



Lebensdauer tests



Weibull-Analysen



Fehlerbaum

Voraussetzung und verwandte Themen

Für diese Beschreibungen sind Grundlagen der Statistik vorteilhaft. Weiterführende und verwandte Themen sind:

www.weibull.de/Weibull_Analysen.pdf

Einführung

Mit einer Verschleißhochrechnung kann auf ein Lebensdauerende geschlossen werden, ohne das Bauteil bis zum Ausfall testen zu müssen. Voraussetzung ist, dass man einen Verschleiß, oder einen Schädigungsgrad, oder eine Alterung messen kann.

Ziel und Nutzen

Der Nutzen ist eine u.U. erhebliche Zeiteinsparung bei den Lebensdauer tests.

Grundlagen

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.

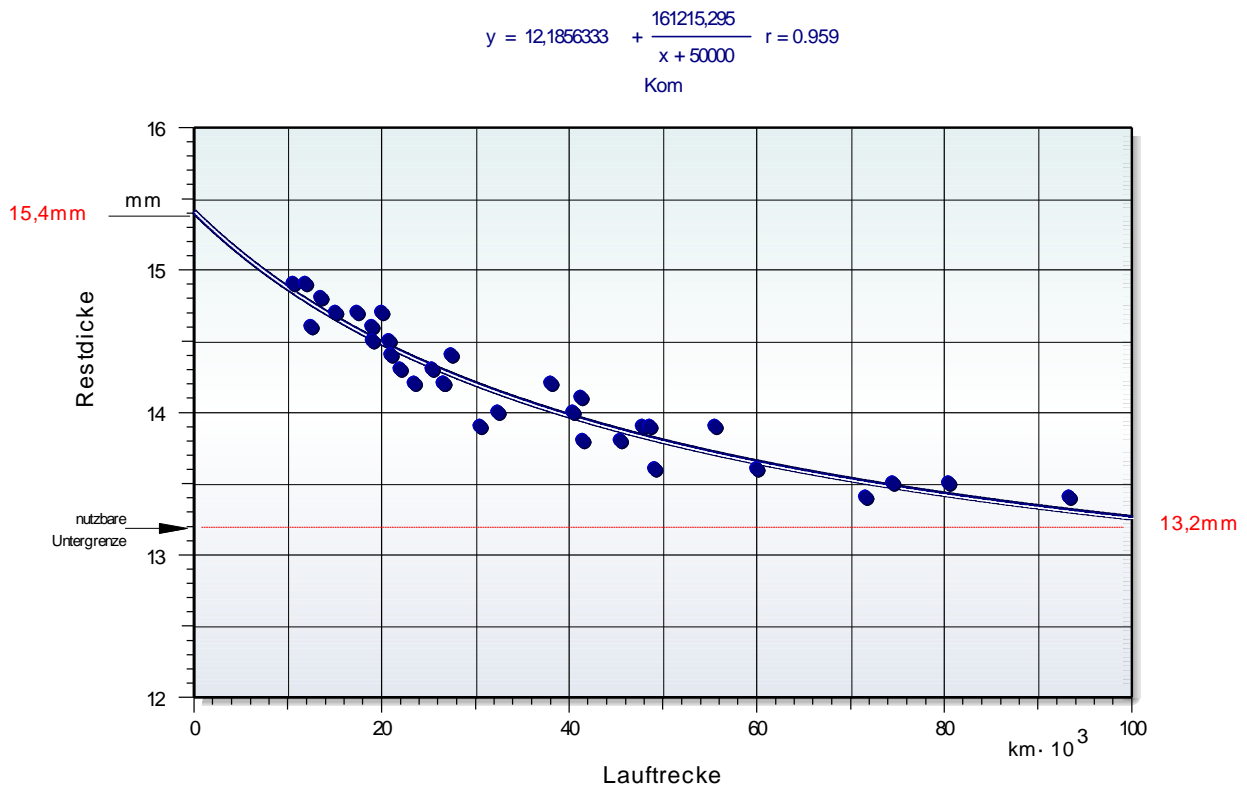


Kommutator



Verschleißhochrechnung

Der nutzbare Bereich des Kommutators ging bis zu einem Minstdurchmesser 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'

Verschleißhochrechnung

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

und a' aufgelöst

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

Mit dem nutzbaren Mindestdurchmesser 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.

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

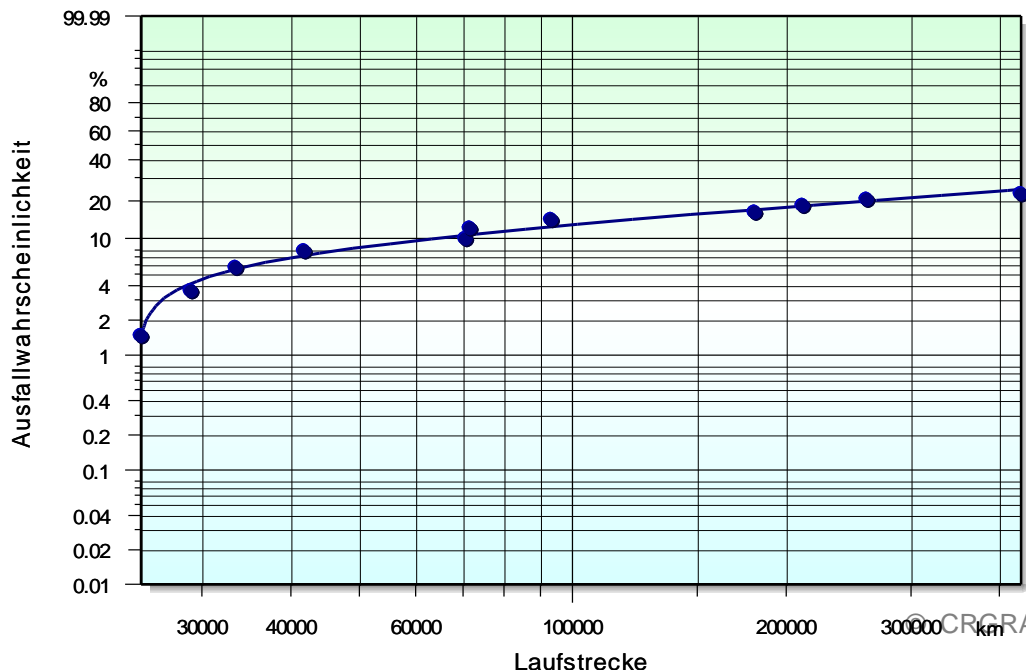
Die sich ergebenden Lebensdauerwerte der Plus- und Minuskohlen waren jedoch erheblich größer, als die des Kommutators. Vereinfacht konnte deshalb die Pumpenlebensdauer mit der Lebensdauer des Kommutators alleine beschrieben werden und es entsteht:

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

$$b = 0,42$$

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

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

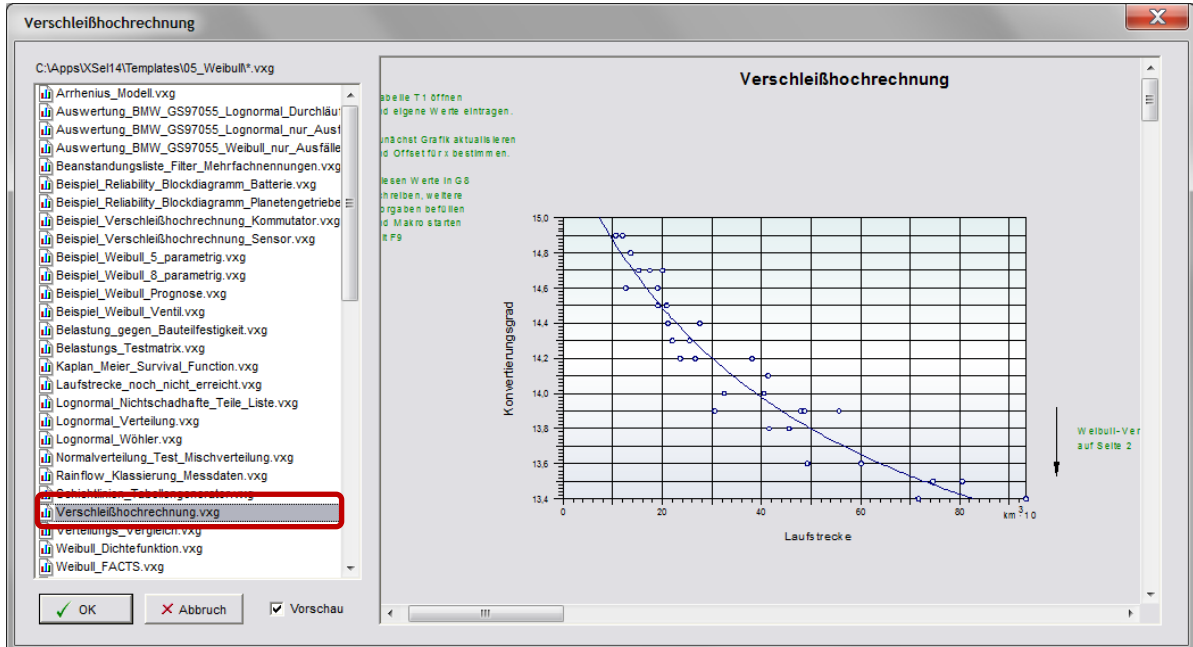
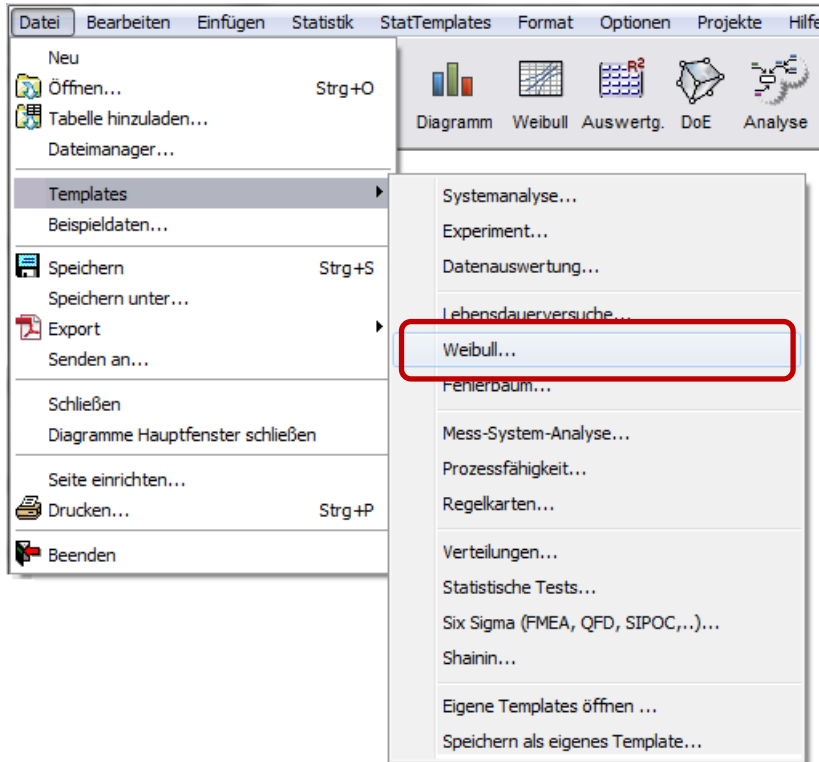


Es ergibt sich, wie für Verschleißbauteile zu erwarten war, eine ausfallfreie Zeit t_0 . Der Formparameter $b < 1$ bedeutet jedoch Frühausfälle. Der scheinbare Widerspruch liegt darin begründet, dass es bei den kritischen Pumpen (nur 11 von 47) einen toleranz- bzw. fertigungsbedingten zufälligen Einfluss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

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

Anwendung in Visual-XSel 14.0

www.weibull.de



Verschleißhochrechnung

Zu befüllen sind nur die gelb unterlegten Spalten und Felder. Spalte A enthält die Information zur „Laufstrecke“ (kann auch zeitlicher Bezug sein, oder Zyklen enthalten) und Spalte B den Zustand des Systems, auf den sich der Verschleiß bezieht. Zu beachten ist, dass hier nicht der Verschleiß selber, sondern der absolute Wert der lebensdauerrelevanten Eigenschaft steht. In diesem Fall ist der Kommutatordurchmesser zu sehen -> $Kom = Durchmesser_neu - Verschleiß$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	km	Kom	b'	a'	Lebensdauer		Startwert				
2	10603	14,900	142891,2	12,54	167218		15,4		<- Vorgabe Wert bei neuem Teil		
3	14100	14,000	120000,0	12,00	280576						
4					61390		Grenzwert				
5					181408		13,2		<- Vorgabe Grenzwert unten		
6					136379						
7					216915		Offset c'				
8	19000	14,600	145263,2	12,49	155970		50000		<- Eintragen aus Formel Regress		
9	19080	14,500	162924,5	12,14	103922						
10	20050	14,700	122281,8	12,95	447817						
11	20839	14,500	152970,6	12,34	127994			Eigene Werte Eintragen in Spalte A und B			
12	21058	14,400	168719,7	12,03	93665			Zunächst Grafik aktualisieren und Offset C be			
13	22000	14,300	180000,0	11,80	78571						
14	23548	14,200	187399,4	11,65	71060			Vorgaben in Felder Spalte G befüllen			
15	25440	14,300	163097,5	12,14	103583			und erst dann Makro starten mit F9			
16	26618	14,200	172705,7	11,95	87711						
17	26661	14,200	172523,9	11,95	87966						
18	27470	14,100	141008,4	12,58	177374						

In der Zelle G2 steht der Startwert bei Neuzustand der Komponente. Wenn für jedes System der Messwert nicht bekannt ist, so ist der Zeichnungswert zu verwenden.

In Zelle G5 steht der Wert, ab dem die Komponente nicht mehr funktionsfähig ist (Lebensdauerende).

Der Wert Offset c' in Zelle G8 ist vor dem Start des Makros noch zu bestimmen. Dieser Wert sorgt dafür, dass die Funktion bei Laufzeit = 0 durch den Startwert geht. Hierzu sind folgende Schritte durchzuführen: Klicken Sie auf Diagramm - Auswahl

Diagramm

Linie Netz Säulen Pareto Boxplot

Histogramm Normal-Vert. Log-Normal Weibull Nur Text

Regressionstypen wählen

Auswahl der verschiedenen Regressions-typen hier

Options

Diagrammrahmen Normale Kurvendarstellung Flächenangabe

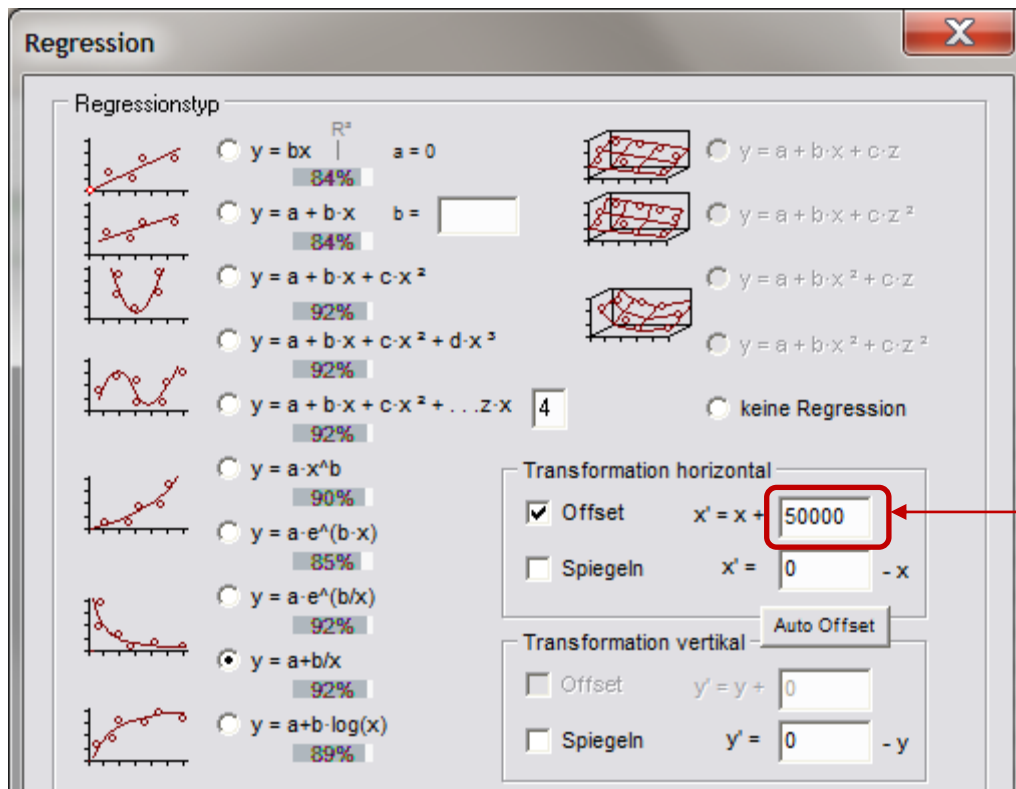
Hintergrundfarbe/-bild Kurve glätten (Spline) Rechte Diagrammchse

3D-Effekte Regression ab Tabellenspalte : 2

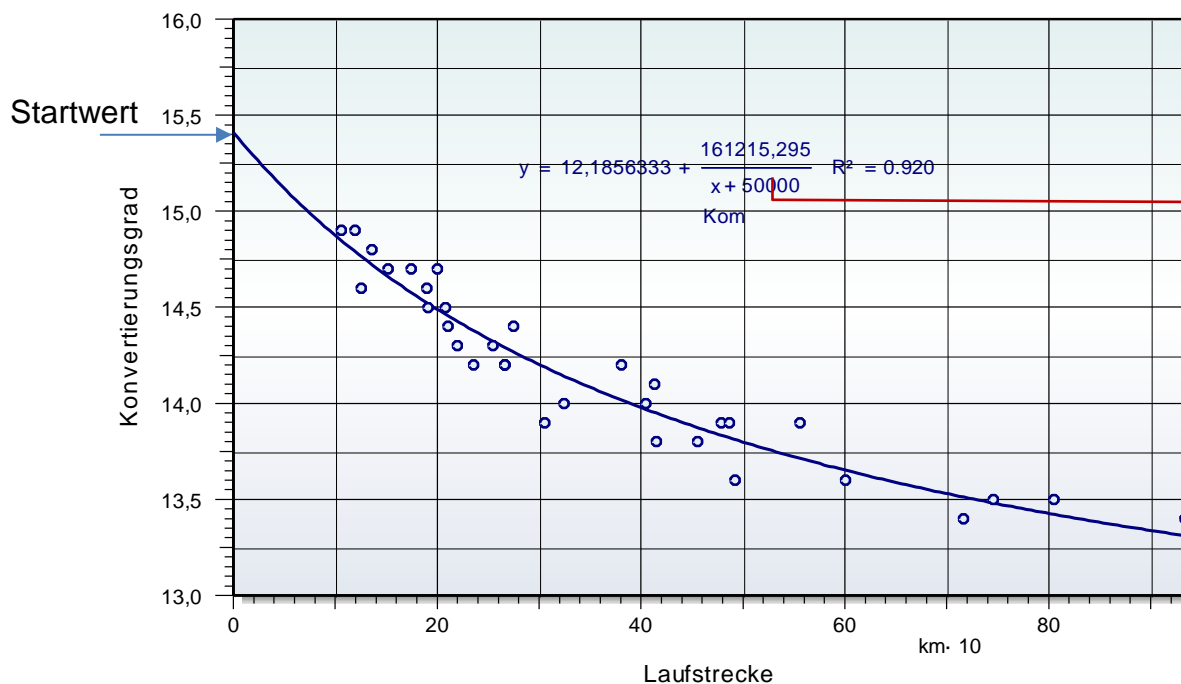
Achsenkreuz bei X=0, Y=0

Schatteneffekt Durchgehend

Verschleißhochrechnung



Probieren Sie nacheinander verschiedene Wert, bis die Grafik durch den gewünschten Startwert bei $x = 0$ geht. Evtl. ist der Y-Maßstab durch Doppelklick auf die linke obere Zahl anzupassen.

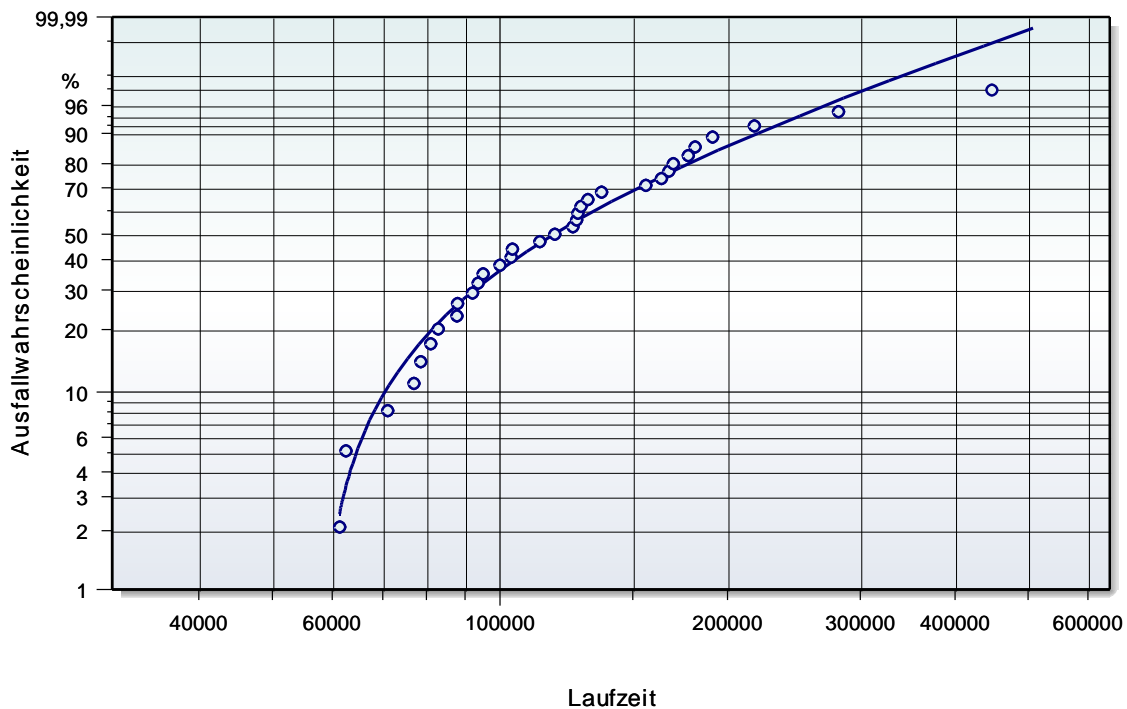


Klicken Sie dazu immer wieder auf Diagramm – Auswahl, wie vorher beschrieben. Verwenden Sie den optimalen Wert c' (Offset) und tragen ihn in Zelle G2 ein. Sind alle Angaben korrekt, ist die Auswertung über F9 zu starten.

Verschleißhochrechnung

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

$$T = 139366,2 \quad t_0 = 57408,37$$
$$b = 1,224$$
$$H = 100\% \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^b} \right)$$
$$t_{10} = 70443 \quad R^2 = 0,9763$$



Literatur

Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden

Die wichtigsten Methoden und Verfahren für die Praxis.

Beinhaltet statistische Methoden für Versuchsplanung & Datenanalyse, sowie Zuverlässigkeit & Weibull.

- Statistische Verteilungen und Tests & Mischverteilungen
- Six Sigma Einführung und Zyklen
- Systemanalysen Wirkdiagramm, FMEA, FTA, Matrizen-Methoden
- Shainin- und Taguchi-Methoden
- Versuchsplanung DoE, D-Optimal
- Korrelations- und Regressionsverfahren
- Multivariate Datenauswertungen
- Prozessfähigkeit – Messmittelfähigkeit MSA 4 und VDA 5
- Regelkarten
- Toleranzrechnung und Monte-Carlo-Simulation
- Statistische Hypothesentests
- Weibull und Lebensdaueranalysen
- Stichprobengröße

190 Seiten, Ringbuch

ISBN: 978-3-00-043678-9

