

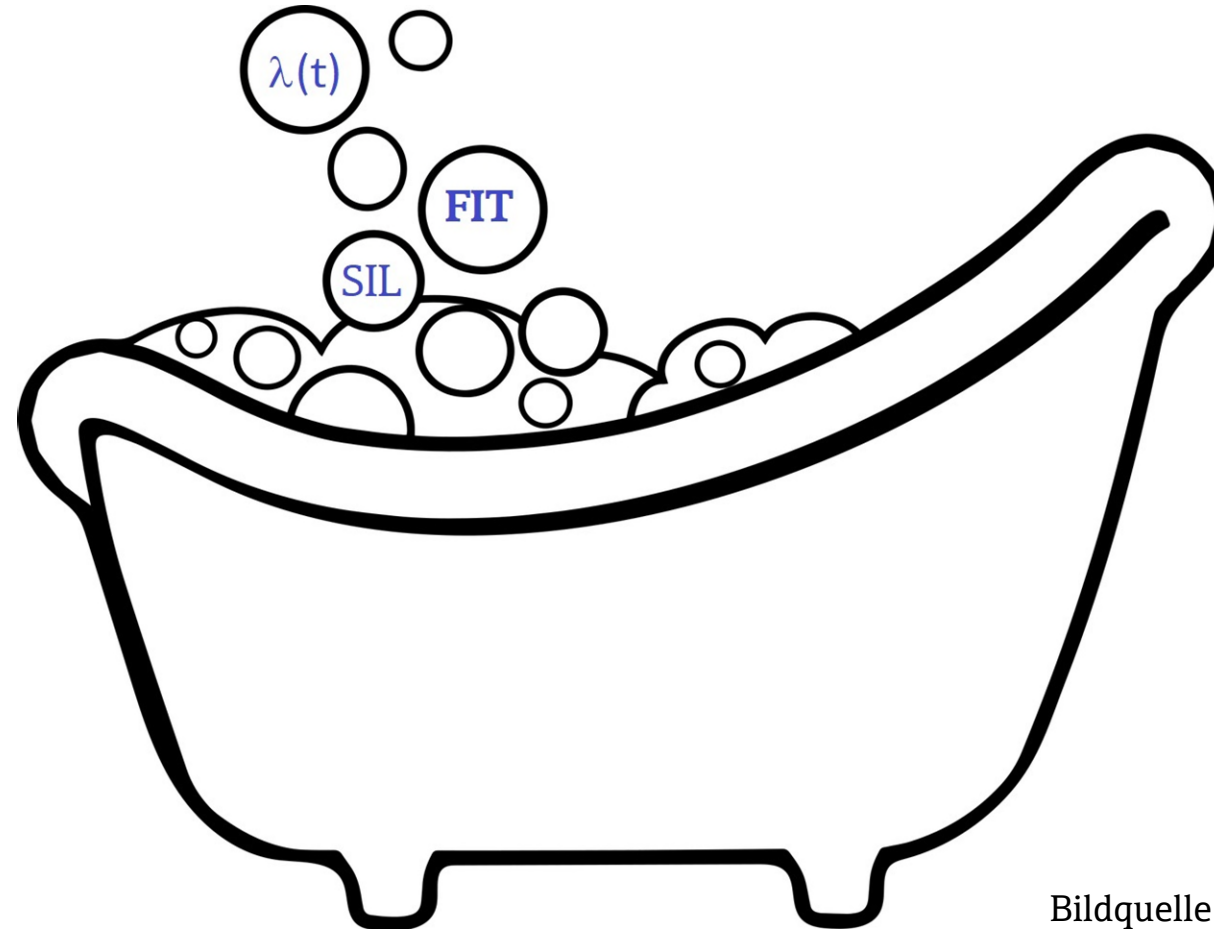
B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Berücksichtigung verschleißbehafteter Bauteile in der funktionalen Sicherheit



B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

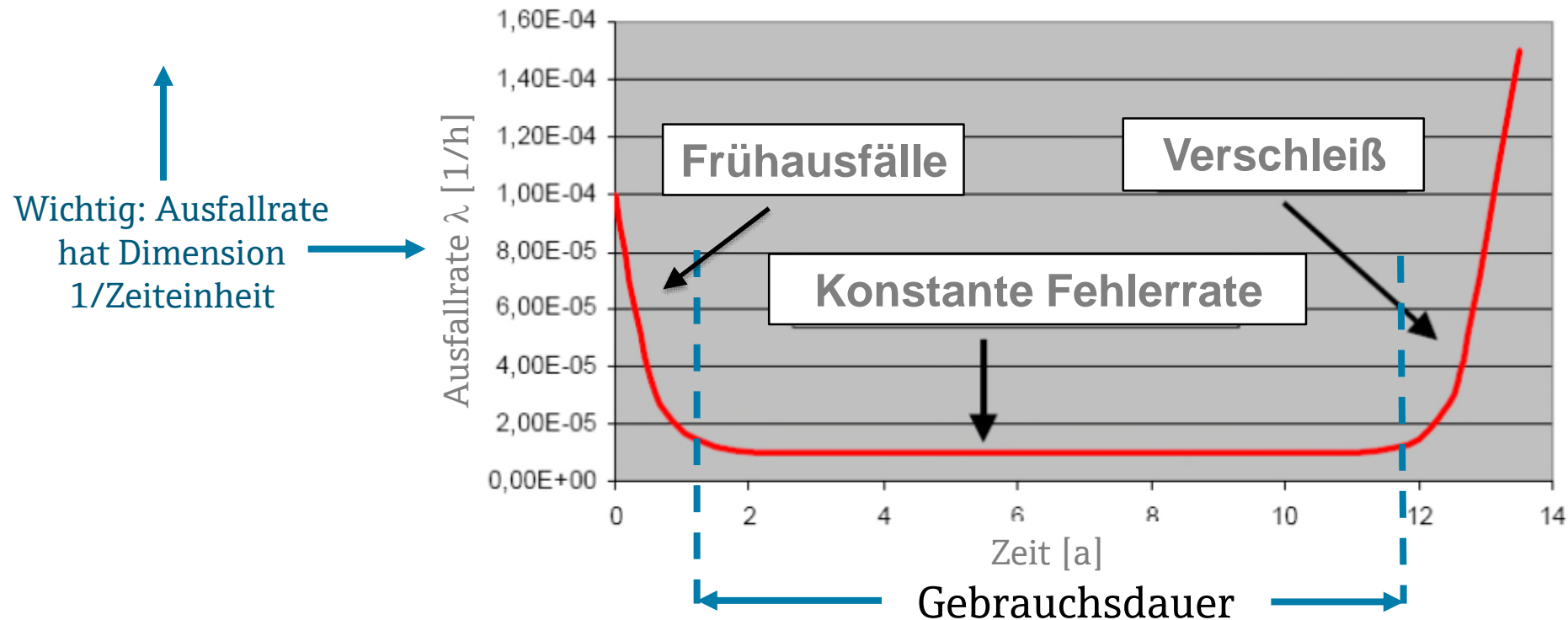
- **Bauteilausfälle** werden sehr gut durch die „**Badewannenkurve**“ beschrieben.



Bildquelle: Pixabay

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

- **BauteilAusfälle** werden sehr gut durch die „**Badewannenkurve**“ beschrieben.
- Die Ausfallrate λ gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Bauteil während einer bestimmten Zeitspanne ausfällt.



Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/ 10^9 h = 10^{-9} /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

„**Badewannenkurve**“: Mathematische Beschreibung mit Hilfe der Weibullverteilung

- Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$:

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

- T: Charakteristische Lebensdauer

- b: Formparameter

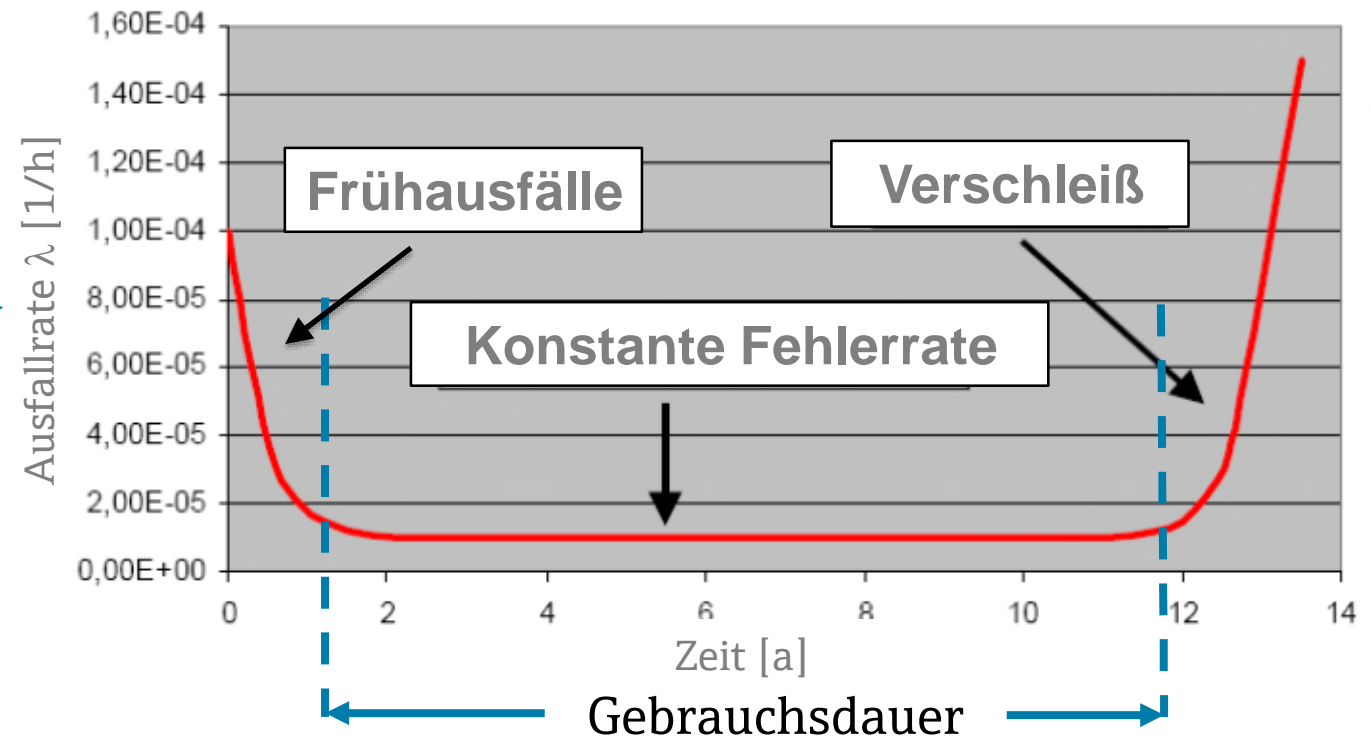
Aus $\lambda(t) = -\frac{d}{dt} \ln R(t)$ folgt:

$$\lambda(t) = \frac{b}{T^b} t^{b-1}$$

- $b < 1$: Frühausfälle
- $b > 1$: Verschleißbedingte Ausfälle
- $b = 1$: Konstante Ausfallrate λ

Spezialfall Exponentialverteilung:

$$\lambda = \text{const} = \frac{1}{T}$$

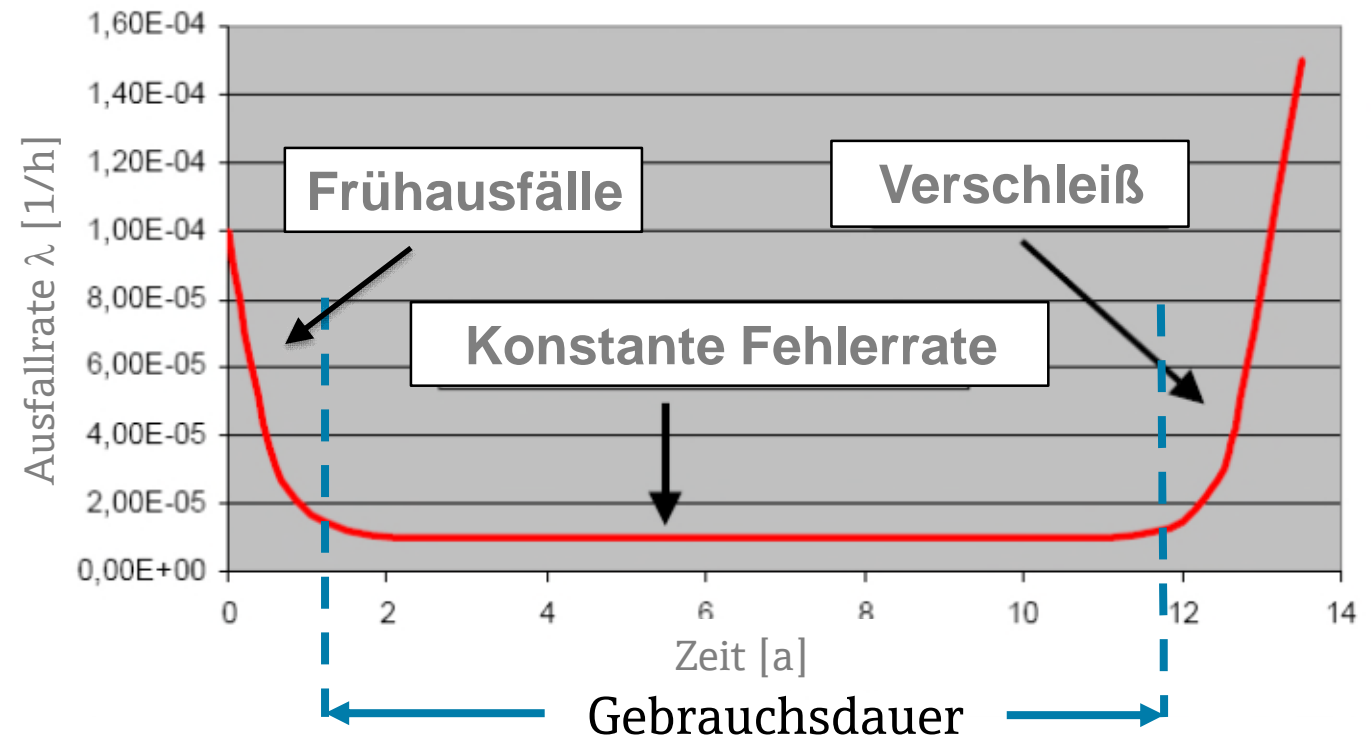


Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/ 10^9 h = 10^{-9} /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Frühausfälle entstehen häufig durch Fehler in der Produktion.

- Beispiel: „Kalte“ Lötstelle, zunächst elektrische Verbindung, fällt nach kurzer Zeit aus
- Frühausfälle werden häufig schon in der Produktion elektronischer Bauelemente aussortiert durch
 - Entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen
 - Burn-In-Tests

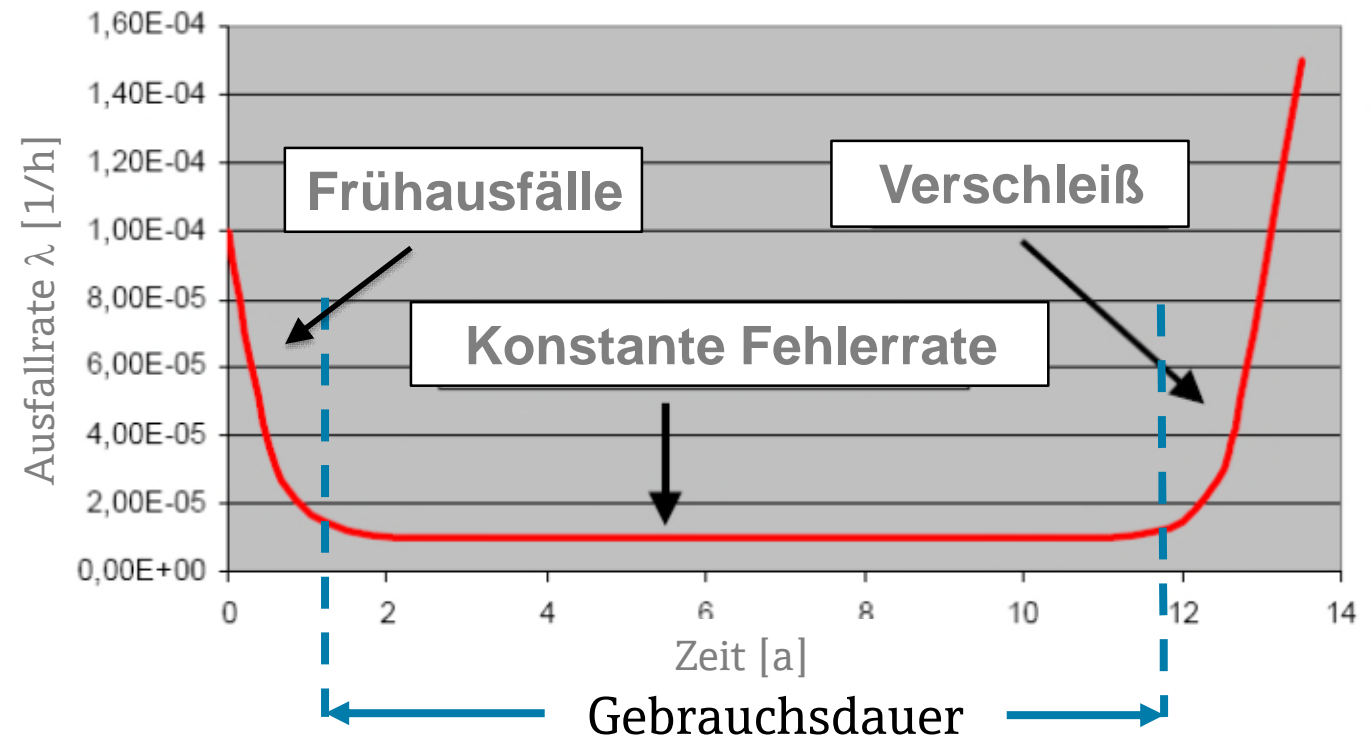


Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/ 10^9 h = 10^{-9} /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Während der **Gebrauchsdauer** ist die Ausfallrate $\lambda = \text{konstant}$.

- Flacher Teil der „Badewannenkurve“: Exponentialverteilung
- Gedächtnislosigkeit:
Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauteil in einer bestimmten Zeitspanne versagt, ist immer gleich groß. Die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls ist in der nachfolgenden Zeitspanne genauso groß wie in der vorhergehenden.
- Beispiel: Alle elektronischen Bauteile während ihrer Gebrauchsdauer



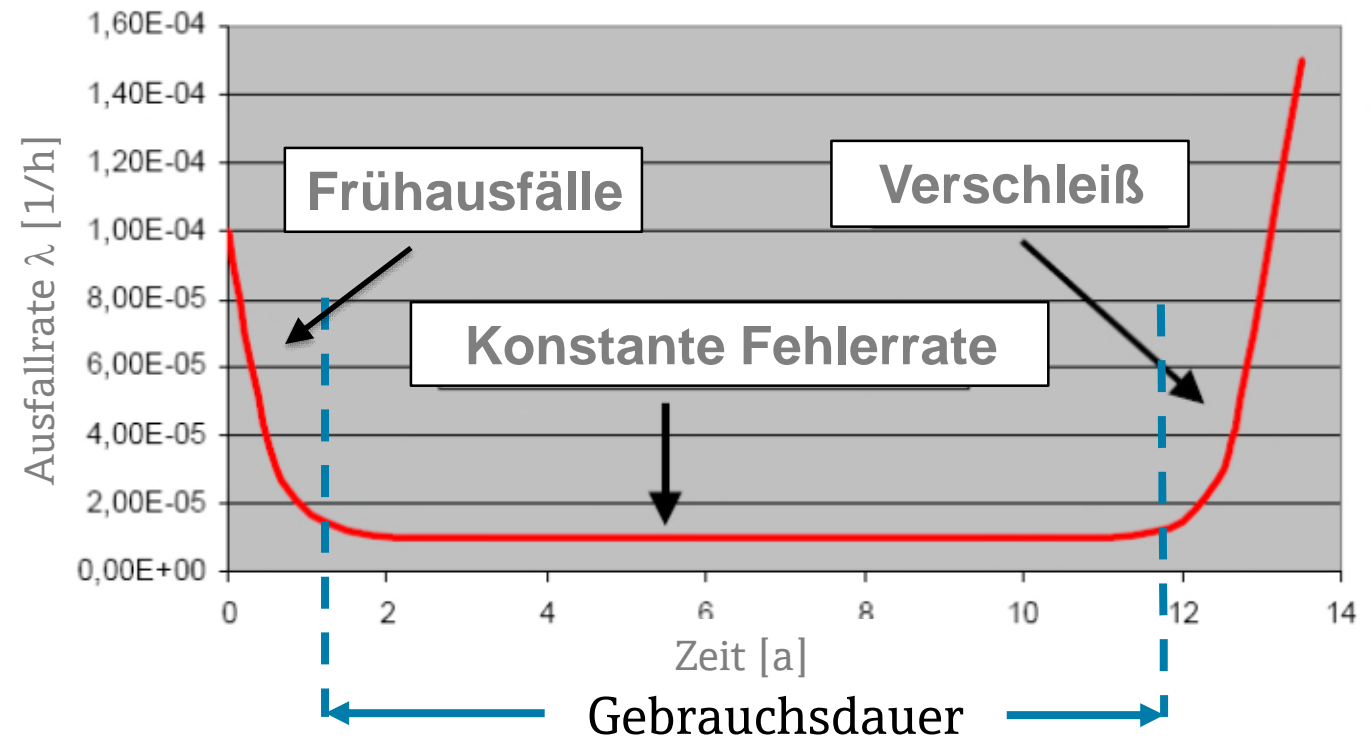
Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/ 10^9 h = 10^{-9} /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Während der **Gebrauchsdauer** ist die Ausfallrate $\lambda = \text{konstant}$.

- Flacher Teil der „Badewannenkurve“
- **Zufällige Fehler!**
- Nur hier gelten die SIL-Wahrscheinlichkeitsberechnungen und Prüfzyklenauslegungen!
- **Nur dort gilt:**

$$\lambda = \text{const} = \frac{1}{MTTF_D}$$

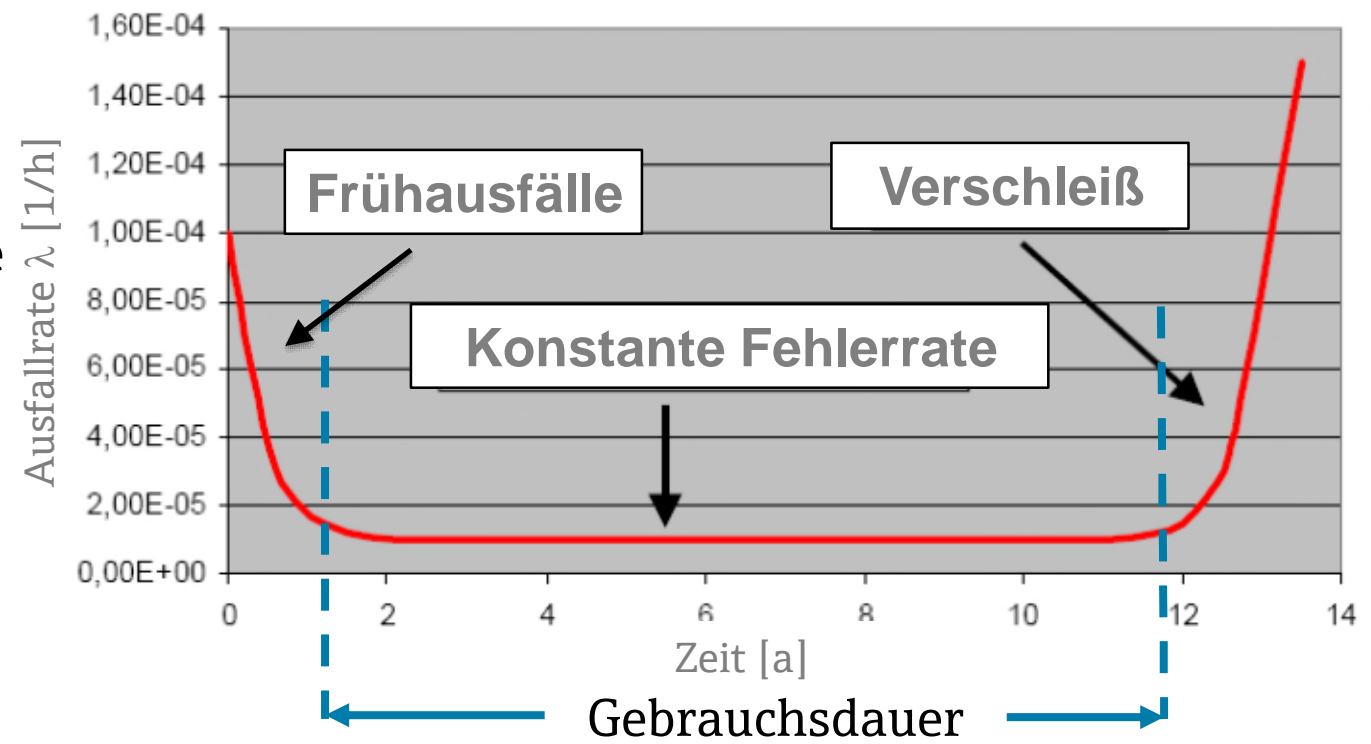


Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/10⁹ h = 10⁻⁹ /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Verschleißbedingte Ausfälle sind durch eine ansteigende Ausfallrate $\lambda(t)$ gekennzeichnet.

- Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauteil in einer bestimmten Zeitspanne versagt, hängt davon ab, was in der vorhergehenden Zeitspanne „gelaufen“ ist.
- Beispiel: Elektromechanische Bauteile
- Berücksichtigung des Verschleißes mit Hilfe von **B₁₀-Werten** und Anzahl der Betätigungszyklen



Hinweis: Fehlerraten werden spezifiziert in FIT = 1 Ausfall/10⁹ h = 10⁻⁹ /h

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Berücksichtigung des **Verschleiß** über **B_{10D}-Wert**:

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{Op}}$$

MTTF_D: Mean Time to Failure (dangerous), mittlere Betriebsdauer bis zum (gefährlichen) Ausfall

n_{Op}: Mittlere Anzahl der Betätigungen im Jahr

- Der B_{10D}-Wert beschreibt die mittlere Anzahl von Zyklen, bis 10 % der Bauteile gefährlich ausgefallen sind.
Ist die Ausfallart nicht bekannt (D/U, gefährlich/ungefährlich), dann darf man nach 13849-1 folgendes annehmen: B_{10D} = 2 · B₁₀
- Manchmal wird auch der T_{10D}-Wert verwendet: Mittlere Zeit bis 10% gefährlich ausgefallen sind

$$T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{Op}}$$

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Und wie erhält man eine **Ausfallrate**?

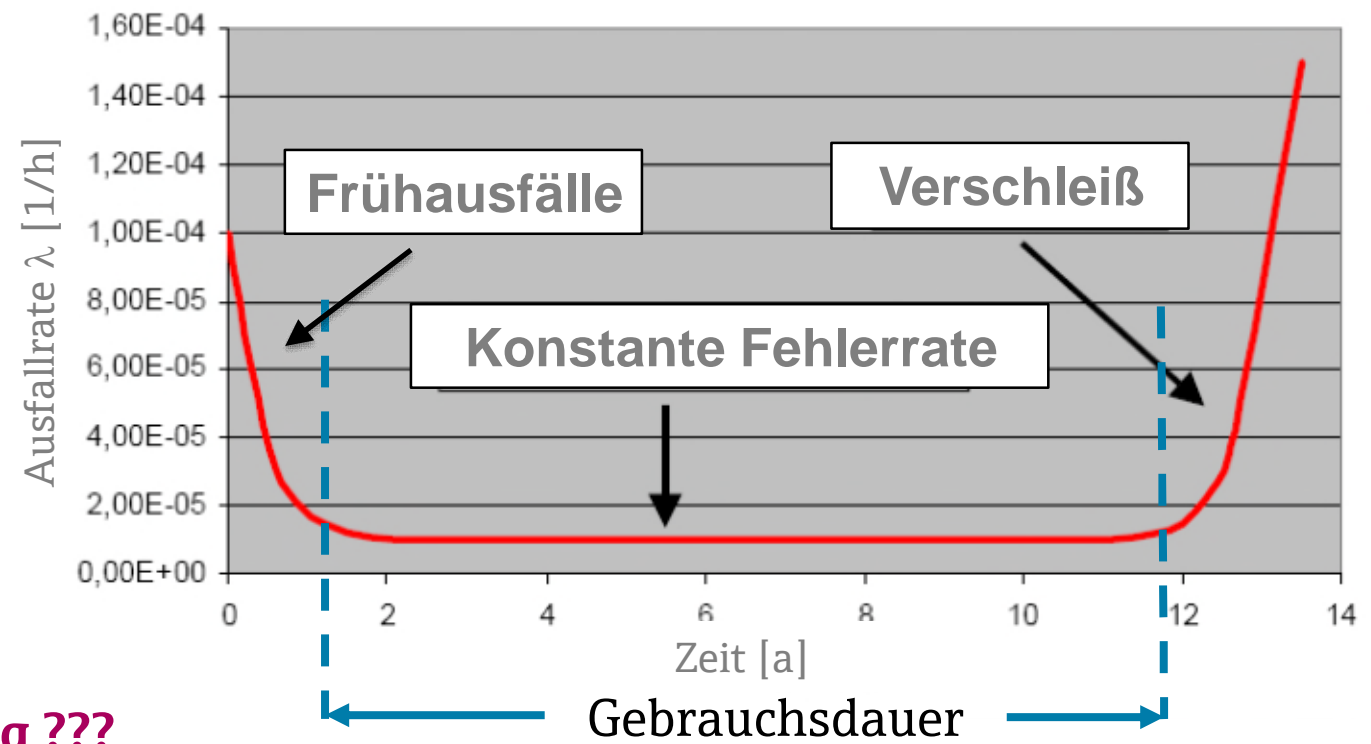
- Man tut so, als wäre die Ausfallrate konstant wie bei den zufälligen Fehlern mit Exponentialverteilung, und rechnet

$$\lambda = \text{const} = \frac{1}{MTTF_D}$$



Bildquelle: Pixabay

- ??? Warum und wann ist das zulässig ???



B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Rundumschlag für Mathematisch Interessierte:

- Weibullverteilung und Exponentialverteilung:
Ausfallwahrscheinlichkeit

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

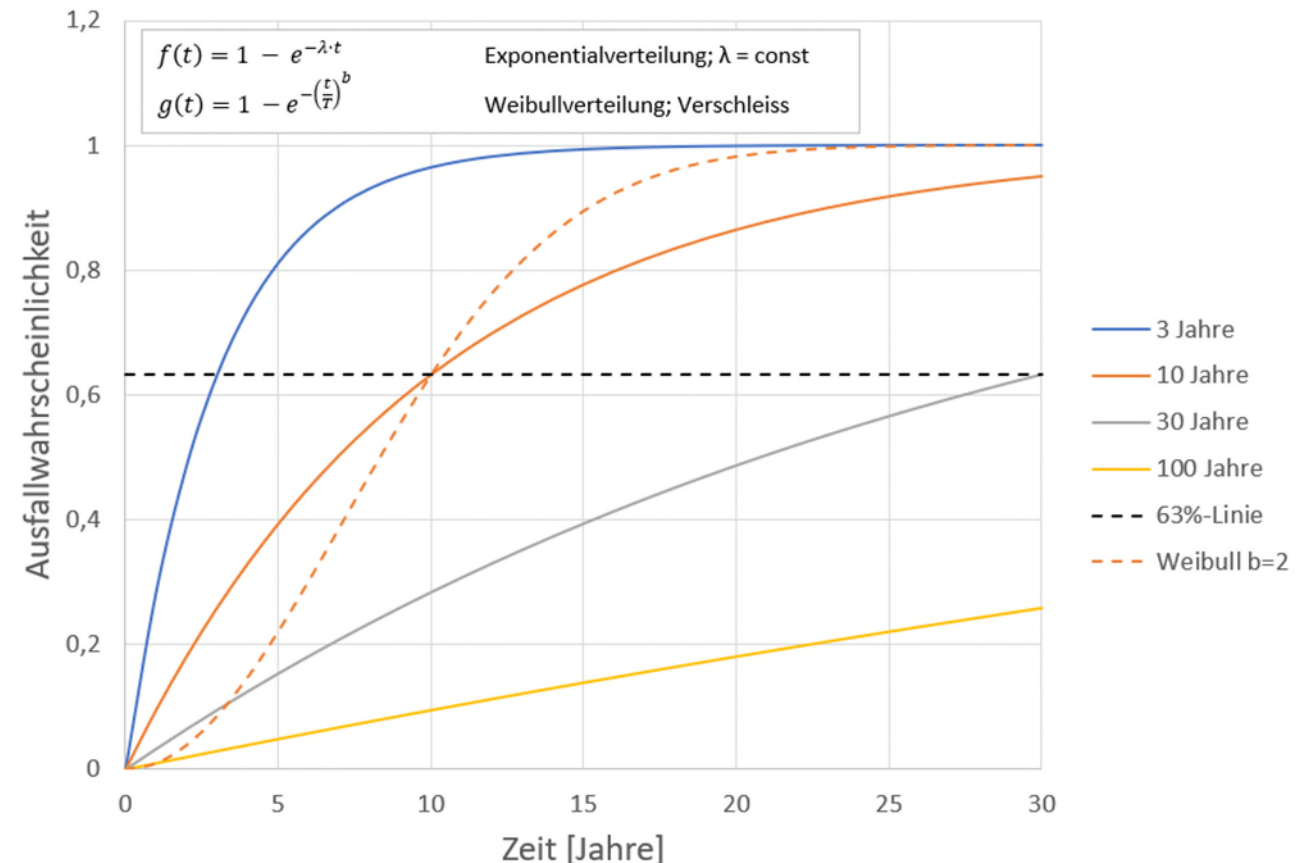
$b < 1$: Frühausfälle

$b > 1$: Verschleißausfälle

$b = 1$: Konstante Ausfallrate λ

Spezialfall Exponentialverteilung:

$$\lambda = \text{const} = \frac{1}{T}$$



B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Rundumschlag für Mathematisch Interessierte

■ Weibullverteilung und Exponentialverteilung:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}; \text{Weibull}$$

$$G(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTTF}}; \text{Exponential}$$

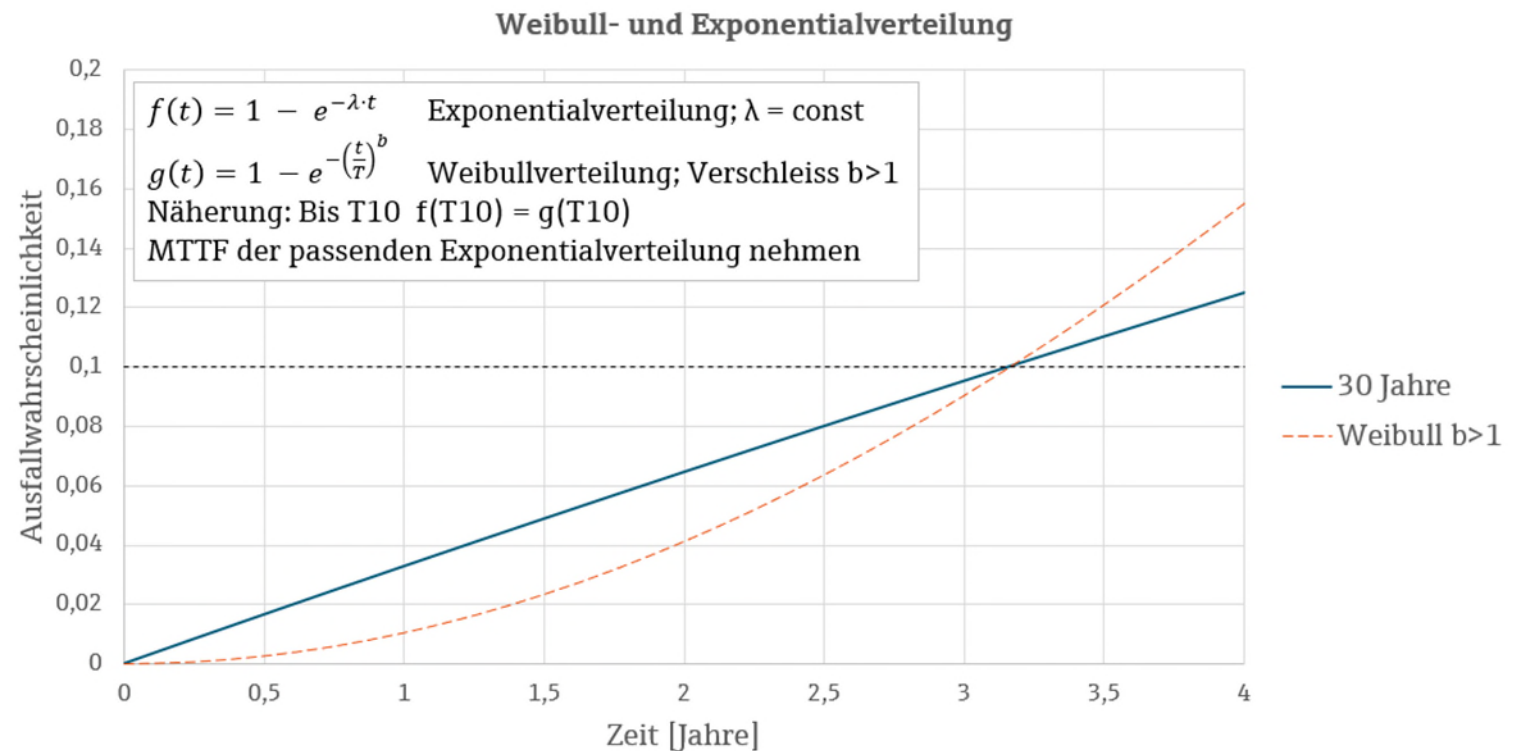
Schneiden der Verteilungen in
(T_{10} / 10%):

$$G(T_{10}) = 1 - e^{-\frac{T_{10}}{MTTF}} = 0,1$$

$$\ln(0,9) = \frac{T_{10}}{MTTF} \quad ; \ln(0,9) \approx 0,1$$

$$MTTF = \frac{T_{10}}{0,1}$$

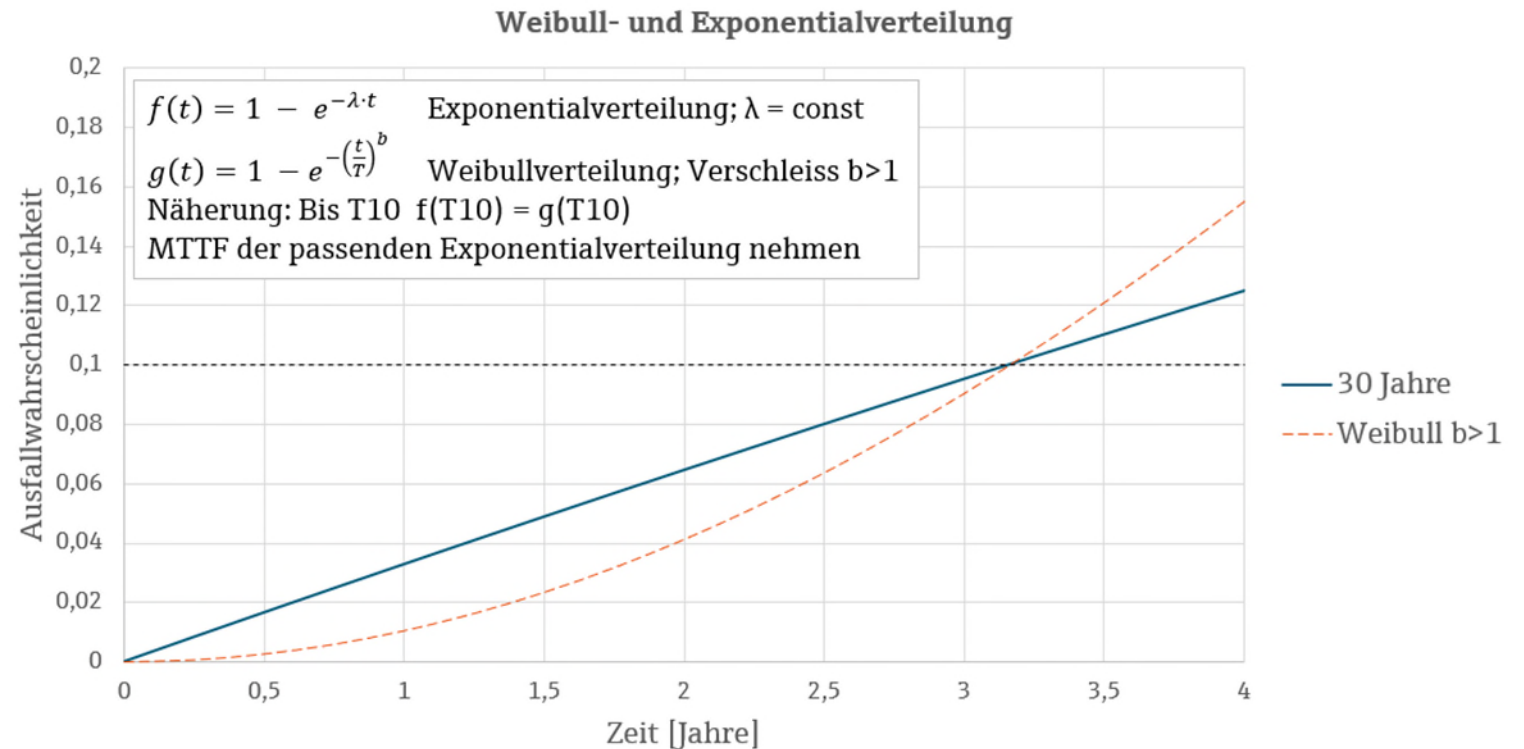
$$MTTF = \frac{B_{10}}{0,1 \cdot n_{Op}}$$



B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Und wie erhält man eine **Ausfallrate**?

- Berechnung als Kehrwert des $MTTF_D$: $\lambda = \text{const} = \frac{1}{MTTF_D}$
- Das ist zulässig, solange die Betriebszeit begrenzt wird auf die Zeit, bis 10% gefährlich ausgefallen sind (T_{10D}):



Die zum Verschleiß gehörige Weibull-Verteilungskurve liegt bis T10 unter der Exponentialkurve! →

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Beispiel Relais: Berücksichtigung des **Verschleiß** über **B_{10D}-Wert**

- Verwendung von Herstellerangaben für die B_{10D}-Werte
- Oder: Verwendung generischer Werte aus Tabellen oder Normen, z.B. SN29500 oder DIN EN ISO 13849-1 (anwendbar bei Bauteilen, welche grundlegende und bewährte Sicherheitsprinzipien aufweisen)

Relais und Hilfsschütze mit geringer Last	Tabellen D.1 und D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	$B_{10D} = 20\,000\,000$
Relais und Hilfsschütze mit nominaler Last	Tabellen D.1 und D.2	EN 50205 IEC 61810 IEC 60947	$B_{10D} = 400\,000$

- Annahme: Relais mit nominaler Last, 1 Betätigung pro Tag entspricht 365 Betätigungen pro Jahr

Dann ist

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{Op}} = \frac{400.000}{0,1 \cdot 365} = 10.959 \text{ Jahre}$$

B10-Wert und konstante Ausfallrate – Ein Widerspruch ?

Beispiel Relais: Berücksichtigung des **Verschleiß** über **B_{10D}-Wert**

- Ausfallrate: $\lambda = \frac{1}{MTTF_D} = 1,04 \cdot 10^{-8} h^{-1} = 10,4 FIT$
- Gültigkeitsdauer: $T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{op}} = \frac{400.000}{365} = 1.096 Jahre$