



TEMPERATURREGELUNG, KÜHLANLAGEN

Verfasser: Anwendungsmanager Michael Laustsen, Grundfos, Dänemark

Einleitung:

Der Betriebsmodus einer Pumpe entscheidet, ob optimale Betriebsprozesse mit höchster Leistung zu möglichst günstigen Produktionskosten sichergestellt werden können. Dies ist für die bauteilspezifischen Produktionskosten, eine verlängerte Werkzeuglebensdauer, z.B. beim Einsatz einer Pumpe in einer Gussanlage o. ä., oder auch für eine Betriebssicherheit in schnellen Produktionsprozessen von immenser Bedeutung.

Zweck:

Dieses Whitepaper beschreibt, wie unterschiedliche Betriebsmodi von Pumpen in einem einfachen Wärmetauscher den Energieverbrauch und den Einsatz von Komponenten beeinflussen können. Zudem sollen die Vorteile für den Einsatz von Pumpen mit integrierten Frequenzumrichtern (MGE-Motoren) aufgezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund:	2
Gesamteffizienz	2
Anlagenregelung.....	2
Beeinflussung des Energieverbrauchs durch verschiedene Lastprofile	4
Praktisches Beispiel.	6
Fazit	9
Vergleichsdokument.....	10

Hintergrund:

Eine Kühlanlage ist nur ein Beispiel für einen Anwendungsbereich mit Temperaturregelung, für den eine gute Anlagenplanung und Anlagenauslegung immens wichtig ist, um die richtige Prozesstemperatur sicherzustellen. Die für einen Kühlanlagenbetrieb eingesetzten kompakten Pumpen sind in Einhausungen integriert oder auf Gestellen montiert, um auch bei beengten Platzverhältnissen einen optimalen Zugriff sicherzustellen.

Hier müssen moderne Pumpenanlagen zum Einsatz kommen, die sich schnell, präzise und energieeffizient an den sich ändernden Bedarf anpassen. Daher ist es wichtig, nicht nur die Pumpe, sondern bereits in einem frühen Planungsstadium die gesamte Anlage zu berücksichtigen.

Gesamteffizienz

Beim Thema Effizienz ist es wichtig, die „Gesamteffizienz“ im Blick zu behalten. So ist es nicht sinnvoll, sich eine leistungsstarke Pumpe

und den dazugehörigen Motor anzuschaffen, wenn gleichzeitig gegen ein halbgeschlossenes Ventil „angekämpft“ werden muss bzw. die Anlage grundlegende Planungsfehler aufweist. Bereits in der ersten Planungsphase sollten alle potenziellen Alternativen bekannt sein und festgestellt werden, ob mit der preiswertesten Regelungsoption auch die erforderliche Präzision erreicht werden kann? Dabei sollte die unter Berücksichtigung des Anlagen-Lastprofils optimale Regelart gewählt werden.

Anlagenregelung

In den folgenden Abbildungen werden drei Beispiele aufgeführt, für die als gleiche Anlagenanforderung eine bestimmte Abgabetemperatur des Wärmetauschers erforderlich ist. In jedem Beispiel wird das Ziel auf unterschiedliche Weise erreicht. Der philosophische Unterschied zeigt sich in unserem methodischen Entwicklungsansatz S-E-I (vom Standardprodukt zum erweiterten Produktansatz bis hin zum intelligenten Systemansatz)

S: Das Standardprodukt arbeitet mit einer konstanten Pumpendrehzahl (Abb. 1). Die Temperaturmessung erfolgt am Wärmetauscherabgang über ein Regelventil, welches wiederum die Temperaturregelung durch eine Minderung des Wärmetauscher-Durchflusses übernimmt. Damit findet eine Abweichung von der Pumpenkennlinie nach unten bzw. oben statt. (Rote Pumpenkennlinie in Abb. 4)

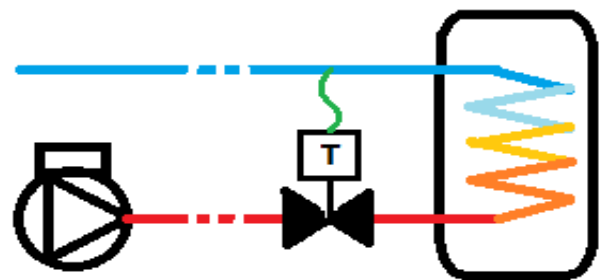


Abbildung 1: Regelventil, volle Pumpendrehzahl

E: Der erweiterte Ansatz (Abb. 2) kommt häufig in zahlreichen Anlagen zur Anwendung, in denen eine Pumpe eingesetzt wird, die eine Regelung bei einem konstanten Differenzdruck vornimmt und dieser zwischen dem Pumpenauslass und dem Wärmetauscher-Rücklauf konstant gleich gehalten wird. Doch auch hier wird die Temperatur am Wärmetauscherabgang in gleicher Weise gesteuert wie beim ersten Ansatz, bei dem ein temperaturgesteuertes Regelventil zur Durchflussbegrenzung eingesetzt wird, um eine konstante Temperatur zu erreichen. Es wird damit für einen konstanten Pumpendruck und folglich für

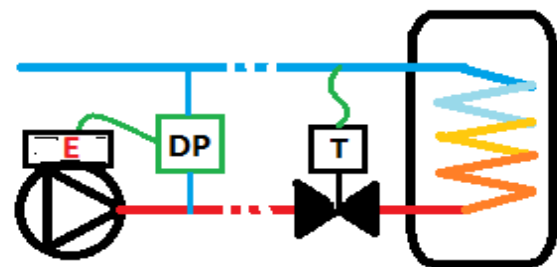
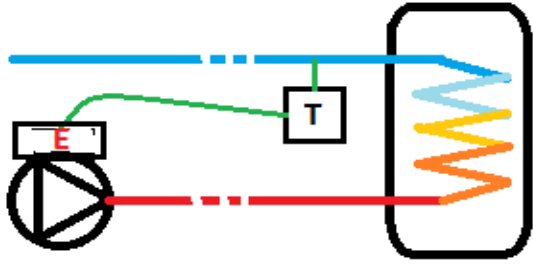


Abbildung 2: Konstanter Differenzdruck

<p>eine horizontal verlaufende Pumpenkennlinie im Q/H-Diagramm gesorgt. (Gelbe Pumpenkennlinie in Abb. 4)</p>	
<p>I: Der letzte Ansatz basiert auf einer intelligenten Anlagenregelung (Abb. 3). Hier werden die Werte der Temperaturmessung direkt in einen E-Motor gespeist (der mit einem integrierten Frequenzwandler ausgestattet ist). Zusätzlich sorgt ein PI-Regler im E-Motor für einen Volumenstrom, welcher die gewünschte Auslasstemperatur am Wärmeübertrager ermöglicht. Es entfällt der Einsatz eines Regelventils und ein kontinuierlicher Druckverlust wird vermieden.</p> <p>Auf diese Weise besitzt die Pumpe eine Kennlinie, die einer Proportionaldruck-Kennlinie ähnlich ist. (Grüne Pumpenkurve in Abb. 4)</p>	 <p>Abb.3:Temperaturgeregelte Rückmeldung zum MGE-Motor</p>

In Abbildung 4 werden die drei Systemansätze in einem Kennlinendiagramm mit verschiedenen Lastkurven dargestellt.

Anmerkung: Beim intelligenten Ansatz –direkte Temperaturregelung - wird der Durchfluss bei niedrigen Lasten konstant niedrig gehalten, um für eine Signalmeldung zum Temperatursensor zu sorgen. Die Pumpen in einer Heizungs- oder Kühlanlage dürfen nicht vollständig ausgeschaltet werden, um sicherzustellen, dass für die Temperaturmessung ein Mindestdurchfluss vorhanden ist.

Diese drei verschiedenen Kennlinien gehören zu der gleichen Anlage. Das Ziel der drei Systemkonstruktionen ist eine konstante Auslasstemperatur nach dem Wärmeübertrager.

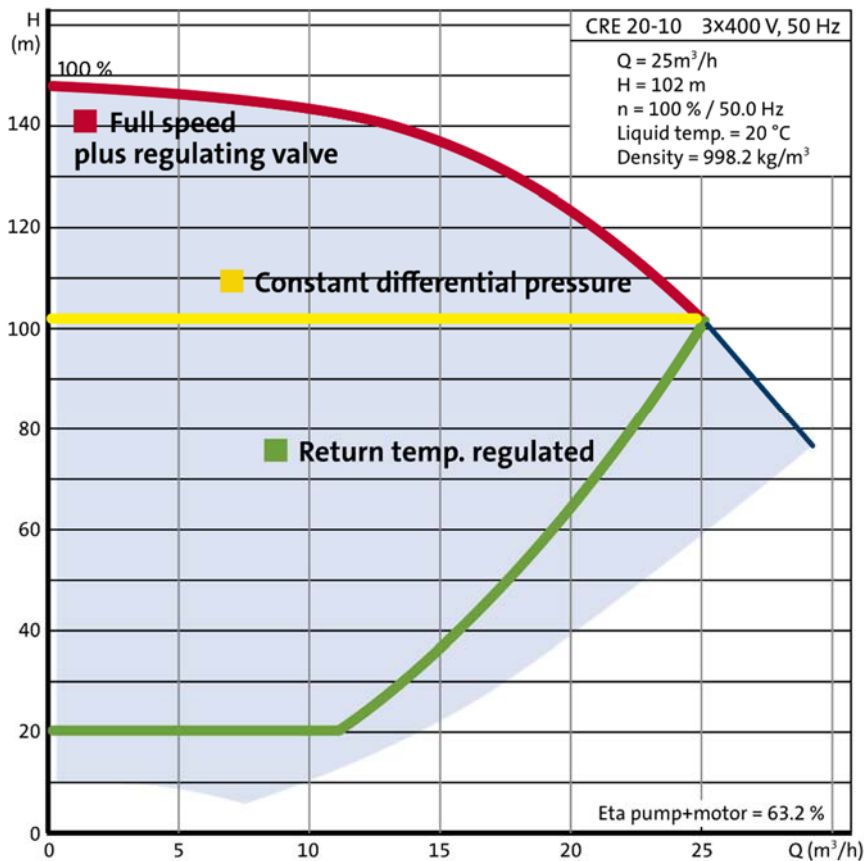
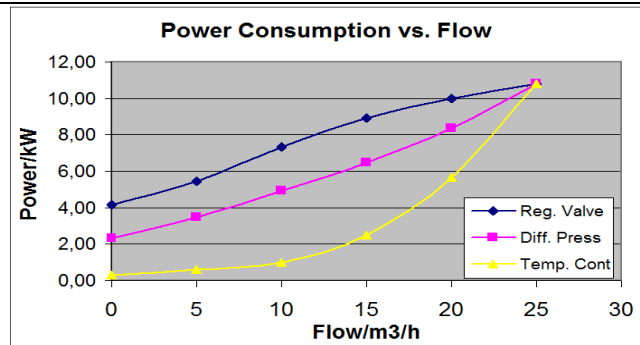


Abb. 4: In Anlagen mit einem konstanten Betriebspunkt können alle drei Ansätze gleich gut eingesetzt werden. Findet jedoch eine Lastreduzierung statt, sorgt die direkte Temperaturregelung für eine optimale Effizienz und höchste Energieeinsparungen.

Besonders interessant ist es, wie sich der Energieverbrauch bei den drei Ansätzen - maximale Drehzahl, konstanter Differenzdruck und die direkte Temperaturregelung - unterscheidet. Wenn die verschiedenen Systeme mit einem Drittel der Maximallast betrieben werden, unterscheiden sich der Energieverbrauch und damit auch die Energiekosten enorm. Auf der anderen Seite besteht zwischen den verschiedenen Systemen bei Vollastbetrieb nur ein geringer Unterschied, da dann die gewählte Regelungsart nicht mehr maßgeblich ist. Dennoch ist sicherzustellen, dass die Dimensionierung der Pumpe für den vorgesehenen Einsatzzweck geeignet ist.



Beeinflussung des Energieverbrauchs durch verschiedene Lastprofile

Bei der Wahl des Systemansatzes ist es von größter Bedeutung, das jeweilige Lastprofil zu berücksichtigen. Die drei beispielhaft dargestellten Lastprofile aus Abbildung 5 zeigen im Vergleich zur Regelventilanlage signifikante Einsparungen bei der konstanten Differenzdruckregelung. Dennoch ist der Ansatz der direkten Temperaturregelung die energieeffizienteste Option.

Da die meisten K hlumpfen überdimensioniert sind und das Lastprofil C am häufigsten vorkommt, bietet die direkte Temperaturregelung erhebliche Vorteile. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, wie dieses Szenario beispielsweise mit einer direkten Temperaturregelung eine Energieeinsparung um 72% mit sich bringt.

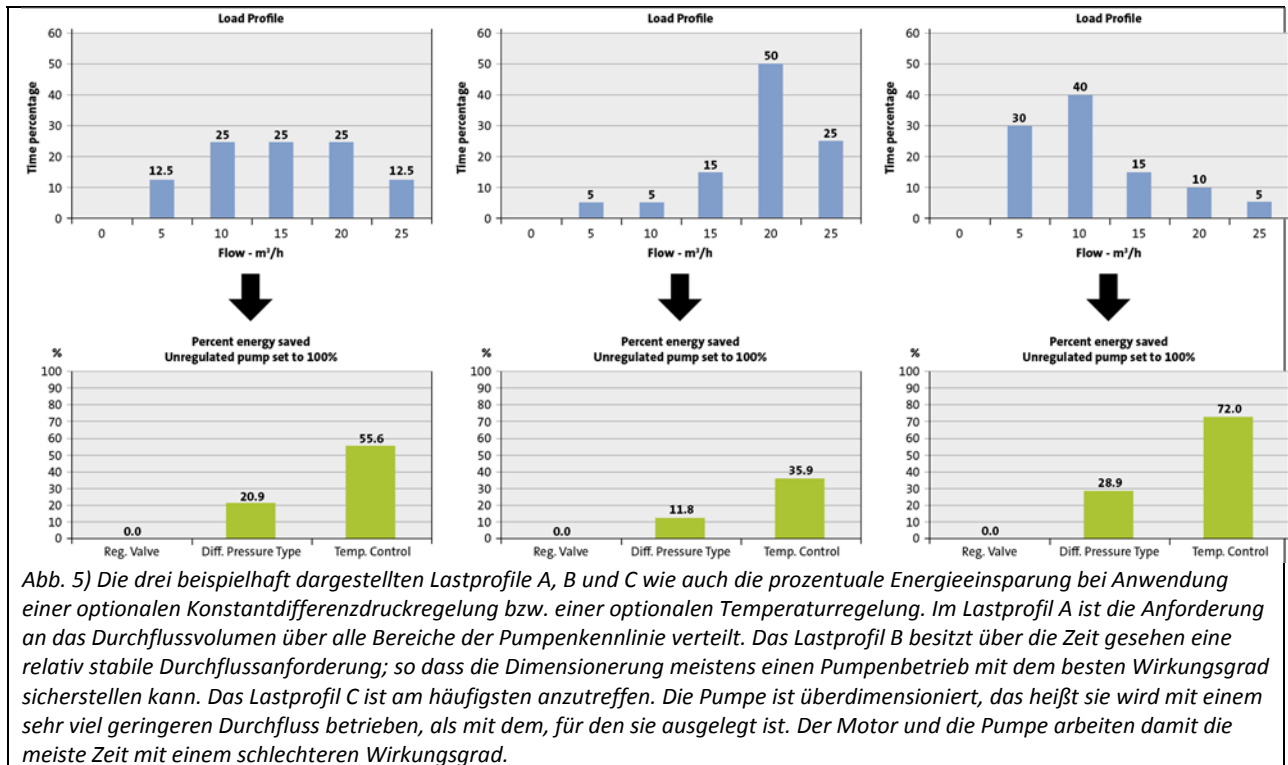


Abb. 5) Die drei beispielhaft dargestellten Lastprofile A, B und C wie auch die prozentuale Energieeinsparung bei Anwendung einer optionalen Konstantdifferenzdruckregelung bzw. einer optionalen Temperaturregelung. Im Lastprofil A ist die Anforderung an das Durchflussvolumen über alle Bereiche der Pumpenkennlinie verteilt. Das Lastprofil B besitzt über die Zeit gesehen eine relativ stabile Durchflussanforderung; so dass die Dimensionierung meistens einen Pumpenbetrieb mit dem besten Wirkungsgrad sicherstellen kann. Das Lastprofil C ist am häufigsten anzutreffen. Die Pumpe ist überdimensioniert, das heißt sie wird mit einem sehr viel geringeren Durchfluss betrieben, als mit dem, für den sie ausgelegt ist. Der Motor und die Pumpe arbeiten damit die meiste Zeit mit einem schlechteren Wirkungsgrad.

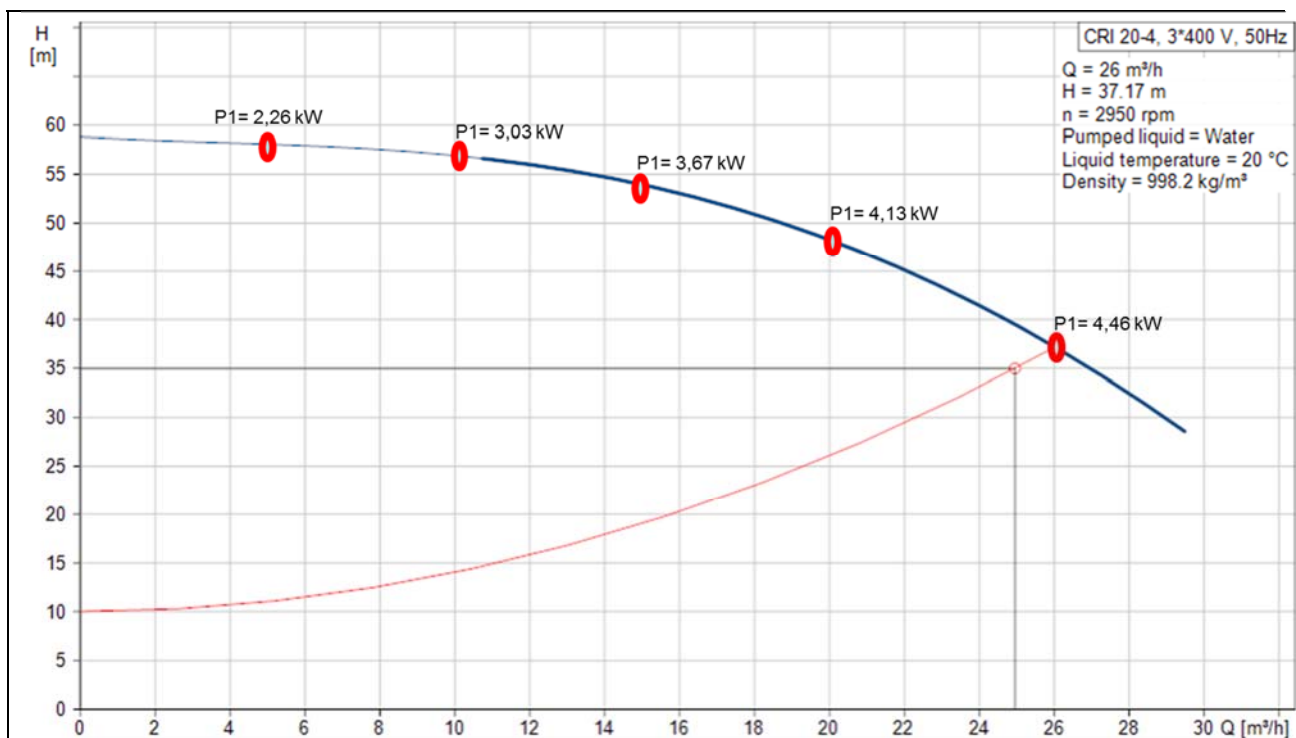
Praktisches Beispiel.

Unter Berücksichtigung dieser Fakten soll im Anschluss ein praktisches Beispiel zeigen, wie hoch Energieeinsparungen pro Jahr mit der Auswahl der richtigen Regelmethode sein können.

Dafür gelten die folgenden technischen Daten:

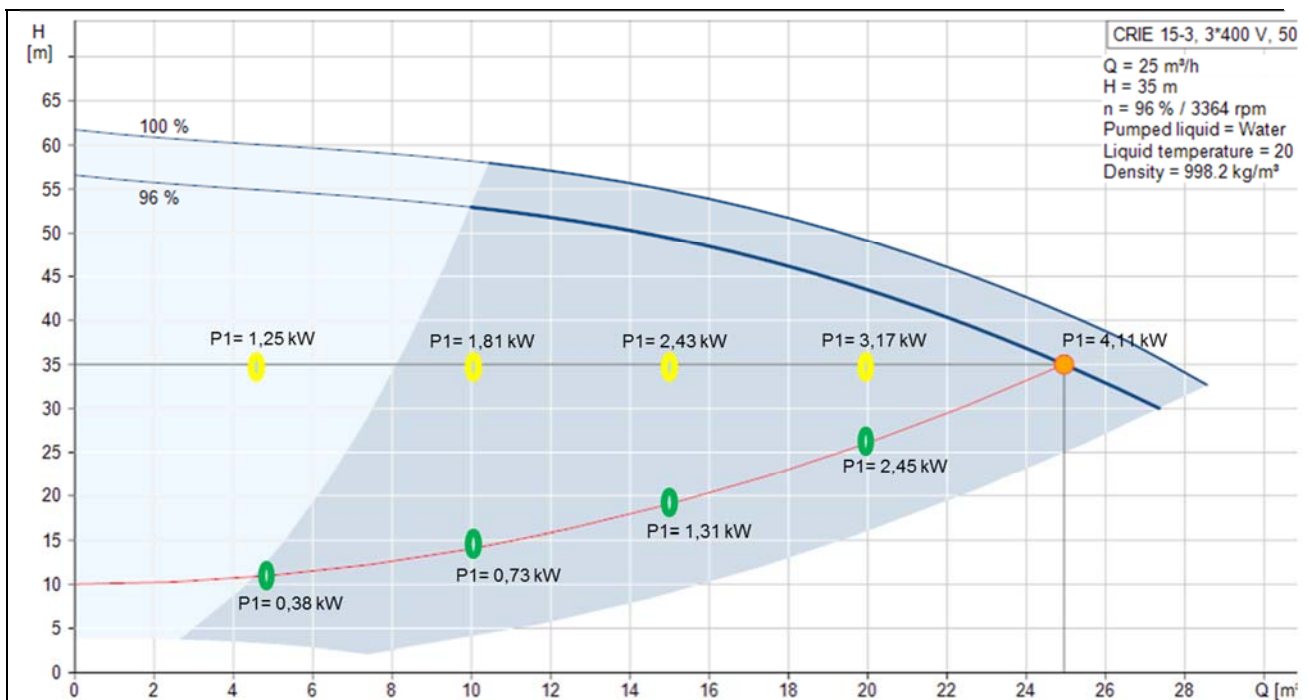
Volumenstrom: 25 m³/h
Förderhöhe: 35 m
Tage pro Jahr: 300
Stunden pro Tag: 24
Lastprofil: Siehe Beispiel A in Abbildung 5.

Die für den Standardproduktansatz gewählte Pumpe ist eine CRI20-4 (siehe nachfolgende Kennlinie und Betriebspunkte).



Diese Pumpe ist mit einem 5,5 kW-Motor ausgestattet. Die Pumpe kann nicht an ihrem Pumpenbetriebspunkt von 25 m³/h bei einer Förderhöhe von 35 m arbeiten, da sie für den gewählten Betriebspunkt überdimensioniert und ohne Einsatz eines Frequenzwandlers keine besseren Ergebnisse erzielt werden können.

Im erweiterten und den intelligenten Produktansatz fällt die Wahl auf eine Pumpe vom Typ CRIE15-3, die nur mit einem 4 kW-Motor ausgestattet ist. Es kann eine kleinere Pumpengröße gewählt werden, da die Pumpe dank des integrierten Frequenzwandlers im Motor nicht nur standardmäßig auf 2.900 U/min, sondern auf ca. 3.500 U/min hochgefahren werden kann. Auf diese Weise ist auch bei einer kleineren Pumpe eine höhere Leistung möglich. Die CRIE15-3 besitzt in den beiden Ansätzen folgende Pumpenkennlinien und Betriebspunkte.



	CRI 20-4 Standardproduktansatz	CRIE15-3 Erweiterter Produktansatz	CRIE 15-3 Intelligenter Produktansatz
5 m³/h in 12,5 % der Zeit: 900 Stunden/Jahr.	2034 kWh	1125 kWh	342 kWh
10 m³/h in 25 % der Zeit: 1800 Stunden/Jahr.	5454 kWh	3258 kWh	1314 kWh
15 m³/h in 25 % der Zeit: 1800 Stunden/Jahr.	6606 kWh	4374 kWh	2358 kWh
20 m³/h in 25 % der Zeit: 1800 Stunden/Jahr.	7434 kWh	5706 kWh	4410 kWh
25 m³/h in 12,5 % der Zeit: 900 Stunden/Jahr.	4014 kWh	3699 kWh	3699 kWh
Gesamt	25542 kWh	18162 kWh	12123 kWh

Bei einer in einem Wärmetauscher integrierten Pumpe in Standardgröße und einem durchschnittlichen Lastprofil können ca. 13.419 kWh pro Jahr eingespart werden, wenn die richtige Pumpenregelung eingesetzt wird. Zusätzlich entstehen folgende Vorteile.

- Der Einsatz eines Regelventils wird überflüssig.
- Der Druckverlust über das Regelventil bleibt beim obigen Beispiel unberücksichtigt, d. h. es sind noch höhere Energieeinsparungen möglich.
- Auf diese Weise können sogar noch kleinere Pumpen eingesetzt werden, die dank des Frequenzwandlers bei höheren Drehzahlen betrieben werden können.
- Manchmal ist der Einsatz einer noch kleineren Pumpe möglich, da nicht der Druckverlust im Ventil, sondern nur die in der Leitung und im Wärmetauscher entstehenden Verluste ausgeglichen werden müssen.

Dennoch sind die Anschaffungskosten einer Pumpe mit Frequenzwandler etwas höher als bei einer Standardpumpe. In diesem Beispiel belaufen sich die Kosten auf:

CRIE20-4, 5,5 kW-Motor PN 96500348, Preisindex 100

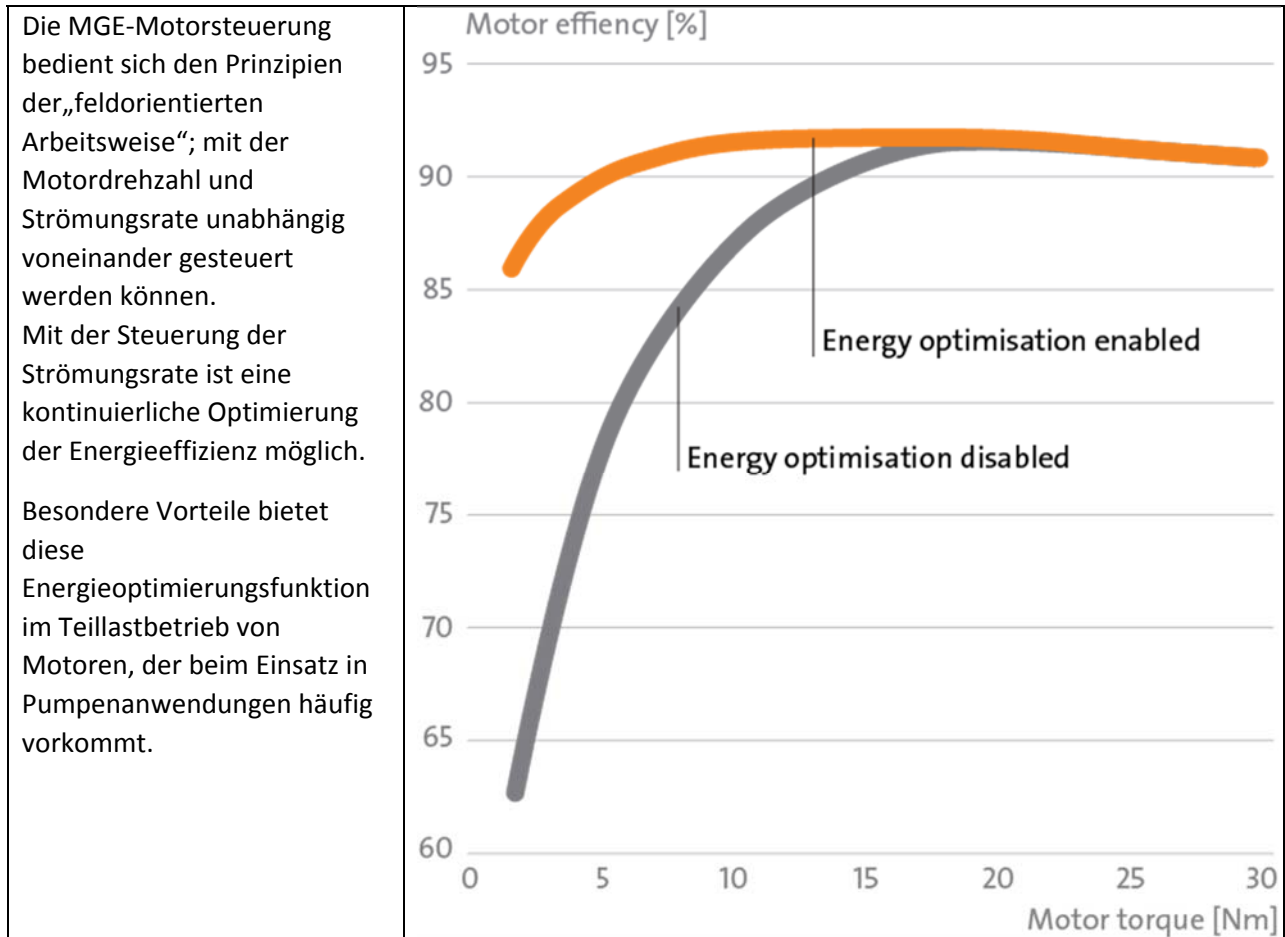
CRIE15-3, 4 kW-Motor PN 96514518, Preisindex 140

Bei Energiekosten von durchschnittlich 0,2 Euro/kWh sind jährliche Energiekosteneinsparungen von 2.684 EUR pro Jahr möglich.

Damit würden sich die Mehrkosten für die Anschaffung der CRIE15-3 innerhalb von 2 - 3 Monaten amortisieren.

Zudem entfallen die Kosten für das Regelventil und der vom Ventil verursachten Druckverlust entfällt (fällt allerdings nur marginal ins Gewicht). In einer Kühlanlage jedoch führen Verluste jeder Art zu einer Temperaturerhöhung des Kältemediums und wirken sich damit immer nachteilig auf den Betrieb einer Kühlanlage aus.

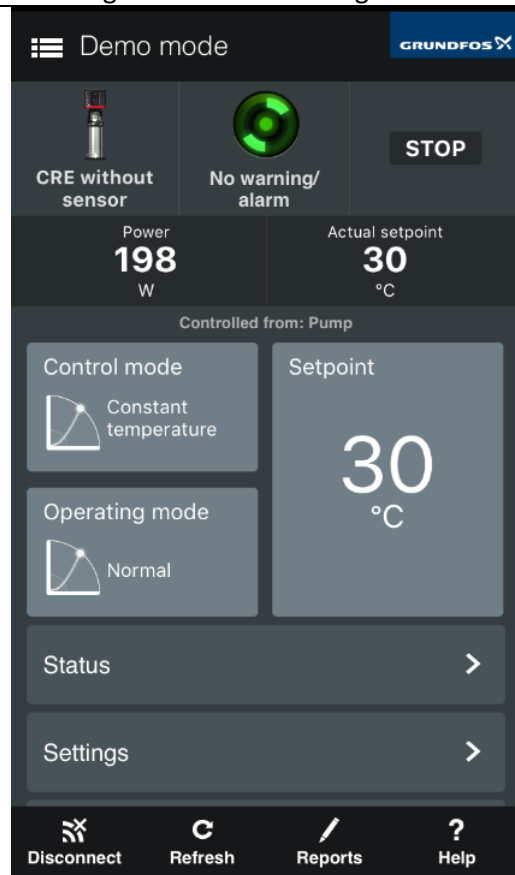
Zusätzlich zu dem erwähnten Einsparpotenzial besitzen Grundfos-Motoren, die mit einem integrierten Frequenzwandler ausgestattet sind, über eine Funktion, die nicht nur die Umweltfreundlichkeit der iSOLUTION Baureihe erhöhen, sondern auch ihre Energieeffizienz. Diese Energieoptimierungsfunktion sorgt dafür, dass der Motor seine hohe Effizienz selbst im Teillastbetrieb beibehält (siehe Pumpenkennlinie unten).



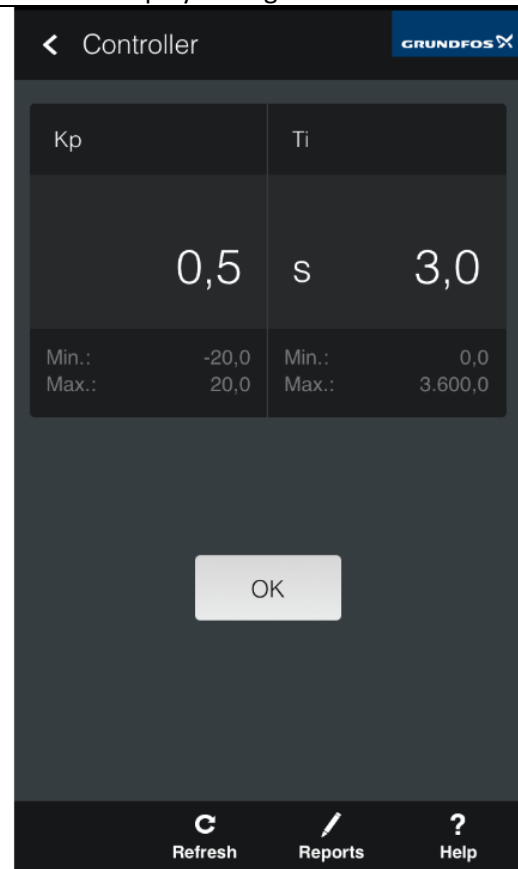
Die Einstellung eines MGE-Motors auf einen Konstanttemperaturbetrieb ist einfach mithilfe eines Smartphones und der App Grundfos GO (Android oder iPhone) auszuführen. Hierbei müssen folgende Einstellungen vorgenommen werden:

- Sensorsignal und Sensorbereich
- Stellen Sie den Sensor auf „Feedback Sensor“ ein, d. h. es ist der Sensor, welcher für die Pumpenregelung verwendet wird
- Stellen Sie die Mindestdrehzahl ein. Diese sorgt für einen stetigen Durchfluss im Wärmeübertrager
- Wählen Sie „geschlossener Kreislauf“, was den Einsatz des im MGE-Motor integrierten PI-Regler ermöglicht
- Der einzustellende Sollwert richtet sich nach der gewünschten Temperatur.
- Abschließend erfolgt die Einstellung der PI-Parameter für eine optimale Regelung.

Häufig ist der letzte Schritt mit Schwierigkeiten verbunden. Bei Grundfos-Produkten jedoch kann diese Einstellung ganz einfach vorgenommen werden, da mit der Wahl der Temperaturregelung eine automatische Einstellung der PI-Parameter auf die empfohlenen Werte vorgenommen wird. Damit ist eine sofort betriebsbereite Anlage sichergestellt, in der die erforderliche Temperatur bereitgestellt wird. Natürlich ist eine Feineinstellung der Anlage nach Bedarf problemlos möglich. Die nächsten Seiten zeigen Abbildungen für die Einstellung dieser Parameter wie auch die Display-Dialoge in Grundfos GO.



Übersicht der Grundfos GO-Anzeigen bei der Verbindungsherstellung mit einer Pumpe. Es wird die gewählte Konstanttemperaturregelung mit einem Sollwert von 30 °C angezeigt.



Dies sind die Standardparameter des PI-Reglers bei der Konstanttemperaturregelung. Hier ist darauf zu achten, dass es sich bei der (hier dargestellten) Standardeinstellung um eine direkte Regelungsart handelt. In Kühlanlagen ist jedoch häufig eine inverse Regelung erforderlich. Zu diesem Zweck ist vor dem Kp-Wert ein Minuszeichen zu setzen.

Fazit

Wie in diesem Whitepaper beschrieben gibt es verschiedene Möglichkeiten, die erforderliche Auslasstemperatur des Wärmetauschers sicherzustellen. Es sind fünf Aspekte zu beachten:

- Pumpen- und Motorleistung
- Regelungsmodus
- Anlagendimensionierung
- Lastprofil
- Anlageverluste























Ihr intelligenter Lösungsansatz heißt hier [Grundfos iSOLUTIONS](#), der mehr als nur Pumpen zur Optimierung der gesamten Pumpenanlage bietet. Wir bei Grundfos arbeiten nicht nur daran, Ihre Wünsche und Anforderungen kennenzulernen, wir stehen stets an Ihrer Seite und wollen mit unserer

Kompetenz vermeiden, dass Sie Lösungen wählen, die sich langfristig als unwirtschaftlich erweisen. Mit unseren intelligenten und leistungsstarken Regelungslösungen sorgen wir für das Optimum in Ihrer industriellen Kühlanwendung.

iSOLUTIONs sorgt zudem für zahlreiche weitere Vorteile. Sie können nicht nur die Pumpenleistung, sondern auch die gesamte Anlagenleistung überwachen und schneller, z.B. mit einer Anpassung des Sollwerts, reagieren.

Vergleichsdokument

Vorteile:

Sicherheit/Zuverlässigkeit	Kein Frequenzumrichter	iSOLUTION
Motorschutz im FU integriert.		
Ventilwartung und -instandhaltung.		
Präzise Temperaturen		
Geringeres Wasserschlag- und Kavitationsrisiko.		
Reduzierung der Geräusch- und Vibrationsentwicklung: Feste Drehzahlen führen zu Resonanzen in den Rohrleitungen.		
Ventile führen zu einer höheren Geräuschentwicklung.		
Einfache Inbetriebnahme		
Der Einstellbereich für den Pumpenstart kann für eine einfache Inbetriebnahme an Pumpenfamilien spezifisch angepasst (vorkonfiguriert) werden.		
Fehleranalyse mit detaillierten Protokolldateien. Überprüfung der Fehlerprotokollierung mit Grundfos GO.		
Transparenz bei Energieverbrauchsdaten, Drehzahlwerten, Betriebsstunden usw.		
Übermittlung der Daten an das Scada-System oder die Gebäudeautomation zur Überwachung und Überprüfung.		
Flexibilität einer E-Solutions		
Es kann während der Inbetriebnahme eine Temperatureinstellung innerhalb eines Wertebereichs vorgenommen werden. Auch Anforderungen an höhere Systemspezifikationen können erfüllt werden.		

Integration

Platzsparende Lösungen: Es werden keine zusätzlichen Steuerschränke und Wandmontageplätze benötigt.



Einfachere Anlagengestaltung --> Weniger Komponenten und Berechnungen erforderlich.



Wartung

Kein Einsatz von Drosselventilen erforderlich. Wartungen sind ebenfalls bei Ventilen notwendig.

