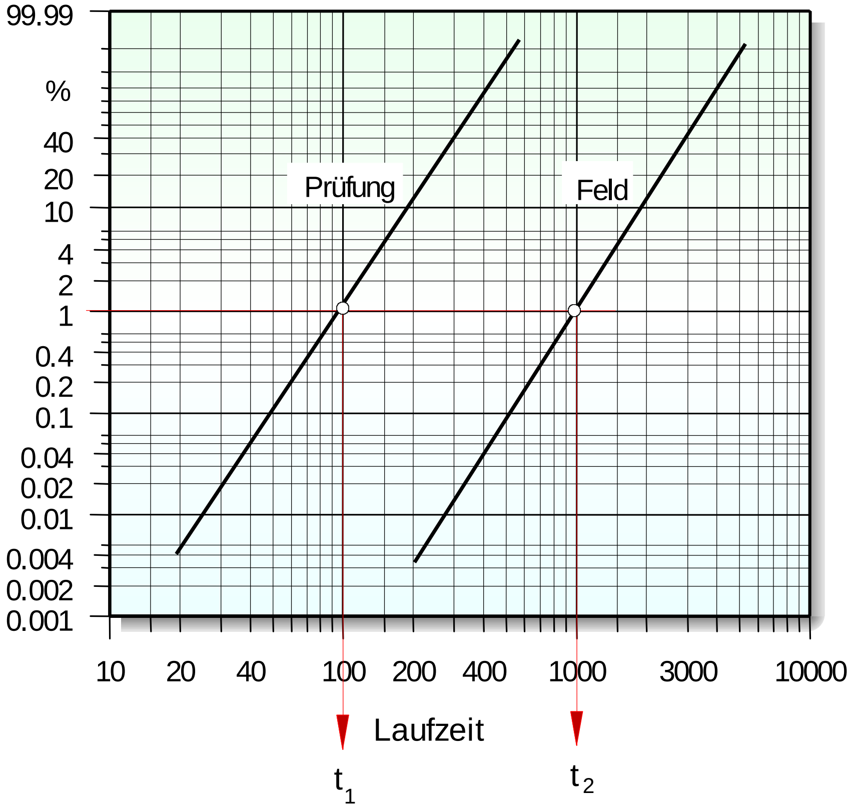
Raffungstests

Accelerated Testing

Ein sogenannter Raffungstest hat zum Ziel die Test- oder Prüfzeit zu verkürzen. Dies ist in der Entwicklung von Komponenten oder Bauteilen praktisch immer notwendig, denn die geforderten „Laufzeiten“ unter normalen Kundenbelastungen wären viel zu lang.



Grundsätzlich muss der Test so beschaffen sein, dass eine realistische Beanspruchung vorliegt und keine „Gewaltbrüche“ vorkommen. Im Weibull-Netz bedeutet dies, dass sich die Steigungen der Ausfallgeraden zwischen Test und Feld nicht wesentlich unterscheiden dürfen.

Der Raffungsfaktor κ ergibt sich mit: $\kappa = \frac{t_2}{t_1}$

Bei gleicher Steigung (paralleler Verlauf) ist κ bzw. das Verhältnis t_2/t_1 unabhängig von dem Niveau der Ausfallhäufigkeit.

Je nach Anzahl der Prüflinge stellt sich ein relativ großer Vertrauensbereich für den Test dar. Die Teileumfänge werden im Feld in der Regel wesentlich größer sein ($n_{Prüf} << n_{Feld}$), wodurch ein kleinerer Vertrauensbereich entsteht. Ist die Feldbeobachtung vollständig, so fällt der Vertrauensbereich auf die Ausgleichsgerade, denn es wird die Grundgesamtheit dargestellt.

Fall 1: Keine Ausfälle im Test trotz erhöhter Belastung

Bei Tests, in denen kein Ausfall auftritt, kann kein Weibull-Netz erstellt werden. Statt dessen wird mit einer Mindestzuverlässigkeit nach VDA gerechnet.

$$R_{\min} = (1 - P_A)^{\frac{1}{L_V^b\, n}} \quad \text{bzw.} \quad H_{\max} = 1 - (1 - P_A)^{\frac{1}{L_V^b\, n}}$$

Lv ist das Verhältnis von Prüfzeit zur geforderten Lebensdauer bei gleicher Belastung wie im Feld. Im Falle einer höheren Belastung ist der Raffungsfaktor mit zu berücksichtigen:

$$R_{\min} = (1 - P_A)^{\frac{1}{n\left(\kappa L_v\right)^b}} \quad \text{bzw.} \quad H_{\max} = 1 - (1 - P_A)^{\frac{1}{n\left(\kappa L_v\right)^b}}$$

Während der Raffungsfaktor die Prüfzeit tatsächlich verkürzt, wirkt sich dieser auf R_{min} wie eine Prüfzeitverlängerung positiv aus.

Unter Umständen müssen unterschiedliche Einheiten für die Lebensdauer zwischen Test und Feld (z.B. Lastwechsel und km) berücksichtigt werden. Können innerhalb der Prüfung die gleichen Lastwechselbeanspruchungen schneller als im Kundenbetrieb durchgeführt werden, ergibt sich bereits hierdurch eine „Zeitraffung“. Diese Zeitraffung berechnet sich alleine durch die Umrechnung der Einheiten. Unter dem Raffungsfaktor κ soll hier ausschließlich die höhere Belastung verstanden sein.

Fall 2: Es liegen Ausfälle vor

Um von der Ausfallhäufigkeit der Prüfung auf die im Feld zu schließen, verwendet man die Gleichung der Weibull-Verteilung, wobei hier der Raffungsfaktor

$$H_{Feld} = 1 - e^{-\left(\frac{1}{\kappa}\frac{t_{Feld}}{T_{pr}}\right)^{b_{pr}}}$$

mit eingeht. Die entsprechende „Laufzeit“ im Exponent kann durch die Umkehrfunktion der Verteilung für die Prüfung bestimmt werden, wodurch mit $T_{Feld} = \kappa\, T_{pr}$ folgende Form entsteht:

$$H_{Feld} = 1 - e^{-\left(\frac{1}{\kappa}\left(\ln\left(\frac{1}{1-H_{pr}}\right)\right)^{\frac{1}{b_{pr}}}\right)^{b_{pr}}}$$

Hier wird vereinfacht vorausgesetzt, dass keine ausfallfreie Zeit t_o vorhanden ist.

Bestimmung des Raffungsfaktors

Zur Bestimmung des Raffungsfaktors müssen entweder Ausfälle im Feld und im Testbetrieb vorliegen, oder er wird aus den Belastungsunterschieden im Wöhlerdiagramm ermittelt.

Im Wöhlerdiagramm gilt für jeweils nur eine Belastung im Zeitfestigkeitsbereich:

$$\kappa = \frac{N_{Feld}}{N_{\mathrm{Pr}}} = \left(\frac{\sigma_{Feld}}{\sigma_{\mathrm{Pr}}}\right)^{-k}$$

Da im Feld aber nie eine konstante Belastung vorherrscht, sondern ein Lastkollektiv gilt für den Zeitfestigkeitsbereich bzw. für die Elementar-Miner-Regel (kein Dauerfestigkeitsbereich):

$$N_{EM,Feld} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{n_{Feld,i}}{N_D}\left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{k}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\frac{1}{N_D\,\sigma_D^{k}} \sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}\,\sigma_{Feld,i}^{k}}$$

Bei der Prüfung wird in der Regel mit nur einer Belastung gearbeitet:

$$N_{\mathrm{Pr}} = N_D \left(\frac{\sigma_{\mathrm{Pr}}}{\sigma_D}\right)^{-k}$$

womit

$$\kappa = \frac{N_{EM,Feld}}{N_{\mathrm{Pr}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\frac{1}{N_D\,\sigma_D^{k}} \sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}\,\sigma_{Feld,i}^{k}} \quad \frac{1}{N_D\left(\frac{\sigma_{\mathrm{Pr}}}{\sigma_D}\right)^{-k}}$$

entsteht und gekürzt ist letztlich

$$\kappa_{EM} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}\, \sigma_{Feld,i}^{\,k}} \; \sigma_{\mathrm{Pr}}^{k} \qquad \textit{Elementar-Miner}$$

der Raffungsfaktor für Bauteile ohne Dauerfestigkeit. Anstelle von σ kann auch eine Kraft oder eine andere Größe für die Belastung stehen. Nach Haibach wird der weitere Verlauf nach N_D mit der halben Steigung angesetzt:

$$N_{H,Feld} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{n_{Feld,i}}{N_D} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{k} + \sum_{i=m+1}^{n} \frac{n_{Feld,i}}{N_D} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{2k-1}}$$

$$\kappa = \frac{N_{H,Feld}}{N_{\mathrm{Pr}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\frac{1}{N_D}\left(\sum_{i=1}^{m} n_{Feld,i} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{k} + \sum_{i=m+1}^{n} n_{Feld,i} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{2k-1}\right)} \; \frac{1}{N_D \left(\frac{\sigma_{\mathrm{Pr}}}{\sigma_D}\right)^{-k}}$$

Aufgrund des zweiten Abschnittes mit anderem Exponenten, lässt sich σ_D nicht herauskürzen und es wird:

$$\kappa_H = \frac{N_{H,Feld}}{N_{\mathrm{Pr}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{Feld,i}}{\sum_{i=1}^{m} n_{Feld,i} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{k} + \sum_{i=m+1}^{n} n_{Feld,i} \left(\frac{\sigma_{Feld,i}}{\sigma_D}\right)^{2k-1}} \; \left(\frac{\sigma_{\mathrm{Pr}}}{\sigma_D}\right)^{k} \qquad \textit{Haibach}$$

Raffungsfaktor für Bauteile mit Dauerfestigkeitsbereich (zur Hälfte angerechnet). Voraussetzung für die Abschätzung des Raffungsfaktors aus dem Wöhlerdiagramm ist eine möglichst genaue Kenntnis des Werkstoffes (Exponent k) und des Lastkollektivs. Literatur: siehe /19/ /20/