



FTA- FAULT TREE ANALYSIS

Fehlerbaumanalyse (FTA nach DIN 25424)

Im Gegensatz zur FMEA, die insbesondere die intuitive Fehlerfindung im Team unterstützt, ist die Fehlerbaumanalyse eine wissenschaftliche Methode. Dabei geht man von einem unerwünschten Ereignis aus und stellt in einer Baumstruktur die Ausfallursachen dar. Dabei liefert sie bei konsequenter Anwendung alle Ereigniskombinationen, die zum unerwünschten Ereignis führen. Grenzen sind nicht von der Methode gesetzt, sondern nur von der Kenntnis und Sorgfalt des Anwenders. Die Auswertung eines Fehlerbaums liefert quantitative als auch qualitative Ergebnisse der Fehlerursachensuche. Wie bei der FMEA kann die Fehlerbaumanalyse entsprechend des Entwicklungsablaufes zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen herangezogen werden:



Fehlerbaumanalyse (FTA nach DIN 25424)



- **Vorbeugende Qualitätssicherung**
Vor der eigentlichen konstruktiven Festlegung wird das System auf Fehlermöglichkeiten hin untersucht. Die Fehlerbaumanalyse gibt deshalb dem Entwickler oder Konstrukteur wertvolle Hinweise zur Qualitätssicherung.
- **Bestätigung des Systemkonzepts**
Mit der FTA kann ein Systemkonzept auf seine Richtigkeit hin untersucht werden. Ferner kann man feststellen, ob die entsprechenden Anforderungen fehlerfrei erfüllt werden können, bevor man spezielle Versuche (z. B. Lebensdauerversuche) durchführt.
- **Problemlöser** Wie die Praxis zeigt, werden trotz qualitätssichernder Maßnahmen nicht alle Fehlermöglichkeiten von der Entwicklung bis zur Serienreife eines Produktes berücksichtigt. Hier bietet die FTA die Möglichkeit, die Ursachen entsprechender Fehler systematisch zu analysieren und somit relativ schnell gezielte Maßnahmen zur Behebung zu ergreifen.
- **Zusammenhang zwischen FMEA und Fehlerbaumanalyse**
Für beide Methoden muss eine Systemanalyse durchgeführt werden, wie sie in Abschn. 7 2.3 vorgestellt wird. FMEA und die Fehlerbaumanalyse unterscheiden sich in der Betrachtungsweise: Bei der FMEA wird von einem möglichen Fehler ausgegangen. Ein Expertenteam untersucht die Ursache dieser möglichen Fehler und deren Auswirkungen. Die Fehlerbaumanalyse geht von den Auswirkungen aus, die zu einem unerwünschten Ereignis führen (z.B. Bersten eines Reaktors) und untersucht die möglichen Ursachen. Es werden diese beiden Methoden in unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Produktes eingesetzt und ergänzen sich gegenseitig. Für das Projektteam stellt sich die Aufgabe, die Methoden zur richtigen Zeit einzuplanen.

Systemanalyse als Voraussetzung



Die Methoden der Fehlerbaumanalyse und des FMEA können nur dann erfolgreich eingesetzt werden, wenn folgende Voraussetzungen geschaffen sind:

Denken in Systemzusammenhängen Das System wird in überschaubare Systemelemente zerlegt und deren Zusammenhang in einem Blockdiagramm dargestellt.

Auswahl kritischer Systemelemente

Von allen möglichen Elementen werden diejenigen betrachtet, die besonders wichtig oder kritisch sind. Falls dies nicht eindeutig klar ist, werden Kriterien aufgestellt, mit deren Gewichtung und Bewertung dies ermittelt werden kann (z. B. ABC-Analyse).

Auswahl kritischer Betriebszustände

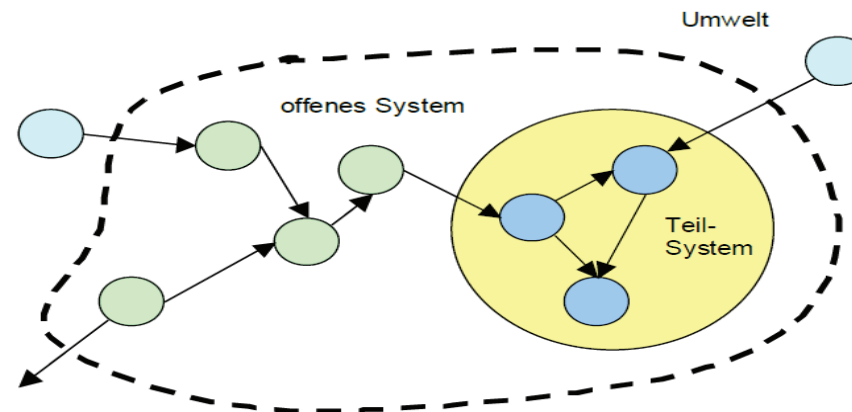
Für die ausgewählten Systemelemente werden die kritischen Betriebszustände festgelegt. Dies kann durch eine Risikoanalyse geschehen.



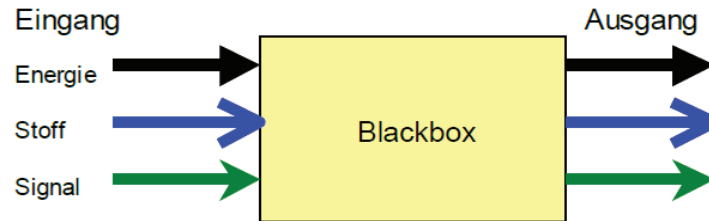
Systemdenken



Unter einem System versteht man die Gesamtheit von Elementen, die durch Beziehungen miteinander verbunden sind und ein in sich abgeschlossenes Ganzes bilden. Besteht ein System aus sehr vielen Elementen, die alle sehr stark miteinander in Wechselwirkung stehen, dann liegen komplexe Systeme vor. Die meisten derartiger Systeme sind offen und dynamisch. Dabei bedeutet offen, dass die Systeme mit der Umwelt in Verbindung stehen und dynamisch, dass sie die einzelnen Elemente oder Teilsysteme sehr stark gegenseitig beeinflussen, und ihre Zustände sich je nach den vorhergegangenen Ereignissen sehr schnell ändern werden. Um ein System überschaubar zu halten, kann es sinnvoll sein, sich auf geschlossene Systeme zu beschränken.



Die Beziehungen zwischen Elementen eines Systems werden als Pfeile dargestellt und entsprechen den Strömen oder Flussarten, die in das Systemelement fließen oder es verlassen. Solche Flussarten sind beispielsweise Energie-, Stoff- oder Signalflüsse (Informationsflüsse).



Wie die Abbildung zeigt, fließen die Flussarten in das Systemelement hinein, erfahren dort eine Umwandlung und verlassen das Element wieder. Als Beispiel dient ein Arbeitsgang in der Fertigung: Der Maschine wird Material zugeführt (Input), die Maschine bearbeitet das Material (Umwandlung) und das bearbeitete Material wird an eine andere Fertigungsstelle transportiert (Output). Werden Systeme in dieser Weise betrachtet, spricht man von einem Input-Output-Modell. Kann die Umwandlung mathematisch beschrieben werden, so wird von Übertragungsfunktion oder Übergangsfunktion gesprochen.

Um die Vielfältigkeit der Systemelemente in ihren vielfältigen Beziehungen untereinander verstehen zu können, wird das System von *oben nach unten (Top-down)* stufenweise aufgelöst. Ausgehend vom Gesamtsystem wird eine überschaubare Zahl von Untersystemen gebildet und die gegenseitigen Beziehungen dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Untergliederung des Systems schrittweise immer verfeinert werden kann. Mit Hilfe dieses Systemdenkens lassen sich Systeme unterschiedlichster Art auflösen und darstellen. Die Darstellung technischer Systeme wird *System- oder Funktionsblockdiagramm* genannt. Da zunehmend Systeme mit vielfältigen Verflechtungen entwickelt werden müssen, trägt diese systemorientierte Arbeitsweise zu einer *Verbesserung der Entwicklungsqualität* bei, weil Funktionen und vernetzte Zusammenhänge darstellbar und somit bewusst werden. Deshalb ist die Systemanalyse die unerlässliche Grundlage für einen erfolgreichen Einsatz der Fehlerbaumanalyse (FTA) und FMEA.



Auswahl kritischer Elemente (Teilsysteme)



Um die Qualitätssicherungsmethoden der Fehlerbaumanalyse und der FMEA möglichst wirtschaftlich durchzuführen, werden nur die wesentlichen Elemente betrachtet. Als Darstellungs- und Auswertungshilfe dient eine Nutzwert-Analyse (Bewertungsmatrix)

Kriterien	Gewichtungs- faktor (GF)	System 1		System 2		System 3	
		BF	BF*GF	BF	BF*GF	BF	BF*GF
Anforderungen	-41%						
TÜV-Auflagen	9	0	0	2	18	2	18
Umweltgefährdung	4	1	4	2	8	2	8
Sicherheit	10	1	10	2	20	2	20
Qualitätsansprüche Kunden	6	2	12	2	12	2	12
Zulieferrisiko	5	1	5	1	5	2	10
Stand der Technik	-28%						
Technik nicht transparent	9	0	0	0	0	2	18
Technik weist Mängel auf	8	0	0	0	0	1	8
schwierige Randbedingungen	6	1	6	1	6	1	6
Neuerungen	-31%						
neue Technologie	8	0	0	0	0	2	16
neue Einsatzgebiete	6	1	6	1	6	2	12
neue Werkstoffe	7	0	0	0	0	2	14
neuartige Verfahren	5	1	5	1	5	1	5
Summe der Bewertung	Summe		48		80		147

Auswahl kritischer Elemente (Teilsysteme)

Unabhängig vom jeweiligen technischen System (Produkt, Baugruppe, Bauteil, Prozess) werden die Systeme unter folgenden drei Hauptgesichtspunkten bewertet:

Anforderungen

Hier stehen diejenigen Anforderungen (Spezifikationen), die das System erfüllen muss (z. B. TÜV - Auflagen)

Stand der Technik

Es wird die Kenntnis und die Erfahrung berücksichtigt, die man mit vergleichbaren, bekannten Systemen hat (z. B. Technik weist Mängel auf)

Neuerungen

Kommen neue Technologien, Einsatzgebiete, Werkstoffe oder Verfahren zur Anwendung, bei denen keine Erfahrungswerte vorliegen, wird dies an dieser Stelle besonders berücksichtigt. Wie das Beispiel in Tabelle D-2 zeigt, gehen die Anforderungen zu 41 %, der Stand der Technik zu 28% und die Neuerungen zu 31% in die Bewertung ein. Die einzelnen Kriterien werden noch gewichtet, um den Einfluss auf die Bewertung festzulegen. Bewertet werden drei Systeme. Bei dem System 1 und 2 handelt es sich um Funktionseinheiten, Baugruppen oder Prozesse, bei denen bereits viel Erfahrung vorliegt und die Anforderungen einmal relativ gering (System 1) bzw. recht hoch sind (System 2). Beim System 3 handelt es sich um eine Neuentwicklung, an die höchste Anforderungen gestellt werden.



Auswahl kritischer Elemente (Teilsysteme)



Die Bewertungen der einzelnen Kriterien werden folgendermaßen vorgenommen:

- 2 treffen besonders zu
- 1 treffen im Allgemeinen zu
- 0 treffen nicht zu

Der Bewertungsfaktor (BF) wird mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor (GF) multipliziert und ergibt eine Bewertungszahl. Alle Bewertungszahlen werden für die jeweiligen Systeme addiert. Diese Summe ergibt die *Gesamtbewertung* (Gesamtnutzwert) und sagt aus, ob eine weitere Untersuchung, beispielsweise in einer FMEA, sinnvoll ist.

Besonders anschaulich ist die Auswertung durch eine *Portfolio-Analyse*. Dabei werden die Ergebnisse der Tabelle D-2 in den Achsen *Anforderungen* (senk- rechte Achse) und *Stand der Technik/Neuerungen* (waagrechte Achse) veranschaulicht. Werden die Achsen in je zwei Teile eingeteilt (Anforderungen gering bzw. hoch und Stand der Technik/Neuerungen bekannt bzw. neu), dann ergeben sich vier Quadranten, die sich folgendermaßen erklären lassen:

Auswahl kritischer Elemente (Teilsysteme)



Quadrant A:

Komplexe neue Technologie, hohe Anforderungen Dies stellt eine riskante Produktentwicklung dar, bei der unbedingt eine ganz fundierte Vorgehensweise im Hinblick auf die Qualitätssicherung erforderlich ist.

Quadrant B:

Komplexe neue Technologie, geringe Anforderungen Auch hierfür sind ausführliche Untersuchungen im Hinblick auf die neue Technologie anzustellen

Quadrant C:

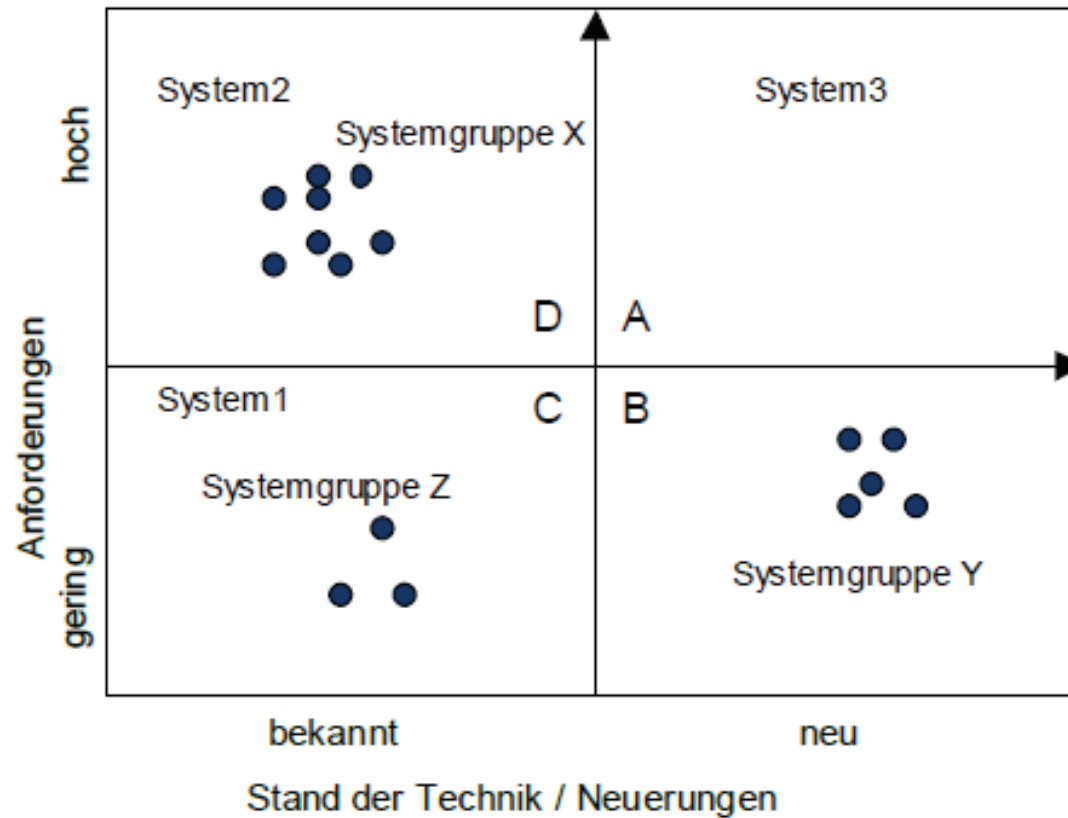
Bekannte Technologie, geringe Anforderungen Hier ist grundsätzlich zu prüfen, ob vorbeugende Maßnahmen der Qualitätssicherung überhaupt noch Vorteile bringen

Quadrant D:

Bekannte Technologie, hohe Anforderung Wegen der hohen Anforderungen ist zu prüfen, ob ein Einsatz der Methoden zur vorbeugenden Qualitätssicherung erforderlich ist.



Auswahl kritischer Elemente (Teilsysteme)

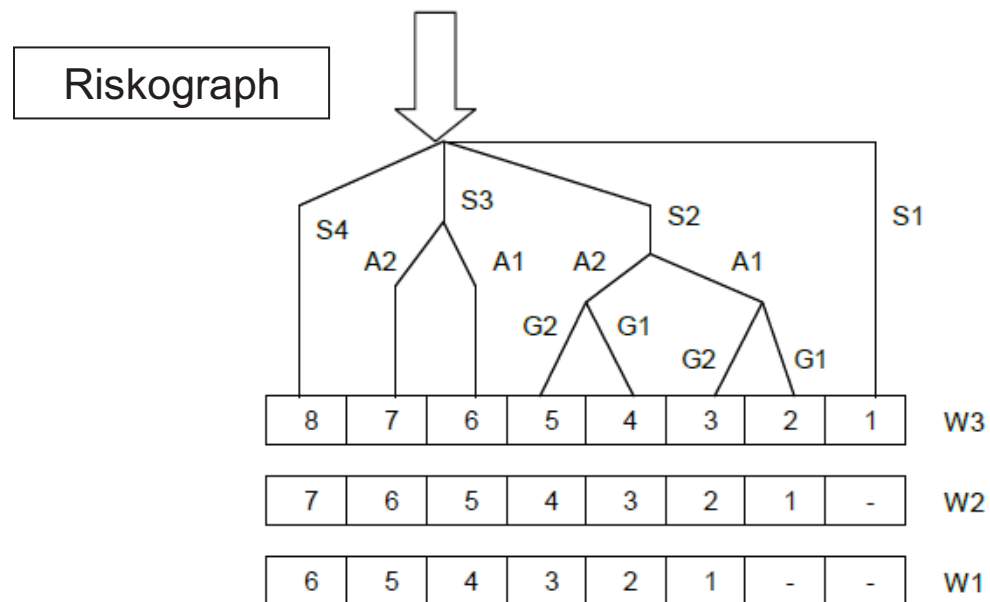


Werden in der Praxis eine Vielzahl von Systemen miteinander verglichen, so sollte man aus Gründen der Übersichtlichkeit Systemgruppen bilden (z. B. Systemgruppe X, Y, Z)

Auswahl kritischer Betriebszustände



Weil die gleichen technischen Systeme in unterschiedlichen Anwendungsumgebungen arbeiten können, ergeben sich völlig unterschiedliche Anforderungen an die Systeme bezüglich ihrer Sicherheit bei Fehlfunktionen. Tritt beispielsweise bei einem Flugzeug im Flug ein Fehler auf, so können die Folgen für die Sicherheit wesentlich kritischer sein, als wenn derselbe Fehler am Boden bei Wartungsarbeiten eintritt.



Auswahl kritischer Betriebszustände



Zunächst werden Betriebszustände, d. h. Einsatzbereiche und ihre Randbedingungen (z.B. Umwelteinflüsse) festgelegt. Nach DIN 19250 (Grundlegende Sicherheitsbetrachtungen für MSR-Schutzeinrichtungen) kann eine Einteilung der Kriterien vorgenommen werden. Es empfiehlt sich, nur die besonders kritischen Zustände auszuwählen, damit der Aufwand für die Untersuchung begrenzt werden kann. Diese Zustände werden einer Risikoanalyse unterzogen, in der die gefährlichen Zustände aufgezeigt werden. Die einzelnen Risikoparameter werden untersucht, bewertet und entsprechend sortiert dargestellt.

Wie die Grafik zeigt, werden folgende Parameter berücksichtigt:

Schadensausmaß (S)

Das erste Sortierkriterium ist das Maß der Schwere des gefährlichen Betriebszustandes. Es wird bewertet, welche Auswirkungen auf die umliegenden Systeme, vornehmlich Personen, zu erwarten sind. Dabei bedeuten:

§ S1 leichte Verletzung,

§ S2 schwere irreversible Verletzungen mehrerer oder Tod einer Person,

§ S3 Tod mehrerer Personen,

§ S4 katastrophale Auswirkungen, sehr viele Tote.



Auswahl kritischer Betriebszustände



Aufenthaltsdauer (A)

Als nächstes Sortierkriterium wird die zeitliche Dauer im Gefahrenbereich betrachtet:

§ A1 seltener bis öfterer Aufenthalt im Gefahrenbereich,

§ A2 häufiger bis dauernder Aufenthalt im Gefahrenbereich.

Gefahrenabwendung (G)

Dieser Parameter beschreibt, inwieweit das betrachtete System und seine Umwelt eine Gefahr erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten kann. Dabei wird berücksichtigt, ob ein Betrieb unter Aufsicht erfolgt; die Entwicklung der Gefahr schnell oder langsam erfolgt, die Gefahr unmittelbar erkannt wird oder nur durch technische Hilfsmittel festzustellen ist; die Abwendung der Gefahr durch Fluchtmöglichkeiten möglich ist; gewisse Erfahrungen mit vergleichbaren Prozessen vorliegen. Alle diese Aspekte werden unter dem Gefahrenabwendungsparameter (G) zusammengefasst.



Auswahl kritischer Betriebszustände



Es bedeuten:

- § G1 möglich unter bestimmten Bedingungen,
- § G2 kaum möglich.

Eintrittswahrscheinlichkeit (W)

Als letztes Kriterium zur Ermittlung der Anforderungsklasse dient eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens. Dabei gilt:

- § W1 sehr geringe Wahrscheinlichkeit,
- § W2 geringe Wahrscheinlichkeit,
- § W3 relativ hohe Wahrscheinlichkeit.

Sind die Betriebsbedingungen in Anforderungsklassen erfasst worden, dann lassen sich die genauen Anforderungen an das System bestimmen. Dies können direkte Maßnahmen sein, die unmittelbar zur Verringerung des Risikos beitragen (z. B. Einführen von Kontrolleinrichtungen) oder indirekte Maßnahmen (z. B. Verdopplung des Systems (Redundanz)). Die Risikoanalyse erlaubt es nicht, die Fehlerursachen direkt zu ermitteln und entsprechend darauf zu reagieren. Dazu dient die FMEA und insbesondere die Fehlerbaumanalyse, da diese als Ausgangspunkt das unerwünschte Ereignis nimmt.

Auswahl kritischer Betriebszustände



Bewertung	Bedeutung (B)	Auftrittswahrscheinlichkeit (A)			Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)		Bewertung
		Beschreibung	p(A)	c _{FE}	Beschreibung	p(E)	
10	Gefährdung, Verstoß gegen Gesetze	Fehler nahezu sicher; zahlreiche Fehler mit gleichen oder ähnlichen Konstruktionen bekannt	>0,316	<0,33	Keine Entdeckungsmaßnahmen bekannt oder geplant	<90%	10
9	Gefährdung, Verstoß gegen Gesetze möglich	Sehr große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	0,316	≥0,33	Entdeckung möglich aber unsicher	90%	9
8	Totaler Funktionsausfall, Kunde sehr verärgert	Große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	0,134	≥0,51	Sehr geringe Wahrscheinlichkeit		8
7	Funktionen stark eingeschränkt, Kunde verärgert	Mäßig große Zahl von Fehlern wahrscheinlich	0,046	≥0,67	Geringe Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung	98%	7
6	Ausfall einzelner Hauptfunktionen, Kunde, ziemlich verärgert	Mittlere Zahl von Fehlern wahrscheinlich	0,012	≥0,83	Nahezu mittlere Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		6
5	Mäßige Einschränkung des Gebrauchsnutzens, Kunde etwas verärgert	Gelegentliche Fehler wahrscheinlich	0,003	≥1,00	Mittlere Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		5
4	Gebrauchsnutzen wenig eingeschränkt, Kunde verdrossen	Wenige Fehler wahrscheinlich	0,0005	≥1,17	Mäßig hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	99,7%	4
3	Gebrauchsnutzen geringfügig eingeschränkt, Kunde leicht verdrossen	Sehr wenige Fehler wahrscheinlich	$6,3 \cdot 10^{-4}$	≥1,33	Hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung		3
2	Auswirkung sehr gering, Kunde kaum berührt	Fehler selten	$6,8 \cdot 10^{-4}$	≥1,50	Sehr hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	99,9%	2
1	Kunde bemerkt Auswirkungen nicht	Fehler unwahrscheinlich, ähnliche Konstruktionen bisher ohne Fehler.	$<5,8 \cdot 10^{-7}$	≥1,67	Nahezu sichere Entdeckung	99,99%	1

Fehlerbaumanalyse (DIN 25424)

In diesem Abschnitt wird auf die genormte Symbolik der Fehlerbaumanalyse eingegangen, eine Methodik zum schnellen und sicheren Erstellen der Baumstruktur vorgestellt, eine Systematik für die Interpretation der Ergebnisse aufgezeigt und Praxistipps vorgestellt.

Darstellung

Der Fehlerbaum zeigt in einer baumartigen Struktur die Ursachen-Wirkungs Beziehungen auf. Die Ereignisse auf einer höheren Ebene sind die Ursachen für die Folgen, die auf der tieferen Ebene dargestellt werden. Die Ereignisse können durch logische Verknüpfungen nach DIN 25424 miteinander verknüpft werden. Außerdem sind Boolesche Schaltsymbole gebräuchlich. In EDV -Programmen wird häufig der Society of Automotive Engineers (SAE)-Standard verwandt.





Methodik der Fehlerbaumanalyse

Es ist zweckmäßig, die Fehlerbaumerstellung nach einem einheitlichen Schema durch- zuführen. Damit wird eine zufällige Fehlerbaumstruktur verhindert, und man kann die Ergebnisse unterschiedlicher Analysen miteinander vergleichen. Das Vorgehen orientiert sich an dem Ablaufplan der vier Schritte enthält.

1. Schritt: Systemanalyse

Ausgehend von einer *Systemanalyse*, in dem das zu untersuchende System in seine Untersysteme (Komponenten, Bauteile) aufgegliedert wird, erstellt man ein System-Blockdiagramm, das die Systemgrenzen und die Systemtiefe des betrachteten Systems bestimmt.

2. Schritt: Festlegen der unerwünschten Ereignisse

Durch das Festlegen der unerwünschten Ereignisse wird der Grobumfang der Analyse festgelegt. Jedes unerwünschte Ereignis wird in einem eigenen Fehlerbaum abgehandelt.

3. Schritt: Analyse des Ursachen- Wirkungsgefüges

Im dritten Schritt wird durch eine Analyse des Ursachen- und Wirkungsgefüges das Startelement der Fehlerbaumanalyse gefunden.

4. Schritt: Versagensarten

Anschließend werden die im Systemblockdiagramm dargestellten Systeme auf ihre möglichen Versagens Arten hin untersucht und im Fehlerbaummodell abgebildet.