



## Voraussetzung und verwandte Themen

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

[www.weibull.de/Weibull\\_Success\\_Run.pdf](http://www.weibull.de/Weibull_Success_Run.pdf)

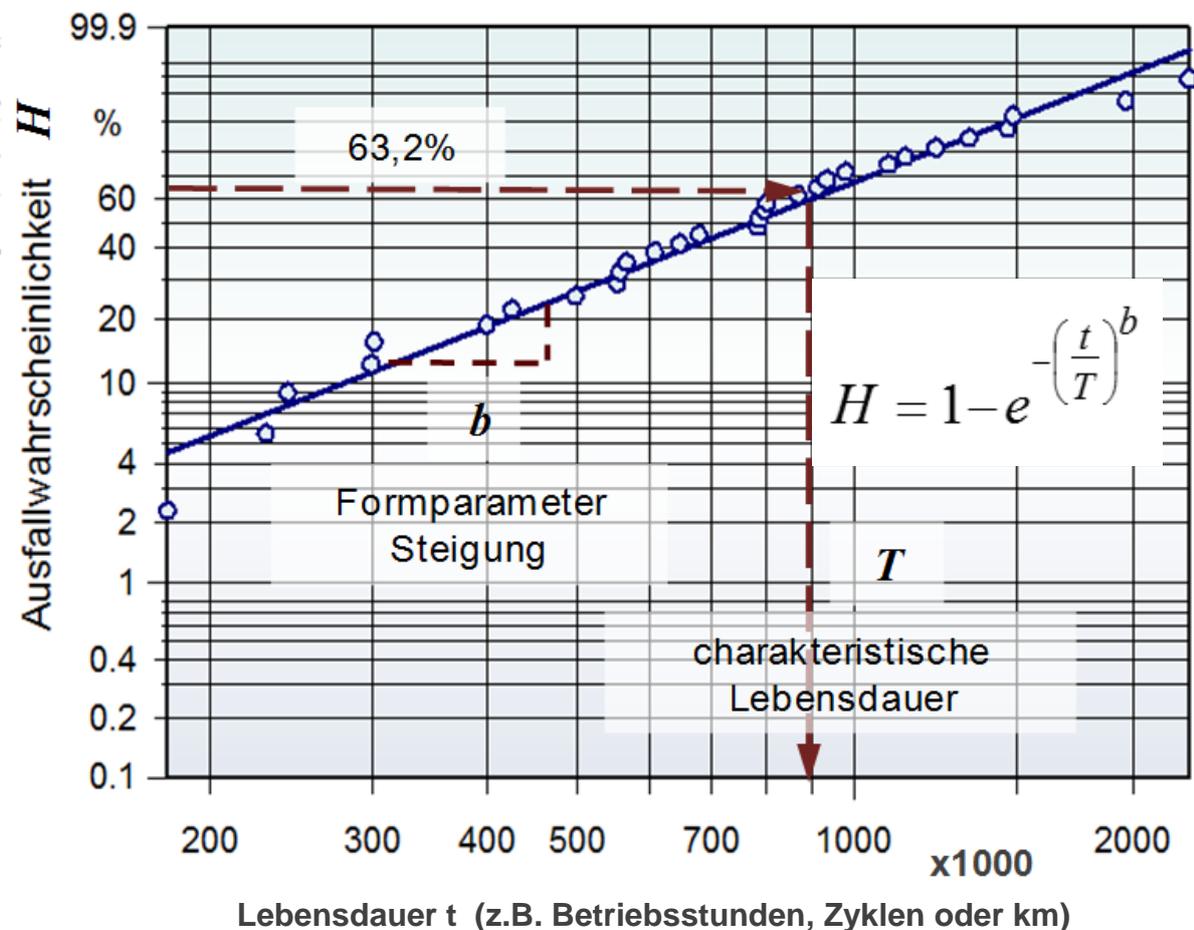
[www.weibull.de/Belastungs\\_Testmatrix.pdf](http://www.weibull.de/Belastungs_Testmatrix.pdf)

[www.weibull.de/WeiBayes.pdf](http://www.weibull.de/WeiBayes.pdf)

[www.weibull.de/Visual\\_XSel\\_Weibull\\_14.pdf](http://www.weibull.de/Visual_XSel_Weibull_14.pdf)

## Einführung

Die von dem Schweden Waloddi Weibull entwickelte Verteilung ist eine universelle Verteilung, mit der die unterschiedlichsten Fragestellungen behandelt werden können. Für Lebensdauer und Zuverlässigkeit ist die Weibull-Verteilung weltweiter Standard. Das sogenannte Weibull-Netz zeigt, wie viele Einheiten in % nach einer Lebensdauer(zeit)  $t$  ausgefallen sind, bzw. ausfallen werden.



Bei entsprechender Skalierung der x- und y-Achse (mehrfachlogarithmisch) erhält man eine Gerade im Weibull-Netz, die definiert ist durch die sogenannte charakteristische Lebensdauer  $T$  und der Steigung  $b$  (Formfaktor).

## Ziel und Nutzen

- Mit Hilfe der Weibull-Verteilung kann eine Aussage über die Ausfallwahrscheinlichkeit zu fast beliebigen Laufzeiten gemacht werden.
- Zeitabhängige Ausfallmechanismen erscheinen als Gerade. Abweichungen von der Geraden können als unterschiedliche Ausfallursachen interpretiert werden.
- In Lebensdauertests wird überprüft, ob gestellte Lastenheft-Anforderungen erfüllt sind.
- Über den Vergleich zwischen Lebensdauerprüfungen zu Felddausfällen kann der sogenannte Raffungsfaktor ermittelt werden.
- Aus der Steigung  $b$  der Ausfallgerade kann auf Ausfallursachen geschlossen werden, auch ohne die Teile zu analysieren.

## Grundlagen

Die Steigung  $b$  im Weibull -Netz kann folgendermaßen interpretiert werden:

$b < 1$  „**Frühausfälle**“, z.B. wegen Fertigungs-/Montagefehlern

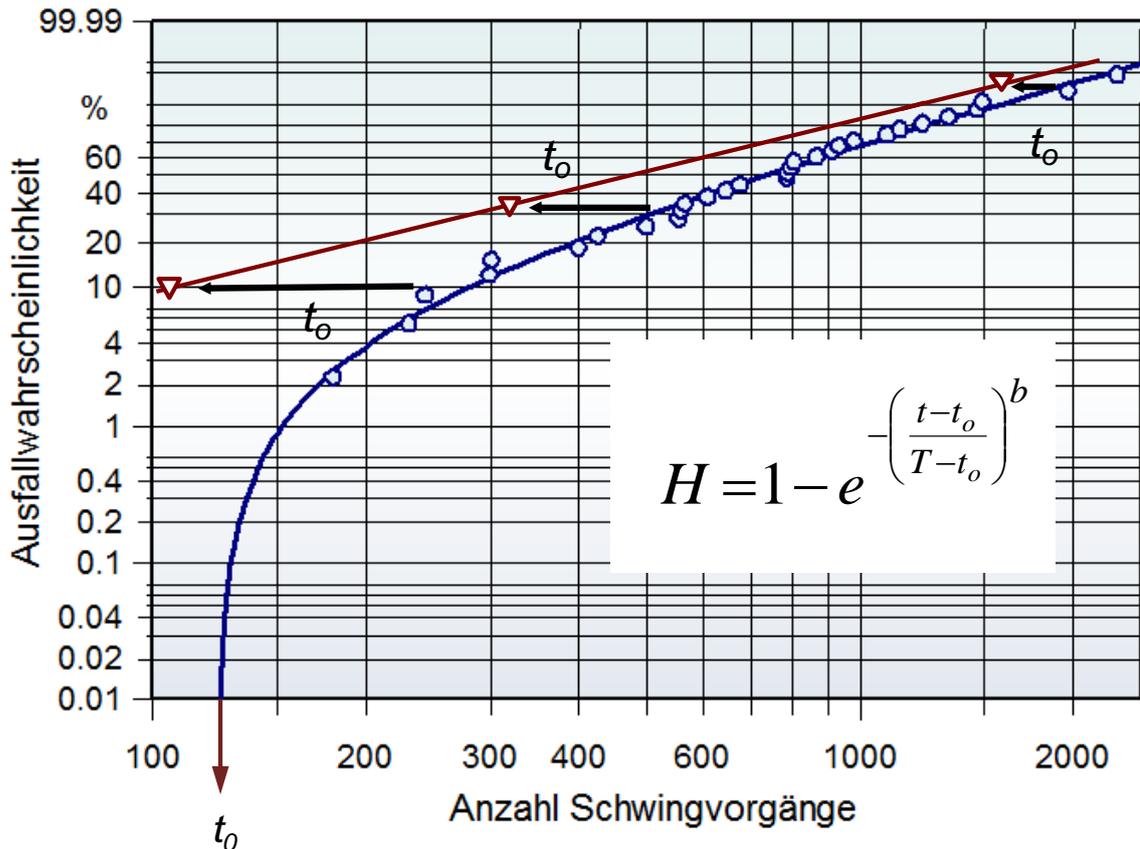
$b = 1$  **Zufallsausfälle**, es liegt eine konstante Ausfallrate vor und es besteht kein Zusammenhang zum eigentlichen Lebensdauermerkmal (stochastische Fehler), z.B. elektronische Bauteile

$b > 1..4$  **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.

**Hinweis:** Der Begriff Früh- und Spätausfall bezieht sich hier nur auf die Steigung ungeachtet der tatsächlichen Laufzeiten.

In den meisten Fällen ergibt sich bei ein und demselben Schadensbild eine ausfallfreie Zeit  $t_0$ . D.h. erst nach einer bestimmten Zeit, können überhaupt Ausfälle auftreten. Beispielsweise muss erst ein Verschleiß ein Bauteil „verbraucht“ haben, bis eine Funktion nicht mehr gewährleistet ist. Liegen die Ausfallpunkte auf einer Kurve (blau), so ergibt eine Linksverschiebung um den Betrag  $t_0$  (ausfallfreie Zeit) eine bessere Anpassung an eine Gerade, weil im Logarithmischen die weiter links liegenden Punkte stärker verschoben werden, als die rechten. Dies führt zu einer besseren Ausgleichsgeraden mit dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$ .



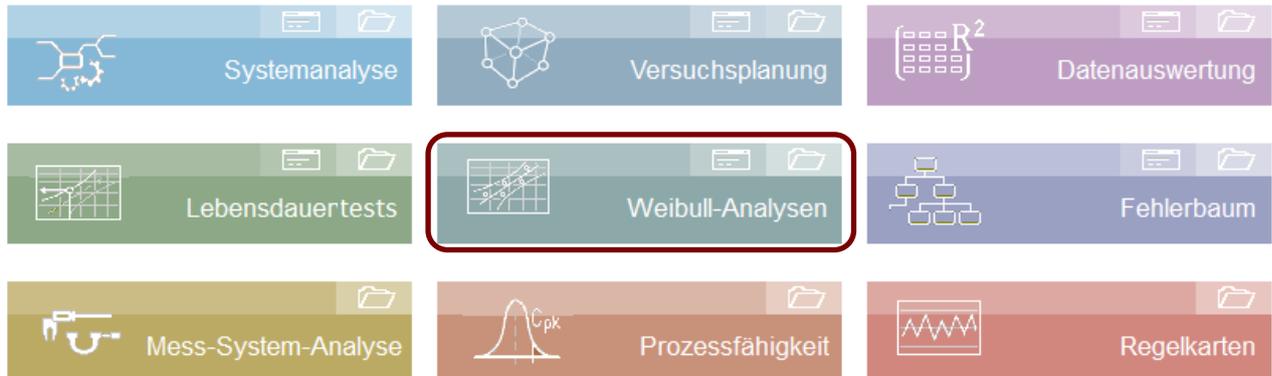
## Beispiel: Ausfall bei einem Elektromotor

Das vorhergehende Bild zeigt 30 Ausfälle von Elektromotoren (Ausfall Bürste). Nach der Ermittlung der ausfallfreien Zeit von  $t_0 = 130\text{h}$ , ergab sich eine Steigung von  $b \approx 1$ . Diese Steigung würde nach vorheriger Beschreibung *Zufallsausfälle* bedeuten. Das Vorhandensein einer ausfallfreien Zeit steht hier aber im Vordergrund. Die Ursache für die „flache“ Steigung, die sich hier näherungsweise auf den Auslauf der Kurve bezieht, ist die große Streuung der Laufzeiten (Bauteilqualität). Sinnvoll ist hier ein Wartungsintervall vor 130h ( $t_0$ ), wenn die Qualität des Bauteils nicht verbessert werden kann.

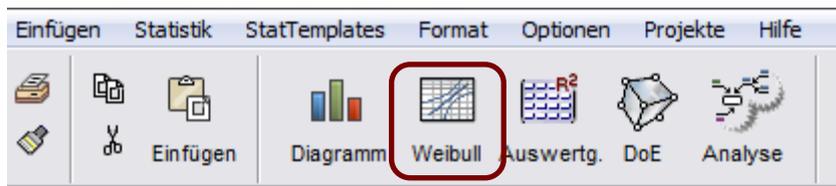
## Anwendung in Visual-XSel 14.0

www.crgraph.de

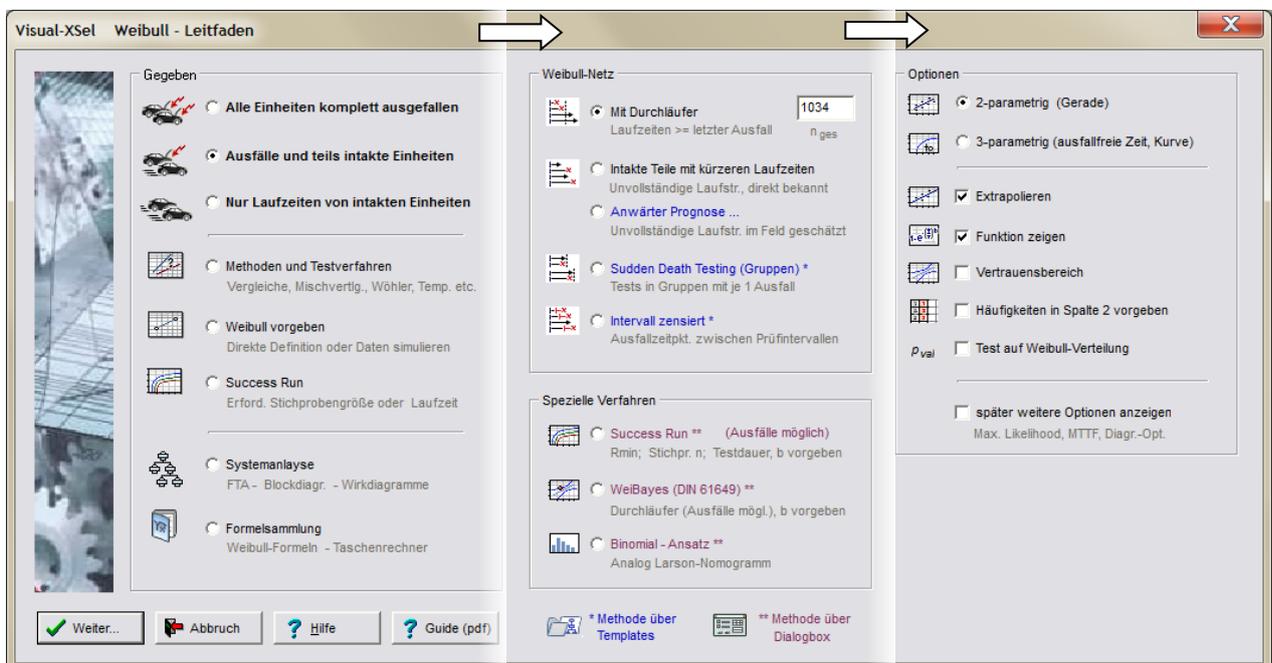
Verwenden Sie für den Einstieg die Datenauswertung im Leitfaden,



oder die Ikone Weibull....



Der neue Leitfaden zu Weibull ermöglicht eine schnelle Auswahl von Grafiken und Methoden. Je nachdem, was gegeben ist (links oben), erweitert sich die Dialogbox

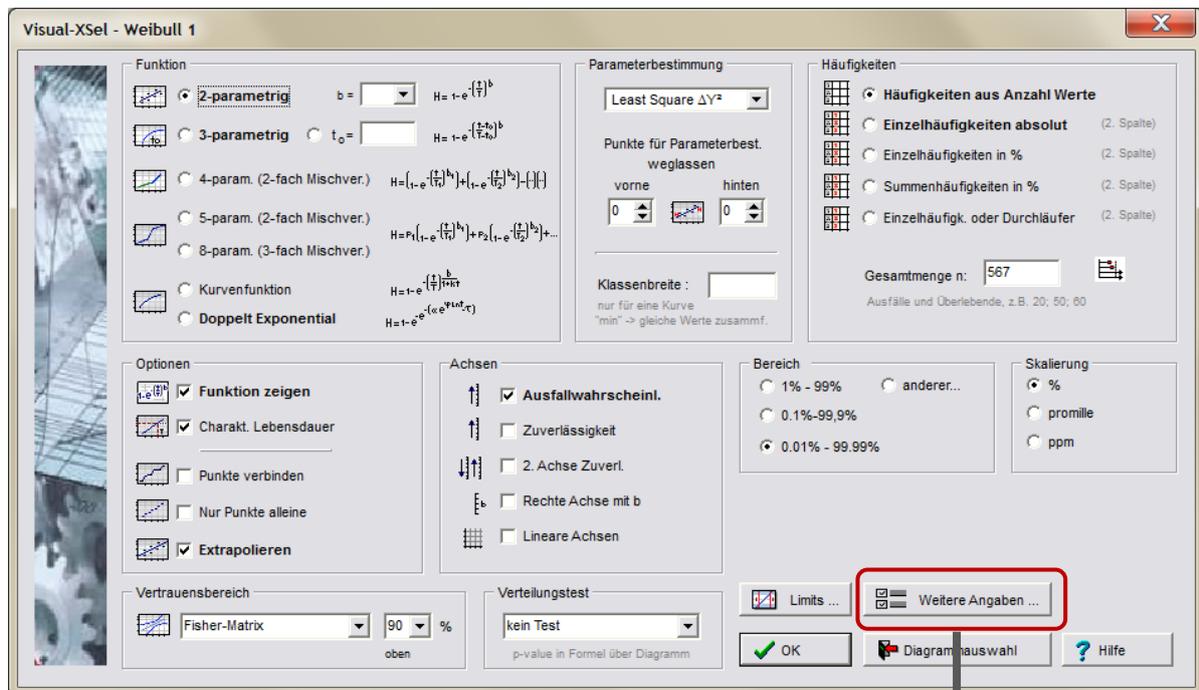


nach rechts mit weiteren passenden Optionen. Methoden, die mit \* und blau markiert sind, werden über Templates bereitgestellt. Templates sind Beispieldateien mit Makros. Diese können auch angepasst und erweitert werden. Bei Methoden, die mit \*\* und in lila

# Weibull-Analysen

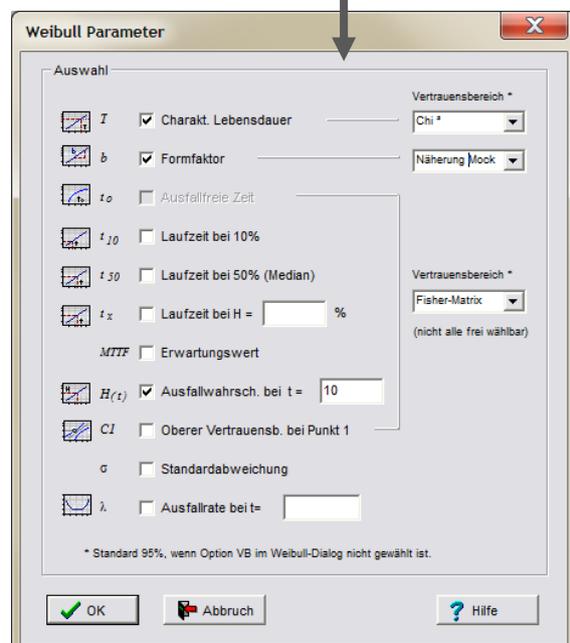
gekennzeichnet sind, öffnet sich eine eigene Dialogbox. Daten werden hier eingegeben und nicht in der Tabelle.

Bei direkter Erstellung eines Weibull-Netztes kann man die wichtigsten Optionen direkt auswählen. Nur wenn „*später weitere Optionen anzeigen*“ gewählt wurde (vorherige Dialogbox rechts unten), öffnet sich eine weitere Auswahl mit vielen Einstellungs-möglichkeiten. Dies ist für fortgeschrittene Anwender zu empfehlen.



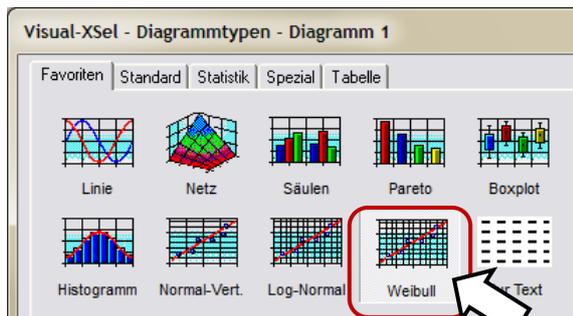
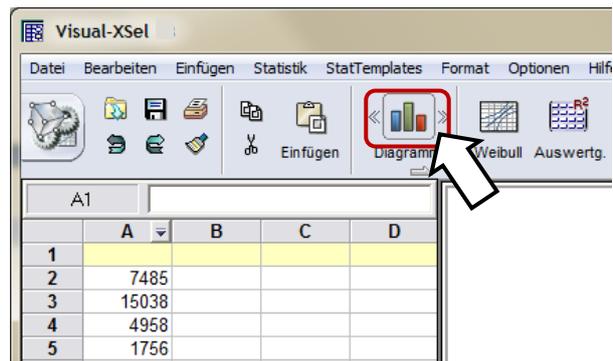
Diese Dialogbox kann aber jederzeit nach dem ersten Erstellen eines Weibull-Netztes über die Ikone Diagramm/ Auswahl erneut geöffnet werden.

Da auch diese Ansicht nicht ausreicht, alle Funktionen auswählen zu können, gibt es die Taste „Weitere Angaben...“. Mit dieser Auswahl können Weibull-Parameter mit Vertrauensbereichen rechts neben dem Diagramm ausgegeben werden. Zu beachten ist, dass sich nicht alle Varianten der Vertrauensbereiche kombinieren lassen.



## Direkte Erstellung eines Weibull-Diagramms aus Daten

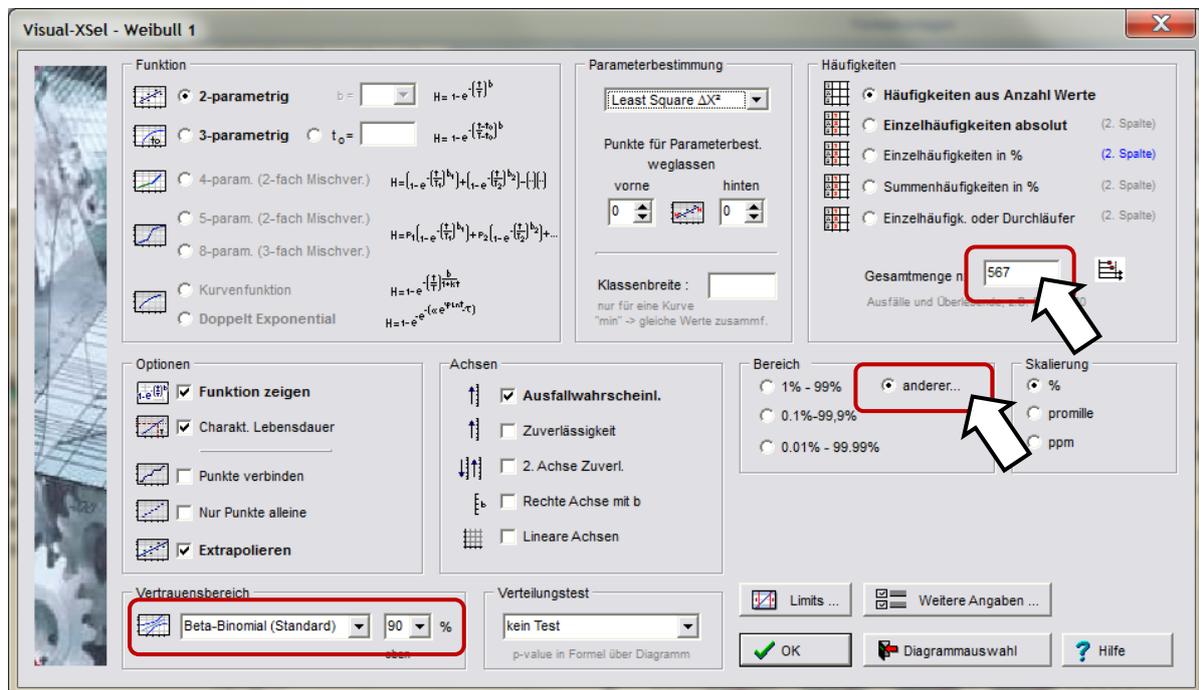
Anstelle über den Weibull-Leitfaden das Weibull-Diagramm zu erstellen, ist es möglich direkt über die allgemeine Diagramm-Darstellung zu gehen. Gibt es in der Tabelle z.B. folgende Daten, markiert die Spalte A und wählt die gezeigte Ikone, sowie die darauf folgende Ikone „Auswahl“, so erscheinen zunächst die Diagramm-Favoriten. Hier ist Weibull auszuwählen. Hinweis: Die Eingabe der Daten erfolgt ab Zeile 2. Die



erste Zeile ist reserviert für die Legende, auch dann wenn hier aktuell kein Titel steht.

Für den Fall, dass es Durchläufer ohne Ausfall gibt, kann dies unter der Gesamtmenge angegeben werden (als Beispiel hier 567, bedeutet inkl. Ausfälle). Bei der Angabe in diesem Feld wird erwartet, dass die Durchläufer mindestens die Strecke des letzten Ausfalles erlebt haben. Da die Durchläufer die Weibull-Gerade weit nach

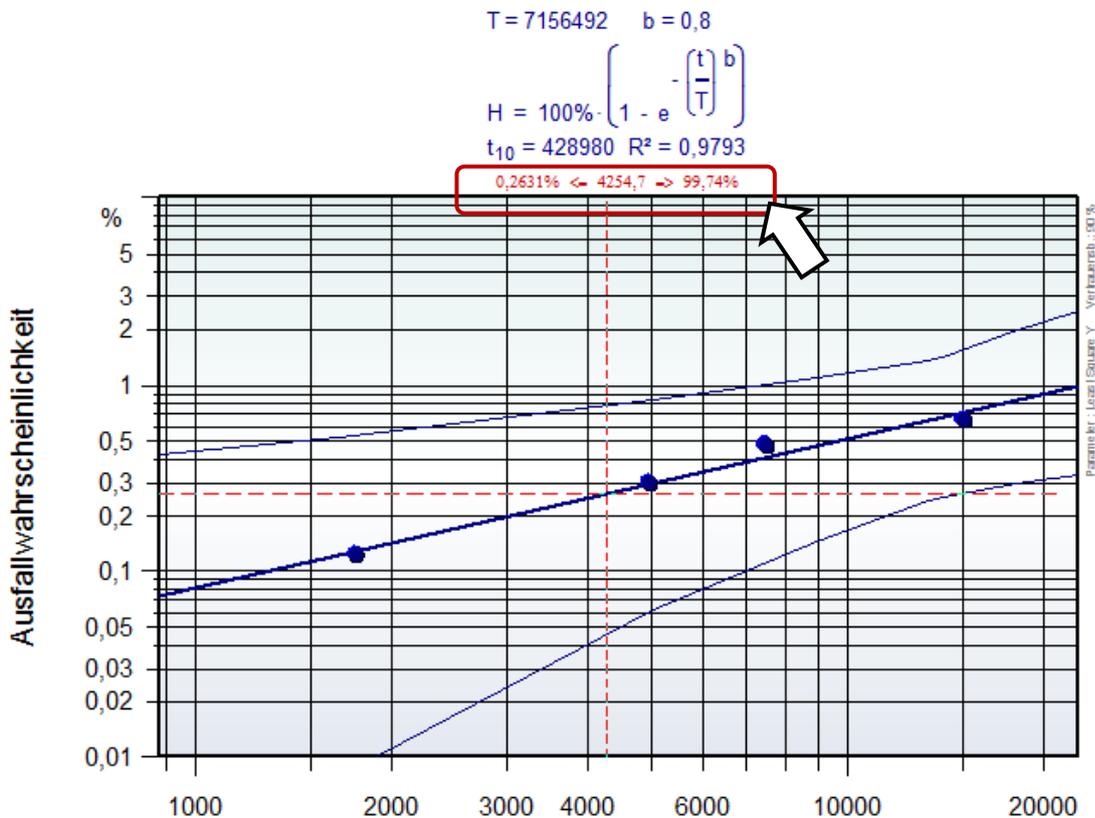
unten verschiebt, sollte der Achsenbereich der Wahrscheinlichkeit hier auf ca. 10% reduziert werden (untere Grenze 0,01%).



Weiterhin wird oft der Vertrauensbereich dargestellt. Ist die Option „Funktion zeigen“ gewählt, so ist über dem Weibull Diagramm die Funktion der gewählten Weibull-Funktion zu sehen. Hierüber können die Parameter der Verteilung abgelesen werden. Weiterhin gibt es die Angabe von  $t_{10}$  ( $B_{10}$ ), also die Laufzeit, nachdem 10% der Teile ausgefallen sind. Mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes  $R^2$  lässt sich abschätzen, wie gut die Ausfallpunkte auf der gewählten Funktion liegen. Normalerweise erwartet man hier

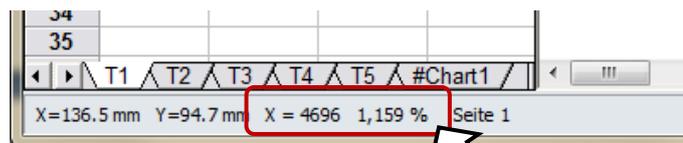
# Weibull-Analysen

mindestens  $R^2=0,95$ . Wenn dieser Wert schlechter ist, sollte man eine andere Funktion auswählen, z.B. die 3-parametrische Weibull-Funktion (siehe Fallbeispiele am Ende).

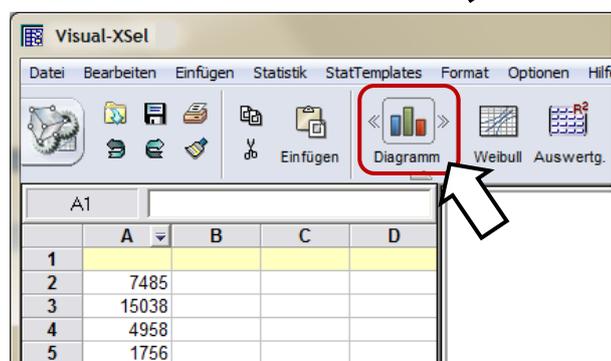


Führt man mit der Maus in das Diagramm, erscheint ein rotes Fadenkreuz. Dieses ist allerdings nur zu sehen, wenn kein Element vorher angeklickt wurde. In der Mitte (roter Text rechts oben über dem Diagramm) wird die Laufstrecke angezeigt, links davon die Ausfallwahrscheinlichkeit und rechts die Überlebenswahrscheinlichkeit.

Die Mausspitze kann auf einen beliebigen Punkt im Diagramm zeigen. Dabei wird in der Statuszeile unten links die Prozentzahl angezeigt.



Wie bereits beschrieben, kann man eine andere Auswahl der Weibull-Parameter treffen, wenn man wieder die Ikone Diagramm/-Auswahl anklickt.



Weitere Programmbeschreibungen unter:  
[www.weibull.de/Visual\\_XSel\\_Weibull\\_14.pdf](http://www.weibull.de/Visual_XSel_Weibull_14.pdf)

## 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

