



Energieeffizienz beim Betrieb von Kreiselpumpen sicher beherrschen - Ein Systemansatz

Dass Pumpen mit 300 TWh/a zu den Hauptverbrauchern elektrischer Energie in Europa aber auch weltweit gehören und nur bei Betrachtung des Systems ein Energieeinsparpotenzial beim Betrieb bis zu 60 % erreichbar ist, ist bereits hinlänglich bekannt. Um jedoch dieses Potenzial vollständig auszuschöpfen, darf die Betrachtung nicht nur auf eine einzelne Komponente – beispielweise die Pumpe des Pumpensystems beschränkt bleiben.

Hieran schließt nun direkt die Frage nach den Systemgrenzen an, d.h. die Frage welche Teile in einer Anlage zu berücksichtigen sind. Eine einfache Antwort gibt es jedoch nicht. Die Komplexität und Vielzahl von Pumpenanwendungen erfordert hingegen eine differenziertere Herangehensweise, welche durch ein strukturiertes Vorgehen gestützt durch angepasste und aufeinander abgestimmte Produkte und Werkzeuge gewonnen werden kann. Ist für eine Anlage bzw. einen Prozess eine Lösung erarbeitet, so kann diese auf gleichartige Anwendungen vervielfältigt bzw. auf dieses Erfahrungswissen zurückgegriffen werden.

Ein optimiertes Pumpensystem darf jedoch neben der Energieeffizienz die Prozesssicherheit und -qualität, den bestimmungsgemäßen Betrieb der Komponenten sowie die Wirtschaftlichkeit der Lösung nicht vernachlässigen.

KSB hat zu diesem Zweck ein Vorgehen – FluidFuture – definiert, welches in wenigen Schritten sicher zur Ausschöpfung des maximalen Einsparpotenzials (vgl. Abb. 2) unter Berücksichtigung der genannten Kriterien führt.

Schritt 1: Die Analyse des Systems

Die Systemanalyse ist die Basis für die Auslegung bzw. die Optimierung des Pumpensystems und enthält als zentrale Aufgabe die Bestimmung des applikationsspezifischen Lastprofils. Gleichmaßen für Bestandsanlagen, als auch für die Planung von Neuanlagen stellt das Lastprofil – als Abbild der zeitlichen Variation der Anlagenkennlinie – das wichtigste Kriterium für die energetische Optimierung des Pumpensystems dar und erlaubt eine quantitative Beurteilung des Energieverbrauchs und damit eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit möglicher Lösungen bzw. der Optimierungsschritte.

Um Fehler bei der Optimierung bzw. Auslegung des Pumpensystems zu vermeiden, ist die Sicherheit der Datenbasis des Lastprofils, d.h. inwieweit stimmt das Lastprofil mit der Realität überein, entscheidend.

Dies begründet, weshalb bei Bestandsanlagen die Bestimmung bzw. Messung des Lastprofils über einen für die Applikation repräsentativen Beobachtungszeitraum unabdingbar ist.

Kurzfristige, nicht repräsentative Messungen, z.B. über einen Tag, führen zwangsweise zu falschen Ergebnissen und damit zur falschen Auslegung des Pumpensystems. Aus diesem Grund bietet KSB mit PumpMeter und dem System Effizienz Service Produkte und Dienstleistungen u.a. zur Bestimmung des Lastprofils an.

Kann bei Bestandsanlagen das Lastprofil durch Messung noch sicher bestimmt werden, so ist diese Aufgabe bei der Planung von Neuanlagen umso schwieriger. So ist in vielen Fällen zwar der Auslegungspunkt bzw. einzelne Betriebspunkte noch mit hinreichender Sicherheit bekannt, jedoch ist die Verteilung eine Frage der späteren Fahrweise und Veränderung der Anlage während des Betriebs und damit mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Um diese Unsicherheit zu minimieren, bedarf es der Erfahrung und Kompetenz von Betreiber, Anlagenplaner und -bauer sowie des Pumpenherstellers. Insbesondere kann KSB hier auf eine breite Erfahrungsbasis meh-

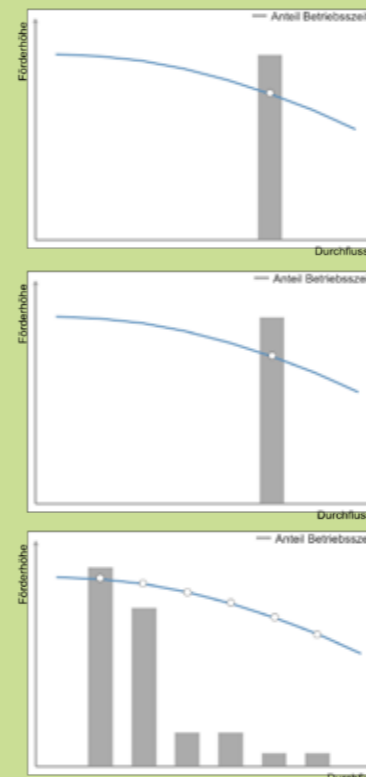


Abbildung 1: Exemplarische Lastprofile (von oben nach unten 1-3)

rerer zehntausender Pumpenauslegungen und über 13.000 installierter Pumpen zurückgreifen.

In Abb. 1 sind 3 Lastprofiltypen exemplarisch dargestellt. Lastprofil 1 entspricht einem einzigen, starren Betriebspunkt, Lastprofil 2 besitzt zwei einzelne Betriebspunkte (z.B. Anwendungen mit Absenkbetrieb) und Lastprofil 3 entspricht einem verteilten Lastprofil (z.B. Heizen/Kühlen-Lastprofil). Diese Lastprofile können abhängig davon, ob es sich um eine Bestandsanlage oder eine Neuanlage handelt, zu unterschiedlichen Optimierungs- bzw. Auslegungsergebnissen des Pumpensystems und seiner Komponenten führen, da in Bestandsanlagen das Umfeld des Pumpensystems zusätzliche Einschränkungen mit sich bringen kann (z.B. räumliche Gegebenheiten).

Schritt 2: Die Auslegung

Wesentlicher Bestandteil der Auslegung zur Erzielung eines energieeffizienten Pumpensystems ist die Berücksichtigung aller beteiligten Komponenten und deren Abstimmung aufeinander.

Fluid-Future - Systemansatz:

- Die Analyse des Systems
- Die Auslegung
- Die hocheffizienten Pumpen & Armaturen
- Die hocheffizienten Antriebe
- Die bedarfsgerechte Fahrweise

Die Vernachlässigung einer Komponente des Pumpensystems im Rahmen der Auslegung hat zur Folge, dass das maximale Energieeinsparpotenzial nicht vollständig ausgeschöpft werden kann. Daher endet die Auslegung nicht am Druckstutzen der Pumpe (vgl. Abb. 2).

Diese optimale Auslegung muss vor dem Hintergrund des Lastprofils und der damit verbundenen bedarfsgerechten Fahrweise erfolgen. So erfordert ein Lastprofil mit einem einzigen Betriebs- bzw. Auslegungspunkt eine andere Auslegung und Abstimmung der Komponenten als ein verteiltes Lastprofil, welches zur Optimierung des Energieverbrauchs einen Frequenzumrichter und Komponenten mit weitgehend konstantem Wirkungsgrad über einen großen Betriebsbereich zwingend erfordert (vgl. Lastprofil 3, Abb. 1).

Ein entscheidender Vorteil bei der Auslegung ist es, wenn alle Komponenten aus einer Hand von einem Systemhersteller bereit gestellt werden können, da dieser bereits alle Komponenten energetisch optimiert und aufeinander abgestimmt hat und über das zugehörige Erfahrungswissen zur Auslegung verfügt. Damit entfällt die aufwändige Auswahl und Abstimmung der Komponenten über verschiedene Lieferanten hinweg beim Anlagenplaner/-bauer oder Betreiber.



Abbildung 2: Einsparpotenziale

Dabei darf neben allen anderen bekannten Auslegungskriterien zur Sicherstellung des bestimmungsgemäßen Betriebes der Komponenten, wie z.B. Verschleiß und Medien auch die Wirtschaftlichkeit und die Betriebssicherheit der Lösung nicht vernachlässigt werden. Insbesondere ein energieeffizientes Pumpensystem muss dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit gerecht werden, da eine mögliche Mehrinvestition sich über den Lebenszyklus des Systems amortisieren muss. Aus diesem Grund muss auch das hierzu zugrunde gelegte Lastprofil eine quantitative Auswertung erlauben. Auch nützt das energieeffizienteste System nichts, wenn durch Auslegungsfehler die gewünschte Förderhöhe oder der gewünschte Druck nicht beim Verbraucher anliegt.

Betrachtet man nun exemplarisch Lastprofile der Art 1, so muss das Pumpensystem für einen einzigen Lastpunkt optimiert werden. Um dies zu erreichen, ist es erforderlich, eine Pumpe auszuwählen, deren optimaler Betriebspunkt – der Punkt mit maximalem Wirkungsgrad – dem Betriebspunkt in Durchfluss und Förderhöhe entspricht. Dies setzt voraus, dass auf ein eng abgestuftes Baugrößensortiment innerhalb einer Baureihe zurückgegriffen werden kann sowie die Möglichkeit Laufraddurchmesser bzw. Stufenzahlen an den entsprechenden Betriebspunkt anzupassen. So bietet KSB beispielsweise im Anwendungsgebiet der Normpumpen ein großes Produktspektrum, so dass stets die optimale Pumpe gefunden werden kann.

Ein grundsätzlicher Fehler bei der Auslegung besteht beispielsweise darin, Förderhöhe (Gl.1) und manometrischen Druck gleichzusetzen. Die Förderhöhe als energetische Größe ist stets konstant und beinhaltet neben der Druck- und der geodätischen Höhe auch die Geschwindigkeitshöhe abhängig von den Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Nennweiten von Saug- und Druckstutzen der Maschine.

Die Geschwindigkeitshöhe ist jedoch nicht als manometrischer Druck am Druckstutzen messbar, was dazu führt, dass sie manchmal fälschlicherweise als Druckverlust der Pumpe bezeichnet wird. Dieser Bezeichnung liegt jedoch eine eingeschränkte Komponentensicht und nicht eine Systemsicht zu Grunde. Darüber hinaus führen zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten des Mediums zu erhöhten Rohrreibungsverlusten. Durch geeignete Dimensionierung der Rohrleitung direkt nach der Pumpe – Diffusor auf einen größeren Nenndurchmesser – kann diese Energie größtenteils wieder in eine Druckhöhe und damit manometrisch messbaren Druck bei verringerten Strömungsgeschwindigkeiten umgewandelt werden.

Für den Fall, dass der Einsatz eines Diffusors nicht möglich ist, kann auf eine andere Pumpenbaugröße mit größeren Flanschdurchmessern

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + z_2 - z_1$$

Gleichung 1: Förderhöhe

zurückgegriffen werden, wodurch der Anteil der Geschwindigkeitshöhe zugunsten der Druckhöhe sinkt und der gewünschte manometrische Druck am Verbraucher vorherrscht.

Die Auswahl einer anderen Pumpenbaugröße führt hierbei nicht zu einem Wirkungsgradverlust. Dennoch spielt bei dieser Betrachtung die Wirtschaftlichkeit eine Rolle, da eine andere Baugröße zu veränderten Investitionskosten führen kann. Damit wird deutlich, dass die Auswahl und Auslegung den bereits genannten Zielkriterien Prozessqualität, Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz folgen muss und die Lösung nicht immer eindeutig ist. Die Reduktion der Komplexität dieser Aufgabe auf Teilaspekte z.B. Nennweitendurchmesser führt stets zu einem gemessen an den Zielkriterien nicht effizienten Pumpensystem und zu einer suboptimalen Lösung.

Neben der Auswahl der Pumpe und der Dimensionierung der Rohrleitung müssen die Höhenverluste H_v von Einbauten wie z.B. Rückschlagklappen, Absperrarmaturen und Kompensatoren ebenfalls bei der Auslegung betrachtet werden. Hierbei ist hier auf geringe Verlustbeiwerte

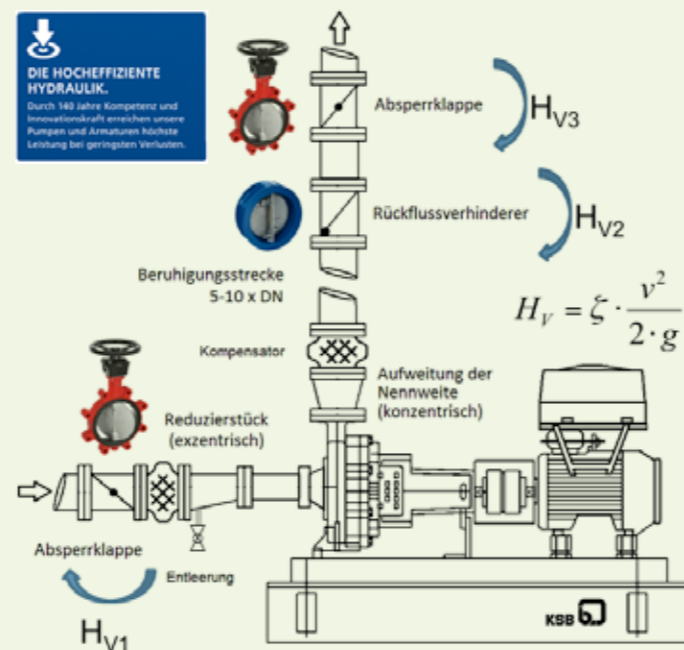


Abbildung 3: Pumpensystem

und deren Einbauposition zu achten (vgl. Abb. 3). Das Beispiel zeigt jedoch die Komplexität und notwendige Abstimmung der Komponenten bei der Auslegung des effizienten Pumpensystems, welche jedoch von Systemherstellern und deren Produktspektrum mit allen relevanten Komponenten bereits während der Konstruktion berücksichtigt werden kann.

3. Schritt: Die bedarfsgerechte Fahrweise

Ein wesentliches Element des energieeffizienten Betriebs einer Kreiselpumpe ist die Fahrweise. Sie muss abhängig vom Lastprofil gewählt werden.

Passt das Pumpensystem die Förderhöhe direkt an den Bedarf an, d.h. wird nur die Förderhöhe erzeugt, welche zur Erreichung des gewünschten Durchflusses erforderlich ist, so ist die Energieeinsparung im Vergleich zur Drosselregelung bis zu 60 % und damit maximal.

Ziel muss es zusätzlich sein, die Qualität der Prozessregelung hierbei nicht zu verringern und das Verfügbarkeitspotenzial der Komponenten auszuschöpfen.

Eine Messung der Regelgröße des Pumpensystems z.B. der Druck am Verbraucher, welcher als Istwert an das Pumpensystem gegeben wird, garantiert die höchste Regelgüte und höchste Energieeffizienz. Ist jedoch nur eine pumpennahe Messung z.B. des Differenzdrucks zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe möglich, so ist das intelligente Pumpensystem in der Lage die zwischen der Messung und dem Verbraucher auftretenden Rohrreibungsverluste zu schätzen und zu kompensieren. Im Falle des Lastprofils 3, kann beispielsweise durch die Auslegung der Betriebspunkt mit maximalem Durchfluss so gewählt werden, dass er im Bestpunkt der Pumpe liegt. Durch Drehzahlregelung erfolgt dann die Anpassung aller weiteren Betriebspunkte. Dabei wird ein wesentlicher Aspekt der Komponenten des Pumpensystems deutlich: Bei bedarfsgerechter Fahrweise muss der Wirkungsgrad aller Komponenten über einen breiten Bereich weitgehend konstant bleiben. Wirkungsgradbetrachtungen am Nennpunkt erlauben somit keine Aussage über die Effizienz des Pumpensystems für eine gegebene Applikation.

KSB hat zu diesem Zweck einen magnetfreien Synchron-Reluktanzmotor der Effizienzklasse IE4* entwickelt (KSB SuPremE), welcher die

ser Anforderung genügt und im Vergleich zur Asynchronmaschine einen deutlich höheren Teillastwirkungsgrad besitzt. Damit erfüllt dieser Antrieb für ein Pumpensystem mit bedarfsgerechter Fahrweise die notwendigen Voraussetzungen. Abhängig vom Lastprofil kann mit diesem Antrieb zusätzlich 26 % Energie im Vergleich zur IE3*-Asynchronmaschine gespart werden. Ein Nutzen welcher sowohl im Nachrüstfall als auch bei der Neuplanung einfach gewonnen werden kann.

Fazit: Die alleinige Betrachtung von Komponenten und deren Nominalwirkungsgraden liefert keine Antwort auf die Frage nach einem energieeffizienten Pumpensystem. Vielmehr muss ausgehend vom applikationsspezifischen Last-



Abbildung 4: Hocheffizienter Antrieb und bedarfsgerechte Fahrweise integriert im Pumpenmodul

profil die Auslegung, die Auswahl und der Betrieb der Komponenten des Systems erfolgen. Neben der Pumpe sind hierzu der Antrieb (Motor und ggf. Frequenzumrichter), die Armaturen, die richtige Rohrleitungsdimensionierung sowie die Fahrweise zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen. Insbesondere gilt dies auch für das Zusammenspiel von Motor und Frequenzumrichter. Da die Umweltwirkung eines Produktes bereits während der Konstruktion festgelegt wird, kann die optimale Lösung daher nur durch einen Systemhersteller bereitgestellt werden.

Lastkollektive verändern sich aufgrund von Alterungserscheinungen oder veränderten Betriebspunkten der Anlage. Um auf diese Veränderungen während des Betriebs des Pumpensystems zu reagieren z.B. durch Anpassung der Fahrweise, sollte das Lastkollektiv auch nach der Erstinbetriebnahme kontinuierlich erfasst und überwacht werden. Damit unterstützt KSB die Systematische Herangehensweise eines Energiemanagements gemäß EN 16001/ISO 50001.

Die vorgestellte Vorgehensweise und vorgestellten Komponenten führen im Ergebnis zu einer nachhaltigen, energieeffizienten und wirtschaftlichen Lösung und entsprechen damit auch den formulierten Zielen der Ökodesign-Richtlinie.