Weibull-Temperaturabhängigkeit

Voraussetzung und verwandte Themen

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

www.weibull.de/Weibull_Analysen.pdf

www.weibull.de/Raffungsfaktor.pdf

www.weibull.de/Belastungs_Testmatrix.pdf

Stichworte: Weibel – Temperaturabhängigkeit – Alterung – Lebensdauereinfluss Arrhenius – Coffin-Manson – Norris-Landsberg-Modell – Raffungsfaktor – Aktivierungsenergie – Wöhler – Invers-power-law

Einführung

Auf die Lebensdauer von Bauteilen und Elektronik hat die Temperatur in der Regel einen erheblichen Einfluss. U.a. können chemische Prozesse zu Veränderung von Materialeigenschaften führen oder es sind mechanische Ermüdungen durch Wärme-ausdehnungen möglich.

Ziel und Nutzen

Im einem Lebensdauertest können erhöhte Temperaturen zu einer erwünschte Verkürzung der Testzeit genutzt werden. Dies wird auch als Raffungstest bezeichnet.

Grundlagen

Das bekannteste Lebensdauermodell in Bezug auf Temperatur ist das **Arrhenius-Modell**. Es wird insbesondere für das Ausfallverhalten elektronischer Bauteile genutzt und bezieht sich auf die sogenannte Ausfallrate λ:

$$\lambda_1 = \lambda_0 \, e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{\vartheta_1}-\frac{1}{\vartheta_0}\right)}$$

λ_o : Ausfallrate bei Ausgangstemperatur ϑ_o
E_a : Aktivierungsenergie (bauteilspezifisch)
k : Boltzmannkonstante (k=8,617 10^{-5} eV/Kelvin)
ϑ_x : absolute Temperatur in Kelvin
Es sind nur Temp. > 0°C = 273,15K sinnvoll, da die Aktivierungsenergie in der „Kälte" anders ist.

Vereinfacht verwendet man als Raffungsfaktor κ:

$$\kappa \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_0} = e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{\vartheta_1}-\frac{1}{\vartheta_0}\right)}$$

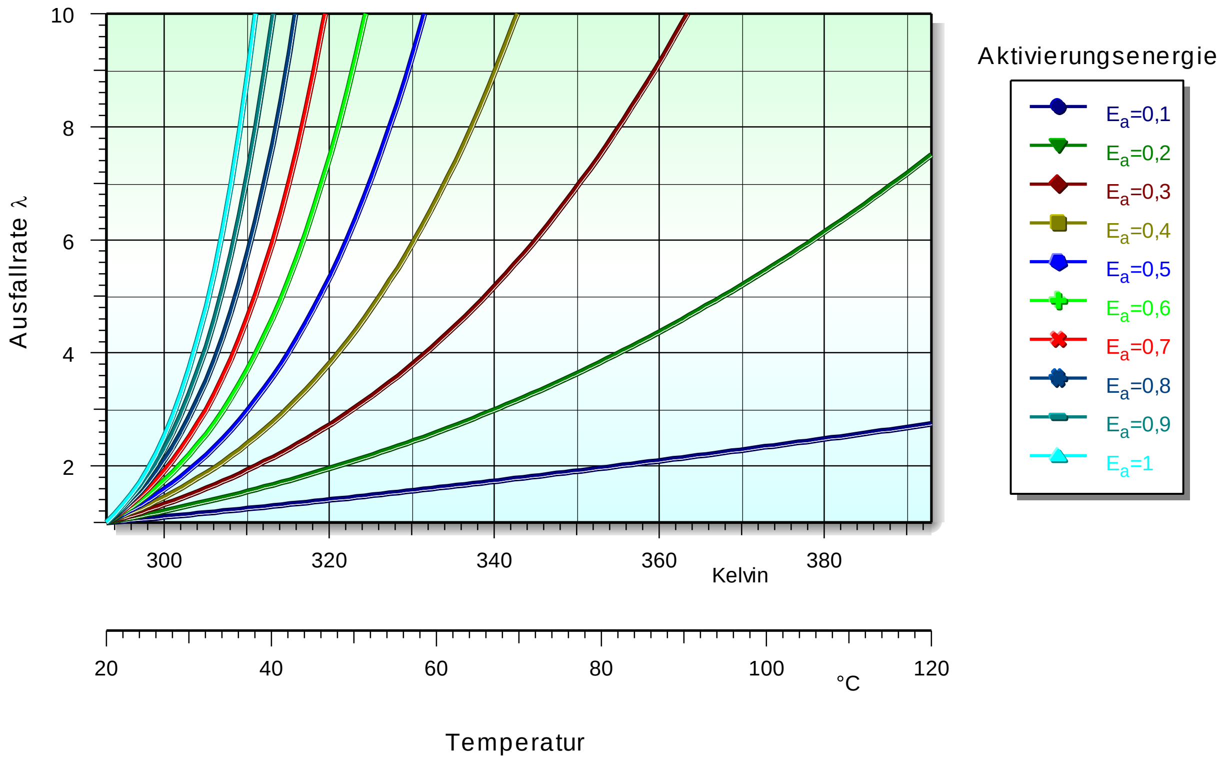
Da der Raffungsfaktor oft als Verhältnis der realen Lebensdauer zur Testzeit definiert ist, ist die Berechnung über die Ausfallrate nur eine Näherung, denn nach Weibel ist die Ausfallrate auch noch von der Zeit t abhängig:

$$\lambda_o = \frac{b}{T}\left(\frac{t}{T}\right)^{b-1}$$

b : Weibull–Formparam. (Steigung)
T : charakteristische Lebensdauer

Weibull-Temperaturabhängigkeit

Die folgende Grafik zeigt den Verlauf der Ausfallrate in Abhängigkeit der Temperatur für typische Aktivierungsenergien:



Gibt es vom Lieferanten der Bauteile keine Angaben zur Aktivierungsenergie, so muss diese durch Versuche ermittelt werden. Hierzu sind Testreihen bis zum Ausfall auf mindestens zwei Temperaturstufen nötig. Beispiel: Für eine elektronische Komponente wurden Lebensdauertest mit je 10 Bauteilen durchgeführt. Die Weibull-Auswertung ergab bei 25°C ein charakteristische Lebensdauer T = 35,1h und ein b = 1,64. Bei 60°C wurden T = 17,6h und b=1,64 ermittelt. Hier sind die Formparameter b exakt gleich, was bedeutet, dass der Schädigungsgrund und das Fehlerbild identisch sind. Dies ist eine Voraussetzung für diese Anwendung. Die Ausfallraten sind nun über die vorher eingeführte Beziehung zu bestimmen:

$$\lambda_{25°} = \frac{1{,}64}{35{,}1h}\left(\frac{25h}{35{,}1h}\right)^{1{,}64-1} = 0{,}0376 \ 1/\text{h} \qquad \lambda_{60°} = \frac{1{,}64}{17{,}6h}\left(\frac{25h}{17{,}6h}\right)^{1{,}64-1} = 0{,}1166 \ 1/\text{h}$$

Durch Umstellung der Arrhenius-Formel kann nun Ea mit der Boltzmannkonstante k=8,617 10^{-5} eV/Kelvin bestimmt werden:

$$Ea = \ln\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right)\frac{1}{\frac{1}{\vartheta_1}-\frac{1}{\vartheta_0}} \quad k$$

$$Ea = \ln\left(\frac{0{,}0376}{0{,}1166}\right)\frac{1}{\frac{1}{333{,}15K}-\frac{1}{298{,}15K}} \ 8{,}617\ 10^{-5} \quad = 0{,}2768 \text{ eV}$$

Weibull-Temperaturabhängigkeit

Zu beachten ist, dass sich die Aktivierungsenergie auf einen chemischer Prozess bezieht, der „in Gang kommt“. Dies ist eher bei hohen Temperaturen der Fall ist. Im Minusbereich finden andere Alterungsprozesse statt, z.B. eine Materialermüdung durch Versprödung. Im Zusammenhang mit einem Temperaturprofil ist deshalb der Anteil mit Minustemperaturen nicht zu berücksichtigen.

Ein weiteres Modell ist das sogenannte **Coffin-Manson Modell**, das sich auf Temperaturwechsel bezieht:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)^k$$

N : Lastwechselzahl
ΔT : Temperaturwechsel
k : Werkstoffkennwert (analog Wöhlerexponent)

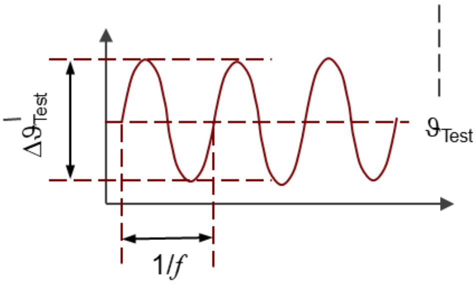
Coffin-Manson verwendeten diese Beziehung mit k = 2. Es sind aber je nach Bauteilverhalten andere k-Werte möglich. k ist hier nicht mit der vorher beschriebenen Boltzmannkonstante zu verwechseln. Dieser Werkstoffkennwert entspricht dem sogenannten Wöhlerexponent aus dem gleichnamigen Wöhlerdiagramm. Diese Berechnungsmethode ist auch unter dem Begriff „Inverse power law“ zu finden.

Anstelle von Temperaturdifferenzen kann dieses Modell vereinfacht auch für konstantne Temperaturniveus verwendet werden. Das hat hier den Vorteil, dass gegenüber dem Arrhenius-Modell direkt der korrekte Raffungsfaktor bestimmt werden kann:

$$\kappa = \frac{N_2}{N_1}$$

Eine Kombination aus beiden bildet im erweiterten Umfang das sogenannte **Norris-Landsberg-Modell** ab:

$$\kappa = \left(\frac{f_{Feld}}{f_{Test}} \right)^{-\alpha} \cdot \left(\frac{\Delta\vartheta_{Feld}}{\Delta\vartheta_{Test}} \right)^{-\beta} \cdot \; e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{\vartheta_{Feld}} - \frac{1}{\vartheta_{Test}}\right)}$$



f steht hier für die Frequenz der Temperaturzyklen. Die Koeffizienten α und β müssen über Versuche ermittelt werden. Unter Vernachlässigung des Einflusses der Frequenz der Temperaturzyklen ergibt sich die vereinfachte Form:

$$\kappa \approx \left(\frac{\Delta\vartheta_{Feld}}{\Delta\vartheta_{Test}} \right)^{-\beta} \cdot \; e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{\vartheta_{Feld}} - \frac{1}{\vartheta_{Test}}\right)}$$

CRGRAPH

Software – Literatur – Consulting – Schulungen

Software

Unsere Software **Visual-XSel** ist ein leistungsfähiges Tool für alle wichtigen statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden. Nicht umsonst ist diese Software in vielen großen Firmen im Einsatz – crgraph.de/Referenzen.

Weitere Informationen zum aktuellen Thema finden Sie auf den nächsten Seiten oder unter crgraph.de/Versionen

Eigene Literatur

Unser **Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden** beinhaltet weiterführende Themen, z.B. zu Systemanalysen, Weibull- und Zuverlässigkeitsmethoden, Versuchsplanung und Datenauswertung, sowie zur Mess-System-Analyse und Prozessfähigkeit.

Weitere Informationen finden Sie unter crgraph.de/Literatur

Consulting & Schulungen & Six Sigma

Bei unseren Inhouse- oder Online-Schulungen wird die praxisnahe Anwendung von statistischen Methoden vermittelt. Wir haben über 20 Jahre Erfahrung, insbesondere in der Automobilindustrie und unterstützen Sie bei Ihren Problemstellungen, führen Auswertungen für Sie durch, oder erstellen firmenspezifische Auswertevorlagen.

Weitere Informationen finden Sie unter crgraph.de/Schulungen

Hotline

Haben Sie noch Fragen, oder Anregungen? Wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung:

Tel. +49 (0)8151-9193638

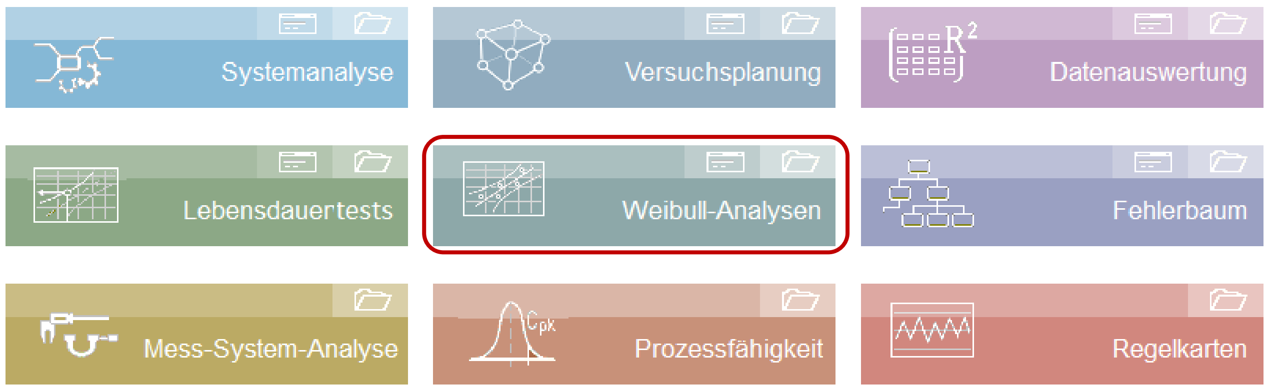
e-mail: info@crgraph.de

Besuchen Sie uns auf unserer Home-Page: www.crgraph.de

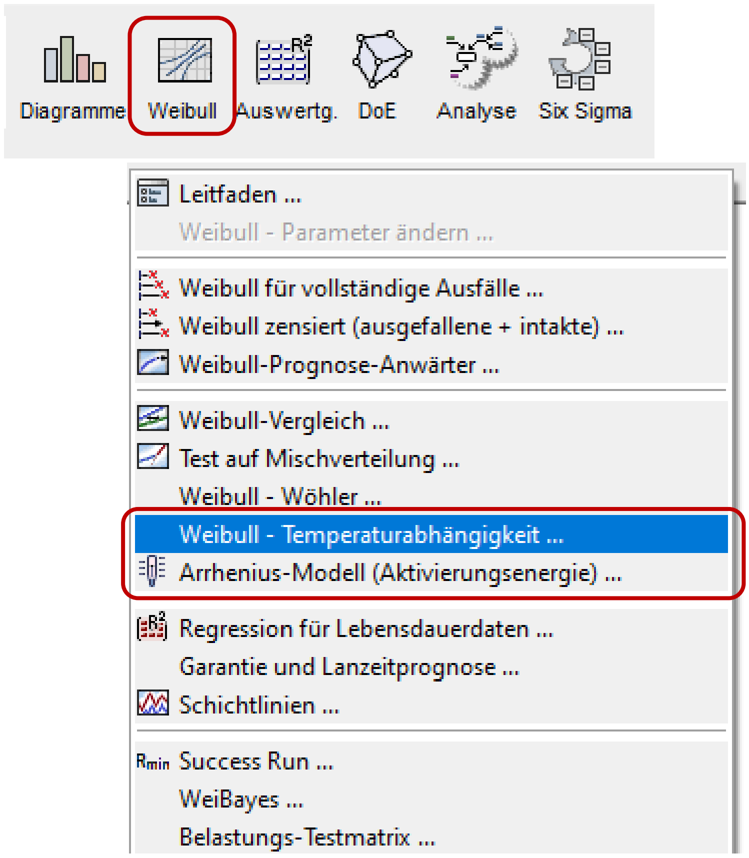
Anwendung in Visual-XSel

www.crgraph.de

Verwenden Sie für den Einstieg die Datenauswertung im Leitfaden,

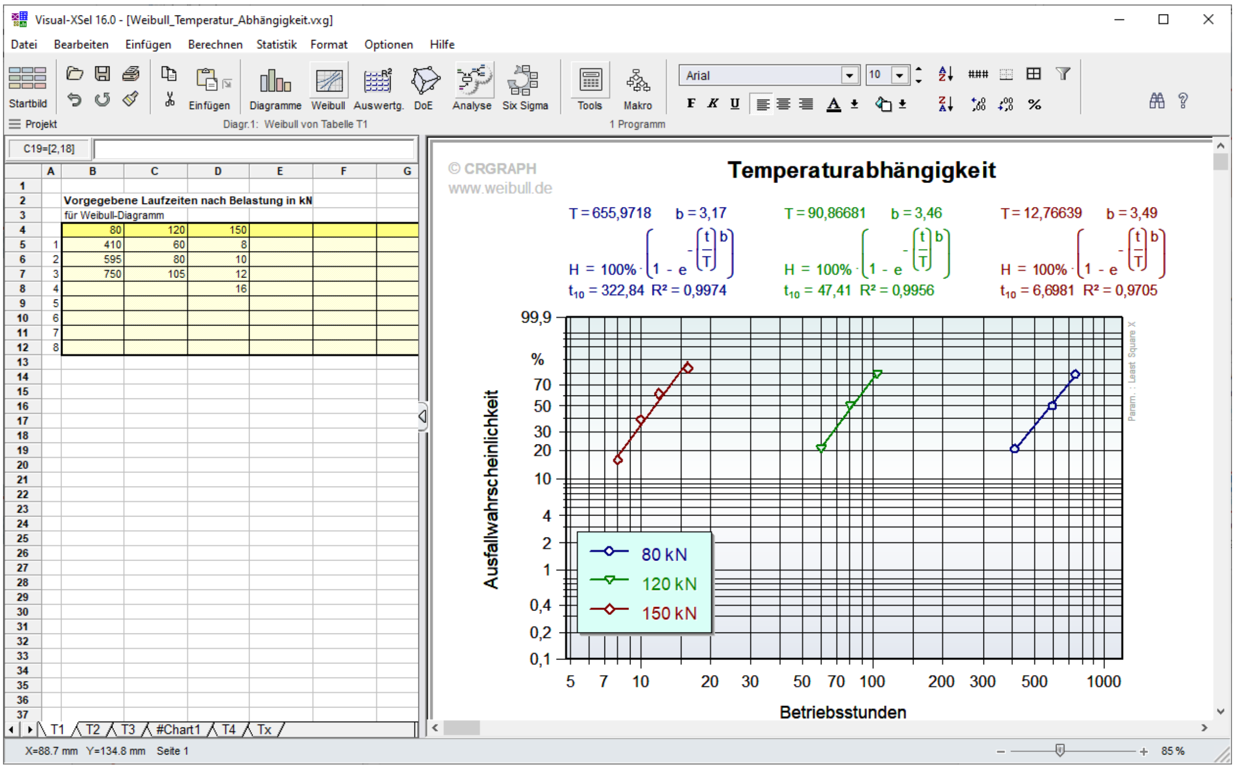


oder die Ikone Weibel….



Für das Beispiel der Weibull-Temperaturabhängigkeit müssen mindestens zwei Spalten mit zwei unterschiedlichen Temperaturen und mindestens 3 Ausfallwerten definiert werden. Da diese Methode für konstante Temperaturniveus eine Vereinfachung darstellt, wird auf die Umrechnung in Kelvin verzichtet und direkt mit °C gearbeitet.

Weibull-Temperaturabhängigkeit



Das darunter liegende Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Lebensdauer in Betriebsstunden über der Temperatur, wie im Wöhlerdiagramm mit einem Streubereich von 90%. Wie im Wöhlerdiagramm auch, ist die abhängige Größe hier die X-Achse und die Vorgabe die Y-Achse: