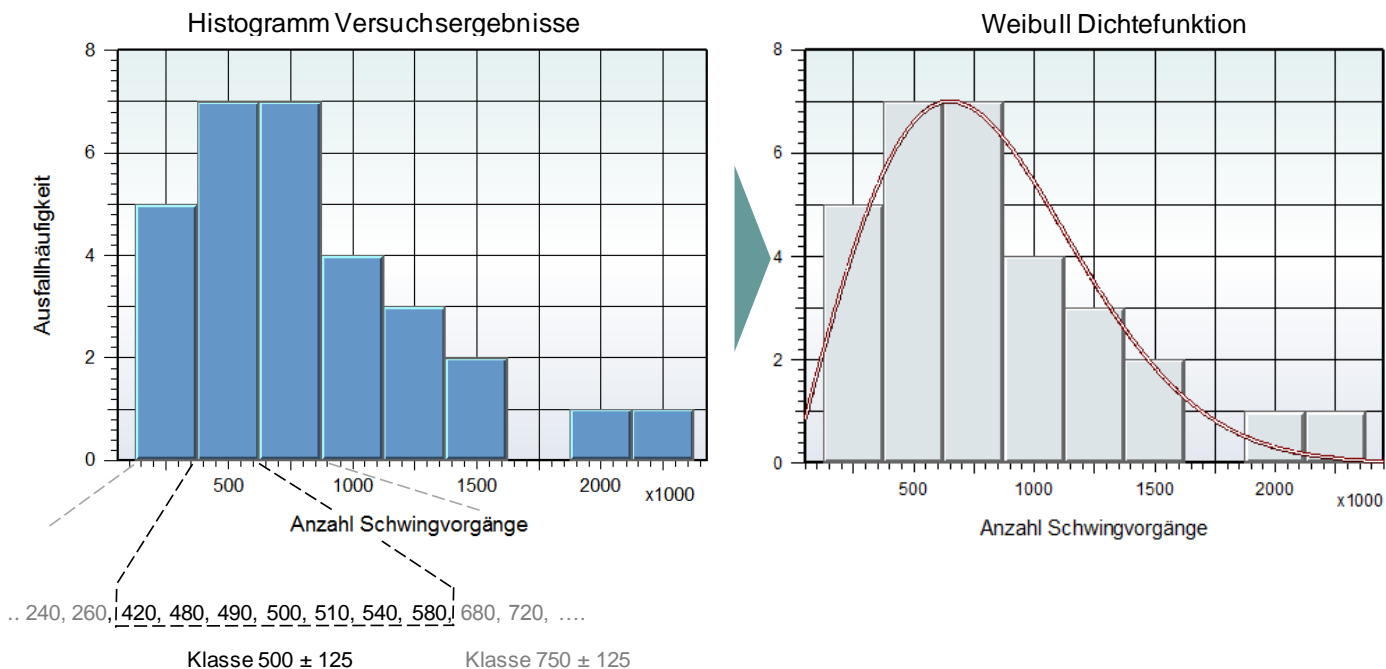


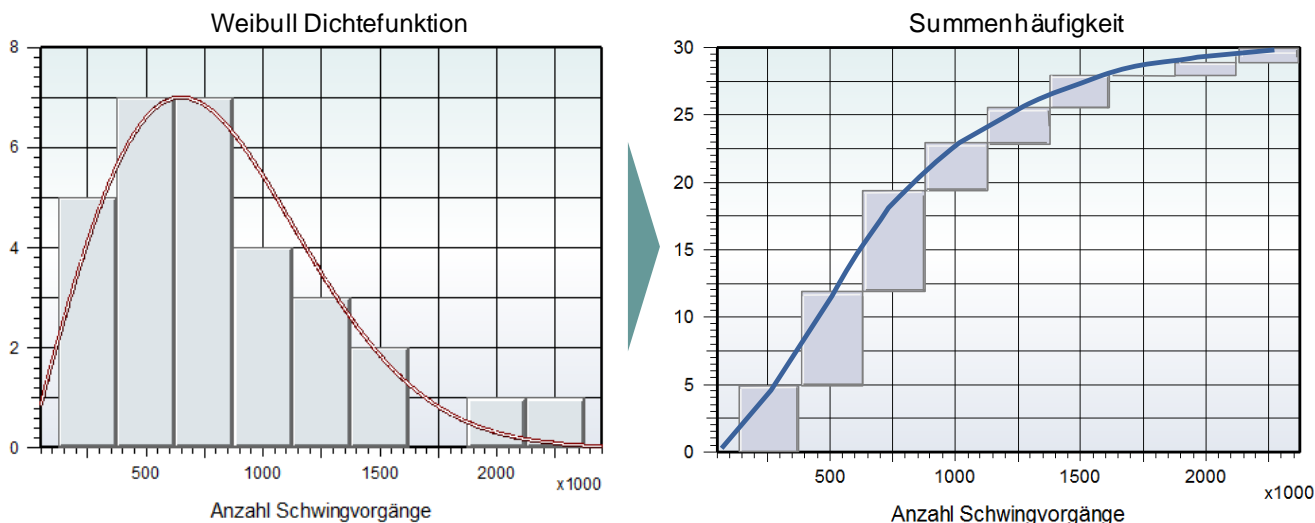
Weibull - Verteilung

Die von dem Schweden Waloddi Weibull entwickelte Verteilung ist eine universelle Verteilung, mit der die unterschiedlichsten Fragestellungen behandelt werden können. Am verbreitetsten ist aber die Darstellung von Lebensdauerfragen. Im folgenden Beispiel wurde eine Gruppe von 30 Kugellagern bis zum Ausfall getestet (Schwingvorgänge). Durch eine entsprechende Klassierung ergibt sich ein Histogramm (Häufigkeiten der Ausfälle innerhalb einer Klasse):



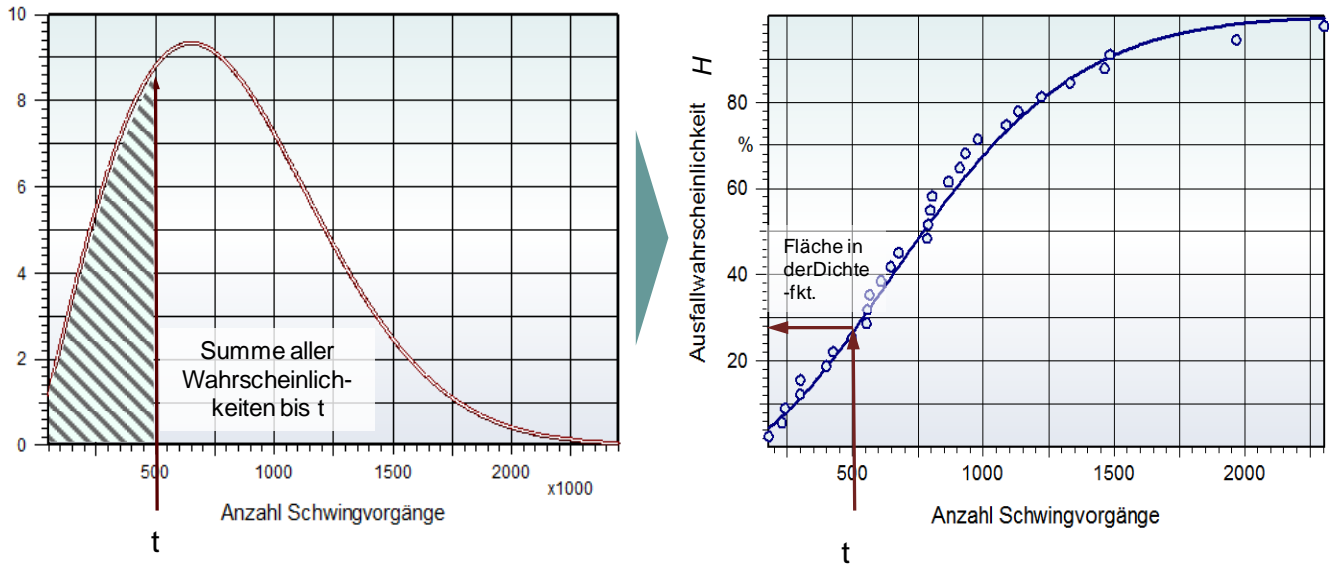
In der rechten Darstellung wird die sogenannte Weibull-Dichtefunktion als Kurve darüber gelegt. Typisch für Lebensdaueruntersuchungen ist, im Gegensatz zu Normalverteilung, der nicht symmetrische Verlauf. Laufzeiten beginnen ab > 0 und es gibt einige Bauteile, die überproportional lange halten.

Eine andere Darstellung ist die Summenhäufigkeit. Alle Häufigkeiten werden von links nach rechts aufsummiert. Erst die rechte Grafik stellt die eigentliche Verteilungsform dar.





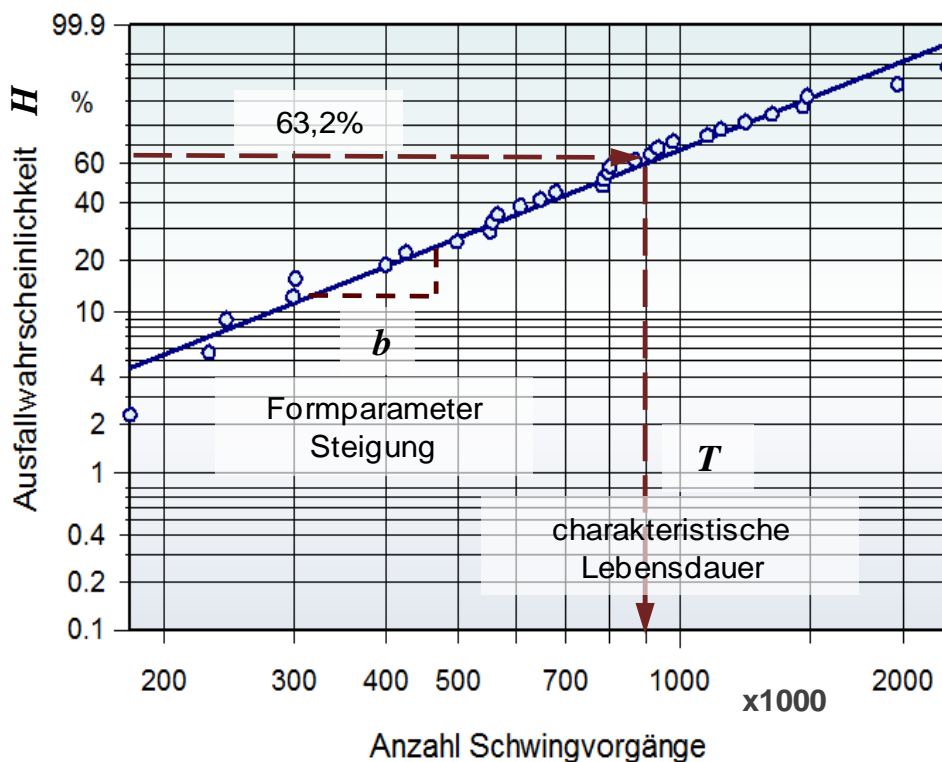
In der Praxis ist es interessanter, für eine definierte Laufzeit die Summe der Ausfälle zu nennen. Hier ohne Klassierung, ergibt die rechte Darstellung unmittelbar diese Ausfallmenge (Integral der Dichtefunktion links).



Letztlich erreicht man durch ein mehrfaches Logarithmieren der Achsen eine Weibull-Gerade und das Integral der Dichtefunktion ist eine mathematisch leicht zu handhabende Funktion, die es für die Normalverteilung nicht gibt. Zeitabhängige Ausfallmechanismen erscheinen als Gerade. Abweichungen von der Geraden können als unterschiedliche Ausfallursachen interpretiert werden. Für Lebensdauer und Zuverlässigkeit ist die Weibull-Verteilung weltweiter Standard.

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

- H : Ausfallhäufigkeit
- t : Laufzeit/strecke
- T : charakt. Lebensdauer (engl. η)
- b : Formparameter (engl. β)
Steigung der Geraden





Die Steigung im logarithmischen Maßstab wird in der Regel folgendermaßen interpretiert (Zuordnung bezieht sich nur auf b , ungeachtet der Lage im Weibull-Netz):

- $b < 1$ „**Frühausfälle**“, z.B. wegen Fertigungs-/Montagefehlern
- $b = 1$ **Zufallsausfälle**, es liegt eine konstante Ausfallrate vor und es besteht kein Zusammenhang zum eigentlichen Lebensdauermerkmal (stochastische Fehler), z.B. elektronische Bauteile
- $b > 1..4$ **Zeitabhängige Ausfälle (Alterungseffekt)**
Ausfälle innerhalb des Auslegungszeitraumes, z.B. Kugellager $b \approx 2$, Wälzlager $b \approx 1,5$, Korrosion, Erosion $b \approx 3 - 4$, Gummi-Riemen $b \approx 2,5$
- $b > 4$ „**Spätausfälle**“ z.B. Stresskorrosion, spröde Materialien wie Keramik, einige Formen von Erosion.

Die Interpretation von b ist nur möglich bei Darstellung eines Fehlerbildes an einem Bauteil. Ansonsten können sich verschiedene Steigungen überlagern.

Zu beachten ist dabei, dass sich die Begriffszuordnung nur auf die Steigung bezieht. Es gibt auch Fälle, in denen bei sehr frühen Laufzeiten Steigungen $b > 1$ vorkommen, was ein Widerspruch wäre. Der Begriff Alterungseffekt ist eher negativ geprägt. Dabei ist es eigentlich die Zielsetzung bei der Auslegung eines Bauteils eine steile Steigung bei hoher Laufzeit zu haben.

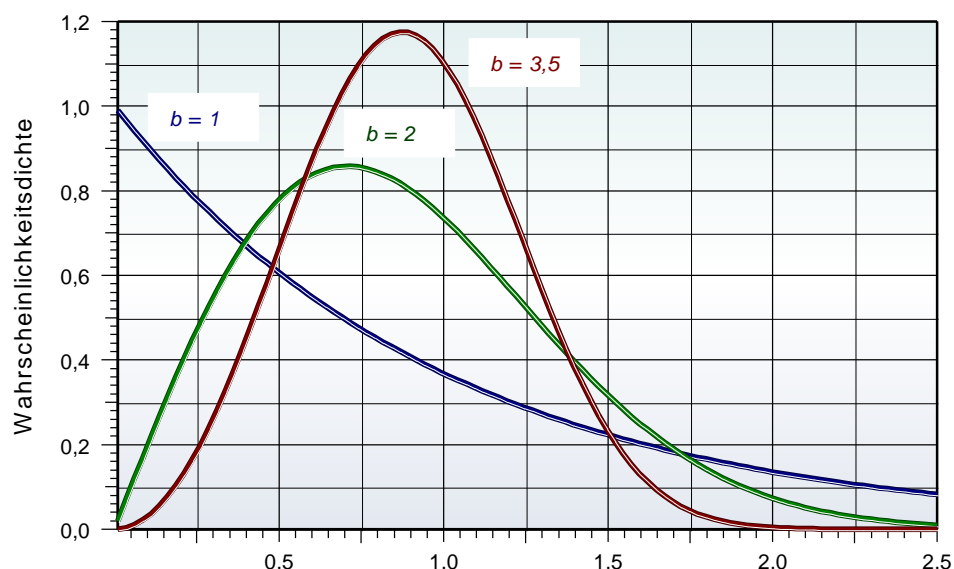
Die Steigung b in der Weibull-Verteilung wird durch die Streuung geprägt, sie ist aber kein alleiniges Maß hierfür, denn die Standardabweichung der Weibull-Verteilung ist auch von T abhängig.

Im Vergleich bedeuten unterschiedliche b unterschiedliche Ausfallursachen. Eine höhere Belastung in Tests darf nur die charakteristische Lebensdauer T verkürzen, nicht jedoch b verändern, ansonsten ist der Test ungeeignet. Folgende Steigungen stellen Sonderfälle dar:

$b = 1$ Entspricht einer **Exponential-Verteilung** $H = 1 - e^{-\lambda t}$
Konstante Ausfallrate

$b = 2$ Entspricht **Rayleigh-Verteilung** Linearer Anstieg der Ausfallrate

$b = 3.2..3.6$ Entspricht einer **Normalverteilung**





Umsetzung und Darstellung der Weibull-Verteilung in Visual-XSel :

www.crgraph.de/Visual_XSel_Weibull_13.pdf