

Grundlagen

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.

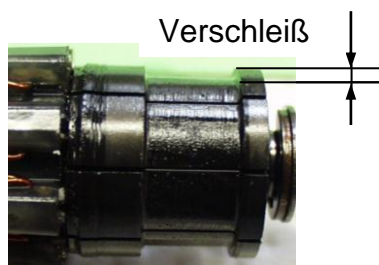
$$t = \frac{t_1}{\Delta D} D_{rest} + t_1$$

mit t : zu erwartende Lebensdauer
 t_1 : Zeitpunkt bei dem der Verschleißgrad gemessen wurde
 ΔD : 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.

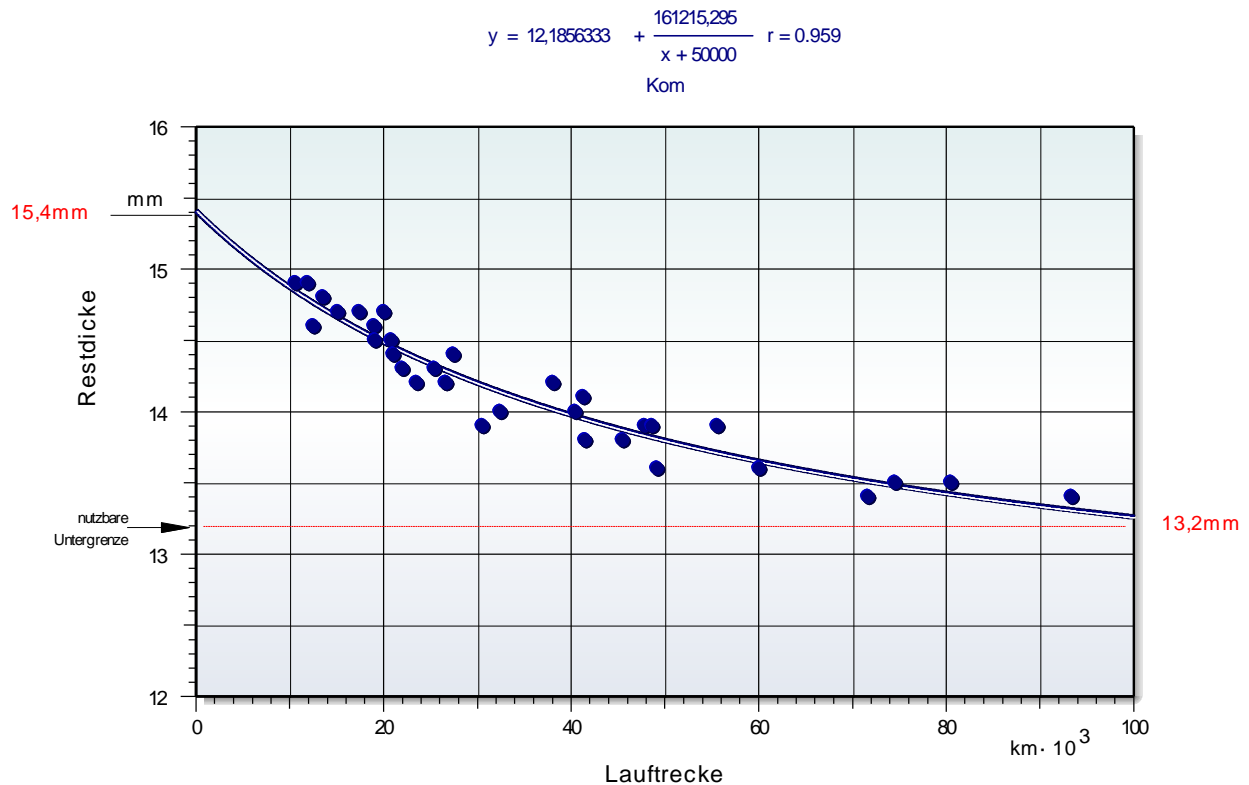


Kommutator



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:

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

Für den Zeitpunkt nach der Messung 1 gilt:

$$D_1 = a' + \frac{b'}{t_1 + 10000km}$$

D_{start} ist 15,2mm für den Kommutator (Neuzustand). Diese beiden Beziehungen werden nun gleichgesetzt und nach b'

$$b' = \frac{D_{start} - D_1}{1/10000km - 1/(t_1 + 10000km)}$$

und a' aufgelöst

$$a' = D_1 - \frac{b'}{t_1 + 10000km}$$

Mit dem nutzbaren Minstdurchmesser D_{min} , hier 13,4mm ergibt sich die gesuchte **theoretische Lebensdauer** mit:

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

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

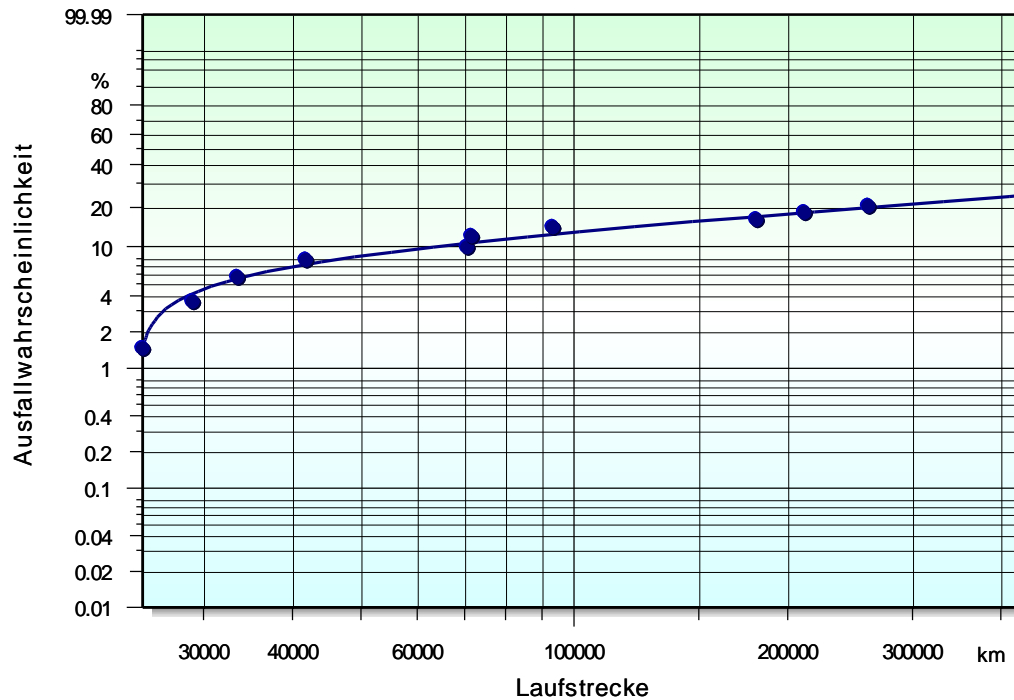
Pumpenlebensdauer mit der Lebensdauer des Kommutators alleine beschrieben werden und es entsteht:

$$T = 8022459 \quad t_0 = 24228,59$$

$$b = 0,42$$

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

$$r = 0,994 \quad t_{10} = 63909,3$$

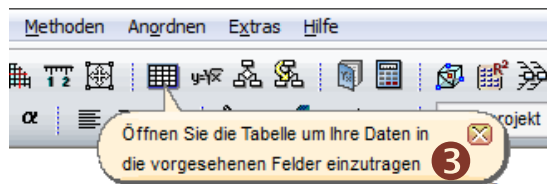
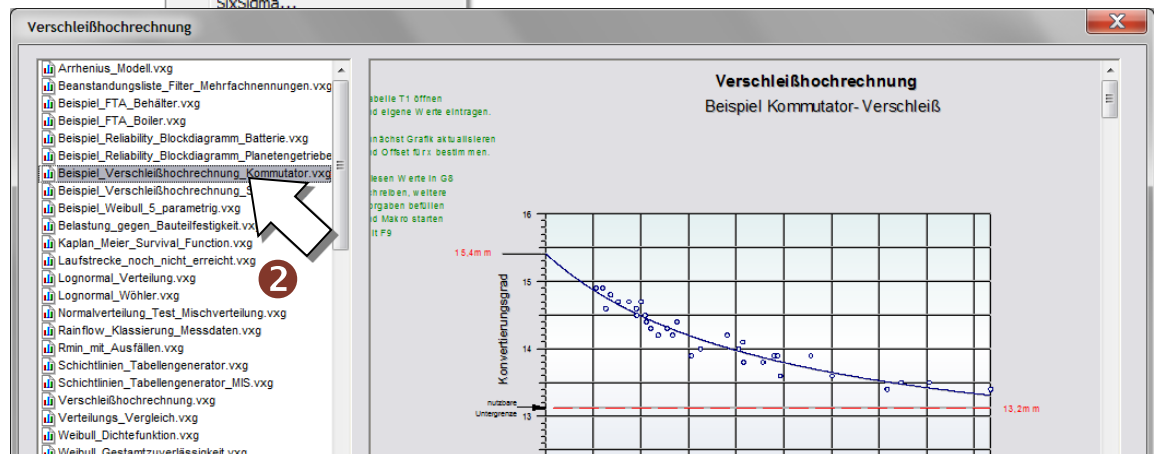
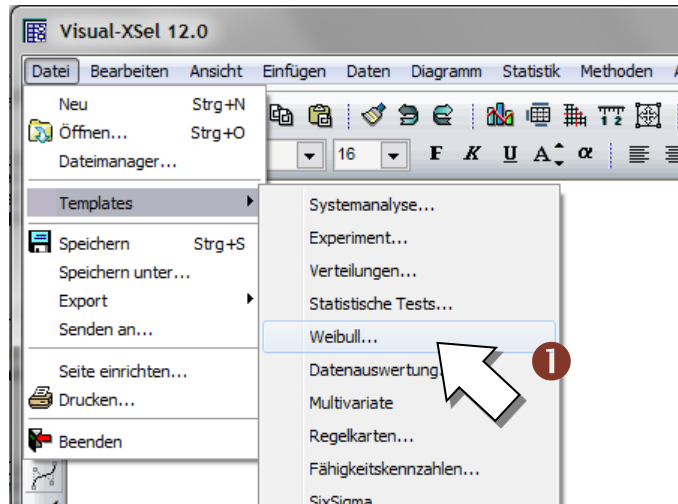


Es ergibt sich, wie für Verschleißbauteile zu erwarten war, eine ausfallfreie Zeit t_0 . Der Formparameter $b < 1$ bedeutet jedoch Frühausfälle. Der scheinbare Widerspruch liegt darin begründet, dass es bei den kritischen Pumpen (nur 11 von 47) einen toleranz- bzw. fertigungsbedingten zufälligen Einfluss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



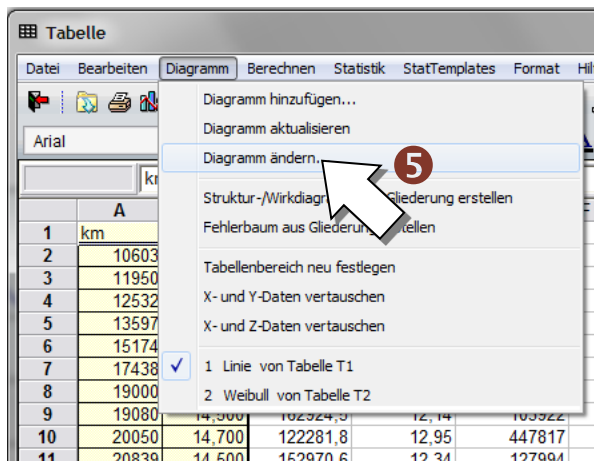
Anwendung in Visual-XSel® 12.0

www.crgraph.de/XSel12Inst.exe

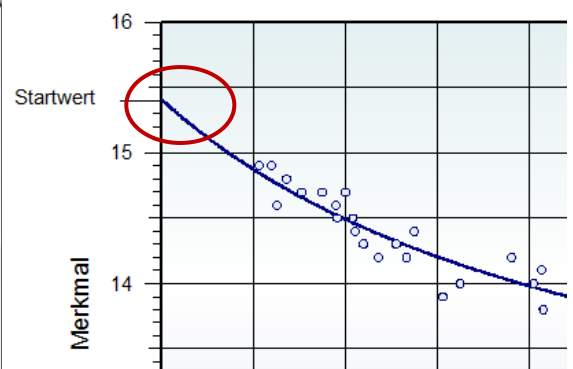
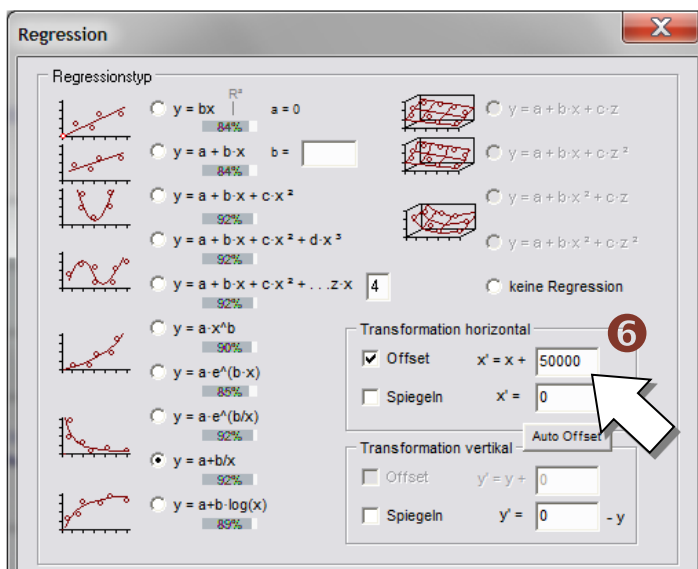


Eigene Daten aus der Zwischenablage einfügen. Spalte A ist Laufzeit, Spalte B ist das Merkmal für den Verschleiß.

	A	B	C	D	E	F
1	km	Kom	b'	a'	Lebensdauer	
2	10603	14,900	142891,2	12,54	167218	
3	14000	14,900	142891,2	12,81	280576	
4				1,41	61390	
5				2,59	181408	
6				2,39	136379	
7	17438	14,700	135	12,69	216915	
8	10000	14,600	145	12,40	165070	




Zunächst noch nicht der Sprechblasen zum Starten des Makros folgen, sondern Diagramm/Diagramm ändern aufrufen. Es muss erst der Offset c' aus der Regression des Diagramms ermittelt werden!



Offset x solange ändern, bis Kurve durch eigenen Startwert bei $t=0$ geht. Hierzu auch freie Textangabe und Strich anpassen. Dialogfenster erneut öffnen vom Hauptfenster aus über Menü Diagramm/Diagrammtyp.

Gefundenen Offset x in Tabelle (Menü Daten/Tabelle) eintragen in Feld G8. Weiterhin Startwert und Grenzwert in gelb unterlegte Felder angeben.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	km	Kom	b'	a'	Lebensdauer		Startwert			
2	10603	14,900	142891,2	12,54	167218		15,4		<- Vorgabe Wert bei n	
3	11950	14,900	129602,5	12,81	280576					
4	12532	14,600	199591,4	11,41	61390		Grenzwert			
5	13597	14,800	140318,5	12,59	181408		13,2		<- Vorgabe Grenzwert	
6	15174	14,700	150328,9	12,39	136379					
7	17438	14,700	135355,5	12,69	216915		Offset c'			
8	19000	14,600	145263,2	12,49	155970		50000		<- Eintragen aus Form	

Danach Makro starten mit F9 oder die entsprechende Ikon  drücken.

Das Ergebnis als Weibull-Diagramm steht im Hauptfenster auf der Seite 2 (runterscrollen oder Seite runterblättern).

$$T = 139366,2 \quad t_0 = 57408,37$$

$$b = 1,22$$

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

$$t_{10} = 70443 \quad R^2 = 0,976$$

