



Gründe für den Ausfall von rotierenden Maschinen

Rotierende Maschinen wie Motoren und Generatoren sind wichtige Komponenten in der Energieerzeugung und für den industriellen Anwendungsbereich. Es werden daher höchste Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit dieser Betriebsmittel gestellt. Ein vorzeitiger Ausfall kann zu unerwarteten Betriebsunterbrechungen und möglichen Schäden an der Maschine führen, was erhebliche wirtschaftliche Verluste nach sich zieht.

Eine effektive Wartungsplanung ist auf präzise Zustandsinformationen angewiesen. Nur so kann sicher festgestellt werden, wann Maschinenkomponenten überholt oder ausgetauscht werden müssen.

Gründe für den Ausfall von rotierenden Maschinen

Für die Bewertung von wichtigen Maschinenkomponenten gibt es mehrere Verfahren und Berechnungen. Am praktischsten ist die Auswertung von Umfragen über die Erfahrungen verschiedener Maschinenbetreiber aus unterschiedlichen Segmenten. Ein Beispiel hierfür ist die Umfrage zu Ausfällen von Wasserkraftgeneratoren der Arbeitsgruppe CIGRE A1.10. Das Ergebnis der Umfrage wird in Abbildung 1a gezeigt. Laut 16 Betreibern mit einer Gesamtflotte von 1.199 Wasserkraftgeneratoren weltweit waren Schäden an der Isolierung die häufigste Ursache für einen Ausfall der Maschinen. Schäden an der Isolierung haben spezifische Ursachen, die in Abbildung 1b dargestellt werden. Wir erklären, wie diese häufigen Probleme in elektrischen rotierenden Maschinen gemessen und ermittelt werden.

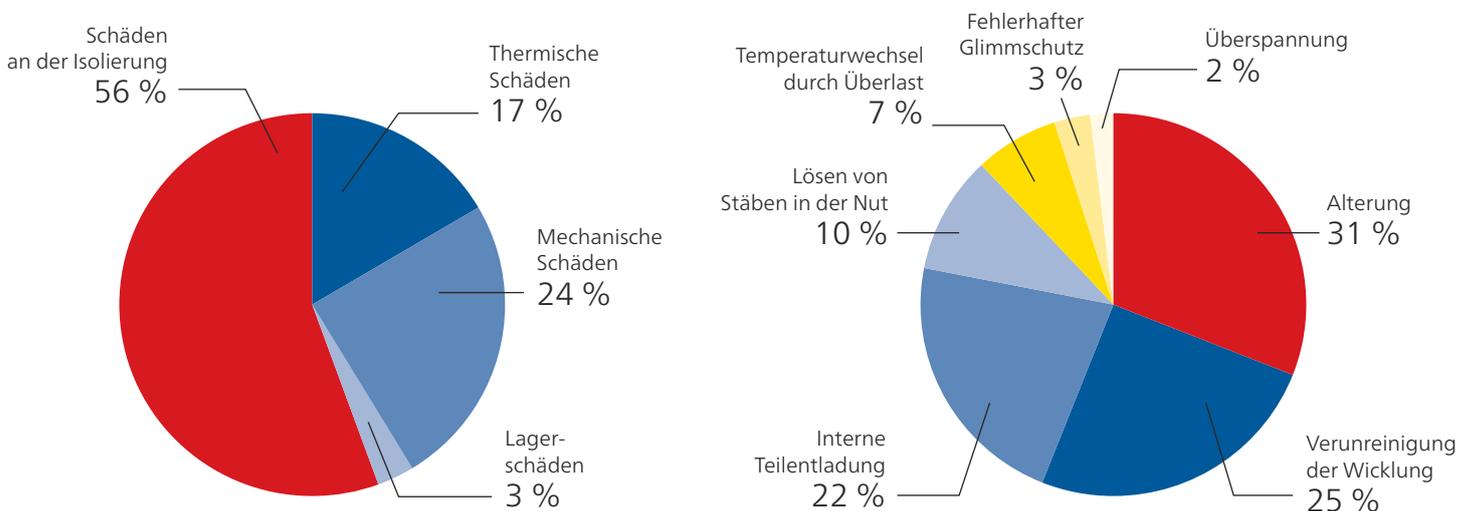


Abbildung 1a (links): Umfrage zu spezifischen Ursachen für den Ausfall von Wasserkraftgeneratoren

Abbildung 1b (rechts): Ursachen für Schäden an der Isolierung

Quelle: Brüttsch et al. „Insulation Failure Mechanisms of Power Generators“, DEIS Juli/August 2008

Kombinierte Beanspruchung an der Isolierung – TEAM

Während ihrer Nutzungsdauer unterliegen rotierende Maschinen sehr vielen regelmäßigen und kontinuierlichen Stressfaktoren, wie thermischen und elektrischen Beanspruchungen, Umgebungsbeanspruchungen und mechanischen Beanspruchungen, die zusammen mit TEAM abgekürzt werden.

- > **T**hermal – thermische Beanspruchung: Viele Temperaturschwankungen führen zu einer vorzeitigen Alterung der Isolierung.
- > **E**lectrical – elektrische Beanspruchung: Spannungsbelastung und Teilentladungen (TE) während des Betriebs beanspruchen die Isolierung kontinuierlich.
- > **A**mbient – Umgebungsbeanspruchung: umfasst Feuchtigkeit, aggressive und reaktive Chemikalien (Gas, Säuren) und Fremdkörper (Metallteile, Asche, Kohlenstoff, Schmiermittel).
- > **M**echanical – mechanische Beanspruchung: elektrotechnische Kräfte in der Nut und im Bereich des Wickelkopfs sowie unterschiedliche thermische Ausdehnung.

Aufbau der Isolierung

Die Isolierung von rotierenden MS- und HS-Maschinen muss der elektrischen Feldstärke standhalten, die mechanische Stabilität gewährleisten und die Wärme vom Kupfer zum Kühlsystem der Maschine ableiten. Aus diesem Grund verwenden Hersteller oft eine Verbundisolierung wie in Abbildung 2. Die Haupt- oder Wandisolierung besteht aus Glimmer mit einem Epoxidharz. In diesem Bereich gibt es die höchste elektrische Beanspruchung. Zusätzlich hat die Isolierung leitende oder halbleitende Schichten, um definierte Potentiale auf Berührungsflächen zwischen unterschiedlichen Materialien sicherzustellen. Ein Beispiel hierfür ist der Außenglimmschutz, der ein ausgeglichenes Erdpotential auf der Oberfläche der Isolierung sicherstellen soll. Größere Maschinen haben auch einen Endenglimmschutz und oftmals einen Innenglimmschutz.

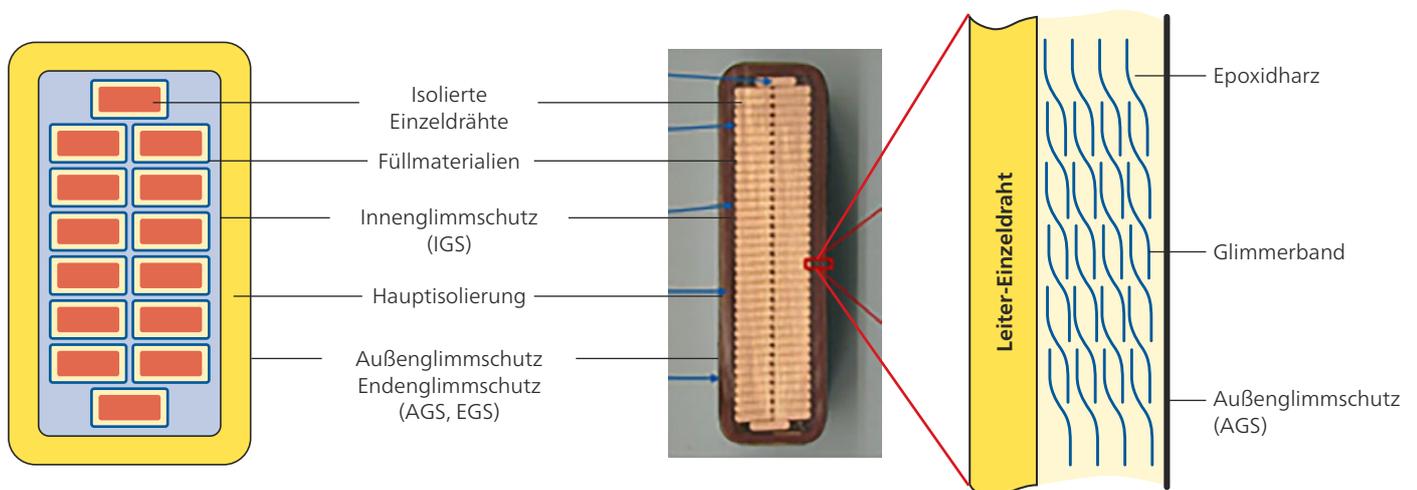


Abbildung 2: Aufbau der Isolierung einer Hochspannungsmaschine

Häufige Fehler in der Wandisolierung in Ständerwicklungen

Hohlräume

Eine bestimmte Anzahl an Hohlräumen und Micro Voids in der Epoxid-/Glimmer-Isolierung entsteht während des Herstellungsverfahrens und ist normal. Da jeder Hersteller unterschiedliche Herstellungsverfahren hat, schwankt auch die Anzahl dieser kleinen Fehler in neuen Maschinen. Weitere Hohlräume entstehen im Laufe der Zeit aufgrund der zuvor erwähnten TEAM-Beanspruchungen.

Kleinen Hohlräumen im Laufe der Zeit standzuhalten, ist für eine ordnungsgemäß hergestellte Isolierung kein Problem. Dennoch sind diese Micro Voids eine Quelle für Teilentladungen, die zu einem größeren Schaden in der Isolierung führen können. Ein solcher Schaden entwickelt sich über einen langen Zeitraum. Deshalb sollte der Status dieser Teilentladungen regelmäßig geprüft werden.

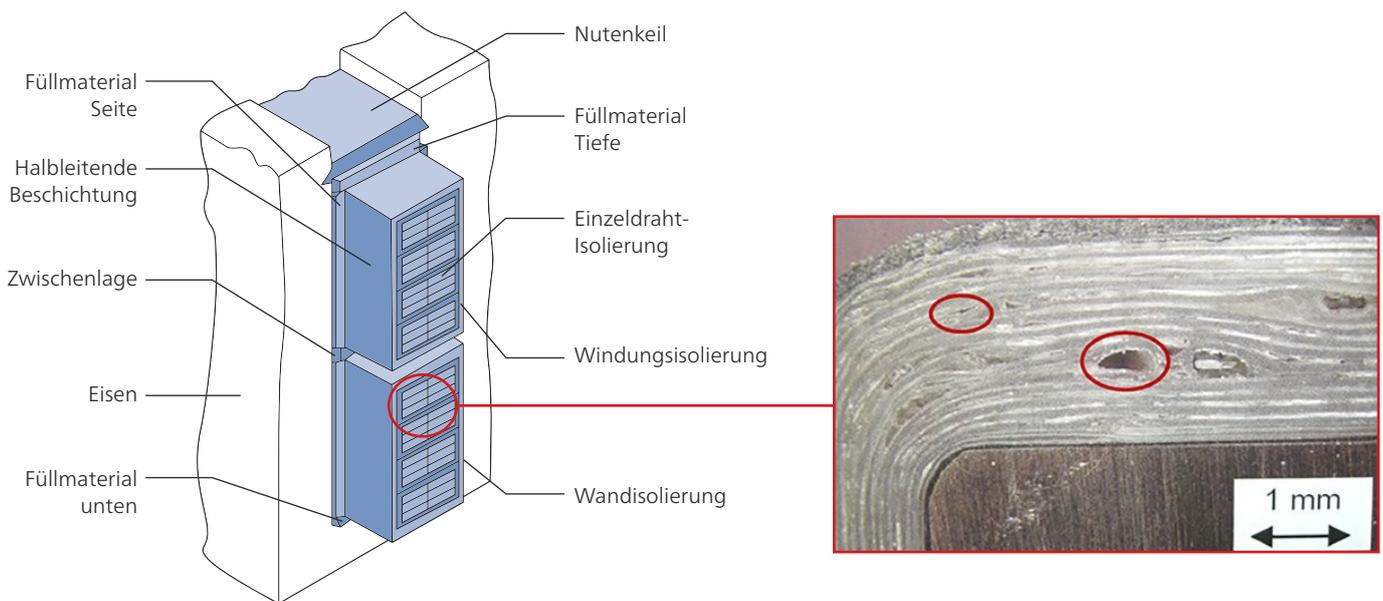


Abbildung 3: Aufbau der Isolierung und mikroskopische Ansicht von großen Hohlräumen in der Wandisolierung
 Quelle: Vogelsang et al. „Performance testing of high voltage generator and motor insulation“, Dez. 2005

Schichtspaltung

Bei der Schichtspaltung, auch als Abspaltung bekannt, bilden sich in der Isolierung sehr viele Hohlräume zwischen den Isolierungsschichten. Darüber hinaus kann die Schichtspaltung auch zwischen dem Kupfer und der Hauptisolierung auftreten.

Im Vergleich zu den Micro Voids verursacht die Schichtspaltung eine höhere TE-Aktivität. Dies ist im Wesentlichen auf mechanische Spannungen zurückzuführen, die durch die unterschiedlichen Materialien und/oder einen Temperaturwechsel während des normalen Betriebs verursacht werden.

Lose Spulen oder Stäbe

Elektromechanische Kräfte interagieren kontinuierlich mit der Wicklung. Die Wicklung löst sich, wenn die Befestigung der Wicklung im Laufe der Zeit mangelbehaftet ist oder nicht richtig angebracht wurde. So wird der Außenglimmschutz angegriffen und abgenutzt. Wird der Fehler nicht entdeckt, verschlechtern Schwingungen ebenfalls die Hauptisolierung, was zu einem Ausfall der Maschine führt. Der Fehler hat eine charakteristische TE-Signatur und kann mit TE-Messungen ermittelt werden.

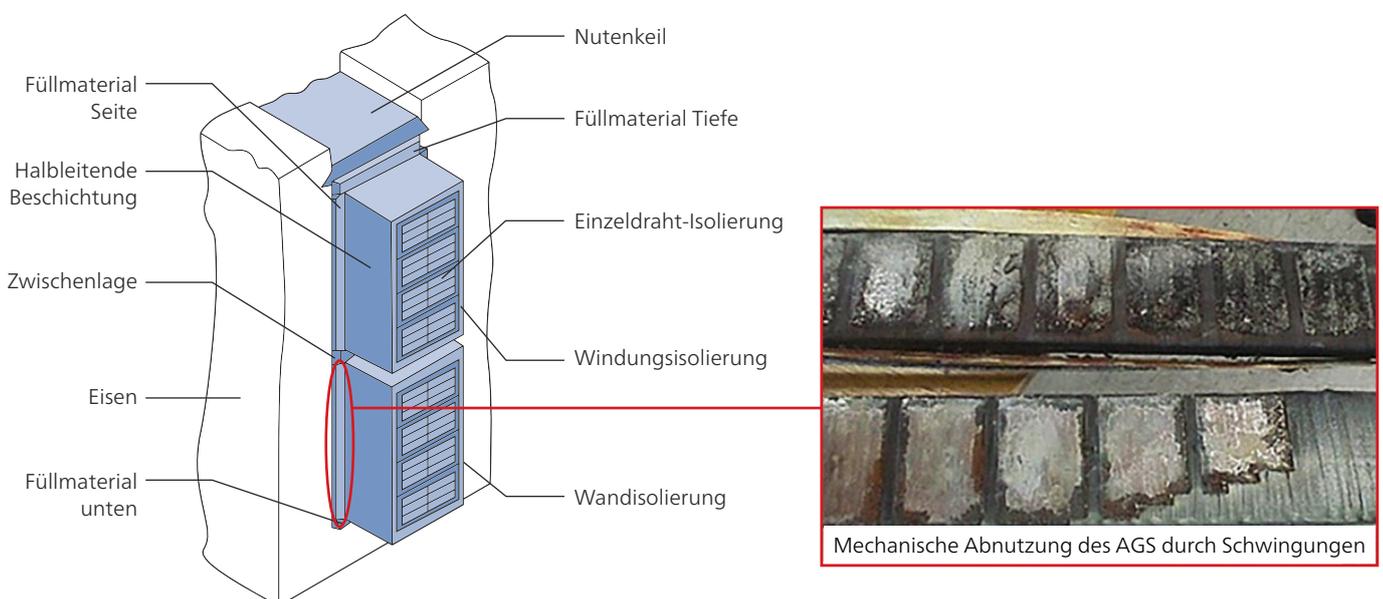


Abbildung 4: Aufbau der Isolierung und typische Symptome eines schwingenden Stabs.

Verunreinigung und fehlerhafte Abstände im Bereich des Wickelkopfs

Probleme bei der Herstellung, wie zum Beispiel fehlerhafte Abstände (Phasentrenner) oder die Verunreinigung von Wicklungen, verursachen TE-Aktivität im Bereich des Wickelkopfs. Andere häufige Probleme in diesem Bereich der Wicklung sind schwache Verbindungen zwischen zwei Potentialglättungen, zwischen Außen- und Endenglimmschutz. Ein Beispiel für die Verunreinigung und die TE-Aktivität wird im Folgenden gezeigt (Abbildung 5).

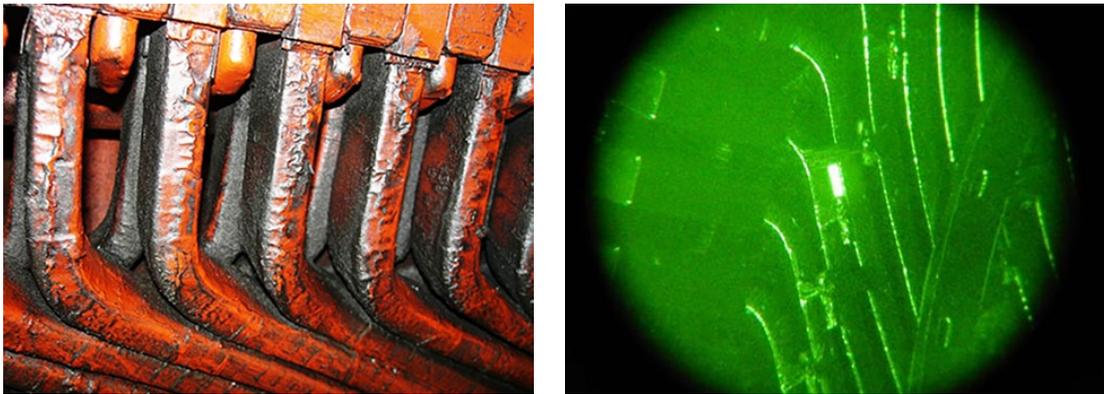


Abbildung 5: Beispiele für die Verunreinigung und TE-Aktivität im Wickelkopfbereich

Die zuvor besprochenen Probleme betreffen die Hauptisolierung. Andere Komponenten in rotierenden Maschinen sind außerdem von anderen Problemen betroffen. Beispiele:

- > Windungsschlüsse
- > Verbindungsprobleme (Kontaktprobleme)
- > Unterbrochene parallele Einzelleiter
- > Fehlerhafte Lötstellen

Verlängerung der voraussichtlichen Nutzungsdauer

Wie jedes andere Betriebsmittel im Stromnetz haben rotierende Maschinen eine bestimmte voraussichtliche Nutzungsdauer. Wie zuvor erwähnt, reduzieren negative Einflüsse, wie z. B. thermische und mechanische Beanspruchungen, Umgebungsbeanspruchungen oder elektrische Beanspruchungen die Nutzungsdauer erheblich.

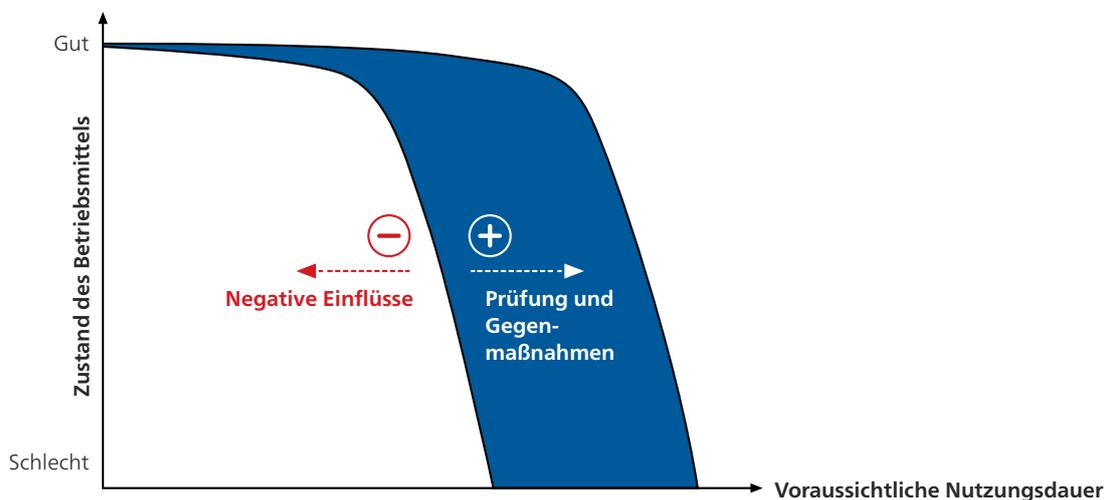


Abbildung 6: Ideales Konzept für die Verlängerung der Nutzungsdauer mit zustandsabhängiger Instandhaltung

Um die zuvor erwähnten Ausfälle von rotierenden Maschinen zu verhindern, sind regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen wichtig. Mit verschiedenen Diagnosemessungen können Sie dieses Risiko bewerten und die Instandhaltung basierend auf dem Zustand der Maschine richtig planen.

Prüfungsübersicht

In der folgenden Tabelle finden Sie eine Übersicht über die häufigsten Probleme und die elektrischen Prüfverfahren, mit denen die Probleme ermittelt werden können.

Geprüfter Maschinenteil	Zu prüfender Teil	Empfohlene elektrische Prüfungen												
Ständerwicklung	Teilentladungen (TE)	■	■	■										
	Verunreinigung	■	■	■		■							■	
	Verschleiß der Isolierung	■	■	■		■							■	
	Verbindungsprobleme				■									
	Integrität der Isolierung				■	■							■	
	Probleme mit Verbindungen							■						
	Windungsschlüsse												■	
Läuferwicklung	Windungsschlüsse									■		■		
	Kontaktwiderstand								■					
Ständerkern	Schlüsse im Blechpaket													■

Tabelle 1: Häufige Probleme in elektrischen rotierenden Maschinen und Prüfverfahren für die Ermittlung