Das Arrhenius-Modell

In vielen Fällen (nichtmetallische Werkstoffe) ist die Lebensdauer auch stark von der Temperatur abhängig. Dies ist insbesondere bei Elastomeren und Kunststoffen der Fall, die im immer höheren Maße eingesetzt werden. Zur Darstellung dieser Beziehung wird das Arrhenius-Modell angewendet. Hierbei geht es um eine chemische Reaktion mit einer entsprechenden Reaktionsgeschwindigkeit v. Es gilt:

$$v = v_o \, e^{-\frac{Ea}{k\,T}}$$

mit
v_o : Proportionalkonstante
E_a : Aktivierungsenergie (bauteilspezifisch)
K : Boltzmannkonstante (k=8,617 10^{-5} eV/Kelvin)
T : absolute Temperatur in Kelvin

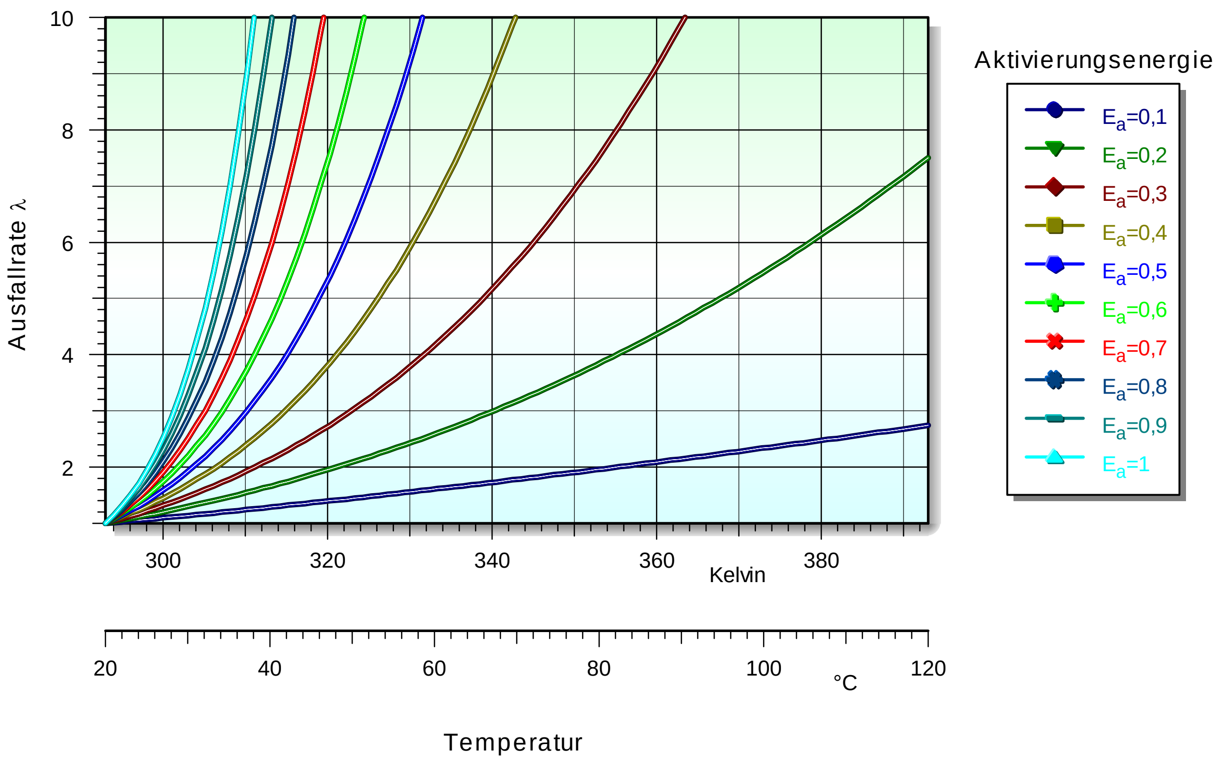
In bezug auf Ausfallraten gilt, insbesondere für das Ausfallverhalten elektronischer Bauteile:

$$\lambda_1 = \lambda_o \, e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{To}\right)}$$

mit λ_o : Ausfallrate bei Ausgangstemp. T_o

Die Aktivierungsenergie liegt in der Regel zwischen 0,1 bis 1,0 eV.

Folgendes Beispiel zeigt die normierte Ausfallrate (für λ_o=1) im Bereich 20°C – 120°C.



Bei höheren Temperaturen ($T_1 > T_o$) erhöhen sich die Ausfallraten und man kann einen sogenannten Beschleunigungsfaktor definieren:

$$A = e^{-\frac{Ea}{k}\left(\frac{1}{T1}-\frac{1}{To}\right)}$$

Diese Beziehung kann u.a. zur Zeitraffung in Labortests genutzt werden. Bei konstanter Ausgangsausfallrate über der Zeit (b=1) wirkt der Beschleunigungsfaktor also entsprechend wie der Raffungsfaktor κ .

Voraussetzung ist die Kenntnis der bauteilspezifischen Aktivierungsenergie, die wenn nicht bekannt, durch Versuche ermittelt werden muss. In den Bereichen zwischen 70° bis ca. 120°C rechnet man auch häufig mit der Faustformel, dass eine Temperaturerhöhung um jeweils 10°C eine Verdoppelung der Ausfallrate, bzw. eine Halbierung der Lebensdauer zur Folge hat.

Der Nachteil des Arrhenius-Modells ist, dass die Ausfallrate und nicht die Lebensdauerzeit selber verwendet wird.

Coffin-Manson-Modell

Im Falle unterschiedlicher Belastungen gilt:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^k$$

Coffin-Manson verwendete diese Beziehung mit k = 2 für die Temperatur-abhängigkeit:

Coffin-Manson verwendete diese Beziehung mit k = 2 für die Temperaturabhängigkeit:

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

ΔT : Temperaturwechsel

k : Werkstoffkennwert

Damit ist die Anwendung der Wöhler-Grundlagen und Methoden möglich. Anstelle von ΔT kann auch ein Offset verwendet werden ((T_1-$Offs$)/(T_2-$Offs$)). Der Parameter k und der $Offs$ müssen durch Versuche ermittelt werden.