

	DIN IEC 61810-2 (VDE 0435-120)	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 29.120.70 Einsprüche bis 2008-06-30 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 61810-2 (VDE 0435-120):2006-01 Entwurf Elektromechanische Elementarrelais – Teil 2: Funktionsfähigkeit (Zuverlässigkeit) (IEC 94/270/CD:2008) Electromechanical elementary relays – Part 2: Reliability (IEC 94/270/CD:2008) Relais électromécaniques élémentaires – Partie 2: Fiabilité (CEI 94/270/CD:2008) Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-04-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten – vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.		
Gesamtumfang 67 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 94/270/CD:2008 „Electromechanical elementary relays – Part 2: Reliability“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 94 „All-or-nothing electrical relays“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 671 „Schaltrelais“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61810-2 (VDE 0435-120):2006-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme von numerischen und grafischen Methoden bei der Weibull-Analyse;
- b) vollständige Angleichung an die zweite Ausgabe der Grundnormen für die Funktionsfähigkeit IEC 61649;
- c) Aufteilung des früheren Anhangs A in einen normativen Anhang A für den Prüfaufbau und einen informativen Anhang D für besondere Lasten.

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	–	–
–	IEC 60050-444:2002	IEV Teil 444:2002-07	–
–	IEC 60300-3-5:2001	–	–
–	IEC 61649 ¹⁾	–	–
EN 61810-1:2004	IEC 61810-1:2003	DIN EN 61810-1 (VDE 0435-201):2004-07	VDE 0435-201
–	ISO 3534 (alle Teile)	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

IEV 191:2002-10, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 191: Zuverlässigkeit und Dienstgüte (Konsolidierte Fassung einschließlich Änderung 1 und Änderung 2)*; Identisch mit IEC 60050-191:1990-12 (Konsolidiert mit IEC 60050-191/A1:1999-03 und IEC 60050-191/A2:2002-01)

IEV Teil 444:2002-07, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 444: Elementarrelais*; Identisch mit IEC 60050-444:2002-01

DIN EN 61810-1 (VDE 0435-201):2006-06, *Elektromechanische Elementarrelais (elektromechanische Schaltrelais ohne festgelegtes Zeitverhalten) – Teil 1: Allgemeine und sicherheitsgerichtete Anforderungen (IEC 61810-1:2003)*; Deutsche Fassung EN 61810-1:2004

¹⁾ Dieser Norm-Entwurf bezieht sich auf die in Vorbereitung befindliche 2. Ausgabe.

**Elektromechanische Elementarrelais –
Teil 2: Funktionsfähigkeit (Zuverlässigkeit)**

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Allgemeine Betrachtungen	9
5 Prüfbedingungen	10
5.1 Prüflinge	10
5.2 Umgebungsbedingungen	10
5.3 Betriebsbedingungen	10
5.4 Prüfeinrichtung	11
6 Ausfallkriterien	11
7 Ausgangsdaten	11
8 Auswertung der Ausgangsdaten	11
9 Darstellung von Maßgrößen der Funktionsfähigkeit	11
Anhang A (normativ) Prüfaufbau	13
A.1 Prüfschaltung	13
A.2 Beschreibung und Anforderungen	15
A.2.1 Stromquelle für die Erregung der Spule	15
A.2.2 Schaltgerät (zur Ansteuerung der Spule)	15
A.2.3 Stromquelle für die Kontaktlast(en)	15
A.2.4 Steuereinrichtung	16
A.2.5 Mess- und Anzeigeeinrichtung	16
A.3 Prinzipschaltbilder für die Prüfung	16
Anhang B (normativ) Datenauswertung	17
B.1 Einleitung	17
B.2 Abkürzungen	17
B.3 Symbole und Definitionen	17
B.4 Weibull-Verteilung	18
B.5 Verfahren	18
B.5.1 Grafische Methoden	18
B.5.1.1 Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm	18
B.5.1.2 Hazard-Diagramm	20
B.5.1.3 Schätzwerte von Verteilungsparametern und Kennwerten	21
B.5.1.4 Vermischung mehrerer Ausfallarten	21
B.5.2 Numerische Methoden	22
B.5.2.1 Verteilungsparameter	22
B.5.2.2 Kennwerte	22

	Seite
Anhang C (informativ) Beispiel für ein Diagramm einer kumulativen Hazard-Funktion	24
C.1 Verfahren mit dem kumulativen Hazard-Diagramm	24
C.1.1 Ordnen und Eintragen der Werte	24
C.1.2 Schätzung der Verteilungsparameter	26
C.1.3 Schätzung der Verteilungskennwerte	26
C.2 Anwendung des Beispiels auf die Daten einer Lebensdauerprüfung	26
C.2.1 Ordnen und Eintragen der Werte	26
C.2.2 Schätzung der Verteilungsparameter	29
C.2.3 Schätzung der Verteilungskennwerte	29
Anhang D (informativ) Besondere Lasten	30
D.1 Besondere Lasten für Telekommunikations- und Signalrelais	30
D.2 Besondere Lasten mit Einschaltstromstoß	30
Anhang E (normativ) Kategorien der Kontaktlast	34
E.1 Kontaktlastkategorie 0 (CC 0)	34
E.2 Kontaktlastkategorie 1 (CC 1)	34
E.3 Kontaktlastkategorie 2 (CC 2)	34
Bild A.1 – Übliche Prüfschaltung	13
Bild A.2 – Signalfussplan	14
Bild B.1 – Beispiel für ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz und ein Weibull-Hazard-Netz	20
Bild C.1 – Eintragen der Punkte und Zeichnen einer Gerade	25
Bild C.2 – Schätzung der Verteilungsparameter	26
Bild C.3 – Diagramme einer kumulativen Hazard-Funktion	28
Bild D.1 – Stromkreis für die Kabellast	30
Bild D.2 – Prüfstromkreis für Einschaltstromspitzen (z. B. kapazitive Lasten und simulierte Lasten einer Wolframdrahtlampe) – Wechselstromkreise	31
Bild D.3 – Beispiel für die Prüfung mit einer Wolframdrahtlampe für Relais mit den Bemessungswerten 10/100 A/250 V~/2,5 ms	32
Bild D.4 – Prüfstromkreis für Einschaltstromspitzen (z. B. kapazitive Lasten und simulierte Lampenlasten) – Gleichstromkreise	32
Bild D.5 – Prüfstromkreis für Einschaltstromspitzen (z. B. simulierte Leuchtstofflampen-Lasten) mit Korrektur des Leistungsfaktors	33
Bild E.1 – Kontaktlastkategorien	34
Tabelle A.1 – Kennwerte der Stromquellen für Kontaktlasten	14
Tabelle A.2 – Kennwerte der Normkontaktlast	15
Tabelle C.1 – Tabellenblatt zur kumulativen Hazard-Auswertung	24
Tabelle C.2 – Beispiel für ein Tabellenblatt	27

Einleitung

Innerhalb der Normenreihe IEC 61810, die Grundnormen für elektromechanische Elementarrelais umfasst, enthält IEC 61810-2 Anforderungen und Prüfungen zur Bewertung der Funktionsfähigkeit von Relais. Sämtliche Angaben in Bezug auf Lebensdauerprüfungen im Rahmen einer Typprüfung sind in IEC 61810-1 enthalten.

Vor kurzem hat das für Zuverlässigkeit zuständige Technische Komitee (TC 56) eine neue Ausgabe von IEC 61649 vorgelegt, die Weibull-verteilte Prüfdaten behandelt. Diese zweite Ausgabe enthält sowohl numerische als auch grafische Methoden zur Auswertung Weibull-verteilter Daten.

Aufbauend auf dieser Grundnorm für die Funktionsfähigkeit wurde IEC 61810-2 erarbeitet. Die vorliegende Norm umfasst Prüfbedingungen und ein Auswertungsverfahren, um aussagekräftige Maßgrößen für die Funktionsfähigkeit elektromechanischer Elementarrelais zu ermitteln. Die Lebensdauer der Relais als nicht instandzusetzende Einheiten wird hauptsächlich von der Anzahl der Schaltspiele bestimmt. Aus diesem Grund wird die Funktionsfähigkeit als mittlere Schaltspiele bis zum Ausfall (MCTF) angegeben.

Im Allgemeinen wird die Funktionsfähigkeit von Geräten aus Werten für die mittlere Dauer bis zum Ausfall (MTTF) berechnet. Mit der Kenntnis der Schalthäufigkeit des Relais innerhalb eines Geräts ist es möglich, den effektiven MTTF-Wert für das Relais in dieser Anwendung zu berechnen.

Solche berechneten MTTF-Werte für Relais können verwendet werden, um die jeweiligen Werte für die Funktionsfähigkeit, die Ausfallwahrscheinlichkeit und die Verfügbarkeit (z. B. mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF)) von Geräten, in denen diese Relais eingebaut sind, zu berechnen.

Die MCTF-Werte können auch als Grundlage für vergleichende Bewertungen zwischen Relais verschiedener Bauformen oder Konstruktionen sowie als ein Hinweis auf die Produktzuverlässigkeit unter bestimmten Bedingungen benutzt werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61810 enthält Prüfbedingungen und Vorgaben für die Auswertung von Lebensdauerprüfungen mit geeigneten statistischen Verfahren zur Ermittlung von Kennwerten der Funktionsfähigkeit von Relais.

Diese Norm gilt für elektromechanische Elementarrelais, die als nicht instandzusetzende Einheiten (d. h. Einheiten, die nach einem Ausfall nicht instandgesetzt werden) betrachtet werden, immer wenn eine zufällige Stichprobe von Einheiten einer Prüfung der Schaltspiele bis zum Ausfall (CTF) unterzogen wird.

Die Lebensdauer eines Relais wird üblicherweise in der Anzahl von Schaltspielen angegeben. Immer wenn in der Grundnorm IEC 61649 der Begriff „Zeit“ bzw. „Dauer“ verwendet wird, ist dieser Begriff folglich als Angabe von „Schaltspielen“ zu verstehen. Jedoch kann die Zahl von Schaltspielen in entsprechende Zeiten umgerechnet werden (z. B. Dauer bis zum Ausfall (TTF)), wenn eine bestimmte Schalthäufigkeit vorgegeben ist.

In der vorliegenden Norm sind die Ausfallkriterien und die sich daraus ergebenden Kenngrößen von Elementarrelais festgelegt, die deren Funktionsfähigkeit im üblichen Gebrauch beschreiben. Ein Relaisausfall tritt ein, wenn die Ausfallkriterien erfüllt sind.

Da die Ausfallrate für Elementarrelais besonders aufgrund von Abnutzungsmechanismen nicht als konstant angenommen werden kann, weisen die Dauern bis zum Ausfall von geprüften Einheiten typischerweise eine Weibull-Verteilung auf. Diese Norm stellt sowohl numerische als auch grafische Methoden zur Verfügung, mit deren Hilfe Näherungswerte für die zweiparametrische Weibull-Verteilung sowie untere Vertrauensgrenzen berechnet werden können.

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 60050-444, 2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 444: Elementary relays*

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

IEC 61649, 2008, *Weibull analysis*

IEC 61810-1, 2003, *Electromechanical elementary relays – Part 1: General and safety requirements*

ISO 3534 (alle Teile), *Statistics – Vocabulary and symbols*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-191 und IEC 60050-444, von denen einige nachfolgend wiedergegeben sind, und die folgenden Begriffe.

3.1

Einheit

Bauelement, das für sich allein betrachtet werden kann

[IEV 191-01-01, modifiziert]

ANMERKUNG Für die Anwendung dieser Norm sind Einheiten gleich Elementarrelais.

3.2

nicht instandzusetzende Einheit

Einheit, die nach einem Ausfall nicht instand gesetzt wird

[IEV 191-01-03, modifiziert]

3.3

Schaltspiel

Ansprechen und nachfolgendes Rückfallen bzw. Rückwerfen

[IEV 444-02-11]

3.4

Schalhäufigkeit

Quotient Anzahl der Schaltspiele durch Dauer

[IEV 444-02-12]

3.5

Funktionsfähigkeit

Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für eine gegebene Anzahl von Schaltspielen oder ein gegebenes Zeitintervall zu erfüllen

[IEV 191-02-06]

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen wird angenommen, dass die Einheit zu Beginn des Zeitintervalls in der Lage ist, diese geforderte Funktion zu erfüllen.

E DIN IEC 61810-2 (VDE 0435-120):2008-04

ANMERKUNG 2 Im Englischen wird „reliability“ auch als Maß für die Überlebenswahrscheinlichkeit verwendet (siehe IEC 191-12-01).

3.6

Prüfung der Funktionsfähigkeit

Experiment, das durchgeführt wird, um eine Maßgröße der Funktionsfähigkeit oder eine Eigenschaft einer Einheit zu messen, zu quantifizieren oder zu klassifizieren

[IEC 60300-3-5, 3.1.27]

3.7

Lebensdauerprüfung

Prüfung zum Zweck der Abschätzung, des Nachweises oder des Vergleichs der Lebensdauer der geprüften Klasse von Einheiten

[IEC 60300-3-5, 3.1.17]

3.8

Schaltspiele bis zum Ausfall

CTF (en: cycles to failure)

akkumulierte Anzahl der Schaltspiele einer Einheit ab dem Zeitpunkt der ersten Inbetriebnahme bis zum Ausfall

3.9

mittlere Schaltspiele bis zum Ausfall

MCTF (en: mean cycles to failure)

Erwartungswert der Verteilung der Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall

3.10

Dauer bis zum Ausfall

TTF (en: time to failure)

akkumulierte Dauer der Betriebszeiten einer Einheit ab dem Zeitpunkt der ersten Inbetriebnahme bis zum Ausfall

[IEV 191-10-02, modifiziert]

3.11

mittlere Dauer bis zum Ausfall

MTTF (en: mean time to failure)

Erwartungswert der Verteilung der Dauern bis zum Ausfall

[IEV 191-12-07]

3.12

Brauchbarkeitszeit (nutzbare Lebensdauer)

Anzahl der Schaltspiele oder Dauer, bis ein bestimmter Prozentsatz der Einheiten ausgefallen ist

ANMERKUNG In dieser Norm ist ein Prozentsatz von 10 % festgelegt.

3.13

Ausfall

Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen

[IEV 191-04-01, modifiziert]

3.14

Fehlzustand

einzelnes Ereignis, wenn eine Einheit eine geforderte Funktion nicht erfüllt

3.15

Kontaktausfall

Auftreten von Kontaktfehlzuständen, verursacht durch Schließ- und/oder Öffnungsversagen eines in Prüfung befindlichen Kontakts, wobei eine festgelegte Zahl überschritten wird

3.16

Ausfallkriterien

Satz von Regeln um zu entscheiden, ob ein beobachtetes Ereignis einen Ausfall darstellt

[IEC 60300-3-5, 3.1.10]

3.17

Kontaktkategorie

Klassifizierung von Relaiskontakten in Abhängigkeit von den Abnutzungsmechanismen

ANMERKUNG Im Anhang D sind verschiedene Kontaktkategorien definiert.

4 Allgemeine Betrachtungen

Die Festlegungen dieses Teils der IEC 61810 beruhen auf den einschlägigen Publikationen über die Zuverlässigkeit. Insbesondere folgende Schriftstücke sind berücksichtigt worden: IEC 60050-191, IEC 60300-3-5 und IEC 61649.

Das Ziel der Prüfung der Funktionsfähigkeit nach dieser Norm ist es, objektive und reproduzierbare Leistungsdaten zur Funktionsfähigkeit von Elementarrelais zu ermitteln, die repräsentativ für die normale Fertigungsqualität sind. Die beschriebenen Prüfungen und die zugehörigen statistischen Verfahren zur Ermittlung von Maßgrößen der Funktionsfähigkeit aus den Prüfergebnissen können zur Abschätzung solcher Maßgrößen, aber auch für den Nachweis angegebener Maßgrößen verwendet werden.

In Übereinstimmung mit den Abschnitten 8 und 9 der IEC 60300-3-5 ist das Weibull-Verfahren das am besten geeignete statistische Mittel zur Bestimmung von Maßgrößen der Funktionsfähigkeit für nicht instandzusetzende Einheiten, die keine konstante Ausfallrate aufweisen. Dieses Auswertungsverfahren ist in IEC 61649 beschrieben.

Im Rahmen des Anwendungsbereichs dieser Norm werden Elementarrelais als nicht instandzusetzende Einheiten betrachtet. Sie zeigen üblicherweise keine konstante Ausfallrate, sondern eine mit der Zeit ansteigende Ausfallrate, da sie solange geprüft werden, bis Abnutzungsmechanismen vorherrschen. Die Schaltspiele bis zum Ausfall einer zufälligen Stichprobe von geprüften Einheiten weisen typischerweise eine Weibull-Verteilung auf.

Die statistischen Verfahren nach dieser Norm gelten nur, wenn mindestens 10 relevante Ausfälle erfasst werden.

Der erste Schritt der Auswertung der aufgezeichneten Schaltspiele bis zum Ausfall (CTF) der geprüften Relais ist die Bestimmung der zwei Verteilungsparameter der Weibull-Verteilung. In einem zweiten Schritt werden die mittleren Schaltspiele bis zum Ausfall (MCTF) als eine Punktschätzung berechnet. In einem dritten Schritt wird die Brauchbarkeitszeit als untere Vertrauensgrenze der Anzahl der Schaltspiele ermittelt, bis 10 % der Grundgesamtheit der Relais ausgefallen sind (B_{10}).

Bei einer gegebenen Schalthäufigkeit kann die in Anzahl der Schaltspiele (MCTF) ausgedrückte Funktionalität in entsprechende Zeiten umgerechnet werden (MTTF), ein Beispiel dafür ist im Anhang C angegeben.

Die statistischen Verfahren benötigen geeignete Rechenmittel. Auf dem Markt ist kommerzielle Software für die Auswertung von Weibull-verteilten Daten erhältlich. Derartige Software darf für die Zwecke dieser Norm verwendet werden, vorausgesetzt, sie liefert äquivalente Ergebnisse, wenn die Daten aus Anhang C verwendet werden.

Da die Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall stark vom jeweiligen Satz von Prüfbedingungen (insbesondere den elektrischen Kontaktlasten des Relais) abhängt, gelten aus Prüfungen ermittelte Werte für MCTF und die Brauchbarkeitszeit nur für diesen Satz von Prüfbedingungen, der vom Hersteller zusammen mit den Maßzahlen der Funktionsfähigkeit angegeben werden muss.

5 Prüfbedingungen

5.1 Prüflinge

Da mindestens 10 Ausfälle registriert werden müssen, um die in dieser Norm beschriebene Auswertung durchzuführen, sollten 10 oder mehr Einheiten (Relais) der Prüfung unterzogen werden. Dies ermöglicht es, die Prüfung abzubrechen, wenn mindestens 10 Relais ausgefallen sind.

Die Einheiten müssen zufällig aus demselben Fertigungslos ausgewählt werden und aus Relais gleichen Typs und gleicher Konstruktion bestehen. Ab dem Zeitpunkt der Auswahl der Prüflinge bis zum Beginn der Prüfung dürfen die Prüflinge keiner Behandlung unterzogen werden.

Wenn der Hersteller vor der Zusammenstellung der Stichprobe ein bestimmtes Einbrennverfahren (Burn-in) oder eine beanspruchende Sortierprüfung (Stress screening) durchführt, muss dies für die gesamte Fertigung gelten. Der Hersteller muss derartige Verfahren beschreiben und zusammen mit den Prüfergebnissen angeben.

Wenn nicht anders vom Hersteller festgelegt, müssen alle Kontakte jedes zu prüfenden Relais wie angegeben belastet und während der Prüfung ständig überwacht werden.

Die Prüfung beginnt mit allen Einheiten und wird bei einer gewissen Zahl von Schaltspielen beendet. Zu diesem Zeitpunkt ist eine bestimmte Anzahl von Einheiten (mindestens 10 Einheiten) ausgefallen. Die Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall jeder ausgefallenen Einheit muss aufgezeichnet werden.

Während der Prüfung ausgefallene Einheiten werden nach ihrem Ausfall nicht ersetzt.

5.2 Umgebungsbedingungen

Die Prüfumgebung muss für alle Einheiten gleich sein:

- Die Einheiten müssen so befestigt werden, wie für den üblichen Gebrauch vorgesehen; insbesondere werden Relais für den Einbau in gedruckte Schaltungen in horizontaler Lage geprüft, wenn nicht anders vorgegeben.
- Die Umgebungstemperatur muss wie vom Hersteller angegeben sein.
- Alle anderen Einflussgrößen müssen den Werten und Toleranzbereichen nach Tabelle 1 der IEC 61810-1 entsprechen, wenn nicht anders angegeben.

5.3 Betriebsbedingungen

Der Satz von Betriebsbedingungen

- Spulen-Bemessungsspannung(en),
- Unterdrückungsschaltung der Spule (wenn vorhanden),
- Schalthäufigkeit,
- relative Einschaltdauer,
- Kontaktlast(en),
- Kontaktlastkategorie nach Anhang E

muss wie vom Hersteller angegeben sein.

Empfohlene Werte sollten aus den Werten ausgewählt werden, die in Abschnitt 5 der IEC 61810-1 angegeben sind.

Die Prüfung wird mit jeder Kontaktlast und jedem Kontaktwerkstoff durchgeführt, wie vom Hersteller angegeben.

Alle vorgegebenen Einrichtungen (z. B. Schutz- oder Unterdrückungsschaltungen), die gegebenenfalls Teil des Relais sind oder vom Hersteller als nötig für bestimmte Kontaktlasten angegeben sind, sollten während der Prüfung betrieben werden.

Die Kontakte müssen ständig überwacht werden, um Fehlzustände durch Öffnungs- oder Schließversagen ebenso wie unbeabsichtigte Überbrückung (gleichzeitiges Schließen des Öffner- und Schließerteils eines Wechselkontakts) zu erfassen.

Die Kontakte werden mit der Last (den Lasten) in Übereinstimmung mit Tabelle 11 der IEC 61810-1 verbunden, wie vom Hersteller festgelegt und angegeben.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, die gleichen Betriebsbedingungen zu wählen, wie für die Prüfung der elektrischen Lebensdauer nach Abschnitt 11 der IEC 61810-1.

5.4 Prüfeinrichtung

Die im Anhang A beschriebene Prüfschaltung ist zu verwenden, wenn vom Hersteller nicht anders festgelegt und ausdrücklich im Prüfbericht angegeben.

6 Ausfallkriterien

Immer wenn ein beliebiger Kontakt eines Relais während der Prüfung ein Öffnungs- oder Schließversagen oder unbeabsichtigte Überbrückung aufweist, muss dieses als ein Fehlzustand betrachtet werden.

Drei Schärfegrade sind festgelegt:

- Schärfegrad A: der erste erfasste Fehlzustand wird als Ausfall gewertet;
- Schärfegrad B: der sechste erfasste Fehlzustand oder zwei aufeinander folgende Fehlzustände werden als Ausfall gewertet;
- Schärfegrad C: wie vom Hersteller angegeben.

Der für die Prüfung verwendete Schärfegrad ist vom Hersteller anzugeben und im Prüfbericht zu verzeichnen.

7 Ausgangsdaten

Die auszuwertenden Daten bestehen aus den Schaltspielen bis zum Ausfall (CTF) jeder geprüften Einheit. Diese CTF-Werte müssen genau bekannt sein. Allerdings ist es nicht notwendig, die CTF-Werte für alle geprüften Einheiten zu erfassen, da die Prüfung beendet werden kann, bevor alle Einheiten ausgefallen sind, vorausgesetzt, mindestens 10 CTF-Werte von unterschiedlichen ausgefallenen Einheiten sind verfügbar.

8 Auswertung der Ausgangsdaten

Die Auswertung der während der Prüfung erhaltenen CTF-Werte muss in Übereinstimmung mit den Verfahren gemäß Anhang B durchgeführt werden.

9 Darstellung von Maßgrößen der Funktionsfähigkeit

Es sind die für Elementarrelais zutreffenden grundlegenden Maßgrößen der Funktionsfähigkeit, wie sie in dieser Norm beschrieben sind und bei der Auswertung der Daten erhalten werden, anzugeben.

E DIN IEC 61810-2 (VDE 0435-120):2008-04

Da jedoch die für diese Maßgrößen der Funktionsfähigkeit mit den Verfahren von Anhang B ermittelten Werte stark von den grundlegenden Konstruktionsmerkmalen des Relais, den Prüfbedingungen nach Abschnitt 5 sowie den Ausfallkriterien nach Abschnitt 6 abhängen, müssen zusammen mit den Prüfergebnissen außerdem die folgenden Informationen angegeben werden:

- Relaisstyp, für den die Ergebnisse gelten:
 - a) Kontaktwerkstoff;
 - b) Abweichungen von Normtypen (falls vorhanden);
 - c) Art der Anschlüsse;
- Satz der Betriebsbedingungen (siehe 5.3):
 - a) Spulen-Bemessungsspannung(en);
 - b) Unterdrückungsschaltung der Spule (wenn vorhanden);
 - c) Schalthäufigkeit;
 - d) relative Einschaltdauer;
 - e) Kontaktlast(en);
 - f) Umgebungsbedingungen;
- gewähltes Prüfschaltbild (siehe A.3 oder Einzelheiten der Prüfschaltung, falls abweichend von der in A.1 beschriebenen Schaltung);
- Schärfegrad (siehe Abschnitt 6).

Außerdem müssen im Prüfbericht grundlegende Prüfdaten und die zugehörige Auswertung (siehe Anhang B) enthalten sein:

- Anzahl der geprüften Einheiten (n);
- Anzahl der ausgefallenen Einheiten (r), die während der Prüfung erfasst wurden (mindestens 10);
- Zeitpunkt (angegeben in Anzahl von Schaltspielen) der Beendigung der Prüfung (T);
- Vertrauensniveau, falls abweichend von 90 %.

Die Prüfergebnisse gelten für die geprüften Muster und für Varianten wie vom Hersteller festgelegt, vorausgesetzt, die maßgeblichen Konstruktionsmerkmale bleiben unverändert.

ANMERKUNG Zulässige Beispiele dafür sind Spulenvarianten mit der gleichen Zahl von Amperewindungen. Unzulässige Beispiele sind Varianten mit Wechselstrom- statt Gleichstromspulen oder mit unterschiedlicher Kontaktdynamik.

Wenn Prüfergebnisse für verschiedene Betriebsbedingungen (z. B. Kontaktlasten) verfügbar sind, dürfen sie in Form von Kurvenscharen oder in geeigneter Tabellenform zusammengestellt werden. Bei der Darstellung derartiger Kurven muss jedoch sichergestellt sein, dass eine ausreichende Zahl von Messpunkten ermittelt worden ist.

Anhang A (normativ)

Prüfaufbau

A.1 Prüfschaltung

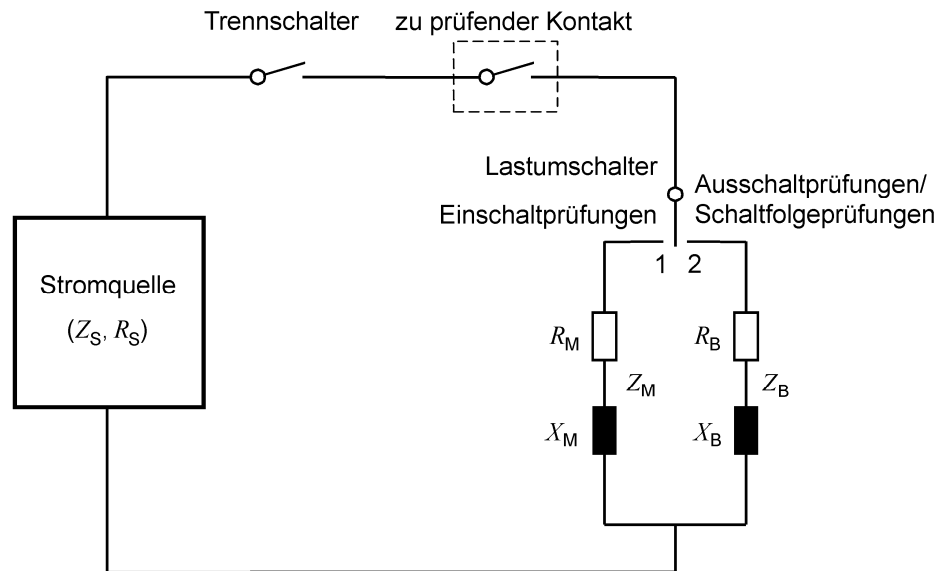
In Bild A.1 ist eine verallgemeinerte Prüfschaltung angegeben und in Bild A.2 ein Signalflussplan.

ANMERKUNG Die Reihenfolge der Anordnung des Trennschalters, des Lastumschalters und des zu prüfenden Kontakts ist in geeigneter Weise entsprechend den angegebenen Prüfbedingungen zu bestimmen.

Wenn nicht anders festgelegt, gelten die Kennwerte aus den Tabellen A.1 und A.2.

Es gelten die Prüfbedingungen nach Abschnitt 5.

Der Wert für den Strom muss als im Kontaktkreis fließender Dauerstrom (Effektivwert für Wechselstrom) angegeben werden.



Kontaktkategorien 0 und 1

Kontaktkategorie 2

$Z_S < 0,02 Z_{M, B}$ (Wechselspannung)

$Z_S < 0,05 Z_{M, B}$ (Wechselspannung)

$R_S < 0,02 R_{M, B}$ (Gleichspannung)

$R_S < 0,05 R_{M, B}$ (Gleichspannung)

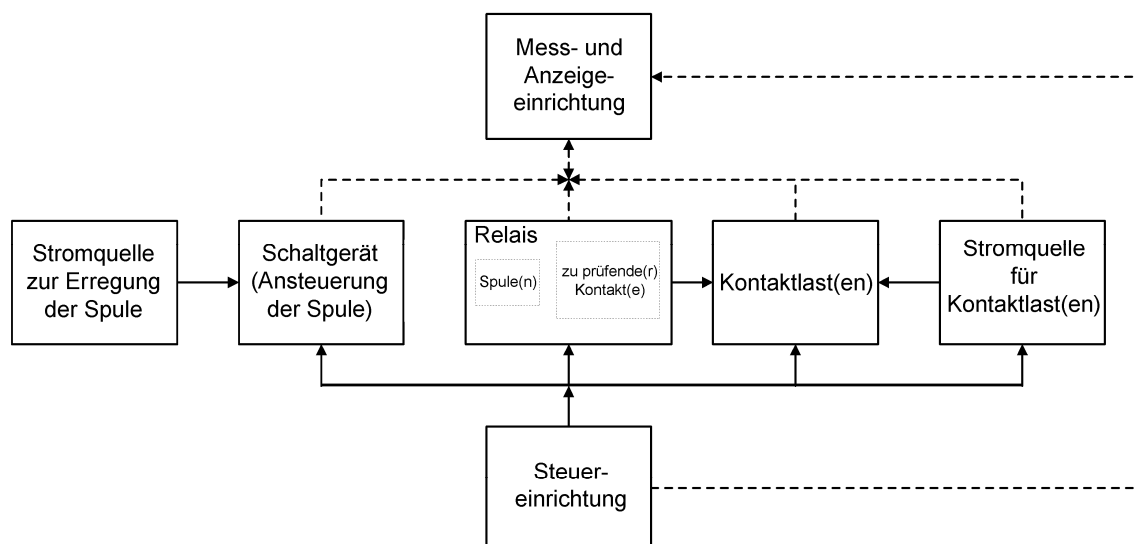
Normlastwerte und Grenzabweichungen für L/R und $\cos \varphi$: siehe Tabelle A.2.

Lastumschalter, Stellung 1: Prüfung des Einschaltvermögens, wenn eine andere Last (Einschaltstromspitze) verwendet wird

Lastumschalter, Stellung 2: Prüfung des (kombinierten) Ein-/Ausschaltvermögens mit derselben Last

Trennschalter: Zum Ein-/Ausschalten des Laststromkreises unabhängig vom zu prüfenden Kontakt.

Bild A.1 – Übliche Prüfschaltung



ANMERKUNG Die zu prüfenden Relais sind mit allen vorhandenen Unterdrückungs- und/oder Anzeigeeinrichtungen zu prüfen.

Bild A.2 – Signalfussplan

Tabelle A.1 – Kennwerte der Stromquellen für Kontaktlasten

Kennwert	Normwerte Stromversorgung	Kontaktlastkategorien (siehe Anhang E)	Grenzabweichungen	Anmerkungen
Spannung	Vorzugswerte und andere festgelegte Werte	CC 0 und CC 1	$\pm 2 \%$	Spannung über der Last einschließlich über dem geschlossenen Kontakt
		CC 2	$\pm 5 \%$	
Strom	Vorzugswerte und andere festgelegte Werte	CC 0 und CC 1	$\pm 5 \%$	Transiente Ströme wie für die Prüfung erforderlich müssen bereitgestellt werden
		CC 2	Mindestens der Bemessungswert des Prüfstroms	
Frequenz	Genormte Bemessungswerte	CC 0 ... CC 2	$\pm 2 \%$	Siehe Tabelle 1 in IEC 61810-1
Schwingungsform	Sinusförmig	CC 0 ... CC 2	Klirrfaktor maximal 5 %	Siehe Tabelle 1 in IEC 61810-1
Wechselanteil im Gleichstrom (Welligkeit)	0	CC 0 ... CC 2	Maximal 6 %	Siehe Tabelle 1 in IEC 61810-1
Gleichanteil im Wechselstrom	0	CC 0 ... CC 2	Maximal 2 % des Scheitelwerts	Siehe Tabelle 1 in IEC 61810-1

Tabelle A.2 – Kennwerte der Normkontaktlast

Lastkennwert	Normwerte		Kontaktlast-kategorien (siehe Anhang D)	Grenz-abweichungen	Anmerkungen
	Gleichstrom-versorgung	Wechsel-strom-versorgung			
Last CC 0 ($\leq 30 \text{ mV} / \leq 10 \text{ mA}$)	$L/R \leq 10^{-7} \text{ s}$	$\cos \varphi \geq 0,95$	CC 0 ... CC 2		L ist die unvermeidbare Eigeninduktivität des Stromkreises
Ohmsche Last	$L/R \leq 10^{-7} \text{ s}$		CC 0 und CC 1		
	$L/R \leq 10^{-6} \text{ s}$		CC 2		
		$\cos \varphi \geq 0,95$	CC 0 ... CC 2		
Induktive Last	$L/R = 0,005 \text{ s}$		CC 0 und CC 1	$\pm 15 \%$	
	$L/R = 0,040 \text{ s}$		CC 2		
		$\cos \varphi = 0,4$	CC 0 ... CC 2	$\pm 0,1$	
ANMERKUNG Für induktive Lasten dürfen von den Normwerten abweichende Werte verwendet werden, wenn es vom Hersteller angegeben ist. Jedoch müssen die Grenzwerte wie in dieser Tabelle angegeben sein.					

A.2 Beschreibung und Anforderungen

A.2.1 Stromquelle für die Erregung der Spule

Die Stromquelle für die Erregung der Relaispule(n) umfasst die Stromversorgung einschließlich der zugehörigen Mittel zur Stabilisierung innerhalb der vorgegebenen Spannungsgrenzen und Impedanzen ebenso wie Sicherheitsanordnungen wie z. B. Sicherungen.

Die Quelle muss die Bemessungswerte der Spulenspannung mit einer Grenzabweichung von $\pm 5 \%$ im eingeschwungenen Zustand liefern. Die Hüllkurve der Eingangsspannung muss rechteckig sein.

Die Quelle und falls erforderlich ihre Polarität müssen von außen regelbar sein.

A.2.2 Schaltgerät (zur Ansteuerung der Spule)

Dies ist eine Schaltung, um die verschiedenen Schaltvorgänge während eines Prüfzyklus auszuführen, einschließlich der Zuleitungen zu den zu prüfenden Relais, die auch in der Lage ist, die Polarität der Zuleitungen zu bistabilen Relais umzuschalten.

Dieses Gerät muss die Bemessungswerte der Spulenspannung ohne Beeinflussung der angegebenen Grenzabweichungen verarbeiten können.

A.2.3 Stromquelle für die Kontaktlast(en)

Die Stromquelle zur Versorgung des Lastkreises (der Lastkreise) umfasst die Stromversorgung einschließlich der zugehörigen Mittel zur Stabilisierung innerhalb der vorgegebenen Spannungs- und Impedanzgrenzen ebenso wie Sicherheitsanordnungen wie z. B. Sicherungen.

Die Anforderungen an die Impedanz und den Widerstand der Quelle sind in Bild A.1 angegeben. Die Grenzabweichung der Stromversorgung muss mit Tabelle A.1 übereinstimmen.

A.2.4 Steuereinrichtung

Dies ist das Gerät, das Befehle erzeugt, um eine festgelegte Prüfabfolge ablaufen zu lassen, indem die Synchronisierung und der Fluss der Steuerbefehle (z. B. Start, Messung, Stopp) geregelt wird.

A.2.5 Mess- und Anzeigeeinrichtung

Mit diesem Gerät wird abhängig von der vom Steuergerät erzeugten Signalform das Ein- und Ausschalten der Relaiskontakte bei jedem Schaltspiel erfasst. Jedes Mal, wenn die beabsichtigte Funktion nicht ausgeführt wird, muss dies angezeigt und aufgezeichnet werden. Dieses Gerät darf keinen nennenswerten Einfluss auf das Ergebnis der Prüfung haben.

A.3 Prinzipschaltbilder für die Prüfung

Prinzipschaltbilder für die Prüfung müssen aus Tabelle 13 der IEC 61810-1 ausgewählt werden, wenn nicht anders vorgegeben.

Anhang B (normativ)

Datenauswertung

B.1 Einleitung

Dieser Anhang wurde aus der Norm für die Funktionsfähigkeit IEC 61649, 2. Ausgabe, abgeleitet, wobei bestimmte Modifikationen notwendig waren, um die Verfahren an Elementarrelais anzupassen. Die in der Norm für die Funktionsfähigkeit betrachtete Verteilung ist die Weibull-Verteilung, die empirisch für eine Datenauswertung für Elementarrelais als geeignet angesehen wird.

In IEC 61649 werden das grafische sowie das numerische Verfahren behandelt. Außerdem wurde bei der grafischen Methode nicht nur die Weibull-Wahrscheinlichkeitsanalyse sondern auch die Weibull-Hazard-Analyse aufgegriffen. Dabei werden die Weibull-Hazard- und die Weibull-Wahrscheinlichkeitsanalyse auf vollständige bzw. unvollständige Daten angewendet. Die letztgenannte Vorgehensweise ist für die Auswertung der Funktionsfähigkeit von Relais besonders sinnvoll, weil viele bei Lebensdauerprüfungen ermittelte Datensätze unvollständig sind.

ANMERKUNG Unvollständige Daten sind die Datensätze, die bei Prüfungen entweder nach einer bestimmten Anzahl von Ausfällen oder nach einer bestimmten Anzahl von Schaltspielen ermittelt werden, wenn noch Einheiten funktionsfähig sind, während vollständige Daten Datensätze ohne Zensorisierung sind.

Dieser Anhang behandelt in Übereinstimmung mit den Festlegungen in IEC 61649 das Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm und das Weibull-Hazard-Diagramm für die grafische Methode und die Wahrscheinlichkeitsmaximumschätzung (maximum likelihood estimation, MLE) für die numerische Methode.

Im Fall von Relais ist der Begriff „Zeit“ als „Schaltspiele“ zu verstehen. Jedoch können bei einer vorgegebenen Schalthäufigkeit die in der Anzahl der Schaltspiele angegebenen Werte in entsprechende Zeiten umgerechnet werden.

Die folgenden Symbole und Gleichungen werden in Übereinstimmung mit IEC 61649 wiedergegeben.

B.2 Abkürzungen

CDF	kumulative Verteilungsfunktion (cumulative distribution function)
MRR	Median-Rangregression (median rank regression)
MLE	Wahrscheinlichkeitsmaximumschätzung (maximum likelihood estimation)
MCTF	mittlere Schaltspiele bis zum Ausfall (mean cycles to failure)

B.3 Symbole und Definitionen

Die nachfolgenden Symbole werden in diesem Anhang B und im Anhang C verwendet. Hilfskonstanten und -funktionen sind im Text definiert.

$f(c)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
$F(c)$	kumulative Verteilungsfunktion
$h(c)$	Hazard-Funktion
$H(c)$	kumulative Hazard-Funktion
$R(c)$	Überlebensfunktion der Weibull-Verteilung
B_{10}	Erwartungswert der Zeit, zu der 10 % der Grundgesamtheit ausgefallen sein werden (10-%-Fraktile der Lebensdauer)
c	Schaltspiel – veränderlich

E DIN IEC 61810-2 (VDE 0435-120):2008-04

- $\hat{m}$ mittlere Schaltspiele bis zum Ausfall
 β Formparameter der Weibull-Verteilung
 η charakteristische Lebensdauer oder Skalenparameter der Weibull-Verteilung
 σ Standardabweichung

B.4 Weibull-Verteilung

Nachfolgend sind die Grundgleichungen der Weibull-Verteilung definiert.

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Weibull-Verteilung ist:

$$f(c) = \beta \cdot \frac{c^{\beta-1}}{\eta^\beta} \cdot e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta} \quad [1]$$

Die kumulative Verteilungsfunktion (CDF) oder der erwartete Bruchteil, der beim Schaltspiel c ausfällt, ist:

$$F(c) = 1 - e^{-(c/\eta)^\beta} \quad [2]$$

Die Überlebensfunktion $R(c)$ beim Schaltspiel c ist:

$$R(c) = 1 - F(c) = e^{-(c/\eta)^\beta} \quad [3]$$

Die Hazard-Funktion $h(c)$ ist:

$$h(c) = \beta \cdot \frac{c^{\beta-1}}{\eta^\beta} \quad [4]$$

Die kumulative Hazard-Funktion $H(c)$ ist:

$$H(c) = \left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta \quad [5]$$

B.5 Verfahren

B.5.1 Grafische Methoden

Grafische Methoden sind relativ unkompliziert und beruhen auf verfügbaren Daten vermischter Ausfallarten. Dieser Abschnitt enthält die Grundlagen der Auswertung und eine Übersicht über die Verfahren zur Erstellung von Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagrammen und Weibull-Hazard-Diagrammen.

B.5.1.1 Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm

B.5.1.1.1 Ordnen und Eintragen der Werte

Zur Erstellung eines Weibull-Diagramms werden die Daten von der niedrigsten zur höchsten Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall geordnet. Durch dieses Ordnen ergeben sich die einzutragenden Werte auf der Achse der Schaltspiele (c) und auf der Ordinate, die kumulative Verteilungsfunktion $F(c)$, in Prozent. $F(c)$ wird mit der Median-Rangregression (MRR) berechnet. Die Punkte (c_i , $F(c_i)$) werden in ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen.

Einzelheiten siehe IEC 61649, 7.2.1 und 7.2.2.

B.5.1.1.2 Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz

Nachfolgend ist ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt.

Gleichung [3] kann zu folgender Gleichung umgestellt werden:

$$\frac{1}{1 - F(c)} = e^{(c/\eta)^\beta} \quad [6]$$

Durch zweifache natürliche Logarithmierung beider Seiten von Gleichung [6] ergibt sich die Gleichung einer Gerade wie folgt:

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(c)} = \beta \ln c - \beta \ln \eta \quad [7]$$

Diese Gleichung ergibt eine Gerade der Form $y = ax + b$. Ein Weibull-Netz ist so konstruiert, dass die kumulative Ausfallwahrscheinlichkeit auf einer doppelt logarithmischen reziproken Skale über c auf einer einfach logarithmischen Skale abgetragen wird. Wenn die Gleichung als Funktion von $\ln(c)$ abgetragen wird, ist der Anstieg der so eingetragenen Gerade der Formparameter β , d. h.:

$$y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(c)} \quad [8]$$

$$a = \beta$$

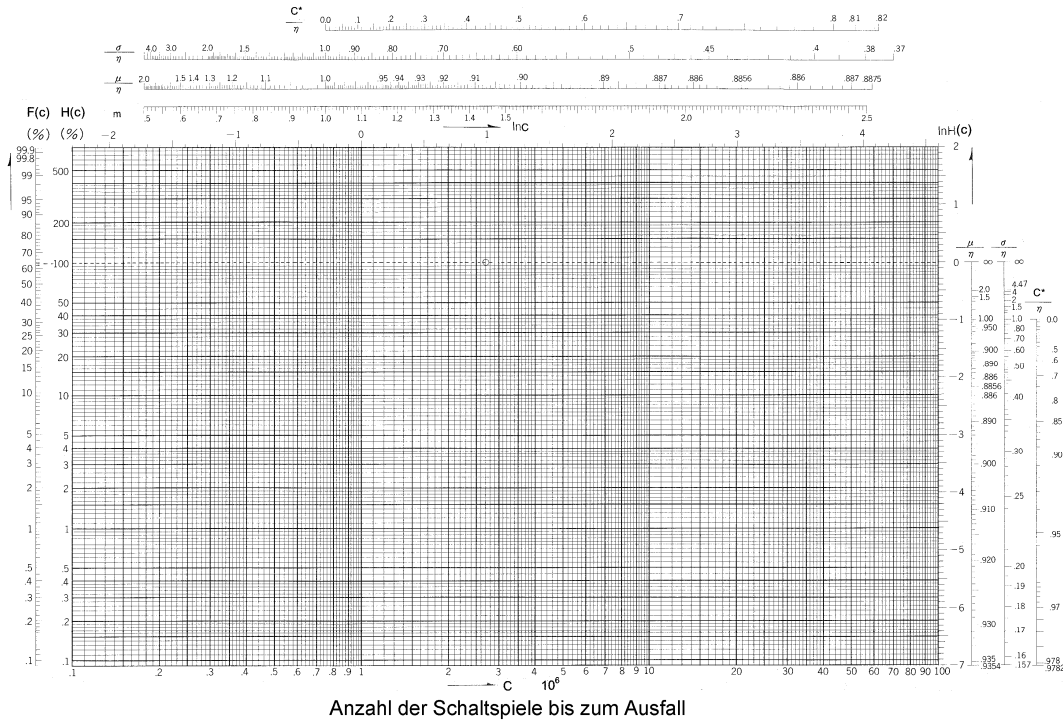
$$x = \ln(c)$$

$$b = -\beta \ln(\eta)$$

Der Skalenparameter ergibt sich dann aus folgendem Schnittpunkt:

$$\eta = e [-(\text{Schnittpunkt})/\beta] \quad [9]$$

Wenn die Daten einer Weibull-Verteilung gehorchen, ergeben sie abgetragen auf einem Weibull-Verteilungsnetz eine Gerade. Bild B.1 zeigt ein leeres Weibull-Verteilungsnetz.



ANMERKUNG Auf der Grundlage eines von JUSE PRESS veröffentlichten Netzes teilweise neu gestaltet.

Bild B.1 – Beispiel für ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsnetz und ein Weibull-Hazard-Netz

B.5.1.2 Hazard-Diagramm

B.5.1.2.1 Ordnen und Eintragen der Werte

Zur Erstellung eines Hazard-Diagramms werden die Daten von der niedrigsten zur höchsten Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall geordnet. Durch dieses Ordnen ergeben sich die einzutragenden Werte auf der Achse der Schaltspiele (c) und auf der Ordinate, der kumulative Hazard-Wert $H(c)$, in Prozent. $H(c)$ wird mit dem Hazard-Wert $h(c)$ berechnet. Die Punkte ($c_i, H(c_i)$) werden in ein Netz einer kumulativen Hazard-Funktion eingetragen.

B.5.1.2.2 Netz einer kumulativen Hazard-Funktion

Nachfolgend ist ein Netz einer kumulativen Hazard-Funktion dargestellt.

Durch natürliche Logarithmierung beider Seiten von Gleichung [5] ergibt sich:

$$\ln H(c) = \beta \ln c - \beta \ln \eta \quad [10]$$

Diese Gleichung ergibt eine Gerade der Form $y = ax + b$. Ein Netz einer kumulativen Hazard-Funktion ist so konstruiert, dass die kumulative Ausfallwahrscheinlichkeit auf einer logarithmischen reziproken Skale über c auf einer einfach logarithmischen Skale abgetragen wird. Wenn die Gleichung als Funktion von $\ln(c)$ abgetragen wird, ist der Anstieg der so eingetragenen Gerade der Formparameter β , d. h.:

$$y = \ln H(c) \quad [11]$$

$$a = \beta$$

$$x = \ln(c)$$

$$b = -\beta \ln (\eta)$$

Der Skalenparameter ergibt sich dann aus folgendem Schnittpunkt:

$$\eta = e [-(\text{Schnittpunkt})/\beta] \quad [12]$$

Wenn die Daten einer kumulativen Hazard-Funktion gehorchen, ergeben sie abgetragen auf einem Netz einer kumulativen Hazard-Funktion eine Gerade. Bild B.1 zeigt ein leeres Netz einer kumulativen Hazard-Funktion.

B.5.1.3 Schätzwerte von Verteilungsparametern und Kennwerten

Die Verteilungsparameter und Kennwerte im Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm und im Hazard-Diagramm sind gleich.

- 1) Punktschätzung des Formparameters $\hat{\beta}$

$\hat{\beta}$ wird aus dem Anstieg a im Netz abgeleitet.

- 2) Punktschätzung des Skalenparameters $\hat{\eta}$

$\hat{\eta}$ wird unmittelbar aus dem Schnittpunkt einer eingetragenen Gerade und einer Waagerechten durch $F(c) = 63,2 \%$ oder $H(c) = 100 \%$ bestimmt, wie im Anhang C dargestellt.

- 3) Punktschätzung der mittleren Schaltspiele bis zum Ausfall (MCTF) $\hat{m}$

$\hat{m}$ ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$\text{MCTF} = \hat{m} = \hat{\eta} \times \Gamma(1 + 1/\hat{\beta}) \quad [13]$$

Dabei werden der Wert für $\hat{\eta}$ und der Gamma-Funktionswert aus dem Netz bzw. mit einem wissenschaftlichen Taschenrechner oder mit einer geeigneten Tabelle einer Gamma-Funktion ermittelt.

- 4) Punktschätzung der Standardabweichung $\hat{\sigma}$

$\hat{\sigma}$ ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$\hat{\sigma} = \hat{\eta} \times \sqrt{\Gamma(1 + 2/\hat{\beta}) - \Gamma^2(1 + 1/\hat{\beta})} \quad [14]$$

Dabei werden der Wert für $\hat{\eta}$ und der Gamma-Funktionswert mit den gleichen Hilfsmitteln wie in 4) ermittelt.

- 5) Punktschätzung des Fraktils (10 %) der Schaltspiele bis zum Ausfall B_{10} :

B_{10} wird unmittelbar aus dem Schnittpunkt einer eingetragenen Gerade und einer Waagerechten durch $F(c) = 10 \%$ im Weibull-Diagramm oder $H(c) = -\ln 0,9 = 10,54 \%$ im Hazard-Diagramm bestimmt, wie im Anhang C dargestellt.

B.5.1.4 Vermischung mehrerer Ausfallarten

Mitunter tritt ein Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm oder ein Hazard-Diagramm mit einem „Höcker“ auf.

Ist die Linie keine Gerade, wird dies als „höckriges Weibull-Diagramm“ bezeichnet. Dieser Fall wird durch eine Mischung mehrerer Ausfallarten, d. h. üblicherweise durch miteinander konkurrierende Ausfallarten, verursacht.

Wenn dieser Fall eintritt, ist eine genaue Untersuchung der ausgefallenen Einheiten der beste Weg zur Trennung der Daten in unterschiedliche Ausfallarten.

Es wird ein Datensatz von zwei verschiedenen Ausfallarten (A und B) betrachtet. Der erste Datensatz sollte nur als Daten der Ausfallart A untersucht werden, der die Daten der Ausfallart B stützt. Folglich enthält der zweite Datensatz Daten der Ausfallart B. Diese beiden Datensätze können zur Vorhersage der Ausfallverteilung benutzt werden.