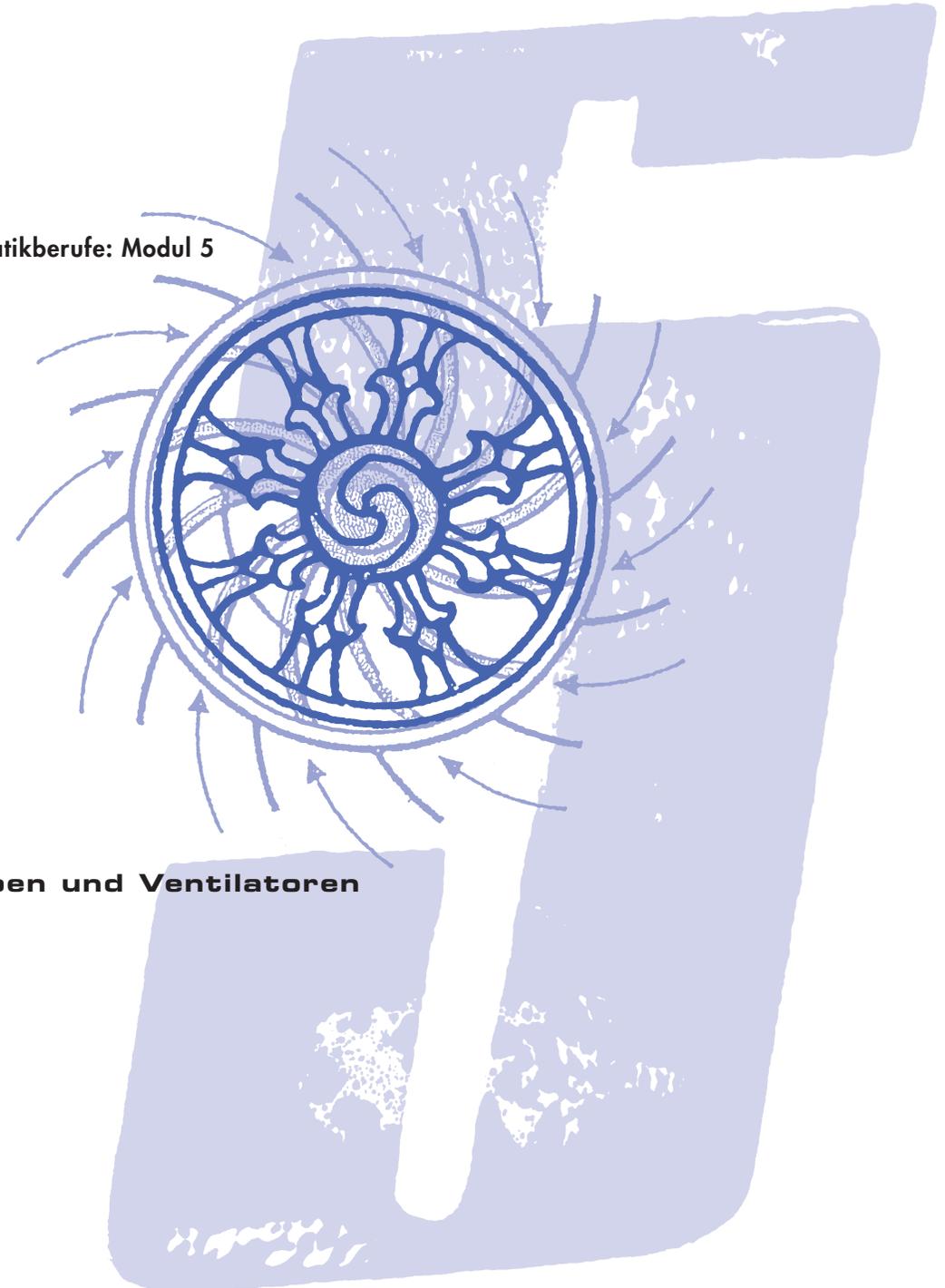


Elektrische Antriebe

Energie im Unterricht, Module für Maschinenbau-, Elektro- und Informatikberufe: Modul 5

- 1 Einführung: Worum geht es ?**
- 2 Lernziele**
- 3 Vorschläge für den Unterricht**
- 4 Fachinformation**
 - **Vorbemerkungen**
 - **Antriebsarten**
 - **Motoren**
 - **Umwälzpumpen**
 - **Ventilatoren**
 - **Drehzahlregulierung bei Motoren, Pumpen und Ventilatoren**
 - **Aufzüge**
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge**
- 6 Weiterführende Literatur**
- 7 Bild- und Textnachweis**
- 8 Vorlagen**



1 Einführung: Worum geht es ?

Vor 3000 Jahren wurde im heutigen Afghanistan die allererste Windmühle gebaut. Mit primitiven mechanischen Mitteln konnte auf diese Weise Grundwasser gepumpt werden. Ebenfalls früh entdeckt wurde die Wasserkraft, die als erster mechanischer Antrieb vor 800 Jahren eine wichtige Rolle spielte und dann vor allem für die Industrialisierung vor 200 Jahren von Bedeutung war.

Die Entdeckung und Nutzung anderer Energieformen führten zu einem rasanten technischen Fortschritt: vom Erdöl hin zum Gas und über die Erzeugung von Elektrizität mittels Kohle, Öl, Wasserkraft zu den nuklearen Brennstoffen. Eine Tatsache bleibt: Der «Fortschritt» liegt in der schöpferischen Kraft begründet.

Die elektrischen Antriebe sind Symbol dieser schöpferischen Kraft. In den industrialisierten Ländern wird über 40% der produzierten elektrischen Energie von Elektromotoren in mechanische Arbeit umgewandelt.

In allernächster Zukunft werden neue Aufgaben und neue Techniken einen hohen Stellenwert für unsere Volkswirtschaft bekommen: Computerisierung der Entwicklungs- und Fabrikationsprozesse in der Industrie, in technischen Betrieben und im Dienstleistungsbereich, Automatisierung eben dieser Produktionsprozesse, usw. Alle diese neuen Aufgaben werden notwendigerweise elektrische Energie beanspruchen.

Zugleich ist auf lange Sicht eine Steigerung der Stromproduktion nur in engen Grenzen möglich. Um die neuen Aufgaben zu bewerkstelligen, müssten zuverlässige neue Reserven und neue Kapazitäten elektrischer Energie zugesichert werden können. Sie bestehen allerdings schon, und zwar – kaum zur Kenntnis genommen – in der Unmenge der heute (noch!) verschwendeten elektrischen Energie.

Mit diesem Modul werden die Lernenden mit den wichtigsten Arten von elektrischen Antrieben bekannt gemacht. Sie lernen die Bemühungen zu deren Optimierung kennen und können die Bedeutung dieses Gebietes für den schweizerischen Gesamtenergieverbrauch ermessen.

2 Lernziele

Die Lernenden ...

- definieren kurz, was unter einem elektrischen Antrieb verstanden wird
- nennen verschiedene Anwendungsbereiche
- erklären den Vorgang bei der Untersuchung des Gesamtwirkungsgrades eines Systems
- zeigen die Eigenschaften einer Steuerung auf, die die Energie optimal umsetzt
- erläutern die Angaben auf den Typenschildern von Motoren, Pumpen und Ventilatoren.

Beispiele von Antworten:

- Ein Antriebssystem besteht prinzipiell aus einem Elektromotor und der damit betriebenen Maschine.
- Werkzeugmaschinen
- Roboter
- Aufzüge
- Baukräne
- Ventilatoren
- Pumpen, Umwälzpumpen
- Überlagerung des Wirkungsgrades des Motors, des Wirkungsgrades der Kraftübertragung und des Wirkungsgrades der betriebenen Vorrichtung (z.B. Ventilator)
- Einsatz eines Drehzahlreglers
- Siehe Beispiel Seite 8 im Kapitel 4.3 und Aufgabe 2 im Kapitel 5, Seite 18

3 Vorschläge für den Unterricht

Anschauungsmaterial aus der Praxis

- Elektrische Antriebe mit ihren Bestandteilen benennen
- Ventilatoren, Pumpen, Umwälzpumpen nach Typen unterscheiden und ihre Wirkungsweise erklären
- Motoren im Aufbau und in der Funktion erläutern
- Typenschilder lesen und interpretieren.

Praxisnahe Versuche

- Leistungsaufnahme von Motoren oder Maschinen messen
- Wirkungsgrade abschätzen
- Mögliche Verbesserungen vorschlagen.

4 Fachinformation

4.1 Vorbemerkungen

Ventilatoren sind Maschinen, die elektrische Energie in Luftvolumenstrom und in Druck umwandeln. Pumpen nutzen dieselbe elektrische Energie zur Förderung von Flüssigkeiten.

Diese Umwandlung soll mit einem möglichst geringen Verlust erfolgen.

Genauere Dimensionierung, die Wahl eines geeigneten Motorisierungskonzepts und der Einsatz energiesparender Antriebe sind entscheidende Bedingungen für Lösungen mit elektrischen Antrieben, welche die Energie optimal umsetzen.

In letzter Zeit wird auch der Kraftübertragung mehr Aufmerksamkeit geschenkt; einerseits werden anstelle von Keilriemen immer häufiger flache Treibriemen eingesetzt, andererseits kann dank der Drehzahlregelung der Motoren auf Direktantriebe zurückgegriffen werden, womit zugleich auch die Übertragungsverluste verschwinden.

Um elektrische Energie rationell zu nutzen, muss das Problem des Antriebs als Ganzes betrachtet werden. Der Wirkungsgrad jedes Elements unter voller sowie unter teilweiser Belastung muss in die Überlegungen einbezogen werden, da der Wirkungsgrad bei Teillast immer niedriger ist als bei Vollast, und zwar bei jedem der Elemente.

4.2 Antriebsarten

Ein elektrisches Antriebssystem besteht grundsätzlich aus einem Elektromotor und dem damit betriebenen Gerät; je nach Funktion wird es mit einem mechanischen Getriebe und einem Frequenzumformer ergänzt. Aufgrund der Anforderungen des Prozesses in Bezug auf Steuerungsmöglichkeiten sowie Genauigkeit der geregelten Grössen ist zudem ein Datenverarbeitungssystem vorzusehen.

Die folgenden Antriebsarten werden unterschieden:

- Ungesteuerte Antriebe für einfache Anwendungen unter praktisch konstanter Belastung, mit Anlasser für hohe Leistungen, Motorenschutz und einfachem Schalter «EIN/AUS».
- Gesteuerte Antriebe, die dank einer Drehzahlstellvorrichtung (Frequenzumformer oder stufenloses Getriebe) und der dazu gehörenden Steuerung mit variabler Drehzahl arbeiten.
- Geregelte Antriebe mit Frequenzumformer, Erfassung der Istzustände und Regelung der Drehzahl zur genauen Anpassung an die Lastverhältnisse.
- Computergesteuerte Antriebe mit besonderen Schutz-, Koordinations- und Optimierungsfunktionen zur Steuerung bzw. Regelung unabhängiger oder miteinander verbundener Antriebe.

Diese Antriebe können voneinander unabhängig oder miteinander koordiniert sein. Bei einem Gruppenantrieb wird die Leistung über verschiedene Mechanismen an mehrere Maschinen verteilt. So lässt sich beispielsweise ein winkelsynchroner Lauf mehrerer Motoren realisieren.

4.3 Motoren

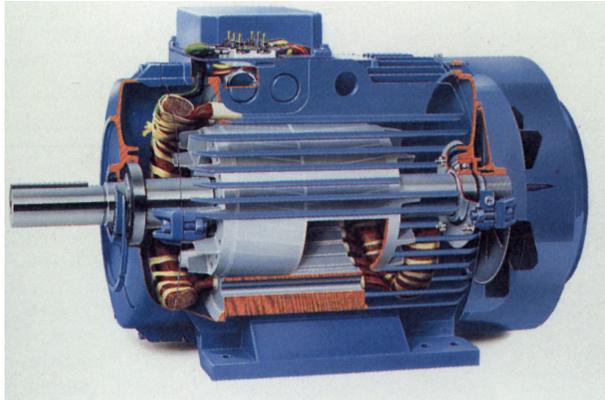
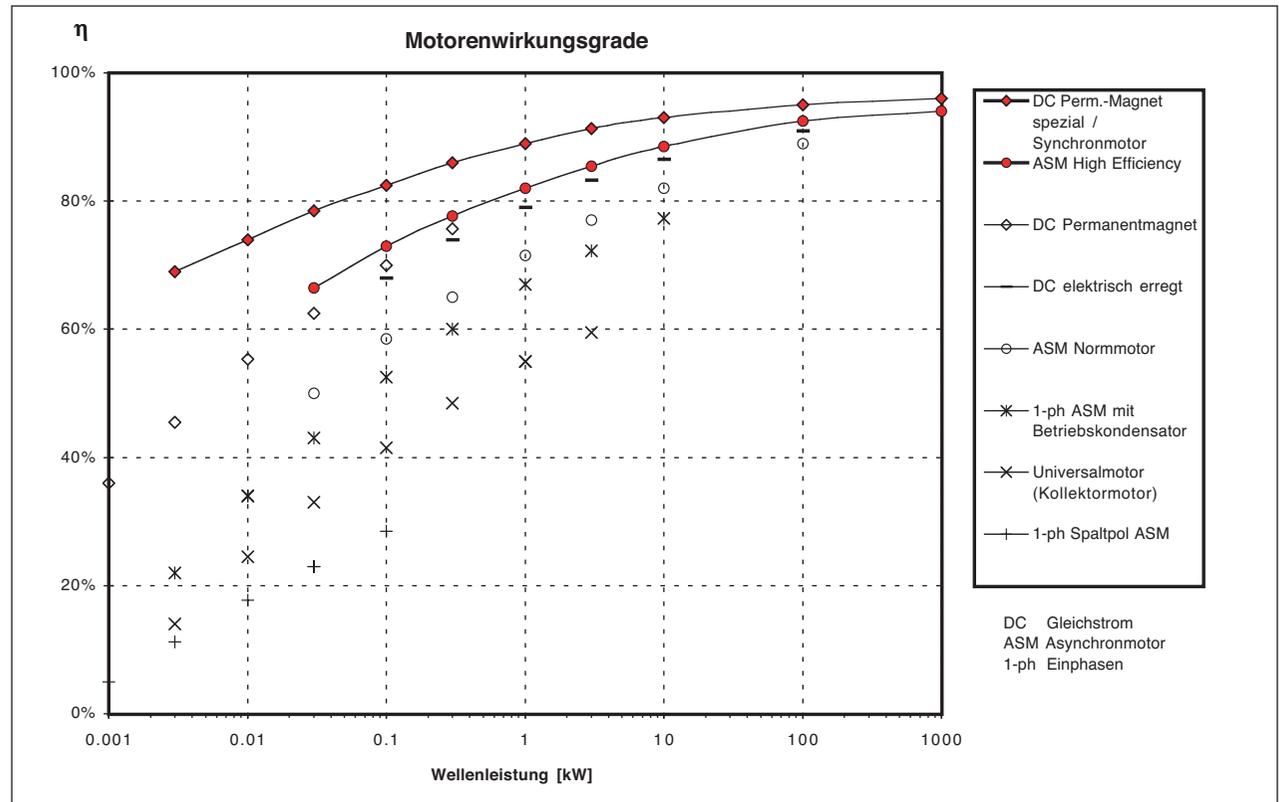


Abb. 1: Schnitt durch einen Elektromotor

Wirkungsgrad der Motoren verschiedener Konstruktion nach Wellenleistung



Beispiel eines Typenschilds (mit Erläuterungen)

Typenschild eines Drehstrommotors

3~ Drehstrom
 Mot. Nr. Motorennummer, obligatorisch
 D/Y 220/380 V Motor funktioniert mit Dreieck- oder Sternschaltung
 9.0/5.2 A Nennstromstärke (bei Nennleistung)
 9 A bei 220 V, 5,2 A bei 380 V
 2.2 kW Nennleistung = Leistung im Dauerbetrieb bei 40 °C Umgebungstemperatur
 1410 min⁻¹ Drehzahl bei Nennleistung
 cos φ = 0.81 Phasenverschiebung
 50 Hz Netzfrequenz
 IP 54 Art des Motorschutzes, erste Ziffer: Schutzgrad bei zufälligem Kontakt und bei Eindringen von Fremdkörpern (5 = staubgeschützt), zweite Ziffer: Schutz gegen eindringendes Wasser (4 = spritzwassergeschützt)
 Isol. Kl. B bei einer Wicklungstemperatur von 80 °C (Isolationklasse F bei 100 °C)
 VDE Hinweis darauf, dass der Motor die VDE-Norm einhält (fakultative Angabe)

Elektromotoren in der Schweiz

Gerät	In Betrieb (CH 1990) [in Mio.]	Motorenart (ASM = Asynchronmotor)	Leistungsaufnahme [W]	Motorwirkungsgrad [%]	Stromverbrauch [% CH]
Kühlschränke	3,2	ASM 1 ph	100–200	40–50	2,5
Gefriergeräte	1,8	ASM 1 ph	100–300	40–50	2
Kälteverdichter/ Wärmepumpe	2	ASM	>1000	>60	3
Umwälzpumpen (Nassläufer)	2	ASM 1 ph	25–150	20–35	1,5
Heizungsumwälzpumpen (weitgehend Nassläufer)	1	ASM 3 ph	100–500	40–65	1,5
Ventilatoren WC, Dampfabzug usw.	3	ASM 1 Spaltpol	25–300	15–35	0,5
Ventilatoren kleiner Lüftungsanlagen	1,5	ASM 1 ph	25–1000	25–70	0,5
Ventilatoren Industrie/Gewerbe	2	ASM	>1000	>60	3
Waschautomaten, (Trommelmotor)	1,3	ASM 1 ph oder Kollektor	200–500	40–60	0,2
Geschirrspüler (Umwälzpumpe)	1 ASM	1 ph	100–300	40–60	0,1
Staubsauger	3	Kollektor	500–1000	25–50	0,1
Hobbymaschinen (Bohrmaschine, usw.)	5	Kollektor	200–1500	20–50	0,05
Hilfsmotoren in Spielzeugen, Autos, Bürogeräten	>20	Gleichstrom Permanentmagnet	1–20	5–50	0,05
Schaltuhren, Programmsteuerungen	>10	Synchronmotor	0,5–3	(5–20)	0,2
TOTAL Elektromotoren	>57				15,2
Strombedarf für Verkehr (Traktion)					5
Verbleibender Strombedarf für Kraft		Hauptsächliche Verwendung in der Industrie: ASM			25
TOTAL CH					45

4.4 Umwälzpumpen

Konstruktion

Heute sind **Nassläufer- (wellendichtungslose) Pumpen** die gebräuchlichsten Umwälzpumpen für kleine und mittelgrosse Zentralheizungen. Sie erfordern keinerlei Unterhalt, da die beweglichen Teile durch das Heizwasser geschmiert werden. Richtig dimensioniert und eingebaut, laufen sie im Normalbetrieb praktisch geräuschlos.

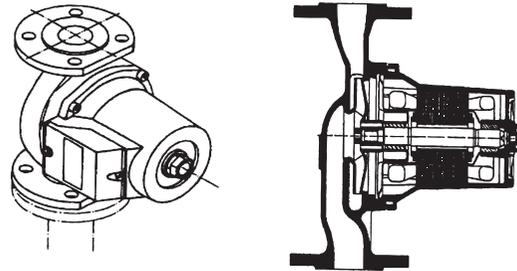


Abb.3: Nassläuferpumpe

Für mittlere und höhere Leistungen werden **Inline-Pumpen** eingesetzt. Der Elektromotor ist auf das Pumpengehäuse aufgesetzt. Eine Stopfbuchse dichtet die Welle der Pumpe ab. Inline-Pumpen müssen gewartet werden.

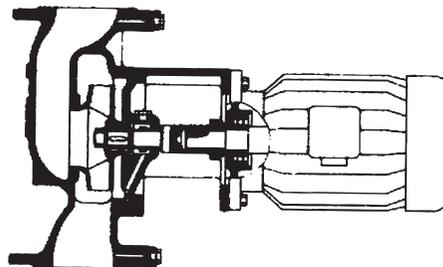


Abb. 4: Inline-Pumpe

Sockelpumpen kommen für hohe Leistungen zum Einsatz. Sie müssen gewartet werden.

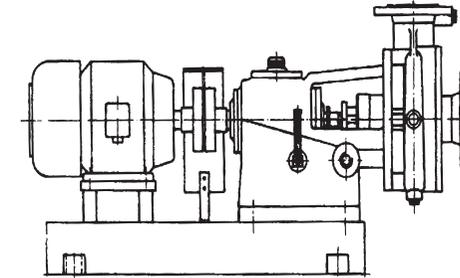


Abb. 5: Sockelpumpe

Strahlpumpen werden vorwiegend bei Hausanschlüssen von Fernheiznetzen verwendet. Sie werden auch in andere Verteileinrichtungen eingebaut und ersetzen dort die Sekundärpumpe und das Regulierventil. Sie entnehmen die Energie dem Primärkreislauf und benötigen daher keinen Motor.

Gesamtwirkungsgrad einer Pumpe

Der Gesamtwirkungsgrad einer Pumpe hängt nicht nur vom hydraulischen Teil, sondern vor allem auch vom Motor ab. Entscheidend sind folgende Faktoren:

- Grösse und Leistung
- Drehzahl
- Motortyp

Nassläufer-Pumpen haben einen niedrigeren Wirkungsgrad aufgrund des mit Wasser gefüllten Zwischenraums zwischen Stator und Rotor. Besonders schlecht sind die Werte für kleine Pumpen, wie die folgende Darstellung zeigt.

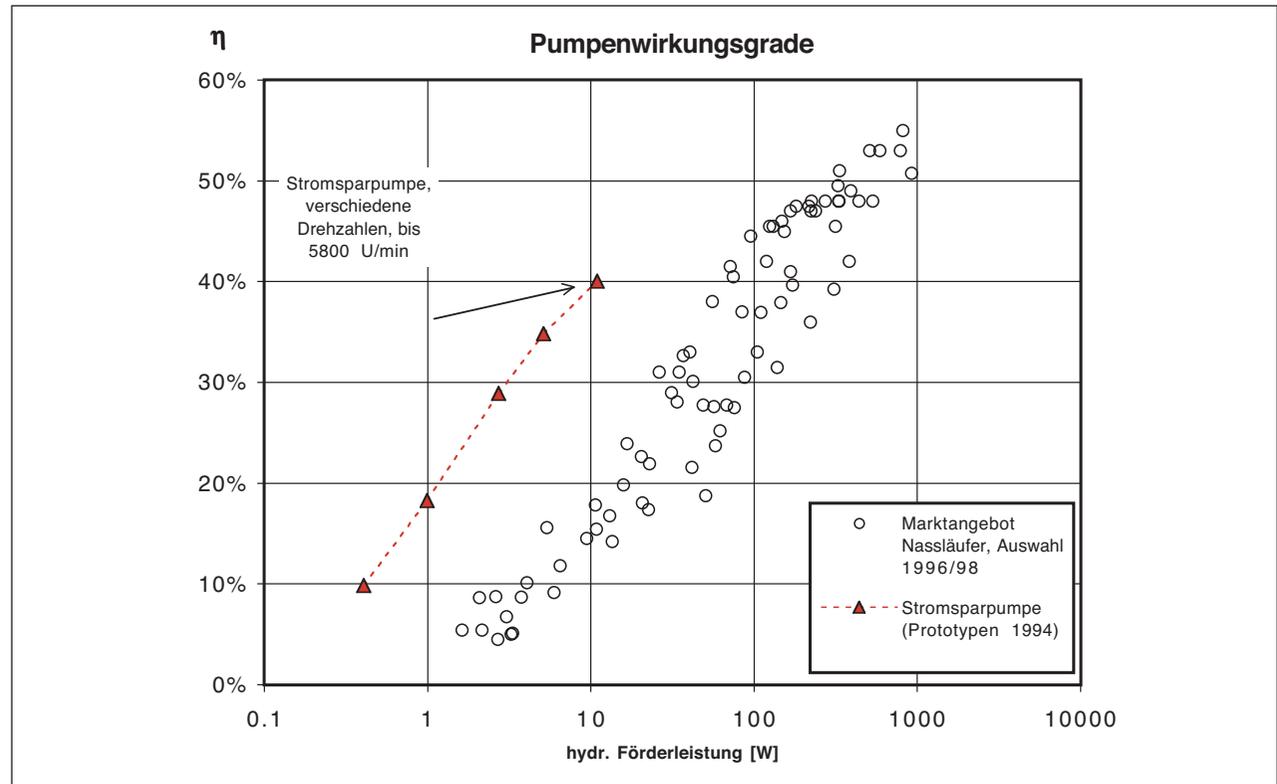


Abb. 6: Pumpenwirkungsgrade

Pumpenwahl

- Anlagen mit veränderlicher Betriebskennlinie: Bei variabler Durchflussmenge ist eine Umwälzpumpe zu wählen, deren Arbeitspunkt für die häufigsten Betriebszustände im Bereich des höchsten Wirkungsgrades liegt.
- Flache oder steile Pumpenkennlinie: Die Art der Anlage ist für die Kennlinienwahl einer Umwälz-

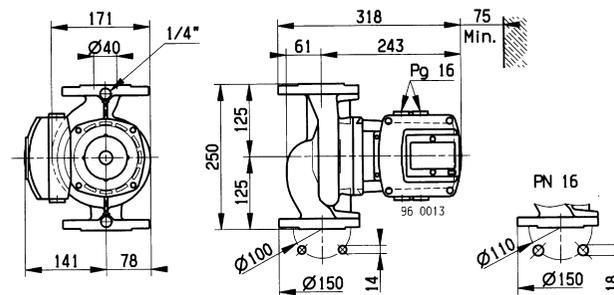
pumpe entscheidend. Der Preis der Pumpe sollte nicht ausschlaggebend sein.

- Nassläuferpumpe oder Pumpe mit luftgekühltem Motor (Inline-, Sockel-): verschiedene Faktoren sind bei der Wahl eines Konstruktionstyps der Umwälzpumpe entscheidend. So sind aus der Sicht des Energieverbrauchs Pumpen mit luftgekühltem Motor zu bevorzugen.

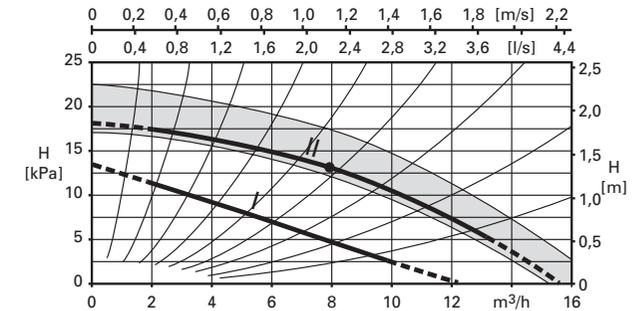
- Wirkungsgrad: Es ist zu beachten, dass bei Umwälzpumpen mit mehreren Geschwindigkeitsstufen oder mit variabler Geschwindigkeit der Wirkungsgrad bei kleinerer Drehzahl abnimmt.
- Anlauf der Pumpe: bei manchen Einrichtungen, für die eine Pumpe mit geringer Leistung ausreicht, können Probleme beim Anlauf der Pumpe auftauchen.
- Ein richtig gewählter Motorschutz bewahrt den Motor vor Überlastung. Er entscheidet über die Langlebigkeit und die Zuverlässigkeit der Umwälzpumpe.
- Planungshilfsmittel: Abgesehen von Katalogen können Planer heute auch auf Computerprogramme zurückgreifen, die die Wahl einer Pumpe erleichtern.

Typische Kennlinien

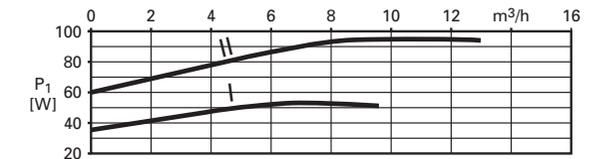
Beispiel: BIRAL «Redline»



a) hydraulische Kennlinien



b) elektrische Kennlinien



c) Wirkungsgrad

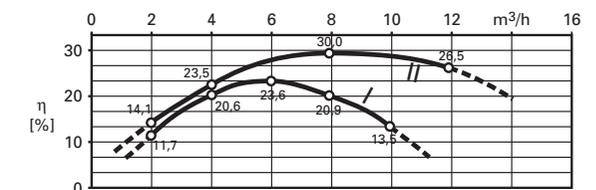


Abb. 7: Pumpen-Kennlinien

4.5 Ventilatoren

Energieeffiziente Be- und Entlüftungsanlagen

Der Verbrauch elektrischer Energie zum Transport von Luft steht in den letzten Jahren im Zentrum der Sparbemühungen, da der Energieaufwand zur Erwärmung und zur Kühlung aufgrund verbesserter Wärmedämmung sowohl im Sommer als auch im Winter erheblich verringert werden konnte.

Der Energieverbrauch zum Transport von Luft ist zur Zeit häufig noch viel zu hoch. Um dies zu verbessern, müssen die Ventilatoren sorgfältiger ausgewählt, die Antriebssysteme angepasst und im Bereich des optimalen Wirkungsgrads betrieben werden. Nicht selten ergeben Messungen, vor allem bei kleinen Ventilatoren, einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 25%.

Um eine energie-effiziente Anlage zu konzipieren, muss der Druckverlust auf das wirtschaftlich zulässige Minimum reduziert werden, was vor allem grosszügige Kanalquerschnitte erfordert. Zudem muss die Ventilatorleistung bedarfsgerecht eingestellt und so auf das notwendige Minimum beschränkt werden können. Zu beachten ist, dass sich nur aufgrund zuverlässiger Berechnungen des Druckverlustes die richtige Motor- und Ventilatorwahl treffen lässt.

Ventilatorarten

Es werden verschiedene Typen unterschieden; die wichtigsten sind nachfolgend aufgeführt:

- **Radialventilatoren** mit **rückwärts** gekrümmten Schaufeln zur Erzeugung von hohem Druck (a)
- **Radialventilatoren** mit **vorwärts** gekrümmten Schaufeln zur Erzeugung von geringem Druck (b), mit Gehäuse (d)
- **Axialventilatoren** für geringen Druck (c)
- **Querstromventilatoren** zum Einbau in kleine Geräte bei geringem Druck und besonderer Geometrie

Bis zu ungefähr 25 kPa Druckerhöhung wird von Ventilatoren gesprochen, darüber von Gebläsen.

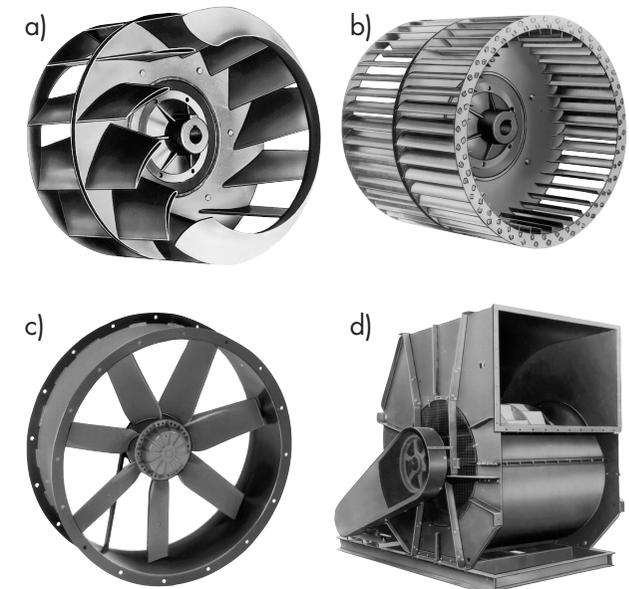


Abb. 8 a) bis d): Ventilatorarten

Wirkungsgrad der Ventilatoren

Der Gesamtwirkungsgrad von Ventilatoren, inklusive Motor und Transmission, muss im Prüfstand bei optimalem Betrieb die folgenden Werte gemäss SIA-Empfehlung 382/3 erreichen:

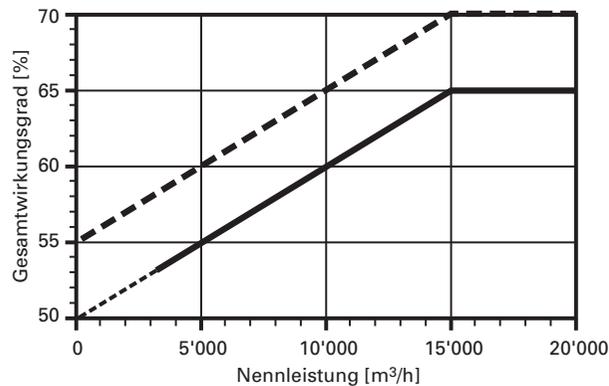


Abb. 9: Ventilatorenwirkungsgrade

Für energie-effiziente Anlagen sind die um 5% erhöhten Werte anzustreben.

Besonderes Augenmerk ist auf Anordnung und Montage des Ventilators sowie auf den Betrieb bei Teillast zu richten. Die Dimensionierung soll im ganzen Einsatzbereich einen guten Wirkungsgrad sicherstellen.

Gesamtwirkungsgrad des Motor-Ventilator-Systems

Um verschiedene Geräte für dieselbe Anwendung zu vergleichen, muss in erster Linie der Gesamtwirkungsgrad überprüft werden, und zwar wie folgt:

$$\eta_{\text{gesamt}} = \frac{(\dot{V} - \Delta p_{\text{tot}})}{P}$$

\dot{V} = Volumenstrom [m³/s]
 Δp_{tot} = Gesamtdruckabfall des Systems [Pa]
 P = Vom Motor-Ventilator-System aufgenommene Leistung [W]

Diese Vorgehensweise berücksichtigt den Wirkungsgrad aller Einzelteile des Motor-Ventilator-Systems, wie Drehzahlregler des Motors, Transmission, Ventilator:

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_{\text{Regler}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Transmission}} \cdot \eta_{\text{Ventilator}}$$

und stellt somit das Verhältnis dar zwischen dem, was der Ventilator produziert, nämlich Luftvolumenstrom und Druck, und dem, was das System an elektrischer Energie aufnimmt, um diesen Luftstrom und Druck zu produzieren.

η_{gesamt} ist abhängig vom Volumenstrom. Sinkt der Volumenstrom, sinkt η_{gesamt} ebenfalls.

Es gilt:

$$\frac{\text{Aufgenommene Leistung 2}}{\text{Aufgenommene Leistung 1}} = \left(\frac{\text{Volumenstrom 2}}{\text{Volumenstrom 1}} \right)^n$$

n ist abhängig vom System ($n < 3$)

Regulierung des Volumenstromes

Die Möglichkeit zur Regulierung des Volumenstromes spielt für die Energiesparmöglichkeiten eine sehr wichtige Rolle. Es gilt:

- Bypass-Regulierung vermeiden.
- Die Regulierung des Volumenstromes mittels Drosselung kann höchstens für kleine Ventilatoren mit vorwärts gebogenen Schaufeln in gewissen Fällen sinnvoll sein.
- Die Regulierung mittels Vorleitapparat hat bei Radialventilatoren einen stark begrenzten Anwendungsbereich. Aufgrund der mechanischen Kompliziertheit des Systems wird sie zunehmend durch die Regulierung der Drehzahl ersetzt.
- Für Ventilatoren ist die Drehzahlregulierung des Motors daher die geschickteste Lösung.

Drehzahlregulierung

Die modernen elektronischen Möglichkeiten der Motorenregulierung bieten für Ventilatoren mit Drehzahlregulierung kostengünstige Perspektiven. Ein weiterer Vorteil wäre der Verzicht auf die Riemenantriebe. Die Entwicklung langsamlaufender Spezialmotoren erlaubt, den Motor wieder direkt auf den Ventilator aufzusetzen. Diese Konstruktionsweise wird bei kleineren Ventilatoren (Kompaktgeräte) mit Drehzahlen von 900 bis 2900 U/min schon lange angewandt.

4.6 Drehzahlregulierung bei Motoren, Pumpen und Ventilatoren

Die Drehzahlregulierung wird aufgrund der Anforderung, die Anlagen nach den tatsächlichen Bedürfnissen zu optimieren, immer wichtiger. Grundsätzlich kann die Drehzahlregulierung durch Anpassen der Anzahl Polpaare, Veränderung des Schlupfs oder der Netzfrequenz erfolgen. In der Praxis finden alle drei Möglichkeiten Verwendung.

Anpassen der Anzahl Polpaare

Es gibt drei Arten, die Anzahl Polpaare eines Asynchronmotors mit Käfigläufer zu verändern. Der Stator kann mit zwei oder noch mehr getrennten Wicklungen oder mit einer Wicklung mit umschaltbarer Polzahl bestückt oder mit einer Kombination der beiden Möglichkeiten versehen werden.

– Getrennte Wicklungen

Die zunehmende Grösse des Motors ist derjenige Faktor, der die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Polpaarzahlen begrenzt. Motoren mit zwei getrennten Wicklungen können in der hohen Drehzahl ungefähr 80% der Leistung eines Motors gleicher Grösse mit einer einzigen Wicklung bei derselben Drehzahl erbringen. Der Wirkungsgrad eines Motors mit mehreren Wicklungen ist bei höheren Drehzahlen immer ein wenig schlechter als derjenige eines Motors mit einer einzigen Wicklung, der mit derselben Drehzahl läuft und dieselbe Leistung erbringt.

– Wicklungen mit umschaltbarer Polzahl

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, umschaltbare Wicklungen zu konstruieren und so die Grösse des Motors besser zu nutzen. In der Praxis wird einfachheitshalber beim Umschaltssystem entweder die Lindström-Dahlander-Schaltung oder die Schaltung mit Polamplitudenmodulation (PAM) verwendet.

Veränderung des Schlupfs

Die Drehzahldifferenz zwischen dem drehenden Magnetfeld und dem Rotor eines Asynchronmotors heisst Schlupf. Eine Erhöhung des Schlupfes bedeutet somit eine Drehzahlverminderung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, durch Reduktion der Motorspannung die Drehzahl zu senken, etwa Phasenanschnittsteuerungen oder Spartransformatoren. Frequenz und Polzahl werden nicht verändert. Hauptvorteil dieser Regulierungssysteme ist deren günstiger Preis.

Frequenzumformer

Bei Ventilatoren und Pumpen ist die Drehzahlregulierung mittels **Frequenzumformer** diejenige mit dem **geringsten Energieverbrauch**.

Da das Lastmoment eines Ventilators (oder einer Pumpe) mit dem Quadrat der Drehzahl sinkt, schufen die Konstrukteure der Frequenzumformer die Voraussetzungen, um das Gerät so zu programmieren, dass das Verhältnis zwischen Spannung und Frequenz nicht linear zur Reduktion der Ausgangsfrequenz sinkt, sondern einem quadratischen Verlauf folgt. Die Spannung sinkt somit stärker als proportional, was die Verluste reduziert und erklärt, weshalb der Wirkungsgrad des Umformer-Motor-Systems bei Ventilatoren oder Pumpen unter Teillast gut bleibt. Diese Resultate sind nicht übertragbar auf Maschinen mit konstantem Drehmoment oder mit hohem Anzugsmoment, wie Aufzüge usw.

Der Wirkungsgrad des Umformers bleibt beim Einsatz mit quadratischem Gegenmoment in allen Frequenzbereichen sehr hoch. Der zulässige Verlust liegt normalerweise zwischen etwa 3 und 6%.

4.7 Aufzüge

In grossen Gebäuden (Krankenhäusern, Dienstleistungskomplexen) liegt der Anteil des Elektrizitätsverbrauchs für Aufzüge bei etwa 5 bis 8% des Gesamtverbrauchs. In Wohnhäusern ist dieser Anteil niedriger. Durch die Wahl der Bauart und des Antriebs lassen sich der Energieverbrauch und die Netzbeanspruchung reduzieren.

Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Antrieb:

«Feinabsteller» (2 Drehzahlen)	100 %
Drehstrom, Spannungsregelung, mit Schwungrad	75 %
Drehstrom, Spannungsregelung, ohne Schwungrad	60 %
Direktantrieb, Drehstrom, Frequenzumformer	30 %
Hydraulische Antriebe	170 %

Architekten bevorzugen aufgrund bautechnischer Vorteile (kein oberer Maschinenraum) immer häufiger hydraulische Aufzüge, die jedoch im Hinblick auf einen wirtschaftlichen Energieverbrauch entschieden ungünstiger sind, weil ihre Motorenleistung und ihr Anzugsstrom sehr viel höher sein müssen.

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

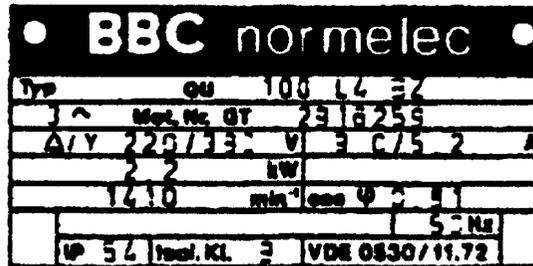
Lernauftrag 1: Motorenwirkungsgrade

Ordnen Sie die verschiedenen Motoren nach Wirkungsgrad der Wellenleistung. Verwenden Sie dazu die Tabelle von Abbildung 2.

DC Perm.-Magnet spezial/Synchron	DC Permanentmagnet
1-ph Spaltpol ASM	ASM Norm
1-ph ASM mit Betriebskondensator	Universalmotor (Kollektormotor)
ASM High Efficiency	DC elektrisch erregt

Lernauftrag 2: Lesen von Typenschildern

Erläutern Sie die Angaben dieses Typenschildes:



Typenschild eines Drehstrommotors

3~	_____
Mot. Nr.	_____
D/Y 220/380 V	_____
9.0/5.2 A	_____
2.2 kW	_____
1410 min ⁻¹	_____
cos φ = 0.81	_____
50 Hz	_____
IP 54	_____

Isol. Kl. B	_____
VDE	_____

Lernauftrag 3:

Technische Merkmale einer Umwälzpumpe

Das Diagramm in Abbildung 10 stellt die Kennlinien der zwei Drehzahlen sowie die Arbeitspunkte vor und nach dem Umschalten dar (Punkte).

Hydraulische Leistung:

$$P_h = \Delta p \text{ [kPa]} \cdot Q \text{ [L/s]}$$

$$P_h = H \text{ [mWs]} \cdot Q \text{ [m}^3\text{/h]} \cdot 9,81/3,6$$

(H = Förderhöhe in m Wassersäule)

Wirkungsgrad:

$$\eta = (P_h / P_{el}) \cdot 100 \text{ [%]}$$

a) Entnehmen Sie dem Diagramm die Werte für Q [m³/h] und Δp [mWs] der beiden Arbeitspunkte:

- I Q = m³/h Δp = mWs
- II Q = m³/h Δp = mWs

b) Berechnen Sie die entsprechende hydraulische Leistung an den beiden Arbeitspunkten:

- I P_h = W
- II P_h = W

c) Berechnen Sie den Wirkungsgrad an den beiden Arbeitspunkten für die folgenden Leistungsaufnahmen:

- I P_{el} = 55 W η = %
- II P_{el} = 110 W η = %

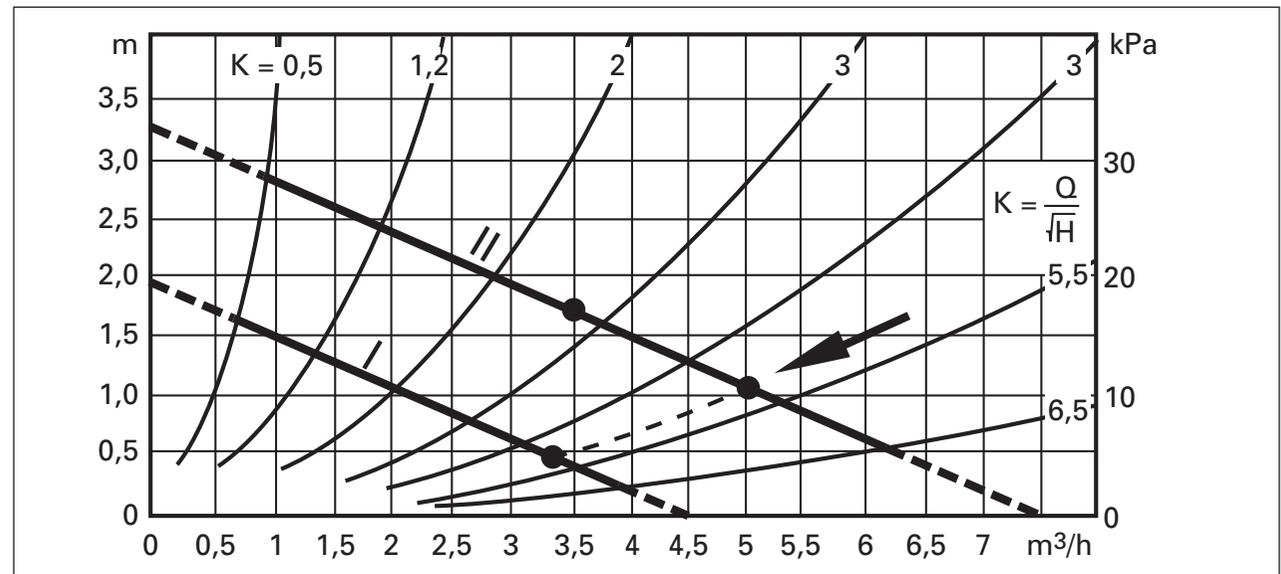


Abb. 10: Arbeitspunkte vor und nach dem Umschalten der Drehzahl einer Umwälzpumpe.

Lernauftrag 4: Gesamtwirkungsgrad eines Motor-Ventilator-Systems

Sie wollen eine Lüftung umbauen und einen Ventilator mit Direktantrieb installieren. Die bestehende Einrichtung hat die folgenden Merkmale:

- η_1 = Wirkungsgrad der Drehzahlregulierung mit Frequenzumformer = 95%
- η_2 = Wirkungsgrad des Motors = 70%
- η_3 = Wirkungsgrad der Transmission = 80%
- η_4 = Wirkungsgrad des Ventilators = 60%

Berechnen Sie:

a) den Gesamtwirkungsgrad der bestehenden Einrichtung

$$\eta_{\text{gesamt}} = \dots\dots\dots \%$$

b) den Gesamtwirkungsgrad der umgebauten Einrichtung

$$\eta_{\text{gesamt}} = \dots\dots\dots \%$$

Lösungen

Lernauftrag 1:

1	DC Perm.-Magnet spezial/Synchron	3	DC Permanentmagnet
8	1-ph Spaltpol ASM	5	ASM Norm
6	1-ph ASM mit Betriebskondensator	7	Universalmotor (Kollektormotor)
2	ASM High Efficiency	4	DC elektrisch erregt

Lernauftrag 2:

Typenschild eines Drehstrommotors	
3~	Drehstrom
Mot. Nr.	Motorennummer, obligatorisch
D/Y 220/380 V	Motor funktioniert mit Dreieck- oder Sternschaltung
9.0/5.2 A	Nennstromstärke (bei Nennleistung) 9 A bei 220 V, 5,2 A bei 380 V
2.2 kW	Nennleistung = Leistung im Dauerbetrieb bei 40 °C Umgebungstemperatur
1410 min ⁻¹	Drehzahl bei Nennleistung
cos φ = 0.81	Phasenverschiebung
50 Hz	Netzfrequenz
IP 54	Art des Motorschutzes, erste Ziffer: Schutzgrad bei zufälligem Kontakt und bei Eindringen von Fremdkörpern (5 = staubgeschützt), zweite Ziffer: Schutz gegen eindringendes Wasser (4 = spritzwassergeschützt)
Isol. Kl. B	bei einer Wicklungstemperatur von 80 °C (Isolationklasse F bei 100 °C)
VDE	Hinweis darauf, dass der Motor die VDE-Norm einhält (fakultative Angabe)

Lernauftrag 3:

- a) I $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $\Delta p = 0,5 \text{ mWs}$
 II $Q = 5,1 \text{ m}^3/\text{h}$ $\Delta p = 1,1 \text{ mWs}$
- b) I $P_h = 3,5 \cdot 0,5 \cdot 9,81 / 3,6 = 4,8 \text{ W}$
 II $P_h = 5,1 \cdot 1,1 \cdot 9,81 / 3,6 = 15,3 \text{ W}$
- c) I $P_{el} = 55 \text{ W}$ $\eta = 4,8 \cdot 100 / 55 = 8,7 \%$
 II $P_{el} = 110 \text{ W}$ $\eta = 15,3 \cdot 100 / 110 = 13,9 \%$

Lernauftrag 4:

- a) Der Gesamtwirkungsgrad der bestehenden Einrichtung beträgt:
 $(0,95 \cdot 0,70 \cdot 0,80 \cdot 0,60) \cdot 100 = 32 \%$
- b) Der Gesamtwirkungsgrad der umgebauten Einrichtung beträgt:
 $(0,70 \cdot 0,60) \cdot 100 = 42 \%$

6 Weiterführende Literatur

- Antriebstechnik im Maschinenbau, RAVEL, 1995, EDMZ Nr. 724.333d
 - RAVEL Industrie-Handbuch, Kapitel 4.2 Basistechniken, RAVEL, 1994, EDMZ Nr. 724.370d
 - RAVEL-Handbuch, div. Kapitel vdf, 1992, ISBN 3 7281/1830 3
 - Umwälzpumpen – Auslegung und Betriebsoptimierung, RAVEL, 1991, EDMZ Nr. 740 330 d
 - Umwälzpumpen-Leitfaden, BFE, 1997, EDMZ Nr. 805.164d
 - Luftförderung mit kleinem Energiebedarf, BFE-Merkblatt, 1997, EDMZ Nr. 805.162d
 - Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen, RAVEL, 1993, EDMZ Nr. 724.307d

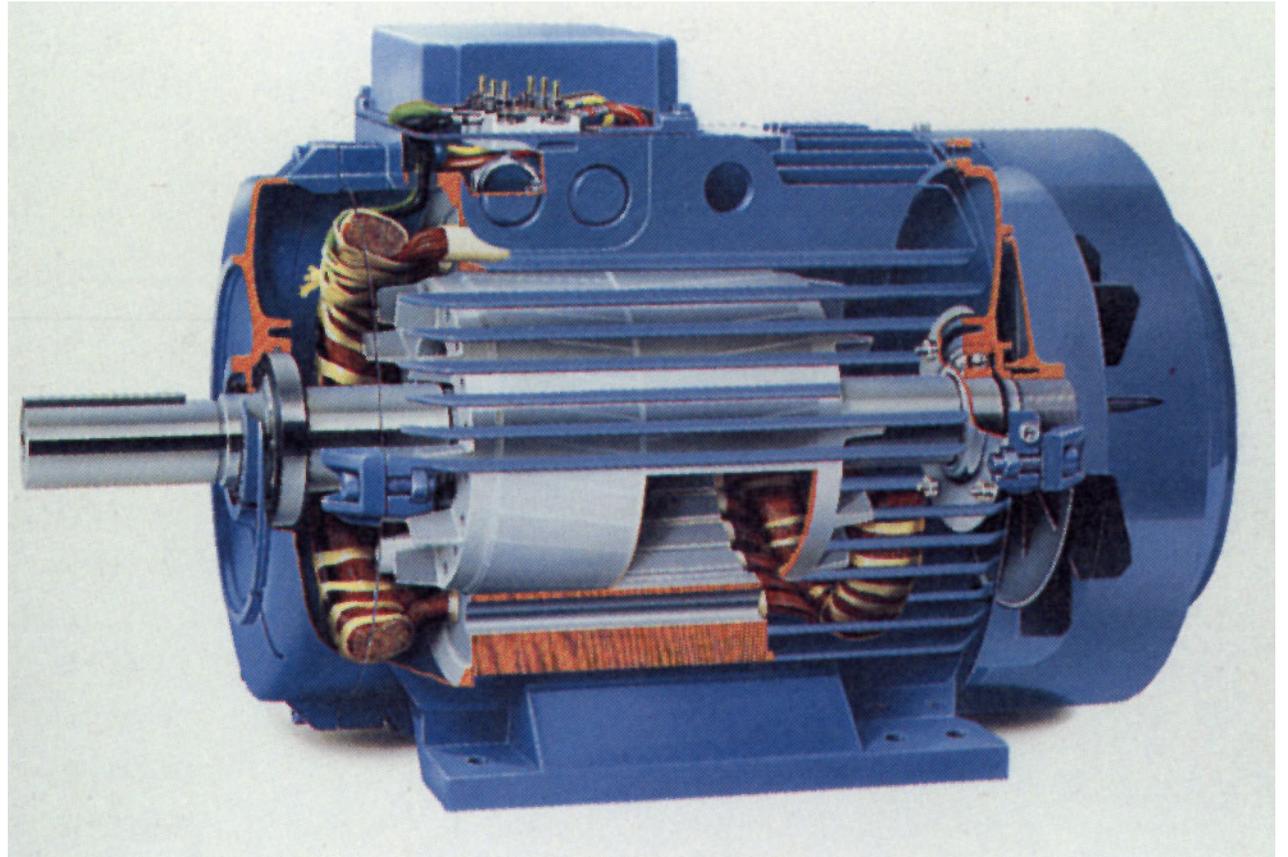
 - Maja Messmer, Walter Gille, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Schülerband, Sauerländer 1997
 - Walter Gille, Maja Messmer, Jürg Nipkow, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Handbuch für Lehrkräfte, Sauerländer 1999
- Bezug beider Teile:
Walter Gille, Zürichbergstrasse 46a,
8044 Zürich

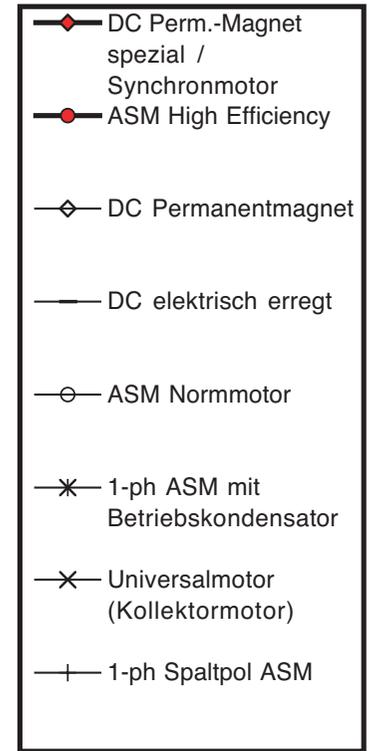
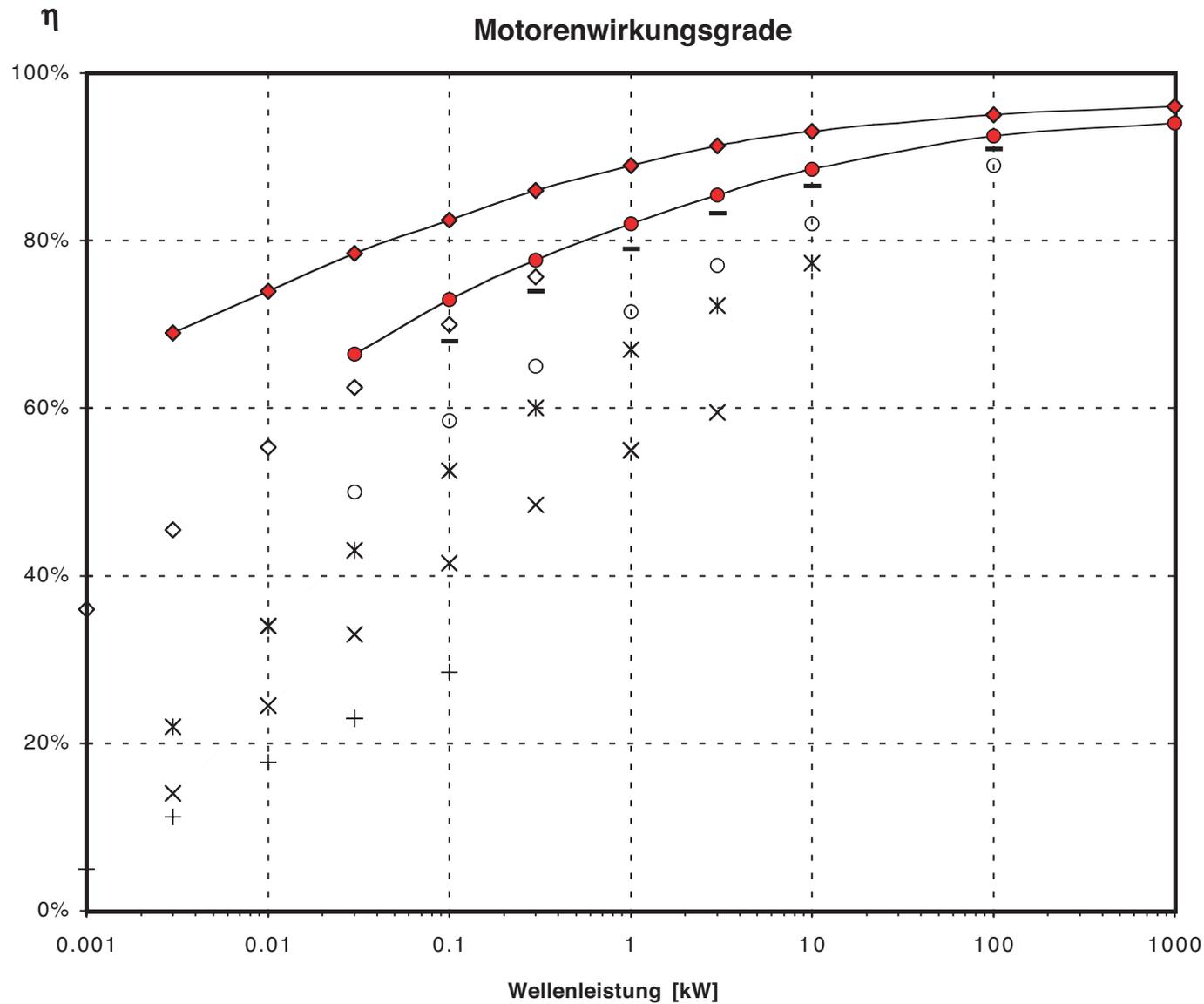
7 Bild- und Textnachweis

Die Abbildungen kommen aus den in Kapitel 6 erwähnten Publikationen, von Lieferanten und von den Autoren.

Anregungen für die Texte wurden ebenfalls den Publikationen des Impulsprogrammes RAVEL, Rationelle Anwendung von Elektrischer Energie, und des BFE, Bundesamt für Energie, entnommen.

8 Vorlagen





DC Gleichstrom
 ASM Asynchronmotor
 1-ph Einphasen

