

Technische Information

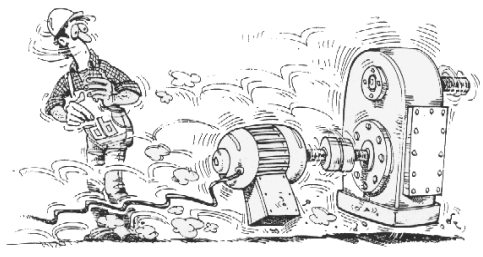
Schwingungen

Unter den Einflussgrößen, die das Laufverhalten von Kohlebürsten auf Industrie- und Traktionsmotoren negativ beeinflussen können, stehen niedrige elektrische Auslastung der Motore und Schwingungen an erster Stelle.

In dieser technischen Information wollen wir das Thema „Schwingungen – Erkennen, Ursachen, Abhilfe“ in aller Ausführlichkeit behandeln und auch Zahlenwerte bzw. Messgrößen nennen.

Es lässt sich nicht umgehen, dazu auch einige physikalische und mathematische Grundlagen zu erwähnen.

Schwingungen



In jeder Maschine wird ein Teil der Antriebsenergie in Schwingungsenergie umgesetzt. Da kein Aggregat absolut steif gebaut ist, kommt es zu Auslenkungen, d.h. die Maschine bewegt sich erst in die eine und dann in die andere Richtung.

Ein gewisses Maß an Schwingungen ist unvermeidlich und muss toleriert werden. Jede Maschine ist zudem für einen bestimmten Schwingungspegel konstruktiv ausgelegt. Erst wenn dieser normale Schwingungspegel überschritten wird, kann man von verschlechtertem Betriebszustand sprechen. Der normale Schwingungspegel ist von zwei Faktoren abhängig:

- der Arbeitsweise der Maschine
- der Steifheit ihres Aufbaus und Fundamentes.

Ein großer Dieselmotor wird stärker schwingen als ein kleiner Elektromotor – die Arbeitsweise und die auftretenden Kräfte sind sehr unterschiedlich.

Eine Maschine auf elastischem Metallrahmen lässt sich mit weniger Energie zum Schwingen bringen, als die gleiche Maschine auf steifem, schweren Betonfundament.

Technische Information

Langsame oder plötzliche Veränderungen im konstruktiven Aufbau oder in den Arbeitsbedingungen einer Maschine ändern ihr normales Schwingverhalten. Lose Befestigungsschrauben oder übergroßes Lagerspiel verringert die Steifigkeit des Aggregates, die Schwingungen nehmen zu. Einmal angefangen, nimmt die Schadensentwicklung zu: erhöhte Schwingungen führen zu stärkerer mechanischer Belastung von Lagern, Wellen oder Fundamenten, die Kohlebürsten zeigen verstärktes Bürstenfeuer, es kommt zu verstärkten Anbrennungen etc.

Messgrößen

Eine Maschine mit einer Unwucht schwingt in Abhängigkeit von ihrer Drehzahl. Pro Umdrehung macht sie eine Hin- und Her-Bewegung. Die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit ist die **Schwingfrequenz**, die in Hertz (Hz = Schwingungen pro Sekunde) gemessen wird. Dividiert man die Drehzahl einer Maschine (z.B. 1500 U/min) durch 60, so erhält man die **Drehfrequenz** (hier 25Hz) der durch die umlaufende Unwucht erregten Schwingung.

Zyklisch, d.h. wiederholt auftretende Bewegungen lassen sich durch drei verschiedene Meßgrößen beschreiben:

- Auslenkung,
- Beschleunigung,
- Geschwindigkeit.

Als Auslenkung oder **Schwingweg** bezeichnet man die Strecke, die das Meßobjekt bei jeder Schwingung zurücklegt. Der Schwingweg wird in Millimetern gemessen.

Ein Teil, das wiederholt aus der Ruhelage bewegt, abgebremst und wieder in die Gegenrichtung ausgelenkt wird, muss ständig positiv oder negativ beschleunigt werden. Diese **Beschleunigung** misst man üblicherweise in m/s^2 oder in g ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Die dritte Messgröße ist die Geschwindigkeit, mit der sich das Teil bewegt. **Schwinggeschwindigkeit** wird in mm/s gemessen.

Technische Information

Geschwindigkeit und Beschleunigung sind sich ständig verändernde Größen. Man kann die Spitzenwerte messen, jedoch läßt eine Mittelwertbetrachtung bessere Rückschlüsse auf die auftretenden Kräfte zu. Die meisten Geräte messen daher den **Effektivwert** (Wurzel des quadratischen Mittelwertes), im englischen Sprachgebrauch RMS-Wert genannt.

Der Effektivwert im Bereich von 10 bis 1000Hz wird auch **Schwingstärke** genannt, die in mm/s angegeben wird mit dem Zusatz RMS oder V_{eff} .

SCHUNK Kohlenstofftechnik verfügt in seiner Messausrüstung mit dem Gerät Vibrometer VIB-10 der Fa. Status Pro über ein einfach bedienbares Messgerät, mit dem die Schwingstärke ermittelt werden kann.

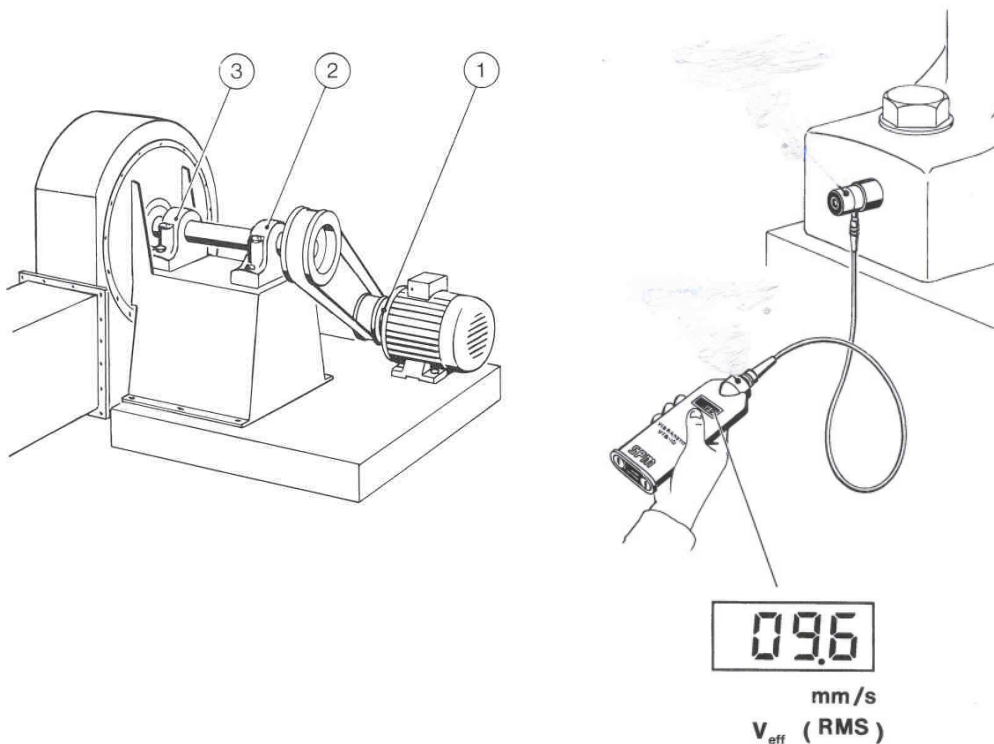


Die Schwingung am ausgewählten Messpunkt sollte repräsentativ für das Schwingverhalten der Maschine sein. Die auftretenden Kräfte werden normalerweise über die Lager und die Lagergehäuse auf die Maschine übertragen. Deshalb sollte am Lagergehäuse oder in unmittelbarer Umgebung der Lager gemessen werden.

Je mehr Messpunkte gewählt werden, desto leichter lassen sich mechanische Störungen lokalisieren. Das Beispiel zeigt einen Lüfter, der mit einem Keilriemen von einem Motor angetrieben wird. Die Messergebnisse am Lager (3) liefern Informationen über Lüfterunwucht.

Technische Information

Will man sich ein Bild über den Gesamtzustand des Aggregates verschaffen, sollten die antriebsseitigen Lager des Lüfters (2) und des Motors (1) mitgemessen werden.



Mit Rücksicht auf eine einwandfreie Kommutierung sollten die folgenden Schwingungswerte am Motor nicht überschritten werden.

Schwingweg $s \leq 0,25\text{mm}$

Schwingstärke $V_{\text{eff}} \leq 4,5 \text{ mm/s}$

Beschleunigung $a \leq 4 \text{ m/s}^2$

Technische Information

Schwingungen am Bürstenapparat

Man kann grob unterscheiden zwischen eigenerregten und fremderregten Schwingungen. Beide Schwingungsarten beeinträchtigen den einwandfreien Kontakt zwischen Kohlebürste und Kommutator oder Schleifring, und damit auch die Kommutierung.

Eigenerregte Schwingungen lassen sich wiederum nach dem Ort ihres Auftretens differenzieren:

Am Kommutator / Schleifring

- Unrundheit, Ovalität
- vorstehende Lamellen,
- schadhafte Lager,
- schlechte Zentrierung,
- äußere Einflüsse (Zahnradgetriebe, Kupplungen, Riemenantriebe, angetriebene Geräte usw.),

Das Thema Unrundheit wird in einer separaten technischen Information behandelt. Daher an dieser Stelle nur einige Kennzahlen. Entsprechende Rundlaufmessgeräte ermöglichen eine einfache, schnelle, reproduzierbare Bestimmung der Unrundheit, teilweise sogar bei anliegender Spannung.

Die zulässigen Werte für Unrundheit und Lamellensprung sind unter anderem abhängig von der Geschwindigkeit und den Betriebsbedingungen. Daher sind die folgenden Werte, angegeben in Abhängigkeit von der Achshöhe nur Richtwerte.

Technische Information

Wert	Lamellen- sprung	Lamellen- sprung	Lamellen- sprung	Rundlauf	Rundlauf	Rundlauf
180µ						Unzulässig
160µ						
140µ						
100µ			unzulässig	unzulässig	unzulässig	
80µ		unzulässig				noch zulässig
70µ					noch zulässig	
60µ	unzulässig		noch zulässig	noch zulässig		gut
50µ		noch zulässig			gut	
40µ	noch zulässig			gut		
30µ			gut			
20µ		gut				
10µ	gut					
0µ						
Größe	AH < 200	AH 450 - 900	AH > 900	AH < 200	AH 200 - 450	AH > 900

Wenn Resonanz zwischen Anregungs- und Eigenfrequenz des Halterapparates besteht, können auch schon bei niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten große Schwingungsprobleme auftreten. Versuche in unserem Elektro-Labor haben gezeigt, dass bei unrunder Kollektoren durch Resonanzschwingungen Kräfte auftreten können, die die Vorspannkräfte der Druckfedern aufheben, d.h. zeitweise wird die Anpresskraft Null. Dadurch wird die Stromübertragung gravierend gestört, es kommt zu Bürstenfeuer, Anfleckungen und hohem Bürstenverschleiß.

Am Bürstenhalter

- Unzweckmäßige Auswahl des Bürstenhalters,
- falsche Montage des Halters,
- zu große Toleranzen des Halterkastens,
- zu geringer Bürstendruck,
- falscher Abstand Halterkasten / Kommutator oder Schleifring (max. 2mm),
- defekte Druckhebellager,
- falsche Druckhebelposition.

Technische Information

Schwingungen bzw. Bürstenrattern werden begünstigt, wenn der Druckfinger nicht mittig auf den Bürstenkopf drückt. Daher kann man oft durch Verbiegen des Druckfingers und durch Einstellen auf die Bürstenmitte das Rattern der Kohlebürsten beseitigen.

An der Kohlebürste

- Übermäßiges Spiel der Kohlebürste im Halterkasten,
- hoher und stark schwankender Reibwert, verursacht durch atmosphärische Einflüsse oder durch langandauernde Unterlast

Besonders die zuletzt aufgeführte Unterlast-Problematik wird in vielen Fachdiskussion immer wieder angesprochen. Niedrige elektrische Auslastung bedeutet niedrige elektrische Verluste zwischen Kohlebürste und Kommutator und damit auch niedrige Oberflächentemperatur. Dadurch wird die Oxidation des Gegenlaufmaterials stark verlangsamt, die Oberflächenrauigkeit nimmt ab und die Oberfläche wird glatt. Es kommt zu einem Wechsel zwischen Haft- und Gleitreibung, im englischen Sprachgebrauch Stick-Slip Effekt genannt. Dadurch werden die Kohlebürsten zu hochfrequenten Schwingungen ($>200\text{Hz}$) mit niedriger Amplitude angeregt. Starke Bürstengeräusche, sogenanntes Rattern, ist die Begleiterscheinung dieses Phänomens. Eine einfache Problemlösung in der Praxis ist das Aufräumen der Oberfläche mit einem Silicium-Carbid Schleifstein mittlerer Körnung. Dabei sind die üblichen Sicherheitsmaßnahmen für das Arbeiten an elektrischen Maschinen unbedingt einzuhalten. Für das Überholen von Maschinen bzw. als Wert für die Rauigkeit der Oberfläche nach dem Überdrehen bzw. Überschleifen empfehlen wir einen Wert von $5 - 8 \mu\text{m}$ in der R_z Skala. Dies entspricht $0,8 - 1,2 \mu\text{m}$ in der R_a Skala.

Läuft der Kollektor einwandfrei rund und die Oberfläche ist rauh genug, dann wird Bürstenrattern durch zu hohe Reibwerte verursacht. Reibwerte größer $0,4$ können zu Bürstenrattern führen.

Niedrige Luftfeuchtigkeit ($< 2\text{g/m}^3$) ist ein weiterer möglicher Auslöser für hohen Reibwert und damit Bürstenrattern.

Technische Information

Elektrographitierte Bürstenwerkstoffe rattern auf Stahlringen häufig, wenn die Ringtemperatur einen Wert von 100 – 120°C überschreitet.

Für fremderregte mechanische Schwingungen kann es folgende Ursachen geben:

- Motoren in der Nähe der Arbeitsmaschine oder mit dieser auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert, z.B. Werkzeugmaschinen, Gebläseantriebe etc.,
- direkte mechanische Weiterleitung mittels Riemenantrieb o.ä.,
- direkte Kupplung eines Motors mit z.B. einem Ventilator, Mahlwerk,
- nicht ausreichende Fundamente,
- Resonanzerscheinungen durch Thyristorpeisung (Oberwelligkeit des Gleichstromes),
- Stoßbeanspruchung durch die auftretenden hohen Stromänderungsgeschwindigkeiten di/dt .

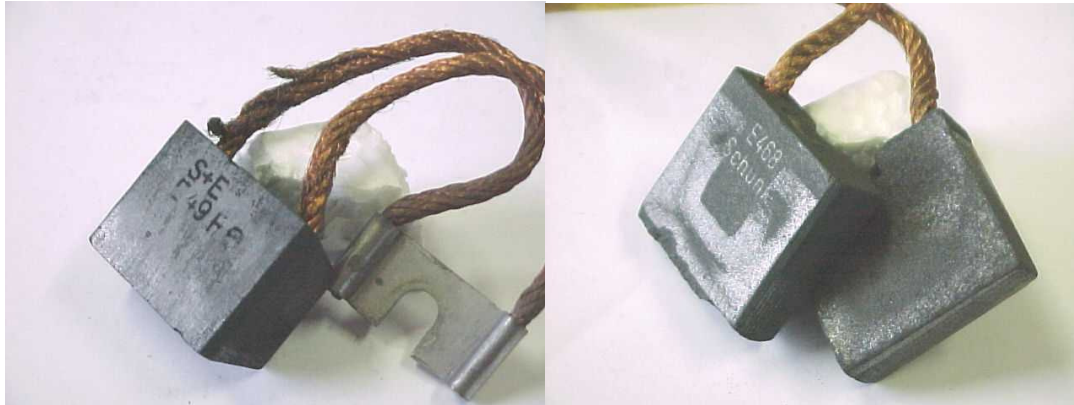
Kohlebürsten sind „Anzeigeeinstrumente für den Maschinenzustand“

Bei keiner Problematik hat dieser Leitsatz eine größere Bedeutung als bei dem Themenkreis „Schwingungen“. Bürstenschwingungen und Rattern sind Erscheinungen, die meist mit dem gleichzeitigen Auftreten von Bürstenfeuer und Geräusch verbunden sind.

Die folgenden vier Beobachtungen an den Kohlebürsten sind klare Indikatoren für das Vorhandensein von Schwingungen:

- Polierte, glänzende Seitenflächen,
- fühlbare Abdrücke des Druckfingers auf dem Bürstenkopf,
- angebrochene oder durchgescheuerte Stromseile,
- gelöste Stampfkontakte.

Technische Information



Unregelmäßig verteilte Anbrennungen an den Lamellen bzw. auf dem Schleifring sind weitere Indizien für vorliegende Schwingungen. Ferner verstärken Schwingungen die Unrundheit von Ringen bzw. Kollektoren.

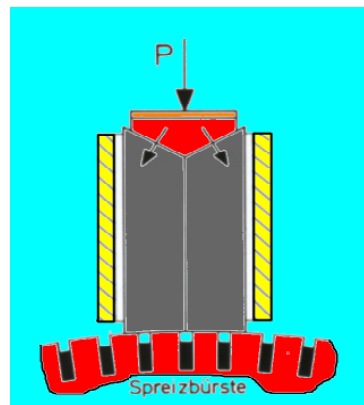
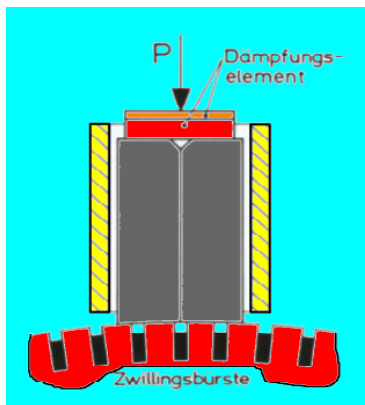
Maßnahmen zur Minderung des Einflusses von Schwingungen

Ist die Ursache für die Schwingungen erkannt, sollten Maßnahmen zur Behebung eingeleitet werden. Ist bekannt, dass der Antrieb durch die Betriebsweise starken Schwingungen ausgesetzt ist, oder kann der Antrieb z.B. nicht kurzfristig getauscht oder gewartet werden, gibt es neben dem bereits erwähnten Aufrauen der Kollektor- oder Schleifringoberfläche weitere Möglichkeiten, die Kohlebürsten „schwingungsfester“ zu machen.

- Verwendung von schräg gestellten Bürsten z.B. Schlepphalter mit 8 – 10° Schräge,
- Druckerhöhung,
- Einsatz eines elastischeren Bürstenwerkstoffes,
- Einsatz von Kohlebürsten mit Dämpfunggummiauflage,
- Verwendung einer dickeren Gummiauflage,
- Einsatz von Zwillingsbürsten mit loser Kopfauflage,

Technische Information

- Einsatz von Spreizbürsten. Über den Winkel des Kopfstückes werden die Teilbürsten an die Halterkastenwand gedrückt. Durch die zusätzliche Reibung an der Halterwand wird das Bürstenlaufverhalten stabilisiert.



Ein besonders empfindlicher Teil der Kohlebürste ist der Stampfkontakt. Mit speziellen, allerdings aufwendiger zu fertigenden Stampfkontaktausführungen, ist es jedoch möglich, ein Lösen des Stampfkontaktes durch Schwingungen zu verhindern.