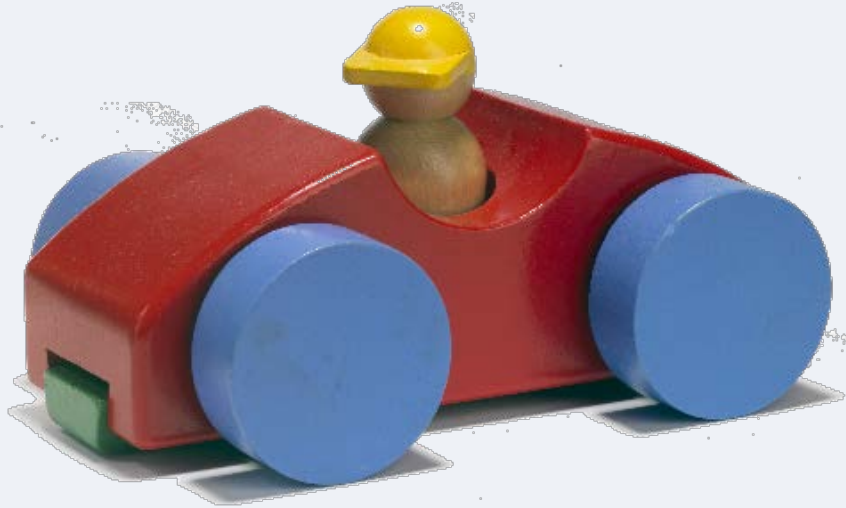


A blue-toned world map is shown from a high angle. Several bright, glowing white lines arc across the map, connecting different continents and suggesting global connectivity or data flow.

26. Januar 2012, Topmotors Workshop, Zürich

Michael Burghardt, Danfoss, Offenbach Deutschland

# Energieeinsparung bei Einsatz von drehzahlgeregelten Antrieben

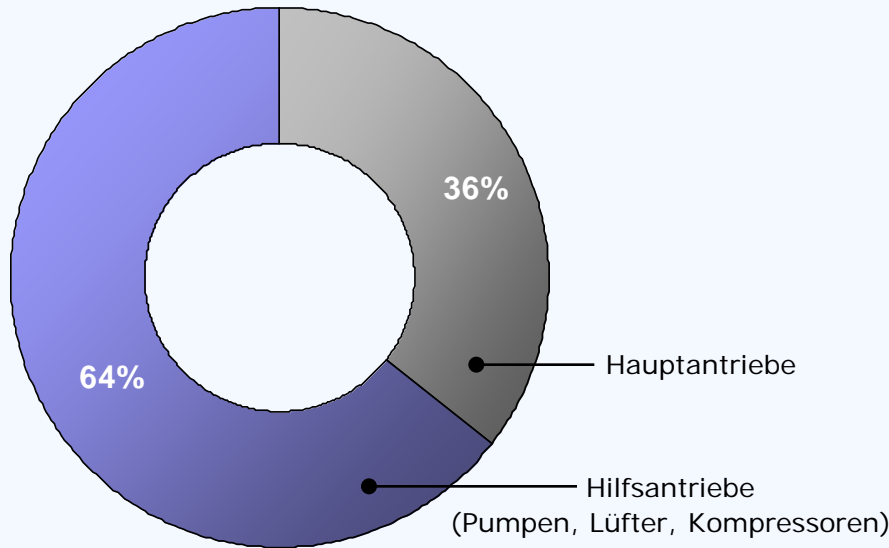


## Warum Drehzahlregelung?

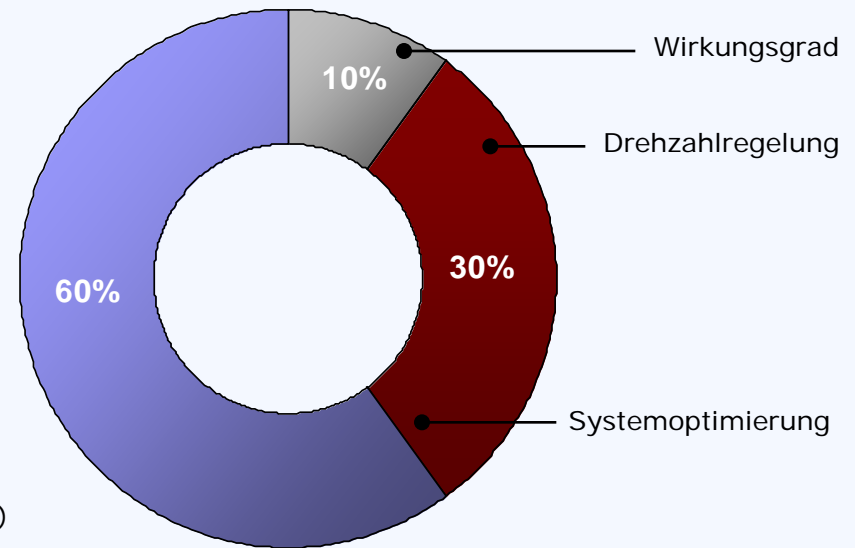
- Reduzierung von mechanischen Verschleiß
  - Reduzierte Geschwindigkeit
  - Gesteuerte Start-/Stopprampen
  
- Prozessoptimierung
  - z.B. Fließband läuft Lastunabhängig mit gleicher Drehzahl oder günstigere Übersetzungsverhältnisse.
  
- Komfort
  - z.B. Aufzüge
  
- Energieeinsparung

# Elektrische Antriebe: Energieverbrauch und Einsparung

Wer braucht die Energie?



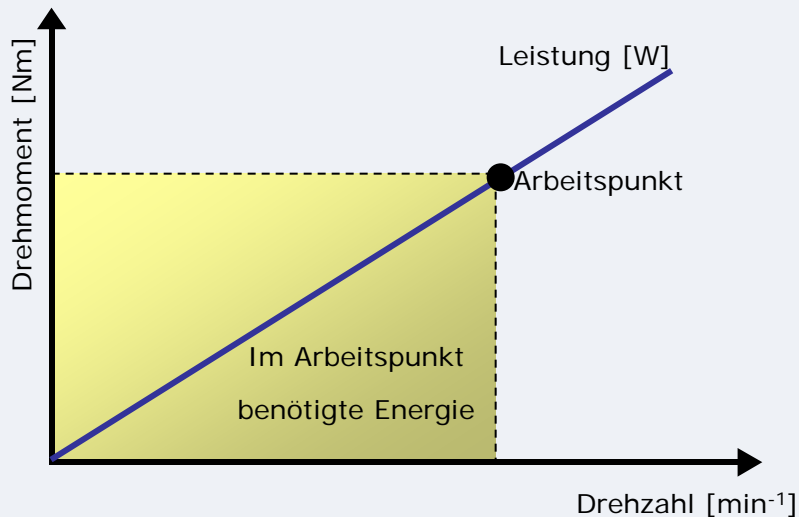
Einsparpotentiale



Durchschnittswert verschiedener Quellen  
(Fraunhofer Institut, Energieagentur Österreich, EUP Lot 11 Motors Final Report)

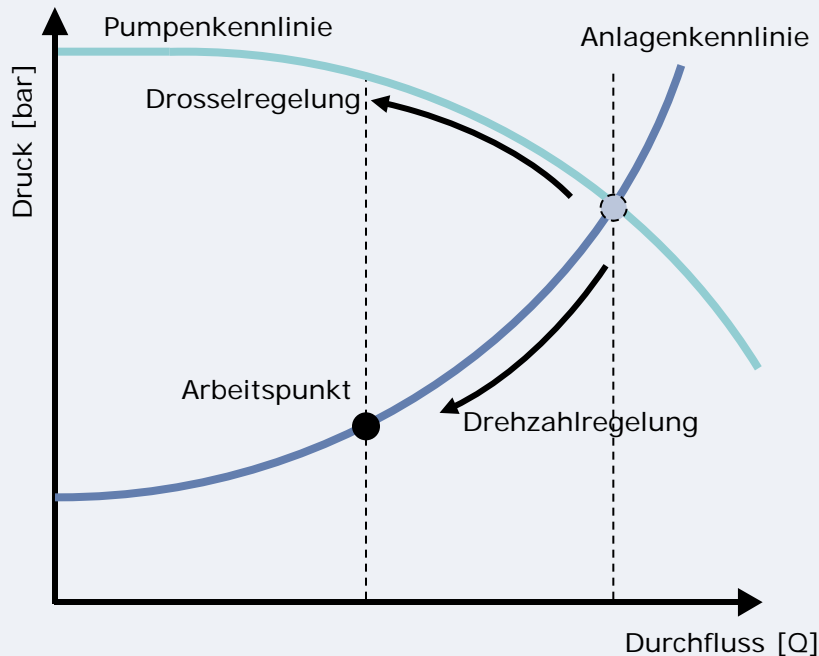
Quelle: ZVEI, BMWi (De)

- Quadratisches Moment (z.B. Pumpen und Lüfter): Drehzahlregelung rechnet sich fast immer
- Konstantes Moment (z.B. Fließbänder): Drehzahlregelung rechnet sich oft im System



## Einsparungen bei Hauptantrieben

- Viele Hauptantriebe haben einen konstanten Lastmomentbedarf ( $P_{\text{mech}} \sim M \cdot n$ )
- Last- und Schlupfausgleich moderner Regler passen Leistungsaufnahme optimal an Lastbedarf an
- Drehzahlregelung ermöglicht:
  - Prozessoptimierung
  - Energieeinsparung
  - Günstige Übersetzungsverhältnisse
  - Geringeren mechanischen Verschleiß



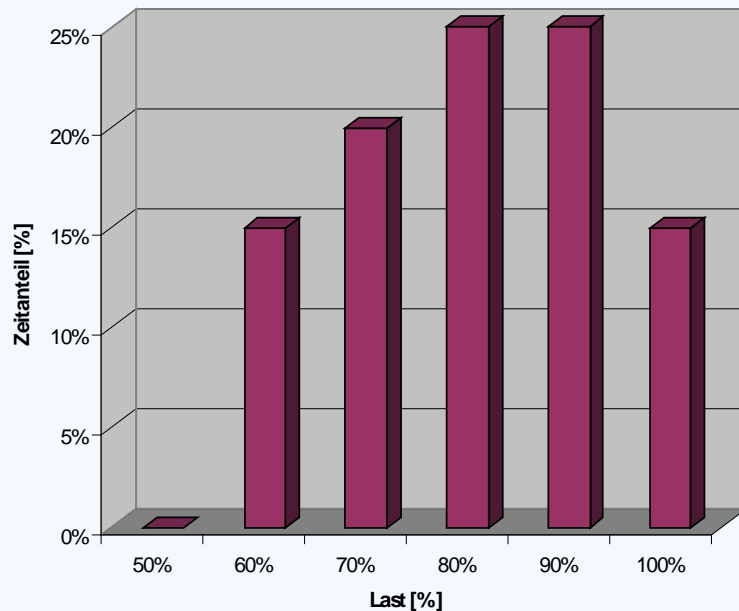
## Anwendungen mit quadratischem Drehmoment

- Leistungsaufnahme hängt kubisch von der Drehzahl ab
- Drehzahlregelung führt bei Anwendungen mit quadratischem Moment fast immer zu erheblichen Kosteneinsparungen
- „Nebenwirkungen“ beachten:
  - Pumpen benötigen oft eine minimal Drehzahl
  - In seltenen Fällen ist das Medium nicht für Drehzahlregelung geeignet

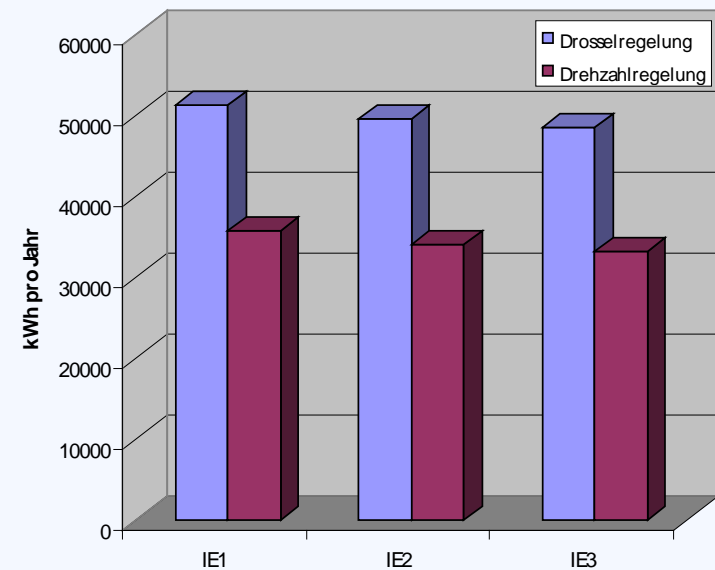
# Beispiel: Wirkungsgrad & Drehzahlregelung

Lüftermotor: 5,5 kW / Betrieb: 365 Tage/24h / Benötigte Luftmenge variiert (Jahreszeiten, Personenanzahl)

Lastprofil (Indien)

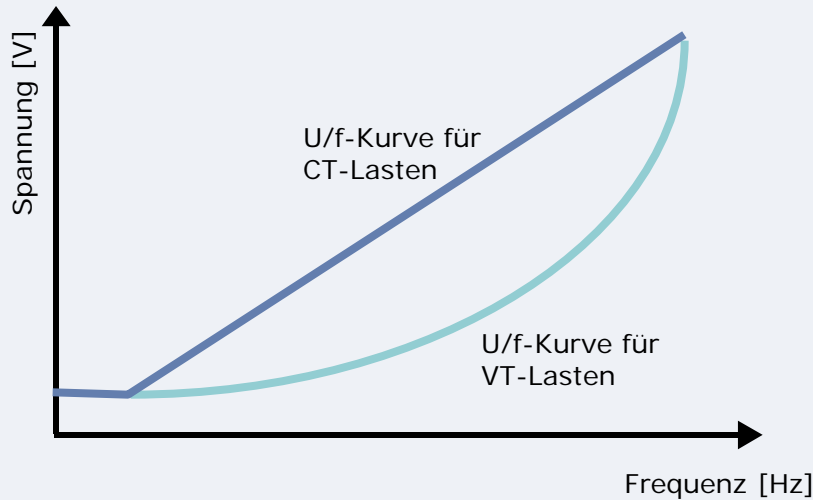


Energieverbrauch pro Jahr

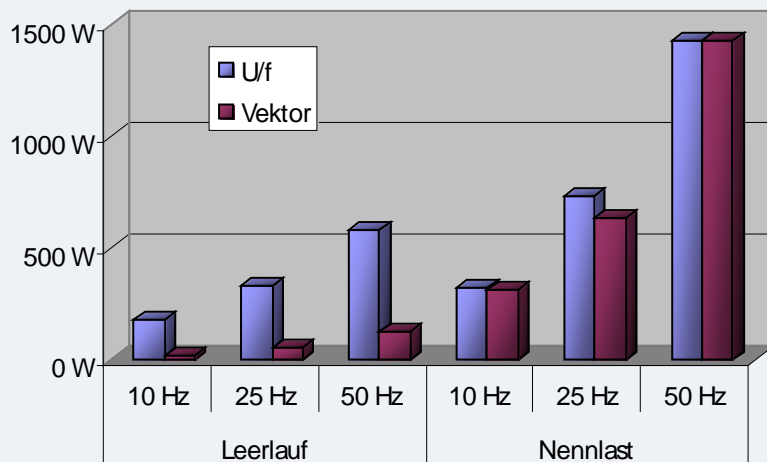


berechnet mit Danfoss EnergyBox 2.0

- Einsparung durch Drehzahlregelung: ca. 32% (abhängig von IE-Motorklasse)
- Einsparung IE3 anstatt IE2 ca. 2% (bei Drossel- und Drehzahlregelung)
- Problem: Wirkungsgrade Motoren bei niedriger Drehzahl nicht bekannt



Beispiel Auswirkung Magnetisierung 1,5 kW Motor



## Drehzahlregelung und optimale Magnetisierung

- Frequenzumrichter ändern die Motordrehzahl durch Anpassung der Motorfrequenz und –spannung (U/f-Verhältnis)
- Vektorregelungen optimieren abhängig von der Last die Motormagnetisierung
- Zusätzliche Einsparungen durch reduzierte Magnetisierung vor allen bei VT-Lasten
- Einige Umrichter verfügen über weitere spezielle Optimierungsalgorithmen



## Umrichter = Energiesparlampe der Antriebstechnik?

### ■ Vorteile

- Ermöglicht die Drehzahlregelung von Antrieben mit allen Vorteilen wie Reduzierung mechanischer Belastungen
- Rechnet sich bei Strömungsmaschinen fast immer
- Passt bei geeigneten Regelverfahren die Motormagnetisierung energetisch optimal an

### ■ Nachteile

- Bei Vollast schlechterer Wirkungsgrad als bei Netzbetrieb
- „Nebenwirkungen“ wie EMV und Oberwellen im Netz

Systemwirkungsgrad (Näherrung)

$$\eta_{\text{System}} = \eta_{\text{Motor}} \times \eta_{\text{Umrichter}}$$

FU rechnet sich energetisch wenn:

$$P_{\text{Einsparung}} > P_{\text{Verluste Umrichter}}$$

Investition in FU rechnet sich wenn:

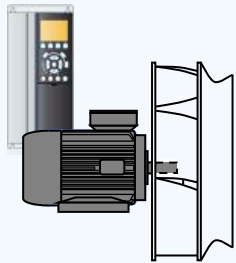
$$\text{€}_{\text{Einsparung}} > \text{€}_{\text{Verluste Umrichter}} + \text{€}_{\text{Investition}}$$

## Fallen beim Einsatz von Frequenzumrichtern

- Frequenzumrichter verursachen zusätzliche Verluste im System
  - Nur einsetzen wenn Motor nicht mit 100% Drehzahl betrieben wird
  - Kaskaden nutzen und nur eine Pumpe/Lüfter regeln
- Rückspeisung rechnet sich nur selten
  - Höhere Verluste beachten
  - Lastspiel genau analysieren
- Falsche Umrichterkonfiguration
  - Unnötige Komponenten verursachen unnötige Verluste
  - Fehlende / falsche Komponenten müssen ggfs. nachgerüstet werden

# Am Ende entscheidet das System

Beispiel Systemeffizienz ø450 Radiallüfter\*

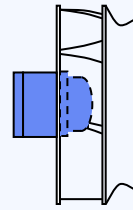


IE2 Motor + FU +  
direkt getriebener  
Lüfter

$$\eta_{\text{Motor+FU}} = 83\%$$

$$\eta_{\text{Lüfter}} = 75\%$$

$$\eta_{\text{System}} = 63\%$$

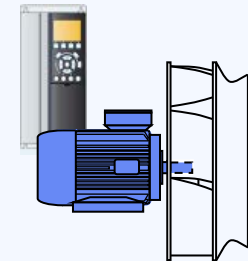


EC Motor + Elektronik + Lüfter

$$\eta_{\text{Motor+FU}} = 89\%$$

$$\eta_{\text{Lüfter}} = 68\%$$

$$\eta_{\text{System}} = 60\%$$



PM Motor + FU +  
direkt getriebener  
Lüfter

$$\eta_{\text{Motor+FU}} = 89\%$$

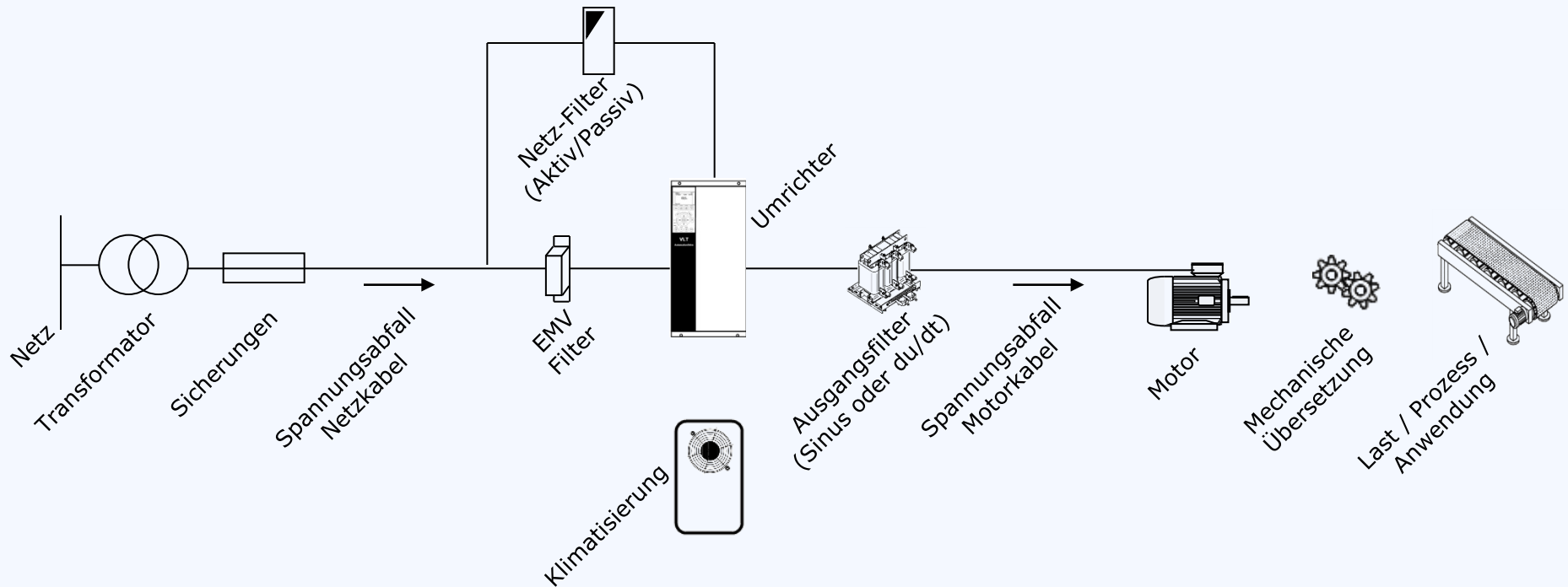
$$\eta_{\text{Lüfter}} = 75\%$$

$$\eta_{\text{System}} = 66\%$$

\*Systemwirkungsgrad wurde nach VDI DIN 6014 durch Multiplikation ermittelt  
Ergebnisse basieren auf Lüfterkatalogdaten und gemessenen Motor+FU Systemen (bei vergleichbaren Lasten)

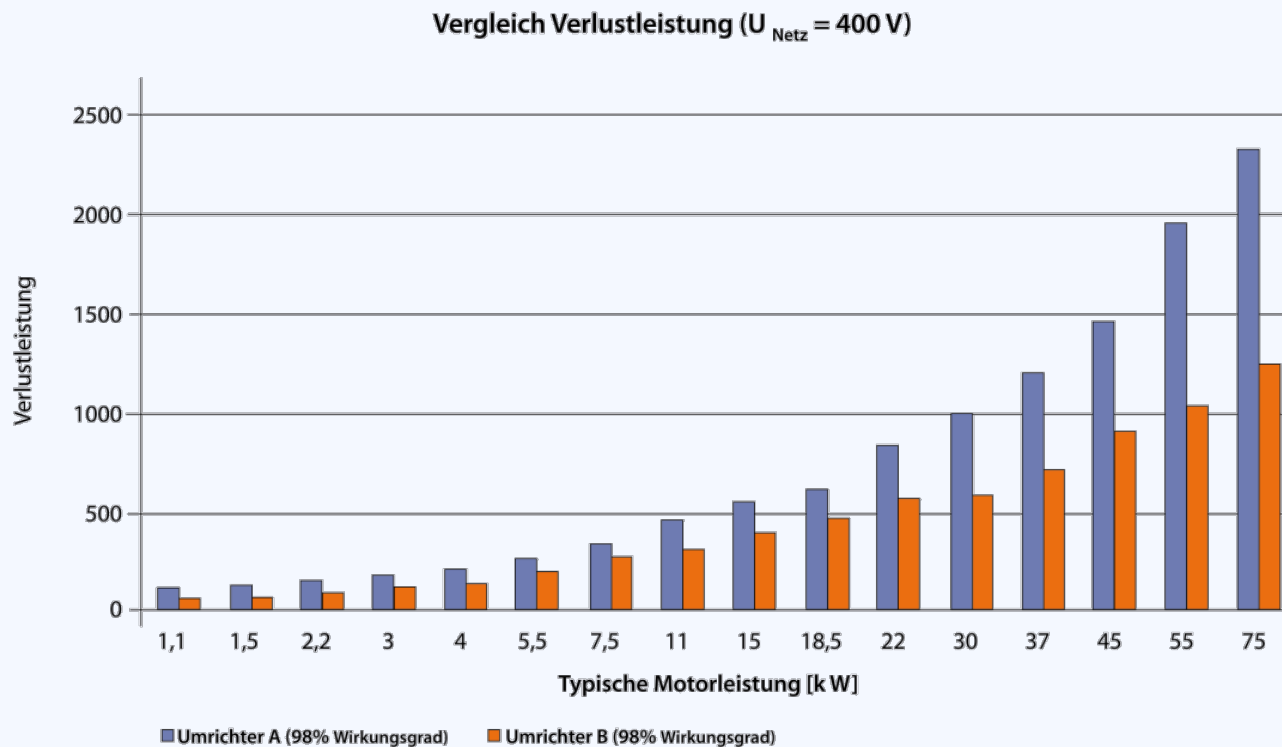
- Hocheffiziente Einzelkomponenten garantieren kein hocheffizientes System
- Die Größe der Lüfternabe von Radiallüftern beeinflusst den aerodynamischen Wirkungsgrad.  
Je größer die Nabe, desto größer die Verluste.

# Den gesamten Antriebsstrang betrachten!



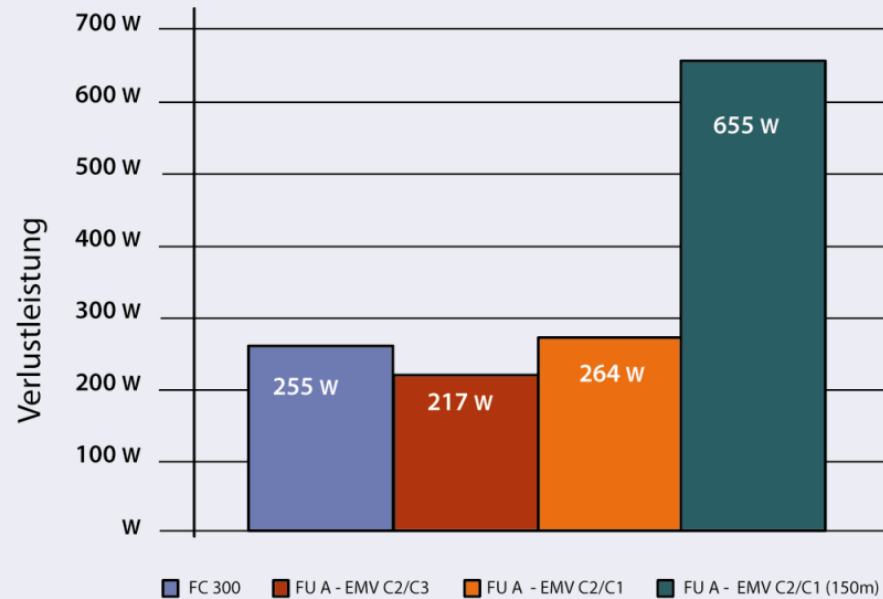
- Nur eine Gesamtbetrachtung ermöglicht die Abschätzung aller Vor- und Nachteile
- Zusätzlich: Betriebsdauer des jeweiligen Antriebes beachten

# 98% Wirkungsgrad = 98% Wirkungsgrad?



- Wirkungsgrade werden gerundet -> Bereich 97,5% bis 98,49% = 98%
- Empfehlung: Vergleich der angegebenen Verlustleistung

Verlustleistung 7,5 kW Umrichter



Verluste  W

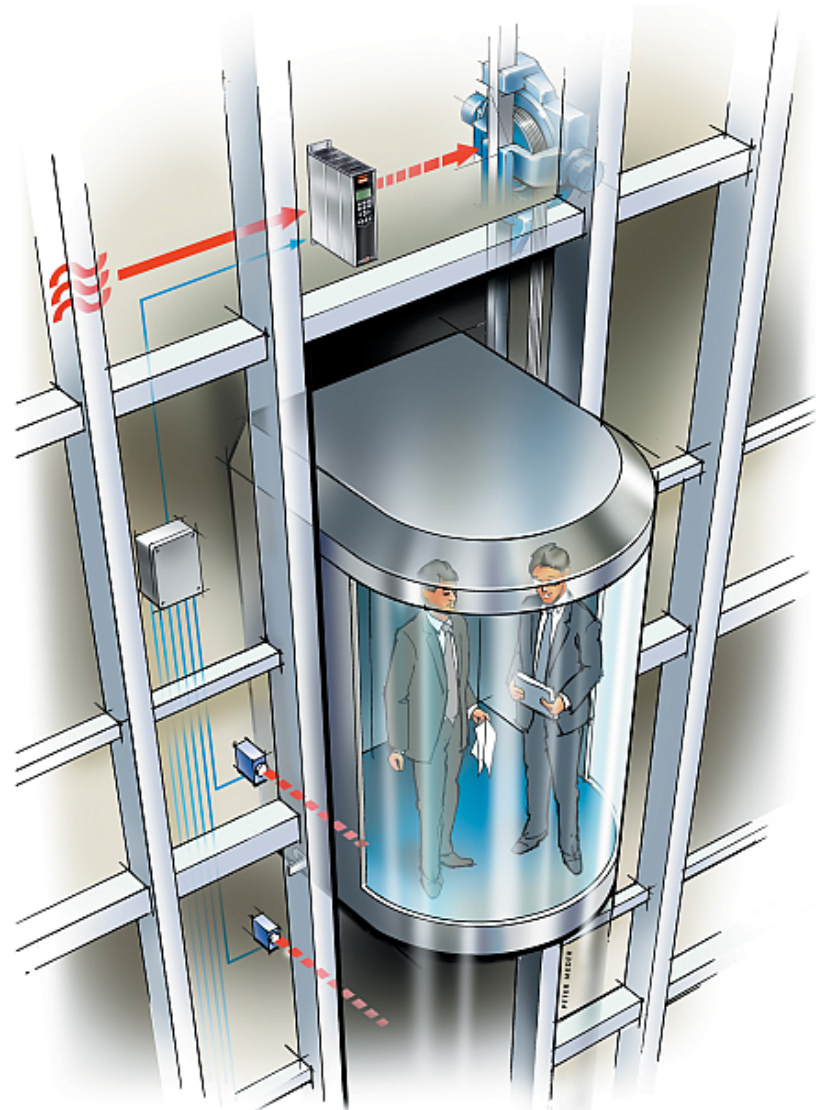
Betriebsdauer  h

Energiepreis  €/kWh

Kosten  €

## Auswirkungen EMV-Filter

- Externe Filter erzeugen immer zusätzliche Verluste
- Filterverluste sind bei integrierten Filtern in der angegebenen Verlustleistung enthalten
- Platz- und evtl. Klimatisierungsbedarf für Filter muss im Schaltschrank berücksichtigt werden
- Auf Auswahl des richtigen Filters bei der Projektierung achten



## Beispiel: Personenaufzug mit „Rückspeisung“

### ■ Technische Daten

- Last (Gegengewichtfahrt): 1100 kg
- Motorleistung: 5,5 kW
- $\eta_{\text{Getriebe}} = 90\% / \eta_{\text{Schacht}} = 80\% / \eta_{\text{Motor}} = 88\%$  (IE2)
- Fahrbetrieb netto: 1 Stunde / Tag
- Energiepreis 0,20€/kWh

### ■ Amortisation (pro Jahr)

- Gewinn durch Rückspeisung: ca. 21€
- Standby-Verluste (gemessen):  
 $FU_{\text{Rückspeisefähig}} = 40\text{W} / FU_{\text{Standard}} = 20\text{W}$
- Mehrkosten im Standby: ca. 34€
- Höhere Verluste im Motorbetrieb wurden nicht berücksichtigt!

### ■ Rückspeisung kann, muss sich aber nicht lohnen!



## Hinweise zur Drehzahlregelung

- Prüfen Sie ob Ihre Anwendung für Drehzahlregelung geeignet ist
- Verwenden Sie wenn möglich Frequenzumrichter mit Vektorregelung
- Achten Sie auf EMV-Konformität:
  - Wohn-/Gewerbebereich:  
Filter Klasse B bzw. C1
  - Industriebereich:  
Filter Klasse A bzw. C2
- Ziehen Sie zur Abklärung technischer Vor- und Nachteile beim FU-Einsatz im Bedarfsfall Experten hinzu!

*Danfoss*