

# UNTERSUCHUNG VON EISENVERLUSTEN VON SMC-KOMPONENTEN FÜR ELEKTRISCHE MASCHINEN

**A. Lange, W.-R. Canders, H. Mosebach**

(Deutsche Kurzfassung des ICEM 2000 – Beitrages: "Investigation of iron losses of soft magnetic powder components for electrical machines")

Moderne elektrische Antriebssysteme werden häufig mit Frequenzen betrieben, die wesentlich höher liegen als die Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz und die Werte von einigen 100 Hz bis zu mehr als 2000 Hz erreichen können. Während die heutigen Leistungshalbleiter diesen Anforderungen ohne weiteres entsprechen können, wird die Frage nach dem Material für den Eisenkern bei diesen Anwendungen zunehmend wichtiger. Dies gilt um so mehr, wenn größere Bereiche mit 3-dimensionaler Flußführung vorliegen, bei denen auch mit besonders dünnen und hoch silizierten Blechen (NKK Super E-Core) nicht alle Aufgaben gelöst werden können. Die SMC-Materialien aus kompaktiertem Eisenpulver gewinnen in diesem Zusammenhang besondere Attraktivität.

Zur Untersuchung der Materialeigenschaften wurden an SMC-Ringen verschiedener Abmessungen Gleich- und Wechselfelduntersuchungen durchgeführt. Die Gleichfeldmessungen wurden auf eine Messung des magnetischen Flusses bei variabler Erregerdurchflutung zurückgeführt. Die erhaltenen Kennlinien zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Katalogwerten des Herstellers und den bei BROCKHAUS Messtechnik durchgeführten Kontrolluntersuchungen. Die maximale relative Permeabilität liegt bei ca. 0,5 T und beträgt bei den untersuchten Proben knapp 500.

Bei den Wechselfeldmessungen sind die sogenannten direkten und die indirekten Messungen zu unterscheiden:

Bei den direkten Messungen wird der Prüfling direkt mit dem Wechselfeld belastet und eine Verlustmessung über die zugeführte Leistung bewirkt. Die erforderliche Magnetisierungsleistung ist bei größeren Abmessungen, Frequenzen und Flußdichteamplituden sehr groß.

Demgegenüber beruhen die indirekten Verfahren auf einer Messung der resultierenden effektiven Leitfähigkeit des Prüflings. Sie wird aus einer geeig-

neten "Transformator-Testeinrichtung" abgeleitet. Der Prüfling wird nur noch einer elektrischen Feldstärke ausgesetzt und nicht mehr mit dem magnetischen Feld beansprucht. Die indirekte Vorgehensweise erfordert nach Kenntnis der Leitfähigkeit zusätzlich eine 2-dimensionale analytische Berechnung der Wirbelstromverteilung über eine eingeprägte Oberflächenfeldstärke und mit Lösungsansätzen, die den rechteckförmigen Ringquerschnitt befriedigen. Die resultierenden Verluste werden durch Integration bzw. über den Poynting-Vektor berechnet. Durch die Art der Ermittlung werden nur die Wirbelstromverluste erhalten, die Hystereseverluste sind separat zu addieren. Die Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der speisenden Quelle sind gegenüber dem direkten Vorgehen deutlich reduziert. Die Ergebnisse sind geeignet, über die gemessenen Prüflinge hinaus auf andere Abmessungen hochzurechnen und können damit einen auch bei den direkten Messungen beobachteten Größeneinfluß auf die Verluste erklären.

Der Größeneinfluß zeigt sich u.a. in den Koeffizienten einer analytischen Approximation (**Tabelle 1**):

$$\rho_{vFe} = \left[ v_H \frac{f}{50\text{Hz}} + v_W \left( \frac{f}{50\text{Hz}} \right)^{x_1} \right] \left( \frac{B_{\max}}{1\text{T}} \right)^{x_2}$$

**Tabelle 1:** Größeneinfluß und Vergleich mit einem Standardblech

Faktor Größe	$v_H$ [W/kg]	$v_W$ [W/kg]	$x_1$ [-]	$x_2$ [-]
"klein"	5,65	<b>0,09</b>	2,05	1,76
"groß"	5,97	<b>0,25</b>	2,12	1,82
0,35 mm Blech	0,58 <sup>*)</sup>	0,32 <sup>*)</sup>	1,77	1,93

<sup>\*)</sup> Epstein-Werte, gegebenenfalls ist ein Bearbeitungsfaktor zu berücksichtigen

Für die "Transformator-Testeinrichtung" wird im Konferenzbeitrag zunächst eine einfache Lösung vorgestellt, bei der Erregerspule, Prüflinge und Sensor-spule auf einem gemeinsamen Schenkel zweier nebeneinander angeordneter Schnittbandkerne sitzen. Weiterhin wird eine Konfiguration diskutiert, bei der Erregerspule und Ringkerne auf verschiedenen Schenkeln angeordnet sind und die Sensorspule im Sinne einer Gegenreihenschaltung geteilt ist. Es kann dadurch im Prinzip eine deutlich größere Meßempfindlichkeit erreicht werden. Es ist weiterhin möglich, eine Kompensation der durch die Prüflinge induzierten Unsymmetrie vorzusehen.

Im Aufsatz wird schließlich über den vorteilhaften Einsatz von SMC-Materialien in Transversalflußmaschinen für Traktionsaufgaben berichtet. In ihnen finden kleinere Statorelemente als auch schalenförmige größere Bauteile Anwendung.