

# *Whitepaper*

## Teilentladung von elektrischen Antriebssystemen



**Dr. Bruno Basler | Head of R&D Pre-Development  
Dunkermotoren GmbH**

**Aufgrund steigender Energieeffizienzmaßnahmen für Betriebsmittel und Regelsystemen von elektrischen Antrieben werden zunehmend Schaltnetzteile und Frequenzumrichter eingesetzt. Durch die Umrichter gibt es höhere Spannungsspitzen, die zu Teilentladungen führen können und somit die Lebensdauer der elektrischen Maschinen deutlich verkürzen.**

Die Teilentladung ist kein kontinuierlicher Vorgang. Wie der Name bereits ausdrückt, ist der elektrische Durchschlag nicht vollständig, sondern die Entladung findet nur teilweise aufgrund Überbrückung der Isolation statt. Erst ab einer bestimmten Spannung kommt es zu ersten Entladungen und nach einer Hysterese, bei reduzierter Spannung setzt dieser Effekt wieder aus. Die Ursachen und die Entwicklung der Teilentladung hängen sehr stark von der Art des Dielektrikums bzw. des isolierenden Mediums und dem strukturellen Aufbau der Isolierung ab. Besonders Inhomogenitäten in der Isolationsstruktur durch Fremdstoffe, Verunreinigungen und Gaskavitäten im Herstellungsprozess können Teilentladungen begünstigen. Auch im Betriebszustand beispielsweise durch mechanische und temperaturabhängige Einflüsse, Verformungen und Vibrationen können durch die wirkende Spannung Teilentladungen in der Isolierung entstehen.

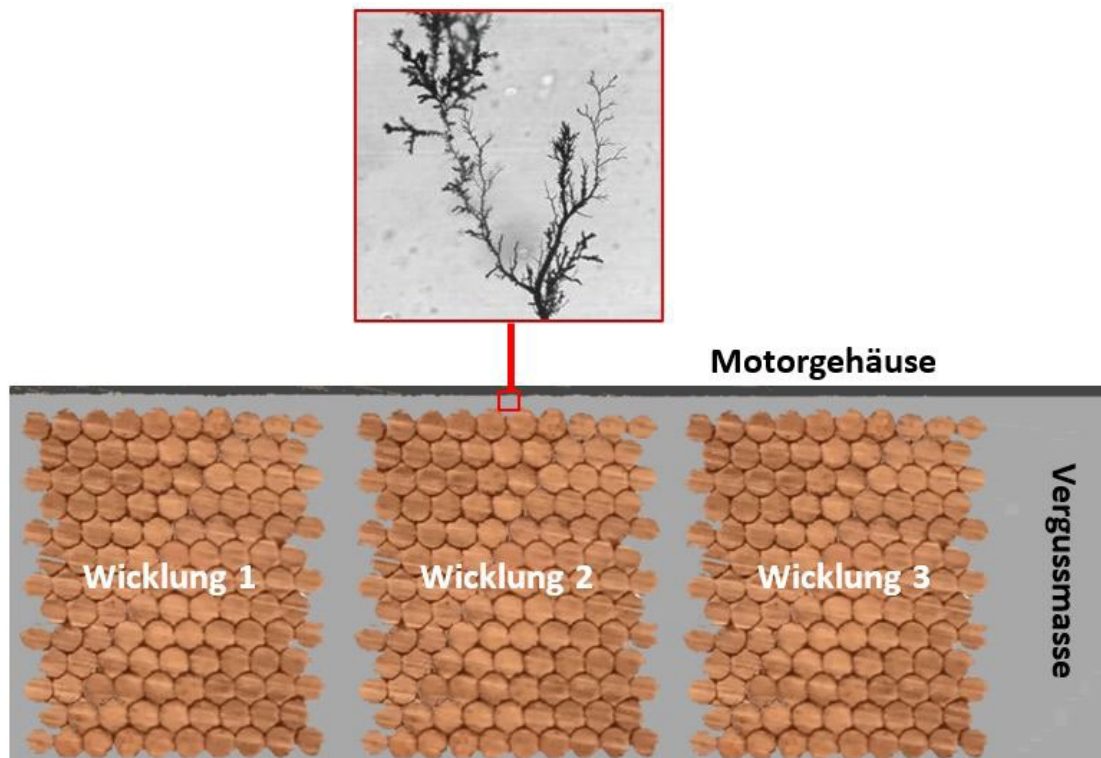
Die zunehmenden Anforderungen an feste Isolationssysteme von elektronischen und elektrischen Komponenten bzw. Betriebsmitteln mit kompakter Bauweise und bei steigenden Schaltfrequenzen der Halbleiter erfordern den Einsatz teilentladungsfreier sowie teilentladungsfester Isoliermaterialien und Verbundwerkstoffen. Dies gilt insbesondere für elektrische Komponenten in drehzahlverstellbaren Antrieben. Die Lackdrahtisolierungen von Antrieben werden mit der doppelten Zwischenkreisspannung beansprucht. Als eine der Ursachen für die schädigende Spannungsüberhöhung ist die Überlagerung der reflektierenden Spannungswelle mit der Versorgungsspannung aufgrund des Impedanzunterschiedes zwischen Kabel und Motor zu nennen. Die rechteckförmige Betriebsspannung mit hohen Schaltfrequenzen erzeugt hohe Spitzenpegel und steile Anstiegsflanken, die zusammen zur Erzeugung von Teilentladungen und beschleunigter Alterung von Isolationssystemen führen. Auch bei der Überwachung der Produktqualität in der Fertigung durch die Typ- und Stückprüfung und zur Lebensdauerabschätzung von Isolationssystemen spielt die Teilentladungsmesstechnik und -diagnostik eine immer bedeutendere Rolle. Nach der IEC 60270 respektive der VDE 0434 ist die Teilentladung (TE) wie folgt definiert: „Örtlich beschränkte elektrische Entladung, welche die Isolierung zwischen Leitern nur teilweise überbrückt und welche angrenzend an einen Leiter auftreten kann, aber nicht muss“<sup>1</sup>.

Für die Qualitätskontrolle des Isolationssystems von elektronischen oder elektrischen Komponenten und Systemen können kurzzeitige TE-Messungen als zerstörungsfreie Prüfverfahren herangezogen werden. Auch bei Applikationen im Niederspannungsbereich, insbesondere bei elektrischen Motoren können Teilentladungen vorkommen. Hierbei handelt es sich überwiegend um innere Teilentladungen (Gasentladungen umgeben von einem festen Isolierstoff), welche infolge der stetigen Zersetzung des Isolationsmaterials eine beschleunigte Alterung und damit Schwächung bzw. Ausfall des Isolationssystems verursachen.

Für die Erzeugung von Teilentladungen müssen die folgenden drei Bedingungen erfüllt sein:

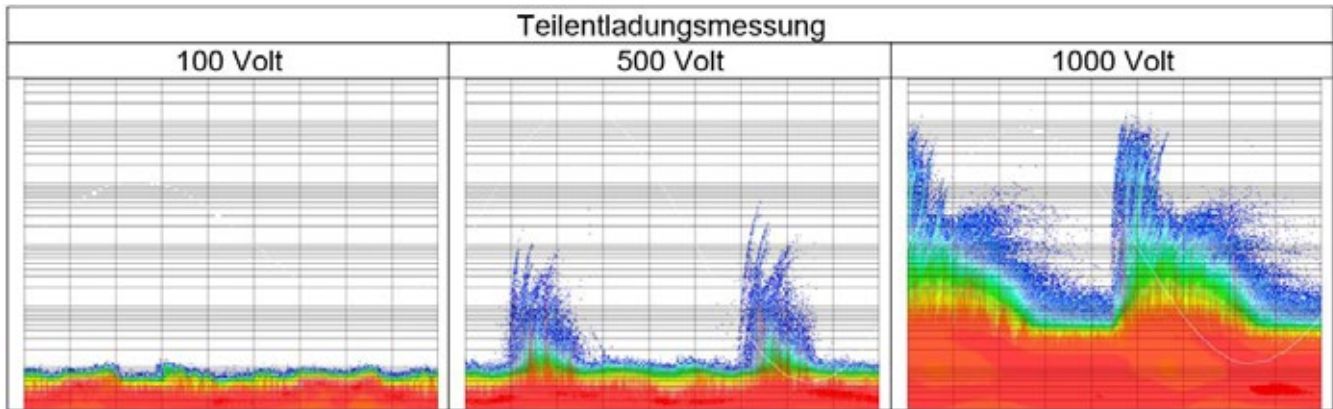
- » Eine ausreichend hohe elektrische Feldstärke, um eine Ionisierung zu verursachen
- » Ein Startelektron muss vorhanden sein
- » Ein Rückkopplungsmechanismus, der den Lawineneffekt aufrechterhält

Eine Teilentladung in einem gasförmigen Medium erfordert eine niedrigere Spannung gegenüber einer Flüssigkeit oder einem festen Fremdeinschluss. Diese Gaskavitäten sind somit die wahrscheinlichste Ursache für die Zerstörung der Isolation. In dem Isolationsmaterial wird aus einem vorhandenen Hohlraum eine baumartige Struktur gebildet, welche unter dem Einfluss des elektrischen Feldes und der Entladungen weiter anwachsen. Diese Verästelungen erhöhen die Leitfähigkeit und führen zu einer fortschreitenden Zerstörung des Dielektrikums, wie nachfolgende Abbildung zeigt.



Die auftretende Teilentladung ist eine physikalische Größe, welche mit Hilfe verschiedener Messverfahren erfasst werden kann. Bei der klassischen Hochspannungsprüfung mit Wechselspannung werden nur typische Durchschläge zwischen dem beschädigten Leiter und dem Motorgehäuse betrachtet. Fehlerhafte Isolation wird daher durch die Hochspannungs- und Stoßspannungsprüfung nicht erkannt. Die Teilentladungsmessung ist in der Lage Isolationsschwächen zu erkennen. Die Teilentladung entsteht wie bereits erwähnt an Stellen, wo sehr hohe Spannungsunterschiede vorliegen.

Wird die Spannung erhöht, die kritische elektrische Feldstärke überschritten und ein freies Elektron ist vorhanden, so kommt es nun zu Entladungen. Je größer der Hohlraum umso wahrscheinlicher ist eine Teilentladung. Die symmetrischen Fingerstrukturen, wie nachfolgend von einem elektrischen Antrieb dargestellt, sind sehr typisch für Hohlraumentladungen.



Die Entladung eines Hohlraumes kann aber auch zu mehreren Entladestrukturen (Fingern) führen. Dies hängt von der Geometrie, Feldverteilung, Permittivität und weiteren Faktoren ab. Die Hohlraumentladungen finden bei der größten Spannungsänderung statt. Die Folge dieser Teilentladung ist eine langsame, aber stetige Zerstörung der noch funktionsfähigen Isolierung. Diese kontinuierliche Vergrößerung der Schwachstelle führt zwangsweise zu einem Volldurchschlag der elektrischen Maschine und somit zur Zerstörung.

Teilentladungen spielen als Fehlerquelle in Mittel- und Hochspannungsanlagen eine bedeutende Rolle und können nahezu jedes Betriebsmittel oder jede Anlage in der elektrischen Energietechnik betreffen. Eines der wichtigsten Elemente der Konstruktion von elektrischen Maschinen ist die Isolierung der Wicklungen, um die Dauerfestigkeit gegenüber Teilentladung zu gewährleisten. Die frühe Erkennung in der Entwicklungsphase und die Vermeidung von Teilentladungen ist daher unverzichtbar und Teil der Qualität eines elektrischen Antriebs, um eine lange Lebensdauer sicherzustellen.

<sup>1</sup> IEC; DIN EN 60270 (VDE 0434):2016-11, Hochspannungs-Prüftechnik, Teilentladungsmessung, 2016.

Ihr Kontakt für Public Relations:  
 Janina Dietsche | [janina.dietsche@ametek.com](mailto:janina.dietsche@ametek.com)  
 Tel.: +49 (0)7703/930-546