkräumen zu ermitteln. Tabelle 1 stellt eine Zusammenfassung der Daten von 2002 aus zahlreichen Quellen dar, einschließlich Unternehmenskunden, Wartungspersonal und technischen Beratern. Der ermittelte tatsächliche Wert der Gesamtleistungsdichte pro Gehäuse entspricht ziemlich genau den Werten, die in neueren Studien der University of California in Berkeley¹ gefunden wurden.

Tabelle 1 – Umfragedaten hinsichtlich Gestaltung und tatsächlicher Leistungsdichte von Datacentern

Merkmal	Durchschnitt in Datacentern	90 % der Datacenter liegen unter	Gefundenes Beispiel mit Höchstwert
Geplante Leistungsdichte	0,38 kW/m ²	0,65 kW/m ²	2,15 kW/m ²
Tatsächliche Betriebsleistungsdichte	0,27 kW/m ²	0,43 kW/m ²	1,6 kW/m ²
Geplante Leistungsdichte pro Gehäuse	1,1 kW/Gehäuse	1,8 kW/Gehäuse	6 kW/Gehäuse
Tatsächliche Gesamtleistungsdichte pro Gehäuse	1,3 kW/Gehäuse	2 kW/Gehäuse	4 kW/Gehäuse
Tatsächliche Durchschnittsleistung pro Gehäuse bei Reihe mit höchster Gehäusedichte im Datacenter	2 kW/Gehäuse	3 kW/Gehäuse	5 kW/Gehäuse
Tatsächliche Höchstleistung pro Gehäuse im Datacenter	3 kW	6 kW	7 kW

Hinweis: Mit Gehäuse werden Rack-Gehäuse und Ausrüstungsgehäuse bezeichnet, wie z. B. für DASD und Mainframe-Computer. Gehäuse, die größer als ein Rack-Gehäuse sind, werden als Anzahl von Rack-Gehäusen gezählt, die dieselbe Standfläche einnehmen

¹ Mitchell-Jackson, J.D., Koomey, J.G., Nordman, B., Blazek, M., „Data Center Power Requirements: Measurements From Silicon Valley“ (Leistungsanforderungen von Datacentern: Messungen aus dem Silicon Valley), 16. Mai 2001. Magisterarbeit, Energy and Resources Group, University of California, Berkeley, Kalifornien.

Die Daten zeigen, dass die geplante Leistungsdichte für Datacenter durchschnittlich bei $0,38 \text{ kW/m}^2$, d. h. $1,1 \text{ kW}$ pro Gehäuse, liegt, wenn eine Standfläche von $0,09 \text{ m}^2$ angenommen wird. Dass die ermittelte tatsächliche Durchschnittsleistung pro Gehäuse größer ist als der geplante Wert, ist möglich, da im Durchschnitt die Dichte von $0,09 \text{ m}^2$ pro Gehäuse nicht erreicht wird. Die Ursache hierfür ist, dass Datacenter nicht komplett mit Gehäusen gefüllt sind. Beispiel: Ein Datacenter, das auf eine Leistungsdichte von $1,1 \text{ kW/Gehäuse}$ mit $0,09 \text{ m}^2/\text{Gehäuse}$ ausgelegt ist, kann eine Leistungsdichte pro Rack von $2,2 \text{ kW/Gehäuse}$ liefern, wenn die Gehäuse nur die Hälfte der verfügbaren Bodenfläche nutzen.

Beachten Sie, dass diese Daten nur für Fertigungsumgebungen gelten. Eine etwas höhere durchschnittliche und maximale Leistungsdichte wurde in Entwicklungs- und Testumgebungen ermittelt.

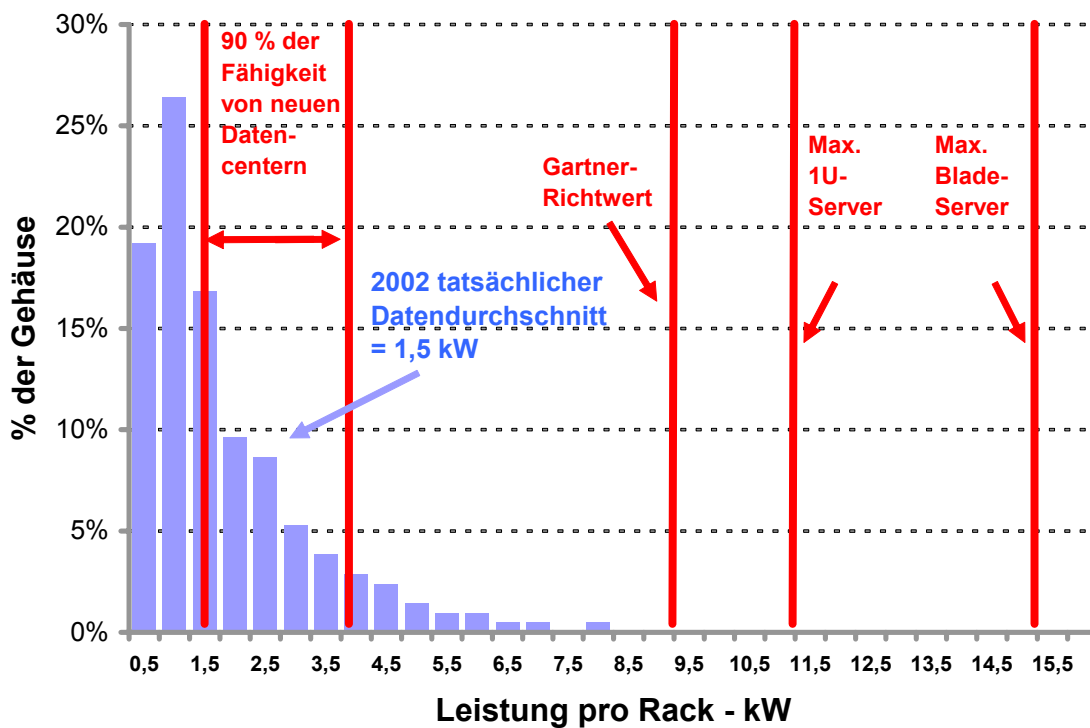
Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Leistungsaufnahme pro Rack auf der Basis von Umfragedaten². Dies bietet zusätzliche Einblicke in die führenden Konsumenten der Leistungsdichte. Jeder Abschnitt repräsentiert den prozentualen Anteil an Racks mit einer Leistungsaufnahme im Bereich von 500 Watt bis zu dem am Abschnitt angegebenen Wert. Der $1,5\text{-kW}$ -Abschnitt enthält beispielsweise Gehäuse mit einer Leistungsaufnahme zwischen 1 kW und $1,5 \text{ kW}$.

Beachten Sie in Abbildung 2, dass eine erhebliche Anzahl an Gehäusen in einem typischen Datacenter weniger als 500 W aufnimmt. Diese Gehäuse enthalten Patch-Panels und Racks mit Switches und Servern von geringer Packungsdichte. Viele dieser Racks enthalten auch erheblichen unbenutzten offenen, vertikalen Raum.

² Diese Daten sind schwieriger zu erhalten als die Daten in Tabelle 1, da die meisten Datacenter über keine Messausrüstung für die Leistung pro Rack verfügen. In vielen Fällen mussten die Daten geschätzt werden, indem die tatsächlichen Leistungsdaten für eine Gruppe von Racks unter den Gehäusen aufgeteilt wurden. Dafür wurden die herstellerübergreifenden Leistungsaufnahmedaten verwendet, die APC für den Einsatz in UPS-Bemessungstools nutzt.

Zusätzlich sehen Sie in Abbildung 2, dass sich die Anzahl der Gehäuse, die mehr als 2 kW Leistung aufnehmen, erheblich verringert und dass keine Gehäuse gefunden wurden, die mehr als 8 kW verbrauchten.

Abbildung 2 – Häufigkeitsverteilung der tatsächlichen Leistungsaufnahme pro Rack-Gehäuse in Relation zur maximal möglichen Rack-Konfiguration



Die tatsächlichen Leistungsaufnahmewerte pro Gehäuse sind in Abbildung 2 mit einigen Hinweislinien versehen. Die ersten beiden Hinweislinien zeigen auf der Basis einer Befragung von technischen Beratern den Bereich der durchschnittlichen Leistungsdichten an, für die neue Datacenter ausgelegt sind.

Die Linie mit der Beschriftung „Gartner-Richtwert“ repräsentiert den Wert 3,2 kW/m², den Gartner Research für die Auslegung neuer Datacenter in seiner Forschungsmittteilung vom Februar 2003, „Power and Heat in the Modern Data Center“ (Leistungsaufnahme und Temperatur im modernen Datacenter), vorschlägt. Beachten Sie, dass dieser Wert erheblich über dem heutigen Wert von bestehenden Datacentern sowie über dem Wert liegt, für den neue Datacenter ausgelegt werden. Dichtewerte dieser Größenordnung werden normalerweise in der einschlägigen Presse als geeignete Designwerte behandelt.

Die nächsten beiden Linien repräsentieren die Leistungsdichten, die erzielt werden können, wenn Rack-Gehäuse mit Serverprodukten in der derzeit verfügbaren höchsten Dichte ausgestattet werden, d. h. 1U-Server und Blade-Server. Diese Werte übersteigen die Designwerte für neue Datacenter und die tatsächlichen Werte bestehender Datacenter erheblich. Zwar können Blade-Server eine größere Leistungsaufnahme pro Rack haben als 1U-Server, jedoch sollte beachtet werden, dass die Blade-Server bei diesen Leistungsdichten etwa die doppelte Menge an Servern als 1U-Server versorgen. Dies lässt vermuten, dass Blade-Server pro Server ungefähr 40 % weniger Leistung aufnehmen als konventionelle 1U-Server.

Aufgrund dieser Daten sind die folgenden Beobachtungen möglich:

- Die meisten Gehäuse in Datacentern werden mit einer Leistung unterhalb des Designwertes für das Datacenter betrieben.
- Kompakte Computerausrüstung wird nicht wirklich in der maximalen Dichte installiert, die erreicht werden kann.
- Leistungsdichtewerte, die regelmäßig in der einschlägigen Presse genannt werden, werden von den wenigsten vorhandenen oder geplanten Datacentern erreicht.

Im vorliegenden Dokument bezieht sich der Begriff „kompakt“ auf Gehäuse mit mehr als 3 kW, wobei der Wert von 3 kW der Obergrenze der durchschnittlichen Kühlfähigkeit von aktuellen Datacentern entspricht.

Anforderungen hinsichtlich Leistung und Kühlung für das kompakte Gehäuse

Ein Beispiel für ein ultrakompaktes Gehäuse ist eine Blade-Server-Installation mit sechs 7U-High-Blade-Server-Rahmen in einem 42U-Rack, wobei jedes Blade-Gehäuse 3 kW aufnimmt, was einen Gesamtleistungsbedarf von 18 kW ergibt. Das bedeutet, dass für dieses Gehäuse 18 kW Leistung sowie 18 kW Kühlung zur Verfügung gestellt werden müssen. Ein System dieser Art würde in der Regel als kritisch betrachtet werden und es wären Redundanzen bei Stromversorgung und Kühlung erforderlich.

Leistungsbedarf

Vom Gesichtspunkt der Leistung aus würde dieses System wahrscheinlich **zwölf** 30-A-Stromversorgungs-kreise mit 208 V oder 230 V benötigen (zwei für jedes Blade-Gehäuse mit doppeltem Stromkabel. Ein gemeinsamer Stromkreis über zwei Server würde einzelne Lasten zu nahe an die Auslöseschwelle der Sicherung bringen). Das Kabel für diesen Stromkreis ist sperrig und erfordert normalerweise eine Überkopf-Verlegung, um Blockaden der Luftzirkulation im Doppelboden (falls verwendet) zu vermeiden. Dies gilt insbesondere, wenn sich mehrere solche Gehäuse nahe beieinander befinden. Alternativ kann die Tiefe eines Doppelbodens, falls verwendet, so vergrößert werden, dass die Verkabelung Platz findet. In jedem

Fall muss substanzielle zusätzliche Verkabelung installiert werden, was bei einem vorhandenen Datacenter kompliziert und teuer sein kann. Anhand dieser Methoden ist es möglich, einem ultrakompakten Rack redundante Leistung zu liefern.

Kühlungsbedarf

Die Kühlung eines ultrakompakten Gehäuses ist viel problematischer als die Stromversorgung. Das oben beschriebene Blade-Server-System würde etwa 1.180 l/s (2.500 Kubikfuß/min) Kühlluft an der Ansaugöffnung benötigen (bei einem üblichen Wert von 11 °C [20 °F] Ablufttemperaturerhöhung) und dieselbe Menge an heißer Abluft an der Rückseite des Gehäuses abgeben. Die Ausrüstung saugt dieses Luftvolumen an, unabhängig davon, ob das Kühlungssystem das Luftvolumen zur Verfügung stellen kann. Wenn der Raum dem Gehäuse diese Menge an Kühlluft nicht liefern kann, saugt das Gehäuse seine eigene heiße Abluft an (oder die Abluft angrenzender Ausrüstung) und wird schließlich überhitzt. Viele Schlüsselemente sind erforderlich, um die benötigte Kühlleistung zu erzielen:

- Versorgung des Gehäuses mit 1.180 l/s (2.500 cfm) Kühlluft
- Entsorgen von 1.180 l/s (2.500 cfm) heißer Abluft aus dem Gehäuse
- Ableiten der heißen Abluft entfernt von den Luftansaugöffnungen der Ausrüstung
- Redundante und unterbrechungsfreie Bereitstellung all dieser Funktionen

Jede einzelne dieser Funktionen ist schwer zu erreichen. Die einzelnen Schwierigkeiten werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

Versorgung des Gehäuses mit 1.180 l/s (2.500 cfm) Kühlluft

Ein typisches Datacenter bietet eine belüftete Bodenfliese für jedes Gehäuse. Die typische belüftete Bodenfliese in einem typischen Datacenter kann dem Gehäuse ungefähr 142 l/s (300 cfm) Kühlluft zuführen. Ein 18-kW-Gehäuse benötigt also 8 belüftete Bodenfliesen, d. h. das Achtfache dessen, was normalerweise zugeteilt wird. Die Breite der Gänge und der Abstand zwischen den Racks müssten erheblich vergrößert werden, um 8 belüftete Fliesen pro Gehäuse zu ermöglichen. In einem typischen Datacenter ist das nicht durchführbar.

Abbildung 3 zeigt die Kapazität der Kühlleistung einer Bodenfliese als Funktion des Luftstroms pro Fliese. Die Kühlleistung steigt mit dem Luftstrom der Fliese, aber die Abbildung zeigt, dass eine höhere Luftzufuhr nicht praktikabel ist. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass ein Luftstrom pro Fliese von über 142 l/s (300 cfm) eine präzise Erhöhung des Doppelbodens, Platzierung der Klimaanlage für den Rechneraum sowie die sorgfältige Kontrolle von Leitungen und Kabeln unter dem Boden erfordert, da diese den Luftstrom behindern können. Für einen Luftstrom von über 236 l/s (500 cfm) pro Fliese sind spezielle Bodenfliesen erforderlich, die als offene Metallgitter gestaltet sind. Damit sind in einem typischen Datacenter bis zu 330 l/s (700 cfm) pro Bodenfliese möglich. Jedoch ändert die Verwendung dieser Gitter die Unterboden-Druckgradienten erheblich und beeinflusst den Luftstrom in umgebenden Bereichen. Werden mehrere dieser Gitter verwendet, fällt der lokale Druck im Doppelboden und die vollständige Luftzufuhr wird nicht realisiert.

Um den Luftstrom weiter zu erhöhen und den Unterbodendruck auszugleichen, muss die Tiefe des Doppelbodens erheblich vergrößert werden, wodurch letztendlich eine höhere Luftzufuhr pro Fliese nicht mehr möglich ist.

Abbildung 3 – *Verfügbare Kapazität der Kühlleistung einer Bodenfliese für ein Rack-Gehäuse als Funktion des Luftstroms pro Fliese*

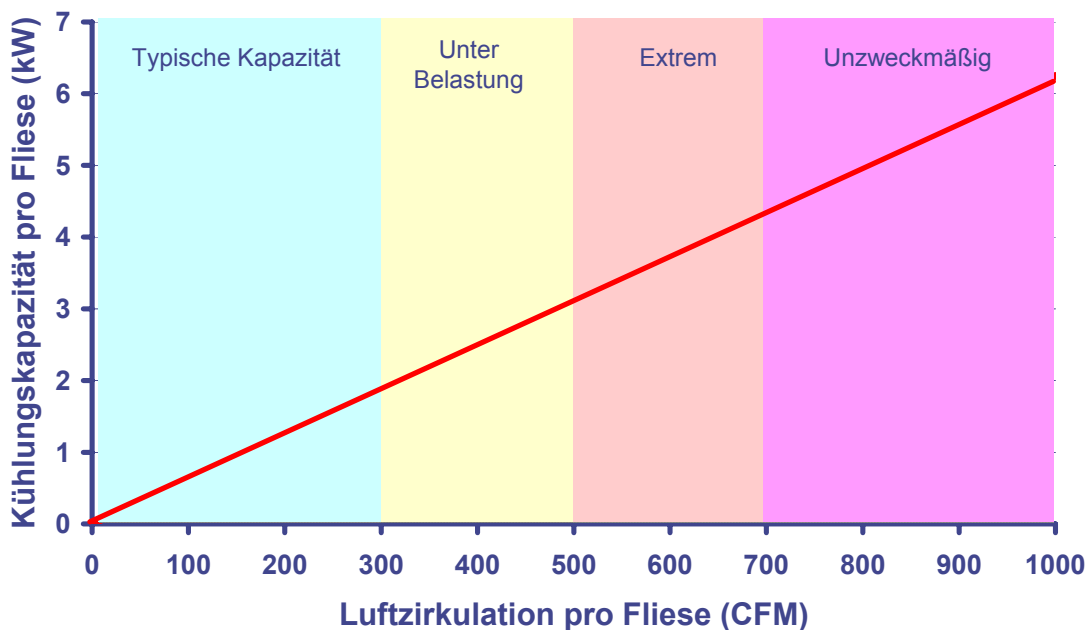


Abbildung 3 zeigt, dass selbst bei Implementierung eines extremen Designs 4 bis 5 Bodenfliesen erforderlich wären, um ein hypothetisches 18-kW-Rack-Gehäuse zu kühlen. Jedoch bietet das typische Datacenter nur eine belüftete Bodenfliese pro Rack-Gehäuse. Die Anordnung eines konventionellen Datacenters mit einer belüfteten Fliese pro Rack ist einfach nicht in der Lage, Racks mit mehr als ca. 3 kW pro Rack über eine größere Fläche zu kühlen.

Entsorgen von 1.180 l/s (2.500 cfm) heißer Abluft aus dem Gehäuse

Es gibt drei Möglichkeiten, dem Kühlsystem die Abluft wieder zuzuführen: durch den Raum, durch ein Rohr oder durch den Deckenverteiler. Idealerweise würde die heiße Abluft aus der Ausrüstung direkt zurück in das Kühlsystem geführt, ohne dass sie sich mit der umgebenden Luft mischen oder in die Ansaugöffnungen der Ausrüstung gezogen werden kann. Dafür ist ein direkter Rücklauf ohne Hindernisse erforderlich. So ist etwa für einen Durchlauf von 1.180 l/s (2.500 cfm) in einem 30-cm-Rohr (12 Zoll) eine Luftgeschwindigkeit von 56 km/h (35 mph) erforderlich. Eine hohe offene Decke mit einer großen Luftrückführung an einer zentralen hohen Position ist eine Möglichkeit für diese Funktion. Jedoch hängen viele Datacenter davon ab, dass die Luftrückführung über Rückführungsrohre oder einen hängenden Deckenverteiler geführt wird, und viele verlassen sich auf den Rücklauf der Luftmassen durch den Raum unter einer Decke, die nur wenig höher als die Gehäuse ist. Diese Fälle bedeuten technische Herausforderungen für die Gestaltung.

Die Verfügbarkeit der Lufrückführung an einem bestimmten Rack-Gehäuse ist ebenso begrenzt wie die Luftzufuhr. Versuche, eine Luftzuführung von mehr als etwa 189 l/s (400 cfm) pro Rack über einen größeren Bereich bereitzustellen, erfordern spezielle Techniken, um sicherzustellen, dass das System über die erforderliche Leistung und Reserven verfügt.

Ableiten der heißen Abluft entfernt von den Luftansaugöffnungen der Ausrüstung

Der kürzeste Versorgungsweg der Luft zur Ansaugöffnung der IT-Ausrüstung ist die Rückzirkulation der eigenen Abluft. Als wesentlicher Teil des Datacenterdesigns muss beachtet werden, dass die Kühlluftzufuhr und die Abluftrückführung diese unerwünschte Rückzirkulation dominieren. Dies ist besonders eine Herausforderung in kompakten Umgebungen, da die hohe Luftgeschwindigkeit den Widerstand der Luftverteilungs- und Rückführungssysteme überwinden muss. Diesem Problem kann mit verschiedenen Methoden begegnet werden, die ausführlicher im APC-Whitepaper Nr. 49, „Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms“ (Vermeidbare Fehler, die die Kühlleistung in Datacentern und Netzwerkräumen beeinträchtigen), beschrieben sind.

Redundante und unterbrechungsfreie Bereitstellung all dieser Funktionen

In einem hochverfügbaren Datacenter muss die Leistung auch während einer geplanten oder ungeplanten Abschaltung von Einheiten der Klimaanlage verfügbar sein. Das bedeutet, dass die Kühlung auch sichergestellt sein muss, wenn eine beliebige Einheit der Klimaanlage ausgeschaltet ist. In konventionellen Datacentern versorgen mehrere Klimaanlage-Einheiten einen gemeinsamen Doppelboden oder Überkopfverteiler. Dabei wird angenommen, dass die Leistung aller Einheiten der Klimaanlage addiert wird und in der gesamten Luftverteilung für gleichmäßigen Druck sorgt. Das System ist so angelegt, dass es die Anforderungen für Luftzufuhr und Kühlung erfüllt, wenn eine Einheit der Klimaanlage ausfällt.

Wenn die Betriebsleistungsdichte von konventionellen Datacentern erhöht wird, steigt der Luftstrom in den Verteilerbereichen und die Grundannahmen über den Betrieb des gemeinsamen Verteilersystems verlieren ihre Gültigkeit. Das Abschalten einer einzelnen Klimaanlage-Einheit des Rechnerraums kann die lokalen Luftstromgeschwindigkeiten im Verteiler drastisch ändern. Der Luftstrom in einer einzelnen Bodenfliese kann sich sogar umkehren und als Resultat des Venturi-Effekts Luft nach unten in den Boden ziehen. Der Betrieb des Kühlungssystems unter Fehlerbedingungen wird bei steigender Leistungsdichte immer weniger vorhersagbar. Daher werden kompakte Installationen häufig mithilfe numerischer Simulationen simuliert, um entsprechende Redundanzen bereitzustellen.

Das Konzept der unterbrechungsfreien Kühlung stellt in einer kompakten Server-Umgebung ebenfalls eine Herausforderung dar. Das Kühlungssystem eines konventionellen Datacenters erhält Reserveleistung von einem Standby-Generator und nicht von der unterbrechungsfreien Stromversorgung. Im durchschnittlichen Datacenter ist die Startverzögerung des Generators akzeptabel, da der Verlust von Kühlung und Luftzufuhr für die 5-20 Sekunden bis zum Generatorstart nur eine Temperaturerhöhung von ungefähr 1 °C (1,8 °F) verursacht. Jedoch würde die Lufttemperatur bei dicht gepackten Racks in der Größenordnung von 18 kW pro Gehäuse bei der typischen Startverzögerung des Generators schätzungsweise um nicht akzeptable

8-30 °C (14-54 °F) steigen. Daher ist es in einer kompakten Installation erforderlich, die Lüfter, Pumpen und in einigen Fällen sogar die Einheiten der Klimaanlage im Rechnerraum pausenlos zu betreiben, um eine ununterbrochene Kühlung sicherzustellen. Dies ist ein wichtiger Kostenfaktor und eine wesentliche Barriere beim Einsatz von kompakten Rack-Lösungen.

Alternativen für den Einsatz von kompakten Gehäusen und Blade-Servern

Für die Installation von kompakten Gehäusen und Blade-Servern gibt es die folgenden fünf alternativen Grundmethoden:

- 1.** Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit, jedes Rack bis zur maximalen Dichte des Gehäuses mit Strom und Kühlung zu versorgen
- 2.** Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse und bei Bedarf Verwenden zusätzlicher Kühlausrüstung, um Racks zu kühlen, die dichter bepackt sind als der vorgesehene Durchschnitt
- 3.** Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse und Aufstellen von Regeln, nach denen kompaktere Racks nicht voll genutzte Kühlkapazität von angrenzenden Racks nutzen können
- 4.** Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem potenziellen Maximalwert für das Gehäuse und Verteilen der Last von etwaigen vorgeschlagenen Gehäusen, deren Last den geplanten Durchschnittswert überschreitet, indem die Ausrüstung auf mehrere Rack-Gehäuse aufgeteilt wird
- 5.** Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse, Bereitstellen eines eingeschränkten Bereichs mit hoher Kühlkapazität innerhalb des Raums und Beschränken von kompakten Gehäusen auf diesen Bereich

Im Folgenden wird jede dieser Methoden mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen erläutert.

Methode 1: Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit, jedes Rack bis zur maximalen Dichte des Gehäuses mit Strom und Kühlung zu versorgen

Dies ist konzeptuell die einfachste Lösung, wird aber nie implementiert, da in Datacentern immer eine substantielle Variation in der Leistung pro Rack besteht und die Auslegung für den schlimmsten Fall daher Verschwendung wäre. Des Weiteren erfordert eine Auslegung für eine Rack-Gesamtleistungsdichte von über 6 kW pro Rack eine äußerst komplexe Konstruktion und Analyse. Diese Methode wäre nur in einer extremen Situation sinnvoll.

Methode 2: Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse und Verwenden zusätzlicher Kühlausrüstung, um Racks zu kühlen, die dichter bepackt sind als der vorgesehene Durchschnitt

Diese Lösung erfordert normalerweise, dass die Installation vorab so geplant wird, dass sie jederzeit bei Bedarf ergänzende Kühlausrüstung nutzen kann. Wenn ein Raum auf diese Weise geplant wurde, steht eine Vielzahl von Techniken zur ergänzenden Rack-Kühlung zur Verfügung:

- Installation von speziellen Bodenfliesen oder Lüftern, um die Kühlluftzufuhr von der Klimaanlage zu einem Gehäuse zu steigern
- Installation von speziellen Rückführungsrohren oder Lüftern, um die heiße Abluft von einem Gehäuse in die Klimaanlage zurückzuleiten
- Installation von speziellen Racks oder im Rack montierten Kühlungssystemen mit der Fähigkeit, das Rack wie erforderlich direkt zu kühlen

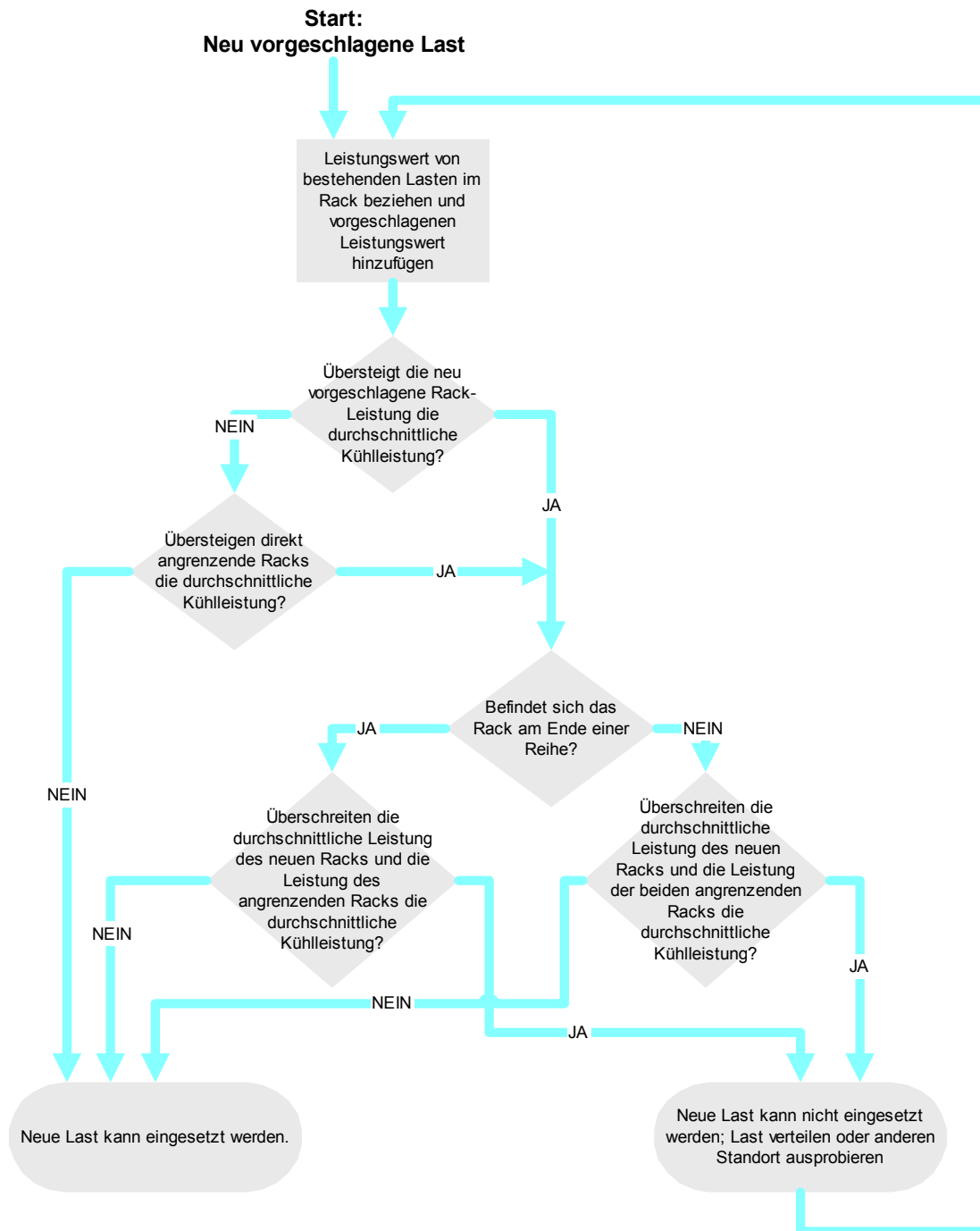
Diese Methoden sind das Thema der Diskussion im APC-Whitepaper Nr. 41: „Rack Cooling Options for Data Centers and Network Rooms“ (Optionen zur Rack-Kühlung für Datacenter und Netzwerkräume). Diese Möglichkeiten sind erst seit kurzem erhältlich und werden derzeit kaum in Datacentern eingesetzt. Jedoch bieten sie erhebliche Flexibilität und müssen bei einer geeigneten Planung erst dann erworben und installiert werden, wenn sie nötig sind.

Methode 3: Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse und Aufstellen von Regeln, nach denen kompaktere Racks nicht voll genutzte Kühlkapazität von angrenzenden Racks nutzen können

Diese freie Lösung wird häufig praktiziert, aber selten dokumentiert. Diese Methode nutzt die Tatsache, dass einige Racks weniger Leistung aufnehmen als durchschnittlich geplant. Die voll genutzte Kühlungs- und Rückführungskapazität von entsprechenden Gehäusen steht anderen, angrenzenden Gehäusen zur Verfügung. Die einfache Regel „Keine kompakten Racks nebeneinander platzieren“ wirkt sich vorteilhaft aus, es können jedoch anspruchsvollere Regeln aufgestellt werden, anhand deren Gehäuse zuverlässig und vorhersagbar bis über das Doppelte des geplanten Durchschnittswert gekühlt werden können. Diese Regeln lassen sich aufgrund von Richtlinien und Bestimmungen aufstellen, die durch die Überwachung der Leistungsaufnahme auf Rack-Ebene verifiziert werden. Diese Funktion kann durch ein Managementsystem automatisiert werden, z. B. den ISX Manager von APC Corp. Die Automatisierung dieser Funktion wird unverzichtbar, wenn neuere IT-Ausrüstung eingeführt wird, deren Leistungsaufnahme mit der Zeit variiert.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für eine sinnvolle Regel, die anhand dieser Methode implementiert werden könnte. Diese Regel würde auf die Verteilung neuer Ausrüstung angewendet, damit die Ausrüstung gemäß der Kapazität des Kühlungssystems eingesetzt werden kann. Unter dieser Regel steht die Kühlkapazität, die direkt benachbarte Gehäuse nicht nutzen, für die Kühlung eines Racks mit Ausrüstung zur Verfügung. Damit kann die maximale Leistungsdichte des Gehäuses die durchschnittliche Kühlleistung des Raums um einen Faktor bis zu 3 überschreiten, wenn die Kühlkapazität der angrenzenden Gehäuse nicht voll genutzt wird. In typischen Datacentern kann dies eine sehr wirkungsvolle Methode sein, kompakte Gehäuse zu implementieren, da benachbarte Gehäuse häufig nicht die vollständige verfügbare Kühlkapazität nutzen.

Abbildung 4 – Beispiel einer Methode, die nicht genutzte Kühlkapazität von kompakten Gehäusen anhand bestimmter Regeln zur Verfügung stellt



Methode 4: Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem potenziellen Maximalwert für das Gehäuse und Verteilen der Last von etwaigen vorgeschlagenen Gehäusen, deren Last den geplanten Durchschnittswert überschreitet, indem die Ausrüstung auf mehrere Rack-Gehäuse aufgeteilt wird

Dies ist die beliebteste Lösung zur Eingliederung kompakter Ausrüstung in die Datencenter von heute. Glücklicherweise müssen nicht alle verkauften 1U-Server und Blade-Serverprodukte in einem einzigen Rack-Gehäuse installiert, sondern können über mehrere Gehäuse verteilt werden. Durch Aufteilen der Ausrüstung über mehrere Racks muss kein Rack den geplanten Wert der Leistungsdichte überschreiten, daher ist die Kühlleistung vorhersagbar.

Beachten Sie, dass bei der Verteilung von Ausrüstung auf mehrere Gehäuse eine beträchtliche Menge an unbenutztem vertikalem Raum in den Racks verbleibt. Dieser Raum muss mit Abschlussblechen versehen werden, um eine Verringerung der Kühlleistung zu verhindern. Siehe dazu das APC-Whitepaper Nr. 44, „Improving Rack Cooling Performance Using Blanking Panels“ (Verbessern der Rack-Kühlleistung mithilfe von Abschlussblechen).

Die erforderliche Verteilung von kompakter Ausrüstung über mehrere Racks ist häufig auch durch andere Faktoren außer der Kühlung begründet. Die benötigte Menge an Spannungsversorgung oder Datenzufuhr zum Rack ist eventuell nicht durchführbar, und im Falle von 1U-Servern kann die Masse der Verkabelung im rückwärtigen Teil des Gehäuses die Luftzufuhr erheblich blockieren oder sogar das Schließen der hinteren Türen verhindern.

Methode 5: Ausstatten des Raums mit der Fähigkeit zur Stromversorgung und Kühlung bis zu einem Durchschnittswert unter dem Maximalwert für das Gehäuse, Bereitstellen eines eingeschränkten Bereichs mit hoher Kühlkapazität innerhalb des Raums und Beschränken von kompakten Gehäusen auf diesen Bereich

Für diese Methode muss der Anteil an kompakten Gehäusen vorab bekannt sein und die Möglichkeit bestehen, diese Gehäuse in einem speziellen Bereich zu isolieren, damit eine optimale Raumnutzung erzielt werden kann. Leider ist der Anteil an kompakten Gehäusen in der Regel nicht vorher bekannt.

Zusammenfassung

Tabelle 2 fasst die Vor- und Nachteile der fünf Methoden zur Kühlung von kompakten Gehäusen zusammen.

Tabelle 2 – Anwendung der fünf Methoden zur Kühlung von kompakten Gehäusen

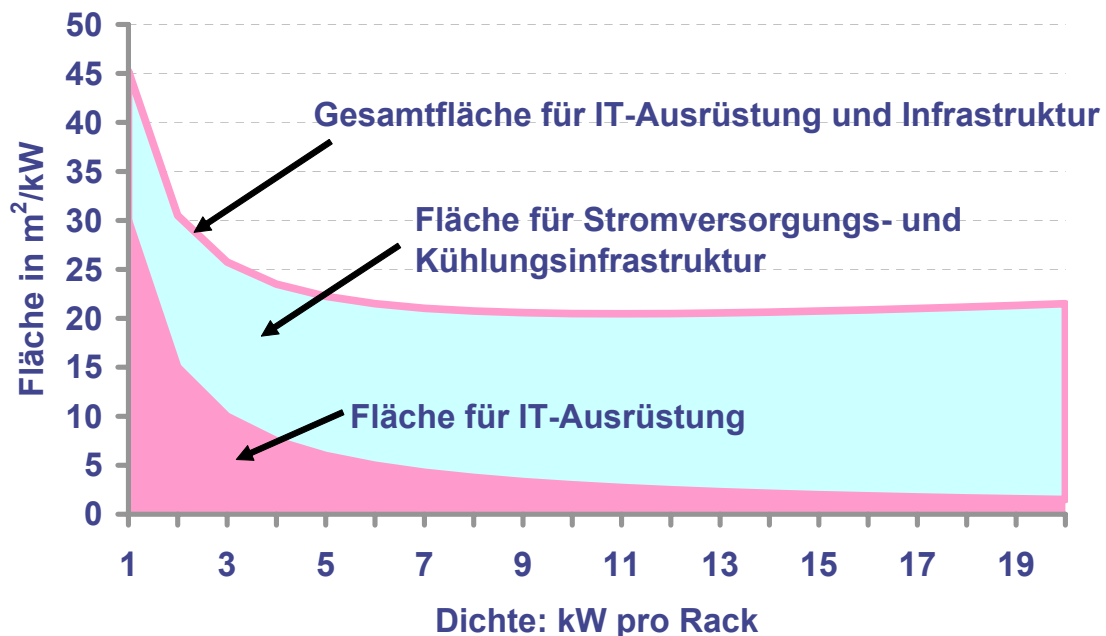
Methoden	Vorteile	Nachteile	Anwendung
1) Bereitstellung von maximaler Kühlkapazität für jedes Gehäuse	Allen zukünftigen Situationen gewachsen	Extreme Anschaffungs- und Betriebskosten, bis zu 4-mal höher als für alternative Methoden Komplexe Konstruktion Bereitstellung von Redundanz problematisch Hoher Platzverbrauch durch übergroße Infrastruktur	Extreme Fälle von umfangreicher kompakter Ausrüstung auf äußerst begrenztem physischen Raum
2) Bereitstellung durchschnittlicher Kühlkapazität mit Vorkehrungen für ergänzende Kühlungsausrüstung	Hohe Dichte je nach Bedarf Zurückgestellte Anschaffungskosten Hohe Effizienz Optimale Nutzung der Bodenfläche	Beschränkt auf etwa 7 kW pro Gehäuse Racks und Raum müssen vorab dafür gestaltet werden	Neue Konstruktion
3) Bereitstellung durchschnittlicher Kühlkapazität mit Regeln für die Übernahme von nicht voll genutzter Kapazität	Keine Planung erforderlich Grundsätzlich frei in vielen Fällen	Beschränkt auf etwa das Doppelte der durchschnittlichen Leistungsdichte Benötigt mehr Standfläche Erzwingt die Einhaltung von Regeln	Wenn kompakte Ausrüstung einen kleinen Teil der Gesamtlast ausmacht
4) Aufteilen der Ausrüstung zwischen Gehäusen, um Spitzenlasten gering zu halten	Überall funktionsfähig, keine Planung erforderlich Grundsätzlich frei in vielen Fällen	Benötigt mehr Standfläche Nur möglich, wenn sich die Ausrüstung auf Racks verteilen lässt	Wenn kompakte Ausrüstung einen kleinen Teil der Gesamtlast ausmacht und keine besondere Platzbeschränkung besteht
5) Spezieller Bereich mit hoher Dichte	Optimale Nutzung der Bodenfläche	Größe des Bereichs mit hoher Dichte muss vorab bekannt sein Kompakte Ausrüstung muss isoliert werden	Wenn der Anteil an kompakten Racks konstant und bekannt ist

Vorteile der Verdichtung

Die vorherigen Abschnitte führen eine Reihe von schwierigen Barrieren hinsichtlich Kosten, Komplexität und Zuverlässigkeit auf, die mit Gehäusen mit hoher Leistungsdichte verbunden sind. Diese Probleme müssen überwunden werden, ohne im Datacenter eine hohe Dichte zu erreichen. Fachpublikationen der Branche prognostizieren vorwiegend, dass die Verdichtung von Datacentern unvermeidbar ist und momentan durchgeführt wird, da die Verdichtung mit Kosten- und Rausersparnissen verbunden ist. Die Daten vermitteln, dass sich eine steigende Verdichtung durch das Erhöhen der Dichte ohne fundamentale Verringerung der Leistungsaufnahme nicht lohnt.

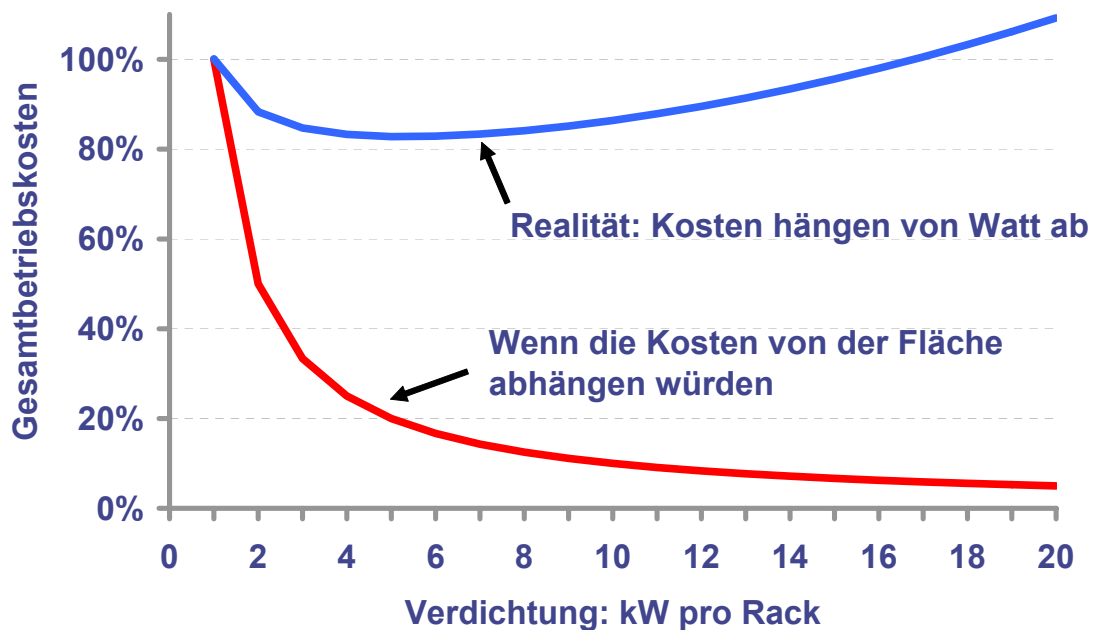
Abbildung 5 zeigt den Datacenterbereich pro kW als Funktion der Leistungsdichte von IT-Ausrüstung. Wird die Dichte der IT-Ausrüstung erhöht, verringert sich die Standfläche für diese Ausrüstung wie in der unteren Kurve gezeigt. Es gibt jedoch in der Gebäudefläche keine entsprechende Verringerung bezüglich Leistungs- und Kühlungsinfrastruktur. Nachdem die Leistungsdichte etwa 2,5 kW pro Rack überschreitet, benötigt die Ausrüstung für Stromversorgung und Kühlung mehr Fläche als die IT-Ausrüstung. Das heißt, dass eine Verdichtung über etwa 4-5 kW pro Rack keine weitere Verringerung der Gesamtfläche ergibt.

Abbildung 5 – Datacenterbereich pro kW Kapazität als Funktion der Rack- Leistungsdichte



Der unausgesprochene und weit verbreitete Glaube, der eine grundlegende Voraussetzung für die Verdichtung ist, besagt, dass die Kosten eines Datacenters von dessen Fläche abhängen, eine Verdichtung also Kosten senkt. Abbildung 6 zeigt die Gesamtbetriebskosten des Datacenters als Funktion der Leistungsdichte von IT-Ausrüstung. Wenn die Dichte der IT-Ausrüstung erhöht wird, ist ein weithin erwartetes Ergebnis, dass sich die Gesamtbetriebskosten proportional verringern, wie in der unteren Kurve in der Abbildung gezeigt. In der Realität sieht es jedoch so aus, dass 75 % der Gesamtbetriebskosten eines Datacenters von der Leistungsaufnahme und nur 25 % von der Fläche abhängen. Des Weiteren erhöhen sich die Kosten pro Watt mit größerer Leistungsdichte gemäß der weiter oben beschriebenen Faktoren. Die Folge ist, dass die Gesamtbetriebskosten mit höherer Leistungsdichte nicht wesentlich sinken, sondern im Gegenteil nach Überschreitung einer optimalen Leistungsdichte von etwa 4 kW pro Gehäuse steigen.

Abbildung 6 – Variation der Gesamtbetriebskosten eines Datacenters als Funktion der Rack-Leistungsdichte



Die Vorteile einer höherer Leistungsdichte von IT-Ausrüstung sind gering. Jedoch ergeben sich erhebliche Vorteile aus der Verringerung der Leistungsaufnahme von IT-Ausrüstung, denn sowohl die Fläche als auch die Gesamtbetriebskosten des Datacenters werden, wie in den vorherigen Abschnitten gezeigt, durch die Leistungsaufnahme deutlich beeinflusst. Tabelle 3 zeigt, wie eine weitere Verringerung des Stromverbrauchs und der Größe von IT-Ausrüstung die Fläche und die Gesamtbetriebskosten des Datacenters beeinflusst. Im Vergleich zum typischen Standardgehäuse ergibt eine Senkung der Leistungsaufnahme einen viel größeren Vorteil als eine proportionale Verringerung der Größe.

Tabelle 3 – Ersparnisse bei Fläche und Gesamtbetriebskosten des Datacenters durch Verringerung der Größe und der Leistungsaufnahme von IT-Ausrüstung

Verbesserung der IT-Ausrüstung	Flächensparnis	Gesparte Gesamtbetriebskosten	Analyse
50 % Verringerung der Größe, gleiche Leistungsaufnahme	14 %	4 %	Erwartete Flächensparnisse werden nicht realisiert, da die Fläche für Stromversorgung und Kühlsystem dominiert. Erwartete Ersparnisse bei den Gesamtbetriebskosten werden nicht realisiert, da die Gesamtbetriebskosten von den Kosten der Stromversorgung dominiert werden.
50 % Verringerung der Leistungsaufnahme, gleiche Größe	26 %	35 %	Große Flächeneinsparungen ergeben sich aus Platzersparnis für Stromversorgung und Kühlung. Große Ersparnisse bei Gesamtbetriebskosten, da die Gesamtbetriebskosten von den Kosten der Leistungsaufnahme dominiert werden.

Hinweis: Ein Standardgehäuse enthält typischerweise 3 kW pro Rack, Zweiprozessor-2U-Server

Optimale Kühlungsstrategie

Aus den Informationen in vorliegendem Dokument lässt sich eine schlüssige Strategie ableiten, die für die meisten Installationen optimal ist. Diese Strategie verwendet eine Kombination aus den weiter oben erläuterten Methoden.

Tabelle 4 – Praktische Strategie zu optimierter Kühlung beim Einsatz von kompakter Computerausrüstung

Strategieelement	Zweck
1) Ignorieren der physischen Größe von IT-Ausrüstung und Konzentration auf Funktionalität pro verbrauchtem Watt	Wirksame Methode zur Minimierung von Fläche und Gesamtbetriebskosten
2) Gestaltung des Systems mit Vorkehrungen für spätere Installation ergänzender Kühlungssysteme	Damit in Anbetracht ungewisser zukünftiger Anforderungen ergänzende Kühlungssysteme bei Bedarf im laufenden Datacenter installiert werden können
3) Wahl einer grundlegenden Leistungsdichte für neue Designs zwischen 0,4 und 1,1 kW/m ² [40 und 100 W/ft ²] mit 0,6 kW/m ² [60 W/ft ²] (durchschnittlich 1.800 W/Gehäuse) als praktischen Wert für die meisten neuen Designs	Die grundlegende Leistungsdichte sollte gewählt werden, um erhebliche Verschwendung wegen Überdimensionierung zu vermeiden. Indem sie unter 1,1 kW/m ² (100 W/ft ²) gehalten wird, werden Leistung und Redundanz vorhersagbar.

Strategieelement	Zweck
4) Bei einem großen und vorhersagbaren Anteil an Lasten in hoher Dichte: Einrichten und Ausstatten spezieller kompakter Bereiche mit 1,1-2,2 kW/m² [100-200 W/ft²] (3-6 kW pro Gehäuse) im Datencenter	Wenn vorab bekannt ist, dass ein Bereich mit hoher Dichte erforderlich ist und die Last nicht über mehrere Gehäuse verteilt werden kann. Dies kann erhebliche zusätzliche Kosten, Zeitaufwand und Komplexität für die Gestaltung des Datacenters bedeuten.
5) Aufstellen von Richtlinien und Regeln zur zulässigen Leistungsaufnahme für ein Gehäuse, abhängig von seinem Standort und den benachbarten Lasten	Durch Kombination der vorhandenen Fähigkeiten mit der Überwachung der Stromversorgung kann die Implementierung von Regeln für neue Ausrüstungsinstallationen Engpässe reduzieren, die Kühlungseffizienz des Systems verbessern und die Leistungsaufnahme senken. Anspruchsvollere Regeln und Überwachung können eine höhere Leistungsdichte ermöglichen.
6) Verwenden ergänzender Kühlungssysteme, wenn angegeben	Bei Bedarf Installation von ergänzenden Kühlungssystemen, um die Kühlkapazität eines Bereichs in einem Datencenter auf das maximal 3fache des Basiswerts zu erhöhen und kompakte Ausrüstung zu versorgen.
7) Aufteilen von Ausrüstung, die sich nicht gemäß den Regeln installieren lässt	Die Option mit den niedrigsten Kosten und dem geringsten Risiko. Kann aber beträchtlichen Raum beanspruchen, wenn nicht nur ein kleiner Anteil an Lasten mit hoher Dichte vorhanden ist. Viele Benutzer, bei denen keine besonderen Flächenbeschränkungen bestehen, wählen dies als ihre primäre Strategie.

Schlussfolgerungen

Die maximale Rack-Leistungsdichte der neuesten Generation von kompakter IT-Ausrüstung beträgt etwa das 10fache der durchschnittlichen Rack-Leistungsdichte in bestehenden Datacenters. Es gibt eine unerhebliche Anzahl an Rack-Gehäusen, die in vorhandenen Datacenters mit nur der Hälfte dieser maximalen Leistungsdichte arbeiten.

Die derzeitigen Methoden und Auslegungen für Datacenter können praktisch die erforderliche Kühlung für diese kompakte Ausrüstung nicht liefern, da Beschränkungen in den Systemen für Luftzufuhr und -rückführung bestehen und es schwierig ist, beim Umschalten zum Generator redundante und unterbrechungsfreie Kühlung zu bieten.

Wenn das Ziel darin besteht, die Fläche des Datacenters und die Gesamtbetriebskosten zu senken, sollten sich Kunden beim Erwerb von IT-Ausrüstung auf die Funktionalität pro Watt konzentrieren und die physische Größe der IT-Ausrüstung ignorieren. Diese unerwartete Schlussfolgerung ergibt sich daraus, dass die Leistungsaufnahme über $0,6 \text{ kW/m}^2$ (60 W/ft^2) einen stärkeren Einfluss auf die Gesamtbetriebskosten und die Fläche hat als die Größe der IT-Ausrüstung.

Es gibt eine Vielzahl von Lösungen, mit denen kompakte Rechnerausrüstung effizient in herkömmlichen Umgebungen eingesetzt werden kann. Während die Gestaltung ganzer Datacenter mit hoher Dichte unpraktikabel bleibt, können Datacenter die begrenzte Installation von kompakter Ausrüstung unterstützen, indem sie ergänzende Kühlungssysteme anhand von Regeln nutzen, nach denen nicht voll genutzte Kapazitäten von angrenzender Ausrüstung übernommen und schließlich die Last auf mehrere Gehäuse verteilt wird.

Wenn eine Installation mit einem hohen prozentualen Anteil an dicht bepackten Gehäusen geplant wird und die Ausrüstung nicht auf mehrere Gehäuse verteilt werden kann, besteht die einzige Alternative darin, diese Fähigkeit für alle Gehäuse vorzusehen. Jedoch wird die genutzte vertikale Höhe und Fläche in einem solchen Datacenter im Vergleich zum typischen Design deutlich vergrößert, um die erforderliche Luftzufuhr zu ermöglichen.

Trotz der Diskussionen in den Fachzeitschriften über die Auslegung von Datacenter in einer Dichte von $3,2$ bis $6,5 \text{ kW/m}^2$ bleiben solche Dichten aufgrund der hohen Kosten und der Schwierigkeiten beim Erreichen einer hohen Verfügbarkeit unpraktikabel. Aktuelle Auslegungen für hochverfügbare, leistungsstarke Datacenter sind im Bereich von $0,4$ bis $1,1 \text{ kW/m}^2$ [40 bis 100 W/ft^2] (durchschnittlich $1,2 \text{ kW}$ bis 3 kW pro Rack) vorhersagbar und praktikabel und haben die Fähigkeit, gelegentliche Lasten von bis zum 3fachen des vorgesehenen Wertes zu verarbeiten, indem sie Lastverteilung und ergänzende Kühlungssysteme nutzen.

Der Verfasser:

Neil Rasmussen ist ein Gründer und der Chief Technical Officer von American Power Conversion. Bei APC verwaltet Neil das weltweit größte Forschungs- und Entwicklungsbudget mit Schwerpunkt Stromversorgung, Kühlung und Rack-Infrastruktur für kritische Netzwerke, mit wichtigen Produktentwicklungszentren in Massachusetts, Missouri, Dänemark, Rhode Island, Taiwan und Irland. Neil leitet derzeit bei APC die Entwicklung modularer, skalierbarer Datacenterlösungen.

Vor der Gründung von APC im Jahr 1981 erwarb Neil bei MIT den Bachelor- und Magistertitel in Elektrotechnik. Seine Magisterarbeit beschäftigte sich mit der Analyse einer 200-MW-Stromversorgung für einen Tokamak-Fusionsreaktor. Von 1979 bis 1981 arbeitete er bei MIT Lincoln Laboratories an Schwungrad-Energiespeichersystemen und Solarstromsystemen.