

Abhängige Ausfälle

Ralf Mock, 9. November 2015

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Die Teilnehmenden

- ▶ kennen die wichtigsten Grundlagen zu abhängigen Ausfällen
- ▶ kennen wichtige Eigenschaften
- ▶ können den Einfluss abhängiger Ausfälle auf die Zuverlässigkeit berechnen
- ▶ können sich ein Urteil über abhängige Ausfälle in der Praxis bilden.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Computersysteme und deren Einheiten

- ▶ bestehen oft aus Standardkomponenten
- ▶ verwenden häufig Standardsoftware (Betriebssystem, Applikationen u.a.)
- ▶ werden oft von wenigen Personen betrieben und in-stand gehalten
- ▶ sind mit der Aussenwelt vernetzt.

Damit sind Computersysteme anfällig für abhängige Fehler.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

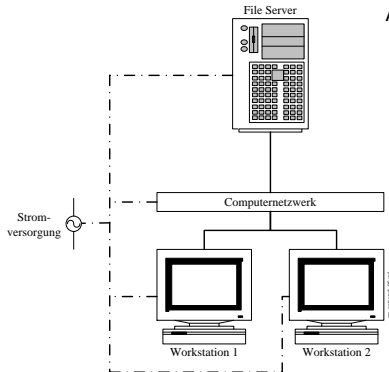
beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Computersysteme: Architektur



Annahmen

- ▶ beide Workstations (WS) sind identisch (HW, SW, Konfiguration)
- ▶ Eine WS ist für den Betrieb ausreichend (1 v 2 System)
- ▶ Beide WS befinden sich in einem Grossraumbüro
- ▶ Das Netzwerk hängt am öffentlichen Stromnetz
- ▶ eine Person betreut beide WS.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Computersysteme: Konsequenzen

- ▶ unterbrochene Stromversorgung führt zum Systemausfall
- ▶ ab 30°C fallen beide WS aus (falsch dimensionierte Kühlung der WS als Designfehler)
- ▶ Die Kabel der WS führen über einen gemeinsamen Kabelschacht zum File Server:
 - ein Kabelbrand im Schacht zerstört alle Leitungen
 - „Ein Nagetier frisst sich durch ...“
- ▶ Bürobrand zerstört beide WS (Wärme, Rauchgase, etc.)
- ▶ Löscharbeiten zerstören beide WS (Sprinkleranlage, Pulverlöscher, etc.)
- ▶ Die Instandhaltung, Konfiguration usw. durch eine Person erhöht die Wahrscheinlichkeit für Wiederholungsfehler.
- ▶ Die Verwendung weitverbreiteter Software erhöht die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Attacken (DOS, Sabotage usw.)

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Deutsche Kernkraftwerke(Auswahl)

- ▶ Durch zwei *unabhängige Ausfälle* wurde die Kühlwasserversorgung eines Notstromdiesels unterbrochen. Der erste Ausfall bestand in der Nichtzuschaltung einer Nebenkühlpumpe, der zweite im fehlerhaften Arbeiten einer Rückschlagklappe in einer alternativen Kühlwasserzufuhr (VAK, Kahl).
- ▶ Zu *abhängigen Ausfällen*, nämlich zum Startversagen aller vier Notstromdiesel, kam es wegen ungenügender Wartung der Startbatterien (KWW, Würgassen).
- ▶ Eine verschmutzte Rechenanlage im Flusswasserzulauf (*Einzelausfall*) führte zum Kühlwassermangel an den Haupt- und Nebenkühlwasserpumpen (*abhängige Ausfälle* der redundanten Kühlwasserversorgung; Lin-gen; SWR).
- ▶ Ein Blitzschlag (Einwirkung von aussen als *gemeinsame Ursache*) führte über die Lagerölversorgung zur Abschaltung von zwei Hauptkühlmittelpumpen (KKS, Stade).
- ▶ Riss einer Anschluss-Schweisssnaht im Sperrwasserversorgungssystem der Hauptkühlmittelpumpen (*Folgefehler*). Der ursächliche Einzelausfall bestand im plötzlichen Öffnen einer Armatur aufgrund einer defekten Spindelmutter (KKS, Stade).

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Abhängiger Ausfall (dependent failure, DF)

- ▶ Ereignis, dessen Wahrscheinlichkeit nicht als Produkt aus einzelnen Ereigniseintrittswahrscheinlichkeiten darstellbar ist oder
- ▶ mehrfach zusammenhängende Ausfälle (multiple related failures, MRF)
- Ereignisse, die durch voneinander abhängigen Strukturen hervorgerufen werden [1]:
 - **CCF (common cause failure)**: bestimmte Art eines abhängigen Ausfalls, wobei aus einer einzigen gemeinsamen Ursache (fast) gleichzeitig mehrere Ausfälle entstehen
 - **CMF (common mode failure)**: Ausdruck für bestimmte CCF, in denen mehrere (System-)Bestandteile durch dieselbe Art und Weise ausfallen
 - **CF (causal or cascade failures)**: Bezeichnung für sich ausbreitende Ausfälle.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

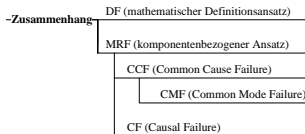
Checkliste

Vermeidung

Literatur

Zusammenhänge

Begriffe



Beschreibung

CCF ist einer von vielen Ausdrücken für MRF. Oft synonym verwendete Begriffe für CCF sind u.a.

- CMF
- systematischer Fehler (systematic failure)
- gekoppelter Fehler (coupled failure)
- gleichzeitiger Fehler (simultaneous failure)
- zufälliger Fehler (coincidence failure).

Anmerkung: Es ist ersichtlich, dass DF nur innerhalb redundanter Systeme (Parallelsysteme, z.B. RAIDS) eine Rolle spielen.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
 Notstromversorgung
 Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
 Identifikation
 Modellbildung

implizit

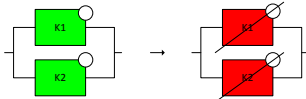
beta-Faktor
 Diskussion

Checkliste

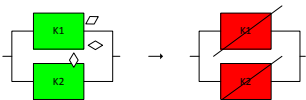
Vermeidung

Literatur

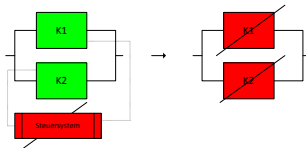
Charakterisierung



gemeinsame Ursache: mvn-System aus n identischen Einheiten: Unter bestimmten Rahmenbedingungen fallen diese gleichzeitig und gemeinsam aus.



Folgefehler: Benachbarte Einheiten einer Redundanzgruppe fallen durch die Auswirkungen des ersten Ausfalls ebenfalls aus.



Systemabhängigkeit: Die Systemvernetzung verursachen Ausfälle.

Ursachen

Ursachen von CCF

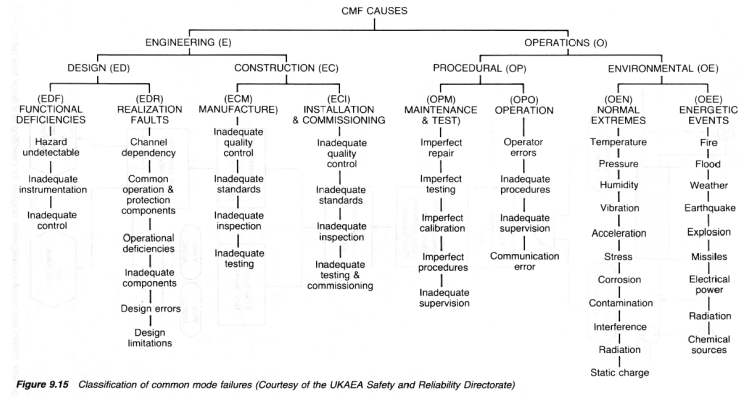


Figure 9.15 Classification of common mode failures (Courtesy of the UKAEA Safety and Reliability Directorate)

Quelle: [5]

Zwischenfazit

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Ohne Berücksichtigung von DF

- ▶ wird ein technisches System unvollständig beschrieben;
- ▶ werden Sicherheitsanalysen in ihren Ergebnissen zu optimistisch.

Problematiken

- ▶ wenig Daten, üblicherweise aus Betriebserfahrungen (Normalbetrieb, Funktionsprüfungen)
- ▶ Es ist oft schwierig, beobachtete Ereignisse zu klassifizieren. Das kann zu grossen Schwankungen bei den Ergebnissen führen.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Arbeitsschritte der Modellierung abhängiger Ausfälle

1. Identifizieren von DF in einem technischem System.
2. Qualitative und quantitative Berücksichtigung von DF innerhalb eines logischen Rahmens (Modellbildung).

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

zu 1. DF-Identifikation

Es gibt keinen Standard der Einordnung bestimmter DF in Klassen.

- ▶ **Common cause initiating events:** Feuer, Hochwasser, Erdbeben, Netzausfall, Flugzeugabsturz, ...
- ▶ **intersystem dependencies:** Ausfall eines Systems als Folge des im logischen Sinne vorausgehenden Ausfalls eines anderen Systems
- ▶ **functional dependencies:** spezielle anlagenspezifische Abhängigkeiten
- ▶ **shared-equipment dependencies:** gemeinsame Einheiten oder Energieversorgung bei mehreren Systemen
- ▶ **physical interactions:** gemeinsame Ausfallursachen, die selbst kein Ereignis sind, sondern z.B. in ungünstigen Umgebungsbedingungen bestehen
- ▶ **human-interaction dependencies:** anthropogene Ursachen, die z.B. während Planung, Bau, Wartung und Betrieb auftreten,
- ▶ **intercomponent dependencies:** wie unter Punkt 2., jetzt allerdings zwischen Einheiten oder Untersystemen.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

zu 2. Modellbildung zur Berücksichtigung von DF

Explizite Methoden erfassen strukturelle/funktionelle Abhängigkeiten, sind somit anlagenspezifisch, aber nicht mit Sicherheit vollständig.

- ▶ **Ereignisspezifische Modelle:** Berücksichtigen z.B. die besonderen Auswirkungen von Erdbeben, Brand, Überflutung, Kurzschlüssen
- ▶ **Ereignisbaum- und Fehlerbaumanalyse:** Berücksichtigen funktionelle Abhängigkeiten von gemeinsamen Einheiten.
- ▶ **Zustandsdiagramme:** Mit Markov-Analysen lassen sich alle Arten von DF in ein Modell einbauen.
- ▶ **Modelle zur Quantifizierung von Personalhandlungen:** Berücksichtigen Abhängigkeiten zwischen einzelnen Personenhandlungen, z.B. THERP, AIPA.

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

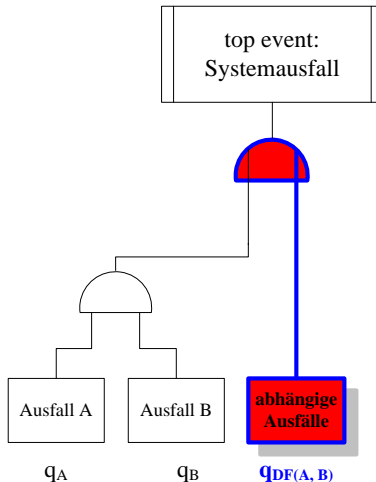
beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

explizite Methode: Fehlerbaumanalyse



Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Implizite Methoden

Es gilt: Die Anzahl der Ausfälle ist gleich die Summe aus den unabhängigen und den abhängigen Ausfällen: $n_{\text{gesamt}} = n_{\text{unabh.}} + n_{\text{DF}}$. Implizite Methoden bestimmen den Restanteil n_{DF} über parametrische Modelle. Damit erfassen sie abhängige Ausfälle im Prinzip vollständig, aber

- ▶ viele Modelle sind nicht etabliert
- ▶ die Datenbasis ist sehr beschränkt
- ▶ die Übertragbarkeit von Ergebnissen ist schwierig.

Implizite Methoden für mvn-Systeme sind u.a.

- ▶ Marshall-Olkin-Modell
- ▶ β -Faktor-Modell, MGL-Modell (Multiple Greek Letter)
- ▶ BFR-Modell (Binominal Failure Rate), MFR-Modell (Multiple Failure Rate)
- ▶ α -Faktor-Modell

Implizite Modelle

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

1. Systemmodellierung ohne DF-Anteil

Beispiel: 2v3-System mit den Einheiten A, B und C

- ▶ Systemausfall, wenn zwei Einheiten ausfallen:
 $\{A, B\}, \{A, C\}, \{B, C\}$
- ▶ Systemausfallwahrscheinlichkeit (Näherung):
 $Q_s \approx q_a \cdot q_b + q_a \cdot q_c + q_b \cdot q_c$

Vereinfachungen und Notation

- ▶ Alle Einheiten (Ausfallwahrscheinlichkeiten) sind gleich:
 $q_a = q_b = q_c = Q_{k=1}$
- ▶ Index k ($k = 1, 2, \dots, n$) : Anzahl der am CCF-Ausfallereignis beteiligten Einheiten

Q_s des 2v3-Systems ohne DF-Anteil

$$Q_s = q_a \cdot q_b + q_a \cdot q_c + q_b \cdot q_c = 3 \cdot Q_1^2$$

(Vorgehensweise und Bezeichnungen nach [4])

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

2. Einbezug des DF-Anteils

- ▶ Ermitteln der Wahrscheinlichkeiten der Ausfallkombinationen, z.B.
 - q_{AB}, q_{BC}, q_{AC} etc.
 - q_{ABC}, q_{ABD} etc.
- ▶ **Annahme:** gleiche Einheiten, d.h. die Ausfallwahrscheinl., geschrieben als
 - $q_{AB}, q_{BC}, q_{AC} = \dots = Q_2$
 - $q_{ABC}, q_{ABD} = \dots = Q_3$

2v3-System

- ▶ Wahrscheinl. des DF-Ausfalls mit zwei Einheiten: $3 \cdot Q_2$ (es gibt 3 Zweierkombinationen)
- ▶ Wahrscheinl. des DF-Ausfalls mit drei Einheiten $q_{ABC} = 1 \cdot Q_3$ (es gibt 1 Dreierkombination).

Implizite Modelle

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

3. Systemausfallwahrscheinlichkeit

Die Systemausfallwahrscheinlichkeit Q_s ist die Summe der einzelnen Wahrscheinlichkeiten.

$$Q_s = \sum \text{Pr}(\text{unabh. Ausfälle}) + \sum \text{Pr}(\text{abhängige Ausfälle})$$

2v3-System

$$Q_s = 3 \cdot Q_1^2 + 3 \cdot Q_2 + Q_3.$$

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

4. Ausfallwahrscheinlichkeit der Einheiten

Oft weiss man nur aus Statistiken nur, wie oft eine bestimmte Einheit ausgefallen ist, nicht aber, ob damit noch andere Ausfälle verbunden waren. Gesucht wird ein Zusammenhang, mit dem aus Q_t der Anteil unabhängiger und abhängiger Ausfälle ermittelt werden kann, d.h. ein Zusammenhang zwischen Q_t und Q_k , d.h.

Q_t ist die totale Ausfallwahrscheinlichkeit einer Einheit in einer Redundanzgruppe einschliesslich aller Abhängigkeiten.

Idealerweise liessen sich die verschiedenen Q_k direkt aus Beobachtungsdaten gewinnen. Einige Modelle vereinfachen die Berücksichtigung von DF unter Zuhilfenahme zusätzlicher Annahmen. Ein solches Modell ist das **β -Faktor-Modell**.

Implizite Modelle

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

β -Faktor-Modell

Annahme: Ausfälle in einer Redundanzgruppe sind entweder unabhängig oder es fallen immer alle n Einheiten aus, damit

- ▶ $Q_{k=1}$: Ausfallwahrsch. einer Einheit (unabhängiger Ausfall)
- ▶ $Q_{k=n}$: Ausfallwahrsch. der Redundanzgruppe (total abh. Ausfall)
- ▶ $Q_{n>k>1} = 0$: Ausfallwahrsch. sonstiger Ausfallkombinationen

Damit gilt für alle mvn-Systeme

$$Q_t = Q_1 + Q_n \quad (1)$$

Definitionen des β -Faktors

$$\beta = \frac{Q_{DF}}{Q_t} \quad (2)$$

Anmerkung: mit $q = \frac{n}{N}$ gilt auch: (n : Anzahl)

$$\beta = \frac{n_{DF}}{n_t} \quad (3)$$

Implizite Modelle

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

$Q_{k=n}$ folgt direkt aus Gl. 2, wobei $Q_{DF} = Q_{k=n}$

$$\beta \cdot Q_t = Q_{k=n} \quad (4)$$

Mit $Q_{k=n} = Q_t - Q_{k=1}$ aus Gl. 1 wird aus Gl. 4

$$\begin{aligned} \beta \cdot Q_t &= Q_t - Q_{k=1} \\ \Rightarrow Q_{k=1} &= Q_t \cdot (1 - \beta) \end{aligned} \quad (5)$$

Gl. 4 und Gl. 5 zusammengestellt:

$$Q_k = \begin{cases} (1 - \beta) \cdot Q_t : & k = 1 \\ 0 : & n > k > 1 \\ \beta \cdot Q_t : & k = n \end{cases} \quad (6)$$

2v3-System

$$Q_s = 3 \cdot Q_1^2 + 3 \cdot Q_2 + Q_3 \quad \text{wird zu}$$

$$Q_s = 3 \cdot (1 - \beta)^2 \cdot Q_t^2 + \beta \cdot Q_t$$

β –Faktor–Modell

Vorteile	Nachteile
leichte Anwendbarkeit	zu konservativ
leicht aus Betriebserfahrungen abschätzbar	Gefahr bei pauschaler Anwendung

DF, z.B. in der IT

- ▶ noch (zu) wenig berücksichtigt, allenfalls beim Design von Hardware (RAID)
- ▶ taucht (wieder) auf bei sicherheitsrelevanten Einheiten (SIL, Safety Integrity Level)
- ▶ Praxiswerte $0 < \beta \leq 0.25$ [2] (gute Einführung in die Thematik)

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Abhängige Ausfälle DF sollten in Risiko- oder Zuverlässigkeitsanalysen berücksichtigt werden, wenn

- ▶ es redundante Systeme gibt (Server, RAIDS (Redundant Array of Independent Disks, ...)).
- ▶ es Ursachen für DF geben könnte, bzw.
- ▶ sich DF erkennen oder klassifizieren lassen,
- ▶ wenn eine erste Schätzung einen relevanten Ausfall-Beitrag erkennen lässt, z.B. über das β -Faktor-Modell

DF-Vermeidung

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

Technische und organisatorische Möglichkeiten

Die Vermeidung von DF beruht auf den Prinzipien ingenieurmässiger Sicherheitsmassnahmen

- ▶ Redundanz
- ▶ Diversität
- ▶ räumliche Trennung
- ▶ Tests
- ▶ personelle Redundanz
- ▶ Qualitätssicherung
- ▶ technische Ausrüstung.

weiterführende Literatur: [3, 8, 6, 9, 7]

Lernziele

Beispiele

Computersysteme
Notstromversorgung
Kernkraftwerke

Definitionen

Ursachen

Zwischenfazit

Modellierung

Arbeitsschritte
Identifikation
Modellbildung

implizit

beta-Faktor
Diskussion

Checkliste

Vermeidung

Literatur

- [1] AMENDOLA, A.: *Classification of Multiple Related Failures: Advanced Seminar on Common Cause Failure Analysis in PSA*.
In *Ispira Courses on Reliability and Risk Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [2] BORCSOK, J. and P. HOLUB: *Different approaches for probability of common cause failure on demand calculations for safety integrity systems*.
2008 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, Vols 1-3, pages 1052–1057, 2008.
- [3] CAMARINOPOULOS, L. and A. BECKER: *Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen*, volume 2 of *KTG-Seminar*.
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1983.
- [4] HUMPHREYS, P. and A. AMENDOLA: *Analysis Procedures for Identification of MRFs (Advanced Seminar on Common Cause Failure Analysis in Probabilistic Safety Assessment)*.
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1989.
- [5] LEES, F. P.: *Loss Prevention in the Process Industries*, volume 1 - 3.
Butterworth & Co Ltd, Norwich, 1996.
- [6] MEYNA, A.: *Einführung in die Sicherheitstheorie: sicherheitstechnische Analyseverfahren*.
Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1982.
- [7] MITRA, S. and E. J. MCCLUSKEY: *Design of Redundant Systems Protected Against Common-Mode Failures*.
Technical Report CRC-TR-00-2, Stanford University, 2000.
- [8] MOSLEH, A.: *Systems Reliability Assessment: Advanced and Emerging Methods*.
University of Maryland, 2005.
- [9] VDI-4008: *Strukturfunktion und ihre Anwendung*.
Technical Report VDI-4008-Blatt 7, Beuth Verlag, Berlin, 1986.