

# Mehr Energieeffizienz durch Prozessautomation

- Wirtschaftlichkeit überprüfen
- Verbesserungen umsetzen



## IMPRESSUM

### Mehr Energieeffizienz durch Prozessautomation

- Wirtschaftlichkeit überprüfen
- Verbesserungen umsetzen

#### Herausgegeben von:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Automation

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Internet: [www.zvei.org](http://www.zvei.org)

#### Ansprechpartner:

Felix Seibl

Geschäftsführer Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung

Fon: +49 69 6302-451

Fax: +49 69 6302-319

Mail: [seibl@zvei.org](mailto:seibl@zvei.org)

Diese Broschüre wurde vom Arbeitskreis „Energieeffizienz durch Prozessautomatisierung“ im ZVEI-Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung erstellt.

Es wirkten mit:

Martin Adolf, Endress+Hauser

Volker Baumann, Actemium Controlmatic/NAMUR

Dr. Ralf Gitzel, ABB

Christina Kirchner, ABB

Walter Klug, ABB

Dr. Jörg Niemann, ABB

Rolf Panzke, Siemens

Dr. Eckhard Roos, Festo

Felix Seibl, ZVEI

Dr. Gerd-Ulrich Spohr, Siemens (Vors.)

Dr. Heidrun Tippe, Endress+Hauser

Uwe Vogel, Samson

Roland Volk, Festo

#### Design:

NEEDCOM GmbH

[www.needcom.de](http://www.needcom.de)

#### Druck:

Frotscher Druck GmbH

[www.frotscher-druck.de](http://www.frotscher-druck.de)

1. Auflage, April 2012

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des ZVEI reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden.

© ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

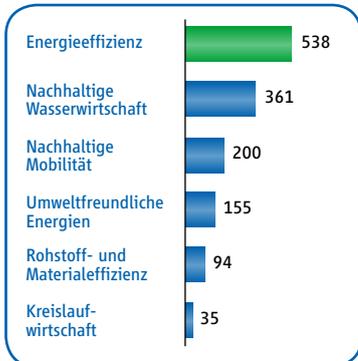


## Inhalt

<b>I.</b>	<b>Energieeffizienz-Maßnahmen auf Wirtschaftlichkeit überprüfen</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Bedeutende Stellschrauben der Energieeffizienz identifizieren und Verbesserungen umsetzen</b>	<b>6</b>
	<b>1. Allgemeine Informationen zum Energiemanagement</b>	<b>6</b>
	<b>2. Energieeinsparung in hydraulischen Systemen (Pumpen)</b>	<b>7</b>
	<b>3. Druckluftsysteme und -anwendungen</b>	<b>8</b>
	<b>4. Energieeffizienz in der Chemieindustrie</b>	<b>9</b>
	<b>5. Energieeffizienz in der Zementherstellung</b>	<b>10</b>
	<b>6. Energieeffizienz in Brauereien</b>	<b>11</b>
	<b>7. Effizienzsteigerung von Kläranlagen</b>	<b>13</b>
	<b>8. Energieerzeugung (Biogasanlagen)</b>	<b>14</b>
<b>III.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>15</b>

# I. Energieeffizienz-Maßnahmen auf Wirtschaftlichkeit überprüfen

## Weltmarktvolumen für Umwelttechnologien 2007 [Mrd. Euro]



Quelle: Roland Berger; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: GreenTech Made in Germany 2.0, 2009

Energieeffizienz ist ein Thema von großer gesellschaftlicher und monetärer Bedeutung. Bereits 2007 wurde der globale Markt von Roland Berger auf ein Volumen von 538 Mrd. Euro geschätzt (s. Schaubild links). Steigende Energiepreise stellen insbesondere energieintensive Industrien (z. B. Grundstoffchemie<sup>[1]</sup>, Metallherstellende Industrien, Zementindustrie, Öl- und Gasindustrie) vor große Herausforderungen in der Zukunft. Roland Berger Strategy Consultants beispielsweise gehen davon aus, dass der Strompreis in den nächsten 20 Jahren um knapp 70 % steigen wird. Und allein die Grundstoffchemie in Deutschland benötigte lt. Roland Berger 2010 Strom im Wert von rund 2,6 Mrd. Euro.<sup>[2]</sup> Berücksichtigt man dabei, dass Strom nur ca. 30 % des Energiebedarfs der Grundstoffchemie ausmacht und 70 % der Energiekosten auf Energieträger wie Gas, Kohle, Öl, Dampf und Druckluft entfallen<sup>[3]</sup>, heißt das: Die Gesamtenergiekosten der Grundstoffchemie in Deutschland dürften 2010 bei knapp 9 Mrd. Euro gelegen haben.

Nach ZVEI-Berechnungen können in den Maschinen und Anlagen der Industrie am Standort Deutschland, inklusive der kommunalen Produktions- und Entsorgungsunternehmen, bereits heute weitere 10 bis 25 % Energieeinsparungen allein durch anforderungsgerechte Automationstechnologien erreicht werden. Somit ließen sich in der gesamten Industrie in Deutschland innerhalb eines Jahres zusätzlich 7 Mrd. Euro an Energiekosten bzw. 43 Mio. Tonnen an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten einsparen.<sup>[4]</sup> Einen großen Beitrag, um Energieeffizienzpotenziale zu heben, kann beispielsweise die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (Prozessautomation) leisten (s. Schaubild unten).

### Was ist Prozessautomation?

Ein bedeutendes Feld der Automation ist die Messtechnik und Prozessautomation. Unter Messtechnik und Prozessautomation, auch Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik), versteht man das Messen, Steuern und Regeln von produktions- bzw. verfahrenstechnischen Prozessen (u. a. Erhitzen, Kühlen, Verdampfen, Kondensieren usw. von Stoffen) mithilfe von Mess- und Analysegeräten, Leitsystemen, Computertechnologien und Softwareengineering. Größen wie u. a. O<sub>2</sub>-Gehalt, pH-Wert, Temperatur, Druck usw. werden gemessen.

Sie hilft Branchen, wie z. B. der Chemie, Pharmazie, den Grundstoffindustrien sowie der Energiewirtschaft, effizient, sauber und sicher zu arbeiten. Die Messtechnik und Prozessautomation hat über 100.000 Beschäftigte in Deutschland und erwirtschaftete 2011 mit einem Umsatz von 17,8 Mrd. Euro mehr als 10 Prozent des Umsatzes der Elektroindustrie in Deutschland.



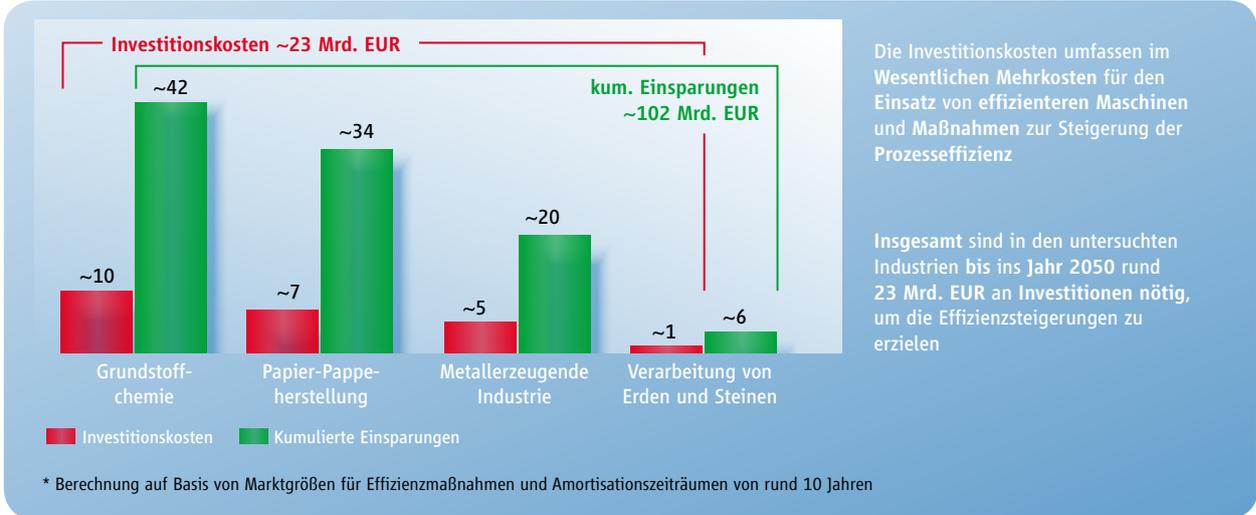
## Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienz-Maßnahmen stärker in den Fokus rücken

Die entscheidenden Fragen für den dauerhaften Erfolg von Energieeffizienz-Maßnahmen sind: Wie wirtschaftlich sind meine Maßnahmen? Rechnen sich die Investitionen in energieeffiziente und energieeffizienzhebende Technologien für mein Unternehmen auch betriebswirtschaftlich?

Laut Roland Berger Strategy Consultants ließen sich beispielsweise in der Grundstoffchemie bei Investitionskosten von 10 Mrd. Euro bis zum Jahr 2050 kumulierte Einsparungen von 42 Mrd. Euro an Energiekosten erzielen. Die Investitionskosten umfassen hier im wesentlichen Mehrkosten für den Einsatz von effizienteren Maschinen und Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der industriellen Prozesse, zum Beispiel moderne Mess-, Steuer- und Regeltechnik. In anderen energieintensiven Branchen wie Papierindustrie, Metallherstellende Industrie und bei der Verarbeitung von Steinen und Erden sind ähnliche Hebel zu erwarten.<sup>[5]</sup>

[1] Grundstoffchemie = anorganische Petrochemikalien, Polymere  
 [2] Vgl. Roland Berger Strategy Consultants: Studie: Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien, Ausblick und Handlungsstrategien bis 2050, München, im August 2011, S. 4  
 [3] Vgl. ZVEI: Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung: eigene Abschätzungen  
 [4] Vgl. ZVEI: Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz: Automation: Wir machen's energieeffizient, Frankfurt am Main, 2010  
 [5] Vgl. Roland Berger Strategy Consultants: Studie: Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien, Ausblick und Handlungsstrategien bis 2050, München, im August 2011, S. 14

**Investitionskosten\* und Einsparungen bis 2050 – industriespezifisch [Mrd. EUR]**



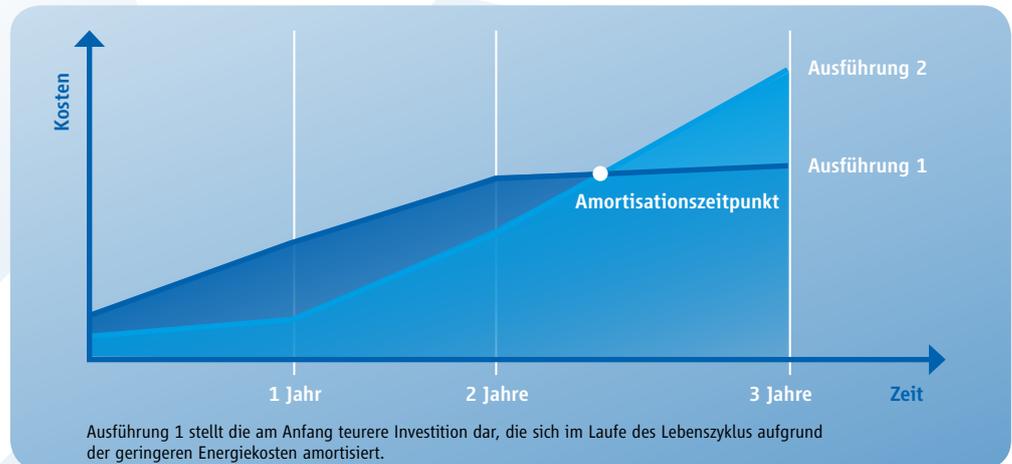
Quelle: Roland Berger Strategy Consultants

Um diese Effekte erkennen zu können, ist ein gewisser Weitblick (d. h. eine mittel- bis langfristige Betrachtungsweise) notwendig. Denn oft ist die auf den ersten Blick teurere Technologie die in Wirklichkeit ökologisch und betriebswirtschaftlich vorteilhafte, gerade vor dem Hintergrund der zu erwartenden Energiepreissteigerungen. Zwar spricht unter anderem die öffentliche Vergabeverordnung davon, auch Lebenszykluskosten bei Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen. Die Realität sieht aber oft anders aus: ZVEI-Recherchen haben ergeben, dass zirka 80% der Akteure zur Beurteilung lediglich den Anschaffungspreis oder die Amortisationszeit (Pay-off) nutzt, nicht aber ein Rentabilitätsmaß, wie den Barwert einer Lebenszykluskosten-Betrachtung, berücksichtigt.<sup>[6]</sup> Grund dafür ist, dass Einkäufer vielfach nicht für Betriebs- und Folgekosten verantwortlich sind. Verantwortlich dafür ist aber auch die mangelnde Verfügbarkeit verlässlicher und herstellernerutraler Tools zur Lebenszykluskosten-Betrachtung.

**ZVEI-Tool berechnet und vergleicht Lebenszykluskosten**

Der ZVEI hat daher in Kooperation mit Deloitte und der Unterstützung von neun Unternehmen<sup>[7]</sup> ein herstellernerutrales, betriebswirtschaftliches Lebenszykluskosten-Berechnungstool (LCE Lifecycle Cost Evaluation) entwickelt. Es steht kostenfrei unter [www.zvei.org/lebenszykluskosten](http://www.zvei.org/lebenszykluskosten) zum Download bereit. Die schnelle Transparenz über betriebswirtschaftliche Auswirkungen von zu vergleichenden Effizienzmaßnahmen steht hierbei im Vordergrund: Nachdem Basisinformationen wie u.a. Anschaffungs-, Energie- und Betriebskosten eingegeben wurden, vergleicht das excelbasierte Tool die Projektalternativen anhand ihres Barwertes und der Annuität. Es evaluiert, welche Option energieeffizienter ist, welche Alternative zu den geringeren Gesamtkosten führt und quantifiziert die Unterschiede. Als Optionen können z. B. einzelne Komponenten, Komponentenstränge sowie Anlagenteile miteinander verglichen werden. Da es sich dabei um ein rein betriebswirtschaftliches Instrument handelt, ist es nicht auf bestimmte Anwendungen und Technologien beschränkt, sondern vielfältig in Industrie und Infrastruktur einsetzbar.

**Der Amortisationszeitpunkt ist vielfach schon nach relativ kurzer Zeit erreicht**



[6] Vgl. ZVEI: Energieeffizienz rechnet sich: Vorstellung eines Berechnungsinstruments für Lebenszykluskosten bei Investitionsentscheidungen, Frankfurt am Main, 2011

[7] ABB, Auma, Endress+Hauser, Festo, Krohne, Pepperl + Fuchs, Phoenix Contact, Siemens, Vega

### Praxisbeispiel Kläranlage



Kläranlage Steinen  
Quelle: Endress+Hauser

Im konkreten Anwendungsfall der Kläranlage Bachwis (Schweiz) standen zwei Möglichkeiten zur Wahl: die standardmäßige Modernisierung (Investitionsprojekt I), bei der der Sauerstoffeintrag im Belebungsbecken auf Basis einer Zeitsteuerung erfolgt, und die energieeffiziente Modernisierung (Investitionsprojekt II), bei der der Eintrag auf Grundlage einer kontinuierlichen Messung des Sauerstoff- und Ammoniumgehalts mithilfe von Sensoren vorgenommen wird. Die letztere Variante lässt sich gezielt mit weniger Energieeinsatz steuern. Sie ist auf den ersten Blick mit einem um über 100 % höheren Anschaffungspreis die teurere Variante. Auch die jährlichen Betriebskosten sind hier höher. Dafür lässt sich viel Energie einsparen: Über den betrachteten Anlagenlebenszyklus von 15 Jahren ergeben sich insgesamt um 42 % geringere Energiekosten und um 27 % geringere Gesamtkosten. Insgesamt lassen sich fast 400.000 CHF an Gesamtkosten sparen. Die vermeintlich teurere Variante ist also in Wirklichkeit wesentlich preiswerter. Dies ist nur eines von vielen Beispielen aus der Praxis, das zeigt: Energie- und Kosteneffizienz stellen keinen Widerspruch dar. Energieeffizienz-Maßnahmen rechnen sich oft auch betriebswirtschaftlich.

Eine Übersicht von Energieeffizienz-Maßnahmen bei Kläranlagen gibt auch Kapitel II, Abschnitt 7.

### Beispiel: Kläranlage Bachwis, Fällanden, Schweiz (Vergleich Standard vs. Optimierung)

	Investitionsprojekt I	Investitionsprojekt II
<b>Maßnahme</b>	Belebungsbecken Zeitsteuerung (Standard-Modernisierung)	Belebungsbecken mit Sauerstoff- und ISE-Sensoren, also zusätzlich auch Ammonium- und Nitratmessung (Optimierung)
<b>Investitionssumme</b>	Einmalig 90.000 CHF, danach pro Jahr 2.000 CHF	Einmalig 208.000 CHF, danach pro Jahr 6.000 CHF
<b>Energiekosten</b>	110.000 CHF pro Jahr	63.000 CHF pro Jahr
<b>Betrachtungszeitraum</b>	15 Jahre	15 Jahre

### Auswertung Kläranlage (Standard vs. Optimierung)

Energieeffizienz	Investitionsprojekt I	Investitionsprojekt II	Mit Investitionsprojekt II lassen sich fast 400.000 CHF sparen
Barwert Energiekosten bei einmaliger Projektdurchführung	1.313,2	752,1	
<b>Barwert Energiekosten bei harmonisierter Projektlaufzeit</b>	<b>1.313,2</b>	<b>752,1</b>	
Nominale Energieeinsparung absolut		561,1	
<b>Jährliche Annuität (Energiekosten)</b>	<b>110,0</b>	<b>63,0</b>	
Nominale Energieeinsparung (pro Jahr)		47,0	
Prozentuale Energieeinsparung (Barwertbetrachtung)		-42,7%	
Wirtschaftlichkeitsvergleich	Investitionsprojekt I	Investitionsprojekt II	
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	
Installationsphase (Jahre)	0	0	
Betriebsphase (Jahre)	15	15	
Deinstallationsphase (Jahre)	0	0	
<b>Nutzungsdauer bei harmonisierter Projektlaufzeit (Jahre)</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	
<b>Diskontierungszinssatz</b>	<b>3,0 %</b>	<b>3,0 %</b>	
Barwert Lebenszykluskosten bei einmaliger Projektdurchführung	1.427,0	1.031,7	
<b>Barwert Lebenszykluskosten bei harmonisierter Projektlaufzeit</b>	<b>1.427,0</b>	<b>1.031,7</b>	
<b>Jährliche Annuität</b>	<b>119,5</b>	<b>86,4</b>	
Prozentuale Einsparung (Barwertbetrachtung)		-27,7%	
<b>Wähle →</b>		<b>Investitionsprojekt II</b>	

Quelle: ZVEI, Endress+Hauser

### Eingaben Projekt II Kläranlage (Standard vs. Optimierung)

Jahr der Nutzung Phase		0	1	2	3	4	5	6
		Installationsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase
<b>Personal</b>	<b>Kostentreiber aktivieren</b>							
Löhne und Gehälter	Nein							
Sozialversicherungsgebühren	Nein							
Schulungskosten (intern)	Nein							
Sonstige	Nein							
<b>Personal gesamt</b>								
<b>Material</b>								
Energiekosten	Ja		63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0
Rohstoffe	Nein							
Hilfsstoffe	Nein							
Betriebsstoffe	Nein							
Abfälle	Nein							
<b>Material gesamt</b>			63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0	63.000,0
<b>Bezogene Leistungen</b>								
Gutachten und Beratung	Nein							
Schulungskosten (extern)	Nein							
Kosten Projektgesellschaft	Nein							
Versicherungen	Nein							
Externe Ersatzleistungen für Ausfälle	Nein							
Sonstige	Nein							
<b>Bezogene Leistungen gesamt</b>								
<b>Anlagen</b>								
Grundstück	Nein							
Infrastruktur (PLS-Programmierung)	Ja	20.000,0						
Technische Anlagen und Maschinen (Gebläse (Anschaffung + Service))	Ja	90.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0
Technische Anlagen und Maschinen (Sauerstoffmessung (Invest + Material))	Ja	40.000,0	1.500,0	1.500,0	1.500,0	1.500,0	1.500,0	1.500,0
Technische Anlagen und Maschinen (ISE-Messsysteme (Invest + Einbau + Wartung))	Ja	58.000,0	2.500,0	2.500,0	2.500,0	2.500,0	2.500,0	2.500,0
Sonstige	Nein							
<b>Anlagen gesamt</b>		<b>208.000,0</b>	<b>6.000,0</b>	<b>6.000,0</b>	<b>6.000,0</b>	<b>6.000,0</b>	<b>6.000,0</b>	<b>6.000,0</b>

Quelle: ZVEI, Endress+Hauser

## Bedeutende Stellschrauben der Energieeffizienz identifizieren und Verbesserungen umsetzen

Voraussetzung für den zielgerichteten Einsatz des o. g. Berechnungstools ist, dass eine gewisse technische und kaufmännische Vorarbeit geleistet wird. Es müssen zuerst Informationen darüber eingeholt werden, welche Konsequenzen und Kosten mit möglichen Energieeffizienz-Maßnahmen verbunden sind. Diese Informationen liegen vielfach beim Hersteller vor und können ggf. mit den Erfahrungen der Anwender abgeglichen werden. In einem zweiten Schritt kann dann die Wirtschaftlichkeit der Energieeffizienz-Maßnahmen ermittelt werden, vorzugsweise anhand der wahren Kosten, der Lebenszykluskosten. Dafür stellt der ZVEI unter [www.zvei.org/lebenszykluskosten](http://www.zvei.org/lebenszykluskosten) ein Berechnungstool bereit. Als Drittes können nun für die bedeutenden Stellschrauben, also da, wo sich Maßnahmen lohnen, entsprechende Verbesserungen eingeleitet und umgesetzt werden.

1. Information einholen, welche Kosten und Einsparungen mit den jeweiligen Energieeffizienz-Maßnahmen verbunden sind → z. B. Hersteller- und Anwenderinformationen zu den jeweiligen Technologien
2. Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienz-Maßnahmen ermitteln und vergleichen anhand der Lebenszykluskosten → z. B. mithilfe des LCE-Tools vom ZVEI, siehe Kapitel I
3. Bedeutende Stellschrauben der Energieeffizienz identifizieren und Verbesserungen umsetzen (Energiekostentreiber bzw. sinnvolle Energieeffizienz-Maßnahmen) → siehe nachfolgende Abschnitte in Kapitel II

Nachfolgend werden folgende Anwendungen bzw. Branchen betrachtet:

- Energiemanagement
- Zementindustrie
- Hydraulische Systeme (Pumpen)
- Brauereien
- Druckluftsysteme
- Wasser- / Abwasserbranche (Kläranlagen)
- Chemieindustrie
- Energieerzeugung (Biogasanlagen)

### 1. Allgemeine Informationen zum Energiemanagement

Energiemanagement ist das systematische Herantreten an zukunftsichernde effiziente Energienutzung im Unternehmen. Darüber hinaus werden über ein Energiemanagement der Energieeinkauf und die Nutzung der Energie im Unternehmen kontinuierlich verbessert. Ziel ist es, den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) im Unternehmen zu implementieren. Nur so können immer wieder neues Effizienzpotenzial identifiziert und entsprechende Energieeinsparungsmaßnahmen eingeleitet werden. Ein probates Mittel, das Energiemanagement im Unternehmen umzusetzen, kann die Einführung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 sein. Die Norm stellt einen Handlungsrahmen bereit.

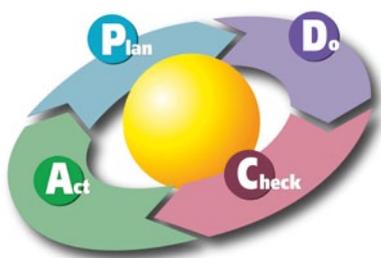
Die kontinuierliche Verbesserung des Energiemanagements bedeutet eine Vielzahl von Vorteilen für das Unternehmen:

- Reduzierung des Energieeinsatzes, damit Reduzierung der Energie- und Produktionskosten
- Durch reduzierte Produktionskosten ist eine höhere Wettbewerbsfähigkeit gegeben
- Der Kunde erwartet eine umweltgerechte, energieeffiziente Produktion
- Das Unternehmen erfüllt die politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen und kommt so eventuell in den Genuss von z. B. steuerlichen Vorteilen

Bei der Einführung des Energiemanagements sollte unter anderem Folgendes beachtet werden:

- Definieren eines Energieziels für das Unternehmen. Dies sollte messbar und nachvollziehbar sein. Denn nur so kann es kontinuierlich besser werden.
- Definieren unternehmerischer Energieleistungskennzahlen (EnPIs). Nur so lassen sich wirklich unterschiedliche Linien, unterschiedliche Produkte, unterschiedliche Schichten energetisch vergleichen.
- Entscheiden, ob die bisherige Energiedatenerfassung ausreichend ist. Wie wird die Energiebilanz erstellt? Wird alles per Hand ausgelesen oder gibt es eine automatische Datenerfassung und -verarbeitung? Sind genügend Energie-Mess-Sensoren installiert oder werden einige Produktionsbereiche energetisch unzureichend erfasst?
- Erstellen einer Energieeinsparmaßnahmen-Übersicht. Dieses lebende Dokument beinhaltet notwendige Energieeinsparungsmaßnahmen, die umgesetzt werden sollen. Hier sollten die Mitarbeiter einbezogen werden, denn der Bediener vor Ort hat sicherlich sehr konstruktive Ideen, seinen Bereich innerhalb der Produktion energieeffizienter zu machen.

Ein Energiemanagementsystem wirkt zukunftsorientiert und kann bei einer Zertifizierung die Grundlage für Fördermöglichkeiten und Steuereinsparungen sein. Als Beispiel seien hier das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) und Spitzensteuerausgleich genannt.



Quelle: PDCA by Karn G. Bulsuk

## 2. Energieeinsparung in hydraulischen Systemen (Pumpen)



Quelle: Heißwassererzeuger Fa. Sondex BV/  
Fa. Samson AG

Pumpen verursachen ca. 20% des Weltstromverbrauches<sup>[1]</sup>, sodass sich hier erhebliche Einsparpotenziale in allen Bereichen ergeben. Um die Energieeffizienz in einem hydraulischen System zu erhöhen, ist es notwendig, das gesamte System, bestehend aus Pumpe, Armaturen und Verbraucher, zu betrachten. Durch eine isolierte Betrachtung der einzelnen Komponenten kann das Einsparpotenzial nicht vollständig ausgeschöpft werden.

Durch die Weiterentwicklung der Motoren wurden sehr hohe Wirkungsgrade erreicht, damit kann ein Teil des Einsparpotenzials des Gesamtsystems gehoben werden. Heute werden ca. 15–20% der Pumpen im Bestand über Frequenzumrichter mit veränderlichen Drehzahlen betrieben, wodurch über eine Absenkung der Drehzahl Energie eingespart wird. So führt beispielsweise die Absenkung der Drehzahl um 20% zu einem um 50% geringeren Energieverbrauch.

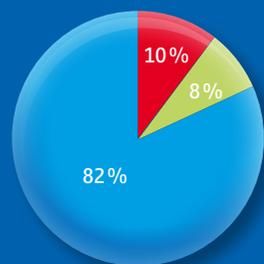
Kreiselpumpen beispielsweise weisen ein ausgeprägtes Wirkungsgradmaximum auf. Dieses liegt etwa bei halbem maximalen Förderstrom. Durch die heute übliche Überdimensionierung von Pumpen werden der Drehzahlregelung dadurch Grenzen gesetzt. Wird eine Pumpe nur mit halber maximaler Förderleistung betrieben, geht aufgrund der internen Rückströmung der Wirkungsgrad zurück. Werden mehrere Verbraucher an eine Pumpe angeschlossen, beeinflusst die Regelarmatur durch ihren Druckverlust nicht unerheblich den Energiebedarf der Pumpe. Der Druckverlust in den Armaturen, als Ventilautorität bezeichnet, bestimmt die Regelungsqualität maßgeblich. Durch die Kombination von Drehzahlregelung und Drosselregelung lassen sich alle Punkte im Kennfeld der Pumpe beliebig anfahren, sodass das gesamte hydraulische System energieoptimal gefahren werden kann.

Neben industriellen Anwendungen spielen die privaten Haushalte mit einem Drittel des Gesamtenergieverbrauchs eine sehr wichtige Rolle. Die unzähligen Pumpen in Heizungs-, Klima-, Lüftungsanwendungen stellen ein erhebliches Einsparpotenzial dar. So werden bei der Trinkwassererzeugung in Wohngebäuden heute teilweise über 25% des Gebäudegesamtwärmebedarfes für die Erwärmung des Trinkwassers erforderlich. Ein großer Teil geht dabei durch die sogenannten Zirkulationsverluste verloren. Moderne Motorventile mit integrierten Reglern und der Kombination der Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip können diese Verluste deutlich reduzieren, ohne dass der Komfort darunter leidet. Als Beispiel betragen die Betriebskosten einer Zirkulationspumpe bei 16 Stunden Laufzeit mit einer Leistungsaufnahme von 30 W pro Jahr ca. 40 Euro. Bei ca. 40 Millionen Privathaushalten allein in Deutschland, kommt hier ein beträchtliches Einsparpotenzial zusammen.

### Übersicht – Überlegungen zur Erkennung von Einsparpotenzialen

Vielfach wird vernachlässigt, dass die Anschaffungskosten für eine Anlage über die gesamte Nutzungszeit oft nur einen Bruchteil der Gesamtkosten ausmachen. Bei einem Pumpensystem können 82 Prozent der Kosten auf den Energieverbrauch fallen. Daher sollten bei der Planung einer Anlage nicht ausschließlich die Anschaffungskosten im Vordergrund stehen: Es müssen die verschiedenen Kosten einer Anlage über die gesamte Lebensdauer (Lebenszyklus) betrachtet werden.

#### Lebenszykluskosten Pumpensysteme



■ Energie  
■ Instandhaltung  
■ Anschaffung

Gesamtkosten für ein beispielhaftes Pumpensystem (Investitions- und Betriebskosten)

#### Auslegung

##### Förderleistung

- benötigte Förderhöhe bestimmen
- benötigten Förderstrom bestimmen

##### Betriebsbereich

- Normalbetrieb
- Anfahrzustand
- Überlastbetrieb/Notbetrieb
- Teillastbetrieb (Teillast-Rezirkulation) Not-Aus

##### NPSH-Wert (Net Positive Suction Head = erforderlicher Vordruck der Pumpe)

- Kavitation
- Strömungsabriss

#### Motor

##### Motorbauart

- Besonders energieeffiziente Motoren (wie z. B. IE3)

##### Lifecycle-Kosten

- Energieverbrauch

##### Wartungskosten

#### Pumpe

##### Auswahl der Pumpe

- Verdrängerpumpe
- Strömungsmaschine
  - radial
  - halbaxial
  - axial

- Laufradanzahl
  - einstufig
  - mehrstufig
- Laufradgröße
  - Anpassung an Förderleistung
- Laufradzustand
  - beschädigt
  - verschmutzt

##### Ein- und Auslaufstrecke/Art der Anströmung

- Kavitation
- Strömungsabriss

#### Regelung

##### Zwei-Punkt-Regelung

- An oder Aus
- ##### Drehzahlregelung
- Nenndurchfluss – minimal Durchfluss
  - Eigenfrequenz der Pumpe
  - Störungen (EMV)

##### Drosselregelung

- Ventildimensionierung
  - Anfahrzustand
  - Kavitation
- ##### Bypass-Regelung

#### Betriebsverhalten

##### Laufleistung Betriebspunkt

- Lage des Betriebspunktes

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe, 2009, S. 12

Quelle: Samson AG

[1] Vgl. Andreas Schreitmüller, Danfoss, in: Chemie-Technik, Mai 2008, S. 62

### 3. Druckluftsysteme und -anwendungen

Der Energieverbrauch in der Prozessautomatisierung, speziell bei pneumatischen Anwendungen (Druckluft), wird nicht alleine von der Effizienz des eingesetzten Kompressors, sondern insbesondere auch von dem Zusammenspiel und der Effizienz aller Komponenten in der pneumatischen Kette bestimmt. Die Einsparpotenziale können durch den Einsatz von intelligenten Auslegungstools im Engineering bis zu 40 % beim Druckluftverbrauch und 10 % bei den Anwendungskosten betragen.

Bei der Auslegung von Wartungseinheiten sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Qualität der Druckluft vom Kompressor ermitteln
- Maximal zu erwartenden Gesamtbedarf der Anlage ermitteln
- Benötigte Druckluftqualität für die eingesetzten Komponenten ermitteln

Eine Wartungseinheit sollte die Funktionen erfüllen:

- Manuelles Einschaltventil
- Elektrisches Einschaltventil
- Filterregelventil
- Druckaufbauventil
- Drucksensor
- Weitere Sensoren (z. B. Durchfluss-Sensor) können integriert werden

#### Ventile und/oder Ventilinseln

Ventile sollten so nahe wie möglich an den Antrieben installiert sein. Dadurch werden folgende Ziele erreicht:

- Verringerung des Totvolumens im Schlauch
- Kürzere Reaktionszeiten der Antriebe



Wartungseinheit für dezentrale Aufbereitung und Abschaltmöglichkeiten  
Quelle: Festo

Schlauchlänge	3,0 m	0,3 m
Druckluftverbrauch des Schlauches	0,919 NL/Zyklus	0,092 NL/Zyklus
Energiekosten/Jahr (2,5ct/Nm <sup>3</sup> )	~145 €/Jahr	~15 €/Jahr
Druckluftverbrauch Arbeitszylinder 2,4 NL/Zyklus	~350 €/Jahr	~350 €/Jahr
Einsparungen durch Reduzierung der Schlauchlänge		26 %

Bei Systemdruck von 6 bar.

#### Pneumatische Antriebe

- Die Applikation entscheidet über die Wahl des Antriebssystems
- Bei Antrieben kann durch eine richtige Dimensionierung eine hohe Einsparung erreicht werden

Fragen zur Auswahl des Antriebssystems

- Ist ein ruckfreier Bewegungsablauf gefordert?
- Sind lange Wege zurückzulegen und dabei hohe Geschwindigkeiten gefordert?

Können diese Fragen mit „NEIN“ beantwortet werden, kann es sinnvoll sein, hier einen pneumatischen Antrieb einzusetzen.

Kann eine der Fragen mit „JA“ beantwortet werden, kann es sinnvoll sein, hier einen elektrischen Antrieb einzusetzen.

#### Rückhub mit geringerem Druck

Häufig machen Antriebe nur einen produktiven Hub und einen unproduktiven Hub, bei dem keine Arbeit verrichtet wird. Hier besteht die Möglichkeit, diesen unproduktiven Hub mit einem geringeren Druck zu realisieren und dadurch Druckluft einzusparen.

#### Einsparungen durch Druckreduzierung

	Ansteuerung mit gleichem Druck beim Vor- und Rückhub	Ansteuerung mit unterschiedlichen Drücken
Eingesetzter Zylinder	Ø 32 mm / 250 mm Hub	Ø 32 mm / 250 mm Hub
Druck	6 bar	6 bar ausfahren; 2,5 bar einfahren
Verfahrzeit	0,5 s ausfahren; 0,5 s einfahren	0,5 s ausfahren; 0,5 s einfahren
Energiekosten/Jahr (2,5 ct/Nm <sup>3</sup> )	365 €	280 €

Applikation: Bewegung eines Käselais mit 12 kg, Weg: 250 mm; 60 Zyklen/min; 8 h/Tag; 200 Tage/Jahr

Eine energieeffiziente Produktion erfordert über den Life Cycle der Produktionsanlage aber auch ein kontinuierliches Monitoring des Druckluftsystems. Die Analyse einer realen Produktionsanlage zeigt, dass Leckagen Verluste erzeugen, die in die Größenordnung des Verbrauchs der Anlage kommen können.



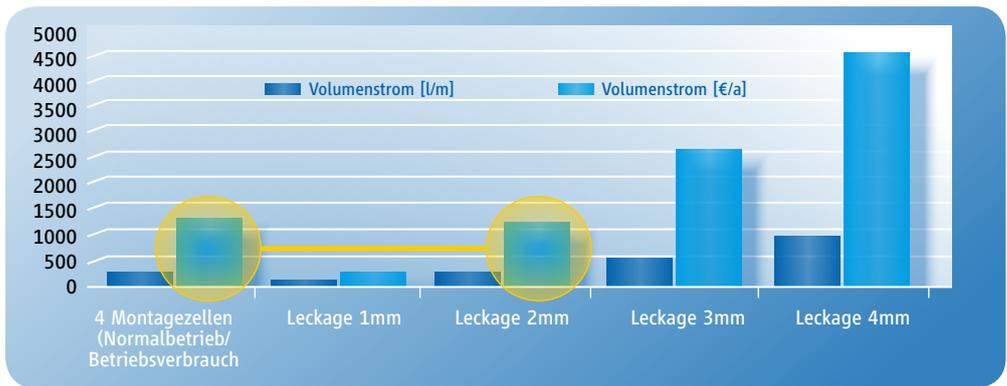
Zylinder-Ventil-Kombination zur Reduzierung der Schlauchlängen  
Quelle: Festo



- Typische Produktionsanlage mit 80 pneumatischen Antrieben in 4 Montagezellen
- 6 bar Betriebsdruck
  - Zwei-Schicht-Betrieb an 250 Tagen/a
  - 2 ct/m<sup>3</sup> Druckluftkosten
  - Verbrauch von 270 m<sup>2</sup>/d
  - Energiekosten 5,40 EUR/d, 1350 EUR/a

Quelle: Festo

### Vergleich von Leckagen unterschiedlicher Größe zum Druckluftverbrauch



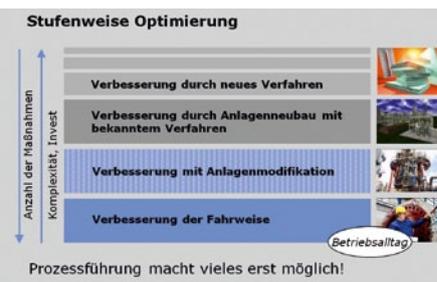
Eine Leckagestelle mit 2 mm Durchmesser erzeugt Verluste in der Größenordnung des Druckluftverbrauchs der Produktionsanlage.

Neben der Erkennung von Leckagen ermöglichen Condition-Monitoring-Systeme auch durch den kontinuierlichen Vergleich von Produktionsparametern mit Werten aus Referenzfahrten der Produktion die frühzeitige Detektion von Veränderungen im Produktionsprozess. In geplanten Wartungsintervallen kann dann gezielt nach diesen Veränderungen gesucht und mögliche fehlerhafte Komponenten ausgetauscht werden.

## 4. Energieeffizienz in der Chemieindustrie

Die Chemische Industrie in Deutschland hat sich für die eigene Produktion ambitionierte Energie- und Klimaschutzziele gesteckt, die bisher auch erreicht werden konnten. Im Vergleich zum Jahr 1990 lag der absolute Energieverbrauch im Jahr 2009 um 33 %, der spezifische um mehr als 50 % unter dem Ausgangswert. [1] Die Treibhausgase konnten im gleichen Zeitraum um rund 45 % gesenkt werden. [1] Darüber hinaus tragen innovative chemische Produkte wie, z. B. Hightech-Materialien für die Nutzung von regenerativen Energieträgern zur Stromerzeugung, Hochleistungs-dämmstoffe oder Leichtbauteile für die Automobilindustrie, wesentlich dazu bei, die Herausforderungen der Energiewende zu meistern. Investitionen in moderne Kraftwerke und energieeffizientere Prozesse haben die Effizienz in der Chemieindustrie deutlich verbessert. Dennoch besteht weiterhin hohes Optimierungspotenzial. An großen Standorten ist der Verbund, also die stoffliche und energetische Integration von Prozessen, ein bedeutendes Element. Die Automatisierungstechnik schafft dabei die Voraussetzungen, stark verkoppelte Prozesse auch bei zunehmender Komplexität betreibbar zu machen. Darüber hinaus ist sie ein wichtiger Hebel um integrierte Anlagen und Apparate in der Nähe des energetischen Optimums zu betreiben und die Entwicklung vom Einzel- zum Gesamtoptimum voranzutreiben.

Die NAMUR (Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie) hat das Thema Energieeffizienz bereits im Jahr 2009 als Querschnittsthema identifiziert und den Arbeitskreis 4.17 gegründet, der sich mit dem Beitrag der Automatisierungstechnik zur Energieeffizienz beschäftigt. Dieser AK hat die Erfahrungen aus den Mitgliedsfirmen gesammelt und beschreibt mit dem NAMUR-Arbeitsblatt 140 eine systematische Vorgehensweise zur Durchführung von Energieeffizienzprojekten mithilfe der Automatisierungstechnik. Denn unabhängig von der Erreichung der freiwilligen Energiesparziele im Jahr 2012, stellt sich die chemische Industrie weiterhin der wichtigen Aufgabe, den Energieverbrauch weiter zu reduzieren.



Quelle: NAMUR AK 4.17



### Energie- und Prozessoptimierung

#### Stufe 1: Verbesserung der Fahrweise

Allgemein entspricht die Systematik für Energieoptimierungsprojekte dem Vorgehen eines jeden Verbesserungsprojekts. Dabei lässt sich der Hebel zur Verbesserung der Energieeffizienz für einen verfahrenstechnischen Prozess aus Sicht der Automatisierung in 4 Stufen beschreiben.

Die bestehende Anlage soll energieoptimal betrieben werden. Zum Beispiel durch eine verbesserte Koordination von Energiequellen und -senken bis hin zu einem anlagenweiten Regelungskonzept, das aus Online-Daten mithilfe von Modellen den optimalen Betriebspunkt bestimmt und in den Betrieb der Anlage eingreift. Für die Automatisierungstechnik ist dies der typische Projektfall, sodass hier der Schwerpunkt zur Verbesserung liegt.

#### Stufe 2: Verbesserung durch Anlagenmodifikation

Um weiter in Richtung des theoretischen Optimums zu gelangen, müssen Verluste, die durch ein suboptimales Apparatedesign entstehen, reduziert werden. Dafür wird überholtes Equipment ausgetauscht oder Anlagenteile, für die es modernen Ersatz gibt, werden umgebaut. Dabei stehen häufig Ziele wie Kapazitätserweiterung, verbesserte Wärmeintegration oder effizientere Apparate im Vordergrund. Die geplanten Änderungen geben häufig der Prozessführung ein Fenster, weitere Verbesserungen vorzunehmen. Oft sind die Neuerungen auch nur durch eine Verbesserung der Prozessführung betreibbar. Dabei ist sehr wichtig, dass die Anlagenplaner und die Prozessführer sehr frühzeitig zusammenarbeiten, um die richtigen Technologien und Werkzeuge auszuwählen sowie die notwendigen Schnittstellen zu schaffen. Ein klassisches Beispiel aus der Energieoptimierung, mit dem durch einen vergleichsweise kleinen Umbau eine große Einsparung erzielt wird, ist die zusätzliche Nutzung von Frequenzumrichtern bei Pumpenmotoren. Die benötigte Durchflussmenge wird durch die Variation der Pumpendrehzahl reguliert.

**Stufe 3 und 4:  
Verbesserung durch  
Anlagenneubau oder  
Produktaustausch**

Die größten Potenziale, aber auch die höchsten Kosten ergeben sich, wenn Anlagen neu geplant oder sogar völlig neue Anlagentypen entwickelt werden. Gründe hierfür können neue Verfahren oder neue Produkte sein. Für die Energieeffizienz kommen seitens der Apparate dann modernste Technologien zum Einsatz. Für die Ingenieure aus der Prozessführung kommen solche Aufgabenstellungen relativ selten vor. Die Herausforderung ist wie in Stufe 2 eine frühzeitige Zusammenarbeit mit der Planung, damit die Lösungen aufeinander abgestimmt werden. Dann ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten, wie zum Beispiel über Trainingssimulatoren die Prozessführung offline zu erproben und Anlagenfahrer frühzeitig zu schulen. Beispiele für die Stufen 3 und 4 sind das Verfahren zur direkten Oxidation für Propylenoxidherstellung (-35 % Energieverbrauch<sup>[2]</sup>), die Ablösung der Chlorherstellung mittels Quecksilberelektrode oder das Verbot von FCKW und die Entwicklung von Ersatzstoffen.

**NAMUR-Arbeitsblatt 140<sup>[3]</sup>**

Die Automatisierungstechnik ist die Basis dafür, dass Prozesse trotz der Veränderungen von Betriebspunkten und Störungen im Prozess sicher und stabil laufen, während Prozessgrenzen ausgenutzt werden. Ihr Ziel muss es sein, den Betrieb für den Bediener zu vereinfachen und dabei den Abstand zwischen dem Betriebspunkt und dem Optimum über die Zeit so gering wie möglich zu halten. Das NAMUR-Arbeitsblatt 140 dient als Leitfaden für die Vorgehensweise zur Steigerung der Energieeffizienz – Beitrag der Automatisierungstechnik in der Chemischen Industrie.<sup>[3]</sup> Das Dokument richtet sich an den Praktiker, der betriebliche Energieeffizienz-Maßnahmen plant und umsetzt. Dabei kann der Leitfaden als Einstieg dienen; er wird allerdings niemals den Experten mit seinem Fach- und Erfahrungswissen ersetzen.

**Quellen**

- [1] Verband der Chemischen Industrie: Energieverbrauch Energieeffizienz, Foliensatz Energie und Klimapolitik, persönlicher Kontakt von Volker Baumann per E-Mail am 17.10.2011
- [2] BASF: BASF und Dow erhalten US-amerikanischen Umweltschutzpreis für ihre HPPO-Technologie, (2010). <http://www.basf.com/group/pressemitteilungen/P-10-327>
- [3] NAMUR: NA 140 „Vorgehensweise zur Steigerung der Energieeffizienz in chemischen Anlagen“, Beitrag der Automatisierungstechnik, erscheint voraussichtlich im Juni 2012
- [4] K. Schächtele, S. Krämer: Energieoptimierung in der Chemieindustrie: Politisch gewollt oder wirtschaftlich notwendig?, atp edition 1–2, 2012, S. 888-897, 2012
- [5] Endbericht „Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative“, ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Oktober 2011

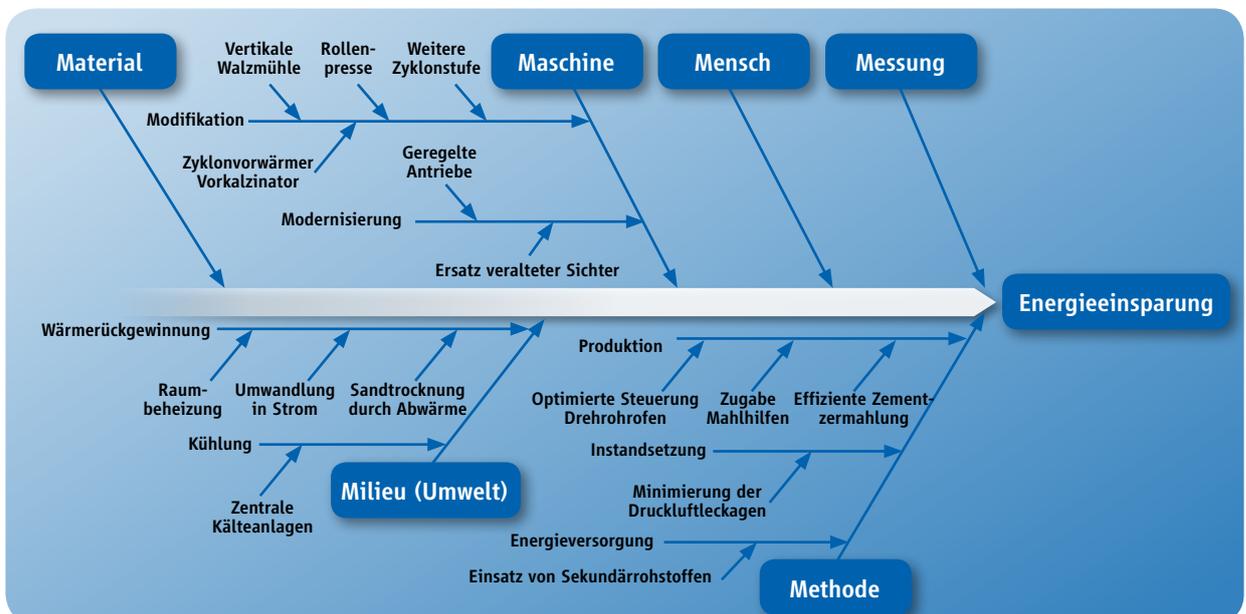
**Weitere Literaturhinweise**

**5. Energieeffizienz in der Zementherstellung**

„Der thermische Energiebedarf ist die bedeutendste Kenngröße für die Beurteilung der Energieeffizienz in der Zementindustrie.“ (1<sup>1</sup>, S. 29) „Elektrische Energie wird bei der Zementherstellung – nach Prozessschritten eingeteilt – vor allem für Rohmaterialaufbereitung (etwa 35 %), zum Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 22 %) und für die Zementmahlung einschließlich Verpackung und Verladung (ca. 38 %) aufgewendet.“ (1<sup>1</sup>, S. 44)

„Die Lebenszeit von Zementdrehrohrofenanlagen beträgt zwischen 30 und 50 Jahren. Während dieser Lebenszeit werden die Anlagen üblicherweise jährlich einer Großreparatur unterworfen, in der betriebliche Optimierungen und zum Teil der Ersatz einzelner Anlagenbauteile vorgenommen werden. Weiterhin gilt allgemein, dass selbst der Ersatz einzelner Anlagenteile (wie z. B. Klinkerkühler) niemals allein durch die Verminderung der Energiekosten wirtschaftlich gerechtfertigt werden kann.“ (1<sup>1</sup>, S. 30) Daher ist eine Systembetrachtung wichtig. Das bedeutet, dass man nicht wegen der Energiekosten umbaut, sondern beim Umbau durch geschickte Auswahl der neuen Technologien zusätzlich Geld gespart werden kann.

**Möglichkeiten zur Energieeinsparung in der Zementindustrie**



Quelle: ABB

**Maschine**

Zementwerk  
Quelle: ABB

**Modifikation:**

- Alternativ kann eine **Rollenpresse zur Vorzerkleinerung** den Energiebedarf der Kugelmöhlen im Hauptschritt reduzieren. Steigerung der Durchsatzleistung um bis zu 100 %, Energieeinsparung von bis zu 50 %. ([1], S. 49)
- Eventueller Einbau einer weiteren **Zyklonstufe** über die sich theoretisch ergebende benötigte Anzahl hinaus (aufgrund des Wassergehalts des Rohmaterials). Mögliche energetische Einsparung bezogen auf Brennstoffenergiebedarf von 80 bis 100 kJ/kg Klinker. [2]
- **Zyklonvorwärmer und Vorkalzinator:** Die Zyklonvorwärmer- und Vorkalzinator-Technologie wurde zur Verbesserung der Energieeffizienz eingeführt. Die Energieeinsparung kann bis zu 50 % betragen. [5]
- Liegt der Wirkungsgrad des verwendeten Klinkerkühlers bei 75 % oder mehr? Moderne Kühler haben einen Wirkungsgrad von bis zu 80 %. [1]

**Modernisierung:**

- **Geregelte Antriebe:** Eine Optimierung der Antriebe konnte in einer Fallstudie an 3 Standorten eine jährliche Minderung des elektrischen Energiebedarfs um 672 MWh erzielen. ([1], S. 51), (ABB Expertenmeinung: Bis zu 70 % Einsparungspotenzial).
- **Ersatz veralteter Sichter** durch effizienter arbeitende, trennschärfere Hochleistungssichter ermöglicht eine Energieeinsparung von ca. 15 %.

**Methode****Wärmerückgewinnung:**

- Wird die Abwärme aus der Kühlerabluft oder des Zyklonwärmetauschers für Sandtrocknung, Brennstoffvorwärmung, Heizanlagen, Fernwärmeausspeisung o.ä. genutzt? Das durchschnittlich noch nicht genutzte Potenzial aus Abwärme beträgt ca. 10,5 % der eingesetzten thermischen Energie. ([1], S. 35)
- **Abwärme kann auch zur Stromerzeugung** verwendet werden. In einer Fallstudie konnte 1/3 des Elektrizitätsbedarfs eines Zementwerks durch Abwärme gedeckt werden. [3]

**Milieu (Umwelt)****Produktion:**

- **Effiziente Zementermahlung:** „Die Mahlprozesse, [d.h.] die Mahlung der eingesetzten Rohmaterialien zu einem feinen Gesteinsmehl sowie die Aufmahlung des Zementklinkers [...] bestimmen mit ihrer Effizienz maßgeblich den Stromverbrauch des gesamten Zementwerks.“ ([1], S. 44) „Der stärkste Hebel zur Verminderung des Energieeinsatzes bei der Zementherstellung liegt in der Substitution des Zementklinkers durch andere Zementhauptbestandteile wie Hüttensand, Steinkohleflugasche, Kalksteinmehl oder Puzzolane.“ ([1], S. 63)
- **Zugabe von Mahlhilfen:** Durch die Zugabe einer Mahlhilfe wird laut Herstellerangaben der Energieverbrauch beim Mahlprozess pro Tonne Zementpulver um etwa 10 % gesenkt. [4]
- Optimierung Steuerung Drehrohrofen: 8 % thermische Energieeinsparung möglich (ABB Expertenmeinung).

**Instandsetzung:**

- **Minimierung von Druckluftleckagen im Betrieb:** Bis zu 30 % Einsparung dieser Energiekosten möglich bei regelmäßiger Beseitigung der Leckagen (ABB Expertenmeinung).

**Energieversorgung:**

- Einsatz von Sekundärrohstoffen: Der Einsatz von Sekundärrohstoffen (z. B. bestimmte Arten von Abfall) zur Befuerung kann den Primärenergiebedarf indirekt senken. In einigen Fällen kann dies aber zu veränderten Anforderungen an die Emissionsbegrenzung führen, was bei der Planung berücksichtigt werden sollte. ([6], S. 12; [7], S. 2)

**Quellen**

- [1] „Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie“, ZÖV, [http://www.zementindustrie.at/file\\_upl/energieeffizienzanalyse.pdf](http://www.zementindustrie.at/file_upl/energieeffizienzanalyse.pdf)
- [2] WBCSD/ECRA: Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead (CSI/ECRA Technology Papers). European Cement Research Academy, 2009 [www.wbcscement.org/technology](http://www.wbcscement.org/technology)
- [3] <http://www.hitech.at/2011/10/13/wie-zementerzeuger-energie-sparen/>
- [4] [http://www.sika.com/de/group/sustainability/megatrends/energy\\_and\\_raw\\_materials/grinding\\_aids.html](http://www.sika.com/de/group/sustainability/megatrends/energy_and_raw_materials/grinding_aids.html)
- [5] [http://www.analyticjournal.de/downloads\\_firmen/siemens\\_zement\\_de.pdf](http://www.analyticjournal.de/downloads_firmen/siemens_zement_de.pdf)
- [6] [http://www.econsense.de/sites/all/files/HC\\_U\\_Bericht\\_04.pdf](http://www.econsense.de/sites/all/files/HC_U_Bericht_04.pdf)
- [7] [http://www.energetrialog.ch/cm\\_data/DeQuervain\\_Inputpapier\\_EM\\_07.pdf](http://www.energetrialog.ch/cm_data/DeQuervain_Inputpapier_EM_07.pdf)

## 6. Energieeffizienz in Brauereien

Der Energiekostenanteil (Strom und Wärme) am Umsatz schwankt bei Brauereien zwischen 5 und 10 %. Typische Verbräuche sind 20 – 30 kWh Wärme und 10 – 15 kWh Strom pro hl Verkaufsbier. Brauereien sind energetisch gesehen oftmals immer noch eine Blackbox. Dabei liegt das einfach zu realisierende Energieeinsparpotenzial in der Regel um 10 % und höher. Dennoch zeichnet sich ein Trend in Richtung energieautarke, CO<sub>2</sub>-neutrale Brauerei ab, den vor allem die Groß-Brauereien vorantreiben.

Im Nachfolgenden finden Sie einige Beispiele, um Brauereien energieeffizienter zu betreiben:

**Sudhaus Einbindung solarer Prozesswärme**

Für das Herstellen der Vorderwürze werden beim Einmaischen große Mengen an Wasser in einem Temperaturbereich von 40 °C bis 58 °C benötigt, welche teilweise solar bereitgestellt werden könnten.



Brauessel

**Biogas-Erzeugung**

Nach dem Maisch-Prozess bleibt der Biertreber im Läuterbottich zurück. Der hohe Wassergehalt der Biertreber ist produktionsbedingt. Sie enthalten dennoch viele Stoffe, die in Wasser nicht löslich sind, wie Getreidespelzen, Keimlingsreste oder Proteinkoagulate. Diese Brauerei-Reststoffe eignen sich als Ausgangsstoff für die Erzeugung von Biogas. Bei geeigneter technischer Gestaltung des Verfahrens ist dadurch eine energetisch und nahezu CO<sub>2</sub>-neutrale Bierproduktion realisierbar.

Durch die Verbrennung des Biogases innerhalb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage können aus den eigenen Reststoffen hohe Anteile von Wärme und Strom erzeugt werden.

**BHKW (Blockheizkraftwerk)**

Biogas (idealerweise aus Treber erzeugt) oder Erdgas kann zum Betreiben eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) benutzt werden. Das BHKW ist wie ein großer Motor zu betrachten, der mit Gas betrieben wird und einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Die Abwärme kann aus dem Kühlkreislauf des BHKW gewonnen werden, wie auch aus dem Abgas. Die gewonnene Abwärme kann zur Würzeaufheizung, Raumheizung und Warmwasseraufbereitung genutzt werden. Der erzeugte Strom kann anstelle des vom Energieversorger gelieferten Stroms innerhalb der Brauerei benutzt werden.

Koppelt man eine KWK-Anlage mit einer Absorptionskältemaschine, erhöht sich nicht nur die Betriebsdauer des BHKW, sondern auch die erzielbare Energieeinsparung. In Brauereien spielt die Kälteerzeugung klassisch eine große Rolle, üblicherweise mit Verdichterkälteanlagen, die hohe Stromverbräuche und -kosten verursachen. Die effizientere Alternative sind Absorptionskälteanlagen, die die Abwärme einer KWK-Anlage zum Antrieb nutzen. Da Absorptionskälteanlagen sinnvollerweise zur Grundlast-Kälteversorgung eingesetzt werden, wird durch ihren Betrieb der für die KWK wichtige Wärmegrundlastbereich vergrößert. Das erhöht die Jahresbetriebsstunden der KWK-Anlage und verbessert die Wirtschaftlichkeit.

**Prozesstechnik Heat-Exchanger-Network-Optimierung mit Hilfe der Prozessintegration**

Die Pinch-Point-Methode ermöglicht es, den Einsatz von Energie und Wasser in Prozessen und Anlagen zu analysieren und zu optimieren. Dabei wird zuerst eine Bestandsaufnahme aller Wärmeenergieströme gemacht und anschließend ein Abgleich der warmen und kalten Ströme durchgeführt, mit dem Ziel der optimalen thermischen Nutzung. Anfallende Abwärme aus Prozessen, wie z. B. der Würzekühlung, kann zum Vorheizen von Reinigungsmitteln der CIP-Anlage (Cleaning in Place) integriert werden.

**Abfüllen Einbindung solarer Prozesswärme**

Der Wärmebedarf der Flaschenwaschmaschine könnte erheblich gesenkt werden, indem ein solar beheizter und wärmegeprägter Sedimentationstank errichtet wird. Eine Installation von 100 bis 200 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektoren wäre zur Beheizung eines solchen Tanks sinnvoll möglich.

*Allgemeine Energieeinsparmaßnahmen, die auch in der Brauerei eine große Bedeutung haben*

**Lastmanagement**

Ein Lastmanagementsystem misst die bezogene Leistung und prognostiziert anhand der erfassten Energiedaten den Energieverbrauch. Sollte innerhalb einer Viertelstunde eine Überschreitung der Lastspitze vorausgesagt werden, kann ein installiertes Lastmanagement eine Warnmeldung aktivieren oder Verbraucher nach einer vorher definierten und priorisierten Reihenfolge kurzzeitig abschalten. Die Verbraucher werden schnellstmöglich, aber ohne Verletzung der Lastspitze, wieder eingeschaltet. Durch ein sinnvolles Lastmanagement sind Einsparungen bis zu 15 % der Energiekosten möglich.

**Energiebasierte Prozesssimulation**

Durch den Aufbau von energiebasierten Prozesssimulationen lassen sich Lastprofile und der Energiebedarf der einzelnen Teilanlagen prognostizieren. Weiterhin können mithilfe von Simulationen Optimierungsansätze aufgedeckt und analysiert werden.

**Literaturhinweise**

- [1] Tagungsbericht 16. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein (DE), 17.-19.5.2006, pp. 308-313
- [2] Leitfaden zur Kostensenkung mit Kraft-Wärme-Kopplung in Brauereien, B.KWK Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V.
- [3] Artikel „Bier zum energetischen Nulltarif“; GTM 5/2009
- [4] Franke, S. et al.: Produktionsbasiertes Energiemanagement in der Lebensmittelindustrie. In: Der Weihenstephaner, 78 (2010)
- [5] Baumann, V., Salger, S.: Energiemanagement als Chance. In: BRAUWELT, 1-2 (2012)

## 7. Effizienzsteigerung von Kläranlagen

Kläranlagen sind die größten kommunalen Energieverbraucher. So wird der Stromverbrauch der Kläranlagen in Deutschland mit mehr als 4,2 TWh/a abgeschätzt und liegt damit deutlich über dem Stromverbrauch aller Schulen (3 TWh/a).<sup>[1]</sup> Aufgrund dieses hohen Potenzials sind Kläranlagen sicher lohnende Objekte für die Durchführung von Energieeffizienz-Maßnahmen, die im nachfolgenden Fragenkatalog kurz vorgestellt werden. Weitergehende Informationen zu diesem Thema können den unten aufgeführten Literaturquellen entnommen werden.

### Fragenkatalog zur Effizienzsteigerung von Kläranlagen

#### a) Kanalnetz

- Speicherbewirtschaftung (Spitzenausgleich)
- Fremdwasserreduzierung
- Abwassermengenmessung prüfen und ggf. kalibrieren

#### b) Pumpwerk

- Wirkungsgrad prüfen
- Ablagerungsfreie Einstaumöglichkeiten
- Regelung und Stufung der Pumpenleistung

#### c) Abluftbehandlung (z. B. Rechenhaus)

- Abluftabsaugung nach Bedarf steuern
- Biofilter auflockern
- Wäscher reinigen
- Ventilatoren gesteuert nach Ex-Warngerät
- Behandlungsstufen belastungsabhängig

#### d) Belebungsbecken

- Eichung der Sauerstoffsonden
- Prüfung der Sauerstoffgehalte
- Verdichterwirkungsgrad prüfen

- Energiesparmotoren (IE3 statt IE2) bei notwendigem Motoraustausch
- Sauerstoffeintragsregelung nach NH4/NO3
- TS-Anpassung an effektive Belastung und Jahreszeit
- Vorgeschaltete Denitrifikation
- Rührungsenergie minimieren durch entsprechende Steuerung
- Belüfterzahl prüfen
- Rezirkulation bedarfsgerecht nach NO3 regeln
- Aerobe Schlammstabilisierung auf Wirtschaftlichkeit prüfen

#### e) Filtration

- Filter nach Belastung außer Betrieb nehmen
- Bedarfsgerechte Spülung möglichst nachts

#### f) Wärmepumpe

#### g) Rücklaufschlammumpwerk

- Steuerung nach Zulaufmenge
- Zulaufniveau möglichst hoch
- Ablaufhöhe minimal

- Pumpenwirkungsgrad prüfen
- Rohrleitungsdimension auf Verluste prüfen

#### h) h+j) Voreindicker/Nacheindicker

- Krählwerk intermittierend
- Schlammabzug nach TS-Grenzwerten steuern
- Trübwasserabzug automatisiert TS-gesteuert

#### i) Faulbehälter

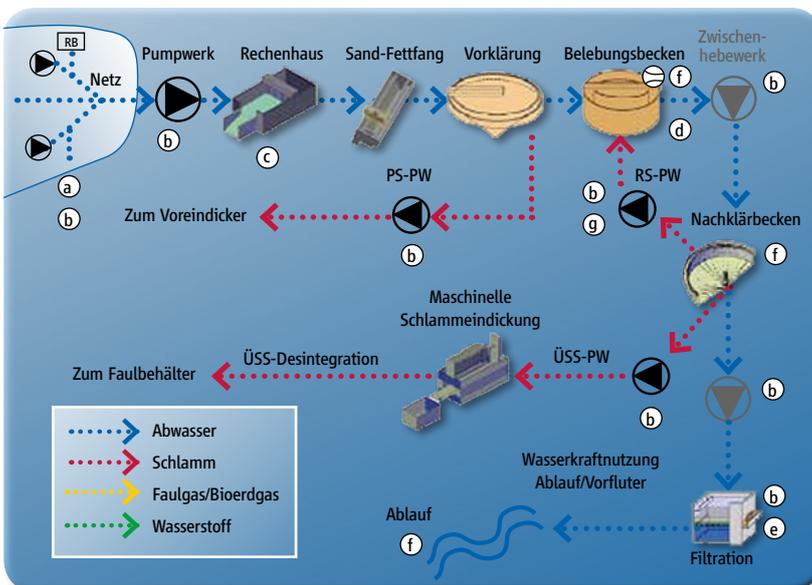
- Umwälzung intermittierend
- ÜS maschinell eindicken
- Innenliegende Umwälzung Faulbehälter
- Co-Vergärung
- Desintegration

#### j) Maschinelle Schlammwässerung

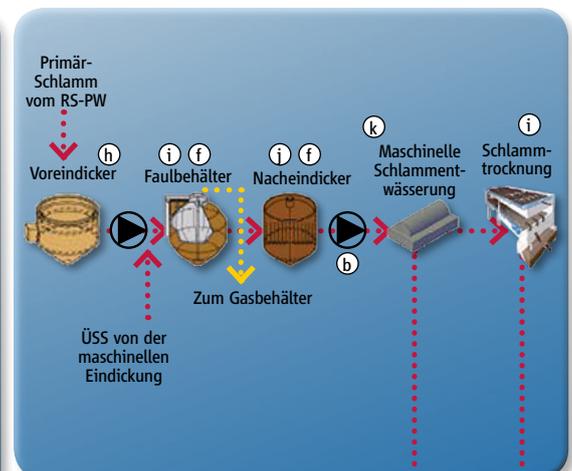
- Entwässerung nachts, Niedertarif
- Energiesparmotoren (IE3 statt IE2) bei notwendigem Motoraustausch

Quelle: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef / Tutthahs & Meyer Ingenieurgesellschaft GmbH, Aachen

### 1. Wasserweg



### 2. Schlammweg



Quelle: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef / Tutthahs & Meyer Ingenieurgesellschaft GmbH, Aachen

#### Quellen

- DWA-Themen: Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft – Schwerpunkt Abwasser, April 2010, 146 Seiten, 32 Bilder, 15 Tabellen, 5 Anhänge mit 8 Ausklappseiten, DIN A4, ISBN 978-3-940173-91-1, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef
- Forschungsbericht 205 26 307 UBA-FB 001075, 2008: „Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen“ von Haberkern, Maier, Schneider, Arbeitsgemeinschaft iat – Ingenieurberatung für Abwassertechnik in Zusammenarbeit mit Universitäten Stuttgart und TU Kaiserslautern sowie Ryser Ingenieure Bern; <http://www.umweltbundesamt.de>
- „Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen“, Umweltbundesamt 2009; <http://www.umweltbundesamt.de>
- Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft, „Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen“, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz; [www.mufv.rlp.de](http://www.mufv.rlp.de)

#### Weitere Literaturhinweise

## 8. Energieerzeugung (Biogasanlagen)



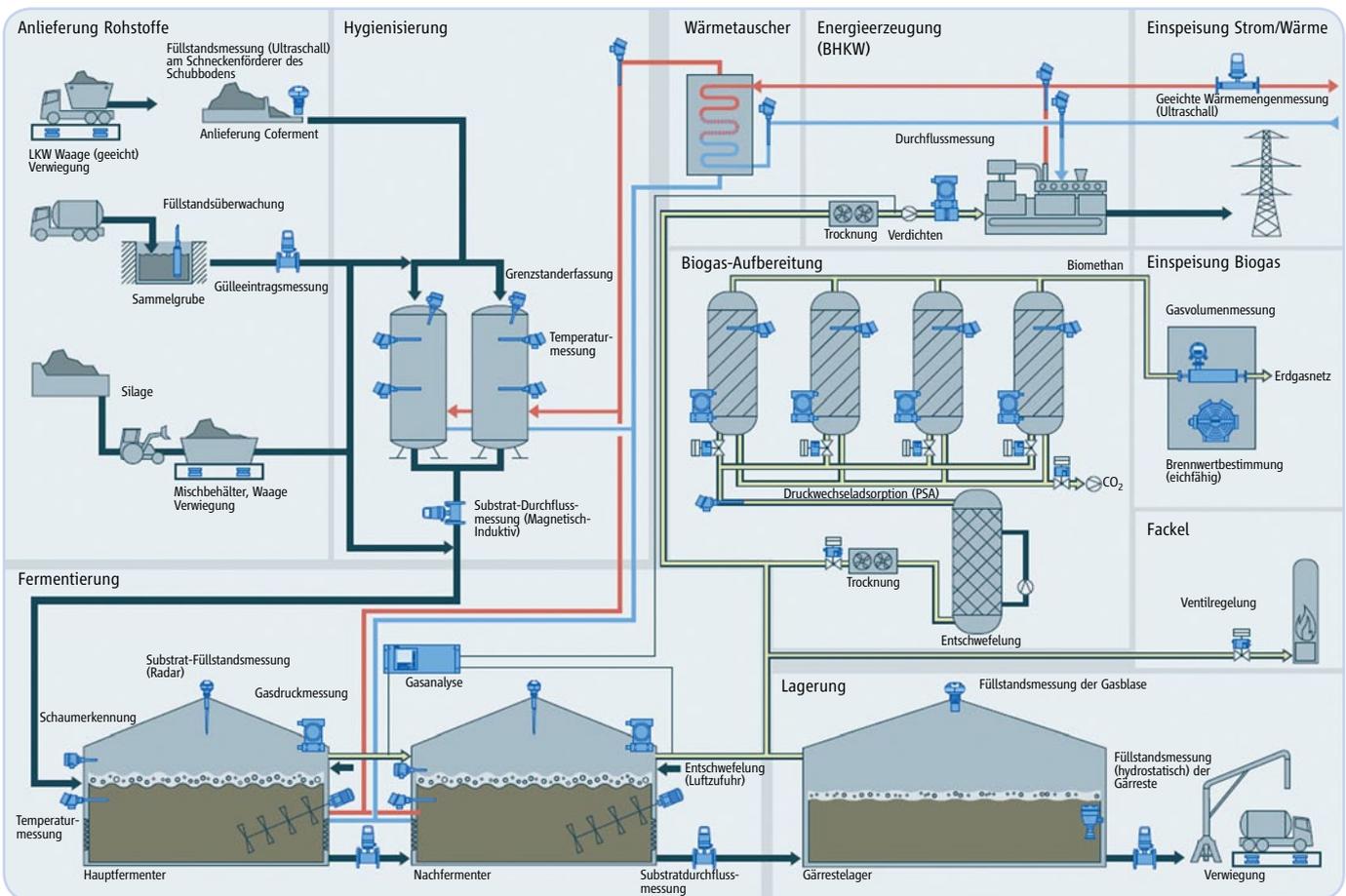
Biogasanlage  
Quelle: Siemens

Entscheidend für den Wirkungsgrad einer Biogasanlage ist das richtige Milieu für die Bakterien, die organische Stoffe in Methan umwandeln. Moderne Prozessinstrumentierung, -analytik und -automatisierung sorgen dafür, dass alle Parameter stets im optimalen Bereich liegen.

Biogasanlagen beruhen auf einem natürlichen, biologischen Prozess: Bakterien zersetzen Substrate wie Gülle, Getreide und andere organische Reststoffe und erzeugen dabei Methangas. Voraussetzung dafür ist jedoch ein optimales Milieu für die anaeroben Bakterien, denn Änderungen des pH-Wertes, der Temperatur oder eine falsche Zusammensetzung der Nährstoffanteile können zu einer ernsthaften Beeinträchtigung des Fermentationsprozesses führen.

Die richtige Kombination aus Prozessinstrumentierung und Automatisierungstechnik trägt entscheidend dazu bei, den Prozess der Biogaserzeugung zu stabilisieren und die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Kontinuierliche Füllstands- und Durchflussmessgeräte sorgen für eine Überwachung der Zufuhr der Biogasanlage. Die für den Fermentierungsprozess optimalen Parameter werden durch unterschiedliche Analysegeräte zur Erfassung von pH-Wert, Redox-Wert und Trockensubstanz sichergestellt. Die Temperaturüberwachung am Fermentor erfolgt durch Temperatursensoren und Messumformer bzw. die Kontrolle des Gasdrucks mithilfe von Druckmessgeräten. Alle Prozessdaten werden über Prozessleitsysteme überwacht und der Prozess so gesteuert, dass die Bakterien immer optimale Bedingungen vorfinden.

Die durchschnittliche Auslastung der meisten Biogasanlagen liegt derzeit bei lediglich 70 %. Bei kontinuierlicher Analyse und der Automatisierung aller Prozesse mit dem flexibel skalierbaren Prozessleitsystemen lassen sich ein dauerhaft stabiler Prozessablauf und eine Auslastung von mehr als 95 % erreichen. Nicht nur Neuanlagen, sondern auch bestehende Anlagen können mit Automatisierungssystemen und Prozessinstrumentierungssystemen optimiert werden.



Gesamtprozess einer Biogasanlage  
Quelle: Siemens

**HOHES Verbesserungspotenzial ist vorhanden bei:**

- ▶ Auswahl des Standortes der Biogasanlage
- ▶ Auswahl des Planers
- ▶ Auswahl des Anlagentyps
- ▶ Rührtechnik
- ▶ Pumpen/Pumpstation (gilt für Projektierung/Planung!)
- ▶ Wärmenutzung
- ▶ Elektrischer Eigenbedarf
- ▶ Anlagensicherheit
- ▶ Anlieferung und Lagerung der Substrate
- ▶ Einbringung der Substrate in den Fermenter
- ▶ Abfüllung, Lagerung und Ausbringung des Fermentationsrückstands
- ▶ Betonbau
- ▶ Anlagensvisualisierung bei Anlagen-größen < 500 kW
- ▶ Zusammenwirken der beteiligten Professionisten
- ▶ Anfahrbetrieb
- ▶ Laufende Prozesskontrolle
- ▶ Verfügbarkeit der Anlage
- ▶ Regulärer Anlagenbetrieb
- ▶ Wartung der Anlage
- ▶ Organisatorische Maßnahmen

**MITTLERES Verbesserungspotenzial ist vorhanden bei:**

- ▶ Anlagendimensionierung
- ▶ Rohrleitungen
- ▶ Gasmotor-BHKW
- ▶ Gasspeicherung
- ▶ Betriebsgebäude
- ▶ Zugangsmöglichkeiten
- ▶ Fermenter
- ▶ Hilfsstoffe/Hilfsmaterialien
- ▶ Beheizung der Fermenter und Regelung der Prozesstemperatur
- ▶ Messtechnik
- ▶ Elektroinstallation
- ▶ Bedienungsaufwand für den laufenden Betrieb

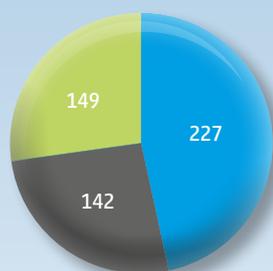
**NIEDRIGES Verbesserungspotenzial ist vorhanden bei:**

- ▶ Absperrvorrichtungen
- ▶ Gasfackel
- ▶ Thermischer Eigenbedarf
- ▶ Entschwefelung und Entfeuchtung
- ▶ Füllstandskontrolle
- ▶ Hygienisierung
- ▶ Störstoff-/Sedimentaustag
- ▶ Wiegeeinrichtung
- ▶ Anlagensvisualisierung bei Anlagen-größen > 500 kW
- ▶ Fermenterisolierung
- ▶ Luftfilter/Biofilter
- ▶ Pumpen/Pumpstation (gilt für laufenden Betrieb!)
- ▶ Homogenisierung

Übersicht möglicher Optimierungsmaßnahmen in einer Biogasanlage  
Quelle: Siemens

**III. Konklusion**

**Stromverbrauch 2010 nach Kundengruppen (in Mrd. kWh)**



- Industrie
- Haushalte
- Rest (Verkehr, Öffentliche Einrichtungen, Landwirtschaft und Handel)

Quelle: BDEW 2012

Nur durch verstärkte Anstrengungen beim Thema Energieeffizienz lassen sich die von der Politik angestrebten Klimaziele erreichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Energieeffizienz-Maßnahmen nur dann dauerhaft erfolgreich sein werden, wenn sie sich auch betriebswirtschaftlich rechnen. Im Rahmen der Broschüre wurde gezeigt, wie sich die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienz-Maßnahmen überprüfen lässt. Hierbei spielt die Betrachtung der Lebenszykluskosten eine wesentliche Rolle. Wenn sie noch stärker zum Einsatz kommt, stehen die Chancen gut, dass Investitionsentscheidungen viel öfter zugunsten energieeffizienter Maßnahmen ausfallen. Hier muss auch die Politik eine Vorbildfunktion übernehmen, z. B. bei Unternehmen im öffentlichen Eigentum.

Des Weiteren wurde in Kapitel II dargestellt, welche wichtige Stellschrauben der Energieeffizienz sind und wie sinnvolle Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt werden können. Aufgrund des großen Potenzials fokussiert die Broschüre ausgewählte Anwendungen und Branchen des industriellen Sektors. Auf ihn entfallen ca. 44 % des Stromverbrauchs in Deutschland (Haushalte 27 %, Verkehr/Öffentl. Einrichtungen/Landwirtschaft/Handel 29 %, siehe Schaubild). Es wird deutlich: Gerade im industriellen Sektor, und hier insbesondere in den energieintensiven Prozessindustrien, finden sich lohnende Objekte, um mithilfe intelligenter Technologien das Thema Energieeffizienz voranzutreiben. Und das zahlt sich nicht nur für den Klimaschutz, sondern meist auch für den Geldbeutel der Anwenderunternehmen aus.

Die in Kapitel II gezeigten Maßnahmen können nur eine Auswahl darstellen und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Wir möchten noch einmal darauf hinweisen, dass im Internet auf den Web-Seiten von Behörden, Forschungseinrichtungen, Industrieverbänden und auch von Industriefirmen eine Vielzahl von Veröffentlichungen und Werkzeugen zum Thema Energie-Effizienz und -Optimierung bereitgestellt werden. Es lohnt sich also, im konkreten Anwendungsfall auch ein wenig Zeit für eine Recherche im Internet zu investieren und die dort verfügbaren Hilfestellungen sowie die Expertise des ZVEIs zu nutzen.



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e. V.  
Fachverband Automation  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main  
Fon: 069 6302-451  
Fax: 069 6302-319  
Mail: [m+p@zvei.org](mailto:m+p@zvei.org)  
[www.zvei.org](http://www.zvei.org)