Manfred Schroedl, Wien:

VOM STROM SPARENDEN ANTRIEB ZUR ENERGIEEFFIZIENTEN ANLAGE

Wels, 29. April 2010

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

Statement:
Drehzahlvariable Antriebe decken derzeit 20% der E-Antriebe in Europa ab (5% weltweit). Das Potenzial ist 50%.
Vision 2020: Marktdurchdringung von 40%.

Fast jeder energierelevante Antrieb wird ein intelligenter drehzahlvariabler E-Antrieb werden.

Eine Menge von heutigen Fixdrehzahlantrieben kann ökonomisch durch drehzahlvariable E-Antriebe ersetzt werden.

Gründe:
- Hohe Flexibilität der Lösung
- Wartungsfreiheit, gegebenenfalls On-board Monitoring-Funktionen
- Reduzierte Energiekosten
- Kommunikationsfähigkeit

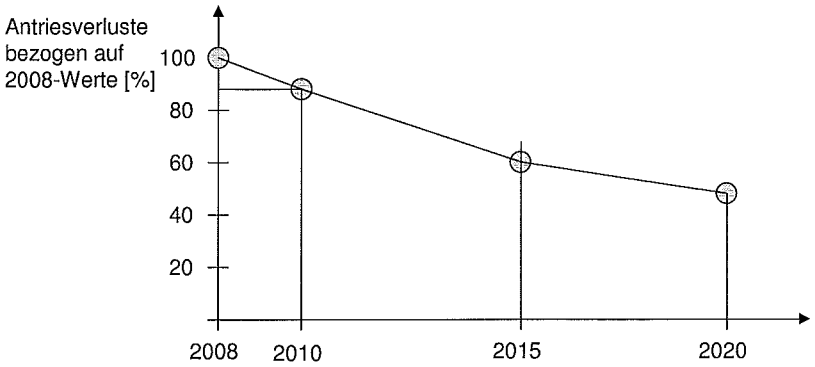
ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

TECHNOLOGISCHE ANFORDERUNG: „Wirkungsgrad“

Erwartung: Verbesserung des Wirkungsgrads von E-Antrieben durch Halbierung der Verluste bis 2020 gegenüber 2008-Niveau.

Beispiel: 2008 Asynchronmotorwirkungsgrad = 85 %
2020 Asynchronmotorwirkungsgrad = 92,5 %

Da der Motor etwa 3x soviel Verluste produziert wie der Umrichter, muss der Fokus der Verlustreduktion auf der Motorseite liegen (z.B. Umrichterwirkungsgrad 96 %, Motorwirkungsgrad 88 %)



Kommentare zum Wirkungsgrad

Effizienzklassen von Asynchronmaschinen

IEC (International Electrotechnical Commission) präsentierte im Oktober 2008 die neue Norm IEC 60034-30
Ein neues Klassifizierungssystem (IE3, IE2, IE1) ersetzt die CEMEP "Eff.1, Eff.2, Eff.3" -Klassen.
(CEMEP .. European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics)

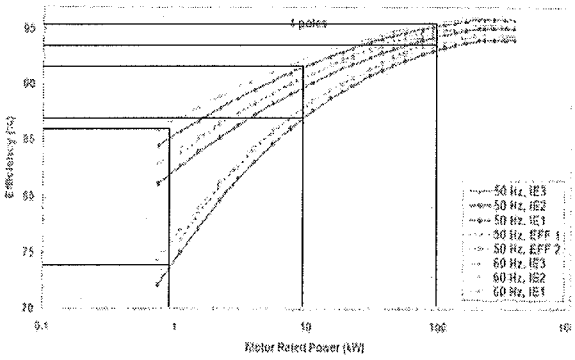
Folgender Zeitplan:
- Ab Juni 2011: Motoren mit Effizienzklasse schlechter als IE-2 werden verboten
- Ab 2015: Die Mindesteffizienz für Motoren von 7,5 bis 375kW ist IE-3.
- Ab 2017: Der Standard IE-3 wird ausgedehnt auf Motoren von 0,75kW bis 5,5kW

Kommentare zum Thema Wirkungsgrad

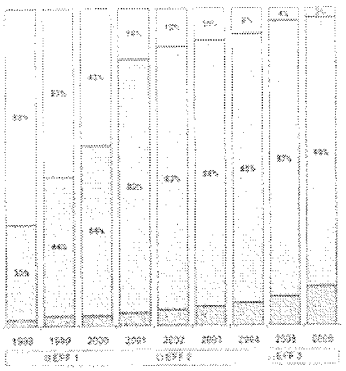
Effizienzklassen von Asynchronmaschinen

Änderung von IE1 (EFF2) nach IE3:

Motor leistung	Wirkungsgradänderung	IE3 Verlust in % des EFF2-Verlustes
1kW	74 ->86%	54%
10 kW	87->91%	69%
100 kW	93->95%	71%



Bestehende (EFF1, EFF2) und neue (IE3, IE2, IE1 .. IEC 60034-30) Effizienzklassen [1)]



Motorverkaufszahlen der CEMEP Mitglieder 1998-2006 [2)]

Statement: Die Änderung von EFF2 Motors (85% der verkauften Motoren 2006) zu Hocheffizienz-IE3-Motoren reduziert die Motorverluste auf ca. 2/3 der EFF2-Verluste

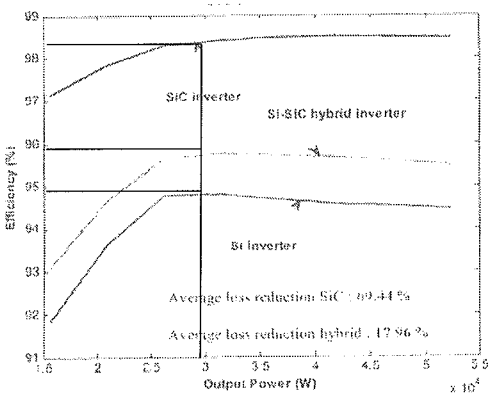
[1)]..Almeida et. al.: „Electric Motor Standards, Ecodesign and Global Market Transformation", ECPE Seminar „Towards Energy Gain and Savings - Emerging Drives and Generator Systems", Warsaw, April 2008.

[2)]..Petri: „Improving Energy Efficiency – Potential of Power Electronics".

ECPE Study 2007.

Kommentare zum Thema Wirkungsgrad

Verlustreduktionspotenzial durch Verwendung von Siliziumkarbid-Technolgie bei Umrichtern



Wirkungsgraderhöhung durch Verwendung von Si-SiC-Umrichtern und SiC Umrichtern verglichen mit Si Umrichtern [1)]

Beispiel: 30 kW Umrichter:

Wirkungsgrad: Si: 95% -> Si/SiC: 96% -> SiC: 98.5%

Relative Verluste: Si: 100% -> Si/SiC: 80% -> SiC: 30%

Statement: Änderung von derzeitigen Si-Umrichtern auf vollständig in SiC ausgeführten Umrichtern (Annahme: SiC-Dioden und SiC-Transistoren in entsprechenden Leistungsklassen 2020 verfügbar) reduziert die Umrichterverluste um mehr als die Hälfte.

[1)]..Tournier, D.: „Energy Efficiency Gain using New SiC Components", ECPE Seminar „Towards Energy Gain and Savings - Emerging Drives and Generator Systems", Warsaw, April 2008.

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

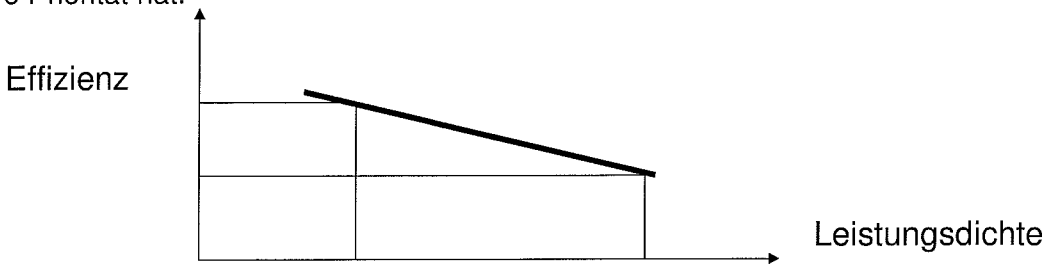
Anforderung: „Leistungsdichte“

Erhöhung der Leistungsdichte von Antrieben auf 400% des 2008-Niveaus.

Motor: Potenzial durch Drehzahlerhöhung: 200%, Potenzial durch Technologie (Magnete, Temperatur): 200%. Umrichter: Potenzial von 400% durch System-Integration, Temperaturerhöhung und verbesserte bzw. reduzierte passive Komponenten wie Kondensatoren, Drosseln etc.)

Der Absolutwert der Leistungsdichte hängt stark vom Kühlsystem ab.

Ein Motor kann entweder auf Energieeffizienz oder auf Leistungsdichte optimiert werden. Beide Ziele können nicht gleichzeitig minimiert werden. Es hängt von der Anwendung ab, welches Ziel höhere Priorität hat.



ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

•Forderung: Leistungsdichte

Unter Verwendung von Spezialwicklungen mit hohem Nutfüllfaktor (z.B. Formspulen wie in Fig. 1) können Motorleistungs-dichten von ca. 60 kW/liter /3/ erreicht werden. Durch Verwendung von neuen Hochenergiemagneten /1/, sogar mehr als 100 kW/liter sind 2020 denkbar. Diese Annahme deckt sich mit einem Statement in /4/.

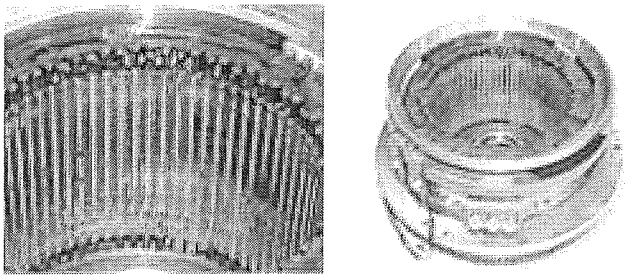


Fig. 1: Wicklungen mit extrem hohen Nutfüllfaktor (aus /2/)

/2/ Compact Dynamics, Company brochure 2007
/3/ Eck, M.: Technologien zur Speicherung von Bremsenergie. Proceedings „Zulieferer Innovativ“, Ingolstadt (Germany), July 2007.
/4/ Kawamura, A.: Future Power Electronics and Motion Electronics – SiC Choppers and Biped Robots. EPE-PEMC 2006, Portoroz (Slowenia).

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

Forderung:

„Verbesserte Performance, Intelligenz und Kommunikation“

Antriebe im Jahr 2020 haben

- automatische Initialisierung,
- Leistungsmanagement
- optimierten Betrieb im Hinblick auf Anforderungen der Anwendung
  z.B. Maximierung des Wirkungsgrads bei Asynchronmaschinen durch Anpassung des magnetischen Flussniveaus
- Diagnosefunktionen.
- Drahtlose Sensorik und Kommunikation, z.B. zwischen Multimotorantrieben

---

Vergleich von Asynchron- und PM-Synchronmaschinen

- **Vorteil Asynchronmotor**

Etablierte Technologie
Hohe Stückzahlen
Sehr gute Feldschwächfähigkeit (Konstantleistungsbetrieb)
U/f-Steuerung ohne Rückkopplung möglich
Netzbetrieb ohne Umrichter möglich
Mehrere Asychronmotoren an einem Umrichter

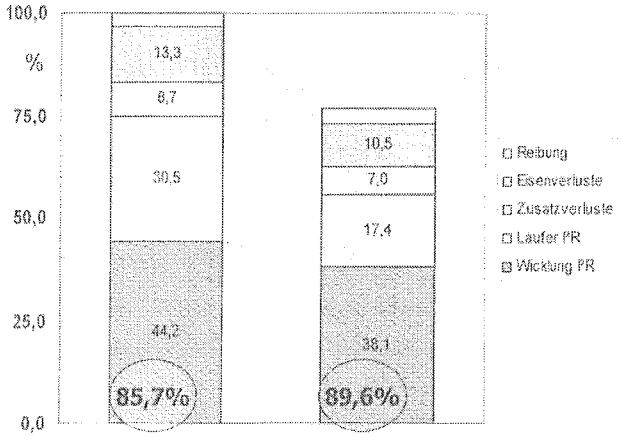
- **Vorteile PM Synchronmotor**

Hoher Wirkungsgrad durch kleine Rotorverluste
Sehr kompakt (Hohes Drehmoment/Volumen-Verhältnis)
Großer Luftspalt möglich
Einfache Wicklungssysteme einsetzbar (Zahnspulwicklung)
Synchronlauf

Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Nachteile Asynchronmotor**

Schlechter Wirkungsgrad im Grunddrehzahlbereich



- **Was kann verbessert werden?**

-Erhöhung der Blechqualität (Verluste W/kg)

-Reduktion der Blechdicke (0.5mm -> 0.35 (0.2 ..) mm

-Verwendung von Kupferläufern (Leitfähigkeit von Alu = 33 S/m, Kupfer = 56 S/m)

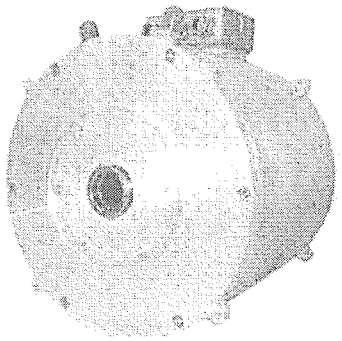
-Verwendung des Feldschwächbereichs

Energiesparpotenzial durch Verwendung verbesserter Bleche und Kupferrotor (5 kW Motor)

Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Nachteile Asynchronmotor**

Geringes Drehmoment/Volumen-



Kompaktor Asynchronmotor 27/54 kW

Technische Daten

mit Umrichter DMC524 an 320V DC	
Nenn-Leistung (90s Nenn; 30s Max)	27kW
Max. Leistung (30s, dann mindestens 90s Nennleistung)	54kW
Nenn Drehmoment	65Nm
Max. Drehmoment	192Nm
Nenn-Drehzahl	4'000U/min
Max. Drehzahl	11'000U/min
Nenn-Phasenstrom	117Aeff
Max Phasenstrom	300Aeff
Nenn - Wirkungsgrad	94%
Drehzahlbereich konstante Leistung	4'500-U/min 8'000
Anschlussart	Stern
Polpaarzahl	3
Gewicht	49kg

Abmessungen

- **Was kann verbessert werden?**

-Verbesserung des Kühlsystems (z.B. Phasenübergangskühlung etc.)

-Erhöhung der Betriebsdrehzahl

-Trend in der Traktion:

Antriebe mit sehr hoher Drehzahl und Nutzung des Feldschwächbereichs (z.B. 12.000 U/min) und Flüssigkeitskühlung

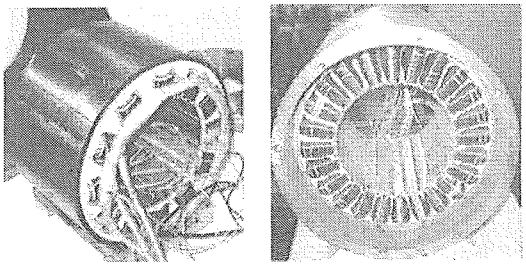
Ausgangsleistung von 50 kW bei 50 kg Masse

Wirkungsgrad bis 94 %

Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Nachteile PM Sync Motor**

Schwierige Feldschwächung



Einzelspulwindungen bieten

-hohen Kupferfüllfaktor

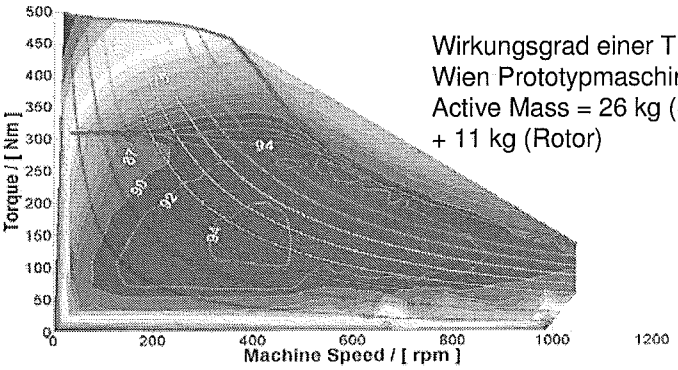
-kompakte Wicklungen mit kleinen Wickelköpfen

-einfache Isolationsmöglichkeit

-Einfache Fertigung

- **Verbesserungsmöglichkeiten**

- Einzelzahnwicklungen mit Bruchlochwicklung ermöglichen hohe Statorinduktivität
- Kurzschlussstrom ist auf Dauer zulässig
- Dies ermöglicht hohen Wirkungsgrad auch im Feldschwächbereich



Wirkungsgrad einer TU-Wien Prototypmaschine
Active Mass = 26 kg (Stator) + 11 kg (Rotor)

Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Rotorkonstruction von PM Sync Motoren**

.

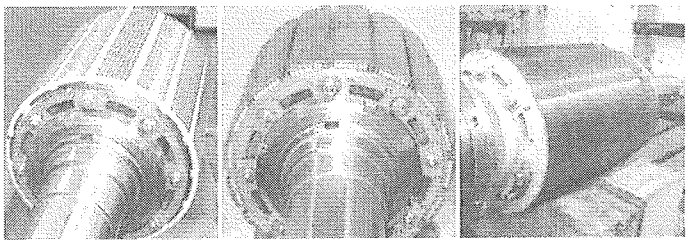
PM Rotoren ermöglichen

-hohe Flussdichte im Luftspalt bei kompakter Größe

-einfachen Schutz gegen Fliehkräfte

-gutes thermisches Verhalten (Neodym-Magnete bis 190° C verfügbar)

- **Möglichkeiten gegen Radialkräfte und Korrosion**
- Klassischer Ansatz: Oberflächenmagnete (links)
- Verbesserte Lösung: „Vergrabene" Magnete (voll von Eisen umgeben – mittleres und rechtes Bild)
- Anwendungen als Nassläufer möglich



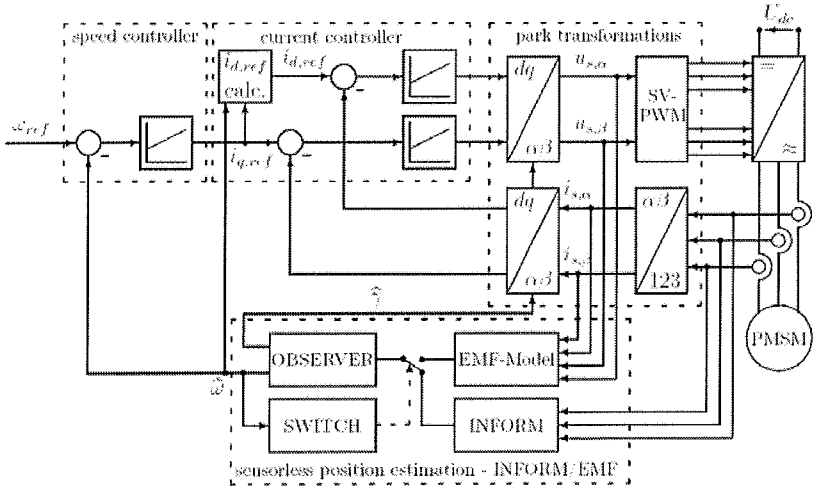
Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Nachteil PM Sync Motor**

Positionsmessung für die Regelung nötig

- **Verbesserungsmöglichkeit:**

-Verwendung von **Sensorlosen Verfahren** (INFORM® - Methode for Tiefdrehzahl, EMK-Methode für hohe Drehzahl)



Weitere Hardwarereduktion möglich durch Messung ausschließlich des Zwischenkreisstroms mit ohmschen Shunt

-> **<u>Low Cost Hardware</u>**
Ermöglicht volles Moment ab Stillstand

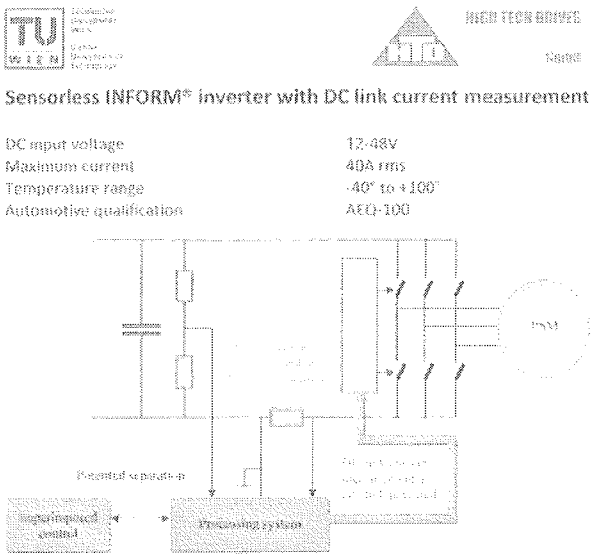
Vergleich von Asynchronmotoren und PM Synchronmotoren

- **Sensorlose Regelung PM Sync Motor in Low-Cost-Variante**

Keine Positionsmessung für die Regelung nötig

Strommessung ausschließlich über Zwischenkreisshunt

Beispiel:



COMPARISON OF INDUCTION MOTORS AND PM SYNCHRONOUS MOTORS

	Induction motor	PM Sync motor
Inverter costs	+-	+-
Motor costs	+	+-
Control costs high speed	++	++
Control costs low speed	- (+ if low performance)	+
Energy costs (LCC)	- In base speed range +- if high field weakening	++ in base speed range +- If high field weakening
Motor size	+-	++

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN IN ELEKTRISCHEN ANTRIEBEN

Anforderung:

„Optimierung auf Prozess-Level

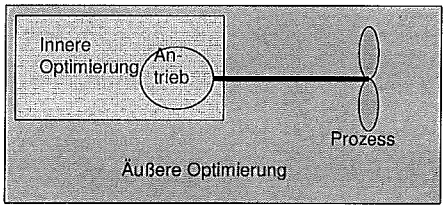
Optimierung ist auf verschiedenen Niveaus möglich

z.B. Energieverbrauchsoptimierung eines Prozesses mit E-Antrieben:

Inneres Optimierungsniveau: Optimiere den Motorwirkungsgrad im Betrieb

Äußeres Optimierungsniveau: Optimiere den Prozess, damit er minimale Energie konsumiert (z.B. Reduziere Pumpengeschwindigkeit wenn weniger Flüssigkeitsdurchsatz für den Prozess ausreicht)

Intelligente Prozessplanung nötig.



ENERGETISCH KRITISCHE ELEMENTE

Frage: Wo wird mechanische Energie in Wärme umgesetzt?

-**Kritische Elemente**	**Abhilfe**
-Selbsthemmende Schneckengetriebe	Stirnradgetriebe
-Elektrische Bremswiderstände	Kurzfristige Zwischenspeicher
-Drosseln in Strömungen	Drehzahlvariable Pumpen
-Mechanische Bremsen	E-Maschinen generatorisch
-Hydraulische Antriebe	Elektrische Antriebe
-Festdrehzahlantriebe mit schlechtem Arb.punkt	Drehzahlvariable Antriebe