

## **Anmerkungen zum Entwurf von Asynchronmaschinen mit großem Luftspalt**

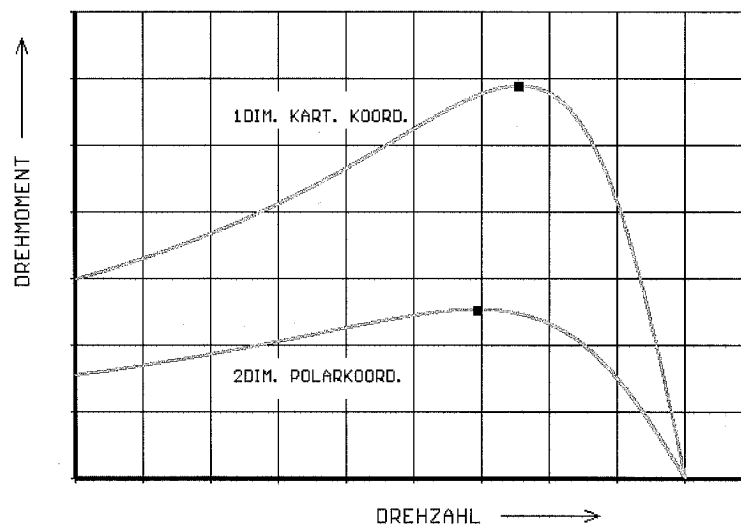
### **H. Mosebach**

Asynchronmaschinen für Standardanwendungen werden üblicherweise mit einem sehr kleinen Luftspalt versehen, um die Magnetisierungsleistung so klein wie möglich zu halten. Man geht dabei häufig bis an die mechanisch noch vertretbare Grenze, wobei Fertigungstoleranzen, Wärmedehnungen und Exzentrizitäten zu beachten sind.

Der Aufwand für die Magnetisierung des Luftspalts ist vor allem vom Verhältnis Luftspalt zu Polteilung abhängig, da die das Luftspaltfeld treibende Durchflutung dem Integral des Strombelags über eine Polteilung entspricht und daher um so leichter aufzubringen ist, je größer die Polteilung ist. Ungünstige Verhältnisse bestehen daher von vornherein bei langsam laufenden und netzgespeisten Maschinen. Als Beispiel seien direkt getriebene Windkraftgeneratoren genannt, bei deren Auslegung man automatisch sowohl zu kleinen Polteilungen als auch zu relativ großen Spalten kommt. Ein großer Spalt ist ebenfalls bei Anwendungen vorzusehen, bei denen die Drehfeldwirkung durch eine Behälterwand hindurch erfolgen soll (Abschirmung chemisch aggressiver Medien, Pumpentechnik, elektrische Isolation).

Es stellt sich die Frage, in wieweit klassische Entwurfstechniken auch bei diesen Spezialfällen erfolgreich sein können. Die klassischen Entwurfsalgorithmen gehen implizit von einer eindimensionalen kartesischen Feldverteilung aus. Bei Maschinen mit großem Luftspalt sind jedoch nennenswerte Feldanteile in Umfangsrichtung zu erwarten, so daß eine genaue Rechnung eine zweidimensionale Behandlung in Polarkoordinaten erfordert. Dies gilt um so mehr, wenn bei kleinen Bohrungsdurchmessern nicht nur ein großer Spalt, sondern auch eine starke Krümmung der Oberflächen zu verzeichnen sind.

Die zweidimensionale Berechnung wird analog zu dem in [1] beschriebenen Verfahren mit der Methode des Vektorpotentials durchgeführt. Die hier im Rotor auftretenden Induktionsvorgänge werden dabei durch Ansätze mit komplexen Lösungen erfaßt. Es soll hier an typischen Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien beispielhaft gezeigt werden, welche Unterschiede zwischen klassischer Behandlung und der genauen Entwurfsrechnung zu erwarten sind. Für beide Fälle ist die gleiche Grundwellenamplitude des Strombelags vorausgesetzt. Der Vergleich ist in **Bild 1** dargestellt.



**Bild 1: Vergleich der Kennlinien bei 1dim.- und 2dimensionaler Feldberechnung**

(Bohrungsdurchmesser  $D_i = 100$  mm, Luftspalt  $\delta = 15$  mm, Polpaarzahl  $p = 3$ )

Es zeigen sich offenbar erhebliche Abweichungen, die durch eine massive Reduktion des Kippmoments und eine deutliche Erhöhung des Kippschlupfes beschrieben sind. Die klassische Vorgehensweise ist demnach im gewählten Beispiel als quasi unbrauchbar anzusehen. Während die zweidimensionale Behandlung stets zu einem reduzierten Kippmoment führt, sind je nach Parameterkombination sowohl erhöhte als auch niedrigere Kippschlupfe zu beobachten.

Weitere Besonderheiten der Asynchronmaschinen mit großem Luftspalt werden offenbar, wenn die Annahme eines eingprägten Stromes verlassen und eine Spannungspeisung angenommen wird, so daß charakteristische Unterschiede in einem Teil der Reaktanzen wirksam werden. Während Nut- und Stirnstreuung praktisch unverändert übernommen werden können, zeigt sich die zweidimensionale Feldverteilung in einer meist deutlichen Erhöhung der Hauptreaktanz, da die Feldanteile in Umfangsrichtung natürlich zur magnetischen Energie im Luftspalt beitragen. Dies gilt um so mehr hinsichtlich der doppeltverketteten Streuung, die nach klassischen Formeln ganz wesentlich zu klein berechnet wird. Es erscheint hier geboten, die doppeltverkettete Streuung ebenfalls zweidimensional unter Berücksichtigung eines individuellen Erhöhungsfaktors für jede Oberwelle zu berechnen oder sogar durch die bei Synchronmaschinen übliche Zahnkopfstreuung zu ersetzen, da sie besser als jene die an den Nutschlitzten austretenden Feldanteile berücksichtigt.

Bei der Anpassung der Maschine an einen Wechselrichter mit vorgegebenen Maximalwerten von Strom und Spannung sind der aus **Bild 1** unmittelbar folgende erhöhte Strombelagsbedarf zur Erzielung des gewünschten Drehmomentes und die erhöhte Gesamtreaktanz zu berücksichtigen. Durch die Kombination beider Effekte führt die klassische Berechnung zu besonders gravierenden Abweichungen, wobei man sich auf der unsicheren Seite befindet. Die Gesamtsituation wird weiter verschärft, wenn in der Nähe der Statoroberfläche ein elektrisch leitfähiges Spaltrohr vorhanden ist.

Seine Wirkungen können jedoch ohne weiteres in ein entsprechend erweitertes zweidimensionales Rechenmodell integriert werden.

[1] H.Mosebach: Einfache analytische Rechenmodelle für permanentmagneterregte Synchronmaschinen, Electrical Engineering, Archiv für Elektrotechnik, Vol. 81 (1998), Heft 3, S. 171-176