TEMPERATUREN UNTER KONTROLLE HALTEN

Energie sparen mit PICVs

Wie ein dynamischer Abgleich in Hydrauliksystemen
eine Ersparnis von bis zu 30 % einbringt

siemens.com/acvatix

SIEMENS

PICVs kombinieren Kosteneinsparungen und Komfort

Druckunabhängige Kombiventile (PICVs, Pressure-Independent Combi Valves) spielen eine wichtige Rolle bei der Verringerung des Stromverbrauchs, während die Gebäudetemperatur auf den optimalen Sollwerten gehalten wird. PICVs sind effektiv, da sie Druckschwankungen im Hydrauliksystem eines Gebäudes dynamisch abgleichen.

Der dynamische Abgleich hat zwei wichtige Funktionen: Erstens verhindert er eine Überversorgung von Verbrauchern und daraus resultierende Hydraulikstörungen. Zweitens verringert er Temperaturschwankungen erheblich. Dadurch verbraucht das System weniger Energie, um den Komfort der Bewohner aufrechtzuerhalten.

Außerdem verfügen PICVs über eine Voreinstellfunktion, mit der sich die Temperaturregelung noch präziser einstellen lässt. So werden Temperaturschwankungen weiter vermieden und der Komfort sichergestellt. Das hat den Vorteil, dass die Bewohner die Temperatureinstellungen seltener erhöhen oder verringern, was zu den Gesamtenergieeinsparungen der Ventile beiträgt. Außerdem ermöglichen PICVs erweiterte Pumpenregelungsstrategien, die den Energieverbrauch weiter verringern. Insgesamt lassen sich mit PICVs Energieeinsparungen von bis zu 30 % erzielen. Sie können in nahezu allen Heizungs- und Kühlungsanwendungen eingesetzt werden, um das ganze Jahr über zum Komfort der Bewohner beizutragen.

In diesem Whitepaper werden die Energieeinsparungsmethoden detailliert behandelt und in einer Fallstudie quantifiziert.

PICVs in Hydrauliksystemen

Dynamischer Abgleich gegen Druckunterschiede

Druckunabhängige Kombiventile (PICVs) stellen sicher, dass der Durchfluss von heißem oder kaltem Wasser nur vom Ventilhub abhängig ist. Innerhalb ihres Betriebsbereichs werden sie nicht durch Druckschwankungen im Hydrauliksystem des Gebäudes beeinflusst. Dies wird als dynamischer Abgleich oder automatischer Abgleich bezeichnet.

Die grundlegende Funktion wird durch einen integrierten Differenzdruckregler (Abb. 1, Nr. 3) erreicht, der zum Hauptdurchflussregelventil (Nr. 1) in Reihe geschaltet ist und den Differenzdruck des Durchflussregelventils mit einem Druckeinlass und einer Membran regelt. So ist der Durchfluss durch die gesamte Vorrichtung von Druckschwankungen im System unabhängig und wird nur durch den Hub des Regelventils bestimmt.

PICVs bieten die gleiche Stellantriebsschnittstelle wie Standardregelventile. Eine zusätzliche Energieversorgung oder ein elektrischer Sensor sind nicht erforderlich. Die Energie für den Betrieb des Differenzdruckreglers stammt aus dem Hydrauliksystem selbst.

Eine weitere Kernfunktion von PICVs ist die Begrenzung des maximal zulässigen Durchflusses. Dies erfolgt in der Regel durch die Begrenzung des Hubs des Durchflussregelventils oder durch die Begrenzung des freien Regelpfadbereichs (Nr. 2).

PICVs sind im gesamten Hydrauliksystem relevant

"PICVs können in nahezu allen Heizungs- und Kühlungsanwendungen in einem Gebäude – unter anderem in den Bereichen Energieerzeugung, -verteilung und Energienutzung – verwendet werden. Die typischsten Anwendungen sind:"

Energienutzung/-verbrauch
- Kühldecken
- Heizkörper
- Heizungs-/Kaltwasserzonenregelung
- Heiz-/Kühlregister in:
  - Ventilatorkonvektoren
  - Klimageräten
  - Variablen Volumenstromsystemen (VVS)

Energieverteilung
- Heizgruppe
- Kaltwassergruppe

Energieerzeugung
- Fernwärme

Energieeinsparungen auf drei verschiedene Arten

Bei Heiz- und Kühlanwendungen in Gebäuden sorgt die automatische Abgleichfunktion auf drei verschiedene Arten für Energieeinsparungen:

- Siev erhindert zu jeder Zeit und bei jeder Betriebsbedingung eine Überversorgung des Wärmetauschers.
- Sie verbessert die Regelgenauigkeit, indem eine hydraulische Kreuzverbindung von angrenzenden Regelkreisen verhindert wird.
- Sie ermöglicht erweiterte Energieverteilungsstrategien, indem das Risiko eines „Verhungerns" des Wärmetauschers beseitigt wird.

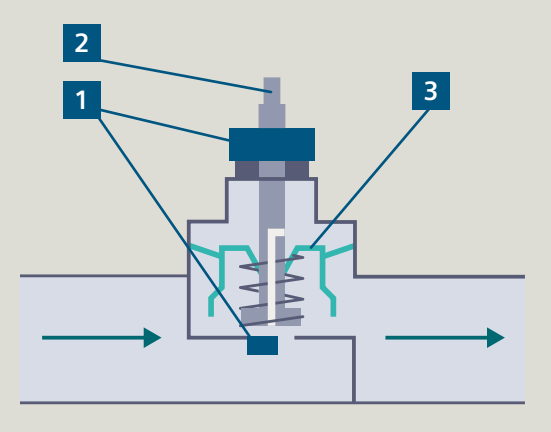


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines mechanischen PICV

1. Durchflussregelventil
2. Voreinstellung
3. Differenzdruckregler

Überversorgung vermeiden

Unterschiedlicher Widerstand führt zur Unter- oder Überversorgung

Bei hydraulischen Heiz- oder Kühlsystemen wird das heiße oder kalte Trägermittel (Wasser, entweder pur oder mit einem Mittel wie Glykol gemischt), das die thermische Energie von ihrer Erzeugung zum Verbraucher verteilt, über Rohrabschnitte mit verschiedener Länge oder verschiedenem Durchmesser transportiert. Bei mehrgeschossigen Gebäuden kann die zu überwindende Höhe ebenfalls unterschiedlich ausfallen. Daher ist der hydraulische Widerstand entlang des Pfads von der Energieerzeugung zu jeder Übergabestelle verschieden.

Um die erforderliche Heiz- oder Kühlleistung bereitstellen zu können, ist jede Übergabestelle für einen bestimmten Durchfluss ausgelegt. Wenn der Durchfluss zu niedrig ist, erhält der Verbraucher nicht genügend Energie (Unterversorgung). Im umgekehrten Fall ist es so, dass bei einem Überfluss (oder einer Überversorgung) der Durchfluss so hoch ist, dass die Übergabestelle die bereitgestellte thermische Energie nicht ausreichend austauschen kann. Als Folge wird die überschüssige Energie zurück an die Energieerzeugung geleitet, die dann wiederum nicht mit dem höchsten Wirkungsgrad betrieben werden kann.

Die Unterschiede werden durch statischen Abgleich normalisiert

Um sicherzustellen, dass jeder Verbraucher die richtige Menge an Heiz-/Kühlenergie erhält, wird ein hydraulischer Widerstand in das System integriert. Normalerweise wird dieser sogenannte Abgleich durch die Installation von manuellen Abgleichdrosseln erreicht, die in Reihe zu den Standardregelventilen installiert werden. Bei dieser Methode wird der hydraulische Widerstand der Abgleichdrosseln so dimensioniert, dass das System für nominale Betriebsbedingungen ideal abgeglichen ist. Das System ist „statisch abgeglichen“. Dies kann jedoch nur für einen einzigen vorgegeb nen „idealen“ Betriebszustand erreicht werden (Abb. 2).

Überversorgung tritt trotz des statischen Abgleichs auf

Die Wirklichkeit sieht jedoch ganz anders aus. In statisch abgeglichenen Systemen kann nach wie vor ein Überfluss bei bestimmten Teillastzuständen auftreten.

Wenn zum Beispiel einige Kreisläufe nur zur Hälfte geöffnet sind (Teillast), aber der Rest vollständig geöffnet ist (Volllast), kommt es in den letzteren Kreisläufen, die übermäßig Energie erhalten, zu einem Überfluss (Abb. 3).

Ein solcher Überfluss kann über einen längeren Zeitraum bestehen bleiben, bevor die Raumtemperaturregelung auf die erhöhte oder verringerte Temperatur reagiert. Solche vorübergehenden Überversorgungsphasen treten entweder durch eine Änderung der Last (z. B. Änderung der Belegung eines Raums) oder eine Änderung des Sollwerts (z. B. Anlaufphase am Morgen) auf.

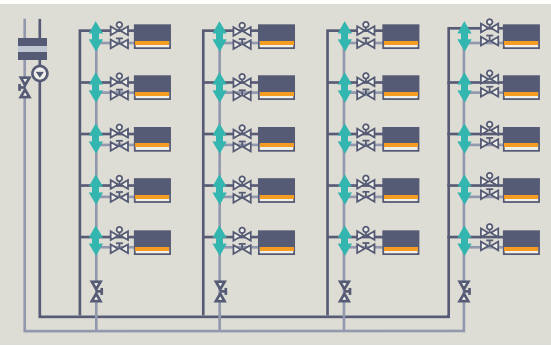


Abbildung 2: Statisch abgeglichenes System, das mit dem ausgelegten Betriebswert betrieben wird.

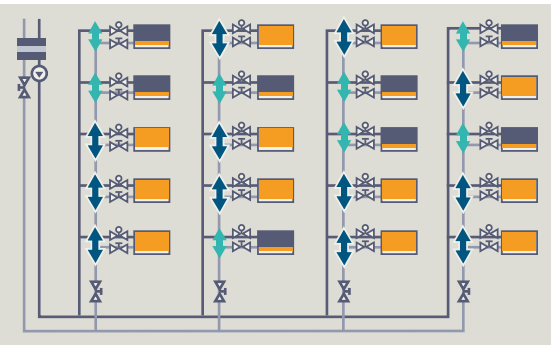


Abbildung 3: Wenn bestimmte Kreisläufe in Teillast oder geschlossen sind, befinden sich andere im Überflusszustand (große blaue Pfeile).

Überversorgung führt zu Energieineffizienzen

Abhängig von den verwendeten Energieerzeugungsanlagen kann dieser Überfluss zu zwei negativen Nebenwirkungen führen. Zunächst führt der Überfluss zum Transport von Wasser durch das System, das keine passende Menge an zusätzlicher Energie zu den Verbrauchern bringt,[1] und dadurch zu einem geringen Temperaturunterschied über den Wärmetauscher.

Außerdem führt Überfluss bei Kühlgeräten und Wärmepumpen zu Ineffizienzen in den Energieerzeugungsanlagen. Überfluss bei bestimmten Verbrauchen kann zu einer Rücklauftemperatur, die niedriger als der Nennwert im Kühlmodus ist, sowie zu einer Rücklauftemperatur führen, die höher als der Nennwert im Heizmodus ist, sodass die Energieeffizienz von Heiz- und Kühlgeräten um jeweils 2 % und 3 % sinkt.[2]

[1] Die Wärmeübertragung durch den Wärmetauscher ist direkt proportional zum Durchfluss und zum Temperaturunterschied im gesamten Wärmetauscher. Durchfluss und Temperaturunterschied sind in einem geschlossenen System umgekehrt proportional zueinander.

[2] Die Verringerung der Verdampfungstemperatur eines Kühlgeräts um 1 Grad unter den Auslegungswert verringert seine Leistung um ca. 3 %. Die Erhöhung der Kondensationstemperatur einer Wärmepumpe um 1 Grad über den Auslegungswert verringert ihre Leistung um ca. 2 %.

Verbesserung der Regelungsgenauigkeit

PICVs beseitigen Überversorgung durch einen dynamischen Abgleich

Wie bereits in der Beschreibung des Funktionsprinzips von PICVs erwähnt, begrenzt die Verwendung von PICVs den maximalen Durchfluss bei Teillastzuständen und verhindert so den erwähnten Anstieg des direkten Energiebedarfs (Erzeugung, Verbrauch) und des indirekten Energiebedarfs (Transport, Verteilung).

Hydraulische Querkopplungen lösen Temperaturschwankungen im Gebäude aus

Wie oben beschrieben, kann sich der Energiebedarf eines Abschnitts des Heiz- oder Kühlsystems zeitweise erhöhen (oder verringern), z. B. wenn sich in einem Konferenzraum am Anfang eines Meetings viele Teilnehmer befinden und diese am Ende den Raum verlassen. Dies passiert überall im Gebäude, d. h. zu verschiedenen Zeitpunkten und an verschiedenen Orten.

Dieser Anstieg des Energiebedarfs in bestimmten Abschnitten des Systems führt zu einer Verringerung der Energie, die in andere Bereiche des Gebäudes transportiert wird. Die Temperatur dieser Bereiche weicht dann vom Nennwert ab, und es dauert, bis der Temperaturregler des Raums die entsprechende Reaktion auslöst.

Abbildung 4: Durch eine Kreuzverbindung weicht die Temperatur vom Sollwert ab. Eine verzögerte Korrektur der Raumtemperatur führt zu großen Temperaturschwankungen, weniger Komfort und Energieverlusten.

Die Temperatur wird dann immer wieder ansteigen und absinken, bis sie sich nach einer gewissen Zeit um den Sollwert stabilisiert (Abb. 4). Dieser Effekt wird als „hydraulische Querkopplung“ bezeichnet.

Das erste Problem bei einer hydraulischen Querkopplung besteht darin, dass die Benutzer des Gebäudes sich zu den Zeiten der niedrigsten oder höchsten Temperatur im Zyklus unwohl fühlen.

Benutzer ändern den Sollwert, um Unbehagen zu verringern

Das zweite Problem besteht darin, dass die Benutzer in der Regel den Temperatursollwert ändern, wenn sie sich unbehaglich fühlen. Wenn die Temperatur zum Beispiel während der Wintermonate am niedrigsten ist, erhöhen sie den Sollwert möglicherweise um einige Grade. Die gesamte Kurve wird um ein oder zwei Grad nach oben verschoben. Sie reagieren jedoch wahrscheinlich nicht, wenn die Raumtemperatur eine Stunde später etwas höher als normal ist. Die Verschiebung des Sollwerts bleibt die gesamte Saison über bestehen.

Ein ähnliches Szenario spielt sich in den Sommermonaten ab. Wenn der Raum den höchsten Wert erreicht hat, erhöhen die Benutzer möglicherweise die Kühlung, ohne sie später wieder zu verringern, wenn die Temperatur ihren niedrigsten Wert erreicht hat.

Sowohl bei der Heizung als auch bei der Kühlung erhöht sich der Gesamtenergieverbrauch aufgrund der Temperaturschwankungen durch die Hydraulikstörungen.

PICVs beseitigen Temperaturschwankungen nahezu vollständig

Wenn PICVs verwendet werden, gleicht ihre automatische Abgleichfunktion Druckschwankungen aus. So können eine bessere Regelgenauigkeit auf Sollwert erreicht und die Temperaturschwankungen nahezu beseitigt werden (Abb. 5).

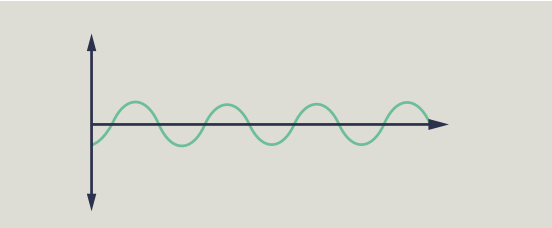


Abbildung 5: PICVs gleichen automatisch Schwankungen im Druck aus und halten die Raumtemperatur sehr nahe am Sollwert.

Voller Hub sorgt für eine noch präzisere Regelgenauigkeit

Eine noch präzisere Regelgenauigkeit wird durch die PICVs von Siemens erreicht, bei denen die Voreinstellung durch die Einschränkung des freien Regelpfadbereichs erreicht wird. Da der volle Hub des Durchflussregelventils verfügbar ist, um die Öffnung zu steuern, kann der Volumendurchfluss mit einer deutlich größeren Anzahl an Schritten definiert werden (Abb. 6). Die Temperatur kann in viel kleineren Schritten erreicht werden, wodurch Temperaturschwankungen und Unbehagen noch weiter verringert werden.

Verhindern von Sollwertänderungen sorgt für Energieeinsparungen

Folglich fühlen sich die Benutzer beim ursprünglichen Sollwert nicht mehr unbehaglich und werden den Energiebedarf nicht ändern, um die Spitzen der Temperaturschwankungen auszugleichen. Wenn dies während der gesamten Saison auf das gesamte Gebäude übertragen wird, ergeben sich erhebliche Energieeinsparungen.

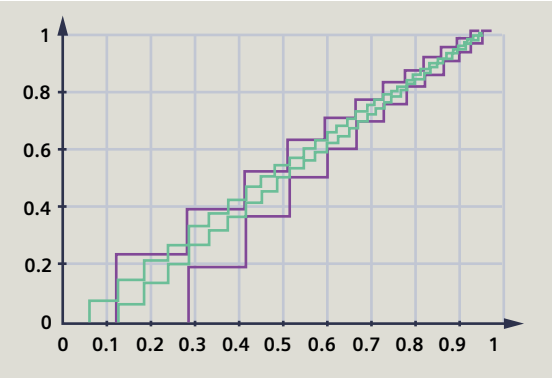
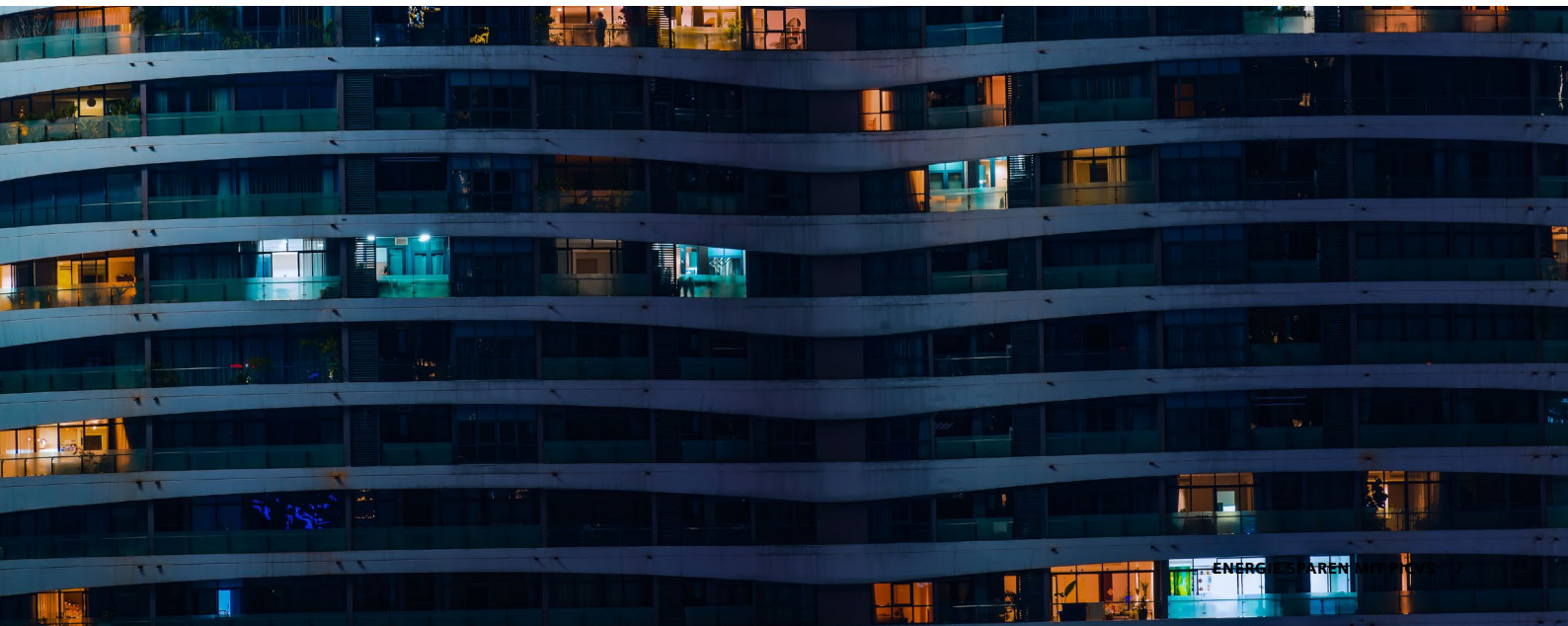


Abbildung 6: PICVs, bei denen die Vorsteinstellung durch die Begrenzung des Hubs des Durchflussregelventils (Hubbegrenzung) erreicht wird, haben eine verringerte Regelgenauigkeit (rot). PICVs von Siemens, bei denen die Voreinstellung durch die Begrenzung des Regelpfadbereichs erreicht wird, verfügen nach wie vor über den vollen Hub und sorgen für eine wesentlich feinere Regelung von Durchfluss und Temperatur (grün).



Ermöglichung optimaler Verteilungsstrategien

Konventionelle Systeme benötigen einen konstanten Druck

Moderne Energietransportsysteme wie Pumpen mit variabler Drehzahl passen die Förderhöhe einer Pumpe und den Volumenfluss an die erforderliche Last an. Es gibt heute eine Vielzahl von Regelstrategien auf dem Markt. Die Regelung kann in Verbindung mit dem Differenzdruck, dem effektiven Volumenstrom durch einen Durchflussmesser sowie der Differenztemperatur, Außentemperatur oder Vorlauftemperatur erfolgen.

Wie bereits oben erläutert, ist ein konventionelles Hydrauliksystem „statisch abgeglichen". Der hydraulische Widerstand der Abgleichdrosseln wird so dimensioniert, dass das System für einen normalen Betriebszustand ideal abgeglichen ist. Da ein solches System nach wie vor auf Druckunterschiede reagieren könnte, ist die Pumpenregelstrategie so ausgelegt, dass ein konstanter Differenzdruck im System sichergestellt ist (Abb. 7).

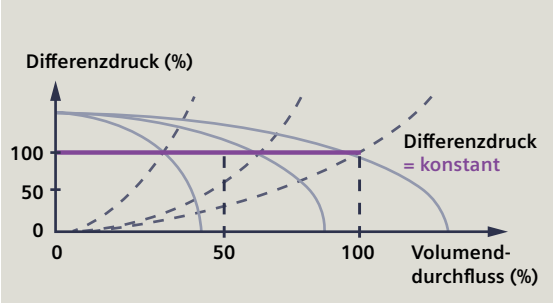


Abbildung 7: Pumpenregelstrategie, die sicherstellt, dass der Differenzdruck konstant auf dem Sollwert gehalten wird.

Pumpen müssen gegen einen unnötigen Widerstand ankämpfen

Jede Verringerung des Druckunterschieds könnte zum „Verhungern" einiger Übergabestellen führen. Selbst bei vollständiger Öffnung erhalten sie nicht den erforderlichen Durchfluss.

In der Folge ist der Energieaustausch unzureichend und der Temperatursollwert kann nicht mehr sichergestellt werden.

Um den erforderlichen Durchfluss sicherzustellen, müssen Pumpen gegen den hydraulischen Widerstand arbeiten, der in das System integriert wurde, um einen normalen Betriebszustand sicherzustellen, selbst wenn der tatsächliche Betriebszustand stark davon abweicht.

Während PICVs den Durchfluss aufrecht erhalten, optimieren Pumpen den Druck

Auf der anderen Seite ist es dank PICVs möglich, den gleichen Durchfluss bei einem geringeren Druckunterschied bereitzustellen. Solange der Druckunterschied im zulässigen Betriebsbereich des PICV bleibt, wird der Durchfluss auf eingestellten Wert gehalten (automatische Abgleichsfunktion).

Das öffnet die Tür für erweiterte Pumpenregelungsstrategien, bei denen derselbe Durchfluss bei einem geringeren Druckunterschied, irgendwo zwischen dem niedrigsten Wert (um im Betriebsbereich des PICV zu bleiben) und dem Sollwert, bereitgestellt wird (Abb. 8).

Die Pumpe muss gegen weniger Widerstand kämpfen. Sie lässt sich mit einer optimalen Geschwindigkeit betreiben und benötigt weitaus weniger Energie für dieselbe Leistung.

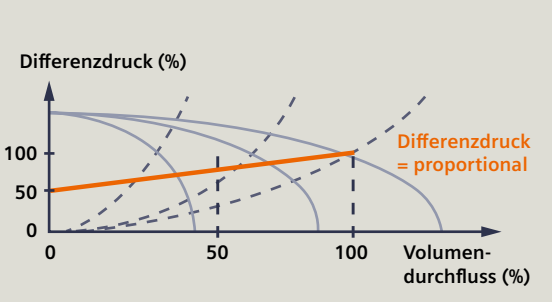


Abbildung 8: Pumpenregelungsstrategie mit Variation des Differenzdrucks.

Einsparungen aus eine realen Fall

Anwendung in einer realen Fallstudie

Die drei Möglichkeiten zur Erreichung von Einsparungen, die in diesem Whitepaper beschrieben werden, wurden auf einem Campus mit verschiedenen Gebäuden in einer großen saudi-arabischen Stadt mit einer repräsentativen Anzahl von Heiz- und Kühltagen umgesetzt.

Dieses Gebäude verfügt über Klimageräte und Ventilatorkonvektoren mit Kaltwasser zur Kühlung und Elektronachwärmern zum Heizen. Das Kaltwassersystem umfasst die folgenden Komponenten:

- 10 Kältemaschinen im Versorgungsgebäude. Neun im Einsatz und eine im Standby, Leistung: Je 1.370 kW.
- 10 primäre Kaltwasserpumpen, konstante Drehzahl im Versorgungsgebäude. Neun im Einsatz und eine im Standby, Leistung: 55 l/s (198 m^3/h) bei 30 m Förderhöhe. Das Verhältnis der installierten Pumpenleistung und Kühlleistung (Kältemaschine) beträgt ca. 1,5 %.
- 10 sekundäre Kaltwasserpumpen, variable Drehzahl im Versorgungsgebäude. Neun im Einsatz und eine im Standby, Leistung: 55 l/s (198 m^3/h) bei 55 m Förderhöhe. Das Verhältnis der installierten Pumpenleistung und Kühlleistung (Kältemaschinen) beträgt ca. 2,5 %.
- Verschieden große Luftbehandlungsgeräte und Ventilatorkonvektoren platziert in jedem Gebäude entsprechend den erforderlichen Kühllasten. Regelventile mit elektrischen Stellantrieben, die in den Kaltwasser-Rücklaufleitungen von den Luftbehandlungsgeräten und Ventilatorkonvektoren installiert sind.

Einsparungen von bis zu 30 % mit PICVs

Mithilfe von tatsächlichen Betriebs- und Klimadaten wurden Energieeinsparungen für die Energieverteilung und Energieerzeugung mit den folgenden drei Methoden erreicht:

- Verhindern einer Überversorgung des Wärmetauschers zu jeder Zeit und bei jeder Betriebsbedingung
- Verbessern der Regelgenauigkeit, indem eine hydraulische Querkopplung zwischen angrenzenden Regelkreisen verhindert wird
- Ermöglichung von erweiterten Energieverteilungsstrategien, indem das Risiko eines „Verhungerns" von Wärmetauschern/ Luftkühlern beseitigt wird

In diesem Fall haben konservative Berechnungen gezeigt, dass durch die Verwendung von PICVs in den Gebäuden **Einsparungen von bis zu 25–30 % bei der Energieverteilung** sowie **Einsparungen von 2–5 % bei der Energieerzeugung** erzielt werden konnten.

In absoluten jährlichen Zahlen waren das jeweils ca. 330 MWh und 200 MWh bzw. ergaben sich jährliche Gesamtkosteneinsparungen von ca. **34.000 €.**

Smart Infrastructure intelligently connects energy systems, buildings and industries, enhancing the way we live and work to significantly improve efficiency and sustainability.

We work together with customers and partners to create an ecosystem that both intuitively responds to the needs of people and helps customers achieve their business goals.

It helps our customers to thrive, communities to progress and supports sustainable development to protect our planet for the next generation.

siemens.com/smart-infrastructure

Herausgeber
Siemens Schweiz AG
Building Technologies Division
International Headquarters
Gubelstraße 22
6301 Zug
Schweiz
Tel.: +41 41 724 24 24

Subject to changes and errors. The information given in this document only contains general descriptions and/or performance features which may not always specifically reflect those described, or which may undergo modification in the course of further development of the products. The requested performance features are binding only when they are expressly agreed upon in the concluded contract.

© 2023 by Siemens Schweiz AGh