

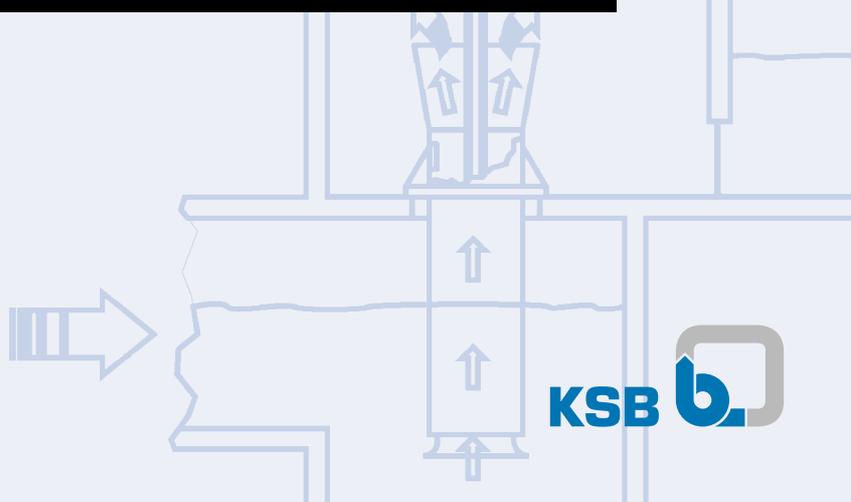
# TECHNIK

## KOMPAKT

AKTUELLES FACHWISSEN FÜR DIE PRAXIS



**Pumpen- und Anlagentechnik** – Lebenszykluskosten bei Auswahl und Betrieb von Pumpsystemen (Seite 2) / Einfluss der Anlagenplanung auf die Lebenszykluskosten (Seite 6) / Der LCC-Rechner und seine Möglichkeiten (Seite 10) / Innovatives Design senkt Betriebskosten bei Pumpstationen (Seite 14) / Service – Aktuelles Leistungsspektrum und Chancen (Seite 16)



Die übergreifende technische und betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise von Anlagenkomponenten und die Auswertung der „Total Cost of Ownership“ beziehungsweise der so genannten „Lebenszykluskosten“ (LCC) haben in den letzten Jahren bei den Betreibern weiter an Bedeutung gewonnen.

## Lebenszykluskosten bei Auswahl und Betrieb von Pumpsystemen

Dr. Sönke Brodersen

### DIE LEBENSZYKLUSKOSTEN BESTEHEN AUS

- Anschaffungskosten
- Installationskosten
- Betriebskosten
- Wartungskosten
- Energiekosten
- Stillstandskosten
- Entsorgungskosten

In den frühen 80er Jahren erschienen die ersten Veröffentlichungen zu diesem Thema im englischsprachigen Raum. In der Folge des gestiegenen Umweltbewusstseins gab es auf der internationalen politischen Ebene die Abkommen von Rio (1992) und Kyoto (1997), die eine Senkung des weltweiten Energieverbrauchs zum Ziel hatten. Auch die Europäische Union ist heute dabei, diese Vereinbarungen in Verordnungen und Vorschriften umzusetzen. Die EU-Staaten haben sich verpflichtet, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2010 gegenüber 1990 durchschnittlich um 8% zu senken, allein in Deutschland will man eine Reduzierung um 21% erreichen. Zur Zeit wird gerade das „Motor Challenge“-Programm der EU gestartet, das zum Ziel hat, den Energieverbrauch durch Elektromotor angetriebene Aggregate zu reduzieren.

### EINSPARPOTENZIALE BEIM STROMVERBRAUCH DER PUMPEN

Angesichts des hohen Energieverbrauchs durch Elektromotor angetriebene Systeme

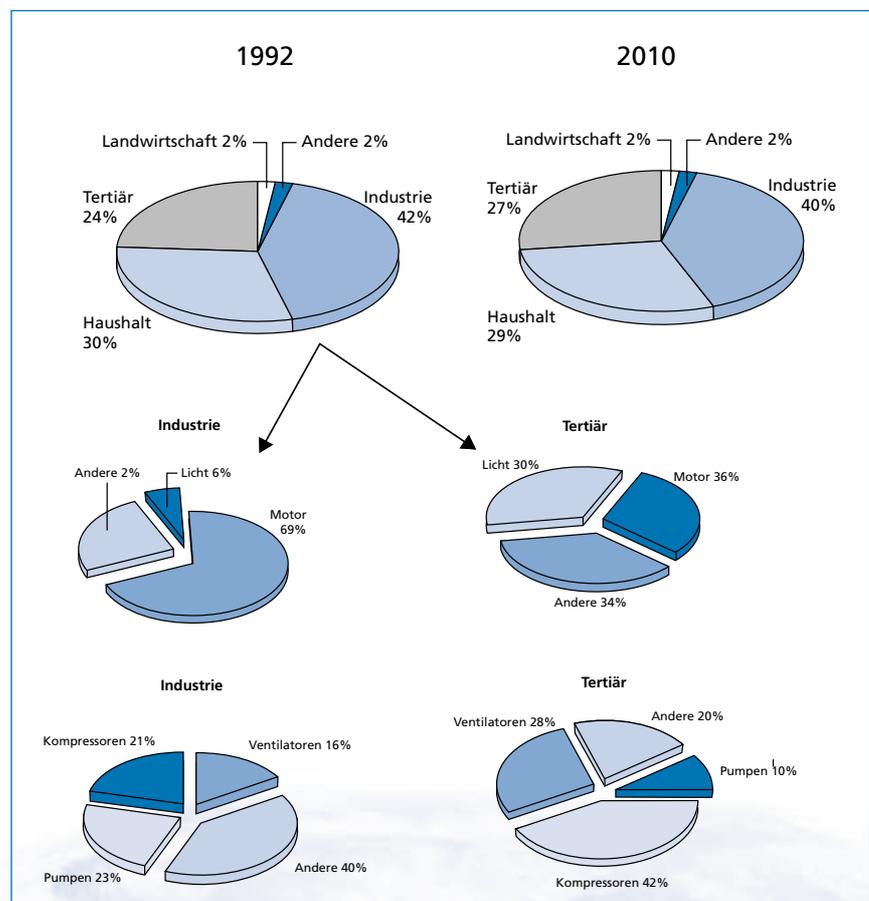
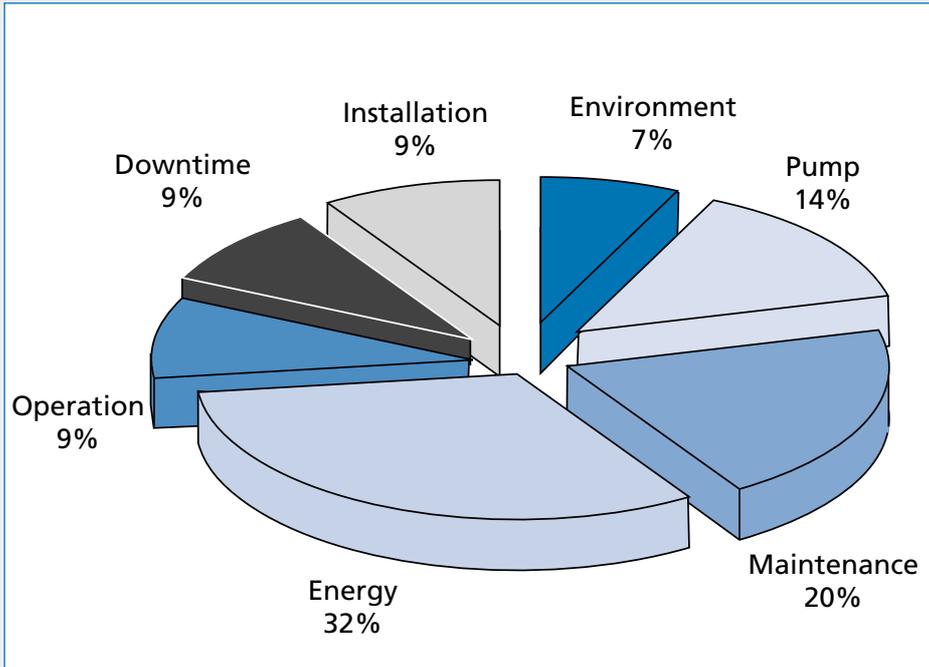


Bild 1: Elektrischer Energieverbrauch in der EU

me wird deutlich, dass Energieeinsparmodelle hier ansetzen müssen (Bild 1 und 2). Wären nur 35% aller in der deutschen Industrie eingesetzten Pumpen mit Drehzahlregelung versehen, ergäbe sich eine Energieeinsparung von 16.000.000.000 kWh pro Jahr. Bei den heutigen Industriestrompreisen würde dies einer jährlichen Einsparung im Milliarden-Eurobereich entsprechen. In Großbritannien werden deshalb bereits heute Investitionen in energiesparende

Technologien vom Gesetzgeber mit Steuervorteilen belohnt. Die EU verfolgt dieses Thema aber nicht nur aus Umweltaspekten, sondern auch zur Sicherstellung der Versorgung und zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit ihrer Industrien. Um diese politischen Anforderungen zu erfüllen, haben Organisationen wie EUROPUMP und das Hydraulic Institute HI (USA) einen Leitfaden erstellt, der sich an Betreiber von Pumpen und Pumpsystemen wendet



**Bild 2:** Typische Kostenverteilung für eine mittelgroße Industriepumpe

und ihnen Möglichkeiten der Energieeinsparungen, aber auch anderer Kostenreduzierung aufzeigt. Diese Aktivitäten müssen auch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass Pumpen weltweit etwa 20% der Energie verbrauchen!

### NUR DIE RENDITE ZÄHLT!

Bei Entscheidungen über Kapitalinvestitionen geht es vor allem um eine gute Rendite. Projekte und Maßnahmen müssen sich in vorgegebener Zeit amortisieren.

Durch die ganzheitliche LCC-Betrachtung des Pumpenbetriebs in Anlagen lassen sich neben Energieeinsparungen auch andere Sparpotenziale erkennen, die über eine geeignete Produktwahl umgesetzt werden können:

- Bessere Verfügbarkeit einer Anlage und damit eine höhere Produktivität
- Reduzierung des Wartungsaufwandes und der Reparaturkosten
- Bessere Kapazitätsausnutzung
- Geringere Entsorgungskosten

Trotz der grundsätzlichen Vorteile der LCC-Betrachtung gibt es noch Herausforderungen, die den Pumpenherstellern große Chancen bieten. Die LCC-Thematik war Leitthema des letzten „Internationalen Pumpenanwender-Forums Karlsruhe 2000“ und auch auf dem 2. Frankfurter „Pumpenhersteller-Forum“ im September 2002 stand sie wieder im Vordergrund. Hier wurden noch einmal wichtige Ergebnisse aus Karlsruhe behandelt, die Hinweise auf weitere Voraussetzungen und Aktivitäten geben sollen.

Ein Workshop der Karlsruher Tagung lieferte auf die Frage nach den Hindernisgründen für die Anwendung der Lebenszykluskosten folgende drei Herausforderungen für die Pumpenhersteller und Betreiber:

- Problematik des Anlagenbaus
- Verifizierung der relevanten LCC-Daten
- Vereinbarkeit mit Budgetvorgaben

### VERSCHIEDENE INTERESSEN VON ANLAGENBAUERN UND BETREIBERN

Anlagenbauer und Betreiber haben sehr unterschiedliche Interessenlagen. Für den Anlagenbauer steht der Verkaufspreis seiner Anlage an erster Stelle der Prioritätenliste. Für den Betreiber stehen eher die Gesamtkosten über die Laufzeit einer Anlage im Vordergrund. Hier sind die Erstellungskosten nur ein Teil des Ganzen, der Fokus liegt auf den Unterhaltskosten. Um den Anlagenbauer stärker für die Gesamtkosten seiner Anlage zu interessieren, bedarf es entsprechender Vorgaben durch den Betreiber.

Die Verwendung LCC-optimierter Produkte kann aber auch die Planungs- und Installationskosten verringern. So kann etwa der Einsatz einer Drehzahlregelung zum präventiven Ausgleich von Planungsunsicherheiten und teuren Planungsfehlern dienen. Betriebswirtschaftliche Veränderungen in der Industrie wie Outsourcing oder *BOT-Modelle (build-operate-transfer)* verstärken die Bedeutung der LCC-Betrachtung. Wenn der Hersteller einer Anlage den Betrieb für seinen Kunden in den ersten Jahren übernimmt und mit seinem Expertenwissen für deren optimale Funktion sorgt, hat er natürlich ein großes Interesse an niedrigen Wartungs-, Reparatur- und Energiekosten. Er wird sich bei Investitionsentscheidungen andere Schwerpunkte setzen. Weitere Ansatzpunkte zur Kostenreduzierung bei Anlagenherstellern ergeben sich aus verringerten Planungs- und Installationskosten sowie Paketbildung und Modulangeboten seitens des Pumpen- und Armaturenherstellers.

**Build-operate-transfer:** ein Hersteller erstellt eine Anlage und betreibt diese über einige Jahre, bevor sie an den Kunden übergeht.

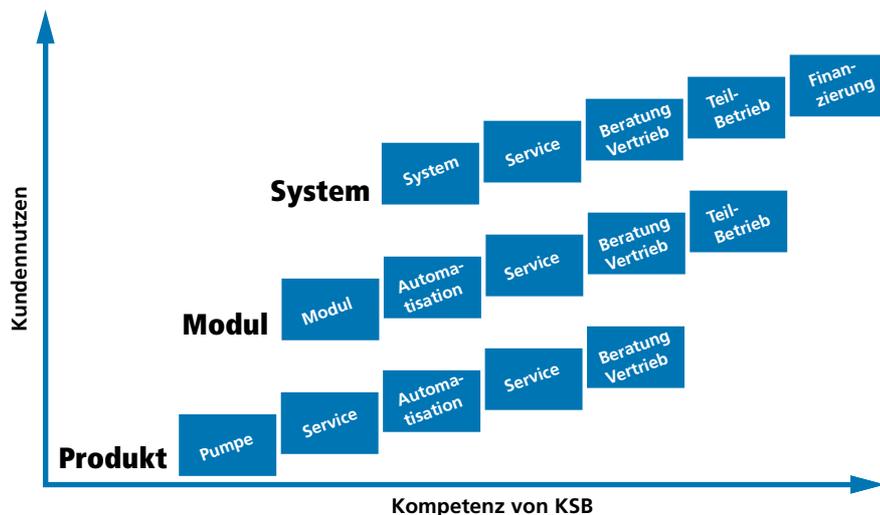


Bild 3: Kompetenz erzeugt Kundennutzen

### LCC-DATEN SAMMELN

Eine große Herausforderung bei der praktischen Umsetzung der Lebenszykluskosten-Thematik stellt die quantitative Bewertung der Produktivitätssteigerung dar. Für eine Bewertung der betriebswirtschaftlichen Vorteile, die eine technische Lösung vor anderen Alternativen bietet, benötigt man belastbare Zahlen und Fakten der einzelnen Kostenelemente. Sind diese bei den Energiekosten noch relativ einfach zu ermitteln, ist es bei den Betriebs-, Wartungs- und Reparatur- sowie Ausfallkosten und ihrer zeitlichen Intervalle (MTBF, MTBR, etc.) schon sehr viel schwieriger, gute und statistisch abgesicherte Daten zu generieren. Hier können moderne betriebswirtschaftliche EDV-Systeme des Betreibers eine große Hilfe sein. Mit diesen Hilfsmitteln können für einzelne Positionen, wie Pumpen an bestimmten Stellen in einer Anla-

ge, Kostenprofile erstellt werden und Verbesserungspotenziale auf ihre Lebenszykluskosten hin bewertet werden. Für die Berechnung der Kostenvorteile von Drehzahlregelung und Überwachung sind für verschiedene Branchen Durchschnittswerte zusammengestellt worden, die in den KSB-LCC-Rechner eingeflossen sind.

### KOSTENVERURSACHER ERMITTELN

Weiß man, welche Komponenten in einer Anlage welche Kosten verursachen, dann werden häufig große Einsparpotenziale sichtbar. Da die Anlagenlebensdauer bis zu 20 Jahre betragen kann, ist es bei der Auslegung und Beschaffung wichtig, die Kosten über die gesamte Zeitspanne zu betrachten. Aber auch bei bestehenden Anlagen kann es sehr sinnvoll sein, sie einer Kostenanalyse zu unterziehen.

Dass viele existierende Anlagen nicht optimiert sind, liegt an sich wandelnden Anforderungen oder veränderten Randbedingungen für Wartung und Betrieb. Auch der Einsatz neuer Technologien in Altanlagen kann deren Effizienz steigern. Separate Budgetvorgaben für einzelne Bereiche eines Betriebs behindern aber oft die Umsetzung geeigneter

LCC-Maßnahmen. Werden in einem Betrieb die Budgets für Wartung und Einkauf getrennt verantwortet, kann keine optimale Gesamtkostenlösung entstehen. Können die Verantwortlichen die Qualität der zu kaufenden Produkte mitbestimmen, wirkt sich das auf die späteren Unterhaltskosten deutlich positiv aus. Es gibt aber auch viele Fälle, in denen der Kunde „kein Geld hat, um Geld zu sparen“, z.B. für energie- oder wartungssparende Investitionen. Hierfür müssen Finanzierungsangebote entwickelt werden. Konkrete Ansatzpunkte für die Weiterführung der LCC-Betrachtung im Kunden-Lieferantenverhältnis der Pumpen- und Armaturenbranche sind (Bild 3):

- Optimale Anlagenplanung
- Optimale Pumpen für den Einsatzfall
- Beratung durch den Pumpenhersteller
- Pumpen mit Drehzahlregelung
- Pumpen / Armaturen mit Zusatzfunktionen (Pumpe als „Anlagensensor“, Intelligenz, ...)
- Module (Pumpe + Regelung + Armaturen)
- Aktive Einbindung in Systeme
- Service-Dienstleistungen incl. Teleservice etc.
- Finanzierungsdienstleistungen

### ANLAGEN MIT DREHZAHNREGELUNG KOSTENGÜNSTIG BETREIBEN

Neben einer gründlichen Analyse der Anlagenanforderungen ist die Wahl der richtigen Pumpen, Armaturen, Steuerungs- und Regelsysteme sowie Rohrleitungen und Fittings entscheidend. Dem Rohrlängendurchmesser in einer Anlage kommt eine besondere Rolle zu, da die Installations- und laufenden Kosten sowie die Größe der zu beschaffenden Komponenten direkt vom ihm abhängen. In diesem Zusammenhang ist eine kompetente und LCC-gerechte Beratung durch den Pumpen-/Armaturenhersteller gefordert.



Drehzahlregelte Pumpenanlagen sorgen durch ihren Betrieb nahe dem Optimum für:

- **Energieeinsparung**
- **verlängerte Wartungsintervalle, da die Pumpenbelastung sinkt**
- **weniger Reparaturen und geringeres Ausfallrisiko**
- **Senkung der Ausfallkosten**

Je nach Struktur des Betreibers kann über eine Drehzahlstellung auch die Anzahl der Pumpengrößen verringert werden. Eine Pumpengröße lässt sich zum Beispiel für unterschiedliche Anforderungen oder für absehbare Anlagenerweiterungen einsetzen. Eine Integration der Regelung in das Gesamttaggregat wie beim Hya Drive kann die Installation und den Betrieb erleichtern. Natürlich haben die Kostenvorteile der Drehzahlregelung auch ihre physikalischen Grenzen. Etwa bei Anlagen die niedrige Rohrleitungsverluste oder einen hohen statischen Anteilen haben.

### ZUSTANDSDIAGNOSE ERHÖHT VERFÜGBARKEIT

Zusätzliche Funktionen wie Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose erhöhen darüber hinaus die Verfügbarkeit. Sie können für eine preiswerte, bedarfsorientierte Instandhaltung und damit für die Senkung der Betriebskosten sorgen. Dabei soll die Auswertung der an der Pumpe abgreifbaren Signale und Daten aber nicht Schwächen in der Pumpenkonstruktion abfangen, sondern der Überwachung einer ganzen Anlage zugute kommen. Die Verknüpfung der Daten mit dem Wissen des Herstellers zum typischen Reaktionsverhalten der Pumpe und ihrer Bestandteile bei Abweichungen vom zulässigen Betrieb liefern wertvolle Informationen. Diese können dann zur Reduzierung oben genannter Kostenblöcke genutzt werden. So wird Pump Expert als „Anlagensensor“ eingesetzt. Die technische Umsetzung erfolgt über eine standardisierte Hardware mit den üblichen Schnittstellen zu Leit- und Steuerungssystemen.

Das Kernstück bildet die Software mit dem integrierten Expertenwissen.

Energiekosten sowie verlängerte Wartungs- und Reparaturintervalle stehen oft an erster Stelle der LCC-Kostenpotenziale. Betrachtet man aber kritische Anlagen, so ist der Wert der Produktionssicherung, der Vermeidung von Produktionsausfallkosten, der wichtigste Punkt. Hier liegt auch der größte Kostennutzen bei der Investition in Überwachungselemente.

### MODULE, SYSTEME UND DIENSLEISTUNGEN

Die Einsparungen an einzelnen Komponenten wie Pumpen und Antrieben können weiter verdichtet werden, wenn diese in Module und Systeme zusammengeführt werden und das Zusammenspiel optimiert wird (Integrierte Drehzahlregelung, Integration dezentraler Steuerungselemente, Armaturen, Rohrleitungen, Überwachungs- und Sicherungselemente).

Selbstverständlich sind Servicedienstleistungen als Bestandteil von Service- oder Dienstleistungspaketen als weiteres, sehr wichtiges LCC-Potenzial geeignet, die Kosten der Anlagenbetreiber zu senken, wenn diese professionell organisiert sind und als variable Kosten

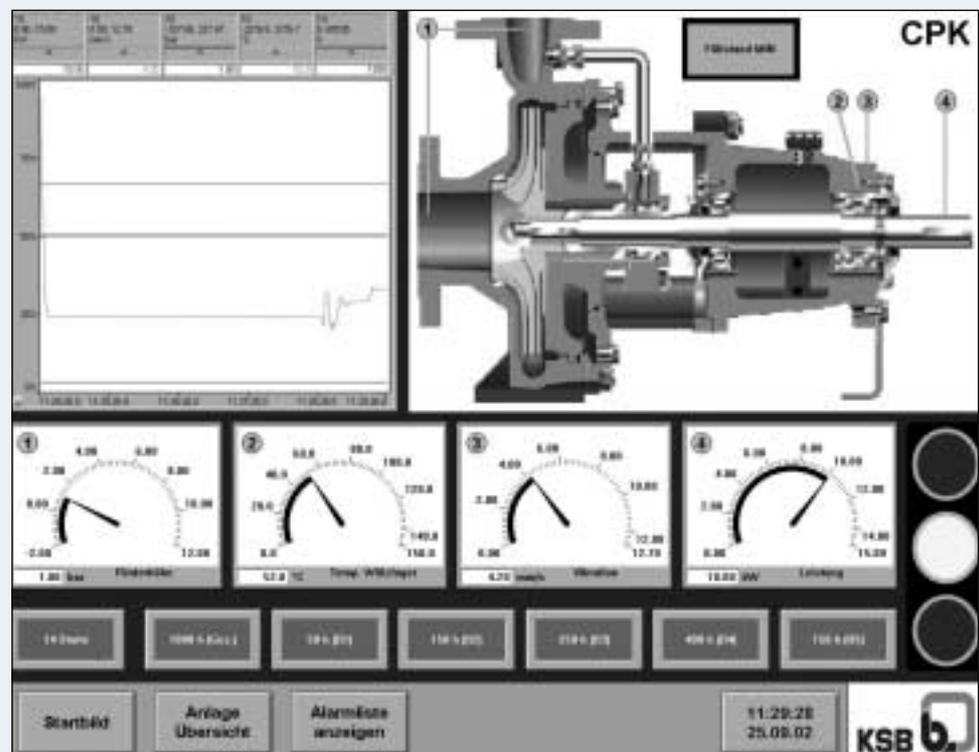
unter denen des Betreibers liegen. Weitere Potenziale sind durch Integration von Teleservice und Nutzung von SMS in das Wartungsmanagement möglich. Auch bei Finanzierungsthemen im Zusammenhang mit Rehabilitations-, Retrofit- und Upgrademaßnahmen sind vielfältige Modelle denkbar.

### RESÜMEE

Die Einsparungspotenziale, welche die LCC-Thematik bietet, werden von den Anwendern immer stärker genutzt und zunehmend in den Entscheidungsprozess beim Kauf integriert. Für KSB bestehen insbesondere in den folgenden Bereichen große Chancen, über die LCC-Betrachtung Wettbewerbsvorteile zu erzielen:

- **Beratungskompetenz**
- **Drehzahlregelung und Automatisierung**
- **Service- und Dienstleistungsangebote**
- **Module und Systeme**

In den nachfolgenden Beiträgen werden einige Beispiele gezeigt. Für weitergehende Informationen und konkrete Fallbeispiele steht der so genannte LCC-Ordner jedem Interessierten über über die Marketing-Datenbank zur Verfügung.



Eine richtig ausgelegte Anlage ist eine Grundvoraussetzung für niedrige Lebenszykluskosten. Dabei müssen Pumpen und Anlagenkomponenten aufeinander abgestimmt sein. Sind diese Vorgaben nicht erfüllt, können Maßnahmen zur Kostenreduzierung nur begrenzt wirksam sein.

Hier gilt es, eine gründliche Analyse der Anlagenanforderungen und ihrer bestimmenden Faktoren vorzunehmen.

## Einfluss der Anlagenplanung auf die Lebenszykluskosten

Norbert Gröning

### DURCHMESSER BEEINFLUSST DIE KOSTEN

Hinsichtlich der Kostenelemente Material, Installation und Energiebedarf, sind die zugrundegelegten Durchmesser des Rohrleitungssystems von erheblicher Bedeutung. Dem Rohrlängendurchmesser in einer Anlage kommt daher eine besondere Rolle zu. Die Material- und Installationskosten hängen direkt vom Durchmesser und damit auch vom Gewicht der Einzelteile ab. Nicht zu vernachlässigen sind daran gekoppelte Kosten wie beispielsweise für die thermische Isolierung der Komponenten. Die Wahl des Durchmessers beeinflusst unmittelbar die Strömungsgeschwindigkeit für den Auslegungsförderstrom. Dimensioniert man die Rohrleitung größer, sinkt die Strömungsgeschwindigkeit und somit der dynamische Druckverlust aller durchströmten Komponenten. Mit sinkendem Druckverlust geht ein geringerer Förderhöhenbedarf einher. Die Pumpe kann mit kleinerer Leistung ausgelegt werden. Ein optimal dimensionierter Leitungsdurchmesser kann nur gefunden werden, wenn hierbei alle Komponenten des Systems in ihrem Verhalten berücksichtigt werden. Für die reine Förderfunktion der Anlage wird zuerst die Anlagenkennlinie über die dynamischen Druckverluste und statischen Förderhöhen ermittelt. Für eine optimierte Auslegung über die gesamte Lebensdauer muss auch ermittelt

$H_P$  = Förderhöhe der Pumpe

$$C_e = \sum_{j=1}^Z \left\{ n \cdot \frac{E_0}{\left[1 + \frac{i-p}{100}\right]^n} \cdot \rho \cdot g \cdot \int_{t_0}^{t_1} \frac{Q_P(t) \cdot H_P(t)}{\eta_P \cdot \eta_M} dt \right\}$$

Bild 1: Die Haupteinflussgrößen der Energiekosten

werden, wie oft die Anlage mit welchem Volumenstrom betrieben wird. Über dieses Lastprofil entscheidet sich unter anderem die Frage der Pumpenauslegung. In vielen Fällen ist ein Parallelbetrieb von mehreren Pumpen sinnvoll ( $Z \geq 2$ ). Vom gegebenen Lastprofil wird die Arbeitsweise der Pumpen-Regelung und damit die beste Regelkennlinie vorgegeben.

### EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE ENERGIEKOSTEN

Die Formel für die Energiekosten =  $C_e$  (Bild 1) einer Pumpenanlage zeigt die Einflussgrößen auf. Schaut man sich die Einflussgrößen auf den Energieverbrauch einer Pumpe genau an (Bild 1), dann stellt man Folgendes fest:

Die Förderhöhe der Pumpe  $H_P(t)$  geht proportional in den Energiebedarf ein. Sie wird von den dynamischen Förderhöhenverlusten des Rohrleitungssystems sowie von den Anforderungen der Verbraucher bestimmt. Je kleiner

der Rohrdurchmesser und je größer der Volumenstrom, der diesen Querschnitt passieren muss ist, um so mehr Energie geht an Reibungsverlusten, von der aufgebrauchten Pumpenleistung verloren.

### „WIRKUNGSGRAD“ EINER ROHRLEITUNG

Bei dieser ungewöhnlichen Betrachtungsweise (Bild 2) wird die Effizienz beim Transport von Flüssigkeiten durch Rohrleitungen beurteilt. Die dynamischen Reibungsverluste erzeugen die Verlusthöhe  $H_v$ . Die Verlusthöhe ist wiederum die Differenz zwischen der Anfangsförderhöhe  $H_1$  am Rohrleitungseintritt und der Restförderhöhe  $H_2$  am Rohrleitungsende:

$$H_v = H_1 - H_2 \quad \text{Wegen: } H_v = H_1 - H_2$$

$$\text{gilt: } \eta = 1 - \frac{H_v}{H_1}$$

Der Wirkungsgrad nimmt sein Maximum ein, wenn die dynamische Verlusthöhe  $H_v$  minimal wird.

**BEISPIEL:  
OFFENES FÖRDERSYSTEM**

Dieses Beispiel (Bild 3) beschreibt die Verhältnisse für eine Kühlwasser-Versorgung von Spritzguss-Maschinen in einem Produktionsbetrieb. Die Spritzgussform muss nach dem Spritzvorgang um einen genau definierten Temperaturbereich heruntergekühlt werden. Hierzu benötigt jede Maschine einen bestimmten Kühlwasserstrom. Bei den vorgegebenen Verhältnissen ist dies bei einem Fließdruck von  $P = 2,0$  bar sichergestellt. Das erwärmte Kühlwasser wird drucklos zurückgeführt und wieder heruntergekühlt. Dieses einfache offene Transportsystem ist dadurch gekennzeichnet, dass der Verbraucher sich auf gleicher Höhe wie der Wasserspiegel im Zulaufbehälter befindet. Dies bedeutet, ohne Pumpenunterstützung fließt kein Wasser zum Verbraucher. Am Verbraucher soll ein Volumenstrom von  $Q = 18$  m<sup>3</sup>/h und ein Nutzdruck von  $P_2 = 2,0$  bar (entspricht:  $H_2 \approx 20$  m Wassersäule) bereitgestellt werden.

**DN 50  
IM VOLLASTBETRIEB**

Zunächst ist die Anlage bestehend aus Rohr, Rückflussverhinderer und zwei Armaturen mit einer Nennweite von 50 mm kalkuliert. Diese Rohrnetzbe-rechnung wurde mit einem Rechenmodul aus dem KSB-Offert-Auslegungs-programm (Bild 4) durchgeführt. Als Rohrwerkstoff ist dünnwandiges, geschweißtes Stahlrohr gewählt. Bei einer durchaus üblichen Strömungsgeschwindigkeit von  $v = 2,26$  m/sec betragen die Gesamtverluste:

$H_v = 34$  m

In der folgenden Darstellung (Bild 5) sind die Verhältnisse für die Rohrleitung DN 50 wiedergegeben. Die Kennlinie der Pumpe schneidet die der Anlage bei 54 m. Wegen der hohen Strömungsgeschwindigkeit von  $v \sim 2,3$  m/sec entsteht eine Verlusthöhe

**Wirkungsgrad einer Rohrleitung**

Wie hoch ist der „Wirkungsgrad“ einer Rohrleitung?

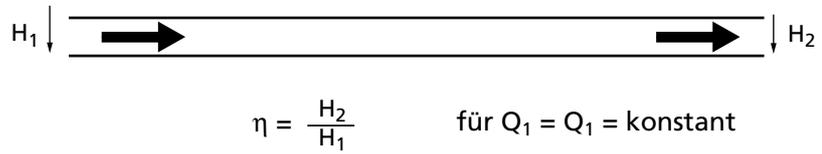


Bild 2: „Wirkungsgrad“ einer Rohrleitung

**Offenes Fördersystem**

Verbraucherdaten:  $Q = 18$  m<sup>3</sup>/h,  $H_2 = 20$  m  
Rohrleitungslänge  $L = 250$  m

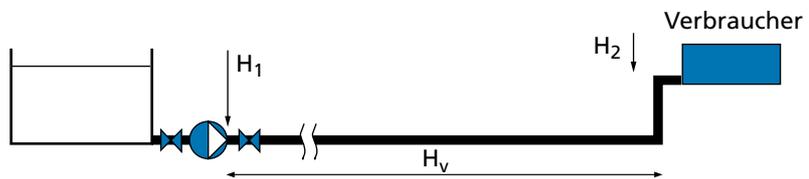


Bild 3: Offenes Fördersystem

Verlusthöhen		H <sub>geo</sub> [m]	H <sub>v</sub> [m]	H <sub>ges</sub> [m]
Q [m <sup>3</sup> /h]	18,000	0,000	33,778	33,778

Nr.	H <sub>v</sub> [m]	Verschl.-koeff.	Z	DN	l. [m]	K [m <sup>3</sup> /h]	Wk.	Faktor
1	0,331	2,548	Rückfließverhinderer	50	50	1	115	1,02
2	0,026	2,266	Rohr	50	53	5	115	1,02
3	0,788	2,266	Absperrarmatur	3	50	3	115	1,02
4	0,788	2,266	Absperrarmatur	3	50	3	115	1,02
5	0,752	2,266	Rohr	50	53	250	115	1,02

Bild 4: Verluste bei DN 50 mit KSB KSB-Offert kalkuliert

**Movichrom 15/5 DN 50**

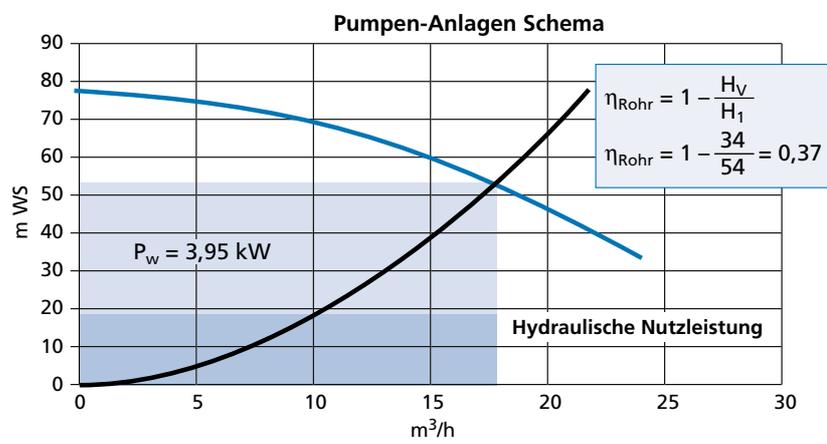


Bild 5: Verhältnisse für eine Rohrleitung DN 50

von ca. 34 m Wassersäule. Damit teilt sich die Pumpenförderhöhe zu 37 % auf die Nutzförderhöhe und zu 63 % auf Strömungsverluste auf! Da die „Nutzförderhöhe“ des Verbrauchers  $H_2 = 20$  m ist, kann sehr einfach der hydraulische „Transportwirkungsgrad“ der gesamten Rohrleitung inklusive Armaturen berechnet werden. In diesem Fall ist dieser mit  $\eta_{\text{Rohr}} = 0,37$  recht niedrig und die erforderliche Antriebsleistung an der Pumpenwelle liegt bei 3,95 kW.

### DN 80 IM VOLLSTANDBETRIEB

Mit der Hilfe dieses Auslegungsprogrammes können Verlusthöhen für andere Nennweiten schnell berechnet werden. Es müssen lediglich die Werte in der DN-Spalte von 50 auf 80 verändert werden. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit geht auf einen Wert von ca.  $v = 1$  m/sec zurück. Wegen der näherungsweise quadratischen Abhängigkeit der dynamischen Verlusthöhen von der Strömungsgeschwindigkeit, reduzieren sich die Gesamtverluste auf einen Wert von:

$$H_v = 4 \text{ m}$$

Bei einem Blick auf die Anlagenverhältnisse Bild 7 ergeben sich deutliche Veränderungen. Die Vergrößerung des Rohrleitungsquerschnittes auf die Nennweite 80 mm führt zu einer deutlichen Verringerung der dynamischen Verluste. Die Strömungswiderstände fallen auf einen Wert von ca. 4 m WS. Der rechnerische „Transport Wirkungsgrad“ der Rohrleitung DN 80 steigt auf einen Wert von  $\eta_{\text{Rohr}} = 0,83$  und die Antriebsleistung an der Pumpenwelle liegt nur noch bei 1,76 kW.

### KOSTENVERGLEICH BEIDER SYSTEME

Stellen wir nun beide Systeme kostengemäß gegenüber (Bild 8), ergibt sich folgende Rechnung: Trotz der geringen

Verlusthöhen			
G [mWS]	H <sub>geo</sub> [m]	H <sub>v</sub> [m]	H <sub>total</sub> [m]
10,000	0,000	3,953	3,953

Nr	H <sub>v</sub> [m]	Q [m³/h]	Element	DN	Di	L [m]	K [mWS]	Material	Faktor
1	0,023	0,975	Fluckaufventil	4	90	80	1		3
2	0,072	0,975	Rohr	90	80,8	5	115	1,02	3
3	0,145	0,975	Absperrarmrohr	3	90	80,8	1		3
4	0,145	0,975	Absperrarmrohr	3	90	80,8	1		3
5	3,885	0,975	Rohr	90	80,8	250	115	1,02	3

Bild 6: Verluste bei DN 80 mit KSB-Offert kalkuliert

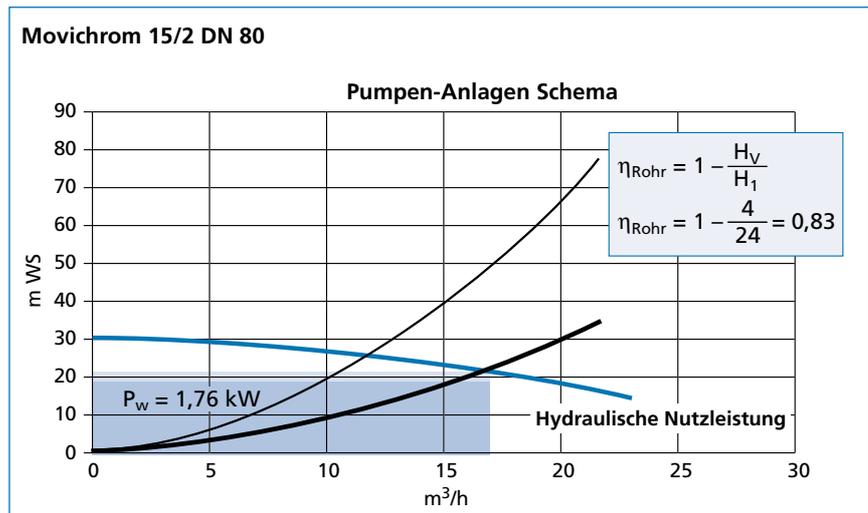


Bild 7: Verhältnisse für eine Rohrleitung DN 80

Movichrom 15/5 DN 50, gedrosselt			Movichrom 15/5 DN 80, gedrosselt		
Anlage 1: (DN 50)			Anlage 2: (DN 80)		
Teil	Typ	Preis	Teil	Typ	Preis
1 Pumpe	N15/05	884,-	1 Pumpe	N15/02	552,-
2 Ventile	BOA-C	244,-	2 Ventile	BOA-C	430,-
250 m Rohr	St DN50	875,-	250 m Rohr	St DN80	1496,-
<b>Summe</b>		<b>2003,-</b>	<b>Summe</b>		<b>2478,-</b>
			<b>Differenz</b>		<b>475,-</b>

Bild 8: Kostenvergleich DN 50 zu DN 80

Differenz bei den Investitionskosten von 475,- € (entspricht: 24 %) bezogen auf die Installation DN 50, ergeben sich bei ca. 4800 Betriebsstunden pro Jahr mit Vollastbetrieb Energieeinsparungen von 1568,- €!

Ähnliche Betrachtungsweisen gelten auch für geschlossene Systeme. Allerdings ist zu beachten, dass hier selten

mit Strömungsgeschwindigkeiten über  $v = 1$  m/sec gearbeitet wird (Ausnahme Fernheizsysteme). Demzufolge fallen die möglichen Einsparungen etwas geringer aus. Als positiver Nebeneffekt einer druckverlustarmen Auslegung stellt sich eine günstigere Hydraulik mit einem flachen Druckverlust-Profil ein. Wegen den geringeren Druckunterschieden im Rohrnetz vereinfacht sich dementspre-

chend der hydraulische Grundabgleich. Damit einher geht eine deutliche Verringerung der erforderlichen Druckverluste in den Strangabgleichventilen. Infolgedessen steigt die Ventil-Autorität der Regelventile an den Verbrauchern deutlich an, womit ein günstigeres Regelverhalten erreicht wird.

Die Berechnung der beiden Varianten beruhte auf der Annahme, dass die Spritzgussmaschinen 100 % des Förderstroms benötigen.

### DN 50 IM

#### TEILLASTBETRIEB GEDROSSELT

Bei Teillast mit einem nur 50-prozentigen Bedarf an Kühlwassers ergibt sich folgende Situation: Bei einer unregulierten Pumpe muss die Wasserzufuhr über ein Ventil eingedrosselt werden. Hinter dem zentralen Drosselventil, stellt sich ein reduzierter Wasserdruck ein, so dass der Volumenstrom durch jeden Kühler auf die Hälfte verringert wird.

Die graphische Darstellung in Bild 9 gibt die Verhältnisse für eine Rohrleitung DN 50 wieder. Die blau dargestellte Pumpenkennlinie wird von der gedrosselten und der ungedrosselten Anlagenkennlinie geschnitten. Letztere ist nur zum Vergleich mit dem Vollastbetrieb eingezeichnet. Aufgrund der hohen Drosselverluste im zentralen Drosselventil sinkt der Transportwirkungsgrad auf 7 % ab. Hierbei ist berücksichtigt, dass die Nutzförderhöhe von  $H_2 = 20$  m bei  $Q = 18$  m<sup>3</sup>/h beim halben Förderstrom  $Q = 9$  m<sup>3</sup>/h auf ein Viertel sinkt, also  $H_2(Q = 9 \text{ m}^3/\text{h}) = 5$  m. Die Wellenleistung reduziert sich im Drosselbetrieb um ca. 1 kW gegenüber Vollast.

### DN 50 DREHZAHLGEREGLT

Beim Einsatz einer Drehzahlregelung ergeben sich deutlich günstigere Werte. Das zentrale Drosselventil kann nun komplett entfallen, da die Förderstromreduzierung der Pumpe obliegt.

#### Movichrom 15/5 DN 50, gedrosselt

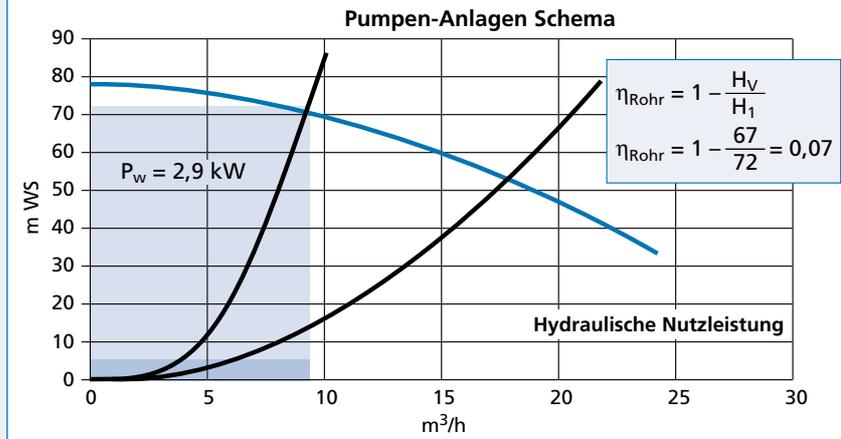


Bild 9: Verhältnisse für eine gedrosselte Rohrleitung DN 50

#### Movichrom 15/5 DN 50, geregelt

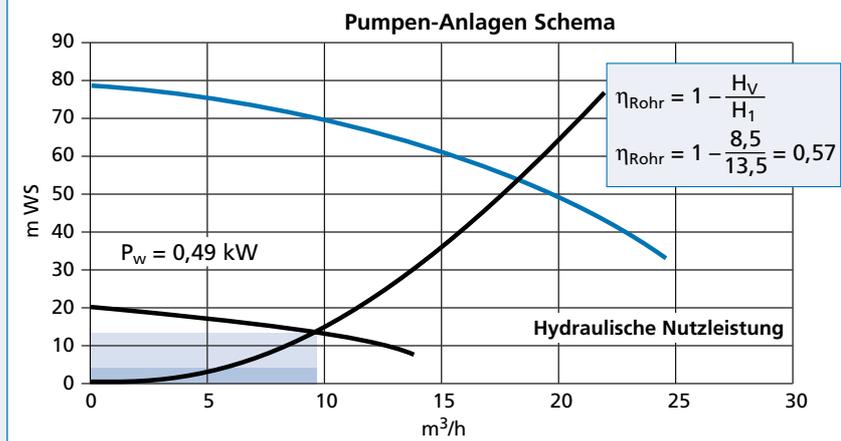


Bild 10: Verhältnisse für eine Lösung mit drehzahl geregelter Pumpe bei ein Rohrleitung DN 50

Im dargestellten Betriebsfall wird - ohne Drosselung - lediglich durch stufenlose Drehzahlveränderung der Pumpe der gewünschte Förderstrom erreicht. Da keine Zusatzverluste in einem Drosselventil anfallen, liegt nun der Betriebspunkt auf der ungedrosselten Anlagenkennlinie bei einem Förderstrom von  $Q = 9$  m<sup>3</sup>/h. Entsprechend hoch fällt hierdurch der Transportwirkungsgrad mit 57% aus. Der Wellenleistungsbedarf kann gegenüber dem Drosselbetrieb von 2,9 kW auf nunmehr 0,49 kW reduziert werden. Dies sind nur ca. 17 % des Leistungsbedarfs im Vergleich zum unregulierten Drosselbetriebs.

### RESÜMEE

Hohe Energiekosten sind kein unabwendbares Übel, sondern oft Folgen von falsch verstandener Sparsamkeit. Wer bei der Planung und Auslegung einer Anlage nur auf die Anschaffungskosten der Komponenten schaut, wird nach der Inbetriebnahme erstaunt feststellen, wie hoch die laufenden Energiekosten sind. Die Mehrkosten, die für verlustarme Anlage ausgegeben werden müssen, rechnen sich schon in sehr kurzer Zeit.

Mit dem LCC-Comp ist es zum erstenmal gelungen, ein Werkzeug für den Vertrieb zu schaffen, das quantitative Aussagen zu den Kosten macht, die eine Pumpe im Laufe ihres Lebenszyklus verursacht. Es basiert auf Erfahrungswerten von KSB und den Erhebungen des VDMA zum Thema Ausfallhäufigkeit und Überwachung sowie den physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die Berechnung von Einsparpotenzialen durch Frequenzregelung wird durch Einbindung eines von der Universität Kaiserslautern entwickelten Programms realisiert. Ein Vergleich zwischen möglichen technischen Alternativen kann einfach durchgeführt werden.

## Der LCC-Rechner und seine Möglichkeiten

Saskia Graf

### WIRKUNGSVOLLES WERKZEUG

Der Vertrieb kann damit unter verschiedenen Pumpsystemen die langfristige kostengünstigste Variante bestimmen. Neben nach Kostenarten aufgeschlüsselten Gesamtkosten, lassen sich auch die Amortisationszeiten und die möglichen Einsparpotenziale durch zusätzliche Investitionen in höherwertige Pumpensysteme bestimmen.

Durch Verändern der Ausgangsgrößen können die langfristigen Auswirkungen nachvollzogen und einander gegenübergestellt werden. Mehrinvestitionen lassen sich oft leichter über langfristige Einsparungen rechtfertigen. Das Programm veranschaulicht auch die mögliche Bedeutung von Einflussfaktoren, die auf den ersten Blick als nicht relevant betrachtet werden – über den Lebenszyklus können sich beachtliche Kosten aufsummieren. Dies kann als zusätzliche Entscheidungshilfe bei der Gesamtanlagenbetrachtung dienen.



Bild 1: Folgende Abbildung zeigt die Haupteingabemaske. Detaileingaben sind durch Aufrufen der weiteren Parameter möglich.

### MIT NUR 5 MAUSKLIICKS

Eine einfache, übersichtliche Programmoberfläche, die im Hintergrund auf Datenbanken zugreift, liefert leicht nachvollziehbare Ergebnisse in tabellarischer und grafischer Form. Alle Parameter wurden in Form durch-

schnittlicher Benutzerprofile hinterlegt und lassen sich individuell anpassen. Sind Werte nicht bekannt oder aus Sicht des Anwenders weniger wichtig, lässt er die vorgeschlagenen Werte stehen. Das Ergebnis stützt sich dann auf durchschnittliche und repräsentative Erfahrungswerte. Zu den Eingabewerten erhält man zusätzlich eine kurze

Direkthilfe, welche die vorgesehenen Eingabewerte erläutert.

### KOMPETENTE BERATUNG DER ANWENDER

Der LCC-Comp kalkuliert die Lebenszykluskosten eines Pumpsystems entsprechend dem anerkannten Leitfaden von Europump und dem Hydraulic Institute. Am Ende der Berechnung erscheinen alle Ergebnisse grafisch und tabellarisch. Dabei werden automatisch Standardlösungen solchen mit Frequenzregelung oder Überwachung gegenübergestellt. Welche Lösung die günstigste ist, hängt vom individuellen Einsatzfall ab. Außerdem werden Komponenten erkennbar, bei denen sich Einsparungen realisieren lassen. Ziel ist nicht nur die Lebenszykluskosten der Pumpe zu ermitteln, sondern durch Denken in Systemen Frequenzregelung oder Überwachungssysteme dort einzusetzen, wo sich Einsparpotenziale realisieren lassen. Auch eine kompetente Beratung der Anwender in Bezug auf die Verwendung von wellendichtungslosen Pumpen und die Auswahl der geeigneten Laufradgeometrien wird von dem Programm unterstützt. Ein Kostenvergleich ermöglicht es, aus dem umfangreichen KSB-Produktportfolio die optimale Lösung anzubieten.

Folgende Eingaben sind erforderlich, um die verschiedenen Kostenkomponenten individualisiert zu berechnen:

### $C_{IC}$ ANSCHAFFUNGSKOSTEN

Neben dem reinen Kaufpreis gehören z. B. auch die Kosten für Planung, Ausschreibungsprozess, Bestellung, Dokumentation und Funktionstest sowie Fracht zu den Anschaffungskosten.

### $C_{IN}$ INSTALLATIONS- UND INBETRIEBNAHMEKOSTEN

Alle Kosten für den Anschluss der Rohrleitungen, der elektrischen Ausrüstung

und der Errichtung von Hilfskreisläufen sowie dem Ausrichten der Pumpen sind im System mit Defaultwerten hinterlegt, weitere Kosten müssen vom Anwender angepasst werden.

### $C_E$ ENERGIEKOSTEN

Zur Berechnung der Energiekosten benötigt das Programm nur die Eingabe von Energiekosten pro kW/h, Förderstrom Q, Förderhöhe H im Betriebspunkt, statische Förderhöhe, Dichte und die Anpassung des Lastprofils. Verschleißbedingte Verluste, unterschiedliche Wirkungsgrade für die einzelnen Pumpentypen und Laufradgeometrien sind ebenso hinterlegt wie individuelle Lastprofile.

### $C_O$ BETRIEBSKOSTEN

Hierzu zählen alle Ausgaben, die pro Jahr während des Betriebs für die Überwachung und Funktionsfähigkeitsbeobachtungen gemacht wurden.

### $C_M$ WARTUNGS- UND REPARATURKOSTEN

Sie beinhalten zum einen die durchschnittlichen Ersatzteil- sowie Wartungskosten pro Jahr, zum anderen alle außerplanmäßigen Reparaturkosten inklusive den Stundensätzen für das Servicepersonal.

### $C_S$ PRODUKTIONSSTILL- STANDSKOSTEN

Diese Kostenkomponente berücksichtigt die Kosten, die ein pumpenausfallbedingter Produktionsstillstand verursacht.

### $C_{ENV}$ UMWELTKOSTEN

Hier wird ein durchschnittlicher Wert pro Jahr angegeben, der die Verschmutzungen durch Fördermedium und Hilfsausrüstung abdeckt.

### $C_D$ ENTSORGUNGSKOSTEN

Einzugeben ist die Kostensumme zur Beseitigung von Pumpe und Hilfssystemen sowie zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes des Installationsortes.

### GESAMTKOSTEN VIEL HÖHER ALS INVESTITIONSKOSTEN!

Der LCC-Comp dient als Entscheidungshilfe mit monetären Argumenten. Der Anwender erkennt mit einem Blick, dass die Investitionskosten nach einigen Jahren Betriebszeit nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten ausmachen und eine Mehrinvestition in höhere Qualität und genau ausgelegte Pumpen sich bezahlt macht. Der Kundennutzen des LCC-Comp geht aber weit darüber hinaus, da er die Lebenszykluskosten-Thematik als ganzheitlichen Ansatz nicht nur auf die eigentliche Pumpe bezieht, sondern vergleichende quantifizierte Aussagen zu Pumpsystemen zulässt.

### DROSSELREGELUNG

Kreiselpumpen mit konstanter Drehzahl besitzen hydraulische Kennlinien bei denen die Förderhöhe H eine Funktion des Förderstromes Q ist. Der Förderstrom in einer Anlage kann bei Drosselregelung auf der Druckseite der Pumpe mit der Hilfe von Armaturen angepasst werden. Dabei wird der Widerstand erhöht und durch die Abhängigkeit von Q und H verändert sich auch das Fördervolumen. Die Anlagenkennlinie wird mit zunehmenden Widerständen steiler und der Schnittpunkt zwischen Anlagen- und Pumpenkennlinie verschiebt sich entlang der Pumpenkennlinie nach links. Eine Drosselregelung führt immer zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades. Es wird Energie vernichtet, da die von der Pumpe erzeugte überschüssige Förderhöhe von der Anlage nicht genutzt wird. Diese Regelungsart ist nur

dann sinnvoll, wenn die Abweichungen vom Auslegungspunkt kurzzeitig und weniger stark ausgeprägt sind sowie bei Anlagen mit hohen statischen Förderhöhenanteilen, wie zum Beispiel Hochbehältern.

### DREHZAHLEGEUNG

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es oft sinnvoller, die gewünschten Fördermengen durch den Einsatz eines drehzahleregelten Antriebes anzupassen. Liegt eine steile Pumpenkennlinie vor, ist also der Anteil der dynamischen Förderhöhe gegenüber der statischen überwiegend, hat die Drehzahlregelung Vorteile. Bei der stufenlosen Drehzahlverstellung wird die Energieaufnahme dem Bedarf angepasst und keine Energie vernichtet. In diesem Fall wandert der Schnittpunkt zwischen Anlagen- und Pumpenkennlinie auf der Anlagenkennlinie nach unten. Der Verschleiß an Pumpe, Drosselorganen und Anlage verringert sich, da nur im erforderlichen Betriebszustand gefahren wird. Der Motor wird wesentlich weniger belastet, sanftes Anfahren der Pumpe ermöglicht und hydraulische Rückwirkungen werden reduziert. Zur Berechnung der Energiekosten bei Drossel und Drehzahlregelung wird auf ein von der Universität Kaiserslautern am Lehrstuhl für Strömungs- und Arbeitsmaschinen erstelltes Rechenprogramm zugegriffen. Dieses Programm beinhaltet umfassende Datenbanken zu Motoren, Frequenzumrichtern, ausgewertete Kennlinienzusammenhänge und physikalische Gesetzmäßigkeiten bei Kreiselpumpen. Unabhängig von der Anlage wird im allgemeinen die förderstromabhängige Energiebilanz eines Prozesses in einer Anlage und daraus die Anlagenkennlinie in der folgenden Form ermittelt:

$$H_A = (p_2 - p_1) / \rho g + (z_2 - z_1) + [(1 - A_2^2 / A_1^2) + \zeta] Q_2 / 2gA_2^2$$

Es können beliebige Anlagenkennlinien durch Vorgabe eines Arbeitspunktes und einer statischen Förderhöhe be-

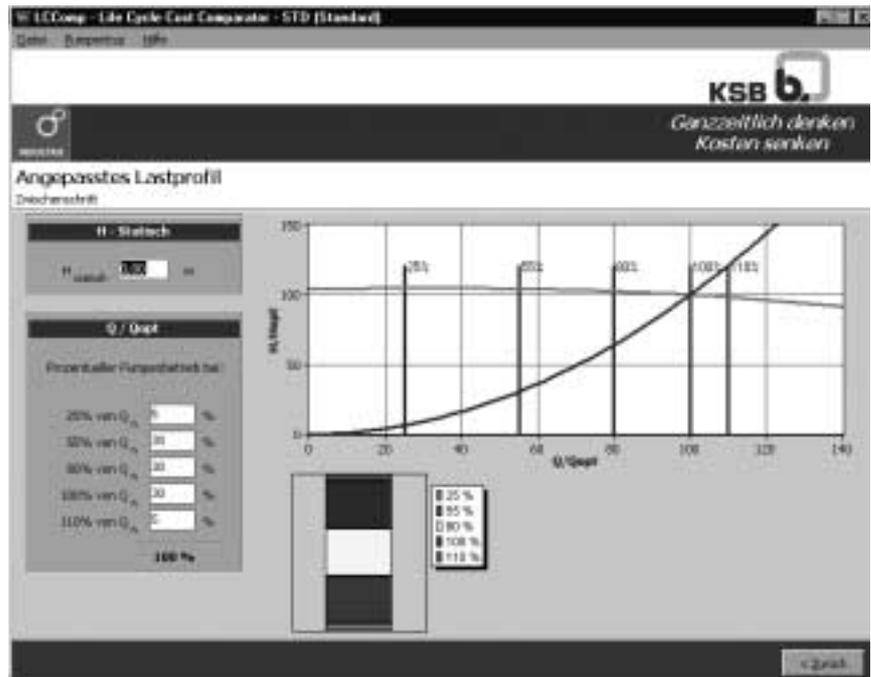


Bild 2: Lastprofil (prozentuale Verteilung der Betriebsstunden auf 5 Laststützpunkte)

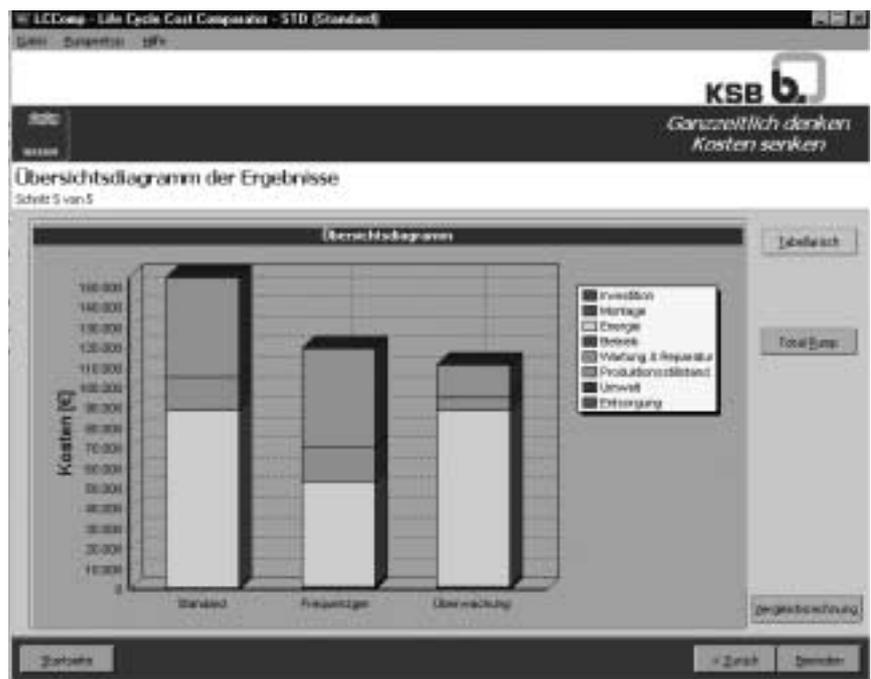


Bild 3: Die Ergebnisse einer Pumpenregelung durch Drosselung, Drehzahlanpassung sowie Überwachung graphisch dargestellt.

handelt werden. Voraussetzung ist, dass der Druckverlust in der Anlage dem einer turbulenten Strömung mit  $\zeta = \text{konstant}$  folgt. Der Gesamtwirkungsgrad wird dann mit Hilfe der spezifischen Pumpendrehzahl  $n_q$  ermittelt, die aus Drehzahl, Förderstrom und

Förderhöhe errechnet wird. Anhand der hinterlegten Daten können einzelne Verluste relativ zueinander oder als Anteil an der gesamten Leistungsaufnahme bestimmt werden. Dadurch lassen sich die für die Vergleichsrechnung erforderlichen Pumpenkennlinien ermitteln.

Bei der Drehzahlregelung werden mit Hilfe der Ähnlichkeitsmechanik die für bestimmte feste Drehzahlen ermittelten Werte auf andere Drehzahlen umgerechnet.

### KOSTENVERGLEICH DURCHFÜHREN

Um einen individuellen Kostenvergleich durchzuführen, müssen folgende Punkte eingegeben werden:

- Mehrkosten für die Drehzahlregelung
- Jährliche Laufleistung
- Gesamtnutzungsdauer des Pumpensystems
- Statische Förderhöhe
- Lastprofil (prozentuale Verteilung der Betriebsstunden auf 5 Laststützpunkte)

Mit Hilfe einer Pumpenüberwachung wie zum Beispiel Pump Expert lassen sich drohende unzulässige Betriebszustände und Pumpenausfälle vermeiden. Da Pumpen auf Veränderungen der Prozesse reagieren, lassen sich auch Aussagen über den Zustand der Gesamtanlage treffen. Durch diese intelligente Form der Zustandserfassung für Kreiselpumpen verschiedener Bauarten, wird die Lebensdauer von Pumpe und Gesamtanlage verlängert und die Anlagenverfügbarkeit erhöht.

Das Einsparpotenzial durch die Installation einer Pumpenüberwachung wird vom LCC-Comp automatisch ermittelt, einziger direkt erforderlicher Eingabewert sind die Mehrkosten für die Überwachung. Die restlichen Werte errechnen sich in Abhängigkeit von der Gesamtzahl der installierten und davon redundanten Pumpen und allen Werten, die im Zusammenhang mit Wartung und Reparatur ohnehin einzugeben sind. Auch hier erfolgt eine grafische und tabellarische Gegenüberstellung (Bild 3 + 4) einer überwachten und

	Standard	Programm gesteuert	Überwachung
Investition	2.400,00 €	2.400,00 €	2.393,00 €
Wartung	900,00 €	900,00 €	900,00 €
Energie	128.118,20 €	70.170,21 €	128.143,20 €
Reparatur	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Wartung & Reparatur	24.820,00 €	24.820,00 €	25.021,20 €
Produktionsstillstand	148,00 €	148,00 €	16,57 €
Umwelt	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Produktion	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Summe</b>	<b>156.266,20 €</b>	<b>101.658,21 €</b>	<b>146.396,97 €</b>

Bild 4: Die gleichen Ergebnisse tabellarisch dargestellt.

nicht überwachten Pumpe am Ende des Programms.

### WELLENDICHTUNGSLOSE PUMPEN UND LAUFRADGEOMETRIEN

Im Segment Industrie kann der Einsatz wellendichtungsloser Pumpen interessant sein. Traditionell natürlich dort, wo gefährliche Flüssigkeiten gepumpt werden, aber auch dort wo die Wartungs-, Reparatur- und Produktionsstillstandskosten reduziert werden können. In den höheren Leistungsbereichen sind aber doppelt wirkende Gleitringdichtungen wirtschaftlicher, da hier die steigenden Wirbelstromverluste nicht mehr durch andere Kosteneinsparungen kompensiert werden können. Auch hierzu kann parallel eine Vergleichsrechnung durchgeführt werden.

Im Abwasserbereich können Vergleichsrechnungen zwischen verschiedenen für den Einsatzfall geeigneten Lauftradvarianten durchgeführt werden.

Maßgeblich werden die Einsparungen durch unterschiedliche Wirkungsgrade erreicht.

### RESÜMEE

Mit dem „LCC-Comp-Programm“ steht dem Vertrieb erstmals ein Instrument zu Verfügung, mit dem vor Ort beim Anwender in kürzester Zeit Vergleichsrechnungen zu den verschiedensten Pumpensystemen gemacht werden können. Einsparpotenziale vermeintlich teurerer technischer Lösungen können schnell und verlässlich aufgezeigt werden.

Schöpfwerke dienen vor allem in Entwässerungssystemen zum Hochwasserschutz oder zur Wasserhaltung und in der Landwirtschaft zur Bewässerung. Sie versorgen Industrie-, Wasseraufbereitungsanlagen und Kraftwerke mit dem nötigen Wasser oder arbeiten im Kommunalbereich. Steigende Energie- und Wartungskosten sowie die Forderung nach einer hohen Anlagenverfügbarkeit haben dazu geführt, dass an neue Wassertransportsysteme höhere Ansprüche gestellt werden als dies noch vor Jahren der Fall war. Maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage sind die Lebenszykluskosten. Konventionelle Schöpfwerke sind meist als Pumpstationen mit Rohrgehäuse- oder mit Tauchmotorpumpen ausgeführt.

## Innovatives Design senkt Betriebskosten von Pumpstationen

Patrik Wagner

### AUFBAU EINES SCHÖPFWERKES

Jedes konventionelle Schöpfwerk ist mit einem so genannten „Einlaufbauwerk“ ausgestattet und kann von einem oder mehreren Strängen mit Wasser versorgt werden. In jedem Strang sitzt ein Rechen, der grobe Feststoffe auffängt, die Aggregate blockieren oder schädigen könnten. Dammbalken oder Schieber ermöglichen es, jeden Strang einzeln abzusperren, so dass der Saugbereich der Pumpen trockengelegt werden kann. Eine Rohrgehäusepumpe in konventioneller Anordnung mit trocken aufgestelltem Motor, fördert das Medium durch einen 90-Grad-Krümmter in den angeschlossenen Siphon. Der Auslaufstrang lässt sich zu Wartungszwecken ebenfalls mit je einem Dammbalken oder Schieber verschließen. Bei der gebräuchlichen Tauchmotorpumpenvariante entfallen zwar Krümmter, horizontales Rohrstück und Auslaufklappe. Dies wird aber durch entsprechende Überfallhöhen und Sicherheitszuschläge gegen Rückströmung erkauft.

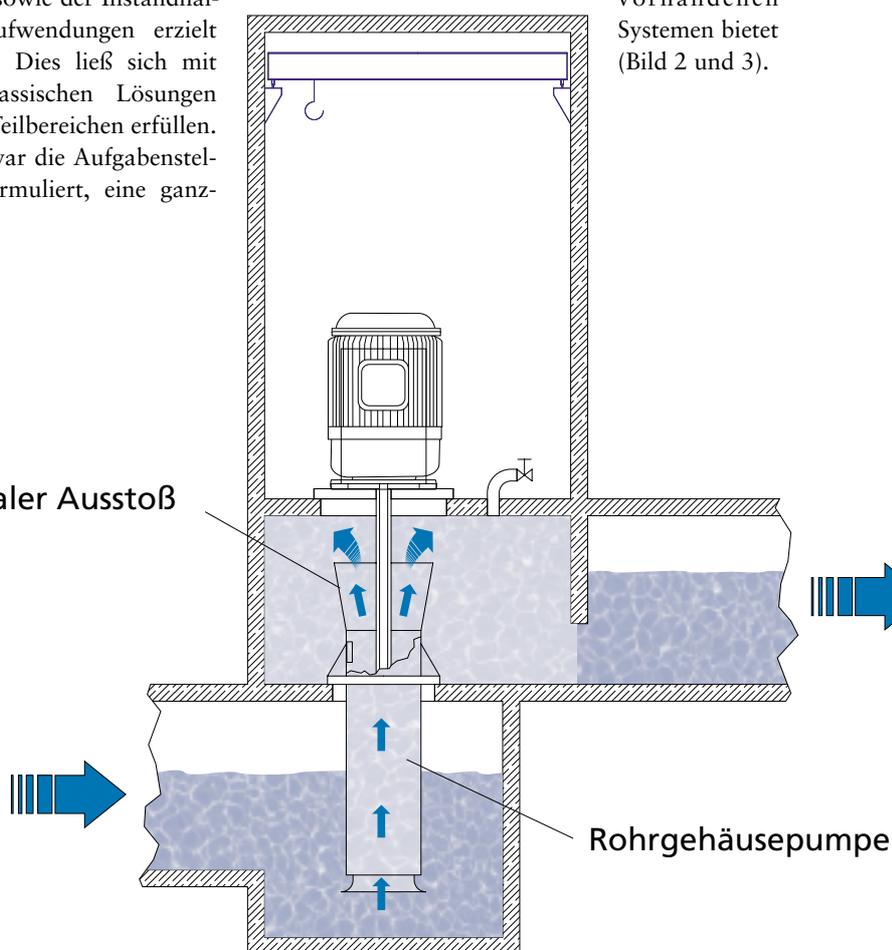
**Bild 1:** Neues Design mit Rohrgehäusepumpe

### DEUTLICHE VERBESSERUNGEN DURCH GANZHEITLICHE BETRACHTUNG

Für die technische Weiterentwicklung sollten deutliche Verbesserungen in den Bereichen der Investitions- und Energiekosten sowie der Instandhaltungsaufwendungen erzielt werden. Dies ließ sich mit den klassischen Lösungen nur in Teilbereichen erfüllen. Somit war die Aufgabenstellung formuliert, eine ganz-

heitliche Betrachtung des Systems von der Entnahme bis zur Ausschüttung des Oberwassers zu schaffen. Alle Komponenten sollten hydraulisch, mechanisch, elektrisch sowie steuerungstechnisch optimal zusammenspielen. Ergebnis dieser Entwicklung ist ein neues Design (Bild 1), in dem viele Ideen umgesetzt wurden, und das den Betreibern und Anlagenbauern Vorteile gegenüber den vorhandenen Systemen bietet (Bild 2 und 3).

Axialer Ausstoß



## FUNKTIONSWEISE UND VORTEILE DES NEUEN PUMPSYSTEMS

Das Unterwasser im Zulauf strömt durch eine Rechenanlage zu der Saugseite der Pumpen in einem hydraulisch optimierten Kanal. Dessen Form ist so gestaltet, dass er nur sehr geringe Zulaufverluste verursacht. Die Pumpe fördert in einen gegen den atmosphärischen Luftdruck isolierten Unterdruckraum und schließlich in den Auslaufkanal. Durch den Unterdruck wird während des Fördervorganges ein hydraulischer Kraftschluss zwischen Unter- und Oberwasser hergestellt. Bei der Variante mit Rohrgehäusepumpen kann dadurch auf den Pumpenkrümmer mit durchdringender Antriebswelle, der einen sehr großen Anteil an den Strömungsverlusten hat, verzichtet werden. Da die Überlaufkante des Steigrohres über dem maximalen Wasserspiegel des Ablaufkanales liegt, ist eine mechanische Rückschlagklappe mit entsprechenden Öffnungs- und Dämpfungseinrichtungen nicht notwendig. Ebenso können Pumpenausbaustücke und Mauerdurchführungen entfallen. Beim Abstellen oder bei Stromausfall wird dieser hydraulische Kraftschluss durch ein automatisches Sicherheitsbelüftungssystem, das den Unterdruck gegenüber dem atmosphärischen Luftdruck ausgleicht, unterbrochen.

## GERINGERE INVESTITIONSKOSTEN

Die Bauweise ist deutlich kompakter, wodurch man bei der Herstellung sowohl des Betonbauwerkes als auch in der Maschinenteknik mit geringerem Aufwand auskommt. Die erforderlichen

Erdbebewegungen sind geringer und auch die Bauzeit ist deutlich verkürzt. Auf diese Weise lassen sich bis zu 35 % der Bauwerkskosten gegenüber der konventionellen Bauweise einsparen. Außerdem erlaubt die platzsparende Bauweise eine flächenschonende Integration in Landschaften.

## SENKUNG DER ENERGIEKOSTEN

Es werden bessere Systemwirkungsgrade erreicht, da die starke Umlenkung des Mediums im Krümmer und die Durchführung der Antriebswelle entfallen. Die notwendigen Förderhöhen sind geringer und damit können auch die Pumpen kleiner ausgelegt werden. Ebenso gibt es bei der Variante mit der Tauchmotorpumpe keine Verluste, die vom Schwall über den Auslauf des Pumpenrohrschachtes hervorgerufen werden. Das konventionelle Design arbeitet bei fallendem Wasserspiegel im Ablaufkanal noch ineffizienter, da die Pumpenförderhöhe durch den bauseitig maximal vorgegebenen Wasserspiegel konstant bleibt. Dagegen werden die Pegelschwankungen im Ablaufkanal im neuen System ebenso wie die Überschwallverluste dadurch kompensiert, dass der Unterdruckraum immer mit Wasser gefüllt ist und somit ein hydraulischer Kraftschluss besteht.

## STEIGERUNG DER VERFÜGBARKEIT

Bei sicherheitsrelevanten Anwendungen, wie im Hochwasserschutz, wird durch den Wegfall von störanfälligen und wartungsintensiven Bauteilen wie Auslaufklappen, Rohrkrümmer und

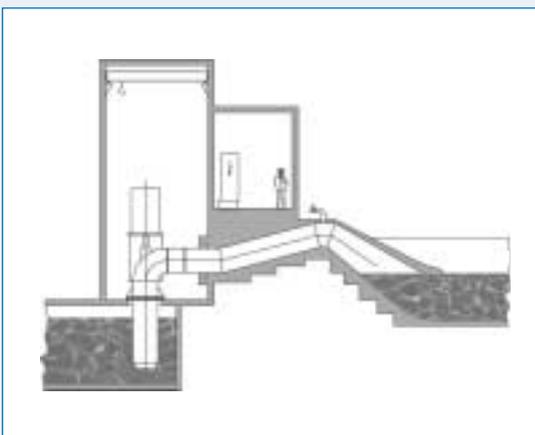
Rohrleitungsteilen sowie Ausbaustücken die Systemverfügbarkeit erhöht.

## INSTANDHALTUNGS- AUFWENDUNGEN

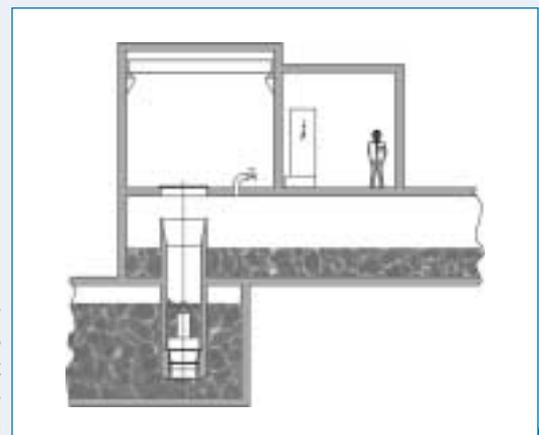
Sowohl der Betreiber als auch der Anlagenbauer profitiert von der kompakten Bauart und dem vereinfachten technischen Aufbau des neuen Systems. Weniger und einfachere Bauteile reduzieren Installations-, Wartungs- und Instandhaltungskosten nicht nur für die mechanischen, sondern auch für die elektrischen Komponenten, die bei geringerer Leistungsaufnahme kleiner ausgelegt werden können.

## RESÜMEE

Das neue Pumpsystem erfüllt die Forderungen der Betreiber nach niedrigen Investitions- und Unterhaltskosten durch kompakte und einfache Ausführung mit einer geringen Zahl von Komponenten. Dank der hydraulisch und bautechnisch optimierten Gesamtlösung und im Zusammenhang mit guten Wirkungsgraden der Einzelkomponenten hat dieses neue Design einen geringeren spezifischen Energieverbrauch und ist daher einfach und preiswert zu betreiben. Die Reduzierung der Komplexität und der Anzahl der Komponenten erhöht die Betriebssicherheit und Systemverfügbarkeit. Vor allem, wenn große Fördermengen auf kleine Förderhöhen gehoben werden müssen, kommen die technischen und kommerziellen Vorteile zum Tragen. Die Förderhöhe sollte im einstelligen Bereich oder nur wenig darüber liegen und die Fördermenge möglichst groß sein.



**Bild 2:** Konventionelles Design mit Rohrgehäusepumpe und Siphon



**Bild 3:** Konventionelles Design mit Tauchmotorpumpe

Im Rahmen der Lebenszykluskosten (LCC) spielen Dienstleistungen, die heute oder zukünftig erbracht werden, eine zentrale Rolle. Zu traditionellen Servicethemen wie Neumontagen, Inbetriebsetzungen, Reparaturen, Inspektionen, Revisionen kommen weitere Dienstleistungen dazu. Ganzheitliche Servicekonzepte, die auch Teleservice und Finanzierung sowie Betreibermodelle erfassen, gewinnen an Bedeutung

Stefan Reutter

## Service - aktuelles Leistungsspektrum und Chancen

### NEUE ENTWICKLUNGEN

Bei der LCC-Betrachtung belaufen sich die Wartungs- und Instandhaltungskosten bei Industriepumpen auf ca. 20%. Wie diese Kosten zu minimieren sind und dabei gleichzeitig ein positiver Einfluss auf die übrigen LCC-Kosten zu nehmen ist, zeigt die folgende Vorgehensweise. In diesem Zusammenhang ist es sicherlich interessant, einen Blick auf die Definition der Begriffe Inspektion, Wartung und Instandsetzung zu werfen:

### BEGRIFFSDEFINITIONEN NACH DIN 31 051

- **Inspektion:**  
Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands von technischen Mitteln eines Systems
- **Wartung:**  
Bewahrung des Sollzustands von technischen Mitteln eines Systems
- **Instandsetzung:**  
Wiederherstellung des Sollzustands von technischen Mitteln eines Systems

Die technischen Mittel sind in diesem Fall die Pumpen. Alle drei Definitionen zielen darauf ab, dass der Soll-Zustand

der Pumpen gewahrt bleibt oder eine mögliche Abweichung aufgezeigt wird. Liegt diese vor, soll der Soll-Zustand durch eine Instandsetzung oder Reparatur wieder hergestellt werden. In vielen Fällen wird heute so verfahren, dass, sobald ein Schaden auftritt, dieser repariert und die Pumpe wieder in den ursprünglichen Zustand gebracht wird. Erkenntnisse, die durch eine Ursachenanalyse gewonnen werden könnten und die daraus abgeleiteten Maßnahmen, welche die *MTBF* verlängern, werden selten realisiert. Die Frage, ob eine solche Vorgehensweise heute noch ausreicht und ob sie einem Betreiber wirklich hilft, lässt sich nicht einfach beantworten. Bei erhöhten Anforderungen an die Verfügbarkeit, die Prozesssicherheit, bei teuren Ausfallkosten oder bei Problemanlagen mit hohen Servicekosten reicht eine reine Schadensbehebung nicht mehr aus. Gründe für Ausfälle müssen analysiert und im Zusammenhang mit der gesamten Anlage betrachtet werden.

### VIER VERSCHIEDENE INSTANDHALTUNGSARTEN

1. Vorbeugende Instandhaltung (periodische Inspektion / Wartung)
2. Zustandsorientierte Instandhaltung
3. Risikoorientierte Instandhaltung
4. Ausfallorientierte Instandhaltung

Welche Service-Strategie die richtige ist, hängt von der Art der Anlage ab und welche Ziele verfolgt werden. Die Zielsetzung, mittel- und langfristige Verfügbarkeit einer Anlage zu erhöhen, führt zu einer vorbeugenden oder zustandsorientierten Instandhaltung. Ein rein budgetbezogener Ansatz ist eher risikoorientiert. Abwarten, bis es zum Ausfall kommt, ist die schlechteste Methode, da sie unübersehbare Risiken birgt. Die Art, wie instandgehalten wird, hat weitreichende Konsequenzen auf die anfallenden LCC-Kosten. Risiko- oder ausfallorientierte Ansätze führen mittelfristig zu höheren Ausfallkosten. Maßnahmen zur Reduzierung einzelner Kostenblöcke sollten nicht isoliert betrachtet werden.

### TRADITIONELLE DIENSTLEISTUNGEN NOCH NICHT AUSGESCHÖPFT

Ein Beispiel dafür, dass die Möglichkeiten traditioneller Dienstleistungen noch nicht ausgeschöpft werden, ist das Thema „Neumontagen und Inbetriebnahmen“. Vielen Pumpenanwendern ist nicht bewusst, welche Risiken sie eingehen, wenn sie Neuanlagen durch

*MTBF*: Mean Time between Failures = Mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen

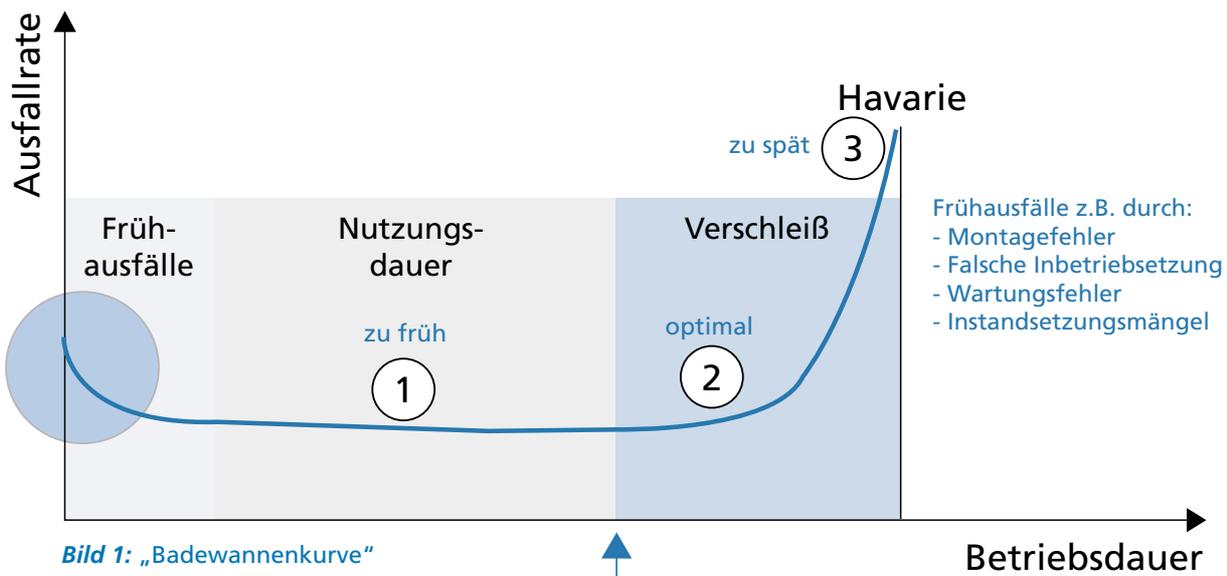


Bild 1: „Badewannenkurve“

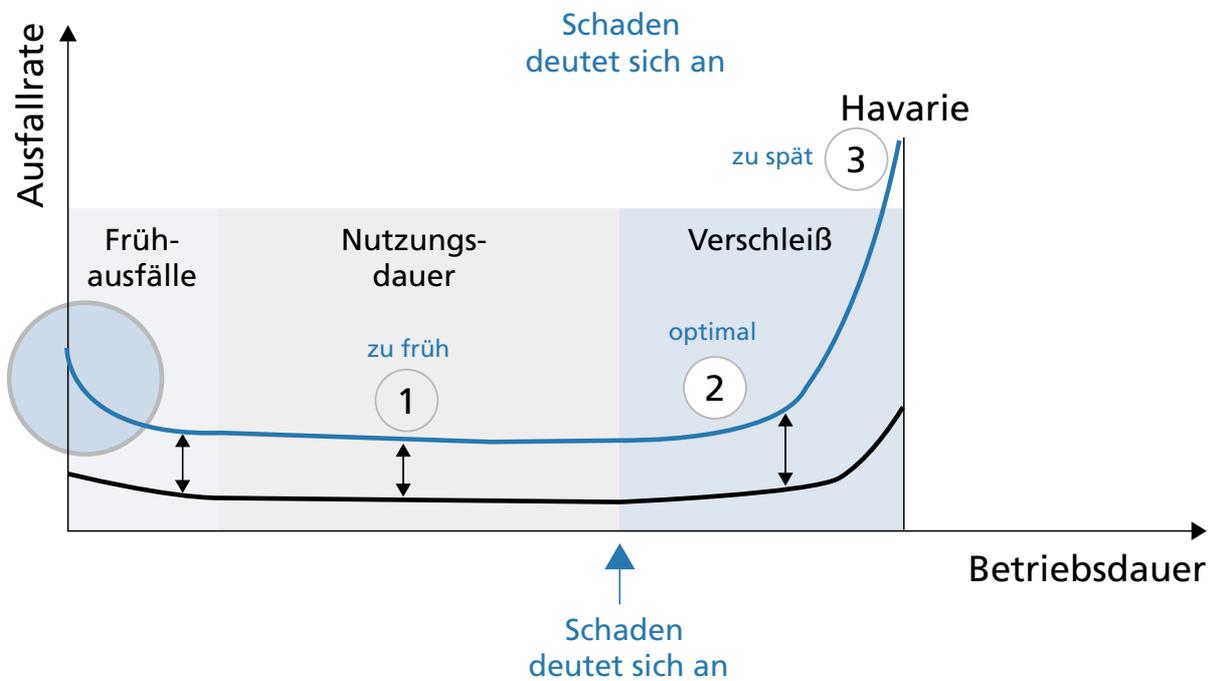


Bild 4: Auswirkungen eines ganzheitlichen Serviceansatzes auf die „Badewannenkurve“

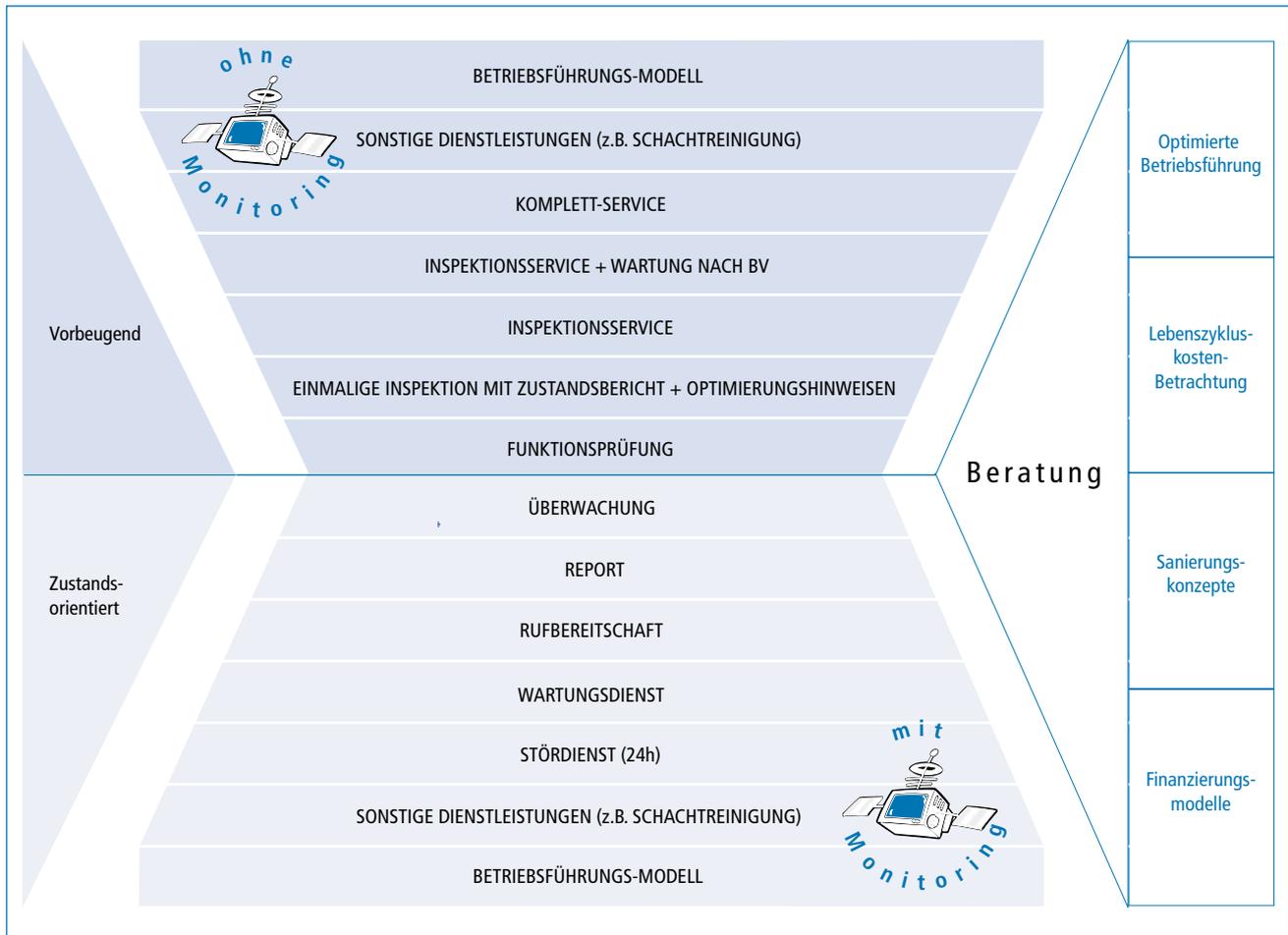
unkundiges Eigen- oder Fremdpersonal montieren und in Betrieb nehmen lassen. Bild 1 zeigt, dass genau in der ersten Phase des Lebenszyklus höhere Ausfallraten vorkommen. Oft verschiebt sich dadurch die Inbetriebnahme einer ganzen Anlage und es entstehen hohe Ausfallkosten. Deshalb sollten vor allem bei hochwertigen Anlagen und Komponenten die Neumontage und die Inbetriebnahme durch den Hersteller

ein fester Bestandteil des Lieferumfanges sein.

**DER ZEITPUNKT  
ENTSCHEIDET**

Die in Bild 1 dargestellte Kurve verdeutlicht darüber hinaus sehr anschaulich, dass die Kosten je nach Servicekonzept

unterschiedlich hoch ausfallen. Bei häufiger Inspektion können Schäden zuverlässig vermieden werden. Damit verbunden sind jedoch hohe Aufwendungen, die oft dem tatsächlichen Zustand der Anlage und der Pumpe nicht gerecht werden. Legt man die Inspektionsintervalle zu lange aus, so können die Kosten für Produktschädigungen und eventuelle Ausfallkosten schnell mehrere 10.000 € überschreiten.



**Bild 2:** Modulares Servicekonzept für Pumpstationen inkl. Telemonitoring

Durch Überwachung und Teleservice mit Störungsfrüherkennung können sowohl Betriebsfehler als auch Trends, die auf eine baldige Schädigung hinweisen, aufgezeigt werden. Das Know-how besteht darin, die notwendigen Daten aufzunehmen, zu interpretieren und in leicht verständlicher Form an den Anwender weiterzugeben. Diese Informationen können dem Kunden oder dem Service-Dienstleister oder beiden zur Verfügung gestellt werden. Damit lassen sich falsche Fahrweisen vermeiden oder Serviceeinsätze besser planen. Dies erhöht die Sicherheit und die Verfügbarkeit der Anlage deutlich bei gleichzeitiger Senkung der Instandsetzungskosten. Um einen optimalen Nutzen aus dem Teleservice zu ziehen, muss das Telemonitoring mit Serviceleistungen verbunden sein. Durch „dynamische“ Inspektionsverträge muss der Betreiber

kein eigenes Personal vorhalten, um eventuell aufkommende Probleme zu beseitigen. Nur wenn sich technische Probleme andeuten, wird darauf hingewiesen und gehandelt. Dies kann durch einen externen Service-Provider übernommen werden. Treten Trends, die auf Schäden hinweisen, wiederholt auf, können die Ursachen durch Pumpenexperten von KSB detailliert analysiert und entsprechende Gegenmaßnahmen vorgeschlagen und realisiert werden. Welche Leistungen rund um den Teleservice in einen Servicevertrag integriert werden, erarbeiten Kunden und Pumpenhersteller gemeinsam (Bild 2).

### WIE KÖNNTE EINE UMSETZUNG AUSSEHEN?

Die Daten eines Aggregats werden ausgewertet und übertragen. Im Fall von Fehlermeldungen werden, abhängig von den Vereinbarungen im Vertrag, Mitarbeiter des Service-Providers oder des Betreibers alarmiert. Diese Meldung kann über SMS, E-Mail oder Telefon erfolgen. Der jeweilige Mitarbeiter wird gleichzeitig mit den relevanten Produktdaten versorgt und über den möglichen Schaden informiert.

So kann er sich mit den notwendigen Ersatzteilen und Werkzeugen ausstatten. Immer wenn die Effizienz einer Anlage erhöht werden soll, sich eine An-

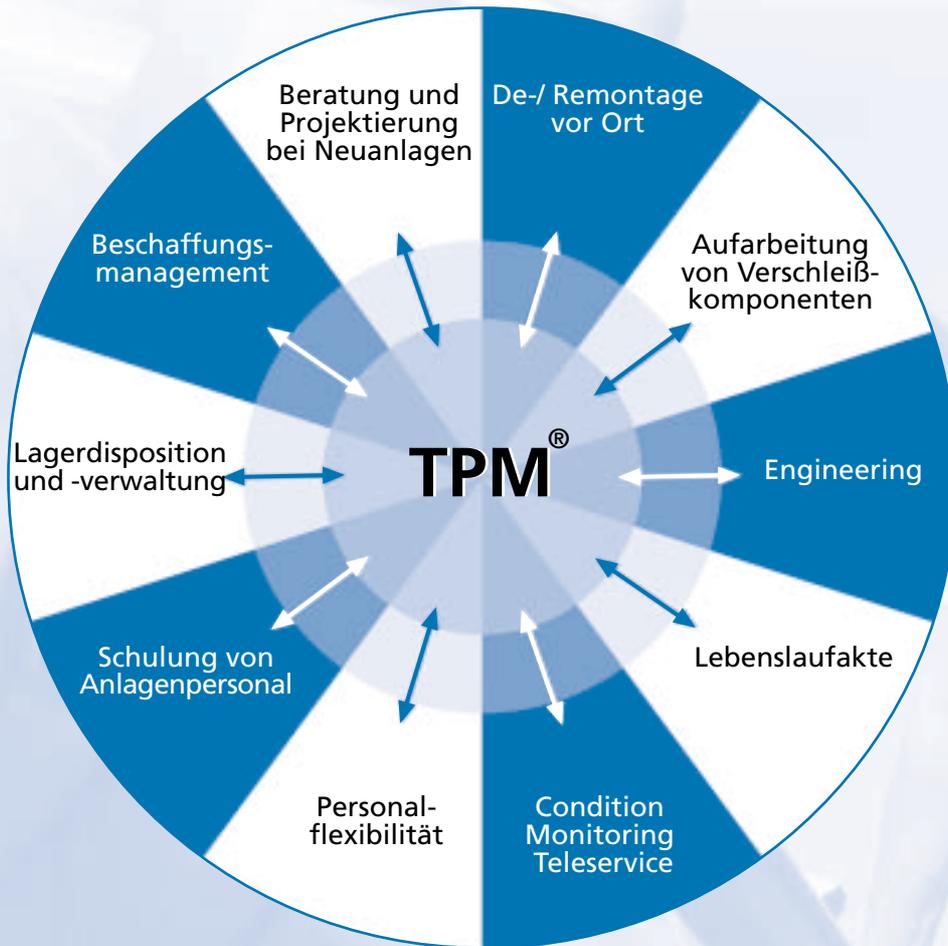


Bild 3: TPM®, Total Pump Management

lage als Problemanlage herausstellt oder ein erhöhter Sicherheitsbedarf vorliegt, sollte Teleservice mit Störungsfrüherkennung zum Einsatz kommen. Um die Verfügbarkeit der Anlage mittel- und langfristig sicherzustellen, sollte auch ein ganzheitliches Servicekonzept mit eingebunden werden. Kundenspezifisch und für jeden Anwendungsfall lässt sich die Instandhaltung an die Bedürfnisse des Pumpennutzers anpassen.

### MODULAR AUFGEBAUTES SERVICE-KONZEPT

Als ganzheitlichen Lösungsansatz hat KSB 1999 TPM® (Bild 3) entwickelt. Alle Produkt- und Anlagendaten, Ersatzteilbedarfe und Ausfallursachen von Aggregaten werden erfasst und

analysiert. Die Ergebnisse, die in einer „Lebenslaufakte“ festgehalten werden, liefern wichtige Informationen für die Betrachtung der „life-cycle-costs“. Sie dienen als Grundlage für die Festlegung von notwendigen technischen Anpassungen an die Betriebsbedingungen und der Länge der Wartungsintervalle sowie der Ersatzteilbevorratung. Der modulare Aufbau dieses Systems erlaubt es jedem Betreiber, ein auf seine speziellen Bedürfnisse abgestimmtes Servicepaket für Pumpen, Armaturen und artverwandte Systeme, gleich welchen Herstellers, zu erwerben. Dies reicht von einzelnen gezielten Instandhaltungsmaßnahmen bis hin zum „Rundum-Sorglos-Paket“, bei dem der Servicepartner die Pumpe in eigener Regie betreibt. Die Schulung und damit Sensibilisierung des Anlagenpersonals ist dabei sicherlich ein Baustein, der zu den gewünschten Ver-

besserungen führt. Erste Erfahrungen bei Pumpenbetreibern haben gezeigt, dass sich bei konsequenter Anwendung dieser Methode Einsparungen von 20 bis 30 Prozent des Instandhaltungsvolumens erreichen lassen. Bisher wurden 50 TPM®-Rahmenverträge in Europa abgeschlossen. Die Auswirkungen eines solchen Konzepts lassen sich nochmals an Bild 4 verdeutlichen.

### RESÜMEE

Durch einen ganzheitlichen Serviceansatz inklusive Teleservice lassen sich die Ausfallraten und die damit verbundenen Kosten über den Lebenszyklus eines Produkts deutlich senken.

# TECHNIK KOMPAKT

Sollten Sie nicht alle Ausgaben von „Technik Kompakt“ erhalten haben oder weitere Exemplare benötigen, können Sie als KSB-Mitarbeiter diese unter Angabe Ihrer Kostenstelle bei XBS in Pegnitz bestellen.



**FAX** → **+49 92 41 71 15 31**  
 Telefon: +49 92 41 71 19 12

Reihungsnummer	Sprache (Deutsch, Englisch, Französisch)	Kurztitel	Stückzahl
0012.0201	01	Technik Kompakt	Nr.1
0012.0201	10	Techno Digest	Nr.1
0012.0201	20	Technique Compact	Nr.1
0012.0202	01	Technik Kompakt	Nr.2
0012.0202	10	Techno Digest	Nr.2
0012.0202	20	Technique Compact	Nr.2
0012.0203	01	Technik Kompakt	Nr.3
0012.0203	10	Techno Digest	Nr.3
0012.0203	20	Technique Compact	Nr.3
0012.0204	01	Technik Kompakt	Nr.4
0012.0204	10	Techno Digest	Nr.4
0012.0204	20	Technique Compact	Nr.4
0012.0205	01	Technik Kompakt	Nr.5
0012.0205	10	Techno Digest	Nr.5
0012.0205	20	Technique Compact	Nr.5
0012.0206	01	Technik Kompakt	Nr.6
0012.0206	10	Techno Digest	Nr.6
0012.0206	20	Technique Compact	Nr.6
0012.0207	01	Technik Kompakt	Nr.7
0012.0207	10	Techno Digest	Nr.7
0012.0207	20	Technique Compact	Nr.7

Name: \_\_\_\_\_

Stellenkurzzeichen: \_\_\_\_\_

Gebäude: \_\_\_\_\_

Adresse\*: \_\_\_\_\_

Kostenstelle: \_\_\_\_\_

Ausstellungsdatum: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

\*Adressfeld bitte unbedingt vollständig ausfüllen!



KSB Aktiengesellschaft • Johann-Klein-Straße 9 • D-67225 Frankenthal  
 Herausgeber: Dr. Ing. Willi Enderle, Vorstand Forschung und Entwicklung  
 Redaktion: Christoph Pauly, Dr. Sönke Brodersen  
 Layout: Christophe Delaunay