

Magnetpulver-Prüfanlagen für große Lagerringe und Getriebe-Komponenten für die Windenergie-Erzeugung

M. Ratmann, F. Bartholomai, V. Schuster, W.A.K. Deutsch
KARL DEUTSCH, Wuppertal

Einleitung

Die Magnetpulver-Prüfung hat sich als hochempfindliche Prüfmethode für ferromagnetische Bauteile zur Auffindung von Oberflächenrissen etabliert. Viele sicherheitsrelevante Massenteile im Automobilbau werden mit Magnetpulver geprüft. Stationäre Anlagen spannen die Bauteile ein und prüfen in einem Schuss die gesamte Bauteiloberfläche. Typische Spannweiten betragen bis zu 900 mm.

Dieser Vortrag soll Prüfkonzepte erläutern, die durch große Bauteilabmessungen davon abweichen. Die Bauteile werden abschnittsweise magnetisiert und mit Prüfmittel benetzt. Eine Relativbewegung zwischen Bauteil und Magnetisierstation erlaubt sodann die Prüfung aller relevanten Oberflächen. Die Prüfmechaniken sind dabei jeweils an die Bauteile angepasst und erlauben einen möglichst hohen Durchsatz.

Prüfaufgabe

Großgetriebe und große Lagerringe werden aufgrund der zunehmenden Anzahl an Windkraftanlagen immer mehr zu einem Massenprodukt. Hierbei werden besonders hohe Ansprüche an die Festigkeit und Betriebsbeständigkeit gestellt. Eine umfassende zerstörungsfreie Kontrolle der Bauteilkomponenten auf fertigungsbedingte Fehlstellen ist daher unerlässlich. Als besonders gefährlich erweisen sich Risse, da diese im beanspruchten Betrieb sehr leicht wachsen können und so zu einem Dauerbruch und zum Versagen des Bauteils führen können. Bisher wurde die Rissprüfung an den Getriebekomponenten (Zahnräder und Lagerringe) zeitintensiv mit Hilfe von Handjochen durchgeführt. Die Prüfung eines Ringes bzw. Zahnrades mit einem Durchmesser von knapp 2 m konnte hierbei durchaus ein bis zwei Stunden in Anspruch nehmen. Aufgrund des gestiegenen Durchsatzes ist eine Automatisierung und somit eine Verkürzung der Prüfzeit solcher Getriebekomponenten bei gleichzeitigem Nachweis von Rissen beliebiger Orientierung gefordert.

Prüfung auf Risse beliebiger Orientierung

Bei Prüfteilen, die in größerer Stückzahl gefertigt werden, darf die Prüfzeit aus Kostengründen nicht zu hoch werden. Es ist also anzustreben, gleichzeitig auf Risse aller vorkommenden Richtungen zu prüfen. Dies kann geschehen durch Kombination zweier Magnetisierverfahren mit unterschiedlichen Richtungen, z.B. Felddurchflutung und Stromdurchflutung oder Felddurchflutung mit durchgestecktem Leiter und Induktionsdurchflutung, um die häufigsten Kombinationen zu nennen.

Es nützt nichts, wenn der gleiche Strom z.B. zuerst eine Spulenmagnetisierung und auf seinem Rückweg eine Stromdurchflutung (oder umgekehrt) bewirkt, *Bild 1*, gleichgültig, ob es sich um einen Gleich- oder Wechselstrom handelt, *Bild 2*. Dabei steht das magnetische Gesamtfeld zwar schräg und Längs- und Querrisse sind anzeigbar, schräg liegende Risse parallel zu diesem Magnetfeld sind jedoch nicht aufzufinden.

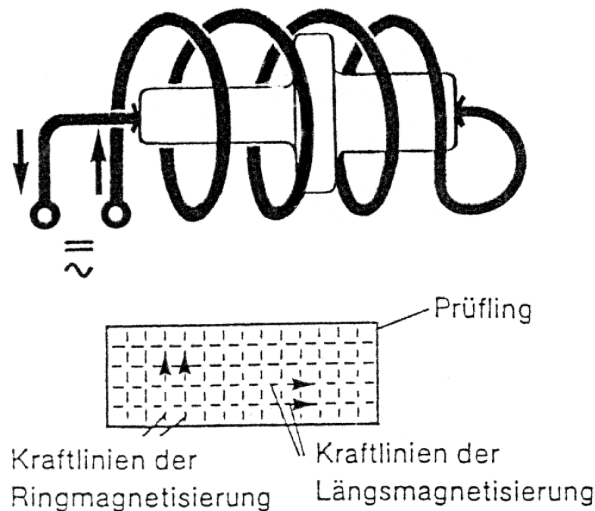


Bild 1: Gleicher Strom für Längs- und Ringmagnetisierung: Unvollständige Prüfung

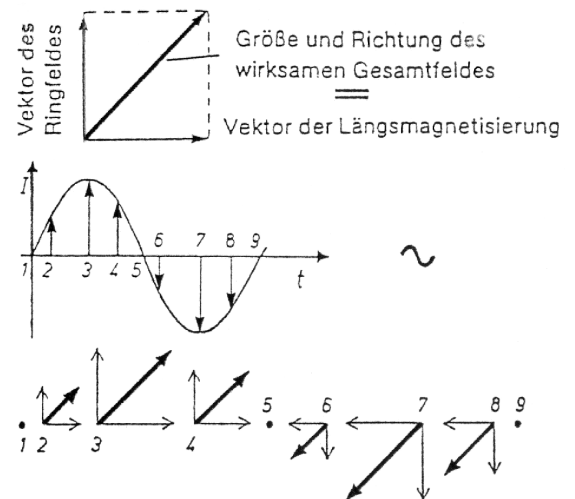


Bild 2: Unveränderte Schräglage des resultierenden Feldes bei Gleich- und Wechselstrom

Wichtig ist vielmehr, dass das aus den Einzelkomponenten zusammengesetzte magnetische Feld im Laufe der Zeit seine Richtung ändert, d.h. hin und her pendelt oder umläuft. Dies kann erreicht werden durch die Kombination eines Gleich- und eines Wechselfeldes (Pendeln), bzw. zweier phasenverschobener Wechselfelder (Umlaufen), Bild 3. Bei letzterem wäre ein exakt kreisförmiger Umlauf, d.h. gleiche Stärke in beiden Richtungen, zu erreichen bei einer Phasenverschiebung von einer Viertelperiode (90°) gemäß Bild 3; dies wäre technisch aber zu aufwendig. Im Drehstromnetz wird jedoch eine Phasenverschiebung von 120° (Drittelperiode) angeboten, die einen elliptischen Umlauf bewirkt, Bild 4, wobei die mit der Richtung schwankende Stärke des Magnetfeldes in dem unkritischen Bereich von 2 - 6 kA/m sicher aufgefangen wird.

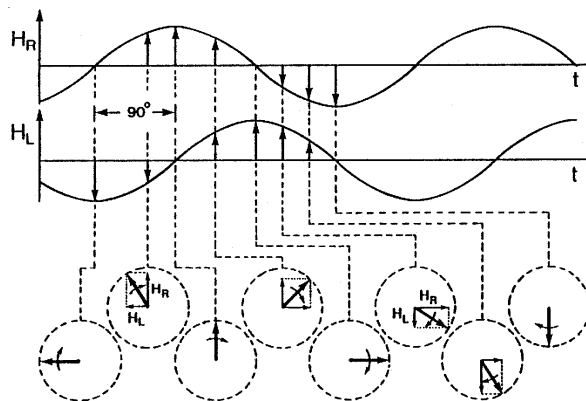


Bild 3: Umlaufen des resultierenden Feldes bei $\Delta\varphi = 90^\circ$

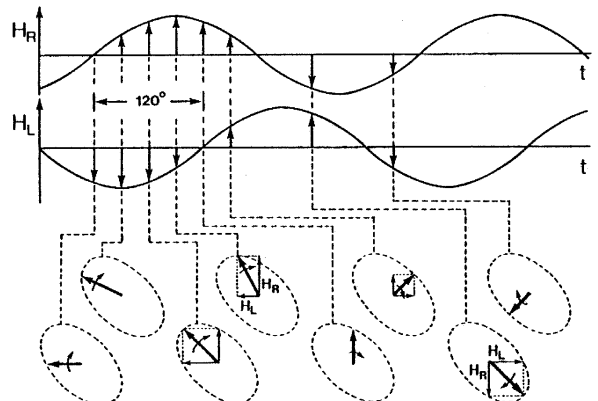


Bild 4: Elliptischer Umlauf bei $\Delta\varphi = 120^\circ$

Für die Prüfung von Getriebekomponenten und Lagerringen von Anlagen zur Windenergie-Erzeugung bedeutet dies, dass die magnetisierenden Felder sowohl senkrecht aufeinander stehen und zusätzlich mit phasenverschobenen Strömen angeregt werden müssen. Dies kann auf unterschiedliche Art erfolgen.

Prüfung großer Lagerringe

Für Lagerringe bis zu einem Durchmesser von 2600 mm wurde folgendes Prüfkonzept entwickelt. Die Lagerringe werden unter einem kleinen Winkel schräg stehend auf einer

Rollenaufgabe positioniert (s. *Bild 5*). Dies hat den Vorteil, dass die Anlage mit einem Kran leicht beladbar ist. Durch die Schräglage und passive Stützrollen erlangt der zu prüfende Ring eine stabile und kippsichere Position. Die Drehung der Ringe erfolgt über zwei angetriebene gummierte Walzen, deren Auflagenhöhen über Spindeln motorisch verstellbar sind. Die hierdurch mögliche schnelle Anpassung an unterschiedliche Ringdurchmesser führt zu sehr kurzen Umrüstzeiten. Fünf Duschen sorgen für eine gleichmäßige Benetzung des Ringes mit Magnetpulver-Prüfmittel bevor der Ringabschnitt den Prüfbereich passiert.

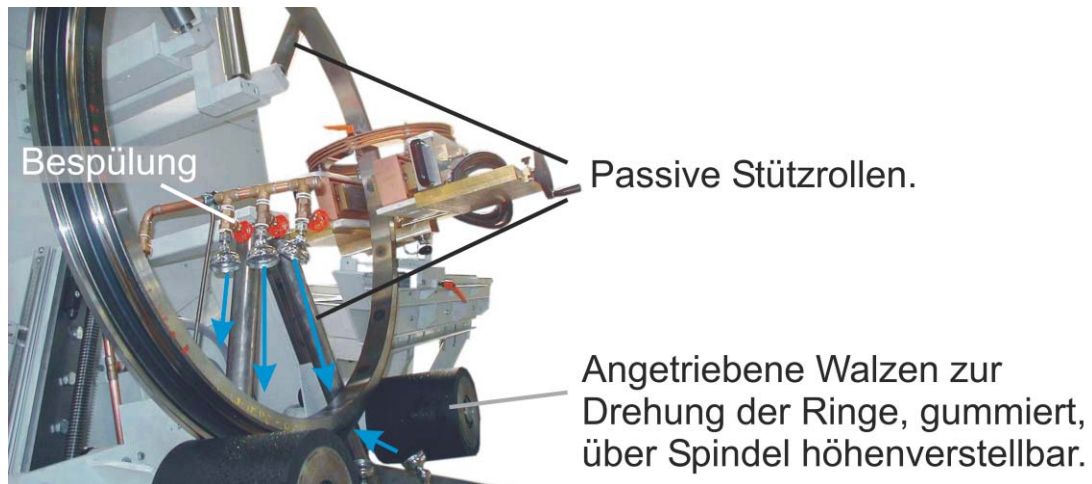


Bild 5: Konzept zur Prüfung von Lagerringen bis 2600 mm Durchmesser.

Zur kombinierten Magnetisierung und somit zum Nachweis beliebiger Rissorientierungen in einem Prüfdurchgang sind zwei Magnetfelder notwendig deren Feldorientierungen senkrecht aufeinander stehen. Diese beiden senkrecht zueinander stehenden Magnetfelder werden zum einen von einer Klappspule und zum anderen von einem Joch erzeugt. Die Klappspule generiert ein Magnetfeld in Umlaufrichtung des Ringes - Feld H_1 in *Bild 6* - und das Joch generiert ein Feld in axialer Richtung - Feld H_2 in *Bild 6*. Die Prüfzeit für einen Lagerring beträgt maximal 40 Sekunden und fällt bei kleineren Durchmessern geringer aus.

Durch den Verzicht auf eine Stromdurchflutung besteht keine Gefahr von Brandstellen. Außerdem erfolgt die Magnetisierung durch die Klappspule und das Joch berührungslos, so dass der Ring die Prüfzone problemlos passieren kann.

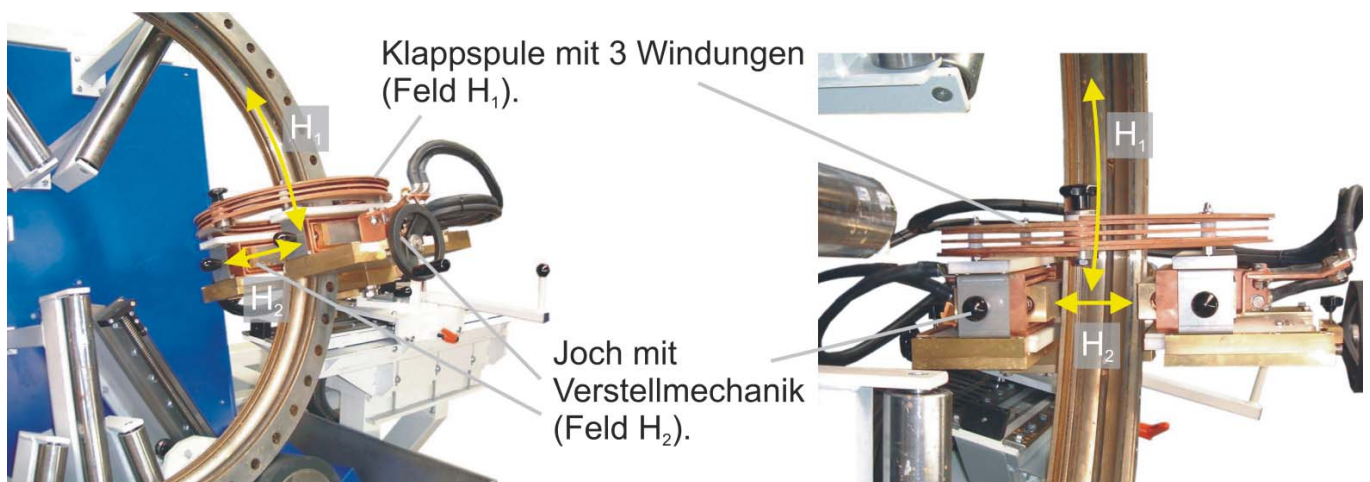


Bild 6: Spulenanordnung zur kombinierten Magnetisierung.

Prüfung von Getriebekomponenten

Neben dem variierenden Durchmesser kommt bei den Getriebekomponenten noch die Schwierigkeit hinzu, dass diese eine Verzahnung aufweisen, die sich entweder an der Innenseite oder an der Außenseite befindet. Außerdem können diese Komponenten ein Gewicht von 2000 kg und einen Durchmesser von 1700 mm erreichen. Aufgrund der möglichen Verzahnung an der Außenseite kann nicht auf eine stehende Prüfanordnung, vergleichbar den Lagerringen, zurückgegriffen werden. Die Prüfung erfolgt daher liegend auf einer Zentriervorrichtung welche das Zahnrad während der Prüfung dreht.

Da insbesondere die Verzahnung rissfrei sein muss und sich die Zähne sowohl auf der Innenseite als auch auf der Außenseite des Ringes befinden können, wurden bei der Realisierung der Prüfeinrichtung zwei unterschiedliche Konzepte zur kombinierten Magnetisierung berücksichtigt.

Außenverzahnung

Mit Hilfe eines Horizontaljochs wird ein Magnetfeld in Umlaufrichtung des Zahnrades erzeugt (Feld H_2 in *Bild 7*). Aufgrund des Skin-Effektes bei der Magnetisierung mit Wechselfeldern wird erreicht, dass die Magnetisierung dem geometrischen Verlauf der Zähne folgt und es können Risse an jeder Stelle des Zahnes bis in den Grund hinein nachgewiesen werden. Die zu H_2 senkrechte Magnetisierung wird mit einem Vertikaljoch erzeugt (Feld H_1 in *Bild 7*). Durch eine Verstellmechanik kann das Vertikaljoch an die unterschiedlichen Dicken der Zahnräder angepasst werden. Die Besprühung des Bauteils erfolgt über Düsen. Jede einzelne Düse lässt sich mit Hilfe eines Ventils steuern. Zur Reduzierung der Taktzeit kann die Betrachtung des Bauteils bereits während der Prüfung erfolgen.

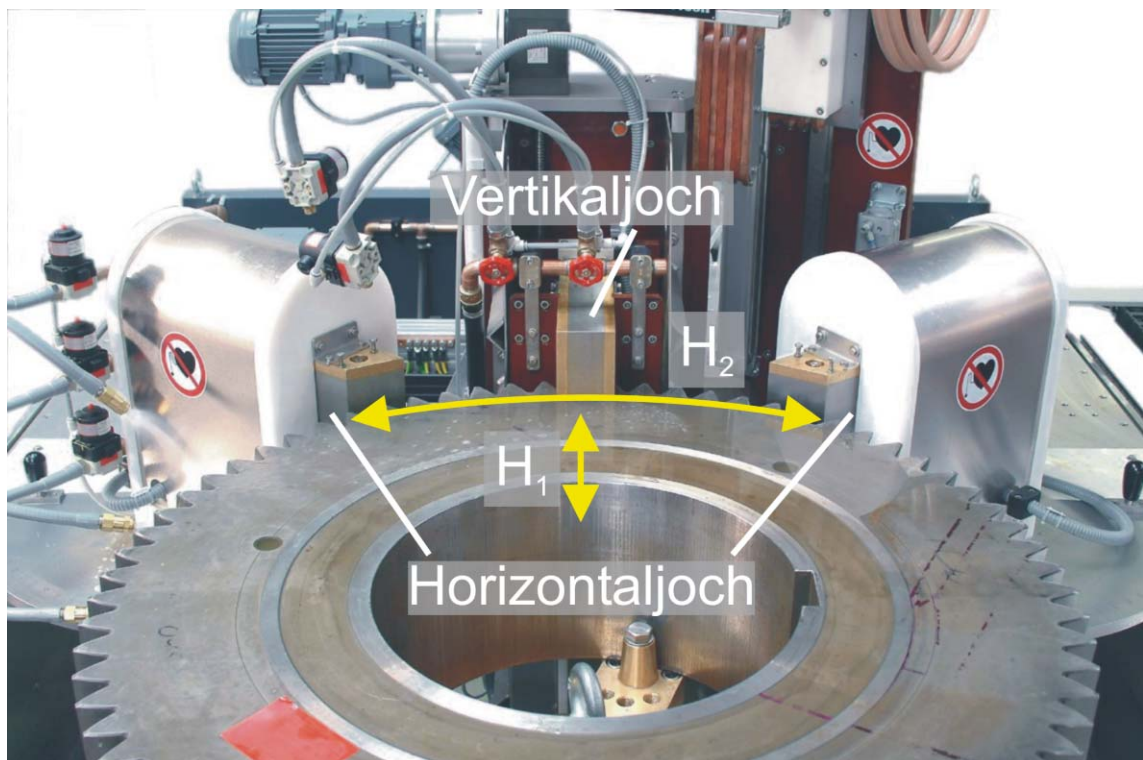


Bild 7: Rissprüfung bei vorliegender Außenverzahnung.

Innenverzahnung

Bei der Prüfung der Innenverzahnung kann auf das gleiche Vertikaljoch zur Erzeugung des axial verlaufenden Feldes H_1 (s. *Bild 8*) zurückgegriffen werden. Das Horizontaljoch kann hierbei nicht zum Einsatz kommen und wird daher zur Seite gefahren. An dessen Stelle tritt eine Klappspule, die ein Feld H_2 (s. *Bild 8*) in umlaufender Richtung erzeugt. Die dreiarmige Zentriervorrichtung dreht das Zahnrad durch die Klappspule und am Vertikaljoch vorbei. Bei einer Drehung von 360° muss die Prüfung 3 mal unterbrochen und die Klappspule kurz geöffnet werden, so dass einer der drei Arme der Zentriervorrichtung die Klappspule passieren kann. Dies geschieht vollautomatisch. Bereits während der Drehung, spätestens jedoch nach einer vollen Umdrehung des Teils erfolgt die Betrachtung durch den Prüfer (Rissuche).

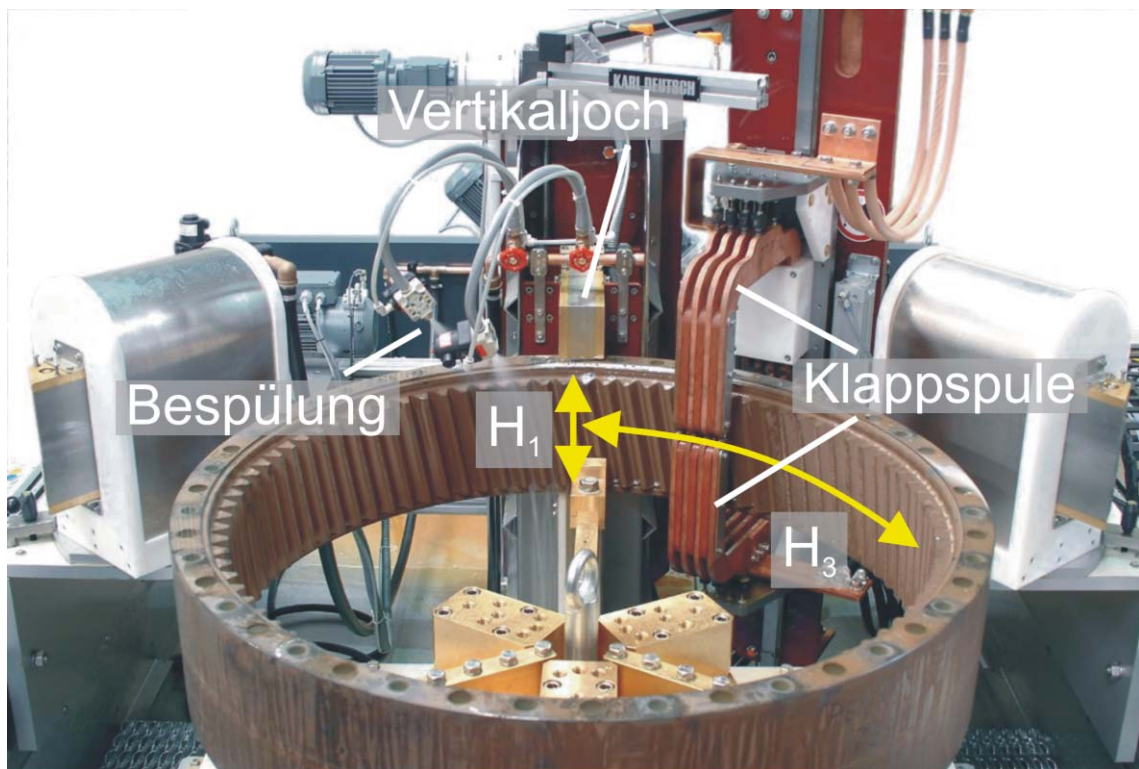


Bild 8: Rissprüfung bei vorliegender Innenverzahnung.

Bei diesem Konzept wird eine Taktzeit (Beladen, Prüfen, Betrachten und Entladen) unter 10 Minuten erreicht.

Zusammenfassung

Es wurden zwei automatisierte Prüfkonzepete für die Magnetpulver-Prüfung großer Komponenten, wie sie in der Windenergie-Gewinnung Verwendung finden, vorgestellt. Bei deren Entwicklung wurde auf kurze Prüf- und Umrüstzeiten geachtet. Durch die Automatisierung konnte die Taktzeit von ein bis zwei Stunden (Prüfung mit Handjoch) auf wenige Minuten reduziert werden. Durch die Magnetisierung mit zwei senkrecht zueinander orientierter Felder kann eine kombinierte Magnetisierung durchgeführt werden, so dass Risse beliebiger Orientierungen nachweisbar sind.