

DIN IEC 60605-6

ICS 03.120.10; 29.020

Ersatz für
DIN IEC 60605-6:1999-04**Prüfungen der Zuverlässigkeit von Geräten –
Teil 6: Test auf Gültigkeit zeitlich konstanter Ausfallrate und
Ausfalldichte sowie deren Schätzung (IEC 60605-6:2007)**

Equipment reliability testing –

Part 6: Tests for the validity and estimation of the constant failure rate and constant failure intensity (IEC 60605-6:2007)

Essais de fiabilité des équipements –

Partie 6: Tests pour la validité et l'estimation du taux de défaillance constant et de l'intensité de défaillance constante (CEI 60605-6:2007)

Gesamtumfang 38 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60605-6:2004-09.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 56 „Dependability“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60605-6:1999-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) neuer Abschnitt 6.3 Wahrscheinlichkeits-Diagramm;
- b) neuer Abschnitt 6.4 Gesamtprüfdauer-Diagramm;
- c) neuer Abschnitt 6.5 Ausfallraten-Diagramm;
- d) neuer Abschnitt 7.2 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte für eine einzelne instandzusetzende Einheit;
- e) neuer Abschnitt 7.3 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte von mehrfach instandgesetzten Einheiten;
- f) neuer Abschnitt 7.4 $M(t)$ -Diagramm;
- g) Neugestaltung der Anhänge A, B und C mit vielen ausführlichen Anwendungsbeispielen.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60605-6: 1988-05, 1999-04

Inhalt

	Seite
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Formelzeichen	6
5 Anforderungen	7
6 Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate	7
6.1 Allgemeine Hinweise zu Abschnitt 6	7
6.2 Statistischer Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate	8
6.3 Wahrscheinlichkeits-Diagramm	9
6.4 Gesamtprüfdauer-Diagramm	10
6.5 Ausfallraten-Diagramm	11
6.6 Zu ergreifende Maßnahmen, falls die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen wird	12
7 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte	12
7.1 Allgemeine Hinweise zu Abschnitt 7	12
7.2 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte für eine einzelne instandzusetzende Einheit	13
7.3 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte von mehrfach instandgesetzten Einheiten	14
7.4 $M(t)$ -Diagramm	15
7.5 Zu ergreifende Maßnahmen, falls die Hypothese einer konstanten Ausfalldichte verworfen wird	16
Anhang A (informativ) Beispiele der in dieser Norm beschriebenen Verfahren	17
A.1 Statistischer Test zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfallrate von nicht instandzusetzenden Einheiten	17
A.2 Statistischer Test zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfallrate von nicht instandzusetzenden Einheiten	18
A.3 Statistischer Test zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfalldichte einer instandzusetzenden Einheit	19
A.4 Statistischer Test zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfalldichte von mehrfach instandgesetzten Einheiten	20
A.5 Wahrscheinlichkeits-Diagramm für konstante Ausfallrate	21
A.6 Ausfallraten-Diagramm für konstante Ausfallrate	23
A.7 $M(t)$ -Diagramm für mehrfache Kopien einer instandzusetzenden Einheit	25
A.8 GPD-Diagramm für konstante Ausfallrate	28
Anhang B (informativ) Beispiel einer Betriebsdatenanalyse mit Hilfe des $M(t)$ -Verfahrens	30
Anhang C (informativ) Aufbereitung von Betriebsdaten für eine $M(t)$ -Analyse	34
C.1 Verfahren der Analyse von Betriebsdaten	34
C.2 Anzahl der Ausfälle je Zeiteinheit	34
C.3 Ausfallanteil je Zeiteinheit	34
C.4 $M(t)$ -Kurven	35

	Seite
C.5 Empfindlichkeit auf ungewisse Daten.....	36
C.6 Verringerung ungewisser Betriebsdaten	37
Literaturhinweise.....	38
Bild 1 – Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate – Gliederung des Abschnitts 6	7
Bild 2 – Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte – Gliederung des Abschnitts 7	12
Bild A.1 – Wahrscheinlichkeits-Diagramm zum Test der Konstanz der Ausfallrate	23
Bild A.2 – Ausfallraten-Diagramm zur Untersuchung der Konstanz der Ausfallrate	25
Bild A.3 – $M(t)$ -Diagramm für drei instandzusetzende Einheiten.....	26
Bild A.4 – $M(t)$ -Diagramm mit zweiseitigem 95 %-Vertrauensbereich.....	28
Bild A.5 – GPD-Diagramm zur Untersuchung der Konstanz der Ausfallrate.....	29
Bild B.1 – Anzahl der in Betrieb befindlichen Einheiten als Funktion der Betriebsdauer	31
Bild B.2 – Reparaturen je Monat als Prozentsatz der in Betrieb befindlichen Einheiten.....	31
Bild B.3 – $M(t)$ -Kurve mit Parameterschätzung	32
Bild B.4 – $M(t)$ -Kurve mit 99 %-Vertrauensgrenzen	32
Bild B.5 – Anteil (%) der Anzahl von Reparaturen je Telefon.....	33
Tabelle 1 – Kritische Werte von U_α als Funktion von α	9
Tabelle 2 – Berechnung der Zeiten bis zum Ausfall mehrfach instandgesetzter Einheiten	14
Tabelle 3 – Quantile der standardisierten Normalverteilung	16
Tabelle A.1 – Zwanzig geordnete Dauern bis zum Ausfall von 40 geprüften Einheiten	17
Tabelle A.2 – Akkumulierte Dauern bis zum Ausfall.....	17
Tabelle A.3 – Nach der Zeit (Dauer bis zum Ausfall) geordnete Reihenfolge der Ausfälle.....	18
Tabelle A.4 – Akkumulierte Dauern bis zum Ausfall.....	18
Tabelle A.5 – Acht Zeitpunkte, zu denen sich Ausfälle der Einheit ereigneten.....	19
Tabelle A.6 – Akkumulierte Dauern bis zum Ausfall.....	19
Tabelle A.7 – Ausfalldaten mehrfacher instandgesetzter Einheiten.....	20
Tabelle A.8 – Arbeitsblatt für Berechnungen.....	20
Tabelle A.9 – Dauern bis zum Ausfall bei einer Prüfung nicht instandzusetzender Einheiten.....	21
Tabelle A.10 – Arbeitsblatt mit Berechnungen	22
Tabelle A.11 – Zehn geordnete Zeiten mit mehrfachen Ausfallarten	23
Tabelle A.12 – Arbeitsblatt und Berechnungen	24
Tabelle A.13 – Dauern bis zum Ausfall von drei identischen instandzusetzenden Einheiten.....	25
Tabelle A.14 – Arbeitsblatt mit Berechnungen für $M(t)$	26
Tabelle A.15 – Arbeitsblatt zur Berechnung der Vertrauensbereiche für $M(t)$	27
Tabelle A.16 – Vertrauensbereiche für $M(t)$	27
Tabelle A.17 – Dauern bis zum Ausfall.....	28
Tabelle A.18 – Arbeitsblatt mit Berechnungen	29

Einleitung

In diesem Teil der Internationalen Norm IEC 60605 werden numerische und graphische Verfahren für statistische Tests zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfallrate oder einer konstanten Ausfalldichte dargelegt. Mit den graphischen Verfahren können Muster wie Frühausfälle und zeitlich nicht konstante Ausfallraten oder nicht konstante Ausfalldichten erkannt und geschätzt werden. Diese Verfahren sind zur Analyse von Daten geeignet, die bei Prüfungen oder im Betrieb erfasst wurden.

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm werden Verfahren zu statistischen Tests zur Entscheidung über die Hypothese einer konstanten Ausfallrate oder einer konstanten Ausfalldichte festgelegt; konstante Ausfallrate und konstante Ausfalldichte sind in IEC 60050(191) definiert. Zusätzlich dient diese Norm zum Erkennen von Ausfallraten- oder Ausfalldichtemustern. Diese Verfahren sind dann anzuwenden, wenn über diese Hypothese zu entscheiden ist. Diese Notwendigkeit kann sich aus einer Anforderung ergeben oder falls das zeitliche Verhalten der Ausfallrate oder Ausfalldichte bestimmt werden soll.

Die Zielsetzungen der in dieser Norm festgelegten Verfahren sind:

- im statistischen Sinn testen, ob die Dauern bis zum Ausfall von nicht instandzusetzenden Einheiten exponentiell verteilt sind, d. h. ob die Ausfallrate konstant ist;
- im statistischen Sinn testen, ob die Ausfallabstände instandzusetzender Einheiten keine zeitliche Tendenz aufweisen, d. h. ob die Ausfalldichte keine zu- oder abnehmende Tendenz aufweist;
- Diagramme konstruieren, durch die etwaige Muster in der Ausfallrate oder Ausfalldichte aufgezeigt werden können. Der Zweck solcher Diagramme ist es, die Konstanz oder die Abweichung von der Konstanz der Ausfallraten oder Ausfalldichten aufzuzeigen und deren Schätzung zu ermöglichen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die zitierte Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050(191), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050(191). Es wird jedoch auf nachfolgende Klarstellungen hingewiesen:

- a) der Begriff „Zeit“ kann sich auf Länge, Zyklen oder andere Größen beziehen;
- b) der Begriff „Ausfall“ kann sich auch auf andere festgelegte Ereignisse beziehen, wie beispielsweise Vollzug der Instandsetzung oder ein sonstiges besonderes Ereignis;
- c) der Begriff „Ausfallrate“ wird im Sinne der momentanen Ausfallrate verwendet. Im Englischen wird die momentane Ausfallrate manchmal „hazard function“ genannt;
- d) die beschriebenen Prozeduren können sowohl auf bei Prüfungen als auch auf im Betrieb gewonnene Daten (Dauer bis zum Ausfall) angewendet werden. In dieser Norm wird in den Abschnitten 6 und 7 der Begriff „statistischer Test“ verwendet; er kann sich auf Daten aus Prüfungen oder aus dem Betrieb beziehen.

4 Formelzeichen

i, j, k, l	variable Indizes
H_i	aufsummierte Ausfallrate (en: cumulative hazard function) bei der i -ten Dauer bis zum Ausfall
$M(T_j)$	mittlere akkumulierte Anzahl von Ausfällen zur Zeit T_j
$M(t)$	mittlere akkumulierte Anzahl von Ausfällen je 100 Systeme
m	Anzahl identischer Dauern bis zum Ausfall, akkumuliert über alle instandgesetzten Einheiten
$N(T_i)$	Gesamtzahl geprüfter oder im Betrieb befindlicher Einheiten zur Zeit T_i
$N_i(T_j)$	Indikator-Variable; wird zu 1 gesetzt, wenn ein Ausfall der i -ten Einheit zur Zeit T_j beobachtet wird, oder wird zu 0 gesetzt, wenn ein Ausfall der i -ten Einheit nicht zur Zeit T_j beobachtet wird
n	Stichprobenumfang; Gesamtzahl der auf konstante Ausfallrate getesteten nicht instandzusetzenden Einheiten
$R(i, n)$	Schätzwert der Überlebenswahrscheinlichkeit zur i -ten geordneten Dauer bis zum Ausfall t_i . Er wird bei dem graphischen Verfahren verwendet, wenn n Einheiten auf konstante Ausfallrate getestet werden.
R_i	Überlebenswahrscheinlichkeit berechnet für den i -ten geordneten Ausfall
r	Anzahl der im Verlauf der Prüfung aufgetretenen relevanten (d. h. zu wertenden) Ausfälle
$r(T_i)$	Gesamtzahl der Ausfälle mehrfach reparierter Einheiten zur Zeit (Prüfdauer) T_i
$r_i(T_j)$	Anzahl der Ausfälle der Einheit i zur akkumulierten Prüfdauer T_j
r_k	während der Prüfung der k -ten Einheit aufgetretene Anzahl relevanter Ausfälle
S_i	Gesamtprüfdauerwert der i -ten Dauer bis zum Ausfall
S_0	Initialisierungswert für den Gesamtprüfdauerwert, wobei $S_0 = 0$
T_i	bis zum i -ten relevanten Ausfall akkumulierte Prüfdauer
T_r	bis zum r -ten Ausfall akkumulierte Gesamtprüfdauer
T_{ij}	bis zum j -ten Ausfall der i -ten Einheit akkumulierte Prüfdauer
T_j	bis zum j -ten Ausfall geordnete akkumulierte Prüfdauer $T_1 < T_2 < \dots < T_m$
T^*	akkumulierte Gesamtprüfdauer
T_k^*	akkumulierte Gesamtprüfdauer der k -ten instandgesetzten Einheit
t_i	dem i -ten geordneten Ausfall entsprechende Zeit; wird bei der Prüfung von n Einheiten auf konstante Ausfallrate benutzt
t^*	Zeitpunkt, zu dem die Prüfung auf konstante Ausfallrate beendet wird
U	Wert der Statistikgröße, berechnet anhand beobachteter Werte, angewendet beim Testen auf konstante Ausfalldichte oder konstante Ausfallrate
U_α	α -Quantil der standardisierten Normalverteilung

$Var(T_j)$	Varianz von $M(T_j)$; sie wird für die Berechnung des Vertrauensbereichs verwendet
Z_i	normalisierter Gesamtprüfdauerwert des i -ten Ausfalls
α	Risiko (Wahrscheinlichkeit) der fälschlichen Rückweisung der Hypothese, dass die (momentane) Ausfallrate bzw. die (momentane) Ausfalldichte konstant ist, wenn sie wirklich konstant ist. Es wird auch mit Signifikanzniveau bezeichnet.

5 Anforderungen

Damit die in dieser Norm festgelegten Verfahren gültig sind, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

Beim Testen von n nicht instandzusetzenden Einheiten auf die Hypothese einer konstanten Ausfallrate sind

- bei den numerischen Verfahren wenigstens 6 Dauern bis zum Ausfall erforderlich und
- beim graphischen Verfahren wenigstens 4 Dauern bis zum Ausfall erforderlich.

Beim Testen einer oder mehrerer instandzusetzenden Einheit(en) auf die Hypothese einer konstanten Ausfalldichte sind

- bei den numerischen Verfahren wenigstens 6 Ausfallabstände erforderlich und
- beim graphischen Verfahren wenigstens 4 Ausfallabstände erforderlich.

ANMERKUNG 1 Für instandzusetzende Einheiten wird angenommen, dass die Reparaturdauer vernachlässigbar ist.

ANMERKUNG 2 Numerische Verfahren sind bei den statistischen Tests auf konstante Ausfallrate und auf konstante Ausfalldichte (siehe 6.2, 7.2 und 7.3) und der Vertrauensbereiche (siehe 7.4) beschrieben. Graphische Verfahren sind bei den Zeichenverfahren (siehe Abschnitte 6 und 7) beschrieben.

ANMERKUNG 3 Zu Begründungen für die vorgegebene Mindestzahl von Ausfällen wird auf die Literaturhinweise verwiesen.

6 Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate

6.1 Allgemeine Hinweise zu Abschnitt 6

In diesem Abschnitt werden statistische Testverfahren auf konstante Ausfallrate bei nicht instandzusetzenden Einheiten gezeigt; zum Ablauf der Prüfungen siehe Bild 1.

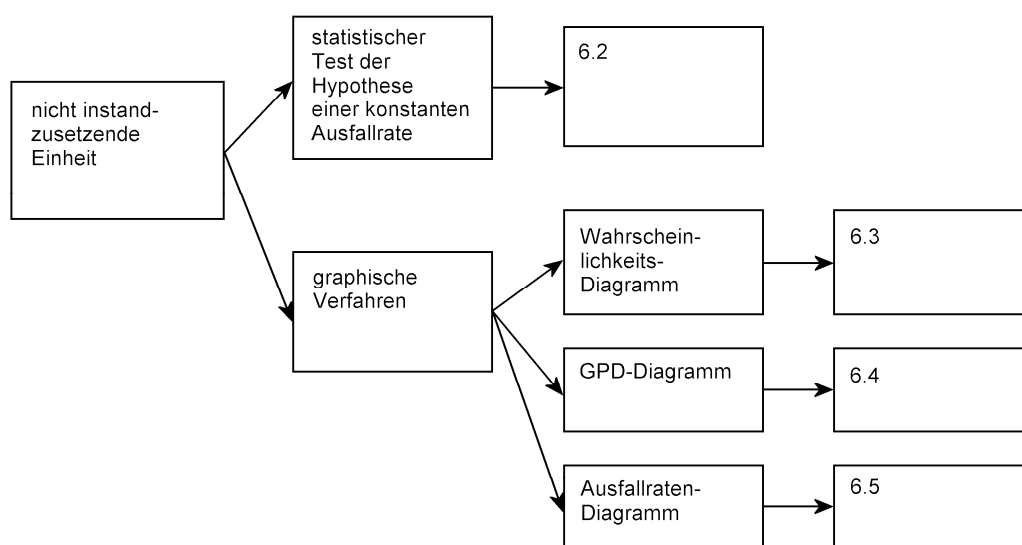


Bild 1 – Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate – Gliederung des Abschnitts 6

Es wird ein statistischer Test auf konstante Ausfallrate für Prüfungen beschrieben, die nach vorgegebener Zeit oder bei Erreichen einer vorgegebenen Ausfallanzahl beendet werden (6.2).

Folgende drei graphische Verfahren werden beschrieben:

- a) Das Wahrscheinlichkeits-Diagramm (en: probability plot) beruht auf einer linearen Transformation der Exponentialverteilung und ist dann geeignet, wenn die Menge der Dauern bis zum Ausfall für alle geprüften nicht instandzusetzenden Einheiten bekannt ist oder falls die Prüfung aller Einheiten bei vorgegebener Zeit oder bei Erreichen einer vorgegebenen Ausfallanzahl beendet wird;
- b) Das Gesamtprüfdauer-Diagramm (GPD-Diagramm, en: Total Time on Test, TTT plot) ist ein empirisches und Skalen-unabhängiges Zeichenverfahren, das dann geeignet ist, falls die Dauern bis zum Ausfall aller nicht instandzusetzenden Einheiten bekannt sind;
- c) Das Ausfallraten-Diagramm (en: hazard plot) ist eine lineare Transformation der aufsummierten Ausfallraten (Exponentialverteilung). Dieses Zeichenverfahren ist dann geeignet, falls die Mengen der Dauern bis zum Ausfall für jede geprüfte nicht instandzusetzende Einheit bekannt sind, falls die Prüfung aller Einheiten bei vorgegebener Zeit oder bei Erreichen einer vorgegebenen Ausfallanzahl beendet wird oder falls die Dauern bis zum Ausfall einer nicht instandzusetzenden Einheit vermischt sind mit den Laufzeiten von Einheiten, die zu willkürlichen Zeitpunkten aus der Prüfung genommen wurden.

6.2 Statistischer Test der Hypothese einer konstanten Ausfallrate

Das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren ist dann anzuwenden, wenn eine Stichprobe von n Einheiten geprüft wird und diese Prüfung bei Erreichen einer vorgegebenen Ausfallanzahl r (durch Ausfallzahl beendete Prüfung) oder nach einer vorgegebener Zeit t^* (durch Zeitablauf beendete Prüfung) beendet wird.

Die Betriebsumgebung muss für alle geprüften Einheiten gleich sein. Am Ende der Prüfung werden nicht notwendigerweise alle Einheiten ausgefallen sein. Es werden r relevante, zu wertende Dauern bis zum Ausfall aufgezeichnet sein.

Schritt 1

Die Dauern bis zum Ausfall werden in aufsteigender Reihenfolge der Dauern geordnet und mit $t_1, t_2, \dots, t_r$ bezeichnet.

Für $i = 1$ bis r wird die akkumulierte Prüfdauer bis zum i -ten Ausfall berechnet zu

$$T_i = \sum_{k=1}^i t_k + (n - i) t_i$$

Bei einer durch Ausfallzahl beendeten Prüfung ergibt sich die akkumulierte Gesamtprüfdauer zum Zeitpunkt des r -ten Ausfalls zu

$$T_r = \sum_{k=1}^r t_k + (n - r) t_r$$

und für durch Zeitablauf beendete Prüfung ergibt sich die akkumulierte Gesamtprüfdauer zum Zeitpunkt t^*

$$T^* = \sum_{k=1}^r t_k + (n - r) t^*$$

Schritt 2

Für jede relevante akkumulierte Prüfdauer T_i ist die Statistikgröße U zu berechnen.

Falls die Prüfung durch Ausfallzahl beendet wird, gilt

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{r-1} T_i - (r-1) \frac{T_r}{2}}{T_r \sqrt{\frac{r-1}{12}}}$$

Falls die Prüfung durch Zeitablauf beendet wird, gilt

$$U = \frac{\sum_{i=1}^r T_i - r \frac{T^*}{2}}{T^* \sqrt{\frac{r}{12}}}$$

Schritt 3

Das Signifikanzniveau α der fälschlichen Rückweisung der Hypothese, dass die Ausfallrate über der Zeit konstant ist, wenn diese wirklich konstant ist, wird angegeben. Tabelle 1 enthält empfohlene Werte für α .

Tabelle 1 – Kritische Werte von U_α als Funktion von α

α	kritischer Wert von U_α
0,025	2,24
0,050	1,96
0,100	1,64

Schritt 4

Falls der absolute Betrag von U größer als der in Tabelle 1 angegebene kritische Wert ist, wird die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen. Andernfalls wird die Hypothese nicht verworfen.

Große positive Werte von U treten dann auf, wenn die Ausfallrate zunimmt. Entsprechend treten große negative Werte von U dann auf, wenn die Anzahl der Ausfälle mit der Zeit abnimmt.

6.3 Wahrscheinlichkeits-Diagramm

Dieses Verfahren (en: probability plot) ist dann geeignet, wenn die Menge der Dauern bis zum Ausfall jeder geprüften nicht instandzusetzenden Einheit bekannt ist oder wenn die Prüfung zu einem vorbestimmten Zeitpunkt oder zu einer vorbestimmten Ausfallzahl beendet wird.

Schritt 1

Die Dauern bis zu Ausfallereignissen $t_1, t_2, \dots, t_r$ werden von der kürzesten bis zur längsten Dauer geordnet.

Schritt 2

Die Hilfsfunktion $R(i, n)$ wird berechnet, wobei i der Index der zugehörigen Dauer bis zum Ausfall t_i und n die Stichprobengröße ist:

$$R(i, n) = \frac{n - i + 0,7}{n + 0,4}$$

ANMERKUNG Es wird darauf hingewiesen, dass $R(i, n)$ eine Schätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit bei der i -ten geordneten Dauer bis zum Ausfall t_i ist, wenn man n Einheiten auf konstante Ausfallrate testet. Genau genommen ist die Hilfsfunktion ein Schätzwert der Überlebenswahrscheinlichkeit, den man üblicherweise mit $\hat{R}(i, n)$ darstellen würde. In dieser Norm wurden jedoch die „Hütchen“ absichtlich weggelassen, da es keine Notwendigkeit gibt, zwischen der Schätzung und dem wahren Wert zu unterscheiden.

Schritt 3

Der Logarithmus von $R(i, n)$ wird über der jeweils zugehörigen Dauer bis zum Ausfall aufgetragen oder man trägt die Hilfsfunktion $R(i, n)$ auf der logarithmischen Skale eines halblogarithmischen Papiers auf.

ANMERKUNG Man kann zur Konstruktion des exponentiellen Wahrscheinlichkeits-Verfahren eigens hierfür gestaltetes Wahrscheinlichkeitspapier verwenden.

Schritt 4

Falls die so eingezeichnete Kurve gerade aussieht, gibt es keinen Grund, die Hypothese einer konstanten Ausfallrate zu verwerfen, und die Ausfallrate darf als Betrag der Neigung der Geraden geschätzt werden. Falls die eingezeichnete Kurve nicht gerade aussieht, so sollte die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen werden.

6.4 Gesamtprüfdauer-Diagramm

Dieses Verfahren (en: Total Time on Test, TTT plot) ist dann geeignet, wenn die Menge der Dauern bis zum Ausfall für jede geprüfte nicht instandzusetzende Einheit bekannt ist.

Schritt 1

Die Dauern werden bis zum Ausfall $t_1, t_2, \dots, t_n$ vom kleinsten bis zum größten Wert geordnet, wobei $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$.

Schritt 2

Die Gesamtprüfdauerwerte (GPD) S_i werden für $i = 1, 2, \dots, n$, entsprechend jeder Dauer bis zum Ausfall, bei gesetztem $S_0 = 0$ berechnet:

$$S_i = nt_1 + (n-1)(t_2 - t_1) + \dots + (n-i+1)(t_i - t_{i-1})$$

Schritt 3

Die Gesamtprüfdauerwerte werden normalisiert und berechnet zu:

$$Z_i = \frac{S_i}{S_n}$$

Schritt 4

Die normalisierten Gesamtprüfdauerwerte Z_i werden über dem Anteil der bis zu diesem Zeitpunkt ausgefallenen Einheiten, $\frac{i}{n}$, für $i = 1, 2, \dots, n$, auf linearem Skalenpapier aufgetragen und die eingezeichneten Punkte durch gerade Linien verbunden.

Schritt 5

Falls das Gesamtprüfdauer-Diagramm linear aussieht, gibt es keinen Grund, die Hypothese einer konstanten Ausfallrate zu verwerfen. In diesem Fall darf die Ausfallrate als absoluter Wert der Neigung der Geraden geschätzt werden. Sollte die eingezeichnete Kurve nicht linear aussehen, so sollte die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen werden.

6.5 Ausfallraten-Diagramm

Dieses Verfahren (en: hazard plot) ist dann geeignet, wenn die Menge der Dauern bis zum Ausfall für jede geprüfte nicht instandzusetzende Einheit bekannt ist oder wenn die Prüfung aller Einheiten zu einem vorbestimmten Zeitpunkt oder zu einer vorbestimmten Ausfallzahl beendet wird. Dieses Verfahren ist ebenfalls geeignet, wenn die Dauern bis zum Ausfall nicht instandzusetzender Einheiten vermischt sind mit den Laufdauern von Einheiten, die zu willkürlichen Zeitpunkten aus der Prüfung genommen wurden.

Schritt 1

Ereignisse mit den entsprechenden Dauern, sowohl Dauern bis zum Ausfall als auch Laufdauern, werden von der kürzesten bis zur längsten Dauer geordnet und die i -te geordnete Dauer wird mit t_i bezeichnet (d. h. $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_i \leq \dots \leq t_n$).

Schritt 2

Nun wird die inverse Reihenfolge aller Dauern $n, n-1, n-2, \dots, 2, 1$ berechnet, wobei n für die Anzahl der Ereignisse steht. Der inverse Rang des i -ten Ereignisses ist gegeben zu $n-i+1$.

Schritt 3

Für jeden Ausfall und der diesem Ausfall entsprechenden Dauer werden die Ausfallraten als das Verhältnis von 100 zum zugehörigen inversen Rang berechnet. Somit ist die Ausfallrate bei der i -ten Dauer, die einem Ausfall entspricht, gegeben durch

$$\frac{100}{n-i+1}$$

Schritt 4

Die aufsummierte Ausfallrate (H_i) wird für jedes Ausfallereignis und der diesem Ausfall entsprechenden Dauer als die Summe der Ausfallrate zu diesem Zeitpunkt plus der vorhergehenden aufsummierten Ausfallrate berechnet.

Schritt 5

Die aufsummierten Ausfallraten werden über der zugehörigen Dauer bis zum Ausfall in ein lineares Skalenpapier eingetragen.

ANMERKUNG 1 Es sollten nur die Dauern bis zum Ausfall und nicht die Laufdauern aufgetragen werden. Die Laufdauern werden lediglich zur Schätzung der Position der Ausfallrate verwendet.

ANMERKUNG 2 Man kann die aufsummierte Ausfallrate auch als die Überlebenswahrscheinlichkeit ausdrücken, indem man die Beziehung $R_i = \exp(-H_i)$ verwendet und damit das Wahrscheinlichkeits-Diagramm nach 6.3 konstruiert.

ANMERKUNG 3 Zur Konstruktion des Ausfallraten-Diagramms (Exponentialverteilung) kann ein spezielles Ausfallratenpapier verwendet werden.

Schritt 6

Falls die so eingezeichnete Kurve gerade aussieht, gibt es keinen Grund, die Hypothese einer konstanten Ausfallrate zu verwerfen und die Ausfallrate darf als Betrag der Neigung der Geraden geschätzt werden. Falls die eingezeichnete Kurve nicht gerade aussieht, so sollte die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen werden.

ANMERKUNG Beim statistischen Test auf konstante Ausfallrate ist lediglich die Neigung der Geraden von Bedeutung, aber nicht der Wert am Schnittpunkt.

6.6 Zu ergreifende Maßnahmen, falls die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen wird

Wird die Hypothese einer konstanten Ausfallrate verworfen, so wird empfohlen, die Daten zur Ermittlung der möglichen Ursache weiter zu analysieren. Die numerische Analyse sollte wo immer möglich durch physikalische Untersuchungen und ingenieurmäßige Beurteilungen unterstützt werden.

Die Einheiten könnten im betrachteten Zeitintervall einem Verschleiß unterliegen, oder es könnte ein Frühausfälle verursachender Mechanismus vorliegen. Des Weiteren könnte die Möglichkeit bestehen, dass die Einheiten keiner homogenen Population entstammen. In diesem Falle kann es eine Vermischung mehrerer Ausfallraten geben, die verschiedene Ausfallarten widerspiegeln, zum Beispiel aus schwachen und starken Populationen. Solche Situationen sollten weiter untersucht werden.

Wenn Verschleiß oder Frühausfälle vermutet werden, sollten die in IEC 61649 für nicht instandzusetzende Einheiten beschriebenen Verfahren und die in IEC 61710 für instandzusetzende Einheiten beschriebenen Verfahren verwendet werden. Wenn andererseits eine Vermischung von Populationen vermutet wird, sollte man sich bemühen, diese unterschiedlichen Populationen zu ermitteln und zu trennen und diese dann getrennt untersuchen.

Unabhängig vom Grund der Zurückweisung der Hypothese einer konstanten Ausfallrate sollten Nachweisverfahren, die auf dieser Hypothese beruhen, nicht angewendet werden.

ANMERKUNG Wenn die Hypothese einer konstanten Ausfallrate nicht verworfen wurde, so ist daraus zu folgern, dass es nicht nachgewiesen werden konnte, dass die Dauern bis zum Ausfall von der exponentiellen Verteilung abweichen. Dies kann häufig der Fall sein, wenn nur eine geringe Anzahl von Ausfällen beobachtet wird.

7 Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte

7.1 Allgemeine Hinweise zu Abschnitt 7

Dieser Abschnitt gilt für instandzusetzende Einheiten, für die die Reihenfolge der Ausfallabstände aufgezeichnet wird. Beim Testen der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte wird unterstellt, dass die Reihenfolge der Zeitabstände zwischen aufeinanderfolgenden relevanten Ausfällen weder eine zunehmende noch eine abnehmende Tendenz aufweist. Wenn solch eine Tendenz nicht ersichtlich ist, kann unterstellt werden, dass die Einheit nach jeder Instandsetzung als erneuert angesehen werden darf. Das Prüfverfahren wird in Form eines Ablaufdiagramms gezeigt (siehe Bild 2).

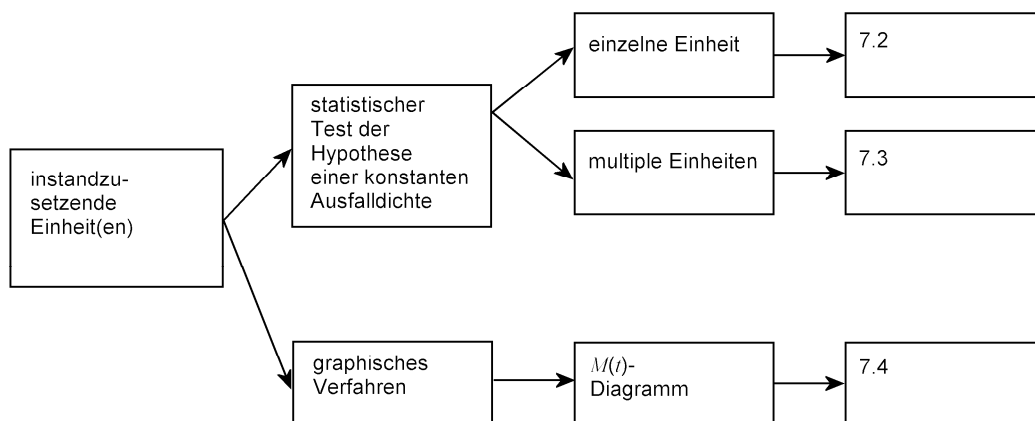


Bild 2 – Test der Hypothese einer konstanten Ausfalldichte – Gliederung des Abschnitts 7

Zwei statistische Testverfahren auf konstante Ausfalldichte werden beschrieben:

- einzelne instandzusetzende Einheiten aus einem einzigen System oder multiple Einheiten aus dem gleichen System, die in nominell identischen Umgebungen betrieben werden;
- mehrfach instandgesetzte Einheiten aus multiplen Systemen selber Art, die jedoch in unterschiedlichen Umgebungen betrieben werden.