

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                          |                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p style="text-align: center;"><b>Zuverlässigkeitsmanagement</b><br/>Teil 3-1: Anwendungsleitfaden - Verfahren zur Analyse der<br/>Zuverlässigkeit: Leitfaden zur Methodik<br/>(IEC 56/734/CDV:2001)</p> | <p style="text-align: center;"><b>DIN</b><br/><b>IEC 60300-3-1</b></p> |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"><div><p>ICS 03.120.10; 29.020</p><p>Dependability management<br/>Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability:<br/>Guide on methodology<br/>(IEC 56/734/CDV:2001)</p><p>Gestion de la sûreté de fonctionnement<br/>Partie 3-1: Guide d'application - Techniques d'analyse de la sûreté de<br/>fonctionnement: Guide méthodologique<br/>(CEI 56/734/CDV:2001)</p><p><b>Anwendungswarnvermerk</b></p><p>Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p><p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p><p>Stellungnahmen werden erbeten an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informa-<br/>tionstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</p><p><b>Das internationale Schriftstück IEC 56/734/CDV:2001-04 „IEC 60300-3-1: Dependability management - Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability: Guide on methodology“ ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.</b></p></div><div><p>Einsprüche bis 2002-01-31</p><p>Vorgesehen als Ersatz für<br/>DIN IEC 60300-3-1:1994-02</p></div></div> <div style="text-align: right; margin-top: 200px;">Fortsetzung Seite 2 bis 56</div> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</div> |                                                                                                                                                                                                          |                                                                        |

## Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält eine autorisierte deutsche Übersetzung des Internationalen Norm-Entwurfs [Committee Draft for Vote (CDV)] 56/734/CDV:2001-04 „IEC 60300-3-1: Dependability management – Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability: Guide on methodology“.

Der Internationale Entwurf wurde vom TC 56 „Dependability“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und als CDV herausgegeben. Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene entstandener Internationaler Norm-Entwurf im Schlussstadium [Final Draft International Standard (FDIS)] zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Abstimmung gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 2 Monate beträgt, und zum FDIS 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 CDV als Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der Abstimmung berücksichtigen zu können.

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

## Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60300-3-1:1994-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Zu den primären Analyseverfahren FMEA, Störungsbaum, Zuverlässigkeitsblockdiagramm, Markoff und Bauelementezählverfahren werden eine ganze Reihe unterstützender Verfahren neu mit aufgenommen wurden.

Diese unterstützenden Verfahren wie etwa HAZP, Paretoanalyse, Finite Elemente, Petri-Netze, Bayessche Verfahren und Simulationsverfahren können die Zuverlässigkeitsanalysen begleitend unterstützen oder einen Mehrwert bei der Ausgestaltung der Zuverlässigkeit darstellen

## 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 ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

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.

**Tabelle NA.1**

| Europäische Norm | Internationale Norm | Deutsche Norm                | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| –                | IEC 60050(191):1990 | IEV Kapitel 191:1995         | –                                      |
| –                | IEC 60300-3-9:1995  | E DIN IEC 56(Sec)410:1995-03 | –                                      |
| –                | IEC 60706-1:1982    | DIN IEC 60706-1:1986-12      | –                                      |
| –                | IEC 60812:1985      | E DIN IEC 60812:2001-10      | –                                      |
| –                | IEC 61025:1990      | DIN IEC 61025:1993-12        | –                                      |
| EN 61078:1993    | IEC 61078:1991      | DIN EN 61078:1994-10         | –                                      |
| –                | IEC 61165:1995      | –                            | –                                      |
| EN 61709:1998    | IEC 61709:1996      | DIN EN 61709:1999-01         | –                                      |
| –                | IEC 61882           | E DIN IEC 56/581/CD:1998-01  | –                                      |

## Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

IEV Kapitel 191, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 191: Zuverlässigkeit und Dienstgüte; Identisch mit IEC 60050-191:1990.*

E DIN IEC 56(Sec)410, *Analyse des Risikos technischer Systeme – Leitfaden (IEC 56(Sec)410:1994).*

DIN IEC 60706-1, *Elektrotechnik; Leitfaden zur Instandhaltbarkeit von Geräten; Teil 1: Hauptabschnitte Eins, Zwei und Drei; Einführung, Anforderungen und Instandhaltbarkeitsprogramm; Identisch mit IEC 60706-1, Ausgabe 1982.*

E DIN IEC 60812, *Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und auswirkungsanalyse (FMEA); (IEC 56/735/CD:2001).*

DIN IEC 61025, *Störungsbaumanalyse; Identisch mit IEC 61025:1990.*

DIN EN 61078, *Techniken für die Analyse der Zuverlässigkeit – Verfahren mit Zuverlässigkeitsblockdiagramm (IEC 61078:1991); Deutsche Fassung EN 61078:1993.*

DIN EN 61709, *Bauelemente der Elektronik – Zuverlässigkeit – Referenzbedingungen für Ausfallraten und Beanspruchungsmodelle zur Umrechnung (IEC 61709:1996); Deutsche Fassung EN 61709:1998.*

E DIN IEC 56/581/CD, *Leitfaden zur Gefährdungs- und Betriebbarkeitsuntersuchung (HAZOP) (IEC 56/581/CD:1997)*

**Nationaler Anhang NC**  
(informativ)  
**englische und deutsche Benennungen**

| Deutsch                                                                                                                               | Englisch                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Analyse der Ausfallberichte und Korrekturmaßnahmen                                                                                    | Failure reporting analysis and corrective action (FRACAS) |
| Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit                                                                                              | Human reliability analysis                                |
| Analyse des ungünstigsten Falls                                                                                                       | worst case analysis                                       |
| Bayessche Zuverlässigkeitsverfahren                                                                                                   | Bayesian reliability methods                              |
| Beanspruchungsanalyse                                                                                                                 | Stress-strength analysis                                  |
| Belastungsminderung und Wahl von Teilen                                                                                               | Parts derating and selection                              |
| Ereignisbaumanalyse                                                                                                                   | Event tree analysis                                       |
| Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA), in DIN 25448:1990-05 als "Ausfalleffektanalyse" bezeichnet                           | Fault modes and effects analysis (FMEA)                   |
| Fehlzustandsart-, -auswirkungsanalyse und -kritizitätsanalyse (FMECA), in DIN 25448:1990-05 als "Ausfallbedeutungsanalyse" bezeichnet | Fault modes, effects and criticality analysis (FMECA)     |
| Funktionsfähigkeit                                                                                                                    | Reliability                                               |
| Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung (HAZOP)                                                                                  | Hazard and operability studies analysis (HAZOP)           |
| Kriechwegeanalyse                                                                                                                     | sneak circuit analysis                                    |
| Markoffanalyse                                                                                                                        | Markov analysis                                           |
| Petri-Netz-Analyse                                                                                                                    | Petri net analysis                                        |
| Störungsbaumanalyse                                                                                                                   | Fault tree analysis                                       |
| Vorhersage der Ausfallrate                                                                                                            | Failure rate prediction                                   |
| Wahrheitstabelle                                                                                                                      | Truth table                                               |
| Zuverlässigkeit                                                                                                                       | Dependability                                             |
| Zuverlässigkeitsblockdiagrammanalyse                                                                                                  | Reliability block diagram analysis                        |

## Deutsche Übersetzung

### **Zuverlässigkeitsmanagement** **Teil 3-1: Anwendungsleitfaden - Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit:** **Leitfaden zur Methodik**

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Einführung.....                                                               | 6  |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                     | 7  |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                | 7  |
| 3 Begriffe .....                                                              | 7  |
| 4 Grundsätzliches Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit.....              | 9  |
| 4.1 Allgemeines Verfahren .....                                               | 9  |
| 4.2 Primäre und unterstützende Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit..... | 10 |
| 4.3 Zuverlässigkeitszuweisung.....                                            | 12 |
| 4.4 Zuverlässigkeitsanalyse .....                                             | 13 |
| 4.5 Analyse und Betrachtung der Instandhaltung .....                          | 15 |
| 5 Wahl des geeigneten Analyseverfahrens.....                                  | 15 |
| Anhang A (informativ) Kurzbeschreibung der Analyseverfahren.....              | 18 |
| A.1 Primäre Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit.....                    | 18 |
| A.1.1 Vorhersage der Ausfallrate.....                                         | 18 |
| A.1.2 Störungsbaumanalyse.....                                                | 20 |
| A.1.3 Ereignisbaumanalyse .....                                               | 23 |
| A.1.4 Zuverlässigkeitsblockdiagrammanalyse.....                               | 24 |
| A.1.5 Markoffanalyse .....                                                    | 26 |
| A.1.6 Petri-Netz-Analyse.....                                                 | 30 |
| A.1.7 Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse .....                          | 33 |
| A.1.8 Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung .....                      | 36 |
| A.1.9 Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit .....                          | 37 |
| A.1.10 Beanspruchungsanalyse .....                                            | 40 |
| A.1.11 Wahrheitstabelle.....                                                  | 42 |
| A.1.12 Bayessche Zuverlässigkeitsverfahren.....                               | 44 |
| A.2 Ausgewählte unterstützende Verfahren .....                                | 45 |
| A.2.1 Kriechwegeanalyse .....                                                 | 45 |
| A.2.2 Analyse des ungünstigsten Falls.....                                    | 46 |
| A.2.3 Variationssimulations-Modellierung.....                                 | 47 |
| A.2.4 Verfahren für die Vorhersage der Funktionsfähigkeit von Software .....  | 48 |
| A.2.5 Analyse finiter Elemente.....                                           | 49 |
| A.2.6 Belastungsminderung und Wahl von Teilen.....                            | 50 |
| A.2.7 Paretoanalyse.....                                                      | 51 |
| A.2.8 Ursache-Wirkung-Diagramm.....                                           | 53 |
| A.2.9 Analyse der Ausfallberichte und Korrekturmaßnahmen.....                 | 54 |

## Einführung

Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit werden für die Vorhersage, Bewertung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit einer Einheit verwendet.

Zuverlässigkeitsanalysen werden während der Konzept- und Definitionsphase, Entwurfs- und Entwicklungsphase, Betriebs- und Instandhaltungsphase in verschiedenen Systemebenen und Analysetiefen durchgeführt, um die Zuverlässigkeit einer Einheit zu beurteilen, zu bestimmen und zu verbessern. Sie könnten auch dafür verwendet werden, die Ergebnisse der Analyse mit den festgelegten Anforderungen zu vergleichen.

Zuverlässigkeitsvorhersagen werden bei der Planung der Logistik und der Instandhaltung verwendet, um die Instandhaltungshäufigkeit und den Teiletausch zu schätzen. Diese Schätzungen beeinflussen häufig wichtige Kostenelemente des Lebenszyklus' und sollten bei Untersuchungen der Lebenszykluskosten und bei vergleichenden Untersuchungen sorgfältig angewendet werden.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollten bei Zuverlässigkeitsanalysen alle zur Zuverlässigkeit eines Systems beitragenden möglichen Elemente beachtet werden: Hardware, Software als auch menschliche Faktoren und organisatorische Aspekte.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt einen allgemeinen Überblick über die üblicherweise verwendeten Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit. Die jeweils übliche Methodik, deren Vor- und Nachteile, benötigte Eingabedaten und sonstige Bedingungen für die Verwendung der verschiedenen Techniken werden beschrieben.

Dieser Leitfaden ist eine Einführung in ausgewählte Verfahren und stellt die für die Auswahl der geeignetsten Analyseverfahren benötigten Informationen bereit.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Für datierte Verweise gelten spätere Änderungen oder Bearbeitungen der zitierten Internationalen Normen nicht. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Für nicht datierte Verweise gilt die jeweils aktuellste Fassung des Verweisdokumentes. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

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

IEC 60300-3-9 (1995), *Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems*

IEC 60706-1 (1982), *Guide on maintainability of equipment – Part 1: Sections One, Two and Three – Introduction, requirements and maintainability programme*

IEC 60812 (1985), *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*

IEC 61025 1990), *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61078 (1991), *Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram method*

IEC 61165 (1995), *Application of Markov techniques*

IEC 61709 (1996), *Electronic components – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion*

IEC 61882 (Draft), *Hazard and Operability (HAZOP) Studies – Guide word approach*

## 3 Begriffe

Für diese Internationale Norm gelten die Begriffe nach IEC 60050-191. Zusätzlich gilt folgendes:

### 3.1

#### Einheit

Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das für sich allein betrachtet werden kann.

[IEC 60050(191-01-01)]

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

### 3.2 System

**Anmerkung des Sekretärs:** Für den Begriff "System" stehen gegenwärtig verschiedene Definitionen zur Verfügung. Einige Beispiele werden nachfolgend gegeben. Stellungnahmen werden von den Nationalen Komitees erbeten welche der Definitionen (d.h. a), b), c) oder d)) für diese Norm verwendet werden sollte.

a) [IEC 60300-1]

Diskrete, unterscheidbare und physisch existierende Einheit mit einem vorgegebenen Zweck, vollständig zusammengesetzt aus integrierten und aufeinander einwirkenden Elementen, von denen jedes einzelne nicht für sich allein den Gesamtzweck erfüllt.

ANMERKUNG: In der höchsten Ebene der Analyse betrachtete Einheit.

ANMERKUNG: "System" kann gegebenenfalls durch "Teilsystem", substituiert werden.

b) [IEC 60300-3-1: 1991]

In der höchsten Ebene der Analyse betrachtete Einheit.

c) ISO 9000:2000:

Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Elementen

d) [Im TC56/WG2/PT2.8 diskutierter Vorschlag]

Abgegrenzte physikalische Einheit, die in ihrer Umgebung ein definiertes Ziel durch die Schnittmenge ihrer Teile erreicht.

### 3.3 Komponente

In der niedrigsten Ebene der Analyse betrachtete Einheit.

### 3.4 Zuweisung

Während der Entwicklung einer Einheit angewendetes Verfahren, um die für eine Einheit geforderten Werte der Kenngrößen auf deren Untereinheiten nach vorgegebenen Kriterien aufzuteilen.

### 3.5 Ausfall

Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen.

[IEC 60050(191-04-01)]

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

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

ANMERKUNG 3: Der so definierte Begriff ist auf Software nicht anwendbar.

### 3.6 Fehlzustand; Fehlzustandsart

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

[IEC 60050(191-05-01)]

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

### 3.7 Art des Fehlzustands; Fehlzustandsart

Einer der möglichen Fehlzustände bezüglich einer geforderten Funktion einer fehlerhaften Einheit.

[(IEC 60050(191-05-22)]

ANMERKUNG: Es ist davon abzuraten, die Benennung "Ausfallart" im gleichen Sinne zu verwenden.

## 4 Grundsätzliches Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit

### 4.1 Allgemeines Verfahren

Ein allgemeines Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit umfasst, soweit zutreffend, die nachfolgenden Aufgaben:

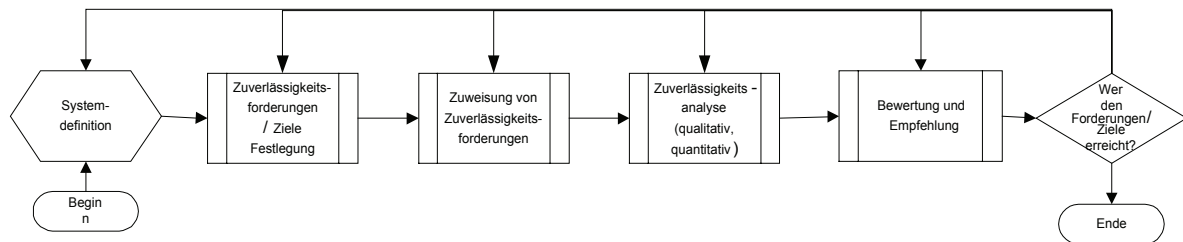


**Bild 1 – Allgemeines Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit**

#### a) Definition des Systems

Definiere das zu analysierende System, seine Betriebszustände, seine funktionalen Beziehungen mit seiner Umgebung einschließlich der Schnittstellen und Prozesse. Im allgemeinen ist die Systemdefinition eine aus der Systementwicklung folgende Angabe.

#### b) Zuverlässigkeitsanforderungen / Festlegung der Ziele

Liste alle Anforderungen an die Funktionsfähigkeit und Verfügbarkeit oder an Ziele, Eigenschaften und Merkmale des Systems auf, zusammen mit Umgebungs- und Betriebsbedingungen sowie Anforderungen an die Instandhaltung. Definiere Systemausfall, Ausfallkriterien und Ausfallbedingungen auf der Grundlage funktionaler Systemspezifikationen, erwarteter Betriebsdauer und Betriebsumgebung (Missionsprofil und Missionsdauer).

#### c) Zuweisung der Zuverlässigkeitsanforderungen

Weise Zuverlässigkeitsanforderungen an das System oder weise Ziele, sofern notwendig, verschiedenen Teilsystemen in der frühen Entwicklungsphase zu.

#### d) Zuverlässigkeitsanalyse

Analysiere das System mittels Zuverlässigkeitstechniken und relevanter Leistungsdaten.

##### 1. Qualitative Analyse

- Analysiere die funktionale Systemstruktur,
- Ermittle die Fehlzustandsarten des Systems und seiner Komponenten, Ausfallmechanismen, Ursachen, Auswirkungen und Folgen von Ausfällen,
- Ermittle Abnutzungsmechanismen die zu Ausfällen führen können,
- Analysiere Ausfall/Fehlzustandspfade,
- Beachte Instandhaltbarkeit,
- Analysiere Möglichkeiten der Vermeidung von Fehlzuständen,
- Bestimme mögliche Instandhaltungs- und Reparaturstrategien, usw.

##### 2) Quantitative Analyse

- Entwickle Zuverlässigkeitsmodelle,

- Lege zu verwendende numerische Referenzdaten fest,
- Führe Zuverlässigkeitsberechnungen durch,
- Führe nach Bedarf Analysen zur kritischen und empfindlichen Bauelementen durch.

e) Bewertung und Empfehlungen

Analysiere ob die Zuverlässigkeitsanforderungen und Ziele erfüllt sind und ob alternative Entwürfe in wirksamer und kostengünstiger Weise die Zuverlässigkeit verbessern können. Hierzu können (sofern zutreffend) die folgenden Aufgaben gehören.

- Beurteile die Verbesserung der Systemzuverlässigkeit als Ergebnis von Verbesserungen im Entwurf und der Fertigung (z.B. Redundanz, Verringerung der Beanspruchung, Verbesserung der Instandhaltungsstrategien, Prüfsysteme, technologische Prozesse und Qualitätslenkungssystem).

**ANMERKUNG** Die inhärenten Maßgrößen für die Zuverlässigkeit können nur durch den Entwurf verbessert werden. Falls ungenügende Werte der Maßgrößen beobachtet werden und diese einem schlechten Fertigungsprozess zuzuschreiben sind, so kann man aus betrieblicher Sicht davon sprechen, dass die beobachteten Maßgrößen für die Zuverlässigkeit durch einen verbesserte Fertigungsprozess zu verbessern sind.

- Bewerte den Systementwurf, bestimme Schwachstellen und kritische Fehlzustände und Komponenten.
- Beachte Probleme mit Systemschnittstellen, Merkmale und Mechanismen von Vorkehrungen für "das ausfallen in einen sicheren Zustand (en: fail safe)", usw.
- Entwickle alternative Wege zur Verbesserung der Zuverlässigkeit, z.B. Redundanz, Überwachung der Leistung, Erkennung von Fehlzuständen, Techniken zur Systemrekonfiguration, Instandhaltungsprozeduren, Austauschbarkeit von Komponenten, Reparaturprozeduren.
- Mache abwägende Untersuchungen zu Kosten und Komplexität von alternativen Entwürfen.
- Beurteile die Auswirkungen beherrschter Fertigungsprozesse.
- Beurteile die Ergebnisse und vergleiche mit den Anforderungen.

## 4.2 Primäre und unterstützende Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit

Die in dieser Norm vorgestellten Verfahren können in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden:

- Verfahren die in erster Linie für die Zuverlässigkeitsanalyse (primäre Verfahren) eingesetzt werden; und
- Allgemeine technische Verfahren, welche die Zuverlässigkeitsanalysen begleitend unterstützen oder einen Mehrwert bei der Ausgestaltung der Zuverlässigkeit darstellen (unterstützende Verfahren).

Lediglich primäre Verfahren werden im Einzelnen behandelt und bewertet und in Beispielen dargestellt. Es wird anerkannt, dass es in der Literatur zahlreiche Verfahren gibt, auch unter verschiedenen Namen. Um jedoch in diese Norm aufgenommen zu werden und somit als genormtes Verfahren zur Zuverlässigkeitsanalyse angesehen werden zu können, sollten die folgenden Kriterien erfüllt sein.

- Das Verfahren sollte auf Zuverlässigkeitsanalysen anwendbar sein.
- Das Verfahren sollte einzig in seiner Art sein oder wenigstens einige es alleinstellende Merkmale haben.
- Das Verfahren sollte eine anwendbare Technik sein und keine mathematische oder technische Kuriosität.
- Die Glaubhaftigkeit sollte durch mehr als ein Beispiel aus der Industrie oder durch mindestens zwei anerkannte Verweise, vorzugsweise Normen, gegeben sein.
- Das Verfahren wird allgemein von Regulierungsbehörden oder Regierungsstellen oder von der Industrie anerkannt.

Verfahren, welche diese Kriterien nicht erfüllen, aber Zuverlässigkeitsanalysen unterstützen, sind nachstehend als unterstützende Verfahren aufgenommen worden. Die Anwendbarkeit der primären Zuverlässigkeitsanalyseverfahren ist in Tabelle 1 angegeben. Tabelle 2 enthält detailliertere Merkmale. Die Verfahren werden jeweils kurz in Anhang A erläutert.

**Tabelle 1 – Anwendung allgemeiner Zuverlässigkeitsanalyseverfahren**

| Analyse-<br>verfahren                                                                       | Zuweisung von<br>Zuverlässigkeits-<br>anforderungen / Ziele                                 | Qualitative Analyse                                                                  | Quantitative Analyse                                                                         | Bewertung<br>und<br>Empfehl-<br>ungen | Anhang |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| Vorhersage der<br>Ausfallrate                                                               | anwendbar auf serielle<br>Systeme ohne<br>Redundanz                                         | Möglich für<br>Instandhaltungs-<br>strategieanalyse                                  | Berechnung der<br>Ausfallraten und MTTF<br>von elektronischen<br>Bauelementen und<br>Geräten | Unterstützend                         | A.1.1  |
| Störungsbaum-<br>analyse                                                                    | anwendbar, falls das<br>Systemverhalten nicht<br>stark Zeit- oder<br>Abfolgeabhängig ist    | Fehlzustands-<br>kombinationen                                                       | Berechnung der<br>Systemzuverlässigkeit                                                      | anwendbar                             | A.1.2  |
| Ereignisbaum-<br>analyse                                                                    | möglich                                                                                     | Ausfallfolgen                                                                        | Berechnung der<br>Systemausfallraten                                                         | anwendbar                             | A.1.3  |
| Zuverlässig-<br>keitsblockdia-<br>grammanalyse                                              | anwendbar, falls das<br>System in unabhängige<br>Blöcke aufgeteilt werden<br>kann           | Erfolgspfade                                                                         | Berechnung der<br>Systemzuverlässigkeit                                                      | anwendbar                             | A.1.4  |
| Markoffanalyse                                                                              | anwendbar                                                                                   | Ausfallfolgen                                                                        | Berechnung der<br>Systemzuverlässigkeit                                                      | anwendbar                             | A.1.5  |
| Petri-Netz-<br>Analyse                                                                      | anwendbar                                                                                   | Ausfallfolgen                                                                        | Liefert die System-<br>beschreibung für die<br>Markoffanalyse                                | anwendbar                             | A.1.6  |
| Fehlzustandsart-<br>und -aus-<br>wirkungs- (und -<br>kritizitäts) -<br>analyse<br>(FME(C)A) | anwendbar auf Systeme<br>in denen ein<br>unabhängiger<br>Einzelausfall<br>vorherrschend ist | Auswirkungen von<br>Fehlzuständen                                                    | Berechnung der<br>Systemausfallraten (und<br>Kritizität)                                     | anwendbar                             | A.1.7  |
| Gefährdungs- und<br>Betreibarkeits-<br>untersuchung<br>(HAZOP)                              | Unterstützend                                                                               | Auswirkungen von<br>Fehlzuständen                                                    | Nicht anwendbar                                                                              | Unterstützend                         | A.1.8  |
| Analyse der<br>menschlichen<br>Zuverlässigkeit                                              | Unterstützend                                                                               | Analyse der Aufgaben<br>von Menschen                                                 | Berechnung der Wahr-<br>scheinlichkeiten mensch-<br>lichen Fehlverhaltens                    | Unterstützend                         | A.1.9  |
| Beanspruch-<br>ungsanalyse                                                                  | Nicht anwendbar                                                                             | Brauchbar als Mittel<br>zur Vermeidung von<br>Fehlzuständen                          | Berechnung der Funk-<br>tionsfähigkeit von<br>(elektro-) mechanischen<br>Komponenten         | Unterstützend                         | A.1.10 |
| Wahrheitstabelle<br>(Struktur-<br>funktionsanalyse)                                         | Nicht anwendbar                                                                             | möglich                                                                              | Berechnung der<br>Systemzuverlässigkeit                                                      | Unterstützend                         | A.1.11 |
| Bayessche<br>Zuverlässig-<br>keitsverfahren                                                 | möglich für ausgewählte<br>Zuverlässigkeitsmodelle                                          | Auswirkungen von<br>Fehlzuständen für<br>ausgewählte<br>Zuverlässigkeits-<br>modelle | Quantitative Schätzung<br>der Zuverlässigkeit mit<br>Unsicherheiten                          | Unterstützend                         | A.1.12 |

**ANMERKUNG** Die Formulierung in dieser Tabelle ist wie folgt zu verstehen.

Anwendbar bedeutet, dass das Verfahren allgemein anwendbar ist und für diese Aufgabe empfohlen wird (möglicherweise mit den erwähnten Einschränkungen).

Möglich bedeutet, dass es für diese Aufgabe verwendet werden kann, es aber gegenüber anderen Verfahren gewisse Nachteile hat.

Unterstützend bedeutet, dass es für einen gewissen Teil der Aufgabe allgemein anwendbar ist, aber nicht als einziges Verfahren für die gesamte Aufgabe.

Nicht anwendbar bedeutet, dass es für diese Aufgabe nicht verwendet werden kann.

Zu den unterstützenden oder allgemeinen technischen Verfahren gehören (diese Liste ist nicht notwendigerweise vollständig):

- Instandhaltbarkeitsanalyse;
- Kriechwegeanalyse (A.2.1);
- Analyse des ungünstigsten Falls (A.2.2);
- Variationssimulations-Modelierung (A.2.3);
- Verfahren für die Vorhersage der Funktionsfähigkeit von Software (A.2.4);
- Analyse finiter Elemente (A.2.5);
- Belastungsminderung und Wahl von Teilen (A.2.6);
- Paretoanalyse (A.2.7);
- Ursache-Wirkung-Diagramme (A.2.8);
- Analyse der Ausfallberichte und Korrekturmaßnahmen (A.2.9).

Die Verfahren für die Vorhersage der Funktionsfähigkeit von Software wurden lediglich als unterstützende Verfahren eingestuft, da bis jetzt noch kein Konsens für ein genormtes Verfahren gefunden werden konnte und diese Technik bis jetzt noch nicht für eine allgemeine Anerkennung ausgereift ist.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Verfahren entsprechend ggf. vorhandener IEC-Normen benannt und verstanden werden. Entsprechend der vorstehend genannten Kriterien wurden die folgenden Verfahren nicht als selbständige Verfahren aufgenommen, da diese entweder abgeleitet sind oder in enger Beziehung zu primären Verfahren stehen.

- Ursache/Folge-Analyse ist eine Kombination von Ereignisbaum- und Störungsbaumanalyse.
- Dynamische Störungsbaumanalyse ist eine Erweiterung der Störungsbaumanalyse, wobei bestimmte Ereignisse durch Markoff-Sub-Modelle ausgedrückt werden.
- Funktionale Ausfallanalyse ist eine Sonderart einer funktionalen FMEA.
- Binäre Entscheidungsdiagramme werden hauptsächlich als eine effiziente Darstellung von Störungsbäumen verwendet.

### 4.3 Zuverlässigkeitszuweisung

Das festlegen von Zuverlässigkeitsanforderungen an Teilsysteme ist ein wesentlicher Teil der Systementwurfsarbeit. Ziel dieser Arbeit ist es, die effektivste Systemarchitektur zu finden mit der die Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllt werden können (als Beitrag zur Machbarkeitsstudie).

In einem ersten Schritt werden die Zuverlässigkeitsanforderungen an das Gesamtsystem den Teilsystemen zugewiesen. Dabei ist die Komplexität dieser Teilsysteme in Kenntnis von Erfahrungen mit vergleichbaren Systemen zu berücksichtigen. Wenn die Anforderungen vom ersten gemachten Entwurf noch nicht erfüllt werden, so müssen Zuweisung und Entwurf in Iterationsschritten neu gemacht werden. Die Zuweisung geschieht oft auf der Grundlage von Betrachtungen der Komplexität, Kritizität, Betriebsprofil und Umweltbedingungen.

Da die Zuverlässigkeitszuweisung üblicherweise früh notwendig ist, wenn noch keine oder nur wenige Informationen verfügbar sind, sollte die Zuweisung periodisch wiederholt werden.

Die Zuweisung der Systemzuverlässigkeit auf die Teilsysteme und Baugruppenebene ist früh während der Produktdefinitionsphase notwendig, um

- die Machbarkeit der Zuverlässigkeitsanforderungen an das System zu prüfen; und
- um in diesen tieferen Ebenen realistische Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Entwurfs aufzustellen;
- klare und verifizierbare Zuverlässigkeitsanforderungen an die Unterlieferanten aufzustellen.

Bei der Durchführung der Zuverlässigkeitszuweisung müssen die folgenden Schritte gemacht werden.

- Analyse des Systems und Erkennen von Bereichen, von denen der Entwurf bekannt ist und Werte für die Zuverlässigkeitskenngrößen verfügbar sind oder leicht zugänglich sind. Zuweisung der geeigneten Faktoren und deren Beitrag zur Zuverlässigkeitsanforderungen des Gesamtsystems bestimmen. Die Differenz ist der Teil der Zuverlässigkeitsanforderungen, der anderen Bereichen zugewiesen werden kann.
- Erkennen neuer Bereiche über die keine Informationen zum Entwurf vorliegen. Jedem funktionalen Block werden Wichtungsfaktoren für die Komplexität zugewiesen. Faktoren für die Komplexität können anhand folgender Punkte gebildet werden: Schätzung der Anzahl und der gegenseitigen Beziehungen von Teilen, Lastzyklus des Gerätes, Betriebsart und kritische Pfade; sind Einheiten extremen Temperaturen ausgesetzt und so weiter. Derjenige Teil der Anforderung an die Systemzuverlässigkeit, der noch nicht auf Bereiche bekannten Entwurfs aufgeteilt ist, wird anhand der zugewiesenen Wichtungsfaktoren aufgeteilt.

Zuverlässigkeitszuweisung hat folgende Vorzüge:

- sie ist während der Produktentwicklung ein Weg, um die Beziehungen der Zuverlässigkeitsziele zwischen dem System und seinen Einheiten (z.B. Teilsysteme, Geräte, Komponenten) zu entwickeln und zu verstehen;
- sie behandelt Zuverlässigkeit als auch andere Entwurfsparameter wie Kosten und Leistungskenngrößen;
- liefert gesonderte Ziele für die Funktionsfähigkeit der von Unterlieferanten zu liefernden Teile, dadurch werden Entwurf und Lieferverfahren verbessert;
- kann zu optimaler Systemzuverlässigkeit führen, da es solche Faktoren wie Komplexität, Kritizität und Auswirkungen der Betriebsumgebung berücksichtigt.

Andererseits sollten einige Einschränkungen zur Kenntnis genommen werden:

- Oft wird die Annahme getroffen, die Einheiten eines Systems seien unabhängig, z.B. der Ausfall einer Einheit wirke sich nicht auf die anderen aus. Da diese Annahme oft nicht stimmt, verringert diese Einschränkung die Vorzüge dieses Verfahrens;
- Aufteilung redundanter Systeme ist komplexer. In diesen Fällen ist es angebracht, ein iteratives Verfahren zu benutzen um zu prüfen, ob die Zuverlässigkeitsziele für das System erreicht werden können, beispielsweise die Störungsbaumanalyse.

## **4.4 Zuverlässigkeitsanalyse**

### **4.4.1 Kategorien der Verfahren**

Zuverlässigkeitsanalyseverfahren, sie sind kurz im Anhang A erläutert, können entsprechend ihrem Hauptzweck in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- a) Verfahren zur Vermeidung von Fehlzuständen, z.B.
  - Minderbelastung von Teilen
  - Beanspruchungsanalyse
- b) Verfahren zur Analyse der Architektur und Bewertung der Funktionsfähigkeit (Aufteilung), z.B.
  - 1) Induktive Verfahren (behandeln hauptsächlich die Auswirkungen einzelner Fehlzustände)
    - Ereignisbaumanalyse (ETA);
    - Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA);
    - Gefährdungs- und Betreibbarkeitsuntersuchung (HAZOP) .
  - 2) Deduktive Verfahren (können Auswirkungen von Kombinationen von Fehlzuständen kombinieren)
    - Störungsbaumanalyse (FTA);
    - Markoffanalyse;
    - Petri-Netz-Analyse;
    - Wahrheitstabelle (Strukturfunktionsanalyse);
    - Zuverlässigkeitsblockdiagramme.

- c) Verfahren zur Schätzung der Maßgrößen für Grundereignisse, z.B.
- Vorhersage der Ausfallrate (Bauelementezählverfahren, hauptsächlich für elektronische Bauelemente);
  - Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit;
  - Bayessche Zuverlässigkeitsverfahren;
  - Verfahren für die Vorhersage der Funktionsfähigkeit von Software.
- d) Verfahren zur Bewertung der Instandhaltbarkeit

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist es, ob diese Verfahren in der Lage sind, Abfolgen von Ereignissen oder zeitabhängige Eigenschaften zu behandeln. Wenn man dies berücksichtigt, so ergibt sich folgende zusammenfassende Kategorisierung:

|                          |                                       |                                                    |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Ablauf abhängig</b>   | Ereignisbaumanalyse                   | Markoff, Petri, Wahrheitstabelle                   |
| <b>Ablauf unabhängig</b> | FMEA, HAZOP                           | Störungsbaumanalyse, Zuverlässigkeitsblockdiagramm |
|                          | <b>induktiv (nur ein Fehlzustand)</b> | <b>Deduktiv (mehrfache Fehlzustände)</b>           |

Diese Analyseverfahren erlauben sowohl die Beurteilung von qualitativen Merkmalen als auch die Schätzung quantitativer Merkmale um damit das Langzeit-Betriebsverhalten zu schätzen. Es sollte zur Kenntnis genommen werden, dass die Gültigkeit der Ergebnisse klar von der Genauigkeit und Richtigkeit der Eingabedaten für die Grundereignisse abhängen.

Jedoch ist kein Zuverlässigkeitsanalyseverfahren für sich alleine ausreichend umfassend und flexibel um alle möglichen Modellkomplexitäten zu behandeln, die erforderlich sind um die Merkmale praktischer Systeme zu beurteilen (Hardware und Software, komplexe funktionale Strukturen, verschiedene Technologien, reparierbare und instandsetzbare Strukturen, usw.). Es kann erforderlich sein, mehrere komplementäre Analyseverfahren heran zu ziehen um eine sorgfältige Behandlung von komplexen oder multi-funktionalen Systemen sicher zustellen.

In der Praxis hat sich eine gemischte Vorgehensweise mit sich gegenseitig ergänzender deduktiver und induktiver Analyse als sehr effektiv erwiesen, insbesondere um die Vollständigkeit der Analyse sicher zu stellen.

#### 4.4.2 Induktive Verfahren

Beim induktiven Verfahren werden die Fehlzustandsarten in der Ebene der Elemente ermittelt. Für jede Fehlzustandsart wird deren Auswirkung auf das Verhalten in der nächst höheren Systemebene bestimmt. Die so gefundene Auswirkung des Fehlzustandes wird dann die Fehlzustandsart in der nächst höheren Systemebene. Die Auswirkungen aller Fehlzustandsarten werden dann in dieser Ebene analysiert. Auf einander folgende Schritte münden in die Bestimmung aller Fehlzustandsauswirkungen in allen Funktionsebenen hoch bis zur Systemebene. Dieses induktive (von unten nach oben) Verfahren erlaubt auf sehr strenge Art alle einzelnen Fehlzustandsarten ermitteln, da es auf Teilelisten oder andere Prüflisten zurückgreifen kann. In den frühen Entwicklungsstufen kann die Analyse qualitativer Art sein und zunächst funktionale Ausfälle behandeln. Später kann dann eine quantitative Analyse unternommen werden, wenn dafür ausreichende Informationen zu den Komponenten vorhanden sind.

#### 4.4.3 Deduktive Verfahren

Zunächst sollte das unerwünschte Einzelereignis oder die erfolgreiche Erfüllung der Systemfunktion, welches sich in der höchsten Interessenebene (Hauptereignis) befindet, festgelegt werden. Alle hierzu beitragenden Ereignisse in allen Ebenen werden dann ermittelt und analysiert.

Beim deduktiven (von oben nach unten) Vorgehen beginnt man in der höchsten interessierenden Ebene, d.h. in der Systemebene oder Teilsystemebene, um dann schrittweise tiefere Ebenen zu betrachten, um dort gegebenenfalls unerwünschtes Systemverhalten zu erkennen.

Die Analyse wird dann in der nächst tieferen Systemebene fortgesetzt, um dort solche Fehlzustände und zugehörige Fehlzustandsarten zu finden, die die ursprünglich identifizierte Auswirkung des Fehlzustandes bewirken könnten. Für jeden Fehlzustand in der nächst tieferen Ebene wird die Analyse wiederholt, in dem die Wege und funktionalen Zusammenhänge zur nächst tieferen Ebene zurück verfolgt werden. Dieses Wechselspiel wird bis zum Erreichen der gewünschten tiefsten Ebene fortgesetzt.

Deduktive Verfahren konzentrieren sich auf das Ereignis. Es ist in der frühen Konzeptionsphase hilfreich, wenn noch nicht alle Einzelheiten des Systems vollständig festgelegt sind. Sie werden auch zur Analyse von Mehrfachausfällen einschließlich auf einander folgender Ausfälle angewendet, zum erkennen von Fehlzuständen mit gemeinsamen Ursachen, oder wenn es auf grund der Systemkomplexität vorteilhafter ist, mit einer Liste der Systemfehlzustände oder der erfolgreichen Erfüllung der Systemfunktion zu beginnen.

#### 4.5 Analyse und Betrachtung der Instandhaltung

Das Betriebsverhalten eines reparierbaren Systems wird wesentlich von seiner Instandhaltbarkeit sowie den eingesetzten Instandhaltungsstrategien beeinflusst. Die Verfügbarkeit ist dann der geeignete Parameter um den Einfluss der Instandhaltung auf die Systemzuverlässigkeit zu bewerten, wenn die Langzeitfunktion die kritische Anwendung ist. Die Funktionsfähigkeit ist der geeignete Parameter, wenn eine ununterbrochenen Funktion die kritische Anwendung ist.

Die Reparatur eines Systems ohne Funktionsunterbrechung ist üblicherweise nur bei redundanter Systemstruktur und zugänglichen redundanten Komponenten möglich. Wenn dem so ist, wird durch Reparatur oder Austausch die Funktionsfähigkeit und Verfügbarkeit des Systems erhöht.

Üblicherweise ist eine getrennte Analyse zur Beurteilung der Reparatur- und Instandhaltungsaspekte eines Systems erforderlich (siehe IEC 60706-1).

### 5 Wahl des geeigneten Analyseverfahrens

Die Wahl der Verfahren, die in ein Zuverlässigkeitsprogramm auf zu nehmen sind, ist ein sehr individueller Prozess, so dass eine allgemeine Empfehlung für die Wahl eines oder mehrerer spezieller Verfahren nicht gegeben werden kann. Die Wahl geeigneter Verfahren muss in einem gemeinsamen Bemühen von Zuverlässigkeits- und Systemexperten geschehen. Die Wahl sollte früh zu Beginn der Programmentwicklung geschehen und sollte auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden.

Die Wahl kann anhand folgender Kriterien erleichtert werden:

- a) **Systemkomplexität:** Komplexe Systeme, z.B. mit Redundanz oder diversitären Merkmalen, erfordern üblicherweise eine tiefergehendere Analyse als einfachere Systeme.
- b) **Neuartigkeit des Systems:** Ein vollständig neuer Systementwurf kann eine intensivere Analyse als ein bewährter Entwurf erfordern.
- c) **Qualitative oder quantitative Analyse:** Ist eine quantitative Analyse notwendig?
- d) **Einzel oder Mehrfach-Fehlzustände:** Wirken sich Kombinationen von Fehlzuständen aus oder können diese vernachlässigt werden?
- e) **Von der Zeit oder von Abfolgen abhängiges Verhalten:** Spielt das Aufeinanderfolgen von Ereignissen eine Rolle in der Analyse (z.B. fällt das System nur dann aus, wenn dem Ereignis A das Ereignis B vorangegangen ist, aber nicht umgekehrt) oder zeigt das System zeitabhängiges Verhalten (z.B. verschlechterte Betriebsarten nach Ausfall, in Phasen gestaffelte Mission...)?
- f) **Kann für abhängige Ereignisse verwendet werden:** Sind die Ausfall- oder Reparatüreigenschaften einer einzelnen Einheit vom Zustand des Systems abhängig?
- g) **Induktive oder deduktive Analyse:** Üblicherweise können induktive Verfahren in einer geradlinigeren Art durchgeführt werden, wogegen deduktive Verfahren mehr Nachdenken und Kreativität erfordern und daher eher für Fehler anfällig sind.
- h) **Zuweisung der Anforderungen an die Funktionsfähigkeit:** Sollte das Verfahren fähig sein, Anforderungen an die Funktionsfähigkeit quantitativ aufzuteilen?
- i) **Erforderlicher Ausbildungsstand:** Welcher Ausbildungsgrad oder welche Erfahrung ist erforderlich um das Verfahren sinnvoll und richtig anzuwenden?

- j) **Akzeptanz und Allgemeingültigkeit:** Ist das Verfahren allgemein anerkannt, z.B. von Regulierungsstellen oder einem Kunden?
- k) **Werkzeugunterstützung:** Benötigt das Verfahren Werkzeugunterstützung oder kann es auch von Hand durchgeführt werden?
- l) **Plausibilitätsprüfungen:** Kann man die Plausibilität der Ergebnisse leicht von Hand nachprüfen? Falls nicht, sind die verfügbaren Werkzeuge validiert?
- m) **Verfügbarkeit von Werkzeugen:** Sind Werkzeuge entweder im Hause oder im Handel verfügbar? Haben diese Werkzeuge eine gemeinsame Schnittstelle mit anderen Analysewerkzeugen damit man Ergebnisse wiederverwenden oder exportieren kann?
- n) **Normung:** Gibt es eine Norm die das Merkmal des Verfahrens und die Darstellung der Ergebnisse (z. B. Symbole) beschreibt?

In Tabelle 2 ist ein Überblick über die verschiedenen Zuverlässigkeitsanalyseverfahren mit ihren Eigenschaften und Merkmalen enthalten. Um eine vollständige Analyse eines Systems zu machen, kann mehr als ein Verfahren erforderlich sein.

**Tabelle 2 – Eigenschaften ausgewählter Zuverlässigkeitsanalyseverfahren**

| Verfahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Geeignet für komplexe Systeme | Geeignet für neuartige Entwürfe | Quantitative Analyse | Geeignet für Kombinationen von Fehlzuständen | Geeignet zur Behandlung von Abfolgeabhängigkeit | Kann für abhängige Ereignisse verwendet werden | Deduktiv oder induktiv | Geeignet für Zuverlässigkeitszuweisung | Erforderlicher Ausbildungsstand (von niedrig bis hoch) | Akzeptanz und Allgemeingültigkeit | Braucht Werkzeugunterstützung | Plausibilitätsprüfungen | Verfügbarkeit von Werkzeugen | IEC-Norm |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------|
| Vorhersage der Ausfallrate                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | nein                          | ja                              | ja                   | nein                                         | nein                                            | nein                                           | ind                    | ja                                     | niedrig                                                | hoch                              | mittel                        | ja                      | hoch                         | 61709    |
| Störungsbaumanalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ja                            | ja                              | ja                   | ja                                           | nein                                            | nein                                           | ded                    | ja                                     | mittel                                                 | hoch                              | mittel                        | ja                      | hoch                         | 61025    |
| Ereignisbaumanalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ne                            | ne                              | ja                   | ne                                           | ja                                              | ja                                             | ind.                   | ne                                     | hoch                                                   | mittel                            | mittel                        | ja                      | mittel                       |          |
| Zuverlässigkeitsblockdiagrammanalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ne                            | ne                              | ja                   | ja                                           | nein                                            | nein                                           | ded.                   | ja                                     | niedrig                                                | mittel                            | mittel                        | ja                      | mittel                       | 61078    |
| Markoffanalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ja                            | ja                              | ja                   | ja                                           | ja                                              | ja                                             | ded.                   | ja                                     | hoch                                                   | mittel                            | hoch                          | nein                    | mittel                       | 61165    |
| Petri-Netz-Analyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ja                            | ja                              | ja                   | ja                                           | ja                                              | ja                                             | ded.                   | ja                                     | hoch                                                   | niedrig                           | hoch                          | nein                    | niedrig                      |          |
| Fehlzustandsart- und Auswirkungsanalyse (FMEA)                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ne                            | ne                              | ja                   | nein                                         | nein                                            | nein                                           | ind.                   | ne                                     | niedrig                                                | hoch                              | niedrig                       | ja                      | hoch                         | 60812    |
| Gefährdungs- und Betriebbarkeitsuntersuchung (HAZOP)                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ne                            | ne                              | nein                 | nein                                         | nein                                            | nein                                           | ind.                   | nein                                   | niedrig                                                | mittel                            | niedrig                       | ja                      | mittel                       | 61882    |
| Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ja                            | ja                              | ja                   | ja                                           | ja                                              | nein                                           | ind.                   | nein                                   | hoch                                                   | hoch                              | mittel                        | ja                      | mittel                       |          |
| Beanspruchungsanalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | na                            | na                              | ja                   | na                                           | na                                              | nein                                           | na                     | nein                                   | hoch                                                   | mittel                            | hoch                          | ja                      | mittel                       |          |
| Wahrheitstabelle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | nein                          | ja                              | ja                   | ja                                           | nein                                            | nein                                           | na                     | ja                                     | hoch                                                   | mittel                            | hoch                          | nein                    | niedrig                      |          |
| Bayessche Zuverlässigkeitsverfahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ja                            | ja                              | ja                   | ja                                           | ja                                              | nein                                           | ded.                   | ne                                     | hoch                                                   | mittel                            | hoch                          | nein                    | niedrig                      |          |
| <p>ne nicht empfohlen: kann für einfache Systeme verwendet werden, als alleiniges Verfahren nicht empfohlen, ist gemeinsam mit anderen Verfahren zu benutzen</p> <p>ded. Deduktiv: von oben nach unten</p> <p>ind. Induktiv: von unten nach oben</p> <p>na nicht anwendbar: dieses Kriterium ist für dieses Verfahren nicht anwendbar</p> |                               |                                 |                      |                                              |                                                 |                                                |                        |                                        |                                                        |                                   |                               |                         |                              |          |