

Fehlerbaumanalyse

Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaumes

DIN
25 424
Teil 2

Fault tree analysis; manual calculation procedures for the evaluation of a fault tree

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	3.8 Module	3
2 Zweck	1	3.9 Nichtverfügbarkeit	3
3 Begriffe	1	3.10 Ausfallhäufigkeit	3
3.1 Primärereignis	1	3.11 Ausfallhäufigkeitsdicht	3
3.2 Ereignisebenen	2	4 Handrechenverfahren	3
3.3 Ausfallkombination	2	4.1 Allgemeines	3
3.4 Minimalschnitt	2	4.2 Vereinfachung des Fehlerbaumes	4
3.5 Fehlerweg	2	4.3 Auswertung des Fehlerbaumes	7
3.6 Kohärenz	2	Anhang A Grundlagen	14
3.7 Vermaschung	3	Zitierte Normen und andere Unterlagen	15

1 Anwendungsbereich

Die hier beschriebenen Handrechenverfahren sind anwendbar zur Auswertung von Fehlerbäumen nach DIN 25 424 Teil 1.

2 Zweck

Ziel der Fehlerbaumauswertung ist die Berechnung von Zuverlässigkeitsgrößen eines Systems aus Zuverlässigkeitsgrößen der Baueinheiten. Die analytische Berechnung kann mit Hilfe eines Rechenprogrammes oder von Hand erfolgen. Handrechenverfahren sind für kleine Fehlerbäume geeignet; sie führen hier schneller zum Ergebnis.

Zweck dieser Norm ist es, für Handrechenverfahren einfache graphische Verfahren und Gleichungen anzugeben.

3 Begriffe

3.1 Primärereignis

Das Primärereignis ist der Ausfall eines bestimmten Funktionselementes einer Baueinheit. Das Primärereignis wird in DIN 25 424 Teil 1 als Standardeingang bezeichnet.

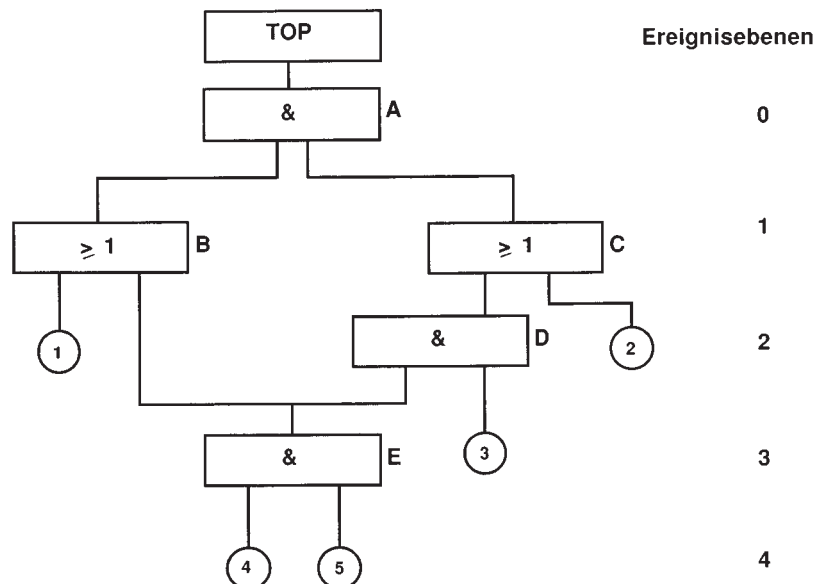


Bild 1. Fehlerbaum mit Ereignisebenen

Fortsetzung Seite 2 bis 15

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

3.2 Ereignisebenen

Die Klassen von Ereignissen mit gleichem Abstand von TOP heißen Ereignisebenen (siehe Bild 1). Der Abstand eines Tors oder eines Primäreignisses von TOP sei die maximale Anzahl bis TOP zu durchlaufender Tore.

3.3 Ausfallkombination

Jeder Fehlerbaum läßt sich auf 3 Ereignisebenen derart reduzieren, daß Ebene

0 ein ODER-Tor,

1 nur UND-Tore,

2 nur Primäreignisse enthält.

Die Menge der Eingänge jedes der UND-Tore bildet dann eine Ausfallkombination.

Für den Fehlerbaum von Bild 1 ergibt sich:

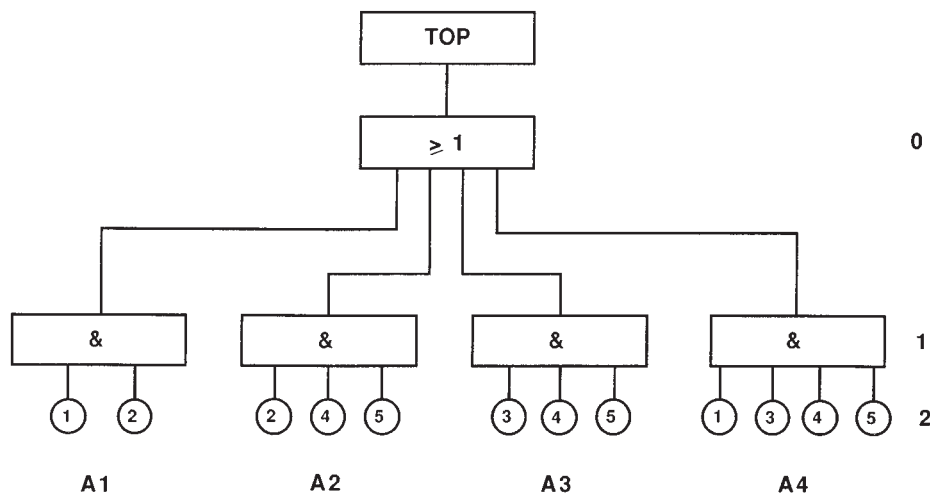


Bild 2. Fehlerbaum, reduziert auf drei Ereignisebenen

3.4 Minimalschnitt

Ein Minimalschnitt ist eine Ausfallkombination ohne notwendig negierte Primäreignisse, in der keine andere Ausfallkombination mehr enthalten ist. In Bild 2 sind nur die Ausfallkombinationen A1, A2 und A3 Minimalschnitte. A4 enthält A3 und ist deshalb kein Minimalschnitt.

3.5 Fehlerweg

Ausfallkombinationen, die einen sich paarweise gegenseitig ausschließenden Satz bilden, heißen Fehlerwege (siehe Bild 3).

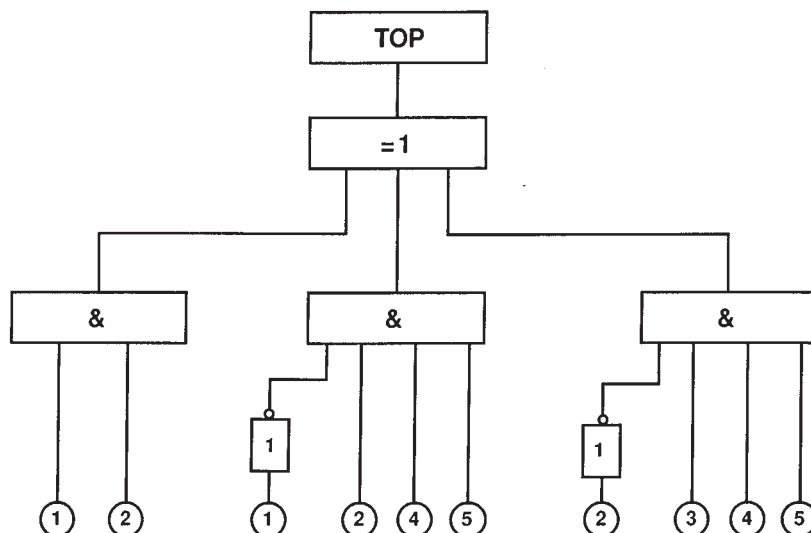


Bild 3. Drei mögliche Fehlerwege zu TOP aus Bild 2

3.6 Kohärenz

Ein Fehlerbaum ist kohärent, wenn das System nur infolge von Ausfällen der Baueinheiten ausfallen kann und nur infolge von Reparaturen der Baueinheiten wieder in den intakten Zustand versetzt werden kann.

Ein Fehlerbaum ist inkohärent, wenn das System nach einem Ausfall durch weitere Ausfälle der Baueinheiten wieder in den intakten Zustand versetzt werden kann.

Ein kohärenter Fehlerbaum enthält also keine Ausfallkombination mit einem notwendig negierten Primärereignis, und TOP ist durch den Satz aller Minimalschnitte darstellbar. Ein Fehlerbaum ist insbesondere dann kohärent, wenn er keine Negationen enthält (siehe Bild 1). Im Fehlerbaum enthaltene Negationen können bezüglich der Kohärenz unwesentlich sein (siehe Bild 3).

3.7 Vermaschung

Das mehrfache oder auch negierte Auftreten eines Ereignisses als Toreingang heißt Vermaschung. Für die Auswertung ist eine Vermaschung unwesentlich, wenn sich sämtliche Ereignisse, die in die Vermaschung eingehen, paarweise ausschließen, sonst wesentlich.

Der Fehlerbaum in Bild 1 ist über Tor E wesentlich vermascht. Die Vermaschungen in der Fehlerwegdarstellung nach Bild 3 sind unwesentlich.

3.8 Module

Ein Teilfehlerbaum wird als Modul bezeichnet, wenn er mit dem Restfehlerbaum nicht wesentlich vermascht ist. Immer vorhandene triviale Module sind der gesamte Fehlerbaum sowie die einzelnen Primärereignisse. Der Fehlerbaum (Bild 1) enthält als einzigen nicht trivialen Modul E.

Ein Teilfehlerbaum wird gebildet aus einem beliebigen Tor des Fehlerbaumes und den ihm zugeordneten Toren und Eingängen. Bild 1 enthält als einen Teilfehlerbaum das Tor D als TOP, das Tor E und die Eingänge 3, 4 und 5.

3.9 Nichtverfügbarkeit

Die Nichtverfügbarkeit $U(t)$ einer Betrachtungseinheit ist die Wahrscheinlichkeit, sie zum Zeitpunkt t ausgefallen anzutreffen. Die Verfügbarkeit $V(t)$ ist das Komplement von $U(t)$.

$$V(t) = 1 - U(t) \quad (1)$$

3.10 Ausfallhäufigkeit

Die Ausfallhäufigkeit $H(t)$ einer Betrachtungseinheit ist der Erwartungswert der Anzahl ihrer Ausfälle im Zeitintervall $(0, t)$.

3.11 Ausfallhäufigkeitsdichte

Die Ausfallhäufigkeitsdichte $\dot{H}(t)$ ist gegeben durch:

$$\dot{H}(t) = \frac{dH(t)}{dt} \quad (2)$$

4 Handrechenverfahren

4.1 Allgemeines

Die hier beschriebene Auswertung eines gegebenen Fehlerbaumes nach DIN 25 424 Teil 1 führt zu folgenden Größen des Systems:

- Eintrittshäufigkeit des unerwünschten Ereignisses,
- Nichtverfügbarkeit,
- kleinste Ausfallkombinationen (Minimalschnitte), die zum unerwünschten Ereignis führen,
- Eintrittshäufigkeiten für diese Ausfallkombinationen.

Fehlerbäume, die NICHT-, ODER-, UND- oder m/n-Verknüpfungen enthalten, können unter Anwendung der Booleschen Algebra und der Wahrscheinlichkeitsrechnung mit Handrechenverfahren ausgewertet werden. Ziel der rechnerischen Auswertung des Fehlerbaumes ist die Darstellung der (zeitabhängigen) Nichtverfügbarkeit oder Ausfallhäufigkeit des Systems durch die entsprechenden bekannten Daten der Baueinheiten und die Ermittlung ihrer Zahlenwerte.

Ein aus der Fehlerbaumanalyse hervorgegangener Fehlerbaum befindet sich meist wegen überflüssiger Verknüpfungen in einer für die Auswertung unökonomischen Form. Diese Norm gibt Vorgehensweisen zur Vereinfachung an.

Unvermaschte Fehlerbäume verursachen den geringsten Aufwand, denn hier kann von der Ebene der Baueinheiten aufsteigend durch sukzessive Berechnung der Tore ausgewertet werden. Fehlerbäume realer technischer Systeme sind jedoch häufig (z. B. über zentrale Steuerungs- und Versorgungseinheiten) vermascht. Der Rechenvorteil unvermaschter Fehlerbäume läßt sich durch geeignete Modulbildung erreichen. Zur Behandlung vermaschter reduzierter Fehlerbäume können eingesetzt werden:

- Separieren einer Vermaschung im Fehlerbaum (Splittingverfahren),
- Zerlegung in Minimalschnitte,
- Zerlegung in Fehlerwege (Ereignisablaufanalyse).

Die Rechenverfahren gelten nur für Baueinheiten mit statistisch unabhängigem Verhalten.

4.2 Vereinfachung des Fehlerbaumes

4.2.1 Zusammenfassung von Toren

4.2.1.1 Folgen von UND- oder ODER-Toren

Eine ununterbrochene Folge von UND-Toren wird zu einem UND-Tor zusammengefaßt. Das gleiche gilt für eine Folge von ODER-Toren (siehe Bild 4).

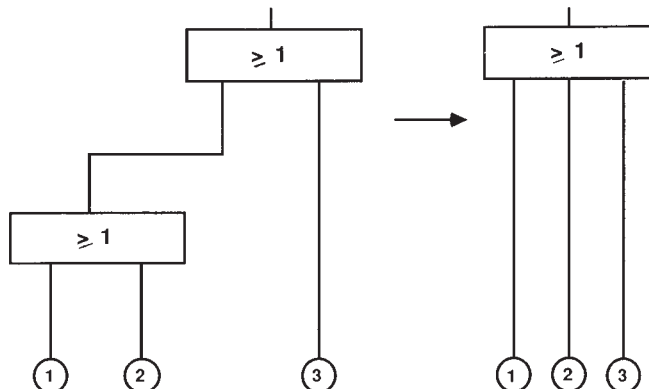


Bild 4. Zusammenfassung von ODER-Toren

4.2.1.2 Zusammenfassung zu m/n-Toren

Oft können Teile eines Fehlerbaumes zusammengefaßt werden. Für eine m/n-Verknüpfung besteht zur Vereinfachung die Möglichkeit, m/n-Tore einzuführen (siehe Bild 5).

Anmerkung: In der expliziten Darstellung eines m/n-Tores mit $m > 1$ treten auch bei unabhängigen Eingangsereignissen Vermaschungen auf. Diese sind jedoch als unwesentlich zu werten, da auf bekannte Berechnungsgleichungen (z. B. Tabelle 1) oder die Fehlerwegdarstellung des Tors zurückgegriffen werden kann.

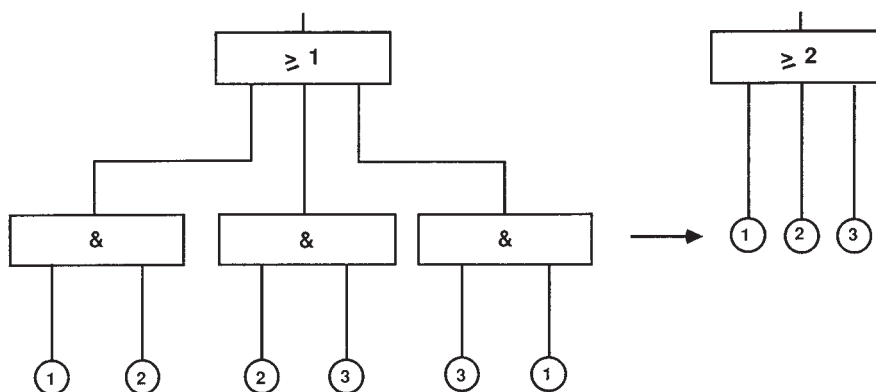


Bild 5. Zusammenfassung einer 2/3-Verknüpfung

4.2.1.3 Beseitigen unwesentlicher Vermaschungen

4.2.1.3.1 Verschiebung

Es ist im allgemeinen zweckmäßig, jeden Eingang in eine Ereignisebene möglichst nahe zu TOP zu legen. Ereignisse, die auf derselben Ebene mehrfach eingeht, können auf einer höheren Ebene als einzelner Eingang berücksichtigt werden (siehe Bild 6). Hier kann die unwesentliche Vermaschung bei 1 entfernt werden. Dieses Vorgehen ergibt sich aus der Strukturfunktion des linken Fehlerbaums durch Anwendung des Distributivgesetzes (siehe Gleichung (A.4)). Aus Gleichung (3) ergibt sich Gleichung (4).

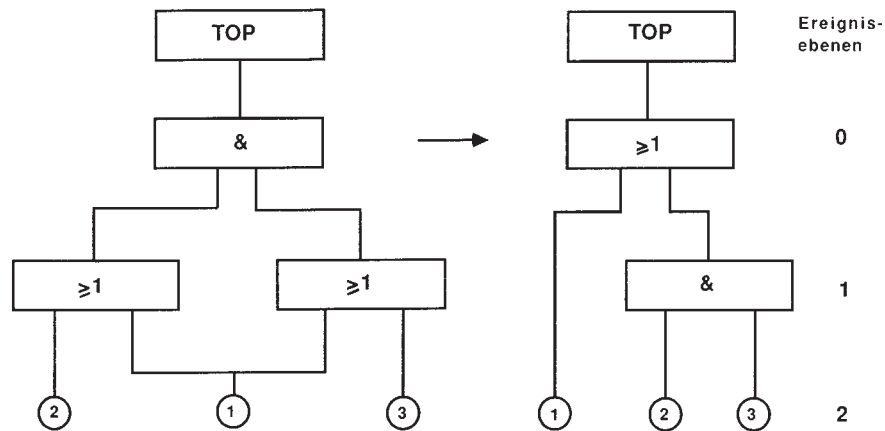
4.2.1.3.2 Negationen

Ein Ausdruck mit Negationen, zu dem es einen äquivalenten Ausdruck ohne Negationen gibt, kann immer reduziert werden. Es können dabei auftretende Negationen auch als „scheinbare Negationen“ bezeichnet werden. Das entspricht der Anwendung des Absorptionsgesetzes (siehe Gleichung (A.8)). Indem diese eliminiert werden, kann der ursprüngliche Ausdruck vereinfacht werden (siehe Bild 7).

Die scheinbare Negation kann auf eine vereinfachte Form des Fehlerbaumes reduziert werden. Aus Gleichung (5) ergibt sich Gleichung (6).

4.2.1.4 Darstellung des Fehlerbaumes durch Module

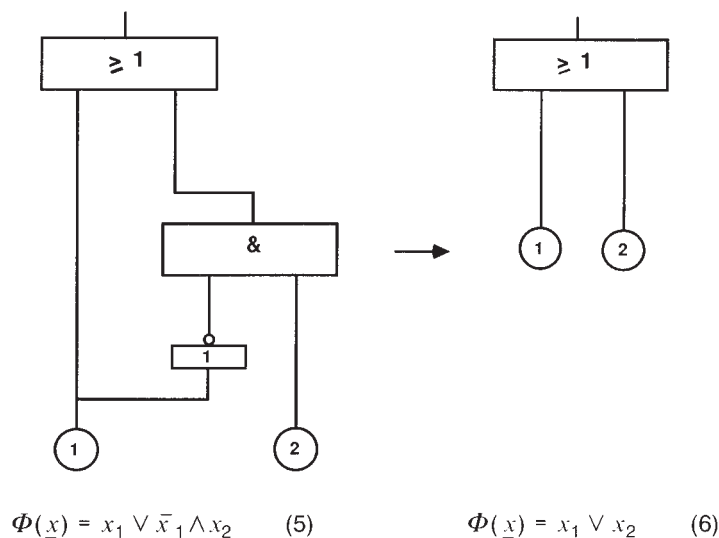
Für die Auswertung ist es anzustreben, den Fehlerbaum durch nicht triviale Module darzustellen. Das Auffinden der Module wird in Bild 8 als Beispiel gezeigt. In diesem Fehlerbaum sind die Teilfehlerbäume (A, B, C, D) gekennzeichnet. A für sich ist kein Modul, da A mit B über Eingang 2 vermascht ist. C für sich ist kein Modul, da C mit D über die Eingänge



$$\Phi(x_1, x_2, x_3) = \Phi(\underline{x}) = (x_1 \vee x_2) \wedge (x_1 \vee x_3) \quad (3)$$

$$\Phi(x_1, x_2, x_3) = \Phi(\underline{x}) = (x_1 \vee x_2 \wedge x_3) \quad (4)$$

Bild 6. Verschiebung von Mehrfacheingängen (Entfernen unwesentlicher Vermaschungen)



$$\Phi(\underline{x}) = x_1 \vee \bar{x}_1 \wedge x_2 \quad (5)$$

$$\Phi(\underline{x}) = x_1 \vee x_2 \quad (6)$$

Bild 7. Entfernen von scheinbaren Negationen

5 und 7 vermascht ist. Gebildet werden die Vereinigungen von A und B zu E und von C und D zu F. Die Teilfehlerbäume aus A und B und C und D sind Module, d.h. der Durchschnitt von A und B mit C und D ist leer.

Die Strukturfunktion zu Bild 8 ist:

$$\Phi(\underline{x}) = \Phi_1(\underline{x}_E) \vee \Phi_2(\underline{x}_F) \quad (7)$$

Gleichung (7) läßt sich im Einzelnen folgendermaßen schreiben:

$$\begin{aligned} \Phi(\underline{x}) = & (x_1 \wedge x_2 \vee x_9) \wedge x_3 \vee x_2 \wedge x_4 \quad \text{Modul E} \\ & \vee x_5 \wedge (x_7 \vee x_8) \vee x_6 \wedge (x_5 \vee x_7) \quad \text{Modul F} \end{aligned} \quad (8)$$

Minimalschnitte sind:

$$E = \{(1,2,3), (3,9), (2,4)\} \quad (9)$$

$$F = \{(5,7), (5,8), (5,6), (6,7)\} \quad (10)$$