

Bessere Antriebe

Inhalt

1. Systembetrachtung
2. Wirtschaftlichkeit
3. Bessere Motoren
4. Besseres Zubehör
5. Zusammenfassung

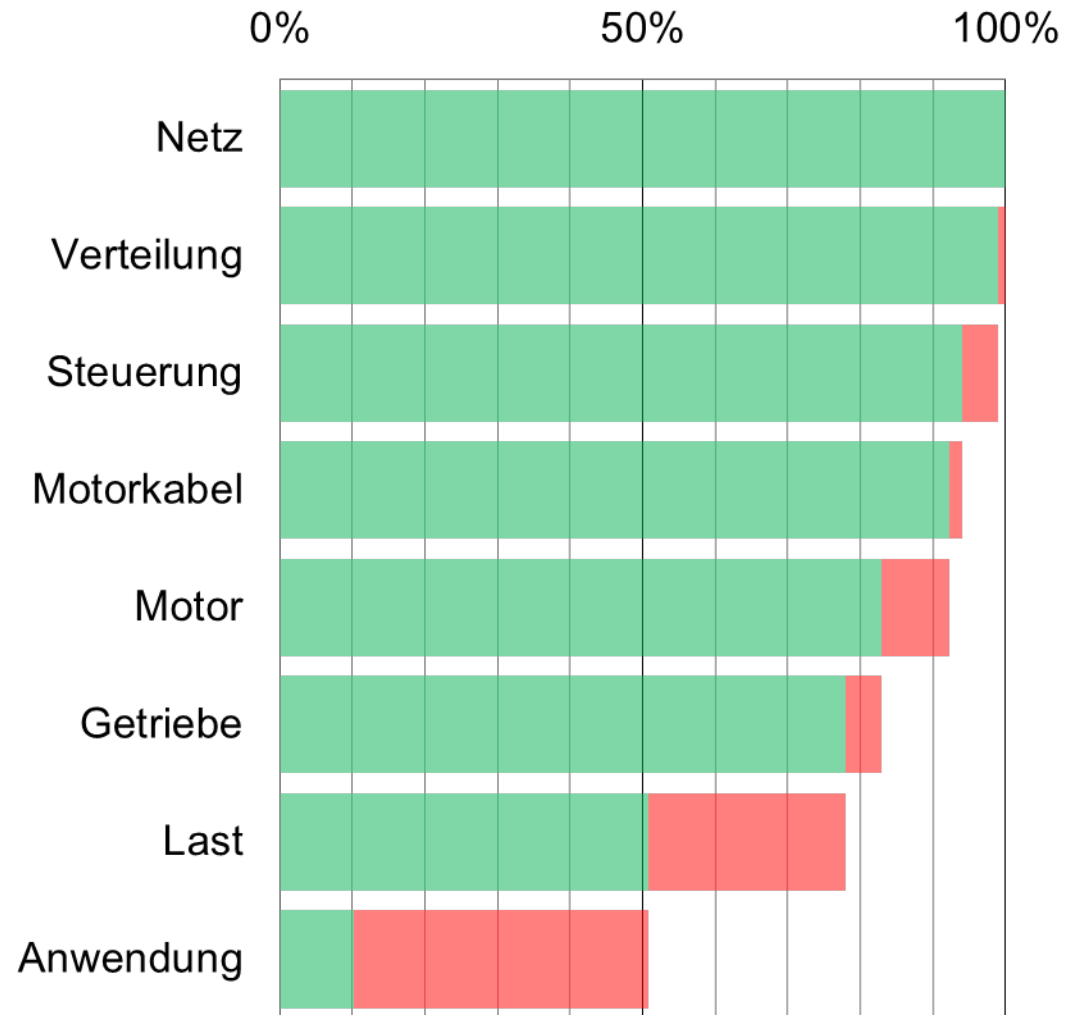
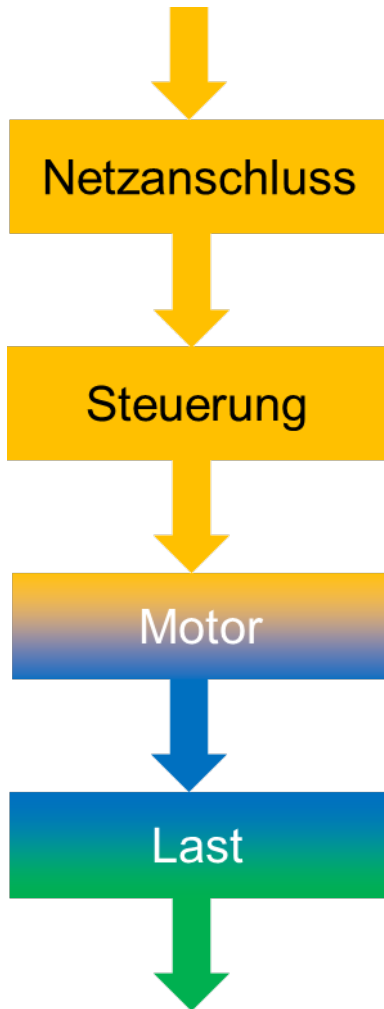


Rolf Gloor
Dipl.Ing.ETH, NDU HSG

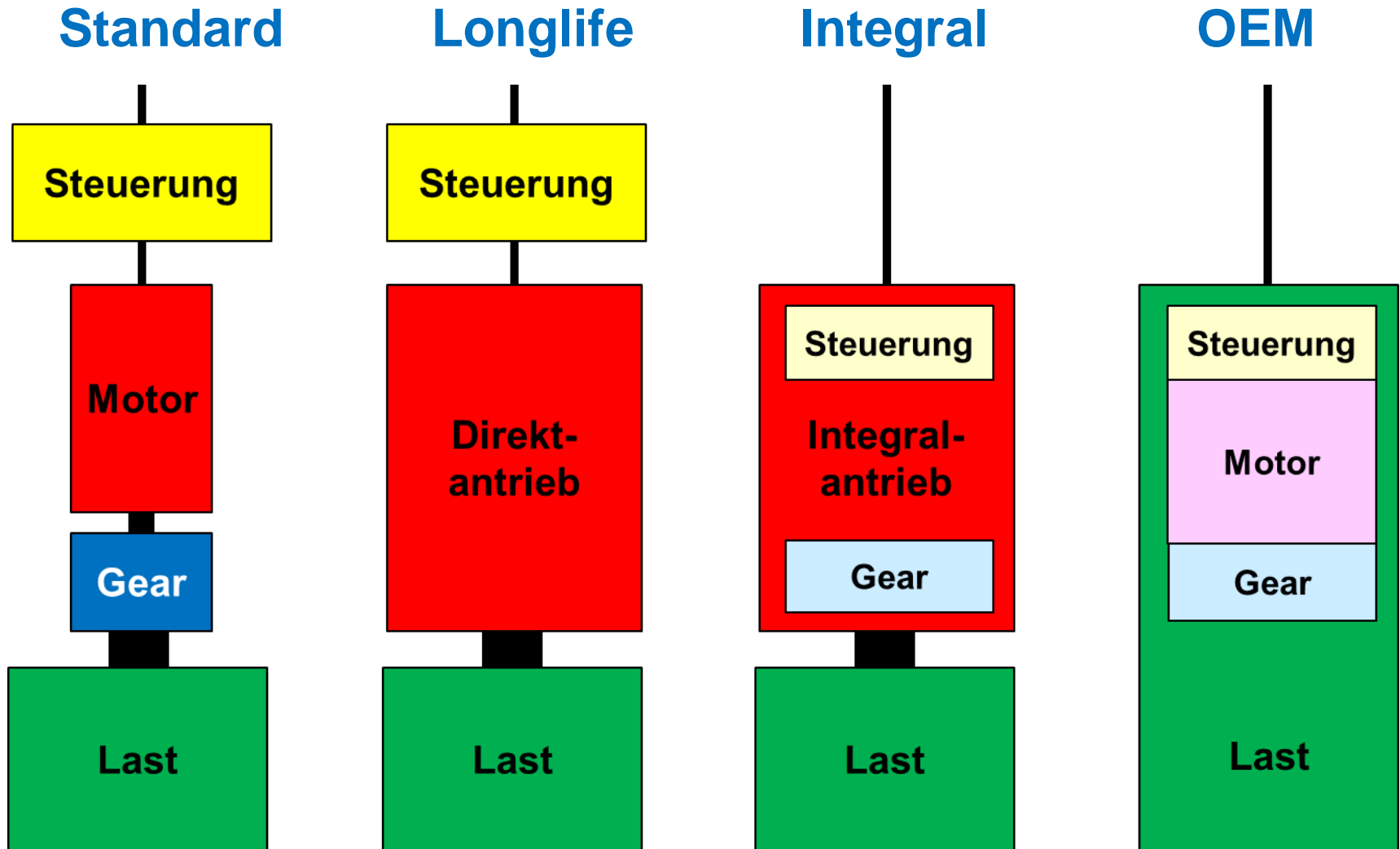
energie.ch ag
CH-7434 Sufers



Systembetrachtung



Antriebsintegration



Wirtschaftlichkeit

| Nennleistung | Antriebskosten | Wirkungsgrad | Verluste | Einsparung | Rückzahl-dauer |
|-----------------------|----------------|--------------|----------|------------|----------------|
| 200 W 0 - 60 U/min | 700 CHF | 50% | 200 W | | |
| | 2'000 CHF | 74% | 70 W | 35% | 65'000 h |
| 1.1 kW | 120 CHF | 75% | 370 W | | |
| | 200 CHF | 84% | 210 W | 11% | 3'000 h |
| | 800 CHF | 88% | 150 W | 15% | 20'000 h |
| | 2'000 CHF | 90% | 120 W | 20% | 50'000 h |
| 11 kW | 1'200 CHF | 87% | 1'640 W | | |
| | 1'800 CHF | 92% | 960 W | 5% | 6'000 h |
| 200 kW | 20'000 CHF | 95% | 10'500 W | | |
| | 25'000 CHF | 96% | 8'300 W | 1% | 15'000 h |

Bemerkungen:

IEC-Normmotoren, *Grün: permanenterrechte Synchronmotoren mit Umrichter*

Belastung mit Nennmoment, im Teillastbetrieb ist die Einsparung geringer

Strompreis: 15 Rappen pro kWh, keine Zinsen, keine Teuerung

Anwendungen

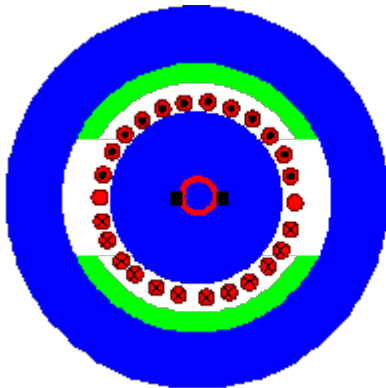
| Anwendung | Betriebsstunden | Lebensdauer | Nutzungszeit |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|--------------|
| Sicherheit (Sprinklerpumpe) | 0.2 h/a | 30 a | 6 h |
| Hilfsantriebe (Hydraulische Rampe) | 20 h/a | 25 a | 500 h |
| Werkstatt (Breitbandschleifmaschine) | 50 h/a | 20 a | 1'000 h |
| Saisonmaschine (Saftpresse) | 100 h/a | 10 a | 1'000 h |
| Werkstatt (Kreissäge) | 50 h/a | 40 a | 2'000 h |
| Produktion (Färbemaschine) | 200 h/a | 20 a | 4'000 h |
| Infrastruktur (Hacker) | 600 h/a | 10 a | 6'000 h |
| Automaten (Endmontage) | 1600 h/a | 5 a | 8'000 h |
| Infrastruktur (Umwälzpumpe) | 400 h/a | 30 a | 12'000 h |
| Infrastruktur (Kälteanlage) | 2000 h/a | 20 a | 40'000 h |
| Schichtbetrieb (Fräszentrum) | 4000 h/a | 10 a | 60'000 h |
| Dauerläufer (Hebewerk ARA) | 8760 h/a | 12 a | 100'000 h |

Motorenarten

Gleichstrommotor

Elektrisch oder permanent erregt

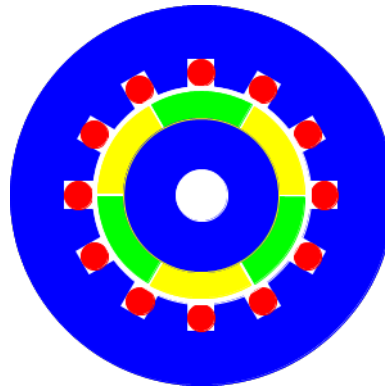
Kommutator



Synchronmotor

Elektrisch oder permanent erregt

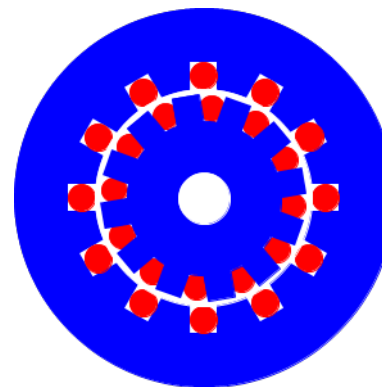
Umrichter nötig



Asynchronmotor

Kurzschluss- oder Schleifringläufer

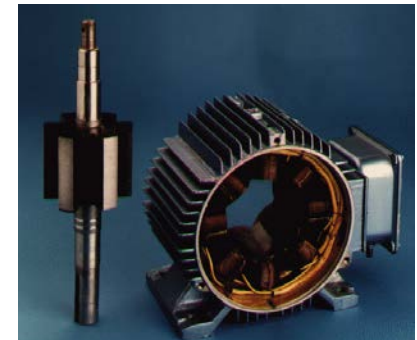
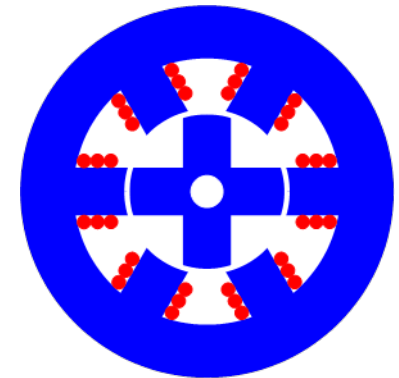
Standardisiert



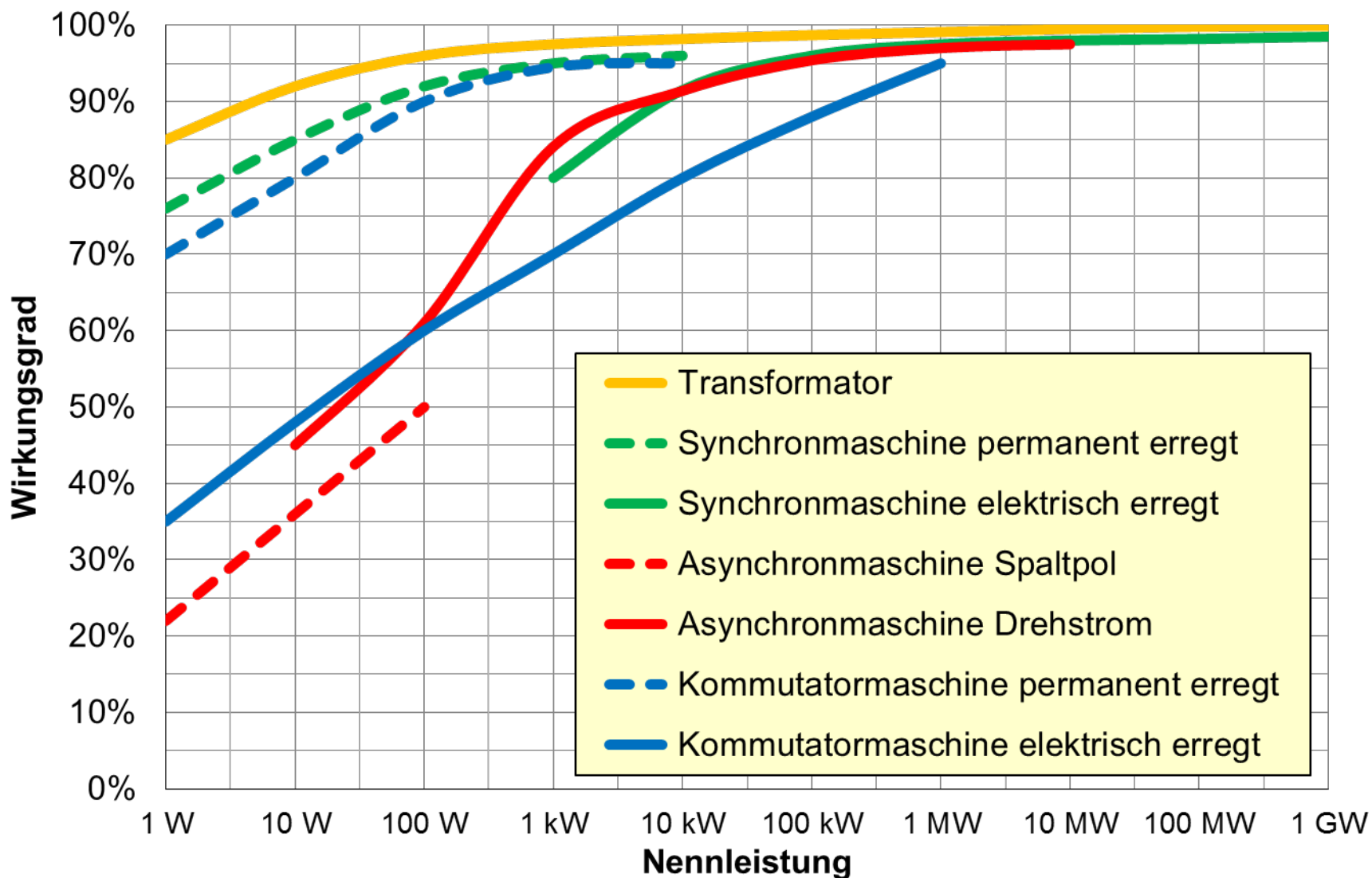
Reluktanzmotor

Prinzip der Maxwellkraft

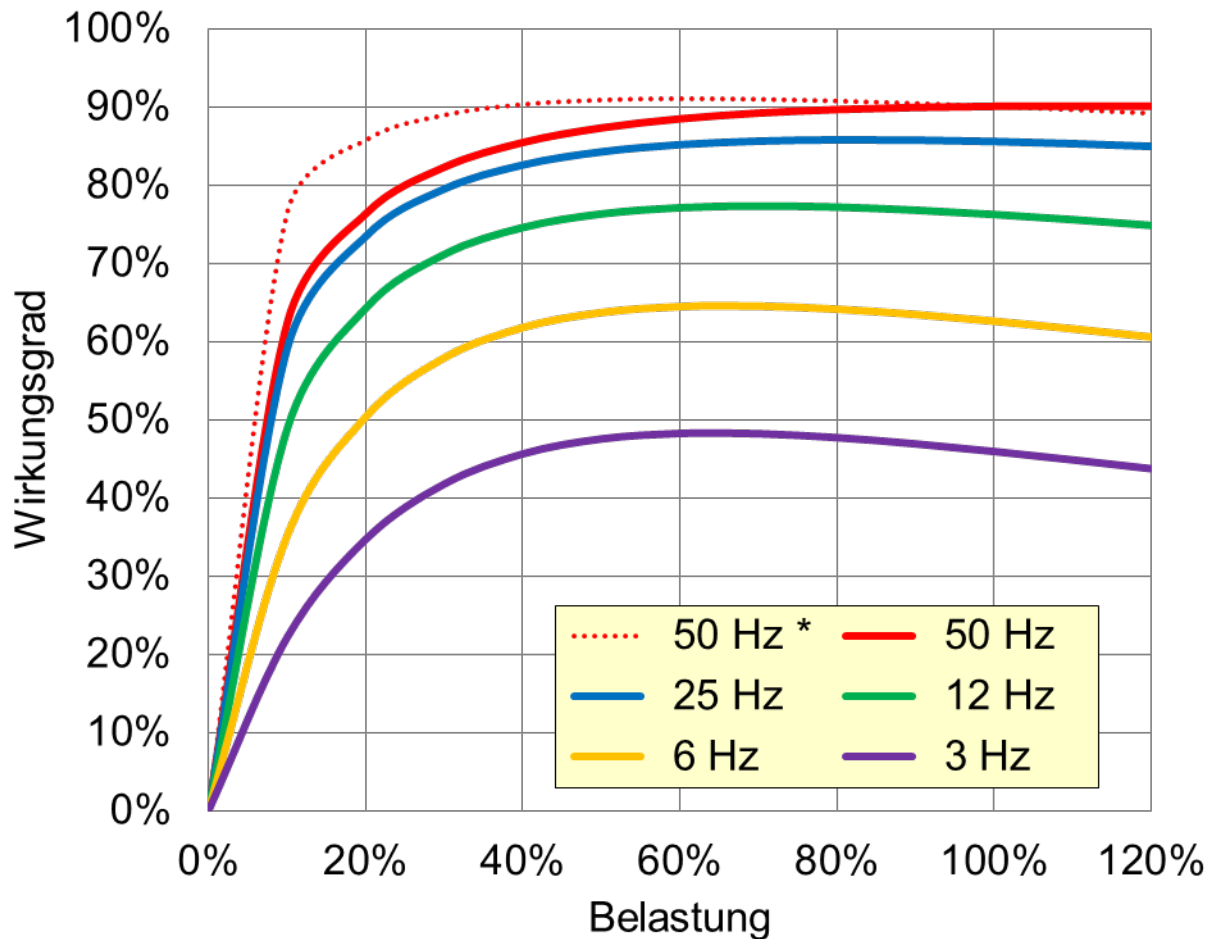
Umrichter nötig



Motorenwirkungsgrade



Wirkungsgrad einer ASM



Beispiel:

7.5 kW ASM

0.8 kW Nennverlust

0.4 kW Leerlaufverlust

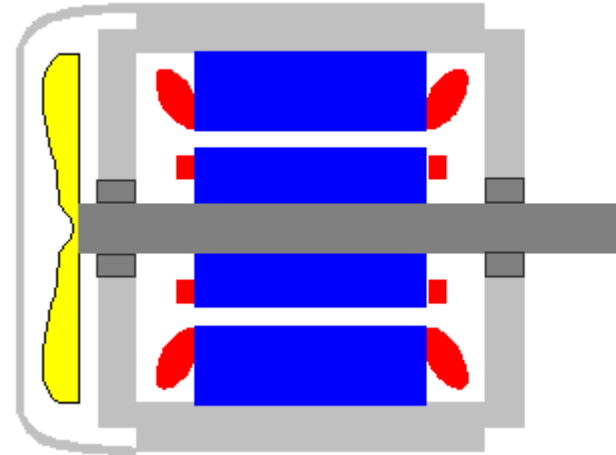
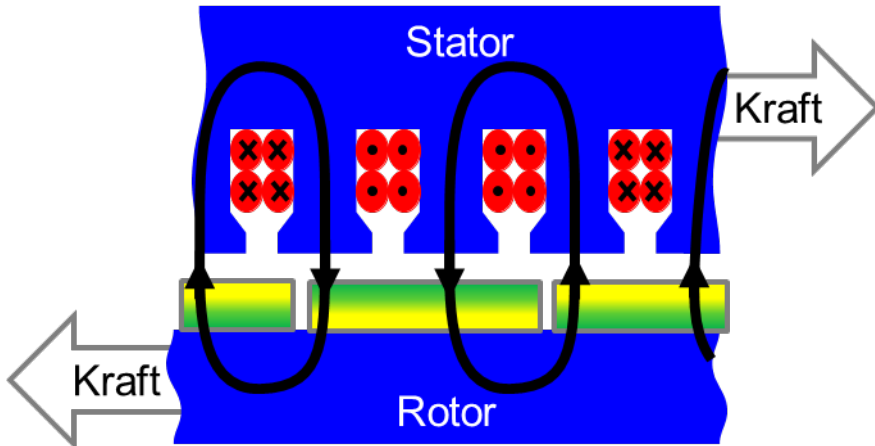
(ohne Umrichterverluste)

* 0.2 kW Leerlaufverlust

Frage: Was bringt eine Überdimensionierung?

Antwort: Es kommt darauf an, wie gross die Leerlaufverluste sind.

Drehmoment und Leistung



$$M \sim B A \pi r^2 l$$

| | | |
|-----|-----------------------------|----------------------|
| M | = Drehmoment | [Nm] |
| B | = Induktion | [Vs/m ²] |
| A | = Ankerstrombelag | [A/m] |
| r | = Rotorradius | [m] |
| l | = Rotorlänge | [m] |
| | ~ Innovative Konstruktionen | |

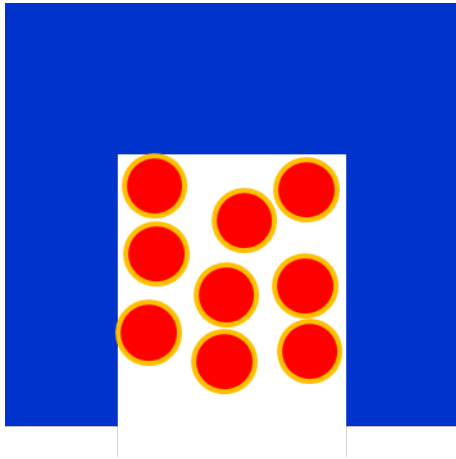
$$P = M \Omega$$

$$Pv_{Cu} \sim I^2 \sim M^2 + \dots$$

$$Pv_{Fe} \sim B^2 \Omega^{1..2}$$

$$Pv_{Mech.} \sim \Omega^{1..2}$$

Wicklungsdichte

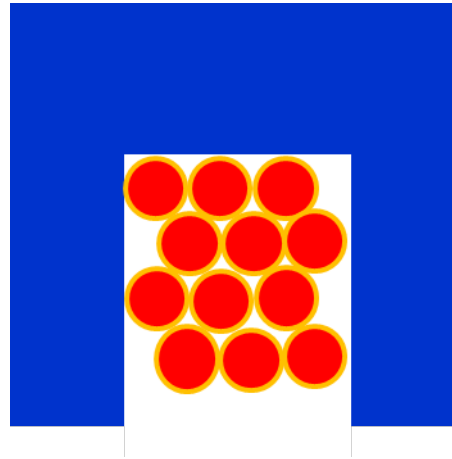


9 Drähte

Füllfaktor 40%

100% Moment
90.0% Wirkungsgrad

(70% Kupferverluste)

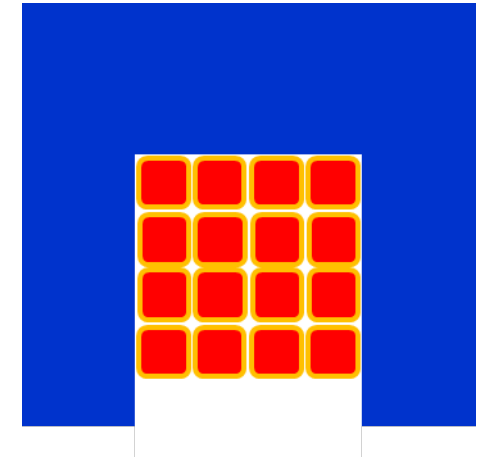


12 Drähte

Füllfaktor 53%

115% Moment
91.2% Wirkungsgrad

100% Moment
91.5% Wirkungsgrad



16 Drähte

Füllfaktor 71%

133% Moment
92.3% Wirkungsgrad

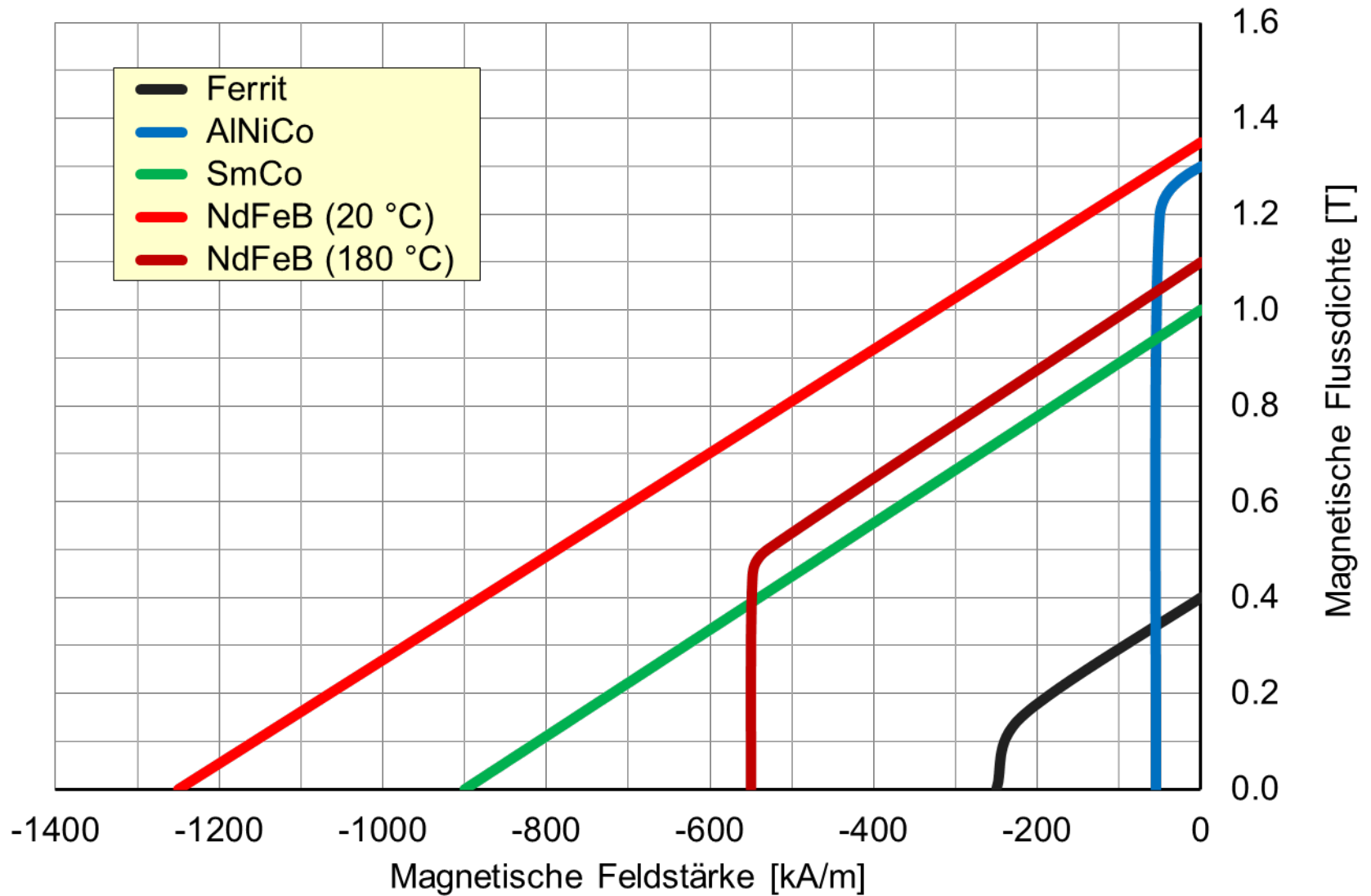
100% Moment
92.8% Wirkungsgrad

Magnetische Leiter

| Form | Material | Permeabilität μ_r | Sättigung B_{\max} | Verluste 1 T, 50 Hz |
|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Blechpaket | Eisen–Nickel (NiFe) | 90'000 | 1.5 T | 0.3 W/kg |
| | Eisen–Silizium (SiFe) | 30'000 | 2.0 T | 1.0 W/kg |
| | Eisen–Cobalt (CoFe) | 12'000 | 2.3 T | 2.3 W/kg |
| | Stahl (St. 37) | 8'000 | 1.8 T | 9.0 W/kg |
| Homogen | Ferrit (NiZn) | 2'000 | 0.5 T | 1.4 W/kg |
| | Eisenpulver (Somaloy) | 800 | 1.6 T | 5.0 W/kg |
| | Luft | 1 | keine | keine |

Bemerkung: Blechpakete haben durch Schichtung und Fabrikationseinflüsse etwa 20 bis 30% schlechtere Werte als das einzelne Blech.

Permanentmagnete

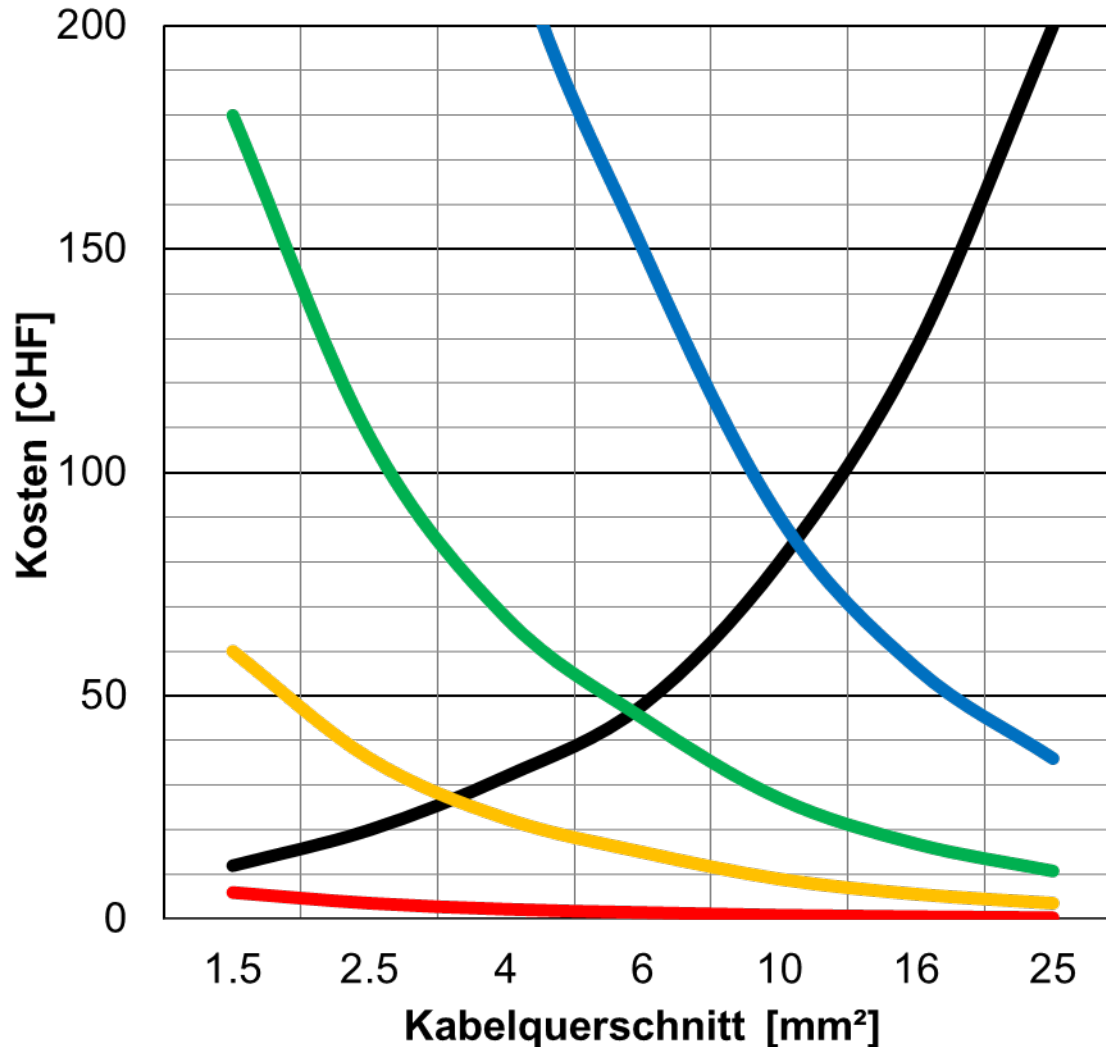


Umrichterverluste

| Verluste | Wert | 100% Last | 25% Last |
|-----------------------|----------|--------------|--------------|
| Motorenstrom | A | 21 A | 16 A |
| Netzstrom | A | 17.5 A | 4.4 A |
| Eingangsgleichrichter | 3.0 W/A | 52 W | 13 W |
| Kondensatorverluste | 0.4 W/A | 7 W | 2 W |
| Ausgangsstufe | 6.5 W/A | 136 W | 105 W |
| | 0.8 mJ/A | 84 W | 65 W |
| Steuerung | fix | 8 W | 8 W |
| Kühlung Endstufe | 0.2 W/A | 4 W | 3 W |
| Summe | | 290 W | 196 W |
| Wirkungsgrad | | 97.6% | 93.9% |

Motor 11 kW, 400 V, 50 Hz, 21 A, 0.83, Umrichter 17 kVA, 5 kHz

Kabelverluste



Belastung mit 10 A

Drehstromkabel mit PE
Kabellänge **10 m**

Strom 0.15 CHF/kWh

— Kabelkosten

— Verluste in 1'000 h

— Verluste in 10'000 h

— Verluste in 30'000 h

— Verluste in 100'000 h

Getriebevergleich

| Getriebetyp | | Übersetzung | Wirkungsgrad |
|-------------|------------------------|----------------|--------------|
| Riemen | Zahnriemen / Kette | 1 – 6 (12) | 96% – 99% |
| | Flachriemen | 1 – 5 (20) | 96% – 99% |
| | Keilriemen | 1 – 10 (15) | 94% – 98% |
| Zähne | Zahnradgetriebe | 1 – 5 (10) | 96% – 99% |
| | Planetengetriebe | 1 – 15 (35) | 96% – 99% |
| | Schneckengetriebe | 5 – 50 (150) | 20% – 97% |
| Spezial | Harmonic Drive / Cyclo | 20 – 120 (320) | 70% – 85% |
| | Reibradgetriebe | 1 – 10 (15) | 80% – 98% |
| | Hydraulische Getriebe | 1 – 5 (7) | 85% – 92% |

Energieeffiziente Getriebe haben im Leerlauf ein geringes Drehmoment.

Zusammenfassung

1. Prozess verstehen

- Input / Output, Regelgrößen, Umgebungsbedingungen ...
- Laufzeit, Redundanz (Betrieb des "Guten", "Schlechte" als Reserve)

2. Lastmaschine auswählen

- Systemwahl (Beispiel: Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmtem Laufrad)
- Dimensionierung für den erforderlichen Betriebsbereich der Anwendung

3. Antrieb auswählen

- Systemwahl (Direktantrieb, Getriebe, Motor, Umrichter, Zubehör, Kabel)
- Dimensionierung (Optimierung auf Betriebsbereich der Lastmaschine)

**Der beste Antrieb ist der
Günstigste über die Laufzeit**