

## Lebensdauerhochrechnung aus Verschleißgrad



Oft hat man nicht die Zeit, den Ausfall eines Bauteils abzuwarten. Besteht die Möglichkeit den „Schädigungsgrad“ zu messen, so kann auf die verbleibende Lebensdauer geschlossen werden. Ist der Verschleiß proportional der „Laufstrecke“, so kann über einen Dreisatz hochgerechnet werden.

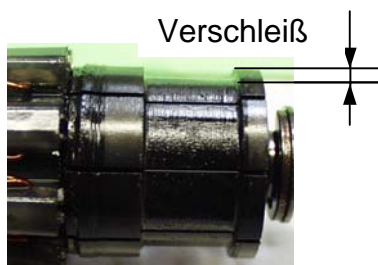
$$t = \frac{t_1}{\Delta D} D_{rest} + t_1$$

mit  $t$  : zu erwartende Lebensdauer  
 $t_1$  : Zeitpunkt bei dem der Verschleißgrad gemessen wurde  
 $\Delta D$  : Verschleißgrad z.B. Bremsbelagstärke im Neuzustand – Restbelagstärke  
 $D_{rest}$  : Zur Verfügung stehende Reststärke

Die jeweils errechneten Lebensdauerwerte  $t$  können dann im Weibull-Netz dargestellt werden.

In vielen Fällen kann jedoch nicht von einem linearen Verschleißverhalten ausgegangen werden. Zunächst ist aus den beobachteten Verschleißwerten der Verlauf über der Zeit darzustellen und ein geeigneter Funktionsansatz zu wählen (z.B. e-Funktion).

Beispiel: In einem Großversuch wurde eine neue Pumpe erprobt. Es wurden 47 Fahrzeuge damit ausgestattet. Nach einer bestimmten Zeit sollte eine Aussage über die zu erwartende Lebensdauer gemacht werden. Voraussetzung war, dass die Pumpen möglichst unterschiedliche Laufstrecken aufweisen, denn ist zunächst eine Funktion des Verschleißes über der Laufzeit gesucht. Alle Pumpen wurden untersucht. Die Lebensdauer maßgebenden Bauteile Kommutator, Plus- und Minus-Pol (Kohle) wurden auf ihren Verschleißgrad hin vermessen.

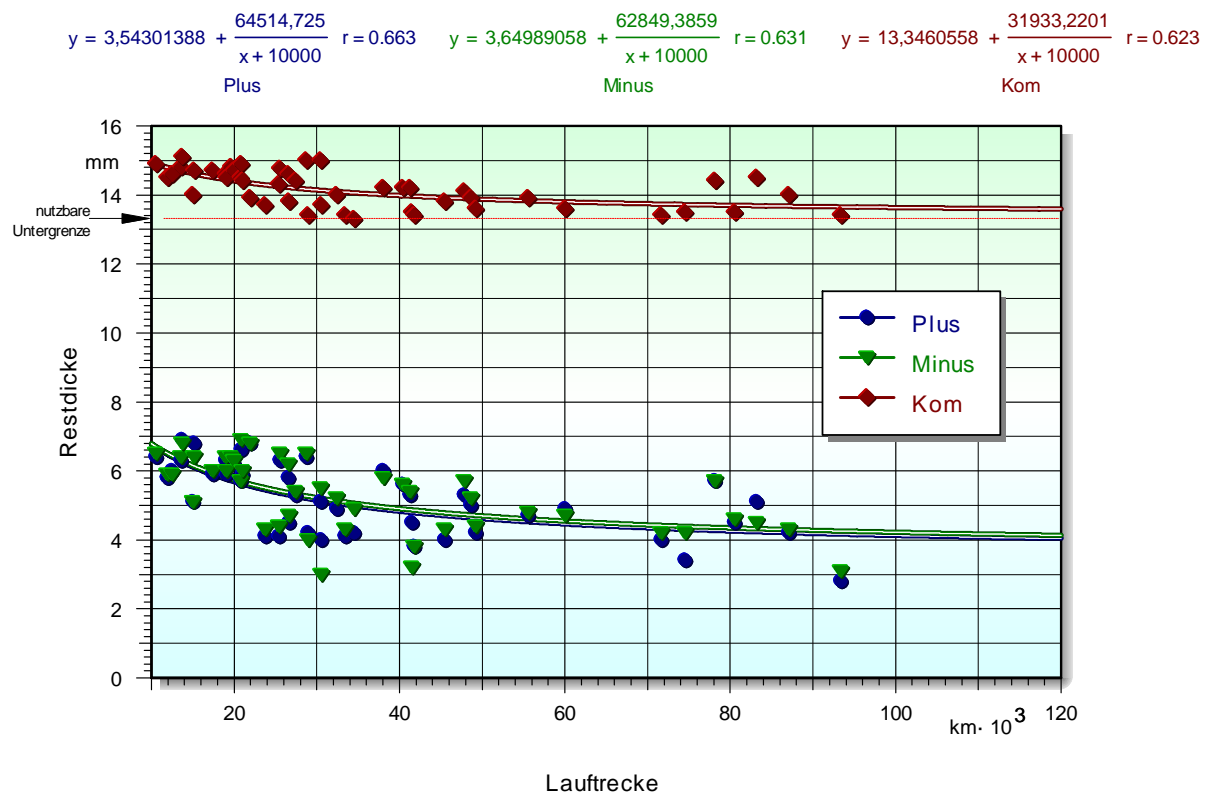


Kommutator



Der nutzbare Bereich des Kommutators ging bis zu einem Mindestdurchmesser von 13,4mm. Die Plus- und Minuskohle war verbraucht, wenn die Restdicke bei 0

erreicht ist. Die Auswertung der Messungen ergab folgende Darstellung über der Kilometerleistung:



Trotz der großen Streuung zeigt sich deutlich ein nicht linearer Zusammenhang. D.h. der Verschleiß ist über der Laufstrecke degressiv. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Federkraft und damit die Anpresskraft der Plus- und Minuskohle auf dem Kommutator mit dem Verschleiß abnimmt. Es wurde nun nach einem geeigneten Funktionsansatz gesucht, um auf die hochgerechnete Lebensdauer zu schließen. Als bester Ansatz hat sich die Funktion

$$Y = a' + \frac{b'}{x + c'} \quad \rightarrow \quad D = a' + \frac{b'}{t + c'}$$

erwiesen (siehe Gleichungen über dem Diagramm).  $Y$  ist die Restdicke  $D$  und  $x$  die Laufstrecke  $t$ . Der „Offset“  $c'$  wurde auf den kleinsten km-Wert 10000km festgesetzt (Fahrzeug mit geringster Laufleistung).

Für jede Pumpe alleine ist der Verlauf der Kurve durch diesen Ansatz zu bestimmen (bzw. die Koeffizienten  $a'$  und  $b'$ ). Die Koeffizienten werden bestimmt durch einen Startpunkt bei 0km und der Laufstrecke des Fahrzeuges. Es wird festgelegt:

$$D_{start} = a' + \frac{b'}{0km + 10000km}$$

$$D_{Rest} = a' + \frac{b'}{t + 10000km}$$

$D_{start}$  ist 15,2mm für den Kommutator bzw. 7mm für die Plus-/Minuskohlen (Neuzustand). Diese beiden Beziehungen werden nun gleichgesetzt und nach  $b$

$$b' = \frac{D_{start} - D_{rest}}{1/10000km + 1/(t + 10000km)}$$

und  $a'$  aufgelöst

$$a' = D_{rest} - \frac{b'}{t + 10000km}$$

Die gesuchte **theoretische Lebensdauer** ist dann für jede Pumpe einzeln mit

$$t = \frac{b'}{D_{rest} - a'} - 10000km$$

zu errechnen. Die hiermit hochgerechneten Lebensdauern werden ins Weibull-Netz übertragen. Rein rechnerisch gibt es Werte, die den unteren kritischen Verschleißpunkt nicht erreichen werden ( $x$  Wert negativ). Dies ist so zu interpretieren, dass das Lebensdauerende über dem Fahrzeuglebensdauer liegt. Diese Pumpen können im Netz nicht dargestellt werden, sind aber als Stichprobenumfang mit zu berücksichtigen (Bezug auf 47 Pumpen).

Normalerweise geht in der Ausfallwahrscheinlichkeit die Plus- und Minuskohlen mit in die Systemzuverlässigkeit der Pumpe ein (Blockschaltbild serielle Schaltung). Es gilt:

$$R_{ges} = R_{Plus} \cdot R_{Minus} \cdot R_{Kom}$$

bzw.

$$H_{ges} = 1 - (1 - H_{Plus}) \cdot (1 - H_{Minus}) \cdot (1 - H_{Kom})$$

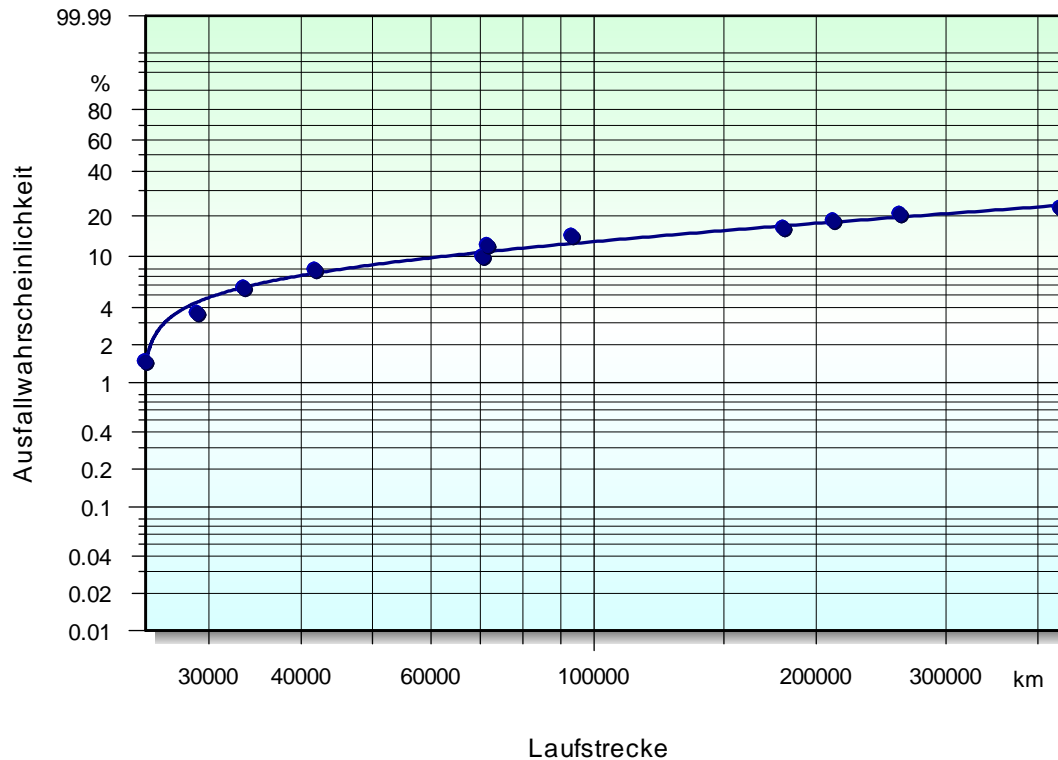
Die sich ergebenden Lebensdauerwerte der Plus- und Minuskohlen waren jedoch erheblich größer, als die des Kommutators. Vereinfacht konnte deshalb die Pumpenlebensdauer mit der Lebensdauer des Kommutators alleine beschrieben werden und es entsteht:

$$T = 10475710 \quad t_0 = 24382,89$$

$$b = 0,4$$

$$H = 100\% \cdot 1 - e^{-\frac{t-t_0}{T-t_0} b}$$

$$r = 0,993 \quad t_{10} = 62251,8$$



Es ergibt sich, wie für Verschleißbauteile zu erwarten war, eine ausfallfreie Zeit  $t_0$ . Der Formparameter  $b < 1$  bedeutet jedoch Frühausfälle. Der scheinbare Widerspruch liegt darin begründet, dass es bei den kritischen Pumpen (nur 11 von 47) einen toleranz- bzw. fertigungsbedingten zufälligen Einfluss gibt, der hier von Bedeutung ist.

Das Ergebnis der Untersuchung war also, dass die neue Pumpe nicht geeignet ist und dass nach den Fertigungseinflüssen zu suchen ist.