10 Zuverlässigkeitswachstum

Reliability Growth Management RGM

Unter einem „Zuverlässigkeitswachstum“ versteht man die Verbesserungsschritte innerhalb der Entwicklung von Bauteilen und Komponenten. Während im Weibull-Netz nur gleiche Bauteilvarianten verglichen werden dürfen, ist hier eine Änderung der Testobjekte möglich. Zudem lassen sich kleine Datenmengen und unterschiedliche Ausfallarten zusammen darstellen. Häufig geht es darum Entwicklungsfortschritte aufzuzeigen und das Erreichen von Zielen zu prognostizieren.
Das Reliability Growth Management wurde in den 60er Jahren von Duane bei *General Electric Motors Division* für militärische Systeme entwickelt. Eine wesentliche Verbesserung und Erweiterung des Duane Ansatzes wurde von L.H. Crow, besser bekannt auch als *Crow-AMSAA* Modell, bei der *U.S. Army Material Systems Analysis Activity* entwickelt.
Der Zusammenhang zwischen kumulierter Testdauer *t* und den auftretenden Ausfällen $N(t)$ ist:

$$N_{(t)} = \lambda \, t^{\beta}$$

Mit λ = Lageparameter (nicht zu verwechseln mit Bezeichnung im Kapitel Ausfallrate)
β = Formparameter (nicht zu verwechseln mit Weibull-Formparameter)

In einem doppellogarithmischen Diagramm ergibt sich eine Gerade mit der Steigung β. Die momentane mittlere Ausfallrate (auch aktuelle Ausfallintensität) ist:

$$\rho_{(t)} = \lambda \, \beta \, t^{\beta-1}$$

Die erwartete mittlere Zeit zwischen den Ausfällen $MTBF$ (Mean time between failures) berechnet sich durch:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \, t^{1-\beta}$$

Hier wurde aufgezeigt, dass wenn der Formparameter bzw. die Steigung $\beta \neq 1$ ist, es sich bei dem Zuverlässigkeitswachstumsprozess um einen *inhomogenen Poisson-Prozess* (*NHPP*) handelt. D.h. wenn $\beta > 1$ steigt die Ausfallrate bzw. die Ausfälle kommen schneller und wenn $\beta < 1$, dann sinkt die Ausfallrate und die Ausfälle kommen langsamer. Für den Fall, dass der Formparameter $\beta = 1$ ist, wird von einem *homogenen Poisson-Prozess* gesprochen. Im Entwicklungsprozess sollte der

Formparameter bzw. die Steigung β < 1 sein, welches ein Indikator für ein Zuverlässigkeitszuwachs ist.

Die bekanntesten Methoden zur Ermittlung der Parameter sind:

1. Ausgleichsgerade (Regressionsanalyse)
2. Maximum Likelihood Schätzmethode (MLE)
3. Potenzgesetzmodell (Power Law *NHPP*)

Bei der Ausgleichsgerade sind die Ausfälle $N(t)$ und die kumulierten Testzeiten zu logarithmieren und eine Ausgleichsgerade zu berechnen (Least-Square-Methode). Diese Methode wird vorgeschlagen für eine Anzahl Datenpunkte kleiner 10.

Die Parameter λ und β werden nach der **Maximum Likelihood** Schätzmethode durch folgende Gleichungen gelöst:

Typ-I (nach einer festgelegten Prüfzeit wird der Test beendet)

$$\beta = \frac{n}{n\ln(T) - \sum_{i=1}^{n}\ln(t_i)} \qquad \lambda = \frac{n}{T^{\beta}}$$

wobei T = gesamte Testdauer nach Vorgabe ist.

Typ-II (nach einer festgelegten Anzahl Ausfälle wird der Test beendet)

$$\beta = \frac{n}{(n-1)\ln(T) - \sum_{i=1}^{n-1}\ln(t_i)} \qquad \lambda = \frac{n}{t_n^{\beta}}$$

Die Berechnung der Parameter mit Hilfe des **Potenzgesetzmodells** (***NHPP Power Law Model*** oder auch ***unbiased MLE*** genannt, beschrieben in der IEC 61164) erfolgt durch:

Typ-I (zeitbegrenzt)

$$S = \sum_{i=1}^{n}\ln\frac{T}{t_i} \qquad \beta = \frac{n-1}{S} \qquad \lambda = \frac{n}{T^{\beta}}$$

T = gesamte Testdauer nach Vorgabe, t_i kumulierte Prüfdauer nach Ausfall

Typ-II (ausfallbegrenzt)

$$S = \sum_{i=1}^{n} \ln \frac{T_n}{t_i} \qquad \beta = \frac{n-2}{S} \qquad \lambda = \frac{n}{T_n^{\beta}}$$

T_n = gesamte Testdauer für vorgegebene Anzahl Ausfälle, t_i kumulierte Prüfdauer nach Ausfall

Die Ausgleichsgerade unterscheidet nicht nach Typ I und Typ II. Bei einer Stichprobe von bis zu 5 Tests wird die Ausgleichsgerade empfohlen. Darüber wird das Potenzgesetzmodell als der beste Schätzer angesehen /27/.

Im folgenden Beispiel gibt es die dargestellten Laufzeiten:

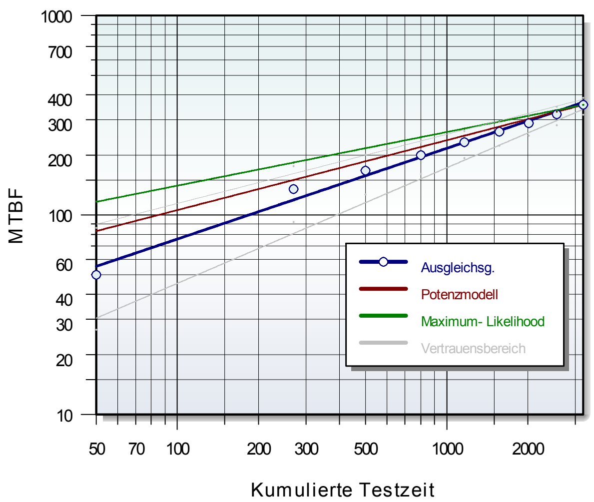
N	Laufzeit *t*	Kumuliert *T*	*MTBF*
1	50	50	50,0
2	220	270	135,0
3	230	500	166,7
4	300	800	200,0
5	360	1160	232,0
6	410	1570	261,7
7	450	2020	288,6
8	540	2560	320,0
9	650	3210	356,7

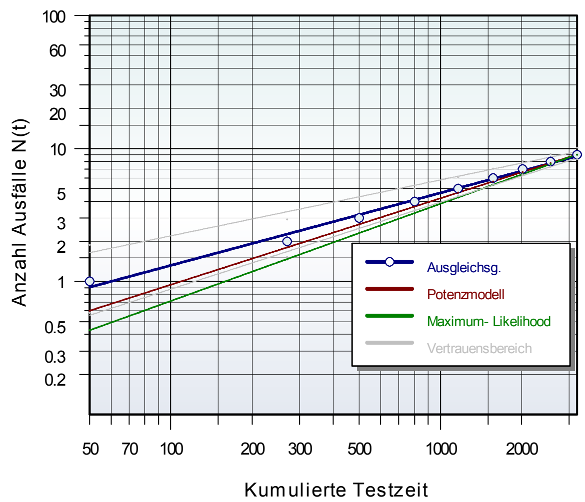
MTBF wird hier durch die mittlere kumulierte Testzeit berechnet:

$$MTBF = T/N$$

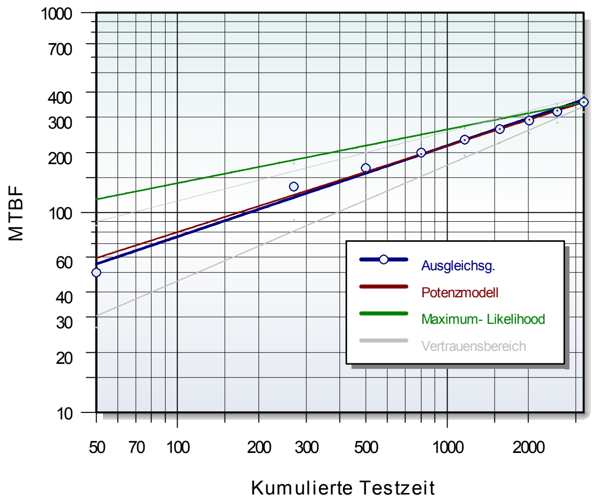
Nach den 3 Verfahren stellen sich *MTBF* und $N(t)$ im Logarithmischen wie folgt dar:

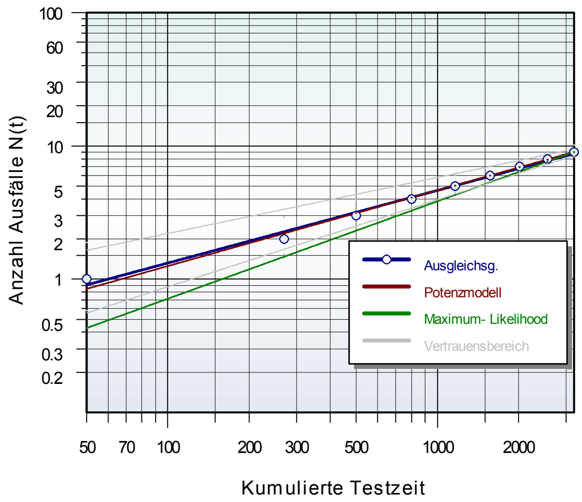
Typ-I (zeitbegrenzt)





Typ-II (ausfallbegrenzt)





Hinweis: $MTBF$ sind kumulierte Angaben. Im Vergleich ergeben die Methoden für Typ I relativ große Unterschiede. Typischerweise liegt die Maximum-Likelihood-Methode am weitesten weg von den Punkten. Für Typ II nähert sich das Potenzgesetzmodell der Ausgleichsgerade gut an. Je nach Lage der Punkte im Auslauf ist hier ein Extrapolieren zu größeren Laufzeiten mit dem Potenzgesetzmodell oder der Ausgleichsgerade zu empfehlen.

Der Vertrauensbereich für $MTBF$ berechnet sich aus der χ^2-Verteilung mit:

$$MTBF_u = \frac{2t_i}{\chi^2_{\alpha/2,2n}} \qquad MTBF_o = \frac{2t_i}{\chi^2_{1-\alpha/2,2n+2}}$$

Dementsprechend ergibt sich für die Anzahl Ausfälle ein Vertrauensbereich mit:

$$N_{(t)u} = \frac{t_i}{MTBF_u} = \frac{\chi^2_{\alpha/2,2n}}{2} \qquad N_{(t)\acute{o}} = \frac{t_i}{MTBF_o} = \frac{\chi^2_{1-\alpha/2,2n+2}}{2}$$