



Lebensdauererests

Success Run

Inhalt

Voraussetzung und verwandte Themen.....	1
Keywords.....	1
Einführung.....	2
Ziel und Nutzen	2
Grundlagen.....	2
Vorteile von Success Run	3
Nachteile von Success Run.....	3
Beispiel.....	4
Übersicht der Testfälle	5
Berücksichtigung von Vorkenntnissen.....	4
Literatur - Weiterführende Beschreibungen.....	6
Consulting & Schulungen	7
Hotline	7
Anwendung in Visual-XSel	8

Voraussetzung und verwandte Themen

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

www.crgraph.de/Literatur

www.weibull.de/Weibull.pdf

www.weibull.de/Belastungs_Testmatrix.pdf

www.weibull.de/WeiBayes.pdf

www.weibull.de/Weibull_Raffungstests.pdf

Keywords:

Lebensdauererest, Success Run, Zuverlässigkeit, Mindestzuverlässigkeit, Lebensdauer-verhältnis, Raffungsfaktor, Aussagewahrscheinlichkeit

Einführung

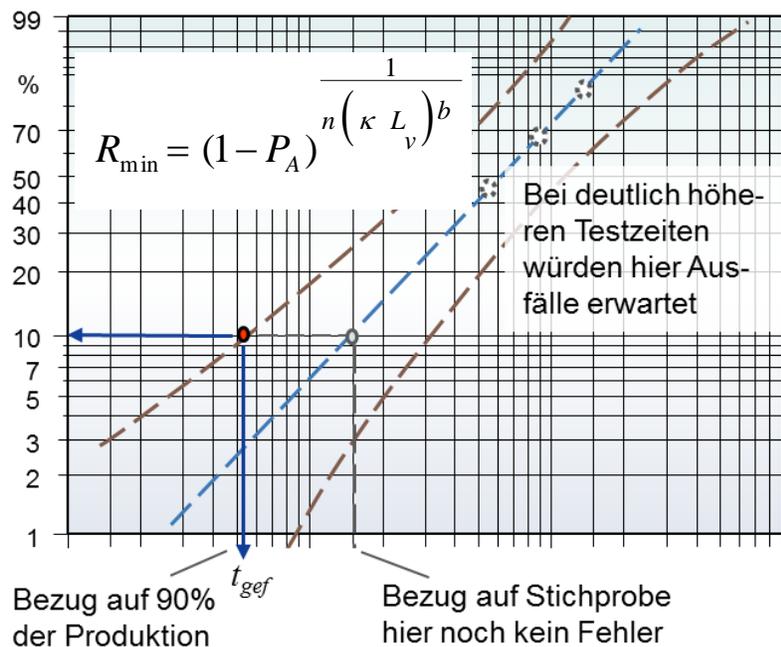
Durch Lebensdauertests soll eine statistische Aussage über eine zu erwartende Zuverlässigkeit von Bauteilen oder Komponenten gemacht werden. Es sollen möglichst keine der Prüflinge im Test ausfallen. Diesen Fall nennt man deshalb auch Success-Run.

Ziel und Nutzen

Das Ziel ist es, mit möglichst geringem Stichprobenumfang n und einer bestimmten Testdauer eine Aussage über die Mindestzuverlässigkeit R_{min} der Grundgesamtheit zu machen. Damit können z.B. Lastenheftanforderungen überprüft werden und Entwicklungen freigegeben werden.

Grundlagen

Wenn im Test keine Bauteile ausfallen, ist eine Weibull-Auswertung nicht möglich. Die folgende Beziehung für Success-Run entsteht aus der Beta-Binomial-Verteilung mit $x=0$ Fehlern und dem Verhältnis einer Weibull-Verteilung für die Testzeit zur geforderten Lebensdauer:



P_A : Ausagewahrscheinlichkeit (obere Vertrauensgrenze)

t_{gef} : Geforderte Lebensdauer / Zeit

t_{pr} : Testzeit

L_v : Lebensdauerverhältnis \Leftrightarrow erprobte Zeit / geforderte Zeit $L_v = t_{pr} / t_{gef}$

κ : Raffungsfaktor

(Lebensdauer normale Belastung / Lebensdauer erhöhte Belastung)

n : Anzahl Versuche, Probanden oder Versuchsfahrzeuge

- b : Formparameter der Weibull-Verteilung, wird in der Regel auf $b=2$ festgesetzt
- x : Anzahl ausgefallene Prüflinge

Ein Rückschluss auf die Grundgesamtheit ist mit einer Aussagewahrscheinlichkeit P_A möglich, die in der Regel 90% beträgt. In der Berechnung wird die Testzeit auf die geforderte Lebensdauer bezogen und als Lebensdauer Verhältnis L_v verwendet. Der Raffungsfaktor κ berücksichtigt eine höhere Belastung im Test gegenüber der realen Anwendung. Hierfür ist eine möglichst realistische, aber erhöhte Beanspruchungen sinnvoll.

In der Regel werden zwischen $n = 5-10$ Prüflinge verwendet. Es sollte die Testzeit mindestens der geforderten Lebensdauer entsprechen bzw. es muss gelten:

$$L_v \cdot \kappa \geq 1$$

Bei $n \geq 7$ und z.B. $R_{min} = 0,90$ ist rechnerisch ein Ausfall zulässig. Dieser darf dann allerdings als Zusatzbedingung nicht bei $L_v \cdot \kappa < 1$ auftreten. Die im Bild dargestellte Formel ist bei Ausfällen gegen die Berechnung mit Hilfe von χ^2 zu ersetzen, siehe Übersicht der Testfälle auf der nächsten Seite.

Vorteile von Success Run

Der größte Vorteile der gezeigten Lebensdauertests ist, dass man nicht erst die Bauteile bis zum Ausfall prüfen muss, das erspart viel Zeit. Über die Korrektur bei Eintreten von unerwarteten Ausfällen besteht kein Risiko, dass die Tests umsonst waren (siehe Tabelle Übersicht über die Testfälle).

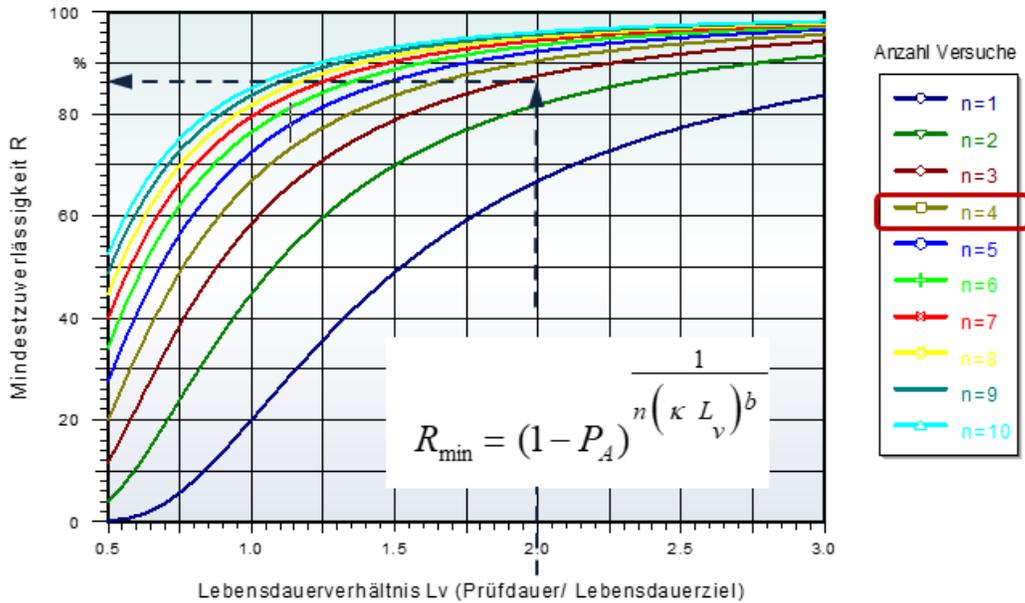
Nachteile von Success Run

Es muss der Formparameter b geschätzt werden, der eine großen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Es ist nicht möglich die tatsächliche Lebensdauer vorauszusagen. Man kann im Success Run nicht die Ausfallursache ermitteln, da kein Fehlerbild vorhanden ist. In der frühen Entwicklungsphase sollte man deshalb bis End-of-Life testen.

- ⇒ Für die Zuverlässigkeit ist es besser weniger „Proben“ länger zu testen
- ⇒ Durch weniger Proben erhält man aber auch eine geringere Aussage über die Streuung der Bauteile !
- ⇒ Grundsätzlich sollte sein: $L_v \cdot \kappa < 1$

Beispiel:

Es soll eine Komponente eine Mindestzuverlässigkeit von 90% erreichen. Die geforderte Lebensdauer ist 300.000 Zyklen. Bei einer Vorgabe von $P_A = 0,90$ kann mit $n=4$ Prüflingen und einer doppelten Testzeit von 600.000 Zyklen die Anforderung erfüllt werden.



Berücksichtigung von Vorkenntnissen

Existieren bereits Vorkenntnisse über die Bauteile ([Bayes-Methode](#)), lassen sich diese über das Verfahren nach [Beyer/Lauster](#) berücksichtigen. Diese Vorkenntnisse können z.B. aus Vorgängermodellen stammen und werden über den Wert R_o ausgedrückt, der für eine Aussagewahrscheinlichkeit von $P_A=63,2\%$ gilt. Die zu erwartende Mindestzuverlässigkeit wird:

$$R_{\min} = (1 - P_A) \frac{1}{n L_v^b + 1/\ln(1/R_o)}$$

Analog zu dem unter /26/ dargestellten Faktor ϕ zur Berücksichtigung der Verwertbarkeit der Vorkenntnisse, soll dieser hier unter dem Begriff Vorinformationsfaktor berücksichtigt werden und es entsteht:

$$R_{\min} = (1 - P_A) \frac{1}{n L_v^b + \phi/\ln(1/R_o)}$$

Der Vorinformationsfaktor ϕ liegt zwischen 0...1. $\phi = 0$ bedeutet, dass keine Vorinformationen genutzt werden sollen, $\phi = 1$ heißt, es lassen sich alle Vorinformationen einbeziehen.

ϕ könnte z.B. folgende Werte annehmen, wenn für die Bauteile der früheren Prüfung gilt:

- $\phi = 1$ Die Bauteile und die Prüfungen sind mit aktuellem Stand identisch, bzw. 100% vergleichbar
- $\phi = 0,75$ Bauteile wurden geringfügig modifiziert, oder gleicher konstruktive Stand liegt von unterschiedlichen Herstellern vor
- $\phi = 0,50$ Bauteile wurden teilweise geändert, z.B. Materialeigenschaften
- $\phi = 0,25$ Bauteile stimmen nur konzeptionell überein (sehr unsichere Bewertung!)

Mit dem Vorinformationsfaktor kann auch ausgedrückt werden, wenn sich die Prüfung geändert hat. Der verringerte Stichprobenumfang wird somit zu:

$$n = \frac{1}{L_v^b} \left[\frac{\ln(1 - P_A)}{\ln(R_{\min})} - \frac{\phi}{\ln(1 / R_o)} \right]$$

Unterschiedliche Belastungen aus früheren Untersuchungen können über einen Rafungsfaktor berücksichtigt werden. Dies wird in den folgenden Kapiteln zur Bauteilfestigkeit (Lebensdauer im Wöhlerdiagramm) behandelt.

Übersicht der Testfälle

ohne Ausfälle	mit Ausfällen
Geplanter Test ohne Ausfälle	Korrektur bei Eintreten von Ausfällen (Berechnung über χ^2-Verteilung)
Mindestzuverlässigkeit	
$R_{\min} = (1 - P_A)^{\frac{1}{n(L_v \kappa)^b}}$	$R_{\min} = e^{-\frac{\chi_{2r+2; P_A}^2}{2n(\kappa L_v)^b}}$
Stichprobenumfang	
$n = \frac{1}{(L_v \kappa)^b} \left(\frac{\ln(1 - P_A)}{\ln(R_{\min})} \right)$	$n = -\frac{\chi_{2r+2; P_A}^2}{2 \cdot \ln(R_{\min}) (\kappa L_v)^b}$
Testdauer	
$L_v = \frac{1}{\kappa} \left(\frac{1}{n} \left(\frac{\ln(1 - P_A)}{\ln(R_{\min})} \right) \right)^{\frac{1}{b}}$	$L_v = \frac{1}{\kappa} \left(-\frac{\chi_{2r+2; P_A}^2}{2 \cdot n \cdot \ln(R_{\min})} \right)^{\frac{1}{b}}$



Literatur - Weiterführende Beschreibungen

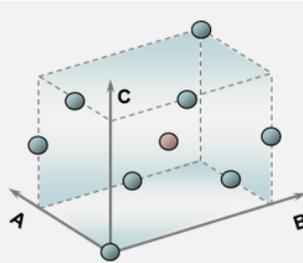
Ausführliche softwareunabhängige Beschreibungen zum Thema DoE und der dazugehörigen Auswertungen gibt es im

Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden

Definitive Screening Designs DSD

Sogenannte Definitive Screening Designs sind sehr neu von Jones und Nachtsheim entwickelte Versuchspläne mit sehr geringem Versuchsumfang.

Sie ermöglichen die Auswertung von quadratischen Modellen und basieren deshalb auf 3 Stufen. Zwischen den Hauptfaktoren untereinander und den quadratischen Termen gibt es keine Vermengung (orthogonal). Die Wechselwirkungen sind nicht zu 100% vermengt.



Nr	A	B	C	D
1	0	1	-1	-1
2	0	-1	1	1
3	-1	0	-1	1
4	1	0	1	-1
5	-1	-1	0	-1
6	1	1	0	1
7	-1	1	1	0
8	1	-1	-1	0
9	0	0	0	0

In der generischen Erzeugung dieser Versuchspläne (iterativ mit Hilfe der Determinante) ergibt sich regulär die Anzahl Versuche mit $n = 2^p + 2$. Manche Pläne, z.B. für $p=5$ sind dann allerdings teilweise zwischen den Hauptfaktoren vermengt. Hier müssen bis zu 3 Versuchszeilen ergänzt werden. Der Gesamtumfang ergibt sich somit zu:

$$n = 2^p + 2 + (1..3)$$

Alle Faktoren müssen durchgehend auf 3 Stufen sein und es lassen sich keine kategorialen Faktoren darstellen. Nachteilig ist auch, dass keine Auswertung aller möglichen



Weitere Informationen und Leseproben:

crgraph.de/Literatur

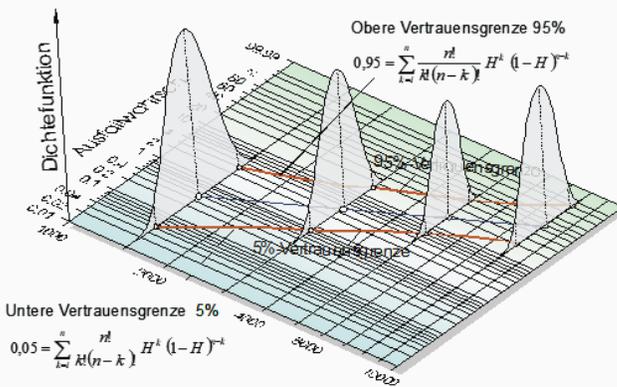
Speziell das Buch

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 $P_A=95\%$.



Weitere Informationen und Leseproben:

crgraph.de/Literatur



Consulting & Schulungen

Bei unseren Inhouse- oder Online-Schulungen wird die praxisnahe Anwendung von statistischen Methoden vermittelt. Wir haben über 25 Jahre Erfahrung, insbesondere in der Automobilindustrie und unterstützen Sie bei Ihren Problemstellungen, führen Auswertungen für Sie durch, oder erstellen firmenspezifische Auswertevorlagen.



Weitere Informationen finden Sie unter:

crgraph.de/schulungen

Sie haben ein konkretes Qualitätsproblem, oder wollen ein Produkt effizient und zuverlässig entwickeln? Sie wollen keine Statistik-Software anschaffen, weil diese voraussichtlich zu selten gebraucht wird, oder weil zu wenig Zeit zur Einarbeitung vorhanden ist? Dann sind unsere Q-Support Pakete genau das Richtige:

crgraph.de/consulting



Hotline

Haben Sie noch Fragen, oder Anregungen? Wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung:

Tel. +49 (0)8151-9193638

E-Mail: info@crgraph.de

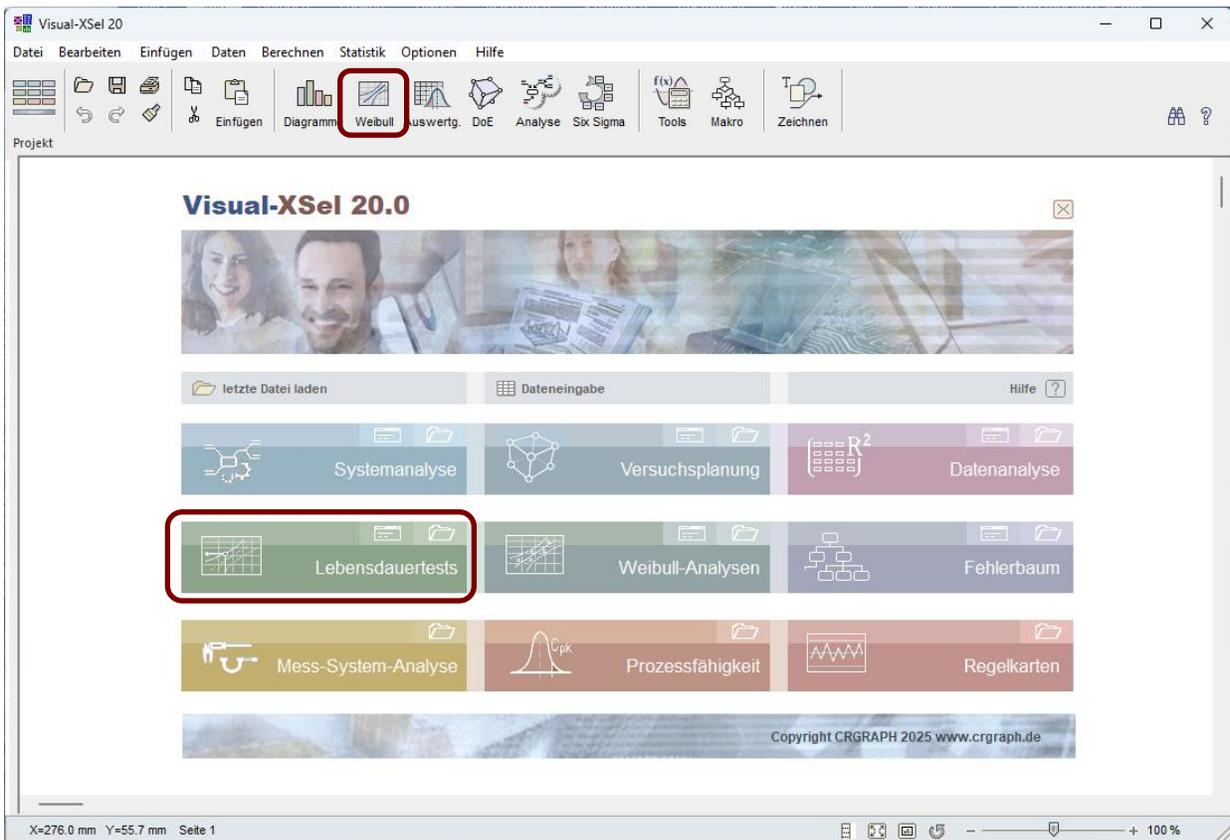
Besuchen Sie uns auf unserer Home-Page: www.crgraph.de



Anwendung in Visual-XSel

www.crgraph.de

Unsere Software **Visual-XSel** ist ein leistungsfähiges Tool für alle wichtigen statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden. Verwenden Sie für den Einstieg die **Lebensdauertest** im Leitfaden (siehe auch crgraph.de/themen-index), oder die Ikone **Weibull**.



Hier finden Sie eine Übersicht und Einstiegsvideos:

crgraph.de/visual-xsel-software/

Nicht umsonst ist diese Software in vielen namhaften Firmen im Einsatz:

crgraph.de/Referenzen.

Die folgende Beschreibung ist eine Anleitung und Einführung in die Erstellung von Versuchsplänen in Visual-XSel.

Die Verwendung dieser Methode setzt voraus, dass eine geforderte Lebensdauer gegeben ist.

In der Mitte kann eine Größe als gesucht definiert werden, die anderen müssen Vorgabe sein. In diesem Beispiel wurden verschiedene Laufzeiten ohne Ausfall gewählt, wobei hier ganz rechts in einer Tabelle die Eingabe der unterschiedlichen Laufzeiten ermöglicht ist. Jede „Testreihe“ kann andere Beanspruchungen haben, aufgrund unterschiedlicher Tests. Berücksichtigt wird dies durch den Raffungsfaktor in der letzten Spalte.

Visual-XSel - Lebensdauerversuchsplanung

Berechnung

ohne Ausfälle (Versuchsplanung) mit Vorinformation aus älteren Versuchen

ohne Ausfälle mit unterschiedlichen Laufzeiten

mit Ausfälle $x: 0$

Laufzeiten mit / ohne Ausfälle rechts

Formel

$$R_{min} = [1 - P_A] \left[\sum n_i \cdot [L_{vi} \cdot x]^b \right]^{-1}$$

Rmin Mindestzuverlässigkeit

Ist gesucht ?

Geforderte Mindestzuv. : 90 %

entspricht max. Ausfallwahrsch. 10%

Lv Lebensdauerverhältnis

Ist gesucht ?

Geprüfte Testdauer : 100000

Geforderte Lebensd. : 100000 km

n Stichprobenumfang

Anzahl gesucht ?

Anzahl ist vorgegeben : 4

unterschiedliche Laufzeiten

Laufzeiten ohne Ausfall

	Einzellaufzeiten	ni	Raff
1	100000	10	1
2	70000	20	1
3	62000	40	1
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Ergebnisse

	Mindestzuverlässigkeit
b = 1.5	Rmin = 94,57%
b = 2	Rmin = 93,66%
b = 2.5	Rmin = 92,68%

Siehe auch Vorlagen Weibull_Mindestzuv...v.xg
Alle Tests mit gleichen Bauteilen und gleicher Belastung
Tests mit untersch. Varianten und Einstellg -> Experiment

Schließen Öffnen Report

Formeln Speichern Hilfe

Das Ergebnis hier zeigt die Zuverlässigkeit für den geschätzten Formparameter $b=2$. Zusätzlich ist darüber und darunter zu sehen, welche Zuverlässigkeit man bei kleineren oder größeren b gehabt hätte.

Wäre die Anforderung eine Zuverlässigkeit von 95% gewesen, so kann unter dem blauen Eingabefeld Rmin der Wert auf 95% gesetzt werden. Nun erscheint unten ein Szenario an möglichen weiteren Erprobungen und deren Anzahl Prüflingen, damit Rmin = 95% erreicht wird:

The screenshot displays the 'Success Run' software interface. The top section shows test parameters: 'ohne Ausfälle mit unterschiedlichen Laufzeiten' (selected), 'mit Ausfälle x: 0', and 'Geforderte Mindestzuv.: 95'. The 'Ergebnisse' (Results) table is highlighted with a red box, showing the following data:

Noch zu prüfende Testzeit	
n' = 1	311682 km; (1 * Lv = 3,117)
n' = 2	220392,5 km; (2 * Lv = 4,408)
n' = 3	179949,7 km; (3 * Lv = 5,398)
n' = 4	155841 km; (4 * Lv = 6,234)

On the right side, a table shows individual test runs:

	Einzellaufzeiten	ni	Raff
1	100000	10	1
2	70000	20	1
3	62000	40	1
4			
5			
12			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Einzelne Berechnungen können gesondert gespeichert und wieder aufgerufen werden. Die zuletzt verwendeten Einstellungen bleiben auch beim Schließen des Programms erhalten.