

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

DIN
EN 61703

ICS 01.040.07; 07.020

Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and
maintenance support terms
(IEC 61703:2001); German version EN 61703:2002

Expressions mathématiques pour les termes de fiabilité, de
disponibilité, de maintenabilité et de logistique de maintenance
(CEI 61703:2001); Version allemande EN 61703:2002

Die Europäische Norm EN 61703:2002 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

Die EN 61703 wurde am 2001-12-04 angenommen.

Nationales Vorwort

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 56(Sec)402:1995-07.

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

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2006 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Fortsetzung Seite 2
und 51 Seiten EN

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

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.

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.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Mathematische Ausdrücke für Begriffe der Funktionsfähigkeit,
Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft
(IEC 61703:2001)

Mathematical expressions for reliability,
availability, maintainability and maintenance
support terms
(IEC 61703:2001)

Expressions mathématiques pour les termes de
fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de
logistique de maintenance
(CEI 61703:2001)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-12-04 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 56/747/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61703, ausgearbeitet von dem IEC TC 56 „Dependability“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-12-04 als EN 61703 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): 2002-09-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-12-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A, B, C und D informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61703:2001 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einführung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen und Abkürzungen	7
4.1 Nicht instandzusetzende Einheiten	7
4.2 Instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung	8
4.3 Instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung	9
5 Annahmen	12
5.1 Allgemeine Bemerkungen	12
5.2 Annahmen für nicht instandzusetzende Einheiten	12
5.3 Annahmen für instandzusetzende Einheiten	13
6 Mathematische Ausdrücke	16
6.1 Nicht instandzusetzende Einheiten	16
6.1.1 Darstellung	16
6.1.2 Überlebenswahrscheinlichkeit [191-12-01]	16
6.1.3 Momentane Ausfallrate [191-12-02]	17
6.1.4 Mittlere Ausfallrate [191-12-03]	18
6.1.5 Mittlere Dauer bis zum Ausfall [191-12-07]	19
6.2 Instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung	20
6.2.1 Darstellung	20
6.2.2 Überlebenswahrscheinlichkeit [191-12-01]	20
6.2.3 Momentane Ausfalldichte [191-12-04]	21
6.2.4 Mittlere Ausfalldichte [191-12-05]	22
6.2.5 Mittlere Dauer bis zum Ausfall [191-12-07]	23
6.2.6 Mittlerer Ausfallabstand [191-12-08]	23
6.2.7 Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen [191-12-09]	24
6.2.8 Mittlere Klardauer [191-11-11]	24
6.3 Instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung	24
6.3.1 Darstellung	24
6.3.2 Überlebenswahrscheinlichkeit [191-12-01]	24
6.3.3 Momentane Ausfalldichte [191-12-04]	26
6.3.4 Mittlere Ausfalldichte [191-12-05]	28
6.3.5 Mittlere Dauer bis zum Ausfall [191-12-07]	29
6.3.6 Mittlerer Ausfallabstand [191-12-08]	30
6.3.7 Mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen [191-12-09]	31

	Seite
6.3.8 Momentane Verfügbarkeit [191-11-01]	31
6.3.9 Momentane Nichtverfügbarkeit [191-11-02]	32
6.3.10 Mittlere Verfügbarkeit [191-11-03]	33
6.3.11 Mittlere Nichtverfügbarkeit [191-11-04]	34
6.3.12 Asymptotische Verfügbarkeit [191-11-05]	35
6.3.13 Asymptotische Nichtverfügbarkeit [191-11-07]	36
6.3.14 Mittlere Klardauer [191-11-11]	36
6.3.15 Mittlere Unklardauer [191-11-12]	37
6.3.16 Instandhaltbarkeitsmaß [191-13-01]	38
6.3.17 Mittlere Instandsetzungsrate [191-13-03]	39
6.3.18 Mittlere Reparaturdauer [191-13-05]	39
6.3.19 Mittlere aktive Instandsetzungsdauer [191-13-07]	40
6.3.20 Mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung [191-13-08]	41
6.3.21 Mittlere administrative Verzugsdauer [191-13-11]	42
6.3.22 Mittlere logistische Verzugsdauer [191-13-13]	43
Anhang A (informativ) Leistungsmerkmale und Deskriptoren	44
Anhang B (informativ) Zusammenfassung von auf die Dauer bis zum Ausfall bezogenen Maßgrößen	45
Anhang C (informativ) Vergleich einiger Zuverlässigkeitsmaßgrößen von dauernd betriebenen Einheiten	47
Anhang D (informativ) Zuverlässigkeit von Software	49
Literaturhinweise	50
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	51
Bild 1 – Musterbeispiel für eine nicht instandzusetzende Einheit	13
Bild 2 – Musterbeispiel einer instandzusetzenden Einheit mit Zeit null bis zur Wiederherstellung	14
Bild 3 – Musterbeispiel einer instandzusetzenden Einheit mit Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung	15
Bild 4 – Vergleich einer Klarzeit für eine COI und IOI	16
Bild A.1 – Leistungsmerkmale und Deskriptoren	44
Tabelle B.1 – Beziehungen zwischen den funktionalen Maßgrößen zur Beschreibung der Dauer bis zum Ausfall einer dauernd betriebenen Einheit	45
Tabelle B.2 – Zusammenfassung von Maßgrößen zur Beschreibung einiger Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Dauer bis zum Ausfall einer dauernd betriebenen Einheit	46
Tabelle C.1 – Vergleich einiger Zuverlässigkeitsmaßgrößen von dauernd betriebenen Einheiten mit konstanter Ausfallrate λ und konstanter Wiederherstellungsrate μ_R	47

Einführung

Teil 1 von IEC 60050-191 enthält Begriffe zur Zuverlässigkeit und ihrer Einflussfaktoren Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft sowie weitere Definitionen von in diesem Gebiet üblicherweise verwendeten Benennungen. Einige dieser Benennungen beschreiben spezielle Maßgrößen einzelner Kenngrößen, die mathematisch ausgedrückt werden können.

In Verbindung mit IEC 60050-191 verwendet, enthält diese Norm praktische Anleitungen, die für die Quantifizierung dieser Maßgrößen wesentlich sind. Falls Bedarf an weiteren Informationen besteht, beispielsweise zu einzelnen statistischen Verfahren, wird auf die Normenreihe IEC 60605 verwiesen.

Anhang A enthält eine schematische Darstellung der Beziehungen zwischen einigen grundlegenden mathematischen Fachausdrücken, zugehörigen Zufallsvariablen sowie wahrscheinlichkeitstheoretischen Deskriptoren und konkretisierenden Adjektiven.

Anhang B enthält eine Zusammenfassung von auf die Dauer bis zum Ausfall bezogenen Maßgrößen.

Anhang C vergleicht einige Zuverlässigkeitsmaßgrößen von dauernd betriebenen Einheiten.

Anhang D erläutert einige Gesichtspunkte zur Zuverlässigkeit von Software.

Die Literaturhinweise verweisen auf die mathematischen Grundlagen dieser Norm.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm enthält mathematische Ausdrücke für Maßgrößen der Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft, wie sie in IEC 60050-191 definiert sind. Die folgenden Klassen von Einheiten werden in dieser Norm getrennt behandelt:

- nicht instandzusetzende Einheiten;
- instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung;
- instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung.

Um die mathematischen Formeln so einfach wie möglich zu halten, werden die folgenden grundlegenden mathematischen Modelle zur Quantifizierung der Maßgrößen der Zuverlässigkeit verwendet:

- Zufallsvariable (Dauer bis zum Ausfall) für nicht instandzusetzende Einheiten;
- einfache (gewöhnliche) Erneuerungsprozesse für instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung;
- einfache (gewöhnliche) alternierende Erneuerungsprozesse für instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung.

Um das Auffinden der vollständigen Definition zu erleichtern, wird der Verweis auf IEC 60050-191 für jede Benennung unmittelbar nach jeder Benennung (in Klammern) angegeben, zum Beispiel:

Mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung [191-13-08]

Die Anwendung jeder Zuverlässigkeitsmaßgröße wird mittels eines einfachen Beispiels gezeigt.

ANMERKUNG Diese Norm ist hauptsächlich auf die Zuverlässigkeit von Hardware anwendbar, aber viele Benennungen und deren Definitionen können auch auf Software enthaltende Einheiten angewendet werden. Einige Gesichtspunkte der Zuverlässigkeit von Software sind in Anhang D erläutert.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser Internationalen Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

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

ISO 3534-1:1993, *Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: Probability and general statistical terms*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die Benennungen und Definitionen in IEC 60050-191 und ISO 3534-1. Zusätzlich gelten folgende Benennungen und Definitionen.

3.1

momentane Wiederherstellungsdichte $\nu(t)$

Grenzwert – falls er existiert – des Verhältnisses der mittleren Anzahl von Wiederherstellungen einer instandzusetzenden Einheit während eines Zeitintervalls $(t, t + \Delta t)$ und der Dauer Δt dieses Zeitintervalls, wenn Δt gegen null geht

ANMERKUNG Die momentane Wiederherstellungsdichte wird ausgedrückt durch die Formel:

$$\nu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0+} \frac{E[N_R(t + \Delta t) - N_R(t)]}{\Delta t}$$

wobei

$N_R(t)$ die Anzahl der Wiederherstellungen im Zeitintervall $(0, t)$ ist;

E den Erwartungswert bezeichnet.

3.2

asymptotische Ausfalldichte $z(\infty)$

für Modellzwecke der Grenzwert – falls er existiert – der momentanen Ausfalldichte $z(t)$ für eine gegen unendlich gehende Dauer t

3.3

Verteilungsfunktion der Klarzeit $F_U(t)$

Funktion, die jedem Wert t die Wahrscheinlichkeit zuordnet, dass die Dauer eines Klarzeitintervalls kleiner oder gleich t ist

3.4

Komplement der Verteilungsfunktion der Klarzeit $R_U(t)$

Funktion, die jedem Wert t die Wahrscheinlichkeit zuordnet, dass die Dauer eines Klarzeitintervalls größer t ist

Der Einfachheit wegen wird diese Funktion in vorliegender Norm mit **Klarzeitüberlebensfunktion** bezeichnet

ANMERKUNG 1 $R_U(t) = 1 - F_U(t)$.

ANMERKUNG 2 Falls die Dauern der Klarzeitintervalle exponentiell verteilt sind:

$$R_U(t) = \exp(-t/MUT)$$

wobei

MUT die mittlere Klardauer ist.

In diesem Fall wird der Kehrwert von MUT mit λ_U bezeichnet:

$$\lambda_U = 1/\text{MUT}$$

4 Formelzeichen und Abkürzungen

ANMERKUNG Die nachstehend aufgeführten Symbole sind weit verbreitet und werden empfohlen, sind aber nicht obligatorisch.

4.1 Nicht instandzusetzende Einheiten

COI	Einheit im Dauerbetrieb
IOI	Einheit im Aussetzbetrieb
MTTF	mittlere Dauer bis zum Ausfall
$\hat{\text{MTTF}}$	Schätzwert der mittleren Dauer bis zum Ausfall
$R(t)$	Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit der Funktionserfüllung bis zur Zeit t , wobei $R(t) = R(t_1, t_2)$ für $t_1 = 0$ und $t_2 = t$
$\hat{R}(t)$	Schätzwert der Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion zur Zeit t
$R(t_1, t_2)$	Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$R(t, t + x t)$	bedingte Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitintervall $(t, t + x)$, unter der Annahme, dass die Einheit bis zur Zeit t ihre Funktion erfüllt hat
TTF_i	beobachtete Dauer bis zum Ausfall der Einheit i
$f(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauer bis zum Ausfall
$\hat{f}(t)$	Schätzwert der Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauer bis zum Ausfall zur Zeit t
n	Anzahl der (nicht instandzusetzenden) Einheiten in der Grundgesamtheit, die zum Zeitpunkt $t = 0$ betriebsfähig sind
$n_S(t)$	Anzahl der (nicht instandzusetzenden) Einheiten, die zum Zeitpunkt t ($n_S(0) = n$) noch betriebsfähig sind
$n_S(t) - n_S(t + \Delta t)$	Anzahl der Einheiten, die im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ ausfallen
λ	konstante Ausfallrate, d. h. der Kehrwert der mittleren Dauern bis zum Ausfall (MTTF), falls die Dauern bis zum Ausfall exponentiell verteilt sind
$\hat{\lambda}$	Schätzwert der konstanten Ausfallrate
$\lambda(t)$	momentane Ausfallrate
$\hat{\lambda}(t)$	Schätzwert der momentanen Ausfallrate zur Zeit t
$\bar{\lambda}(t_1, t_2)$	Mittlere Ausfallrate im Zeitintervall (t_1, t_2)

4.2 Instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung

COI	Einheit im Dauerbetrieb
IOI	Einheit im Aussetzbetrieb
MTBF	mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen
MTTF	mittlere Dauer bis zum Ausfall
$\hat{MTTF}$	Schätzwert der mittleren Dauer bis zum Ausfall
MUT	mittlere Klardauer
$N(t)$	Anzahl der Ausfälle im Zeitintervall $(0, t)$
$R(t)$	Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit der Funktionserfüllung bis zur Zeit t , wobei $R(t) = R(t_1, t_2)$ für $t_1 = 0$ und $t_2 = t$
$R_U(t)$	Klarzeitüberlebensfunktion, d. h. die Verteilungsfunktion der Dauern der Klarzeitintervalle ist $1 - R_U(t)$
$R(t_1, t_2)$	Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$\hat{R}(t_1, t_2)$	Schätzwert der Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$Z(t)$	Erwartete Anzahl von Ausfällen im Zeitintervall $(0, t)$ $Z(t) = E[N(t)]$, wobei E den Erwartungswert bezeichnet
$f(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauern bis zum Ausfall
$f_U(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauern der Klarzeitintervalle ANMERKUNG Für Einheiten im Dauerbetrieb ist $f_U(t) = f(t)$.
$h_{CTTF}^{(n)}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Kalenderzeit bis zum n -ten Ausfall, $n \geq 1$
k_F	Anzahl der Ausfälle während einer gegebenen Beobachtungsperiode
n	Gesamtheit der in Betracht gezogenen Einheiten (Grundgesamtheit)
$n_F(t, t + \Delta t)$	Anzahl der im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ beobachteten Ausfälle
$n_F(t_1, t_2)$	Anzahl der im Zeitintervall (t_1, t_2) beobachteten Ausfälle
$n_S(t_1, t_2)$	Anzahl der Einheiten, die zum Zeitpunkt t_1 betriebsfähig waren und im Zeitintervall (t_1, t_2) ohne Ausfall in Betrieb waren
$z(t)$	momentane Ausfalldichte
$z(\infty)$	Asymptotische Ausfalldichte
$\hat{z}(t)$	Schätzwert der momentanen Ausfalldichte zur Zeit t
$\bar{z}(t_1, t_2)$	mittlere Ausfalldichte im Zeitintervall (t_1, t_2)
$\hat{\bar{z}}(t_1, t_2)$	Schätzwert der mittleren Ausfalldichte im Zeitintervall (t_1, t_2)
λ	konstante Ausfallrate, d. h. der Kehrwert der mittleren Dauer bis zum Ausfall (MTTF), falls die Dauern bis zum Ausfall exponentiell verteilt sind
λ_U	konstante Übergangsrate von einem Klarzustand zu einem Unklarzustand, d. h. der Kehrwert der mittleren Klardauer (MUT), falls die Dauern der Klarzeitintervalle exponentiell verteilt sind

4.3 Instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung

A	asymptotische Verfügbarkeit
$A(t)$	momentane Verfügbarkeit (oder Verfügbarkeitsfunktion), d. h. die Wahrscheinlichkeit, eine Einheit zum Zeitpunkt t in einem Klarzustand anzutreffen
$\bar{A}(t_1, t_2)$	Mittlere Verfügbarkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$\hat{A}(t_1, t_2)$	Schätzwert der mittleren Verfügbarkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
COI	Einheit im Dauerbetrieb
$G_R(t)$	Verteilungsfunktion der Zeiten bis zur Wiederherstellung
IOI	Einheit im Aussetzbetrieb
$M(t)$	Instandhaltbarkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit, dass eine aktive Instandhaltungsmaßnahme während der Zeit t ausgeführt werden kann, wobei $M(t) = M(t_1, t_2)$ für $t_1 = 0$ und $t_2 = t$
$M(t_1, t_2)$	Instandhaltbarkeitsmaß für das Zeitintervall (t_1, t_2)
$N(t)$	Anzahl der Ausfälle die im Zeitintervall $(0, t)$ eintreten
$N_R(t)$	Anzahl der im Zeitintervall $(0, t)$ erfolgten Wiederherstellungen
$R(t)$	Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion, d. h. die Wahrscheinlichkeit der Funktionserfüllung bis zur Zeit t , wobei $R(t) = R(t_1, t_2)$ für $t_1 = 0$ und $t_2 = t$
$R_U(t)$	Klarzeitüberlebensfunktion, d. h. die Verteilungsfunktion der Dauern der Klarzeitintervalle ist $1 - R_U(t)$
$R(t_1, t_2)$	Überlebenswahrscheinlichkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
MACMT	mittlere aktive Instandsetzungsdauer, d. h. der Erwartungswert der aktiven Instandsetzungszeit
$\hat{MACMT}$	Schätzwert der mittleren aktiven Instandsetzungsdauer
MAD	mittlere administrative Verzugsdauer
$\hat{MAD}$	Schätzwert der mittleren administrativen Verzugsdauer
MADT	mittlere akkumulierte Unklardauer
$\hat{MADT}$	Schätzwert der mittleren akkumulierten Unklardauer
MAMT	mittlere aktive Instandhaltungsdauer, d. h. der Erwartungswert der aktiven Instandhaltungszeit
MCMT	mittlere Instandsetzungsdauer, d. h. der Erwartungswert der Instandsetzungszeit
MDT	mittlere Unklardauer
$\hat{MDT}$	Schätzwert der mittleren Unklardauer
MLD	mittlere logistische Verzugsdauer
$\hat{MLD}$	Schätzwert der mittleren logistischen Verzugsdauer
MRT	mittlere Reparaturdauer
$\hat{MRT}$	Schätzwert der mittleren Reparaturdauer
MTBF	mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen

MTD	mittlere technische Verzugsdauer, d. h. der Erwartungswert der technischen Verzugsdauer
MTTF	mittlere Dauer bis zum Ausfall
$\hat{MTTF}$	Schätzwert der mittleren Dauer bis zum Ausfall
MTTR	mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung
$\hat{MTTR}$	Schätzwert der mittleren Dauer bis zur Wiederherstellung
MUFT	mittlere Dauer eines latenten Fehlzustandes, d. h. der Erwartungswert der Dauer eines latenten Fehlzustandes
MUT	mittlere Klardauer
$\hat{MUT}$	Schätzwert der mittleren Klardauer
U	asymptotische Nichtverfügbarkeit
$U(t)$	momentane Nichtverfügbarkeit (Nichtverfügbarkeitsfunktion)
$\bar{U}(t_1, t_2)$	mittlere Nichtverfügbarkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$\hat{\bar{U}}(t_1, t_2)$	Schätzwert der mittleren Nichtverfügbarkeit im Zeitintervall (t_1, t_2)
$Z(t)$	Erwartete Anzahl von Ausfällen im Zeitintervall $(0, t)$ $Z(t) = E[N(t)]$, wobei E der Erwartungswert ist
$f(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauern bis zum Ausfall
$f_U(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Dauern der Klarzeitintervalle
$f_{U+R}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Summe der Klarzeiten und der entsprechenden Zeiten bis zur Wiederherstellung
$g_{ACM}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der aktiven Instandsetzungszeiten
$g_{AD}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der administrativen Verzugsdauern
$g_{AM}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der aktiven Instandhaltungszeiten
$g_D(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Unklarzeitintervalle
$g_{LD}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der logistischen Verzugsdauern
$g_R(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Zeitintervalle bis zur Wiederherstellung
$g_{Rep}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Reparaturdauern
$h_{CTTF}^{(n)}(t)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Kalenderzeit bis zum n -ten Ausfall, $n \geq 1$
k_{ACM}	Anzahl der aktiven Instandsetzungsvorgänge während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_{AD}	Anzahl der administrativen Verzugsdauern während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_D	Anzahl der Unklarzeitintervalle während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_F	Anzahl der Ausfälle während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_{LD}	Anzahl der logistischen Verzugsdauern während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_O	Anzahl der Ausfälle im Betrieb während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_R	Anzahl der Zeitintervalle bis zur Wiederherstellung während einer gegebenen Beobachtungsperiode

k_{Rep}	Anzahl der Reparaturdauern während einer gegebenen Beobachtungsperiode
k_{U}	Anzahl der Klarzeitintervalle während einer gegebenen Beobachtungsperiode
n	Gesamtheit der in Betracht gezogenen Einheiten (Grundgesamtheit)
$n_{\text{D}}\{t\}$	Anzahl der Einheiten, die sich zum Zeitpunkt t in einem Unklarzustand befinden
$n_{\text{F}}(t, t + \Delta t)$	Anzahl der im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$ beobachteten Ausfälle, wobei die Zeitskala sowohl Klar- als auch Unklarzeiten enthält
$n_{\text{F}}(t_1, t_2)$	Anzahl der im Zeitintervall (t_1, t_2) beobachteten Ausfälle, wobei die Zeitskala sowohl Klar- als auch Unklarzeiten enthält
$n_{\text{S}}(t_1, t_2)$	Anzahl der Einheiten, die zum Zeitpunkt t_1 betriebsfähig und die im Zeitintervall (t_1, t_2) ohne Ausfall in Betrieb waren
$n_{\text{U}}\{t\}$	Anzahl der Einheiten die sich zum Zeitpunkt t im Klarzustand befinden
$v(t)$	momentane Wiederherstellungsichte
$z(t)$	momentane Ausfalldichte
$z(\infty)$	asymptotische Ausfalldichte
$\hat{z}(t)$	Schätzwert der momentanen Ausfalldichte zur Zeit t
$\bar{z}(t_1, t_2)$	mittlere Ausfalldichte im Zeitintervall (t_1, t_2)
$\hat{\bar{z}}(t_1, t_2)$	Schätzwert der mittleren Ausfalldichte im Zeitintervall (t_1, t_2)
λ	konstante Ausfallrate, d. h. der Kehrwert der mittleren Dauer bis zum Ausfall (MTTF), falls die Dauern bis zum Ausfall exponentiell verteilt sind
λ_{U}	konstante Übergangsrate von einem Klarzustand in einen Unklarzustand, d. h. der Kehrwert der mittleren Klardauer (MUT), falls die Dauern der Klarzeitintervalle exponentiell verteilt sind
μ	konstante Instandsetzungsrate, d. h. der Kehrwert der mittleren Instandsetzungsdauer (MCMT), falls die Instandsetzungszeiten exponentiell verteilt sind
$\mu(t)$	momentane Instandsetzungsrate
$\bar{\mu}(t_1, t_2)$	mittlere Instandsetzungsrate im Zeitintervall (t_1, t_2)
μ_{ACM}	Kehrwert der mittleren aktiven Instandsetzungsdauer (MACMT), falls die aktiven Instandsetzungszeiten exponentiell verteilt sind
μ_{AD}	Kehrwert der mittleren administrativen Verzugsdauer (MAD), falls die administrativen Verzugsdauern exponentiell verteilt sind
μ_{AM}	Kehrwert der mittleren aktiven Instandsetzungsdauer (MAMT), falls die aktiven Instandhaltungszeiten exponentiell verteilt sind
μ_{D}	Kehrwert der mittleren Unklardauer (MDT), falls die Dauern der Unklarzeitintervalle exponentiell verteilt sind
μ_{LD}	Kehrwert der mittleren logistische Verzugsdauer (MLD), falls die logistischen Verzugsdauern exponentiell verteilt sind
μ_{R}	konstante Rate, mit der eine Einheit in einen betriebsfähigen Zustand wiederhergestellt wird (konstante Wiederherstellungsrate), d. h. der Kehrwert der mittleren Dauer bis zur Wiederherstellung (MTTR), falls die Zeitintervalle bis zur Wiederherstellung exponentiell verteilt sind
μ_{Rep}	Kehrwert der mittleren Reparaturdauer (MRT), falls die Reparaturdauern exponentiell verteilt sind

5 Annahmen

5.1 Allgemeine Bemerkungen

Um für die in IEC 60050-191 definierten Maßgrößen korrekte mathematische Ausdrücke ableiten zu können, muss zwischen instandzusetzenden Einheiten [191-01-02] und nicht instandzusetzenden Einheiten [191-01-03] unterschieden werden. Die folgenden Klassen von Einheiten werden in dieser Norm getrennt behandelt:

- nicht instandzusetzende Einheiten;
- instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung;
- instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung.

Um die mathematischen Formeln so einfach wie möglich zu halten, werden die folgenden grundlegenden mathematischen Modelle zur Quantifizierung der Maßgrößen der Zuverlässigkeit verwendet:

- Zufallsvariable (Dauer bis zum Ausfall) für nicht instandzusetzende Einheiten;
- einfache (gewöhnliche) Erneuerungsprozesse für instandzusetzende Einheiten mit Zeit null bis zur Wiederherstellung;
- einfache (gewöhnliche) alternierende Erneuerungsprozesse für instandzusetzende Einheiten mit einer Zeit ungleich null bis zur Wiederherstellung.

Das einfachste mathematische Modell für die Überlebenswahrscheinlichkeit einer nicht instandzusetzenden Einheit ist eine Zufallsvariable – die Dauer bis zum Ausfall der Einheit [191-10-02]. Eine weit verbreitete Maßgröße für die Überlebenswahrscheinlichkeit nicht instandzusetzender Einheiten ist die momentane Ausfallrate $\lambda(t)$ [191-12-02], im englischen auch „hazard rate function“ genannt. Sie ist abgeleitet aus der Verteilungsfunktion der Dauern bis zum Ausfall. Der Ausdruck $\lambda(t)\Delta t$ ist die bedingte Wahrscheinlichkeit für den Ausfall einer Einheit im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$, vorausgesetzt, die Einheit ist im Intervall $(0, t)$ nicht ausgefallen.

Für instandzusetzende Einheiten ist das grundlegende Modell ein einfacher Erneuerungsprozess, sofern das Zeitintervall bis zur Wiederherstellung der Einheit vernachlässigt werden darf oder ein einfacher alternierender Erneuerungsprozess, sofern das Zeitintervall bis zur Wiederherstellung der Einheit nicht null ist. Im zweiten Fall wechselt die Einheit zwischen einem Klarzustand und einem Unklarzustand hin und her; eine weit verbreitete Maßgröße für die Überlebenswahrscheinlichkeit der Einheit ist die Ausfalldichte, die gleich der Erneuerungs-dichte ist.

Die Ausfalldichte [191-12-04] ist eine Maßgröße, die von dem erwarteten Wert der kumulativen Anzahl der Ausfälle $E[N(t)]$ einer instandzusetzenden Einheit abgeleitet ist, die sich im Zeitintervall $(0, t)$ ereignen. Der Ausdruck $z(t)\Delta t$ ist die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall einer Einheit im Zeitintervall $(t, t + \Delta t)$.

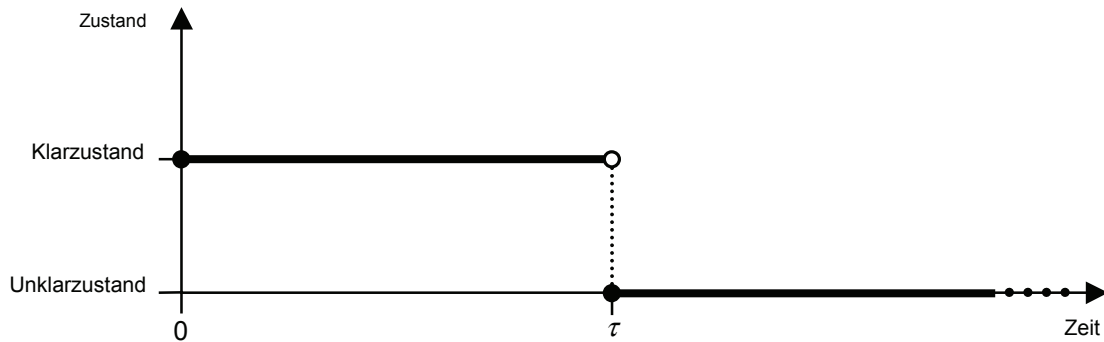
Um eine falsche Verwendung dieser mathematischen Ausdrücke zu vermeiden, werden spezielle Annahmen in 5.2 und 5.3 im Einzelnen dargelegt.

5.2 Annahmen für nicht instandzusetzende Einheiten

- a) Eine instandzusetzende Einheit befindet sich entweder in einem Klarzustand oder in einem Unklarzustand (siehe Bild 1).
- b) Sofern nichts anderes angegeben, wird davon ausgegangen, dass eine sich im Klarzustand befindliche Einheit im Dauerbetrieb ist.

ANMERKUNG Die angegebenen mathematischen Ausdrücke können für Einheiten im Aussetzbetrieb (IOI) ungültig sein.

- c) Zur Zeit $t = 0$ ist die Einheit in Betrieb und so gut wie neu. Latente Fehlzustände werden nicht berücksichtigt.
- d) Wartung oder sonstige geplante Maßnahmen, die dazu führen, dass die Einheit eine geforderte Funktion nicht ausführen kann, werden nicht berücksichtigt.
- e) Die Dauer bis zum Ausfall ist eine positive und kontinuierliche Zufallsvariable mit endlichem Erwartungswert.



Legende

τ Dauer bis zum Ausfall

Bild 1 – Musterbeispiel für eine nicht instandzusetzende Einheit

5.3 Annahmen für instandzusetzende Einheiten

- Eine instandzusetzende Einheit befindet sich entweder in einem Klarzustand oder in einem Unklarzustand (siehe Bilder 2 und 3).
- Zur Zeit $t = 0$ ist die Einheit im Klarzustand und so gut wie neu. Latente Fehlzustände werden nicht berücksichtigt.
- Sofern nichts anderes angegeben, wird davon ausgegangen, dass eine sich im Klarzustand befindliche Einheit im Dauerbetrieb ist.
- Aufeinander folgende Klarzeiten der Einheit sind statistisch voneinander unabhängig, identisch verteilt und sind positive und kontinuierliche Zufallsvariablen mit endlichem Erwartungswert.
- Aufeinander folgende Unklarzeiten der Einheit sind statistisch voneinander unabhängig, identisch verteilt und sind nicht-negative Zufallsvariablen mit endlichem Erwartungswert. Wenn die Unklarzeiten nicht null sind, sind die Zufallsvariablen kontinuierlich und haben eine gemeinsame Wahrscheinlichkeitsdichte.
- Die Klarzeiten sind von den Unklarzeiten statistisch unabhängig.
- Wartung oder sonstige geplante Maßnahmen, die dazu führen, dass die Einheit eine geforderte Funktion nicht ausführen kann, werden nicht berücksichtigt.

Anders gesagt:

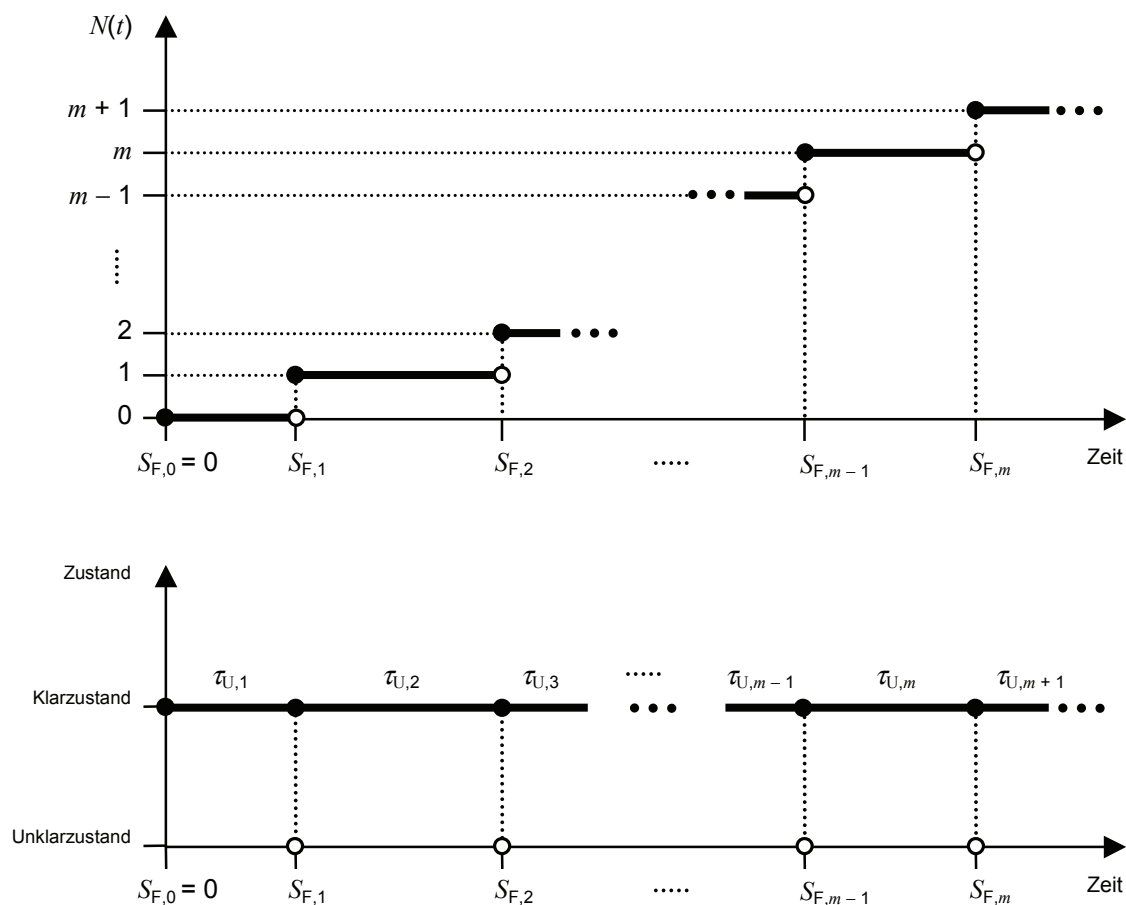
- jeder Übergang von einem Klarzustand in einen Unklarzustand ist ein Ausfall;
- jeder Übergang von einem Unklarzustand in einen Klarzustand ist eine Wiederherstellung;
- jeder Unklarzustand ist ein Fehlzustand und folglich ist die Unklarzeit gleich der Zeit bis zur Wiederherstellung;
- nach jeder Wiederherstellung ist die Einheit so gut wie neu.

In dieser Norm werden Einheiten im Dauerbetrieb mit der Abkürzung COI versehen. In diesem Fall ist der Klarzustand gleich dem Betriebszustand und alle Klarzeiten sind Betriebszeiten.

Die Ausdrücke für die Maßgrößen zur Funktionsfähigkeit von instandzusetzenden Einheiten im Dauerbetrieb können für Einheiten im Aussetzbetrieb (IOI) ungültig sein (siehe Bild 4).

ANMERKUNG 1 Modelle, die eine Zeit null bis zur Wiederherstellung annehmen, werden dann verwendet, wenn entweder die Klarzeit der Einheit die einzige für die Bewertung der Funktion der Einheit interessierende Zeit ist oder wenn die Zeit bis zur Wiederherstellung so kurz ist, dass sie vernachlässigbar ist.

ANMERKUNG 2 Alle mathematischen Ausdrücke für die Maßgrößen der Funktionsfähigkeit, die sich auf die Dauer bis zum Ausfall einer nicht instandzusetzenden Einheit beziehen, dürfen auch auf jede Dauer bis zum Ausfall einer instandzusetzenden Einheit im Dauerbetrieb angewendet werden.



Legende

- $N(t)$ Anzahl der Ausfälle im Zeitintervall $(0, t)$
- $S_{F,1}, S_{F,2}, S_{F,3}, \dots$ aufeinander folgende Ausfallereignisse
- $\tau_{U,1}, \tau_{U,2}, \tau_{U,3}, \dots$ aufeinander folgende Klarzeitintervalle

Bild 2 – Musterbeispiel einer instandzusetzenden Einheit mit Zeit null bis zur Wiederherstellung