

Technische Information

Schwachlast

Neben Schwingungen, Rundlaufabweichungen und Umwelteinflüssen, ist eine falsche elektrische Belastung von Kohlebürsten einer der Spitzenreiter in der Hitliste möglicher Gründe für Kohlebürstenprobleme.

In dieser technischen Information wird diese Problematik erläutert, die Gründe für Probleme durch zu geringe elektrische Belastung erläutern und Abhilfemaßnahmen empfehlen. Die durch zu geringe elektrische Auslastung hervorgerufenen Probleme sind auch regelmäßig Diskussionspunkte in Seminaren und werden häufig falsch gedeutet.

Besonders für dieses Problem gilt unsere Regel :

"Die Kohlebürste ist ein Anzeigeelement für den Maschinenzustand."

Die richtige Interpretation von Kollektoroberfläche und Kohlebürstenlauffläche kann helfen, Probleme frühzeitig zu erkennen, Maßnahmen einzuleiten und Schäden zu vermeiden.

Definitionen

Eine elektrische Maschine ist unterbelastet, wenn sie unterhalb ihres Nennlastbereiches betrieben wird. Unterschieden werden muss zwischen temporärer und permanenter Unterbelastung

Von allen Komponenten eines Motors oder Generators sind die Kohlebürsten und Kommutatoren bzw. Schleifringe die einzigen Teile, die durch permanente Unterlast negativ beeinflusst werden, im Extremfall sogar bis zur dauerhaften Beschädigung. Die elektrische Belastung von Kohlebürsten wird in Strom pro Fläche, also A/cm^2 oder A/in^2 ausgedrückt.

Technische Information

Für jede Gruppe von Werkstoffen existiert ein Bereich optimaler Belastbarkeit

Werkstoff-Klasse	min. Dauerstromdichte A/cm² (A/in²)	opt. Dauerstromdichte A/cm² (A/in²)	max. Dauerstromdichte A/cm² (A/in²)	Kurzzeitige Überlast A/cm² (A/in²)
Metall Graphit (30 – 75%)	12 (77)	15 – 20 (97 - 129)	25 (161)	40 (258)
Metall Graphit (über 75%)	15 (97)	25 – 30 (161 - 193)	35 (226)	50 (322)
Elektrographit	4 (25)	10 – 12 (64 - 77)	16 (103)	30 (193)
Harzgebundene Graphite	1 (6)	6 – 8 (39 - 52)	10 (64)	14 (90)
Pechgebundene Graphite	3 (19)	6 – 8 (39 - 52)	10 (64)	12 (77)

Für hohe Dauerstromdichten und Überlast muss auch der Stromseilquerschnitt entsprechend ausgelegt sein !

Technische Information

Die Berechnung der Stromdichten erfolgt nach den folgenden Formeln

Formel	Beispiel
<p>Spez. Stromdichte Schleifringe</p> $S = \frac{I}{N \times t \times a}$ <p>I = Stromstärke [A] N = Anzahl Kohlebürsten t = tangenciales Bürstenmaß [cm] a = axiales Bürstenmaß [cm] S = Stromdichte [A/cm²]</p>	<p>Turbogenerator 1000A – 2 Ringe a 10 KB's , d.h. Berechnung mit 10 Bürsten – 32 x32 x64mm³</p> $\frac{1000A}{10 \times 3.2cm \times 3.2cm} = 9.7A / cm^2$ <p>Asynchron-Schleifringläufer 500A . 3 Ringe a 5 KB's, d.h. Berechnung mit 5 Bürsten – 40 x 20 x 40 mm³</p> $\frac{500A}{5 \times 4cm \times 2cm} = 12.5A / cm^2$

Technische Information

Spez.Stromdichte DC Maschinen	
$S = \frac{I}{(N / 2) \times t \times a}$ <p> I = Stromstärke [A] N = Anzahl Kohlebürsten (gesamter Motor) t = tangenciales Bürstenmaß [cm] a = axiales Bürstenmaß [cm] S = Stromdichte [A/cm²] </p>	<p>1000 A – 6 polig a 5 KB's, d.h. 30 Bürsten, d.h. Berechnung mit 15 Bürsten 20 x 32 x 50 mm³</p> $\frac{1000A}{15 \times 2cm \times 3.2cm} = 10.4A / cm^2$ <p>1000A – 4 polig a 5 Tandembürsten , d.h. 20 Bürsten, Berechnung mit 10 Bürsten 12,5 x 32 x 50mm³ Tandembürsten, d.h. das Gesamt t-Maß ist 25mm</p> $\frac{1000A}{10 \times 2,5cm \times 3,2cm} = 12.5A / cm^2$

Technische Information

Ursachen und Auswirkungen

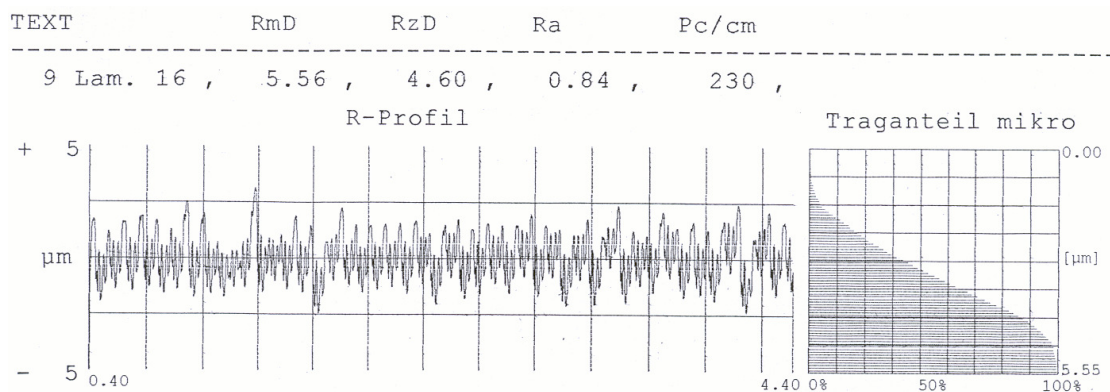
Folgende Probleme treten bei niedriger Belastung / Temperatur auf:

- Schlechte Filmbildung
- Bürstenschwingungen
- Riefenbildung
- Anstieg des Kohlebürstenverschleißes

Die elektrische Belastung ist eng mit der Oberflächentemperatur des Kollektors gekoppelt. Die Temperatur an der Kollektor-Oberfläche wird vor allem durch die elektrischen Verluste in der Kontaktfläche Kohlebürste / Kollektor bestimmt. Niedrige Auslastung ist daher gleichbedeutend mit niedrigen elektrischen Verlusten und niedriger Oberflächentemperatur.

Schlechte Filmbildung , Bürstenschwingungen

Das Kollektorkupfer wird durch den Luftsauerstoff ständig oxidiert. Im optimalen Temperaturbereich (60 - 90 °C) wird die Kommutator-Oberfläche dadurch im mikroskopischen Bereich aufgeraut. Man kann sich bildhaft vorstellen, dass sich in den "Tälern" dieser Berg- und Tallandschaft der Kohlenstoff aus den Kohlebürsten ablagern und sich ein kohlenstoffhaltiger Film ausbilden kann. Die Färbung dieses Films hängt u.a. von der Oberflächenrauigkeit und dem verwendeten Werkstoff ab.

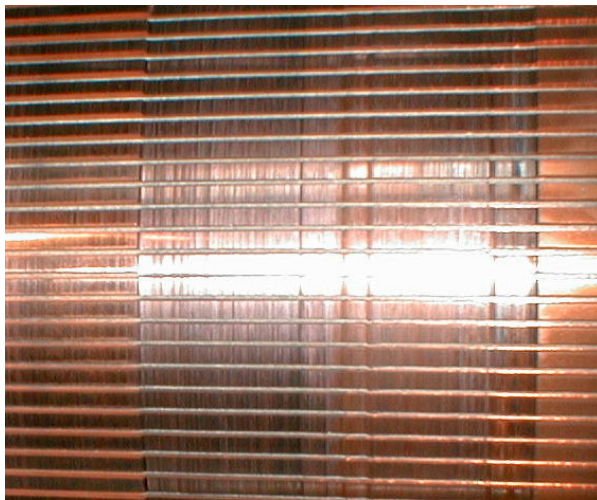


Technische Information

Bei niedrigen Temperaturen ($<40^{\circ}\text{C}$) ist diese "natürliche" Oxidation weniger ausgeprägt, die Oberfläche wird durch die Kohlebürsten mehr und mehr geglättet. Der Film wird dünner, bis er im Extremfall ganz verschwindet. Dann besteht die Gefahr des bahnenweisen Ring- bzw. Kommutatoreinlaufes.

Aufgrund des geringen Graphitanteils in diesem Stadium, steigt der Reibwert der Kohlebürsten an und es können Bürstenschwingungen mit den bekannten Folgeerscheinungen auftreten: Brechen der Stromseile, Brechen der Kohlebürsten, Zerstörung von Halterkomponenten etc. Der höhere Reibwert führt auch zu einem Anstieg des Kohlebürstenverschleißes.

Riefenbildung

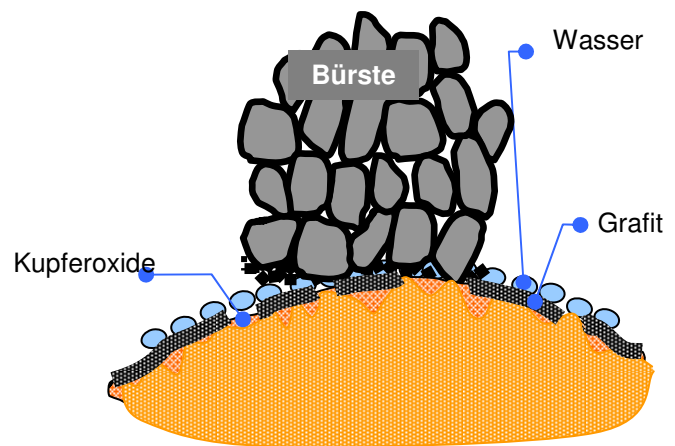


Die durch Unterlast hervorgerufene Riefenbildung hat ziemlich komplexe Ursachen. Wir wollen im folgenden versuchen, die Zusammenhänge möglichst einfach und bildhaft zu erklären. Experten mögen die wissenschaftlich vielleicht nicht ganz korrekte Darstellung entschuldigen.

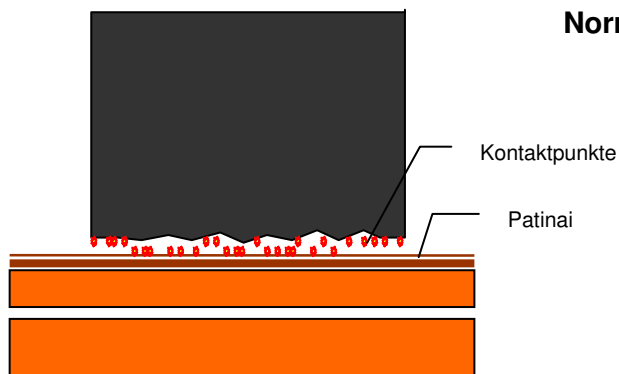
Technische Information

Neben Kohlenstoff sind Kupferoxide der wesentliche Bestandteil des Filmes auf Kommutatoroberflächen. Allgemein werden diese Oxidschichten auf Kupfer auch Patina genannt.

Kupferoxid Cu_2O ist ein Halbleiter. Bei niedriger Oberflächentemperatur, z.B. hervorgerufen durch geringe Auslastung, ist der Widerstand in der Patina hoch. Bei Stromfluss bilden sich in der Schicht metallische Brücken, sogenannte Frittstellen, welche die Stromleitung übernehmen. Je höher die Temperatur, desto mehr Kanäle bilden sich und desto größer sind die Kanäle. Man nimmt an, dass bei normaler Auslastung ca. 20 Frittstellen pro cm^2 vorhanden sind. Bei niedriger Belastung sind es nur etwa 5.

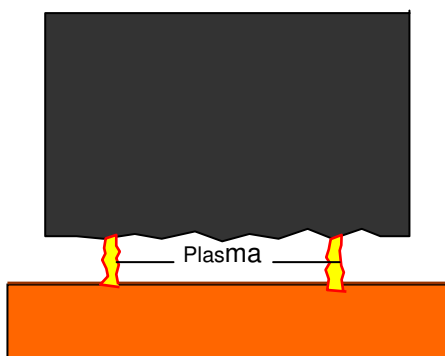
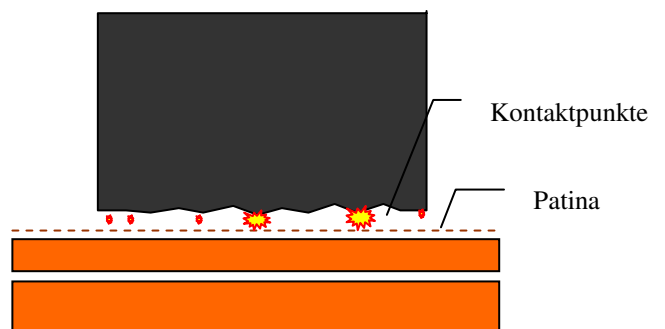


Technische Information



Normale Bedingungen

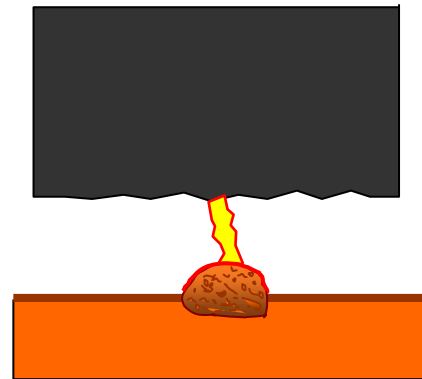
Da bei Unterlast die Anzahl der Frittstellen geringer ist, wird die Strom auf nur wenige Kanäle verteilt.



Lokal kann es zu Überlastungen und Lichtbögen in diesen Kanäle kommen.

Technische Information

Örtlich schmilzt das Kupfer an der Kommutatoroberfläche

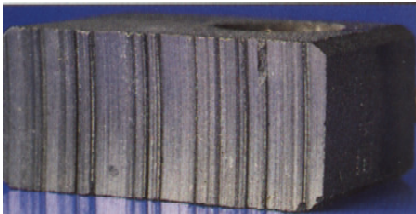


Kupferpartikel lösen sich aus der Oberfläche...

... einzelne Teilchen gelangen in die Bürstenlauffläche und es kommt zur Riefenbildung.



Technische Information



Die entsprechende Kohlebürstenlauffläche sieht so aus...

Abhilfemaßnahmen

Alle Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur des Kommutators / Schleifringes führen, können zur einer Lösung der Probleme beitragen:

- Reduzierung der Kühlluft
- Vorwärmen der Kühlluft
- Umbau der Lüftung, so dass die Luft zuerst über die Wicklung fließt
- Reduzieren der Bürstenanzahl
- Verwendung eines alternativen Werkstoffes

Es muss jedoch geprüft werden, ob die beobachtete Riefenbildung nicht durch schlechte Umgebungsbedingungen hervorgerufen wird. Bei Anwesenheit von Ölen, Fetten Säuren, Laugen etc. bilden sich auf der Oberfläche isolierende Schichten. In diesen Schichten treten die gleichen Frittingsphänomene auf, wie sie für die Schwachlastproblematik geschildert wurden. Daher kommt es auch bei Anwesenheit der genannten Stoffe zu Riefenbildung. Für eine Problemlösung sind hier allerdings andere Abhilfemaßnahmen notwendig.

Reduzierung der Bürstenanzahl

Gemäß der o.a. Formel führt eine Verkleinerung der Anzahl der Kohlebürsten (N) zu einer Vergrößerung der spezifischen Stromdichte (s). Es ist daher in einem ersten Schritt zu prüfen, ob eine Reduzierung der Bürstenanzahl möglich ist. Optimale Verhältnisse liegen vor, wenn bei Dauerlast die Stromdichte 10 - 12 A/cm² beträgt. Für Elektrographitwerkstoffe ist eine kurzzeitige Überlastung bis zu 20A/cm² kein Problem.

Technische Information

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass immer die gleiche Anzahl (+) und (-) Bürsten in derselben Spur laufen. Eine Staffelung ist dabei zu berücksichtigen.

Vorzugsweise sollten immer nur ganze Bürstenbahnen, beginnend an der Lagerseite, entfernt werden. Solange die Regel "Gleiche Anzahl (+) und (-) Bürsten in einer Spur" eingehalten wird, sind aber auch andere Lösungen möglich.

Alternative Werkstoffe

Eines der Probleme bei Schwachlast ist die geringe Patinierung der Kollektoroberfläche. Sollte eine Reduzierung der Bürstenzahl nicht den gewünschten Erfolg bringen, ist über den Einsatz von besser filmbildenden Werkstoffen, z.B. kunstharzgebundenen Werkstoffen, nachzudenken. Auf Asynchronmaschinen können hochmetallhaltige Werkstoffe durch solche mit geringerem Metallgehalt bzw. metallfreie Werkstoffe ersetzt werden.

Kompakt
<ul style="list-style-type: none">• Probleme bei Unterlast sind:<ul style="list-style-type: none">- Schlechte Filmbildung- Bürstenschwingungen- Riefenbildung-Anstieg des Kohlebürstenverschleißes• Riefenbildung wird durch Halbleiterphänomene ausgelöst.• Maßnahmen, mit denen die Kollektortemperatur erhöht wird, helfen gegen Auswirkungen der Schwachlast• Reduzierung der Bürstenanzahl zur Erhöhung der spezifischen Stromdichte• Alternative Werkstoffe hängen von Einsatzgebiet und Motorart ab.