TQU VERLAG
Sequentielle Lebensdauer-prüfung

Probieren und Studieren

Sequentielle Lebensdauerprüfung

Effizientere Prüfpläne für exponentialverteilte Lebensdauern

Autor: Dr. Konrad Reuter

Entwicklungs- und produktionsbegleitende Lebensdauerprüfungen werden durchgeführt, um Designfehler festzustellen und um Produktionsfehler zu finden. Ärgerliche und teure Feldausfälle können so reduziert, fehlerhafte Produkte aussortiert und Prozessabweichungen korrigiert werden. Lebendauerprüfungen sind aber aufwändig und teuer. Dieser Problematik begegnet man mit unterschiedlichen Strategien. Die so genannte HASS-Methode (Highly Accelerated Stress Screen) zum Beispiel beruht auf der künstlichen Alterung eines Produktes, mit dem Ziel, produktionsbedingte Schwachstellen, die sonst erst nach längerem Betrieb festzustellen gewesen wären, frühzeitig zu identifizieren. Als "beschleunigte Lebensdauerprüfung" (künstliche Alterung) provoziert zum Beispiel das HALT-Verfahren (Highly Accelerated Life Testing) durch extreme Verdichtung der Funktionsbelastungen eines Produktes Ausfälle. Die Intensität der Prüfungen wird dabei jeweils stufenweise erhöht. Mit einem Burn-In-Test zum Beispiel kann die Qualität einzelner Bauelemente getestet werden, bevor sie in ein fertiges Gerät eingebaut werden. Darüber hinaus dienen Burn-In-Tests der Voralterung von Bauteilen.

QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.de VERLAG

Teststrategien für Lebensdauerprüfungen werden in der Regel produktspezifisch und unter Verwendung eigener Erfahrungen und Möglichkeiten von den herstellenden Unternehmen festgelegt. Unabhängig von der Strategie bleibt in jedem Fall die schwierige Aufgabe, aus den im Lebensdauertest emittelten Daten einer oft sehr kleinen Stichprobe verwendbare Kenngrößen für die Zuverlässigkeit der Gesamtheit der Produkte oder Bauelemnete abzuleiten. Nach den Grundregeln der Statistik sind dafür eine angemessene Menge von Versuchen und von Daten notwendig, um eine akzeptable Aussagesicherheit zu erreichen. An dieser Stelle unterstützt dieses QUALITY APP den Entwickler, den Versuchsingenieur oder den Qualitätsexperten. Bei der sequentiellen Stichprobenprüfung (sequential sampling) wird der Prüfumfang nicht vor Beginn festgelegt. Zunächst wird eine kleine Menge geprüft und analysiert. Es folgt dann eine Entscheidung, ob die vorliegende Information hinreichend ist, um eine Hypothese abzulehnen oder anzunehmen, oder ob mehr Information durch Prüfung weiterer Einheiten beschafft werden soll. Der Entscheidungsprozess wird fortgesetzt, bis ein hinreichender Informationsstand erreicht ist. Diese sequentielle ("aufeinander folgende") Vorgehensweise ermöglicht eine Minimierung des zur Erzielung einer bestimmten Aussagesicherheit erforderlichen Probenumfangs. Diese durchaus intelligente Vorgehensweise basiert auf Forschungsarbeiten von Abraham Wald und wird auch "Waldscher Folgetest" genannt.

Die sequentielle Stichprobenprüfung nach Wald hat in vielen Anwendungsfällen eine gewisse Bedeutung (zum Beispiel MIL-STD 781C), konnte sich aber wegen der damit verbundenen mathematisch-statistischen Ansprüche in der Versuchsphase nicht in dem Maß durchsetzen, der eigentlich ihrer Bedeutung entspricht, können doch gegenüber festen Stichprobenvorschriften erhebliche Einsparungen erreicht werden (> 50%). Sequential angelegte Prüfpläne legen nicht wie üblich einen Stichprobenumfang n vor der Prüfung fest, sondern es wird nach jedem geprüften Teil (oder Gruppe) entschieden, ob die Prüfung fortgesetzt wird oder bereits eine Entscheidung getroffen werden kann. Dies hat zur Folge, dass der tatsächliche Probenumfang eine zufällige Größe wird. Der mittlere Probenumfang wird gegenüber den anderen Verfahren am kleinsten.

In diesem QUALITY APP aus der Reihe Probieren und Studieren wird der Folgetest nach Wald im Anwendungsfall Lebensdauerprüfung (Zuverlässigkeit) exponentialverteilter Lebensdauern umgesetzt. Das Verfahren wird durch Grafiken anschaulich unterstützt. Sequentielle Stichprobenverfahren sollten immer dann zur Anwendung kommen, wenn die Prüfkosten oder die Prüfzeiten besonders hoch sind.

Die Applikation ist so gestaltet, dass interaktiv die Grundlagen der Auswertung der Analysedaten und deren wichtigsten Kenngrößen verstanden und angewendet werden können.
Dieses QUALITY APP liefert dem Entwickler, dem Versiuchsingenieur und dem Qualitätsexperten wertvolle Unterstützung bei der statistischen Bewertung von Lebensdauerdaten.
Die Applikation ist im Excel-Format und kann sofort eingesetzt werden.

Ansprechpartner: Dr. Konrad Reuter
Telefon: 0171/6006604

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com

QUALITY APPS Applikationen für das Qualitätsmanagement

Lizenzvereinbarung

Dieses Produkt "Sequentielle Lebensdauerprüfung" wurde vom Autor Dr. Konrad Reuter mit großem Aufwand und großer Sorgfalt hergestellt.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt (©). Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Weitergabe, der Übersetzung, des Kopierens, der Entnahme von Teilen oder der Speicherung bleiben vorbehalten.

Bei Fehlern, die zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Nutzung dieses Softwareproduktes führen, leisten wir kostenlos Ersatz. Beschreibungen und Funktionen verstehen sich als Beschreibung von Nutzungsmöglichkeiten und nicht als rechtsverbindliche Zusicherung bestimmter Eigenschaften. Wir übernehmen keine Gewähr dafür, dass die angebotenen Lösungen für bestimmte vom Kunden beabsichtigte Zwecke geeignet sind.

Sie erklären sich damit einverstanden, dieses Produkt nur für Ihre eigene Arbeit und für die Information innerhalb Ihres Unternehmens zu verwenden. Sollten Sie es in anderer Form, insbesondere in Schulungs- und Informationsmaßnahmen (Beiträge in Unternehmen, Beratung, Schulungseinrichtung etc.) verwenden wollen, setzen Sie sich unbedingt vorher mit uns wegen einer entsprechenden Vereinbarung in Verbindung. Unsere Produkte werden kontinuierlich weiterentwickelt. Bitte melden Sie sich, wenn Sie ein Update wünschen.

Das APP ist zu Test- und Anwendungszwecken geeignet.

Dieses APP ist lauffähig unter Excel. Bei Verwendung eigener Daten handelt es sich um Testdaten, sie müssen vor der Anwendung vom Benutzer gelöscht bzw. ersetzt werden.

Die Mappe ist insgesamt geschützt. Der Schutz kann nicht aufgehoben werden. Die einzelnen Blätter der Mappe sind durch einfachen Excel-Schutz geschützt. Einzelne Blätter oder Zeilen wie Spalten können ausgeblendet sein. Werden vom Anwender die eingerichteten Schutzmaßnahmen aufgehoben oder Programmveränderungen vorgenommen, lehnen der Autor und der Verlag alle weiteren Verpflichtungen ab.

Alle Ergebnisse beruhen auf den vom Autor eingesetzten Regeln und Berechnungen, sie müssen vom Anwender sorgfältig auf ihre Eignung geprüft werden.

Die berechneten Ergebnisse sind als Vorschläge, Hinweise oder Anregungen zu verstehen.
Wir wünschen viel Spaß und Erfolg mit dieser Applikation

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com

QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.deVERLAG

Sequentielle Lebensdauerprüfung

Anwendungshinweise **Blatt**

1. Statistik

1.1 Testentscheidungen

Die Sequentialstichprobenpläne entstammen der Überlegung, von Einfach- über Zweifach- und Mehrfachstichprobenplänen zu immer kleineren Teilstichproben zu kommen, bis praktisch nach jedem geprüften Teil entschieden wird.

Die Entscheidung wird getroffen zwischen:

"Weiterprüfen" weil die erforderliche Information entsprechend den gewählten Risiken noch nicht erreicht ist,

"Ablehnung H_0" weil die Rückweiselinie überschritten ist,

"Annahme H_0" weil die Annahmelinie überschritten ist.

Es treten die in der Statistik üblichen Risiken auf:

Fehler 1. Art , α–Risiko, auch Lieferantenrisiko, auch falscher Alarm

Aus einem "guten" Los wird durch Zufall eine "schlechte" Stichprobe gezogen, der Abnehmer weist - fälschlicherweise- zurück.

QUALITY APPS im TQU

Fehler 2. Art, β–Risiko, auch Abnehmerrisiko, auch verpasste Gelegenheit

Aus einem "schlechten" Los wird durch Zufall eine "gute" Stichprobe gezogen, der Abnehmer nimmt - fälschlicherweise- an.

1.2 Exponentialverteilung

www.tqu-verlag.deVERLAG

Die Exponentialverteilung kann als Sonderfall der Weibullverteilung aufgefasst werden, wenn der Parameter b (Ausfallsteilheit) den Wert $b = 1$ annimmt.

Die Schreibweise der Verteilung kann in zwei Varianten erfolgen.

Allgemein gilt:

$$F(x) = P(X \leq x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & \text{für} \quad x \geq 0 \\ 0 & \text{für} \quad x < 0 \end{cases}$$

Mit λ als konstanter Ausfallrate (Lebensdauerproblematik) und x als Zeitvariable.

Da gilt $\lambda = 1/T$ mit T als mittlerer Lebensdauer oder als mittlere Zeit zwischen Ausfällen *MTBF* instandsetzbarer Einheiten bzw. mittlere Zeit bis zum Ausfall *MTTF* nicht instandsetzbarer Einheiten ist auch die folgende Schreibweise üblich.

$$F(t) = 1 - e^{-t/T}$$

Da T als Parameter der Funktion gilt, wird auch in der mehr mathematisch orientierten Literatur dafür der griechische Buchstabe ϑ verwendet.

QUALITY APPS im TQU

$$F(t) = 1 - e^{-t/\vartheta}$$

Im Falle der exponentialverteilten Lebensdauer wird die vorgegebene *MTBF* (mean time between failures) oder die konstante Ausfallrate λ getestet.

Im Folgenden wird der Buchstabe ϑ verwendet und teilweise auf λ umgerechnet.

www.tqu-verlag.deVERLAG

Damit verknüpft sind zwei Größen:

obere Grenze der Lebensdauer T_0, upper *MTBF* ϑ_0 oder Ausfallrate λ_0

untere Grenze der Lebensdauer T_1, lower *MTBF* ϑ_1 oder Ausfallrate λ_1

Es gilt die Forderung für das Testverhältnis $d = \vartheta_1 / \vartheta_0 > 1$

Für die Risiken wird gefordert $\alpha + \beta < 1$.

Geprüft wird die Hypothese H_0 $\vartheta = \vartheta_0$

gegen H_1 $\vartheta = \vartheta_1$

$$\frac{L(\vartheta_1|t)}{L(\vartheta_0|t)} = \left(\frac{\vartheta_0}{\vartheta_1}\right) e^{-(1/\vartheta_1 - 1/\vartheta_0) S_t}$$

Der sequentielle Test beruht auf dem Likelihood-Quotienten:

Mit $A = \frac{1-\beta}{\alpha}$ und $B = \frac{\beta}{1-\alpha}$

ergeben sich die Grenzen für die Entscheidung.

Aus diesen Bedingungen werden mit h_1; h_0 und s die Grenzlinien für Annahme bzw. Rückweisung berechnet. Grafikdaten

1.3 Testdurchführung

Die Lebensdauertestung unter der Bedingung der Exponentialverteilung (konstante Ausfallrate) kann von dieser Eigenschaft insofern profitieren, als dass lediglich das Produkt aus der Anzahl (Einheiten) und der summarischen Prüfzeit relevant ist. Die Rede ist dann von sog. "Bauelementestunden".

Es ist also gleichwertig, ob 10 Elemente eine Stunde geprüft werden oder ein Element 10 Stunden geprüft wird.

Die Prüfung auf Einrichtungen mit mehreren Prüfplätzen kann nach den Strategien "mit Ersatz" oder "ohne Ersatz" ausgefallener Elemente organisiert werden.

Die Berechnung der summierten Lebensdauer S_t muss sich danach richten.

Prüfung mit Ersatz

$$S_t = \sum_{t=1}^{r} t_{(i)} + (n-r)t$$

$$S_t = \sum_{t=1}^{r} t_{(i)} + (n-r)t$$

Prüfung ohne Ersatz

$$S_t = nt$$

mit **r** als Anzahl ausgefallener Elemente und ***n*** als Zahl der Prüfplätze.

1.4 Grafik

Der Test wird in der Regel durch eine spezielle Grafik unterstützt. Arbeitsblatt
Die Anzahl der ausgefallenen Teile r wird auf der Y-Achse dargestellt.
Die X-Achse wird mit der Anzahl der bisher abgelaufenenen Bauelementestunden belegt.

Die Annahmelinie (grün) grenzt den Bereich der Nullhypothese ab.

Die Rückweiselinie (rot) grenzt den Bereich der Alternativhypothese ab.

Zwischen diesen beiden Linien befindet sich der Bereich des "Weiterprüfens".
Die Auswirkung der Änderung der Testbedingungen kann an der Grafik gut beobachtet werden.

1.3 Operationscharakteristik OC — **OC**

Die Berechnung der Operationscharakteristik (OC) kann für 5 Punkte erfolgen. Grafikdaten
Auf ein Glätten der Kurve durch EXCEL wurde verzichtet, da zu wenige Punkte vorliegen und sich deshalb unsinnige Kurvenabschnitte ergeben können.
Im Falle gestutzer Tst wird die OC verändert. Nähers dazu in der Fachliteratur.

1.4 durchschnittlicher Prüfaufwand — **Prüfaufwand**

Die Berechnung des durchsschnittlichen Prüfaufwandes kann analog der OC für 5 Punkte erfolgen. Grafikdaten

Die Kurve zeigt ein Maximum an der Stelle der größten Entscheidungsunsicherheit.

2. Anwendung

Im Blatt Merkmal sind die charakterisierenden Angaben zum Produkt einzutragen. Merkmal
Die Risiken für den Fehler 1. Art und den Fehler 2. Art sind vor Beginn festzulegen. Arbeitsblatt
Gleiches gilt für die zugewiesenene MTBF.

QUALITY APPS im TQU

Die Spalte mit den ausgefallenen Teilen wird komplett auf "Null" gesetzt (auch als Musterdatei).

Die Anzahl der ausgefallenen Teile r kann sich jeweils nur um 1 erhöhen.
Dies wird mit der Funktion "Gültigkeit" für die Eingabefelder für r überwacht bzw. gesichert.

www.tqu-verlag.deVERLAG

Die Summe der geprüften Teile wird nur bei einem Ausfallereignis oder der Überschreitung von Annahme- bzw. Rückweiselinie eingetragen.

Die einzutragende Summe der geprüften Teile muss in jeder Zeile größer als die vorhergehende Zeile sein. Dies wird ebenfalls mit "Gültigkeit" überwacht.

Der Prüfungsverlauf wird als Trajektorie im Diagramm sichtbar. Arbeitsblatt

Zusätzlich erfolgt eine numerische Anzeige der jeweiligen Entscheidung.

Weiterhin wird die Anzahl Teile bis zum Erreichen der Annahmelinie berechnet unter der Voraussetzung, dass keine weiteren Teile ausgefallen sind.

3. EXCEL

Die EXCEL-Lösung stützt sich auf folgende Prinzipien:

Funktionelle Aufteilung auf verschiedene Blätter.
Optische Hervorhebung von Zellen in Abhängigkeit von ihrer Funktion.
Kommentierung wesentlicher Zellen

Eingabe Daten
errechnete Werte
Bezeichnungen

Vergaben von Namen für Variable. Namen
Die Liste muss nach Änderungen mit F3 manuell aktualisiert werden.
Textliche Kommentierungen in rot kursiv. *Bemerkungen*
Bezug auf Zellen mit Funktionen

Reagieren auf Bedingungen /Verzweigungen
Ausblenden von Zellinhalten, die nicht zutreffend sind, insbesondere bei Grafiken.

Erzwingung einer geeigneten Zahlenformatierung im Protokoll mit vorgegebener Stellenzahl.
Verknüpfung von Zellinhalten über "&"
Zellen werden in Berechnungsblättern und Protokollen nicht über "Zellen verbinden" formatiert!

VERGLEICH(;;0) INDIREKT()
ISTLEER() ISTZAHL()
WENN(;;)
FEST(;)
="text1"&BEZUG

Als Lösung dient die Formatierung schmaler Spalten und die Formatierung benachbarter Zellen mit "Über Auswahl zentrieren".
Die Nachteile verbundener Zellen sind damit vermieden..

Ausblenden von Blättern, die nicht ständig gebraucht werden.
Blattschutz gegen versehentliches Überschreiben bitte nutzerintern anpassen.

Bereitstellung von Testdaten zu Überprüfung der Funktion der Datei, Testdaten
Protokoll bitte in geeigneteten Abständen aktualisieren.
Für die Treppenfunktion sowie für die Stutzung bei r* werden die Fehlerindikatoren für Liniendiagramme verwendet.

4. Quellen

Müller et al.: Lexikon der Stochastk, Berlin, 1985
Sachs, L.:Angewandte Statistik, 12. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006
Härtler, G. : Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse,Verlag Technik, Berlin 1983
M[illegible]
M[illegible]
M[illegible]

QUALITY APPS im TQU

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com

www.tqu-verlag.deVERLAG

Sequentielle Lebensdauerprüfung

Bezeichnung	Testteil		
Teile-Nr.	4711		
Auftrag-Nr.	30025		
Losumfang	2500		
Merkmal	Lebensdauer		
Prüfstand	Teststand		
Prüfer	Reuter		
Datum	10.12.2012		
Prüfung	mit Ersatz	*mit / ohne Ersatz auswählen*	1
Ergebnis	*geprüft*	3000	*Bauelementestunden*
	ausgefallen	2	*Elemente*
	Los	Weiterprüfen	
Schätzung ϑ	1500	*h*	*Bezeichnung auch mit T*
Schätzung λ	6,7E-04	h^{-1}	

QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.deVERLAG

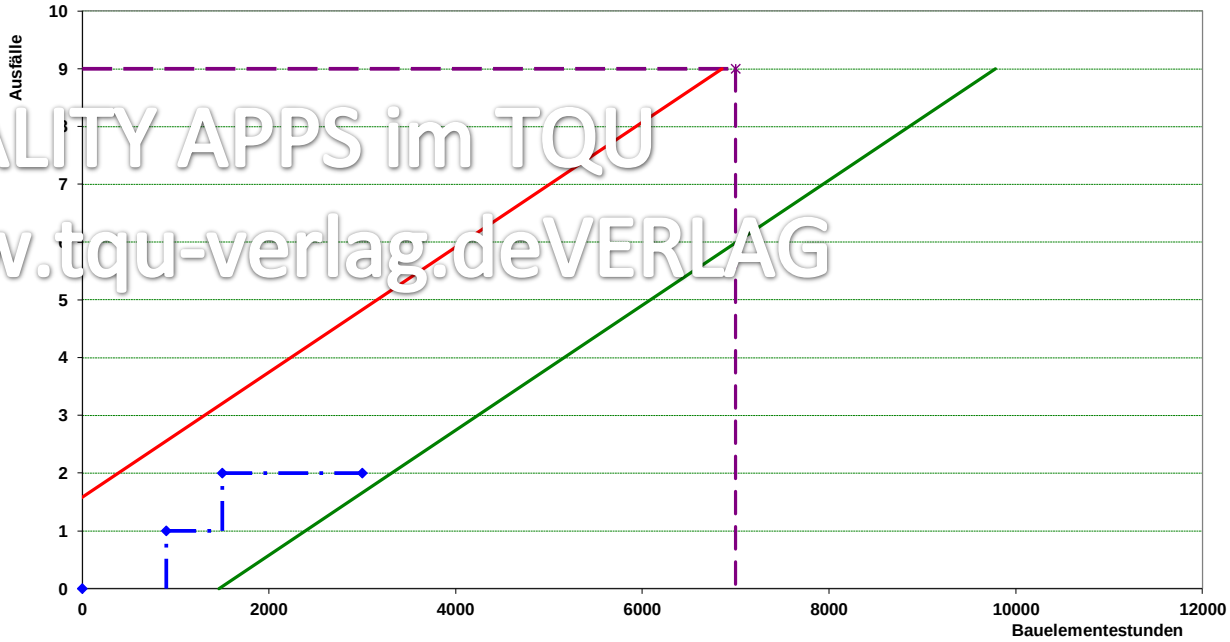
Sequentielle Lebensdauerprüfung

1. Prüfplatz	2. Stutzungsregeln	
Anzahl Prüfplätze	Testdauer max	Ausfälle max
N	h	r*
100	7000	9
Vorschlag	9783	9

3. Testbedingungen				
Lieferanten-risiko	Abnehmer-risiko	obere Grenze	untere Grenze	Test-verhältnis
α	β	ϑ_0 h	ϑ_1 h	$\vartheta_1 / \vartheta_0$
10%	10%	2000	500	4,00
Ausfallrate in h^{-1}		5,00E-04	2,00E-03	4,00

5. Testablauf					
aktuelle Testdauer	aktuelle Ausfälle	A	aktueller Testwert	B	Ende Testdauer
S_t	r	9,00	0,18	0,11	h
3000	2	0	Weiterprüfen		33,1
Prüfung mit Ersatz					

4. Dateneingabe Test	
Dauer h	Ausfall
9,0	1
15,0	1
30,0	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
30	2



QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.deVERLAG

Geradengleichungen (Werte in h)				
s	924	Annahme	Ablehnung	$r_0 = 3r^*$
h_1	1465	9783	6853	9
h_0	1465	1465	-1465	0

gesamte Testzeit
3313,208866

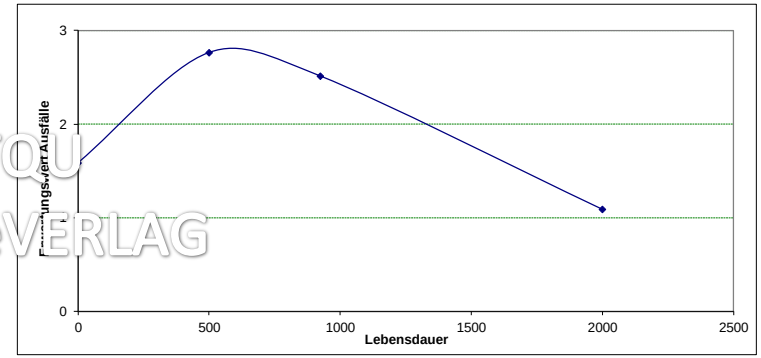
Stutzung (truncation)		
bei	ϑ	4,00
	r*	3
	x	y
r	7000	9
Dauer	7000	9
	7000	0

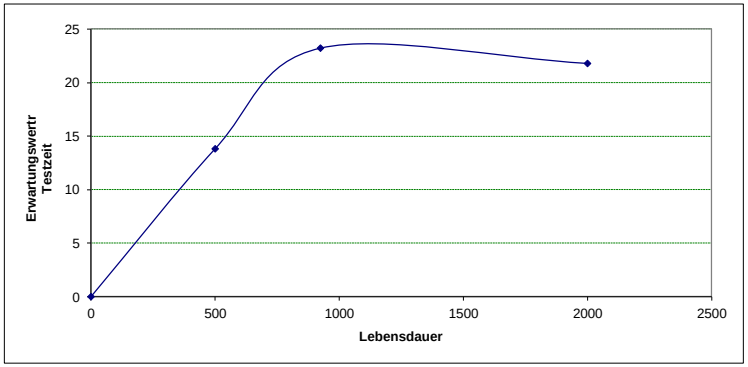
Berechnung einer Stutzungsgrenze für Ausfälle
nach Härtler (4.92)
*Ermitteln der kleinsten ganzen Zahl r**
die kleiner "Wert" ist.

Näherung für Erwartungswert der Anzahl Ausfälle
bzw. Testdauer bis zur Entscheidung

ϑ	h	$P_0(\vartheta)$	E(r)	E(t)
0	0	0	1,58	0
ϑ_1	500	0,1	2,76	[illegible]
s	924,2	0,5	2,51	[illegible]
ϑ_0	2000	0,9	1,09	21,8
∞		1	0	

Chi b	Chi a	Wert	r*
4,605	0,211	21,854	1
[illegible]	[illegible]	7,314	2
[illegible]	2,204	[illegible]	3
13,362	3,490	3,829	4
15,987	4,86	3,286	5
[illegible]	[illegible]	[illegible]	6
21,064	7,790	[illegible]	7
23,542	9,312	2,528	8
25,989	10,865	2,392	9
28,412	12,443	2,283	10
30,813	14,041	2,194	11
33,196	15,659	2,120	12
35,563	17,292	2,057	13
37,916	18,939	2,002	14
40,256	20,599	1,954	15





QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.de VERLAG

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com

1. Prüfplatz	3. Testbedingungen			
Anzahl Prüfplätze	Lieferanten-risiko	Abnehmer-risiko	obere Grenze	untere Grenze
N	α	β	ϑ_0 h	ϑ_1 h
100	10%	10%	2000	500
Prüfung	mit Ersatz			

4. Dateneingabe Test	
Dauer h	Ausfall
9,0	
15,0	1
30,0	0

Vergleich		Soll	Ist
aktuelle Testdauer	S_t	3000	3000
aktuelle Ausfälle	r	2	2
	A	9,0000	9
aktueller Testwert		0,1777	0,1777
	B	0,1111	0,1111
Ende Testdauer	h	33,1321	33,1321

QUALITY APPS im TQU
www.tqu-verlag.deVERLAG

Bei Übernahme der Testdaten in Merkmal und Arbeitsblatt sollte **Ist** mit **Soll** übereinstimmen.

TQU Verlag, Magirus-Deutz-Straße 18, 89077 Ulm Deutschland, Telefon 0731/14660200, verlag@tqu-group.com, www.tqu-verlag.com