



Zuverlässigkeitsmethoden & Weibull

© 2025 Curt Ronniger

www.weibull.de

1. Tag

Weibull-Grundlagen

Datenaufbereitung, Häufigkeiten,
Parameterbestimmung, Interpretation
Ausfallfreie Zeit, Vertrauensbereich

Anwendung

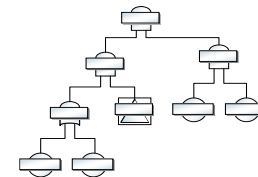
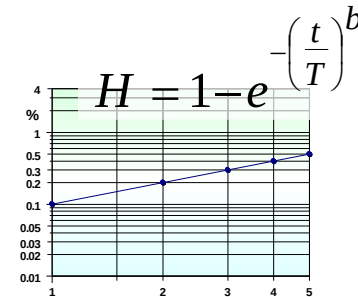
Vergleich von Verteilungen,
Mischverteilungen

Systemzuverlässigkeit

Blockdiagramme, Fehlerbaum

Entwicklung

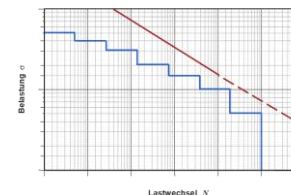
Prüfung von Bauteilen „Sudden Death-Testing“
Allgemein unvollständige Laufzeiten



2. Tag

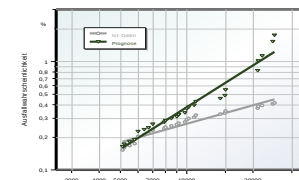
Entwicklung

Tests ohne Ausfälle, Lebensdauerversuchsplanung
Wöhler
Raffungsversuche
Temperaturabhängigkeit
Verschleißhochrechnung



Feldanalysen

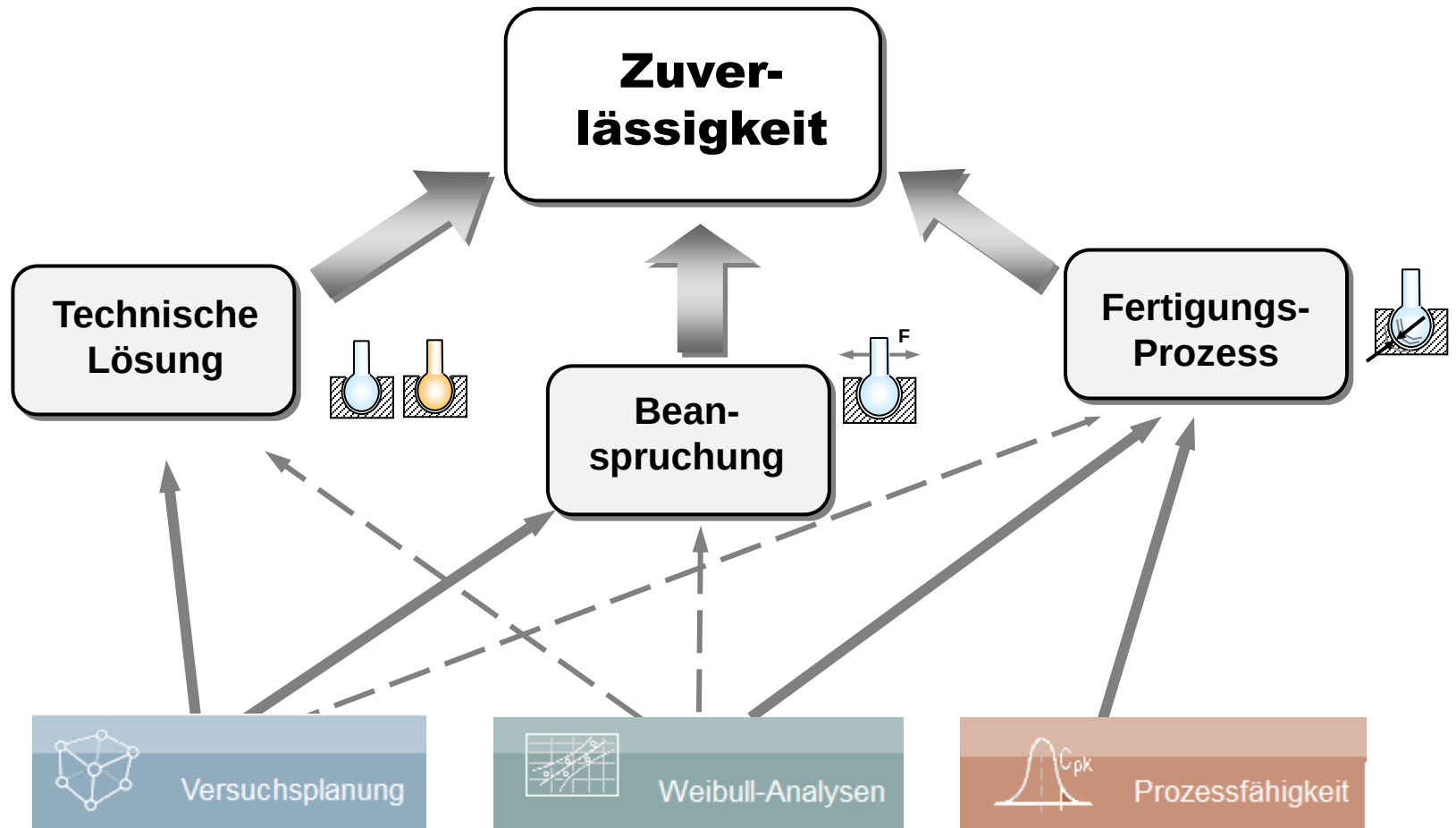
Prognoseverfahren, Berücksichtigung unvollständiges Alter und unvollständige km-Laufzeiten.
Fallbeispiele



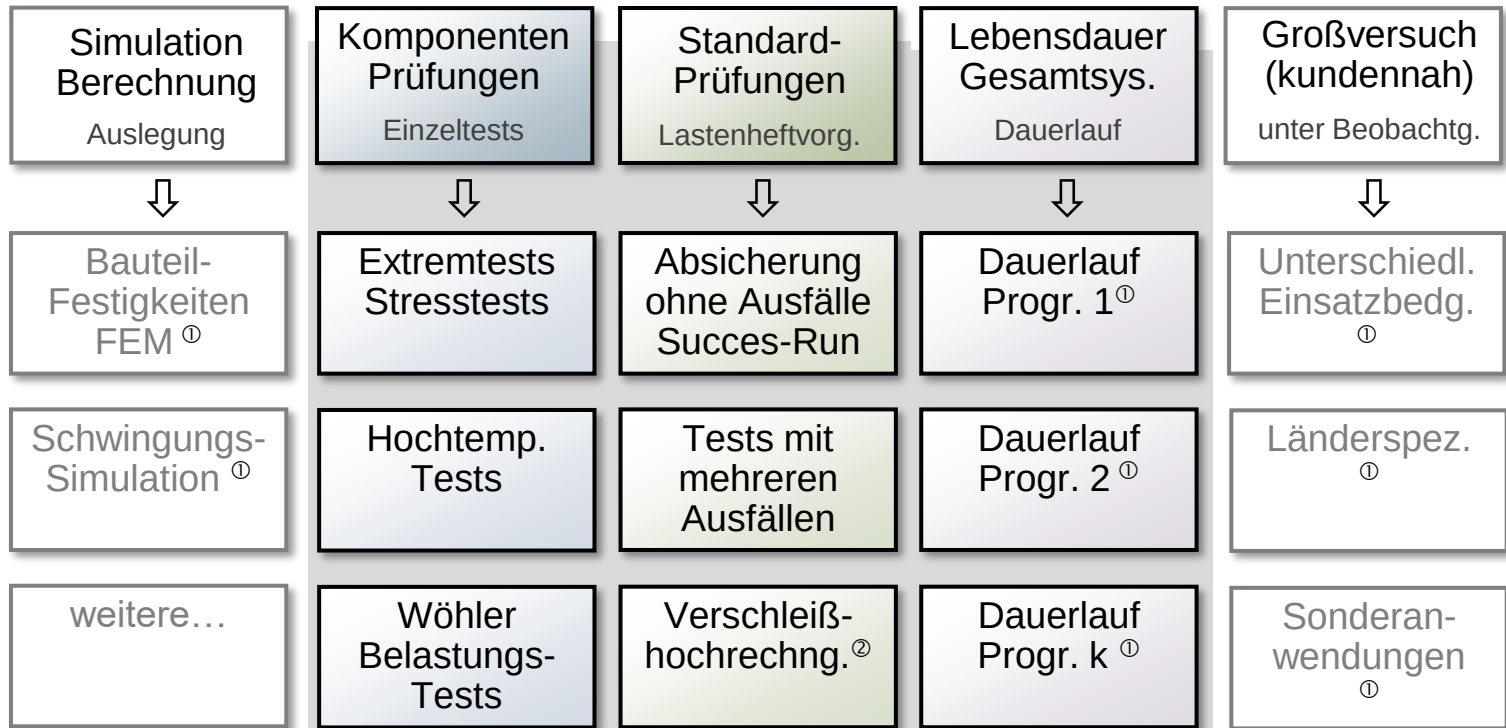
Auszüge einiger wichtigen Themen ...

Weibull-Analysen

Einflüsse auf die Zuverlässigkeit



Möglichkeiten zur Absicherung der Zuverlässigkeit



① Wird hier nicht behandelt, bzw. nur kurz angesprochen.

② Beschreibung befindet sich im Backup

Weibull-Netz

2-parametrische Form

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

H : Ausfallhäufigkeit

t : Laufzeit/strecke

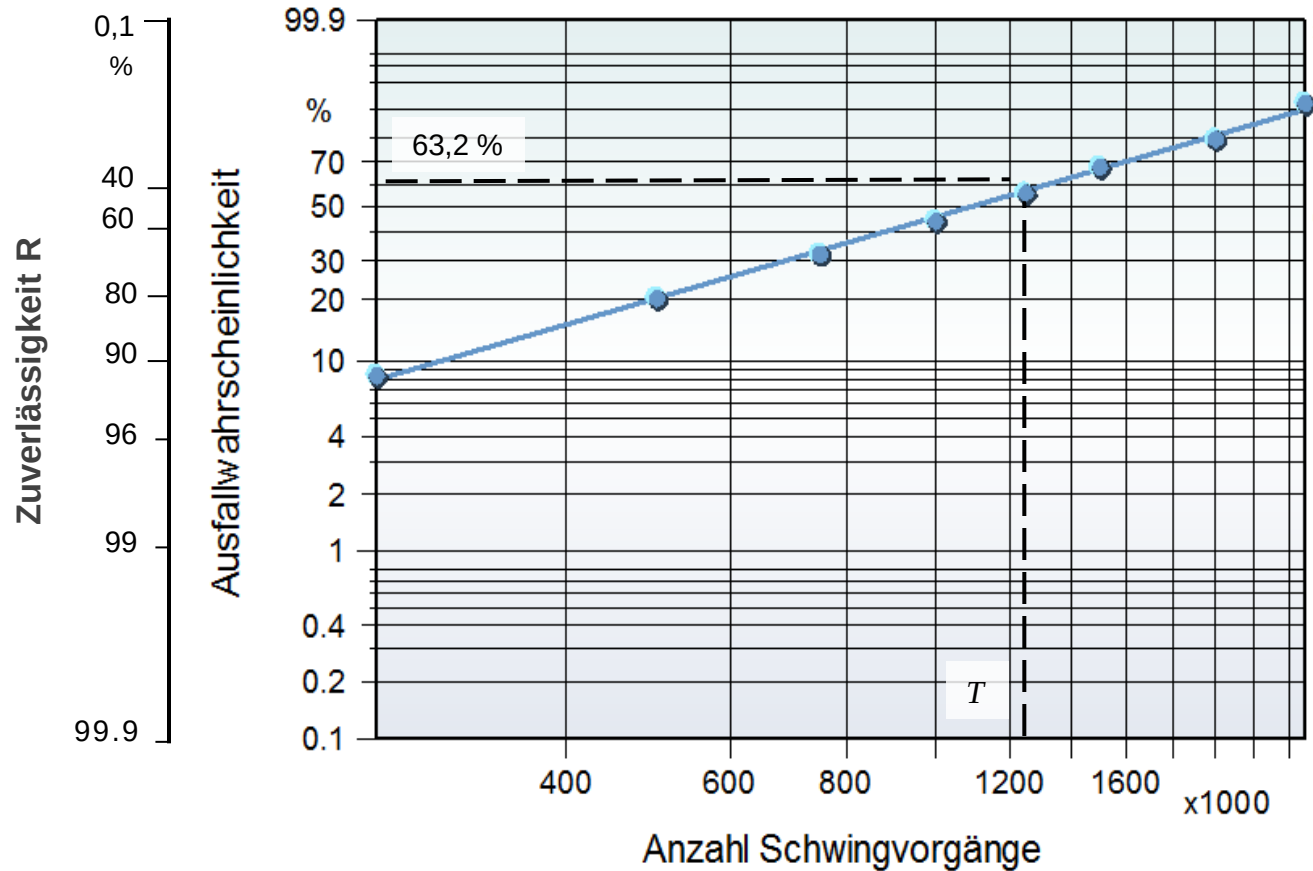
T : charakt. Lebensdauer (engl. η)

b : Formparameter (engl. β)

Steigung der Geraden

$$R = 1 - H$$

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

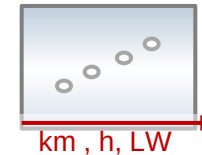


Erstellung der Weibull-Gerade

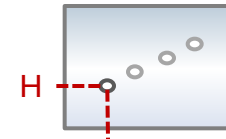
Die folgenden Schritte sind für die Erstellung der Weibull-Gerade notwendig:

- **Schritt 0: Aufbereitung der Daten.**

Wo kommen die Daten her und was ist die richtige Bezugsgröße?

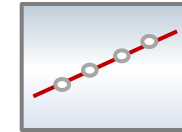


- **Schritt 1: Punkte der Ausfälle** im Weibull-Netz einzeichnen.
Nennung der Laufzeit ist gegeben (X-Position).
Bestimmung der Summenhäufigkeit der Punkte (Y-Richtung).

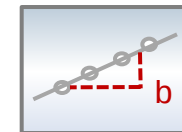


- **Schritt 2: Linie durch die Punkte ziehen.**

Bestimmung der Weibull-Parameter $\Rightarrow$ Beschreibt die Funktion und somit die Linie.



- **Schritt 3: Interpretation der Weibull-Parameter**
Welche Informationen liefert mir die Weibull-Linie



Vertrauensbereich

Punkte in der Ausgleichsgerade sind fast immer eine **Stichprobe**

Ziel: Abschätzung für den Bereich der **Grundgesamtheit**:

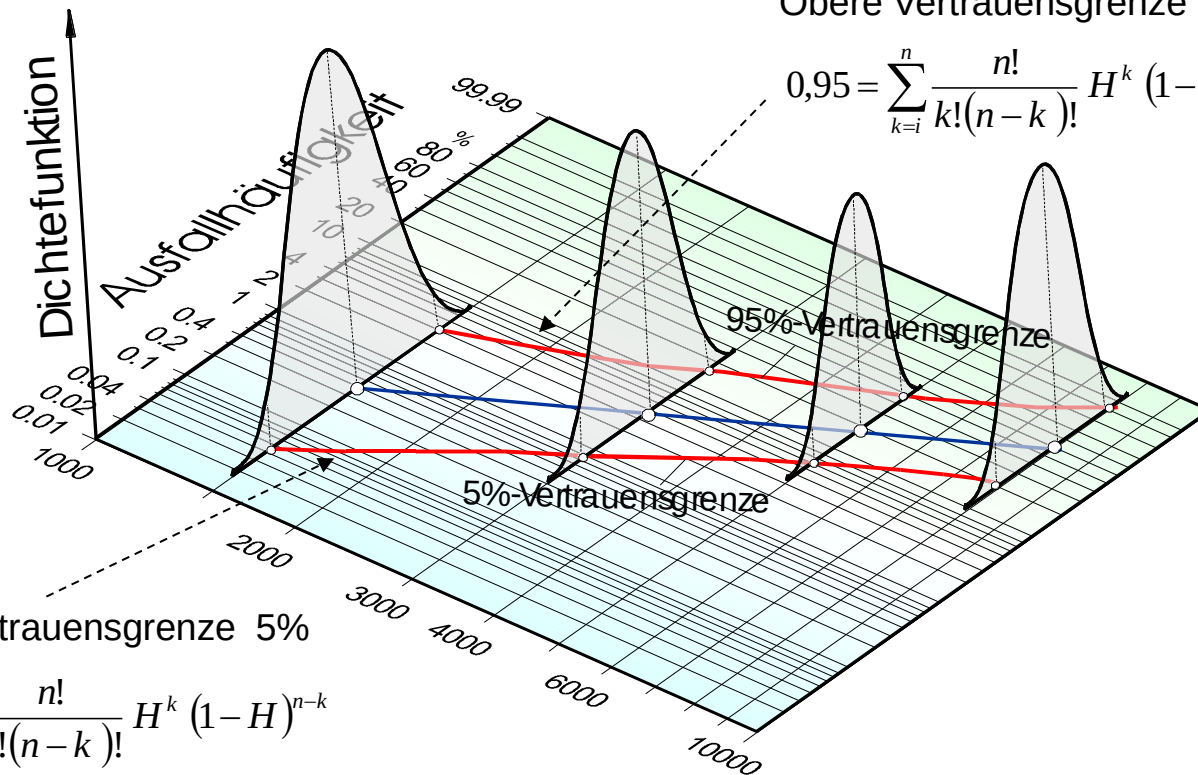
Vertrauensbereich

z.B. 90%

⇒ Definition über obere V-Grenze =
Aussagewahrscheinlichkeit $P_A = 95\%$

Obere Vertrauensgrenze 95% = P_A

$$0,95 = \sum_{k=i}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} H^k (1-H)^{n-k}$$



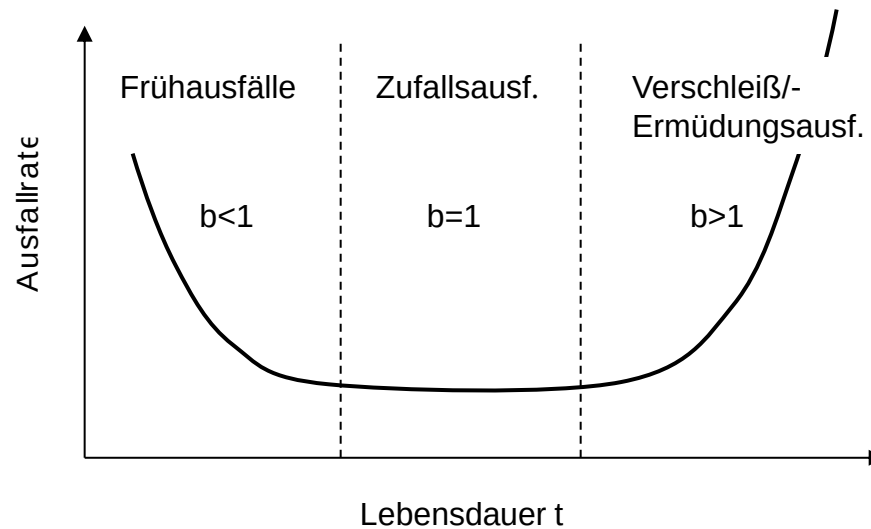
Untere Vertrauensgrenze 5%

$$0,05 = \sum_{k=i}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} H^k (1-H)^{n-k}$$

Auswertung der Felddaten berücksichtigt die gesamte Produktion
⇒ keine Stichprobe, kein Vertrauensbereich notwendig

Die „Badewannenkurve“

In der sogenannten Badewannenkurve soll ein typischer Lebensdauerzyklus auf Basis der Ausfallrate dargestellt werden.



Man Verlauf wird insbesondere bei elektronischen Bauteilen angenommen. In der Praxis gibt es aber oft andere Zusammenhänge.

5-parametrische Weibull-Verteilung

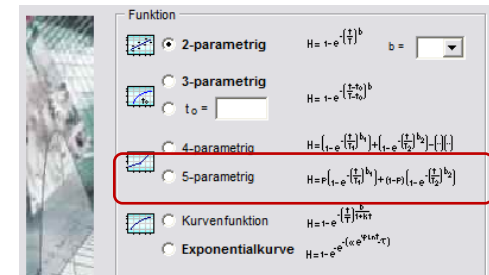
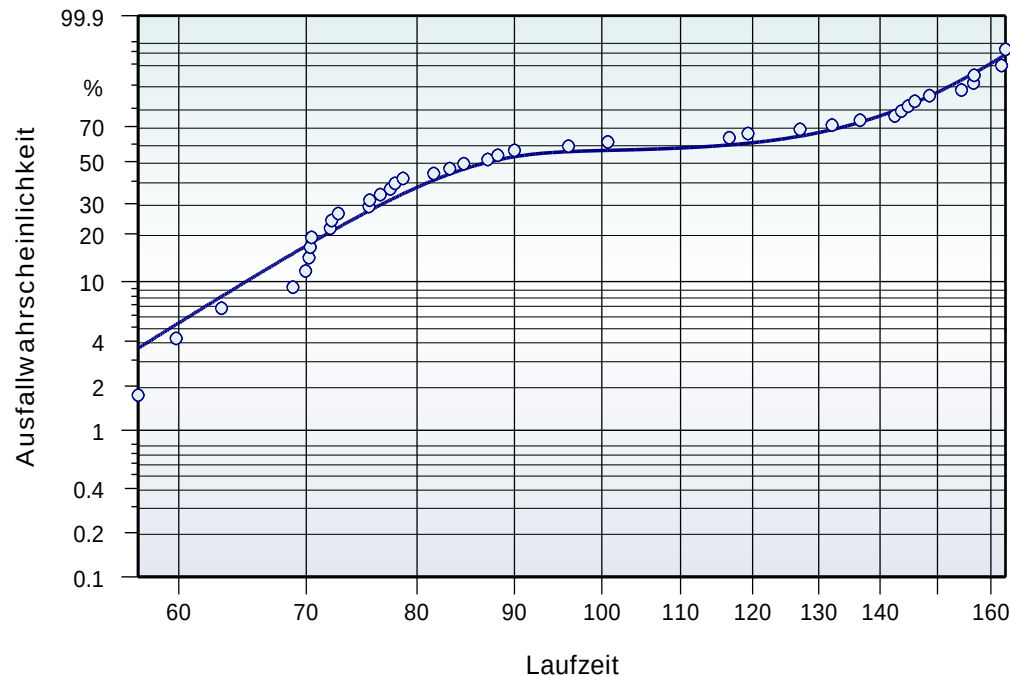
Bei zwei vermengten Verteilungen gilt für die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit H :

$$T_1 = 80,10589 \quad b_1 = 8,42 \quad T_2 = 147,7359 \quad b_2 = 10,4 \quad q = 0,552$$

$$H = 100\% \cdot \left(q \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{T_1}\right)^{b_1}} \right) + (1-q) \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{T_2}\right)^{b_2}} \right) \right)$$

$$R^2 = 0,988$$

n = Gesamtumfang
 q = Rel. Umfang der 1. Verteilung
 $1-q$ = Rel. Umfang der 2. Verteilung



Dialogbox der Weibull-Vertgl. in
Visual-XSel

Hinweis: Eine Mischverteilung gilt als sicher, wenn ein Richtungswechsel markant vorliegt.

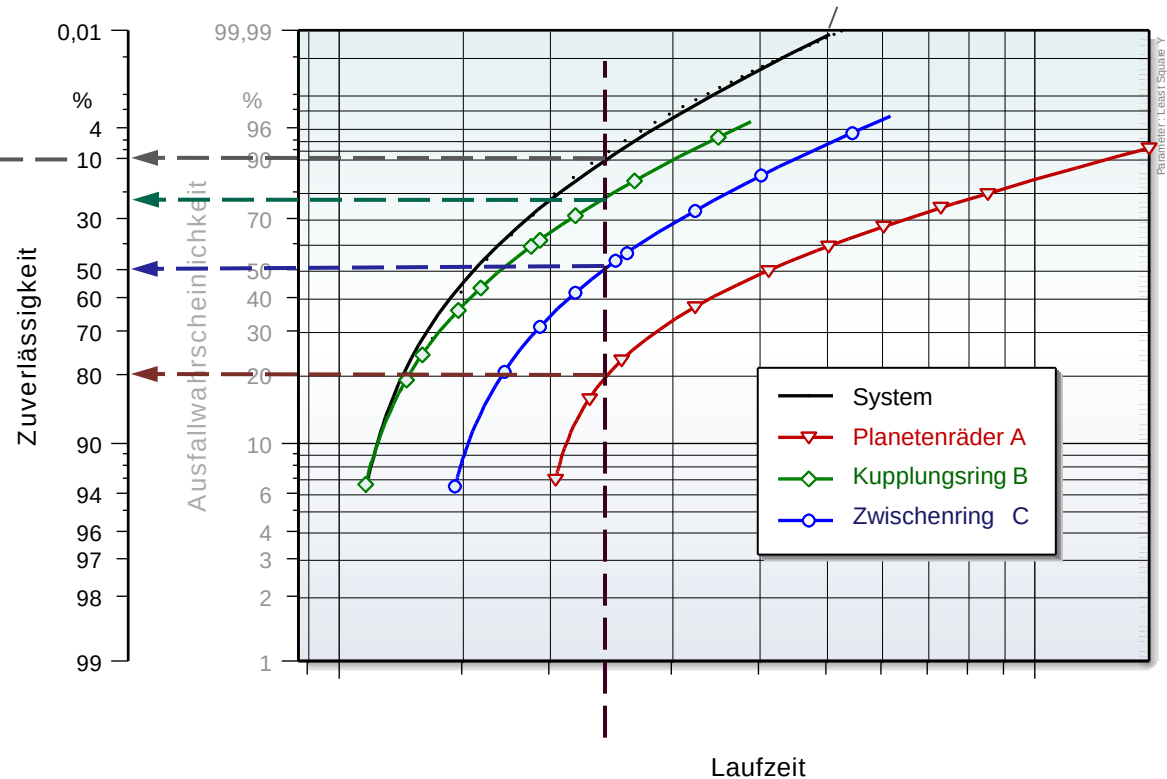
Gesamtzuverlässigkeit von Systemen

Die verschiedenen Bauteile in einem System haben unterschiedliche Ausfallwahrscheinlichkeiten. Das Ziel ist es die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems aus denen der Bauteile zu berechnen. Für eine bestimmte „Laufzeit“ werden hierzu die Zuverlässigkeiten multipliziert:

$$R_{\text{ges}} = R_A \cdot R_B \cdot R_C$$

Nur bei sehr kleinen Ausfallwahrscheinlichkeiten gilt näherungsweise:

$$H_{\text{ges}} = 1 - R_{\text{ges}} \approx H_A + H_B + H_C$$



Beispiel
200.000km

Berücksichtigung noch nicht eingetretener Ausfälle „Sudden Death“



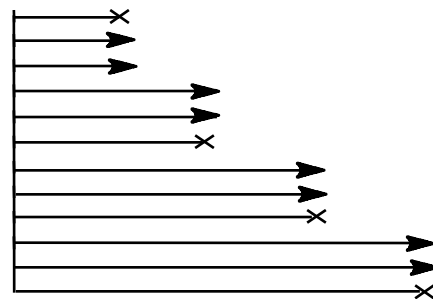
Templates\5_Weibull\Weibull_Sudden_Death_VDA.vxg

Im Labor werden in passenden Vorrichtungen meistens mehrere Teile gleichzeitig getestet.

Es müssen mit der Sudden-Death Methode jedoch nicht alle bis zum Ausfall geprüft werden, sondern nur bis zum Ausfall des ersten Teils.

Das Ziel ist es hiermit Prüfstandzeiten zu verkürzen und die Ausfallwahrscheinlichkeiten der intakten Teile zu schätzen.

Prinzip



Beispiel: Prüfstand mit 3 Teilen

Laufzeit in h	Anzahl Ausfälle	Anzahl Teile ohne Ausfall
10	1	2
14	1	2
16	1	2
18	1	2

Success Run (Tests ohne Ausfälle)

Das Ziel von Success Run ist eine Aussage über die Zuverlässigkeit zu machen, auch wenn keine „Ausfälle“ auftreten!

Abgeleitet aus der Weibull-Verteilung ergibt sich folgende Beziehung:

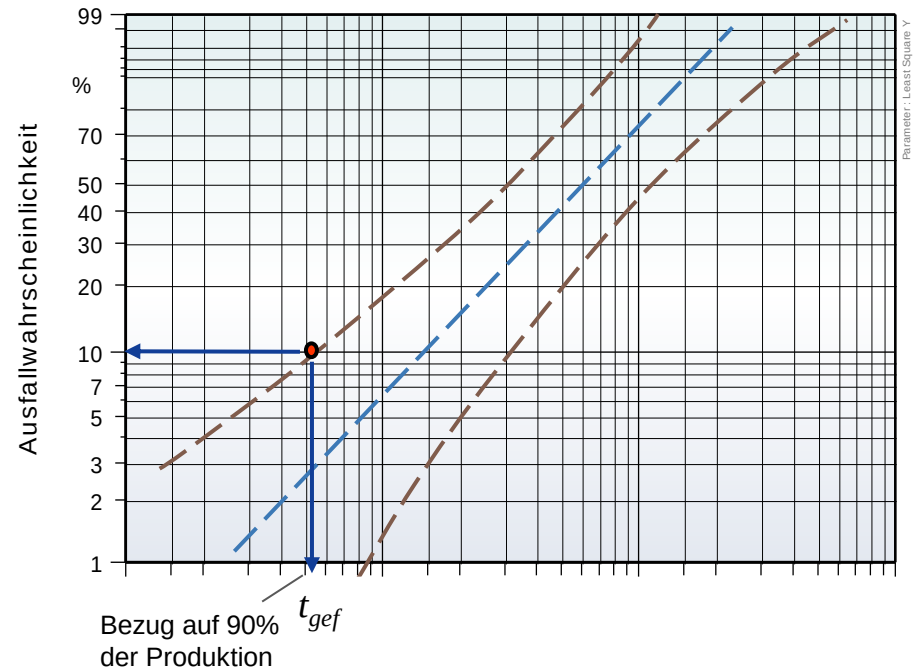
$$R = 100\% (1 - P_A)^{\frac{1}{L_v^b \cdot n}}$$

P_A : Aussagewahrscheinlichkeit
(obere Vertrauensgrenze)

L_v : Lebensdauerverhältnis*
⇒ erprobt / geforderte Zeit
 $L_v = t_{pr} / t_{gef}$

n : Anzahl Versuche, bzw. Probanden,
Versuchsfahrzeuge

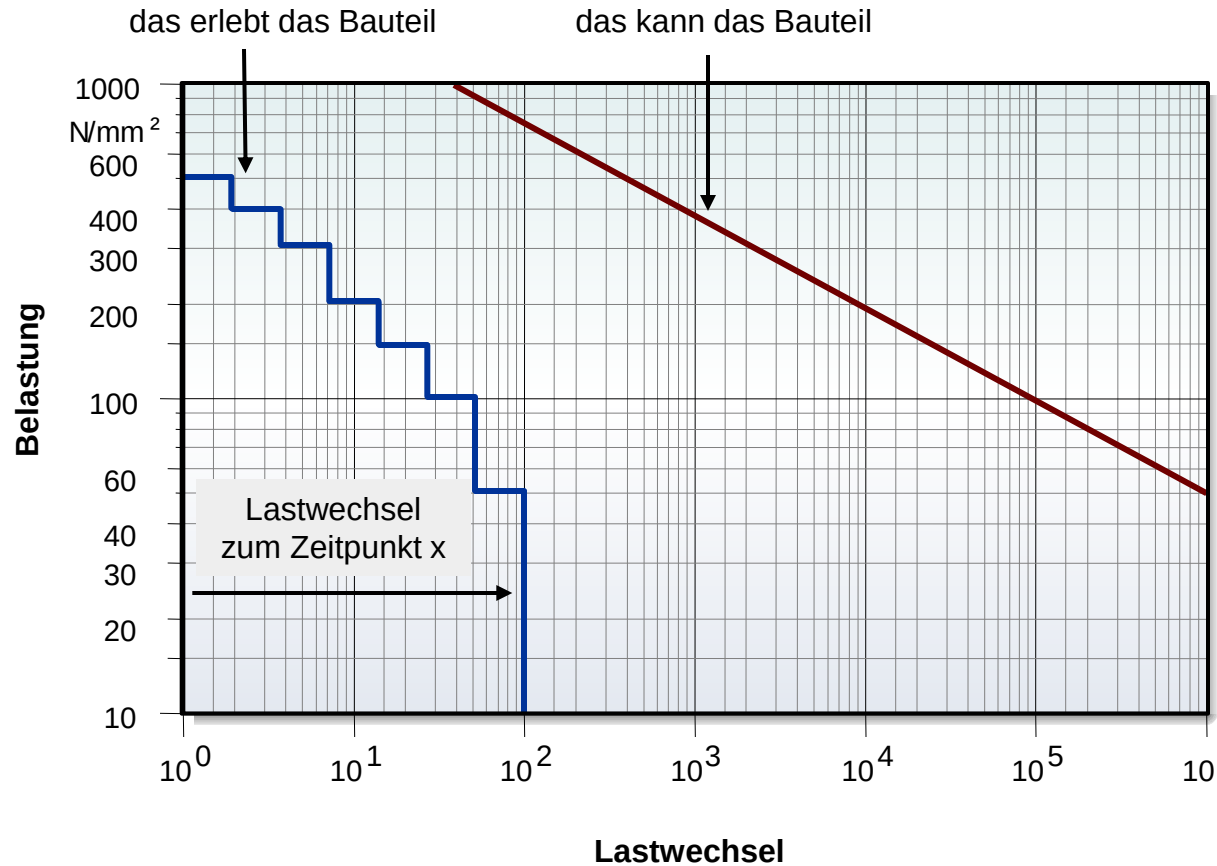
b : Formparameter der Weibull-Verteilung,
wird in der Regel auf $b=2$ festgesetzt
(wenn nicht Erfahrungswerte vorliegen)



* mit Berücksichtigung der ausfallfreien Zeit : $t_o \Rightarrow L_v = (t_{pr} - t_o) / (t_{gef} - t_o)$

Lebensdauer im Wöhlerdiagramm

Lastkollektive aus unterschiedlichen Belastungen



Arrhenius-Modell



Templates\5_Weibull\Arrhenius_Modell.vxg

In Bezug auf Ausfallraten gilt nach dem Arrhenius-Modell, insbesondere für das Ausfallverhalten elektro-nischer Bauteile:

$$\lambda_1 = \lambda_o e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

λ_o : Ausfallrate bei Ausgangstemp. T_o

E_a : Aktivierungsenergie (bauteilspezifisch)

k : Boltzmannkonstante ($k=8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/Kelvin)

T_x : absolute Temperatur in Kelvin

Diese Tempera-turabhängigkeit kann im einge-grenztem Umfang als Raffungsfaktor verwendet werden

Raffungsfaktor:

$$\kappa \sim e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_o} \right)}$$

Nachteil:

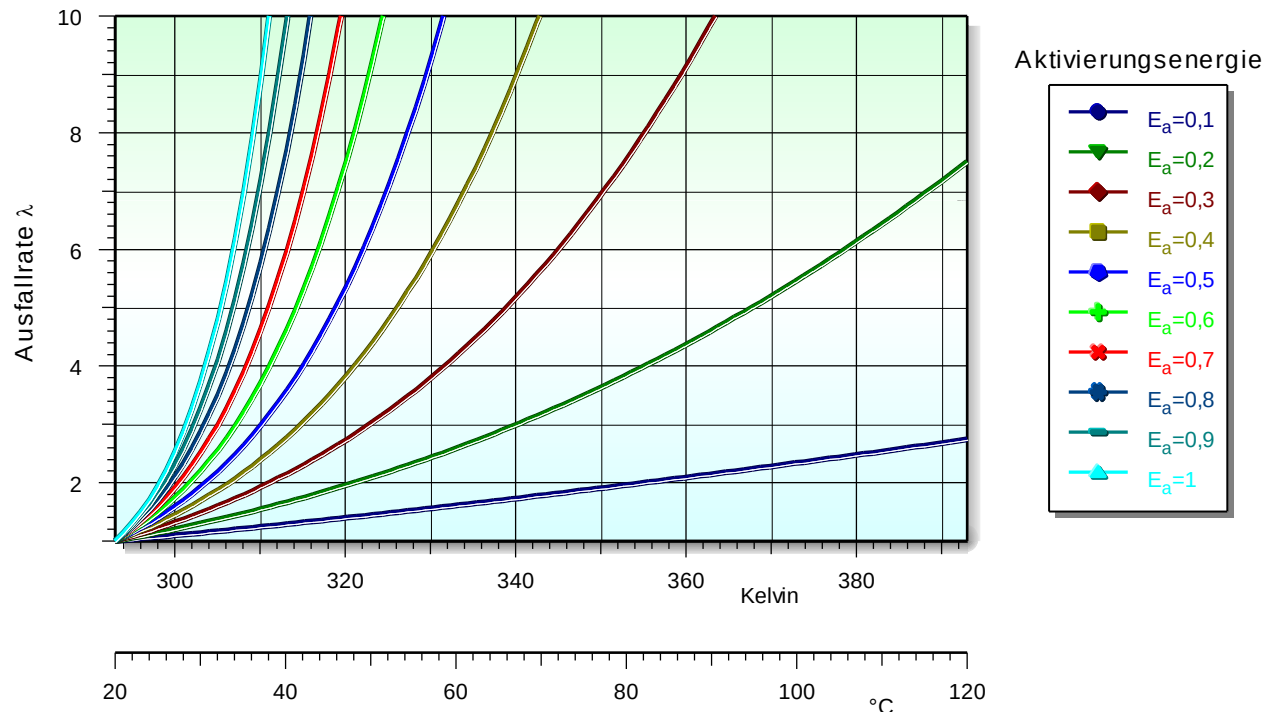
Bezug nur auf λ

-> Fkt. von t

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

b : Weibull-Formparam. (Steigung)

T : charakteristische Lebensdauer



Weibull-Analysen

Aufbau der Belastungs-Testmatrix

❶ Fehlerort & Fehlermode

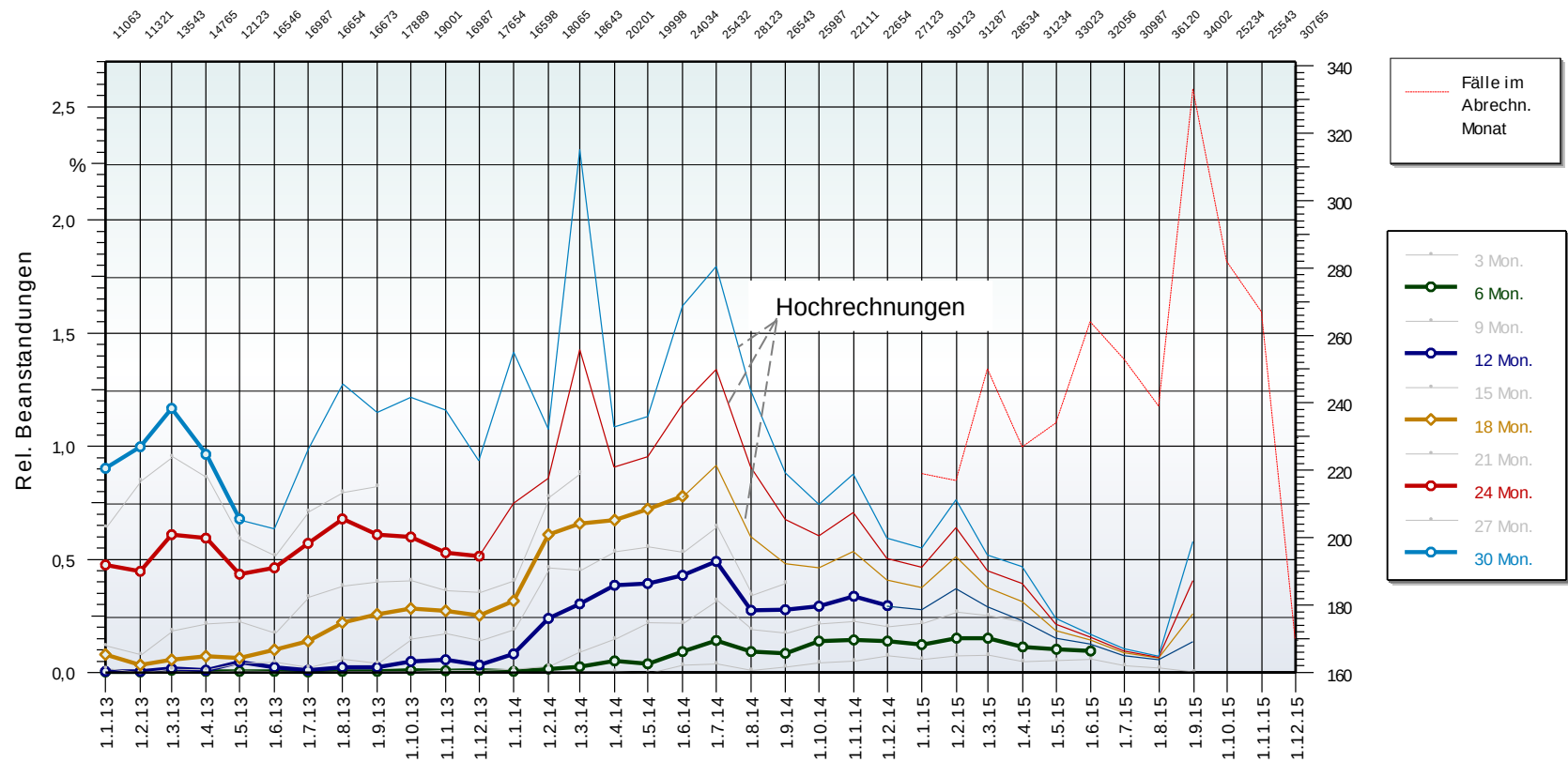
❷ Testprogramm

❸ Einflussarten
(aus p-Diagramm
⇒ Noise-Factors“)

		Testprogramme					
		1	2	3	4	5	6
		Dauerlauf	Thermoschock	Kältetest	Shakertest	Umweltsimulation	Voraltern (Klimak.)
		5	2	2	6	4	10
		3,5	2	2	3	6	4
		1,5	5	2	6	2	6
		5,3	10,0	4,0	18,0	12,0	24,0
		<- Anzahl Prüflinge n_i <- Leb.-Verhältnis Z_v <- Raffungsfaktor κ <- Äquivalente Leb. $Z_v \cdot \kappa$					
Fehlerort & -Mode (Top-Ten)							
	b	1	2	3	4	5	6
1 Welle gebrochen	3,5						
2 Ventilsitz Verschleiß	3						
3 Einlassventil Öffnungszeit	2,5						
4 System Geräusche	2						
5 Auslassventil Durchfluss gering	1,5						
Rest - Fehlerwahrscheinlichkeit 1,0E-05							
Einflussarten		1	2	3	4	5	6
Kundenanwendung	Fahrprofil - Belastung		x	x	x	x	
	Kaltstarts	x		x			
	Sonderereignisse		x	x		x	
	Stillstandszeiten			x			x
Umwelteinflüsse	Temperaturwechsel			x	x	x	x
	Extremtemperaturen	x		x	x		x
	Verschmutzung			x	x		
	Feuchtigkeit			x	x		x
Zeiteinflüsse	Korrosion				x		x
	Versprödung			x		x	x
	Setzverhalten	x			x	x	x
	Partikelzunahme			x	x		
Wechselwirkungen	Hitzeschild			x			
	Abgas				x		
	Rückströmung					x	
	Ölkontamination						x
Teil zu Teil Einfluss	Toleranzen				x	x	
	Charge				x	x	
	Material				x	x	

Schichtlinien

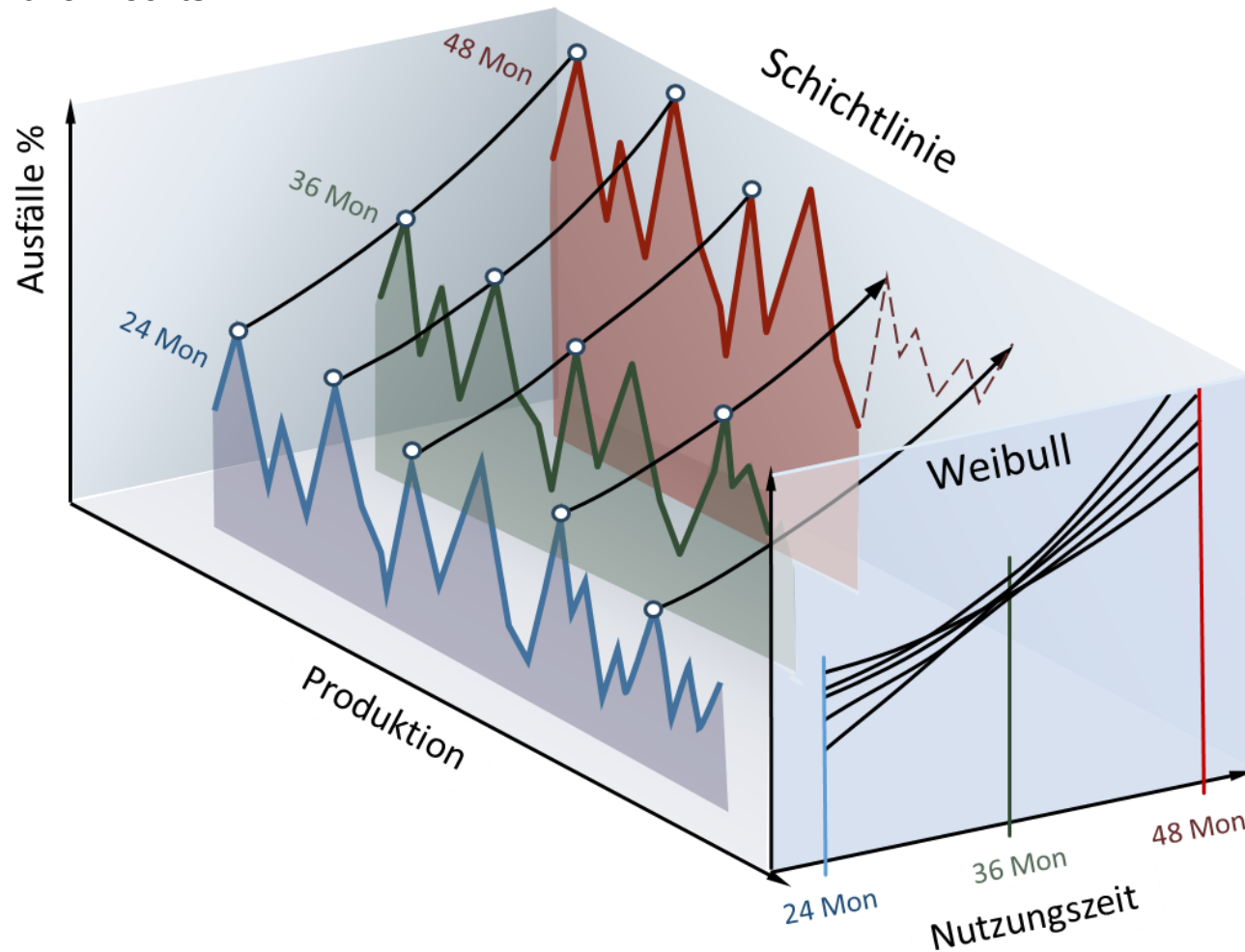
Schichtlinien zeigen den historischen Verlauf der Beanstandungen über den Zeitpunkt der Produktion



Templates\5_Weibull\Schichtlinie_Tabellengenerator.vxg

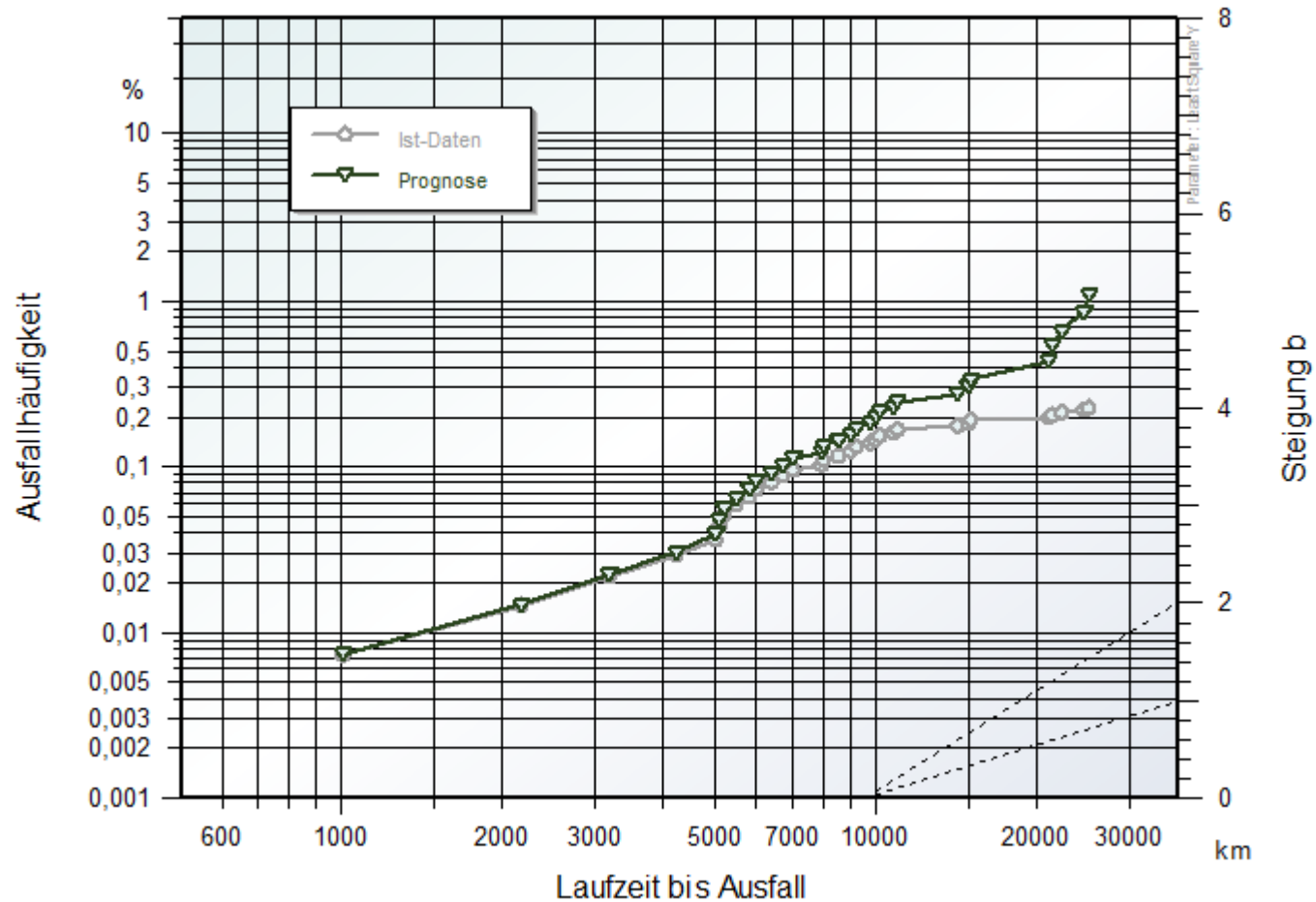
Schichtlinien & Weibull

Ansicht von rechts



Beispielauswertung für Prognoselinie

 Templates\5_Weibull\Weibull_Prognose_Anwärter.vxg

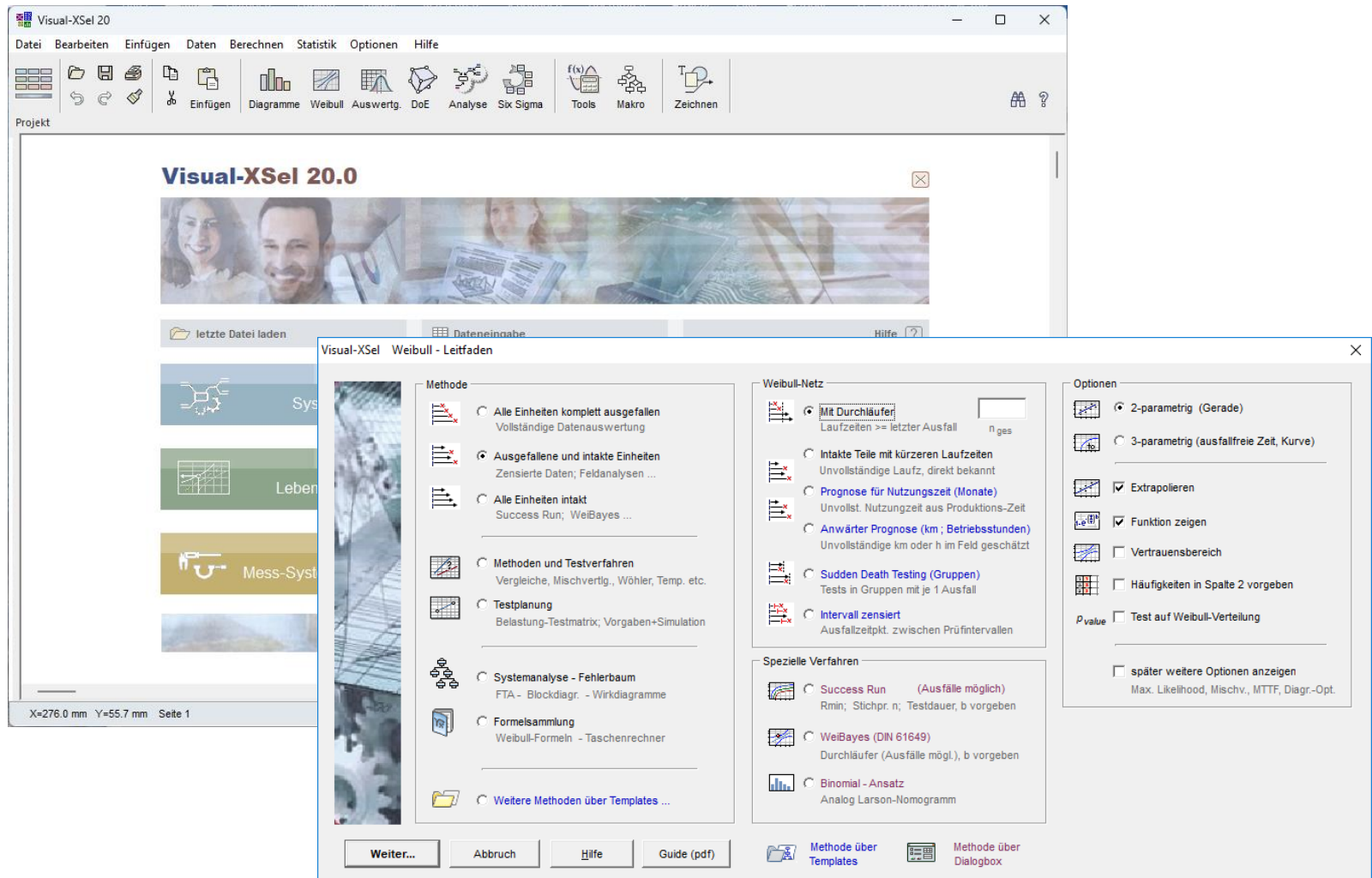


Nutzen der gezeigten Methoden

- ⇒ Weibull-Netz liefert Ausfallwahrscheinlichkeit über der Laufstrecke
 - ⇒ Aussagen über Frühausfälle, Zufallsausfälle oder Alterung
 - ⇒ Prognose der noch zu erwartenden „Gesamtbeanstandungen“
 - ⇒ Aussage über unterschiedliche Ausfallursachen (Mischverteilung)
 - ⇒ Angabe der ausfallfreien Zeit t_0 (Wartungsintervalle, Aktionen, etc.)
-
- ➔ Weibull liefert wertvolle und wichtige Zusatzinformationen aus Versuch und Gewährleistungsdaten
-
- ➔ DoE – Methoden ergänzen die Zuverlässigkeitsanalysen optimal
siehe www.versuchsmethoden.de/Methoden_Schulung_Inhalte.pdf

Weibull-Analysen

Software für Zuv-Methoden und Weibull



Literatur für Zuv-Methoden und Weibull

Speziell das Buch

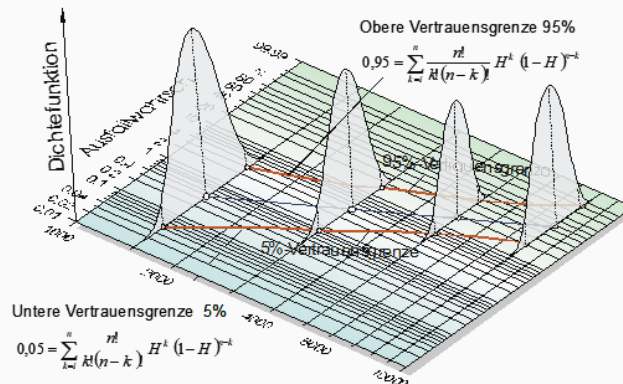
Weibull & Zuverlässigkeitsmethoden

vertieft anwendungsbezogen die Statistiken und Methoden rund um Weibull und aller weitere Verteilungen. Die Versuchsplanung behandelt hier spezielle Lebensdauerfragen aufgrund unterschiedlicher Belastungen, Temperaturen, etc



2.5.1 Vertrauensbereich der Weibull-Gerade

Bei der Weibull-Auswertung handelt es sich praktisch immer um eine Stichprobe. Die Gerade im Weibull-Diagramm entspricht also nur der Stichprobe. Je mehr Teile geprüft oder ausgewertet werden, desto mehr streuen die „Punkte“ um die Weibull-Gerade. Man kann statistisch eine Abschätzung über den Bereich der Grundgesamtheit machen. Hierfür wird ein sogenannter „Vertrauensbereich“ eingeführt. In der Regel gibt man diesen mit 90% an. Die obere Vertrauensgrenze entspricht dann einer Aussagewahrscheinlichkeit von $P_A=95\%$.





CRGRAPH

■ Unsere Produkte und Dienstleistungen

Visual-XSel



Schulungen



Consulting



Literatur



■ Was sind unsere Stärken?

Was unsere Kunden ist, dass sowohl unsere Software, als auch die Schulungen verständlich und praxisnah sind. Wichtig ist uns die praxisnahe Umsetzung und Interpretation der Theorie in die realen Problemstellungen.

Auf der anderen Seite bieten wir spezielle Verfahren und Methoden, die es so in Standardprogrammen nicht gibt. Besonders zu erwähnen sind hier Lebensdauer-Feldprognosen, sowie Systemanalysen mit Hilfe von Ursachen-Wirkungsdiagrammen, aus denen man eine DoE ableiten kann.

■ Wer sind unsere Kunden?

BMW, Daimler, Volkswagen, Porsche, Audi, Opel, MAN, Continental, Siemens, Hewlett-Packard, IBM, Bosch, Dornier, FAG, Mahle, Panasonic, ZF, Sachs, Behr, Eberspächer, Knorr Bremse, Voith Turbo, Linde, Claas, Dräger, Pierburg, Webasto, Viessmann, Liebherr-Aerospace, Hilti, TÜV, Vattenfall Europe und viele mehr.....