

WHITEPAPER – LUFTSTROMMANAGEMENT

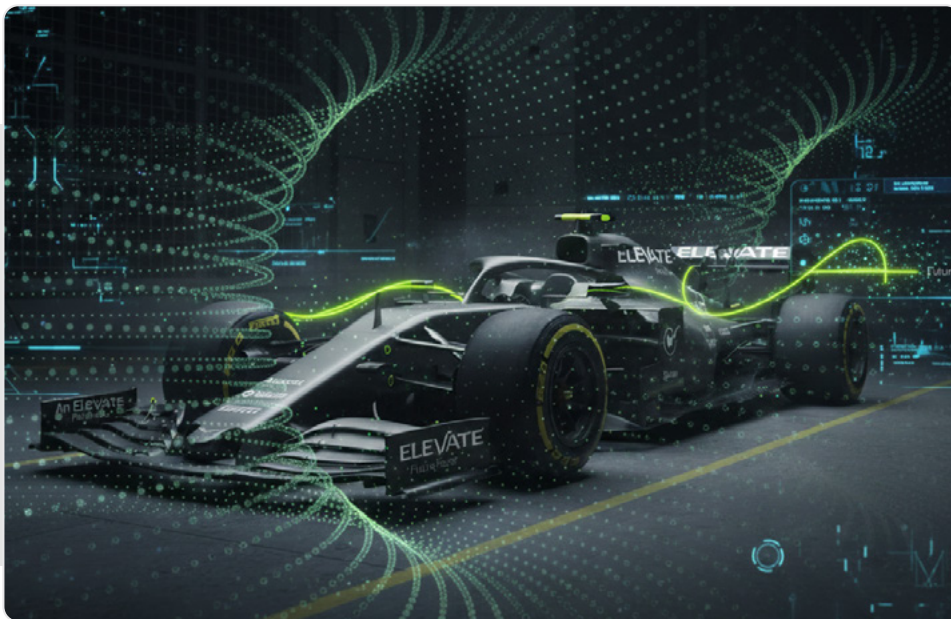
Die fünf Hebel der Optimierung des Luftstrommanagements

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Einleitung: Die Notwendigkeit von Effizienz	4
Grundlagen des Luftstroms in Rechenzentren	5
Ein Rahmenkonzept für die Luftoptimierung: Von den Grundlagen bis zu fortgeschrittenen Methoden (die vier Hebel)	7
Temperaturoptimierung (der fünfte Hebel)	18
Quantifizierung der Vorteile: Die Kapitalrendite	20
Fazit und Aufruf zum Handeln	22
Referenzen	24

Zusammenfassung

Das unaufhaltsame Wachstum digitaler Dienste, künstlicher Intelligenz und Hochleistungsrechner hat die Leistungsdichte und thermische Belastung moderner Rechenzentren exponentiell erhöht. Infolgedessen sind die Kosten und die Komplexität der Kühlung dieser geschäftskritischen Umgebungen zu einem Hauptanliegen der Betreiber geworden (). Während fortschrittliche Flüssigkeitskühlungslösungen für extreme Dichten zunehmend an Bedeutung gewinnen, bleibt die Luftkühlung die vorherrschende Methode für den Großteil der Rechenzentren.



Um maximale Effizienz zu erreichen, muss ein grundlegendes Prinzip beherrscht werden: der Luftstrom. Genau wie im Elite-Motorsport sorgt ein überlegenes Luftstrommanagement im Rechenzentrumsbetrieb für überlegene Leistung und Effizienz.

Dieses Whitepaper präsentiert einen strukturierten Rahmen für die Optimierung: Die fünf Hebel. Die ersten vier Hebel ermöglichen die Beherrschung des Luftstrommanagements (AFM) – von der grundlegenden Eindämmung bis zur fortschrittlichen Steuerung. Der fünfte Hebel, die Optimierung des Temperatursollwerts, erschließt dann das volle Effizienzpotenzial des Kühlsystems. Wir sind der Meinung, dass dieser Ansatz der kostengünstigste erste Schritt zu erheblichen Effizienz-, Ausfallsicherheits- und Kapazitätssteigerungen ist.

Einleitung: Die Notwendigkeit von Effizienz

Rechenzentren gehören zu den größten Stromverbrauchern weltweit, wobei die Kühlinfrastruktur 30 bis 40 % des gesamten Energieverbrauchs der Anlage ausmacht. Eine ineffiziente Kühlung führt direkt zu:

Hohe Betriebskosten (OPEX):

Übermäßiger Energieverbrauch treibt die Betriebskosten in die Höhe.

Reduzierte Kapazität:

Ineffiziente Kühlung verschwendet wertvolle Kühlkapazität und begrenzt die Anzahl der Server, die ein Rechenzentrum unterstützen kann.

Überkühlung:

Unterschiedliche Lufttemperaturen aufgrund eines schlechten Luftstrommanagements verringern die Möglichkeit, die Zulufttemperatur zu erhöhen. Dadurch wird die Möglichkeit eingeschränkt, die Freikühlungszeiten zu verlängern und den Leistungskoeffizienten (COP) der Kühlsysteme zu verbessern.

Erhöhter CO2-Fußabdruck:

Ein höherer Energieverbrauch trägt zu Scope-1- und Scope-2-Emissionen (gemäß dem Rahmenwerk für vereinfachte Energie- und Kohlenstoffberichterstattung) bei, was im Widerspruch zu den Nachhaltigkeitszielen des Unternehmens steht.

Betriebsrisiko:

Hotspots und Temperaturschwankungen können zu Hardwareausfällen, einer verkürzten Lebensdauer der Hardware und ungeplanten Ausfallzeiten führen.

Die Luftoptimierung behebt diese Probleme an der Wurzel, indem sie sicherstellt, dass die Kalt-/Zuluft präzise dorthin geleitet wird, wo sie benötigt wird, und zwar mit minimaler Verschwendung und Vermischung.

Um maximale Effizienz zu erreichen, müssen alle fünf Hebel systematisch eingesetzt werden, ähnlich wie beim Schalten eines Getriebes, um die optimale Leistung zu erzielen. Das folgende Whitepaper führt uns sorgfältig durch diese fünf entscheidenden Phasen.



Die Grundlagen des Luftstroms in Rechenzentren

Im Kern ist die Kühlung von Rechenzentren ein einfacher thermodynamischer Prozess: Die von IT-Geräten erzeugte Wärme wird abgeführt. Der Weg, den die Luft nimmt, ist jedoch oft komplex und ineffizient.

Der ideale Luftstromzyklus:

Die traditionelle Kühltopologie



Zufuhr:

Computerraum-Lüftungsgeräte (CRAHs) oder Klimaanlage (CRACs) liefern kalte Zuluft, in der Regel über einen Doppelboden-Luftkanal.

Verteilung:

Die kalte Zuluft wird in die kalten Gänge der Server-Racks geleitet.

Ansaugung:

IT-Geräte saugen die kalte Luft an und nutzen sie zur Kühlung interner Komponenten.

Abluft:

Die erwärmte / Rückluft wird aus der Rückseite der Geräte in die Warmgänge ausgestoßen.

Rückführung:

Die warme Luft strömt zurück zu den CRAH-/CRAC-/Wärmetauscher-Einheiten, um gekühlt und wieder in Umlauf gebracht zu werden, wodurch der Kreislauf geschlossen wird.

Beliebte alternative Topologie

Die Implementierung von „FanWalls“ wird zu einem immer beliebteren System, bei dem kalte Zuluft in den gesamten Raum geleitet wird. Die dabei entstehende erwärmte Luft wird dann über einen geschlossenen Warmgang zurück zum Wärmetauschmechanismus geleitet, der die Luft in einen Rückluftkanal abführt. Trotz dieser speziellen Konfiguration bleiben die Grundprinzipien des Luftstromzyklus mit den traditionellen Kühlmethoden konsistent.

Aufkommende HPC-Topologie

Darüber hinaus wird insbesondere für High-Performance-Computing-Umgebungen (HPC) ein Anstieg der Verwendung von Rear Door Heat Exchangers (RDHx) erwartet. Der grundlegende Luftstromzyklus bleibt unverändert (), aber der Wärmeaustauschprozess findet viel näher an der Quelle statt, wodurch die Rückluftkammer effektiv im hinteren Teil des Serverschranks enthalten bleibt.

In dieser Konfiguration liefert der RDHx die Kühlluft, die dann den Raum mit dem gleichen Luftvolumen füllt, das der Schrank verarbeitet und abgeführt hat. Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die Schränke nicht mehr in herkömmlichen Warm- und Kaltgangkonfigurationen angeordnet werden müssen und keine geschlossenen Gänge mehr erforderlich sind. Ungeachtet dieser veränderten Anordnung bleibt jedoch ein effektives Luftstrommanagement für optimale Effizienz und Leistung ebenso wichtig.

Häufige Herausforderungen beim Luftstrom (die „FeindederEffizienz“):

Bypass-Luftstrom:

Kaltluft entweicht aus dem Kaltgang, ohne IT-Geräte zu passieren, und vermischt sich direkt mit der warmen Rückluft. Dies wird häufig durch Kabelaussparungen, Lücken in Blindplatten oder falsch ausgerichtete Fliesen verursacht.

Umwälzung:

Heiße Abluft aus dem hinteren Teil eines Servers wird zurück in den Einlass desselben oder eines benachbarten Servers gesaugt. Dies führt zur Bildung von „Hot Spots“, zwingt das Kühlsystem zu höherer Leistung und kann Temperaturalarm auslösen.

Vermischte Luft:

Die Kombination aus Bypass und Umwälzung führt zu einer Umgebung mit gemischten Temperaturen, wodurch der vorgesehene Temperaturunterschied zunichte gemacht und die Effizienz der Kühleinheit drastisch verringert wird.



Ein Rahmenkonzept für die Lufoptimierung: Von grundlegend bis fortgeschritten (die vier Hebel)

Die Erzielung eines optimalen Luftstroms ist ein systematischer Prozess. Der folgende Rahmen skizziert ein Reifegradmodell für die Umsetzung.

In diesem Abschnitt werden wir die vier wichtigsten Hebel betrachten, die angewendet werden müssen, um eine optimale Leistung zu erreichen und aufrechtzuerhalten: grundlegende Einhausung, Abdichtung der Umgebung, intelligente Luftverteilung und schließlich erweiterte Überwachung und Steuerung. Der „fünfte Hebel“ kann erst später angewendet werden, nachdem die oben genannten Punkte beherrscht werden.

Grundlegende Eindämmung – Hebel 1

Der effektivste Schritt ist die physische Trennung der kalten Zuluft von der warmen Abluft.

Heißgang-/Kaltgang-Layout (HACA):

Das grundlegende Layout, bei dem die Server-Racks so angeordnet sind, dass die Lufteinlässe einander gegenüberliegen (kalter Gang) und die Luftauslässe einander gegenüberliegen (heißer Gang).

Gang-Eindämmung:

Kaltgang-Eindämmung (CAC):

Umschließt den Kaltgang und stellt sicher, dass kalte Luft aus dem Bodenplenum nur durch die Server-Lufteinlässe eindringen kann. Dies ist sehr effektiv, um einen Bypass-Luftstrom zu verhindern.



Hot-Aisle-Containment (HAC):

Umschließt den Warmgang, fängt die gesamte Abluft auf und leitet sie über einen Rückluftkanal zurück zum Wärmetauscher in den Kühlaggregaten. Dies ermöglicht eine höhere Kaltgangtemperatur, was häufig die Effizienz der Kältemaschine verbessert.



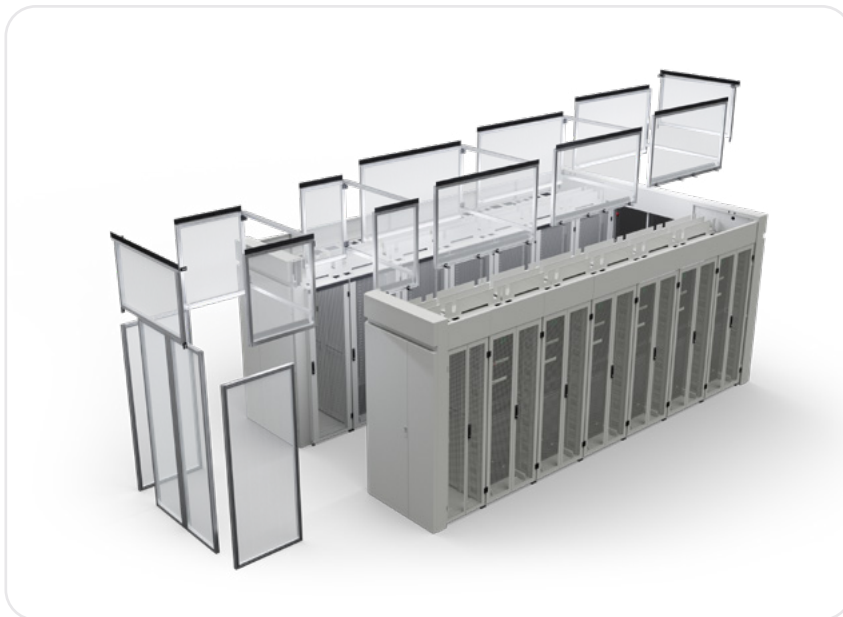
Abdichtung der Umgebung – Hebel 2

Die Eindämmung ist nur wirksam, wenn die Gänge ordnungsgemäß abgedichtet sind. In diesem Abschnitt können wir die größten Gewinne bei der Optimierung von AFM erzielen, indem wir die „Feinde der Effizienz“ direkt angehen.

Viele Einrichtungen kommen jedoch nicht über diese Phase hinaus, da diese Herausforderungen bei der Abdichtung nicht umfassend angegangen werden.

CAC/HAC:

Luftverlust kann auftreten, wenn die geschlossenen Gänge mit den von ihnen umschlossenen Schränken, dem Boden oder der Bodenplatte in Kontakt kommen, im Falle von Gangentüren, und mit dem Deckenhohlraum im Falle von HACs.



Korrekturmaßnahmen

- ✓ Dichten Sie den Gangbereich an den Stellen ab, an denen er mit den Racks in Kontakt kommt, und im Falle von HACs an den Stellen, an denen er mit dem Decken-/ Rückluftplenum in Kontakt kommt. Dichten Sie die Enden der Gangtüren ab.
- ✓ Wo ein Durchdringen der CAC/HAC erforderlich ist, dichten Sie mit Dichtungen oder Bürstenleisten ab.

Das Rack



Dies ist in mancher Hinsicht möglicherweise der umstrittenste Bereich, da die eingesetzten Server- und Netzwerkschränke je nach Art des Rechenzentrums im Kontrollbereich der IT-Abteilung oder Ihrer Kunden stehen können. Wenn wir jedoch die Grundlagen der Luftstromoptimierung angehen wollen, müssen wir das Rack selbst als Erweiterung der „White Space“-Infrastruktur und als wesentlichen Bestandteil des Rechenzentrums-Ökosystems betrachten.

Um die Bedeutung dieses Aspekts zu veranschaulichen, verwendet das Whitepaper die Schränke der Elevate DCR-Reihe als Referenz für ein effektives Luftstrommanagement und stützt sich dabei auf evidenzbasierte Daten eines unabhängigen Forschungslabors. Die unterstützenden Daten veranschaulichen den Unterschied zwischen nicht luftstromoptimierten Racks und einer effektiven Luftstromoptimierung und heben die wichtigsten Bereiche hervor, die berücksichtigt werden müssen.

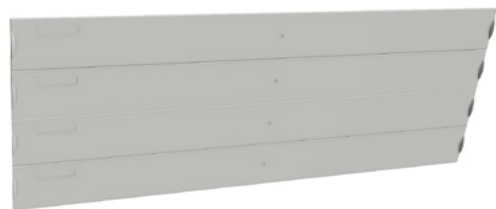
Zwischen 19-Zoll-Profilen

Dies ist die einfachste, kostengünstigste und wirkungsvollste Korrekturmaßnahme, die zur Bekämpfung der „Feinde der Effizienz“ ergriffen werden kann. Trotz dieser Tatsache ist dies immer noch der häufigste Bereich, in dem ein gutes AFM durch die schlechte und inkonsistente Verwendung geeigneter Blindplatten konsequent untergraben wird.

Korrekturmaßnahme

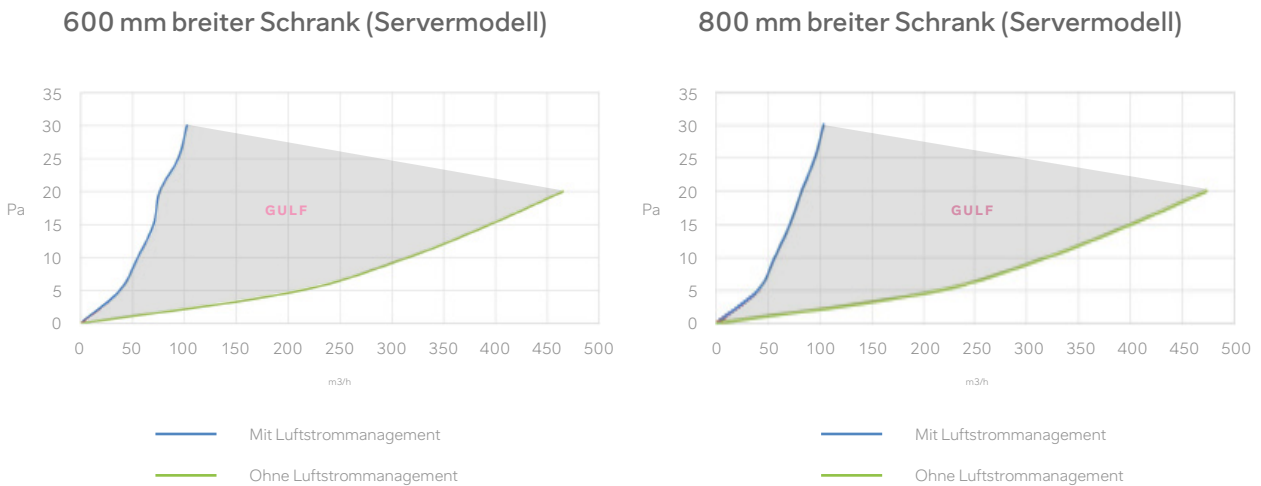
Blindplatten:

- ✓ Installieren Sie Blenden in allen ungenutzten U-Räumen in Server-Racks, um zu verhindern, dass heiße Luft in den kalten Gang zurückströmt und kalte Zuluft die Geräte vollständig umgeht.



Um 19-Zoll-Profile

In diesem Bereich werden wir uns genauer damit befassen, wie die Vermischung von Zu- und Rückluftströmen auf Schrankebene verhindert werden kann. Mithilfe speziell auf dieses Ziel ausgerichteter Tools zur Luftoptimierung können wir zeigen, wie durch geeignete Korrekturmaßnahmen in einigen Schlüsselbereichen rund um die 19-Zoll-Profile eine evidenzbasierte, luftoptimierte Lösung erzielt werden kann.



Die beiden dargestellten Grafiken veranschaulichen den Leistungsunterschied zwischen einem Elevate DCR-Serverrack, das für den Luftstrom optimiert wurde, und einem ohne Luftstrommanagement.

Diese Leistungslücke oder „**Kluft**“, nimmt mit steigendem Luftdruck erheblich zu, was den steigenden Kühlungsanforderungen bei zunehmender IT-Auslastung entspricht.

Die Beziehung zwischen Druck und Leckage ist nicht linear, sondern exponentiell. Ein geringer Druckanstieg kann zu einer erheblichen Zunahme der Leckage führen. Folglich werden die Vorteile eines optimierten Luftstrommanagements mit steigendem Kühlungsbedarf deutlich stärker.

Es ist wichtig, vorab zu erwähnen, dass Hersteller selten spezifische, standardisierte Leckageraten in m³/h für ihre Schränke veröffentlichen. Es liegen jedoch einige Daten vor, und aus den Marktinformationen, die wir erhalten haben, geht hervor, dass der Elevate DCR-Serverschrank im Vergleich zu anderen führenden „Performance“-Marken, die Luftoptimierung einsetzen, sehr gut abschneidet, indem er entweder die Leistung übertrifft oder in einigen Fällen/Bedingungen mit ihr gleichzieht.

Korrekturmaßnahme

- ✓ Im Folgenden wird detailliert beschrieben, wie das Elevate DCR-Serverrack konstruiert wurde, um die verschiedenen Herausforderungen zu bewältigen, die vor einer vollständigen Lufoptimierung zu überwinden sind.

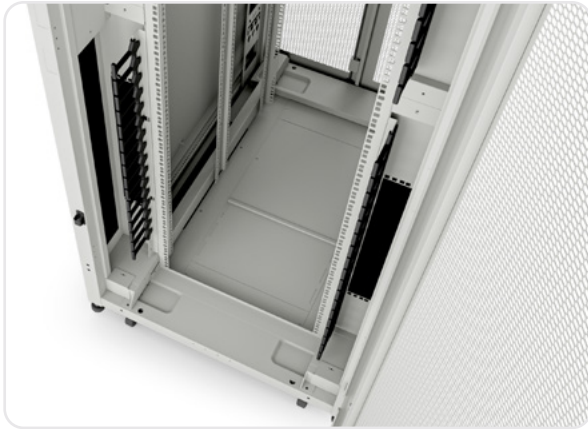
Oben und unten:



An der Vorderseite des Racks oberhalb und unterhalb der 19-Zoll-Profile muss das Rack abgedichtet werden. In der obigen Abbildung sehen Sie, dass eine Stahlplatte eingesetzt wurde, um die Lücke zwischen beiden Enden der 19-Zoll-Profile und der Unterseite des Schrankdachs sowie der Bodenplatte des Schranks zu schließen.

Dies verhindert einen Luftbypass und eine Luftrückführung sowohl oben als auch unten und bietet gleichzeitig Flexibilität bei der Anpassung der Profile (), ohne dass eine alternative Anzahl verschiedener Kombinationen komplexer Luftleitbleche angebracht werden muss.

Außenkante der 19-Zoll-Profile:

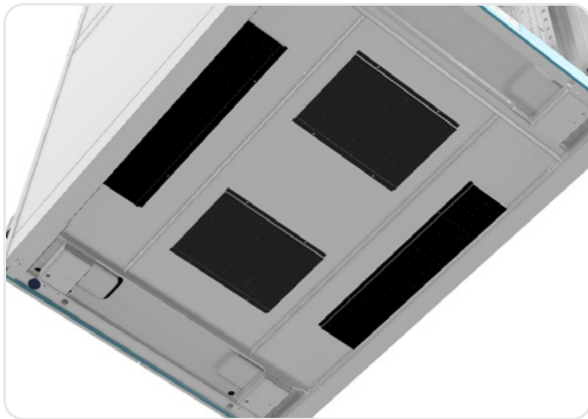


In der obigen Abbildung sehen Sie, dass der Spalt zwischen der Seitenwand des Schränks und der Kante des 19-Zoll-Profiles in einem 800 mm breiten Rack mit einer Blende in voller Schrankhöhe oder einer „Seitenschürze“ abgedichtet ist.

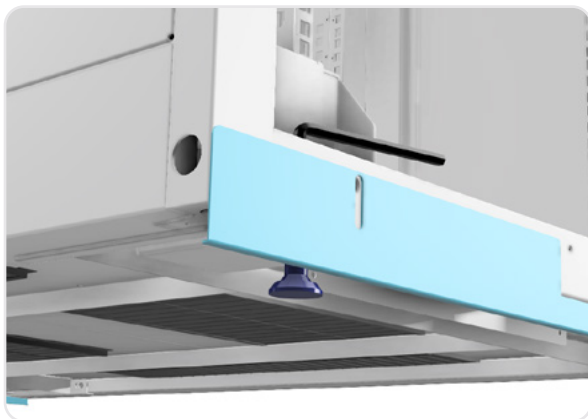


Diese verfügen über potenzielle Zugangsöffnungen an den 800 mm breiten Schränken, um Netzkabel von vorne nach hinten zu führen; diese können dann mit überlappenden Bürsten abgedichtet werden. Alternativ können diese Ausschnitte auch zur Montage von passiven und aktiven 19-Zoll-Geräten verwendet werden, wodurch die U-Raumkapazität des Racks für IT-Geräte erhöht wird, ohne die Höhe und Fläche des Racks zu vergrößern, wodurch der unvermeidliche zusätzliche Luftverlust bei höheren Racks reduziert wird.

Abdichtung zum Boden oder zur Bodenplatte:



Die obige Abbildung zeigt, wie die Elevate DCR-Basis des Racks direkt mit einem typischen erhöhten Rechenzentrumsboden abgedichtet wird. Dadurch wird verhindert, dass Luft an der Unterseite des Schrankes vorbeiströmt und dort zirkuliert. In diesem Szenario werden bei Schränken, die mit Transportrollen geliefert werden, die Rollen entfernt, bevor sie an ihrem endgültigen Standort aufgestellt werden.



In der nächsten Abbildung oben sehen Sie den Elevate DCR-Schrank mit Nivellierfüßen. In Rechenzentren, in denen „Fan Walls“ zusammen mit Hot-Aisle-Containment verwendet werden, werden die Schränke in der Regel direkt auf der Bodenplatte montiert. In diesem Fall müssen Nivellierfüße angebracht werden, um leichte Unebenheiten im Boden auszugleichen. Die Elevate DCR-Serie verfügt über integrierte Nivellierfüße in der Bodenplatte, die mit einem Inbusschlüssel individuell eingestellt werden können, sodass eine schnelle und einfache Nivellierung möglich ist, sobald die Racks in Position sind. Nach Abschluss der Einstellung wird auch die einfache, integrierte, verstellbare Sockelplatte zum Schutz vor Zugluft verschoben, um die Lücke zwischen Sockel und Bodenplatte zu schließen. Anschließend wird ein vorderer Sockel angebracht, um sicherzustellen, dass die Lücke zwischen Grundrahmen und Bodenplatte geschlossen ist.

In dem gezeigten Beispiel ist es dank der Nivellierfüße, die die Last aufnehmen, auch möglich, die Transportrollen montiert zu lassen und dennoch mit dem Sockel eine Abdichtung zum Boden herzustellen. Dies kann erforderlich sein, wenn vorab bestückte Racks eingesetzt werden müssen.

Abdichtung der Oberseite des Racks:

Es ist wichtig zu beachten, dass dies nur für Hot-Aisle-Einfassungen erforderlich ist, bei denen die Kante der Einfassung auf der Hinterkante des Schrankdachs aufliegt.

Bei Cold-Aisle-Einhausungen sind für alle Dachdurchführungen hinter den vorderen 19-Zoll-Profilen keinerlei Luftabdichtungen erforderlich.



Die obigen Abbildungen zeigen, wie die Oberseite des Elevate-Racks für den Kabelein- und -ausgang konfiguriert ist. Auf der linken Seite sehen wir Kabeleinführungspunkte in voller Tiefe von vorne nach hinten, die mit strapazierfähigen, überlappenden Bürstenleisten abgedichtet sind. Auf der rechten Seite zeigen wir, wie Blindplatten in Bereichen installiert werden können, in denen keine Kabel verlegt werden, um eine verbesserte Abdichtung zu erzielen.

Es gibt außerdem zwei hintere Zugänge mit überlappenden Bürstenleisten, die eine wirksame Abdichtung für eine Vielzahl potenzieller Kabeleinführungen bieten, insbesondere jedoch für dreiphasige 63-Ampere-Stecker und PDU-Eingangsstecker.

Unterflurdichtung (Bodenplenum):

Wenn ein Doppelbodenplenum verwendet wird, um die Zuluft durch belüftete Bodenplatten in den Kaltgang zu leiten, müssen wir sicherstellen, dass keine Luft in das Plenum gesaugt wird oder durch schlecht abgedichtete Lücken nach außen entweicht.

Dies ist besonders schwierig, da der Plenumraum unter Druck steht und der Druck umso größer ist, je kürzer der Plenumraum ist, ähnlich wie beim Zusammendrücken eines Schlauchs. Da aufgrund der erhöhten IT-Last mehr Luft benötigt wird, erhöht sich wiederum die Lüftergeschwindigkeit des CRAH/CRAC, was den Druck weiter erhöht.

Korrekturmaßnahme

Angesaugte Luft:

- ✓ In Bereichen, die in der Regel bis zu 1200 mm vom Rand des CRAH/CRAC entfernt sind, ist aufgrund des „Venturi-Effekts“ davon auszugehen, dass Rückluft (die Umgebungstemperatur des Raums) selbst durch kleinste Spalten in den Bodenplenum gesaugt wird.
- ✓ Wir müssen sicherstellen, dass die Bodenfliesen miteinander versiegelt sind und alle Lücken, insbesondere um den Bodenrand herum, ausreichend abgedichtet sind.

Entweichende Zuluft:

- ✓ Verwenden Sie Schaumstoff oder Dichtungen, um alle anderen Lücken im Doppelboden zu verschließen, damit die kalte Luft nur durch die perforierten Fliesen in den Kaltgängen geleitet wird. Besondere Aufmerksamkeit sollte allen Bodendurchführungen für Kabeleinführungen gewidmet werden. Diese befinden sich in der Regel innerhalb des Schrankes, jedoch auf der Rückluftseite des Schrankes, sodass sie ausreichend abgedichtet werden müssen, da die Bodendurchführungen einem erheblichen Luftdruck ausgesetzt sind. Auf dem Markt sind zahlreiche Produkte erhältlich, darunter solche, die eine Socke um das Kabelbündel legen und so eine sehr effektive Abdichtung bieten.

Abdichtung von Rückluftkammern:

Aufgrund seines größeren Volumens arbeitet ein Deckenrückluftkanal in der Regel mit einem niedrigeren Druck als ein Bodenkanal, was die Probleme etwas mildert und auch das Potenzial für einen „Venturi-Effekt“ verringert. Dies hebt jedoch nicht die dringende Notwendigkeit einer sorgfältigen und wirksamen Luftabdichtung auf.

Intelligente Luftverteilung – Hebel 3

Von der passiven Abdichtung zum aktiven Management.

Verwaltung perforierter Fliesen:

Stellen Sie sicher, dass perforierte Fliesen nur in Kaltgängen verwendet werden und dass ihre Porosität (25 % gegenüber 60 %) den Luftstromanforderungen der von ihnen versorgten Racks entspricht.

Ventilatoren mit variabler Drehzahl (VSFs) in CRAHs:

Verwenden Sie CRAH-Geräte mit VSFs, die ihre Drehzahl auf der Grundlage von Echtzeit-Temperatur- oder Druckrückmeldungen modulieren können, wodurch der Energieverbrauch der Ventilatoren reduziert wird.

Datengesteuerte Lüftungsplatten:

Implementieren Sie dynamisch einstellbare Lüftungsfliesen, die sich basierend auf den Sensordaten öffnen oder schließen lassen, um bei Bedarf eine präzise Kühlung zu gewährleisten.

Erweiterte Überwachung und Steuerung (DCIM & BMS) – Hebel 4

Optimierung erfordert Messung und Steuerung.

Sensornetzwerke:

Installieren Sie ein dichtes Netzwerk von Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren am Einlass von IT-Geräten, um Hotspots und Rückströmungen zu überwachen. Solche Sensornetzwerke sind in der Regel mit intelligenten Stromverteilungseinheiten (iPDU) innerhalb des Racks verbunden.



Computational Fluid Dynamics (CFD):

Verwenden Sie CFD-Software, um einen digitalen Zwilling der Datenhalle zu erstellen. Dies ermöglicht die Modellierung von „Was-wäre-wenn“-Szenarien, bevor physische Änderungen vorgenommen werden, um die Auswirkungen neuer Geräte, oder Änderungen der Kühltollwerte vorherzusagen.

Integration mit DCIM/BMS:

Integrieren Sie Sensordaten und CFD-Modelle in das Data Center Infrastructure Management (DCIM) oder Building Management Systems (BMS), um eine vorausschauende und automatisierte Steuerung der Kühlinfrastruktur zu ermöglichen.

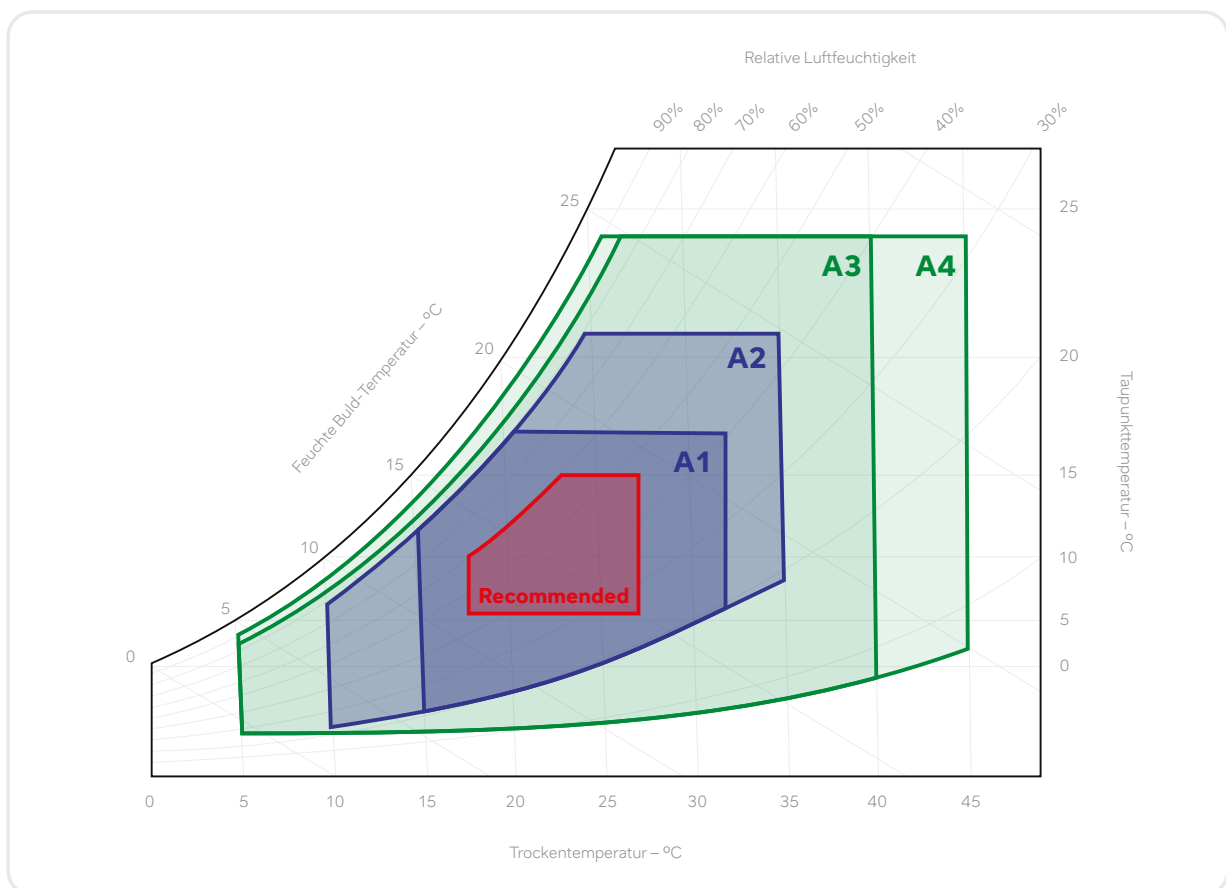


Temperaturoptimierung (der fünfte Hebel)

Nachdem wir einen optimalen Luftstrom erreicht haben, können wir nun den letzten fünften Hebel zur Optimierung der Kühlung innerhalb des „White Space“ anwenden: die Temperaturoptimierung.

Wie bei einem Auto können wir den fünften Gang erst einlegen, nachdem wir die niedrigeren Gänge durchlaufen haben, um nun unser ultimatives Ziel der optimalen Leistung zu erreichen.

ASHRAE-Server und IT-Geräte der Klassen A1, A2, A3 und A4 können gemäß den ASHRAE TC 9.9-Richtlinien sicher mit Einlasstemperaturen von bis zu 27 °C (80,6 °F) betrieben werden.



Erhöhung der Zulufttemperatur auf den äußeren empfohlenen Grenzwert, jedoch innerhalb der sicheren Betriebstemperatur jeder Klassifizierung:

- ✓ Reduziert den Energieverbrauch des Kältemittels
- ✓ Erweitert die Möglichkeiten für freie Kühlung (Economisation)
- ✓ Verbessert den COP (Leistungskoeffizient) des Systems

Hochleistungsrechner

Während A1-A4 den Großteil der Standardausrüstung in Unternehmen abdecken, wurde in den ASHRAE TC 9.9 – Thermischen Richtlinien für Datenverarbeitungsumgebungen eine neue Klassifizierung für spezielle HPC/AI-Workloads eingeführt: H1.

✓ **Empfohlene Lufttemperatur: 18 °C bis 22 °C (64,4 °F bis 71,6 °F)**

✓ **Taupunkttemperatur: 3 °C bis 18 °C (37,4 °F bis 64,4 °F)**

Die H1-Klasse wurde speziell für diese neuen Systeme mit hoher Dichte eingeführt, die leistungsstarke Komponenten mit hoher Taktfrequenz (wie NVIDIA H100 SXM5 oder B200, von denen einige für die Flüssigkeitskühlung mit ausgelegt sind) eng integrieren und die innerhalb der breiteren A-Klasse-Bereiche einfach nicht effektiv luftgekühlt werden können.

Zwar können einige Kühltopologien an HPC angepasst werden, doch ist es in der Regel effektiver, einen separaten Kühlbereich vorzusehen, in dem eine andere Kühltopologie wie RDHX oder ein Hybridmodell mit direkter Flüssigkeitskühlung zum Einsatz kommt. In beiden Fällen ermöglicht dies den Einsatz unabhängiger Steuerungen, um die erforderliche Umgebung aufrechtzuerhalten und zu verhindern, dass andere, weniger dichte Geräte ineffizient überkühlt werden.

Quantifizierung der Vorteile: Die Kapitalrendite

Ein gut durchgeführtes Projekt zur Lufoptimierung liefert einen überzeugenden ROI.

Energieeffizienz

Reduzierte Lüfterleistung:

Eine ordnungsgemäße Abdichtung und Eindämmung ermöglichen höhere Rücklufttemperaturen, wodurch die CRAH-Lüfter langsamer laufen können. Eine Reduzierung der Lüftergeschwindigkeit um 20 % kann etwa 50 % der Lüfterleistung einsparen (Affinitätsgesetze).

Verbesserte Kühlerleistung:

Durch die Erhöhung des Sollwerts für den Kaltgang (ermöglicht durch AFM) kann der Leistungskoeffizient (COP) des Kühlers erheblich verbessert werden, was zu erheblichen Energieeinsparungen führt.

Verbesserung der PUE:

Durch umfassendes AFM lässt sich in der Regel eine Verbesserung der PUE um 0,1 bis 0,3 erzielen.

Was würde dies in Bezug auf potenzielle Energieeinsparungen bedeuten?.

Nehmen wir an, eine Anlage hat einen IT-Energieverbrauch von 1 MW und eine Ausgangs-PUE von 2,0. Dies würde einem Gesamtenergieverbrauch der Anlage von 2 MW entsprechen.

$$\checkmark \quad 2 \text{ MW Gesamtlast der Anlage} \div 1 \text{ MW IT-Last} = \text{PUE } 2,0$$

Wenn wir die PUE um 0,3 verbessern können, siehe Fallstudie: *Eine Studie über ein Rechenzentrum der Bundesregierung, das eine Warmgang-Einhausung implementiert hat. Dann haben wir eine neue PUE von 1,7

$$\checkmark \quad \text{PUE } 1,7 \times 1 \text{ MW IT-Last} = \text{Gesamtlast der Anlage } 1,7 \text{ MW}$$

Dies entspricht einer Energieeinsparung von 300 kW. Ein Jahr hat 8760 kWh, also:

$$\checkmark \quad 8760 \times 300 \text{ kW} = 2.628.000 \text{ kWh jährliche Energieeinsparung}$$

$$\checkmark \quad 2.628.000 \text{ kWh} \times 0,22 \text{ €} = \text{jährliche OPEX-Einsparung von insgesamt } 578.160,00 \text{ €}$$

Daher hätte eine Verbesserung der PUE um 0,1 zu einer Einsparung der Betriebskosten in Höhe von **192.720,00 €** geführt und eine Verbesserung der PUE um 0,2 zu einer Einsparung in Höhe von **385.440,00 €**.

*(Quelle: „BestPractices Guide for Energy-Efficient Data CentreDesign“ (Leitfaden für bewährte Verfahren zur energieeffizienten Gestaltung von Rechenzentren) des US-Energieministeriums, Lawrence Berkeley National Laboratory)

** (Beispiel für einen lokalen kWh-Tarif in Großbritannien)

Natürlich handelt es sich hierbei nur um ein Beispiel, da viele Variablen eine Rolle spielen, wie z. B. die Wärmekapazität der Luft, die zu beseitigende Temperaturdifferenz (ΔT) und die Effizienz von Ventilatoren und Kühlanlagen.

Selbst der Stromtarif variiert je nach Größe und spezifischem Status der einzelnen Anlagen erheblich, und im Vereinigten Königreich würde in diesem Beispiel jeder Tarif einer **Klimawandelabgabe** unterliegen. In Europa würde ebenfalls das **EU-Emissionshandelssystem (ETS)** zur Anwendung kommen.

Die Schlussfolgerung ist eindeutig: Jeder Kubikmeter Luft, der pro Stunde entweicht (m^3/h), stellt verschwendete Energie (kWh) dar und verursacht direkte und vermeidbare finanzielle Kosten.

Die Notwendigkeit zum Handeln ist offensichtlich, und die kontinuierliche Verbesserung der Effizienz ist sowohl eine geschäftliche Notwendigkeit als auch eine gesetzliche Anforderung für große Rechenzentren (siehe Referenzen).

Neben den gesetzlichen Anforderungen gibt es auch wirtschaftliche Anreize wie die britischen **Klimaschutzvereinbarungen (Climate Change Agreements, CCAs)**: Rechenzentren können freiwillig eine CCA abschließen und erhalten dafür einen erheblichen Nachlass (derzeit 90 %) auf die Klimawandelabgabe (Climate Change Levy, CCL) auf Strom und Brennstoffe.

Erhöhte Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit

- ✓ Die Beseitigung von Hotspots verringert das Risiko thermisch bedingter Hardwareausfälle.
- ✓ Vorhersehbare und stabile Temperaturen verlängern die Lebensdauer von IT-Anlagen.

Erhöhte Kapazität und Dichte

- ✓ Durch die Eliminierung von Kühlungsverschwendung kann die bestehende Infrastruktur mehr Server unterstützen, wodurch Investitionen in neue Kühlaggregate aufgeschoben werden können.

Nachhaltigkeit

- ✓ Die direkte Reduzierung des Stromverbrauchs senkt den CO₂-Fußabdruck von Rechenzentren und unterstützt die ESG-Berichterstattung (Environmental, Social and Governance) und -Ziele.

Fazit und Aufruf zum Handeln

Zusammenfassung

Die Luftoptimierung ist kein einmaliges Projekt, sondern eine fortlaufende Aufgabe. Sie bildet die Grundlage jeder ganzheitlichen Strategie zur Effizienzsteigerung in Rechenzentren. Bevor Betreiber in teure neue Kühltechnologien investieren, müssen sie zunächst sicherstellen, dass ihre bestehenden luftbasierten Systeme wie vorgesehen funktionieren.

Ein empfohlener Weg für die Zukunft:

Bewerten:

Führen Sie eine gründliche Überprüfung des aktuellen Zustands durch. Die Modellierung mit Hilfe der numerischen Strömungsmechanik (CFD) kann zwar wertvoll sein, aber eine physische Begehung zur Identifizierung von Bypass-Luftströmen, Rezirkulationen und Hotspots ist unerlässlich.

Eindämmung:

Implementieren Sie die Einhausung von Warm- oder Kaltgängen als Kapitalprojekt mit höchster Priorität.

Abdichten:

Dichten Sie systematisch alle Lücken im Doppelboden, in den Racks und in den Containment-Systemen ab.

Überwachen:

Richten Sie ein Sensornetzwerk ein, um eine Basislinie zu erstellen und die Bedingungen kontinuierlich zu überwachen.

Optimieren:

Nutzen Sie die gesammelten Daten, um die Kühlsollwerte, Lüftergeschwindigkeiten und die Luftverteilung fein abzustimmen.

Durch die optimale Steuerung des Luftstroms können Betreiber von Rechenzentren erhebliche Betriebskosteneinsparungen erzielen, die Zuverlässigkeit der Systeme verbessern und eine nachhaltigere und skalierbare Infrastruktur für die Zukunft aufbauen.

Abschließende Gedanken

Betriebliche Einsparungen sind zwar ein willkommenes Ergebnis, der eigentliche Vorteil liegt jedoch in der Leistungssteigerung. Der Vergleich mit dem Motorsport verdeutlicht dies: Bei der Optimierung des Luftstroms eines Autos geht es nicht nur darum, Kraftstoff zu sparen (obwohl dies auch der Fall ist), sondern darum, mit dem gleichen Motor eine höhere Geschwindigkeit zu erreichen. Für Rechenzentren bedeutet dies mehr Kühlleistung aus dem gleichen „Grauraum“ und mehr verfügbare Leistung (kW), um den steigenden Rechenanforderungen gerecht zu werden. Um diesen Weg zum Erfolg fortzusetzen, müssen diese Grundprinzipien trotz der Ablenkungen des täglichen Betriebs kontinuierlich eingehalten werden. Wachsamkeit ist unerlässlich, um niemals Kompromisse beim soliden Luftstrommanagement einzugehen.

Haftungsausschluss: Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen dienen nur als allgemeine Orientierung. Es wird empfohlen, sich vor der Umsetzung wesentlicher Änderungen an Ihrer Anlageninfrastruktur mit qualifizierten Fachleuten für Rechenzentrumstechnik zu beraten.

Referenzen

- ✓ ASHRAE TC 9.9 – Thermische Richtlinien für Geräte in Datenverarbeitungsumgebungen, 5. Auflage (2021)
- ✓ Uptime Institute – Best Practices für die Kühlung von Rechenzentren
- ✓ The Green Grid – PUE: Eine umfassende Untersuchung der Kennzahl
- ✓ Lawrence Berkeley National Laboratory – Strategien zur Energieeffizienz in Rechenzentren, insbesondere die LBNL-Studie zum Luftstrommanagement in Rechenzentren und der Leitfaden für bewährte Verfahren zur energieeffizienten Gestaltung von Rechenzentren
- ✓ EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED) (EU) 2023/1791, die die Mitgliedstaaten in nationales Recht umsetzen müssen
- ✓ Rahmenwerk für die vereinfachte Energie- und Kohlenstoffberichterstattung (SECR): Vereinigtes Königreich
- ✓ ESOS (Energy Savings Opportunity Scheme): Hierbei handelt es sich um ein obligatorisches Energiebewertungs- und Einsparungsprogramm für große Unternehmen im Vereinigten Königreich.
- ✓ Klimaschutzvereinbarungen (CCAs): Vereinigtes Königreich
- ✓ EU-Verhaltenskodex für die Energieeffizienz von Rechenzentren
- ✓ EN 50600-Reihe / ISO/IEC 30134: Dies sind die wichtigsten europäischen (EN) und internationalen (ISO/IEC) Normen für Rechenzentrumsanlagen und -infrastrukturen.
- ✓ ISO 50001: Diese internationale Norm legt Anforderungen an ein Energiemanagementsystem (EnMS) und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess fest, die viele Rechenzentren zur Verwaltung und Verbesserung ihrer Energieeffizienz nutzen.
- ✓ CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers): Bietet Richtlinien und Verhaltenskodizes für Gebäudetechnik im Vereinigten Königreich, einschließlich der effizienten Auslegung und des effizienten Betriebs von Kühltürmen für Rechenzentren.

ELEVATE

Future Faster

elevate@excel-networking.com elevate.excel-networking.com