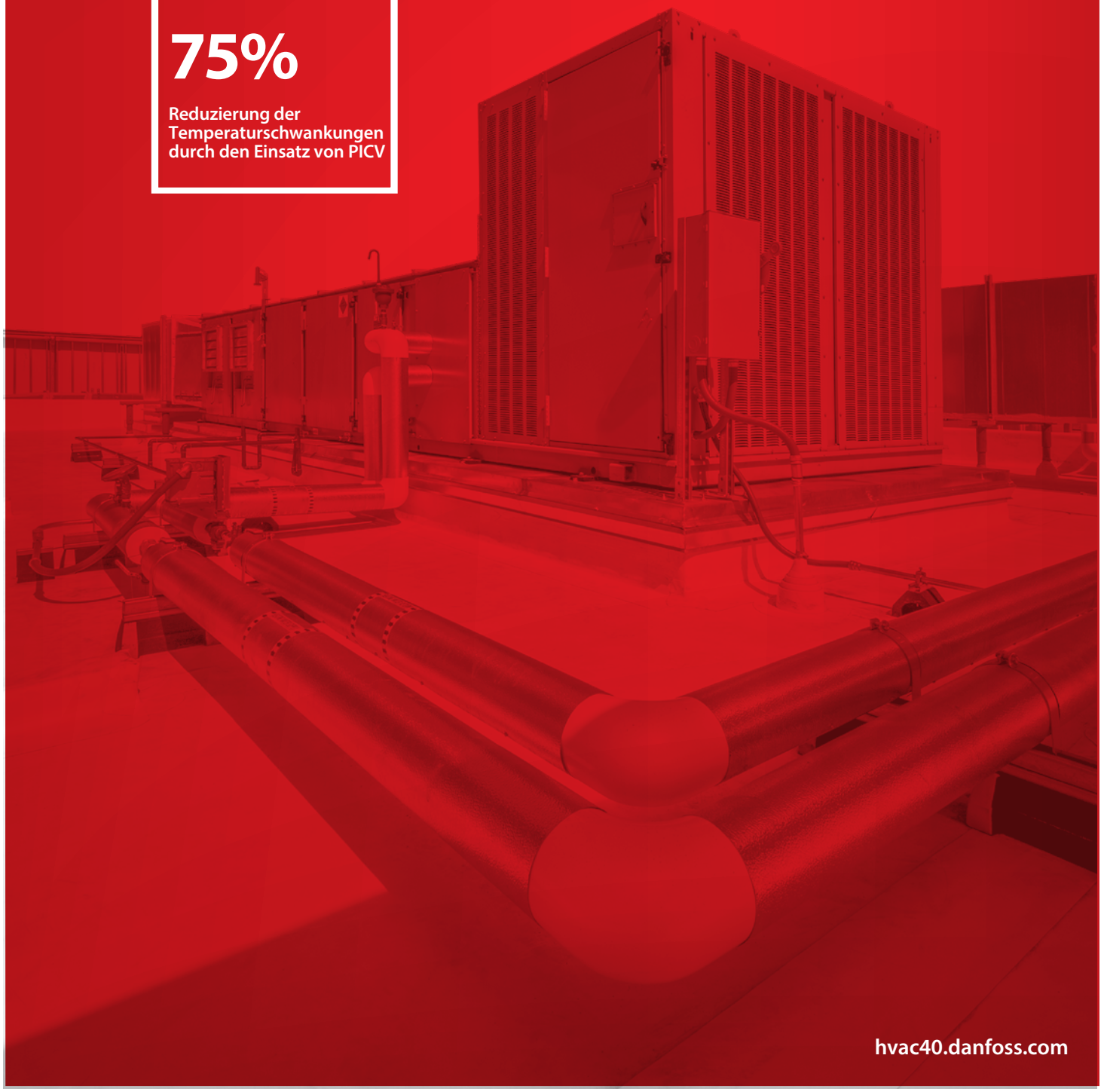
ENGINEERING
TOMORROW

Whitepaper

Neukonfiguration der **Regelung einer Lüftungsanlage** für eine bessere **Leistung**

75%

Reduzierung der Temperaturschwankungen durch den Einsatz von PICV



hvac40.danfoss.com

Inhalt dieses Dokuments

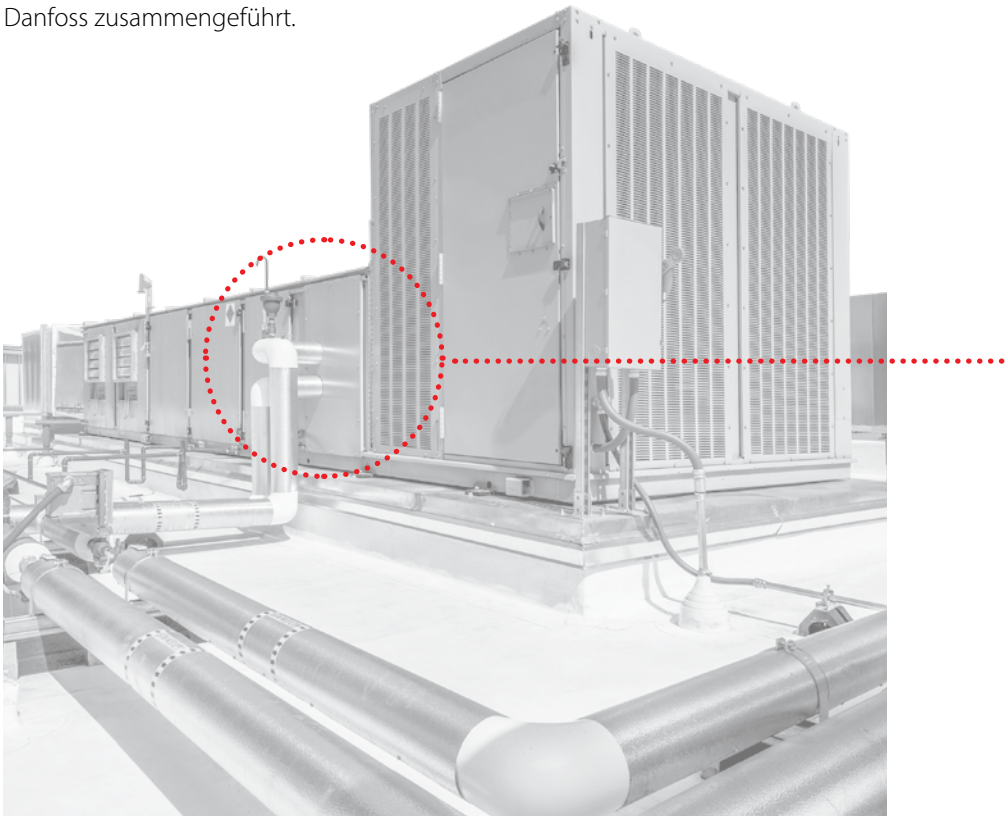
1. Zweck dieses Whitepapers
2. Einleitung
3. Welche Lösungen haben wir getestet?
4. Der Test
5. Zwischenergebnis aus dem Test
6. Analyse
7. Fazit
8. Anhang

1. Zweck dieses Whitepapers

Dieses Whitepaper soll HLK-Profis bei der Entwicklung zuverlässiger und energieeffizienter hydraulischer Regelungslösungen für Lüftungsanlagen (RLT) unterstützen, wie sie in einer Vielzahl von gewerblichen, institutionellen und Mehrzweckgebäuden eingesetzt werden. Die Informationen und abschließenden Empfehlungen sind sowohl für Retrofit-, Renovierungs- als auch Neubausituationen relevant.

Das Whitepaper beschreibt die hydraulische Regelungsleistung einer Lüftungsanlage, die in einer Produktionsanlage installiert ist, die 24 Stunden am Tag im Einsatz ist. Die RLT wird mit 3 verschiedenen hydraulischen Regelungslösungen getestet und überwacht. In der Originalsituation kommt ein 3-Wege-Ventil mit stetigem Stellantrieb zum Einsatz. Für die Zwecke dieses Whitepapers wurden parallel zwei weitere technische Lösungen hinzugefügt, so dass während des gesamten Testzeitraums eine der drei Lösungen betriebsbereit war.

Wenn Sie das Whitepaper lesen, können Sie klare und praktische Erklärungen und Empfehlungen erwarten. Themen wie Regelprinzipien, Regelgenauigkeit, Lastbedingungen und Strömungsstabilität werden von den Spezialisten von Danfoss zusammengeführt.



2. Einleitung

Wir neigen dazu, bei dem zu bleiben, von dem wir wissen, dass es funktioniert. Aber manchmal kommt eine neue Technologie auf den Markt, die uns zwingt, unsere festgelegten Wege zu überdenken.

Seit Jahrzehnten werden 2- und 3-Wege-Ventile zur Regelung aller Arten von Anwendungen wie Gebläsekonvektoren, Radiatoren und Lüftungsgeräten eingesetzt. Vor nicht allzu langer Zeit haben Druckunabhängige Regelventile (PICV) die Bühne betreten und werden heute überwiegend in den meisten Teilen der Welt eingesetzt. Die Nutzerfreundlichkeit und präzise Regelung des PICV machte es zu einem ausgezeichneten Grund, das Denken rund um Regelventile zu ändern und bestehende Designs zu erweitern. Nicht jeder ist jedoch davon überzeugt, dass PICV die beste Lösung für alle Anwendungen ist.

Eine Besonderheit ist das motorische 3-Wege-Ventil an Lüftungsgeräten (RLT) und an Heizregistern. Dies ist traditionell der Bereich von 3-Wege-Ventilen, denn wenn die RLT (teilweise) Außenluft verwendet, kann das Heizregister durch Einfrieren bedroht sein. Daher war ein konstanter Wasserfluss am Register erforderlich. Der einfachste Weg, dies zu tun, bestand darin, ein 3-Wege-Ventil und eine Umwälzpumpe an der RLT zu verwenden. Siehe Seite 4 für weitere Details.

In diesem Artikel erläutern wir, wie das 3-Wege-Ventil durch eine modernere Lösung ersetzt werden kann, und wir werden uns speziell auf die Regelungsleistung konzentrieren. Wir werden 2 neue Lösungen testen; das bewährte PICV und das elektronisch gesteuerte Ventil, eine neue Lösung, die von einer Reihe von Unternehmen angeboten wird.

Die hydraulische Regelung und ihre Genauigkeit sind von entscheidender Bedeutung, da sie den Nutzern des Gebäudes natürlich Komfort bieten, aber auch, weil eine stabile Regelung der Zuluft ins Gebäude auch bessere Bedingungen für die Überwachung der Luftfeuchtigkeit im Gebäude schafft. Daher ist es wichtig, eine präzise und stabile Regelung zu gewährleisten. Darüber hinaus möchten wir die Eigenschaften der 3-Wege-Ventillösung (konstanter Durchfluss am Register aufgrund Frostschutz) beibehalten, so dass wir die Umwälzpumpe und den Bypass beibehalten, um die 2-Wege-Ventillösung funktional gleich zu machen.

Für weitere Informationen darüber, wie eine RLT funktioniert, schauen Sie sich bitte **dieses Video** an.

3. Welche Lösungen haben wir getestet?

3.1 3-Wege-Ventil mit manuellem Abgleichventil

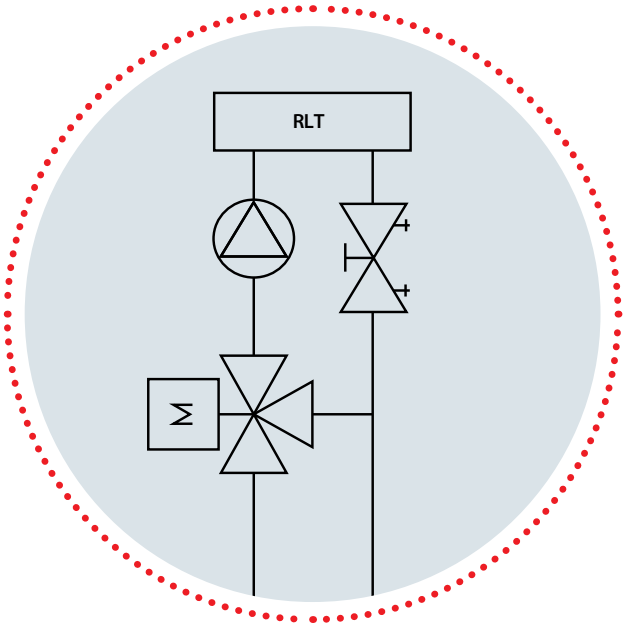
In diesem Artikel werden wir uns drei grundlegend unterschiedliche Regelungs-Prinzipien ansehen:

Diese Lösung kann als die traditionelle Art der Temperaturregelung an einem Wärmetauscher für eine RLT angesehen werden und wird seit Jahrzehnten auf diese Weise verwendet. Dies war die bestehende Lösung für diese spezielle RLT, so dass sie als Grundlage für den Vergleich der neuen Lösungen dient.

Die Anwendung ist so konzipiert, dass Frostgefahr bei Nutzung kalter Außenluft verringert wird. Die Pumpe fördert den Durchfluss durch den Wärmetauscher. Beim 3-Wege-Prinzip als Einspritzschaltung fördert die Pumpe den Durchfluss, die Stellung des 3-Wege Ventils sorgt dafür, dass das Wasser entweder durch den Bypass zirkuliert oder warmes Wasser aus dem Versorgerkreis entnommen wird. Diese hydraulische Schaltung gilt als sehr präzise Art der Regelung.

Ein manuelles Abgleichventil wird verwendet, um den maximalen Durchfluss durch das RLT-Gerät einzustellen.

3-Wege-Ventil



3.2 Regelventil (Kugelhahn) mit Durchflussmessgerät

Dieses Konzept hat in letzter Zeit aufgrund einer erhöhten Marktnachfrage nach mehr Energiedaten größere Aufmerksamkeit erregt.

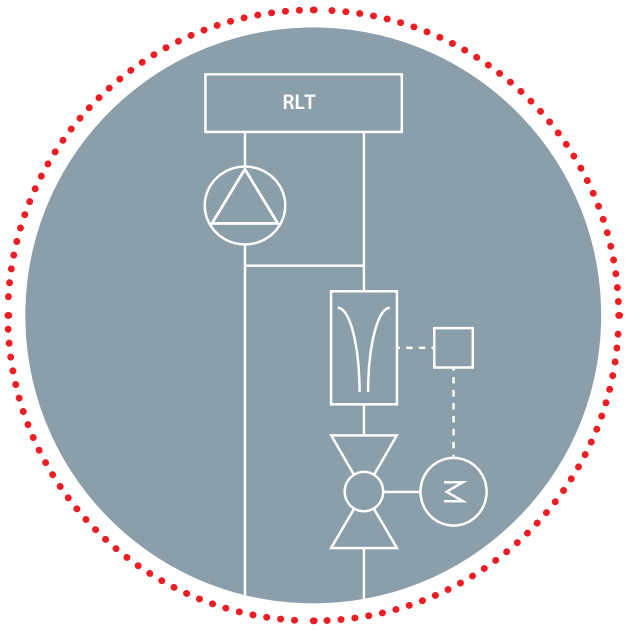
Im Wesentlichen besteht das Konzept darin, ein normales druck-abhängiges Regelventil mit einem Durchflussmessgerät und 2 Temperatursensoren zu kombinieren. Die Steuerungssoftware dieser Lösung übernimmt die Durchflussdaten vom Sensor und den Eingang vom RLT-Regler (oder BMS) und bestimmt so die Position des Antriebs, der das Ventil entsprechend öffnet oder schließt.
Der Durchfluss und das ΔT können kombiniert werden, um den Energieverbrauch des RLT-Geräts anzuzeigen.

Bei dieser Lösung hat das Regelventil mehrere Funktionen, da es auch den hydraulischen Abgleich im System sicherstellen muss, da es kein anderes Gerät im System gibt, wie einen Druckregler, um den richtigen Durchfluss zu gewährleisten.

Die Lösung wurde auf ein 2-Wege-Ventil mit Bypass umgestellt. Auf diese Weise kann die Pumpe immer noch sicherstellen, dass das Risiko des Einfrierens gering ist, aber ein 2-Wege-Ventil kann verwendet werden. Das bedeutet, dass die Lösung funktional ein Eins-zu-Eins-Ersatz ist.

Das Regelventil mit Durchflussmessgerät wird heutzutage von mehreren Anbietern in unterschiedlichen Konfigurationen angeboten. Wir haben ein häufig verwendetes EPIV mit einem Kugelhahn zur Steuerung getestet.

EPIV

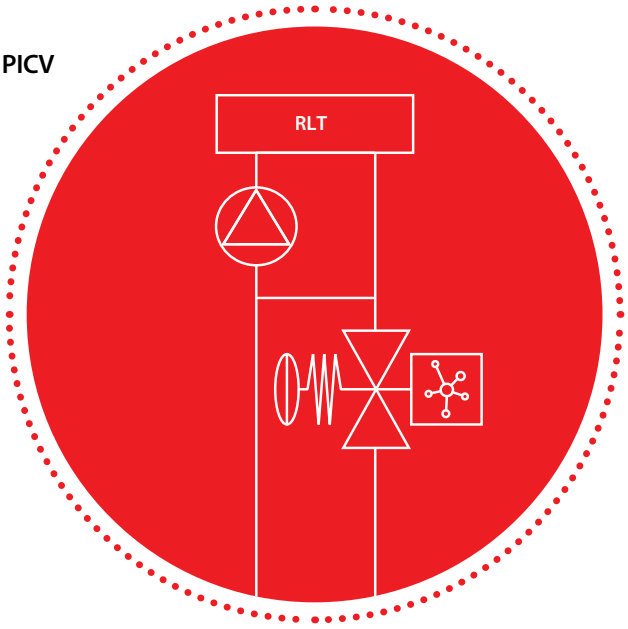


3.3 PICV mit digitalem IoT-Stellantrieb

In den letzten 15 Jahren haben sich druckunabhängige Regelventile (PICV) zu einem weltweiten Standard für präzise Regelung und automatischen hydraulischen Abgleich entwickelt (Weitere Informationen zu PICVs finden Sie in **diesem Video**). Das Konzept ist einfacher in dem Sinne, dass der im Ventil eingebaute Druckregler sich um die hydraulische Abgleichfunktion kümmert, während das Regelventil nur die Anwendung regeln muss. In Kombination mit einem digitalen Stellantrieb und zwei Temperatursensoren kann das PICV den Energieverbrauch der RLT berechnen und mit dem Building Management System (BMS) kommunizieren. Wird zur Messung des Energieverbrauchs eine hohe Genauigkeit benötigt, kann das PICV mit einem Durchflussmessgerät und Temperatursensoren erweitert werden.

Im Vergleich zu einer EPIV-Lösung ist diese technische Lösung weniger kompliziert, da das PICV die Durchflussmessdaten nicht benötigt, um den Durchfluss zu regeln. Ein PCIV ist ein Abgleich- und Regelventil, so dass es keine zusätzlichen Steuerlogik- oder Durchflussmessdaten benötigt, um den Durchfluss präzise zu regeln und zu begrenzen.

PICV



4. Der Test

Um eine genaue Darstellung dessen zu erhalten, wie sich diese verschiedenen Lösungen im wirklichen Leben im Gegensatz zu einer Laborumgebung verhalten, haben wir eine AHU verwendet, die Teil eines funktionierenden Gebäudes ist, in diesem Fall unserer eigenen Fabrik in Ljubljana, Slowenien.
Die Temperaturen wurden mit jeder Lösung über mehrere Tage gemessen und protokolliert. Perioden mit ähnlichen Belastungen wurden ausgewählt, um einen Vergleich von Apfel zu Apfel durchführen zu können.

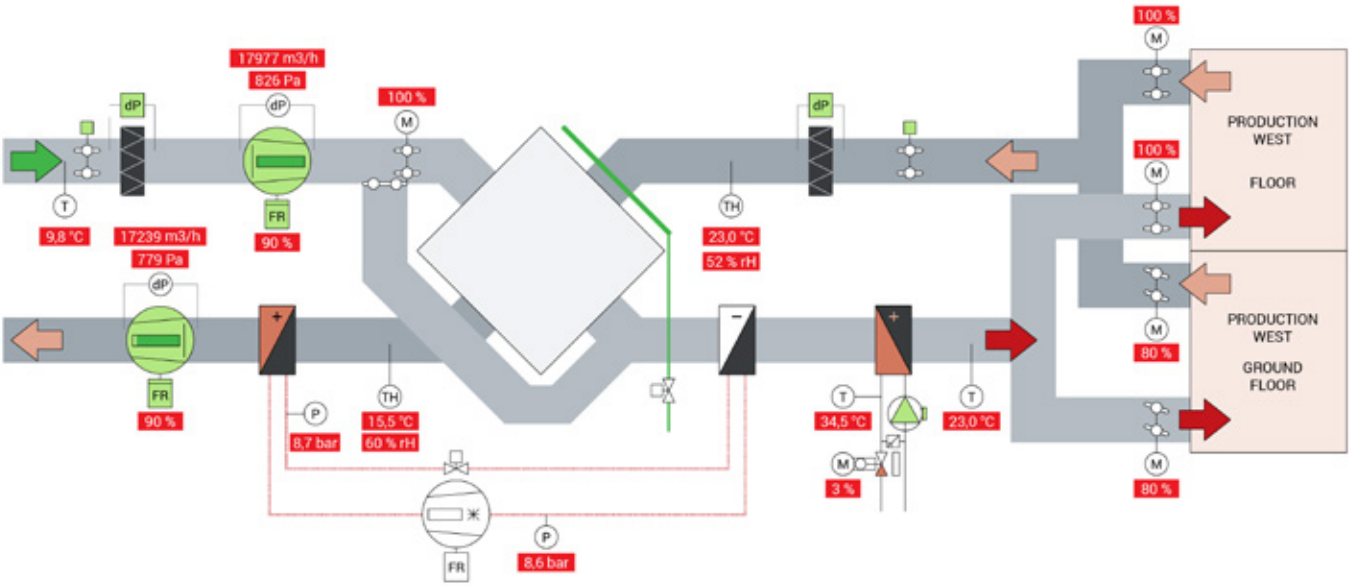
Es ist auch wichtig zu beachten, dass wir in Perioden gemessen haben, in denen der Durchfluss durch den Heiz-Wärmetauscher aus zwei Gründen relativ gering war:

1. In der Praxis ist der Durchfluss am Wärmetauscher, aufgrund der Wärmetauscherkennline, des jährlichen Lastprofils und einer Überdimensionierung bei der Planung, während der Heizperiode tendenziell recht niedrig (siehe Anhang).
2. Die Regelung kleiner Durchflüsse bei Teillast ist eine große Herausforderung. Wie jedoch in Punkt 1 erwähnt, ist es ein sehr häufiger Betriebszustand und daher größtenteils für den Komfort im Gebäude entscheidend.

Das Lüftungsgerät ist ziemlich standardisiert eingerichtet und verfügt über einen Kühl-Wärmetauscher, einen Heizwärmetauscher und eine Querstrom-Wärmerückgewinnungseinheit um Energie aus der Abluft zurückzugewinnen, bevor sie nach außen ausgestoßen wird. Die Regelungslösung ist so konzipiert, dass eine stabile Zulufttemperatur aufrechterhalten wird.

Eckdaten der RLT:

Luftstrom:	17.500 m^3/h
Kapazität des Wärmetauschers:	102 kW
Umwälzpumpe:	UPS32-60 F, 185W

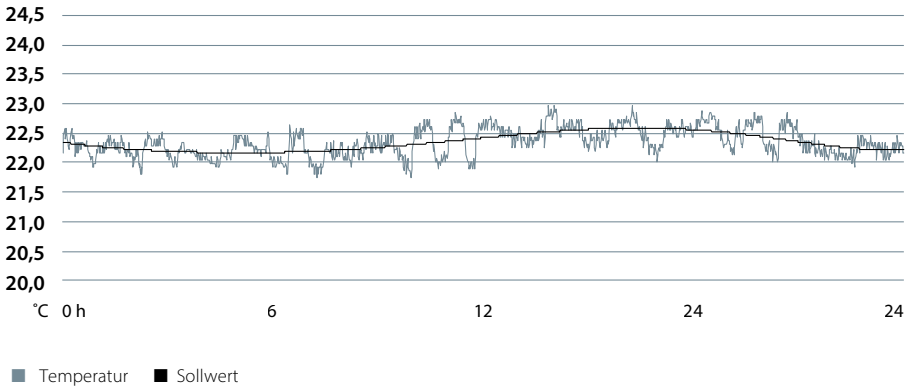


4.1 Ergebnisse A

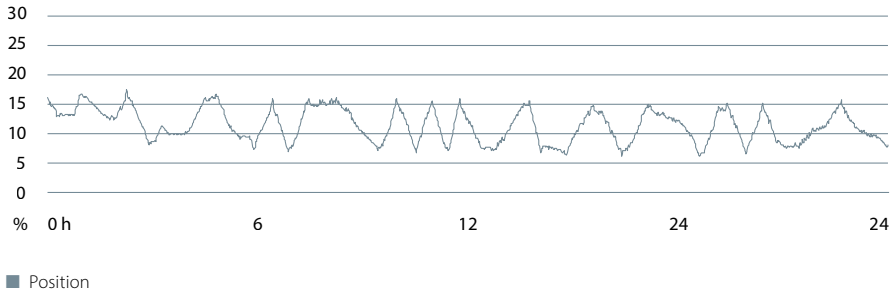
3-Wege Ventil Danfoss

Type:	VRB3 + AME435
Ventilgröße:	DN40
Kvs:	32 m^3
Auslegungsdurchfluss:	6300 l/h

Zulufttemperatur [°C]



Ventilstellung [%]



Wie wir sehen können, funktioniert die bestehende Lösung mit 3-Wege-Ventil ziemlich wie erwartet. Der Sollwert der Zulufttemperatur variiert leicht (schwarze Linie), basierend auf der Raumtemperaturrückkopplung, aber die tatsächliche Zulufttemperatur (dunkelgraue Linie) folgt dem Bedarf recht genau.

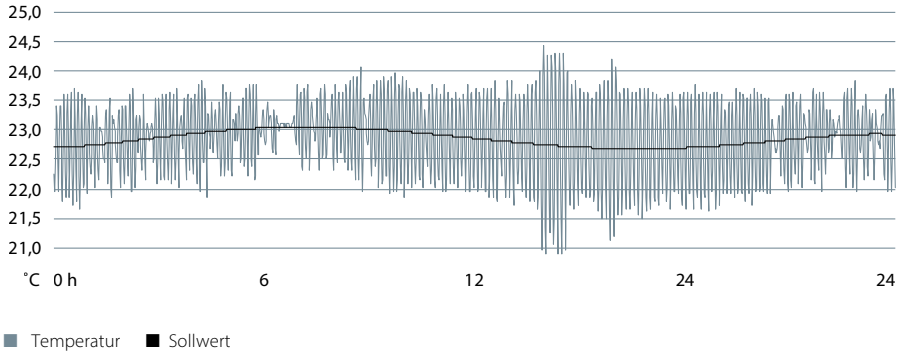
In der unteren Grafik können wir sehen, dass der Öffnungsgrad des Ventils ziemlich niedrig ist, ungefähr 5-15%, weil die Last auf der Spule ziemlich niedrig ist. Es ist auch zu sehen, dass das Ventil relativ stabil ist. Während kleine Korrekturen erforderlich sind, bewegt sich das Ventil trotz der geringen Last nur wenig.

4.2 Ergebnisse B

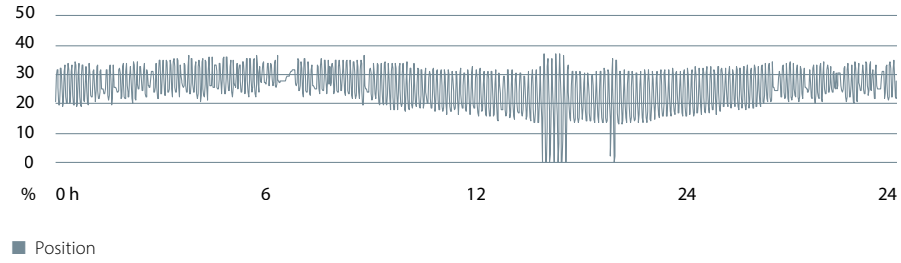
2-Wege-Ventil (EPIV)

Typ:	EPIV
Ventilgröße	DN40
Qnom:	9 m^3/h
Auslegungsdurchfluss:	6300 l/h

Zulufttemperatur [°C]



Ventilstellung [%]



Vergleicht man diese Grafik mit der des bisherigen 3-Wege-Ventils, sieht man, dass der Temperaturbedarf für die Zuluft recht ähnlich ist (schwarze Linie). Das Regelungsverhalten ist jedoch völlig unterschiedlich.

Während man argumentieren könnte, dass die Zulufttemperatur im Durchschnitt ungefähr so ist wie erforderlich, gibt es ziemlich große Temperaturschwankungen in der Zuluft (dunkelgraue Linie), etwa 1,5 bis 2 K. Dies könnte zu Komfortproblemen führen, da schnelle Temperaturänderungen der in den Raum geblasenen Luft unangenehm sind und wahrscheinlich zu Beschwerden der Bewohner des Gebäudes führen.

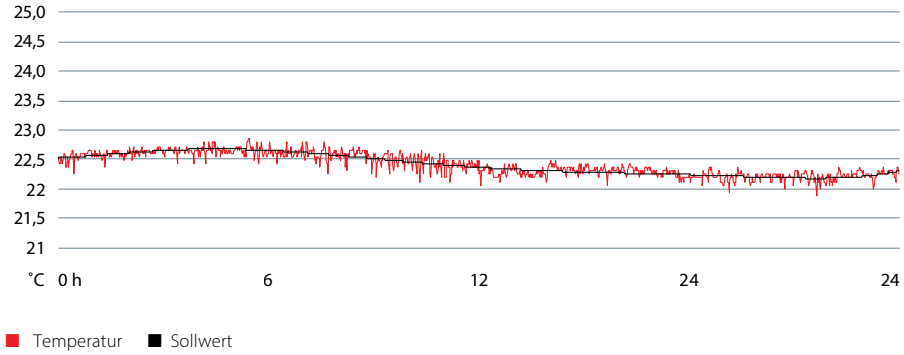
Wenn wir uns die untere Grafik ansehen, können wir sehen, dass das Ventil stark schwingt (oszilliert). Es öffnet und schließt ständig und ist nicht in der Lage, eine stabile Position zu erfassen. Schnelle unregelmäßige Bewegungen wie diese erhöhen den Verschleiß von Ventil und Stellmotor erheblich.

4.3 Ergebnisse C

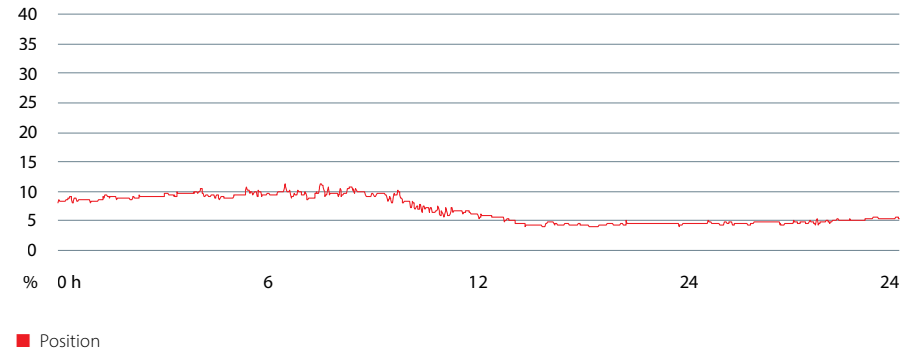
2-Wege-PICV-Ventil Danfoss

Typ:	AB-QM + NovoCon® M
Ventilgröße	DN40
Qnom:	7,5 m^3/h
Auslegungsdurchfluss:	6300 l/h

Zulufttemperatur [°C]



Ventilstellung [%]



Auch hier zeigt sich eine ähnliche Nachfrage nach der Zulufttemperatur (schwarze Linie).
Mit dem AB-QM geregelt, stimmt die geregelte Zulufttemperatur sehr eng mit der Nachfrage überein und die Zulufttemperatur liegt sehr nahe am Sollwert. Wenn wir uns die Ventilposition ansehen, sehen wir, dass das AB-QM sehr stabil ist. Selbst bei sehr geringem Durchfluss, bei kleinen Ventilstellungen sind nur sehr geringe Schwankungen zu erkennen.

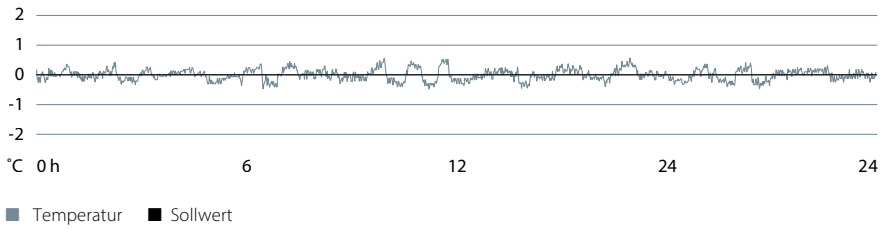
5. Zwischenergebnis aus dem Test

Wenn wir die drei Lösungen bewerten, können wir sehen, dass die EPIV-Lösung am wenigsten präzise ist, also mit der höchsten Abweichung vom Sollwert, gefolgt vom 3-Wege-Ventil. Die präziseste Regelung bietet die PICV-Lösung.

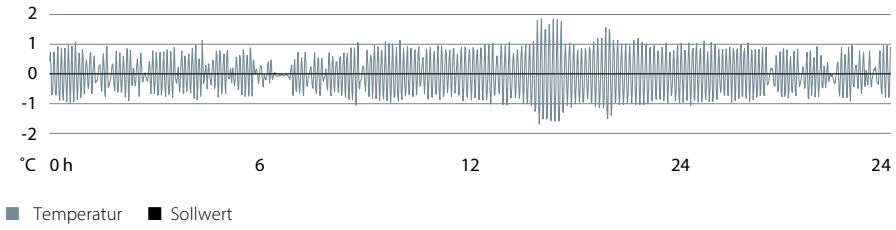
Wenn wir die größten Schwingungen zwischen den EPIV- und PICV-Lösungen vergleichen, wird die Temperaturschwankung um bis zu 75% reduziert, wenn eine PICV-Lösung verwendet wird.

Schwingungen um den Sollwert:

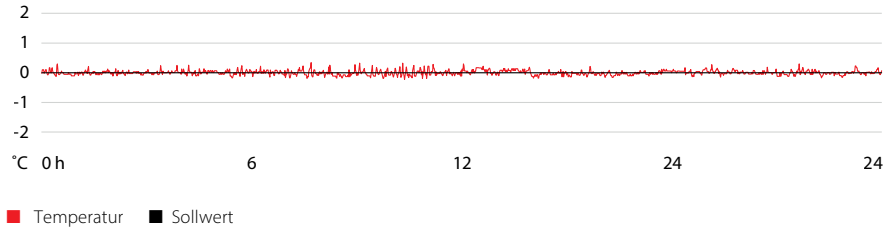
3-Wege-Ventil Lösung:



EPIV Lösung



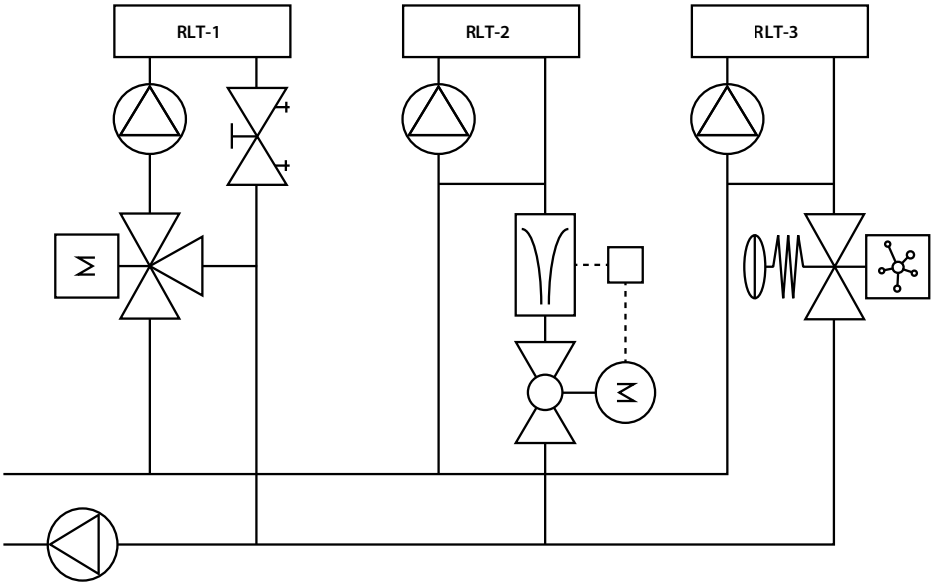
PICV Lösung

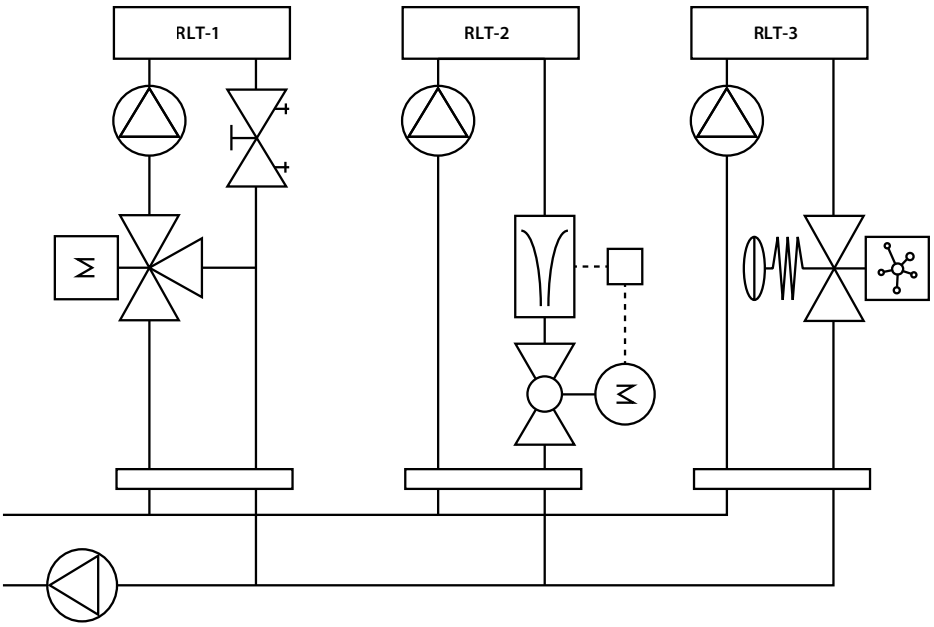


6. Analyse

Aus den von uns beschriebenen Messungen geht hervor, dass die verschiedenen Lösungen unterschiedliche Ergebnisse liefern, insbesondere wenn wir die Stabilität der Regelung betrachten.
Es ist interessant zu erkennen, was diese Unterschiede verursacht. Offensichtlich haben wir 2 verschiedene Setups, eines mit einem 3-Wege-Ventil und zwei mit 2-Wege-Ventilen. Dies hat jedoch nicht die tiefgreifendsten Auswirkungen auf die Regelungsstabilität. Das 3-Wege-Ventil befindet sich tatsächlich in der Mitte der drei Lösungen.

Der Hauptunterschied zwischen den Lösungen besteht darin, wie stark die Ventile Druckschwankungen ausgesetzt sind. Das 3-Wege-Ventil ist in diesem speziellen Fall keinen großen Druckschwankungen ausgesetzt. Die Hauptpumpe ist in diesem Fall so konstruiert, dass sie gerade genug Förderhöhe hat, um das Wasser zum 3-Wege-Ventil zu fördern. Ein alternatives Design würde eine hydraulische Entkopplung in der Nähe des 3-Wege-Ventils vorsehen, diese hätte den zusätzlichen Vorteil, dass das warme Wasser in der Nähe des RLT-Geräts zirkulieren würde. Das bedeutet effektiv, dass in beiden Ausführungen das 3-Wege-Ventil von Druckschwankungen unabhängig ist.





Die 2-Wege-Ventillösungen (EPIV und PICV) sind jedoch der Förderhöhe der Hauptpumpe ausgesetzt, da damit das Wasser in den ständig zirkulierenden RLT-Kreislauf eingespritzt wird. Daher ändert sich der Druckabfall auf die Ventile, da dieser Teil des Systems als Standardsystem mit variablem Durchfluss fungiert. Wenn das Ventil geschlossen wird, nimmt der Druckabfall zu. Der Druckabfall schwankt, wenn andere Ventile im System öffnen oder schließen.

EPIV und PICV verwenden unterschiedliche Methoden, um mit diesen Druckschwankungen umzugehen. Die PICV Lösung mit AB-QM hat einen eingebauten mechanischen Druckregler, so dass Druckschwankungen daran gehindert werden, das Regelventil zu beeinflussen.

Das EPIV verwendet ein 2-Wege-Kugelventil, um Druckschwankungen auszugleichen. Das bedeutet, wenn der Druckabfall ansteigt, aber der Bedarf der Anwendung gleichbleibt, schließt das das Ventil, um einen Anstieg des Durchflusses zu verhindern. Dies hat 2 Konsequenzen. Weil der Druck sich ständig ändert, bewegt sich der Stellantrieb ständig. Wenn der Durchfluss gering ist, erzeugen sehr kleine Bewegungen des Ventils große Auswirkungen beim Durchfluss (siehe Anhang). Der Effekt ist, dass das Ventil permanent auf der Suche nach der richtigen Ventilposition ist und sich ständig bewegt.

Ein weiteres Problem ist die Belastung der Ventile. Wenn Sie einen hohen Druckabfall auf dem Ventil und eine kleine Öffnung haben, haben kleine Bewegungen des Ventils sehr große Auswirkungen, es ergeben sich starke Schwankungen. Bei der Verwendung eines PICV isoliert der Druckregler das Ventil von Druckanstiegen und kann daher über den gesamten Bereich präzise regeln. Bei einem elektronischen Druckausgleich (EPIV) ist das Regelventil nicht von Druckanstiegen isoliert. Das bedeutet, dass EPIV versuchen, einen kleinen Durchfluss bei einer hohen und schwankenden Druckdifferenz zu regeln. Dies ist jedoch selbst für den besten Algorithmus kaum erreichbar.

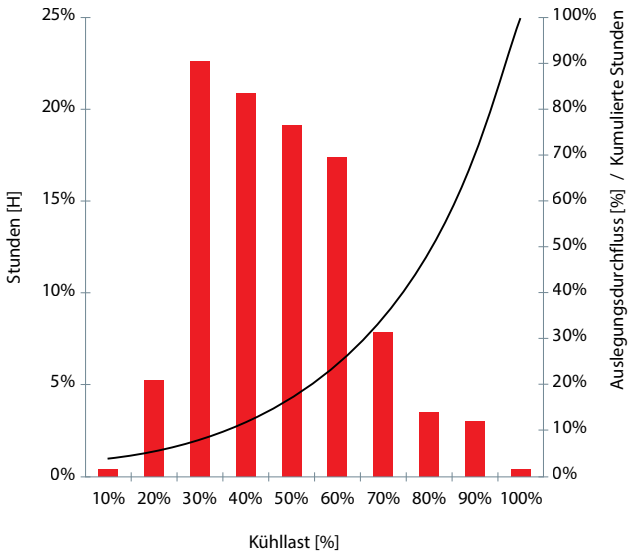
7. Fazit

Für Lüftungsgeräte, die einen konstanten Durchfluss über den Wärmetauscher benötigen, kann ein 3-Wege-Ventil, vorausgesetzt, es ist richtig konstruiert, akzeptable Ergebnisse liefern.

Ein EPIV kann mehr Informationen über den Energieverbrauch der Anwendung liefern, bietet jedoch aufgrund des Fehlens eines Druckreglers keine wirklich präzise Regelung.

Das PICV in Kombination mit einem digitalen Stellantrieb, optional erweitert um einen Durchflusssensor und Temperaturmesser, bietet Ihnen das Beste aus beiden Welten und kombiniert eine präzise und stabile Regelung mit der Fähigkeit, der GLT eine Fülle von Daten zur Verfügung zu stellen.

8. Appendix

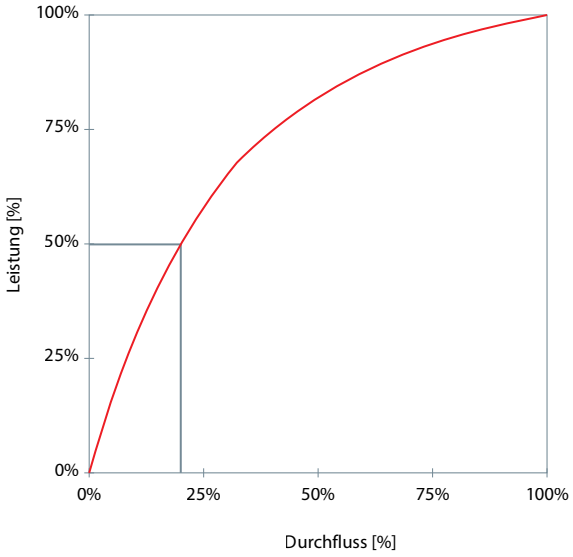


Wie aus der obigen Grafik ersichtlich ist, ist Volllast in HLK-Systemen nicht üblich. Dafür lassen sich mehrere Gründe nennen:

- HLK-Systeme sind für extreme (Außen-)Bedingungen ausgelegt, um auch bei sehr kaltem oder heißem Wetter komfortable Bedingungen zu gewährleisten. Diese Bedingungen treten nicht so oft auf.
- Unter gemäßigten Bedingungen sind sehr niedrige Heiz-/Kühllasten in den Zwischenjahreszeiten wie Frühling und Herbst recht häufig.
- Während des Designprozesses werden Sicherheitsfaktoren häufig verwendet. Das bedeutet, dass die Systeme in der Regel überdimensioniert sind. Erschwerend kommt hinzu, dass die getroffene Auswahl der Dimension abhängig ist von den Größen lieferfähiger Produkte. Wenn beispielsweise ein Heizkörper 2130 Watt liefern muss und der Katalog eine 2000-Watt- und eine 2500-Watt-Version liefert, wird in der Regel die größere Option gewählt, um auf der sicheren Seite zu sein, zusätzlich zu den bestehenden Sicherheitsfaktoren.

Bisher haben wir über die Last gesprochen. Aber eine 50%ige Last entspricht nicht unbedingt einem 50 % Durchfluss durch das System. Schauen Sie sich bitte eine typische Luft-Wasser-Wärmetauscher-Kennlinie an:

Eigenschaften des Wärmetauschers



Die Kennlinie eines Wärmetauschers ist im vorderen Bereich recht steil. So können bereits 50% der maximalen Leistung mit nur 20% des Durchflusses erreicht werden.

Nimmt man also diese beiden Faktoren zusammen, ein überwiegend niedriges Lastprofil und eine im unteren Bereich steil ansteigende Wärmetauscher-Kennlinie, zeigt sich sehr klar, dass niedrige Durchflüsse von etwa 20% oder weniger, sehr häufig im normalen Betrieb vorkommen. Diese kleinen Durchflüsse müssen genau geregelt werden, um die richtige Zulufttemperatur für maximalen Komfort zu gewährleisten.

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss GmbH, Deutschland: danfoss.de • +49 69 80885 400 • E-Mail: CS@danfoss.de
Danfoss Ges.m.b.H., Österreich: danfoss.at • +43 720 548 000 • E-Mail: CS@danfoss.at
Danfoss AG, Schweiz: danfoss.ch • +41 61 510 00 19 • E-Mail: CS@danfoss.ch

Die in Katalogen, Prospekten und anderen schriftlichen Unterlagen, wie z.B. Zeichnungen und Vorschlägen enthaltenen Angaben und technischen Daten sind vom Käufer vor Übernahme und Anwendung zu prüfen. Der Käufer kann aus diesen Unterlagen und zusätzlichen Diensten keinerlei Ansprüche gegenüber Danfoss oder Danfoss Mitarbeitern ableiten, es sei denn, dass diese vorsätzlich oder grob fahrlässig gehandelt haben. Danfoss behält sich das Recht vor, ohne vorherige Bekanntmachung im Rahmen des Angemessenen und Zumutbaren Änderungen an ihren Produkten – auch an bereits in Auftrag genommenen – vorzunehmen. Alle in dieser Publikation enthaltenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firmen. Danfoss und alle Danfoss Logos sind Warenzeichen der Danfoss A/S. Alle Rechte vorbehalten.

BE402353926961de-010101

© Copyright Danfoss | 2022.02