

DIN EN 62740

ICS 03.120.10; 29.020

Einsprüche bis 2013-03-07

Entwurf**Ursachenanalyse
(IEC 56/1475/CD:2012)**Root Cause Analysis (RCA)
(IEC 56/1475/CD:2012)**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-12-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 85 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Abkürzungen	9
5 Anwendung der Ursachenanalyse	9
6 Der RCA-Prozess	10
6.1 Überblick	10
6.2 Initiierung	11
6.3 Problemdefinition	11
6.4 Analyse	12
6.5 Validierung	13
6.6 Schlussfolgerung	13
7 Auswahl von RCA-Techniken	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Auswahl der RCA-Technik	14
7.3 Arten von RCA-Techniken	15
Anhang A (informativ) Eigenschaften von RCA-Techniken	16
A.1 Einflussfaktoren für die Auswahl der RCA-Technik	16
Anhang B (informativ) RCA-Techniken	19
B.1 Allgemeines	19
B.2 Die „Warum“-Methode	19
B.3 Fehlerbaum	21
B.4 Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm	23
B.5 Ereignis- und Ursachen-Analyse	24
B.6 Änderungsanalyse	25
B.7 Warum-Weil-Analyse (en: Why-Because Analysis, WBA)	26
B.8 Systemtheoretisches Unfallmodell und Prozess (en: Systems Theoretic Accident Model and Process, STAMP)	28
B.9 Accimaps	29
B.10 Multilineare Ereignis-Sequenzierung (en: Multilinear Events Sequencing, MES) und zeitlich geordnete Ereignis-Aufzeichnung (en: Sequentially Timed Events Plotting, STEP)	32
B.11 Die TRIPOD-Methode	35
B.12 Ursache-Modell	37
B.13 Sicherheit durch Lernen in der Organisation (en: Safety through Organisational Learning, SOL)	38
B.14 Datamining und Cluster-Techniken	40
Literaturhinweise	42

	Seite
Bild 1 – RCA-Prozess	10
Bild B.1 – Ein Beispiel der Warum-Methode	20
Bild B.2 – Beispiel Fehlerbaum	21
Bild B.3 – Beispiel Fischgrät-Diagramm	23
Bild B.4 – Beispiel eines WBG eines Unfalls durch Überrollen des Startbahnendes in der kommerziellen Luftfahrt	26
Bild B.5 – Beispiel Accimap eines Explosions-Unfalls in einem Gaswerk wie dargestellt in Hopkins	30
Bild B.6 – Accimap des Lockhart-Fluss-CFIT-Unfalls wie vorgestellt im ATSB-Transport- Sicherheits-Untersuchungs-Report	31
Bild B.7 – Daten eines Ereignis-Bausteins	33
Bild B.8 – Beispiel einer Zeit-Akteurs-Matrix	34
Bild B.9 – Vollständiges TRIPOD-Beta-Modell	36
Bild B.10 – Ein Beispiel einer TRIPOD-Untersuchung	36
Bild B.11 – Beispiel eines Zeit-Akteurs-Diagramms	39
Tabelle A.1 – Merkmale der RCA-Techniken	16
Tabelle B.1 – Definition der BRF in TRIPOD	35

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 56/1475/CD:2012 „Root Cause Analysis (RCA)“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom TC 56 „Dependability“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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

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

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 132 „Zuverlässigkeit“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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 ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Ursachenanalyse

Einleitung

Ursachenanalyse (en: Root Cause Analysis, RCA) ist eine Methode, um zu identifizieren, warum ein bestimmtes Ereignis (Fokusereignis) eingetreten ist; sie kann als Methode interpretiert werden mit der Zielsetzung, ähnliche oder verwandte Ereignisse zu verhindern. RCA wird durchgeführt basierend auf dem Verständnis, dass Ereignisse am besten adressiert werden durch Ausschaltung der Grundursachen anstatt durch Behandlung der unmittelbar offensichtlichen Symptome. Dadurch verhindert RCA nicht nur das gleiche oder ähnliche Ereignisse, sondern auch scheinbar zusammenhangslose Ereignisse mit den gleichen Ursachen.

Es ist wichtig, festzuhalten, dass ein Ereignis eingetreten sein kann als Konsequenz von mehr als einer Grundursache.

Als wichtige Unterscheidung ist zu bemerken, dass RCA eine Methode zur Analyse eines Fokusereignisses ist, das sich ereignet hat, und folglich die Vergangenheit analysiert, während Methoden wie die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) mögliche Fehlerarten und Ausfälle vor einem Ereignis analysieren. Außerdem analysiert FMEA nicht die Ursachen der Fehlerarten und Ausfälle und ist deshalb keine geeignete Technik für RCA.

In dieser Norm umfasst der Begriff „Ereignis“ stets Ausfälle und Störungen und der Begriff „Einheit“ wird verwendet als genereller Begriff zur Beschreibung des betrachteten Gegenstands – seien es Produkte, Systeme oder Prozesse und einschließlich Hardware, Software und menschlicher Faktoren.

Diese Norm hat zum Ziel, aktuelle allgemein anerkannte Methoden zur Auswahl und Anwendung von RCA-Techniken zu behandeln und berücksichtigt keine neuen oder in der Entwicklung befindliche Konzepte, die kein hinreichendes Niveau professioneller Übereinstimmung erreicht haben.

Diese Norm ist allgemeiner Natur und kann deshalb als Anleitung in vielen Branchen und für viele Arten von Gegenständen dienen. Es kann speziellere Normen in diesen Branchen geben, die für spezielle Anwendungen besser geeignete Methoden beschreiben. Falls diese Normen in Einklang mit diesem Dokument sind, sind die speziellen Normen im Allgemeinen ausreichend.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm IEC 62740 beschreibt die Grundprinzipien der Ursachenanalyse (en: Root Cause Analysis, RCA) und erläutert die Schritte, die ein RCA-Prozess enthalten sollte. Diese Norm gilt für technische Systeme und enthält somit die Analyse von Hardware, Software und menschlichen Faktoren.

Diese Internationale Norm identifiziert eine Reihe von Merkmalen für RCA-Techniken, die die Auswahl einer geeigneten Technik unterstützen. Sie beschreibt die jeweilige RCA-Technik, ihre relativen Stärken und Schwächen sowie eine Anleitung zu ihrer Anwendung.

Es wird angemerkt, dass manche der RCA-Techniken pro-aktiv genutzt werden könnten für Design und Entwicklung von Einheiten und für die Risikobewertung; diese internationale Norm konzentriert sich jedoch auf die Analyse von Ereignissen, die eingetreten sind.

Viele der Methoden können genutzt werden, um entweder die Grundursachen von Ausfällen oder Erfolgen zu analysieren. Diese internationale Norm fokussiert ihre Anwendung in der Ausfall-Analyse.

Das Ziel dieser Internationalen Norm ist es, Techniken zur Identifikation von Grundursachen zu erläutern. Diese Techniken sind nicht dafür vorgesehen, Verantwortlichkeiten oder Haftbarkeit zuzuweisen; dies wird als außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm betrachtet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-191, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 191: Zuverlässigkeit*

ISO IEC Guide 73, *Risk management vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-191 und die folgenden Begriffe.

3.1

kausaler Vorgänger (eines Ereignisses oder Zustands)

(en: causal predecessor (of an event or state))

Ereignis, das sich in einem Pfad ursächlicher Faktoren ereignet, der zum gegebenen Ereignis oder Zustand führt (und ggf. darüber hinaus)

Anmerkung 1 zum Eintrag: Mathematisch definiert als Vorgänger des gegebenen Ereignisses oder Zustands im transitiven Abschluss der binären Relation, ein notwendiger ursächlicher Faktor zu sein.

3.2

mitwirkender Faktor

(en: contributory factor)

notwendiger ursächlicher Faktor, der als zweitrangig angesehen wird hinsichtlich einer expliziten Priorisierung notwendiger ursächlicher Faktoren

3.3

Ereignis

(en: event)

Änderung eines Zustands

3.4

Ausfall (einer Einheit)

(en: failure (of an item))

Verlust der Fähigkeit, wie gefordert zu funktionieren

Anmerkung 1 zum Eintrag: Falls der Verlust der Fähigkeit verursacht wird durch einen bereits zuvor existierenden latenten Fehler, so tritt der Ausfall ein, falls sich ein spezielles Zusammentreffen von Umständen ereignet.

Anmerkung 2 zum Eintrag: Ein Ausfall einer Einheit ist ein Ereignis, das zu einem Fehlzustand der Einheit führt.

Anmerkung 3 zum Eintrag: Qualitative Kategorien wie katastrophal, kritisch, wichtig, untergeordnet, geringfügig und unbedeutend können genutzt werden, um Ausfälle zu bewerten hinsichtlich der Schwere der Konsequenzen, wobei die Definitionen der Auswirkungs-Kriterien vom Anwendungsfeld abhängt.

Anmerkung 4 zum Eintrag: Qualitative Kategorien wie Missbrauch, Fehlbedienung und Schwäche können verwendet werden, um Ausfälle hinsichtlich der Fehlerursache einzuordnen.

[IEC 60050-191, Definition 191-43-01]

Anmerkung 5 zum Eintrag: Dies umfasst den Ausfall einer Einheit, nicht allgemeiner von einem Verhalten.

3.5

Ausfallursache

(en: **failure cause**)

Zusammentreffen von Umständen, die zu einem Ausfall führen

Anmerkung 1 zum Eintrag: Eine Ausfallursache kann während der Spezifikation, des Designs, der Produktion, der Installation, des Betriebs oder der Wartung entstehen.

[IEC 60050-191, Definition 191-43-11]

3.6

Ausfalleffekt

(en: **failure effect**)

Auswirkung eines Ausfalls innerhalb der Grenzen der Einheit oder darüber hinaus

Anmerkung 1 zum Eintrag: Für manche Analysen kann es erforderlich sein, individuelle Fehlerarten und ihre Auswirkungen zu betrachten.

[IEC 60050-191, Definition 191-43-08]

3.7

Ausfallmechanismus

(en: **failure mechanism**)

Prozess, der zu einem Ausfall führt

Anmerkung 1 zum Eintrag: Der Prozess kann physikalisch, chemisch oder logisch sowie eine Kombination davon sein.

[IEC 60050-191, Definition 191-43-12]

3.8

Ausfallart

(en: **failure mode**)

Art und Weise, in der der Ausfall eintritt

Anmerkung 1 zum Eintrag: Eine Ausfallart kann definiert werden durch die verlorene Funktion oder den eingetretenen Zustandsübergang.

[IEC 60050-191, Definition 191-43-17]

3.9

Fehler einer Einheit

(en: **fault (of an item)**)

Zustand der Unfähigkeit aufgrund interner Ursachen, wie gefordert zu funktionieren

Anmerkung 1 zum Eintrag: Ein Fehler einer Einheit folgt entweder durch einen Ausfall der Einheit selbst oder durch eine Unzulänglichkeit in einer früheren Phase des Lebenszyklus wie Spezifikation, Design, Produktion oder Wartung.

Anmerkung 2 zum Eintrag: Qualitative Beschreibungen wie Spezifikation, Design, Produktion, Wartung oder Missbrauch können genutzt werden, um die Fehlerursache anzugeben.

Anmerkung 3 zum Eintrag: Der Typ eines Fehlers kann bezogen werden auf den zugehörigen Ausfall, z. B. Verschleiß-Fehler und Verschleiß-Ausfall.

Anmerkung 4 zum Eintrag: Das Adjektiv „fehlerhaft“ beschreibt eine Einheit, die einen oder mehrere Fehler aufweist.

[IEC 60050-191, Definition 191-44-01]

Anmerkung 5 zum Eintrag: Ein Fehler einer Einheit, die eine Komponente eines Systems ist, führt nicht zwangsläufig zur Unfähigkeit einer größeren Einheit, zu der sie als Komponente gehört, wie gefordert zu funktionieren. Sogenannte

„fehler-tolerante Techniken“ ermöglichen es, Einheiten zu designen und zu produzieren, die im Fall eines Fehlers in ihren Komponenten fortfahren, wie gefordert zu funktionieren.

3.10

Fokusereignis

(en: **focus event**)

Ereignis, das die RCA kausal zu erklären beabsichtigt

3.11

funktionaler Ausfall

(en: **functional failure**)

Unfähigkeit einer Einheit, eine oder mehrere ihrer geforderten und definierten Funktionen zu erfüllen oder auszuführen

3.12

unmittelbar notwendiger kausaler Faktor (eines Ereignisses oder Zustands)

(en: **immediate necessary causal factor (of an event or state)**)

Bedingung, Aktion, Ereignis oder Zustand, welche zum gegebenen Ereignis oder Zustand geführt haben, ohne welche das gegebenen Ereignis bzw. der Zustand nicht eingetreten wären

3.13

Einheit

(en: **item**)

betrachteter Gegenstand

Anmerkung 1 zum Eintrag: Die Einheit kann ein einzelner Teil, eine Komponente, Bauelement, funktionale Einheit, ein Gerät, Teilsystem oder System sein.

Anmerkung 2 zum Eintrag: Die Einheit kann aus Hardware, Software, Personen sowie einer Kombination daraus bestehen.

Anmerkung 3 zum Eintrag: Die Einheit besteht oft aus Elementen, die jeweils einzeln betrachtet werden können.

[IEC 60050-191, Definition 191-41-01]

3.14

notwendiger kausaler Faktor (eines Ereignisses oder Zustands)

(en: **necessary causal factor (of an event or state)**)

Ereignis oder partieller Zustand als kausaler Vorgänger in der Relation vom „unmittelbar notwendigen kausalen Faktor“ zum gegebenen Ereignis oder Zustand

3.15

partieller Zustand (einer Menge von Objekten)

(en: **partial state (of a collection of objects)**)

momentane Sammlung von Eigenschaften und Beziehungen beispielhaft dargelegt durch die Objekte

3.16

Grundursache

(en: **root cause**)

notwendiger kausaler Faktor, der keinen kausalen Vorgänger hat

Anmerkung 1 zum Eintrag: Die Sammlung notwendiger kausaler Faktoren, die in der RCA berücksichtigt werden, wird beschrieben durch eine Stoppzeit.

3.17

Ursachenanalyse

(en: **Root Cause Analysis, RCA**)

systematischer Prozess, um die Ursache eines Fehlers, Ausfalls oder unerwünschten Ereignisses zu identifizieren, um sie durch Design-, Prozess- oder Verfahrensänderungen zu eliminieren.

[IEC 60050-191, Definition 191-52-05]

3.18

Stakeholder

(en: stakeholder)

Person, Gruppe oder Organisation, die betroffen ist oder betroffen sein könnte durch das Fokusereignis

3.19

Zustand (einer Menge von Objekten)

(en: state (of a collection of objects))

momentane, vollständige Sammlung der Eigenschaften und Beziehungen beispielhaft dargelegt durch die Objekte

3.20

Stoppzeit

(en: stopping rule)

begründetes und explizites Mittel zur Bestimmung, wann ein notwendiger kausaler Faktor als Grundursache definiert wird

4 Abkürzungen

RCA Ursachenanalyse (en: Root Cause Analysis)

FMEA Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (en: Failure Modes and Effects Analysis)

5 Anwendung der Ursachenanalyse

RCA bezeichnet jeden strukturierten Ansatz zur Identifikation von Faktoren, die zu einem Fokusereignis beigetragen haben. Das Prinzip der RCA besagt, dass der unmittelbar notwendige kausale Faktor eines Fokusereignisses in Wirklichkeit oft ein Symptom von zugrundeliegenden Problemen ist, die identifiziert und adressiert werden müssen.

Zu den Vorteilen der Durchführung einer RCA gehören:

- Verhinderung künftiger Ausfälle;
- effektiveres Erreichen der Ziele von Untersuchungen des Fokusereignisses;
- Unterstützung der Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen und Schlussfolgerungen aus Untersuchungen des Fokusereignisses;
- bessere Konsistenz von Untersuchungen ähnlicher Fokusereignisse;
- größere Objektivität der Fokusereignis-Analyse.

RCA identifiziert, warum spezielle Fokusereignisse eingetreten sind und ermöglicht effektive Korrekturmaßnahmen, um Schwachstellen in den Merkmalen zu adressieren, die zum Fokusereignis beigetragen haben. RCA liefert ein besseres Verständnis, warum Ereignisse eingetreten sind; die Umsetzung der Korrekturmaßnahmen ist deshalb effektiver hinsichtlich der Verhinderung des Eintretens des gleichen oder ähnlicher Ereignisse im Vergleich zu einer ausschließlichen Adressierung des unmittelbar notwendigen kausalen Faktors.

RCA wird in der Zuverlässigkeitsanalyse verwendet, um zu identifizieren, warum eine Einheit versagt hat zu funktionieren, wie und wann gefordert. In diesem Zusammenhang kann diese Technik als Ursachen-Ausfall-Analyse bezeichnet werden. Sie wird auch verwendet, um die Ursachen von Unfällen zu analysieren, wobei die Auswirkungen hier breitgefächert sein können.

RCA kann auf verschiedenen Unterteilungs-Stufen der Einheit durchgeführt werden, beispielsweise auf System- oder Komponenten-Ebene oder durch Auswahl verschiedener Ereignisse oder Auswirkungen als Ausgangspunkt. Die geeignete Ebene zur Durchführung der Analyse ist abhängig vom Fokusereignis.

RCA wird am häufigsten eingesetzt, um Fokusereignisse zu analysieren, die tatsächlich eingetreten sind, und ist deshalb anwendbar während der Prüf- und Betriebsphasen eines Projekts oder Produktlebenszyklus.

RCA analysiert die Ausfallmechanismen des Fokusereignisses. Der Ausfallmechanismus repräsentiert die physikalischen, chemischen oder organisatorischen Prozesse, die durch die Grundursachen hervorgerufen werden und letztendlich zu einem Ausfall führen. Ein Fehlermechanismus kann mehrere unabhängige oder miteinander verknüpfte Grundursachen haben. Der Ausfallmechanismus führt oft zum Fokusereignis durch die menschlichen Faktoren basierend auf dem zugrundeliegenden Management oder auf grundsätzlichen Ursachen.

6 Der RCA-Prozess

6.1 Überblick

Um effektiv zu sein, muss RCA systematisch durchgeführt werden als Untersuchung, bei der die Grundursachen und Schlussfolgerungen durch dokumentierte Belege abgesichert sind. Um dies zu erreichen, muss die RCA die folgenden 5 Schritte enthalten, die in Bild 1 dargestellt sind:

- Initiierung, die die Notwendigkeit bestimmt, eine RCA durchzuführen;
- Problemdefinition, die die Fakten beschreibt was, wo und wann passiert ist;
- Analyse, die die RCA-Werkzeuge und Techniken nutzt, um festzustellen, wie und warum das Fokusereignis eingetreten ist;
- Validierung, die die verschiedenen Möglichkeiten abgrenzt und klärt, wie und warum das Fokusereignis verursacht wurde;
- Schlussfolgerung, die die Ergebnisse der Fokusereignis-Analyse präsentiert.

RCA ist von Natur aus iterativ insbesondere hinsichtlich der Daten-Sammlung und Analyse; die Daten werden gesammelt zum Thema „was ist passiert“ und anschließend analysiert, um zu bestimmen, welche weiteren Daten gesammelt werden müssen. Nach der Erfassung wird eine weitere Analyse durchgeführt und die Lücken identifiziert, für die weitere Daten gesammelt werden. Dieser Prozess wird wiederholt, bis die Analyse vollständig ist und die Grundursachen identifiziert sind.

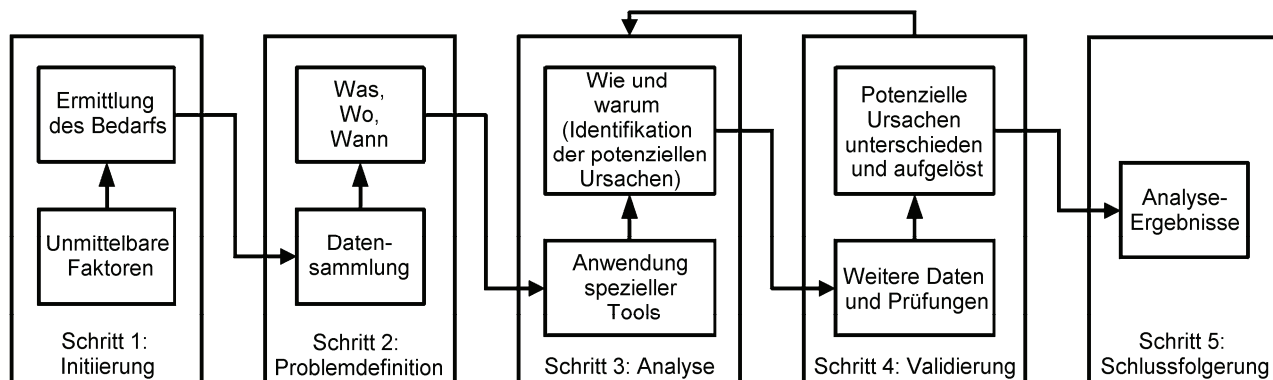


Bild 1 – RCA-Prozess

Empfehlungen für Korrekturmaßnahmen werden in der Folge einer RCA erwartet. Allerdings liegen die Techniken, die zur Identifikation geeigneter Korrekturmaßnahmen angewendet werden, oft eher in der Verantwortung des Management-Teams als des RCA-Teams. Deshalb können die Schlussfolgerungen der RCA eine Beschreibung jeder Grundursache sein zusammen mit ausreichender Hintergrundinformation für das Management-Team, um passende Korrekturmaßnahmen zu identifizieren. Wenn Korrekturmaßnahmen identifiziert werden, müssen sie vor der Umsetzung überprüft werden, um festzustellen, ob sie die Grundursache(n) behoben haben und außerdem keine neuen Ausfälle verursachen und somit wie gewünscht wirken werden. Auch das erneute Auftreten der gleichen oder ähnlichen Ereignisse sollte überwacht werden. Falls ein Auftreten erneut eintritt, sollte das ursprüngliche Fokusereignis erneut ausgewertet werden, um zu bestimmen, warum die Korrekturmaßnahmen nicht erfolgreich waren.

6.2 Initiierung

Die Initiierung bewertet die Notwendigkeit der Durchführung einer RCA als Antwort auf ein Fokusereignis. Die Organisation muss die Kriterien definieren, welche die Tiefe der Analyse spezifizieren, die für Fokusereignisse angewandt wird, und wann eine vollständige RCA ausgelöst wird. Dies hängt ab von der Auswirkung des Fokusereignisses hinsichtlich formulierter Ziele. Beispiele für Auslösepunkte sind:

- Einzelnes Ereignis mit großer Auswirkung;
- X mehrfache, unerwünschte Ereignisse eines Geräts/Teil-Systems;
- Daten, die sich aus einem definierten Toleranzbereich bewegen;
- Ausfälle (gleich welcher Auswirkungsebene), die besonders kritische Einheiten von Geräten oder Aktivitäten betreffen.

Bei der Definition der Art der Ereignisse, die die Notwendigkeit der Durchführung einer RCA auslösen, ist es wichtig, zu berücksichtigen, dass es für jedes einzelne Ereignis, das zu einer schwerwiegenden Auswirkung führt, viele andere Ereignisse mit unbedeutenden Auswirkungen gibt. Jedoch haben viele Ereignisse gemeinsame Grundursachen; die Adressierung von Ursachen allgemeinerer Ereignisse kann deshalb Ereignisse mit schwerwiegenden Folgen verhindern.

Sobald festgelegt wurde, dass eine RCA durchgeführt wird, muss das Team für die Durchführung der RCA gebildet werden. Die Team Mitglieder müssen ausgewählt werden gemäß der spezifischen Expertise, die zur Analyse des Fokusereignisses gebraucht wird; dabei sollte mindestens ein Teammitglied beteiligt sein mit Erfahrung in der angewendeten Ursachen-Analyse-Methode. Teammitglieder können wechseln in Abhängigkeit der ausgeführten Aktivitäten, z. B. müssen die Teammitglieder, die für die Datensammlung verantwortlich sind, nicht notwendigerweise die gleichen sein, die die Analyse durchführen. Teammitglieder können Ingenieure, Techniker, Betreiber, Vertriebsmitarbeiter oder Manager sein. Zusätzliche Teammitglieder sollten für spezielle Aktivitäten während der Untersuchung einbezogen werden, entweder, um Expertise zum Team beizusteuern oder, um den Einfluss des Teams zu stärken. Die Rolle dieser zusätzlichen Teammitglieder ist es, die Untersuchung zu unterstützen, damit sie nicht blockiert wird durch technische oder organisatorische Rahmenbedingungen.

RCA kann jedoch effektiv von einer Person durchgeführt werden, vorausgesetzt diese Person ist gleichzeitig erfahren in der Ursachen-Analyse-Methode, ein Domänen-Experte (oder hat unmittelbaren Zugang zu Domänen-Experten) und hat Zugang zu allen benötigten Daten.

Nach der Bildung muss das Team das Fokusereignis definieren, das analysiert werden soll; dies umfasst den Hintergrund und den Kontext, in dem das Fokusereignis aufgetreten ist (involvierte Einheit und Umgebung), und den Umfang der Analyse. Dies ist eine Team-Aktivität. Eine gute Definition des Fokusereignisses ist kurz, einfach und leicht zu verstehen und sollte nicht voreingenommen sein hinsichtlich einer speziellen Lösung.

RCA kann die Analyse offener Systeme umfassen (Systeme, die ständig mit ihrer Umwelt interagieren). Diese Interaktion kann sich auf Information, Energie oder Materialtransfer beziehen. Bei der Durchführung der Analyse sollte das Team die Grenzen der Analyse spezifizieren (was ist eingeschlossen und was ist ausgeschlossen). Diese Spezifikation sollte sowohl die Komponenten der analysierten Einheit berücksichtigen als auch die Betriebseigenschaften und Zusammenschaltungen.

6.3 Problemdefinition

Die Problemdefinition umfasst alle Aktivitäten, die zur Vorbereitung der Analyse notwendig sind. Dieser Schritt ist meist der größte Teil der RCA.

Es werden die Fakten gesammelt, „was“ passiert ist, „wo“ und „wann“. Diese werden ausgewertet, um eine Hypothese zu formulieren für die Entscheidung, welche weitere Datensammlung erforderlich ist, um zu ermitteln, „wie“ und „warum“ das Fokusereignis eingetreten ist.

Daten müssen gesammelt werden, um den Kontext zu bestimmen, in dem das Fokusereignis eingetreten ist sowie die Bedingungen vor, während und nach dem Fokusereignis; dies impliziert persönliche Mitwirkung (inkl. ergriffener (oder nicht ergriffener) Maßnahmen und getroffener Entscheidungen), Umwelteinflüsse und

andere hinsichtlich des Fokusereignisses relevante Informationen. Die benötigten Daten können folgende Punkte betreffen:

- Untersuchung der physikalischen Beweise wie ausgefallene Komponenten und Pathologie-Berichte. Generell wird nach früherer Erfahrung bestimmt, welche physikalischen Beweise benötigt werden. Im Zweifelsfall sollte das Beweismittel behalten werden; es ist auch wichtig, die Beweise aufzubewahren.
- Fotos und Videos von Überwachungskameras. Fotos des Gebiets aus mehreren Blickwinkeln sind ebenfalls nützlich während der Analysephase.
- Betriebsdaten von Überwachungssystemen, Steuerungssystemen, Alarm- und Ereignis-Protokollen etc. Betriebsprotokolle können entscheidend sein für das Verständnis der Betriebsbedingungen zum Zeitpunkt des Ausfalls und da sie typischerweise mit einem Zeitstempel versehen sind, sind sie ideal für das Erstellen einer zeitlichen Abfolge der Ereignisse.
- Persönliche Zeugenaussagen, die in Interviews gesammelt werden. Interviews müssen sich auf die Datensammlung konzentrieren, z. B., um einen konsistenten zeitlichen Ablauf zu rekonstruieren etc.; jede verfrühte Diskussion der Unfallursachen kann den Interviewprozess negativ beeinflussen. Fragen sollten vor dem Interview vorbereitet werden, um sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen ermittelt werden. Die Interviews sollten mit den Personen durchgeführt werden, die am besten mit dem Fokusereignis vertraut sind, jedoch sollte in Erwägung gezogen werden, andere Personen zu interviewen, z. B. Personen, die die Aufgabe in der Vergangenheit durchgeführt haben. Alle Interviews sollten dokumentiert werden.
- Dokumentarische Belege relevanter Abläufe, Betriebsumgebungen und regulatorischer Rahmenbedingungen.

Nachdem alle Daten zum Fokusereignis gesammelt wurden, müssen sie verglichen werden; fehlende Daten müssen ermittelt und Unstimmigkeiten aufgelöst werden, um sicherzustellen, dass ein klares und konsistentes Bild des Fokusereignisses erzielt wird.

Das Ergebnis dieses Schrittes ist Information und Verständnis hinsichtlich folgender Punkte:

- Zeitliche Abfolge der Ereignisse, die zu den endgültigen Folgen führen, inkl. wer was, wann getan hat und was zu jedem Zeitpunkt beobachtet wurde;
- physikalische Beweise, die durch den Ausfall zurück bleiben;
- notwendige Bedingungen für die Ereignisse;
- Folgen des Fokusereignisses.

6.4 Analyse

Nachdem bestimmt wurde „was“ passiert ist, „wo“ und „wann“, ermittelt dieser Schritt „wie“ und „warum“ das Fokusereignis eingetreten ist.

Die physischen und / oder psychischen Ausfallmechanismen müssen ermittelt werden sowie die Art der Interaktionen zwischen Hardware, Software und dem sozialen, organisatorischen und / oder rechtlichen Umfeld, die zum Fokusereignis geführt haben.

Die Ursache-Wirkungs-Beziehungen müssen dann durch RCA-Techniken ermittelt werden, beispielsweise denen in Anhang A, um festzustellen „warum“ das Fokusereignis eingetreten ist. Im Allgemeinen gibt es mehrere Gründe für ein Fokusereignis, weshalb ein Netzwerk der Interaktionen unmittelbar notwendiger und notwendiger kausaler Faktoren ermittelt werden sollte, solange bis eine „Stoppzeit“ aktiviert wird. Die „Stoppzeit“ wird explizit vom Analysten definiert; weitere Ursachen werden nicht als relevant angesehen für das Verständnis der Beziehungen zwischen den unmittelbar notwendigen und notwendigen kausalen Faktoren und dem Fokusereignis. Z. B. kann die Stoppzeit der Zeitpunkt sein, zu dem eine Korrekturmaßnahme identifiziert werden kann. Die Analyse identifiziert die Gründe, warum die unmittelbar notwendigen kausalen Faktoren existiert haben und arbeitet sich rückwärts vor zu den Grundursachen.

Es existieren verschiedene RCA-Techniken, von denen jede ein bestimmtes Ergebnis hat und die für die Analyse spezieller Arten von Ereignissen geeignet sind. RCA-Techniken reichen von einfachen bis zu komplexen Techniken und erfordern geeignet qualifizierte Fachleute für die Durchführung der Analyse. Die

am besten geeignete RCA-Technik sollte ausgewählt werden, und geeignet qualifizierte Fachleute sollten eingesetzt werden für die Durchführung der Analyse.

Datenanforderungen müssen während der gesamten Analyse gemacht werden, um Inkonsistenzen oder ganze Lücken in der Analyse aufzudecken.

Eine Person kann eine Komponente eines Systems sein, die versagt, eine geforderte Aktion auszuführen, und zu einem System-Ausfall führt. Personen (auf jeder Stufe einer Organisation) können eine eingeschränkte Leistung erbringen, was zu Fehlern in anderen Teilen des Systems führt. Die Entscheidungen von Personen, die als Designer, Betreiber oder Manager handeln, können ebenfalls eine Rolle bei einem Ausfall spielen. Solche Entscheidungen können korrekt sein unter den Umständen, unter denen sie getroffen wurden, aber es kann sich erweisen, dass sie unerwünschte Ergebnisse haben. Menschliche Entscheidungen, einschließlich Entscheidungen, Regeln zu verletzen, werden beeinflusst von einer Vielzahl persönlicher Motive und externer Faktoren, einschließlich solcher innerhalb von Organisationen oder ihres größeren politischen oder finanziellen Kontexts. Deshalb muss die Bandbreite der Rollen, die Menschen in der sozialen und organisatorischen Umgebung einer Einheit spielen, in der Analyse berücksichtigt werden.

Die Analyse kann eine große Bandbreite von Ausfallanalysen zur Untersuchung ausgefallener Komponenten umfassen, z. B. Mikroskope, Spektrographie, zerstörungsfreies Testen (en: Non-Destructive Testing, NDT) oder Modellentwicklung des Ausfalls wie Feuer-Modellierung oder Unfall-Modellierung.

6.5 Validierung

Das Ergebnis des vorhergehenden Schritts kann eine Vielzahl verschiedener Möglichkeiten umfassen für die Folge der Ereignisse und zugrunde liegender kausaler Faktoren, die zum Fokusereignis geführt haben. Diese Möglichkeiten müssen unterschieden und geklärt werden. Dies kann implizieren, weitere Daten zu sammeln für das direkte Finden eines Beweises, um die verschiedenen identifizierten Möglichkeiten zu untermauern oder zurückzuweisen. Beweise sind möglicherweise nicht immer verfügbar, um mögliche Ursachen vollständig zu validieren.

Falls es möglich ist, Experimente zur Wiederholung des Eintretens des Fokusereignisses durchzuführen, sollten geeignete statistische Methoden verwendet werden, um den Grad der Bestätigung der Hypothese der Ursache zu untersuchen. Falls das Fokusereignis unter Zuhilfenahmen einer Simulation untersucht wird, muss sorgfältig sicher gestellt werden, dass die Simulation wahrheitsgetreu ist hinsichtlich der ursachenrelevanten Aspekte.

Das Ergebnis des Validierungs-Schrittes ist:

- Eine Menge von Ursachen, deren Beitrag zum Fokusereignis durch starke Belege untermauert ist;
- Ursachen innerhalb dieser Menge, die keine relevanten kausalen Vorgänger haben und somit als Grundursachen definiert werden;
- eine Menge von Ursachen, für die die Hinweise schwach oder nicht vorhanden sind, die aber eine Ursache sein hätten können;
- eine Menge von Faktoren, die indirekt zum Auftreten des Fokusereignisses beigetragen haben können, z. B. durch eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls und nicht als notwendige Ursache in einem kausalen Netzwerk.

Diese Ursachen und die Stichhaltigkeit der Belege, die sie unterstützen, sollte ausgewiesen werden.

6.6 Schlussfolgerung

Die Art der Schlussfolgerungen hängt ab von der Form der Analyse. Falls z. B. das Ziel der Analyse ist, das Auftreten ähnlicher Ereignisse zu verhindern, sollten die Schlussfolgerungen Korrekturmaßnahmen identifizieren, die das kausale Netzwerk unterbrechen und verhindern, dass das Fokusereignis erneut auftritt. Die Effektivität der Schlussfolgerungen hängt ab von der Qualität des in der Analyse entwickelten Netzwerks.

Es muss ein abgestimmtes Format zur Präsentation der Schlussfolgerungen der RCA entwickelt werden, das die Datenanalyse zusammenfasst und die erforderlichen Ergebnisse der Analyse erfasst, z. B. empfohlene

Korrekturmaßnahmen. Falls empfohlene Korrekturmaßnahmen die geforderten Ergebnisse der RCA sind, so muss die Zusammenfassung mindestens die folgenden Punkte enthalten:

- Eine allgemeine Beschreibung jeder Ursache, die eine Korrekturmaßnahme erfordert, zusammen mit ausreichender Hintergrundinformation für die Teammitglieder zum Verständnis des Bedarfs einer Adressierung dieser Ursache.
- Der Pfad oder die Pfade durch das Netzwerk, die zu Ursachen gehören, die Korrekturmaßnahmen erfordern.
- Empfohlene Korrekturmaßnahmen, um jede der identifizierten Ursachen zu adressieren.

Falls Empfehlungen für Korrekturmaßnahmen einer RCA folgen, so ist die Umsetzung der Korrekturmaßnahmen der wichtige Schritt zur Verbesserung der Produktqualität. Diese Maßnahmen müssen Systemverbesserungen adressieren, die auf die Grundursachen des Problems abzielen. Jede Korrekturmaßnahme muss ausgewertet werden hinsichtlich Effektivität und Praktikabilität, deshalb sollte jede Korrekturmaßnahme

- die Wahrscheinlichkeit des erneuten Auftretens des Fokusereignisses reduzieren und / oder die Folgen unerwünschter Ereignisse auf ein akzeptables Niveau senken;
- keine neuen inakzeptablen Risiken nach sich ziehen, z. B. darf die Sicherheit anderer Systeme nicht vermindert werden durch die vorgeschlagene Korrekturmaßnahme.

Jede Korrekturmaßnahme muss zulässig und umsetzbar sein hinsichtlich Kosten, Zeit, organisatorischer Einflüsse, technischer Anforderungen, etc.

Die Schlussfolgerungen der Analyse müssen mit den vom Fokusereignis betroffenen Stakeholdern diskutiert werden.

7 Auswahl von RCA-Techniken

7.1 Allgemeines

Die Anhänge enthalten Listen und erklären die Bandbreite der Techniken weiter, die für die Durchführung oder Unterstützung durch RCA verwendet werden können.

7.2 Auswahl der RCA-Technik

RCA wird durchgeführt in unterschiedlicher Tiefe und kann eine oder viele RCA-Techniken benutzen, die von einfach bis zu komplex reichen. Die Tiefe der Analyse und der verwendeten Technik(en) sollte korrespondieren zur Komplexität der Einheit, wegen der das Fokusereignis aufgetreten ist, und zu den Ausfallfolgen.

Allgemein sollte eine geeignete Technik folgende Merkmale aufweisen:

- Vertretbar und passend für das Fokusereignis der Analyse;
- Liefern von Ergebnissen, die das Verständnis der Grundursachen des Fokusereignisses erweitern. Falls das Ziel der Analyse ist, das Wiederauftreten zu verhindern, so sollten Korrekturmaßnahmen vorgeschlagen werden;
- Möglichkeit einer nachvollziehbaren, wiederholbaren und verifizierbaren Form der Nutzung.

Nachdem das Problem definiert wurde, sollte(n) die RCA-Technik(en) ausgewählt werden auf der Basis anwendbarer Faktoren wie

- Komplexität der Einheit;
- Größenordnung des Fokusereignisses;
- Schwere der Ausfallfolgen;
- Verfügbarkeit von Information und Daten, da manche Techniken mehr erfordern als andere.

7.3 Arten von RCA-Techniken

RCA-Techniken können auf verschiedene Arten klassifiziert werden, um das Verständnis ihrer relativen Stärken und Schwächen zu unterstützen. Anhang A klassifiziert die Techniken hinsichtlich der Faktoren, die die Auswahl der Techniken beeinflussen. Eine Auswahl von Techniken wird dann weiter ausgearbeitet in Anhang B hinsichtlich der Art der Bewertung, die sie liefern, und einer Anleitung zu ihrer Anwendbarkeit für gewisse Situationen.

RCA-Techniken können folgendermaßen unterteilt werden, hinsichtlich der Lieferung von:

- Struktur für die Analyse,
- Checklisten zur Unterstützung der Analyse,
- Modell basierend auf „konzeptionellem Zutrauen“, die Ursachen zu entwickeln.

RCA sollte Techniken verwenden, die nicht nur Struktur, sondern auch die Ursachen liefern, und zwar durch ein Modell oder durch die Verwendung von Checklisten. Das Ziel von Anhang A und B ist es, Anleitung für die Auswahl der geeigneten Technik(en) basierend auf den in 7.2 identifizierten Faktoren zu geben.

Anhang A (informativ)

Eigenschaften von RCA-Techniken

A.1 Einflussfaktoren für die Auswahl der RCA-Technik

Die Eigenschaften der Techniken werden beschrieben hinsichtlich

- Komplexität der Analyse;
- Erforderliches Fähigkeits-Niveau für die Anwendung der Technik;
- Eigenschaften der Technik.

Die Merkmale der Technik werden definiert hinsichtlich der folgenden Punkte:

- Struktur, welche Techniken liefern Struktur für die Analyse;
- Systematik, welche Techniken liefern Checklisten, um die Analyse zu unterstützen;
- Modelle, welche Techniken nutzen „konzeptionelles Zutrauen“, um die Ursachen zu ermitteln.

Ursachenanalyse kann eine Kombination solcher Techniken umfassen, wobei z. B. ein Modell für die Ereignis-Auslösung wie das Ursache-Modell genutzt wird, um die Informationsbasis für eine strukturierte Diskussion zu schaffen, und die Visualisierung durch eine Methode wie das Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm erfolgt.

Tabelle A.1 – Merkmale der RCA-Techniken

Technik	Beschreibung	Eigenschaften		
		Komplexität der Analyse	Fähigkeits-niveau	Technik-Merkmale
Die Warum-Methode (en: „why“ method)	Die „Warum“-Methode ist eine einfache Folge von Fragen, die die Untersuchung zu den Grundursachen führt. Die Warum-Methode beginnt mit dem ersten Problembericht gefolgt von der ersten Antwort auf den Problembericht.	Gering	Gering	Strukturierungs-technik
Fehlerbaum	Der Fehlerbaum startet mit dem Ereignis und arbeitet sich dann zurück, um alle möglichen Ursachen des Ereignisses zu identifizieren. Diese werden graphisch in einem logischen Baumdiagramm dargestellt. Mit Fortschreiten der Untersuchung werden mögliche Ursachen allmählich ausgeschlossen und werden im Baum deaktiviert. Durch Ausschluss aller Äste des Baums werden die tatsächlichen Ursachen ersichtlich. Am Ende sollte eine kurze Liste möglicher Grundursachen übrig bleiben.	Hoch	Hoch	Strukturierungs-technik, am besten für die Ursachen-Analyse von Hardware-Ausfällen geeignet
Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm	Das Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm startet mit dem Ereignis (Kopf des „Fisches“) und bildet dann die Haupt-Äste (Gräten), die spezielle funktionale Bereiche repräsentieren. Das Ergebnis ist ein Diagramm, das alle möglichen Verbindungen auflistet, die jeder funktionale Bereich mit dem Ausfall haben könnte.	Gering	Gering	Strukturierungs-technik für Brainstorming

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Technik	Beschreibung	Eigenschaften		
		Komplexität der Analyse	Fähigkeits-niveau	Technik-Merkmale
Ereignis- und Ursachen-Analyse (en: Event & Causal Factor Analysis, ECF)	Die ECF-Analyse identifiziert die zeitliche Abfolge einer Folge von Funktionen und/oder Aktionen einschließlich der Umgebungsbedingungen, die zu einem Ereignis führen. Diese werden in einem Ursache-Wirkungsdiagramm dargestellt	Mittel	Mittel	Strukturierungs-technik
Änderungs-Analyse	Die Änderungs-Analyse identifiziert Grundursachen durch die Auswertung der Abweichung zwischen dem Erwarteten und dem, was tatsächlich passiert ist und was zum Ereignis geführt hat	Gering	Gering	Überblicks-Strukturierungs-technik, die eher beleuchtet „was“ passiert ist, als „warum“
Abgrenzungs-Analyse	Die Abgrenzungs-Analyse ist ein systematischer Prozess, der die physikalischen, administrativen und prozeduralen Grenzen oder Regelungen identifiziert, die das Fokusereignis verhindern hätten sollen.	Gering	Gering	Strukturierungs-technik
Warum-Weil-Analyse (en: Why-Because Analysis, WBA)	WBA erstellt das Netzwerk der kausalen Faktoren für das Fokusereignis unter Verwendung eines Zwei-Faktoren-Vergleichs, dem kontrafaktischen Test. Das Netzwerk der Faktoren wird in einem Warum-Weil-Graphen dargestellt.	Proportional zum Fokusereignis	Proportional zur Komplexität der Analyse	Basierend auf einem Kriterium, einem Test, nicht auf einem Ereignis- oder organisatorischen Modell
Systemtheoretisches Unfallmodell und Prozess (en: Systems Theoretic Accident Model and Process, STAMP)	STAMP basiert auf einem komplexen aber umfassenden hierarchischen organisatorischen Modell mit einer Ebene der physikalischen Ausrüstung als unterster Ebene und der Regierung/Gesetzgeber als oberster Ebene. Jede Hierarchie-Ebene wird als Regelungssystem angesehen, das Randbedingungen für die Aktivitäten der Ebene darunter impliziert und Informationen und Feedback von ihr erhält. Die Analyse konzentriert sich auf das Auffinden des Kontroll-Fehlers und wo die Feedback-Mechanismen auf jeder organisatorischen Ebene versagt haben.	Hoch	Hoch	Modell und Systematik für Gegenstände zur Untersuchung von Ursachen
AcciMaps	AcciMaps ist hauptsächlich eine Methode zur Darstellung der Ergebnisse einer Ursachenanalyse. Sie benötigt ein organisatorisches Modell, um Faktoren in Ebenen zu unterteilen und, um die Faktoren in den Ebenen aufzudecken; es wird eine Version des kontrafaktischen Tests (siehe WBA) angewendet, um die kausalen Zusammenhänge zwischen den Faktoren zu bestimmen.	Abhängig vor allem vom Analysten	Gering bis sehr hoch, abhängig vor allem von den Zielen des Analysten	Strukturierungs-technik zur visuellen Darstellung der Ergebnisse einer RCA gegenüber Dritten

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Technik	Beschreibung	Eigenschaften		
		Komplexität der Analyse	Fähigkeitsniveau	Technik-Merkmale
Multilineare Ereignis-Sequenzierung (en: Multilinear Events Sequencing, MES) und zeitlich geordnete Ereignis-Aufzeichnung (en: Sequentially Timed Events Plotting, STEP)	MES und STEP sind Methoden zur Datensammlung und Nachverfolgung für die Analyse komplexer Vorfälle ausgerichtet auf Fokusereignisse in der kommerziellen Luftfahrt. Sie ermöglichen die Beibehaltung von Informationen für teilweise abgeschlossene Untersuchungen. Sie stellen Ergebnisse als Zeit-Akteurs-Matrix der Ereignis-Komponenten dar.	Hohe Ressourcen-Investition am Anfang, die Rationalisierungseffekte ermöglicht, wenn die Nachverfolgungsmethoden sich auszahlen bei der Unterstützung der Organisation einer komplexen Untersuchung mit vielen Beteiligten.	Hoch	Selten unter den RCA-Methoden, widmet dem Informationsmanagement im Verlauf der Untersuchung beträchtliche Ressourcen sowie dem Nachverfolgen von Vorfällen, Aufgaben und ihren Umsetzungs-Details. Lohnt sich für komplexe Untersuchungen, die derartige Management-Techniken erfordern.
TRIPOD	TRIPOD ist ein Baum-Ansatz für die Analyse von Unfällen und Vorfällen, der menschliche Einflüsse fokussiert und nach Fehlern in der Organisation sucht, die menschliche Fehler verursachen können.	Mittel	Mittel	Strukturierungs-technik entwickelt für die Analyse von HSE-Vorfällen
Das Ursache-Modell	Das Ursache-Modell baut auf den notwendigen Komponenten jedes produktiven Systems auf, d. h. Entscheidungsträgern, Linien-Management, zuverlässigem Equipment, ausgebildeten und motivierten Arbeitskräften, produktiven Aktivitäten und Abwehr von Gefährdungen. Es gibt unvermeidbare Schwächen bei diesen Beteiligten vergleichbar den Löchern in einem Schweizer Käse. Entsprechend dieser Analogie tritt ein unerwünschtes Ereignis auf, wenn die Löcher der Käsescheiben zufällig übereinander liegen.	Mittel	Mittel	Modell zur Steuerung der Untersuchung von Ursachen von menschlichen Fehlern
Sicherheit durch Lernen in der Organisation (en: Safety through Organisational Learning, SOL)	SOL ist ein auf Checklisten basierendes Analysetool insbesondere für Fokusereignisse in Kernkraftwerken. Ergebnisse dargestellt als Zeit-Handelnder-Diagramm ermittelt durch die MES/STEP-Methode	Mittel	Mittel	Einschätzung basierend auf Erfahrungen in der Prozessindustrie sowie industrie-psychologischer und organisationstheoretischer Methoden mit dem Ziel des organisatorischen Lernens von Vorfällen
Menschliche Faktoren-Analyse und Klassifikations-Schema (en: Human Factors Analysis and Classification Scheme, HFACS)	HFACS analysiert die Ursachen menschlicher Fehler-Ursachen basierend auf dem Ursache-Modell. Es gibt vier Betrachtungsebenen basierend auf Ursachen-Scheiben wie Schweizer Käse. Jede Ebene ist unterteilt in Kategorien, und es werden Beispiele möglicher Gründe innerhalb der Kategorie gegeben.	Mittel	Mittel	Modell verwendet zur Steuerung der Untersuchung von Ursachen von menschlichen Fehlern
Datamining- und Cluster-Techniken	Datamining- und Cluster-Techniken geben wertvolle Hinweise und helfen, mögliche Grundursachen zu bestätigen oder abzulehnen	Gering	Gering	Strukturierungstechnik

Anhang B (informativ)

RCA-Techniken

B.1 Allgemeines

Dieser Anhang beschreibt eine Bandbreite der am häufigsten verwendeten RCA-Techniken und gibt eine Anleitung zu deren Anwendung. Viele dieser Techniken werden durch Software-Tools unterstützt, die den Analysten bei der Umsetzung der RCA-Technik unterstützen.

B.2 Die „Warum“-Methode

B.2.1 Überblick

Die „Warum“-Methode nutzt einen einfachen Frageprozess, um zu einer Grundursache zu gelangen. Die Fragen werden in kleinen Schritten beantwortet, die verhindern, dass eigentlich zugrundeliegende Ursachen übersehen werden. Die Methode ist ziemlich einfach in der Anwendung und benötigt nicht viel Training, aber ihre Einfachheit hat Nachteile. Sie wurde jedoch umfangreich angewendet mit beträchtlichem Erfolg.

Untersuchungsleiter müssen umfassende Kenntnis und Erfahrung mit dem Problembereich haben, um die richtigen Fragen zu stellen. Sobald der Frageprozess außerhalb ihres Expertise-Bereichs führt, finden sie möglicherweise nicht die richtige Grundursache und substituieren diese durch eine Grundursache, mit der sie vertraut sind. Es besteht außerdem die Gefahr, dass nur eine Grundursache identifiziert wird, obwohl in Wirklichkeit mehr als eine existieren kann. Typischerweise stellen verschiedene Personen unterschiedliche Fragen, und Ergebnisse sind nicht besonders gut wiederholbar.

B.2.2 Ablauf

Der erste Schritt in der „Warum“-Methode ist, das aufgetretene Problem zu benennen. Darauf folgt die Frage „Warum“ mehrmals, bezogen auf die jeweils vorhergehende Antwort. Die Frage „Warum“ wird so oft gestellt wie nötig, um zu einer Grundursache zu gelangen; dies umfasst normalerweise fünf Fragen, was allerdings nur einen Anhaltspunkt darstellt. Jedes Mal wenn die Frage gestellt wird, kann es mehrere Antworten geben, und es bedarf einiger Analyse, um die möglichen Antworten auszuschließen, die nicht zutreffen. Es kann effektiver sein, zu fragen „warum hat der Prozess versagt“ anstatt nur „warum“ zu fragen.

Ein Fischgrät-Diagramm oder ein ähnlich strukturiertes kausales Diagramm kann verwendet werden, um die Fragen zur Grundursache zu lenken. Dies stellt sicher, dass alle relevanten Bereiche berücksichtigt werden durch die Untersuchung.

Der kritische Punkt dieser Methode ist es, zu entscheiden, wo der Frageprozess gestoppt wird. Die letzte Antwort sollte auf einen Prozess deuten, der entweder nicht existiert oder nicht vernünftig funktioniert. Er muss verfolgbar sein für die Organisation, um als Grundursache nützlich zu sein.

Bild B.1 illustriert ein Beispiel eines Kompressors, der einen ungeplanten Stillstand hatte.

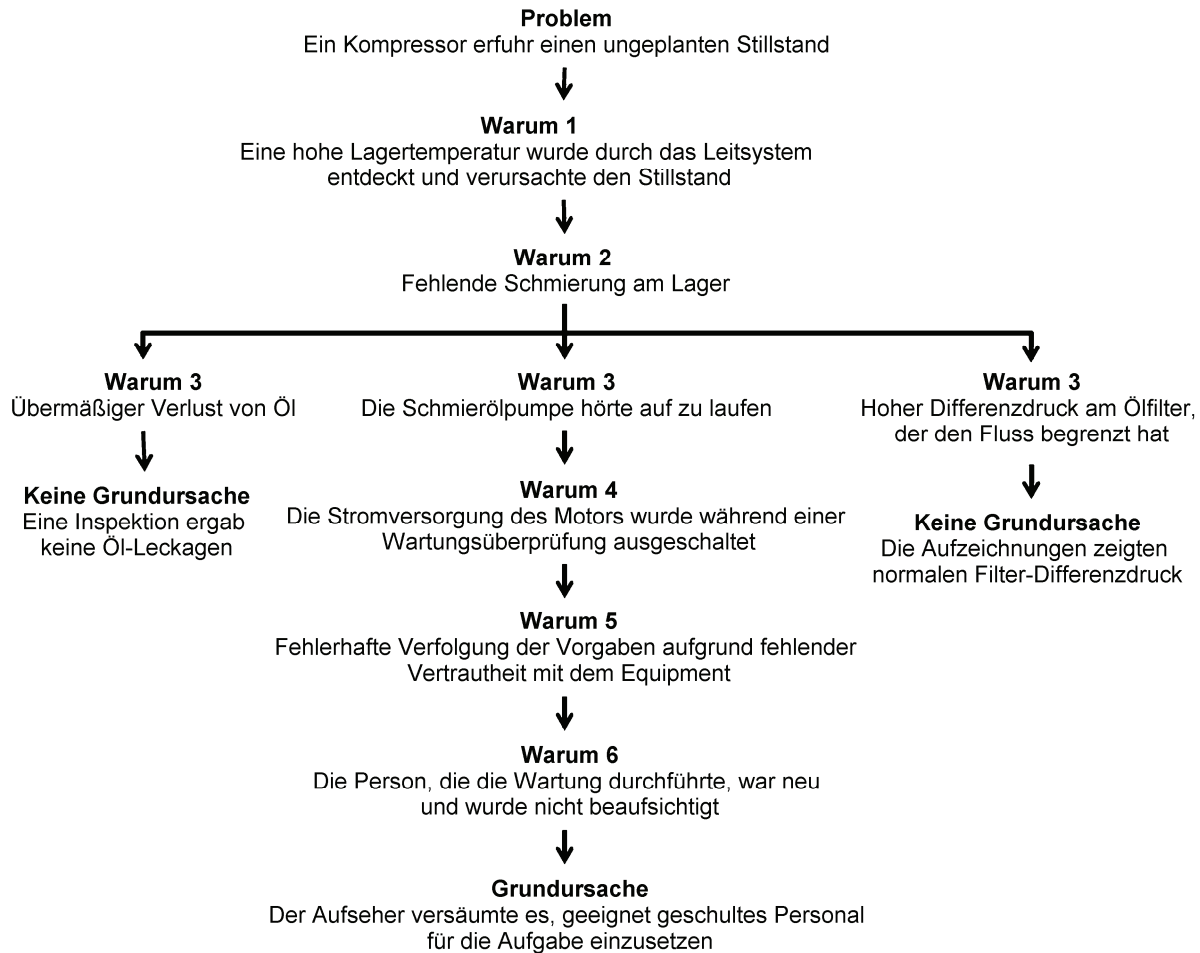


Bild B.1 – Ein Beispiel der Warum-Methode

Die Empfehlung als Ergebnis dieser Analyse war, mit allen Abteilungsleitern die existierenden Anweisungen zur elektrischen Wartung zu überprüfen und ein Training für alle neuen Mitarbeiter durchzuführen. Der Abschlussbericht stellte auch fest, dass es außerdem eine zusätzliche Ursache gab im Hinblick auf das Design des Geräts. Es stellte sich heraus, dass das Schutzsystem für den Druck der Schmierölpumpe falsch ausgelegt war, da ein Verlust des Öldrucks sofort zu einer Abschaltung der Kompressor-Einheit hätte führen sollen. Dies hätte die hohe Temperatur des Lagers und den resultierenden Schaden verhindert.

B.2.3 Stärken und Grenzen

Die Stärken der Warum-Methode sind:

- Einfach in der Anwendung für die in das Problem involvierten Personen;
- leicht verständlich für andere;
- schneller Prozess, um Ergebnisse für einfache Probleme zu erzielen;
- erfordert nicht viel Training.

Die Grenzen der Warum-Methode sind:

- Nur geeignet für einfache Situationen;
- stark abhängig von der Expertise der Untersuchungsleiter;
- Grundursachen werden leicht übersehen, wenn sie außerhalb der Expertise der involvierten Personen liegen;
- mögliche Unsicherheit, wann die richtige Grundursache identifiziert wurde;
- Ergebnisse sind nicht immer wiederholbar.

B.3 Fehlerbaum

B.3.1 Überblick

Fehlerbaum-Analyse ist eine Technik zur Darstellung der unmittelbar notwendigen kausalen Faktoren, ihrer kausalen Vorgänger und der logischen Beziehungen zwischen ihnen in einer strukturierten Art und Weise, die graphisch repräsentiert wird durch ein Baum-Diagramm. Die Beziehung zwischen diesen kausalen Faktoren wird dargestellt unter Verwendung von UND- und ODER-Gattern. Der Baum wird so entwickelt, dass Ereignisse, die zu den unmittelbar notwendigen kausalen Faktoren führen, identifiziert werden und ihre logischen Beziehungen definiert werden, bis eine Stoppzeit aktiviert wird.

Streng genommen repräsentiert ein Fehlerbaum binäre Ereignisse, bei denen eine Aussage wahr oder falsch ist und eine Komponente ausgefallen oder nicht ausgefallen ist. Die Ereignisse an einem UND-Gatter müssen sowohl notwendig als auch hinreichend sein, um das Ereignis darüber zu verursachen, und jedes Ereignis an einem ODER-Gatter-Eingang muss zum Ereignis oberhalb des Gatters führen. Vorausgesetzt diese Regeln werden eingehalten und die Auftretswahrscheinlichkeiten der Basis-Ereignisse sind bekannt, so können die Wahrscheinlichkeit des Top-Ereignisses und der Beitrag der verschiedenen Fehler-Pfade zu dieser Wahrscheinlichkeit berechnet werden.

Die Diagramm-Form und die generelle Logik eines Fehlerbaums können qualitativ genutzt werden für RCA als Unterstützung für Brainstorming, bei dem Faktoren identifiziert werden, die zu einem Ereignis beitragen könnten, selbst wenn sie selbst nicht notwendigerweise zu dem Ausfall führen.

Sowohl mit qualitativen als auch mit quantitativen Fehlerbäumen werden Belege gesucht, welche der möglichen im Fehlerbaum identifizierten kausalen Pfade eine Rolle hinsichtlich des aktuellen Fokusereignisses gespielt haben.

Im Beispiel-Fehlerbaum in Bild B.2 sind die Basisereignisse Komponentenausfälle, wobei der Austausch der Komponente das obere Ereignis verhindern würde. Es ist auch möglich, den Baum für eine weitere Analyse-Ebene zu verwenden, z. B. für die Untersuchung, warum das Wartungsprogramm, das die Batterien testen und austauschen sollte, versagt hat. Hier könnten die mitwirkenden Faktoren Punkte umfassen wie ein Fehlen von Vorgaben, die definieren, wer die Batterien austauschen sollte, Krankheit des Personals, oder ein schlechter Austausch-Plan. Die Ausfälle sind keine binären Möglichkeiten an einem ODER-Gatter und können ein offenes Ende haben, deshalb geht die strenge Logik eines Fehlerbaums verloren. Eine Quantifizierung ist nicht gültig, aber nützliche Eingriffe können identifiziert werden.

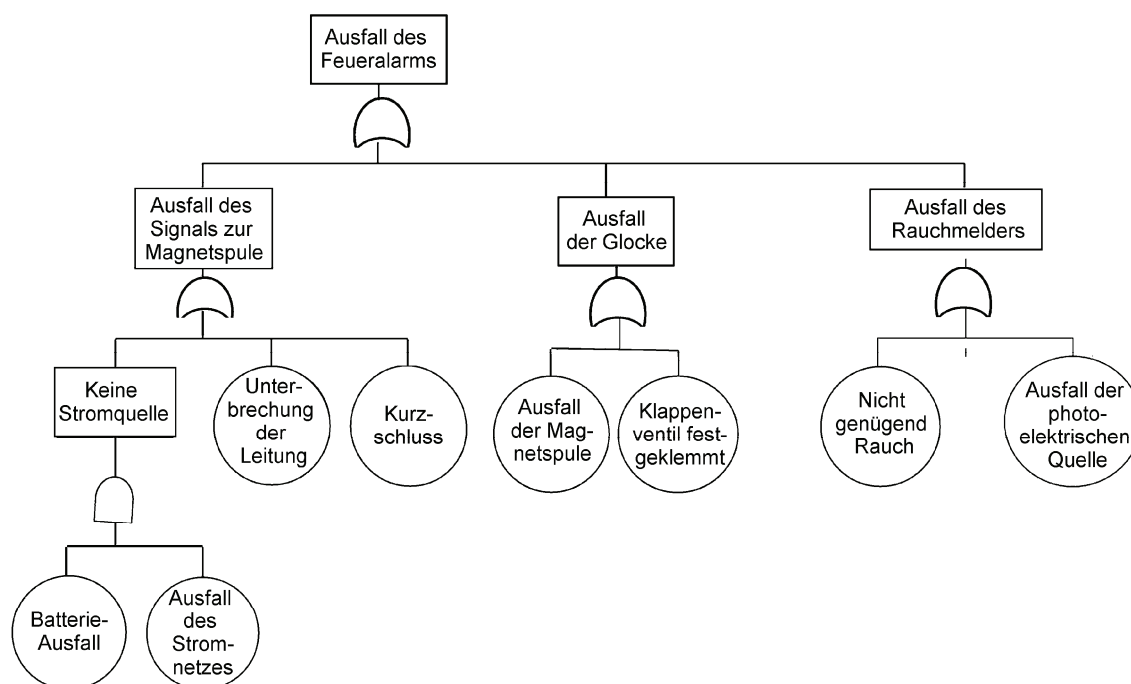


Bild B.2 – Beispiel Fehlerbaum

In einem Fehlerbaum muss jedes Ereignis am Eingang eines logischen Gatters eine direkte Ursache sein für das Ereignis, das oberhalb des logischen Gatters beschrieben ist. Menschliche, technische und durch die Umwelt beeinflusste Ursachen von Ausfällen werden für jedes Ereignis betrachtet und nicht getrennt an der Spitze des Baums.

Weitere Informationen zur Fehlerbaum-Analyse sind beschrieben in IEC 61025 [2].

B.3.2 Ablauf

Ein Fehlerbaum wird mittels der folgenden Schritte erstellt:

- a) Identifikation des zu analysierenden Ereignisses und seine Festlegung als Top-Ereignis. Die Wahl des Top-Ereignisses hängt ab vom Umfang der Analyse. Falls z. B. das Top-Ereignis die Auswirkung des Ausfalls beschreibt, dann untersucht ein Zweig des Baums Ausfälle der Abwehrmechanismen; falls das Top-Ereignis jedoch eine Ausfallart ist, so ist dies nicht enthalten.
- b) Definition der Stoppzeit. Generell ist dies der Punkt, an dem eine Korrekturmaßnahme definiert werden kann oder der Punkt, an dem ein definitiver Beweis nicht mehr möglich ist.
- c) Ermittlung der Eingänge zum Top-Ereignis: Diese sollten unmittelbare und direkte Ursachen sein. Bestimmung der Kombinationen von Ereignissen, die das Auftreten des Top-Ereignisses verursachen unter Verwendung von UND-/ODER-Gattern zur Beschreibung der Beziehung.
- d) Überprüfung der Gültigkeit des Baums: Entwicklung von Fragen, um jedes Eingangs-Ereignis zu überprüfen und zu bestimmen, welcher Beleg vorhanden wäre, falls der Eingang wahr wäre.
- e) Sammlung und Analyse von Daten, um die in Schritt d) entwickelten Fragen zu beantworten;
- f) Analyse des Baum-Diagramms durch Auswertung jedes Eingangs hinsichtlich seines Beitrags zum Top-Ereignis und Identifikation, welche möglichen Ausfallpfade eingetreten sind, Erweiterung des Baums wo notwendig.
- g) Die Basisereignisse des Diagramms repräsentieren nun die möglichen Grundursachen, die eine Korrekturmaßnahme erfordern. Dies umfasst Grundursachen des Ausfalls, der tatsächlich eingetreten ist, und außerdem andere Ausfälle, die ebenfalls zum Fokusereignis führen könnten. Falls die Analyse zeigt, dass diese von hoher Relevanz sind, so können auch hier Korrekturmaßnahmen empfohlen werden.

B.3.3 Stärken und Grenzen

Die Stärken der Fehlerbaum-Methode sind:

- Stellt eine Methode zur Verfügung zur Aufteilung der Analyse für große, komplexe Einheiten;
- unterstützt durch viele kommerzielle Software-Pakete, die bei der Entwicklung der Fehlerbaumstruktur helfen;
- motiviert die Teilnahme von Gruppen;
- benutzt ein geordnetes, leicht lesbares Format;
- identifiziert Bereiche zur Sammlung von Daten.

Die Grenzen der Fehlerbaum-Methode sind:

- Benötigt einen erfahrenen Ausführenden;
- kann nur quantitativ zur Bestimmung der Bedeutung verschiedener Grundursachen verwendet werden im Falle binärer Ausfälle und falls strenge logische Regeln angewendet werden. Dies gilt gewöhnlich eher für technische als für menschliche oder organisatorische kausale Faktoren.
- Der Fehlerbaum hat kein zugrundeliegendes Modell der Verursachung und gibt keine Anleitung, wie kausale Faktoren gesucht werden. Er ist deshalb gut geeignet für die Analyse von Hardware-Ausfällen, die durch Komponenten-Ausfälle verursacht sind, wobei die Liste möglicher Komponenten, die ausfallen könnten, fix ist. Er ist weniger gut geeignet für offene Probleme (z. B. Entzündungs-Quellen für ein Feuer oder menschliche und organisatorische kausale Faktoren), bei denen es keine Möglichkeit gibt, sicherzustellen, dass alle möglichen Ursachen gefunden wurden.

- Er ist nicht geeignet für die Darstellung von Situationen, in denen ein Ereignis eintritt als Folge einer generellen Senkung der Qualität, die z. B. die Einhaltung von Vorgaben oder die Toleranzen von physikalischen Komponenten beeinträchtigt.

B.4 Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm

B.4.1 Überblick

Das Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm (auch bekannt als Ursache-Wirkungs-Diagramm) ist eine Technik, die hilft, die möglichen Ursachen eines speziellen Effekts (Ereignisses) zu identifizieren, zu analysieren und zu präsentieren. Sie kann zur Strukturierung einer Brainstorming-Sitzung verwendet werden und zur Vorstellung von Ideen, wo weitere Hinweise gesucht werden können. Die Technik wurde von Kaoru Ishikawa erfunden; sie illustriert graphisch die Beziehung zwischen einem Ereignis und allen Faktoren, die den Effekt (Ereignis) beeinflussen. Diese Technik wird wegen ihres Aussehens auch Fischgrät-Diagramm genannt.

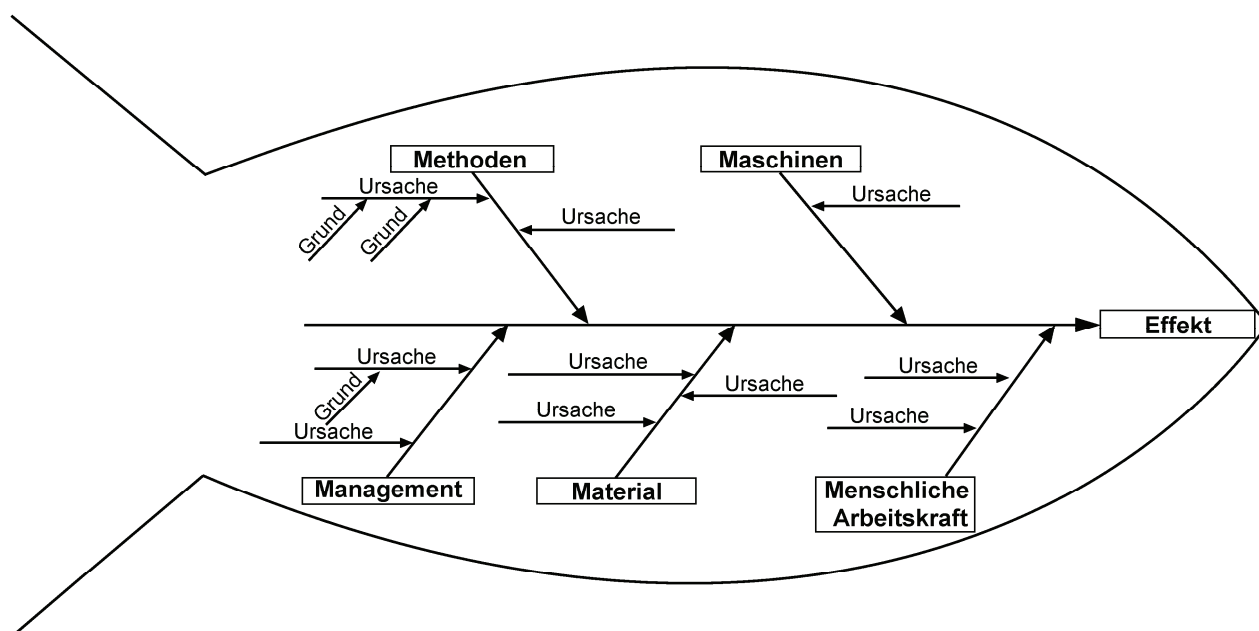


Bild B.3 – Beispiel Fischgrät-Diagramm

B.4.2 Ablauf

Ein Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramm wird in folgenden Schritten entwickelt:

- Identifikation des Effekts (Fokusereignis): Das Fokusereignis wird auf der linken Seite aufgeschrieben und eine waagerechte Linie wird von der Box über das Papier gezogen. Dies sieht aus wie Kopf und Rückgrat des Fisches.
- Bildung der Hauptursachen oder involvierten Kategorien: Vom Rückgrat werden Linien für jede Hauptursache gezogen, die zum Problem beitragen kann. Diese Hauptursachen werden als Gräten des Fisches angesehen. Eine Reihe von Methoden werden eingesetzt zur Kategorisierung von Ursachen, u.a.:
 - 5 M's: Methoden, Maschinen, Management, Material, menschliche Arbeitskraft;
 - 4 P's: Orte, Abläufe, Personen, Richtlinien (en: Place, Procedures, People, Policies);
 - 4 S's: Umgebung, Zulieferer, Systeme, Kenntnisse (en: Surroundings, Suppliers, Systems, Skills);
- Identifikation der möglichen Ursachen: Für jeden Hauptzweig (Hauptursache) werden die möglichen Ursachen des Effekts (Ereignisses) identifiziert. Diese werden als kleinere Linien dargestellt, die von den Gräten des Fisches abgehen. Es werden weiter detailliertere Ebenen von Ursachen identifiziert, die als Nebenzweige abgehend von jeder Ursachenlinie abgebildet werden. Bemerkung: Es kann notwendig werden, das Diagramm in kleinere Diagramme zu unterteilen, falls ein Zweig zu viele Nebenzweige bekommt.

- d) Analyse des Diagramms: Das Diagramm zeigt jetzt alle möglichen Ursachen des Ereignisses. Der abschließende Schritt ist die Untersuchung der wahrscheinlichsten Ursachen zur Überprüfung, ob die Analyse korrekt ist. Die Analyse beinhaltet:
- Überprüfung der „Balance“ des Diagramms, Überprüfung der Vergleichbarkeit der Detaillierungstiefe, um den Bedarf nach einer weiterer Identifizierung von Ursachen festzustellen;
 - Identifikation von Ursachen, die wiederholt auftauchen, da diese Grundursachen repräsentieren können;
 - Bewertung, was hinsichtlich jeder Ursache gemessen werden kann, um die Auswirkungen aller möglichen Änderungen zu quantifizieren;
 - Hervorhebung der Ursachen, für die Maßnahmen möglich sind.

B.4.3 Stärken und Grenzen

Die Stärken des Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramms sind:

- Fördert die Gruppen-Beteiligung zur Identifikation der persönlichen Wahrnehmung von Ursachen;
- sucht Ursachen hinsichtlich einer Menge von Kategorien, wird also eine Bandbreite von Ursachen hinsichtlich menschlicher und organisatorischer Faktoren identifizieren ebenso wie Hardware- und Prozess-Faktoren
- nutzt ein geordnetes, leicht lesbares Format;
- identifiziert mögliche Ursachen für Abweichungen;
- identifiziert Bereiche zur Sammlung von Daten.

Die Grenzen des Fischgrät- oder Ishikawa-Diagramms sind:

- Es gibt kein zugrundeliegendes Modell der Verursachung, daher basieren die identifizierten Ursachen auf der Wahrnehmung des Teams von Problemen und Ursachen.

B.5 Ereignis- und Ursachen-Analyse

B.5.1 Überblick

Das Ereignis- und Ursachen-Diagramm (en: Event & Causal Factor, ECF) listet Ereignisse in chronologischer Reihenfolge von links nach rechts in Rechtecken, wobei Ereignisse durch einzelne Subjekte und aktive Verben charakterisiert werden. Kausale Faktoren werden dann in Ovalen über und unter der Hauptfolge von Ereignissen dargestellt. Ereignisse werden durch durchgezogene Linien verbunden und Bedingungen durch gestrichelte Linien. Ereignisse und Bedingungen, die auf Beweisen basieren, haben eine durchgezogene Umrandung, die auf Annahmen basierenden dagegen eine gestrichelte.

B.5.2 Ablauf

Ein ECF-Diagramm wird in folgenden Schritten erstellt:

- a) Identifikation des zu analysierenden Fokusereignisses und Aufzeichnung in einer Box auf der linken Seite;
- b) Ermittlung der unmittelbar notwendigen kausalen Faktoren für das Fokusereignis und Darstellung jedes solchen Faktors in einem Rechteck, das durch einen Pfeil nach rechts mit dem Fokusereignis verbunden ist;
- c) Bestimmung, welche Ereignisse und Bedingungen zum unmittelbar notwendigen kausalen Faktor geführt haben, warum die Bedingungen existierten und wie sie verursacht wurden. Benennung jeder solchen Bedingung in einem Oval oberhalb des unmittelbar notwendigen kausalen Faktors.
- d) Überprüfung der Gültigkeit der Ursachen durch Ermittlung von Belegen, die begründen, ob die Bedingungen und Ereignisse wahr sind.
- e) Entwicklung des ECF-Diagramms, bis die Stoppzeit zutrifft.

B.5.3 Stärken und Grenzen

Die Stärken der ECF-Analyse sind:

- Unterstützt die Verifikation kausaler Ketten und Ereignis-Folgen;
- liefert eine Struktur zur Integration von Ergebnissen der Untersuchung;
- unterstützt die Kommunikation sowohl während als auch nach Abschluss der Untersuchung.

Die Grenzen der ECF-Analyse sind:

- Die Aufzeichnung der Ereignisse identifiziert kausale Faktoren und bestimmt nicht notwendigerweise die Grundursachen;
- kann einfache Probleme verkomplizieren.

B.6 Änderungsanalyse

B.6.1 Überblick

Die Änderungsanalyse identifiziert Grundursachen durch die Bestimmung der Abweichung zwischen dem Erwarteten und dem, was tatsächlich passiert ist und was zum Ereignis geführt hat. Die Abweichungen werden bestimmt durch Antworten auf eine Reihe von Fragen.

B.6.2 Ablauf

Die Änderungsanalyse umfasst die folgenden Schritte:

- Identifikation des Fokusereignisses;
- Bestimmung „was“, „wann“, „wo“, „wer“ und „wie“ für das Fokusereignis, wobei die folgenden Punkte in der Betrachtung enthalten sein sollten:
 - Identifikation des Zustands der Einheit, was passiert ist, um den Zustand hervorzurufen, welche Aktionen durchgeführt wurden, als der Zustand eintrat und bevor der Zustand eintrat. Ebenso Bestimmung, welche Kontrollmechanismen (Grenzen) den Zustand verhindern hätten sollen;
 - Bestimmung, wann das Ereignis eintrat, wann es erkannt wurde und Feststellung, ob die Tageszeit möglicherweise zum Ereignis beigetragen hat.
 - Identifikation des Ortes, an dem das Ereignis eingetreten ist, und der Umweltbedingungen. Ebenso Feststellung, ob der Ort möglicherweise zum Ereignis beigetragen hat;
 - Ermittlung des beteiligten Personals und dessen Fähigkeiten und Bestimmung, ob eine geeignete Aufsicht vorhanden war;
 - Bestimmung, wie geeignete Aktionen bestimmt werden und ob diese angemessen ausgeführt wurden.
- Vergleich mit „was“, „wann“, „wo“, „wer“ und „wie“ für den Betrieb der Einheit ohne das Fokusereignis, wobei die obigen Punkte in der Betrachtung enthalten sein sollten.
- Dokumentation aller Unterschiede.
- Analyse der Unterschiede hinsichtlich ihrer Auswirkungen bezüglich des Hervorrufens des Fokusereignisses.

B.6.3 Stärken und Grenzen

Die Stärken der Änderungsanalyse sind:

- Einfach.

Die Grenzen der Änderungsanalyse sind:

- Nicht geeignet zur Bestimmung aller Ursachen für eine komplexe Einheit.

B.7 Warum-Weil-Analyse (en: Why-Because Analysis, WBA)

B.7.1 Überblick

WBA ist eine kausal-analytische Technik zur Ermittlung, welche Ereignisse und Situationen innerhalb einer gegebenen Menge (notwendige) kausale Faktoren sind und welche andere. Für zwei gegebene Ereignisse oder Situationen in dieser Menge, etwa A und B, wird die Bedingung des sogenannten kontrafaktischen Tests (en: Counterfactual Test, CT) genutzt, um zu bestimmen, ob A ein notwendiger kausaler Faktor von B ist. Der CT, entwickelt vom Philosophen David Lewis, der ihn selbst abgeleitet hat vom Philosophen des achtzehnten Jahrhunderts David Hume, ist ein Gegenstand beträchtlicher gegenwärtiger akademischer Forschung.

Angenommen zwei Ereignisse oder Situationen A und B wurden beobachtet; der CT fragt, ob falls A nicht eingetreten wäre, B ebenfalls nicht eingetreten wäre. (Da A eingetreten ist, ist die Annahme, dass A nicht eingetreten ist, entgegen der Fakten, daher das Wort „kontrafaktisch“.) Bei der Betrachtung, wie die Situation gewesen wäre, falls A nicht eingetreten wäre, wird angenommen, dass die Welt so ähnlich wie möglich bleibt, wie sie war, aber ohne, dass A eintritt. Falls die Antwort ja ist: B wäre nicht eingetreten in der vorgestellten Situation, dann gelingt der CT und A ist ein notwendiger kausaler Faktor von B. Falls die Antwort nein ist: B hätte ohnehin passieren können, auch wenn A nicht passiert wäre, dann misslingt der CT, dann ist A kein notwendiger kausaler Faktor von B. Der CT ist eine präzise semantische Formulierung einer Bedingung, die in vielen Unfallanalysen implizit verwendet wird.

Das Netzwerk kausaler Faktoren wird dargestellt als Warum-Weil-Graph (en: Why-Because Graph, WBG); dies ist ein „gerichteter Graph“ in der Sprache der diskreten Mathematik: Eine Menge von „Knoten“, Rechtecken, Rauten und anderen Formen, die eine kurze Beschreibung des Fakts enthalten, verbunden durch „Kanten“ oder Pfeile, wobei der Knoten am Ende des Pfeils ein notwendiger kausaler Faktor des Knotens an der Spitze des Pfeils ist, wie im CT bestimmt.

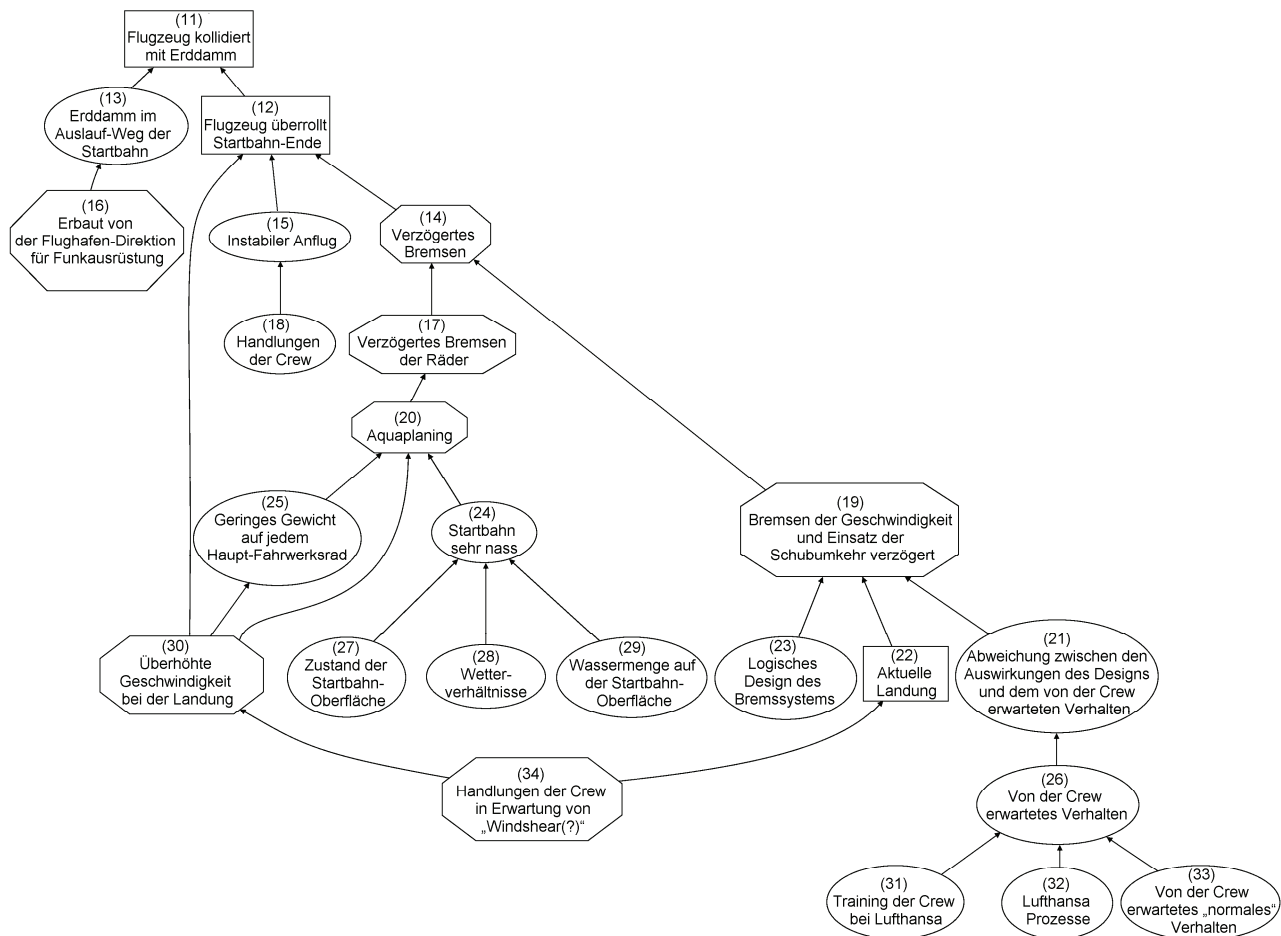


Bild B.4 – Beispiel eines WBG eines Unfalls durch Überrollen des Startbahnendes in der kommerziellen Luftfahrt