

Energieeffizienz
in der industriellen
Prozesswärmeversorgung

EINSPARUNGEN MIT GEREGELTEN PUMPEN – FÄLLE AUS DER PRAXIS

Whitepaper



INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	3
Kurzfassung	4
Motoren höherer Effizienzklasse – ein kleiner Fortschritt beim Stromverbrauch	4
Drehstromasynchronmotoren haben einen guten Teillastwirkungsgrad	6
Frequenzumrichterbetrieb und Optimierung der Verfahrenstechnik führen zu hohen Energieeinsparungen	7
Fallstudie I: Thermoölbeheizter Dampferzeuger	8
Fallstudie II: Mehrere parallele Heizkreise	10

VORWORT

Seit über 50 Jahren entwickeln, planen und produzieren wir Prozesswärmeanlagen für unsere Kunden weltweit. Alleine im Bereich Engineering arbeiten rund 30 hochqualifizierte und motivierte Ingenieure aus allen Technikbereichen an Lösungen für unsere Kunden auf allen Kontinenten.

Diese gesammelten Erfahrungswerte möchten wir gerne mit Ihnen teilen. Hierfür stellen wir Ihnen aus verschiedenen Bereichen kostenlose Whitepaper zur Verfügung.

Kosten für Ressourcen und Anlagenbetrieb steigen stetig. Das Thema Energieeffizienz ist heute wichtiger denn je geworden. Bisherige Abläufe und Prozesse müssen daher analysiert und ggf. nachgebessert werden. Ein nachhaltiger, zukunftssicherer Anlagenbetrieb stellt uns vor ganz neue ökologische und ökonomische Herausforderungen. Gerade letztere macht es sinnvoll zu entscheiden, in welchen Bereichen eine Investition nötig ist.

Wir hoffen, dass Ihnen dieses Whitepaper einen klaren Mehrwert bietet und Sie bei Ihrer Entscheidungsfindung optimal unterstützt.

Dr. Andreas J. Ness
Ness Wärmetechnik GmbH



Dr. Andreas J. Ness
Geschäftsführer der
Ness Wärmetechnik GmbH

KURZFASSUNG

Die Verwendung von Elektromotoren höherer Effizienzklassen bringt in Prozesswärmeanlagen kleine Energieeinsparungen im unteren einstelligen Prozentbereich. Sie sind für Neuanlagen und Erweiterungen sinnvoll. Der Austausch bestehender Antriebe lohnt sich wirtschaftlich in der Regel nicht.

Der Einsatz von Frequenzumrichtern bei gleichzeitiger Optimierung der Verfahrenstechnik dagegen bringt häufig Energieeinsparungen von bis zu 60%, bei gleichzeitiger technischer Verbesserung.

An zwei konkreten Fallstudien, einem einzelnen großen Verbraucher und einer Mehrverbraucheranlage, werden die möglichen Energieeinsparungen von ca. 60% bzw. ca. 50% aufgezeigt. Der investive Aufwand ist dabei vergleichsweise gering, was die Nachrüstung in bestehenden Anlagen wirtschaftlich attraktiv macht.

MOTOREN HÖHERER EFFIZIENZKLASSE – EIN KLEINER FORTSCHRITT BEIM STROMVERBRAUCH

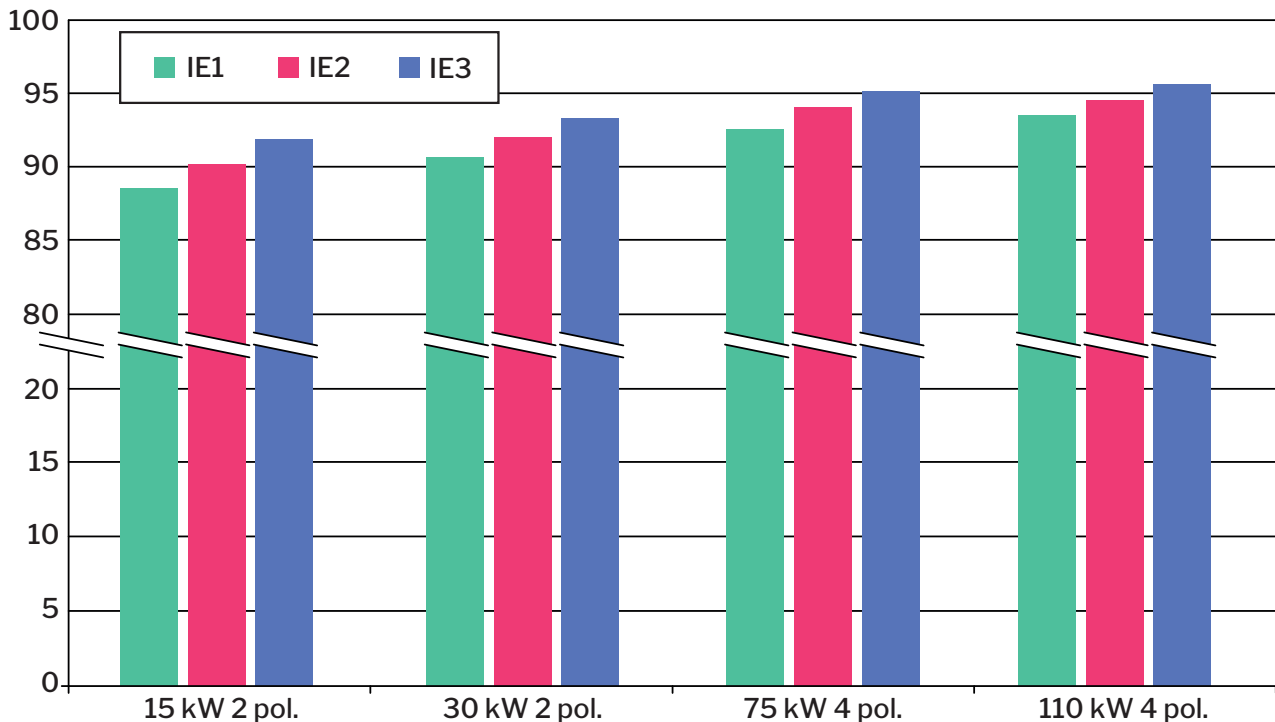
Vorreiter für die Effizienzsteigerung von Elektromotoren sind momentan die USA und Europa. Richtlinien für Neuinstallationen von effizienteren Motoren werden dort besonders vorschrieben. In der EU z.B. durch die Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG).

Sie gilt insbesondere für 2 bis 6-polige Motoren auf Höhen bis 1000 m mit einer Umgebungstemperaturen von -15°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ und Betriebshöchsttemperaturen bis 400°C , jedoch nicht in Ex-Zonen. Seit 2017 gilt die IE3 Pflicht für Asynchronmotoren von 0,75 kW bis 375 kW. Alternativ können IE2-Motoren mit Frequenzumrichter betrieben werden. Das bringt ganz sicher Vorteile beim Stromverbrauch.

Mit der Verordnung (EU) 2019/1781 vom 01. Oktober 2019 gilt ab dem 01. Juli 2021:
„Die Energieeffizienz von Dreiphasenmotoren mit einer Nennausgangsleistung von mindestens 0,75 kW und höchstens 1 000 kW, die 2, 4, 6 oder 8 Pole aufweisen und bei denen es sich nicht um Ex-eb-Motoren mit erhöhter Sicherheit handelt, muss mindestens dem [...] Effizienzniveau IE3 entsprechen.“

Ab dem 1. Juli 2023 werden die Regeln für Ex-eb-Motoren dann auch verschärft:

„Die Energieeffizienz von Ex-eb-Motoren mit erhöhter Sicherheit mit einer Nennausgangsleistung von mindestens 0,12 kW und höchstens 1 000 kW, die 2, 4, 6 oder 8 Pole aufweisen, und von Einphasenmotoren mit einer Nennausgangsleistung von mindestens 0,12 kW muss mindestens dem [...] Effizienzniveau IE2 entsprechen.“



Wirkungsgrade von Drehstromasynchronmotoren unterschiedlicher Energieeffizienzklassen bei Volllast (Daten aus Siemens Katalog)

Vergleicht man die Volllast-Wirkungsgrade von Drehstromasynchronmotoren (DASM) bei vier häufig verwendeten Baugrößen unterschiedlicher Nennleistung wird es interessant.

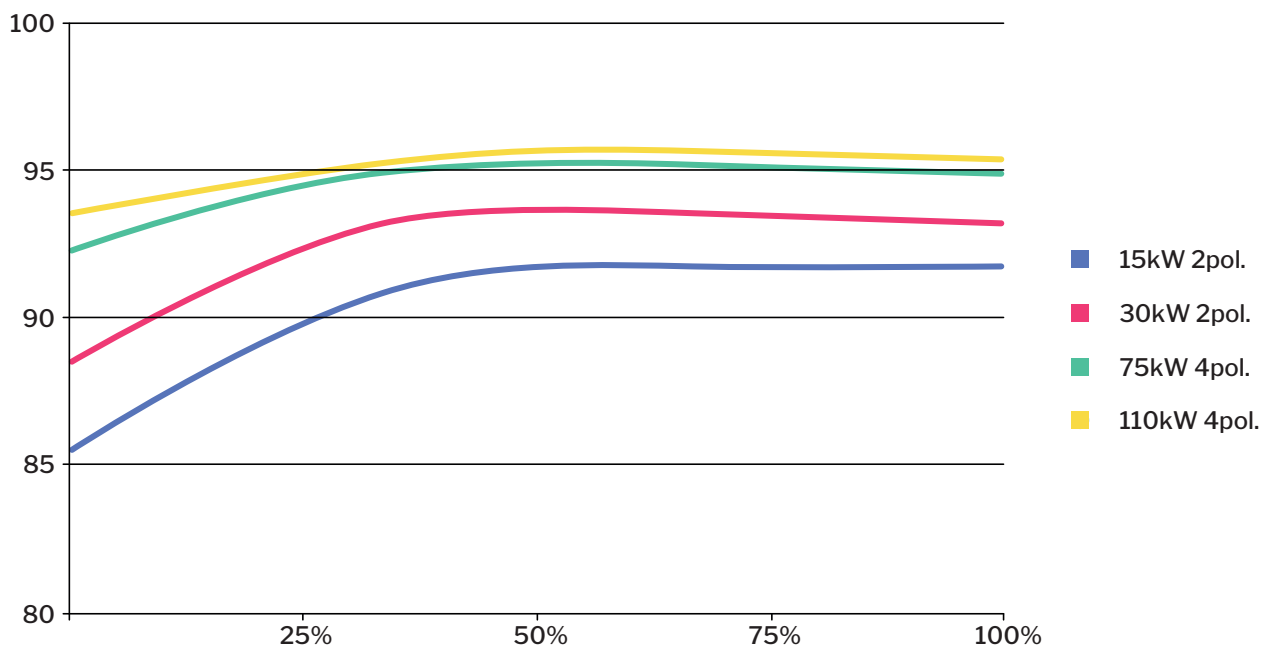
Drei Beobachtungen sind bemerkenswert:

- Größere Motoren haben einen etwas höheren Wirkungsgrad als kleinere (bei IE3: 110 kW 95,5% gegenüber 15 kW 91,9%).
- Der Unterschied zwischen IE3 und IE2 ist bei größeren Motoren geringer als bei kleinen (bei 15 kW: 91,9% gegenüber 90,3%, bei 110 kW: 95,5% gegenüber 94,5%).
- Insgesamt ist nur eine sehr kleine Wirkungsgraderhöhung bei IE3 gegenüber IE2 erkennbar (rund 1 Prozentpunkt).

Eine Umrüstung bestehender und funktionierender Motoren von IE2 auf IE3 ist daher eher unwirtschaftlich. Dies gilt umso mehr für die zukünftigen IE4-Motoren, die aus technischen Gründen in der Baugröße abweichen und auch einen mechanischen Umbau erforderlich machen werden.

DREHSTROMASYNCHRONMOTOREN HABEN EINEN GUTEN TEILLASTWIRKUNGSGRAD

Motoren werden bei Betrieb mit Festfrequenz mit einer Leistungsreserve von 15 bis 30% ausgelegt. Bei Betrieb mit Frequenzumrichter laufen DASM häufig mit weniger als 50% der Nennleistung. Es ist energetisch und wirtschaftlich also wichtig, dass auch der Teillastwirkungsgrad der Motoren hoch ist.



Teillast-Wirkungsgrade typischer Drehstromasynchronmotoren der Effizienzklasse IE3

Betrachtet man die Wirkungsgrade wird folgendes deutlich:

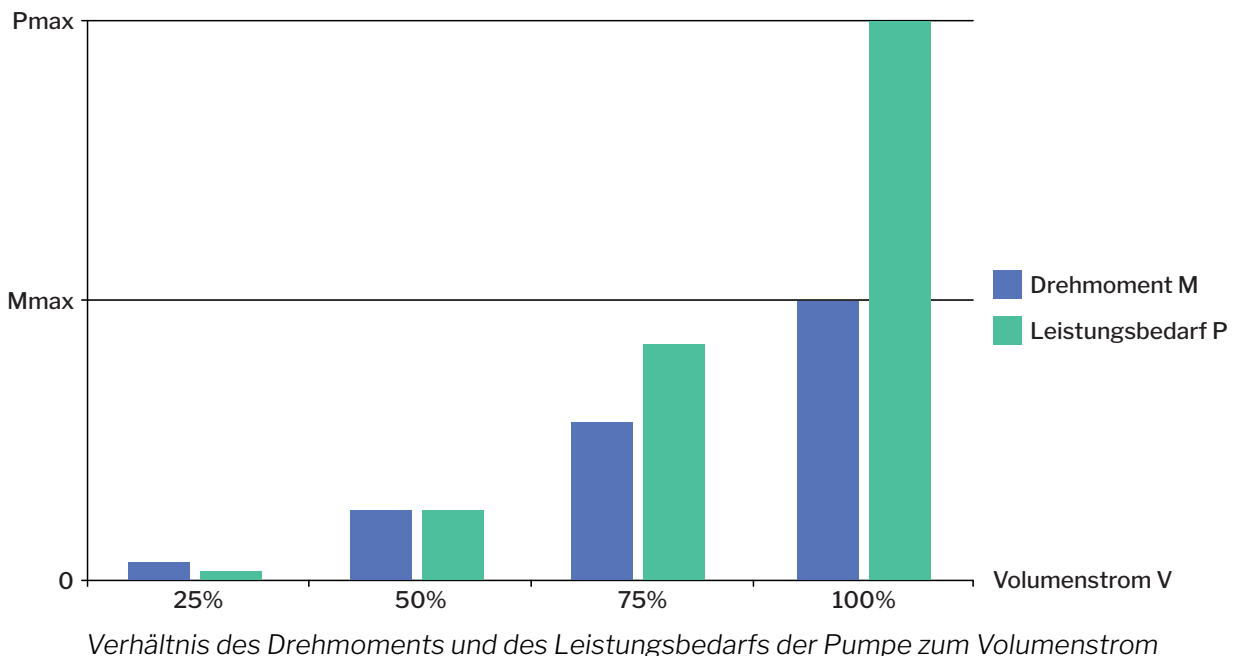
- Bei Last zwischen 50% und 100% der Nennleistung bleibt der Wirkungsgrad praktisch gleich
- Bei größeren Motoren ist der Wirkungsgrad bei 75% der Nennleistung sogar höher als bei Nennleistung
- Ein merklicher Abfall des Wirkungsgrads setzt erst unter 50% der Nennleistung ein
- Der Abfall des Teillast-Wirkungsgrads bei 25% der Nennleistung ist bei kleinen Motoren höher als bei großen
- Selbst bei kleineren Motoren mit 15 kW beträgt der Wirkungsgrad bei 25% immer noch ca. 86%.

Andere Motorbauformen wie z.B. Drehstromsynchronmotoren, insbesondere Reluktanzmotoren, haben bei sehr kleiner Teillast einen höheren Wirkungsgrad als DASM. Sie benötigen zum Anfahren aber immer einen speziellen Frequenzumrichter, der mit denen für DASM inkompatibel ist. Vor dem Hintergrund der ausreichend hohen Teillastwirkungsgrade von DASM ist ein Austausch bestehender Antriebssysteme hin zu Drehstromsynchronmotoren eher unwirtschaftlich. Bei der Neuinvestition ist dies jedoch eine prüfenswerte Option.

FREQUENZUMRICHTERBETRIEB UND OPTIMIERUNG DER VERFAHRENSTECHNIK FÜHREN ZU HOHEN ENERGIEEINSPARUNGEN

Viele Anlagen sind für eine maximale Leistung ausgelegt, werden aber regelmäßig bei wesentlich niedrigerer Leistung, häufig bei veränderlicher Leistung betrieben, z.B. wenn unterschiedliche Produkte damit hergestellt werden.

In allen Betriebszuständen, in denen nicht die maximale Leistung erforderlich ist, kann sehr viel Energie eingespart werden. Dies gilt besonders für Systeme mit Pumpen und Ventilatoren, bei denen der Widerstand (das Drehmoment) quadratisch mit Drehzahl bzw. Durchsatz steigt.



Der Leistungsbedarf hängt dann in der dritten Potenz vom Durchsatz bzw. Volumenstrom ab. Bei halbem Massen- oder Volumenstrom ist der theoretische Energiebedarf dann nur ein Achtel dessen bei Vollast!

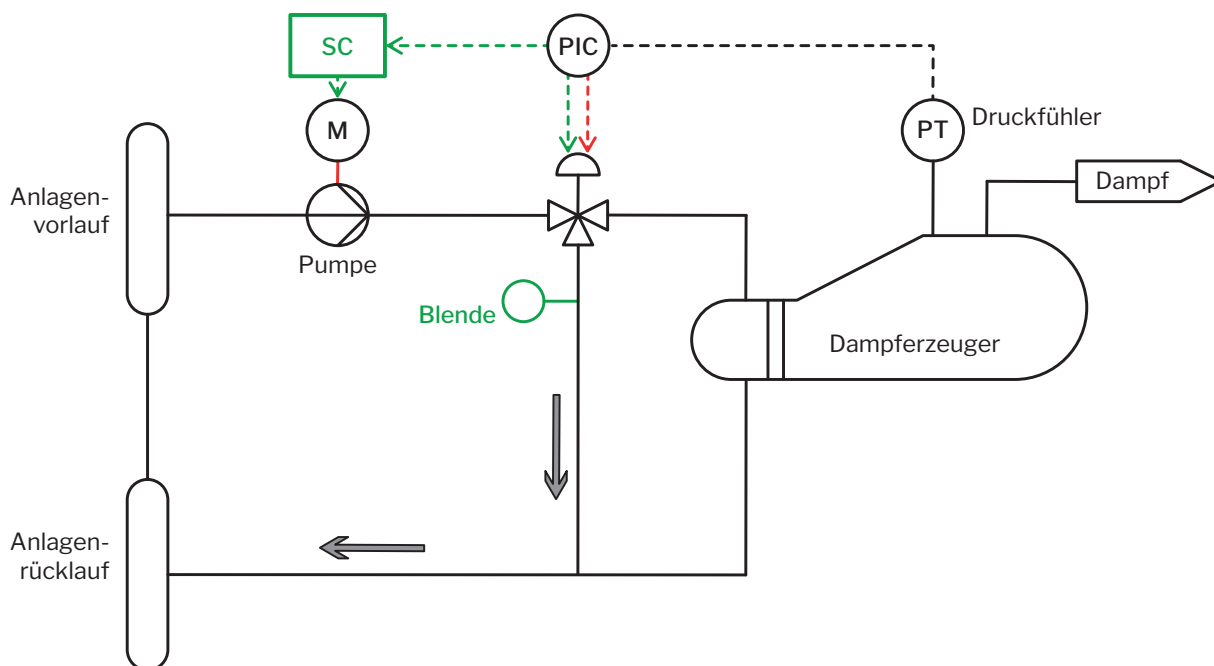
Selbst bei Berücksichtigung etwas schwächerer Teillastwirkungsgrade sind die so möglichen Einsparungen ein Vielfaches der Einsparungen die durch reinen Austausch der Motoren gegen Motoren höherer Effizienzklasse erreicht werden. Gleichzeitig können Qualitätsverbesserungen, z.B. in der Regelgenauigkeit, im Lärmschutz oder in der Lebensdauer erreicht werden.

Dies soll in zwei Fallstudien konkret betrachtet werden.

FALLSTUDIE I: THERMOÖLBEHEIZTER DAMPFERZEUGER – UMSTELLUNG VON VENTILREGELUNG AUF FREQUENZUMRICHTERREGELUNG

Der Dampferzeuger produziert Sattdampf für die Herstellung von MDF- (Medium Density Fiber) und HDF- (High Density Fiber) Platten. Er hat eine maximale Leistung von 27 t/h und einen maximalen Thermoölvolumenstrom von 960 m³/h. Zunächst lief der Dampferzeuger mit konstantem Thermoölvolumenstrom; der Dampfdruck wurde mit Hilfe eines Dreiwegeventils geregelt.

Ness Wärmetechnik hat das System mit Frequenzumrichter, Blende für das Regelventil und neuer Regelstruktur modifiziert. Der Regler arbeitet nun im Split-Range-Verfahren. Das Regelventil ist ganz offen wenn mit dem Frequenzumrichter (FU) geregelt wird und regelt erst, wenn der FU bei seiner niedrigsten Drehzahl angelangt ist.



Prinzipschema der Dampferzeugerversorgung

Im Betrieb ergaben sich die folgenden Messwerte. Bei der HDF- bzw. MDF-Produktion konnte eine Reduzierung um 65% bzw. 55% erreicht werden.

VOR MODIFIKATION	FREQUENZ	LEISTUNG	STROMEINSPARUNG
-	50 Hz	110 kW	-

NACH MODIFIKATION	FREQUENZ	LEISTUNG	STROMEINSPARUNG
MDF PRODUKTION	31 Hz	38 kW	65%
HDF PRODUKTION	36 Hz	51 kW	55%
STANDBY	20 Hz	31 kW	72%

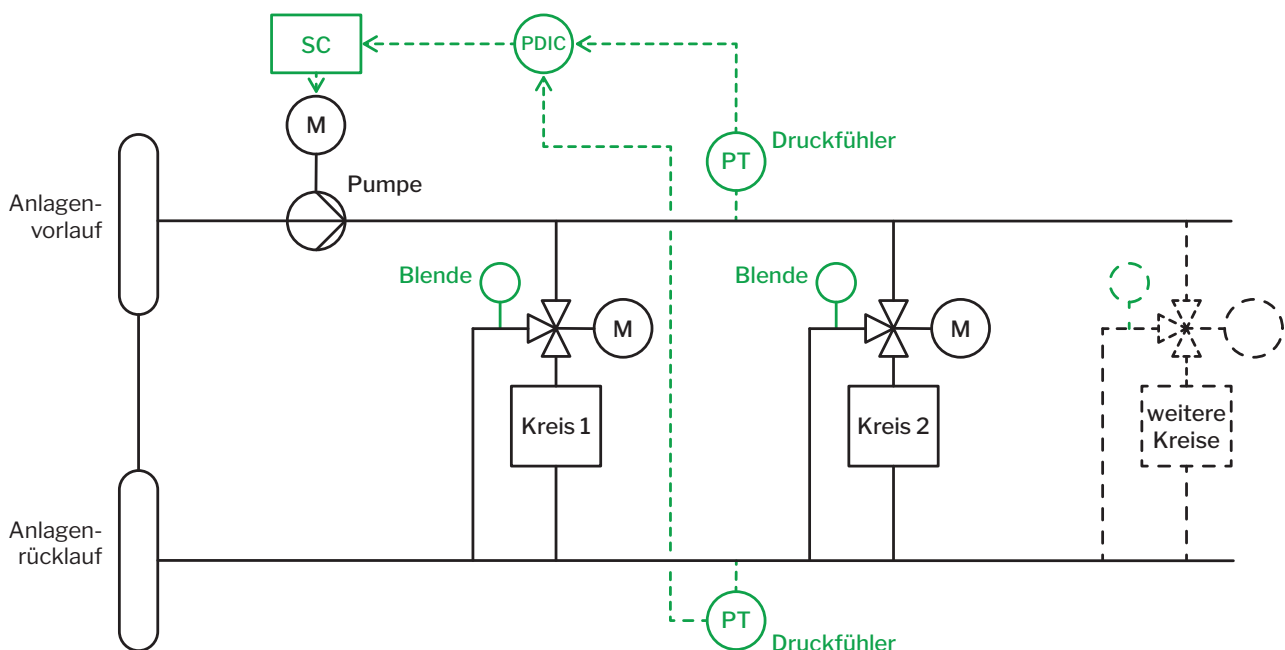
Elektrischer Leistungsbedarf beim thermoölbeheizten Dampferzeuger vor und nach der Modifikation

FALLSTUDIE II: MEHRERE PARALLELE HEIZKREISE – UMSTELLUNG AUF FREQUENZUMRICHTERBETRIEB UND DIFFERENZDRUCKREGELUNG

Mehrere parallele Heizkreise beheizen verschiedene Zonen eines Wärmeverbrauchers. Jeder Heizkreis verfügt über ein Dreiwegregelventil und ist individuell geregelt. Der Wärmebedarf der einzelnen Zonen hängt von Produkt und Rezept ab.

Eine Pumpe mit 90 kW Motor versorgt die Heizkreise mit heißem Heizmedium. Die Regelventile der Heizkreise lassen so viel Heizmedium in den Heizkreis wie gebraucht wird und geben den Rest ungenutzt an den Anlagenrücklauf zurück.

Ness Wärmetechnik hat die ungenutzten Heizmediumströme an den Heizkreisen mit Blenden so weit gedrosselt, dass gerade der für die Pumpe bei Minimumdrehzahl nötige Volumenstrom fließt. Die Pumpe wurde frequenzgeregelt; die Regelgröße ist ein konstanter Differenzdruck zwischen Vorlauf und Rücklauf am Eintritt der Heizkreise.



Prinzipschema der Mehrkreisversorgung

Im folgenden sind die Messdaten vor und nach der Modifikation zusammengefasst.

VOR MODIFIKATION	DIFFERENZDRUCK	FREQUENZ	LEISTUNG	STROMEINSPARUNG
-	-	50 Hz	79 kW	-

NACH MODIFIKATION	DIFFERENZDRUCK	FREQUENZ	LEISTUNG	STROMEINSPARUNG
MDF PRODUKTION	0,75 bar	35 Hz	33 kW	58%
HDF PRODUKTION	0,7 bar	36 Hz	34 kW	57%
STANDBY	0,7 bar	27 Hz	21 kW	73%

Stromverbrauch bei der Mehrkreisversorgung (Motor 90 kW) einer HDF/MDF-Press

Nach der Modifikation konnte bei beiden Hauptprodukten eine Reduzierung des Stromverbrauchs um mehr als 50% erreicht werden.

Zusätzlich hat die Anlage einen Freiheitsgrad gewonnen: den einstellbaren Differenzdruck. Mit geeignet gewähltem Differenzdruck vor den Regelventilen kann die Regelgenauigkeit verbessert werden. Er kann so gewählt werden, dass alle Regelventile im guten Regelbereich zwischen 10 und 90% sind und keines der Ventile auf 100% steht. Dieser Kreis würde sonst nicht genügend Wärme bekommen.

Ein weiterer Vorteil dieser Modifikation ist, dass praktisch keine ungenutzten Heizmittelströme mehr bestehen. Bei Neuanlagen muss damit der Erhitzer/Kessel-Volumenstrom nicht mehr nach dem theoretisch maximalen Gesamtstrom der Verbraucher ausgelegt werden. Es genügt nach dem zu erwartenden tatsächlichen maximalen Verbrauch auszulegen. Das spart auch hier Stromkosten und Investitionen.

Bei bestehenden Anlagen mit begrenztem verfügbarem Heizmedium-Volumenstrom kann dieser optimal ausgenutzt werden und eine Leistungssteigerung oder Erweiterung der Verbraucheranlage erreicht werden.

EMPFOHLENES VORGEHEN BEI NEUANLAGEN UND BESTEHENDEN ANLAGEN

Es ist grundsätzlich sinnvoll, bei jeder Pumpen- und Ventilatoranwendung zu überprüfen, ob mit einem sinnvoll abgestimmten Frequenzumrichter eine signifikante Energieeinsparung möglich ist.

Wenn verfahrenstechnisch bei konstanter Frequenz gefahren werden muss, ist eine Einsparung von einigen Prozent möglich. Ein Frequenzumrichter ist auch dann bei Neuanlagen in der Regel sinnvoll. Die Anlage kann dann genau auf den notwendigen Arbeitspunkt gefahren werden, notwendiges Überdesign und Sicherheitszuschläge verursachen dann nicht auf Dauer Mehrkosten.

Das kann sich auch bei bestehenden Anlagen rechnen. Überall dort, wo Anlagen mit wechselnder Leistung arbeiten und eine sinnvolle Regelgröße wie in den vorherigen Fallbeispielen gefunden wird, sind Einsparungen von 50% möglich bei gleichzeitiger Verbesserung der Anlagenqualität (Regelgenauigkeit, Lärm, Lebensdauer,...).

Dies rechnet sich bei Neuanlagen und bei bestehenden Anlagen in fast allen Fällen, weil der Investitionsaufwand nicht hoch ist. Verfahrenstechnischer Sachverstand ist jedoch erforderlich, weil in die Funktion der Anlage eingegriffen wird und unerwünschte Seiteneffekte vermieden werden müssen.

Bei Neuanlagen sollten Motoren mit hoher Effizienzklasse eingesetzt werden (IE3/IE4). Bei kleineren Antrieben sind auch IE4-Reluktanzmotoren mit speziellen Frequenzumrichtern verfügbar. Sie haben den höchsten Teillast-Wirkungsgrad, sind aber mit Drehstromasynchronmotoren und -Frequenzumrichtern inkompatibel. Daher sollten auch Ersatzteilkhaltung, Service und Wartung in die Entscheidung einbezogen werden.