# TOPMOTORS WEBINAR











# **Topmotors Webinar Nr. 06**

Fortschritte in den Motorentechnologien

22. November 2018, 10:00 - 11:00

Moderation: Carole Tornay, Energie Zukunft Schweiz

Referent: Prof. Dr. Andrea Vezzini, Berner Fachhochschule

#### Ihr Referent

Name: Prof. Dr. Andrea Vezzini

Position: Leiter BFH-Zentrum Energiespeicherung

Institution: Berner Fachhochschule

Strasse: Quellgasse 21

Stadt: 2501 Biel

Telefon: +41 / (0)32 / 321 63 72

E-mail: <u>andrea.vezzini@bfh.ch</u>

URL: <u>www.bh.ch/energy</u>



#### Vita / Aktivitäten

- Professor für Industrieelektronik an der Berner Fachhochschule seit 1996
- Mitglied der IEC-Arbeitsgruppen TC2 WG 28 & WG 31 und IEC 22G WG18 seit 2017
- Mitglied der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) seit 2015
- Leiter BFH-Zentrum Energiespeicherung seit 2014
- Deputy Head Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) "Mobility" seit 2013
- Mitgründer und Verwaltungsratspräsident der drivetek ag seit 2002



Berner Fachhochschule Haute école spécialisée bernoise Bern University of Applied Sciences



## Fortschritte in den Motorentechnologien

Topmotors Webinar Nr. 06

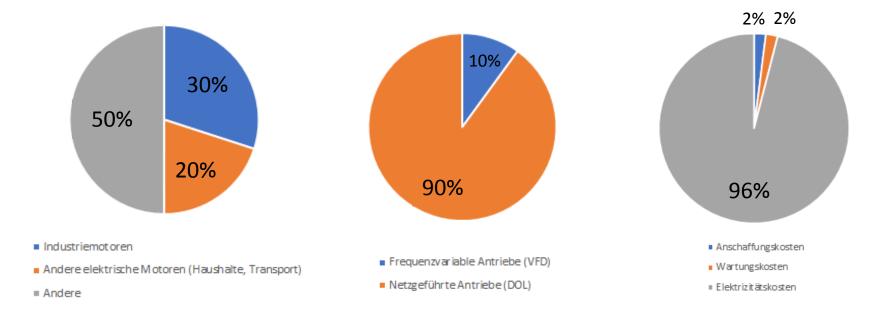
#### Inhalt

- Energieeffizienz als Treiber für neue Maschinenentwicklungen
- Die verschiedenen Quellen der Verluste in elektrischen Maschinen
- Der verbesserte Standarotor
  - der verlustoptimierte Asynchronmotor
- Frequenzumrichter-gesteuerte neue Motorentypen
  - Synchron-Reluktanzmotoren (SRM)
  - Permanentmagnetmotoren (PMM)
  - Permanentmagnetunterstütze Synchron-Reluktanzmotoren
- Neue Konzepte für direktstartende Maschinen
  - Direktstartende Permanentmagnetmotoren (DOL PMM)
- Zusammenfassung

# Energieeffizienz als Treiber für neue Maschinenentwicklungen

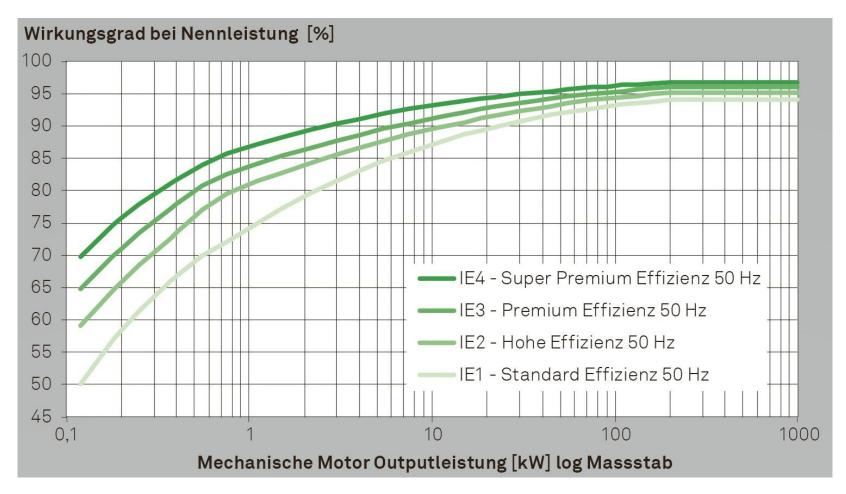
#### Marktübersicht für elektrische Motoren

Elektrische Endverbraucheranteile im globelen Energiemarkt Anteile an netzgeführten und umrichterbetriebenen Antrieben in der Industrie Anteile in den Lebensdauerkosten für Industriemaschinen



Da während der Lebensdauer der grösste Anteil der Kosten durch den Energieverbrauch entsteht, lohnen sich Effizienzsteigerungen auch finanziell bereits bei kleiner Effizienzsteigerung

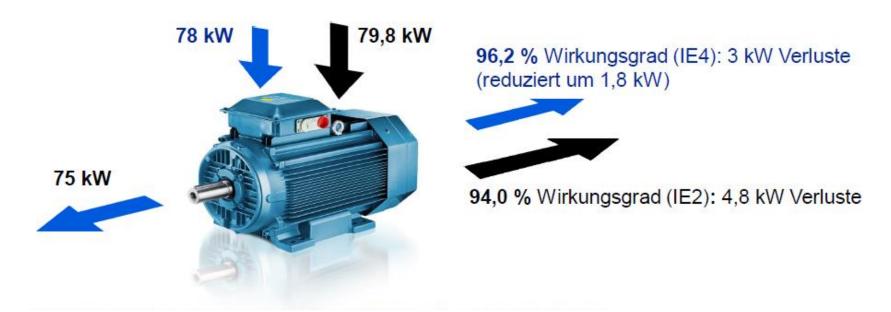
#### Effizienzklassen nach IEC 60034-30-1



Seit dem 1. Januar 2017 sind in der Schweiz nur noch elektrische Motoren der Effizienzklasse IE3 von 0.75 kW bis 375 kW, oder IE2 zusammen mit einem Frequenzumrichter zum Verkauf zugelassen.

### Fallbeispiel Verlustoptimierung

Asynchronmotor 75kW, 50Hz, 4-polig, Ersatz von IE2 auf IE4

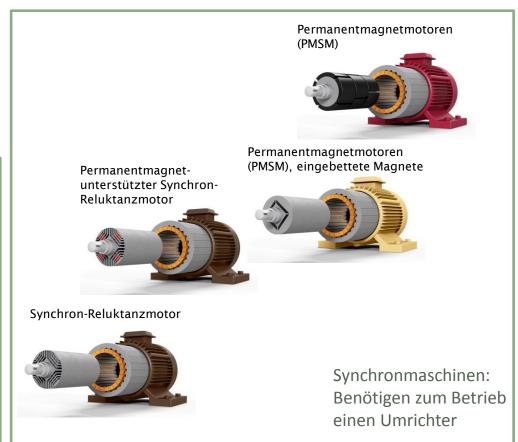


 Eine Effizienzerhöhung um 2.2% ergibt bereits 37.5% weniger Verluste. Dies bedeutet eine Jahreseinsparung von 16.7MWh bzw. 1576 CHF @ 10Rp./kWh)

### Verlustoptimierte Motoren

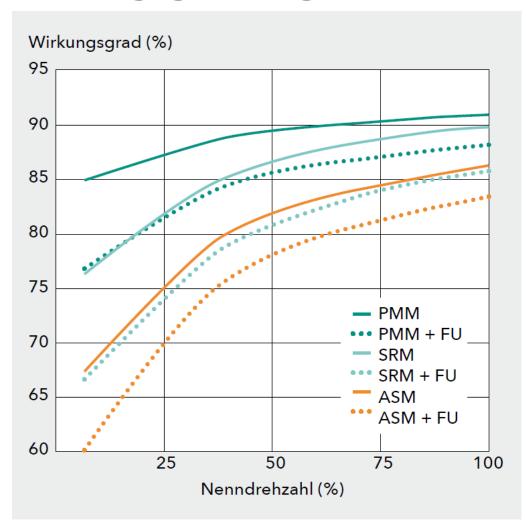
Kosten





Wirkungsgrad

### Wirkungsgradvergleich



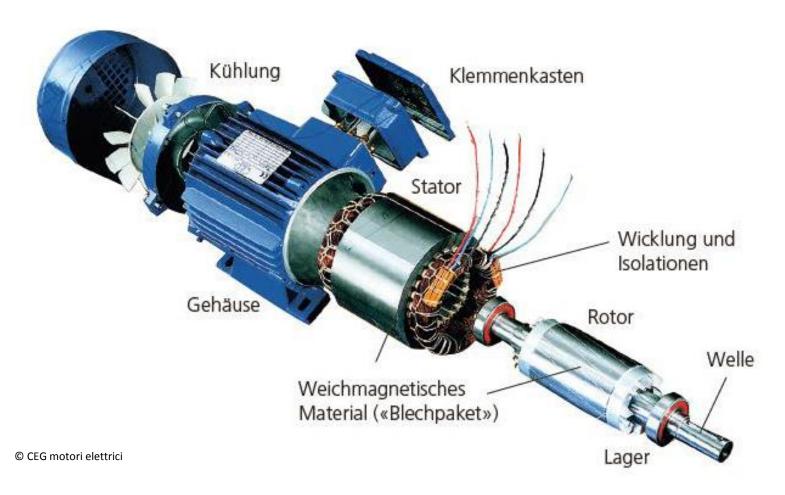
- Wirkungsgrade für den Synchronmotor gelten für Speisung über den Frequenzumrichter.
- Für den Vergleich zum Asynchronmotor bei drehzahlvariablen Anwendungen muss der Wirkungsgrad der netzgekoppelten Asynchronmaschine korrigiert werden.

4-Pol-Motoren 2.2 kW mit 7 Nm Drehmoment (nach: Jorge Estima/EEMODS'17)

# Die verschiedenen Quellen der Verluste in elektrischen Maschinen

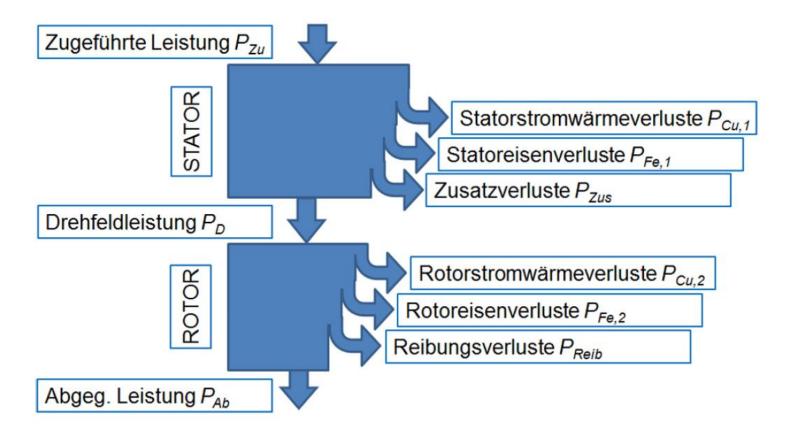
#### Aufbau

Rotor der Asynchronmaschine meist als Käfigläufer mit leitfähigen, kurzgeschlossenen Stäben aufgebaut.



#### Wo entstehen Verluste in der ASM?

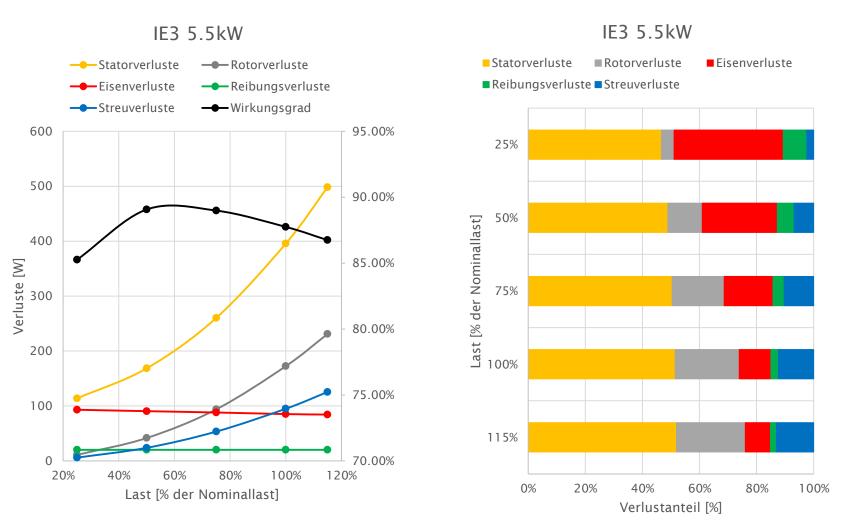
 Die Differenz zwischen Zugeführter elektrischer Leistung und Mechanischer Ausgangsleistung wird als Verlustwärme abgeführt.



Müllner, F. (2010): Zusatzverluste von Asynchronmaschinen für Traktionsantriebe zufolge der Stromrichterspeisung. Diplomarbeit TU Wien.

### Verlustaufteilung in einer IE3 ASM

Beispiel einer IE3 Maschine



## Kurzfragen

- Welches ist die höchste Effizienzklasse, die sich durch optimierte Asynchronmotoren am Markt realisieren lässt
  - ► IE3
  - ► IE4
  - ► IE5
- Wie gross ist im Durchschnitt der Anteil der Kupferverluste im Stator an den Gesamtverlusten einer IE3 Maschine
  - **30%**
  - **50%**
  - **>** 70%

# Asynchronmotoren mit hohem Wirkungsgrad

#### Wie können Verluste in der ASM reduziert werden?

Verlustart	Wie reduzieren?
Statorverluste	Drahtdurchmesser vergrössern, aktive Länge vergrössern, Windungszahl ändern, verbessern des magnetischen Designs
Eisenverluste	Dünnere Eisenlaminierung, besseres Material des Eisens (Permeabilität)
Streuverluste	Verschiedene Designaspekte, v.a. im Wickelkopfbereich und in der Wicklung
Rotorverluste	Vergrössern der Leiterstäbe und Kurzschlussringe, Kupferstäbe, Kupferspritzguss im Rotor
Reibungsverluste	Bessere Lager, Luftstromoptimierung

### Kupferrotorguss

Der Austausch von Aluminium durch Kupfer als Leiterwerkstoff im Käfigläufer ermöglicht die Realisierung der modernen Effizienzklassen



- 70% besserer Leitwert als Aluminium, weniger Rotorstromverluste
- Bessere thermische Kapazität
- Bessere mechanische Festigkeit
- Schmelzpunkt:
  - Kupfer = 1083° C
  - Aluminum = 660° C
  - Neue Methoden in der Kupferdruckgusstechnik haben den Kupferrotor wirtschaftlich werden lassen

# Synchron-Reluktanzmotoren

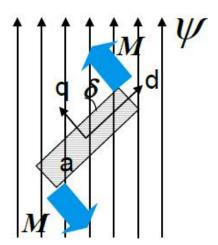
## Rotor eines Synchron-Reluktanzmotor

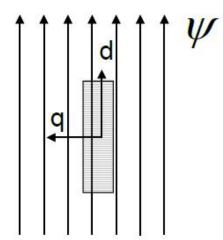


KSB SuPremE® IE4\* motor

# Drehmoment auf ein Stück Eisen in einem Magnetfeld

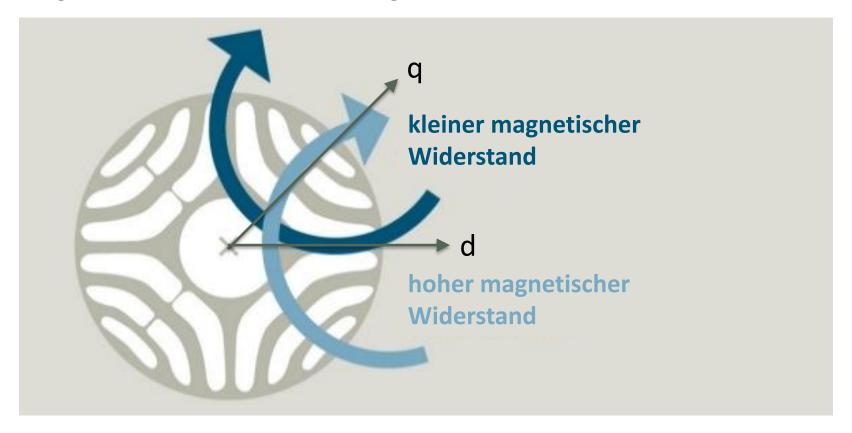
 Das Eisenstück richtet sich in einem Magnetfeld so aus, dass es den geringsten Widerstand bietet (möglichst wenig Feldlinien schneidet)





### Funktionsprinzip des Reluktanzmotors

Reluktanzmotoren arbeiten nach dem Prinzip der magnetischen Reluktanz, dem magnetischen Pendant zum elektrischen Widerstand. Die Drehbewegung entsteht, da sich das System immer zum kleinsten magnetischen Widerstand bewegt.

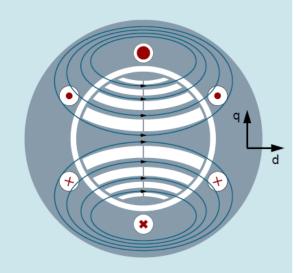


#### Drehmomentbildung anschaulich erklärt

#### 1. Schritt

Ständerfluss bis auf den Luftspalt ausschließlich durch das Eisen

- · geringer magnetischer Widerstand
- geringste "Systemenergie"



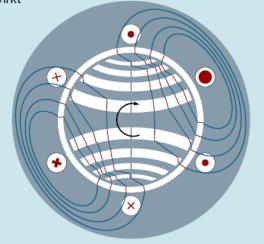
 Vergleichbar mit zwei "aneinander haftenden" Magneten

#### 2. Schritt

Ständerfluss hat sich verändert, muss lange Wege durch die Luftspalte gehen

- hoher magnetischer Widerstand
- erhöhte Systemenergie

Daraus resultiert ein Drehmoment, das in Richtung der Minimierung der Systemenergie wirkt



 Vergleichbar mit zwei aufeinander zufliegenden Magneten

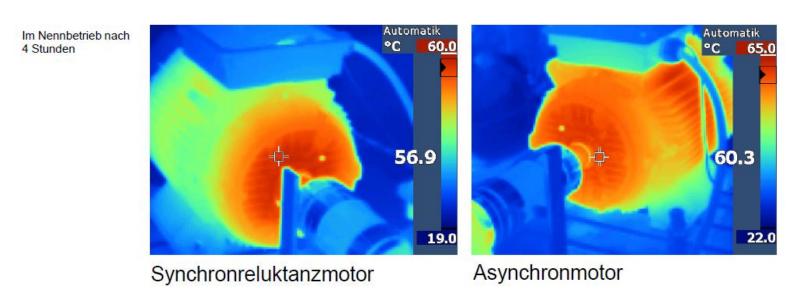
#### 3. Schritt

- Rotor dreht sich in die Lage von Schritt 1
- Bei einem umlaufenden Ständerfeld muss sich der Rotor damit kontinuierlich drehen
- Die Rotorfrequenz entspricht der Ständerfrequenz, allerdings sind Rotor und Ständer "phasenverschoben"

Frei verwendbar / © Siemens AG 2015. Alle Rechte vorbehalten.

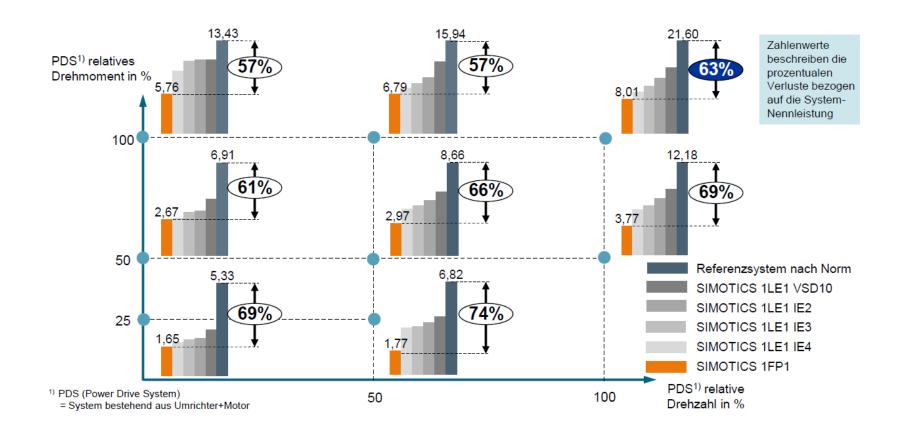
## Synchronreluktanzmotor Hoher Wirkungsgrad und tiefere Temperaturen

- IE4-Effizienz, Prinzip der magnetischen Reluktanz reduziert die Verluste bis zu 40%
- Innovation innerhalb des Motors, gleichbleibende Baugrösse zu Asynchronmotor
- Hohe Zuverlässigkeit, beispielsweise durch geringere Betriebstemperatur bei Wicklung und Lagern



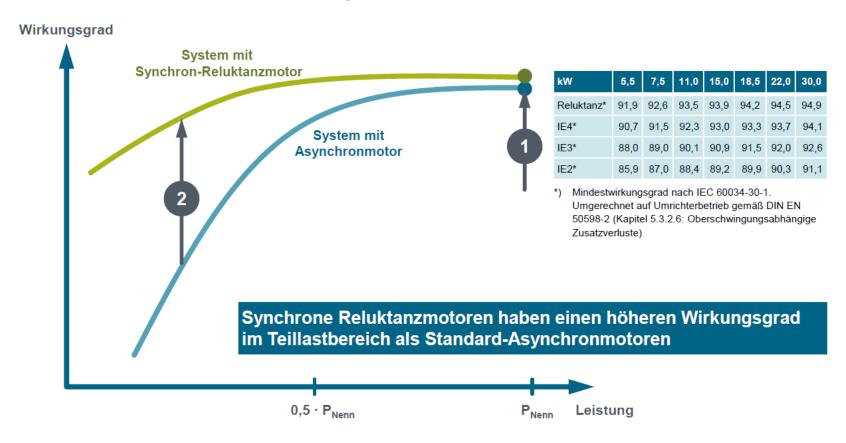
### Der Weg zu höheren Effizienzklassen

Realisierung höherer Energieeffizienzklassen als IE3 ist mit Standard-Asynchronmotoren aufwändig



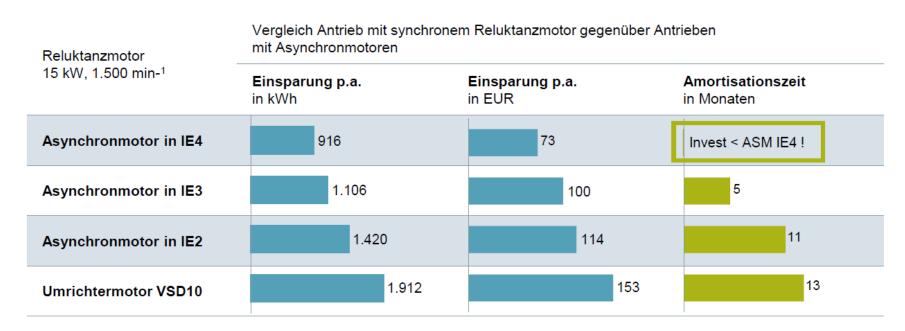
### Im ganzen Betriebsbereich geringere Verluste

Realisierung höherer Energieeffizienzklassen als IE3 ist mit Standard-Asynchronmotoren aufwändig



Frei verwendbar / © Siemens AG 2015. Alle Rechte vorbehalten.

# Energieeinsparung und Amortisation für einen drehzahlveränderbaren Pumpenantrieb



#### Lastspiel

10 % der Zeit fördert die Pumpe mit 100 %,

30 % der Zeit mit 75 %,

40 % der Zeit mit 50 %, und

20 % der Zeit mit 25 % Durchfluss.

#### Weitere Annahmen

- Zweischichtbetrieb, d.h. 3880 Stunden im Jahr.
- Die Energiekosten betragen 8 ct/kWh.

Frei verwendbar / © Siemens AG 2015. Alle Rechte vorbehalten.

## Vergleich SRM / ASM

Erhebliche Verkleinerung der Maschine bei gleicher Leistungsbemessung (Bild: ABB 5.5kW SynRM versus ABB IE3 5.5KW ASM, beide 4p)



## Kurzfragen

- Der Rotor des Reluktanzmotors dreht sich in Bezug auf das Statordrehfeld
  - etwas langsamer (nacheilend)
  - gleich schnell
  - etwas schneller (voreilend)
- Der Reluktanzmotor weist im Vergleich zum Asynchronmotor im Nennbetrieb eine Betriebstemperatur auf, die
  - höher ist
  - gleich hoch ist
  - tiefer ist

## Permanentmagnetmotoren

### Aufbau eines Permanentmagnet-Synchronmotors

Die Permanentmagnete sorgen für die notwendige verlustlose Magnetisierung des Rotors, was den Wirkungsgrad des Motors gegenüber dem Asynchronmotor steigert







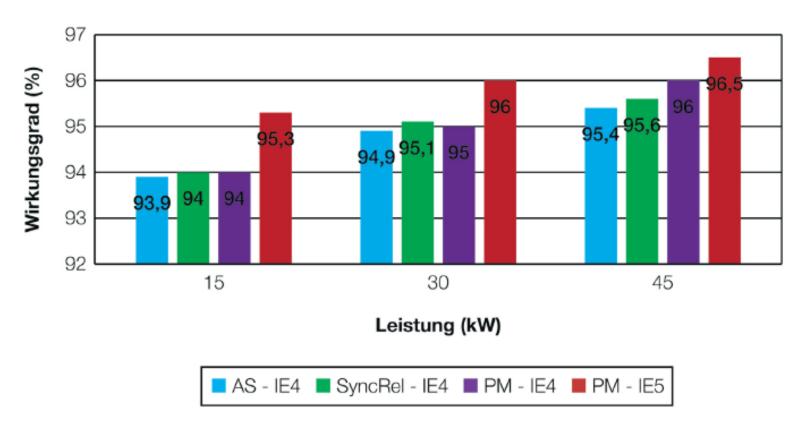
- Bei gleicher BaugrösseEffizienzklasse IE5 möglich
- Aufbau des Motors gleich wie Standardasynchronmaschine
- Permanentmagnetrotor mit eingeschobenen Magneten

#### Wirkungsgrad- oder Volumenvorteil

#### New PM W22 Benefits IE5 OR, as a IE4 motor, BUT reducing at least 2 Frames per rating W22 Magnet IE5 W22 Magnet IE4 [kW] 15 160M 132S 160L 18.5 132S 22 180M 132M 30 200L 132M/L 200L 160M 37 160L 45 225S/M 55 250S/M 180M 75 280S/M 200M 90 280S/M 200L 15kW 1500rpm 110 315S/M 225S/M 95.30% 94% 132 315S/M 225S/M IE3 IE4 IE5 160 315S/M 250S/M

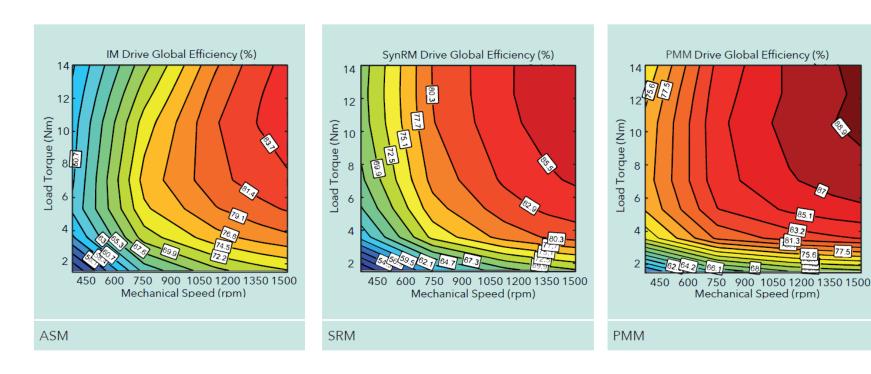
Quelle: WEG

### IE4 und IE5 mit Hilfe von PM Motoren möglich



Vergleich des Wirkungsgrads eines IE4-Asynchronmotors (AS), eines IE4-Synchronreluktansmotors (SyncRel) sowie eines IE4- und eines IE5-Permanentmagnetmotors (PM) für drei verschiedene Ausgangsleistungen bei 50Hz und 1'500 min-1

# Wirkungsgrad bei veränderter Drehzahl und Drehmoment:



Kurven gleicher Wirkungsgrade in Abhängigkeit des Drehmomentes und der Drehzahl für Asynchron-, Permanentmagnet- und Synchronreluktanz-Motoren, jeweils mit Frequenzumrichter, Leistung 2,2 kW (Quelle: Jorge Estima/EEMODS'17)

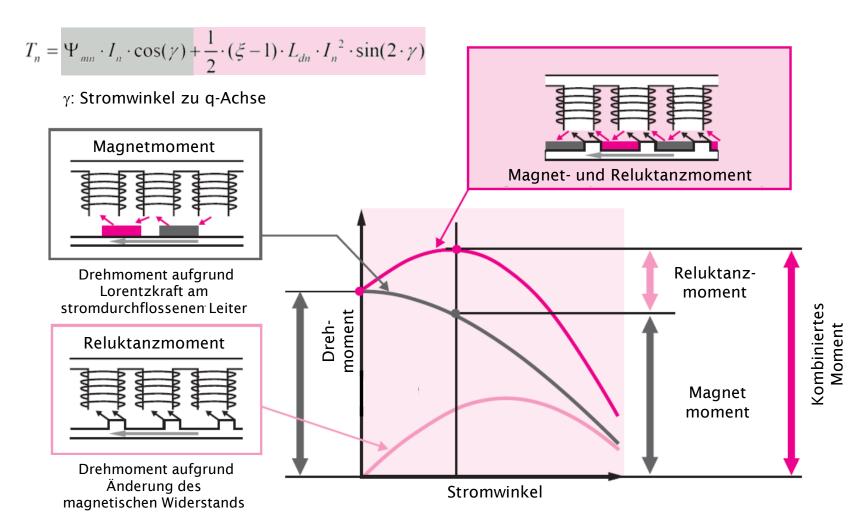
## PM unterstützte Synchron-Reluktanzmotoren

### PM-unterstützte Synchron-Reluktanzmaschinen

- PM-unterstützte Synchron-Reluktanzmaschinen sind eine Klasse von PM-Synchronmaschinen (PMSMs), bei denen die Permanentmagnete die Leistungsdaten einer Synchron-Reluktanzmaschine mit begrenztem Kostenaufwand verbessern
- Durch den Einsatz von kostengünstigeren Ferritmagneten anstelle der teuren Neodym-Eisen-Magnete sind diese Motoren auch bezüglich Rohstoff-Versorgungsproblemen optimiert

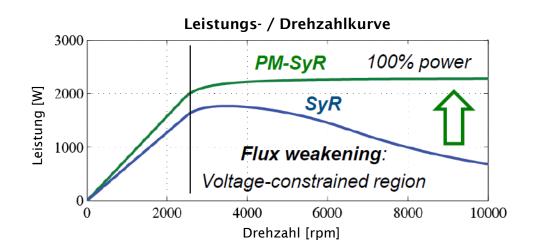


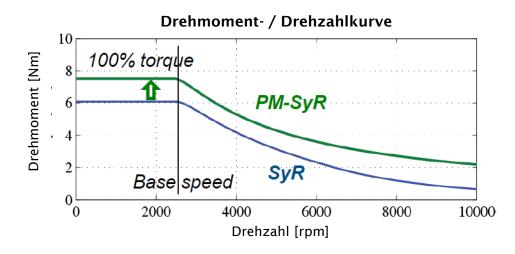
# Drehmomenterzeugung bei PM unterstützten Synchron-Reluktanzmotoren



### Kennlinienvorteil von PM-unterstützten Synchron-Reluktanzmotoren

- PM-unterstützte Synchron-Reluktanzmotoren haben einen höheren Leistungsfaktor als die Synchron-Reluktanzmaschinen, was zu einem großen konstanten Leistungsbereich führt, der durch das Magnetdesign leicht zu kalibrieren ist.
- Außerdem wird das Drehmoment erhöht.





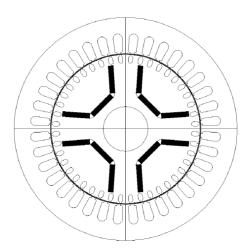
### Kurzfragen

- Industrie-Permanentmagnetmotoren verwenden vor allem
  - Selten-Erden Magnete
  - Ferrite
- Die höhere Dynamik des PM-Motors bringt vor allem Vorteile
  - in Anwendungen mit vielen Hochläufen
  - im Teillastbereich

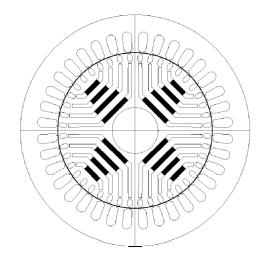
### Netzstartfähige Synchronmotoren

### Netzstartfähige Synchronmotoren

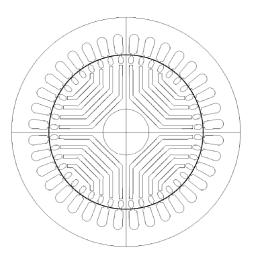
Durch die Kombination von Dauermagneten bzw, Reluktanzrotoren mit einem Asynchronkäfig entsteht so eine Synchronmaschine, die sich sowohl für den Frequenzumrichter- als auch den Netzbetrieb eignet.



Netzstartfähige PM-Maschine



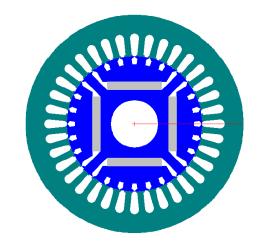
Netzstartfähige PM-unterstütze Synchron-Reluktanzmotor



Netzstartfähige Synchron-Reluktanzmotor

### Netzstartfähige Synchronmotoren

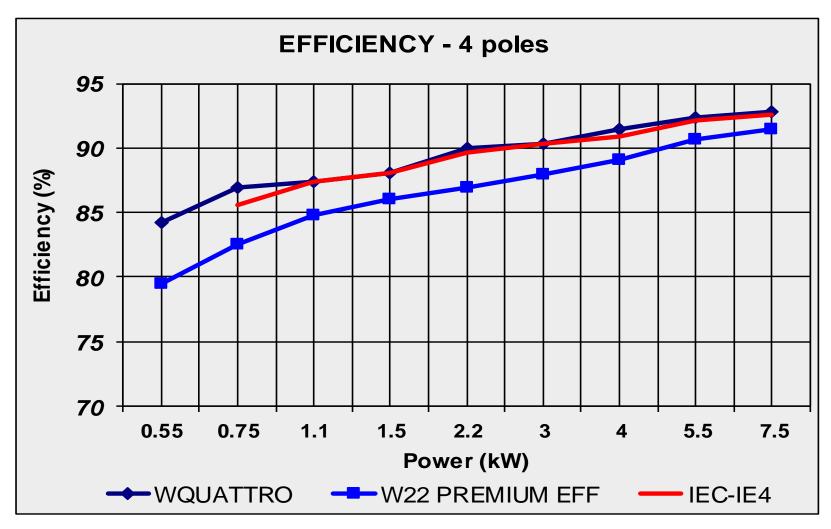
- Netzstartfähigkeit wegen des Käfigs im Rotor - Kann direkt an das Stromnetz angeschlossen werden
- Kann bei Anwendungen mit konstanter Drehzahl ohne FU betrieben werden
- Für drehzahlvariable Anwendungen kann er von einem FU mit skalarem Regelalgorithmus angetrieben werden.
- Begrenzte Synchronisierbarkeit in Funktion der Lastträgheit, nicht für alle Anwendungen geeignet.
- Bei der Montage und Demontage des Motors ist aufgrund von Magneten im Rotor Vorsicht geboten, es können spezielle Werkzeuge erforderlich sein.





Quelle: Sebastião L. Nau / WEG Motors

### WQUATTRO MOTORS IEC 400V 50Hz 4 Poles



Quelle: Sebastião L. Nau / WEG Motors

## Zusammenfassung

### TOPMOTORS FACT SHEET No. 29

### TOPMONO MERKBLATT

Nr. 29

### Neue Motorentechnologien

### Die fünf wichtigsten Punkte

ausschlaggebend.

laufende Motoren sind Asynchron-Motoren mit hohem tems. Es zeigt die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) am besten geeignet.

Drehzahl: Frequenzumrichter (FU) und Motor mit hohem und vergleicht sie miteinander und beschreibt typische Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.

kungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.

5. Für den direkten Start und Betrieb ab Wechselstromnetz sind hybride PMM und SRM verfügber, welche im Ver- Grundlagen gleich zur Standard-Asynchronmaschine im Nennloetrieb Elektrische Motoren sind für gut die Hälfte des elektrieinen höheren Wirkungsgrad aufweisen.

### Ziel und Zielpublikum

1. Die gute Einbettung des Motors in das gesamte Dieses Topmotors Merkblatt Nr. 29 bringt einen aktuellen, Antriebssystem und die richtige Dimensionierung sind systematischen Überblick über die verschiedenen elektrischen Motorentechnologien, ihre Eigenschaften und 2. Für lang oder dauernd mit konstanter Geschwindigkeit ihre energetische Bedeutung innerhalb des Antriebssys-Motorentechnologien wie Asynchron- (ASM), Permanent-3. Für Antriebe mit wechselnder Belastung respektive magnet- (PMM) oder Synchronreluktanz-Motoren (SRM) Anwendungsfälle für die jeweiligen Technologien. Das 4. Antriebe mit rasch wechselnder Leistung: Permanent- Merkblatt richtet sich an technisch Interessierte (Anwenmagnet- und Synchronreluktanz-Motor mit hohem Wir- der, Planer, Installateure, Energieberater etc.) und Hersteller von Komponenten oder ganzen Antriebssystemen.

schen Energieverbrauchs weltweit verantwortlich. Sie werden im Zentrum aller Antrielossysteme für Pumpen, Ventilatoren Kompressoren Transport- und Prozessmaschinen eingesetzt (Abbildung 1).

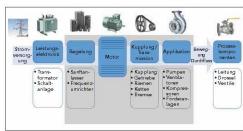


Abbildung 1: Antriebseinheit und ihre Komponenten (Quelle: IEC 60034-31, 2019)





Merkblatt Nr. 29 - Neue Motorentechnologien | Oktober 2018 | www.topmotors.ch | info@topmotors.ch

- Die gute Integration des Motors in das gesamte Antriebssystem und die richtige Dimensionierung sind ausschlaggebend.
- Für lang oder dauernd mit konstanter Geschwindigkeit laufende Motoren sind Asynchron-Motoren mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) am besten geeignet.
- Für Antriebssysteme mit wechselnder Leistung respektive Drehzahl: Frequenzumrichter (FU) und Motor mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.
- Für Antriebssysteme mit rasch wechselnder Leistung: Permanentmagnet-Motor (PMM) und Synchron-Reluktanz- Motor (SRM) mit hohem Wirkungsgrad (IE3 oder IE4) einsetzen.
- Für den direkten Start und Betrieb am Netz sind hybride PMM und SRM verfügbar, welche im Nennbetrieb einen hohen Wirkungsgrad aufweisen.



Berner Fachhochschule Haute école spécialisée bernoise Bern University of Applied Sciences



### Danke für die Aufmerksamkeit

Topmotors Webinar Nr. 06

# **Topmotors Events 2019**

Tomotors Webinaire N° 07
Mercredi, 7. Février 2019, 10:00 – 11:00
«Optimisation énergétique des entraînements électriques»
Prof. Christophe Besson, Haute École d'Ingénierie
et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD)
www.topmotors.ch/webinare



Tomotors Webinar Nr. 08
Mittwoch, 27. März 2019, 10:00 – 11:00
«Effizienze Luftförderung»
Prof. Heinrich Huber, Hochschule Luzern
www.topmotors.ch/webinare











### Vielen Dank!

Haben Sie Fragen oder Anregungen?

Organisation und Moderation

Carole Tornay
Energie Zukunft Schweiz
c.tornay@ezs.ch

Programmleitung

Rolf Tieben Impact Energy AG rolf.tieben@impact-energy.ch