Alu vs. Kupfer

Wer die Wahl hat, hat die Qual

4. Fachtagung E-Motoren und Transformatoren

Herr Fabian Radeck, Schwering & Hasse Elektrodraht GmbH

Fulda, 28.01.2015

Forschung & Entwicklung

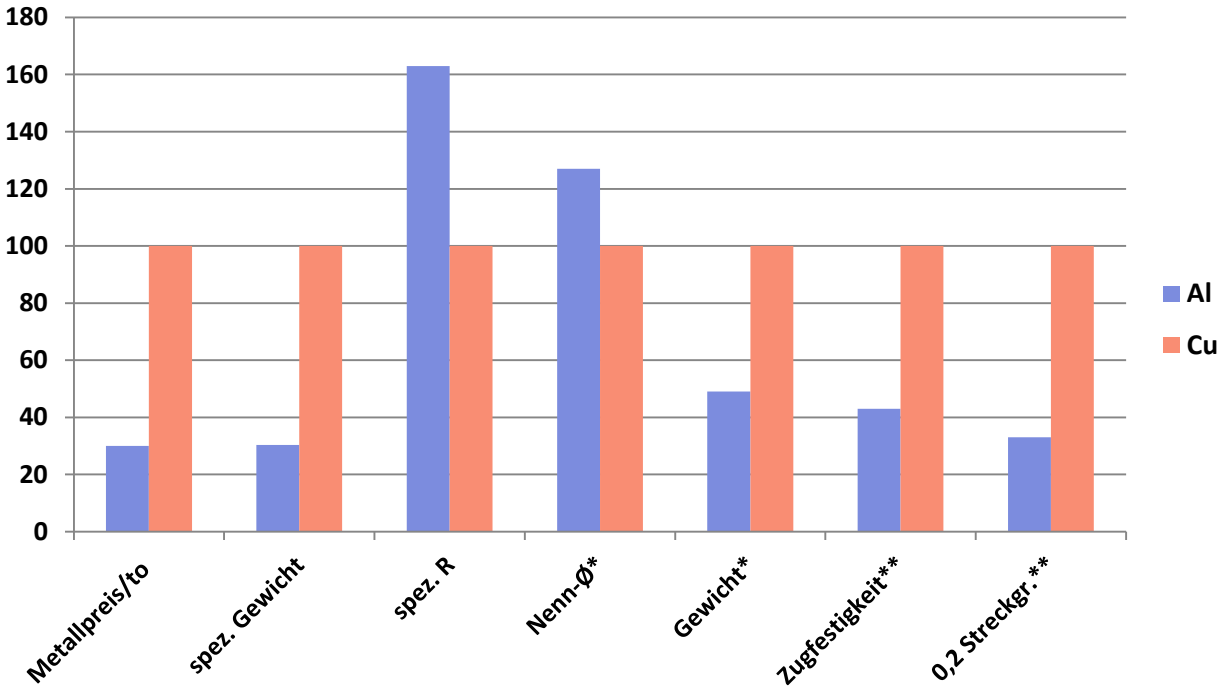
B.Sc. Physik (Universität zu Köln)
Anwendungstechnik / techn. Kundenbetreuung

Schwering & Hasse
Elektrodraht GmbH

Abteilung: **Forschung & Entwicklung**

- Entwicklung neuer Produkte
- Analysen (chem., therm., mech., opt.)
- Technische Kundenbetreuung

Vergleich Al/Cu – Welcher ist der bessere Werkstoff?



Physikal. Eigenschaften	
E-Cu	E-Al F7
spez. Gewicht [g/cm³]	
8,92	2,7
el. Leitfähigkt. [m/Ωxmm²]	
58,5	35,85
Zugfestigkeit [N/mm²]	
ca. 200-290	ca. 70-120
0,2-Streckgrenze [N/mm²]	
ca. 120-150	ca. 20-60
Temp.-Koeff. v. R [1/K]	
0,00396	0,00407
Therm. Leitfähigkt. [W/m°C]	
391,1	238,7

Merkmal	Metallpreis/to	spez. Gewicht	spez. R	Nenn-Ø*	Gewicht*	Zugfestigkeit**	0,2 Streckgrenze**
Al	30	30,3	163	127	49	43	33
Cu	100	100	100	100	100	100	100

* bei ca. Leitwertgleichheit und gleicher Drahtlänge
** bei ca. Leitwertgleichheit

Wirkungsgradklassen – Das ist gefordert!

ErP (Energy related Products)

- 06 / 2011 min. IE2
- 01 / 2015 für Leistungsbereich 7,5 - 375 kW min. IE3 (IE2 für FU-Betrieb)
- 01 / 2017 für Leistungsbereich 0,75 - 375 kW min. IE3 (IE2 für FU-Betrieb)
- 01 / 2020 für Leistungsbereich 0,75 – 1000 kW min. IE3

	IE1 [%]			IE2 [%]			IE3 [%]		
kW	2-polig	4-polig	6-polig	2-polig	4-polig	6-polig	2-polig	4-polig	6-polig
0,75	72,1	72,1	70,0	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9
1,1	75,0	75,0	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81,0
1,5	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5
2,2	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3
3,0	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6
4,0	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8
5,5	84,7	84,7	83,1	87,0	87,7	86,0	89,2	89,6	88,0
7,5	86,0	86,0	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1
11,0	87,6	87,6	86,4	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3

Wie erreiche ich den geforderten Wirkungsgrad mit dem Einsatz möglichst geringer Kosten? – Spielt Aluminium dafür eine Rolle?

Quelle: IEC 60034-30, gültig für 2-6-polige Drehstrom-Asynchronmaschinen mit Käfigläufer, Nennspannung bis 1000V

europ. Richtlinie ErP

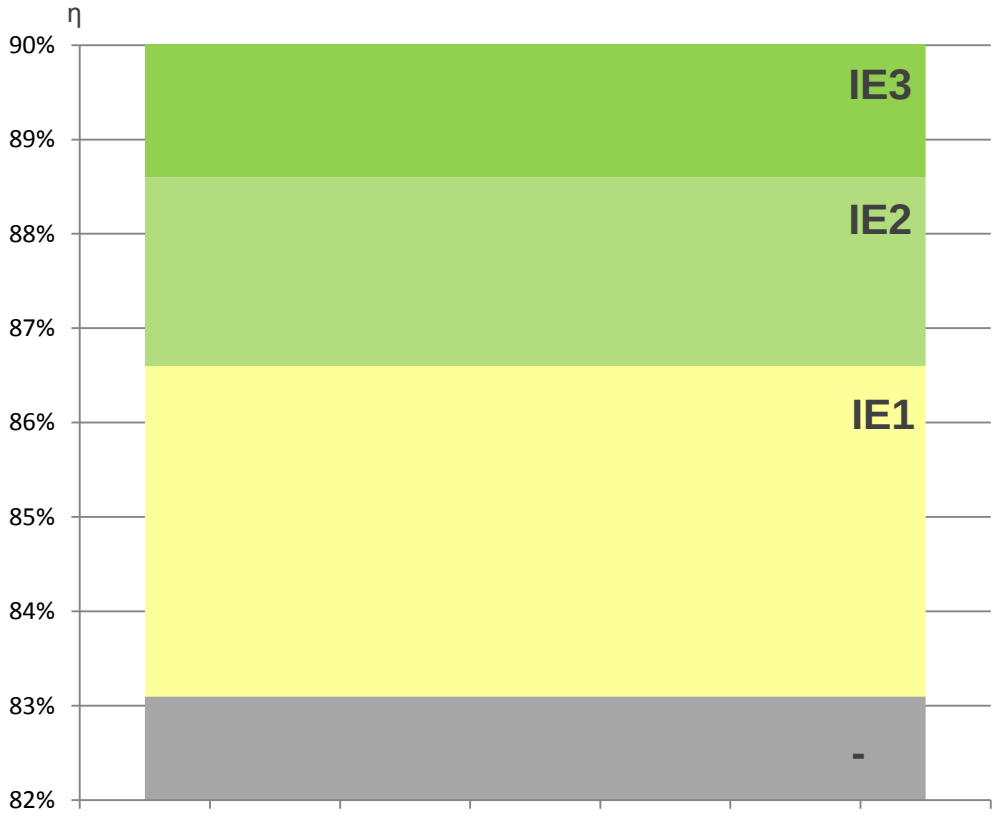
Asynchronmaschine

Simuliert durch **ASYN, Dipl.-Ing. K. Emmrich**

Urheber Dr.-Ing. Wilfried Janßen

Copyright IAL Universität Hannover

Prof. Dr. Bernd Ponick



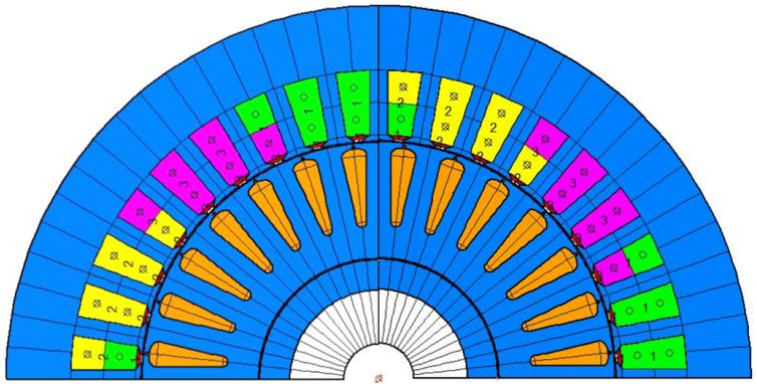
Wirkungsgrad-Vorgaben für 4-polige Maschinen mit Nennleistung 4kW

Einfachkäfigläufer

Polpaarzahl: 2

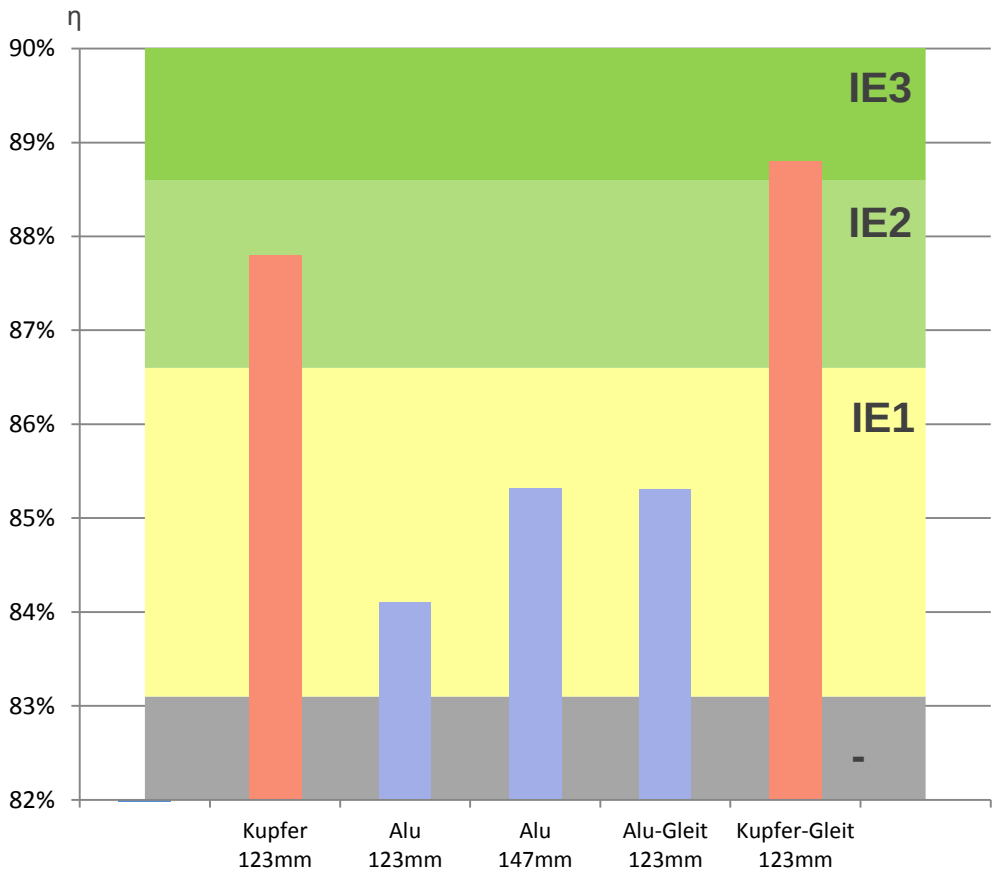
Startornuten: 36

Nennleistung: 4kW



Wicklungsmaterial - Kupfer, hoher Füllfaktor

Motor mit Kupferwicklung und besserem Nutfüllfaktor, Wirkungsgrad 88,8% (**IE3**)



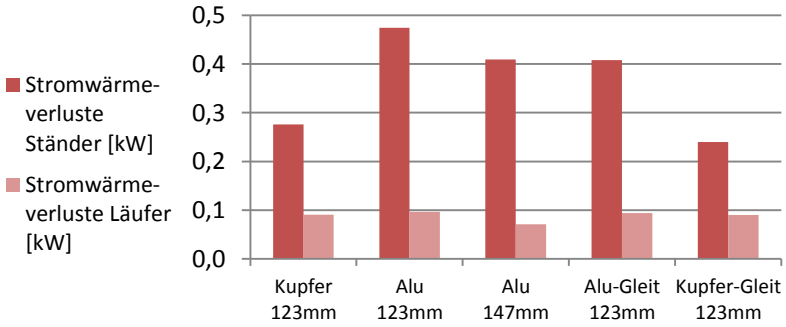
Annahmen in der Auslegung:

Blechpaketlänge: 123mm

Drahtdimension: **0,785mm**

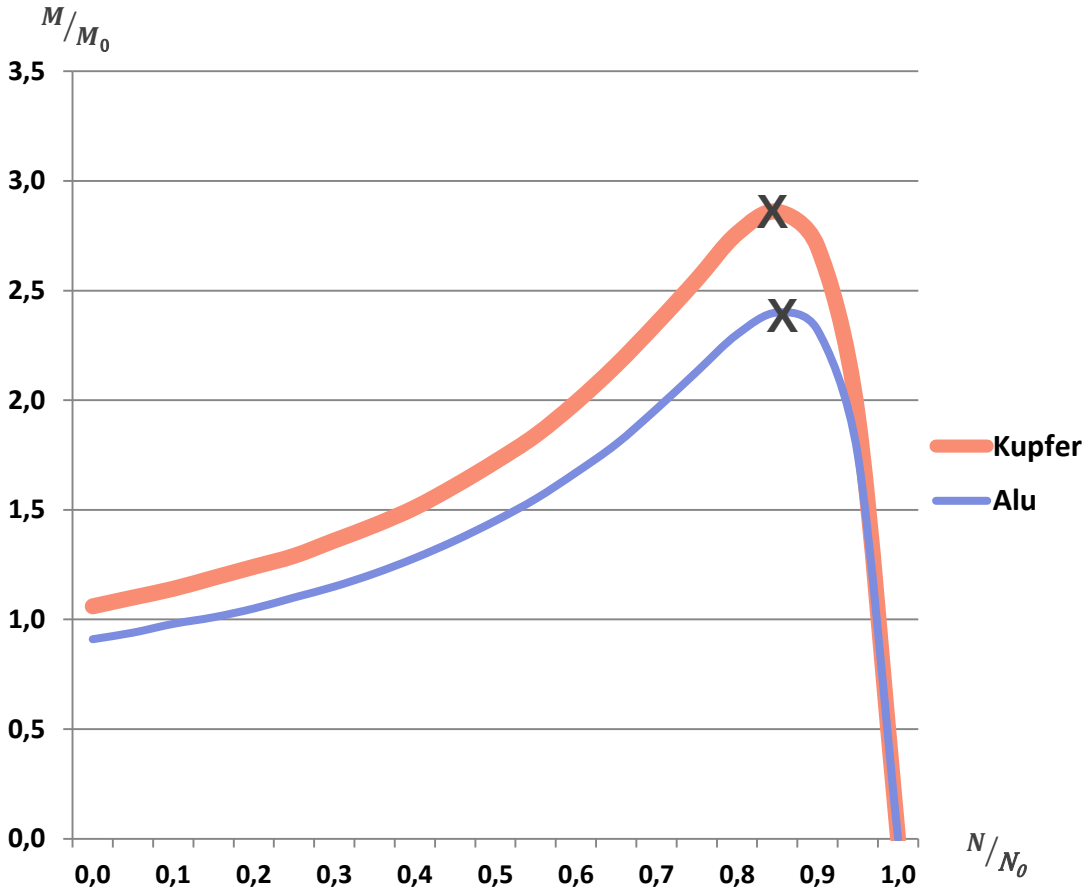
Leiterzahl pro Nut: 28

Nutfüllfaktor: 0,452

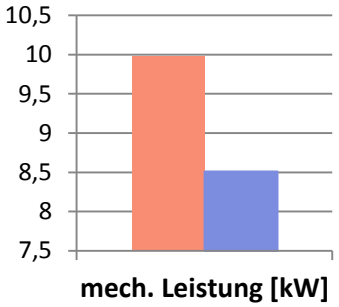


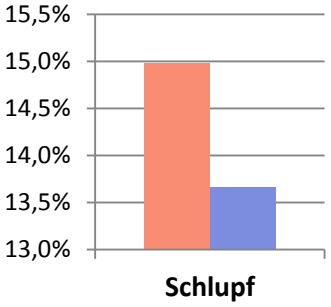
Betriebsverhalten

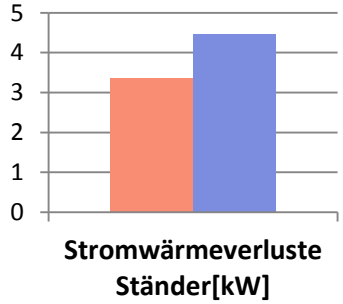
Aluminiumwicklung führt zu schlechterem Überlastverhalten



Betrachtungen im Kipppunkt







Aluminium ist günstiger, Kupfer ist effizienter

Wir betrachten für die Materialkosten ausschließlich die **Aktivkomponenten der Asynchronmaschine**:

Wicklungsmaterial, Aluminiumkäfigläufer, Elektroblech

Folgende Annahmen:

- **Elektroblech: 2€/kg**
- **Kupferwicklung: 7,5€/kg**
- **Aluwicklung: 3,5€/kg**

Permanentmagneterregte Synchronmaschine

Simuliert durch **PMOK, Dipl.-Ing. P. Dück**

Urheber Dipl.-Ing. P. Dück / A. Brune

Copyright IAL Universität Hannover

Prof. Dr. Bernd Ponick

PMSM

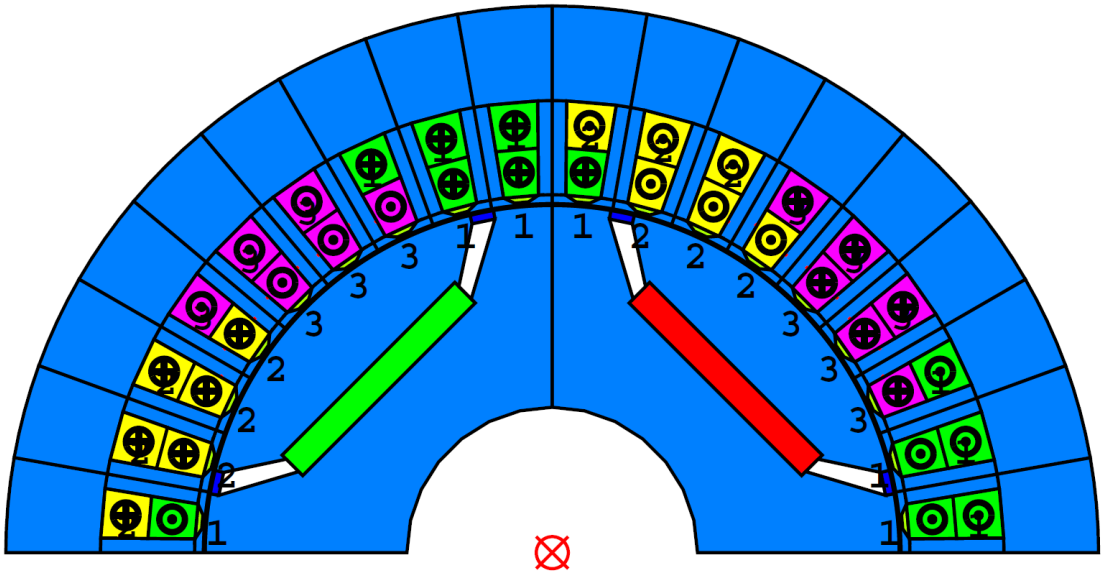
Polpaarzahl: 2

Startornuten: 36

Nennleistung: 4kW

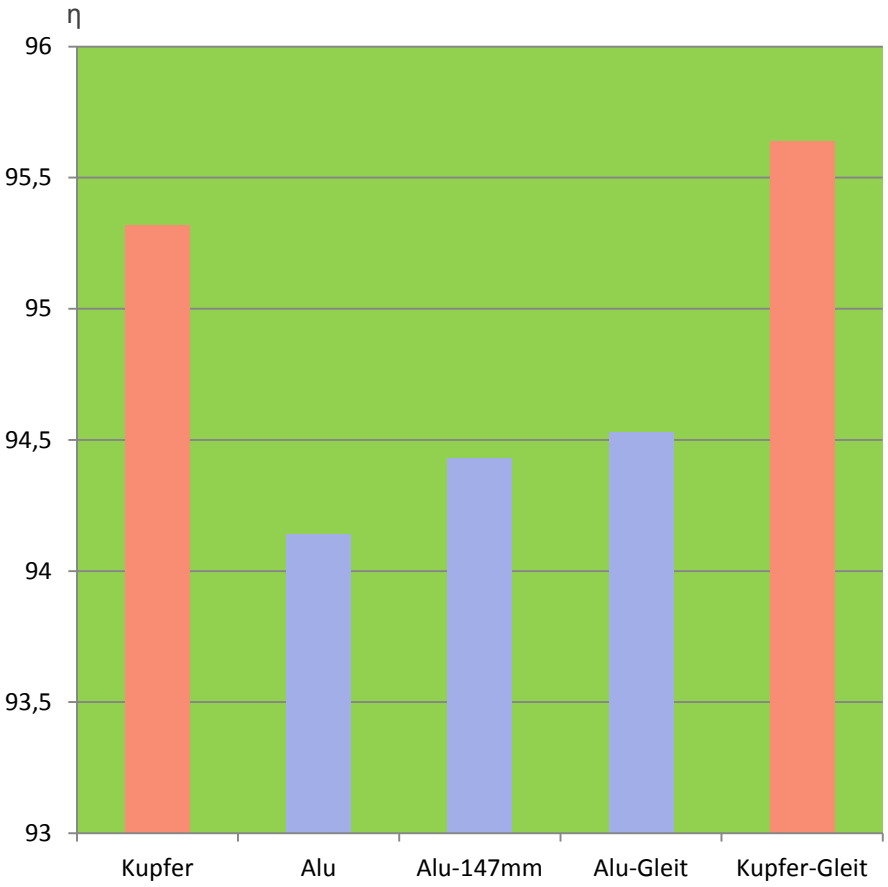
Blechpaket: 123 / 147mm

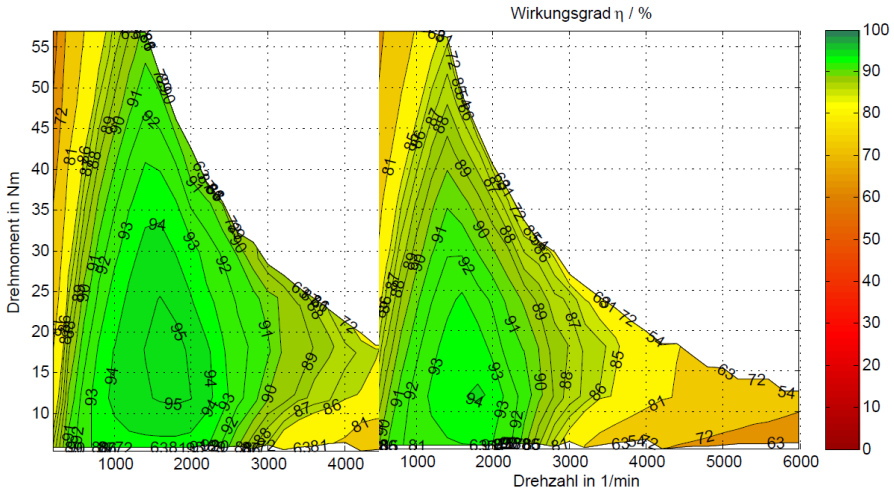
Nutfüllfaktor: 0,39 / 0,45



Varianten der PMSM im Vergleich

Alle Varianten der PMSM haben hohe Wirkungsgrade (**>IE3**)





Kupfer **Alu**

durch Einsatz von Aluminium:

-Wirkungsgradverlust

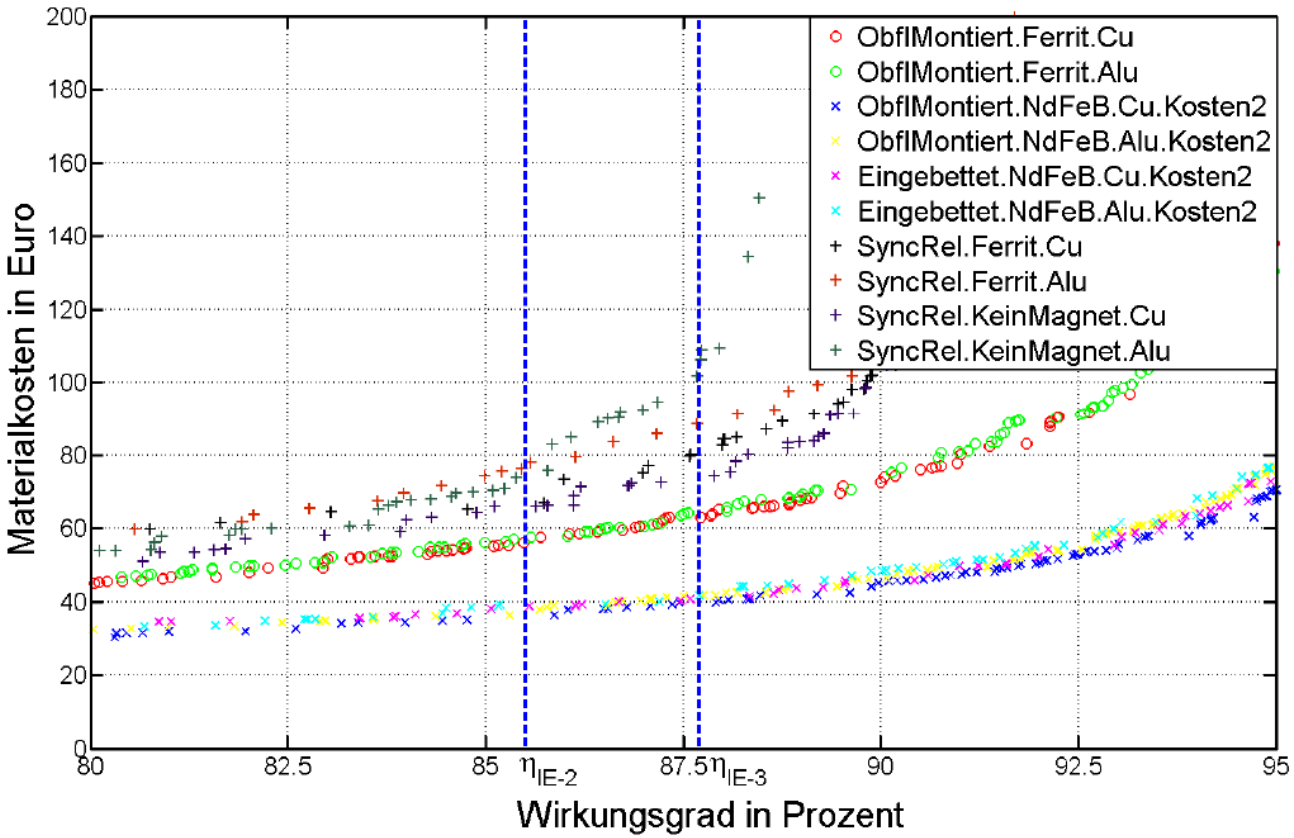
-Veränderungen im Betriebsverhalten

-höhere thermische Belastung

Aluminium ist günstiger, oder?

Die Materialkosten steigen bei gleichem Wirkungsgrad durch den Einsatz von Aluminiumwicklungen

Bramerdorfer (2013). *Comprehensive cost optimization study of high-efficiency brushless synchronous machines*. Kleinmaschinenkolloquium, Ilmenau



Fazit

Aluminium statt Kupfer als Wicklungsmaterial	
bei gleichem Wirkungsgrad	
größere Abmessungen	→ Materialkosten
höhere Wärmeentwicklung	→ Kosten für thermisch beständigeres Elektroisoliersystem → Kosten für Aktivkühlung
bei gleicher Baugröße	
schlechterer Wirkungsgrad	→ entspricht nicht ErP
niedrigeres Drehmoment (Asyn)	→ eingeschränkte Flexibilität
kleinerer Drehzahlbereich (PMSM)	→ eingeschränkte Flexibilität
höhere Wärmeentwicklung	→ Kosten für thermisch beständigeres Elektroisoliersystem → Kosten für Aktivkühlung

In dem betrachteten Beispielen ist Aluminium als Wicklungsmaterial keine Alternative zu Kupfer. Trotz des geringeren Metallpreises führt Aluminium unterm Strich zu teureren Motoren.

Kontakt

Sprechen Sie uns an – Gemeinsam finden wir die Verbesserung für Ihre Anwendung

Fabian Radeck

Forschung & Entwicklung
Email: f.radeck@sh-elektrodraht.de
Telefon: 05281 – 988-342

Herzlichen Dank!