



Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Gesundheit



UM  
WELT  
PAKT  
BAYERN

## Untersuchung und Optimierung elektrischer Antriebe

**IPP**  
Integrierte  
Produktpolitik



Denken in Lebenszyklen

## Inhalt

<b>1. Vorwort</b>	3
<b>2. Aufbau und Anwendung des Leitfadens</b>	4
<b>3. Allgemeiner Teil</b>	5
<b>4. Spezifischer Teil – Querschnittstechnologien</b>	11
4.1. Druckluft- und Kälteanlagen	12
a) Druckluftanlagen	12
b) Kälteanlagen	12
4.2. Gebläse und Ventilatoren	16
4.3. Hydraulik- und Umwälzpumpen	18
4.4. Materialfluss- und Fördertechnik	20
<b>5. Weiterführende Informationen und Hilfestellung</b>	22
<b>Checklisten</b> (Einlegeblätter)	23



## 1. Vorwort

Der weltweite Energieverbrauch nimmt trotz vieler Einsparmaßnahmen weiter zu. Unsere Energieversorgung wird zu weit über 50 Prozent durch fossile Energieträger gedeckt. Dadurch leidet unser Klima und die Versorgungssicherheit gerät in Gefahr. Deshalb muss der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden. Die Steigerung der Energieeffizienz nimmt dabei eine Schlüsselposition ein. Sie ist im Vergleich zu anderen Möglichkeiten einfach und günstig umzusetzen und zahlt sich sofort aus.

Zwei Drittel des Strombedarfs unserer Industrie brauchen Elektromotoren, die Pumpen, Ventilatoren, Klimaanlage, Druckluftsysteme und Förderbänder antreiben. Die Modernisierung wird gerne vernachlässigt, weil sie nicht unmittelbar der Produktionssteigerung dient. Wir wissen aber, dass hier riesige Energieeinsparpotenziale bestehen. Würde überall moderne Technik eingesetzt, könnten Schätzungen zufolge jährlich 38 Milliarden Kilowattstunden Strom eingespart werden. Das sind immerhin mehr als 16 Prozent des Stromverbrauchs der deutschen Industrie.

Genau hier wollen wir die Unternehmen bei der Erschließung dieser Einsparpotenziale unterstützen. Dieser Leitfaden zeigt, wie einfach Unternehmen ihre elektrischen Antriebe untersuchen und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ergreifen können. Ergänzend wurde eine EDV-Anwendung erstellt, die über die Inhalte und Beispiele im Leitfaden hinaus Hilfestellung bei der Auswahl von geeigneten Maßnahmen bietet.

Unsere Ergebnisse können sich sehen lassen: Die Energie- und Emissionseinsparungen der Pilotbetriebe belaufen sich auf 2,3 Millionen Kilowattstunden Strom und 1.300 Tonnen Kohlendioxid; die Kostenersparnis beläuft sich auf rund 200.000 Euro pro Jahr. Bei Investitionskosten von ca. 435.000 Euro ergibt sich eine durchschnittliche Amortisationszeit von

2,2 Jahren. Neben dem Einsatz von Frequenzumrichtern sind weitere Maßnahmen der Einsatz von Hocheffizienzmotoren, die Anpassung der Regelung oder Abschaltung der Anlage in produktionsfreien Zeiten.

Mit dieser Broschüre soll den Unternehmen in Bayern geholfen werden, ihre Antriebssysteme genauer zu prüfen. Dabei werden auch wirtschaftlich vorteilhafte Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Energie aufgezeigt, belegt durch eindrucksvolle Erfolgsbeispiele aus der Unternehmenspraxis. Wir wünschen uns, dass diese auf Nachhaltigkeit angelegte Betrachtungsweise noch stärker als bisher Eingang in die tägliche Arbeit findet. Weitere Informationen dazu sind unter [www.ipp-bayern.de](http://www.ipp-bayern.de) erhältlich.



*Dr. Markus Söder*

**Dr. Markus Söder MdL**  
Staatsminister



*Melanie Huml*

**Melanie Huml MdL**  
Staatssekretärin



## 2. Aufbau und Anwendung des Leitfadens

Der Leitfaden richtet sich an Betriebsleiter (Techniker/Ingenieure), Energieverantwortliche, Umweltbeauftragte und an all jene, die sich mit elektrisch betriebenen Motorsystemen im betrieblichen Alltag beschäftigen. Er ist branchenübergreifend ausgestaltet und steht dadurch allen Unternehmen unabhängig von der industriellen Ausrichtung als anwendungsnahe Praxishilfe zur Verfügung.

Der Leitfaden gliedert sich in zwei Teile. Der **allgemeine Teil** behandelt Themen, die bei der Untersuchung und Optimierung von elektrischen Antrieben unabhängig von deren konkretem Einsatzbereich von Bedeutung sind. Hierunter fällt z.B. die betriebliche Datenerfassung, die für alle Querschnittstechnologien gleich erfolgen sollte.

Der **spezifische Teil** widmet sich darauf aufbauend jenen vier Querschnittstechnologien, in denen elektrische Antriebe vorwiegend zum Einsatz kommen.

Diese sind

- (1) Druckluft- und Kältekompressoren
- (2) Ventilatoren und Gebläse
- (3) Pumpen
- (4) Materialfluss- und Fördertechnik

Bei dem in diesem Leitfaden beschriebenen Vorgehen wird bewusst auf einen integrierten und prozessorientierten Ansatz Wert gelegt. Dies bedeutet, dass nicht nur der elektrische Antrieb Untersuchungsgegenstand ist, sondern auch das Antriebsumfeld und die zugehörigen Prozesse. Einspar- und Effizienzpotenziale erschließen sich schließlich nicht nur am Antrieb selbst, sondern auch bei den Komponenten des motorbetriebenen Systems und deren sorgfältiger Abstimmung aufeinander.

Der Anwender des Leitfadens kann sich zur Orientierung an den Fragenkatalog halten, der sowohl den allgemeinen als auch den spezifischen Teil wie ein roter Faden durchzieht. Indem der Nutzer die aufeinanderfolgenden Fragen und Erläuterungen als Umsetzungshilfe heranzieht, wird er durch die Untersuchung und Optimierung geleitet. Hilfestellung bei der Datenerfassung bieten zusätzlich die vorgegebenen Tabellen. Wünscht der Anwender über den Leitfaden hinaus weiterführende Informationen und Hilfestellung, steht ihm unter [www.ipp-bayern.de](http://www.ipp-bayern.de), [www.ffe.de](http://www.ffe.de) und [www.arqum.de](http://www.arqum.de) ein EDV-Tool auf Excel-Basis zur Verfügung. Dieses EDV-Tool weist die gleiche Systematik

wie der Leitfaden auf, bietet jedoch detailliertere Erläuterungen sowie zahlreiche Datenerfassungs- und Kalkulationshilfen.

In die Erstellung des Leitfadens wurden sechs bayerische Betriebe eingebunden. Gemeinsam mit diesen Unternehmen wurden verschiedene Querschnittstechnologien untersucht und optimiert. Die Erfahrungen aus dieser Zusammenarbeit sind in den vorliegenden Leitfaden eingeflossen und werden in den einzelnen Kapiteln vereinzelt dargestellt. Bei den Betrieben handelt es sich um Firmen aus den Branchen Papierherstellung, Holzbau, Automobilzulieferung, Pharma und Chemie, Lebensmittelherstellung sowie einen Hersteller von Carbonprodukten.



### DEFINITION: Querschnittstechnologie

Als Querschnittstechnologien bezeichnet man jene Technologien, deren Anwendung sich nicht auf einen bestimmten Wirtschaftszweig beschränkt, sondern die über alle Branchen hinweg zum Einsatz kommen. So gehören z.B. Pumpen, Kompressoren, Verdichter und Ventilatoren zu den Querschnittstechnologien, da ihre Anwendungsbereiche branchen- und technologieübergreifend sind.

### 3. Allgemeiner Teil

#### Hintergrundinformation

##### ■ Was sind Elektromotoren?

Elektromotoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um, mit der in der Regel eine Arbeitsmaschine betrieben wird (z.B. eine Pumpe, ein Lüfter oder ein Aufzug). Die Einsatzbereiche in Industrie und Gewerbe sind vielfältig und reichen von der Raumluftklimatisierung bis hin zu speziellen Anwendungen in Produktionsprozessen. Aufgrund der hohen Energieintensität der elektrisch betriebenen Motorsysteme findet sich hier besonders großes Effizienz- und Einsparpotenzial. Laut der Europäischen Kommission belaufen sich die Potenziale energiesparender Maßnahmen bei Pumpen, Kompressoren oder Ventilatoren auf 30 % bis 50 %.

Motoren werden nach der Art ihrer Versorgungsspannung eingeteilt in Wechselstrom- und Gleichstrommotoren sowie in Synchron- und Asynchron-Drehstrommotoren. In der industriellen Anwendung und beim Betrieb von Pumpen, Kompressoren und Lüftern kommen in der Regel Niederspannungs-Drehstrom-Asynchronmotoren zum Einsatz.

Bisherige Kennzeichnung (nach EU/CEMEP, europaweit)	Neue Kennzeichnung (nach IEC-Norm, international)	Wirkungs- grad
–	IE 3	Premium
eff 1	IE 2	Gehoben
eff 2	IE 1	Standard
eff 3	–	Unter Standard

Wurden Niederspannungs-Drehstrommotoren im Leistungsbereich zwischen 1 bis 100 kW bisher nach den europäischen Energieeffizienzklassen eff 1 (hoher Wirkungsgrad), eff 2 (verbesserter Wirkungsgrad) und eff 3 (marktüblicher Wirkungsgrad) eingeteilt, so gibt es seit 2009 eine neue, international gültige Norm EN 60034-30, die den Wirkungsgrad der Elektromotoren im Leistungsbereich zwischen 0,75 kW und 375 kW in die drei Klassen IE 1, IE 2 und IE 3 einteilt.

Die IEC-Norm bildet die Grundlage der Energy-using-Products (EuP) Richtlinie, die auch Elektromotoren berührt. Die EuP-Richtlinie sieht unter anderem vor, dass ab 16.6.2011 in Europa nur noch Energiesparmotoren der Effizienzklasse IE 2 und höher in Verkehr gebracht werden dürfen.

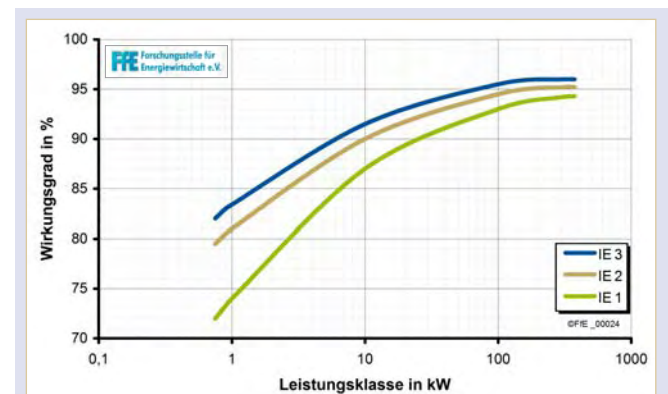
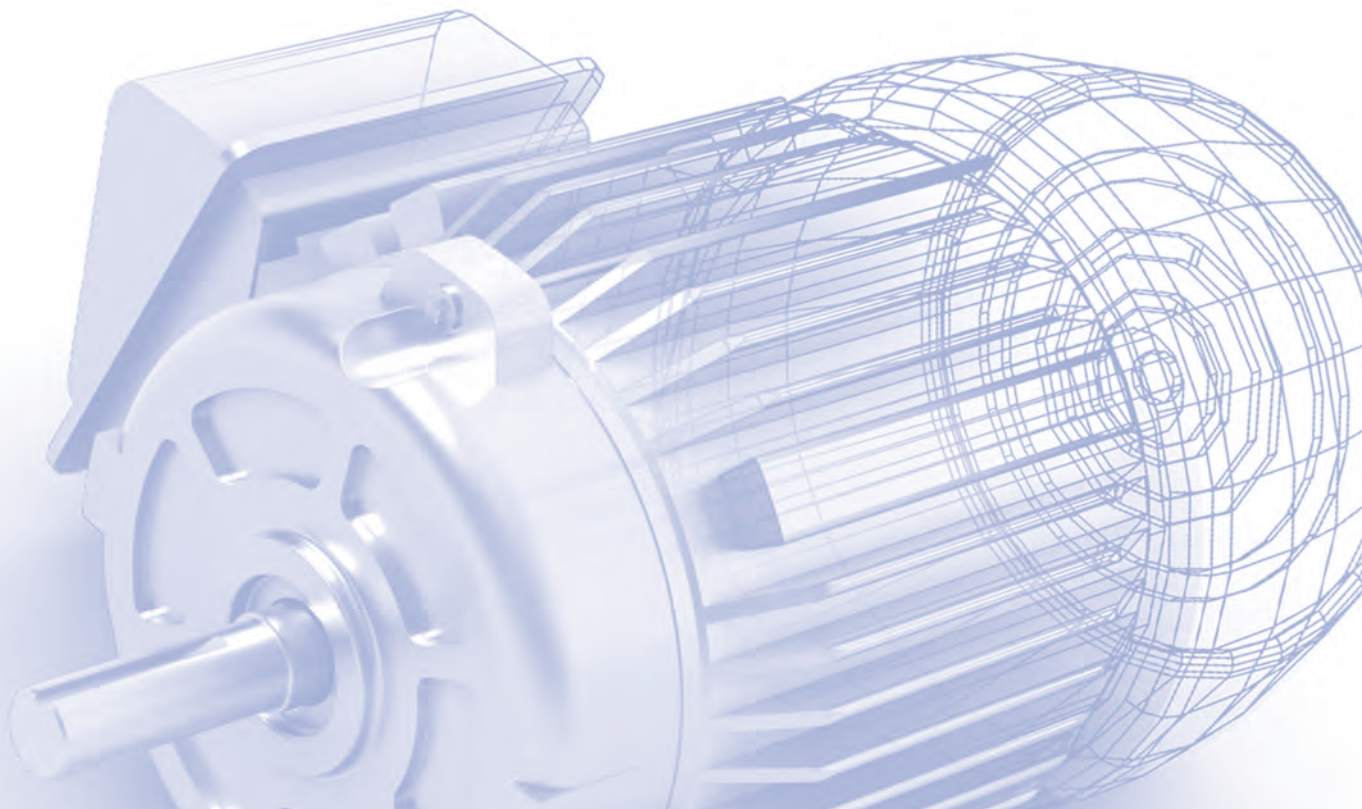


Abbildung 3-1: Wirkungsgrad von Motoren der Effizienzklassen IE 1 bis IE 3



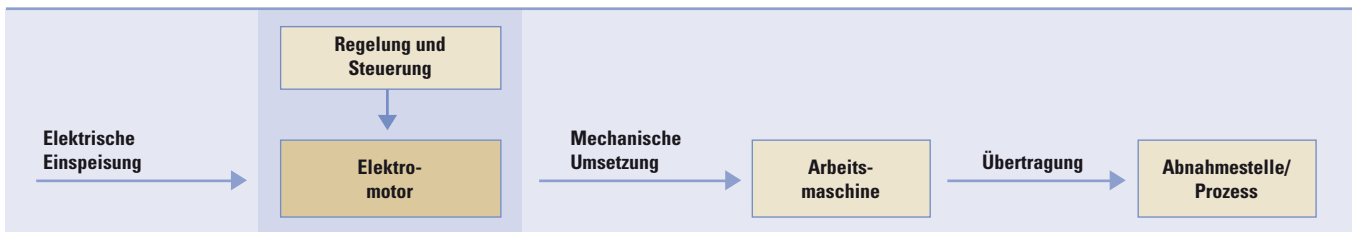
**■ Warum muss man nicht nur den Motor sondern auch das Umfeld betrachten?**

Die energetische Optimierung elektrischer Motorsysteme muss – will sie sämtliche verfügbare Effizienzpotenziale erschließen – neben dem elektrischen Antrieb auch dessen Komponenten in die Untersuchung mit einbeziehen. Denn Energieeinsparungs- und Effizienzpotenziale sind über die gesamte „Systemkette“ hinweg zu finden. Daher gilt es, sowohl alle Systemkomponenten auf ihr individuelles Optimierungspotenzial hin zu untersuchen als auch den Prozess als Gesamtes zu analysieren.

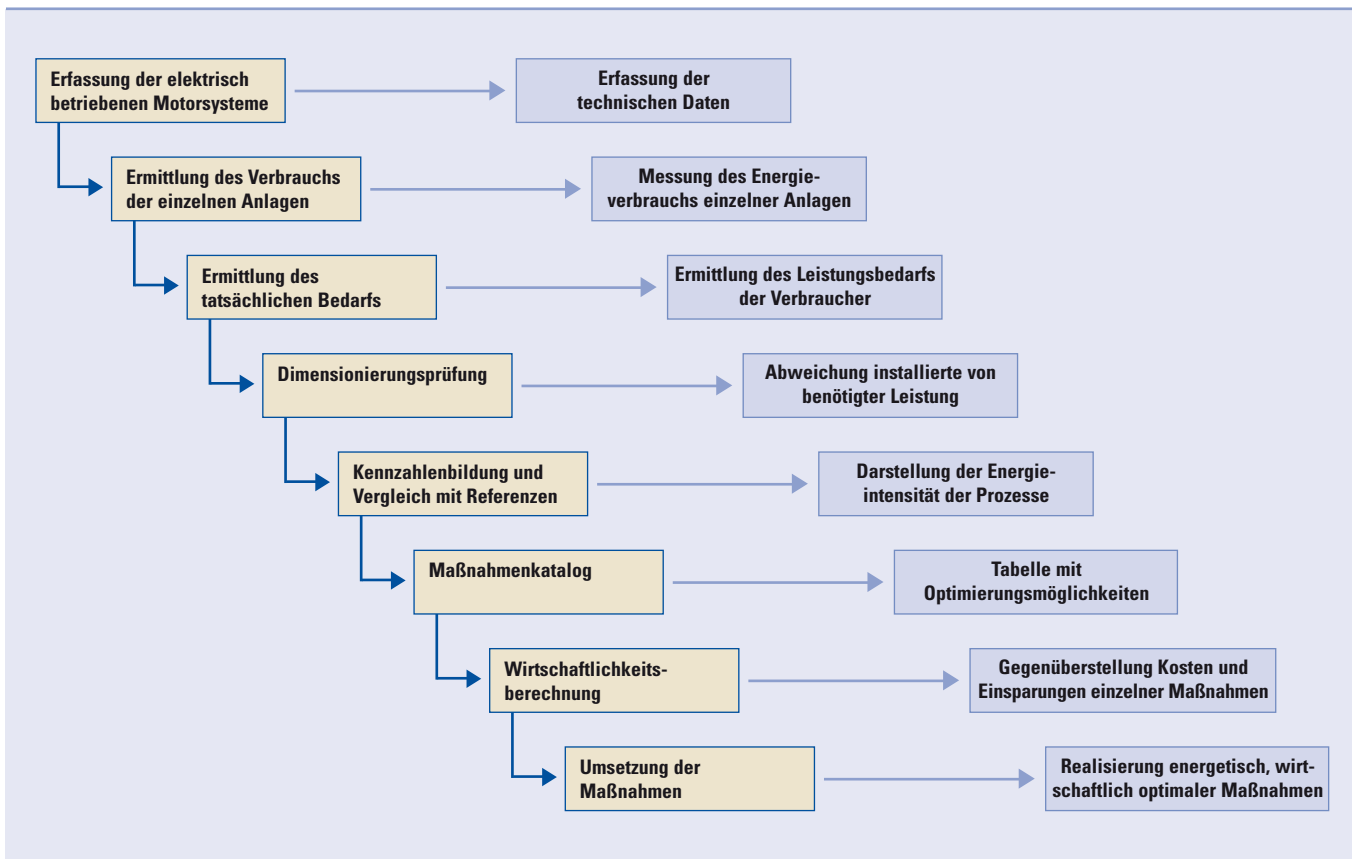
Das Motorumfeld umfasst die Komponenten elektrische Einspeisung (Stromnetz), Regelung und Steuerung, elektrischer Antrieb (Motor), mechanische Umsetzung, Arbeitsmaschine, Übertragung (z.B. Leitungsnetz, Seilzug), Abnahmestellen und Prozesse sowie gegebenenfalls Rohrsysteme und Filter. Die für die Untersuchung wichtigsten Systemkomponenten werden im EDV-Tool einzeln betrachtet.

**Hinweis: Die Begriffe „Antrieb“ und „Motor“ werden hier synonym verwendet.**

**Das elektrisch betriebene Motorsystem**



**■ Wie geht man bei der energetischen Optimierung elektrischer Antriebe vor?**





### 1. Technische Datenerfassung

Erfassen Sie alle Motorsysteme mit ihren technischen Daten, um einen Überblick über die betrieblichen Antriebssysteme zu erhalten. Eine Anleitung zur Erfassung Ihrer Daten erhalten Sie im EDV-Tool (siehe S. 4). Prüfen Sie, ob bereits betriebliche Motoren- oder Verbraucherlisten vorliegen. Wichtig: Aktualisieren Sie veraltete oder unvollständige Listen!

Die aktuellen Daten können anhand der am Motor angebrachten Typen- oder Leistungsschilder überprüft und mit den Datenblättern der Anlagen abgeglichen werden (Datenblätter stellt der Anlagenhersteller i.d.R. zur Verfügung). Eine genaue Auflistung der notwendigen Daten für Ihr Antriebssystem finden Sie in den Kapiteln des spezifischen Teils.

**Grundsätzlich sollten alle Antriebe genauer betrachtet werden, da sie erfahrungsgemäß meist Optimierungspotenziale aufweisen. Das gilt insbesondere für Antriebe mit**

- einer variablen Last,
- einer hohen Zahl an jährlichen Betriebsstunden.



Diese Daten benötigen Sie bei nahezu allen Querschnittstechnologien:

Nr.			
<b>Typenschild</b>			
Bezeichnung			
Hersteller			
Typ			
Baujahr			
Nennleistung Antrieb $P_N$			
Nennleistung Ventilator/Pumpe $P_N$			
Spannung [V Δ/Δ]*			
Strom [A Δ/Δ]*			
Frequenz [Hz]			
Drehzahl [U/min.]			
Leistungsfaktor $\cos \varphi$			
Wirkungsgrad $\eta$			
Energieeffizienzklasse Motor			
<b>Betriebsverhalten</b>			
Verwendungszweck der Anlage			
Betriebsstunden/Volllaststunden [h/a]			
Regelung keine/Stufen/Drehzahlregelung			
übergeordnete Steuerung ja/nein			
<b>sonstige Bemerkungen</b>			
*Δ/Δ = Stern-/Dreieckschaltung			

**Tabelle 3-1:** Datenerfassung

## 2. Ermittlung des Verbrauchs

Erfassen Sie den individuellen Energieverbrauch der Anlagen und Maschinen, wenn möglich, nach Betrieb und Leerlauf getrennt. Sofern Sie keine maschinenbezogenen Daten vorliegen haben, sollten Sie entweder eigene Messungen vornehmen oder den Energieverbrauch überschlägig berechnen. **Eine Anleitung zur Messung und zur Schätzung des Verbrauchs von Anlagen und Maschinen erhalten Sie im EDV-Tool.**

### Was ist Volllast, was ist Teillast?

Volllast bezeichnet den Betriebszustand eines Antriebes, bei dem er die maximal mögliche Leistung bereitstellt. Bei Volllast erbringt der Antrieb somit das maximale Drehmoment, das ihm bei Nenndrehzahl möglich ist. Liegt das Drehmoment darunter, so spricht man von Teillast.

## 3. Ermittlung des Bedarfs

In vielen Fällen stellt eine Anlage mehr Leistung bereit als zur Deckung des tatsächlichen Bedarfs notwendig ist. Durch eine detaillierte Analyse des Bedarfs der einzelnen Verbraucher können Sie herausfinden, wie groß der jeweilige Antrieb sein muss und in welchem Regelbereich er Leistung zur Verfügung stellen muss, damit der Bedarf der nachgelagerten Prozesse und Verbraucher gedeckt wird. Wie der Bedarf der einzelnen Anwendungen ermittelt wird, erfahren Sie in den einzelnen Kapiteln des spezifischen Teils **oder im EDV-Tool.**

## 4. Dimensionierungsprüfung

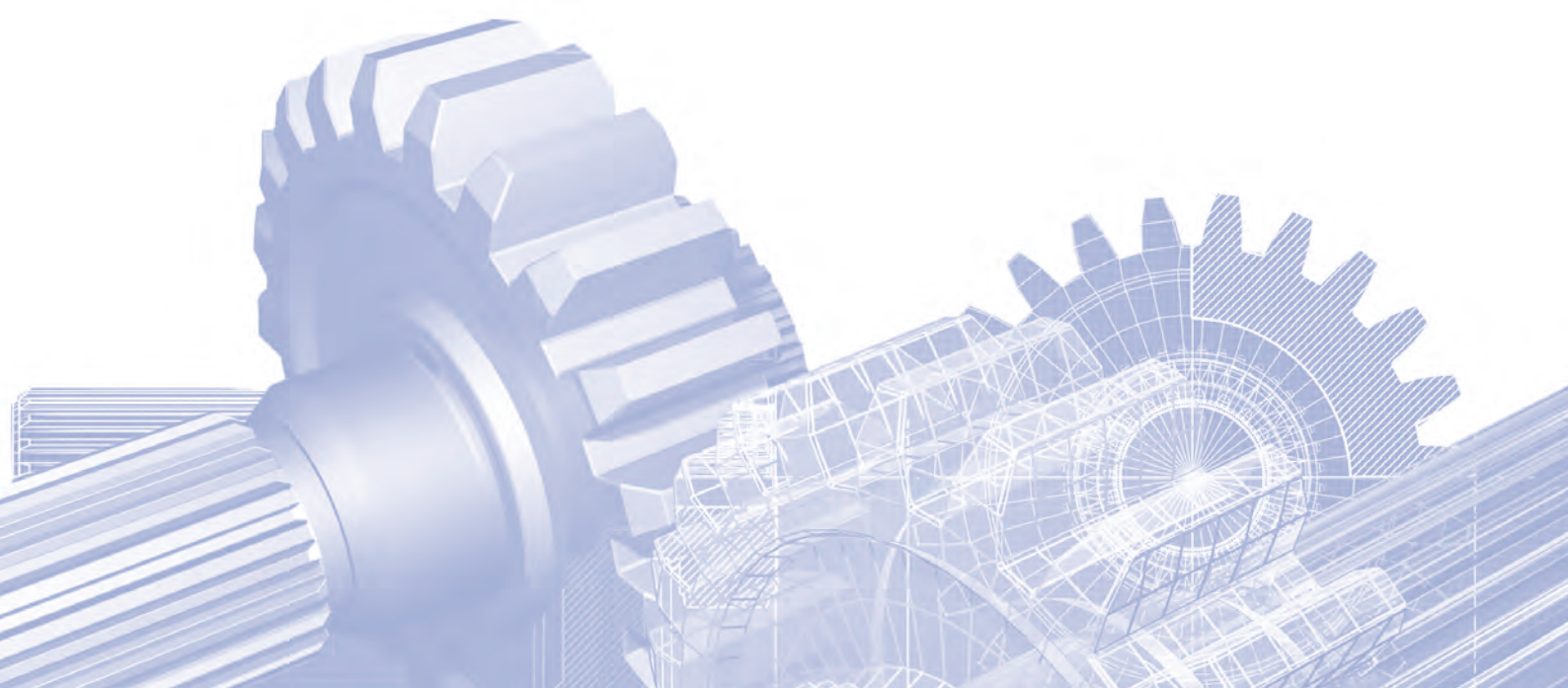
Im Rahmen der Dimensionierungsprüfung wird die Abweichung der prozesstechnisch benötigten von der tatsächlich installierten Motorenleistung identifiziert. Man spricht dann von einer Überdimensionierung, wenn die Motornennleistung deutlich über der von den Verbrauchern benötigten maximalen Leistung liegt. Vermeintlich sind Sicherheitsspannen von bis zu 20 % notwendig, um die Anlagensicherheit zu gewährleisten. Ob dies wirklich notwendig ist, sollte geklärt werden. Beträgt die Abweichung deutlich mehr, sollten Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden.

Beachten Sie: Nicht nur die Motorleistung, auch die anderen Komponenten des Antriebssystems müssen optimal ausgelegt sein. Dies betrifft insbesondere die Arbeitsmaschine, die Regelung und Steuerung und das Leitungsnetz.

Bei optimierten Systemen soll am Ende stehen: Erzeugung = Bedarf + Verluste. Den tatsächlichen Bedarf ermittelt man durch Messung über mehrere Betriebstage. Je nach Mess- oder Rechenverfahren müssen die Verluste separat ermittelt oder überschlägig berechnet werden (siehe einzelne Kapitel des spezifischen Teils).

### Kennzahlbildung und Vergleich mit Referenzen

Mit der Abbildung des energetischen Ist-Zustands der Antriebe anhand von Kennzahlen lassen sich der aktuelle Energieeinsatz und die Energieintensität der Prozesse bewerten. Nach Abschluss der Optimierungsarbeiten kann die erneute Kennzahlenerhebung Aufschluss darüber geben, wie erfolgreich die eingesetzten Maßnahmen hinsichtlich Energieeffizienz und -einsparung waren. Hilfreiche Kennzahlen finden sich im EDV-Tool.





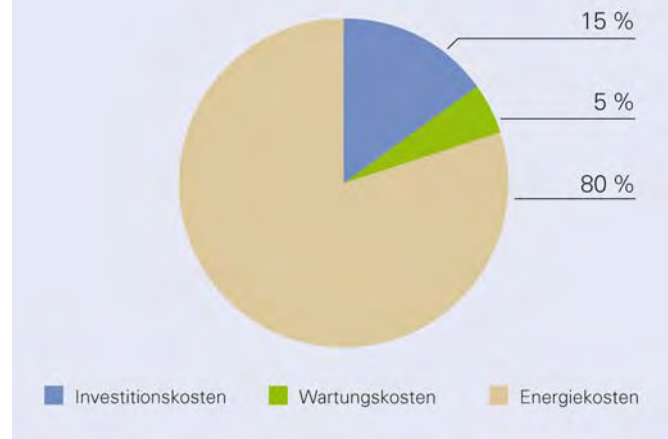
## 5. Maßnahmenkatalog und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf Basis der Systemanalyse kann mit der Optimierung der motorbetriebenen Systeme begonnen werden. Man unterscheidet organisatorische Maßnahmen, wie z.B. die regelmäßige Überprüfung und Wartung der Anlage, Maßnahmen zum Nutzerverhalten, wie beispielsweise die Abschaltung bei Produktionsstillstand, sowie gering-investive und investive Maßnahmen. Alle Maßnahmen sollten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihres Einspar- und Effizienzpotenzials bewertet und dargestellt werden. Es empfiehlt sich, eine tabellarische Übersicht über die Maßnahmen und ihre ökologischen (Energieeinsparung) und ökonomischen (Kosteneinsparung) Auswirkungen zu erstellen. Eine Vorlage für einen Maßnahmenkatalog finden Sie im EDV-Tool.

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen gibt es verschiedene Berechnungsmethoden, die sich hinsichtlich Rechenaufwand und Umgang mit zeitlich unterschiedlich anfallenden Zahlungen stark unterscheiden.

## Lebenszykluskosten

Rund 80 % der Gesamtkosten eines Motors entfallen in den meisten Anwendungsfällen auf den Stromverbrauch.



## Berechnung Amortisationszeit und interne Verzinsung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Amortisationszeit sowie die interne Verzinsung verschiedener Maßnahmen. Dabei ist zu beachten, dass Anlagen zur Energieversorgung eine längere Laufzeit von meist 10 bis 30 Jahren besitzen. Durch die betriebsinterne Vorgabe kurzer Amortisationszeiten (max. 2 bis 3 Jahre) wird jedoch ein Teil der rentablen Investitionen nicht betrachtet.

geforderte Amortisationszeit (statisch. in Jahren)	interne Verzinsung in %*)												
	Anlagennutzungsdauer in Jahren												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25
1	62 %	84 %	93 %	97 %	98 %	99 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
2	0 %	23 %	35 %	41 %	45 %	47 %	48 %	49 %	49 %	50 %	50 %	50 %	50 %
3	neg.	0 %	13 %	20 %	24 %	20 %	29 %	30 %	31 %	32 %	33 %	33 %	33 %
4	neg.	neg.	0 %	8 %	13 %	16 %	19 %	20 %	21 %	23 %	24 %	24 %	24 %
5	neg.	neg.	neg.	0 %	5 %	9 %	12 %	14 %	15 %	17 %	18 %	19 %	19 %
6	neg.	neg.	neg.	neg.	0 %	4 %	7 %	9 %	11 %	13 %	14 %	15 %	15 %
7	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.	0 %	3 %	5 %	7 %	9 %	11 %	12 %	12 %
8	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.	0 %	2 %	4 %	7 %	9 %	10 %	10 %

- rentable Investitionsmöglichkeiten: Amortisationszeit bis 3 Jahre
- abgeschnittene rentable Investitionsmöglichkeiten, z.B. Chance für Contracting
- nicht rentable Investitionsmöglichkeiten (interne Verzinsung <10 %)

\*) unterstellt wird eine konstante Energiekosteneinsparung über die gesamte Anlagennutzungsdauer

Tabelle 3-2: Amortisationszeit und interne Verzinsung

## 6. Hemmnisse und Barrieren

Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Antriebssysteme nur sehr zögerlich umgesetzt werden. Was sind mögliche Gründe für dieses Umsetzungsdefizit?

- Investitionen werden lieber in Produktionsanlagen (und nicht in Querschnittstechnologien) getätigt, da dort der Erfolg direkter (z.B. in Form eines höheren Outputs) messbar ist.
- Es fehlt ein Verantwortlicher im Betrieb, der für die energetische Optimierung der Querschnittstechnologien zuständig ist.
- Die Vorgaben der Geschäftsführung bezüglich der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Energieanlagen sind gleich den Anforderungen für Produktionsanlagen (z.B. Amortisationszeit von 2 Jahren), so dass selbst rentable Energieeinsparmaßnahmen die Kriterien nicht erfüllen.
- Das einzige Kriterium bei Neuinvestitionen ist der Anschaffungspreis: Die über die Lebensdauer anfallenden Energiekosten werden in der Kalkulation nicht beachtet.

**Weitere Hemmnisse und Lösungswege zu ihrer Überwindung finden Sie im EDV-Tool** (siehe S. 4).



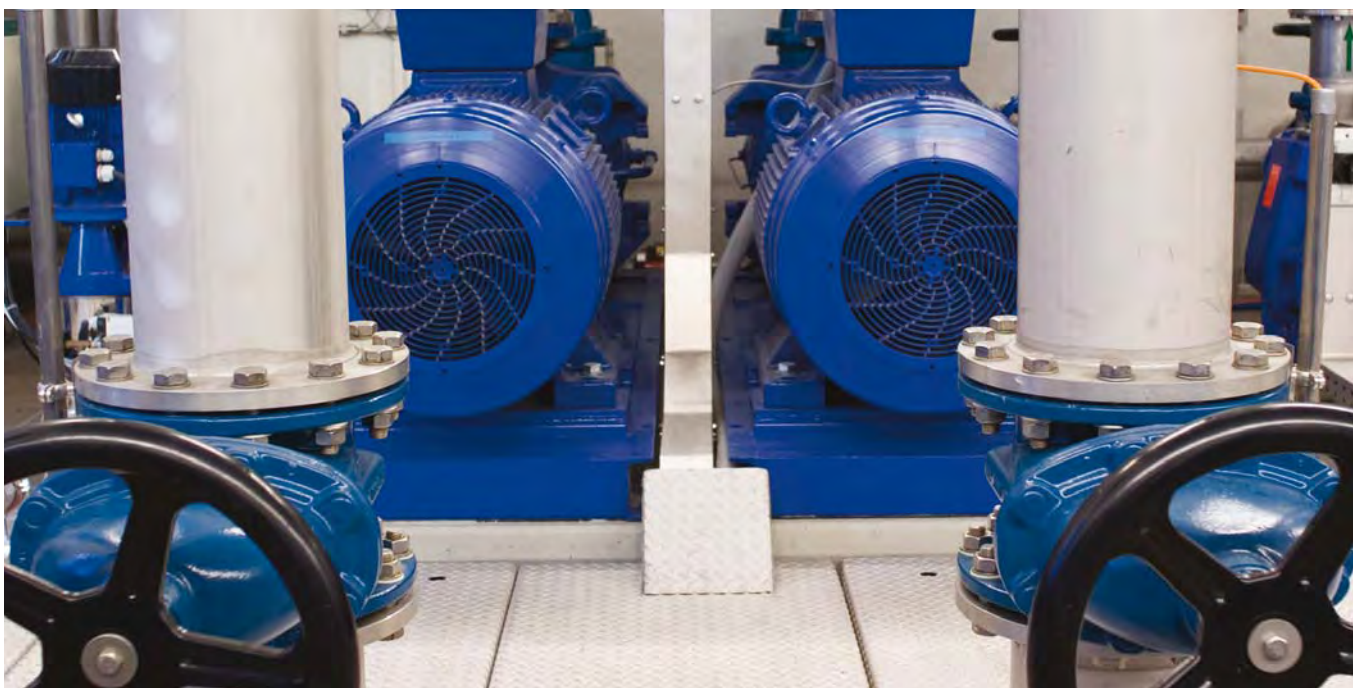
## 4. Spezifischer Teil – Querschnittstechnologien

Im spezifischen Teil werden die vier Querschnittstechnologien Druckluft- und Kältekompressoren, Ventilatoren und Gebläse, Pumpen sowie Materialfluss- und Fördertechnik betrachtet. Der Aufbau ist, wie im allgemeinen Teil beschrieben, für alle Querschnittstechnologien gleich: Er beinhaltet die technische Datenerfassung, die Ermittlung des Verbrauchs und des Bedarfs sowie die Dimensionierungsprüfung.

Bei vielen Querschnittstechnologien kann ein Frequenzumrichter (FU) ein an den Bedarf angepasstes Betriebsverhalten ermöglichen.

### Frequenzumrichter

Der Einsatz eines Frequenzumrichters sollte sowohl bei neuen als auch bei vorhandenen Motorsystemen geprüft werden. Bei Anwendungen, die konstant im Maximallastbereich betrieben werden, ist eine Drehzahlregelung nicht unbedingt wirtschaftlich. Sie ist jedoch überall dort wirtschaftlich sinnvoll, wo die Last drehzahlabhängig ist (Gleitdruckregelung, Durchflussregelung, Geschwindigkeitsregelung, etc.). Der Frequenzumrichter liefert dem Motor nur die Energie, die er aktuell benötigt. Dadurch kann die Motorleistung optimal an das Gesamtsystem angepasst werden. Darüber hinaus schont ein Frequenzumrichter Motor und Maschine beim Anlauf, bietet Vorteile bei der Maschinenwartung und ermöglicht auf Wunsch Rückspeisung der Bremsenergie in das Netz. Holen Sie sich externe Hilfe, wenn Sie sich bei der Anschaffung eines FU nicht sicher sind, dadurch können auch bei der Parametrierung des Frequenzumrichters Fehler vermieden werden.





## 4.1. Druckluft- und Kälteanlagen

### a) Druckluftanlagen

### b) Kälteanlagen

Kompressionsmaschinen und Verdichter erhöhen den Energiegehalt eines gasförmigen Arbeitsfluides, welches an anderer Stelle genutzt wird, um Arbeit zu verrichten (z.B. Druckluftschauber). Diese Anlagen werden in Luftverdichter und Kältemittelverdichter unterschieden.

Druckluft ist eine der teuersten Energien, da rund 93 % der eingesetzten Energie in Form von Wärme als Motor-, Kompressions- und Leerlaufverluste abgegeben und nicht oder nur geringfügig weiter genutzt werden (siehe Abbildung 4-1). Die Leckagen von 3,5 % sind hier für den günstigsten Fall angegeben, meist liegen sie um ein Vielfaches höher.

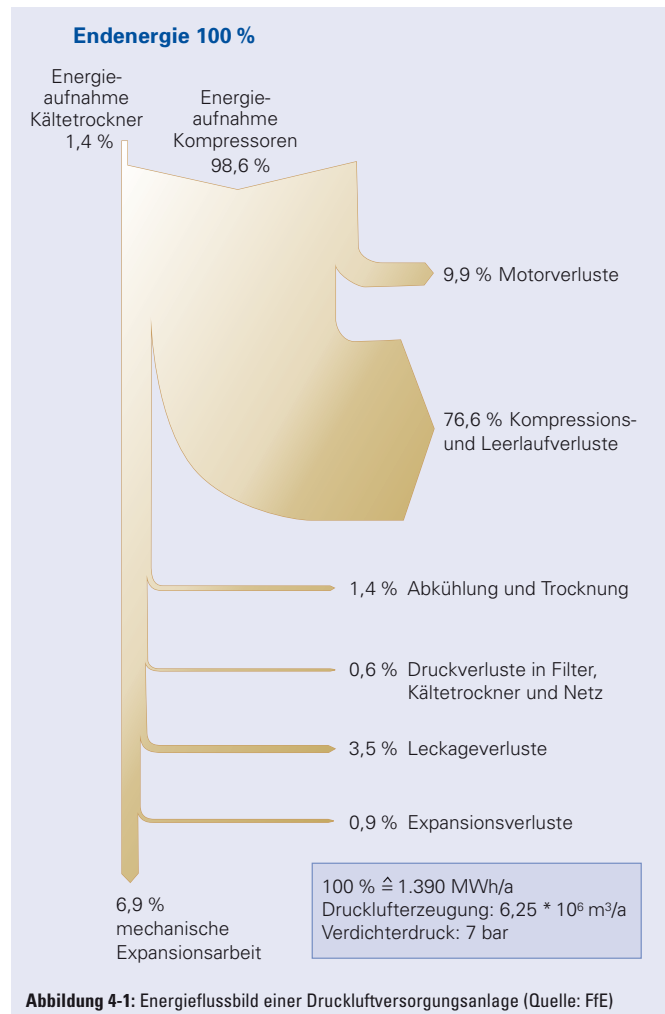
#### FRAGE 1:

#### Technische Datenerfassung

#### Verfügen Sie über die Maschinen- und Verbrauchsdaten der elektrischen Antriebe und Kompressoren?

#### Verbrauchsdaten:

Mit Hilfe der Tabelle 3-1 und der Tabelle 4-1 können bereits alle für die Optimierung relevanten Daten erfasst werden. Ein Großteil der benötigten Werte kann auf dem Typenschild der Anlage abgelesen werden, weitere Details sind in den Datenblättern der Anlagen zu finden.



Nr.			
<b>Typenschild</b>			
	maximal produzierbare Druckluftmenge [m <sup>3</sup> /min]		
	eingesetztes Kältemittel		
	Kälteleistung [kW]		
<b>Betriebsverhalten</b>			
	Volumen Druckluftspeicher [m <sup>3</sup> ]		
	Einsatz als Grundlast/Spitzenlast		
	Wasser-Vorlauftemperatur Kältemaschine [°C]		
	Wasser-Rücklauftemperatur Kältemaschine [°C]		
	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]		
	Druckluftniveau [bar]		
<b>zusätzliche Ausrüstung</b>			
	Wärmerückgewinnung ja/nein, Art (Luft-/Wasserkühlung)		
	Leistung Wärmetauscher [kW] oder Menge Kühlwasser/-luft [m <sup>3</sup> /h]		
<b>sonstige Bemerkungen</b>			

**Tabelle 4-1:** Zusätzliche Erfassung von Energieverbrauchsdaten der Druckluftherzeugung oder Kälteerzeugung

## FRAGE 2:

### Ermittlung des Verbrauchs der Anlagen und Maschinen

#### Wie kann der Verbrauch der jeweiligen Anlage ermittelt werden?

#### Verbrauchserfassung:

##### a) Druckluftkompressoren

Die Ermittlung des Energieverbrauchs kann im einfachsten Fall über einen Stromzähler erfolgen. Andernfalls wird der Energieverbrauch  $W$  (Einheit kWh) durch folgende Berechnung abgeschätzt:

$$W = P * t$$

Dabei werden der Leistungsbedarf  $P$  (Einheit kW) der Anlage und deren Betriebsstunden  $t$  (Einheit h) miteinander multipliziert.

Im Fall eines Last-/Leerlauf-Kompressors ist der Leistungsbedarf einfach zu ermitteln, da die Maschine stets in zwei wechselnden Betriebspunkten (Last und Leerlauf) betrieben wird.

#### Ermittlung der benötigten Leistung:

##### Last-/Leerlaufkompressor

Es sollte eine Messung des Stroms zu Betriebs- und Leerlaufzeiten auf allen 3 Phasen mittels geeigneter Stromzange (Messbereich prüfen, um Messungenauigkeiten als Fehlerquelle auszuschließen) durch eine Elektrofachkraft erfolgen.

Die Messung des Stromverbrauchs und des Messzeitraumes (hier 1 h) beginnt bei Start des Kompressors, die Betriebs- (10 kW Leistungsaufnahme) und Leerlaufzeiten (2 kW Leistungsaufnahme) der Anlage werden getrennt erfasst (siehe Abbildung 4-2). Zur Berechnung der benötigten Energiemenge muss die jeweilige Leistungsaufnahme mit der jeweiligen Betriebs- oder Leerlaufzeit multipliziert werden. Dieser Energieverbrauch kann schließlich unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebs- und Leerlaufzeiten auf ein Jahr hochgerechnet werden.

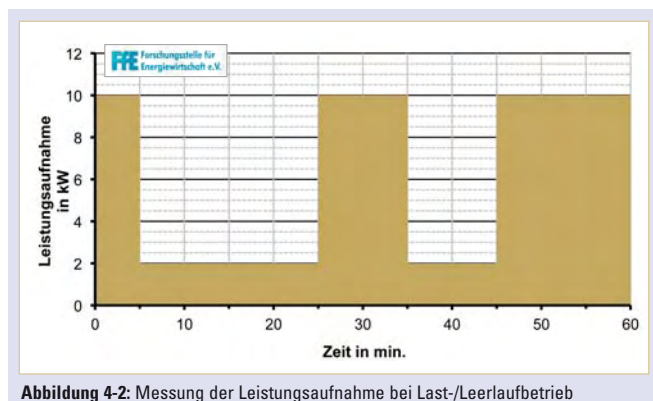


Abbildung 4-2: Messung der Leistungsaufnahme bei Last-/Leerlaufbetrieb

#### Drehzahl geregelter Kompressor

Der Leistungsbedarf wird überschlägig abgeschätzt. Hierzu sind etwas genauere Kenntnisse über die Betriebsweise der Anlage nötig, wie z.B. die Schwankungen in unterschiedlichen Drehzahlbereichen. Regelt die Maschine stets von niedrigen bis hin zu hohen Drehzahlbereichen, sind verschiedene Methoden zur Ermittlung des Leistungsbedarfs möglich:

Es sollte eine Stromverbrauchsmessung mittels Stromzange durchgeführt werden. Diese Messung wird für unterschiedliche Drehzahlbereiche wiederholt, u.a. sollten auch Pausenzeiten erfasst werden. Außerdem sollten die Laufzeiten in unterschiedlichen Drehzahlbereichen abgeschätzt werden (ggf. Beobachtung des Kompressors mehrmals am Tag für etwa 10 min.). Anschließend erfolgt eine gewichtete Mittelwertbildung des durchschnittlichen Stromverbrauchs und eine überschlägige Abschätzung des Verbrauchs im Betrachtungszeitraum.

Über ein zusätzliches Gerät zur Aufzeichnung von Messwerten, einen so genannten Datenlogger, kann der Stromverbrauch auch über mehrere Tage, möglichst eine komplette Woche, detailliert erfasst und anschließend ausgewertet werden.

Ist eine Messung nicht möglich, kann über die Drehzahl des Kompressors eine grobe Abschätzung vorgenommen werden. Das Datenblatt der Anlage beinhaltet Angaben zum Leistungsbedarf, der bei geregelten Anlagen von der Drehzahl abhängig ist. Hier ist die Kenntnis über die Laufzeiten in unterschiedlichen Drehzahlbereichen für die Ermittlung der durchschnittlichen Leistungsaufnahme ebenfalls erforderlich.

#### Bestimmung des Energieverbrauchs über folgende Gleichung:

##### 1-phasige Messung:

$$P = U * I$$

##### 3-phasige Messung:

$$P = U_L * I * 3 * \cos\varphi / 1000 = U_{Str} * I * \sqrt{3} * \cos\varphi / 1000$$

$$W = U_L * I * 3 * \cos\varphi * t / 1000 = U_{Str} * I * \sqrt{3} * \cos\varphi * t / 1000$$

- $P$  = Wirkleistungsbedarf in kW
- $W$  = Energiebedarf in kWh
- $U_L$  = Leiterspannung gegen den Sternpunkt/gegen Erde in V (230 V)
- $U_{Str}$  = Strangspannung (Dreiecksschaltung) in V (400 V)
- $I$  = Stromstärke in A
- $\cos\varphi$  = Leistungsfaktor, hier kann vereinfacht der Wert auf dem Typenschild verwendet werden
- $t$  = Betriebsstunden in h

**Beispiel:** Es wurde folgende Drehzahl und somit folgender Leistungsbedarf bei einem 2-Schicht-Betrieb ermittelt (Betriebsüberdruck 7 bar):

Produktionszeit (15 h): 1.500 U/min → 97 kW  
 Pause (1 h): 1.400 U/min → 90,5 kW (interpoliert)  
 Nach Produktionsschluss (nachts, 8 h):  
 1.000 U/min → 66 kW  
 Daraus kann durch Bildung eines gewichteten Mittelwerts der mittlere Energiebedarf über 24 h berechnet werden:  
 $(97 \text{ kW} * 15 \text{ h}) + (90,5 \text{ kW} * 1 \text{ h}) + (66 \text{ kW} * 8 \text{ h}) = 2.073,5 \text{ kWh}$

**b) Kältekompressoren**

Kältekompressoren mit geringerer Leistung sind meist unreguliert, Anlagen größerer Leistungsklassen hingegen sind zum Teil regelbar. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Betriebsstunden erfolgt analog wie oben beschrieben.

Bei Kältekompressionsanlagen, die sich an den Bedarf anpassen, findet die Leistungserfassung ebenfalls über die Drehzahl, die Drehzahlstufe, die Anzahl an zugeschalteten Verdichtern oder durch Messung statt.

**FRAGE 3:**

**Ermittlung des Bedarfs**

**Besitzen Sie Unterlagen zu den Auslegungskriterien der Antriebe, Anwendungen und Prozesse, aus denen der Leistungsbedarf hervorgeht? (Leistungsniveau, Regelungsart, Betriebszeiten etc.)**

Bei der Auslegung von Kompressoren muss bekannt sein, wie hoch der tatsächliche maximale Bedarf an Druckluft oder Kälte ist. Hierzu müssen alle Verbraucher und Abnehmer und deren Anforderungen (Druckluftmenge, Druckniveau) identifiziert werden, um die Anlage optimal auslegen zu können. Auf Grundlage dieser Daten kann anschließend die Auslegung des Kompressors geprüft werden.

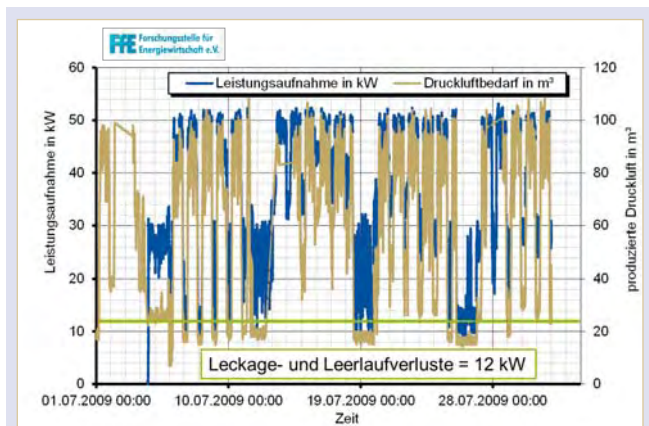


Abbildung 4-3: Leistungsaufnahme eines Kompressors

**a) Druckluftkompressoren**

Abbildung 4-3 zeigt eine Messung des Leistungsbedarfs und des Druckniveaus eines Kompressors bei der Firma Finnforest GmbH. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Leistungsaufnahme des Kompressors am Wochenende in der produktionsfreien Zeit von ca. 50 kW auf 12 kW abnimmt. Das Druckband (braune Kennlinie) zeigt durch die Schwankungen, dass eine Druckluftabnahme nur bis Samstag stattfindet. Der Verbrauch am Wochenende ist bedingt durch Leckageverluste im Druckluftnetz. Die Differenz zwischen Verbrauch und Verlusten stellt mit 40 kW den tatsächlichen Bedarf dar.

Bei Abschaltung des Kompressors am Wochenende könnten  $12 \text{ kW} * 52 \text{ Wochenenden} * 36 \text{ h/Wochenende} = 22.500 \text{ kWh} = 13 \text{ t CO}_2/\text{a}$  eingespart werden. Können die Leckagen im Netz entfernt werden, ergibt sich über  $8.760 \text{ h/a}$  eine Einsparung von  $12 \text{ kW} (= \text{ca. } 105.000 \text{ kWh und } 60 \text{ t CO}_2/\text{a})$ .

**b) Kältekompressoren**

Die Berechnung der tatsächlichen Kälteleistung wird nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$P_{\text{Kälte}} = V * \Delta T * c * \rho * \frac{1}{3,6} \text{ [kW]}$$

- V = Durchflussmenge [m³/h]
- ΔT = Temperaturdifferenz Vorlauf/ Rücklauf [K]
- c = spezifische Wärmekapazität des Kältemediums [kJ / (kg \* K)]
- ρ = Dichte des Kältemediums [kg/dm³]

Der Durchfluss kann über die Pumpenkennlinie ermittelt werden (siehe hierzu Kapitel 4.3). Über die spezifischen Kosten (Euro/kWh Strom) können anschließend die Energiekosten für diesen Zeitraum berechnet werden. Diese Kosten können durch Abschaltung der Anlage zu produktionsfreien Zeiten vermieden werden.

**Unternehmensbeispiel aus der Firma Finnforest GmbH**

Eine weitere Maßnahme ist die Reduzierung des Druckniveaus von 9,1 auf 8 bar (Ergebnis siehe Frage 4). Geprüft wird unter anderem die Investition in einen drehzahlgeregelten Kompressor mit Wärmerückgewinnung zur Warmwasserversorgung der Verwaltung.



#### FRAGE 4:

#### Dimensionierungsprüfung

##### Ist die Anlage richtig dimensioniert und an den Bedarf angepasst?

Es sollte die Nennleistung der Anlage mit dem tatsächlichen Bedarf verglichen und somit eine Dimensionierungsprüfung durchgeführt werden. Beträgt die Abweichung der Daten mehr als +30 % (installierte Leistung bezogen auf die benötigte Leistung), ist dies ein Anzeichen für eine zu groß ausgelegte Anlage. In diesem Fall müssen Maßnahmen zur energetischen Optimierung getroffen werden. Zu berücksichtigen sind jedoch Reservevorhaltungen etc., die eine Änderung der Betriebsparameter behindern. Beispielsweise wird oft ein zusätzlicher Kompressor als Ersatz angeschafft, welcher bei Ausfall des sich in Betrieb befindlichen Kompressors zum Einsatz kommt. Existieren im Betrieb nur wenige Kompressoren, ist es üblich, für jede Anlage einen Ersatz bereitzuhalten (Überdimensionierung Faktor 2). Werden jedoch Kompressoren für den Ausfall mehrerer Anlagen vorgehalten, ist eine geringere Überdimensionierung von 1,2 angebracht. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Maschinen und die Versorgung wird trotzdem sichergestellt.

#### a) Druckluftkompressoren

Einen ersten Hinweis auf falsch ausgelegte oder eingestellte Maschinen gibt das ständige Takten (An- und Abschalten) der Kompressoren. Dies kann zum einen auf einem zu gering eingestellten Druckband (An- und Abschaltdruck liegen sehr dicht beieinander), zum anderen auf einer Überdimensionierung beruhen. In beiden Fällen läuft die Anlage zu kurz. Durch einen Soll-Ist-Vergleich der Prozessparameter (Druck, Volumen, Leistung) kann eine Anlage überprüft werden. Die Angaben zum erforderlichen Druckniveau eines Abnehmers können dem Datenblatt des jeweiligen Abnehmers entnommen werden. Ebenfalls aus dem Datenblatt oder vom Anlagenhersteller erfahren Sie den notwendigen Luftvolumenstrom.

**Beispiel:** Der Druckluftkompressor bei der Firma Finforest GmbH erzeugt eine Druckluftmenge von 8,6 m<sup>3</sup>/min bei 9 bar, der Leistungsbedarf ist 62 kW. Der tatsächliche Bedarf der einzelnen Abnehmer liegt bei einem Druckniveau von 7,5 bar, durch Reduktion des Druckniveaus verringert sich die Leistungsaufnahme um 3,5 kW.

#### b) Kältekompressoren

Auch hier werden Soll- und Ist-Zustand miteinander verglichen. Die Ist-Kälteleistung wird der tatsächlich benötigten Leistung (Soll-Zustand) gegenübergestellt.

**Beispiel:** Die Kältemaschine erzeugt 20 kW Kälteleistung. Die Berechnung des tatsächlichen Bedarfs ergibt allerdings nur 10 kW.



## 4.2. Gebläse und Ventilatoren

Ventilatoren dienen zur Förderung von gasförmigen Volumenströmen durch Erzeugung einer Druckdifferenz. Bei einem Druckverhältnis von 1 bis 1,1 spricht man von einem Ventilator, zwischen 1,1 und 3 von einem Gebläse. Der Einsatzbereich von Ventilatoren reicht von der Gebäude- und Raumklimatisierung bis zur Kühlung von unterschiedlichsten Bauteilen. Die folgende Betrachtung konzentriert sich auf Ventilatoren, da deren industrieller Einsatz verbreiteter ist als der Einsatz von Gebläsen.

### FRAGE 1:

#### Technische Datenerfassung

**Verfügen Sie über die Maschinen- und Verbrauchsdaten der Antriebe, Ventilatoren und Gebläse?**

#### Verbrauchsdaten:

Mit Hilfe der Tabelle 3-1 und der Tabelle 4-2 können bereits alle für die Optimierung relevanten Daten erfasst werden. Ein Großteil der benötigten Werte kann auf dem Typenschild der Anlage abgelesen werden.

### FRAGE 2:

#### Ermittlung des Verbrauchs der Anlagen und Maschinen

**Wie kann der Verbrauch der jeweiligen Anlage ermittelt werden?**

#### Verbrauchserfassung:

Die Ermittlung des Energieverbrauchs erfolgt nach der Vorgehensweise aus Kapitel 4.1. Der Leistungsbedarf eines unregelmäßig betriebenen Ventilators kann über die Stromaufnahme schnell ermittelt werden, da die Maschine stets in einem Betriebspunkt (konstante Leistung)

betrieben wird. Ist der Ventilator drehzahl geregelt, muss die Leistung überschlägig abgeschätzt werden. Dies kann einerseits durch die mehrmalige Messung des Stromverbrauches mit Hilfe einer Stromzange durch eine Elektrofachkraft geschehen. Ist eine Messung nicht möglich, kann andererseits über die Drehzahl und die Druckdifferenz eine grobe Abschätzung vorgenommen werden. Durch das Datenblatt der Anlage kann der Arbeitspunkt des Ventilators und somit dessen Leistungsbedarf ermittelt werden. Eine ausführliche Beschreibung dieser Vorgehensweise ist in Kapitel 4.1. zu finden.

### FRAGE 3:

#### Ermittlung des Bedarfs

**Besitzen Sie Unterlagen zu den Auslegungskriterien der Antriebe, Anwendungen und Prozesse, aus denen der Leistungsbedarf hervorgeht? (Leistungsniveau, Regelungsart, Betriebszeiten, Berechnungsgrundlagen etc.)**

Bei der Auslegung von Ventilatoren muss zunächst bekannt sein, wie hoch der tatsächliche Bedarf an Frischluft ist. Deshalb sollte identifiziert werden, wie hoch die Luftwechselrate oder der benötigte Luftvolumenstrom aller mit der jeweiligen Anlage belüfteten Räume sein muss. Auf Grundlage dieser Daten kann anschließend die Auslegungsleistung geprüft werden.

#### Ermittlung des Leistungsbedarfs:

Bestimmung des Luftvolumenstroms  $V_L$ :

$$V_L = n \cdot V_R$$

$n$  = Luftwechselrate [1/h] (siehe EDV-Tool)  
 $V_R$  = Volumen des belüfteten Raumes in  $m^3$

Nr.			
<b>Typenschild</b>			
maximaler Luftvolumenstrom [m <sup>3</sup> /h]			
Leistung Heizregister [kW]			
Leistung Kühlregister [kW]			
Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]			
Druckdifferenz [Pa oder mmWs]			
<b>zusätzliche Ausrüstung</b>			
Wärmerückgewinnung ja/nein, Art (Kreuzstromwärmetauscher,...)			
Leistung Wärmetauscher [kW]			
<b>sonstige Bemerkungen</b>			

**Tabelle 4-2:** Zusätzliche Erfassung von Energieverbrauchsdaten bei Gebläsen und Ventilatoren

Die Luftwechselrate kann alternativ auch schon durch frühere Berechnungen zur Auslegung der Lüftungsanlage bestimmt worden sein. Bei der Wahl der Luftwechselrate ist außerdem zu beachten, dass höhere Luftwechselraten einerseits für ein besseres Raumklima sorgen können, andererseits steigen jedoch die Wärmeverluste. Ist der Luftvolumenstrom ermittelt, kann über das Datenblatt des Ventilators oder der Lüftungsanlage der Leistungsbedarf ermittelt werden.

**Beispiel:** Industriehalle mit einer Grundfläche von 200 m<sup>2</sup>, einer Höhe von 5 m und spanabhebender Fertigung  
 Volumen der beheizten Fläche: 1.000 m<sup>3</sup>  
 Luftwechselrate: 3/h  
 Bestimmung des Luftvolumenstroms: 3/h \* 1.000 m<sup>3</sup> = 3.000 m<sup>3</sup>/h  
 Der Ventilator einer Lüftungsanlage mit einem Luftvolumenstrom von 3.000 m<sup>3</sup>/h hat einen Leistungsbedarf von 1 bis 2 kW.

**FRAGE 4:**

**Dimensionierungsprüfung**

**Ist die Anlage richtig dimensioniert und somit an den Bedarf angepasst?**

Durch einen Soll-Ist-Vergleich der Prozessparameter (Luftvolumen, Leistung) kann eine überdimensionierte Anlage identifiziert werden.

**Unternehmensbeispiel:**

Vorgabe für zwei Saugzugventilatoren der Ringöfen bei der SGL Group: Sollwert 33 und 50 mmWs für zwei Öfen. Die Leistung der abwechselnd betriebenen Saugzugventilatoren beträgt je 132 kW, die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Ventilatoren ca. 125 kW. Durch Einsatz eines Hocheffizienzmotors und eines Direktantriebs kann der Leistungsbedarf der Anlage reduziert werden (hier um ca. 10 %).

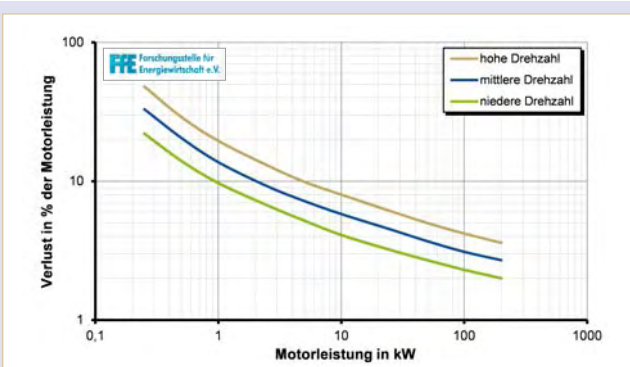


Abbildung 4-4: Einsparpotenzial durch Einsatz eines Direktantriebs

Als weitere Maßnahme wird hier die Installation eines Frequenzumrichters vorgeschlagen. Dieser würde die Leistungsaufnahme der Saugzugventilatoren um etwa 36 kW verringern. Die Amortisationszeit dieser Maßnahme beträgt 2 Jahre, die interne Verzinsung 54%.

**Unternehmensbeispiel:**

Das Ansaugen des Mehls wird in der Ludwig Stocker Hopffisterei GmbH durch unregelmäßige Sauggebläse realisiert. Die Messung ergab, dass der Einsatz eines Frequenzumrichters die Leistungsaufnahme um bis zu 50 % reduzieren könnte (vgl. Abbildung 4-5). Dadurch ergeben sich jährliche Kosteneinsparungen von 900 Euro und eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 6,5 t CO<sub>2</sub>/a. Allerdings ist zu beachten, dass eine Mindestdrehzahl zur Motor- und Gebläseschmierung stets gewährleistet werden muss. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt eine Amortisationszeit von ca. 9 Jahren und eine interne Verzinsung von 13 %. Noch nicht quantifiziert wurde hierbei, dass sich auch die Spitzenlast der Hopffisterei durch diese Maßnahme um 2 bis 3 kW reduziert. Dies hat den Vorteil, dass die Investition in einen größeren Trafo verzögert oder vermieden werden kann.

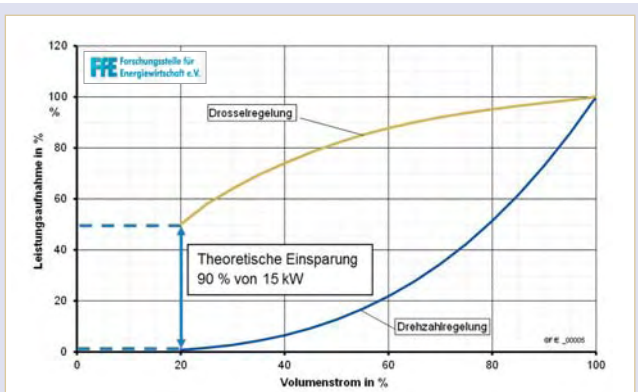


Abbildung 4-5: Leistungsaufnahme bei Drossel- und Drehzahlregelung





### 4.3. Hydraulik- und Umwälzpumpen

Der Bereich „Hydraulik- und Umwälzpumpen“ beschäftigt sich vor allem mit Umwälzpumpen. Durch die große Verbreitung dieser Pumpen im Bestand, deren häufig anzutreffende Überdimensionierung sowie eine oftmals eingesetzte energetisch ungünstige Regelung, lassen sich noch beachtliche Energieeinsparungen realisieren.

Bei Einsparungen im Bereich der Hydraulikpumpen ist zu beachten, dass diese oft nur mit Zustimmung des Anlagenherstellers des Hauptaggregats vorgenommen oder aufgrund weiterer Prozessparameter, wie z.B. Kühlung des Öls, unter schwierigeren Bedingungen umgesetzt werden können.

#### FRAGE 1:

##### Technische Datenerfassung

#### Verfügen Sie über die Maschinen- und Verbrauchsdaten ihres Pumpensystems?

Tabelle 3-1 und Tabelle 4-3 beinhalten die erforderlichen Daten, die zur Erfassung des Energieverbrauchs benötigt werden.

#### FRAGE 2:

##### Ermittlung des Verbrauchs der Anlagen und Maschinen

#### Wie kann der Verbrauch der jeweiligen Anlage ermittelt werden?

##### Verbrauchserfassung:

Die Ermittlung des Energieverbrauchs erfolgt sowohl für Umwälz- wie auch für Hydraulikpumpen nach dem gleichen Schema wie in Kapitel 4.1.

Im Fall einer unregelmäßigen oder stufenregelbaren Pumpe kann der Leistungsbedarf für diesen Betriebsfall durch eine Kurzzeitmessung mittels Stromzange ermittelt werden.

Ist die Pumpe jedoch drehzahlregelt, muss die Leistung überschlägig abgeschätzt werden. Die Vorgehensweise ist ebenfalls in Kapitel 4.1 detailliert beschrieben.

Werden bereits intelligente Pumpen mit Infrarot-Kommunikation eingesetzt, können Betriebsstunden und auch Energieverbrauch durch Zählerstände oder auf dem Display erfasst werden. Dazu werden die Daten am Anfang der Messung und in immer gleichen Zeitabständen abgelesen.

Für die Ermittlung des Energieverbrauchs einer drehzahlregelt Pumpe ist die wiederholte Messung und Aufzeichnung des Stromverbrauchs durch eine Elektrofachkraft unvermeidbar. Mit Hilfe der Formeln aus Kapitel 4.1 kann die Wirkleistung bestimmt werden.

##### Messung der Stromaufnahme der Pumpe:

Ø 120 Ampere (3 phasig)

##### Berechnung des Wirkleistungsbedarfs:

$$400 \text{ V} * 120 \text{ A} * 3 * \cos \varphi / 1000 = 70,5 \text{ kW}$$

##### Ermittlung des Volumenstroms:

Durch Kenntnis des Leistungsbedarfs kann aus der Pumpenkennlinie der Förderstrom abgelesen werden.

#### FRAGE 3:

##### Ermittlung des Bedarfs

#### Besitzen Sie Unterlagen zu den Auslegungskriterien der Antriebe, Anwendungen und Prozesse, aus denen der Leistungsbedarf hervorgeht? (Leistungsniveau, Reglungart, Betriebszeiten, Berechnungsgrundlagen etc.)

Pumpen sind in vielen Fällen zu groß ausgelegt, wie auch das Beispiel der Klarfiltratpumpe von MD Papier zeigt. Dies führt dazu, dass die Pumpe im äußeren Bereich der Kennlinie und somit einem schlechten Arbeitspunkt betrieben wird (siehe linke Grafik, Punkt A). Durch Drosselung verschiebt

Nr.			
	Vorlauftemperatur [°C]		
	Rücklauftemperatur [°C]		
	Volumenstrom [m³/h oder l/min.]		
	Förderhöhe [m]		
	Hydrauliköldruck [bar]		
<b>sonstige Bemerkungen</b>			

**Tabelle 4-3:** Zusätzliche Erfassung von Energieverbrauchsdaten bei Umwälz- und Hydraulikpumpen

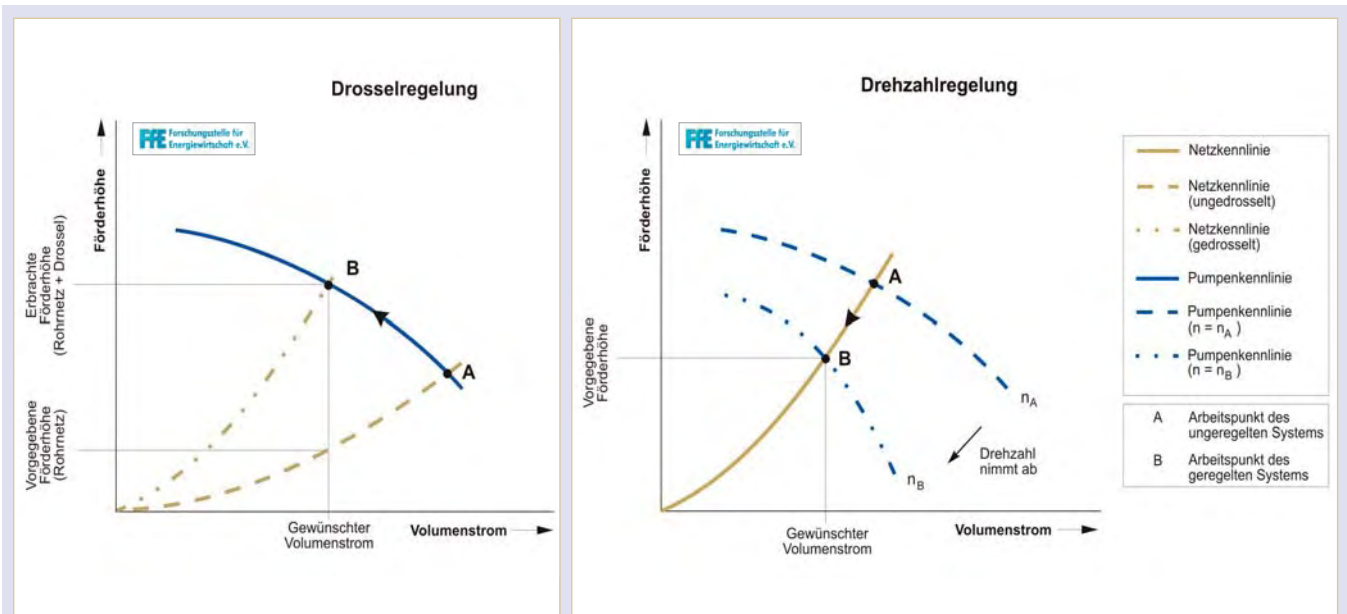


Abbildung 4-6: Drossel- und Drehzahl-Kennlinien einer Umwälzpumpe

sich dieser ungünstige Betriebszustand nach Punkt B, allerdings muss bei höherer Förderhöhe mehr Energie aufgewendet werden, um den geringeren Förderstrom zu transportieren.

Der jeweils benötigte Förderstrom für die Versorgung einzelner Abnehmer sollte deshalb bekannt sein. Daraus kann im Anschluss die Gesamtförderleistung der Pumpe und der optimale Arbeitspunkt ermittelt werden, wie z.B. in der rechten Grafik (Punkt B) zu sehen ist. Hier wird durch einen Frequenzumrichter der gewünschte Volumenstrom erreicht, was keine Druckerhöhung mit sich bringt.

Die Leistungsaufnahme reduziert sich im Fall von MD Papier deutlich, dadurch werden eine Kostenersparnis von 25.000 Euro/a und eine Reduktion von 184 t CO<sub>2</sub>/a erreicht. Die Amortisationszeit dieser Maßnahme beträgt 1 Jahr. Als weitere Maßnahme wird der Austausch der Pumpe gegen eine Hocheffizienzpumpe mit einer etwas geringeren Dimensionierung geprüft.

#### FRAGE 4:

#### Dimensionierungsprüfung

Ist die Anlage richtig dimensioniert und somit an den Bedarf angepasst?

Durch einen Soll-Ist-Vergleich der Prozessparameter (Leistungsbedarf, Förderleistung) kann eine überdimensionierte Anlage identifiziert werden.

#### Unternehmensbeispiel:

Ein Beispiel für eine optimierungsfähige Dimensionierung stellt der Kühlwasserkreislauf von der Roche Diagnostics GmbH in Penzberg dar. Gemeinsam mit Experten der Energieversorgung wurde die Zuschaltreihenfolge hinsichtlich der optimalen Arbeitspunkte der Kennlinien optimiert. Dazu wurden Pumpen, welche einen höheren Druck als den Netzdruck erzeugen können (z.B. 6 bar statt 4 bar Netzdruck), in der Zuschaltreihenfolge nach hinten genommen. Die Grafik zeigt, dass durch die verbesserte Einschaltreihenfolge je nach Volumenstrom Leistungsreduktionen zwischen 5 und 30 kW erreicht wurden. Allein dadurch reduzieren sich die jährlichen Energiekosten bei den aktuellen Volumenströmen um ca. 2.200 Euro.

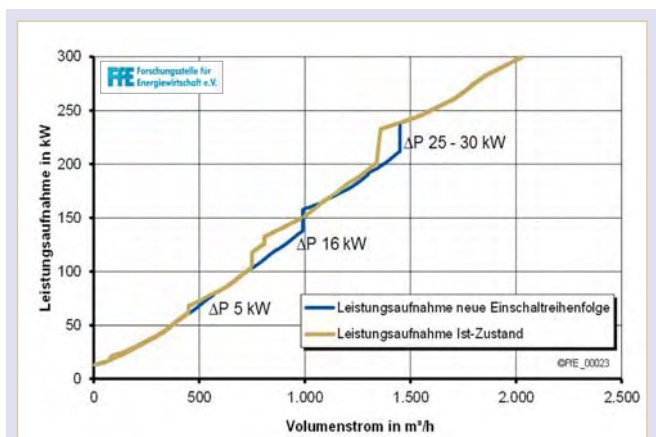


Abbildung 4-7: Leistungsaufnahme der Pumpen bei verschiedenen Zuschaltreihenfolgen

## 4.4. Materialfluss- und Fördertechnik

In diesem Kapitel werden Materialfluss- und Fördertechnik behandelt. Beispielsweise sind für diese Querschnittstechnologie Förderbänder zu nennen, welche ein Produkt oder Materialien für die Produktion transportieren.

### FRAGE 1:

#### Technische Datenerfassung

**Verfügen Sie über die Maschinen- und Verbrauchsdaten der Materialfluss- und Fördertechnik? Wie kann der Verbrauch der jeweiligen Anlage ermittelt werden?**

#### Verbrauchsdaten:

Die Tabelle 3-1 und die Tabelle 4-4 geben Hilfestellung bei der Erfassung der für die Optimierung relevanten Daten. Ein Großteil der benötigten Werte kann auf dem Typenschild der Anlagen abgelesen werden.

### FRAGE 2:

#### Ermittlung des Verbrauchs der Anlagen und Maschinen

**Wie kann der Verbrauch der jeweiligen Anlage ermittelt werden?**

#### Verbrauchserfassung:

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des Energieverbrauches von Antriebsmotoren ist analog der Methode aus Kapitel 4.1.

#### Unternehmensbeispiel:

Bei der Hirschvogel Umformtechnik GmbH ist eine Vielzahl an Förderbändern installiert. Etwa die Hälfte davon wurde bereits mit einem Frequenzumrichter ausgestattet, Grund hierfür war allerdings die Regelung der Geschwindigkeit der Bänder. Es wurde die Einsparung durch den FU berechnet, indem die Strom- und Leistungsaufnahme an Förderbändern mit und ohne FU gemessen wurde. Bei etwa gleicher Frequenz (50 Hz) betrug der Leistungsbedarf mit FU etwa 40 % der Leistungsaufnahme ohne FU.

Bei einer Betriebszeit von ca. 7.400 h/a und einer Leistungsreduktion von ca. 0,24 kW ergibt sich somit eine Einsparung von 1.774 kWh/a und 1 t CO<sub>2</sub>/a.

### FRAGE 3:

#### Ermittlung des Bedarfs

**Kennen Sie die Auslegungskriterien der Antriebe, Anwendungen und Prozesse und wie können Sie daraus den Leistungsbedarf ermitteln? (Leistungsniveau, Regelungsart, Betriebszeiten etc.)**

Zur Ermittlung der tatsächlichen Auslegungsleistung muss die Anforderung der Abnehmer (zu transportierende Menge, Verweildauer auf dem Band) an das jeweilige Förderband bekannt sein.

Abbildung 4-8 stellt den Leistungsbedarf eines Bandförderers und dessen Durchsatz dar. Zu Zeiten, in denen keine Produkte durchgesetzt werden, liegt der Leistungsbedarf aufgrund von Reibungsverlusten bei 175 W. Im Vergleich dazu erhöht sich die Leistung beim Transport nur geringfügig auf ca. 200 W. Daraus ergibt sich folgendes Resultat: Der Transport benötigt zusätzlich zu Reibungsverlusten von 175 W rund 25 W. Etwa 85 % des Leistungsbedarfs werden schon für den Leerlaufbetrieb aufgewendet. Diese Verluste könnten durch Abschaltung der Anlage vermieden werden. Die tatsächlich benötigte Leistung des Förderbandes ergibt sich somit aus der Summe von Leistungsbedarf und Verlusten.

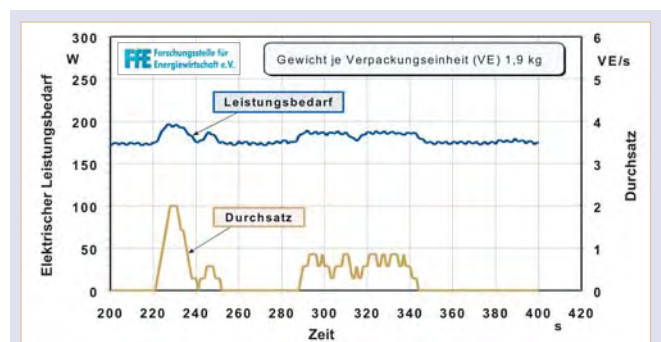


Abbildung 4-8: Durchsatz und Leistungsbedarf eines Bandförderers

<b>Nr.</b>			
<b>Typenschild</b>			
maximal zulässiges Transportgewicht [kg]			
max. Transportleistung [kg/h]			
Eigengewicht Förderband [kg]			
<b>sonstige Bemerkungen</b>			

Tabelle 4-4: Erfassung von Energieverbrauchsdaten der Materialfluss- und Fördertechnik

#### FRAGE 4:

##### Dimensionierungsprüfung

##### Ist die Anlage richtig dimensioniert und somit an den Bedarf angepasst?

Durch einen Soll-Ist-Vergleich der Prozessparameter kann eine überdimensionierte Anlage identifiziert werden.

Das eingesetzte Förderband kann maximal 10 t/h transportieren, die Leistungsaufnahme liegt hierbei bei 50 kW. Die Anforderungen an das Transportsystem betragen jedoch lediglich 5 t/h. Somit ist der Antrieb des Förderbandes auf die doppelte Transportleistung und damit zu groß ausgelegt. Der Motor kann geringer dimensioniert oder mit einem FU ausgestattet werden.

##### Hinweis zum Schluss:

Stellen Sie sicher, dass Sie die nun implementierten Strukturen und optimierten Prozesse aufrecht erhalten – z.B. in dem Sie einen Verantwortlichen benennen, der über die Entwicklung der Daten den Überblick behält und Abweichungen meldet!





## 5. Weiterführende Informationen und Hilfestellung

### Anlaufstellen für weitere Informationen, Beratung und Hilfestellung sind:

Bayerisches Staatsministerium  
für Umwelt und Gesundheit  
Rosenkavalierplatz 2  
81925 München  
Tel: +49 (0)89 9214 - 00  
Fax: +49 (0)89 9214-2266  
poststelle@stmug.bayern.de  
www.stmug.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: +49 (0)8 21/ 9071-0  
Fax: +49 (0)8 21/ 9071-5556  
poststelle@lfu.bayern.de  
www.lfu.bayern.de

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Dena)  
Chausseestraße 128a  
10115 Berlin, Germany  
Tel: +49 (0)30 72 61 65 – 600  
Fax: +49 (0)30 72 61 65 – 699  
info@dena.de  
www.dena.de

Dena-Initiative „Energieeffizienz in  
Industrie und Gewerbe“:  
www.industrie-energieeffizienz.de

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main  
Fon +49 (0)69 6302-0  
Fax +49 (0)69 6302-317  
zvei@zvei.org  
www.zvei.org

Industrie- und Handelskammer  
für München und Oberbayern  
Max-Joseph-Str. 2  
80333 München  
Tel: +40 (0)89 5116-0  
Fax: +49 (0)89 5116-306  
ihkmail@muenchen.ihk.de  
www.muenchen.ihk.de

Plattform der IHK für München und Oberbayern mit Unterstützung durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) zur IPP: [www.ipp-bayern.de](http://www.ipp-bayern.de).

Das Motor Challenge Programm der der Europäischen Kommission: [www.motor-challenge.de](http://www.motor-challenge.de)

### Projektleitung und Durchführung



Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.  
Am Blütenanger 71  
80995 München  
[www.ffe.de](http://www.ffe.de)



Arqum, Gesellschaft für Arbeitssicherheit,  
Qualitäts- und Umweltmanagement mbH  
Aldringenstraße 9  
80639 München  
[www.arqum.de](http://www.arqum.de)

### Kooperationspartner



Bayerischer Industrie- und Handels-  
kammertag BIHK e.V. (BIHK e.V.)  
Max-Joseph-Straße 2  
80333 München  
[www.bihk.de](http://www.bihk.de)

### Partnerunternehmen



Finnforest Merk GmbH  
Industriestraße 2  
86551 Aichach  
[www.finnforest.de](http://www.finnforest.de)



Hirschvogel Umformtechnik GmbH  
Mühlstraße 6  
86920 Denklingen  
[www.hirschvogel.de](http://www.hirschvogel.de)



Ludwig Stocker Hofpfisterei GmbH  
Kreittmayrstraße 5  
80335 München  
[www.hofpfisterei.de](http://www.hofpfisterei.de)



MD Plattling  
MD Papier GmbH  
Nicolausstraße 7  
94447 Plattling  
[www.mylykoski.com](http://www.mylykoski.com)



Roche Diagnostics GmbH  
Nonnenwald 2  
82372 Penzberg  
[www.roche.de](http://www.roche.de)



SGL CARBON GmbH  
Werner-von-Siemens-Straße 18  
86405 Meitingen  
[www.sglgroup.com](http://www.sglgroup.com)

# Integrierte Produktpolitik

# IPP

## Denken in Lebenszyklen

### Impressum

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Gesundheit (StMUG)  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München  
Internet: [www.stmug.bayern.de](http://www.stmug.bayern.de)  
E-Mail: [poststelle@stmug.bayern.de](mailto:poststelle@stmug.bayern.de)

Gestaltung: kreativmandat, delazzer-böhmer, München  
Fotos: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.  
(Seite 11, 15), © Fotolia  
Druck: Senser Druck GmbH, Augsburg

Stand: Oktober 2010

© StMUG, alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Publikation wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Der Inhalt wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

