

CONNECT AND PROTECT

Direkte Flüssigkeitskühlung

Whitepaper



DIREKTE FLÜSSIGKEITSKÜHLUNG

**HOCHMODERNE
INTEGRIERTE KÜHLLÖSUNG
AUF SCHRANKEBENE
KOMBINIERT RACKCHILLER
REAR DOOR LUFT-
WASSERWÄRMETAUSCHER
MIT EINER DIRECT-TO-CHIP-
FLÜSSIGKEITSKÜHLUNG. EIN
MODULARER ANSATZ ZUR
MAXIMIERUNG DER
EFFIZIENZ DER
FLÜSSIGKEITSKÜHLUNG.**

Zusammenfassung

Höhere Wärmedichten von IT-Einbauten (ITE) in Hochleistungsrechenzentren lassen den Bedarf an effizienteren und effektiveren Kühltechnologien weiter zunehmen. In diesen Umgebungen stellt die herkömmliche Luftkühlung keine nachhaltige Lösung dar. Zwar bietet die Kühlung mit Flüssigkeiten weitaus höhere Effizienz als die Luftkühlung, doch erfordern viele Optionen hohe Investitionen, sind schwer in die vorhandene Infrastruktur zu integrieren und verursachen Komplikationen, wenn Upgrades oder zusätzliche Kapazitäten notwendig sind.

In der vorliegenden Abhandlung wird ein Kühlsystem (Hybrid Liquid Cooling System, HLCS) auf Schrankebene vorgestellt, das eine Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung und eine Rücktürkühlung mit Luft/Wasser-Wärmetauscher kombiniert. Das HLCS verbessert auch die synergetische Energieeffizienz, da es die Wiederverwendung von Abwärme aus dem Luftkühlkreislauf zur Versorgung des Flüssigkeitskühlkreislaufs ermöglicht.

Das Hybrid Liquid Cooling System auf Schrankebene stellt eine einzigartige Möglichkeit dar, um wesentlich höhere Effizienz der Flüssigkeitskühlung und der integrierten Komponenten zu erreichen, deren Flexibilität und Skalierbarkeit langfristig zusätzliche Effizienzsteigerungen ermöglichen.

Einleitung

Content-Streaming, Online-Banking, Cloud-Computing, ausgefeilte Smartphone-Apps, E-Commerce. Das sind nur einige Beispiele für Anwendungen, die die Anforderungen an Datenverarbeitung und Datenverkehr in Rechenzentren weltweit ansteigen lassen. Durch neue Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Telemedizin, maschinelles Lernen, autonome (fahrerlose) Fahrzeuge und andere Anwendungen zur Echtzeit-Modellierung werden die Anforderungen noch stärker zunehmen. Nach Voraussagen der International Data Corporation (IDC) werden wir 2025 jährlich 175 Zettabyte an Daten generieren.

Die Prognosen deuten darauf hin, dass der gesamte Strombedarf der Informations- und Kommunikationstechnik in den 2020er-Jahren exponentiell ansteigen und der Anteil der Rechenzentren am Stromverbrauch weiter wachsen wird (Nature, 13. September 2018, Band 561).

Die Hochleistungsserver im Rechenzentrum sind energieintensiv und dicht bestückt, wodurch mehr Wärme auf kleinerem Raum erzeugt wird.

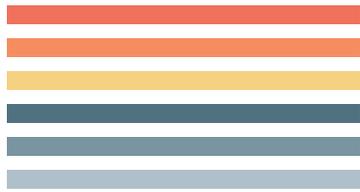
Trends bei der Leistungsdichte

Die Leistungsdichte – die Menge an Strom, die von Servern und Speichern in einem bestimmten Schrank verbraucht wird – wird seit Anfang der 2000er-Jahre beobachtet. Umfragen des Uptime Institute verzeichneten über viele Jahre hinweg stabile Raten von 3 bis 5 kW pro Schrank. Im August 2018 vermeldete man dann einen sprunghaften Anstieg auf einen Durchschnitt von 6 bis 7 kW, wobei 40 Prozent der Befragten Leistungsdichten von über 20 kW pro Schrank angaben (Uptime Institute, 8. Jahresumfrage unter weltweiten Rechenzentren).

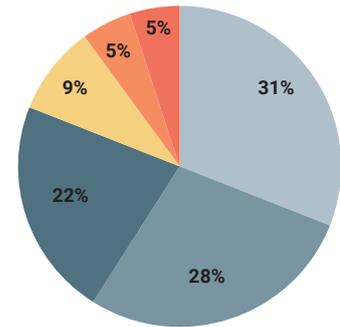


Direkte Flüssigkeitskühlung

Was ist die höchste Serverdichte, die an Ihrem Standort eingesetzt wird?



Über 50 kW pro Schrank
 40–49 kW pro Schrank
 30–39 kW pro Schrank
 20–29 kW pro Schrank
 10–19 kW pro Schrank
 Unter 10 kW pro Schrank



Quelle: Uptime Institute, 2018 n=272

Wärmeerzeugung und Kühlungskosten

Das Nebenprodukt der Energienutzung durch Elektronik ist Wärme. Die Wärme im Rechenzentrum muss so gehandhabt werden, dass eine optimale Funktion und Lebensdauer der Hauptkomponenten gewährleistet ist. Als übliche Faustregel gilt: Bei jeder Temperaturerhöhung um 10 Grad Celsius verringert sich die Lebensdauer der Elektronik um die Hälfte. Wärmebelastung kann die Reaktionszeit der Elektronik verschlechtern sowie zu Datenverlusten und zum Ausfall von Komponenten führen.

Die Kühlkosten sind inzwischen zu einem wesentlichen Teil der Betriebskosten geworden. Die Kosten für die Kühlung eines Rechenzentrums mit herkömmlichen Mitteln können oft genauso hoch sein wie die Kosten für die Stromversorgung der dort untergebrachten IT-Einbauten. Daher ist es entscheidend, die besten und wirkungsvollsten Kühlmethoden für Rechenzentren mit hoher Dichte zu finden.

Kühlmethoden

Es gibt vier Konzepte zur Abfuhr der Wärmelasten von IT-Einbauten: Luftkühlung, direkte Wasserkühlung, indirekte Wasserkühlung und hybride direkte/indirekte Wasserkühlung.

- Luftkühlung – die Wärme wird direkt an die Raumluft abgegeben und über die herkömmliche Kühlung für Rechenzentren abgeführt.
- Indirekte Wasserkühlung – die Wärme wird über einen Luft/Wasser-Wärmetauscher, der sich in der Schrankreihe oder in einem einzelnen Schrank befindet, indirekt an das Wasser übertragen.
- Direkte Wasserkühlung – die Wärme wird direkt an eine angebrachte Wärmeübertragungskomponente, wie etwa eine Cold Plate, übertragen.
- Hybride direkte/indirekte Wasserkühlung – selektive Kühlung der energieintensivsten Komponenten mit einer Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung, während der Rest des Schranks über einen sekundären Luft-Wasserwärmetauscher wie etwa eine Rücktürkühlung (Rear Door Cooler, RDC) gekühlt wird.

Überlegungen zur Wasser-Vorlauftemperatur

Um Kondensatbildung zu vermeiden, empfiehlt die American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) eine Wasser-Vorlauftemperatur von mindestens 18 °C. Durch den Betrieb mit relativ hohen Wassertemperaturen wird auch Energie eingespart, da die Rückkühleinrichtungen das Wasser nicht auf niedrige Temperaturen herunterkühlen müssen.

Die Wasservorlauftemperatur hängt direkt mit den Kühlanforderungen zusammen. Im Allgemeinen benötigt ein Luft/Wasser-Wärmetauscher eine Temperaturdifferenz von mindestens 2 Grad Kelvin zwischen der Wasservorlauftemperatur und der Kaltlufttemperatur, um ein Mindestmaß an Kühlung zu erreichen.

Je nach Kühlungskonfiguration kann der Betreiber unter Umständen durch eine Erhöhung der Vorlauftemperatur Energie einsparen.

Die Wasservorlauftemperatur für verschiedene Kühlsysteme ist von der ASHRAE in den Klassifizierungen W1 bis W5 definiert.

W1 Wasservorlauftemperatur von 2 bis 17°C

Wasservorlauftemperatur von 2 bis 27°C

W2 Die Klassen W1 und W2 gelten in der Regel für ein Rechenzentrum, das auf herkömmliche Weise mit Rückkühleinrichtungen und einem Kühlturm gekühlt wird, je nach Standort jedoch über einen optionalen wasserseitigen Economizer zur Verbesserung der Energieeffizienz verfügt.

Wasservorlauftemperatur von 2 bis 32°C

W3 An den meisten Standorten können diese Rechenzentren ohne Rückkühleinrichtungen in einem wasserseitigen Economizer-Modus betrieben werden. An einigen Standorten können für relativ kurze Zeiträume nach wie vor Rückkühleinrichtungen erforderlich sein, um die Richtlinien für die Wasservorlauftemperatur unter kritischen Umgebungsbedingungen einzuhalten.

Wasservorlauftemperatur von 2 bis 45°C

W4 Um von der Energieeffizienz zu profitieren und die Investitionskosten zu senken, werden diese Rechenzentren in einem wasserseitigen Economizer-Modus ohne Rückkühleinrichtungen betrieben. Die Wärmeabgabe an die Atmosphäre kann entweder durch einen Kühlturm oder einen Trockenkühler (mit geschlossenem Kreislauf und Flüssigkeits-/Luft-Kühlung) erfolgen.

Wasservorlauftemperatur über 45°C

W5 Anlagen profitieren von der Energieeffizienz und verringern die Investitions- und Betriebskosten durch einen Betrieb ohne Rückkühleinrichtung und durch Nutzung der überschüssigen Energie. Die Wassertemperatur ist hoch genug, um das Wasser aus den IT-Einbauten zur Beheizung lokaler Gebäude zu nutzen.

*ASHRAE, „Liquid Cooling Guidelines for Datacom Equipment Centers, Second Edition, Datacom Series 4“

Direkte Flüssigkeitskühlung

Verschiedene Kühlungslösungen für Rechenzentren

Bei der traditionellen Kühlung in Rechenzentren kommt Technik zum Einsatz, die auf herkömmlichen Klimaanlage basiert. Ganze Räume, manchmal ganze Gebäude, werden mit einem einzigen System gekühlt. Diese CRAC-Systeme (Computer Room Air Conditioning) oder CRAH (Computer Room Air Handler) funktionierten einige Jahre gut, da die Rechnerräume kleiner waren, die IT-Schränke nicht so dicht bestückt waren und in einem bestimmten Raum weniger Wärme erzeugt wurde. Wenngleich die Kühlung ganzer Räume heute noch beliebt ist, kann sie ineffizient und kostspielig sein.

Zu den moderneren Kühlkonzepten gehören Einhausungen und schrankbasierte Lösungen. Diese Konzepte erhöhen den Wirkungsgrad und umfassen oft eine Wärmeübertragung von Luft zu Wasser, um die besseren Wärmeübertragungseigenschaften von Flüssigkeiten zu nutzen.

Die Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung (Direct-to-Chip) bietet die höchste Effizienz. Dabei wird im Server eine Cold Plate direkt an den Prozessoren angebracht. Die Cold Plate hat „Mikrokanäle“ und einen Ein- und Auslass, die Flüssigkeit zirkuliert und führt die Wärme ab.

Effizienz der Flüssigkeitskühlung

Da die Wärmelasten steigen und die Serverschränke so dicht bestückt werden, dass die Luftzirkulation behindert wird, wird die Luftkühlung in Rechenzentren mit hoher Dichte immer schwieriger. In Rechenzentren, in denen versucht wird, der Problematik mit höheren Luftgeschwindigkeiten Herr zu werden, können schnell Verhältnisse wie in einem Windkanal entstehen, in denen sich die Arbeit schwierig gestaltet.

Flüssigkeitskühlsysteme hingegen bieten effektive Lösungen zur Erreichung der erforderlichen Temperaturparameter und zur Senkung des Energieverbrauchs des Kühlsystems, wodurch die Betriebskosten verringert werden. Da Flüssigkeit dichter ist als Luft, hat sie ein wesentlich größeres Wärmeübertragungsvermögen. Das Wärmeabfuhrvermögen von Wasser ist 3.500-mal höher als das von Luft. Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser ist 24-mal größer als die von Luft.

Flache Cold-Plates, die bei der Flüssigkeitskühlung zum Einsatz kommen, haben zudem den Vorteil, dass sie viel weniger Platz beanspruchen als herkömmliche Kühlkörper.

Zwar bietet die Flüssigkeitskühlung enorme Vorteile bei der Wärmeabfuhr, die gesamte Wärmelast des Schrankes mit Flüssigkeitskühlmethoden umzusetzen, kann äußerst komplex und mit hohen Kosten verbunden sein.

Wasser hat ein Wärmeabfuhrvermögen, das 3.500-mal höher ist als das von Luft und eine 24-mal höhere Wärmeleitfähigkeit.

Kontinuität der Kühlung



COMPLETE PORTFOLIO AIR AND LIQUID COOLING SOLUTIONS

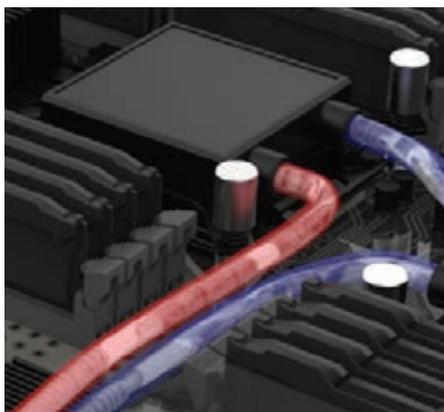


Direkte Flüssigkeitskühlung

Hybridkühlung für Anwendungen mit hoher Packungsdichte

Eine Hybridlösung, die Flüssigkeits- und Luftkühlung kombiniert, bietet eine praktikablere und besser skalierbare Einsatzoption, die die hocheffiziente Wärmeübertragung von Flüssigkeiten effektiv nutzt.

Um die Vorteile des hybriden Kühlsystems vollständig zu verstehen, müssen wir zunächst darauf hinweisen, dass ein typischer Server unterschiedlichste Hardware beherbergt. Einige dieser Komponenten, darunter die CPU, die GPU, der Arbeitsspeicher, das Netzteil und einige ältere Festplatten, verbrauchen den meisten Strom und erzeugen die meiste Wärme. Viele andere Komponenten wie Switches, Router und Netzwerkhardware hingegen verbrauchen nur wenig Energie und erzeugen wenig Wärme.



Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung

Die Abführung der gesamten Schrankwärme mit einer Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung ist komplex und kostspielig und erfordert eine Konfiguration, bei der jede Wärmequelle im Schrank – ob groß oder klein – über eine eigene Cold Plate und einen eigenen Anschluss an das Kühlwassersystem verfügt.

Konfiguration des Hybridsystems

Beim Hybridsystem werden die Komponenten mit dem höchsten Stromverbrauch selektiv mit einer Flüssigkeitskühlung gekühlt, während die restlichen Komponenten der Schrankausbauten über eine Rücktürkühlung (Rear Door Cooler, RDC) per Luftkühlung gekühlt werden.

Bei der Flüssigkeitskühlung werden flache Cold Plates direkt an den besonders viel Wärme erzeugenden Komponenten angebracht; aufbereitetes Wasser zirkuliert durch Mikrokanäle in den Platten (manchmal in Reihe), um die Komponenten direkt und konzentriert zu kühlen.

Im Schrankboden ist ein Kühlverteilermodul (Cooling Distribution Unit, CDU) eingebaut, das einen Wasser/Wasser-Wärmetauscher, eine Pumpe und ein Steuersystem umfasst. Dieses überwacht ständig den Druck, den Fluss und die Filterung des Moduls. Eine Schranksammeleinheit sorgt für die Flüssigkeitsverteilung zwischen dem CDU und einer beliebigen Anzahl von Cold-Plate-Kreisläufen. Mit der Sammeleinheit wird eine Architektur umgesetzt, die in Zukunft zusätzliche Flüssigkeitskühlung ermöglicht, ohne dass zusätzliche Leitungen in der Anlage erforderlich sind.

Mit dem Management der größten wärmeproduzierenden Komponenten mit Flüssigkeitskühlung können oft 70 bis 80 Prozent des Kühlbedarfs abgedeckt werden.

Für die restliche Wärmelast (20 bis 30 Prozent) sind die vielen Komponenten verantwortlich, die nur wenig Wärme erzeugen. Diese restliche Wärme wird mit einer eigenständigen RDC-Einheit an der Rückseite des Schanks, die einen integrierten Luft/Wasser-Wärmetauscher verwendet, luftgekühlt.

Bei der RDC-Einheit handelt es sich um eine aktive Lösung mit Lüftern, die die warme Luft aus dem Schrank und durch den Wärmetauscher abführen. Die Regelung über einen integrierten Differenzdrucksensor minimiert den Druckabfall des Wärmetauschers. Ein Wassersteuerungsset ermöglicht die Regulierung des Wasserdurchflusses entsprechend der tatsächlichen Wärmelast.



Manifold zur Flüssigkeitsverteilung



RackChiller Rear Door ohne Lüfter



RackChiller Rear Door mit Lüftern

Beispielanwendung für die Hybridkühlung

Zwei kombinierte Technologien zur Kühlung von Schränken mit hoher Packungsdichte

80 % Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung

Komponenten mit hohem Stromverbrauch/hoher Wärmeentwicklung werden selektiv mit Flüssigkeitskühlung gekühlt. Bis zu 80 kW pro Schrank.

20 % Luftkühlung mit Flüssigkeitsunterstützung

Die restliche Wärme wird durch eine RackChiller Rear Door mit Luft/Wasser-Wärmetauscher abgeführt. Bis zu 55 kW pro Schrank

Direkte Flüssigkeitskühlung

Das gesamte RDC-System ist ein Anbaurahmen, auf dem die perforierte Tür mit Schutzblenden montiert ist, die den Luft/Wasser-Wärmetauscher vollständig von den Schrankeinheiten trennen. Da die RDC als Austausch für eine Rücktür am Schrank montiert werden kann, lässt sie sich auch nachträglich an vorhandenen Schränken anbringen.

Das hybride Kühlsystem vereint zwei verschiedene Kühltechnologien in einem Schrank und absorbiert 100 Prozent der Wärme.

Primär- und Sekundärkreislauf

Die Auslegung des Systems mit einem Primär- und Sekundärkreislauf ermöglicht zwei unterschiedliche Wasserwege – einen für „unbehandeltes“ Betriebswasser und einen zweiten für speziell aufbereitetes Wasser für die Direktkontakt-Cold-Plates, Sammelleitungen und Verbindungselemente.

Im Primärkreislauf wird gekühltes Wasser aus dem Gebäudenetz zur Rücktürkühlung geführt. Das Kühlwassersystem in der Rücktür führt Wärme aus dem Schrank ab, indem gekühlte Luft durch den Schrank und einen Luft/Wasser-Wärmetauscher geleitet wird. Das leicht erwärmte Abwasser wird in das Kühlverteilermodul (Coolant Distribution Unit, CDU) geleitet, das im unteren Schrankbereich montiert ist.

Im CDU erfolgt eine Wärmeübertragung vom Sekundär- zum Primärkreislauf, ohne dass die beiden Flüssigkeiten je in Berührung miteinander kommen. Durch diese Wärmeübertragung wird das Wasser im Sekundärkreislauf effektiv auf eine akzeptable Temperatur heruntergekühlt. Das Wasser wird dann zu den Cold Plates im Flüssigkeitskühlsystem gepumpt. Die strategisch platzierten Cold Plates können einen Großteil der Wärmelast im Schrank abbauen.

Synergetischer Nutzen der Hybridkonfiguration

Bei dieser Hybridlösung wird erwärmtes „Rücklaufwasser“ aus dem luftgekühlten Kreislauf effektiv genutzt, um das heiße „Rücklaufwasser“ aus dem flüssigkeitsgekühlten Kreislauf zu kühlen. Die Wiederverwendung dieser Energie ist möglich, da das Flüssigkeitskühlsystem bei viel höheren Wassertemperaturen wirksam sein kann als das luftgekühlte System.

Laienhaft ausgedrückt, nutzt eine Seite des Systems die abgegebene Energie der anderen Seite. Wasser, das seine Aufgabe erledigt hat und jetzt „zu heiß“ ist, um auf der luftgekühlten Seite weiter von Nutzen zu sein, ist „genau richtig“, um Wärme auf der wassergekühlten Seite abzuführen.

Mit einer Flüssigkeitskühlung können einzelne Server oder mehrere Server in einem Schrank gekühlt werden. Der modulare Aufbau des Systems vereinfacht das spätere Hinzufügen von Direktkontakt-Anwendungen. Da die Infrastruktur im Schrank bereits vorhanden ist, lassen sich Direktkontaktserver einfach anschließen und die Verbindungen zur Sammelleitung mühelos herstellen. Die Leitungen für das Betriebswasser sind bereits verlegt.

Das komplette Hybridsystem lässt sich besser in eine vorhandene Architektur integrieren, ist modular und skalierbar. Diese Eigenschaften ermöglichen einfache Upgrades und hohe Wartungsfreundlichkeit. Das System wird über eine Controller-Schnittstelle mit lokalen Displays und Modbus-/Ethernet-Schnittstellen verwaltet, um die Fernverwaltung der Kühlvorrichtungen zu ermöglichen. Alle Komponenten sind in einem Schrank untergebracht, wodurch eine von der Umgebungsluft unabhängige Umgebung geschaffen wird.

Vorteile der Hybridkühlung



Geringerer Stromverbrauch



Höhere Packungsdichte im Schrank möglich



Geringere Gesamtbetriebskosten

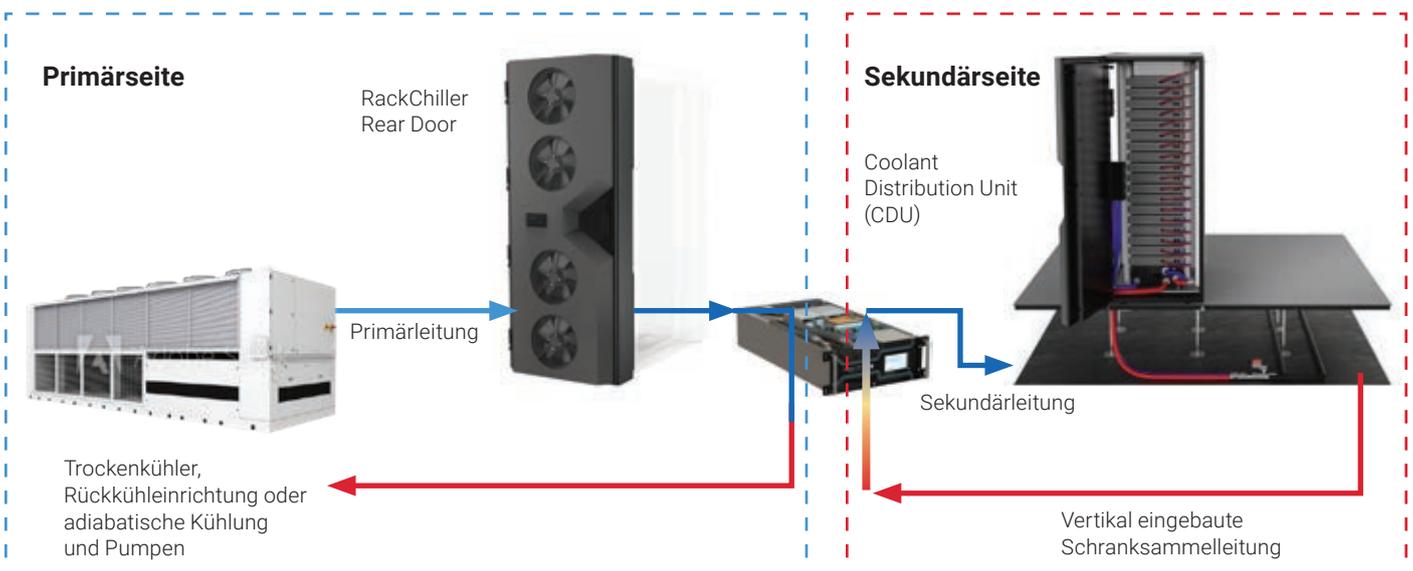


Schneller und einfacher Einbau



Modularer Aufbau für einfache künftige Upgrades

HYBRIDE KÜHLLÖSUNG



Direkte Flüssigkeitskühlung

Kühlleistung der Hybridlösung

Unterschiedliche Betriebspunkte für eine Rücktürlösung bei vergleichbaren Wasserdurchflussmengen

Durch die Erhöhung der Wassereintrittstemperatur verringern wir die Kühlleistung der RDC, zudem erhöhen wir die Raumlufttemperatur, indem wir die Temperatur der aus dem Wärmetauscher ausströmenden Luft erhöhen.

Durch das Rücktür-Setup werden höhere Lufttemperaturen in einem eingehausten Bereich an der Schrankrückseite isoliert. In diesem Bereich montiertes Equipment, wie etwa PDUs, sind für Betriebstemperaturen von 50 °C und höher zugelassen. Höhere Temperaturen haben natürlich einen Einfluss auf die Lebensdauer der Elektronik und müssen neben möglichen Energieeinsparungen berücksichtigt werden.

Das folgende Tool ermöglicht die parallele Berechnung von vier verschiedenen Betriebspunkten. In diesem Beispiel wird die Funktion verwendet, um die primärseitige „Wasservorlauf“-Temperatur (T Wasser, Eintritt) zu variieren, wobei Betriebspunkt 1 auf 15°C, Betriebspunkt 2 auf 20°C, Betriebspunkt 3 auf 30°C und Betriebspunkt 4 auf 40°C eingestellt ist.

Dies veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Temperatur des in das System einfließenden Wassers und den Lufttemperaturen im Rechenzentrum: Höhere Wasservorlauftemperaturen führen zu allgemein höheren Lufttemperaturen im Rechenzentrum.

Wir betrachten außerdem die Kühlleistung der Rücktürkühlung – dabei handelt es sich um die Wärmeenergie, die die Rücktürkühlung an diesen Punkten entnehmen würde.

Die Berechnungen für das CDU und die Rücktürkühlung beziehen sich beide auf den Primärkreislauf und müssen parallel erfolgen.

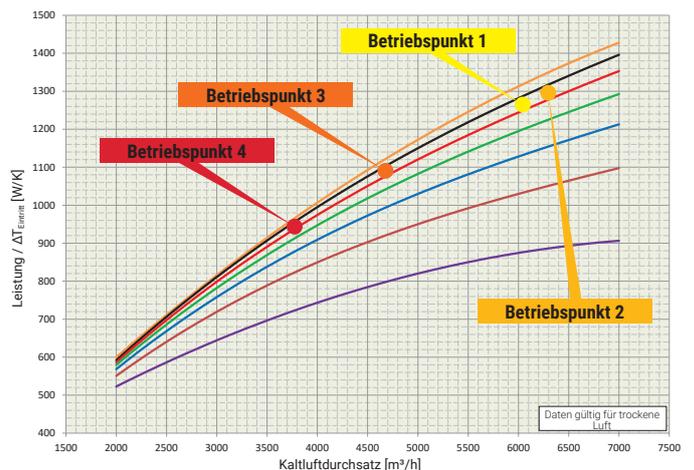
Neben der Wärmeenergie und den Wasservorlauftemperaturen ist die Wasserrücklauftemperatur (T Wasser, Austritt) ein wichtiger Parameter, da diese als Grenztemperatur für das CDU gilt.

Alle Punkte wurden mit einem Wasserdurchfluss von ca. 65 Liter pro Minute berechnet – der maximalen Wasserdurchflussmenge für dieses CDU.

RACKCHILLER REAR DOOR – BETRIEBSPARAMETER

Parameter	Betriebspunkt 1	Betriebspunkt 2	Betriebspunkt 3	Betriebspunkt 4
P [W]	25500	17000	11000	5700
T _{Wasser, Eintritt} [°C]	15	20	30	40
T _{Luft, Eintritt} [°C]	35	33	40	46
T _{Luft, Austritt} [°C]	23	25	33	42

Ergebnisse	Betriebspunkt 1	Betriebspunkt 2	Betriebspunkt 3	Betriebspunkt 4
P / ΔT _{Eintritt} [W/K]	1275	1308	1100	950
V' _{Luft} (hochgerechnet) [m³/h]	6120	6375	4714	3800
V' _{water} (hochgerechnet) [l/min]	64	65	66	64
Machbarkeit	Machbar	Machbar	Machbar	Machbar
T _{Wasser, Austritt} [°C]	21	24	32	41
Δp _{Luft} [Pa]	24	26	15	10
Δp _{Wasser} (kein Ventil) [kPa]	15	15	15	15
Δp _{Wasser} (kein Ventil) [kPa]	59	61	62	59



$$\Delta T_{\text{Eintritt}} = T_{\text{Luft, Eintritt}} - T_{\text{Wasser, Eintritt}}$$

- Wasserdurchfluss: 80 l/min
- Wasserdurchfluss: 70 l/min
- Wasserdurchfluss: 60 l/min
- Wasserdurchfluss: 50 l/min
- Wasserdurchfluss: 40 l/min
- Wasserdurchfluss: 30 l/min
- Wasserdurchfluss: 20 l/min

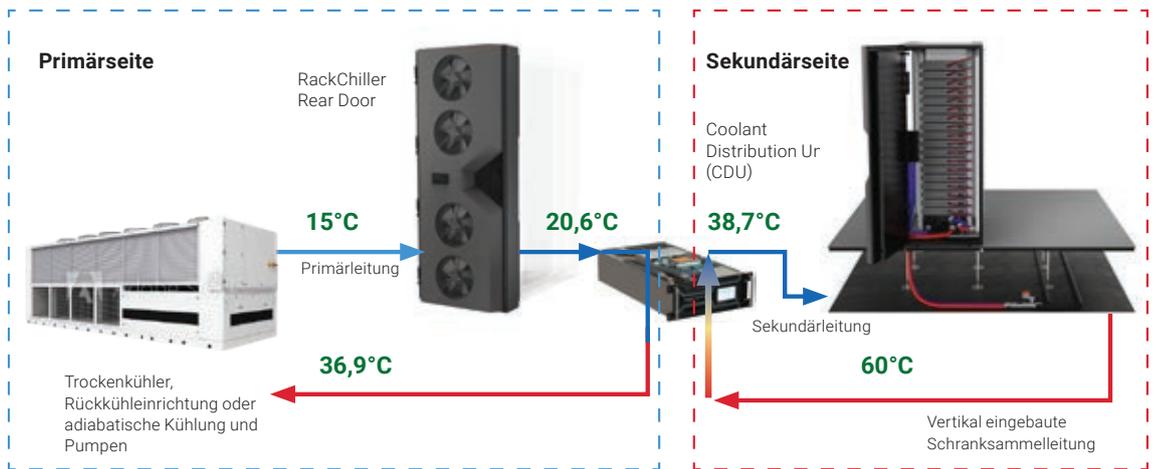
T_{Luft, Eintritt} Die Lufteintrittstemperatur der Rücktürkühlung entspricht der Temperatur der Austrittsluft am Server.

T_{Luft, Austritt} Die Luftaustrittstemperatur der Rücktürkühlung entspricht der Servereinsaugtemperatur und der Raumtemperatur des Rechenzentrums.

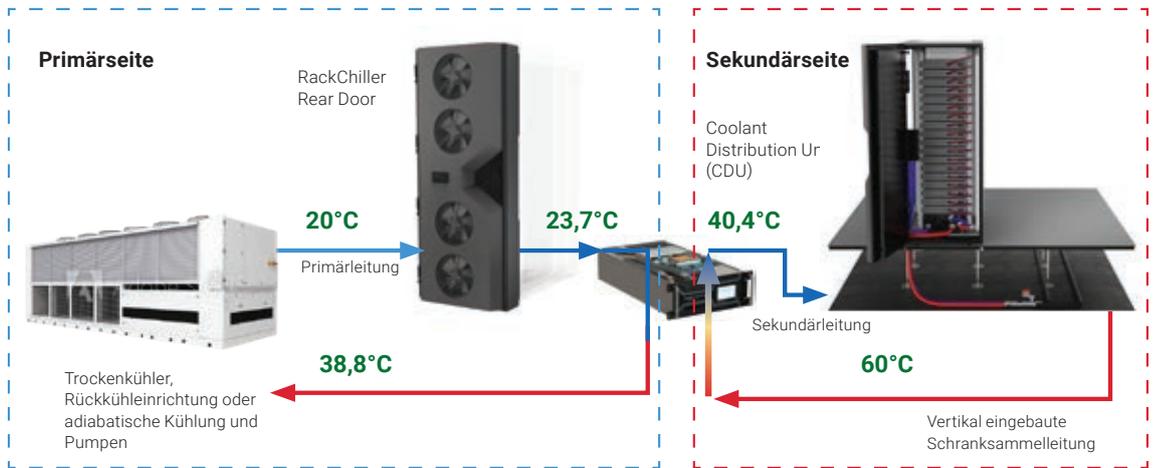
*RackChiller Rear Door 800 mm x 2000 mm

Direkte Flüssigkeitskühlung

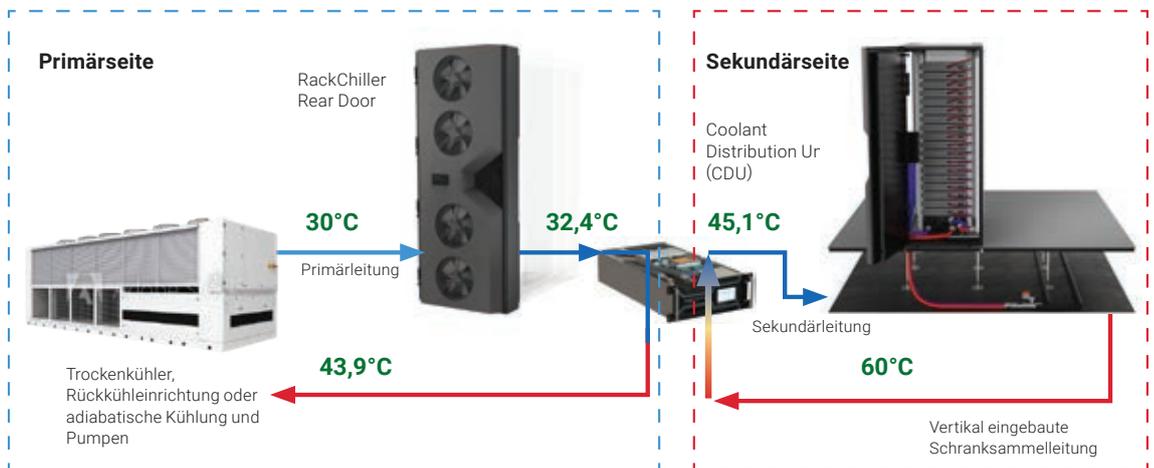
Betriebspunkt 1



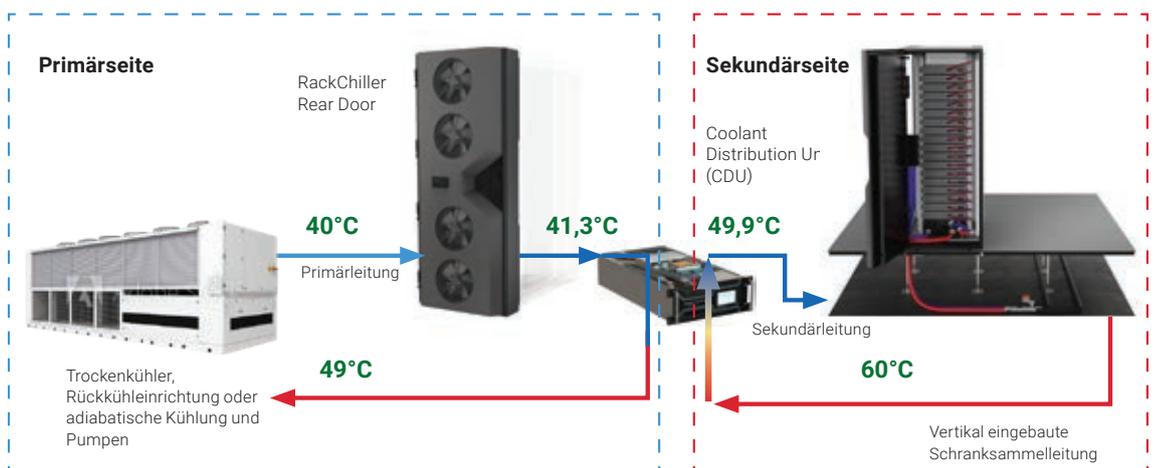
Betriebspunkt 2



Betriebspunkt 3



Betriebspunkt 4



Direkte Flüssigkeitskühlung

Im nächsten Beispiel nehmen wir die Betriebsparameter der Rücktür und kombinieren sie mit dem CDU- und Direct-to-Chip-Setup.

Die Wasserücklauftemperatur der RDC gibt uns die Wasservorlauftemperatur für das CDU.

Das folgende Tool stellt den Arbeitsbereich des Systems grafisch dar.

Zu beachten ist, dass bei wärmerem Betriebswasser (T Wasser, Eintritt) weniger Wärme durch die Rücktürkühlung abgeführt wird und mehr Energie zur Direct-to-Chip-Wasserkühlungsseite verlagert wird. Je höher die prozentuale Wärmekapazität ist, desto wärmer kann das Wasser im Primärkreislauf sein.

Daher muss, wenn wärmeres Betriebswasser zur Einsparung von Energiekosten verwendet wird, ein größerer Anteil der Systemkühlung per Flüssigkeitskühlung erfolgen.

Die RDC-Rücklauftemperatur ist identisch mit dem Wert (T Wasser, Rücklauf) der Rückkühleinrichtung des Schrankes.

Die Vorlauftemperatur entspricht der Temperaturdifferenz am CDU (beim Betriebspunkt 1: $38,7 - 21,6 = 18,1$)

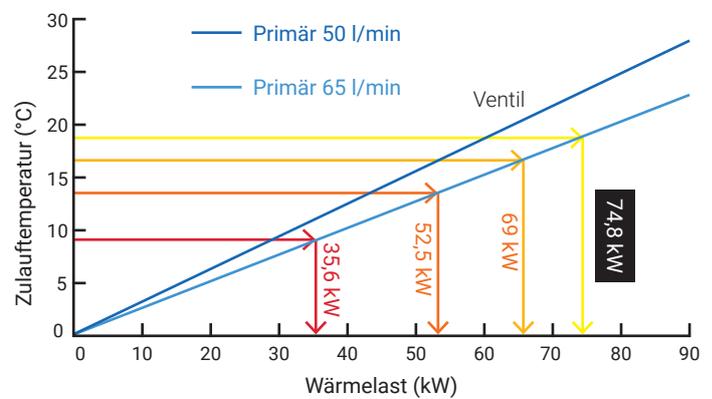
CHX80 BETRIEBSPARAMETER BASIEREND AUF RÜCKTÜR-BETRIEBSPUNKTEN

Ergebnisse	Betriebspunkt 1	Betriebspunkt 2
RDC-Rücklauf [°C]	21	24
Serveinlass [°C]	39	40
Serverauslass [°C]	60	60
Zulauf dT [°C]	18	17
Leistung aus Zulaufkurve [kW]	75	69

Ergebnisse	Betriebspunkt 3	Betriebspunkt 4
RDC-Rücklauf [°C]	32	41
Serveinlass [°C]	45	50
Serverauslass [°C]	60	60
Zulauf dT [°C]	13	9
Leistung aus Zulaufkurve [kW]	53	36

CHx80 Leistung

ASHRAE W4 (45°C); 25 % PG sekundär



ZUSAMMENFASSUNG: BETRIEBSPUNKTE

Aus der Kombination der Arbeitsparameter ergibt sich die folgende Tabelle. Auf Grundlage der erforderlichen Kühlleistung kann der Betreiber nun verschiedene Kühlformen vergleichen.

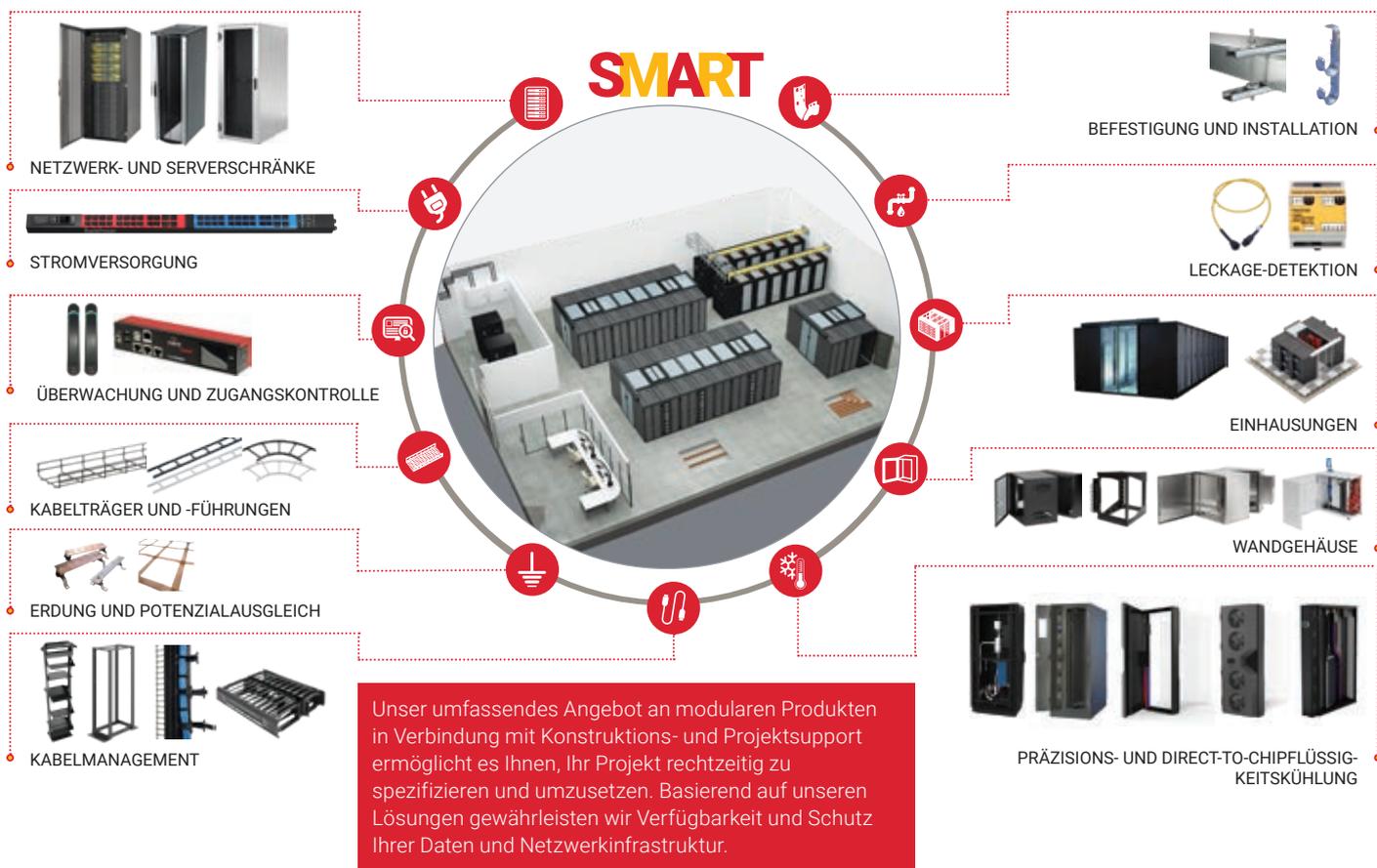
Unten wird deutlich, wie sich das Verhältnis zwischen dem luftgekühlten und dem flüssigkeitsgekühlten Prozentsatz verändert. Bei kühlerem Wasser kann ein größerer Prozentsatz der Wärmelast mit der Luftkühlung gehandhabt werden. Bei wärmerem Wasser muss ein größerer Prozentsatz der Wärmelast auf die Direct-to-Chip-Flüssigkeitskühlung verlagert werden.

Um Energieeffizienz zu erreichen und die Investitionskosten zu senken, kann der Betreiber eine Erhöhung der Wassertemperaturen in Erwägung ziehen. Allerdings wirkt sich das auch auf die Bedingungen im Raum und auf die MTBF der Elektronik aus.

Parameter	Einheit	Betriebspunkt 1	Betriebspunkt 2	Betriebspunkt 3	Betriebspunkt 4
Temperatur Serverrücklaufwasser	[°C]	60	60	60	60
Temperatur Anlagenvorlaufwasser	[°C]	15	20	30	40
Raumtemperatur	[°C]	23	25	33	42
Leistung Rücktürkühlung	[kW]	26	17	11	6
Temperatur RackChiller Rear Door Rücklauf/CHx80 Primärvorlauf	[°C]	21	24	32	41
Temperaturdifferenz CHx80 Zulauf.	[°C]	18	17	13	9
CHx80 Leistung	[kW]	75	69	53	36
Kombinierte Leistung	[kW]	100	86	64	41
Prozentsatz luftgekühlt	[%]	25	20	17	14
Prozentsatz flüssigkeitsgekühlt	[%]	75	80	83	86

Direkte Flüssigkeitskühlung

Bewährte Rechenzentrums- und Netzwerklösungen für eine vernetzte Welt



Fazit

Die Dichte in den Rechenzentren nimmt stetig zu, weshalb wir in der Kühltechnik vor großen Herausforderungen stehen. Die herkömmliche Luftkühlung reicht nicht mehr aus, während die reine Flüssigkeitskühlung für die meisten Betriebe zu kostspielig und unflexibel ist. Die Hybridkühlung vereint die Direktkontakt-Flüssigkeitskühlung mit der flüssigkeitsunterstützten Luftkühlung; damit bietet sie kurzfristig erhebliche Vorteile und die flexible Möglichkeit zur vertikalen Skalierung in der Zukunft.

Die Auswahl des richtigen Kühlmodells ist von entscheidender Bedeutung, wenn es darum geht, temperaturbedingte Störungen und Ausfälle von Geräten zu verhindern. Da der Energieverbrauch für die Kühlung einen erheblichen Anteil am gesamten Energieverbrauch eines Rechenzentrums darstellt, können Verbesserungen der Kühleffizienz auch zu beträchtlichen Einsparungen bei den Betriebskosten führen. Mit dem in der vorliegenden Abhandlung beschriebenen Hybridsystem lassen sich die neuen Herausforderungen in Sachen Kühlung meistern. Es bietet Vorteile, die sofort verwirklicht und in Zukunft weiter ausgebaut werden können.

Über nVent

nVent ist ein führender, weltweit tätiger Anbieter von elektrischen Verbindungs- und Schutzlösungen. Wir sind überzeugt, dass unsere innovativen elektrischen Lösungen sicherere Systeme ermöglichen und für mehr Sicherheit auf der Welt sorgen. Wir entwickeln, fertigen, vermarkten, installieren und warten leistungsstarke Produkte und Lösungen, die einige der empfindlichsten Geräte, Gebäude und kritischen Prozesse auf der Welt verbinden und schützen. Unsere branchenführenden Marken, die weltweit für Qualität, Zuverlässigkeit und Innovationen bekannt sind, bieten eine umfangreiche Palette an Gehäusen, elektrischen Verbindungen sowie Befestigungs- und Wärmemanagementlösungen.

Die Experten von nVent beraten sich bei der Festlegung der Kühlkonzepte für Rechenzentren mit den Kunden. Dazu erfassen und bewerten sie individuelle Serverkonfigurationen, spezifische Umgebungsparameter, erforderliche Redundanzen, Betriebsbereitschaftszeiten und andere Datenpunkte. Anschließend empfiehlt das Expertenteam die am besten geeigneten, energieeffizienten Lösungen für ein einzelnes Rechenzentrum oder eine Reihe von weltweiten Rechenzentren. nVent setzt seine vielfältigen Produkte und seine globale Erfahrung bei einer Vielzahl von Kunden auf der ganzen Welt ein.

Unsere Hauptniederlassung befindet sich in London, Großbritannien, und unser Managementbüro in den USA in Minneapolis, Minnesota. Mit unserem soliden Portfolio führender Marken für Elektroprodukte, das nVent CADDY, ERICO, HOFFMAN, RAYCHEM, SCHROFF und TRACER umfasst, können wir auf eine über 100-jährige Geschichte zurückblicken.

nVent, CADDY, ERICO, HOFFMAN, RAYCHEM, SCHROFF und TRACER sind Marken, die Eigentum der nVent Services GmbH oder ihrer Tochtergesellschaften sind oder von diesen lizenziert werden.

Nordamerika

Alle Standorte

Tel +1.800.525.4682

Europa

Straubenhardt, Deutschland

Tel +49.7082.794.0

Betschdorf, Frankreich

Tel +33.388.90.64.90

Assago, Italien

Tel +39.02.5776151.224

Mittlerer Osten & Indien

Dubai, Vereinigte Arabische Emirate

Tel +971 50 55 19823

Bangalore, Indien

Tel +91.80.6715.8900

Istanbul, Türkei

Tel +90.545.284.09.08

Asien

Shanghai, China

Tel +86.21.2412.6943

Qingdao, China

Tel +86.523.8771.6101

Singapore

Tel +65.6768.5800

Shin-Yokohama, Japan

Tel +81.45.476.0271

Unser starkes Markenportfolio:

CADDY ERICO HOFFMAN RAYCHEM SCHROFF TRACER



[nVent.com/DNS](https://www.nvent.com/DNS)