

	DIN EN 62059-31-1 (VDE 0418-9-31-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 91.140.50 Elektrizitätszähler – Zuverlässigkeit – Teil 31-1: Zeitraffende Zuverlässigkeitsprüfung – Temperatur und Luftfeuchte erhöht (IEC 62059-31-1:2008); Deutsche Fassung EN 62059-31-1:2008 Electricity metering equipment – Dependability – Part 31-1: Accelerated reliability testing – Elevated temperature and humidity (IEC 62059-31-1:2008); German version EN 62059-31-1:2008 Equipements de comptage de l'électricité – Sûreté de fonctionnement – Partie 31-1: Essais de fiabilité accélérés – Température et humidité élevées (CEI 62059-31-1:2008); Version allemande EN 62059-31-1:2008 Gesamtumfang 97 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2008-11-01 angenommene EN 62059-31-1 gilt als DIN-Norm ab 2009-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 62059-31 (VDE 0418-9-31):2006-01.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 461 „Elektrizitätszähler“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 13 „Equipment for electrical energy measurement and load control“ erarbeitet.

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

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-191:1990 A1:1999 A2:2002	IEV Teil 191:2002-10	–
–	IEC 60300-3-5:2001	–	–
EN 61649:2008	IEC 61649, Ed. 2.0:2008	DIN EN 61649:2009-03	–
EN 61703:2002	IEC 61703, Ed. 1.0:2001	DIN EN 61703:2002-09	–
–	IEC 62059-11, Ed 1.0:2002	–	–
–	IEC 62059-21, Ed. 1.0:2002	–	–
EN 62059-41:2006	IEC 62059-41, Ed. 1.0:2006	DIN EN 62059-41 (VDE 0418-9-41):2007-01	VDE 0418-9-41
EN 62308:2007	IEC 62308, Ed. 1.0:2006	DIN EN 62308:2007-07	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61649:2009-03, *Weibull-Analyse (IEC 61649:2008); Deutsche Fassung EN 61649:2008*

DIN EN 61703, *Mathematische Ausdrücke für Begriffe der Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft (IEC 61703:2001); Deutsche Fassung EN 61703:2002.*

DIN EN 62059-41 (VDE 0418-9-41):2007-01, *Elektrizitätszähler – Zuverlässigkeit – Teil 41: Zuverlässigkeitsvorhersage (IEC 62059-41:2006); Deutsche Fassung EN 62059-41:2006*

DIN EN 62308:2007-07, *Zuverlässigkeit von Geräten – Verfahren zur Zuverlässigkeitsbewertung (IEC 62308:2006); Deutsche Fassung EN 62308:2006.*

IEV Teil 191, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 191: Zuverlässigkeit und Dienstgüte*

– Leerseite –

**Elektrizitätszähler –
Zuverlässigkeit –
Teil 31-1: Zeitraffende Zuverlässigkeitsprüfung – Temperatur und Luftfeuchte
erhöht
(IEC 62059-31-1:2008)**

Electricity metering equipment –
Dependability –
Part 31-1: Accelerated reliability testing –
Elevated temperature and humidity
(IEC 62059-31-1:2008)

Equipements de comptage de l'électricité –
Sûreté de fonctionnement –
Partie 31-1: Essais de fiabilité accélérés –
Température et humidité élevées
(CEI 62059-31-1:2008)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2008-11-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 13/1437A/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 62059-31-1, ausgearbeitet von dem IEC TC 13 „Electrical energy measurement, tariff and load control“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2008-11-01 als EN 62059-31-1 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2009-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2011-11-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62059-31-1:2008 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 61124	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61124:2006 (nicht modifiziert).
IEC 61163-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61163-1:2006 (nicht modifiziert).
IEC 61164	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61164:2004 (nicht modifiziert).
IEC 61709	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61709:1998 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe.....	9
4 Symbole und Abkürzungen.....	14
5 Beschreibung der quantitativen zeitraffenden Lebensdauerprüfungen.....	15
5.1 Einleitung	15
5.2 Die Lebensdauerverteilung	15
5.3 Das Lebensdauer-Beanspruchungsmodell.....	15
6 Die Weibull-Verteilung	16
6.1 Einleitung	16
6.2 Grafische Darstellung	16
6.3 Berechnung der Parameter der Verteilung	19
7 Das Lebensdauer-Beanspruchungsmodell.....	26
7.1 Allgemeines.....	26
7.2 Lineare Gleichung des Raffungsfaktors.....	27
7.3 Berechnung der Parameter n und E_a	28
8 Das quantitative zeitraffende Lebensdauerprüfverfahren.....	28
8.1 Auswahl der Stichproben	28
8.2 Schritte für die Schätzung der Lebensdauer kennwerte eines Produktes.....	29
8.3 Verfahren für das Beenden der Prüfung mit maximalem Beanspruchungsgrad	30
8.4 Verfahren für die Erfassung der Daten bis zum Ausfall und zur Reparatur von Zählern	30
9 Festlegung der bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen.....	31
9.1 Einleitung	31
9.2 Temperatur- und Luftfeuchtebedingungen	31
9.3 Temperaturkorrektur aufgrund von Spannungs- und Stromschwankungen.....	33
9.4 Weitere Bedingungen	35
10 Einteilung und Grundursachen von Ausfällen.....	36
11 Angabe der Ergebnisse	36
11.1 Erforderliche Angaben	36
11.2 Beispiel.....	36
12 Sonderfälle	36
12.1 Vereinfachungsfälle	36
12.2 Fälle, in denen zusätzliche Angaben notwendig sind.....	37
Anhang A (informativ) Grundlegender statistischer Hintergrund	38

	Seite
A.1 Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF)	38
A.2 Die Zuverlässigkeits- und Unzuverlässigkeitsfunktion	38
A.3 Die Ausfallratenfunktion	39
A.4 Die Funktion der mittleren Ausfalldauer	39
Anhang B (informativ) Die Kennwerte der Weibull-Verteilung	40
B.1 Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF)	40
B.2 Statistische Eigenschaften der Weibull-Verteilung	40
B.3 Auswirkungen der β - und η -Parameter	40
Anhang C (informativ) Lebensdauer-Beanspruchungsmodelle (siehe auch IEC 62308)	43
C.1 Das Arrhenius-Temperatur-Zeittraffungsmodell	43
C.2 Das Eyring-Modell	43
Anhang D (normativ) Tabellen der Rangzahlen	45
Anhang E (normativ) Werte der Gamma-Funktion $\Gamma(n)$	48
Anhang F (normativ) Berechnung der Mindestprüfdauer der Prüfung mit maximalem Beanspruchungsgrad	49
F.1 Grundlagen	49
F.2 Gleichung für die Mindestprüfdauer	52
Anhang G (informativ) Beispiel	55
G.1 Allgemeines	55
G.2 Genaue Bezeichnung des Zählertyps und Auswahl der Stichproben	55
G.4 Prüfverfahren	55
G.5 Festlegung der Beanspruchungen	56
G.5.1 Angewendete Beanspruchungen	56
G.5.2 Minstdauer der Prüfung bei 85 °C und einer relativen Luftfeuchte = 95 %	56
G.6 Ausfälle bei jedem Beanspruchungsgrad	56
G.7 Grafische Darstellung von Verteilungen bei jedem Beanspruchungsgrad und für jede unabhängige Hauptausfallart	67
G.7.1 Ausfälle der Anzeige	67
G.7.2 Q2-Ausfälle	68
G.7.3 U1-Ausfälle	69
G.8 Schätzung von Parametern der Raffungsfaktoren	70
G.8.1 Ausfälle der Anzeige	70
G.8.2 Q2-Ausfälle	70
G.8.3 U1-Ausfälle	70
G.9 Erwartete bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen	71
G.10 Temperaturkorrektur für jede unabhängige Hauptausfallart	72
G.10.1 Festlegung des bestimmungsgemäßen Gebrauchsprofils von Spannung und Strom	72
G.10.2 Messung der Innentemperatur bei jedem Strom und bei jeder Spannung	73
G.10.3 Temperaturkorrektur für Ausfälle von Anzeigen	73
G.10.4 Temperaturkorrektur für Q2-Ausfälle	75

	Seite
G.10.5 Temperaturkorrektur für U1-Ausfälle	77
G.11 Extrapolierte Weibull-Verteilung bei bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen	78
G.11.1 Numerische Ergebnisse	78
G.11.2 Grafische Darstellung der am besten passenden Weibull-Verteilungen	82
G.12 Grafische Darstellung der kumulativen Verteilung und der Vertrauensniveaus bei bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen	83
G.12.1 Numerische Ergebnisse	83
G.12.2 Endgültige kumulative Verteilung mit Vertrauensintervallen	87
G.13 Ergebnis der Lebensdauer kennwerte des Produktes	88
Literaturhinweise	90
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	93
 Bild 1 – Darstellungsbeispiel für die Weibull-Unzuverlässigkeit mit $\gamma = 3\,000$, $\beta = 1,1$ und $\eta = 10\,000$	 19
Bild 2 – Beispiel der grafischen Darstellung von $F(t)$ für den Fall einer Weibull-Verteilung	26
Bild 3 – Beispiel der regionalen klimatischen Bedingungen	31
Bild 4 – Berechnung des Jahresdurchschnitts der Gebrauchsbedingungen	32
Bild A.1 – Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion	38
Bild A.2 – Die Zuverlässigkeits- und Unzuverlässigkeitsfunktionen	39
Bild B.1 – Auswirkungen des β -Parameters auf die Weibull-Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(t)$	41
Bild B.2 – Auswirkung des η -Parameters auf die Weibull-Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(t)$	42
Bild B.3 – Auswirkung von β auf die Weibull-Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$	42
Bild F.1 – Unzuverlässigkeit bei bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen	50
Bild F.2 – Unzuverlässigkeit bei maximalem Beanspruchungsgrad	51
Bild G.1 – Grafische Darstellung von Ausfällen der Anzeige bei jedem Beanspruchungsgrad	67
Bild G.2 – Grafische Darstellung von Q2-Ausfällen bei jedem Beanspruchungsgrad	68
Bild G.3 – Grafische Darstellung von U1-Ausfällen bei jedem Beanspruchungsgrad	69
Bild G.4 – Beispiel der Klimadaten	71
Bild G.5 – Grafische Darstellung aller Ausfälle bei bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen	82
Bild G.6 – Endgültige kumulative Verteilung mit Vertrauensintervallen	87
Bild G.7 – Darstellung der Zuverlässigkeitsfunktion, extrapoliert auf bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen	88
Bild G.8 – Darstellung der Zuverlässigkeitsfunktion, extrapoliert auf bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen (erster Abschnitt vergrößert)	89
 Tabelle 1 – Herstellung der Ordinate (Y)	 17
Tabelle 2 – Herstellung der Abszisse ($t - \gamma$)	17
Tabelle 3 – In eine Tabellenkalkulation einzutragendes Format der Gleichungen	18
Tabelle 4 – Beispiel mit $\gamma = 3\,000$, $\beta = 1,1$ und $\eta = 10\,000$	18

	Seite
Tabelle 5 – Beispiel für den Prozess der Rangzahl der Dauern bis zum Ausfall.....	20
Tabelle 6 – Schätzwerte der Unzuverlässigkeit nach dem Medianrang	21
Tabelle 7 – Beispiel für die Schätzung der Unzuverlässigkeit für eine Weibull-Verteilung	24
Tabelle 8 – Beispiel der Berechnung der 90-%-Vertrauensgrenzen für eine Weibull-Verteilung	25
Tabelle 9 – Werte der linearen Gleichung	28
Tabelle 10 – Beispiel für das Verfahren der Temperaturkorrektur	35
Tabelle G.1 – Erfasste Ausfälle bei 85 °C und einer relativen Luftfeuchte von 95 %	57
Tabelle G.2 – Erfasste Ausfälle bei 85 °C und einer relativen Luftfeuchte von 85 %	59
Tabelle G.3 – Erfasste Ausfälle bei 85 °C und einer relativen Luftfeuchte von 75 %	61
Tabelle G.4 – Erfasste Ausfälle bei 75 °C und einer relativen Luftfeuchte von 95 %	63
Tabelle G.5 – Erfasste Ausfälle bei 65 °C und einer relativen Luftfeuchte von 95 %	65
Tabelle G.6 – Am besten passende Weibull-Verteilungen für Ausfälle der Anzeige	67
Tabelle G.7 – Am besten passende Weibull-Verteilungen für Q2-Ausfälle	68
Tabelle G.8 – Am besten passende Weibull-Verteilungen für U1-Ausfälle.....	69
Tabelle G.9 – Werte der linearen Gleichung für Ausfälle der Anzeige	70
Tabelle G.10 – Werte der linearen Gleichung für Q2-Ausfälle.....	70
Tabelle G.11 – Werte der linearen Gleichung für andere Ausfälle	70
Tabelle G.12 – Bestimmungsgemäßes Gebrauchsprofil von Strom und Spannung	72
Tabelle G.13 – Messung der Innentemperatur.....	73
Tabelle G.14 – Arrhenius-Raffungsfaktoren, verglichen mit der Temperatur, die bei U_n und $0,1 I_{\max}$ gemessen wurde, für Ausfälle von Anzeigen.....	74
Tabelle G.15 – Arrhenius-Raffungsfaktoren, verglichen mit der Temperatur, die bei U_n und $0,1 I_{\max}$ gemessen wurde, für Q2-Ausfälle.....	76
Tabelle G.16 – Arrhenius-Raffungsfaktoren, verglichen mit der Temperatur, die bei U_n und $0,1 I_{\max}$ gemessen wurde, für U1-Ausfälle	77
Tabelle G.17 – Ausfälle der Anzeige, extrapoliert auf bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen	79
Tabelle G.18 – Q2-Ausfälle, extrapoliert auf bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen.....	80
Tabelle G.19 – U1-Ausfälle, extrapoliert auf bestimmungsgemäße Gebrauchsbedingungen.....	81
Tabelle G.20 – Am besten passende Weibull-Verteilungen bei bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen	82
Tabelle G.21 – Ausfälle der Anzeige – Berechnung der 90-%-Vertrauensgrenzen.....	84
Tabelle G.22 – Q2-Ausfälle – Berechnung der 90-%-Vertrauensgrenzen.....	85
Tabelle G.23 – U1-Ausfälle – Berechnung der 90-%-Vertrauensgrenzen	86

Einleitung

Elektrizitätszähler sind Produkte, die unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen für eine hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer und für den Dauerbetrieb ohne Überwachung ausgelegt sind. Zur wirksamen Lenkung der Vorteile von Zählern ist es wichtig, die richtigen Werkzeuge für die Vorhersage und Schätzung der Lebensdauer kennwerte der verschiedenen Bauarten zu besitzen.

IEC 62059-41 liefert Methoden für die Vorhersage der als konstant angenommenen Ausfallrate von Elektrizitätszählern, beruhend auf dem Teilebeanspruchungsverfahren.

IEC 62059-31 vervollständigt dies mit Verfahren zur Schätzung von Lebensdauer kennwerten nach zeitraffenden Zuverlässigkeitsprüfverfahren.

Es ist praktisch unmöglich, Daten zu Lebensdauer kennwerten durch Prüfung unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen zu gewinnen. Aus diesem Grund sind zeitraffende Zuverlässigkeitsprüfverfahren anzuwenden.

Bei der zeitraffenden Zuverlässigkeitsprüfung werden Stichproben aus einer bestimmten Grundgesamtheit genommen, die außerhalb ihrer bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen so beansprucht wurden, um die Zeit bis zum Ausfall zu verkürzen, ohne jedoch dabei neue Ausfallmechanismen einzuführen.

Die Schätzung erfolgt durch Aufzeichnung und Untersuchung der Ausfälle während einer derartigen zeitraffenden Prüfung, durch Feststellung der Ausfallverteilung unter Prüfbedingungen und Anwendung von Lebensdauer-Beanspruchungsmodellen, mit denen die Ausfallverteilung unter zeitraffenden Gebrauchsbedingungen auf die bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen extrapoliert wird.

Das Verfahren liefert quantitative Ergebnisse mit ihren Vertrauensgrenzen und darf zum Vergleich der Lebensdauer kennwerte von Produkten herangezogen werden, die von verschiedenen Lieferanten oder aus unterschiedlichen Losen desselben Lieferanten stammen.

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil von IEC 62059 zeigt eines von mehreren möglichen Verfahren für die Schätzung der Lebensdauer kennwerte eines Produktes durch zeitraffende Zuverlässigkeitsprüfung.

Die Zeitraffung kann auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden. In der vorliegenden Norm wird erhöhte konstante Temperatur und Luftfeuchte für die Zeitraffung angewendet. Bei diesem Verfahren werden auch die Auswirkungen von Strom- und Spannungsschwankungen berücksichtigt.

Ausfälle, die nicht (oder nicht hinreichend) durch die Temperatur oder Luftfeuchte schneller auftreten, werden durch die Anwendung der in dieser Norm festgelegten Prüfverfahren selbstverständlich nicht erfasst.

Weitere Faktoren wie Temperaturschwankungen, Vibrationen, Staub, Spannungseinbrüche und Kurzzeitunterbrechungen, statische Entladungen, schnelle transiente Störgrößen, SpannungsschöÙe usw., die die Lebensdauer kenngrößen eines Zählers beeinflussen können, werden in dieser Norm nicht in Betracht gezogen; diese können in zukünftigen Teilen der Normen-Reihe IEC 62059 behandelt werden.

Dieses Verfahren ist für alle Bauarten von Zähleinrichtungen für die Energiemessung und Laststeuerung innerhalb des Aufgabengebietes von IEC/TC 13 anwendbar. Das Verfahren, welches in dieser Norm angegeben wird, kann zur Einschätzung (innerhalb bestimmter Vertrauensgrenzen) der Produktlebensdauer kennwerte derartiger Erfassungseinrichtungen vor und während der Serienfertigung angewendet werden. Das Verfahren darf auch zum Vergleich unterschiedlicher Konstruktionen angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60300-3-5, Ed. 1.0:2001, *Dependability management – Part 3-5: Application guide – Reliability test conditions and statistical test principles*

IEC 61649:2008, *Weibull analysis* ^{N1)}

IEC 61703, Ed. 1.0:2001, *Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms*

IEC 62059-11, Ed 1.0:2002, *Electricity metering equipment – Dependability – Part 11: General concepts*

IEC 62059-21, Ed. 1.0:2002, *Electricity metering equipment – Dependability – Part 21: Collection of meter dependability data from the field*

IEC 62059-41, Ed. 1.0:2006, *Electricity metering equipment – Dependability – Part 41: Reliability prediction*

IEC 62308, Ed. 1.0:2006, *Equipment reliability – Reliability assessment methods*

^{N1)} Nationale Fußnote: Das IEC-Corrigendum 1:2008-12 wurde eingearbeitet.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Hier wurden nur diejenigen Begriffe aufgenommen, die für das Thema von Bedeutung sind und die nicht bereits in IEC 62059-11 Aufnahme fanden.

3.1

zeitraffende Prüfung

Prüfung unter einer Beanspruchung, die gegenüber der Beanspruchung, die für die Bezugsbedingungen angegeben ist, mit dem Ziel erhöht ist, die Untersuchungsdauer zu verkürzen, die erforderlich ist, um die Reaktion der Einheit auf die Beanspruchung zu beobachten oder diese Reaktion während einer gegebenen Dauer zu vergrößern

ANMERKUNG Damit eine zeitraffende Prüfung verlässliche Ergebnisse liefert, dürfen sich dabei die Arten des Fehlzustands und der Ausfallmechanismen oder deren relative Häufigkeit nicht ändern.

[IEV 191-14-07, modifiziert]

3.2

alterungsbedingter Ausfall

Abnutzungsausfall

Ausfall, dessen Auftretenswahrscheinlichkeit im Zeitverlauf aufgrund von inhärent in der Einheit ablaufenden Vorgängen zunimmt

[IEV 191-04-09]

3.3

Einbrennen (für instandsetzbare Einheiten)

Verfahren zur Verbesserung der Hardware-Funktionsfähigkeit während der Frühausfallphase durch Betreiben jeder Einheit in einer vorgeschriebenen Umgebung mit Instandsetzung nach jedem Ausfall

[IEV 191-17-02]

3.4

Einbrennen (für nicht instandsetzbare Einheiten)

Art von Sortierprüfung beim Betreiben einer Einheit

[IEV 191-17-03]

3.5

Zensorisieren

Abschluss der Prüfung nach einer bestimmten Anzahl von Ausfällen oder nach einer bestimmten Prüfdauer, bei der es noch funktionierende Einheiten gibt

[IEC 60300-3-5, 3.1.2]

3.6

Phase konstanter Ausfalldichte

Phase in der Lebenszeit einer instandzusetzenden Einheit mit nahezu gleichbleibender Ausfalldichte

[IEV 191-10-08]

3.7

Phase konstanter Ausfallrate

Phase in der Lebenszeit einer nicht instandzusetzenden Einheit mit nahezu gleichbleibender Ausfallrate

[IEV 191-10-09]

3.8

einzuschätzende Einrichtung

EUP

der statische Elektrizitätszähler, für den eine Funktionsfähigkeitsvorhersage getroffen wird

3.9

geschätzt

bezeichnet einen als Ergebnis derjenigen Tätigkeit gewonnenen Wert, die mit dem Zweck durchgeführt wurde, aus ermittelten Stichprobenwerten den Verteilungsparametern des ausgewählten statistischen Modells der Gesamtheit, aus welcher die Stichprobe stammt, Zahlenwerte zuzuordnen

ANMERKUNG Das Ergebnis kann entweder als einzelner Zahlenwert, als Punktschätzung oder als Vertrauensbereich ausgedrückt werden.

[IEV 191-18-04, modifiziert]

3.10

extrapoliert

bezeichnet einen vorhergesagten Wert, der auf der Grundlage von Werten, die unter einer Bedingung oder einer Serie von Bedingungen beobachtet oder geschätzt wurden, unter anderen Bedingungen angewendet werden soll, etwa bezüglich Zeit, Instandhaltung und Umwelt

[IEV 191-18-03]

3.11

Ausfall

Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen

ANMERKUNG 1 Nach einem Ausfall befindet sich die Einheit in einem Fehlzustand.

ANMERKUNG 2 Der Ausfall ist ein Ereignis, im Unterschied zum Fehlzustand.

[IEV 191-04-01, modifiziert]

3.12

Ausfallursache

Umstände während der Entwurfs-, Fertigungs- oder Nutzungsphase einer Einheit, die zu einem Ausfall geführt haben

ANMERKUNG Der Begriff „Grundursache des Ausfalls“ wird angewendet und beschrieben in IEC 62059-21, Abschnitt 8.

[IEV 191-04-17, modifiziert]

3.13

Ausfallmechanismus

physikalischer, chemischer oder sonstiger Prozess, der zu einem Ausfall geführt hat

[IEV 191-04-18]

3.14

Ausfallraten-Raffungsfaktor

Verhältnis der Ausfallrate bei einer zeitraffenden Prüfung zur Ausfallrate bei einer Prüfung unter festgelegten Bezugsbedingungen

ANMERKUNG Beide Ausfallraten beziehen sich auf dieselbe Lebensphase der untersuchten Einheiten.

[IEV 191-14-11]

3.15

Fehlzustand

Zustand einer Einheit, in dem sie unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen, wobei die durch Wartung oder andere geplante Handlungen bzw. durch das Fehlen äußerer Mittel verursachte Funktionsunfähigkeit ausgeschlossen ist

ANMERKUNG Ein Fehlzustand ist oft das Ergebnis eines Ausfalls der Einheit selbst, er kann aber auch ohne vorherigen Ausfall vorhanden sein.

[IEV 191-05-01]

3.16

Art des Fehlzustandes

Fehlzustandsart

einer der möglichen Fehlzustände bezüglich einer geforderten Funktion einer fehlerhaften Einheit

ANMERKUNG 1 Es ist davon abzuraten, die Benennung „Ausfallart“ im gleichen Sinne zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Eine Einteilung hinsichtlich der funktionsbezogenen Fehlzustandsart ist in IEC 62059-21, Abschnitt 7, beschrieben.

[IEV 191-05-22, modifiziert]

3.17

(momentane) Ausfallrate

Grenzwert – falls er existiert – des Quotienten aus bedingter Wahrscheinlichkeit, dass der Zeitpunkt des Ausfalls einer nicht instandzusetzenden Einheit in ein gegebenes Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ fällt, und Dauer Δt dieses Zeitintervalls, wenn Δt gegen null geht und die Einheit bis zum Beginn des Zeitintervalls nicht ausgefallen ist

ANMERKUNG 1 Die momentane Ausfallrate wird durch die Gleichung

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

ausgedrückt; dabei sind $F(t)$ und $f(t)$ die Verteilungsfunktion und die Wahrscheinlichkeitsdichte des Ausfallzeitpunktes, $R(t)$ ist die Zuverlässigkeitsfunktion bezogen auf die Zuverlässigkeit $R(t_1, t_2)$, durch $R(t) = R(0, t)$.

ANMERKUNG 2 Ein Schätzwert für die momentane Ausfallrate kann durch Division des Verhältnisses der Anzahl der Einheiten, die während eines gegebenen Zeitintervalls ausgefallen sind, zur Anzahl der nicht ausgefallenen Einheiten zum Beginn des Zeitintervalls durch die Dauer des Zeitintervalls erhalten werden.

ANMERKUNG 3 Im Englischen wird die momentane Ausfallrate manchmal „hazard function“ genannt.

[IEV 191-12-02, modifiziert]

3.18

Betrachtungseinheit

Einheit

jede(s) Teil, Bauteil, Bauelement, Untersystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das bzw. die einzeln betrachtet werden kann

ANMERKUNG 1 Eine Betrachtungseinheit kann aus Hardware, Software oder beidem bestehen und kann in besonderen Fällen auch Personen einschließen.

ANMERKUNG 2 Eine Anzahl von Betrachtungseinheiten, z. B. eine Gesamtheit von Betrachtungseinheiten oder eine Stichprobe, kann selbst als eine Betrachtungseinheit angesehen werden.

[IEV 101-01-01]

3.19

Lebensdauerprüfung

Prüfung zum Zweck der Schätzung, Überprüfung oder des Vergleichs der Lebensdauer der Klasse zu prüfender Betrachtungseinheiten

ANMERKUNG Das Ende der Brauchbarkeitszeit wird häufig als der Zeitpunkt definiert, an dem ein bestimmter Prozentsatz nicht instandzusetzender Einheiten ausgefallen ist, oder der Zeitpunkt, an dem die Ausfalldichte bei instandzusetzenden Einheiten auf einen festgelegten Wert angestiegen ist.

3.20

mittlere Dauer bis zum Ausfall

MTTF

Erwartungswert der Verteilung der Dauern bis zum Ausfall

ANMERKUNG Der Begriff „Erwartungswert“ hat statistische Bedeutung.

[IEV 191-12-07, modifiziert]

3.21

mittlere Dauer bis zum ersten Ausfall

MTTF

Erwartungswert der Verteilung der Dauern bis zum ersten Ausfall

ANMERKUNG Der Begriff „Erwartungswert“ hat statistische Bedeutung.

[IEV 191-12-06, modifiziert]

3.22

Maßgröße (im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung)

Funktion oder Größe zur Beschreibung einer Zufallsvariablen oder eines Zufallsprozesses

ANMERKUNG Beispiele für Maßgrößen einer Zufallsvariablen sind die Verteilungsfunktion und der Mittelwert.

[IEC 191-01-11]

3.23

nicht zu wertender Ausfall

Ausfall, der nicht in die Bewertung von Prüf- oder Betriebsergebnissen oder in die Berechnung des Werts einer Maßgröße der Überlebenswahrscheinlichkeit einbezogen werden sollte

ANMERKUNG Die Kriterien für den Ausschluss sollten festgelegt sein.

[IEV 191-04-14]

3.24

nicht instandzusetzende Einheit

Einheit, die nach einem Ausfall nicht instandgesetzt wird

[IEV 191-01-03]

3.25

Betriebszeitintervall

Betriebszeit

Zeitintervall, während dessen eine Einheit in Betrieb ist

[IEV 191-09-01]

3.26

Gesamtheit

die Gesamtheit der betrachteten Einheiten

3.27

Vorhersage

Berechnungsvorgang zur Ermittlung der (des) vorhergesagten Werte(s) einer Größe

ANMERKUNG Die Benennung „Vorhersage“ kann auch zur Bezeichnung der (des) vorhergesagten Werte(s) einer Größe benutzt werden.

[IEV 191-16-01]

3.28

zu wertender Ausfall

Ausfall, der in die Bewertung von Prüf- oder Betriebsergebnissen oder in die Berechnung des Werts einer Maßgröße der Funktionsfähigkeit einbezogen werden sollte

ANMERKUNG Die Kriterien für die Einbeziehung sollten festgelegt sein.

[IEV 191-04-13]

3.29

Zuverlässigkeitsprüfung

Untersuchung, die durchgeführt wird, um eine Maßgröße der Zuverlässigkeit oder der Eigenschaft einer Einheit zu messen, zu quantifizieren oder zu klassifizieren

ANMERKUNG 1 Die Zuverlässigkeitsprüfung unterscheidet sich von der Umweltprüfung, welche das Ziel hat, nachzuweisen, dass die zu prüfenden Einheiten extreme Lagerungs-, Transport- und Gebrauchsbedingungen überleben können.

ANMERKUNG 2 Die Zuverlässigkeitsprüfung kann Umweltprüfung einschließen.

3.30

Beanspruchungsbedingung

Serie von Bedingungen, denen ein Zähler während der zeitraffenden Zuverlässigkeitsprüfung ausgesetzt wird

3.31

Beanspruchungsmodell

mathematisches Modell zur Beschreibung der Auswirkungen von wichtigen Beanspruchungen auf eine Maßgröße der Funktionsfähigkeit oder auf irgendeine andere Eigenschaft einer Einheit

[IEV 191-16-10]

3.32

Raffungsfaktor

Verhältnis der erforderlichen Dauern zur Erzielung derselben festgelegten Anzahl von Ausfällen oder Beeinträchtigungen in zwei Stichproben desselben Umfangs unter zwei unterschiedlichen Serien von Beanspruchungsbedingungen, und zwar bei gleichen Ausfallmechanismen und gleichen Arten des Fehlzustands mit gleichen relativen Häufigkeiten

ANMERKUNG Eine der beiden Serien von Beanspruchungsbedingungen sollte eine Bezugsserie sein.

[IEV 191-14-10]

3.33

Ausfallabstand

Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen einer instandzusetzenden Einheit

[IEV 191-10-03]

3.34

Dauer bis zum Ausfall

akkumulierte Dauer der Betriebszeiten einer Einheit ab Anwendungsbeginn bis zum Ausfall oder ab dem Zeitpunkt der Wiederherstellung bis zum nächsten Ausfall

[IEV 191-10-02]

3.35

Dauer bis zur Aussetzung

akkumulierte Dauer der Betriebszeiten einer nicht ausgefallenen Einheit an Anwendungsbeginn oder ab dem Zeitpunkt der Wiederherstellung, bis die Prüfung beendet (zensoriert) wird

3.36

Gebrauchsbedingung

Serie von Bedingungen, denen der Zähler üblicherweise ausgesetzt wird

4 Symbole und Abkürzungen

Symbol/ Abkürzung	Bedeutung
A	Konstante, die im Lebensdauer-Beanspruchungsmodell verwendet wird (z. B. im inversen Potenzgesetz oder Coffin-Manson-Gesetz oder Peckschen Temperatur-Luftfeuchte-Modell)
$AccThr$	Annahmeschwellenwert
AF	Raffungsfaktor
CL	Vertrauensniveau
E_a	Aktivierungsenergie in eV
$f(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) der (Betriebs-)Dauer bis zum Ausfall
$F(t)$	Unzuverlässigkeitsfunktion, d. h. Wahrscheinlichkeit des Ausfalls bis zum Zeitpunkt t oder Bruchteil der Einheiten, die bis zum Zeitpunkt t ausgefallen sind
k	Boltzmann-Konstante ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/K)
MRR	Medianrangregression
n	Exponentkennzahl des Produkts (im Peckschen Temperatur-Luftfeuchte-Modell)
N	Anzahl der Einheiten, die einer Zuverlässigkeitsprüfung unterzogen werden
p	Anzahl der Einheiten, die am Ende der Zuverlässigkeitsprüfung ausgefallen sind
pdf	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
q	Anzahl der Einheiten, die am Ende der Zuverlässigkeitsprüfung nicht ausgefallen sind
r	Reaktionsrate (im Arrhenius-Modell)
r_0	Konstante (im Arrhenius-Modell)
$R(t)$	Zuverlässigkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit des Überlebens bis zum Zeitpunkt t oder Bruchteil der Einheiten, die bis zum Zeitpunkt t nicht ausgefallen sind
R	Korrelationskoeffizient
RH	Relative Luftfeuchte in Prozent
RH_s	Relative Luftfeuchte in Prozent unter Beanspruchungsbedingungen
RH_u	Relative Luftfeuchte in Prozent unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen
S	Wirkende Beanspruchung (im Eyring-Modell)
t	Betriebszeit bis zum Ausfall in h
t_s	Dauer bis zum Ausfall bei der Beanspruchungstemperatur T_s
t_u	Dauer bis zum Ausfall bei der bestimmungsgemäßen Gebrauchstemperatur T_u
T	Reaktionstemperatur in K
T_s	Beanspruchungstemperatur
TTF_i	Beobachtete Dauer bis zum Ausfall der i -ten ausgefallenen Einheit
TTS_j	Beobachtete Dauer bis zum Ausschließen der j -ten nicht ausgefallenen Einheit
T_u	Bestimmungsgemäße Gebrauchstemperatur
$U5_i$	Unzuverlässigkeit der Ordnung i mit einem Vertrauensniveau von 5 % bei einer Stichprobe aus N Einheiten
$TTF5_i$	Dauer bis zum Ausfall entsprechend zu $U5_i$
$U50_i$	Medianrang des i -ten Ausfalls oder Schätzwert der Unzuverlässigkeit des i -ten Ausfalls (bei Rang i) bei einer Stichprobe aus N Einheiten mit einem Vertrauensniveau von 50 %
$U95_i$	Unzuverlässigkeit bei Rang i bei einem Vertrauensniveau von 95 % bei einer Stichprobe aus N Einheiten
$TTF95_i$	Dauer bis zum Ausfall, entsprechend zu $U95_i$
β	Weibull-Profilparameter
η	Weibull-Lebensdauer- oder Skalenparameter
γ	Lageparameter in h
$\lambda(t)$	Momentane Ausfallratenfunktion, auch bezeichnet als „hazard rate“-Funktion

5 Beschreibung der quantitativen zeitraffenden Lebensdauerprüfungen

5.1 Einleitung

Die quantitative zeitraffende Lebensdauerprüfung kann entweder mit der *Anwendungsratenzeitraffung* oder *Überbeanspruchungszeitraffung* ausgeführt werden.

Bei Betriebsmitteln, die nicht im Dauerbetrieb arbeiten, kann die Zeitraffung durch einen Dauerbetrieb erzielt werden. Dies ist die *Anwendungsratenzeitraffung*. Sie kann bei Elektrizitätszählern im Regelfall nicht angewendet werden, weil sie unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen kontinuierlich arbeiten und messen. Deshalb wird die Anwendungsratenzeitraffung in dieser Norm nicht betrachtet.

Die zweite Form der Zeitraffung kann durch Beanspruchung des Betriebsmittels erreicht werden; dies ist die *Überbeanspruchungszeitraffung*. Dabei werden Beanspruchungen angewendet, bei denen die Bedingungen für den bestimmungsgemäßen Betrieb überschritten werden. Die unter derartigen Bedingungen erfassten Daten für die Dauer bis zum Ausfall werden anschließend für die Extrapolation auf Gebrauchsbedingungen verwendet. Die zeitraffenden Lebensdauerprüfungen können bei hohen oder niedrigen Werten von Temperatur, Luftfeuchte, Strom und Spannung durchgeführt werden, um die Ausfallmechanismen zu beschleunigen oder anzuregen. Sie können auch mit Kombinationen dieser Beanspruchungen durchgeführt werden.

Bei der Festlegung der Beanspruchung(en) und Beanspruchungsgrade ist mit Sorgfalt vorzugehen: sie sollten keine Ausfallarten aufzeigen, die unter bestimmungsgemäßen Bedingungen niemals auftreten würden. Siehe [12.2.2](#).

Die zeitraffende Zuverlässigkeitsprüfung beruht auf zwei Hauptmodellen: der *Lebensdauerverteilung* des Produktes, bei der das Produkt bei jedem Beanspruchungsgrad beschrieben wird, und das *Lebensdauer-Beanspruchungsmodell*.

5.2 Die Lebensdauerverteilung

Die Lebensdauerverteilung ist eine statistische Verteilung, welche für ein Produkt die Dauer bis zum Ausfall beschreibt. Das Ziel der zeitraffenden Lebensdauerprüfung besteht darin, diese Lebensdauerverteilung unter bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen zu liefern; diese Lebensdauerverteilung ist die Anwendungsgrad-Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion – oder WDF – der Dauer bis zum Ausfall eines Produktes. In [Anhang A](#) wird das statistische Konzept der WDF und der grundlegende statistische Hintergrund beschrieben, der für die Untersuchung der Lebensdauerdaten angewendet wird.

Wenn die Anwendungsgrad-Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Dauer bis zum Ausfall eines Produktes erst einmal vorliegt, können alle weiteren gewünschten Zuverlässigkeitsaussagen leicht bestimmt werden. Bei der typischen Datenauswertung kann die Anwendungsgrad-WDF der Dauer bis zum Ausfall anhand von üblichen Daten der Dauer bis zum Ausfall und einer zugrunde liegenden Verteilung – wie einer Weibull-Verteilung – ohne Schwierigkeiten bestimmt werden. Siehe [Abschnitt 9](#).

Bei der zeitraffenden Lebensdauerprüfung besteht die Herausforderung darin, die WDF unter bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen aus den Daten der zeitraffenden Lebensdauerprüfung zu bestimmen und nicht aus den Daten der Dauer bis zum Ausfall, die unter Gebrauchsbedingungen bestimmt worden sind. Dazu wird ein Extrapolationsverfahren angewendet, um die unter zeitraffenden Bedingungen erfassten Daten zu extrapolieren und einen Schätzwert der Kennwerte unter bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen zu liefern.

5.3 Das Lebensdauer-Beanspruchungsmodell

Das Lebensdauer-Beanspruchungsmodell erfasst zahlenmäßig, wie sich die Lebensdauerverteilung bei verschiedenen Beanspruchungsgraden verändert.

Die Kombination aus einer zugrunde liegenden Lebensdauerverteilung und einem Lebensdauer-Beanspruchungsmodell mit den Daten der Dauer bis zum Ausfall, die bei verschiedenen Beanspruchungsgraden

ermittelt wurden, liefert einen Schätzwert der Kennwerte unter bestimmungsgemäßen Gebrauchsbedingungen.

Die am häufigsten angewendeten Lebensdauer-Beanspruchungsmodelle sind:

- das Arrhenius-Temperatur-Zeittraffungsmodell (siehe [C.1](#)) und
- das Eyring-Modell (siehe [C.2](#)).

6 Die Weibull-Verteilung

6.1 Einleitung

In diesem Abschnitt werden die numerischen und grafischen Verfahren beschrieben, die für das Auftragen der Daten, für die Prüfung der Güte der Anpassung, für die Schätzung der Parameter der Lebensdauer-Verteilung und für das Auftragen der Vertrauensgrenzen anzuwenden sind.

Für Zuverlässigkeitsuntersuchungen ist die Weibull-Verteilung eine der am häufigsten angewendeten Verteilungstypen. Sie kann zur Modellierung der Werkstofffestigkeit, der Daten der Dauer bis zum Ausfall von elektronischen und mechanischen Bauteilen, von Einrichtungen oder Systemen angewendet werden.

Die Hauptkennwerte der Weibull-Verteilung werden in [Anhang B](#) dargestellt.

6.2 Grafische Darstellung

Für eine lineare Darstellung ist die Weibull-Unzuverlässigkeitsfunktion zuerst in eine lineare Form zu transformieren. Ausgehend von der Unzuverlässigkeitsfunktion:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

erhält man:

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln\{-\ln(1 - F(t))\} = \beta \ln\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right) = -\beta \ln(\eta) + \beta \ln(t - \gamma)$$

Dies kann ausgedrückt werden als:

$$y = A + Bx \quad \text{mit} \quad y = \ln\{-\ln(1 - F(t))\}, \quad A = -\beta \ln(\eta), \quad B = \beta \quad \text{und} \quad x = \ln(t - \gamma).$$

Diese Gleichung zeigt, dass die Unzuverlässigkeitsfunktion eine gerade Linie sein sollte, wenn sie auf einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen wird, wobei die Unzuverlässigkeit auf einer doppel-logarithmisch inversen Skala über $(t - \gamma)$ auf einer logarithmischen Skala aufgetragen wird. Das heißt mit anderen Worten, wenn die Unzuverlässigkeitsdaten auf einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen werden und sich einer geraden Linie anpassen, dann unterstützt es die Behauptung, dass die vorliegende Verteilung eine Weibull-Verteilung ist.

β , der Formparameter, ergibt den Anstieg der Unzuverlässigkeitsfunktion, wenn sie auf einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt wird.

Das Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz kann entsprechend den Angaben in den [Tabellen 1 bis 4](#) wie folgt hergestellt werden.

Tabelle 1 – Herstellung der Ordinate (Y)

$R(t)$	$F(t)$	$\ln(-\ln(1-F(t)))$	Ordinate Y ($\ln(-\ln(1-F(t))) + 4,60$)	$R(t)$	$F(t)$	$\ln(-\ln(1-F(t)))$	Ordinate Y ($\ln(-\ln(1-F(t))) + 4,60$)
0,99	0,01	-4,60	0,00	0,8	0,2	-1,50	3,10
0,98	0,02	-3,90	0,70	0,7	0,3	-1,03	3,57
0,97	0,03	-3,49	1,11	0,6	0,4	-0,67	3,93
0,96	0,04	-3,20	1,40	0,5	0,5	-0,37	4,23
0,95	0,05	-2,97	1,63	0,4	0,6	-0,09	4,51
0,94	0,06	-2,78	1,82	0,3	0,7	0,19	4,79
0,93	0,07	-2,62	1,98	0,2	0,8	0,48	5,08
0,92	0,08	-2,48	2,12	0,1	0,9	0,83	5,43
0,91	0,09	-2,36	2,24	0,01	0,99	1,53	6,13
0,9	0,1	-2,25	2,35				

Tabelle 2 – Herstellung der Abszisse ($t - \gamma$)

$t - \gamma$ h	$\ln(t - \gamma)$	Abszisse $\ln(t - \gamma) - 2,30$	$t - \gamma$ h	$\ln(t - \gamma)$	Abszisse $\ln(t - \gamma) - 2,30$	$t - \gamma$ h	$\ln(t - \gamma)$	Abszisse $\ln(t - \gamma) - 2,30$
10	2,30	0,00	200	5,30	3,00	3 000	8,01	5,71
20	3,00	0,70	300	5,70	3,40	4 000	8,29	5,99
30	3,40	1,10	400	5,99	3,69	5 000	8,52	6,22
40	3,69	1,39	500	6,21	3,91	6 000	8,70	6,40
50	3,91	1,61	600	6,40	4,10	7 000	8,85	6,55
60	4,09	1,79	700	6,55	4,25	8 000	8,99	6,69
70	4,25	1,95	800	6,68	4,38	9 000	9,10	6,80
80	4,38	2,08	900	6,80	4,50	10 000	9,21	6,91
90	4,50	2,20	1 000	6,91	4,61	20 000	9,90	7,60
100	4,61	2,31	2 000	7,60	5,30	30 000	10,31	8,01

Tabelle 3 – In eine Tabellenkalkulation einzutragendes Format der Gleichungen

	A	B	C	D	E
1	Gamma =				
2	Beta =				
3	Eta =				
4	t	(t-γ) abscissa	1-F(t)	ln(-ln(1-F(t)))	Ordinate Y
5	(hours)	(ln(t-Gamma)-2,3)			
6	100	LN(A6-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A6-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C6))	D6+4,6
7	330	LN(A7-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A7-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C7))	D7+4,6
8	1000	LN(A8-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A8-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C8))	D8+4,6
9	2000	LN(A9-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A9-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C9))	D9+4,6
10	3000	LN(A10-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A10-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C10))	D10+4,6
11	4000	LN(A11-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A11-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C11))	D11+4,6
12	5000	LN(A12-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A12-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C12))	D12+4,6
13	6000	LN(A13-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A13-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C13))	D13+4,6
14	7000	LN(A14-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A14-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C14))	D14+4,6
15	8000	LN(A15-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A15-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C15))	D15+4,6
16	9000	LN(A16-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A16-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C16))	D16+4,6
17	10000	LN(A17-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A17-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C17))	D17+4,6
18	11000	LN(A18-Gamma)-2,3	EXP(-POWER((A18-Gamma)/Eta;Beta))	LN(-LN(C18))	D18+4,6

Tabelle 4 – Beispiel mit $\gamma = 3\,000$, $\beta = 1,1$ und $\eta = 10\,000$

Gamma =	3 000				
Beta =	1,1				
Eta =	10 000				
t (h)	Abszisse (t - γ)	R(t)	F(t)	ln(-ln(1-F(t)))	Ordinate Y
3 300	3,40	0,98	0,02	-3,86	0,74
4 000	4,61	0,92	0,08	-2,53	2,07
6 000	5,71	0,77	0,23	-1,32	3,28
8 000	6,22	0,63	0,37	-0,76	3,84
10 000	6,55	0,51	0,49	-0,39	4,21
12 000	6,80	0,41	0,59	-0,12	4,48
14 000	7,01	0,33	0,67	0,10	4,70
16 000	7,17	0,26	0,74	0,29	4,89
18 000	7,32	0,21	0,79	0,45	5,05
20 000	7,44	0,17	0,83	0,58	5,18
22 000	7,55	0,13	0,87	0,71	5,31
24 000	7,65	0,10	0,90	0,82	5,42
28 000	7,83	0,06	0,94	1,01	5,61

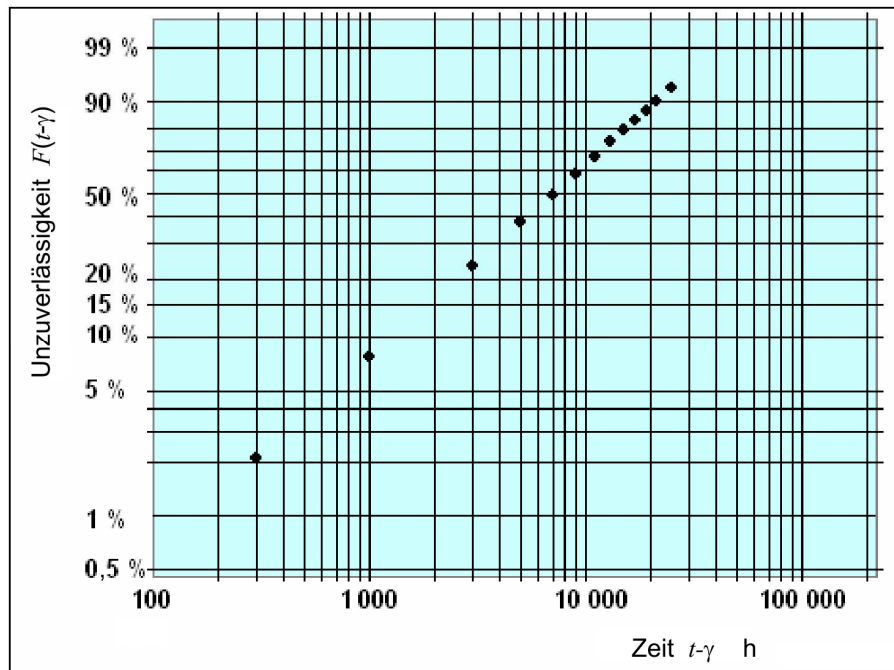


Bild 1 – Darstellungsbeispiel für die Weibull-Unzuverlässigkeit
mit $\gamma = 3\,000$, $\beta = 1,1$ und $\eta = 10\,000$

6.3 Berechnung der Parameter der Verteilung

6.3.1 Zu verwendende Eingabedaten

Bei der Untersuchung von Lebensdauerdaten aus einer zeitraffenden Zuverlässigkeitsprüfung ist es notwendig, die Daten der Einheiten aufzunehmen, die ausgefallen sind, und auch die Daten der Einheiten, die nicht ausgefallen sind. Die Daten der Einheiten, die nicht ausgefallen sind, werden als zensurierte Daten bezeichnet (siehe IEC 60300-3-5, 8.3).

Wenn von allen geprüften Einheiten die Dauern bis zum Ausfall beobachtet worden sind, dann werden die Daten als vollständig bezeichnet. In diesem Fall sind alle während der Prüfung erfassten Daten die Dauern bis zum Ausfall der Einheiten. Wenn jedoch zum Ende der Prüfung Einheiten noch nicht ausgefallen sind, dann werden die Beobachtungen als zensuriert bezeichnet:

- Wenn die Prüfung nach einer Dauer t abgeschlossen wird, dann werden die Daten für die Einheiten, die nicht ausgefallen sind, als zeitzensuriert bezeichnet. Die erfassten Daten sind t .
- Wenn die Prüfung abgeschlossen wird, nachdem eine festgelegte Anzahl von Ausfällen aufgetreten ist, dann werden die Daten für diese Einheiten als ausfallzensuriert bezeichnet. Die erfassten Daten sind die Dauer bis zum Ausfall von der Einheit, die zuletzt ausgefallen ist, zuzüglich einer Zeiteinheit (um sie von den Einheiten zu unterscheiden, die nach der letzten nicht ausgefallen sind).

Während einer zeitraffenden Zuverlässigkeitsprüfung:

- wenn die Prüfung des Zustandes (ausgefallen/nicht ausgefallen) der zu prüfenden Einheiten nicht kontinuierlich, sondern in Abständen mit einem Zeitintervall IT zwischen den Untersuchungen erfolgt,
- und wenn p Einheiten während des n -ten Zeitintervalls ausfallen,
- dann sind die für die Ausfallzeiten erfassten Werte: $(n \times IT) - (p \times IT / (p + 1))$, $(n \times IT) - ((p - 1) \times IT / (p + 1))$, ... $(n \times IT) - (2 \times IT / (p + 1))$, $(n \times IT) - (IT / (p + 1))$.

6.3.2 Rangzahl der Dauern bis zum Ausfall

Es wird angenommen, dass eine Zuverlässigkeitsprüfung an einer Stichprobengröße von N Einheiten durchgeführt wird. Am Ende der Prüfung sind:

- p Einheiten ausgefallen: Alle Dauern bis zum Ausfall dieser Einheiten werden erfasst. Diese Dauern bis zum Ausfall werden aufgezeichnet: $TTF_1, TTF_2, \dots, TTF_i, \dots, TTF_p$;
- q Einheiten nicht ausgefallen: Diese Einheiten werden herausgenommen zu den Zeitpunkten: $TTS_1, TTS_2, \dots, TTS_j, \dots, TTS_q$.

Der Prozess für die Rangzahl der Dauern bis zum Ausfall besteht in der Anordnung aller Dauern bis zum Ausfall TTF_i und aller Zeiten bis zur Einstellung TTS_j in aufsteigender Reihenfolge und Berechnung der angepassten Rangzahlen aller ausgefallenen Einheiten, um den Einfluss der nicht ausgefallenen Einheiten zu berücksichtigen.

Die angepasste Rangzahl für jede ausgefallene Einheit wird nach der folgenden Gleichung berechnet (siehe IEC 61649):

$$\text{Angepasste Rangzahl} = \frac{((\text{Entgegengesetzte Rangzahl}) \times (\text{Vorherige angepasste Rangzahl})) + (N + 1)}{(\text{Entgegengesetzte Rangzahl}) + 1}$$

In Tabelle 5 wird ein Beispiel für den Prozess für die Rangzahl gegeben: 8 Einheiten sind nacheinander bei 500, 1 200, 1 500, 2 300, 4 500, 5 600, 6 300 und 8 400 Stunden ausgefallen. 2 Einheiten wurden nach 700 und 4 200 Stunden herausgenommen.

Tabelle 5 – Beispiel für den Prozess der Rangzahl der Dauern bis zum Ausfall

Rangzahl	Dauer	Entgegengesetzte Rangzahl	Angepasste Rangzahl
1	500F	10	1
2	700C	9	Herausgenommen
3	1 200F	8	$[(8 \times 1) + (10 + 1)] / (8 + 1) = 2,111$
4	1 500F	7	$[(7 \times 2,111) + (10 + 1)] / (7 + 1) = 3,222$
5	2 300F	6	$[(6 \times 3,222) + (10 + 1)] / (6 + 1) = 4,333$
6	4 200C	5	Herausgenommen
7	4 500F	4	$[(4 \times 4,333) + (10 + 1)] / (4 + 1) = 5,666$
8	5 600F	3	$[(3 \times 5,666) + (10 + 1)] / (3 + 1) = 7$
9	6 300F	2	$[(2 \times 7) + (10 + 1)] / (2 + 1) = 8,333$
10	8 400F	1	$[(1 \times 8,333) + (10 + 1)] / (1 + 1) = 9,666$

6.3.3 Schätzwerte der Zuverlässigkeit/Unzuverlässigkeit

Der nächste Schritt für die Schätzung der Unzuverlässigkeit für jede Dauer bis zum Ausfall erfolgt durch Berechnung des entsprechenden Medianranges.

Der als U_{50_i} bezeichnete Medianrang (Unzuverlässigkeit am i -ten Ausfall mit einem Vertrauensniveau von 50 %) ist die wahre Wahrscheinlichkeit des Ausfalls $F(t_i)$ oder der Schätzwert der Unzuverlässigkeit am i -ten Ausfall in einer Stichprobe aus N Einheiten mit einem Vertrauensniveau von 50 %. U_{50_i} ist der Schätzwert des kumulativen Anteils der Einheiten, die bis zur Dauer TTF_i ausfallen werden, dabei ist TTF_i die Dauer bis zum i -ten Ausfall.

Dieser Wert wird durch Lösen der kumulativen Binomialverteilung für X erhalten:

$$CL = \sum_{j=1}^N C_j^N X^j (1-X)^{N-j}$$

Dabei ist CL das Vertrauensniveau ($0 < CL < 1$), N ist die Stichprobengröße und i ist die Ordnungszahl (oder die angepasste Rangzahl, wie in 6.3.2 beschrieben).

Für den Medianrang gilt $CL = 0,5$. Mit anderen Worten, $CL = 0,5$ bedeutet, dass die Hälfte der Grundgesamtheit mehr (oder weniger) als den Medianrang ausmachen.

Rangtabellen sind in [Anhang D](#) angegeben.

Ein Beispiel für die Schätzwerte der Unzuverlässigkeit unter Verwendung von Medianrängen wird nachfolgend in Tabelle 6 angegeben. Bei angepassten Rangzahlen, die nicht ein Vielfaches von 0,5 sind, wird zwischen den zwei am dichtesten zusammen liegenden Werten der Rangtabellen eine lineare Interpolation durchgeführt.

Tabelle 6 – Schätzwerte der Unzuverlässigkeit nach dem Medianrang

Rang	Dauer	Angepasste Rangzahl	Schätzwert der Unzuverlässigkeit (Medianrang für 10 Stichproben)	Schätzwert der Zuverlässigkeit
1	500F	1	0,067	0,933
2	700C	Herausgenommen		
3	1 200F	2,111	$0,1623 + (0,111 \times (0,2104 - 0,1623)/0,5) = 0,1729$	0,8271
4	1 500F	3,222	$0,2586 + (0,222 \times (0,3068 - 0,2586)/0,5) = 0,28$	0,72
5	2 300F	4,333	$0,3551 + (0,333 \times (0,4034 - 0,3551)/0,5) = 0,3872$	0,6128
6	4 200C	Herausgenommen		
7	4 500F	5,666	$0,50 + (0,166 \times (0,5483 - 0,5)/0,5) = 0,516$	0,484
8	5 600F	7	0,6449	0,3551
9	6 300F	8,333	$0,7414 + (0,333 \times (0,7896 - 0,7414)/0,5) = 0,7735$	0,2265
10	8 400F	9,666	$0,8857 + (0,166 \times (0,933 - 0,8857)/0,5) = 0,9014$	0,0986

6.3.4 Berechnung der Parameter

6.3.4.1 Allgemeines

Sind die Rangzahlen der Dauern bis zum Ausfall erst einmal aufgestellt und ist für jede Dauer bis zum Ausfall die Zuverlässigkeit/Unzuverlässigkeit geschätzt worden, sind alle Daten vorbereitet, um die grafische Darstellung zu konstruieren und die Parameter der Verteilung nach dem in 6.2 beschriebenen Verfahren zu berechnen.

Die Parameter A und B der Gleichung $y = Ax + B$ können nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate/Rangregressionsrechnung der y_i - und x_i -Daten geschätzt werden, dabei sind:

- $x_i = \ln(TTF_i)$;
- $y_i = \ln(-\ln(1-F(TTF_i)))$.

6.3.4.2 Berechnung der Parameter A, B und des Bestimmtheitskoeffizienten

Nach der Methode der kleinsten Abweichungsquadrate/Rangregressionsrechnung, nach der der vertikale Abstand zwischen den Datenpunkten auf ein Minimum verringert und die gerade Linie an die Daten angepasst wird, ist die am besten passende gerade Linie eine Gerade $y = Ax + B$, so dass F ein Minimum ist, dabei ist:

$$F = \sum_{i=1}^p (A + Bx_i - y_i)^2$$

und p ist die Anzahl der Einheiten, die während der Prüfung ausgefallen sind.

Durch Lösen der Gleichungen $\frac{dF}{dA} = 0$ und $\frac{dF}{dB} = 0$ erhält man:

Schätzung von B :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^p x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^p x_i \sum_{i=1}^p y_i}{p}}{\sum_{i=1}^p x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^p x_i\right)^2}{p}}$$

Schätzung von A :

$$A = \frac{\sum_{i=1}^p y_i}{p} - B \frac{\sum_{i=1}^p x_i}{p}$$

Schätzung des Bestimmtheitskoeffizienten R^2 :

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^p x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^p x_i \sum_{i=1}^p y_i}{p} \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^p x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^p x_i\right)^2}{p} \right) \left(\sum_{i=1}^p y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^p y_i\right)^2}{p} \right)}$$

R^2 liefert einen Hinweis auf die Güte der Rangregression.

Die Prüfung der Güte der Anpassung besteht in der Überprüfung, dass R^2 größer oder gleich dem Annahmeschwellenwert $AccThr$ ist.

Nach der von Carl D. Tarum geschriebenen Abhandlung „Determination of the critical correlation coefficient to establish a good fit for Weibull and Log-Normal Failure Distributions“ (siehe Literaturhinweise), hängt $AccThr$ von der Anzahl der beobachteten Ausfälle (p) ab:

- $AccThr = \left(1 - e^{-\left(\frac{p}{0,0399} \right)^{0,177}} \right)^2$ für eine 2-Parameter-Weibull-Funktion (β, η);
- $AccThr = \left(1 - e^{-\left(\frac{p}{0,00239} \right)^{0,146}} \right)^2$ für eine 3-Parameter-Weibull-Funktion (γ, β, η).

Wenn R^2 größer oder gleich $AccThr$ bei einer 2-Parameter-Weibull-Funktion ist, dann ist dies ein Nachweis dafür, dass die Daten aus einer 2-Parameter-Weibull-Verteilung kommen. Wenn R^2 bei einer 2-Parameter-Weibull-Funktion kleiner als $AccThr$ ist, muss die folgende Untersuchung durchgeführt werden.

- Wenn die grafische Darstellung eine Krümmung zeigt, als ob die Dauer nicht bei null beginnt, dann ist der Lageparameter γ in diesen Prozess einzuführen. Durch Simulationen von γ ist der Wert zu bestimmen, der den höchsten Wert für R^2 ergibt. Wenn R^2 bei einer 3-Parameter-Weibull-Funktion viel größer wird als $ThrAcc$, dann ist dies ein Nachweis dafür, dass die Daten aus einer 3-Parameter-Weibull-Verteilung kommen. Es sollte eine gute physikalische Erläuterung gegeben werden, warum die Ausfälle nicht vor einer Dauer gleich γ auftreten können.
- Es ist zu überprüfen, ob die grafische Darstellung mehr als eine Ausfallart enthält. Wenn das so ist, sollte jede Ausfallart einzeln aufgetragen und anschließend zusammengelegt werden (siehe Mischung von Ausfallarten in IEC 61649).
- Wenn einige Punkte weitab der Ausgleichsgeraden liegen, ist für diese Punkte eine detailliertere Analyse der Ausfälle durchzuführen.

6.3.4.3 Berechnung der Parameter für die Weibull-Verteilung

Für ein Vertrauensniveau von 50 %:

Die Parameter β und η können nach den aus 6.2 erhaltenen folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\beta = B \quad \text{und} \quad \eta = e^{-\frac{A}{B}}.$$

90%-Grenzen des Vertrauensintervalls:

Die 90%-Grenzen des Vertrauensintervalls legen die Grenzwerte fest, die 90 % der erwarteten Schwankungsbreite der Unzuverlässigkeit enthalten. Mit anderen Worten, diese Grenzwerte werden die wahre Zuverlässigkeit mit einer Häufigkeit von 90 % enthalten.

Wenn wir notieren:

- N ist die Anzahl der zu prüfenden Einheiten;
- $U50_i$ ist die Unzuverlässigkeit am Rang i mit einem Vertrauensniveau von 50 % an einer Stichprobe aus N Einheiten (Erhalten nach [Anhang D](#), Stichprobengröße N , Spalte 50 %, Zeile i);
- $U5_i$ ist die Unzuverlässigkeit am Rang i mit einem Vertrauensniveau von 5 % an einer Stichprobe aus N Einheiten (Erhalten nach [Anhang D](#), Stichprobengröße N , Spalte 5 %, Zeile i);
- $U95_i$ ist die Unzuverlässigkeit am Rang i mit einem Vertrauensniveau von 95 % an einer Stichprobe aus N Einheiten (Erhalten nach [Anhang D](#), Stichprobengröße N , Spalte 95 %, Zeile i).

Für jeden Schätzwert der Unzuverlässigkeit $U50_i$ sind die entsprechende Dauer bis zum Ausfall für ein Vertrauensniveau von 95 %, $TTF95_i$, und die entsprechende Dauer bis zum Ausfall für ein Vertrauensniveau von 5 %, $TTF5_i$, aus den folgenden Gleichungen zu berechnen:

$$TTF95_i - \gamma = \eta (-\ln(1 - U95_i))^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{und} \quad TTF5_i - \gamma = \eta (-\ln(1 - U5_i))^{\frac{1}{\beta}}$$

Anschließend sind alle Paare $(TTF95_i, U50_i)$ und $(TTF5_i, U50_i)$ aufzutragen, um die Grenzen des 90%-Vertrauensintervalls darzustellen.

Beispiel für die Berechnung der Parameter einer Weibull-Verteilung:

Eine Stichprobe aus 10 Einheiten wurde einer Zuverlässigkeitsprüfung unterzogen, bis alle Einheiten ausgefallen waren. Die gemessenen Dauern bis zum Ausfall betrugen 475, 510, 550, 690, 850, 1 010, 1 090, 1 190, 2 100 und 2 800 Stunden.

Tabelle 7 enthält die Ergebnisse für die Schätzung der Unzuverlässigkeit.

Tabelle 7 – Beispiel für die Schätzung der Unzuverlässigkeit für eine Weibull-Verteilung

Rangzahl	Dauer	Unzuverlässigkeit
1	475F	0,067
2	510F	0,162 3
3	550F	0,258 6
4	690F	0,355 1
5	850F	0,451 7
6	1 010F	0,548 3
7	1 090F	0,644 9
8	1 190F	0,741 4
9	2 100F	0,837 7
10	2 800F	0,933 0

Die Berechnung von R^2 nach den kleinsten Abweichungsquadraten/Rangregression liefert $R^2 = 0,857 7$. Bei einer 2-Parameter-Weibull-Funktion mit 10 beobachteten Ausfällen beträgt der Annahmeschwellenwert $AccThr = 0,864 7$. Das Ergebnis der Prüfung der Anpassungsgüte ist „Zurückgewiesen“.

Durch Erhöhen von γ von null ist zu beachten, dass R^2 ansteigt und bei $\gamma = 461$ ein Maximum erreicht. Mit $\gamma = 461$ liefert die Berechnung nach den kleinsten Abweichungsquadraten/Rangregression von β , η und R^2 :

- $\beta = 0,693$;
- $\eta = 631$;
- $R^2 = 0,987 4$.

Bei einer 3-Parameter-Weibull-Funktion mit 10 beobachteten Ausfällen beträgt der Annahmeschwellenwert $AccThr = 0,932 9$. Das Ergebnis der Prüfung der Anpassungsgüte ist „Angenommen“ (für die Annahme eines von null abweichenden Wertes von γ sollte eine gute physikalische Erläuterung gegeben werden, warum Ausfälle nicht vor einer Dauer gleich γ auftreten können).

Tabelle 8 enthält die Ergebnisse der Berechnung der Grenzen des 90%-Vertrauensintervalls für eine Weibull-Verteilung, die durch $\beta = 0,693$, $\eta = 631$ und $\gamma = 461$ definiert ist.

Tabelle 8 – Beispiel der Berechnung der 90-%-Vertrauensgrenzen für eine Weibull-Verteilung

Ordnungs- nummer	$U5_i$	$TTF5_i - \gamma$	$U95_i$	$TTF95_i - \gamma$	$U50_i$
0,5	0,000 2	0	0,170 8	56	0,021 9
1,0	0,005 1	0	0,258 9	111	0,067 0
1,5	0,017 9	2	0,330 6	169	0,114 3
2,0	0,036 8	6	0,394 2	233	0,162 3
2,5	0,060 2	11	0,452 5	304	0,210 4
3,0	0,087 3	20	0,506 9	383	0,258 6
3,5	0,117 3	31	0,558 1	471	0,306 8
4,0	0,150 0	46	0,606 6	571	0,355 1
4,5	0,185 1	64	0,652 7	684	0,403 4
5,0	0,222 4	86	0,696 5	813	0,451 7
5,5	0,261 9	113	0,738 1	962	0,500 0
6,0	0,308 5	150	0,777 6	1 136	0,548 3
6,5	0,347 3	185	0,814 9	1 341	0,596 6
7,0	0,393 4	232	0,850 0	1 588	0,644 9
7,5	0,441 9	290	0,882 7	1 893	0,693 2
8,0	0,493 1	362	0,912 7	2 280	0,741 4
8,5	0,547 5	452	0,939 8	2 798	0,789 6
9,0	0,605 8	569	0,963 2	3 531	0,837 7
9,5	0,669 4	730	0,982 1	4 693	0,885 7
10,0	0,741 1	974	0,994 9	6 942	0,933 0

Die grafische Darstellung der entsprechenden Unsicherheitsfunktion ist im nachfolgenden [Bild 2](#) dargestellt.

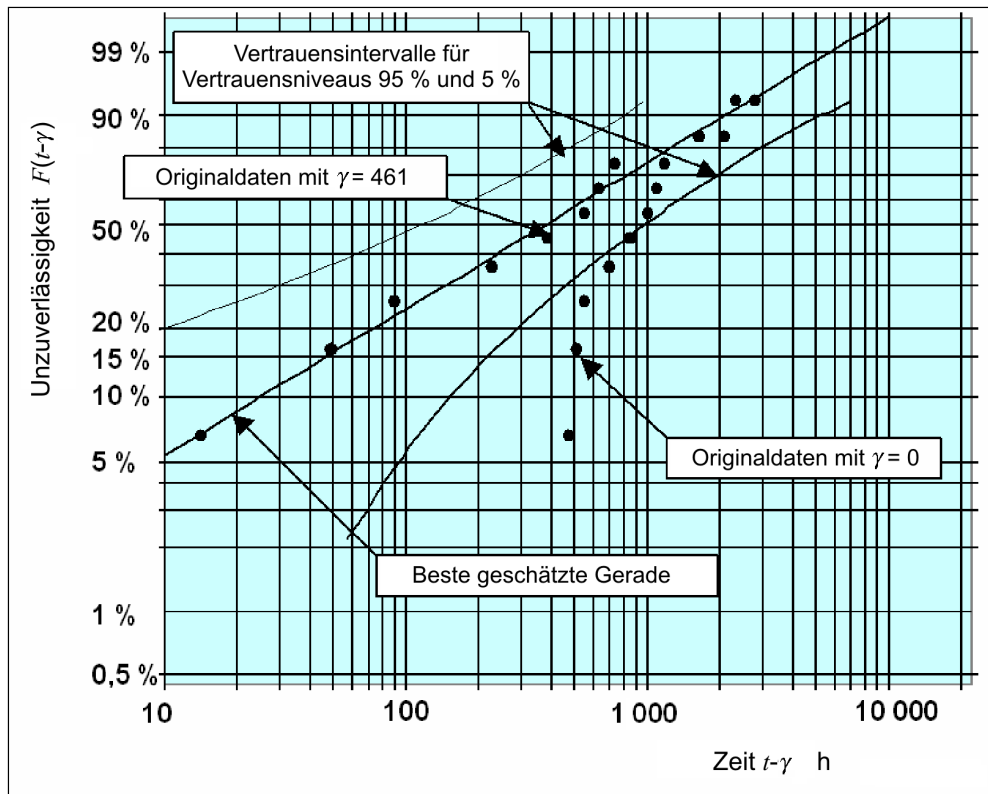


Bild 2 – Beispiel der grafischen Darstellung von $F(t)$ für den Fall einer Weibull-Verteilung

7 Das Lebensdauer-Beanspruchungsmodell

7.1 Allgemeines

Die Lebensdauer-Beanspruchungsmodelle werden in [Anhang C](#) beschrieben. Als Modell für Lebensdauerprüfungen, bei dem die Zeitraffung durch Temperatur und Luftfeuchte erfolgt, wird das Peck-Temperatur-Feuchte-Modell angewendet.

Der Peck-Temperatur-Feuchte-Raffungsfaktor beträgt:

$$AF = \left(\frac{RH_u}{RH_s} \right)^{-n} e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s} \right)}$$

Dabei ist

RH_u die relative Luftfeuchte in Prozent bei Gebrauchsbedingungen;

RH_s die relative Luftfeuchte in Prozent bei Beanspruchungsbedingungen;

T_u die Temperatur in K bei Gebrauchsbedingungen;

T_s die Temperatur in K bei Beanspruchungsbedingungen;

k die Boltzmann-Konstante ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/K);

E_a die Aktivierungsenergie in eV (E_a liegt im Bereich von 0,3 eV bis 1,5 eV; typischer Wert $E_a = 0,9$);

n ein konstanter Wert (n liegt im Bereich von 1 bis 12; typischer Wert $n = 3$).

E_a und n sind die zwei Koeffizienten des Modells.