

# Verbesserte Kaltwasserverrohrungs- verteilung in Datacentern

## White Paper 131

Version 1

Von Isabel Rochow

### > Zusammenfassung

Kaltwasser stellt weiterhin ein verbreitetes Kühlmittel dar. Allerdings gefährden mögliche Leitungsleckagen die Systemverfügbarkeit. Durch Computerlasten hoher Dichte muss das Kühlwasser heute näher als je zuvor an IT-Geräte herangeführt werden. Aus dieser Tatsache hat sich der Bedarf an neuen, äußerst zuverlässigen Rohrleitungssystemen entwickelt. In diesem White Paper werden die neuen Leitungssysteme vorgestellt, mit denen die Leckagegefahr entscheidend verringert und die Handhabung großer Dichten erleichtert wird. Dabei werden alternative Leitungssysteme und die Vorteile gegenüber herkömmlichen Rohrleitungssystemen vorgestellt.

### Inhalt

*hier klicken, um zu dem Abschnitt zu gelangen*

Einführung	2
Eigenschaften herkömmlicher Systeme mit starren Rohren	2
Flexible Rohrleitungen	6
Vergleich zwischen starren und flexiblen Rohrleitungen	9
Ergebnisse	14
Ressourcen	15

## Einführung

In Datacentern wurden bisher in der Regel Rohre aus Hartkupfer oder unlegiertem Stahl mit verschweißten, gelöteten oder mit Gewinde versehenen Passstücken für die Leitungen zu den Klimaanlage verwendet. Da jedes Passstück einer Leitung die potentielle Leckagegefahr im Datacenter erhöht, werden die Rohrleitungen im Allgemeinen im Doppelboden verlegt. Dabei werden gelegentlich Ablaufkanäle oder Rinnen unter den Rohren installiert, die das Wasser bei Leckagen und Rissen auffangen. In statischen Datacentern, in denen keine Klimaanlage versetzt oder hinzugefügt werden, funktionierte diese Lösung bisher gut.


Starre Rohrleitungen verursachen jedoch zunehmend Probleme, da bei der aktuellen Entwicklung hin zu immer größeren IT-Geräte-Dichten und häufigerem Versetzen, Austauschen oder Hinzufügen von Geräten auch gelegentlich Klimaanlage zur vorhandenen Konfiguration hinzugefügt werden müssen. Die dadurch notwendige Installation neuer Leitungen verursacht längere Installationszeiten und erhöht das damit verbundene Risiko vermehrter Ausfallzeiten während der Installation. Diese Situation schafft den Bedarf für ein flexibleres, modulares Rohrleitungssystem, das sich besser an geänderte Bedürfnisse anpassen lässt.

Inzwischen besitzen Datacenter oft keine Doppelböden mehr. Die Installation auf Massivböden wird durch neuere Kühltechnologien und -architekturen ermöglicht, die für die Luftzirkulation keinen Doppelboden mehr benötigen. Dadurch sind viele Benutzer flexibler bei der Standortauswahl für Datacenter und Computerräume. Ein Ergebnis dieser Entwicklung ist die größere Verbreitung deckenmontierter Rohrleitungen. Bei Leckagen in deckenmontierten Leitungen ist die Wahrscheinlichkeit von Systemausfällen und Schäden allerdings noch größer als bei Doppelbodenleitungen. Daher besteht ein allgemeiner Bedarf an leckagesicheren Leitungssystemen.

Heute wird bei der Datacenterplanung vermehrt auf reihen- und rackbasierte Kühlungen statt auf die herkömmliche raumbasierte Kühlung gesetzt. Diese Architekturen ermöglichen eine höhere Dichte und eine effizientere Stromnutzung. Im APC White Paper 130, *Die Vorteile von reihen- und rackbasierten Kühlarchitekturen für Datacenter*, wird diese Problematik ausführlicher erörtert. Durch die geänderten Nutzungsanforderungen müssen die CRAC-Einheiten und die zugehörigen Leitungen näher zu den IT-Geräten gebracht werden. Und auch hier zeigt sich, dass ein Bedarf an zuverlässigeren, modularen und skalierbaren Rohrleitungssystemen besteht.

Bei einem nahtlosen und flexiblen Leitungssystem werden die für die Verbindung von Rohrstücken verwendeten Passstücke nicht mehr benötigt. Auf diese Weise verringert sich das Leckagerisiko, die Installationszeiten werden kürzer und die Flexibilität des Systems wird erhöht. In diesem White Paper wird die neue Leitungstechnologie und deren Anwendung in Datacentern der nächsten Generation erläutert.

Bisher wurden für Datacenter Rohre aus Hartkupfer oder unlegiertem Stahl verwendet. Unlegierte Stahlrohre SCHED 40 und Hartkupferrohre Typ L und M sind dabei am weitesten verbreitet. Für starre Rohrleitungen werden an jedem Bogen, jedem Ventil und jeder Verzweigung zu mehreren Klimaanlage sowie, abhängig von der Rohrlänge, alle 1,8 oder 6 m verschweißte oder hartgelötete Passstücke bzw. Gewinde oder Spannhülsen benötigt. Üblicherweise besteht ein Rohr von der Kühlwasserquelle zur Klimaanlage aus mehreren mit Passstücken verbundenen Rohrstücken.

 Ressourcen  
**APC White Paper 130**  
*Die Vorteile von reihen- und rackbasierten Kühlarchitekturen für Datacenter*

## Eigenschaften herkömmlicher Systeme mit starren Rohren

## Ausfallarten bei starren Rohrleitungen

Jede Schweißnaht und jedes Passstück stellt eine potentielle Leckagegefahr für das Kühlswassersystem dar. Bereits das Schneiden des Gewindes bei der Installation sorgt für die erste Leckagegefahr, da bei diesem Vorgang teilweise mehr als 50 % der Rohrwand entfernt werden und das Anschlussstück dadurch geschwächt wird.

Die galvanische Korrosion bildet eine weitere Ursache für Leitungsdefekte. Sie tritt dort auf, wo unlegierter Stahl direkt auf ein Messingventil trifft oder ein Stahlrohr durch ein Kupferrohr weitergeführt wird. Die „galvanische“ Korrosion erfolgt beim Kontakt zwischen zwei ungleichartigen Metallen und Wasser. Dabei wird normalerweise der unlegierte Stahl in einem von den bestehenden Korrosionsbedingungen abhängigen Maße angegriffen. Ablagerungen am Gewinde, an dem die beiden Metalle aufeinandertreffen, begünstigen die Entstehung mikroskopisch kleiner Lecks. Im fortgeschrittenen Stadium kann die Korrosion anhand der Ablagerungen sogar mit bloßem Auge erkannt werden. Zu diesem Zeitpunkt ist der Schaden allerdings schon eingetreten, und das Rohr muss ausgetauscht werden, da sich das Leck mit fortschreitender Korrosion permanent vergrößert.

Galvanisch getrennte Anschlussstücke, so genannte Dielektrika, werden bei den meisten Rohrleitungssystemen zum Verbinden ungleichartiger Metalle verwendet. Dielektrische Anschlussstücke werden zwar von den meisten technischen Beratern und Planern ausgewählt, aber oft nicht verwendet oder falsch installiert.

Bei vielen herkömmlichen Kühlswassersystemen zweigt eine Hauptzufuhr- oder rücklaufleitung aus unlegiertem Stahl zur Klimaanlage mit einem Kupferrohr ab, sodass bei einem Datacenter mit mehreren CRAC-Einheiten zahlreiche dielektrische Anschlussstücke benötigt werden.

Das allmähliche Versagen der Hanffaserdichtung, schlecht geschnittene Gewinde, Dichtungsalterung bei Spannhülsen und schlechte Qualität der Rohre oder Passstücke, Vibrationen, Druck bzw. Belastung, nicht ordnungsgemäße Montage oder auslegungsüberschreitender Betriebsdruck sind als weniger häufige Ursachen zu nennen.

Bei starren Rohrleitungen lagern sich nach und nach Mineralien an der Innenwand ab, verengen den Rohrrinnendurchmesser und begünstigen die Kupferoxidation, durch die im Rohr winzige Löcher und Leckagen entstehen können. Durch mineralische Ablagerungen kommt es auch zu Druckverlusten in der Wasserleitung, insbesondere bei Ablagerungen in Bogenstücken oder Passstücken. Dieses Problem kann vermieden werden, wenn das Wasser durch Behandlung und regelmäßige Aufbereitung einen konstanten pH-Wert aufweist. Normalerweise wird das Wasser bei Inbetriebnahme und bei Routinewartungen behandelt. Feine Löcher sind in geschlossenen Kühlswassersystemen normalerweise höchstens bei schlechter Wartung zu finden.

Bei Kühlswassersystemen stellt auch die Kondensation ein Problem dar. Kühlswassersysteme sind in der Regel gedämmt, damit an der Rohraußenwand keine Kondensation erfolgt. Dennoch entsteht an den Passstücken der Leitungen häufig Feuchtigkeit, da eine erfolgreiche Dämmung bei Rohrleitungssystemen mit zahlreichen Bögen, Verbindungsstellen und Aufsätzen wie beispielsweise Ventilen, Filtern und Messgeräten sehr schwierig ist. Jeder Riss und jeder Dichtungsfehler in der Dämmung entlässt Wasser in das Datacenter und wird zur Eintrittsstelle für Feuchtigkeit, die unter der Dämmung an den Leitungsaußenwänden beachtliche Strecken zurücklegen kann.

Kondensat an den Leitungsaußenwänden verursacht in nicht klimatisierten Umgebungen Korrosionen. Die Korrosion wird noch begünstigt, wenn die Luftfeuchtigkeit in der Rohrumbgebung hoch ist. Im Extremfall ist schließlich die gesamte Dämmung mit Kondenswasser

gesättigt. Bei Datacentern stellt die Korrosion der Rohraußenwand aufgrund der Luftfeuchtigkeitsregulierung normalerweise kein Problem dar.

Teilweise fordern IT-Manager und Anlagentechniker für IT- und elektrische Geräte zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen Kondenswasser und Wasser aus Leckagen. Diese Forderungen werden jedoch normalerweise nicht implementiert, solange Wasser kein akutes Problem im Datacenter darstellt.

In Einzelfällen ist die Angst vor einem Kühlverlust durch ein einzelnes Leck so groß, dass IT-Manager sich dafür entscheiden, ein vollständig redundantes, starres Rohrleitungssystem zu installieren, durch das sich die Gesamtkosten für die Leitungsinstallation verdoppeln. Alternativ werden auch Bereitschaftssysteme mit CRAC-Einheiten auf Kältemittelbasis installiert, die wiederum ein eigenes Kältemittelleitungssystem benötigen.

## Installation starrer Rohrleitungen im Doppelboden

Die Rohrführung hängt bei Kühlwasserleitungen von der Raumgröße und der Anzahl der Klimaanlage ab. Bei kleinen Räumen erfolgt die Kühlwasserzuführung normalerweise durch eine große Hauptzulauf- und -rücklaufleitung aus unlegiertem Stahl oder Kupfer. Bei größeren Räumen werden mehrere große Hauptrohre aus unlegiertem Stahl verwendet. Von jedem Hauptrohr zweigen Kupferleitungen zu den einzelnen Klimaanlage ab. In Abbildung 1 sehen Sie ein im Doppelboden verlegtes starres Rohrleitungssystem mit mehreren Passtücken.

Als zusätzliche Vorsichtsmaßnahme kann bei dieser Methode eine Rinne mit Abläufen speziell für die Aufnahme der Kühlwasserleitungen installiert werden, um diese von der elektrischen Verkabelung getrennt zu halten. Als Alternative können auch Auffangwannen unter den Leitungsrohren installiert werden, um Kondenswasser und Wasser aus möglichen Leckagen aufzufangen. Die Tiefe und Breite der Rinnen hängt dabei vom Durchmesser der Rohre und der darin transportierten Wassermenge ab. Damit bei einem Leck das Wasser sämtlicher Leitungen aufgenommen werden kann, müssen die Rinnen entsprechend groß dimensioniert sein. In einem mittleren oder großen Datacenter findet man häufig bis zu 1,5 m tiefe Rinnen für alle Kühlwasserleitungen und Ventile, aber auch, um den nötigen Platz für Wartungen zu haben.

Da die Entfernungen von dem Kaltwassersatz zu den einzelnen Klimaanlage unterschiedlich lang sind, muss beim Anlaufen des Kühlwassersystems jede Klimaanlage so abgestimmt werden, dass sie mit der richtigen Kühlwassermenge versorgt wird. Der Systemabgleich erfolgt mit Hilfe von Absperr- und Ausgleichsventilen, die sich normalerweise in den Leitungssästen im Doppelboden befinden. Die Betätigungsventile für die Wasserregulierung befinden sich in der Regel in den Klimaanlage. Wenn sich die Absperr- und Ausgleichsventile unter dem Fußboden befinden, sind sie schwieriger zu erreichen und der Systemabgleich des Systems dauert länger.

Diese speziell konfigurierten Einzelsysteme werden aufgrund der für die Leitungen benötigten Infrastruktur und der Schwierigkeit, nach der Inbetriebnahme weitere Leitungen zum Hauptrohr hinzuzufügen, normalerweise ohne Konfigurationsänderungen betrieben.

Tritt ein Leck im Hauptrohr auf, erhöht sich die mittlere Wiederherstellungszeit (MTTR), da alle über den Hauptstrang gespeisten CRAC-Einheiten von der Kühlwasserzufuhr abgeschnitten sind. Ohne Kühlung würde sich die Raumtemperatur rapide erhöhen, und IT-Geräte würden ausfallen oder müssten abgeschaltet werden.

## Abbildung 1

Herkömmliches, im Doppelboden installiertes Kühlwasserleitungssystem mit mehreren Nebensträngen zu Klimaanlage, die an den Abzweigungen mit Passstücken verbunden sind



### Deckenmontierte starre Rohrleitungen

Auch bei dieser Topologie zweigen von einem Hauptstrang Leitungen zu den einzelnen Klimaanlage ab. Die Absperr- und Ausgleichsventile befinden sich normalerweise in den Leitungszweigen. Die Ventile sind dabei innerhalb oder außerhalb der Datacenter oder direkt über den Klimaanlage angebracht.

Da bei deckenmontierten Leitungssystemen die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass kondensierendes oder aus Lecks austretendes Wasser auf IT-Geräte tropft, werden Auffangwannen eingesetzt, wenn die Rohrleitungen elektrische Geräte oder IT-Geräte überqueren. Manchmal werden Auffangwannen unter allen Kühlwasserleitungen des Datacenters angebracht. In diesen Fällen werden breite Auffangwannen unter den Hauptrohren und kleinere unter den Leitungszweigen montiert. Diese Methode wird zum Schutz der elektrischen und IT-Geräte unter den Rohrleitungen als Vorsichtsmaßnahme gegen Kondenswasser und Leckagen an den zahlreichen Passstücken eingesetzt. In **Abbildung 2** sehen Sie ein Beispiel einer herkömmlichen Installation mit deckenmontierten Leitungen und darunter befestigten Auffangwannen gegen mögliche Leckagen.

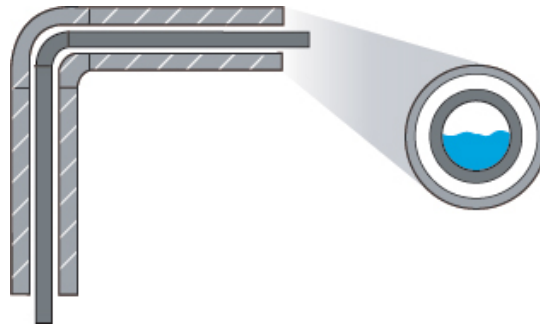
## Abbildung 2

Deckenmontierte Rohrleitungen mit Auffangwannen über den Racks



Über der Decke oder außerhalb der Datacenter installierte Ventile erschweren den Klimaanlagenabgleich. Die Anlauf- und Abgleichsdauer für die einzelnen Einheiten verlängert sich. Leckagen in deckenmontierten Rohrleitungen müssen über den Geräten behoben werden, was die Gefahr vergrößert, dass Wasser auf den Fußboden oder sogar auf die Geräte gelangt.

Doppelwandige Rohrleitungen werden in Einzelfällen als Sicherheitsbehälter benutzt. Diese Rohre werden in der Regel nur dann verwendet, wenn örtliche Vorschriften dies fordern oder der Besitzer bzw. Technische Planer dies festlegt. Doppelwandige Rohrleitungen bestehen aus einem Außenrohr, welches das Wasserrohr vollständig umschließt, aus Lecks austretendes Wasser aufnimmt und so gleichzeitig die Entdeckung von Lecks ermöglicht. Durch die komplizierte Handhabung und Installation doppelwandiger Rohrleitungen ist diese Methode extrem teuer, sie ist jedoch effektiver als Auffangwannen unter den Leitungen. In Abbildung 3 sehen Sie je einen Längs- und Querschnitt durch ein doppelwandiges Rohr.



**Abbildung 3**

Längs- und Querschnitt durch ein doppelwandiges Rohr

## Flexible Rohrleitungen

Durch die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Rohrleitungstechnik, bei denen flexible Rohre zum Einsatz kommen, kann Kühlwasser mit wesentlich größerer Zuverlässigkeit und geringerer Leckagegefahr in Datacenter geleitet werden. Dieses Leitungssystem basiert auf einer Technologie, die in Europa seit über 30 Jahren für die Abluftrückführung eingesetzt wird. Bei dem verwendeten flexiblen mehrschichtigen Rohr handelt es sich um ein Aluminiumrohr, das auf beiden Seiten vollständig von vernetztem Polyethylen ummantelt ist. Diese Rohre besitzen ausreichend Flexibilität und Eigenfestigkeit, sodass Sie sehr einfach durch das Datacenter geführt werden können und gleichzeitig die dabei festgelegte Position unverändert beibehalten. Vernetztes Polyethylen (PEX) bietet auch hervorragenden Schutz gegen Korrosion. Die glatte Innenwand und deren chemische Eigenschaften machen es sowohl bei hartem als auch bei weichem Wasser widerstandsfähig gegen Mineralablagerungen und verhindern dadurch das Entstehen winziger Löcher.<sup>1</sup>

### Größere Zuverlässigkeit gegenüber fest installierten Rohren

Die verwendeten flexiblen Rohrleitungen werden ohne Bogen- oder Zwischenstücke von der Kühlwasserquelle zu den einzelnen CRAC-Einheiten geführt. Bei mehreren CRAC-Einheiten können mit Hilfe des Zentralverteilersystems die zugehörigen Verbindungen zu einem Hauptverteiler in der Nähe oder außerhalb des Raums hergestellt werden. Die flexiblen, nahtlosen Zu- und Rücklaufleitungen zwischen dem Hauptverteiler und den Klimaanlagen im Raum sind einzeln gedämmt und abgeglichen. Bei dieser Methode werden sämtliche Verbindungsstücke im Datacenter durch zwei Anschlüsse pro Zu- und Rücklaufleitung ersetzt. Der eine befindet sich am Verteiler, der andere an der CRAC-Einheit. Bei herkömmlichen starren Rohrleitungen besitzt, je nach Leitungsführung, jede Zu- und Rücklaufleitung für eine einzelne Klimaanlage bereits 10 bis 20 Anschluss- oder Ver-

<sup>1</sup> Plastics Pipe Institute™ - High Temperature Division, „The Facts of Cross-Linked Polyethylene (PEX) Pipe Systems“, 03.12.2004

bindungsstellen. Durch ein flexibles Leitungssystem mit nur zwei Anschlüssen pro Leitung verringert sich das Leckagerisiko auf 10 bis 20 % des Risikos bei starren Rohrleitungen. Aufgrund fehlender Passstücke und Ventile und einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als bei Kupfer- oder Stahlrohren wird das Kondensationspotential im Datacenter durch die flexiblen PEX-Leitungen erheblich vermindert. Da Passstücke, Verbindungsstellen und Ventile nur mit viel Aufwand wirksam zu dämmen sind, tritt Kondensation normalerweise an diesen Stellen auf.

Durch eine Hauptverteilung in Verbindung mit flexiblen Leitungen werden die Bedenken in Bezug auf die Nähe von Kühlwasserleitungen und IT-Geräten sowie auf eine Leitungsführung oberhalb von Geräten erheblich reduziert. Wenn der Wasserhauptverteiler in Raumnähe installiert wird, können alle Abgleichs- und Absperrventile am selben Standort installiert werden. Dadurch verringert sich die Gesamtzeit für den Kühlwassersystemabgleich. Von dieser Lösung profitieren dynamische Datacenter, da durch das flexible Leitungssystem beim Standortwechsel von Klimaanlageanlagen einfach das zugehörige Rohr an den neuen Standort geführt werden muss. Bei Umgebungen mit hoher Leistungsdichte können zu einem späteren Zeitpunkt CRAC-Einheiten hinzugefügt werden, indem einfach eine Leitung vom Hauptverteiler zur neuen Klimaanlage geführt wird, ohne dass andere Kühlwasserleitungen davon beeinträchtigt werden.

Die tatsächliche Ausfallquote verbessert sich dadurch gegenüber starren Rohrleitungen erheblich. Einer der führenden Hersteller der neuen Leitungssysteme kommentiert dies folgendermaßen:<sup>2</sup>

„In Europa werden diese Rohre seit 30 Jahren eingesetzt, und bei mehr als 1,2 Milliarden Meter installierter Leitungen ist noch kein einziger Produktfehler aufgetreten. Bereits 150 Millionen Meter sind allein in Nordamerika installiert. Proben der Rohre sind bereits seit 1973 ständig hohen Temperaturen und hohem Druck ausgesetzt, ohne dass es bisher Anzeichen einer Leistungsbeeinträchtigung gegeben hätte. Sowohl eigene Tests von Wirsbo als auch unabhängige Tests lassen auf eine Lebensdauer der Wirsbo PEX-Rohrleitungen von mehr als 100 Jahren schließen.“

#### **Deckenmontage flexibler Leitungen**

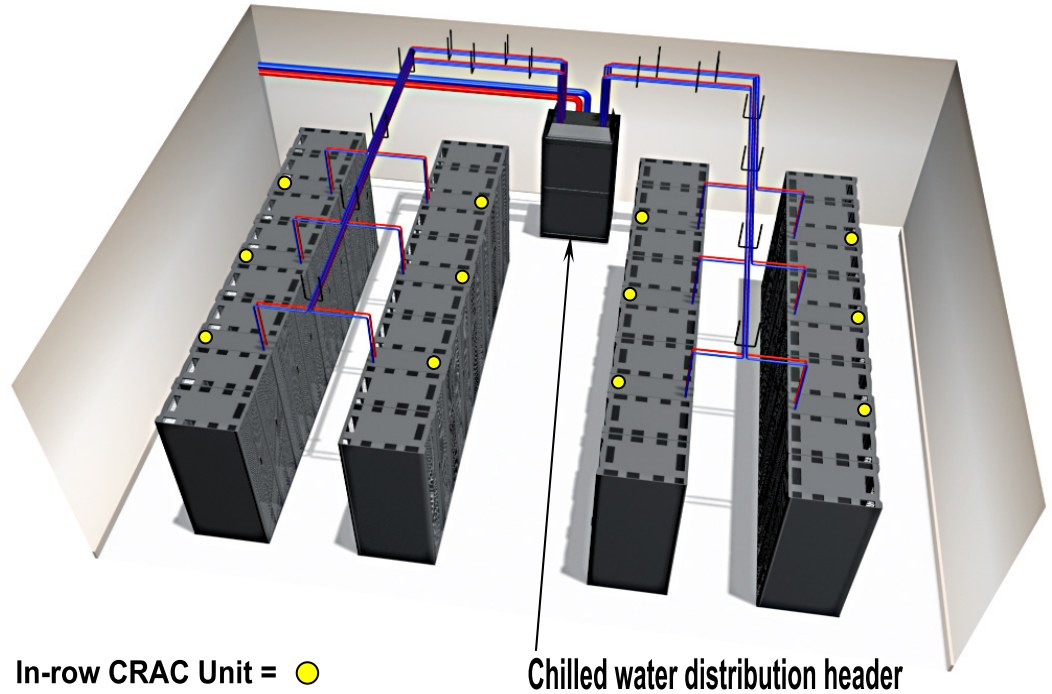
Deckenmontierte flexible Leitungen werden vom Verteiler aus durch die Gänge zu den Klimaanlageanlagen geführt. Auffangwannen werden nur dort angebracht, wo die Rohrleitungen elektrische oder IT-Geräte überqueren. Mit Hilfe marktüblichen Zubehörs können mehrere flexible Leitungen so zusammengefasst werden, dass weniger Deckenfläche verbraucht wird. In Abbildung 4 sehen Sie ein Beispiel für ein deckenmontiertes flexibles Rohrleitungssystem.

Flexible Rohrleitungssysteme verringern die Leckage- und Kondensationsgefahr deckenmontierter Leitungen erheblich. Durch Deckenverkabelung und deckenmontierte oder reihenbasierte Kühlung werden teure und kostenintensive Doppelböden überflüssig. Weitere Informationen zur reihenbasierten und deckenmontierten Kühlung finden Sie im APC White Paper 132, *Comparison of In-Row vs. Overhead Cooling*.

<sup>2</sup> Shelter Technology, [http://www.sheltermtech.com/wirsbo\\_pex\\_tubing.htm](http://www.sheltermtech.com/wirsbo_pex_tubing.htm) (letzter Zugriff am 15.02.2006).

**Abbildung 4**

Aufbau eines Rechenzentrums mit deckenmontiertem flexiblem Leitungssystem

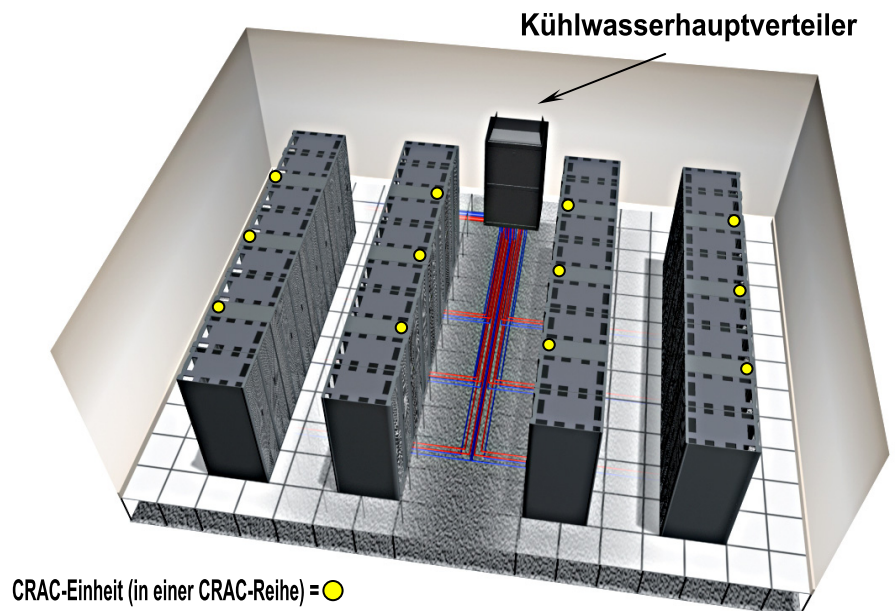


**Doppelbodenmontage flexibler Leitungen**

Flexible Leitungen im Doppelboden bieten den Vorteil direkter Leitungsführungen vom Verteiler zu den CRAC-Einheiten. Durch die geraden Wege zu den Klimaanlagen verringert sich die Leitungslänge. Flexible Leitungen können selbst in Doppelböden von nur gut 30 cm verlegt werden. Da eine Leitung normalerweise nur Strom- und IT-Kabel kreuzt, ist für die gerade Strecke zur Klimaanlage keine Auffangwanne notwendig. Die Installationskosten und der Installationsaufwand sind dabei geringer als bei herkömmlichen, im Doppelboden verlegten starren Leitungen. In **Abbildung 5** sehen Sie ein Beispiel für ein flexibles Rohrleitungssystem im Doppelboden.

**Abbildung 5**

Im Doppelboden verlegtes, flexibles Leitungssystem mit Abzweigungen zu Klimaanlagen



## Vergleich zwischen starren und flexiblen Rohrleitungen

In den nachfolgenden Abschnitten werden einige Eigenschaften starrer und flexibler Rohrleitungssysteme verglichen. Untersucht werden dabei unter anderem mechanische und physikalische Eigenschaften, Flexibilität, Verfügbarkeit, Gesamtbetriebskosten (TCO) und Ausfallarten.

### Mechanische und physikalische Eigenschaften starrer und flexibler Leitungen

In **Tabelle 1** sehen Sie eine Liste der wichtigsten mechanischen und physikalischen Eigenschaften flexibler und starrer Rohrleitungen für Kühlwassersysteme.

**Tabelle 1**

Physikalische Eigenschaften starrer und flexibler Leitungen

Physikalische Eigenschaften	Unlegierter Stahl (Sched 40)	Hartkupfer Rohrtyp „L“	Flexible Leitungen PEX
Rohrgewicht in kg pro Linearmeter (2,54 cm nominaler Rohrdurchmesser, ohne Wasser)	2,49	0,975	0,324
Rohrgewicht in Pfund pro linearem Fuß (1 Zoll nominaler Rohrdurchmesser, ohne Wasser)	1,67	0,655	0,218
Höchsttemperatur	399 °C	204 °C	93 °C
Nomineller Betriebsinnendruck in Megapascal	19,7 MPa bei 38 °C 19,7 MPa bei 93 °C	3,41 MPa bei 38 °C 2,79 MPa bei 93 °C	1,38 MPa bei 23 °C 0,689 MPa bei 93 °C
Nomineller Betriebsinnendruck in psi	2857 psi bei 100 °F 2857 psi bei 200 °F	494 psi bei 100 °F 404 psi bei 200 °F	200 psi bei 73 °F 100 psi bei 200 °F
Passstücktyp	Geschweißt, hartgelötet, mit Spannhülse, mit Gewinde	Weichgelötet, hartgelötet, mit Spannhülse, mit Gewinde	MultiPress Schraub- oder Pressverbindung
Durchmesser	3,2 bis 660 mm (1/8 bis 26 Zoll)	6,4 bis 305 mm (1/4 bis 12 Zoll)	12,7 bis 5,08 mm (1/2 bis 2 Zoll) in Nordamerika 12,7 bis 609 mm (1/2 bis 24 Zoll) in Europa <sup>3</sup>
200 psi bei 100 °F	Geschweißt, hartgelötet, mit Gewinde	Weichgelötet, hartgelötet, mit Gewinde	MultiPress Schraub- oder Pressverbindung
Korrosionsbeständigkeit	Eingeschränkt; abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebung und dem PH-Wert des Wassers	Sehr gut	Hervorragend
Wärmeleitfähigkeit	Hoch	Hoch	Mittel bis gering

<sup>3</sup> "PEX piping for Plumbing" vorgestellt auf dem 40. ASPE-Kongress, Okt. 2004, Shelter Technology, [http://www.plasticpipe.org/media/PEX\\_ASPE\\_2004.pdf#search='wirsbo%20pex%20pipe%20sizes](http://www.plasticpipe.org/media/PEX_ASPE_2004.pdf#search='wirsbo%20pex%20pipe%20sizes) (letzter Zugriff am 18.02.2006).

## Flexibilität und Verfügbarkeit starrer und flexibler Leitungen

Neue Technologien wie beispielsweise Blade-Server verursachen IT-Lasten, die erheblich über der Nennkapazität einer Klimaanlage liegen können und eine Erhöhung der Datacenter-Kühlleistung notwendig machen.

Starre Rohrleitungssysteme sind für spätere Erweiterungen nicht flexibel genug. Damit bestehende Klimaanlagen weiter betrieben werden können, wird in der Regel eine neue Rohrleitung vom Kühler zu den neuen Einheiten verlegt. Die Installationskosten und der Installationsaufwand sind dabei hoch, da das Verlegen von Leitungen in einem Gebäude mit bereits bestehendem Kühlwassersystem und das Löten oder Gewindeschneiden für neue Anschlüsse in bestehenden Datacentern problematisch ist. Selbst wenn Klimaanlagen nur versetzt werden, muss eine neue Leitung von der Hauptleitung zum neuen Standort verlegt werden. Dabei fallen erneut Gewindeschneid- oder Lötarbeiten an.

Dagegen erleichtern die Flexibilität und Verfügbarkeit flexibler Leitungssysteme das Hinzufügen oder Versetzen von Geräten. Bei der Installation flexibler Rohrleitungen werden für die Strecke vom Verteiler bis zur CRAC-Einheit keine Passstücke oder Lötverbindungen benötigt. Da die Abgleichs- und Absperrventile im Verteiler installiert sind und auch die Hauptleitung vom Kühler zum Verteiler bereits verlegt ist, verursacht die Erweiterung keine Ausfallzeiten für das bestehende Kühlwassersystem und sorgt aufgrund der einfachen Rohrleitungsinstallation für eine geringere Umsetzungszeit.

Bei einem Fehler oder Leck in einem starren Hauptzulauf- oder rücklauf zwischen Kaltwassersatz und Datacenter müssen zur Behebung alle Klimaanlagen für Stunden oder Tage abgeschaltet werden. Auch bei Verwendung eines Verteilers würde sich daran nichts ändern, da auch hier zwischen Kaltwassersatz und Verteiler starre Rohre eingesetzt werden. Bei Fehlern an diesem Rohr müssten ebenfalls alle vom Verteiler abgehenden CRAC-Leitungen während der Reparatur stillgelegt werden. Wenn bei einem System mit starren Leitungen Fehler in einem von der Hauptleitung abgehenden Strang auftreten, sind, wenn die Leitung für die Reparatur abgesperrt wird, nur die Klimaanlagen in diesem Leitungsstrang ohne Kühlwasser. Bei der Reparatur starrer Rohrleitungssysteme werden die vom schadhafte Rohr versorgten CRAC-Einheiten abgesperrt und sind von der Kühlwasserversorgung abgeschnitten. Die schadhafte Komponente wird normalerweise ersetzt, oder das Passstück wird am Leck neu verschweißt.

Wenn bei flexiblen Rohrleitungen Leckagen zwischen dem Verteiler und einer Klimaanlage auftreten, muss für die Reparatur nur eine einzige Klimaanlage stillgelegt werden. Die Kühlung der anderen Klimaanlagen ist davon nicht betroffen. Tritt ein Leck am Verteiler- oder CRAC-Passstück auf, wird es einfach ausgetauscht. Sind jedoch im flexiblen Rohr selbst Leckagen vorhanden, muss bei der Reparatur das gesamte Rohr ersetzt werden. Dabei wird die Leitung am Zentralverteiler und an der Klimaanlage abgesperrt. Für die Kühlung fällt nur diese eine CRAC-Einheit aus.

## Gesamtbetriebskosten starrer und flexibler Leitungen

Die Gesamtbetriebskosten sind bei Verwendung flexibler Rohrleitungen und eines zentralen Hauptverteilers niedriger als bei gelöteten Leitungen. Die Installationszeit für eine neue Klimaanlage würde in einem 200 kW-Datacenter bei Verwendung flexibler Rohrleitungen und eines zentralen Verteilers mindestens 40 % kürzer sein, und die Installationskosten würden um etwa 20 % reduziert. Da keine zusätzlichen Arbeitskosten für das Löten von Verbindungsstücken und Ventilen anfallen und das Kühlwassersystem schneller abgeglichen werden kann, ergeben sich bei der Installation Kosten- und Zeiteinsparungen.

Bei der Installation einer zusätzlichen Klimaanlage in einem bestehenden Datacenter mit flexiblen Rohren vom Verteiler aus läge die Ersparnis – im Vergleich zur Installation mit herkömmlichen gelöteten Rohren – bei den Installationskosten bei mindestens 50 % und bei der Installationszeit bei 60 %.

Die Wartung kann bei flexiblen Rohrleitungen einfacher und schneller durchgeführt werden, da sämtliche Ventile an einem zentralen Ort überprüft werden. Bei Doppelbodeninstallationen befinden sich die Ventile dagegen an unterschiedlichen Orten des Datacenters.

In Datacentern, bei denen der Doppelboden ausschließlich für Kaltwasserleitungen verwendet wird, kann die Deckenmontage der Rohrleitungen und der Verzicht auf den Doppelboden die Kapitalausgaben für die Installation noch weiter senken. In **Tabelle 2** werden starre und flexible Leitungssysteme in Bezug auf Eigenschaften verglichen, die von Datacenterbenutzern als die wichtigsten Anforderungen an Kaltwassersysteme genannt wurden.

**Tabelle 2**

Vergleich zwischen starren und flexiblen Rohrleitungen

	Starre Rohrleitungen	Flexible Rohrleitungen
Flexibilität	Hoher Zeitaufwand für die Installation, da viele Lötverbindungen benötigt werden. Schwieriger Systemabgleich im Doppelboden oder über den Deckenplatten. Nicht skalierbare Erweiterungen oder Standortveränderungen erfordern eine spezielle Einzelverarbeitung und verursachen Ausfallzeiten bei anderen Einheiten.	Um 40 % höhere Installationsgeschwindigkeit. Wassersystemausgleich erfolgt an einem zentralen und gut erreichbaren Ort. Skalierbar; ermöglicht Standortwechsel, Hinzufügungen, Änderungen und spätere Erweiterungen ohne Auswirkungen auf andere Einheiten.
Verfügbarkeit	Leckagegefahr an den Passtücken und Verbindungen verringern die Zuverlässigkeit.	Höhere Zuverlässigkeit durch das Fehlen von Verbindungsstücken und einer dadurch erheblich verringerter Leckagegefahr.
Mittlere Wiederherstellungszeit	Die Reparatur von Leckagen an der Hauptleitung kann, je nach Leck, Stunden oder sogar Tage dauern. Die Reparatur für Leckagen in einem Zuleitungsstrangs des Datacenters kann Stunden beanspruchen, in denen einige Einheiten abgeschaltet sein müssen.	Die Reparatur für Leckagen zwischen Kaltwassersatz und zentralem Verteiler kann, je nach Leck, Stunden oder sogar Tage dauern. Die Reparatur für Leckagen in einem flexiblen Zweig des Datacenters kann Stunden beanspruchen, in denen aber nur eine Einheit abgeschaltet sein muss.
Installation	Höhere Installationskosten. Der Systemabgleich dauert länger und erhöht dadurch die Anfangskosten. Gelötete, geschweißte oder mechanische Verbindungen und Passtücke werden verwendet, und Absperr- und Ausgleichsventile müssen installiert werden.	Niedrigere Installationskosten. Anlaufen und Abgleichen des Systems ist durch die Zentralverteilung einfacher. Es werden keine Lötverbindungen, Passtücke oder Ventile benötigt.
Krümmungsradius	Winkelstücke ermöglichen engere Krümmungsradien.	Kürzester Biegeradius entspricht dem 5 bis 7fachen des Rohraußendurchmessers.
Wartungsfähigkeit	Visuelle Überprüfung auf Lecks an den Verbindungen und Ventilen, auf Kondenswasser an den Passtücken und Ventilen sowie an den Korrosionsstellen. Messen und Bestätigen der Wasser- und Glykolkonzentration.	Geringerer Zeitaufwand für visuelle Überprüfung auf Lecks und Kondenswasser an den Ventilen des zentralen Verteilers (alle Ventile sind am gleichen Ort). Messen und Bestätigen der Wasser- und Glykolkonzentration, Routinewartung.
Druckabfall	Die Verwendung von Winkelstücken und mineralische Ablagerungen verursachen zusätzliche Druckverluste.	Glatte Innenwände und größere Radien ohne Passtücke vermindern den Druckverlust in typischen Rohrleitungen.
Leerraum	Die Leitungen werden im Doppelboden oder an der Decke verlegt, sodass kein Leerraum für das Leitungssystem benötigt wird.	Leerraum wird für den zentralen Verteiler im Raum benötigt.
Entfernungen	Lange Strecken können von starren Rohrleitungen überbrückt werden, da mehrere Rohrstücke durch Passtücke verbunden sind.	Die empfohlene max. Entfernung vom Verteiler zu den Klimaanlage beträgt 46 m, da längere Strecken Probleme für den Installateur verursachen könnten.
Vorab-Kosten (Installation und Material)	Starre Rohre sind billiger, aber die gesamten Installationskosten sind höher, da durch den größeren Arbeitsaufwand für das Löten und Gewindeschneiden und durch den zeitaufwändigeren Systemabgleich Zusatzkosten für das Anlaufen anfallen.	PEX-Rohre sind teurer, aber die gesamten Installationskosten sind niedriger, da keine Lötarbeiten oder Gewindepasstücke benötigt werden und das Anfahren und Abgleichen des Systems durch die Zentralverteilung vereinfacht wird.
Rohrstandort	Außeninstallation und Sonneneinstrahlung sind zulässig.	PEX-Rohre dürfen weder direktem noch indirektem Sonnenlicht ausgesetzt werden.

Hinweis: Die jeweils beste Lösung zu einer Eigenschaft ist blau hervorgehoben.

### Verschleißartenvergleich zwischen starren und flexiblen Rohrleitungssystemen

Bei Kühlwassersystemen können je nach Verbauungsort der Rohrleitungen, Installationsart und Leitungssystem unterschiedliche Fehlerarten auftreten. **Tabelle 3** enthält eine Zusammenfassung der möglichen Verschleißarten für die beiden Leitungssysteme. Die beste Lösung ist dabei jeweils blau hervorgehoben.

**Tabelle 3**

*Verschleißartenvergleich zwischen starren und flexiblen Rohrleitungssystemen*

	Starre Rohrleitungen	Flexible Rohrleitungen
Einstichstellen	Wenig anfällig für Leckagen durch Einstiche spitzer Gegenstände.	Anfälliger für Leckagen durch Einstiche spitzer Gegenstände.
Einzelfehler mit systemweiter Wirkung („Single-point Failures“)	Ein Fehler in einer Zweigleitung führt zum Kühlverlust bei allen CRAC-Einheiten, die mit dieser Leitung verbunden sind.	Ein Fehler in einer Leitung führt nur bei einer CRAC-Einheit zum Kühlverlust.
Leck an einer Verbindungsstelle	Durch viele Verbindungsstellen und Passstücke erhöht sich bei einer Leitung die Leckagegefahr; mögliche Ursachen sind galvanische Korrosion, allmähliches Versagen der Hanffaserdichtungen, schlecht geschnittene Gewinde, Dichtungsalterung bei Spannhülsen und schlechte Qualität der Rohre oder Passstücke.	Weniger Verbindungen, zwei Leitungen pro CRAC-Einheit; Multipress Schraubpassstücke drücken das PEX-AL-PEX-Rohr zusammen und schaffen so eine belastbarere Verbindung als herkömmliche Passstücke mit Gewinde oder Dichtung.
Erdbeben und Vibrationen	Die Bewegung bei Vibrationen und Erdbeben kann Leckagen an Verbindungen und Passstücken verursachen.	Wenig anfällig für Brüche oder Leckagen bei Vibrationen oder Erdbeben.
Darauftreten	Kann zu Beschädigungen an gelöteten und geschweißten Passstücken führen und so Leckagen verursachen.	Wenig anfällig für Beschädigungen durch die Flexibilität der Rohre.
Vom Kondenswasser im Datacenter durchweichte Dämmung	Erhöhtes Kondensationsrisiko durch die Schwierigkeit, zahlreiche Ventile, Filter und Passstücke zu dämmen. Kleine Risse oder Stellen ohne Dämmung können die Kondensation begünstigen.	Geringes Kondensationsrisiko, da zwischen dem Verteilersystem und den CRAC-Einheiten keine Ventile oder Passstücke installiert sind.
Abrieb und Schnitte	Widerstandsfähig gegenüber Abrieb oder Schnitte von außen.	Wenig widerstandsfähig gegenüber äußerem Abrieb. Schnitte können die Außenseite von PEX-Rohren beschädigen.
Winzige Löcher und mineralische Ablagerungen	Anfällig für kleinste Löcher und Leckagen durch mineralische Ablagerungen, wenn das Wasser nicht regelmäßig behandelt wird.	Sehr widerstandsfähig gegenüber mineralischen Ablagerungen aufgrund der glatten Innenwand und der chemischen Eigenschaften.

Hinweis: Die jeweils beste Lösung zu einer Eigenschaft ist blau hervorgehoben.

## Ergebnisse

Bei der herkömmlichen Lösung für Kühlwassersysteme werden zwar starre Rohrleitungen verwendet, aber ein zentraler Verteiler mit flexiblen Einzelleitungen zu den Klimaanlagen erhöht die Systemzuverlässigkeit beträchtlich, da bei dieser Lösung die Leckagegefahr erheblich vermindert wird. Zudem muss bei einem Fehler in Systemen mit flexiblen Rohrleitungen nur eine CRAC-Einheit abgesperrt werden, während die anderen Einheiten weiter zum Kühlen der Last zur Verfügung stehen. Bei einem Fehler in Systemen mit starren Rohrleitungen müssen dagegen unter Umständen mehrere CRAC-Einheiten abgesperrt werden, wenn der Fehler in einem Nebenstrang auftritt. Ohne ausreichende Kühlleistung für die vorhandene Last ist sogar die Verfügbarkeit des Datacenters gefährdet.

Ein System mit flexiblen Rohrleitungen kann aus den drei folgenden Gründen auch Bedenken gegen Wasser in Datacentern zerstreuen:

1. Durch die erhebliche Reduzierung der Verbindungsstücke sinken die Verschleisspunkte des Leitungssystems erheblich
2. Die Grundzuverlässigkeit des Rohrs selbst ist größer
3. Das Kondensationsrisiko verringert sich, da keine Passstücke und Ventile gedämmt werden müssen, die in Kaltwassersystemen die Hauptkondensationspunkte darstellen

Flexible Rohrleitungen eröffnen für Datacenter auf Massivböden sowie reihen- und rack-basierte Hochleistungskühlsysteme neue Möglichkeiten. Die aktuelle Entwicklung hin zu höherer Dichte und zu Massivbodeninstallationen wird zweifellos die Verwendung flexibler Rohrleitungen in den Datacentern der nächsten Generation rasant ansteigen lassen.



### Über den Autor:

**Isabel Rochow** ist Produkt-Manager für Raumkühlösungen bei American Power Conversion (APC). Sie ist Maschinenbau-Ingenieurin mit 10jähriger Erfahrung mit Kühlsystemen und Klimaanlagen für gewerbliche Kunden. Isabel Rochow ist Mitglied von ASHRAE und war an mehreren Veranstaltungen ihres ASHRAE-Ortsverbands beteiligt.



**Die Vorteile von reihen- und rackbasierten  
Kühlarchitek-turen für Datacenter**

APC White Paper 130



**Comparison of In-Row vs. Overhead Cooling**

APC White Paper 132



**Alle APC Whitepaper  
anzeigen**

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



**Alle APC TradeOff  
Tools anzeigen**

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Kontaktieren Sie APC

Feedback und Kommentare zum Inhalt dieses Whitepapers

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric  
[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)

Wenn Sie Kunde sind und spezielle Fragen zu Ihrem oder einem Rechenzen-  
trumsprojekt haben

Kontakt mit Ihrem APC by Schneider Electric Ansprechpartner aufnehmen