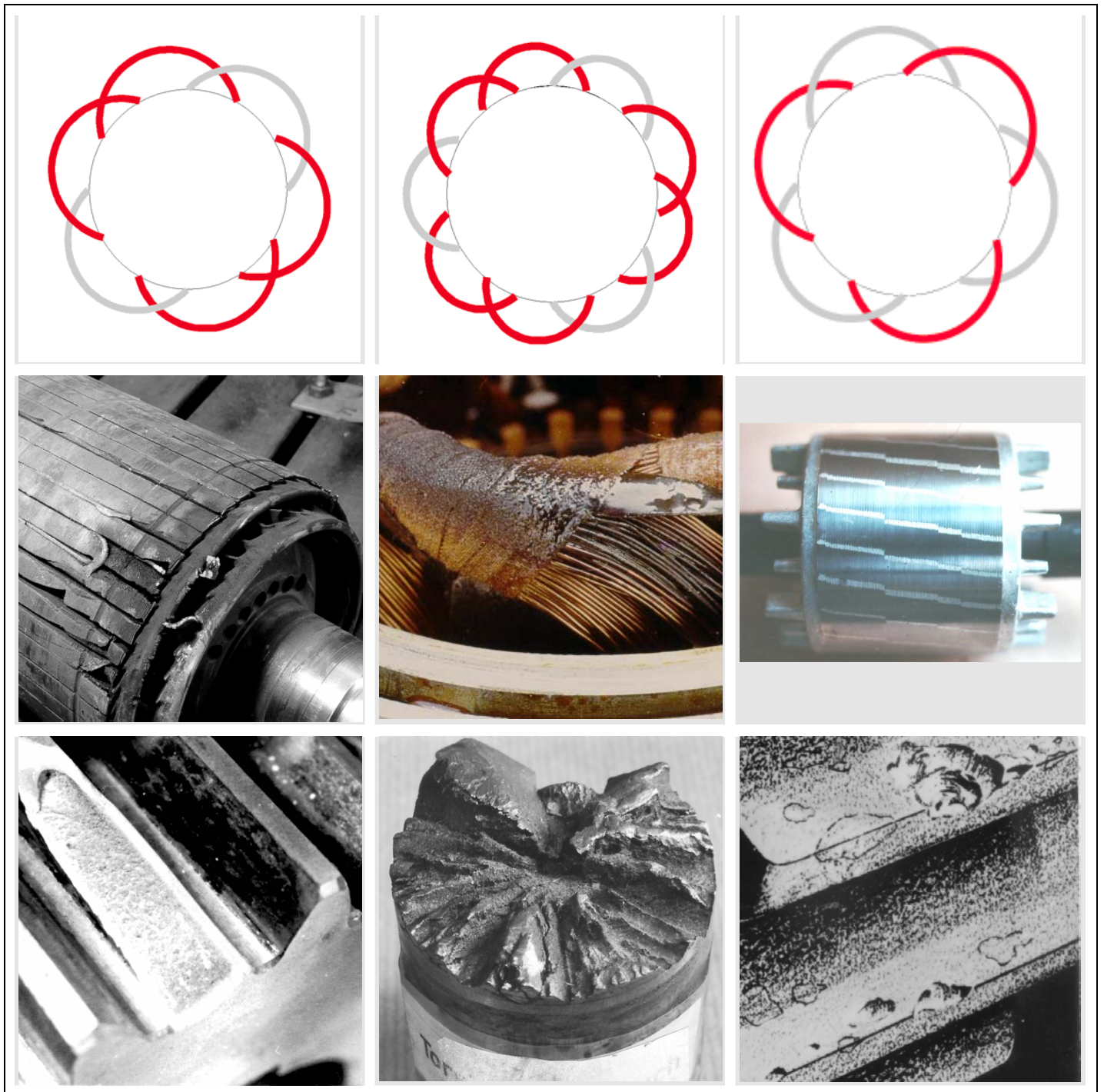


Elektronische Publikation EP 3505

Beurteilung von Schadensbildern
bei Getriebemotoren



Beurteilung von Schadensbildern bei Getriebemotoren

Obering, H. Greiner

Inhaltsverzeichnis

Teil I Wicklungsschäden bei Drehstrommotoren

- 0 Abgrenzung der Fehlerarten
- 1 Unterbrechung
- 2 Körperschluss und Strangschluss
- 3 Windungsschluss
 - 3.1 Qualität der Lackdrähte
 - 3.2 Definition
 - 3.3 Schadensbild
 - 3.4 Windungsprüfung als Teil der Endprüfung
 - 3.5 Prüfung auf Windungsschluss im Reparaturbetrieb
- 4 2-Leiterbetrieb
- 5 Auswirkung des 2-Leiterbetriebes auf die Ströme in den Wicklungssträngen
 - 5.1 Sternschaltung
 - 5.2 Dreieckschaltung
- 6 Typische Schadensbilder von Drehstrom-Ständerwicklungen
 - 6.1 Dreieckschaltung
 - 6.2 Sternschaltung
 - 6.3 "Falsche" Sternschaltung
 - 6.4 Falsche Doppelsternschaltung
 - 6.5 Offene Dreieckschaltung (V-Schaltung)
 - 6.6 Gleichmäßige, langdauernde Überlastung
 - 6.7 Extreme, kurzzeitige Überlastung (festgebremster Läufer)
- 7 Spannungsdurchschlag nach TE-Beanspruchung am PWM-Umrichter
- 8 Rückschlüsse aus der Schadensstelle

Teil II Schäden an Käfigläufern

- 1 Einführung des Übersetzers
- 2 Bauarten der Käfigläufer
- 3 Rotor-Prüfung bei demontiertem Motor
 - 3.1 Vorbereitungen
 - 3.2 Untersuchung
 - 3.3 Elektrische Prüfungen
 - 3.4 Prüfungen mit dem Summer
 - 3.5 Eisenfeilspäne-Methode
 - 3.6 Sägeblatt-Methode
 - 3.7 Magnetfeld-Anzeige
 - 3.8 Handgeführter Prüfsummer
 - 3.9 Schäden infolge Wärmedehnung
 - 3.10 Prüfung mit hohem Wechselstrom
 - 3.11 Ohmmeter für niedrige Widerstände
- 4 Rotor-Prüfung bei montiertem Motor
 - 4.1 Vorbereitungen
 - 4.2 Statische Methode
 - 4.3 Dynamische Methode
 - 4.4 Schwingungsanalyse
 - 4.5 Spezielle Methoden
- 5 Stabbruch durch Wärmedehnung
- 6 Fertigungsfehler bei Druckgussrotoren
- 7 Qualitätsprüfung von Käfigläufern

Teil III Schäden an mechanischen Bauteilen

- 0 Einführung
- 1 Wälzlagerschäden
- 2 Wellenschäden
 - 2.1 Ritzelsitz an der Läuferwelle
 - 2.2 Torsion der Arbeitswelle
 - 2.3 Verbiegung der Arbeitswelle
 - 2.4 Passfedernuten und Passfedern
 - 2.5 Radialbelastung der Arbeitswelle
- 3 Getriebeschäden
 - 3.1 Getriebegeräusche
 - 3.2 Gewaltbrüche
 - 3.3 Verschleiß
 - 3.4 Schadensbilder
 - 3.5 Erwärmung

Literaturverzeichnisse jeweils am Ende jedes Teiles

Teil I Wicklungsschäden bei Drehstrommotoren

Ausfallursachen erkennen – Schäden vermeiden

Obering. H. Greiner

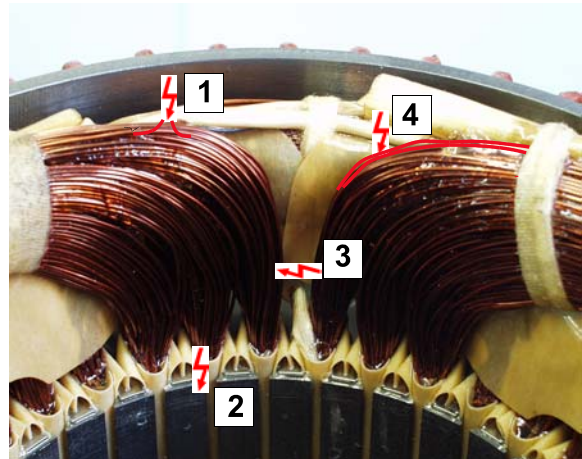
0 Abgrenzung der Fehlerarten

Die Schäden an Drehstrom-Ständerwicklungen können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

Bild 0.1

Abgrenzung der Arten von Wicklungsfehlern

- 1 Unterbrechung
- 2 Körperschluss
- 3 Strangschluss (Phasenschluss)
- 4 Windungsschluss.



Diese Fehlerarten können als Primärfehler (Werksfehler) oder als Sekundärfehler (Folgefehler) auftreten.



Bild 0.2

Windungsschluss als **primärer** Fehler



Bild 0.3

Wicklungsschäden als **sekundäre** Fehler
Quelle: Klebs+Hartmann

Bei sorgfältiger Fertigung mit festgelegten, protokollierten Zwischen- und Endprüfungen kann davon ausgegangen werden, dass die Quote der Antriebe, die das Werk mit einem Fehler verlassen, außerordentlich niedrig liegt. Die rein messtechnische Erfassung eines Wicklungsfehlers (ohne Demontage des Motors) gibt noch keinen Hinweis auf Ursache und Wirkung: Ein Drahtbruch als Folge einer Überdehnung bei der Fertigung oder als Folge einer starken Überhitzung stellt sich bei der Durchgangsprüfung an den Klemmen genau gleich dar. Die Messung sollte daher stets durch eine visuelle Untersuchung der Wicklung in der Werkstatt ergänzt werden.

Nur wenn die oben genannten Fehlerarten an einer ungebräunten, gegenüber dem Neuzustand unveränderten Wicklung festgestellt werden, liegt der Verdacht eines Herstellungsfehlers nahe. Ist hingegen die Wicklung ganz verbrannt oder zeigt das unter 4 beschriebene, typische Schadensbild eines Zweileiterbetriebs, sollte der Fehler in der Betriebsweise oder in der Anlage gesucht werden.

Eine ausführliche Darstellung der "Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren" findet sich im Abschnitt 6 des Buches [5].

1 Unterbrechung

Eine Unterbrechung in der Wicklung oder ihren Ableitungen zur Klemmenplatte ist bei der heutigen Isolier- und Fertigungstechnik extrem selten. Da jeder Antrieb bei der Endprüfung einen protokollierten Probelauf absolviert, kann diese Fehlerart als Werksfehler ausgeschlossen werden.

Die Fehlersuche sollte sich daher ganz auf die Anlage konzentrieren:

- Stehen alle drei Netzleiter sicher zur Verfügung ?
- Sind die Anschlussklemmen fest angezogen ?
- Sind alle Anschlussteile und der Netzleiter blank ?

2 Körperschluss und Strangschluss

Im Fertigungsablauf wird die Wicklung schon vor der eigentlichen Endprüfung zwei Hochspannungsprüfungen mit z.B. 2 500 V unterzogen.

Bei der Endprüfung wird unabhängig von der Bemessungsspannung (max. 690 V) eine Prüfspannung von 2 400 V angelegt. Nach EN 60034-1 (DIN VDE 0530 Teil1), Tabelle 5, Nr.2 beträgt die Prüfspannung $2U_N+1000$ V, also bei 690 V Bemessungsspannung 2380 V.

Moderne Flächenisolerstoffe sind außerordentlich rei- und durchschlagfest; Körper- oder Strangschlsse treten im Neuzustand der Wicklung erst bei überhöhten Spannungen von mehr als etwa 4 500 V auf. Wird ein Körper- oder Strangschluss eindeutig als Primrfehler ohne ersichtliche äußere Einwirkung (mechanische Schäden, Feuchtigkeit) lokalisiert, so kommen moderne Frequenz-Umrichter mit Pulsweiten-Modulation(PWM) hoher Taktfrequenz als Ursache in Betracht, wenn sie nicht durch ein Ausgangsfilter entstört sind und wenn die Verbindungsleitung zwischen Umrichter und Motor relativ lang ist (z.B. > 20 m).

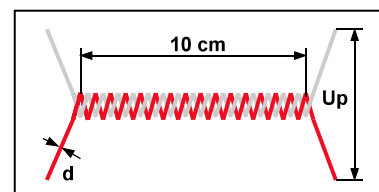
Einzelheiten zu diesem komplexen Thema sind Abschnitt 7 und der Druckschrift [1] zu entnehmen.

3 Windungsschluss

Dank der enormen Fortschritte bei der Qualität von Lackdrähten sind **fertigungsbedingte** Windungsschlsse ganz selten geworden, obwohl die Drahtisolierung bei der maschinellen Einziehtechnik wesentlich höher beansprucht wird als bei einer Handwicklung. Windungsschlsse sind aber als **Folgeschäden** nach wie vor unausbleiblich, wenn die thermische Grenze der Isolation überbeansprucht wird. Um **Ursache und Wirkung** abzugrenzen, wird das Thema nachstehend ausführlich behandelt.

3.1 Qualität der Lackdrähte

Die genormte Mindestdurchschlagspannung von zwei miteinander verdrehten Einfach-Lackdrähten von 0,25 ... 2,5 mm Durchmesser liegt im Bereich 2 200 ... 2 700 V. Für Doppel-Lackdrähte liegen die entsprechenden Werte bei etwa 4 000 ... 5 000 V (IEC 60317). Nach EN 60079-7; Abschnitt 4.7.1.1, a) genügen Einfachlackdrhte, wenn ihre Durchschlagfestigkeit dem Grad 2 entspricht.



Nenn-Drahtdurchmesser d in mm				Grad 1 U_p (eff) in Volt	Grad 2 U_p (eff) in Volt	
		0,25		2100	3900	
0,25	<	d	\leq	0,28	2200	4000
0,28	<	d	\leq	0,315	2200	4100
0,315	<	d	\leq	0,355	2300	4300
0,355	<	d	\leq	0,45	2300	4400
0,45	<	d	\leq	0,56	2400	4600
0,56	<	d	\leq	0,71	2600	4800
0,71	<	d	\leq	0,80	2600	4900
0,80	<	d	\leq	2,5	2700	5000

Wenn der Lackauftrag an der oberen Grenze der genormten Toleranz liegt, haben moderne, hochwertige Einfach-Lackdrähte sogar die Mindest-Durchschlagspannungen von Doppel-Lackdrähten.

Die hohe mechanische Festigkeit der Lackschicht kann in einem Extremversuch deutlich gemacht werden (Bilder 3.1.2 und 3.1.3).



Bild 3.1.2
Extrembeanspruchung der Lackschicht durch Flachdrücken



Bild 3.1.3
Extrembeanspruchung der Lackschicht durch Schläge mit der Hammerfinne

3.2 Definition

Im ungestörten Zustand sind angelegte Spannung ($U \approx E$) und Windungszahl (w) so ausgeglichen, dass der gewünschte Magnetfluss (Φ) ohne Übersättigung des Eisens zustande kommt. Wird dieser Zustand durch eine »Windungsschluss«, also durch eine Verminderung der Windungszahl um w_x gestört, so treten erhöhte Ströme auf:

- Im Strang und in der Leitung der verhältnismäßig wenig erhöhte Strom I_L statt I wegen vermindertem Widerstand und erhöhter Sättigung (Magnetisierungsbedarf).
- Im kurzgeschlossenen Windungsteil w_x der verhältnismäßig stark überhöhte Strom I_x wegen der durch Selbstinduktion in diesem Spulenteil erzeugten Spannung.

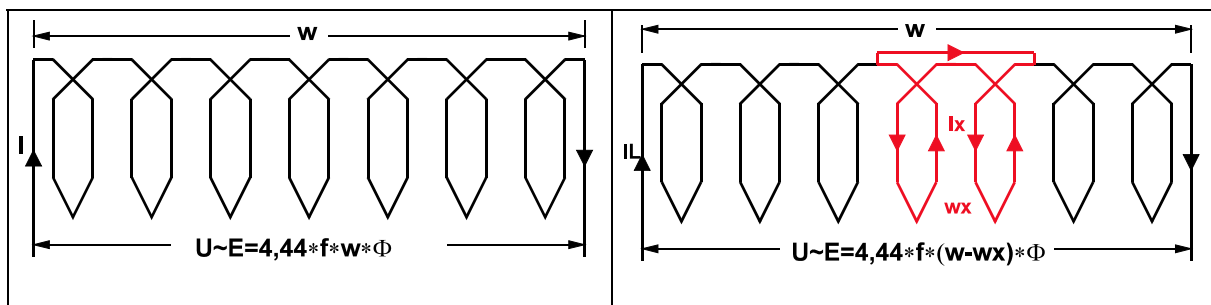


Bild 3.2.1
Ungestörte Wicklung mit ausgeglichenem Verhältnis der Spannung U zur Windungszahl w

Bild 3.2.2
Windungsschluss mit Überbrückung des Windungsteils w_x ; erhöhte Ströme I_L und I_x

3.3 Schadensbild

Das Schadensbild ist eindeutig: Durch die direkte "Kurzschlussverbindung" kommt es innerhalb der betroffenen Spule zu hohen Induktionsströmen, die sich je nach ihrer Stärke außen bei den Hauptleiterströmen als erhöhte und unsymmetrische Stromaufnahme abbilden (Bild 3.2). Die Erwärmung in der schadhaften Teilspule schreitet sehr viel rascher voran als in den übrigen Spulen; das Schadensbild zeigt dann auch deutlich eine einzelne verbrannte Teilspule, während die umgebenden Spulen noch relativ neuwertig aussehen.

Es können sich jedoch auch umgekehrt als Folge einer gleichmäßigen Überlastung alle Spulen gleichmäßig erwärmen, wobei schließlich in irgendeiner Teilspule als Folgeschaden ein Windungsschluss entsteht.

Bei einer solchen Wicklung ist im Gegensatz zum Bild 3.3 eine allgemeine Bräunung aller Spulen feststellbar, während eine – der auch mehrere – Teilspulen durch die mehr oder weniger ausgeprägten Windungsschlüsse besonders stark verbrannt sind.



Bild 3.3
Windungsschluss in einem Teil der Spule

3.4 Windungsprüfung als Teil der Endprüfung

Zur Erkennung von eventuellen werkseitigen Windungsschlüssen kann eine »**Windungsprüfung**« bei der Endabnahme durchgeführt werden. Nach der Fertigmontage laufen alle Motoren zunächst gruppenweise im Prüffeld mindestens 1 bis 2 Stunden, davon als Windungsprüfung eine längere Zeit an 1,3facher Nennspannung. Die erhöhte Spannung hat eine Vergrößerung der Leerlauf-Verluste zur Folge; auf diese Weise erreicht die Motorwicklung am Ende der Prüfzeit eine Erwärmung, die etwa der Erwärmung im Nennbetrieb entspricht. Im betriebswarmen Zustand und bei erhöhter Windungsspannung kann auf diese Weise eine erneute Prüfung auf Windungsschluss stattfinden! Vor der Harmonisierung mit IEC 60034-1 war diese Prüfung auch Bestandteil von VDE 0530.

3.5 Prüfung auf Windungsschluss im Reparaturbetrieb

Nicht immer stellt sich ein Windungsschluss so deutlich dar wie in Bild 3.3, vor allem wenn die Fehlerstelle keinen satten Kontakt hat. Für diese Fälle gibt es einige Prüfverfahren, von denen zwei bewährte Methoden nachstehend kurz beschrieben werden.

3.5.1 Induktionsspulen

Eine als »Sender« wirkende Spule induziert Schritt für Schritt die zu prüfende Motorwicklung. Nur im Fehlerfall fließt Strom im Prüfling; die als »Empfänger« wirkende Sonde erhält ein Signal.

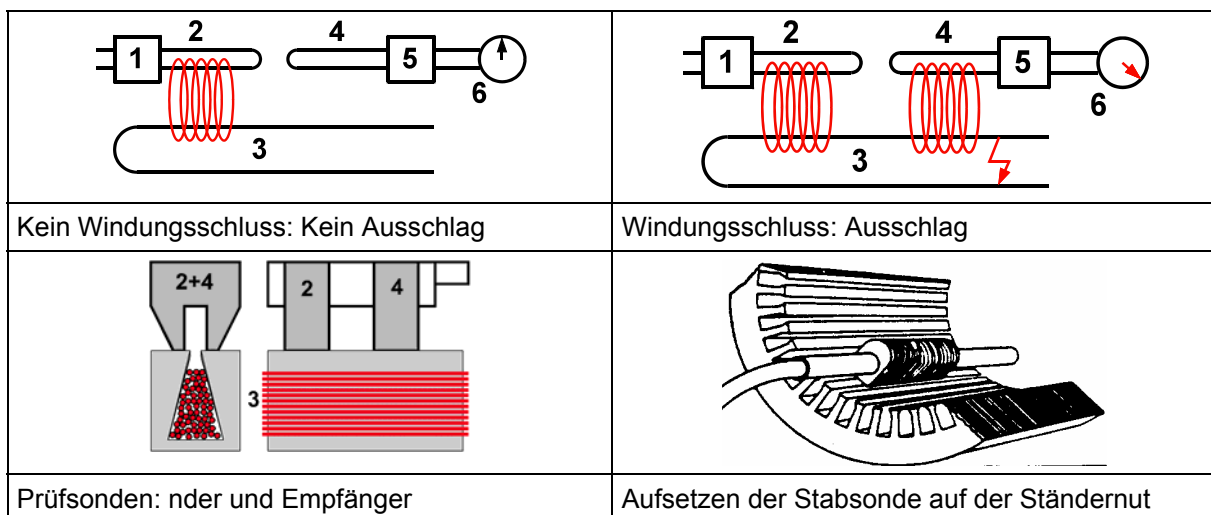
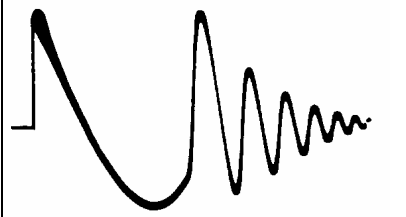
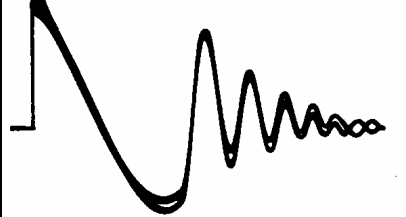



Bild 3.5.1 Prinzip der Prüfung auf Windungsschluss durch Induktionsspulen
(z.B. Motorprüfer nach [2])

- | | | | |
|---|--|---|-----------|
| 1 | Netzteil und Umformer für Tonfrequenz (z.B. 2 kHz) | 2 | Sender |
| 3 | Prüfling (Spule der Motorwicklung) | 4 | Empfänger |
| 5 | Verstärker und Ausgabeteil | 6 | Anzeige |

3.5.2 Stoßspannungsvergleichsprüfung

Das Gerät erzeugt einen hochfrequenten Spannungsimpuls, der zu einer signifikanten Potentialdifferenz zwischen den einzelnen Windungen führt. Trifft der Impuls auf eine Schwachstelle in der Windungsisolierung, so tritt er zur nächsten Windung über und erzeugt am Bildschirm des Oszilloskops ein charakteristisches Bild. Durch Vergleich mit den Sollwerten und typischen Fehlerbildern lässt sich die Ursache mit entsprechender Erfahrung eingrenzen.

		
Bild 3.5.2.1 Fehlerfreie Wicklung	Bild 3.5.2.2 Windungsschluss	Bild 3.5.2.3 Prüfgerät nach [3]

4 2-Leiterbetrieb

Beim Betrieb von Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren kommt es immer wieder vor, dass einer der drei Außenleiter ausfällt. Die Ursache hierfür ist meist das Ansprechen **einer** Schmelzsicherung beim Einschaltstromstoß, gelegentlich auch schlechter Kontakt in der Leitungsführung oder eine Leitungsunterbrechung. Bekanntlich bleibt ein Drehstrom-Asynchronmotor auch bei Zweileiter-Anschluss mit nahezu voller Drehzahl – wenn auch bei verminderter Kippleistung – mit derjenigen Drehrichtung in Betrieb, in der ihm ein Bewegungsimpuls erteilt wurde oder in der er sich vor der Störung befand.

Schmelzsicherungen sind in elektrischen Anlagen nach DIN VDE 0100 Teil 523 vorgeschrieben. Bei Belastung mit 1,2fachem Nennstrom – für einen Elektromotor bereits eine gefährliche Überlastung – spricht eine Schmelzsicherung von der Stärke des Motor-Nennstromes überhaupt nicht an. Bei 6fachem Nennstrom, der beim Anlauf eines Elektromotors auftreten kann, spricht eine solche Schmelzsicherung in "flinker" Ausführung bereits nach 0,04 s, in "träger" Ausführung nach 0,5 s, in beiden Fällen also vor einem sicheren Hochlauf des Motors an. Eine träge Schmelzsicherung von der Stärke des 3fachen Motor-Nennstromes hingegen hält unter gleichen Bedingungen mindestens 30 Sekunden. Da in der Regel nur eine der drei Sicherungen durchschmilzt, kann der Motor an zwei Außenleitern weiterlaufen und ist bei Belastung gefährdet.

Mit Rücksicht auf den Anzugsstrom bei Direkteinschaltung sind Schmelzsicherungen in "träger" Ausführung für **etwa 2- bis 3fache Nennstromstärke** des Motors zu wählen. Die Schmelzsicherung ist als Kurzschlusschutz für die Leitung zu wählen; den thermischen Überlastungsschutz der Leitung kann das Motorschutzrelais übernehmen. Bei der Auswahl dieser getrennten Schutzorgane ist DIN VDE 0100 Teil 430, Abschnitt 7.2 zu beachten.

Der relative Anteil von Wicklungsausfällen durch Zweileiterbetrieb ist in den letzten zehn Jahren stark zurückgegangen, weil zum Schutz gegen diesen netzbedingten Störfall mit **"phasenausfallempfindlichen"** Motorschutzrelais relativ einfache, preisgünstige und wirkungsvolle Einrichtungen zur Verfügung stehen.

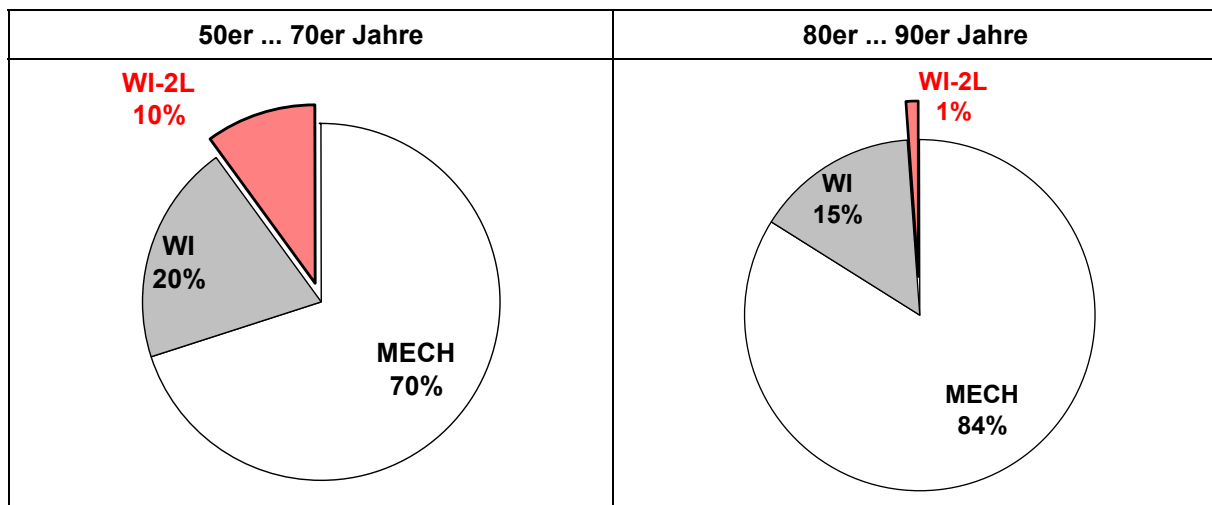


Bild 4 Anteil der Wicklungsschäden durch 2-Leiterbetrieb 1950 ... 1990
Schätzwert nach repräsentativer Umfrage [6]
MECH - mechanische Schäden (vorwiegend Lager)
WI - Wicklungsschäden
WI-2L - Wicklungsschäden wegen 2-Leiterbetrieb

5 Auswirkungen des 2-Leiterbetriebes auf die Ströme in den Wicklungssträngen

Für die Stromverteilung in den drei Wicklungssträngen des Motors und für die Wirksamkeit des normalen Motorschutzrelais ergeben sich bei den beiden möglichen Schaltungen der Drehstrom-Ständerwicklung unterschiedliche Gesichtspunkte :

5.1 Sternschaltung

Bei Sternschaltung der Wicklung liegen die in der Netzleitung angeordneten Relais in Reihe mit den zugehörigen Wicklungssträngen, überwachen also direkt den für die Ständererwärmung maßgebenden Strom. Obwohl dieser Strom im ungünstigsten Fall um bis zu 32 % höher sein kann als der Nennstrom, besteht im allgemeinen keine besonders hohe Gefahr für die Wicklung, da ja ein Wicklungsstrang (also ein Drittel des bewickelten Raumes) ohne Strom ist und einen erheblichen Wärmeausgleich übernehmen kann.

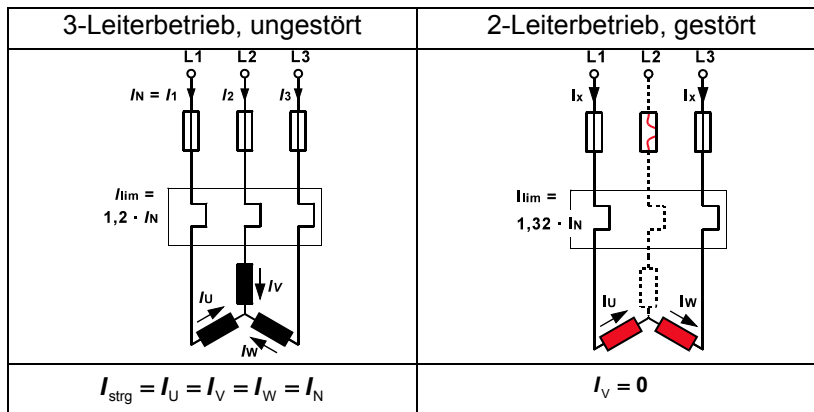


Bild 5.1
Stromaufnahme bei Dreiphasen- und Einphasenbetrieb in Sternschaltung

5.2 Dreieckschaltung

Fällt bei der Dreieckschaltung eine Netzleitung aus, so verbleibt ein Wicklungsstrang an voller Spannung, während die beiden anderen Stränge jeweils nur die halbe Nennspannung erhalten. Entsprechend ist auch die Stromaufteilung auf die beiden Zweige wie 2 : 1 bzw. $2/3 I_N : 1/3 I_N$. Selbst wenn das auf I_N eingestellte Motorschutzrelais nicht mehr als diesen Sollwert dauernd zulassen würde, wäre im gefährdeten Wicklungsstrang mit einem Dauerstrom von $2/3 I_N = 0,67 I_N$ zu rechnen, während dieser Strang nur für $1/\sqrt{3} I_N = 0,58 I_N$ dauernd bemessen ist.

Tatsächlich darf im gestörten Betrieb ein Ansprechstrom bis zu $1,32 I_N$ fließen, das heißt im gefährdeten Wicklungsstrang können dauernd bis zu $1,32 \cdot 0,67 I_N = 0,88 I_N$ auftreten, ohne dass das Relais anspricht. Der Wicklungsstrang wird also mit dem $0,88/0,58 = 1,5$ fachen zulässigen Strangstrom belastet, was selbst bei einem guten Wärmeausgleich mit den nur zu etwa 75% ihres Nennwertes belasteten beiden anderen Strängen eine beachtliche Gefährdung darstellt (Bild 5.2).

Es wurden Wicklungstemperaturen bis zu 140% der Nennwerte gemessen, wenn der Außenleiterstrom dem Nennstrom entspricht.

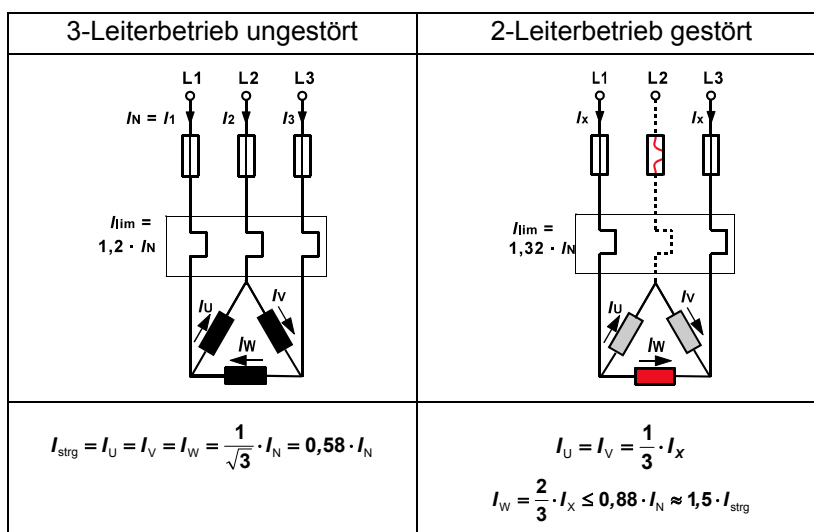


Bild 5.2
Stromaufnahme bei Dreiphasen- und Einphasenbetrieb in Dreieckschaltung

6 Typische Schadensbilder von Drehstrom-Ständerwicklungen

Die im vorigen Abschnitt dargestellten Stromverhältnisse führen zu typischen Schadensbildern, die einen eindeutigen Rückschluss auf die Schadensursache erlauben.

Bei entsprechenden Hinweisen an den Betreiber können die Schwachstellen im Netz beseitigt und eine Wiederholung von Wicklungsschäden vermieden werden.

6.1 Dreieckschaltung

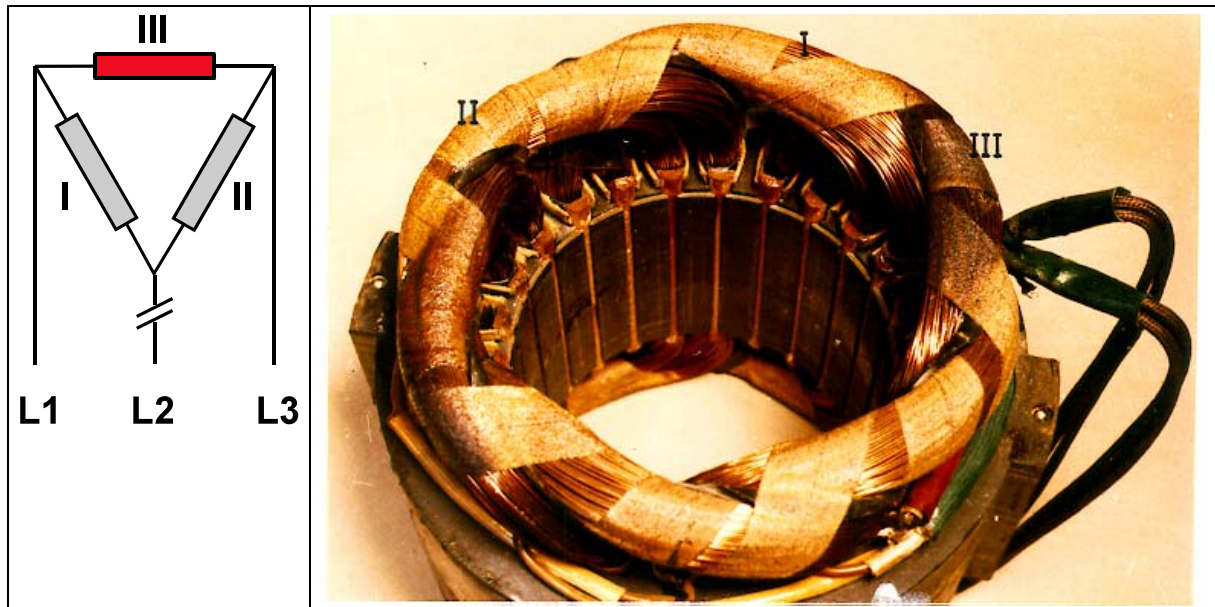


Bild 6.1.1 Prinzip und Beispiel für das Schadensbild einer 4poligen Drehstrom-Ständerwicklung nach 2-Leiterbetrieb in Δ -Schaltung (Strang III verbrannt)

Polzahl	4	6	8
Schadensbild			

Bild 6.1.2 Gefährdete Spulen (rot) am Wickelkopf von 4-, 6-, 8-poligen Drehstrom-Ständerwicklungen bei 2-Leiterbetrieb in Dreieck-Schaltung

6.2 Sternschaltung

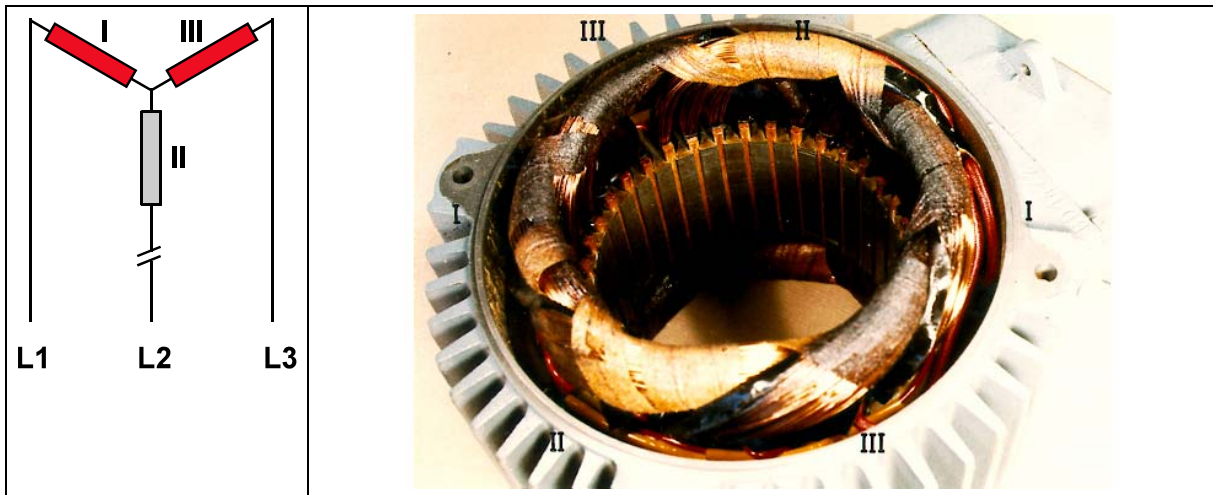


Bild 6.2 Prinzip und Beispiel für das Schadensbild einer 4poligen Drehstrom-Ständerwicklung nach 2-Leiterbetrieb in Y-Schaltung (Stränge I und III verbrannt)

Polzahl	4	6	8
Schadensbild			

Bild 6.3 Gefährdete Spulen (rot) am Wickelkopf von 4-, 6-, 8-poligen Drehstrom-Ständerwicklungen bei 2-Leiterbetrieb in Stern-Schaltung

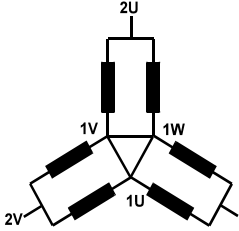
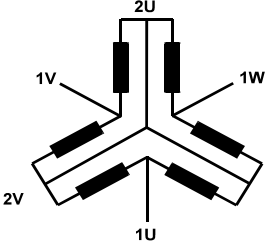

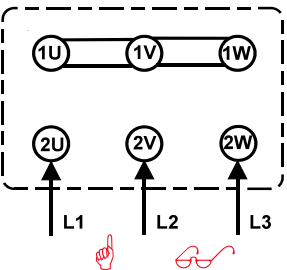
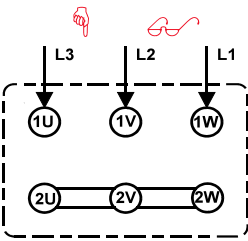
6.3 "Falsche" Sternschaltung

Diese Schaltung wird hier mit aufgeführt, obwohl sie **keinen Wicklungsschaden** verursacht. Diese bekannte Tatsache verführt jedoch dazu, auch bei der Doppelsternschaltung nach Abschnitt 6.5 die Sternbrücke ohne Beachtung der Klemmenbezeichnungen einzulegen – mit den dort beschriebenen Folgen !

		Die "falsche" Sternschaltung ist zulässig – sie führt nicht zu einem Wicklungsschaden !
Bild 6.3.1 "Richtige" Sternschaltung	Bild 6.3.2 "Falsche" Sternschaltung	

6.4 Falsche Doppelsternschaltung

Wenn bei polumschaltbaren Motoren in Dahlanderschaltung (Δ/YY) die Doppelsternbrücke an der falschen Klemmenreihe eingelegt wird, so führt dies zu einer thermischen Überlastung von einigen Teilsträngen der Wicklung mit einem ganz spezifischen, rekonstruierbaren Schadensbild nach 6.4.3. Im Gegensatz zur normalen Sternschaltung ist beim Anschluss unbedingt auf die Klemmenbezeichnung zu achten.

		
		<p>Bildquelle: Klebs+Hartmann</p>
<p>Bild 6.4.1 Richtiger Anschluss bei YY</p>	<p>Bild 6.4.2 Falscher Anschluss bei YY</p>	<p>Bild 6.4.3 Schadensbild</p>

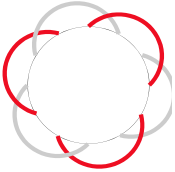

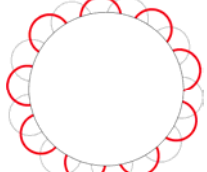
Polzahl	4/2	8/4	12/6
Schadensbild			

Bild 6.4.4 Gefährdete Spulen (rot) am Wickelkopf von 4/2-, 8/4-, 12/6-poligen Drehstrom-Ständerwicklungen bei falscher Doppelsternschaltung

6.5 Offene Dreieckschaltung (V-Schaltung)

Wenn eine Dreieckbrücke fehlt (z.B. durch losen Kontakt oder schlechte Verbindung an den Kontakten eines Schützes in einer Y/ Δ -Kombination), so ergibt sich ein Schadensbild, das mit 2-Leiterbetrieb in **Sternschaltung** vergleichbar ist. Bei Beachtung der Klemmschaltung ist das Schadensbild ebenfalls eindeutig.

		<p>Bei offener Dreieckschaltung ergibt sich das gleiche Schadensbild wie bei 2-Leiterbetrieb in Sternschaltung Gefährdete Spulen: rot</p>
<p>Bild 6.5.1 Geschlossene Dreieckschaltung</p>	<p>Bild 6.5.2 Offene Dreieckschaltung</p>	<p>Bild 6.5.3 Schadensbild</p>

6.6 Gleichmäßige, langdauernde Überlastung

Nach dieser Überlastungsart ist die gesamte Wicklung gleichmäßig dunkel gebräunt. In einzelnen Wicklungsteilen kann es als Folge der wärmebedingten Alterung zu Windungsschlüssen kommen, die durch noch stärkere Bräunung (Schwärzung) erkennbar sind.



Bild 6.6
Starke Bräunung und Alterung der Isolierstoffe nach starker und langdauernder Überlastung

6.7 Extreme, kurzzeitige Überlastung (festgebremster Läufer)

Diese Überlastungsart kann meist an der Bildung von Blasen oder Verformung von Isolierfolien erkannt werden.



Bild 6.6
Folgen einer extremen, kurzzeitigen Überlastung, z.B. Stillstand mit festgebremstem Läufer

7 Spannungsdurchschlag nach TE-Beanspruchung an PWM-Umrichtern

Die im Bild 7.1 gezeigte Annäherung der Ausgangsspannung am Umrichter an die nahezu ideale Sinusform hat einen technischen Preis: Beim Zusammentreffen ungünstiger Randbedingungen können zwischen der Wicklungssträngen und den einzelnen Windungen hohe Spannungsspitzen nach Bild 7.2 auftreten, die zu Teilentladungen (TE; Bild 7.3) und als deren Folge zu einer Erosion der Isolation führen können. Die Bilder 7.3 bis 7.5 zeigen diese örtliche Beanspruchung und ein typisches Schadensbild am Wickelkopf. Einzelheiten siehe [7].

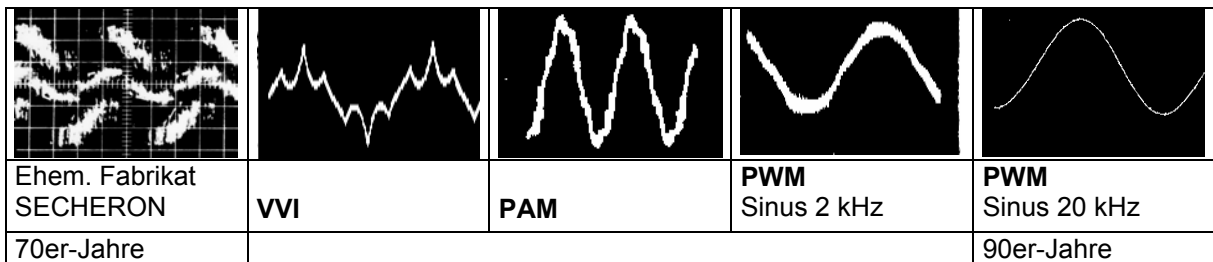


Bild 7.1 Entwicklungsschritte der Umrichterverfahren am Beispiel von fünf Ausgangskurven

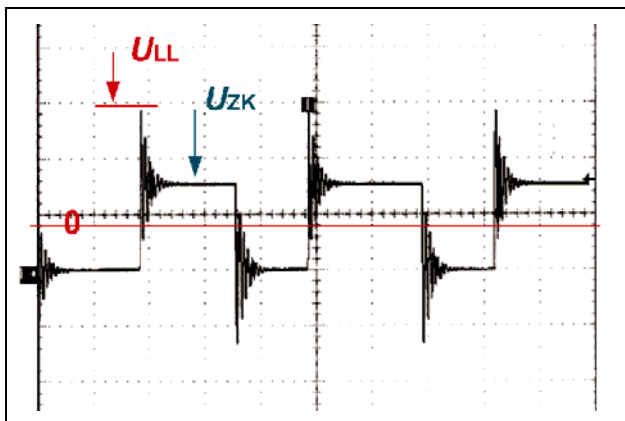


Bild 7.2
Typischer Spannungsverlauf an den Motorklemmen bei Speisung aus einem PWM-Umrichter mit **hoher** Spannungsspitze $\hat{U}_{LL} = 1500 \text{ V}$ im Vergleich zur Spannung des Zwischenkreises $U_{ZK} = 1,41 \cdot 460 = 650 \text{ V}$
Spannungsüberhöhung etwa 2,3fach

Quelle: RELIANCE ELECTRIC

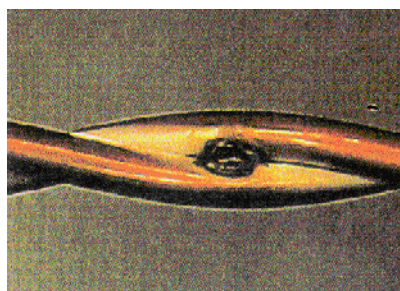


Bild 7.3
Simulation einer Teilentladung an den
Lackdrähten einer Wicklung
Quelle: Baker Instrument GmbH

Bild 7.4
Spannungsdurchschlag an einem Twist
aus Lackdrähten als Folge von TE
Quelle: EA 5/1999 Essex Group (USA)

Bild 7.5
Charakteristischer örtlicher
Spannungsdurchschlag und
Windungsschluss als Folge von TE
Quelle: US-Magazin EC&M 3/96

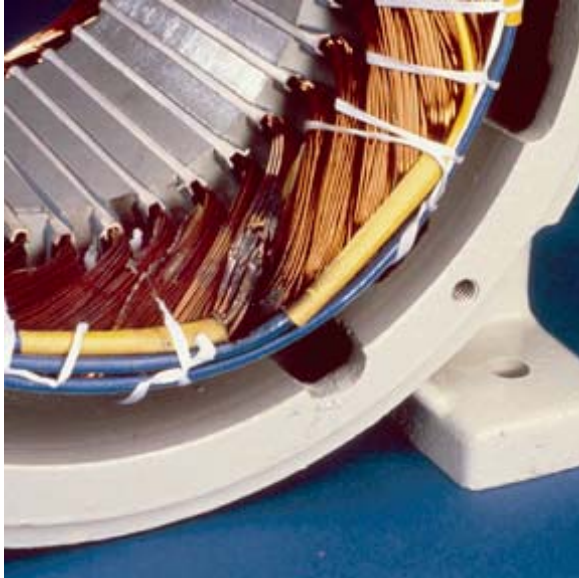


Bild 7.6
Spannungsdurchschlag als Folge von
Spitzenspannungen aus einem PWM-
Umrichter mit Schädigung der Drahtisolation
durch TE

Quelle: Internet-Veröffentlichung der EASA

8 Rückschlüsse aus der Schadensstelle

Wiederholte Wicklungsausfälle am gleichen Motor und an der gleichen Stelle der Wicklung können kaum dem Zufall zugeordnet werden. Es lohnt sich daher, Ursache und Stelle des Schadens zu protokollieren und Konsequenzen zu ziehen, bevor es zu weiteren Wiederholungen kommt.

Aus der Veröffentlichung [4] ergeben sich interessante Rückschlüsse:

Wenn 70% der in einem bestimmten Zeitraum von einem Anwender beobachteten Wicklungsfehler im unteren Segment liegen, so ist dies ziemlich sicher der Einwirkung von Wasser oder Feuchtigkeit zuzuschreiben.

Konsequenzen: Schutzart erhöhen und/oder Dichtungen (vor allem am Klemmenkasten überprüfen und verbessern.

		<p>Gedrängte Raumverhältnisse zwischen Wickelkopf und Lagerschild können bei der nicht zu verhindernden Kondenswasserbildung zu Überschlügen führen.</p> <p>Hier können auch Kondenswasserlöcher nichts helfen. Im Gegensatz zu dem gezeigten Beispiel werden bei einer guten Konstruktion reichliche Abstände eingehalten und damit Überschlüge mit Sicherheit vermieden.</p>
<p>Bild 8.1 Verteilung der protokollierten Wicklungsschäden am Umfang (nach [4])</p>	<p>Bild 8.2 Gedrängte Raumverhältnisse zwischen Wickelkopf und Lagerschild</p>	

Aus der gleichen Erhebung stammen die Zahlen für die Verteilung von Wicklungsschäden auf Nut, Nutaustritt und Wickelkopf. Sowohl beim Einlegen der Wicklung von Hand wie beim Einziehen mit Maschine werden die Wickeldrähte in der Nut und am Nutende am meisten beansprucht. trotzdem treten nur etwa 11 % der Wicklungsschäden an diesen »gefährdeten« Stellen auf – alle übrigen am oder im Wickelkopf.

Konsequenzen: Schutzart und Abdichtung gegen Wasser oder Fremdkörper verbessern.
Mechanische Beschädigungen bei der Demontage vor Ort oder in der Reparaturwerkstatt vermeiden.

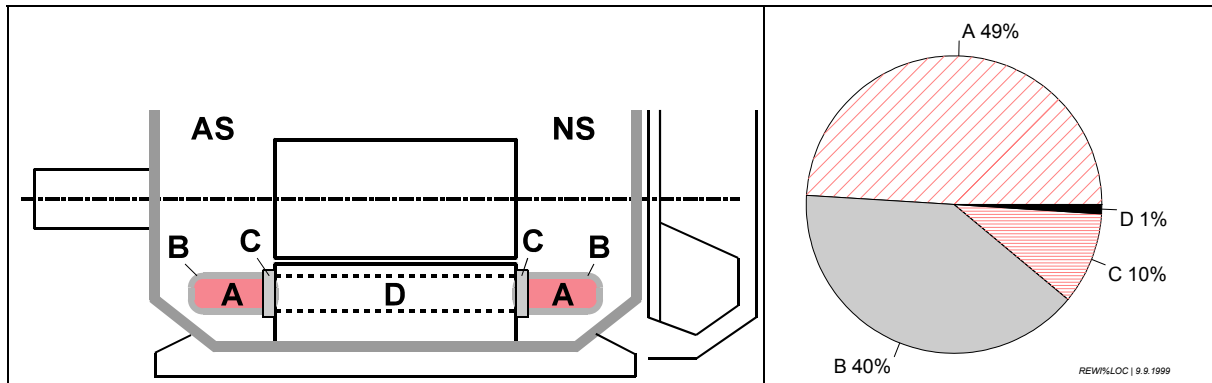


Bild 8.3 Verteilung der Wicklungsschäden auf die Teile einer Ständerwicklung

AS	64 % (wärmere Seite)	NS	36 % (kühlere Seite)
A	im Wickelkopf innen	B	am Wickelkopf außen
C	am Nutaustritt	D	in der Nut

Literaturhinweise

- [1] *Greiner, H. :*
Umrichter-Motoren
Sonderdruck SD 2996 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, 73726 Esslingen
- [2] *N.N. :*
Unterlagen der Fa. Elektrotechnisches Laboratorium, 70807 Korntal
- [3] *N.N. :*
Unterlagen der Fa. Baker Instrument GmbH, 90475 Nürnberg
- [4] *Rotter, H. W. :*
Werkstattmäßige Überholung von elektrischen Maschinen und Geräten
SIEMENS 2297/1979
- [5] *Greiner, H. :*
Schutzmaßnahmen bei Drehstromantrieben
Schutz gegen Berührung, Umgebungseinflüsse, elektrische und mechanische Überlastung
Danfoss Bauer GmbH, 2004
- [6] *Greiner, H. :*
Installation und Instandhaltung von Getriebe-Motoren
Sonderdruck SD 2496 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, 73726 Esslingen
- [7] *Greiner, H. :*
TE-feste Spezialwicklungen oder Maßnahmen am Umrichter Ausgang?
Elektromaschinen und Antriebe; de-Jahrbuch 2006
Hüthig & Pflaum Verlag, München/Heidelberg

Für Notizen

Teil II Schäden an Käfigläufern

Merkmale und Prüfung

Obering. H. Greiner

Übersetzung und Anmerkungen
zum Technischen Handbuch der EASA "Electrical Apparatus Service Association" USA

1 Einführung des Übersetzers

Der Drehstrom-Käfigläufermotor hat zurecht den Ruf eines besonders robusten und störungsarmen Antriebsmittels. Es ist vor allem die Bauart und Wirkungsweise des Rotors, die ihm zu diesem Prädikat verholfen hat.

Käfigschäden sind ausserordentlich selten. Sie sind nicht immer so leicht zu erkennen wie in Bild 1.



Bild 1 Folgeschaden an einem Doppelstab-Kupferläufer nach einem Lagerschaden

In der Literatur sind die Verfahren zur Erkennung von Käfigschäden nur spärlich beschrieben, und es sind auch keine einfachen, handelsüblichen Prüfinstrumente bekannt.

In dieser Abhandlung werden die grundsätzlichen Verfahren und Instrumente zur Prüfung von Käfigläufern beschrieben. Sie ist in zwei Abschnitte eingeteilt: Prüfungen am ausgebauten Rotor und Prüfungen am vollständig zusammengebauten Motor.

2 Bauarten der Käfigläufer

Grundsätzlich haben Käfigläufer Stäbe und Endringe aus Kupfer oder Aluminium. Rotoren mit Kupfer oder Kupferlegierungen sind üblicherweise geschweißt, d. h. Stäbe und Endringe werden bei der Herstellung verschweißt. Gegossene Kupferkäfige sind seit etwa 2003 als Sonderausführung am Markt.

Im Gegensatz dazu bestehen Aluminiumrotoren aus Druckguss, d. h. Stäbe und Endringe werden in einem Arbeitsgang geformt. In Ausnahmefällen werden bei einigen Großmaschinen (oberhalb der genormten NEMA-Baugrößen) die Aluminiumstäbe (üblicherweise aus gezogenem Material) mit den Endringen verschweißt.

Die nachstehend beschriebenen Verfahren können zur Feststellung von Fehlern an Kupfer- oder Aluminium-Käfigläufern verwendet werden, unabhängig davon, ob es sich um eine geschweißte oder gegossene Konstruktion handelt.

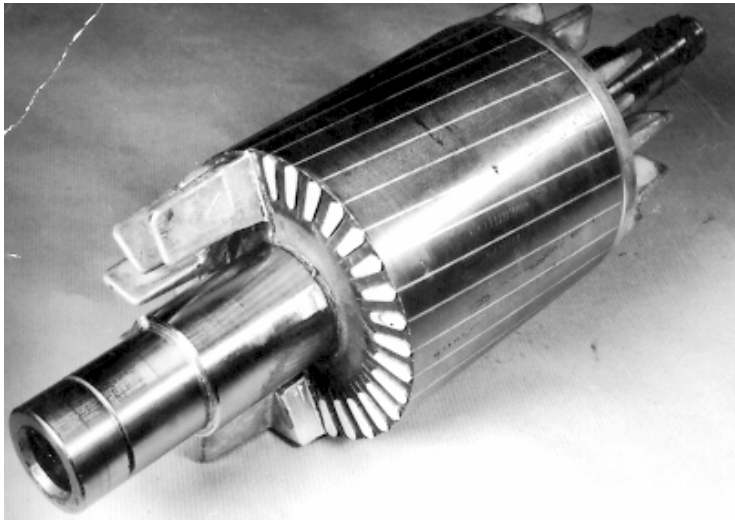


Bild 2.1
Aluminium-Pressgussläufer

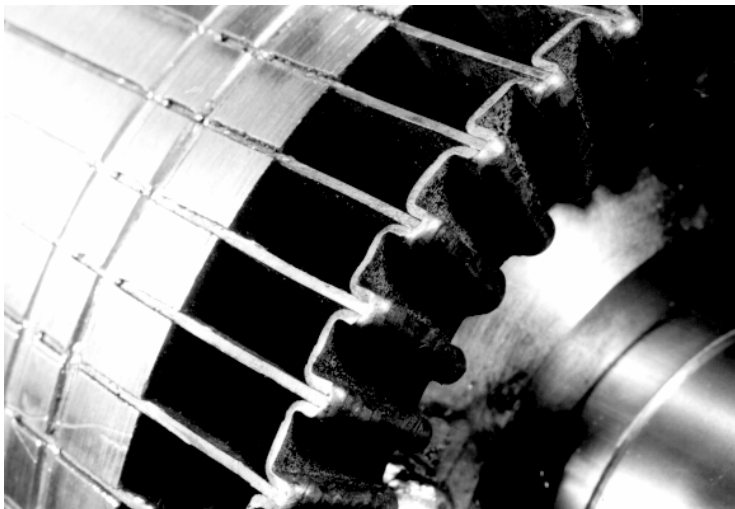


Bild 2.2
Kupfer-Stabläufer

3 Rotor-Prüfung bei demontiertem Motor

3.1 Vorbereitungen

Einrichtungen und Materialien zur Prüfung auf Rotorfehler:

- Prüfsummer passender Grösse
- Feines Eisenpulver und ein Blatt Papier
- Gewöhnliches Sägeblatt
- Material zur Anzeige eines Magnetfeldes
- Prüfgerät für Eisenverluste
- Infrarot-Thermometer oder -Kamera
- Ohmmeter für niedrige Widerstände im Bereich von Mikro-Ohm.

Nach dem Ausbau sollte der Rotor gründlich gereinigt und untersucht werden.

3.2 Untersuchung

Der Rotor ist gründlich zu untersuchen; dabei ist auf Risse im Endring und auf vom Rotorpaket abgetrennte Ringe zu achten. In Bereichen mit Rissen oder Unterbrechungen fließt infolge des erhöhten Widerstandes ein verminderter Strom; daher sollten diese Bereiche im Protokoll vermerkt werden.

Der Rotor ist auf Anzeichen zu untersuchen, die auf hohe Erwärmung und geschmolzene Legierung hindeuten – z. B. geschmolzenes Metall, das an den Nuten ausgelaufen ist oder herausgeschleudert wurde. Bei Pressgussrotoren kann das Vorhandensein von geschmolzenem Metall darauf hindeuten, dass der Querschnitt der Rotorstäbe und damit die Strombelastbarkeit vermindert wurde. Vermerken Sie solche Abweichungen im Protokoll.

Anschliessend ist der Rotor auf Anzeichen einer örtlichen Überhitzung zu untersuchen. Falls der Käfigläufer ursprünglich mit Farbe gestrichen wurde, zeigen sich Überhitzungen oft als geschwärzte Flecken, bei welchen Stromübergänge den Anstrich durchbrochen haben. Solche Brandmarkierungen deuten darauf hin, dass entweder ein hoher Übergangswiderstand oder eine Unterbrechung im Käfig vorliegt.

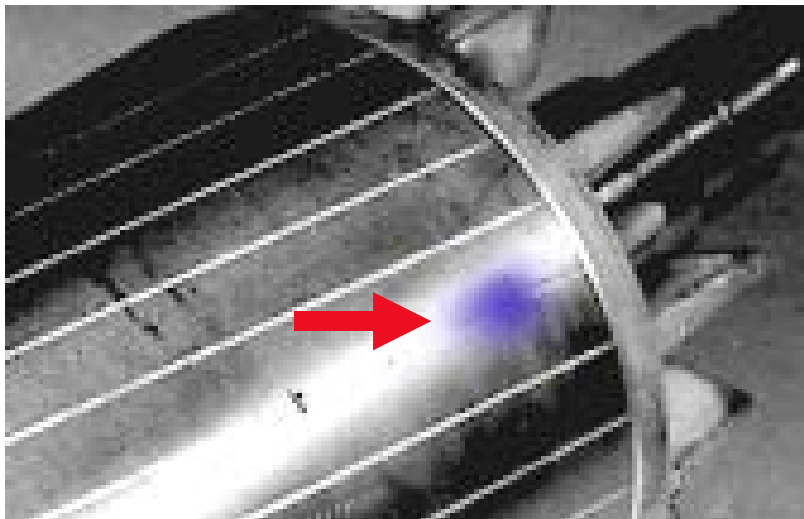


Bild 3.2
Anzeichen einer örtlichen
Überhitzung in einer Nut

Ein Stabbruch verursacht manchmal auch einen Stromübergang zu benachbarten Stäben und Brandstellen im Paket. In schweren Fällen kann der Lichtbogen den Nutschlitz verbrennen und ein Streifen des Stabes am Stator verursachen.

3.3 Elektrische Prüfungen

Im demontierten Zustand können die folgenden elektrischen Prüfungen benutzt werden, um Stabbrüche oder Unterbrechungen im Pressgusskäfig festzustellen. Es sind zweckmäßige Sicherheitsmassnahmen bei diesen Prüfungen anzuwenden. Benutzen Sie einen Temperaturfühler und nicht Ihre Hände, um nach heißen Stellen zu suchen.

3.4 Prüfungen mit dem Summer

Mit einem Prüfsummer passender Grösse kann eine grundsätzliche Untersuchung auf Käfigschäden vorgenommen werden. Achten Sie darauf, dass der Prüfsummer mindestens je ein Drittel des Rotor-Umfanges und der Rotor-Länge erfassen kann. Wenn er zu gross ist, gehen magnetische Flusslinien über den Läufer hinweg. Wenn er zu klein ist, dringen zu wenige Flusslinien in den Rotor ein. In beiden Fällen kann das Prüfergebnis falsch sein.

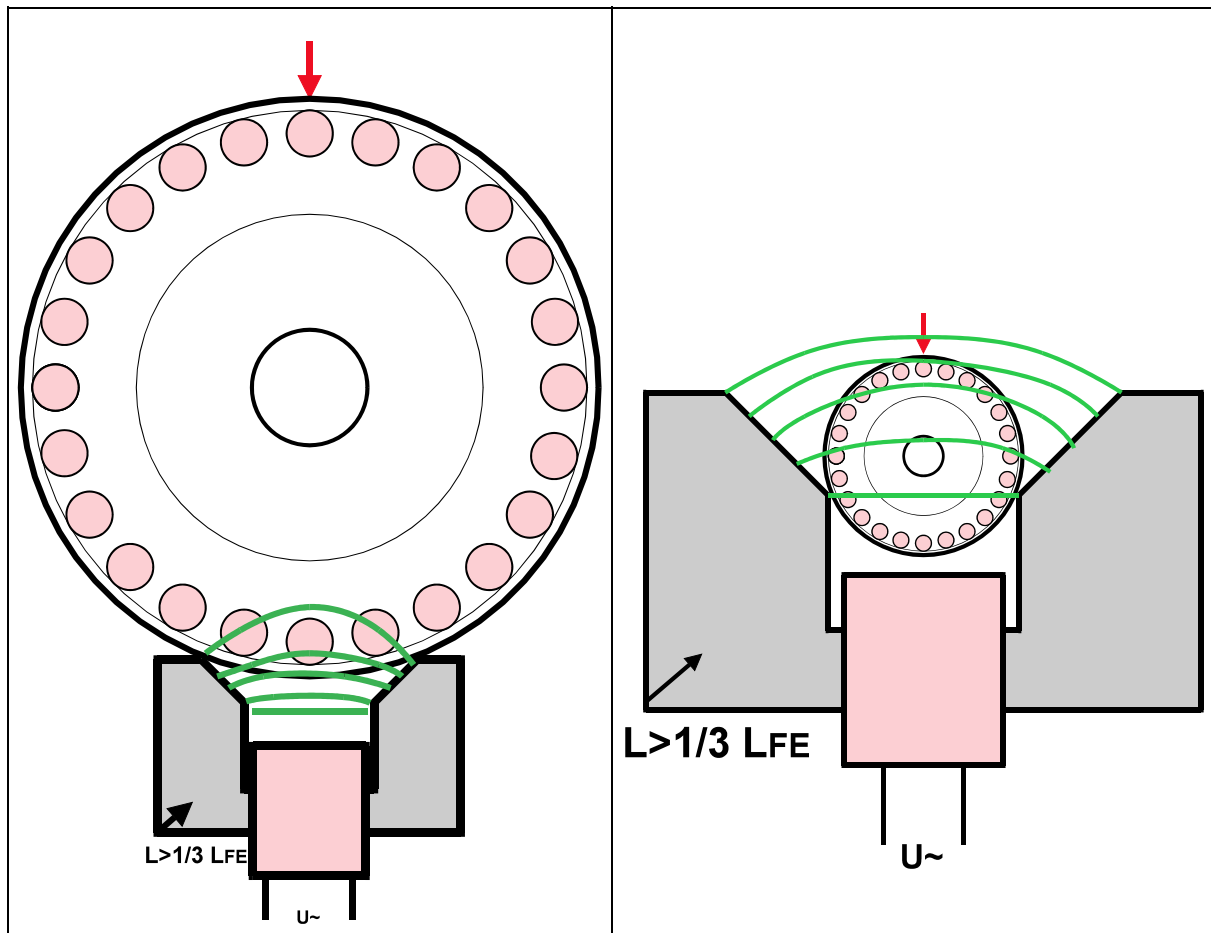


Bild 3.4.1
Summer zu klein

Bild 3.4.2
Summer zu gross

3.8 Handgeführter Prüfsummer

Es kann auch ein handgeführter Summer zur Prüfung auf Defekte in einem Käfigläufer verwendet werden. Zu diesem Zweck wird der Prüfsummer so angeordnet, dass er den zu prüfenden Stab umfasst. Nach dem Einschalten des Summers ist jeder einzelne Stab nach einer der oben beschriebenen Methoden (Eisenfeilspäne, Sägeblatt oder magnetfeld-empfindliches Material) zu prüfen.

3.9 Schäden infolge Wärmedehnung

Manchmal verursacht Wärmedehnung eine Unterbrechung von Stäben bei Betriebstemperatur und Durchgang bei Umgebungstemperatur. Wenn solche Schäden nicht gefunden werden, kann die Leistungsabgabe des Motors bei Belastung vermindert sein. Deshalb sollten verdächtige Rotoren, die den Summertest bestehen, auf Betriebstemperatur erwärmt und dann nochmals geprüft werden. Um den Kurzschlussläufer zu erwärmen, kann er auf dem eingeschalteten Summer belassen oder in einen Wärmeschrank gebracht werden.

3.10 Prüfung mit hohem Wechselstrom

Es gibt zwei Verfahren, um Rotorschäden mit Hilfe von hohem Wechselstrom festzustellen: Eisenfeilspäne und örtliche Erwärmung. Einige Geräte zur Ermittlung von Eisenverlusten haben genügend Energie, um diese Prüfungen durchzuführen.

3.10.1 Eisenfeilspäne

Verbinden Sie eine Hochstrom-Wechselstromquelle mit den beiden Enden der Läuferwelle und schicken Sie genügend Strom durch den Rotor, um ein Magnetfeld zu erzeugen. Legen Sie ein Blatt Papier auf den Rotor und streuen Sie Eisenfeilspäne darauf (wie bei der Summermethode beschrieben). Die Eisenspäne werden sich am Stab ausrichten, wenn er nicht unterbrochen ist. Drehen Sie den Rotor und wiederholen Sie das Verfahren bis der ganze Umfang des Rotors geprüft ist. Es kann auch ein Sägeblatt oder magnetfeld-empfindliches Material bei diesem Test verwendet werden. Wenden Sie das beim Summertest beschriebene Verfahren an.

3.10.2 Örtliche Erwärmung

Um heiße Stellen am Rotor zu ermitteln, sind die beiden Enden der Läuferwelle an eine geeignete Stromquelle anzuschließen und mit hohem Strom zu beschicken. Der Rotor sollte sich langsam und gleichmäßig erwärmen, wenn keine Stäbe oder Ringe unterbrochen sind. Ein geschwächter oder unterbrochener Stab verursacht üblicherweise eine örtliche Erwärmung. Ein Infrarot-Thermometer oder eine Infrarot-Kamera kann zum Auffinden der heißen Stellen nützlich sein. (Anmerkung: Manche Infrarot-Geräte können durch Magnetfelder beschädigt werden oder falsch anzeigen.)

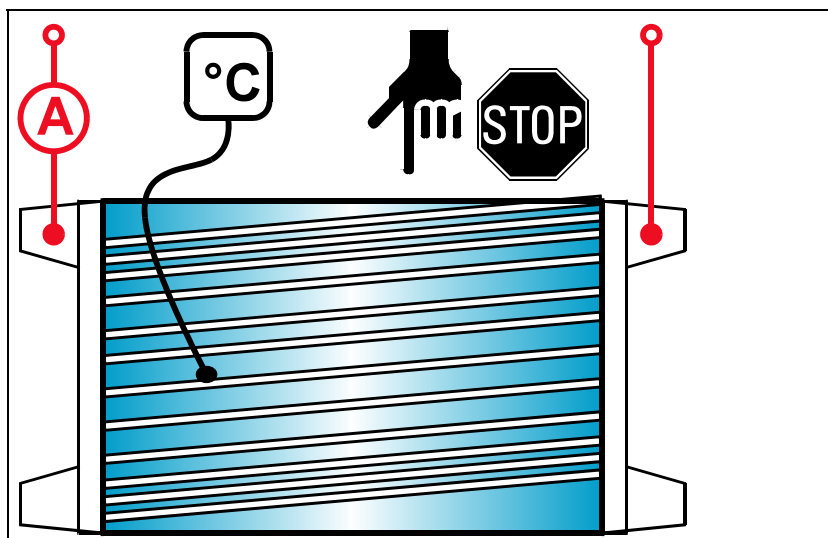


Bild 3.10.2

Beschickung mit hohem Strom und Suche nach örtlich überhörter Erwärmung mit Temperaturfühler

Vorsicht ! Nicht berühren !

3.11 Ohmmeter für niedrige Widerstände

Ein Niederohm-Widerstandsmesser kann nützlich sein, um die Gleichmäßigkeit des Materials in den Nuten zu prüfen und um Risse in geschweißten Käfigen oder Lunker in gegossenem Material festzustellen. Um diesen Versuch durchzuführen, ist der Mikroohm-Widerstand jedes Stabes zu messen, wobei sicherzustellen ist, dass die zusammengehörigen Enden eines bestimmten Stabes geprüft werden. Um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, sind die Messungen bei gleicher Entfernung an jedem Stab zu machen. Zu diesem Zweck kann ein Markierungsband um den Umfang des Rotors gelegt werden. Dieses Band kann auch dazu benutzt werden, defekte Stäbe zu bezeichnen. Um Lunker oder Risse in einem Endring festzustellen, ist der Widerstand von Stab zu Stab an jedem Endring zu prüfen. Die Prüfung ist bei Betriebstemperatur zu wiederholen, um Fehler festzustellen, die mit der Wärmedehnung zusammenhängen. Zu diesem Zweck ist der Rotor nach der vorangehenden Beschreibung zu erwärmen.

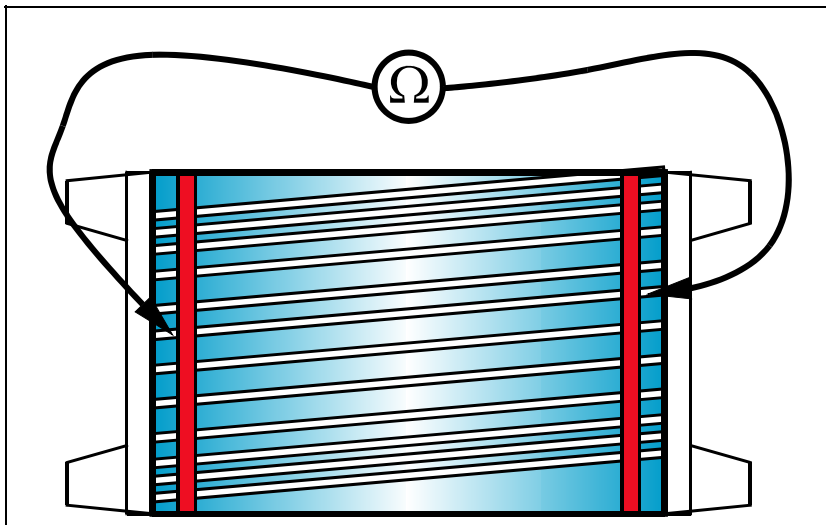


Bild 3.11

Widerstandsmessung der einzelnen Stäbe unter Beachtung der zusammengehörigen Enden mit Hilfe eines Markierungsbandes

Widerstände liegen im Bereich von Mikro-Ohm

4 Rotor-Prüfung bei montiertem Motor

4.1 Vorbereitungen

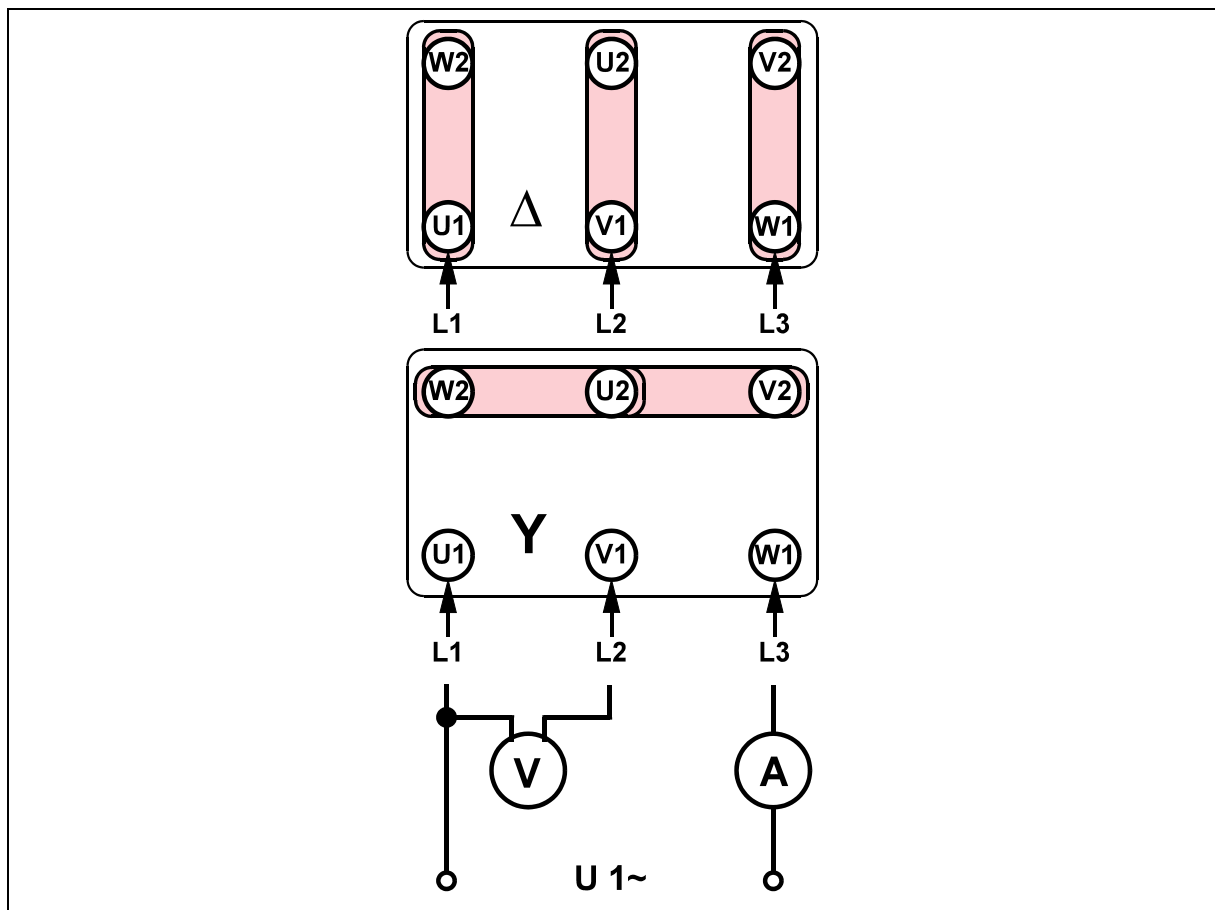
Einrichtungen zur Prüfung von Läufer Schäden bei zusammengebautem Motor:

- Stromversorgung mit einstellbarer Spannung
- Zangenstrommesser
- Spannungsmesser
- Schwingungsmesser
- Spezielle Geräte: Fourier-Transformation und Spektrum-Analyse
 Stromwandler
 Spule zur Erfassung des Streuflusses.

4.2 Statische Methode

Einphasen-Strommessung

Mit diesem Test können Läuferfehler in zusammengebautem Zustand bei Stillstand ermittelt werden. Für die Prüfung ist der Motor vom Netz zu trennen und an zwei der drei Motorklemmen an eine einphasige Niederspannungsquelle anzuschließen. Ein Voltmeter ist zwischen einen dieser beiden Anschlüsse und die freie Motorklemme zu schalten.



Die Einphasenspannung ist so zu wählen, dass sich am Strommesser etwa 50 ... 100 % des Bemessungsstromes einstellen.

Nun ist die Welle von Hand langsam zu drehen und gleichzeitig das Anzeigeeinstrument zu beobachten. Wenn ein unterbrochener Stab in das Feld eintritt, geht die Stromaufnahme zurück und die Spannung steigt um etwa 3 %. Diese Änderung wiederholt sich bei jeder Umdrehung des Läufers. Um die Instrumentenausschläge besser beobachten zu können, ist ein möglichst hoher Ausschlag zu wählen. Notieren Sie die Ablesungen von Strom und Spannung.

4.3 Dynamische Methoden

Mit den folgenden Verfahren können Läuferschäden bei Betrieb mit Last ermittelt werden.

4.4 Schwingungs-Analyse

Ein Schwingungs-Analysator kann die Schwingfrequenzen eines laufenden Motors ermitteln und hilft bei der Eingrenzung von elektrischen oder mechanischen Ursachen. Die von elektrischen Fehlern (z. B. von Unterbrechungen im Käfig) verursachte Schwingfrequenz liegt im allgemeinen bei der doppelten Netzfrequenz (z. B. 100 Hz oder 6000 Schwingungen pro Minute bei einem 50 Hz-Netz). Andere Probleme, die Vibrationen mit doppelter Netzfrequenz verursachen: Unrunder Läufer, nichtfluchtende Bohrung von Rotor und Stator (ungleicher Luftspalt), elliptisches Statorpaket, Unterbrechung oder Kurzschluss in der Wicklung.

Um festzustellen, ob das Problem elektrische oder mechanische Ursachen hat, ist der Motor abzuschalten. Wenn die Schwingungen mit dem Abschalten sofort aufhören, sind sie wahrscheinlich elektrisch verursacht.

Ein Motor mit Stabbruch nimmt üblicherweise bei Bemessungsleistung eine erhöhten Strom auf und läuft etwas unterhalb der Bemessungsdrehzahl. Der Zeiger eines Analog-A-Meters vibriert. Schwingungen infolge elektrischer Unregelmäßigkeiten nehmen im allgemeinen mit der Belastung zu.

4.5 Spezielle Methoden

Die beiden folgenden Verfahren zur Ermittlung von Stabbrüchen oder anderen Käfigschäden bei laufendem Motor erfordern besondere Geräte und Erfahrung mit der Analyse von Messwerten:

4.5.1 Spule zur Erfassung des Streuflusses

Eine spezielle Rundspule zur Erfassung des Streuflusses kann aussen am Motor angebracht werden, um die Bedingungen zu erfassen, unter denen sich die elektrische Charakteristik des Motors verändert. Die Spule wird üblicherweise konzentrisch zur Welle aussen am B-seitigen Lagerschild angebracht. Spannung oder Strom der Spule werden angezeigt und in einem Spektrum-Analysator bearbeitet.

4.5.2 Überwachung des Statorstromes

Ein solches System zur Ermittlung der vom Rotor auf den Stator übertragenen Ströme arbeitet weitgehend auf gleiche Weise wie die Flussüberwachung. Ein Stromwandler in der Motorzuleitung erzeugt ein Signal, das angezeigt und von einem Spektrum-Analysator analysiert wird.

Die Ergebnisse der Streuflusserfassung und der Motorstromüberwachung werden auf die gleiche Art und Weise analysiert und interpretiert. Die fehlerhaften Frequenzanteile erscheinen als oberes und unteres Seitenband von ausgeprägten Harmonischen der Läuferdrehzahl. Zur Ermittlung von Stabbrüchen werden die Schwankungen der Amplitude in einem oder mehreren dieser Seitenbänder erfasst und mit der Komponente der Netzfrequenz verglichen.

Ende der Übersetzung.

Anmerkungen des Übersetzers:

Schäden an Käfigläufern sind äußerst selten und sehr schwer zu erfassen. Dies ist wohl der Grund, dass in der Fachliteratur nur wenige Hinweise zu finden sind. Diskussionen bei praxisnahen Seminaren von »ema« und »BfE« gaben Veranlassung, die aus dem Jahr 1996 stammende Abhandlung im »EASA Technical Manual« zu übersetzen. Dem ehemaligen Präsidenten der »European and World Chapter der EASA« Herrn Joachim Steinlen sei an dieser Stelle für die Beschaffung dieser Unterlage besonders gedankt.

Eigene, positive Erfahrungen mit den hier beschriebenen Prüfmethoden liegen nur zur »Summer-Methode« vor.

Es wäre nützlich, wenn aus der Leserschaft der »ema« über Erfahrungen mit den beschriebenen und eventuell mit weiteren Prüfmethoden berichtet würde.

Aus eigenen Erfahrungen werden einige weitere Hinweise gegeben:

5 Stabbruch durch Wärmedehnung

Bei mittleren und größeren Maschinen kann durch unzulässigen Schaltbetrieb eine thermische Überlastung des Rotors eintreten, weil die hohen Verlustanteile nicht abgeführt werden. Die Grenzwerte für die Schalthäufigkeit sind daher zu beachten.

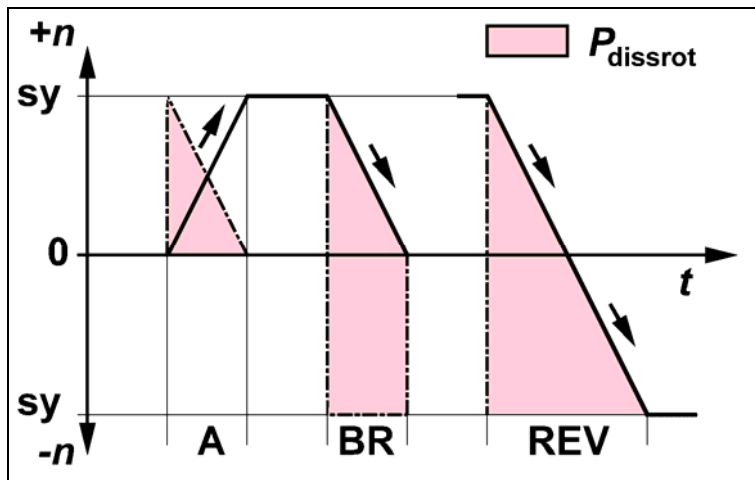


Bild 5.1
Schematische Darstellung der Begriffe
»Anlauf« (A),
»Gegendrehabremung« (BR)
»Reversierung« (REV) und der
Rotor-Verlustleistung P_{dissrot}

Käfigschäden machen sich durch eine Verschlechterung der Hochlaufeigenschaften bemerkbar – zum Beispiel durch schleppende Beschleunigung oder Verzögerung. Die Hochlauf-Drehmomentkennlinien im Bild 5.2 machen den Unterschied deutlich.

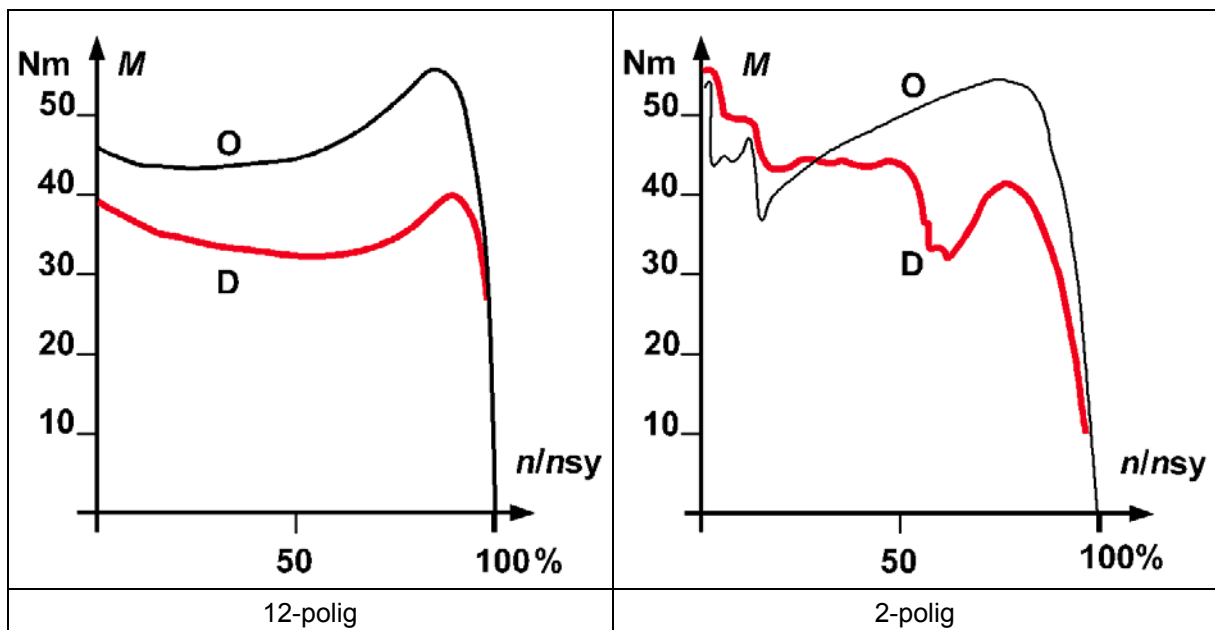


Bild 5.2 Hochlauf-Kennlinien eines 12/2-polig umschaltbaren Käfigläufermotors
O - Originalzustand
D - Defekter Zustand mit Anzeichen eines versteckten Stabbruches

Die thermische Überbeanspruchung ist an den »Anlassfarben« am Läuferpaket erkenntlich: Blaue Farben signalisieren eine Temperatur von mehr als 300 °C.

Wenn sich der Kurzschlussring von den Stäben ablöst, so ist der Schaden visuell gut erkennbar. Gelegentlich treten jedoch kaum sichtbare Haarrisse in den Stäben auf, die das Betriebsverhalten des Motors beeinträchtigen. Zur Eingrenzung der Schadensursache ist ein Versuch mit festgebremstem Läufer zur Messung von Anzugsmoment und Anzugsstrom notwendig.

Dieses aus den Herstellerunterlagen ersichtliche Wertepaar kann durch einen »Kurzschlussversuch« – möglichst mit Bemessungsspannung – relativ leicht überprüft werden.

Welche Abweichungen sind zulässig ?

DIN VDE 0530 Teil 1 nennt in der Tabelle 8 folgende "zulässigen Abweichungen":

Anzugsstrom + 25 % der Leistungsschildangabe / ohne Begrenzung nach unten.

Anzugsmoment + 25 % / – 15 % der Leistungsschildangabe.

Diese Toleranzen signalisieren zwei wichtige Botschaften:

- Anzugsstrom und Anzugsmoment unterliegen einer **relativ breiten fertigungs- und materialbedingten Streuung**.
- Die zulässigen Abweichungen – vor allem die unbegrenzte Abweichung des Anzugsstromes nach unten – wurden offensichtlich im Hinblick auf die **Funktion der angetriebene Maschine** und auf die **Netzbelastung** festgelegt.

Bei der Prüfung von Käfigläufermotoren auf eventuelle Läuferschäden muss ein **anderer Maßstab** angelegt werden:

Hier geht es nicht um die Streuung von Stück zu Stück, sondern um Abweichungen, die eine Änderung gegenüber dem Neuzustand anzeigen.

Als kritisch und einer Rückfrage beim Hersteller würdig werden Abweichungen von mehr als **etwa minus 20 ... 25 %** angesehen.

6 Fertigungsfehler bei Druckgussrotoren

Fertigungsfehler sind außerordentlich selten. Wenn sie sich äußerlich sichtbar nach Bild 6.1 darstellen, werden sie in einem funktionierenden Qualitätssicherungssystem erkannt.

Versteckte **Lunker** nach Bild 6.2 sind schwerer oder garnicht zu erkennen, haben aber in der Regel keine gravierenden Auswirkungen auf das Betriebsverhalten. Bild 6.3 zeigt als Anschauungstück das Käfig eines Druckgussrotors, bei dem in einem langwierigen Prozess das Blechpaket auf chemischem Weg entfernt wurde.



Bild 6.1
Versetztes Blechpaket (Fertigungsfehler)

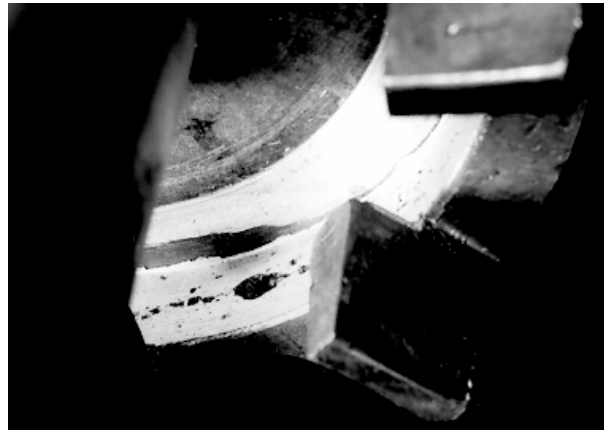


Bild 6.2
Lunker im Kurzschlussring (Fertigungsfehler)

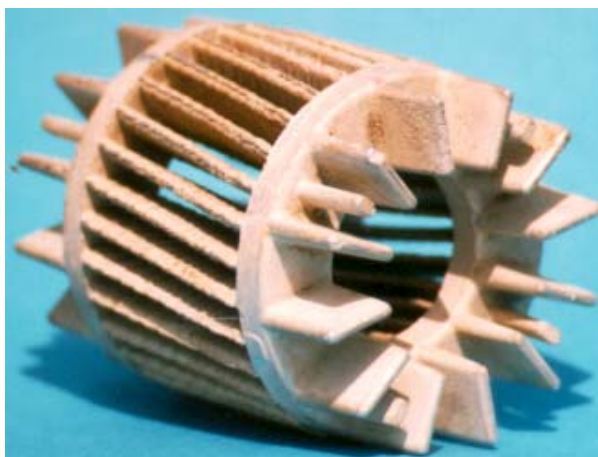


Bild 6.3
Kurzschlusskäfig (Anschauungsstück)

7 Qualitätsprüfung von Käfigläufern

Nach Unterlagen der Fa. BAKER [3.2] wird ein neues Prüfsystem zur Erkennung von Beschädigungen und Fehlern in Käfigen von Kurzschlußläufern beschrieben.

Die Einrichtung nach Bild 7.1 erlaubt mit spezieller Messsensorik eine schnelle und präzise Bestimmung der Art und Lage des Fehlers an ausgebauten Kurzschlußläufern aller Art und Größe. Das Prinzip beruht auf der Leitfähigkeit und einer Vergleichsmethode zwischen einzelnen Stäben oder zwischen einzelnen Kurzschlußläufern. Es ist auch möglich, einen Stab von einem guten Läufer mit einem Stab eines beliebigen Läufers zu vergleichen.

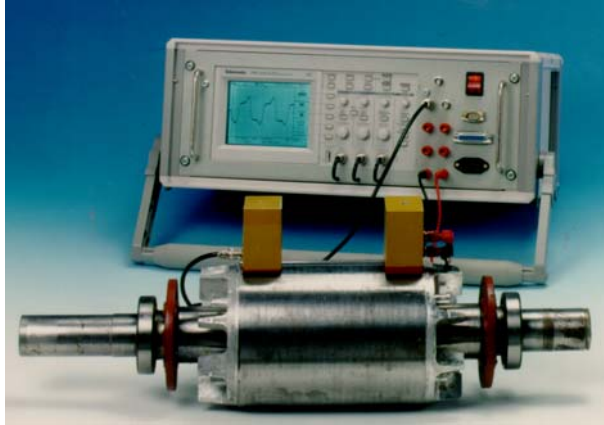


Bild 7.1
BAKER Rotortester RT1 zur Prüfung der Qualität von Käfigläufern

Das Gerät hat eine spezielle Stromversorgungseinheit, ein Anzeigeteil mit Speicher- und Ausdruckmöglichkeit sowie einen Satz elektromagnetischer Sensoren. Üblicherweise besteht ein Prüfsystem aus mehreren solchen Sätzen der Sensoren, um ein großes Spektrum an Rotorbaugrößen und Nutschrittweiten abzudecken.

Die Sensoren werden paarweise auf die Oberfläche des Rotors aufgesetzt. Dies gestattet die schrittweise Prüfung aller Rotorstäbe und folglich eine präzise Bestimmung und Lokalisierung des Fehlers.

Während der Prüfung besteht keinerlei Gefahr für den Prüfling oder das Personal. Nach kurzer Einarbeitungszeit wird der Bediener über ausreichende Erfahrungen für eine zuverlässige Fehlerbestimmung verfügen.

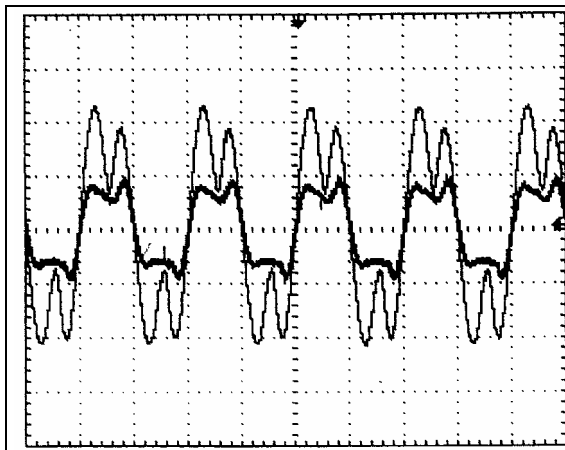


Bild 7.2
Beschädigter Stab

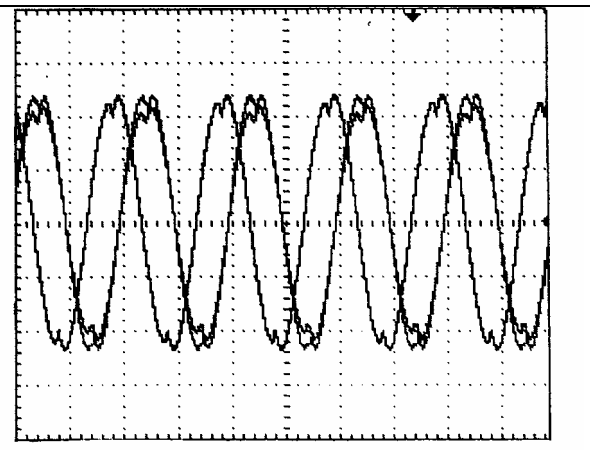


Bild 7.3
Unbeschädigter Stab

eines Aluminium Pressgussläufers, beurteilt nach einer Messung der Leitfähigkeit mit Baker RT1

Teil III Schäden an mechanischen Bauteilen Wälzlager – Wellen – Getrieberäder

Obering. H. Greiner

0 Einführung

Für den Praktiker ist es keine ganz neue Erkenntnis, dass mechanische Bauteile wie Lager, Zahnräder, Wellen und Passfedern relativ häufiger versagen als die vermeintlich so »empfindliche« Wicklungsisolation. Die Reparaturpraxis bestätigt dies (Bild 0.1):

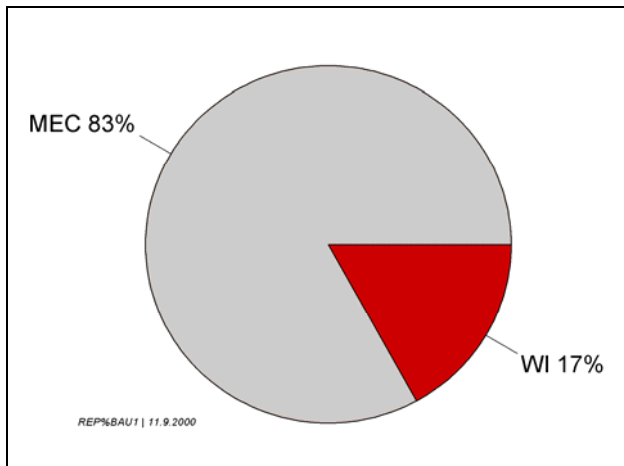


Bild 0.1
Relativer Anteil der Hauptkomponenten an den Gesamtreparaturen von BAUER-Getriebe-Motoren

MEC - mechanische Teile
WI- Wicklung

Die wichtigsten Gründe: Während für den thermischen Überlastungsschutz der Wicklung ausgereifte und relativ kostengünstige Möglichkeiten zur Verfügung stehen, sind die mechanischen Komponenten den unkontrollierten Stoßbelastungen schutzlos ausgeliefert (Bild 0.2). Falsche oder vernachlässigte Schmierung ist ein anderer wichtiger Grund.

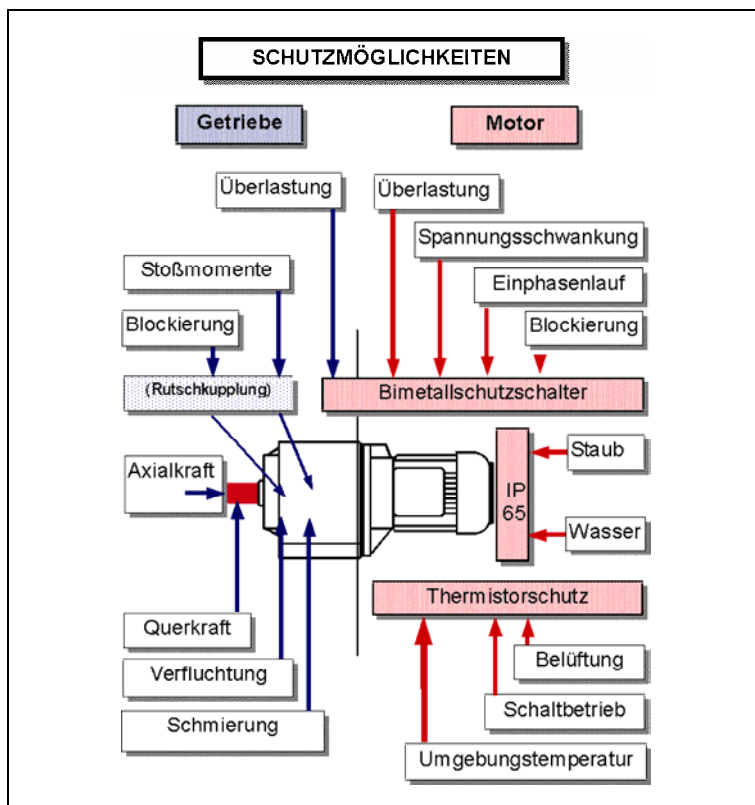


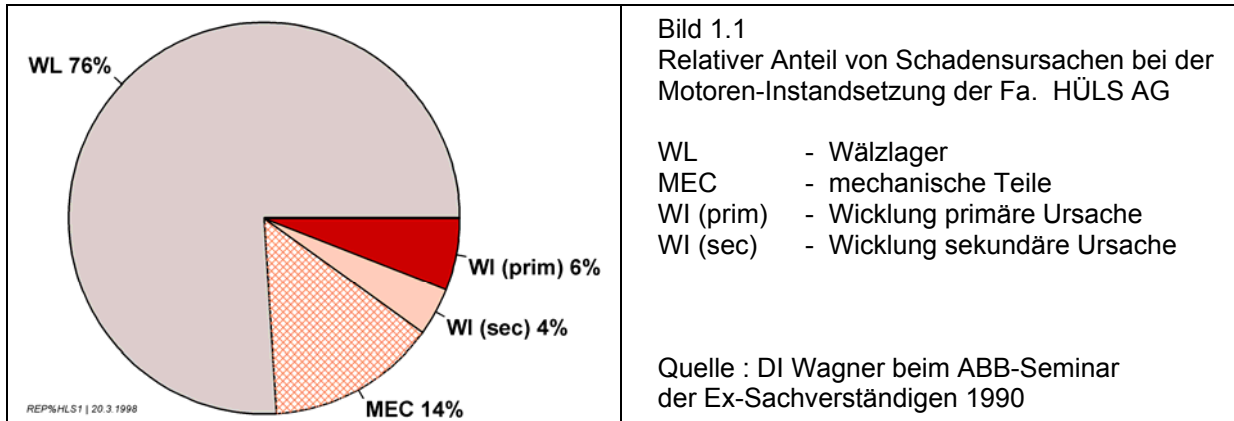
Bild 0.2
Schema der Schutzmöglichkeiten für Getriebe und Motoren

Begründung für den relativ hohen Anteil mechanischer Schäden an der Gesamtzahl der Instandsetzungsarbeiten

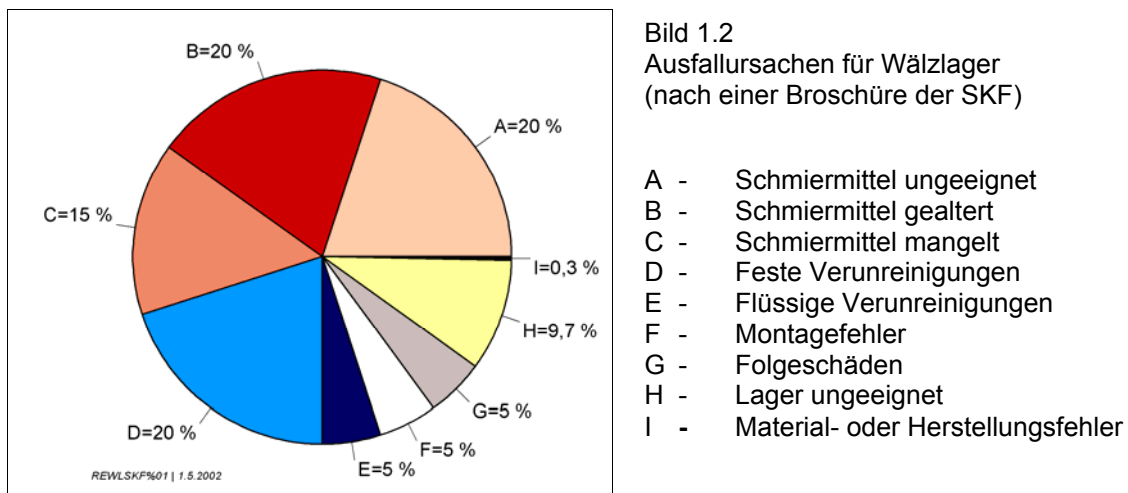
1 Wälzlagerschäden

Die Auswahlkriterien für Wälzlager sind durch Versuche und Praxiserfahrung so abgesichert, dass zumindest das Berechnungsverfahren zur Norm (DIN 622) gemacht werden konnte. Der hohe Fertigungsstand garantiert eine gleichbleibende, geprüfte Qualität.

Trotzdem fallen etwa 75 % der Motoren durch Lagerschaden aus (vgl. Diagramm 1.1).



Eine Statistik der SKF nennt folgende Ursachen für Lagerschäden:



Das Diagramm zeigt den hohen Stellenwert einer guten **Schmierung und Dichtung** für die Gebrauchsdauer eines Lagers.

Daneben spielt eine entscheidende Rolle, dass Lager nicht gegen **Überlastung** durch zu hohe Radialkräfte (Riemen- oder Kettenzug), Axialkräfte (Gewichtskraft, Betriebsdruck aus der Funktion der direkt aufgebrachtene Arbeitsmaschine) oder Schwingungen (Unwucht, Vibration des Fundaments, Fluchtungsfehler) geschützt werden können (vgl. Bild 0.2).



Bild 1.3
Silikonfett ohne Druckaufnahme Lager völlig zerstört

Bild 1.4
Spiegelblanke Laufflächen infolge Mangelschmierung (nach SKF)-

Bild 1.5
Alterung des Schmierstoffes nach zu langer Laufzeit ohne Wartung

Namhafte Wälzlagerhersteller (z.B. SKF, FAG, NSK) stellen instruktive Broschüren zur Analyse von Wälzlagerschäden zur Verfügung. Die Bilder sind nur bei einer hohen Qualität der Druckwiedergabe aussagekräftig. Stellvertretend werden aus der SKF-Broschüre »Schäden an Wälzlagern« einige typische Bilder wiedergegeben. Ausführliche Hinweise in den [2.5] und [2.6].

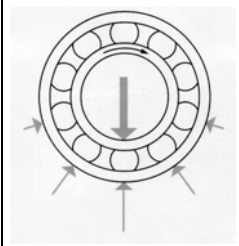
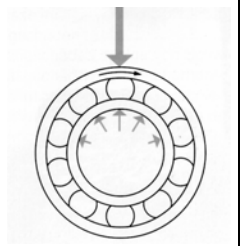
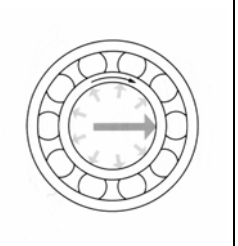
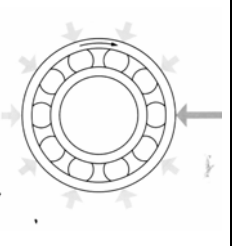
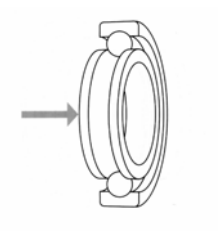
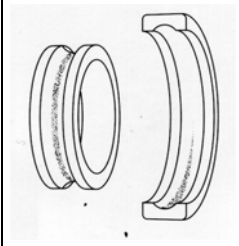
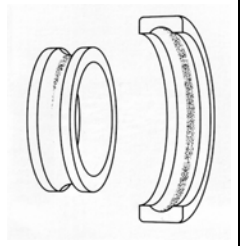
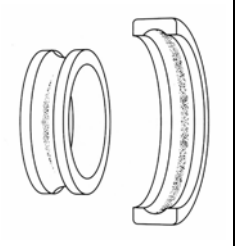
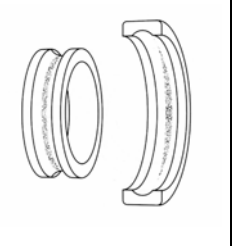
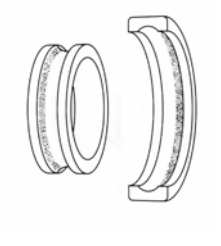
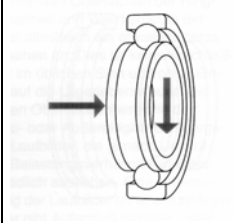
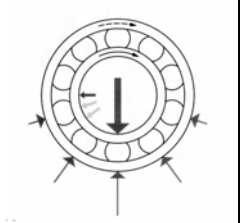
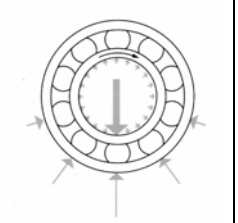
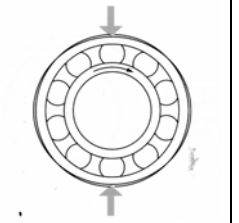
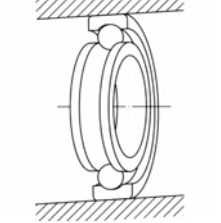
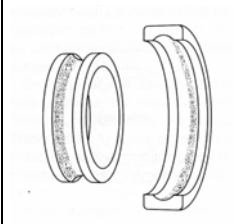
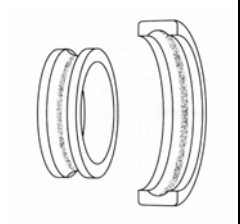
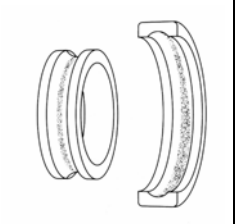
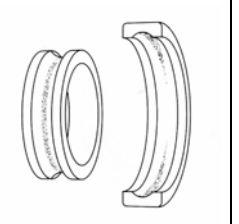
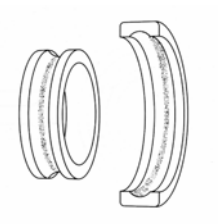
				
				
Radiale Last auf den Innenring, Welle umlaufend	Radiale Last auf Außenring, Außenring umlaufend	Radiale Last mit dem Innenring umlaufend, Außenring stillstehend	Radiale Last mit dem Außenring umlaufend, Innenring stillstehend	Axiale Last, Innen- oder Außenring umlaufend
				
				
Kombinierte Last, Innenring umlaufend, Außenring stillstehend	Radiale Belastung mit zusätzlicher Unwucht, Innenring umlaufend, Außenring wandert	Lager durch zu feste Passung vorgespannt, Innenring umlaufend, Außenring stillstehend	Außenring oval verformt, Innenring umlaufend, Außenring stillstehend	Schiefstellung des Außenrings

Bild 1.6 Schäden an Wälzlagern (nach einer Broschüre der SKF)

Der Abdichtung der Wälzlager kommt beim Einsatz in allen Bereichen eine besondere Bedeutung zu (Bild 1.7), sie schützt nicht nur gegen Schadstoffe, sondern auch gegen Schmierstoffverlust.

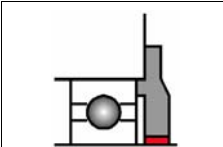
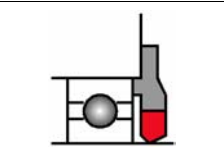
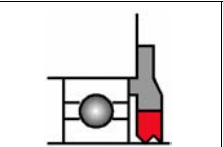
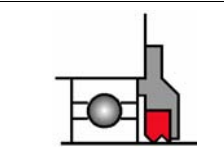
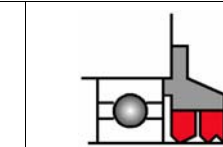
				
Spaltdichtung mit begrenzter Wirkung gegen Staub	Wellendichtung aus Gummiwerkstoff (Elastomer)	Wellendichtung mit Staubleippe (Zwischenraum mit Fettfüllung)	Wellendichtung mit vorgeschaltetem mechanischem Schutz	doppelte Wellendichtung (Zwischenräume mit Fettfüllung)

Bild 1.7 Stufen der Abdichtung gegen Eintritt von Wasser / Staub bzw. Austritt von Fett

2 Wellenschäden

Festigkeit und Beanspruchung der Wellen eines Getriebemotors sind so bemessen, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung, d. h. unter dem Einfluss des Anzugsmomentes und üblicher Stoßmomente keine Wellenschäden auftreten können. Wenn Wellen verbogen werden oder abbrechen, wenn Passfedern gequetscht werden oder abscheren, so ist dies fast immer als das Resultat einer Überbeanspruchung durch falsch gewählte Übertragungselemente oder als Folge einer Blockierung aus vollem Lauf einzuordnen. Einzelheiten zu Thema "Schutzmaßnahmen bei Getriebemotoren" im Buch [1], dort speziell zur Belastung der Arbeitswelle durch Radialkräfte im Abschnitt 8.

Bewertung und Wahl von Übertragungselementen siehe Sonderdruck "Betriebsfaktoren" [5].

Wellenschäden können u. a. an folgenden Stellen auftreten :

- Ritzelsitz an der Läuferwelle
- Torsion der Arbeitswelle
- Verbiegung der Arbeitswelle
- Passfedernuten und Passfedern.

2.1 Ritzelsitz an der Läuferwelle

In Bild 2.1.1 ist die Problematik bei der konstruktiven Gestaltung und Anordnung des eintreibenden Ritzels beispielhaft gezeigt:

AR 1 ist ein Aufsteck-Ritzel mit relativ kräftiger Nabe auf einem entsprechend schwachen Wellenzapfen.

AR 2 zeigt einen relativ starken Wellenzapfen. Der Restquerschnitt zwischen Nut und Zahnflanke des Ritzels ist zwangsläufig geschwächt.

AK zeigt eine Lösung, bei der die oben genannten Nachteile vermieden werden sollen. Bei ungünstiger Passung ist jedoch das Ritzel beim Aufpressen wegen der Sprengwirkung der konischen Welle gefährdet.

ER zeigt ein Einsteck-Ritzel, bei dem alle oben genannten Schwachpunkte vermieden sind. Das ganze Ritzel (einschließlich Schaft) besteht aus hochfestem Einsatzstahl. Es wird in eine Bohrung der Läuferwelle eingeschrumpft.

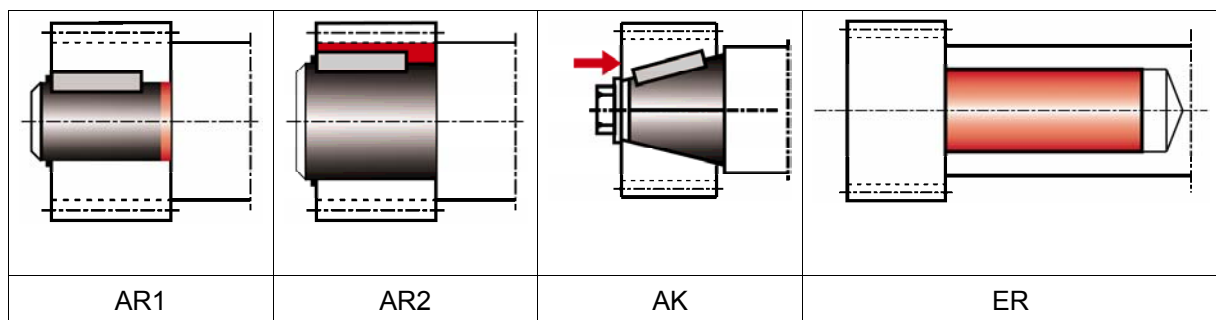


Bild 2.1.1 Beispiele für die konstruktive Gestaltung eines Eintriebs-Ritzels

- AR 1 - Aufsteck-Ritzel mit kräftiger Nabe auf schwachem Wellenzapfen
- AR 2 - Aufsteck-Ritzel mit schwacher Nabe auf kräftigem Wellenzapfen
- AK - Konisches Aufsteck-Ritzel, das bei fehlerhafter Passungswahl beim Aufpressen gefährdet ist
- ER - Einsteck-Ritzel, dessen Schaft aus hochfestem Einsatzstahl in eine Bohrung der Antriebswelle eingeschrumpft wird

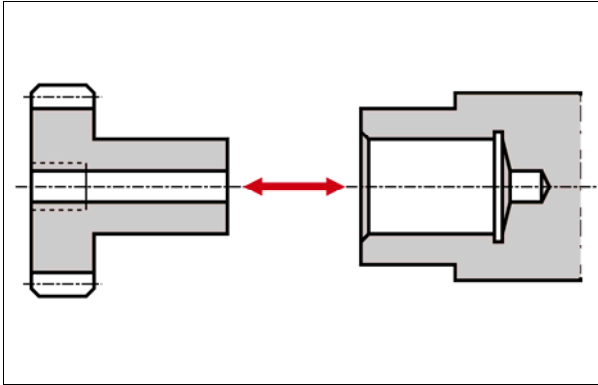


Bild 2.1.2
Einsteckritzel und Läuferwelle mit Bohrung

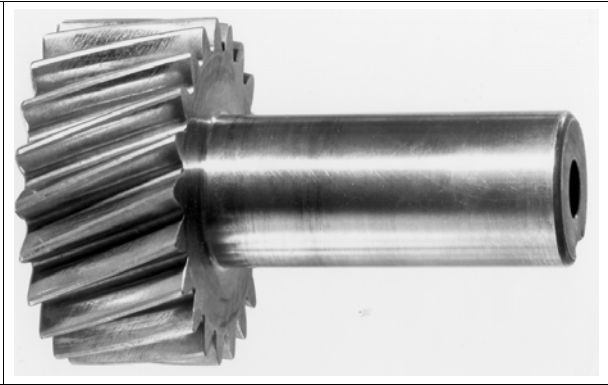


Bild 2.1.3
Einsteckritzel mit glattem Schaft für Schrumpfsitz

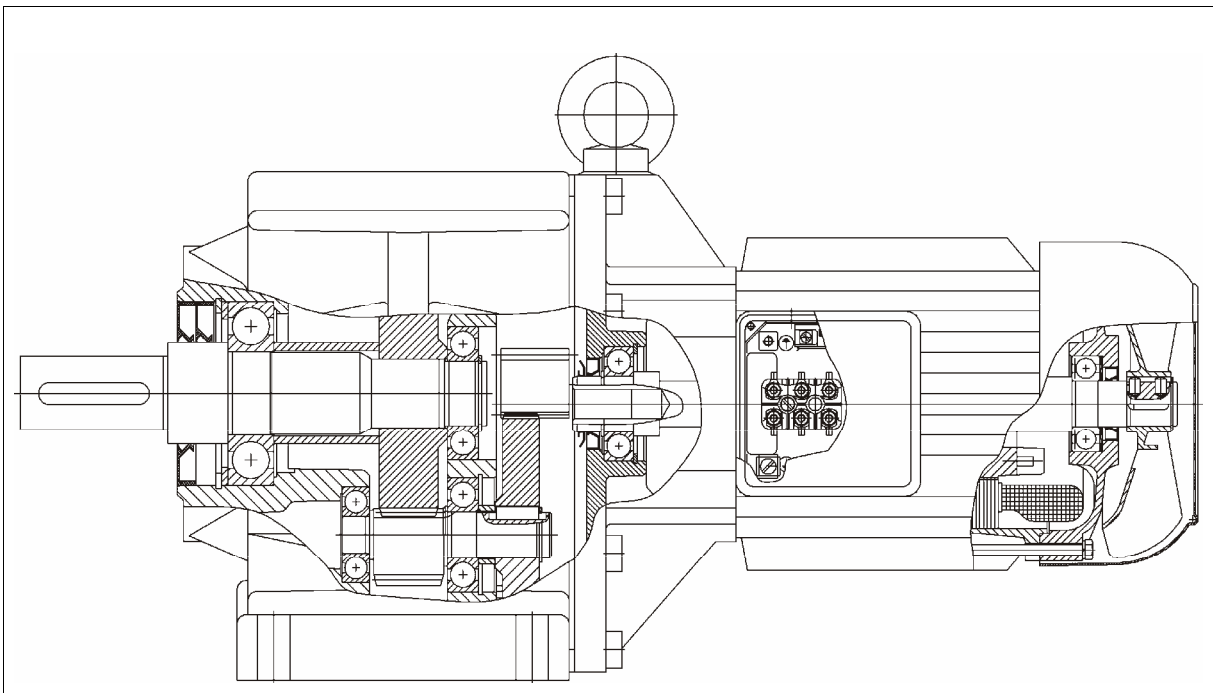


Bild 2.1.4 Schnittbild eines Getriebemotors mit Einsteckritzel in der eintreibenden Stufe

2.2 Torsion der Arbeitswelle

Bei Abtrieb über Kupplung und verspannungsfreiem Aufbau wird die Arbeitswelle nur auf Verdrehung beansprucht. Das Bruchbild hängt davon ab, ob die Drehrichtung gleichbleibend oder wechselnd ist. Das nachfolgend gezeigte »klassische« Bruchbild für eine Drehrichtung wurde im Labor erzeugt. Das Beispiel für Beanspruchung bei wechselnder Drehrichtung stammt aus einem Dauerversuch mit ungeeigneter, spielbehafteter Kupplung. Wellenbrüche unter reiner Torsionsbeanspruchung sind extrem selten, weil bei bestimmungsgemäßer Anwendung des Getriebemotors nur die Bemessungsdrehmomente auftreten. Für diese vorhersehbare Beanspruchung muss die Arbeitswelle mit Sicherheit ausreichen.

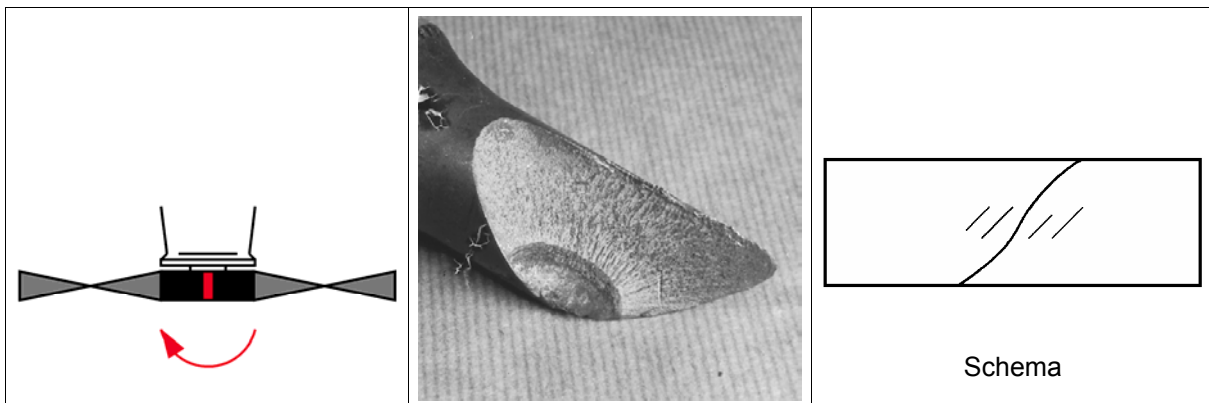


Bild 2.2.1
Anwendungsbeispiel Ventilatorantrieb und »klassisches« Bruchbild bei Torsionsbeanspruchung in einer Drehrichtung



Bild 2.2.2
Anwendungsbeispiel Rollgangantrieb und Bruchbild bei Torsionsbeanspruchung in wechselnder Drehrichtung (Reversierbetrieb)

2.3 Verbiegung der Arbeitswelle

Die Biegebeanspruchung einer Arbeitswelle hängt von der Wahl der Übertragungsmittel ab; sie ist vom Konstrukteur des Getriebemotors nicht vorhersehbar. Bei zu klein gewähltem Teilkreis-Durchmesser eines Kettenrades oder zu hoher Vorspannung eines Riementriebes kann es zu Bruchbildern der nachfolgend gezeigten Art kommen:



Bild 2.3.1
Anwendungsbeispiel Riementrieb mit Bruchbild bei Dauerbiegebeanspruchung mit unter der Last umlaufender Welle

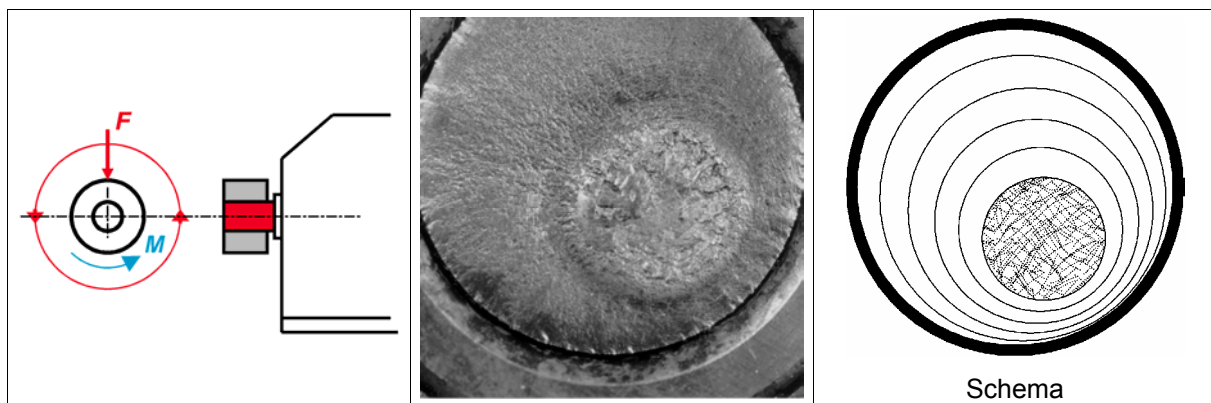


Bild 2.3.2
Anwendungsbeispiel mit Dauerbiegebruch mit exzentrischem Restbruch unter dem Einfluss von überhöhter Biegespannung mit umlaufendem Kraftanteil

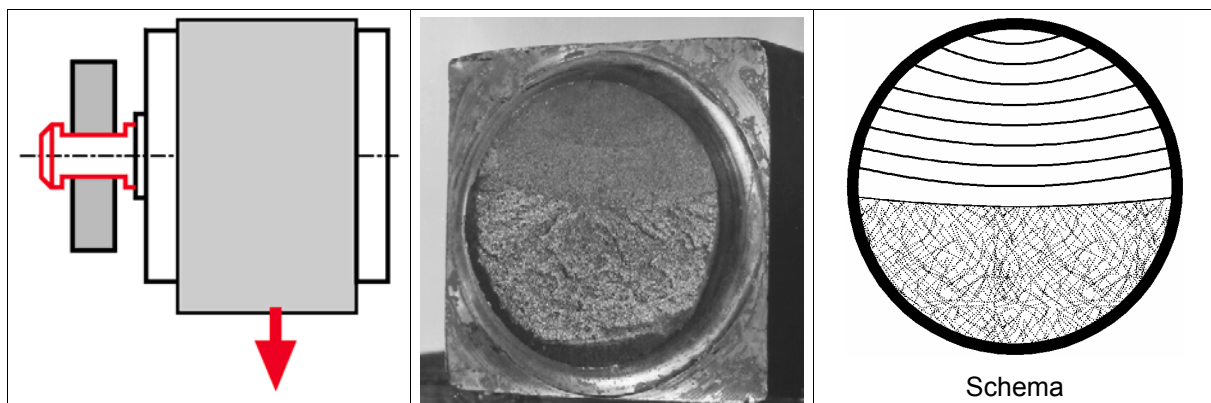


Bild 2.3.3
Anwendungsbeispiel Trommelmotor mit Bruchbild bei Dauerbiegebeanspruchung und unter der Last stehenden Welle (geringes Drehmoment – hoher Bandzug aus Last und Vorspannung)

2.4 Passfedernuten und Passfedern

Diese Elemente der Übertragungskette erweisen sich oft als das schwächste Glied, wenn eine Überbeanspruchung auftritt. Dies gilt vor allem dann, wenn zum Beispiel die Passung der Nabe eines Übertragungsmittels (z. B. Kupplung oder Kettenrade) nicht vorschriftsmäßig gewählt wurde, so dass der Passsitz wenig zur Drehmoment-Übertragung beiträgt und die Passfeder fast das volle Drehmoment übernehmen muss.

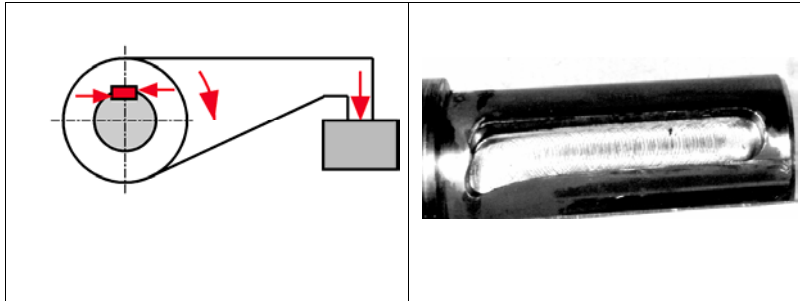


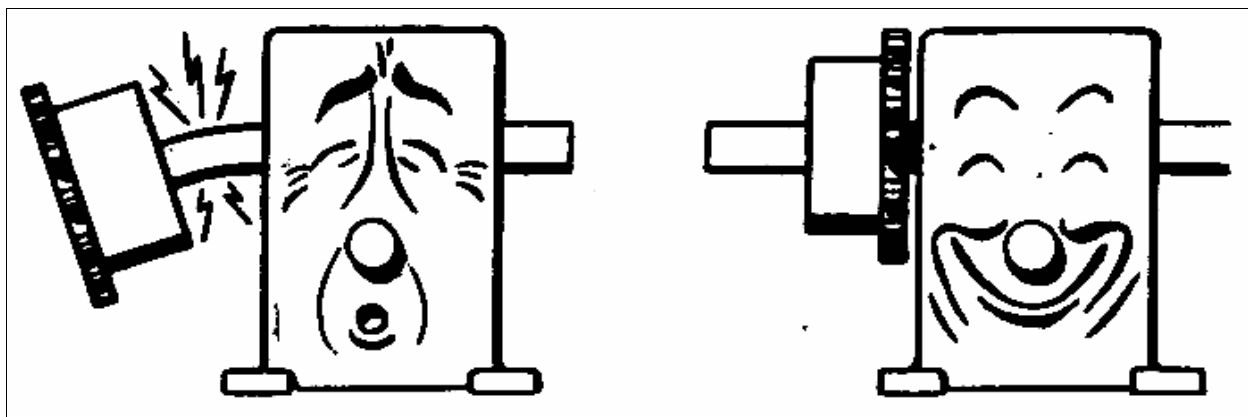
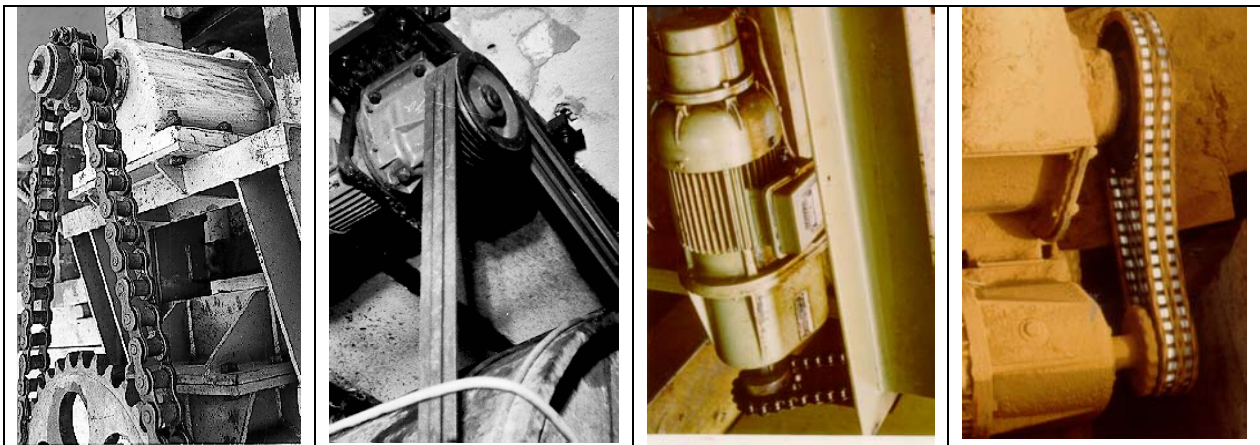
Bild 2.4
Passfeder an der Arbeitswelle bei Überbeanspruchung (z.B. durch mangelhaften Passsitz zwischen Nabe und Welle)
Beanspruchung beim statischen Versuch: 16faches Bemessungsmoment

2.5 Radialbelastung der Arbeitswelle

Durch zu kleinen Teilkreisdurchmesser von Übertragungselementen (Kettenräder, Riemenscheiben) und deren ungünstige Anordnung nach der Wellenstirn statt am Wellenbund können unzulässig hohe Radialkräfte entstehen, die von der Überlastungsschutzeinrichtung nicht registriert werden.

Es wird nochmals auf den Abschnitt 8 in [1] hingewiesen.

Bei Schäden an den Lagern der Arbeitswelle sollte der Anwender auf diese Einflüsse hingewiesen werden.



3 Getriebeschäden

Schäden oder Beanstandungen an Untersetzungsgetrieben können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Geräusche
- Gewaltbrüche
- Verschleiß
- Erwärmung.

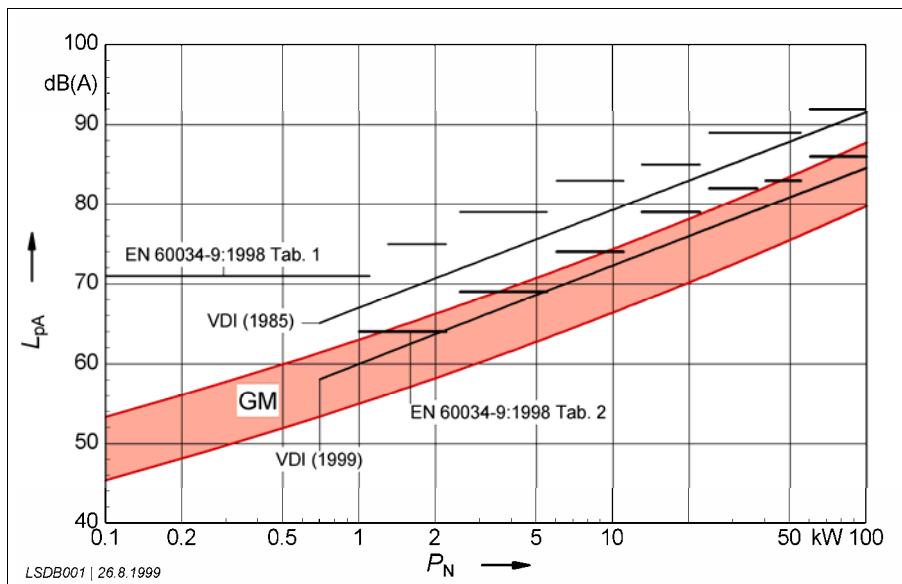
Von einem hochwertigen Getriebe kann erwartet werden, dass es bei bestimmungsgemäßer Verwendung und richtiger Schmierung praktisch verschleißfrei arbeitet. Gewaltbrüche können nur bei dynamischer Stoßbeanspruchung auftreten.

Bei der Bewertung von Geräuschen sind objektive, messtechnische Maßstäbe anzulegen; eine subjektive Beurteilung wird den technischen Gegebenheiten nicht gerecht.

3.1 Getriebegeräusche

Die ausführliche Darstellung der »Messung und Beurteilung von Maschinen-Geräuschen« im Sonderdruck SD 1800 kann in diesem Rahmen nicht wiederholt werden. In Kurzform ist bei der Messung des Schalldruckpegels zu beachten:

- Schallpegelmesser nach DIN EN 12523 bzw. DIN IEC 60651
- Bewertungsfilter »A« einschalten
- Messabstand 1 m vom Umriss (falls vor Ort nicht möglich: Tatsächlichen Abstand angeben)
- Umgebungspegel mindestens 8 dB(A) unter Gesamtpegel
- Geräusch der angetriebenen Maschine eliminieren oder eingrenzen (z.B. durch geringen Messabstand von Antrieb und Arbeitsmaschine)
- Reflexionen vermeiden oder vermindern
- Schaltgeräusche ausklammern
- Frequenzanalyse (Oktav- oder Terzband) zur Eingrenzung der Störquelle
- Richtwerte für übliche A-Schalldruckpegel von Danfoss-Bauer-Getriebemotoren, umlaufenden elektrischen Maschinen und Stirnrad-Getrieben nach Bild 3.1:



- Einflüsse auf das Streuband der GM:
- Zähnezahl
 - Schrägungswinkel
 - Profilverschiebung
 - Profilkorrektur
 - Rundlauf des Wellenendes
 - Zahnradwerkstoff und Härte
 - Schmierung
 - Relative Auslastung des Getriebes

Bild 3.1 Richtwerte für den A-Schalldruckpegel L_{pA} von 4poligen Drehstrom-Stirnradgetriebe motoren in 1 m Abstand (GM) bei Bemessungsleistungen 0,1 ... 100 kW im Vergleich zu folgenden Festlegungen

EN 60034-9:1998 Tab. 1 gültig für alle Arten von drehenden elektrischen Maschinen mit etwa 1500 r/min, umgewertet von Leistungspegel auf Druckpegel und mit dem in Tabelle 3 der Norm festgelegten Lastzuschlag

EN 60034-9:1998 Tab. 2 gültig für 4polige Drehstrom-Käfigläufermotoren 50 Hz, IP44 ...IP55, IC411; mit max. Zuschlag für Vollast nach Tabelle 3 identisch mit IEC 60034-9:1997, Tabellen 2 und 3

VDI (1985) Richtlinie VDI 2159, gültig für 80 % aller Industrie-Stirnradgetriebe (ohne Motor), Stand 1985

VDI (1999) Richtlinie VDI 2159, gültig für 80 % aller Industrie-Stirnradgetriebe (ohne Motor), Stand 1999

GM Streuband der Getriebemotoren Reihe 2000 von Danfoss Bauer

3.2 Gewaltbrüche

Die Bruchfestigkeit eines verantwortungsbewusst konstruierten und bestimmungsgemäß eingesetzten Getriebes liegt erheblich höher als das Anzugsmoment des zugeordneten Motors, sofern nicht bei sehr kleinen Ausgangsleistungen wegen einer zu erwartenden Schwergängigkeit (z.B. Anlauf bei sehr tiefen Temperaturen) besonders hohe Reserven in die Motorleistung gelegt werden müssen. In aller Regel ist daher der Rückschluss erlaubt, dass Gewaltbrüche (Wellen, Passfedern, Zähne) durch **dynamische Stoßmomente** verursacht sein müssen, die weit über die vom Motor erzeugten Drehmomente hinausgehen.

Ausführliche Hinweise auf Ursache und Wirkung sind dem Danfoss-Bauer-Buch "**Schutzmaßnahmen bei Getriebemotoren**" zu entnehmen. An dieser Stelle nur folgende Hinweise:

- Spiel** in Übertragungselementen (Kupplungen, Ketten) vermeiden.
- Aus der **Massenwirkung** (Schwungradenergie des Rotors) erzeugte Stoßmomente können weit über das zehnfache Bemessungsmoment hinausgehen.
- Wenn mit **Blockierungen** gerechnet werden muss: Rutschkupplungen oder zumindest hochelastische Wellenkupplungen (z.B. Ref »A« nach [5]) verwenden.

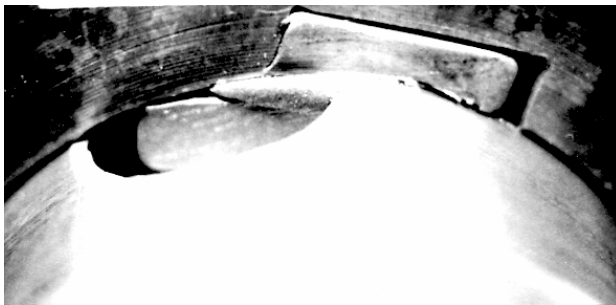


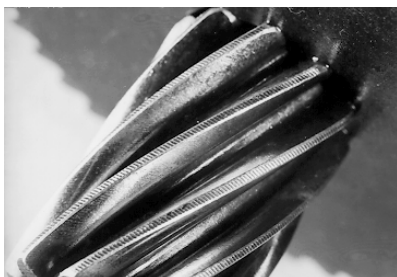
Bild 3.2.1
»Fließen« einer Passfeder am Endrad eines Getriebes beim statischen Bruchversuch
Drehmoment beim Schaden etwa 26 ... 30-faches Bemessungsmoment



Bild 3.2.2
Zahnbruch am Endrad eines Getriebes beim statischen Bruchversuch
Drehmoment beim schlagartig eintretenden Schaden etwa 11,5-faches Bemessungsmoment

3.3 Verschleiß

Das Bildpaar 3.3 soll den großen Einfluss der Schmierstoffqualität auf das Verschleißverhalten an Zahnflanken deutlich machen (vgl. auch [1]).



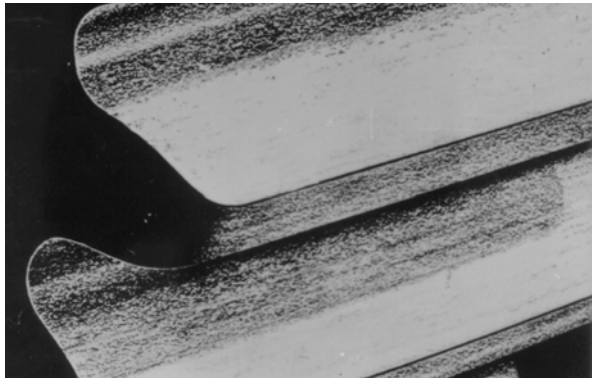
SHELL Getriebefließfett H
Zahnflanken in Ordnung



Silikonfett ohne Druckaufnahme
Extremer Zahnverschleiß

Bild 3.3
Ergebnis eines Dauerversuches bei gleicher Belastung und Laufzeit
Ursache:
Druckaufnahmefähigkeit des Schmierfettes

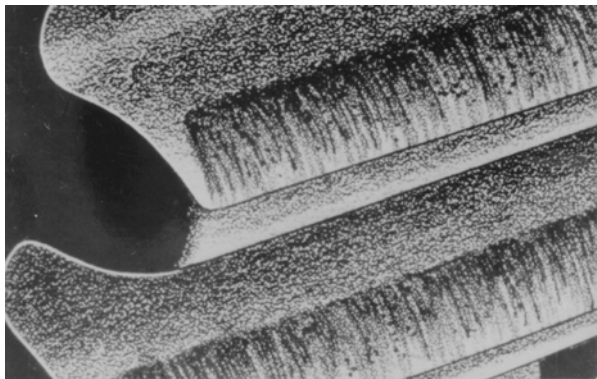
3.4 Schadensbilder



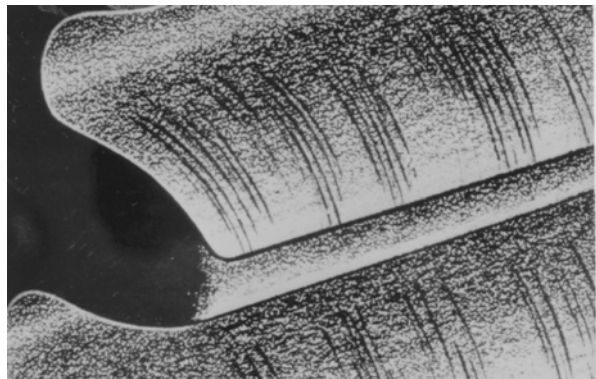
Normaler Verschleiß (Normal wear)

Bildfolge 3.4
Typische Schadensbilder an Zahnradern

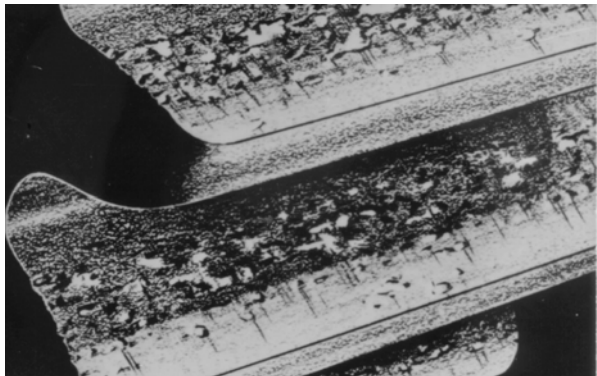
Diese Bilder sind AGMA 110.03
»Nomenclature of Tooth-wear and Failure«
entnommen. Einige der englischen Begriffe
werden auch in der deutschen Fachsprache
verwendet



Verschleiß durch Überlast (Overload wear)



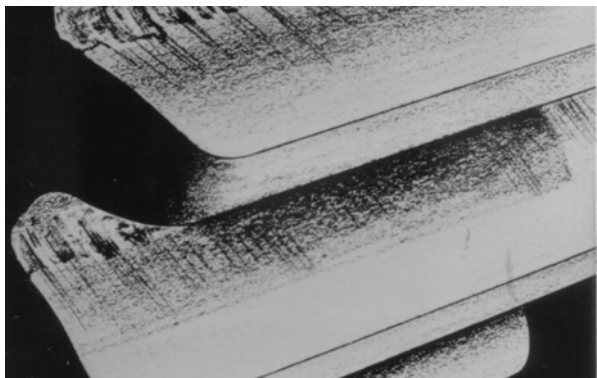
Kratzer durch Fremdkörper (Scratching)



Fortschreitende Grübchen (Destructive pitting)
als Folge einer partiellen Überschreitung der
Walzfestigkeit des Zahnradwerkstoffes



Abblätterungen (Spalling) als Folge von fehlerhaftem
Werkstoff oder mangelhafter Wärmebehandlung bei der
Einsatzhärtung



Verschleiß durch Eingriffstörungen
(Interference wear)



Gewaltbruch
(Overload breakage)

3.5 Erwärmung

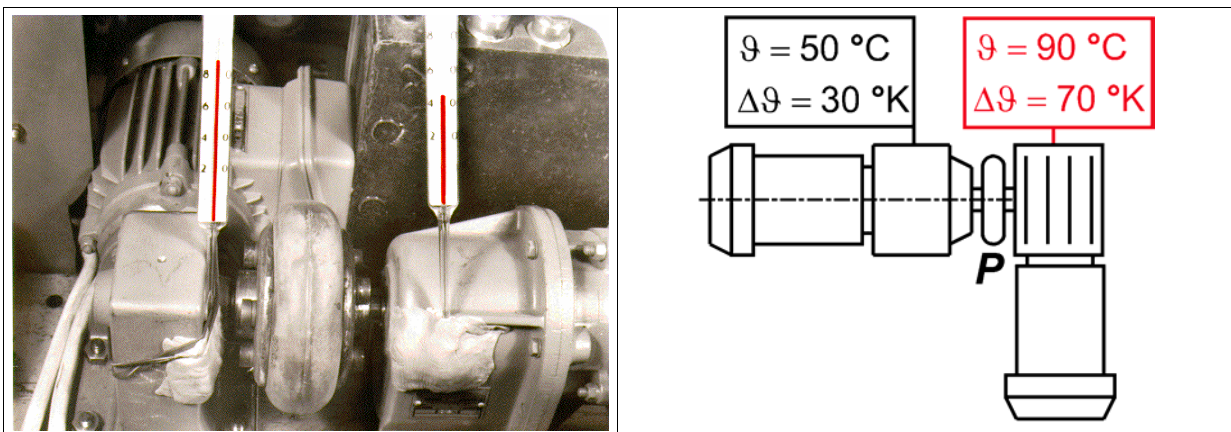
Bei der Beurteilung von Ursache und Wirkung einer hohen Getriebe- und Schmierstofftemperatur ist zunächst streng nach Umgebungstemperatur und Temperaturzunahme des Getriebes zu unterscheiden, d.h.

Zunahme = Gemessene Gesamttemperatur minus Umgebungstemperatur

Das Getriebe ist nur für die **Zunahme** »verantwortlich«.

Hohe Schmierstofftemperaturen haben eine vorzeitige Alterung zur Folge und können durch kürzere Wechselfristen kompensiert werden (vgl. [1]).

Schneckengetriebe mit ihrem hohen Gleitanteil haben höhere Übertragungsverluste (niedrigeren Wirkungsgrad) als Stirnradgetriebe und zwangsläufig höhere Gehäuse- und Schmierstofftemperaturen. Die Temperaturmessungen bei einem Dauerversuch im Motor-Generator-Betrieb sollen dies deutlich machen:



Motor - Generator-Betrieb

Schneckengetriebe am »Motor«
Stirnradgetriebe am »Generator«

Gleiche Leistung »P« an der Arbeitswelle

Erwärmung (Zunahme) des Schneckengetriebes gegenüber dem Stirnradgetriebe mehr als zweifach

Bild 3.5.1 Erwärmung eines Schneckengetriebes im Vergleich zu einem Stirnradgetriebe

Richtwerte für die Schmierstoff-Erwärmung (Temperaturzunahme über Umgebungstemperatur) der Stirnradgetriebe von Getriebemotoren sind Diagramm 3.5.2 zu entnehmen.

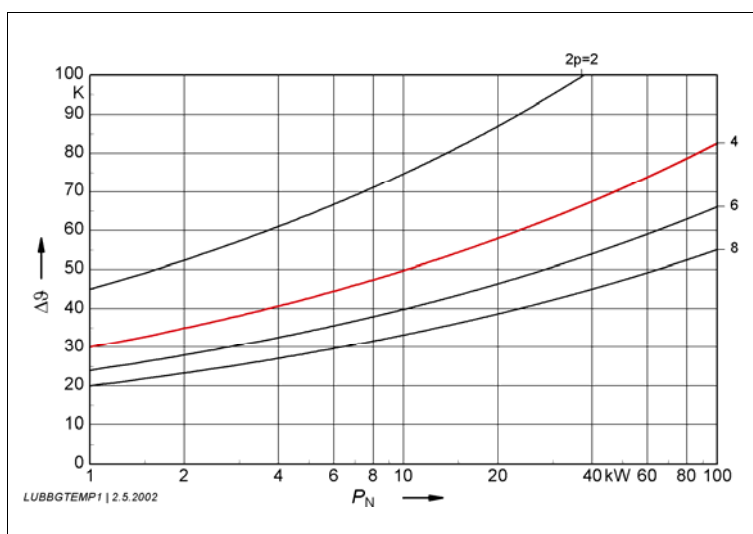


Bild 3.5.2
Richtwerte für die Schmierstoff-Erwärmung $\Delta\theta$ der Stirnrad-Getriebe von Getriebemotoren in Abhängigkeit von Durchgangsleistung P_N und Polzahl $2p$ des Antriebsmotors

Literaturverzeichnis zum Teil III

- 1 *Greiner, H.:*
Schutzmaßnahmen bei Drehstrom-Getriebemotoren
Herausgeber: Fa. Danfoss Bauer GmbH, D-73726 Esslingen
- 2 *N.N.:*
Wälzlagerschäden
Publ.-Nr. WL 82 102/2 DA der Fa. FAG www.fag.de
- 3 *N.N.:*
Wälzlagerschäden und ihre Ursachen
Produktinformation 401 der Fa. SKF
- 4 *Greiner, H.:*
Messung und Beurteilung von Maschinen-Geräuschen
Sonderdruck SD 1800 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, D-73726 Esslingen
- 5 *Greiner, H.:*
Betriebsfaktoren
Sonderdruck SD 3296 der Fa. Danfoss Bauer GmbH, D-73726 Esslingen



Danfoss Bauer GmbH

Eberhard-Bauer-Straße 36 – 60
D 73734 Esslingen
Telefon 0711-3 51 80
Telefax 0711-3 51 83 81

Diese "Elektronische Publikation" der Fa. Danfoss Bauer GmbH & Co darf ohne vorherige Genehmigung des Herausgebers weder auszugsweise noch vollständig nachgedruckt werden.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Angaben wurden nach dem derzeitigen Stand der Normen und Vorschriften sorgfältig zusammengestellt und geprüft. Verbindlich ist der jeweilige Stand der technischen und gesetzlichen Regeln.

Für Schäden, die sich aus der Verwendung dieser Angaben ergeben könnten, wird keine Haftung übernommen.

BAUER geared motors