

Prüfung der Temperaturabhängigkeit von Schmierfetten.

Von Ing.-Chem. Graser, Erprobungsstelle Travemünde.

Da einerseits die üblichen analytischen Methoden keinen Aufschluß über das Kälteverhalten von Schmierfetten zulassen, andererseits besonders für die Luftwaffe die Kenntnis des Verhaltens der Schmierfette bei tiefen und tiefsten Temperaturen zwingendes Bedürfnis ist, wurden von der Erprobungsstelle Travemünde Versuche aufgenommen, den Kälteeinfluß an fettgeschmierten Lagerstellen zu messen. Da bereits von verschiedenen Firmen der Luftfahrtindustrie Meßergebnisse an Geräten vorlagen, wurde auf diesen grundlegenden Versuchen aufbauend eine Apparatur entwickelt, die den Kälteeinfluß an fettgeschmierten Kugellagern in einfacher Weise zu messen gestattet.

Das Meßgerät besteht aus 2 Kugellagern, die in einem Kühlgefäß derart eingebaut sind, daß der äußere Lagerring angetrieben werden kann, während der innere mit Hilfe eines Pendels abgebremst wird. Die bei konstanter Drehzahl auftretenden Reibungsdrehmomente werden mit einem Schreiber auf einer Meßtrommel aufgezeichnet. Die Schreibtrommel ist mit glattem Papier bespannt und wird mit einer Rußauflage versehen, um beim Schreiben einen ganz geringen Widerstand zu geben. Das Gewicht des Pendels ist so verstellbar, daß auf 10cm Schreibhöhe wahlweise 1500 - 6000 cmgr gemessen werden können. Die Abkühlung des Gerätes erfolgt mit einer Kältemischung aus Alkohol und Kohlensäure. Die Temperatur wird im Kältebad mit geeichtem Thermometer, an der inneren Lagerschale mit Thermoelement gemessen. Hierbei wird eine Temperaturdifferenz zwischen Kältebad und Lagerschale von 2°C eingehalten. (Abb.1)

Für die Messungen werden die Kugellager gut entfettet und darauf mit dem zu prüfenden Schmierstoff voll eingefettet. Das Einfetten geschieht in der Weise, daß unter ständiger Verdrehung der beiden Lagerringe das Fett mit einem Spatel eingebracht wird. Nach Einbau der Lager in das Gerät wird das Kältebad auf die geforderte Temperatur eingestellt. Nach Erreichen der Temperatur am inneren La-

gerring wird zum gesamten Temperatursausgleich eine Wartezeit von 5 min. eingelegt, bevor mit der Messung begonnen wird. Zur Messung wird die Antriebsvorrichtung an den laufenden Motor angekuppelt, wobei gleichzeitig der Anfahrwiderstand mitgemessen wird. Nach einer Meßzeit von annähernd 3 min. wird die Antriebsvorrichtung ausgekuppelt und eine tiefere Temperatur eingestellt. Bei den bisherigen Messungen wurde von  $0^{\circ}\text{C}$  beginnend alle  $10^{\circ}$  bis zu einer Endtemperatur von  $-60^{\circ}\text{C}$  gemessen.

Bei diesen Messungen wurden gut reproduzierbare Ergebnisse erzielt. Die aufgezeichneten Kurven zeigen im Moment des Anfahrens einen kurz anhaltenden starken Anstieg des Reibungsdrehmomentes und gehen dann in fast geradlinigen Verlauf über. Die Prüfungsergebnisse verschiedener Fette gestatteten eine klare Unterscheidung einzelner Fettarten in Bezug auf ihr Kälteverhalten. (Abb.2)

Bei einer Aussprache in Travemünde mit verschiedenen an Fettuntersuchungen interessierten Stellen wurden Meßergebnisse von 5 verschiedenen Fetten ausgetauscht. Hierbei stellte sich eine erstaunlich gute Übereinstimmung in der Beurteilung dieser Fette durch die verschiedenen Untersuchungsstellen heraus. Nur die Prüfergebnisse, die von der I.G.-Farbenindustrie A.-G. im Schwaiger'schen Kälteviskosimeter gefunden wurden, zeigten eine andere Eingruppierung der 5 Fette. (Protokoll Nr. 54/40 der E-Stelle Travemünde). Von der I.C.-Farbenindustrie A.G. wurde angenommen, daß bei der Messung des Kälteeinflusses auf Fette die Umfangsgeschwindigkeit während der Prüfung von ausschlaggebender Bedeutung sein müsse. Durch spätere Versuche, die von derselben Stelle mit dem Schwaigergerät und dem I.G.-Kälteprüfgerät bei verschiedenen Umfangsgeschwindigkeiten durchgeführt wurden, konnte diese Annahme voll bestätigt werden. Die Versuchsergebnisse bewiesen, daß bei Änderung der Umfangsgeschwindigkeit eine Umgruppierung in der Beurteilung der Fette eintrat. Während bei geringer Drehzahl die Beurteilung der Fette mit der jeweiligen Konsistenz gleichlief, derart, daß mit Zunahme der Konsistenz

auch eine Zunahme des Reibungsdrehmomentes eintrat, zeigten die höheren Drehzahlen das umgekehrte Verhältnis. Es mußte demnach bei geringer Umfangsgeschwindigkeit eine Konsistenzmessung vorliegen, während bei größerer Drehzahl andere Gesetzmäßigkeiten eintraten. In dem über diese Versuche herausgegebenen Bericht (Geh.-Ber. der I.G. Techn.Prüfstand Oppau Nr.453 vom 15.4.41) wurde die Vermutung ausgesprochen, daß Fette nicht dem Gesetz, das dem Schwaigengerät zugrunde liegt, gehorchen.

Im Verlauf von Serienuntersuchungen, die zum Zwecke der Weiterentwicklung kältebeständiger Schmierfette in Travemünde durchgeführt wurden, konnten aus den Meßergebnissen wesentlichere Rückschlüsse gezogen werden als ursprünglich aus den Prüfdiagrammen einiger Fette ersehen werden konnte.

- 1) Es stellte sich heraus, daß der Temperatureinfluß auf Fette einen parabolischen Kurvenverlauf zeigte, sodaß die in das Viskositätstemperaturblatt von Ubbelohde eingetragenen Werte der Reibungsdrehmomente fast geradlinig verliefen. (Anlage 3)
- 2) Stark konsistent eingestellte Fette zeigten ein besseres Kälteverhalten als weniger konsistente.
- 3) Die Messung von Grundölen ergab größere Reibungsdrehmomente als die daraus hergestellten Fette.
- 4) Ein direkter Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Temperaturempfindlichkeit der Schmierfette konnte nicht festgestellt werden.
- 5) Das Kälteverhalten der Fette schien in engstem Zusammenhang mit dem inneren Aufbau, der durch die Art der Herstellung bedingt ist, zu stehen.
- 6) Eine Mischung von Spindelöl und Graphit im Verhältnis 1:1 ergab die gleichen Meßwerte, die vom reinen Spindelöl gefunden wurden.
- 7) Graphitzusatz zu Schmierfetten erhöht wohl die Konsistenz, ändert die Temperaturempfindlichkeit jedoch nicht.

Auf Grund der gesammelten Erfahrungen wurden nun neuere Messungen bei verschiedenen Drehzahlen durchgeführt. Zu den Messungen wurden Schmierfette herangezogen, von denen bereits von anderen Untersuchungsstellen Prüfergebnisse vorlagen. Ganz besonders waren hierfür die von der I.G. durchgeführten Messungen als Untersuchungsgrundlage interessant. Die Analysendaten dieser Fette sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

Eigenschaften	Fett 1	Fett 2	Fett 4	Fett 5
Tropfpkt. °C	101	97	98	141
Asche Gew. %	1,87	2,00	3,23	1,04
Seifenbasis	Ca	Ca	Ca	Na
Verseifbares Gew. %	11,8	15,9	18,8	7,0
Unverseifb. "	88,2	84,1	81,2	93,0
Wasser Gew. %	1,6	0,5	4,0	0,8
Visk. d. Grundöles b. 20°C in °E	ca. 5	ca. 3	ca. 2	ca. 7

Die Prüfungen erfolgten so, daß bei verschiedenen Temperaturen jeweils 4 Drehzahlen (50-100-150-200 U/min.) angewandt wurden. Die Drehzahlen entsprachen Umfangsgeschwindigkeiten von 5,76; 11,52; 17,28 u. 23,04 cm/sec. Wenn nun eine Viskositätsmessung erwartet wurde, die dem Gesetz  $P = \frac{4 \cdot F \cdot V}{h}$  folgt, welches dem Schwaiger-Gerät zugrunde liegt, so mußte bei gleichem Gerät u. gleicher Temperatur (damit gleicher Viskosität) das Reibungsdrehmoment direkt proportional der Umfangsgeschwindigkeit sein. Es mußten demnach die gefundenen Drehmomente über der Umfangsgeschwindigkeit aufgetragen eine Gerade ergeben. Bei den geprüften Fetten wurden nun tatsächlich Werte gefunden, die einen geradlinigen Verlauf weitestgehend erkennen ließen. Diese Geraden liefen aber nicht durch den Nullpunkt des Koordinatensystems, sondern schnitten die Ordinate in ganz bestimmten Abständen. Diese Erscheinung deckte sich zwar mit den Meßergebnissen der I.G., durch die festgestellt worden war, daß bei Verdoppelung des Drehmomentes ein Vielfaches

der Umfangsgeschwindigkeit auftrat, war aber zunächst den-  
noch unerklärbar. Um festzustellen, ob dieser Zustand von dem  
vorliegenden Gerät bedingt war, wurden dieselben Versuche  
mit einem Spindelöl und einem Rizinusöl wiederholt. Bei die-  
sen Versuchen wurden nun Geradengefunden, die durch den Null-  
punkt gingen, sodaß die angenommene Formel ihre Gültigkeit  
fand. (Abb.4 bis 9)

Diese Ergebnisse der Ölmessungen wurden bei 4 ver-  
schiedenen Temperaturen erzielt. Bei einer Messung des  
Spindelöles in Stockpunktsnähe (Messung:  $-50^{\circ}$ , Stockpunkt:  $-57^{\circ}$ )  
trat jedoch wiederum eine Verschiebung aus dem Nullpunkt ein.  
Bei größerer Umfangsgeschwindigkeit lief diese Kurve in eine  
Parallele zur Abzisse aus. Aus diesem Versuch kann geschlos-  
sen werden, daß bereits vor dem Stockpunkt eines Öles keine  
hydrodynamischen Schmierverhältnisse mehr vorliegen. (Abb.3-8)

Der geradlinige Verlauf der Werte bei Fetten mußte,  
nach den Erkenntnissen aus dem Ölversuch, bei geringerer Um-  
fangsgeschwindigkeit als 5 cm/sec in eine steil abfallende  
durch den Nullpunkt laufende Kurve übergehen. Da die zur Ver-  
fügung stehende Apparatur zunächst Versuche bei geringeren  
Drehzahlen ausschloß, wurden die von der I.G. im Schwaiger-  
Gerät von gleichen Fetten gefundenen Werte zur Auswertung  
herangezogen. Es konnte nun tatsächlich ein derartig steiler  
Abfall festgestellt werden. Durch die Tatsache, daß bei ge-  
ringsten Umfangsgeschwindigkeiten eine Konsistenzmessung vor-  
liegt, mußte der Abstand des Schnittpunktes der durch die  
Meßwerte gelegten Geraden mit der Abzisse zum Nullpunkt  
einen Wert der Konsistenz darstellen. Legt man diesen Ab-  
stand durch eine Parallele zur Abzisse für den gesamten Meß-  
bereich fest, so gilt für die Gerade der Zustand P propor-  
tional V. Für Schmierfette müßte demnach, wenn man einen hy-  
drodynamischen Vorgang annehmen will, die Gleichung:

$$P = \frac{\eta \cdot V \cdot F}{h} + k$$

gelten, wobei k den Abstand der Parallelen bedeutet und  
höchstwahrscheinlich in engster Beziehung zur Konsistenz

steht. Unter Umständen ist hier ein Weg angedeutet, für die Konsistenz, für die bisher noch keine physikalische Gesetzmäßigkeit aufgestellt werden konnte, eine klare Definition zu geben. Von der Annahme ausgehend, daß bei Messungen des Reibungsdrehmomentes von Schmierfetten ein Ölfilm ausgebildet wird, müßte zunächst eine Kraft aufgebracht werden, die der Adsorptionskraft des Fettes gegenüber Öl entgegenwirkt. Diese Kraft wird dann tatsächlich nach Ausbildung des Ölfilmes einen konstanten Betrag annehmen. Da nun die Umfangsgeschwindigkeit direkt proportional der Kraft zu setzen ist, müßten sich die hydrodynamischen Vorgänge erst nach einer bestimmten Umfangsgeschwindigkeit einstellen. Der Wert der Konsistenz wäre für diesen Fall eine Kraft, die der Adsorptionskraft, die in Schmierfetten vorzuliegen scheint, bis zur Ausbildung eines Schmierfilmes entgegenwirkt.

Die Auswertung der Versuche nach der auf S.5 aufgestellten Formel ergibt für die hydrodynamischen Verhältnisse bei Fetten geringere Werte als die in dem Fett enthaltenen Grundöle erwarten lassen. Das erscheint zunächst verwunderlich, kann aber durch eine Anschauung über den inneren Aufbau der Fette, die im weiteren behandelt werden soll, erklärlich gemacht werden.

Auf Grund der Analysendaten von Fetten, der Meßergebnisse vorliegender Arbeit, sowie der Erfahrungen aus Prüfungen einer großen Anzahl von Schmierfetten kann über den inneren Aufbau der Schmierfette folgende Anschauung vertreten werden:

Für die im Schmierfett vorhandene Seife muß eine Schwammgitterstruktur angenommen werden. Dieses Schwammgitter kann grob- und feinporig sein und hat damit eine ausgeprägte Adsorptionskraft gegenüber Öl. Die Konsistenz muß eine Funktion der Porengröße und damit der Adsorptionskraft sein. Die Adsorptionskraft wirkt sich gegenüber den einzelnen Ölteilen verschieden aus und es muß angenommen werden, daß größere Ölmoleküle stärker absorbiert werden. Zwischen der Konsistenz von Schmierfetten und der von Spindelölgraphitpasten

ist ein grundsätzlicher Unterschied zu machen, da die Konsistenz von Schmierfetten nicht von der Viskosität des Grundöles abhängt, wie es bei Spindelölgraphitpasten der Fall ist.

Mit Hilfe der oben entwickelten Anschauungen lassen sich folgende Erscheinungen erklären:

- 1) Das Kälteverhalten von Schmierfetten an Lagerstellen gehorcht den hydrodynamischen Schmiergesetzen. (Aus dem Schwammgitter kann, durch äußeren Einfluß bedingt, Öl austreten und einen hydrodynamischen Schmierzustand herstellen.)
- 2) Die Grundöle von Fetten ergeben höhere Reibungsdrehmomente als das aus ihnen hergestellte Fett. (Bevorzugte Adsorption gegenüber bestimmten Ölanteilen).
- 3) Konsistentere Fette zeigen bei geringsten Umfangsgeschwindigkeiten einen flacheren Anstieg des Reibungsdrehmomentes als weniger konsistente Fette. (Konsistente Fette zeigen stärkere Adsorptionskraft, die durch eine höhere Umfangsgeschwindigkeit ausgeglichen werden muß.)
- 4) Wenig konsistente Fette zeigen nach den bisherigen Erfahrungen die größten Werte der Ölabscheidung. (Geringe Adsorptionskraft).
- 5) Mischungen aus Spindelöl und Graphit, die eine hohe Konsistenz erscheinen lassen, zeigen gleiches Kälteverhalten wie das verwendete Grundöl. (Unterschied innerhalb des Konsistenzbegriffes.)

Im Rahmen allgemeiner Fettuntersuchungen sind weitere Prüfungen vorgesehen, um für die oben angeführten Anschauungen eine breitere Beweisgrundlage zu schaffen.

Labogerät für Kältefette  
E. Stelle Travemünde

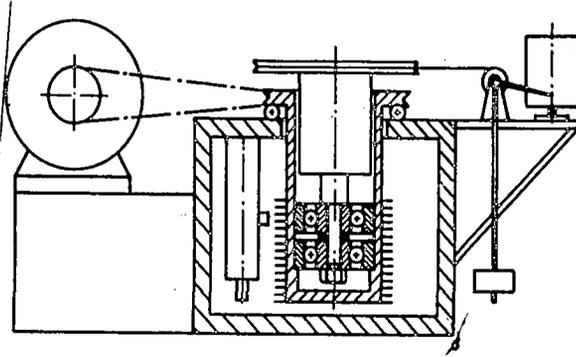


Abb.1

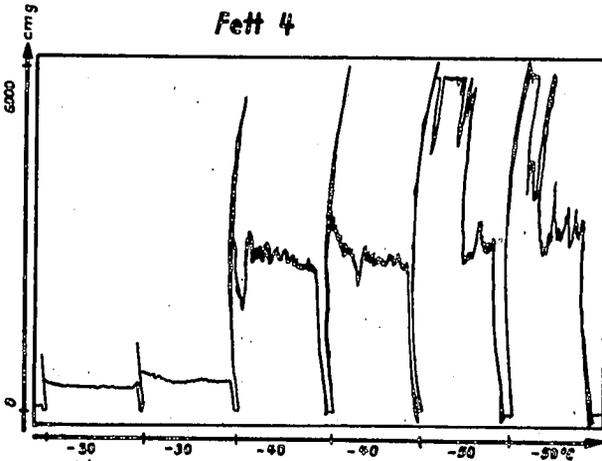
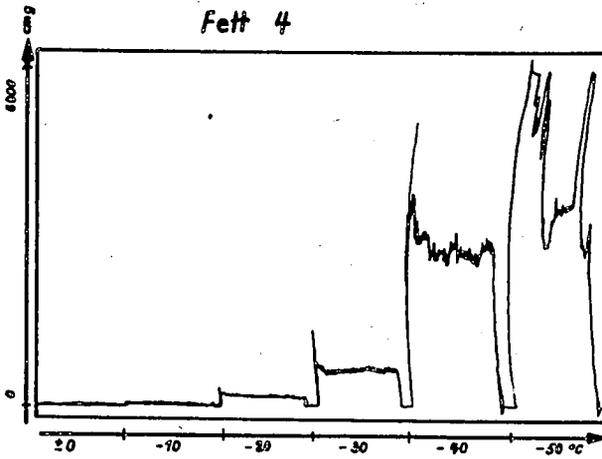
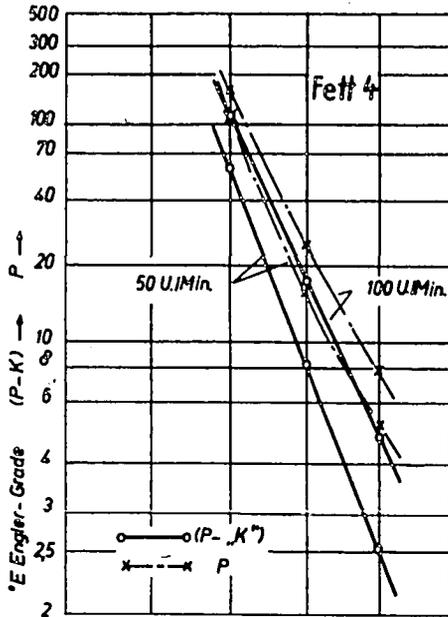


Abb.2: Prüfungs-  
ergebnisse ver-  
schiedener Fette.



-40°C -30°C -20°C

Da keine Umrechnungsmöglichkeit bestand, wurde der Einfachheit halber die Schreibhöhe (Reibungsdrehmoment  $P$ ), gemessen in mm, gleich der Viskosität in °E gesetzt.  
1 mm  $P = 1^\circ E$

**Abb. 3:** Reibungsdrehmomente im Visk.-Temperaturblatt.

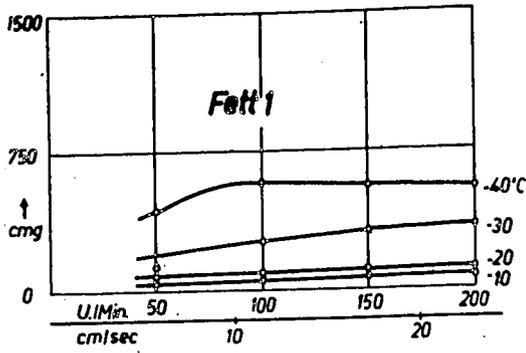


Abb. 4

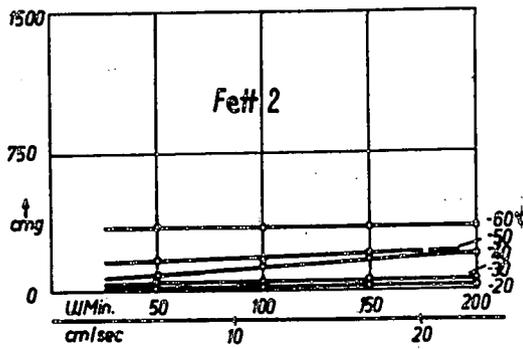


Abb. 5

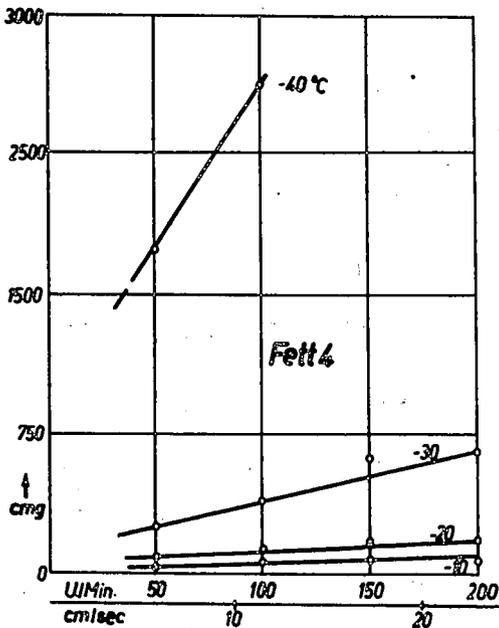


Abb. 4 - Abb. 6: Reibungsdrehmomente in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit.

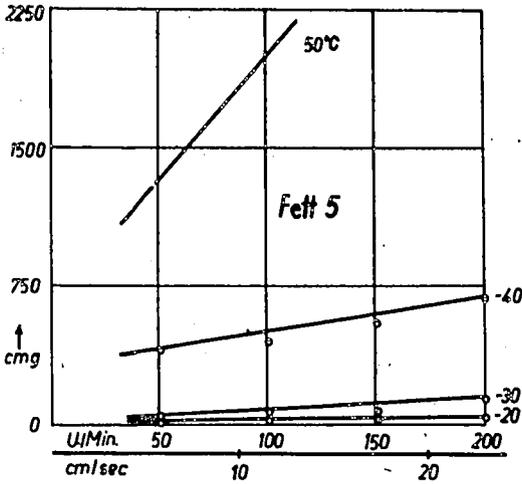


Abb.7

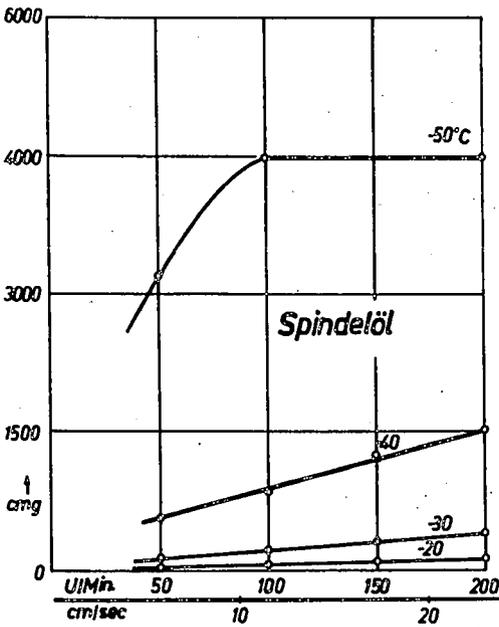


Abb.8

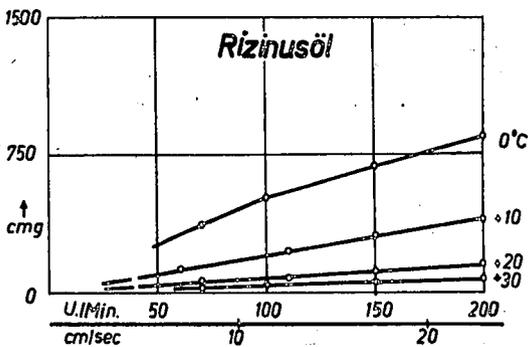


Abb.9

Abb.7 bis Abb.9: Reibungsdrehmomente in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit.