

Schiegl, Magda; Klatt, Alexander

**Research Report**

## Quantitative Risikoanalyse und -bewertung technischer Systeme am Beispiel eines medizinischen Gerätes

Forschung am iwvKöln, No. 10/2012

**Provided in Cooperation with:**

Technische Hochschule Köln – University of Applied Sciences, Institute for Insurance Studies

*Suggested Citation:* Schiegl, Magda; Klatt, Alexander (2012) : Quantitative Risikoanalyse und -bewertung technischer Systeme am Beispiel eines medizinischen Gerätes, Forschung am iwvKöln, No. 10/2012, Technische Hochschule Köln, Institut für Versicherungswesen (iwvKöln), Köln, <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:832-cos-282>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/226546>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

**Forschung am IVW Köln, 10/2012**

Institut für Versicherungswesen



# **Quantitative Risikoanalyse und -bewertung technischer Systeme am Beispiel eines medizinischen Gerätes**

**Alexander Klatt, Magda Schiegl**



## **Zusammenfassung**

In diesem Artikel wird die Entwicklung einer neuen Methode zur Risikobewertung von komplexen, technischen Systemen (z.B. Maschinen, Prozessen) dokumentiert. Wir demonstrieren die Anwendung unserer Methode anhand eines Beispiels der Medizintechnik. Ziel ist die quantitative Bewertung von Risiken, die über die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadenerwartungswertes hinaus geht. Besonders relevant ist die Berechnung kostenintensiver Großschäden. Dazu kombinieren wir Methoden der klassischen ingenieurwissenschaftlichen Risikoanalyse mit Methoden der Aktuarwissenschaften. Daraus erhalten wir eine neue Methode des quantitativen Risikomanagements zur Berechnung von Gesamtschadenverteilungen komplexer technischer Systeme. Auf diese Weise werden alle modernen Risikomaße (z.B. VaR, Expected Shortfall) zugänglich.

Wir demonstrieren die einzelnen Schritte anhand eines konkreten Beispiels aus der Praxis, einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl.

## **Abstract**

We develop a new method for risk evaluation of complex technical systems (for instance technical devices, processes) and apply it to an example of medical technology. We aim the evaluation of risks, exceeding the determination of claim probability and expectation. The calculation of high-cost claims is of especial relevance in that context. Therefore we combine methods of the classical engineering risk analysis with methods of the actuarial sciences. This results in a new method for quantitative risk management to generate the total claim distribution of complex technical systems. In this way all modern risk measures as for instance VaR or expected shortfall are accessible.

We demonstrate our new method in application to a practical example: The dentist's chair.

**Zur Wahrscheinlichkeit gehört auch, dass das Unwahrscheinliche  
eintreten kann**

Aristoteles (384-322 v. Chr.)

griechischer Philosoph

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Die Risikoanalyse .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Die Fehlerbaumanalyse als Instrument .....</b>	<b>15</b>
<b>3 Abschätzung und Visualisierung der Risiken.....</b>	<b>19</b>
<b>4 Auswertung des Fehlerbaums.....</b>	<b>23</b>
<b>5 Quantitatives Risikomanagement: Simulation der Gesamtschadenverteilung.</b>	
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>32</b>

## Einleitung

Technische Systeme und Prozesse sind häufig sehr komplex und fehleranfällig. Dafür gibt es die verschiedensten Ursachen: Materialverschleiß und das damit verbundene Auftreten von Haarrissen (z. B. Flugzeugturbine), Bedienungsfehler und Überlastung von Geräten (z.B. Kopierer), Fehlerhafte Produktentwicklung (z.B. Maschinenbau oder Pharmaindustrie), menschliches Fehlverhalten (z.B. Schiffskatastrophen, Autounfälle), das Versagen vom Zusammenwirken in komplexen Systemen (z.B. Stromausfall). Das sind nur einige wenige Beispiele. Fehler und Ausfälle von technischen Systemen bergen Risiken in sich, die das Leben und die Gesundheit von Menschen bedrohen und oder zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden führen können. Diese Probleme und Fehlfunktionen technischer Systeme müssen rational analysiert werden: Ursache – Wirkungszusammenhänge müssen geklärt, Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schadenereignissen abgeschätzt und Risiken bewertet werden – auch die monetären Auswirkungen.

Im Bereich der Ingenieurwissenschaften gibt es dafür Methoden der technischen Risikoanalyse, z.B. die Fehlerbaumanalyse (FTA) oder die Ereignisbaumanalyse (ETA) – um nur einige zu nennen. Diese Methoden sind darauf ausgelegt, möglichst alle Fehlermöglichkeiten in einem technischen System oder Prozess aufzudecken, um anschließend technische Verbesserungen vorzunehmen und so das Risiko auszuschließen oder zu minimieren. Sie dienen der Aufdeckung des Gesamtschadenpotenzials und stellen z. T. auch quantitative Ergebnisse breit. So können z. B. Schadenereignissen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Bei allen technischen Systemen gibt es jedoch sehr häufig Restrisiken, die hingenommen und / oder finanziell abgesichert werden. Hier beginnt der Aufgabenbereich der Versicherungsmathematik und des quantitativen Risikomanagements. Zur finanziellen Absicherung von Risiken muss die faire Prämie berechnet werden. Diese dient zur Finanzierung der Aufwände für die Schäden, die aus einem sehr großen Portfolio von gleichartigen Risiken entstehen. Ein großes Portfolio hat den Vorteil, dass zufallsbedingte Schwankungen klein sind. Weil das Portfolio aber nicht unendlich groß ist, wird es immer Schwankungen geben, d.h. der Schadenbedarf ist zu einem gewissen Grad vom Zufall abhängig. Deshalb muss dem Kollektiv der Risiken ein Risikokapital zugeordnet werden, das für den Fall zur Verfügung steht, dass höhere Schadenaufwände als im Mittel erwartet, zu begleichen sind. Neben den eigentlichen Schadenaufwänden ist deshalb auch das benötigte Risikokapital zu bedienen (Risikozins auf das Kapital). Die Wertschöpfung eines Versicherungsunternehmens besteht darin, Einzelrisiken zu einem solchen, „sehr großen Portfolio“ zusammenzuführen und so die Schwankungen und damit das benötigte Risikokapital im Verhältnis zu den mittleren Schadenaufwänden möglichst gering zu halten. Zur Berechnung der fairen Prämie wird die Verteilung der Schadenaufwände, die sog. Schadenhöhenverteilung benötigt. Gerade bei technischen Risiken fällt es der Versicherungsmathematik oft sehr schwer, die Schadenhöhenverteilung zu ermitteln, weil die zugrunde liegenden Portfolios nicht homogen genug sind, um statistische Methoden einzusetzen. D.h. die einzelnen technischen Risiken sind so unterschiedlich, dass man nicht ausreichend gleichartige Risiken hat, um mit statistischen Methoden die Schadenhöhenverteilung für die Risiken ableiten zu können.

An dieser Stelle schlägt die vorliegende Arbeit eine Lösungsmöglichkeit vor: Die oben genannten klassischen, ingenieurwissenschaftlichen Methoden der technischen Risikoanalyse können als Grundlage für die Berechnung der Schadenhöhenverteilung dienen. Über diese Methode sind für jedes technische System alle möglichen Schadenereignisse identifizierbar und deren Eintrittswahrscheinlichkeit quantifizierbar. Die einzelnen, nach Anwendung der technischen Risikoanalyse genau spezifizierten Schadenereignisse, ziehen Schadenaufwände nach sich, die mit Methoden der Versicherungsmathematik in Form von Einzelschadenhöhen-

verteilungen bewertet werden können. Diese Schadenaufwände sind z.B. Behandlungskosten oder Entschädigungen für verletzte Menschen, Kosten für beschädigte Sachen oder Kosten, die durch den Ausfall der technischen Systeme entstehen. Mit Hilfe von Methoden der quantitativen Risikobewertung kann daran anschließend die Schadenhöhenverteilung des technischen Gesamtsystems berechnet werden. Auf diese Weise wird die Bestimmung der fairen Prämie möglich. Mehr noch, die klassischen Fragen des Risikomanagements, wie etwa die Berechnung von Risikomaßen (z.B. VaR, Expected Shortfall,...) sowie die Frage nach der Höhe des benötigten Risikokapitals werden beantwortet. Zu diesem Zweck kombinieren wir also ingenieurwissenschaftliche Methoden der technischen Risikoanalyse mit Methoden der Versicherungsmathematik und der quantitativen Risikotheorie.

Wir veranschaulichen die oben beschriebene Kombination der Methoden anhand eines konkreten Beispiels: Die Schäden einer Zahnarztpraxis aufgrund des Ausfalls des (technischen Systems) Zahnarztbehandlungsstuhls. In einem ersten Schritt wird eine quantitative Fehlerbaumanalyse durchgeführt. Nach der Ermittlung der Schadenhöhenverteilung für die einzelnen Fehlerursachen wird mit Hilfe der Monte Carlo Simulationsmethode die Verteilung des Gesamtschadens für den Zahnarztstuhl ermittelt.

Die Arbeit ist in folgender Weise strukturiert: Nach der Einführung in die Grundlagen der Risikoanalyse werden einige Beispiele der technischen Risikoanalyse vorgestellt. Dies sind klassische, ingenieurwissenschaftliche Methoden zur Auffindung von Fehlern oder Problemen in komplexen technischen Apparaten, Maschinen oder Prozessen. In Kap. 2 spezialisieren wir uns auf die Fehlerbaumanalyse (FTA), eine der Methoden der technischen Risikoanalyse. Damit untersuchen wir einen Zahnarztbehandlungsstuhl hinsichtlich seiner Schadenursachen. Das Ergebnis wird grafisch anhand eines Fehlerbaumes dargestellt. In Kap. 3 und 4 beschäftigen wir uns mit der Überführung der qualitativen FTA in eine quantitative Methode auf der Grundlage der erarbeiteten Baumstruktur. Hier schätzen wir die Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Baumstrukturen und die mittleren Schadenaufwände. Wir stellen praxistaugliche Methoden dafür vor. In Kap. 5 beschreiben wir, wie man die auf diese Weise aufbereitete FTA zu einer Methode des quantitativen Risikomanagements erweitern kann: Wir führen ein Monte Carlo Simulationsverfahren ein, mit dessen Hilfe man die Gesamtschadenverteilung des analysierten Objektes, in unserem Fall des zahnärztlichen Behandlungsstuhls, berechnen kann.

Wir bedanken uns bei Herrn Dipl.-Betriebswirt (FH), M.A. Jens Otto sowie dem Sachverständigen-Büro Dr. Franz und Partner GmbH, Bergisch Gladbach für die sehr gute Unterstützung von Herrn Alexander Klatt während seiner Bachelorarbeit.

# 1. Die Risikoanalyse

## Definitionen

### Die Risikoanalyse

Systematische Auswertung verfügbarer Informationen, um die Gefährdung zu identifizieren und Risiken einzuschätzen.

### Das Risiko

Das Risiko ist das Eintreten eines Ereignisses mit negativem Ausgang, mit dem Nachteile, Verluste oder Schäden verbunden sind. Allgemein stellt sich das Risiko als eine Kombination aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und des zugehörigen Schadenausmaßes dar.

$$\text{Erwartungswert Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Schadenausmaß}$$

Dies ist der erwartete Wert für die Kosten des eingetretenen Schadens.

Es gibt keine einheitliche Definition des Begriffes „Risiko“. Das Risiko muss stets so definiert werden, dass es den individuellen Gegebenheiten, Erfordernissen und Zielen des zu analysierenden und zu bewertenden Sachverhaltes angepasst ist. Wichtig ist, dass ein „Sollwert“ oder ein Ziel definiert ist, um Abweichungen davon messen oder feststellen zu können. Neben dem Erwartungswert des Risikos ist auch die Verteilung der anfallenden Gesamtschäden, die das Risiko darstellen, interessant. Besonders wichtige Fragen in diesem Zusammenhang sind z. B.: Wie groß sind mögliche Abweichungen vom Erwartungswert? Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Schaden einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet? Wie groß ist der erwartete Schaden, falls dieser Schwellenwert im „Krisenfall“ doch überschritten wird? Um diese Fragen beantworten zu können, benötigt man die Verteilung der Schäden. Es ist also keineswegs ausreichend, Risiken ausschließlich über ihren Erwartungswert zu quantifizieren. Es gibt sog. Risikomaße, die neben dem Erwartungswert zur Quantifizierung von Risiken besser geeignet und oft sogar vorgeschrieben sind. Risikomaße, die zu den o.g. Fragen gehören bzw. die Fragen beantworten, sind (in dieser Reihenfolge): Die Standardabweichung, der Value at Risk (VaR) und der Expected Shortfall.

### Der Schaden

Der Schaden ist ein Ereignis, bei dem das eigene Vermögen und/oder die eigenen Güter negativ tangiert werden und folglich einen Nachteil erleiden. Durch Gegenüberstellung von Soll und Ist lässt sich ein Schaden darstellen. Die Voraussetzung dafür ist, dass sich ein schädigendes Ereignis verwirklicht haben muss. In der Versicherungstechnik spricht man von einem Schaden, wenn die Substanz einer Sache so beeinträchtigt wird, dass der Wert oder die Brauchbarkeit gemindert wird.<sup>1</sup>

### Das Schadenausmaß

---

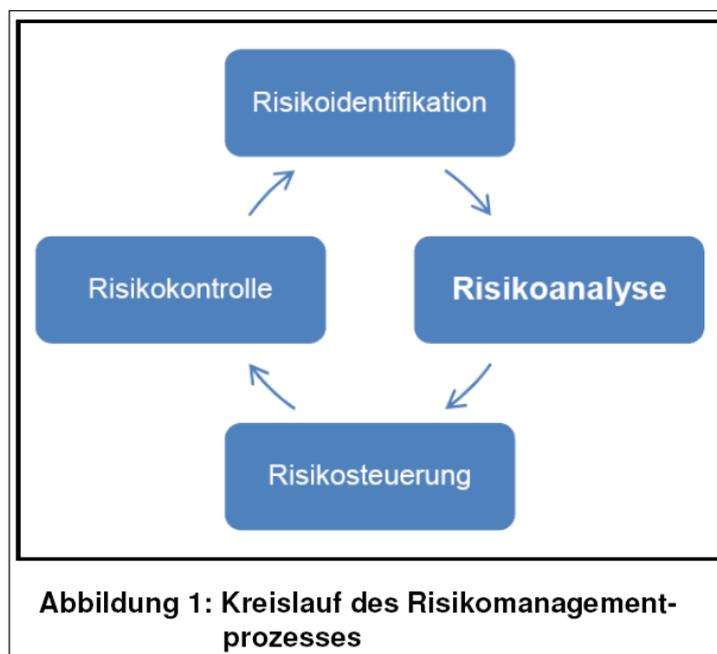
<sup>1</sup> Vgl. Martin, Sachversicherungsrecht, 1992, B III 4, 6

Das Schadenausmaß beschreibt die Größe eines Schadens in Bezug auf seine Ausdehnung, den Grad der Zerstörung und die damit verbundenen Folgen für Mensch und Umwelt.<sup>2</sup>

## Allgemeines zur Risikoanalyse

Die Risikoanalyse steht als grundlegender Baustein weit am Anfang des Risikomanagementprozesses (vgl. Abbildung 1). Der Risikoidentifikation nachfolgend übernimmt sie die Aufgabe, Risiken und Chancen zu untersuchen, um diese im Kontext beurteilen und bewerten zu können. Dabei durchleuchtet die Risikoanalyse die Gesamtheit aller Schaden – Szenarien im Hinblick auf Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenausmaß.

Basierend auf den qualitativen oder quantitativen Aussagen der Risikoanalyse werden Maßnahmen zur Bewältigung bzw. Steuerung der Szenarien getroffen.



## Ansätze der Risikoanalyse

Zur systematischen und vollständigen Analyse eines Szenarios bieten sich dem Risikomanagement zwei verschiedene Ansätze. Ausschlaggebend für die Wahl des geeigneten Ansatzes ist die Ausgangssituation. Wichtig hierbei ist, dass zugrunde gelegt wird, welches Maß an Daten und Informationen zur Verfügung steht. Zusätzlich kommt der Betrachtungszeitraum des Szenarios infrage. Dies bedeutet, findet die Analyse prospektiv oder retrospektiv statt.

Dabei können sich folgende Fragen ergeben:

„Suche ich den Auslöser für mein Problem?“, oder „Was kann mein Problem auslösen?“

Je nachdem, welche der Fragen zu beantworten ist, eröffnet sich die Möglichkeit des deduktiven oder induktiven Ansatzes<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> <http://www.enzyklo.de/Begriff/Schadenausmass>

<sup>3</sup> Vgl. Romeike, Risikomanagement in Versicherungsunternehmen, 2005, S76

**Induktive Analyse:** Diese Form der Analyse kennt die Ursache bereits und fächert einen Raum (prospektiv) auf, in dem die möglichen Konsequenzen dargestellt werden. Diese Form der Analyse wird auch „bottom-up“-Ansatz genannt. Durch die ausführliche Analyse aller Prozesse und Zusammenhänge ist diese Methode äußerst intensiv, durchleuchtet dafür aber sämtliche Bereiche, was wiederum die Qualität der Aussage steigern kann. Beispielhaft für eine induktive Analyse ist die FMEA (Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse) Ursache-Wirkungs-Diagramm, auch Ishikawa-Diagramm genannt.

**Deduktive Analyse:** Die deduktive Analyse wird auch als retrospektive Analyse betrachtet. Sie nimmt ein Schlussereignis an und hinterfragt, welche Ereignisse ausschlaggebend für den Eintritt des Schlussereignisses sind. Bei dieser Form der Analyse spricht man auch vom „top-down“-Ansatz. Dieser Ansatz bildet eine schnellere Methode der Ursachenermittlung, kann aber dazu führen, dass nicht alle Risiken bzw. Korrelationen zwischen den Ereignissen erkannt werden. Ein oft genutztes Werkzeug dieser Analyse ist die Fehlerbaumanalyse (FTA, Fault Tree Analysis).

### Arten der Risikoanalyse

Mit der Wahl der Analyse gehen verschiedene Risikobewertungsmethoden einher. Hierbei sollte im Vordergrund stehen, welche Ziele und Absichten mit der Risikoanalyse verfolgt werden sollen. Jede Analyseart liefert Ergebnisse, die, je nach Konstellation des Ausgangsdatenmaterials, einen Wert besitzen, dessen Dimension sich entweder verbal oder numerisch darstellt.

Die Arten der Risikoanalyse unterteilen sich dabei wie folgt<sup>4,5</sup>:

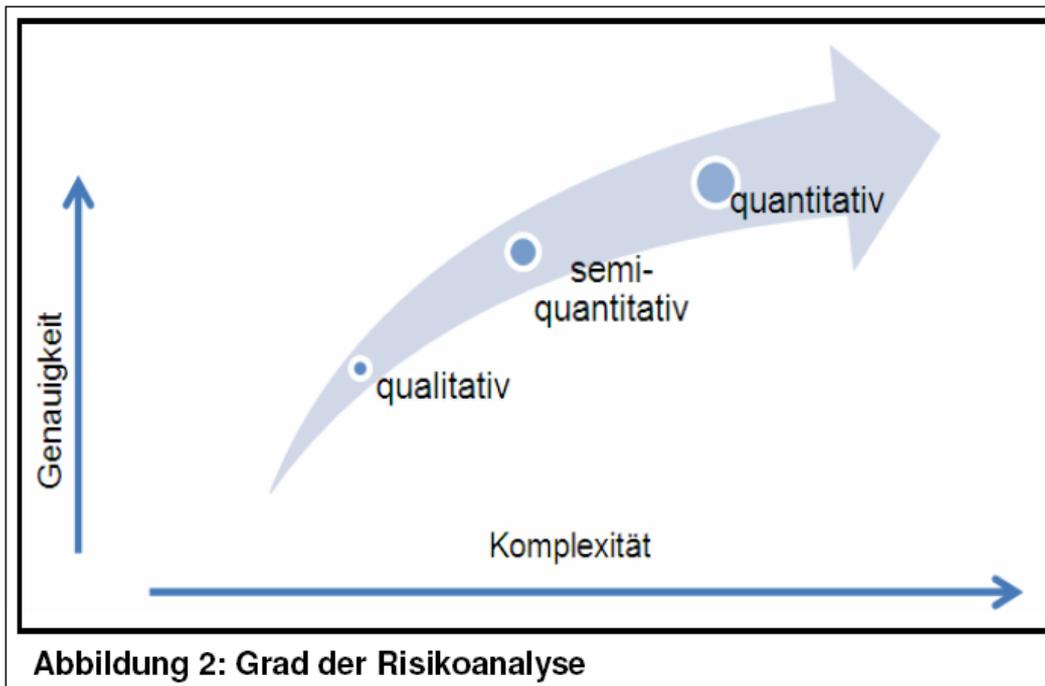
1. Die **quantitative Methode** strebt an, möglichst genaue Werte auf Basis sämtlicher Größen und Variablen zu errechnen. Hinzu kommt, dass alle Risiken so objektiv wie möglich abgeschätzt werden müssen. Für eine angemessene quantitative Aussage der Messergebnisse ist es erforderlich, dass das zur Auswertung herangezogene Datenmaterial auf seine Zuverlässigkeit geprüft wird. Die Berechnung der Daten erfolgt mittels statistischer Modelle. Der Vorteil der quantitativen Methode liegt in der Präsentation gut messbarer Ergebnisse. Dies bringt wiederum den Nachteil mit sich, dass die Berechnung sehr aufwendig und meist mit Kosten (durch Berechnungssoftware oder –agenturen) verbunden ist.
2. Die **qualitative Methode** wendet sich der Menge der Daten ab und beruht primär auf dem Wissen von Experten und Meinungsträgern. Im Gegensatz zur quantitativen Methode sind die Berechnungen einfacher und müssen zudem nicht absolut abgeschätzt werden. Allerdings wird hierbei ein hohes Maß an Fachwissen benötigt. Die Abschätzungen erfolgen meistens auf mehrstufigen Skalen wie beispielsweise unwahrscheinlich bis sehr häufig.
3. Das Bindeglied der beiden bereits genannten Methoden bildet die **semi-quantitative Methode**. Hierbei werden Klassen für die Schadenhöhe und die Eintrittswahrschein-

---

<sup>4</sup> Vgl. Gietl/Lobinger, Risikomanagement für Geschäftsprozesse, 2005, S.59

<sup>5</sup> Vgl. Gunkel, Effiziente Gestaltung des Risikomanagements in Deutschen Nicht-Finanzunternehmen, 2010, S. 68

lichkeit gebildet und in Form einer Matrix miteinander verknüpft. Verbale Klassifizierungen, wie sie die qualitative Methode nutzt, werden in quantitative Bewertungen transponiert<sup>6</sup>. Somit bekommt die Aussage sehr wahrscheinlich den Wert >90% bzw. >0,9.



Es lässt sich somit abschließend sagen, dass mit der Art der Komplexität der Analyse und der angestrebten Genauigkeit der Werte, die Methodik der Risikoanalyse variiert. Die Ergebnisse der Analyse hängen natürlich stark von der Art der gewählten Analysewerkzeuge ab. Quantitative Aussagen eines vorzugsweise qualitativen Werkzeuges können folglich nicht erwartet werden.

## Analyseverfahren

Zur Analyse eines technischen Systems und seinen potenziellen Schaden – Szenarien lassen sich verschiedene Verfahren wählen. Maßgebend für die Wahl des geeigneten Verfahrens sind die Ausgangssituation und der Zweck der Analyse. Primär stellt sich dabei die Frage, ob das zu erwartende Schadenausmaß anhand einer absoluten Bewertung der Auswirkungen oder anhand einer relativen Ein- und Zuordnung beschrieben werden soll<sup>7</sup>. Hinzu kommt, dass der Detaillierungsgrad der Auswertungen im Vorherein festgelegt werden sollte, um unnötige Schritte zu vermeiden. Aufgrund der Struktur und Zusammensetzung des zu analysierenden Szenarios bieten sich dem Risikomanagement verschiedene Analyseverfahren, von denen die gängigsten im Folgenden vorgestellt werden sollen.

<sup>6</sup> Vgl. Ocker, Unschärfe Risikoanalyse strategischer Ereigniskriterien, 2010, S.34

<sup>7</sup> Vgl. Wiederkehr/Conrad, Risikomanagementsystem im Unternehmen, 2010, S.32



## **FMEA (Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse)**

Die FMEA ist eine weit verbreitete Technik im Qualitäts- und Risikomanagement. Ziel der FMEA ist die Analyse der Auswirkung des Versagens einzelner Komponenten auf ein Gesamtsystem<sup>8</sup>. Mit der FMEA sollen kritische Komponenten identifiziert sowie mögliche Fehler frühzeitig erkannt und lokalisiert werden. Zudem soll eine Abschätzung und Beurteilung von Risiken erfolgen, die zu einer Prioritätenliste bei der Fehlerbekämpfung führt. Bei der FMEA stehen die vorsorglichen Fehlervermeidung sowie die Verbesserung von Systemen, Produkten und Prozessen im Vordergrund. Die Ermittlung der Fehler erfolgt über ein standardisiertes Formblatt in Listenform. Ein Beispiel für ein solches Formblatt ist in Abbildung 3 zu sehen. Typischerweise werden in dem Formblatt Informationen zur Fehleranalyse (Ort und Art des Fehlers, Auswirkungen und Ursachen des Fehlers), zur Risikobeurteilung, Lösungsvorschläge und Kontrollmaßnahmen / Ergebnisbeurteilungen festgehalten. Die FMEA zählt zu den induktiven Risikoanalysemethoden. Die Ergebnisse haben überwiegend qualitativen Charakter.

## **Fehlerbaumanalyse (FTA, Fault Tree Analysis)**

Die Fehlerbaumanalyse ist eine Methode zur systematischen, schrittweisen Abklärung von Ereignis / Fehler Verkettungen. Ausgehend von einem unerwünschten Ereignis (Top Event) werden systematisch alle möglichen Pfade ermittelt, die dieses unerwünschte Ereignis auslösen können<sup>9</sup>. Ziel ist es, die Wechselwirkung zwischen Einzelteilen und Gesamtsystem darzustellen, kritische Fehlerursachen, die zum Systemausfall führen können, aufzudecken und damit Aussagen über die Ausfallwahrscheinlichkeit des zu analysierenden Gesamtsystems oder Prozesses zu machen. Das Ergebnis der Analyse wird grafisch mit Hilfe eines Baumdiagramms dargestellt (s. Abb. 4). Zur Verknüpfungen der einzelnen Pfade werden die Methoden und Symbole der Booleschen Algebra verwendet, mittels UND/ODER-Logiken dargestellt. Fehler und Ereignisse, die dabei identifiziert werden, können neben technischem Versagen auch operationelle Risiken sein. Mit der Fehlerbaumanalyse können sowohl qualitative als auch quantitative Analysen durchgeführt werden. Für die quantitative Analyse werden den einzelnen Ereignispfaden an den Verknüpfungspunkten Eintrittswahrscheinlichkeiten zugewiesen. Die Fehlerbaumanalyse zählt zu den deduktiven Methoden der Risikoanalyse.

---

<sup>8</sup> Tietjen/Müller, FMEA-Praxis, 2003, S.17

<sup>9</sup> Vgl. NUREG-0492, Fault Tree Handbook, 1981, S. IV-1

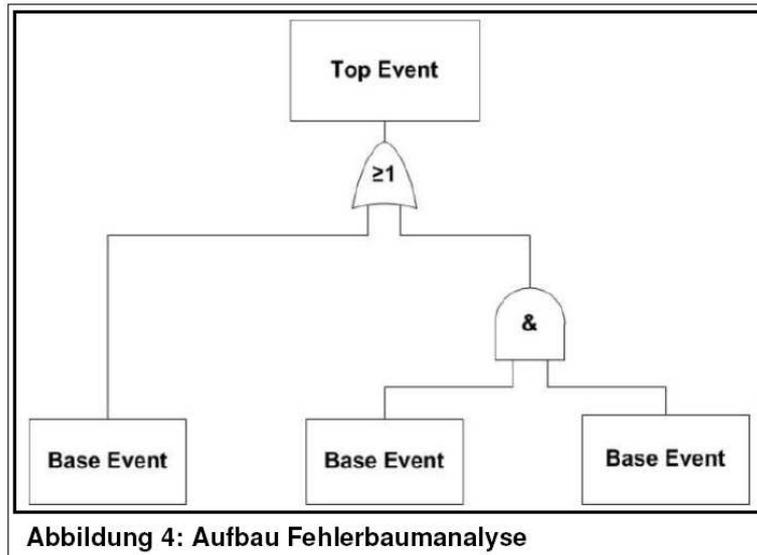


Abbildung 4: Aufbau Fehlerbaumanalyse

### Ereignisbaumanalyse (ETA, Event Tree Analysis)

Die Ereignisbaum Analyse ist eine systematische, schrittweise Analyse von Ereignisverkettungen. Anders als bei der FTA ist bei der ETA ein unerwartetes, auslösendes Ereignis der Startpunkt, das hinsichtlich aller möglichen, die Zukunft betreffenden Folgen analysiert wird. Im Gegensatz zur FTA (Top-Down-Ansatz) handelt es sich bei der ETA um einen Bottom-Up-Ansatz, weil die Folgen für die Zukunft betrachtet werden, nicht wie bei der FTA die Ursachen in der Vergangenheit. Auch hier wird ein Baumdiagramm für die grafische Darstellung der Ergebnisse verwendet. Ein Beispiel eines Ereignisbaumes für zwei parallel geschaltete Druckventile ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Ereignisbaumanalyse zählt zu den induktiven Methoden. Die ETA liefert, ähnlich wie die FTA, quantitative oder qualitative Aussagen.

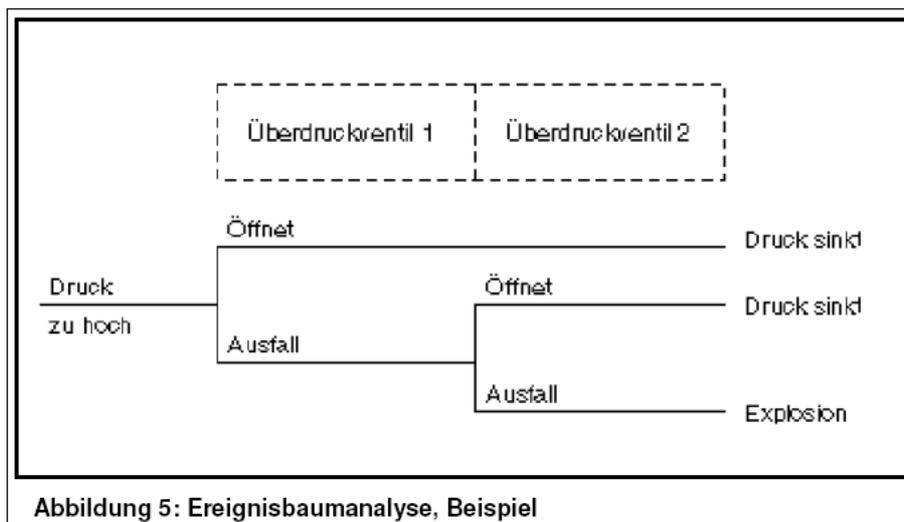


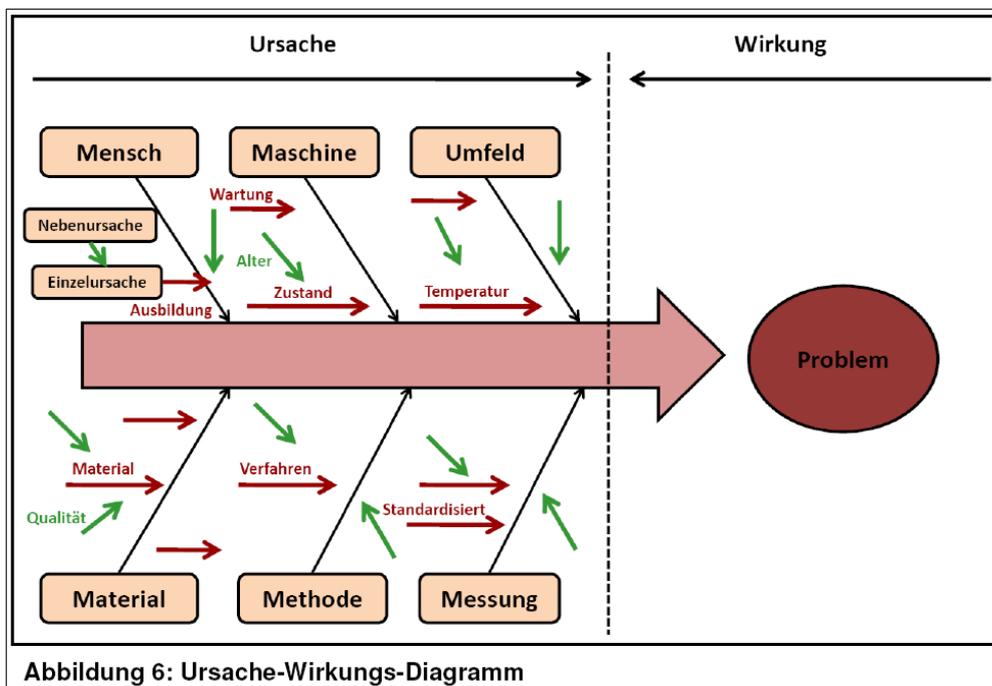
Abbildung 5: Ereignisbaumanalyse, Beispiel

## Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)

Im Ishikawa-Diagramm werden Ursache – Wirkungsnetzungen visualisiert. Besonderer Wert wird auf die Wechselwirkungen zwischen Einzelteilen und Gesamtsystem auf unterschiedlichen Abhängigkeitsebenen gelegt (s. Abb. 6). Mit Hilfe der systematischen, sukzessiven Analyse von immer tiefer liegenden Ebenen und deren Auswirkung auf das Gesamtsystem werden auftretende Fehlfunktionen ganzheitlich abgeklärt. In Form eines baumartig strukturierten Diagramms wird der Verlauf der systematischen Ursachenfindung dokumentiert (vgl. Abb.6). Die Ursachen werden in verschiedene Kategorien eingeteilt, z.B. Mensch, Material, Methode, Umfeld. Die systematische Erfassung der Ursachen soll dazu beitragen, möglichst keine Ursachen und Zusammenhänge zu übersehen.

Das Ishikawa-Diagramm kann das Ergebnis einer Brainstorming-Sitzung sein. Hier ist es besonders wichtig, dass man das zu analysierende Problem vorher genau definiert und abgrenzt. Ist dies geschehen, müssen alle Ideen und Gedanken zugelassen werden. Erst danach ist eine Priorisierung oder Einteilung in „Wesentlich / Nicht Wesentlich“ sinnvoll.

Das Ishikawa – Diagramm ist eine deduktive Methode, die qualitative Ergebnisse hervorbringt.



## Probleme der Risikoanalyse

Risikoanalysen geben Auskünfte über zukünftige Ereignisse und /oder klären Ursachen für Fehler in technischen Systemen auf. Somit tragen Risikoanalysen zur Prävention von unerwünschten Ereignissen wie Unfällen oder Systemausfällen bei. Sie bilden die Entscheidungsgrundlagen für das Risikomanagement. Neben den Vorteilen, die eine Risikoanalyse mit sich bringt, zeigen sich auch Probleme. So besteht die Möglichkeit, dass Restrisiken nicht ausrei-

chend identifiziert werden können, weil beispielsweise das zu analysierende Risiko neu, wenig erprobt und damit nicht ausreichend Erfahrung mit vergleichbaren Systemen vorliegt.

Zusätzlich ist anzumerken, dass viele der Modelle und Methoden auf Expertenwissen basieren. Die Problematik, die sich hierbei ergibt, ist die Gefahr einer subjektiven Wahrscheinlichkeitsschätzung. Folgende Merkmale können dafür ausschlaggebend sein<sup>10</sup>:

- **Das Erinnerungsvermögen** des Experten bezüglich des zu analysierenden Risikos ist nicht ausreichend, um eine genaue Wahrscheinlichkeitsabschätzung abzugeben.
- **Bei der Quantifizierung** besteht das Problem, dass dem Experten eine Fehleinschätzung der wirklichen Eintrittswahrscheinlichkeit unterläuft.
- **Das verallgemeinernde Übertragen** der Systemeigenschaften von einem bekannten auf das zu bewertende Szenario birgt ein nicht zu unterschätzendes Irrtumsrisiko.
- **Improvisierte Wahrscheinlichkeitsaussagen**, die auf der Einschätzung nur eines Experten beruhen, sind zu vermeiden. Es müssen die Meinungen möglichst vieler, unabhängiger Experten eingebracht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Vorkehrungen getroffen werden müssen, damit die Risikoanalyse nicht zu vielen subjektiven Einflüssen unterliegt. Hier ist die Einholung möglichst vieler unabhängiger Meinungen, gründliche Reflexion der Sachverhalte und die Erhebung statistischer Daten oder die Durchführung von Messungen unerlässlich.

---

<sup>10</sup> Vgl. Ocker, Unschärfe Risikoanalyse strategischer Ereignisrisiken, 2010, S.139

## 2. Die Fehlerbaumanalyse als Instrument

Wie unter 1.2.3 beschrieben ist die Fehlerbaumanalyse ein Verfahren, das die Wahrscheinlichkeit eines systematischen Ausfalls bestimmt. Das System wird für einen angenommenen Versagensfall logisch unterteilt, und die Ereignisse, die den Fehler verursachen könnten, werden ausgewertet. Es handelt sich dabei um eine Systemanalyse nach DIN 25424, welche zur Analyse aller Systeme geeignet ist.

Im Folgenden wird eine technische Risikoanalyse an einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl (= ZBS oder Behandlungsstuhl genannt) durchgeführt. Als Instrument dient die Fehlerbaumanalyse. Hintergrund der Betrachtung ist nicht der technische Zusammenhang oder das Versagen der Komponenten des Systems. Gegenstand der Untersuchung ist vielmehr der mögliche drohende Nutzungsausfall des Behandlungsstuhls aufgrund verschiedener Schadensszenarien, die sich in seiner Sphäre ereignen können.

### Symbole des Fehlerbaums

Ein Fehlerbaum ist eine grafische Darstellung der logischen Zusammenhänge zwischen den Fehlern und den daraus resultierenden Ereignissen. Die Verknüpfungen der Ereignisse werden unter Anwendung der Booleschen Algebra dargestellt<sup>11</sup>. Dabei werden die Verknüpfungen (auch Gates genannt) mittels den Operatoren UND (symbolisch „&“) und ODER (symbolisch „≥1“) beschrieben. Unter der Voraussetzung, dass die zu identifizierenden Zustände „beeinträchtigt“ und „funktionsfähig“ ermittelt und beschrieben werden können, lässt sich ein System hinreichend untersuchen.

Beschrieben wird der Zustand eines Systems durch die Boolesche Systemfunktion<sup>12</sup>:

$$\varphi: B^n \rightarrow B^1 = \{0, 1\}$$

Dabei nimmt  $\varphi(X_1, \dots, X_n)$  die Werte 0 und 1 an, wobei der Wert 0 als „falsch“ und der Wert 1 als „wahr“ beschrieben wird. Demzufolge nimmt die Variable  $X_i$  entweder den Wert 0 oder 1 ein.

Mit der Festlegung des zu identifizierenden Systems wird ein Hauptereignis festgelegt, welches als Top-Event die Spitze des Fehlerbaums bildet<sup>13</sup>. Ausgehend von dem Top-Event werden die Ursachen für den Ausfall ermittelt.

Das Boolesche Modell benutzt ein UND, wenn das Ereignis durch eine Fehlfunktion ausgelöst wird, das nur im Zusammenhang mit einer weiteren Fehlfunktion auftritt. Eine ODER-Verknüpfung setzt wiederum nur das Eintreten eines einzelnen Fehlverhaltens voraus. Mithilfe der logischen Verknüpfungen wird ein Baum von oben nach unten konstruiert (vgl. Abbildung 4). Dabei werden sämtliche Bedingungen für die Verknüpfungen überprüft. Sind die Bedingungen bis auf ihren Ursprung heruntergebrochen, bilden diese die Basisereignisse.

---

<sup>11</sup> Vgl. Ziegenbein, Supply Chain Risiken, 2007, S.57

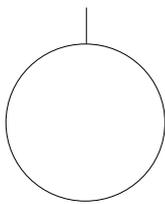
<sup>12</sup> Vgl. <http://www.isar.tum.de/tum/t03>

<sup>13</sup> Vgl. Königs, IT-Risiko-Management mit System, 2009, S.216

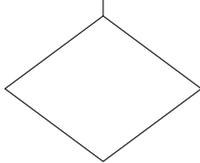
Wichtig dabei ist, dass die Basisereignisse nicht mehr voneinander abhängig oder gleichen Ursprungs sind.

Zur grafischen Darstellung des Fehlerbaums sind nach internationalem Standard (DIN IEC 1025) normierte Symbole vorgeschrieben:

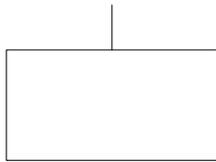
### Symbole der Ereignisse



**Der Kreis** steht als Symbol für das Basisereignis (Basic Event). Er bildet die kleinste Ursacheneinheit und wird nicht weiter aufgegliedert. Als Kreis dargestellte Ereignisse werden auch Primärerereignisse genannt.

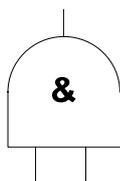


**Die Raute** stellt ein Ereignis dar, das kein Basisereignis ist, da nähere Details entweder nicht bekannt sind oder eine weitere Auffächerung dieses Ereignisses nicht notwendig oder angebracht ist. Ereignisse mit dem Symbol der Raute werden auch Sekundärerereignisse genannt.

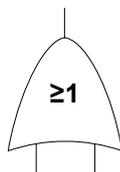


**Das Rechteck** wird dazu genutzt, um das Hauptereignis darzustellen. Darüber hinaus werden mit dem Rechteck auch alle Zwischenergebnisse (Intermediate Event) dargestellt.

### Symbole der Verknüpfungen



**UND-Verknüpfung**



**ODER-Verknüpfung**

Darüber hinaus gibt es noch weitere Boolesche Operatoren, wie beispielsweise NAND, NOR, XOR.

## **Anwendung auf den Zahnarztbehandlungsstuhl**

Die Fehlerbaumanalyse untersucht alle möglichen Schadenereignisse im Zusammenhang mit einem ZBS. Dazu bedarf es des Fachwissens von Experten der Schadenregulierung sowie des der technischen Experten, damit der Fehlerbaum sinngemäß aufgespannt werden kann. Unter Zuhilfenahme der Wissenssammlung und unter Berücksichtigung der kausalen Zusammenhänge zwischen Ereignissen und Ursachen entsteht, wie unter 2.3 dargestellt, der Fehlerbaum am Beispiel des Zahnarztbehandlungsstuhls.

Das Hauptereignis, welches das unerwünschte Szenario darstellt, bildet der Ausfall des Behandlungsstuhls. Ausgehend davon werden zwei Ereignisräume aufgespannt, die sich um den Behandlungsstuhl aufbauen. Dies sind zum Einen externe und zum Anderen interne Ereignisse. Auf Basis dieser Entscheidungswege und unter Beachtung der Kausalität wird der ZBS folglich auf schädigende Einflüsse hin untersucht und aufgefüchert. Die letztendlich ermittelten Basisereignisse sind als Kreis oder als Raute dargestellt. Dabei werden die Ereignisse nicht danach unterteilt, ob sie beispielsweise der Natur einer Haftpflicht oder Sachschadens entsprechen. Lediglich die Analyse schädigender Ereignisse steht im Vordergrund. Soweit die Basisereignisse nicht weiter aufzugliedern waren, sind diese als Kreis dargestellt. Die Ereignisse, die weiter aufzugliedern wären, die aber für die Thematik dieser Arbeit entbehrlich sind, wurden als Raute dargestellt.

## **Grafische Darstellung**

Unter Berücksichtigung der unter 2.1 beschriebenen Symbole sowie des unter 2.2 beschriebenen Fachwissens der befragten Experten wurde ein Fehlerbaum bezüglich der Thematik dieser Arbeit konstruiert.

Eine ausführliche Zeichnung des Fehlerbaums ist in Abb. 10 dargestellt. Ein grober Überblick über den Baum kann Abb. 7 entnommen werden.



## 3. Abschätzung und Visualisierung der Risiken

### Risikoabschätzung

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus der Konstruktion des Fehlerbaums können nun Bewertungen vorgenommen werden. Eine erste Beurteilung der Szenarien ist möglich, wenn den einzelnen Ereignissen, aufgrund von Erfahrungswerten oder subjektiven Schätzungen, Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße zugeordnet werden<sup>14</sup>. Dabei bilden sich so genannte Risikokombinationen. Die Darstellung der Risikokombinationen findet anschließend in einer Risikomatrix statt. Das Ziel ist es, die Dringlichkeit der Ursachen herauszustellen. Es lassen sich somit erste Ausmaße bezüglich verschiedener Schadenszenarien erahnen.

Die in dem Fehlerbaum dargestellten Basisereignisse sind ihrer Positionierung entsprechend von links nach rechts durchnummeriert. Dies hat den Hintergrund, dass bei Darstellungen in verschiedenen Tabellen gewährleistet werden kann, dass die genannten Basisereignisse unter der gleichen Position wiederzufinden sind. Die Nummerierung hat keinen Einfluss auf die Schwere des Basisereignisses.

### Festlegung der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Basisereignisse hängt von ihren spezifischen Eigenschaften ab. Hierbei wird die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit qualitativ vorgenommen, da zum Zeitpunkt der Risikoanalyse nicht genügend Datenmaterial zur Verfügung lag. Maßgebend für die Einteilung der Klassen sind Daten auf Grundlage des Wissens der befragten Experten. Zur Kategorisierung werden Klassen gewählt, die eine verbale Aussage, pro klassenspezifischem Grad, treffen. Dabei bildeten die Grenzen der Klassen das jeweilige höchste bzw. niedrigste Eintreffen des Ereignisses.

Auf Basis der Expertenmeinungen und der Aufteilung in insgesamt fünf Klassen ergibt sich folgende Kategorisierung für die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens eines Ereignisses:

### Wahrscheinlichkeit des Auftretens

- **A unmöglich**
- **B unwahrscheinlich**
- **C selten**
- **D wahrscheinlich**
- **E sehr wahrscheinlich**

### Festlegung des Schadensausmaßes

Die Abschätzung des Schadensausmaßes erfolgt auf Grundlage des Eintritts eines Schadenszenarios. Dies bedeutet, dass das Ereignis eingetreten sein muss, damit ein Schadensausmaß erkennbar wird. Die Grundlage der Daten und Informationen zu den Schadensausmaßen bildet das fundierte Fachwissen der befragten Experten<sup>15</sup>. Die Schwere der Schadensausmaße wird

---

<sup>14</sup> Vgl. Middendorf, Klinisches Risikomanagement, 2005, S.115

<sup>15</sup> Hierbei ist anzumerken, dass bei der Bewertung der Schadensausmaße primär Erfahrungswerte, auf Basis langjähriger Erfahrungen zugrunde lagen.

auch hierbei in fünf Klassen eingeteilt und verbal deklariert. Die Klassenbreiten geben jeweils den Grad des Schadensausmaßes, in Hinblick auf einen drohenden Unterbrechungsschaden und dessen Kosten, an. Maßgebend für die Einteilung der Klassen ist der prozentuale Anteil des schadenbedingten Ausfalls am Totalschaden bzw. Totalausfall. Die Klassenbreiten ergeben sich dementsprechend wie folgt:

### Abschätzung der Ausmaße

- **I geringfügiger Ausfall** (<5% von Totalschaden = TS)
- **II mittelfristiger Ausfall** (5 - 25% von TS)
- **III längerfristiger Ausfall** (25 - 55% von TS)
- **IV erheblicher Ausfall** (55 – 80% von TS)
- **V ernsthafter Ausfall** (>80% bis TS)

Unter Betrachtung der möglichen Schadensausmaße und Eintrittswahrscheinlichkeiten werden die Basisereignisse der Fehlerbaumanalyse zusammengetragen und tabellarisch erfasst. Die Ergebnisse können der Tabelle 1 entnommen werden.

Risikobewertung mit dem Risikodiagramm			
Nr.	Titel	Schadensausmaß	Wahrscheinlichkeit des Auftretens
1	Stromversorgung wurde abgeschaltet	gering	selten
2	Defekte Stromzuleitung	mittelfristig	selten
3	Wasserversorgung wurde abgeschaltet	gering	selten
4	Defekte Wasserzuleitungen	mittelfristig	selten
5	Vandalismusschaden	erheblicher	unwahrscheinlich
6	Schaden durch Diebstahl von Komponenten	erheblicher	unwahrscheinlich
7	Beaufschlagung der Oberflächen durch LW-Schaden	längerfristig	sehr wahrscheinlich
8	Beschädigung der Mechanik	längerfristig	sehr wahrscheinlich
9	Beschädigung der Technik durch LW-Schaden	erheblicher	wahrscheinlich
10	Beaufschlagung durch Rauch & Ruß durch Feuer.Schaden	erheblicher	sehr wahrscheinlich
11	Thermische Beschädigungen durch Feuer-Schaden	ernsthaft -> Totalscha	selten
12	Oberflächenbeaufschlagung durch HCL aufgrund Feuer-Schaden	erheblicher	selten
13	nicht sachgemäße Nutzung der äußeren Komponenten	mittelfristig	unwahrscheinlich
14	nicht sachgemäße Pflege der äußeren Komponenten	mittelfristig	unwahrscheinlich
15	Verhalten der MA bezügl. der internen Objektpflege -> Reinigung	mittelfristig	selten
16	Wissensmangel bezügl. der internen Objektpflege -> Reinigung	mittelfristig	unwahrscheinlich
17	unregelmäßige Wartungen	erheblicher	wahrscheinlich
18	fehlerhafte Wartungen	längerfristig	unwahrscheinlich
19	altersbedingter Verschleiß	erheblicher	wahrscheinlich
20	mangels Pflege bedingter Verschleiß	erheblicher	wahrscheinlich
21	Programmierfehler -Bug- in der Software	längerfristig	unwahrscheinlich
22	Defekt einer Platine	mittelfristig	unwahrscheinlich

**Tabelle 1: Zusammenfassung Risikobewertung**

### Visualisierung der Risiken

Nach Ermittlung und Zusammenfassung der Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße der Risiken werden diese abschließend verglichen und mithilfe einer Risikomatrix dargestellt. Die Darstellung des einzelnen Risikos erfolgt als Punkt, sich ergebend aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß. Hierzu ist anzumerken, dass

die Darstellung in der Risikomatrix nicht dem exakten Erwartungswert entspricht. Dies ist auch nicht der Sinn der Risikomatrix. Der Vorteil der Risikomatrix liegt primär darin, dass sich bereits ein erstes Bild bezüglich der Verteilung möglicher Schadenszenarien darstellen lässt. In der Regel findet die Darstellung der Dramatik bzw. Wichtigkeit der Szenarien mithilfe von Signalfarben statt. Oftmals werden dazu die Farben einer Ampel (grün, gelb, rot) genutzt. Ein weiterer Vorteil in der Darstellung durch die Risikomatrix ist der, dass Änderungen der Parameter der Wahrscheinlichkeiten oder Schadensausmaße jederzeit vorgenommen werden können. Gründe dafür könnten beispielsweise erweiterte Brandschutzmaßnahmen oder eine Änderung der räumlichen Umgebung sein.

<b>Schadenbedingter Ausfall</b>	
<b>Name</b>	<b>Wert zur Berechnung</b>
gering	1
mittelfristig	2
längerfristig	3
erheblicher	4
ernsthaft --> Totalschaden	5

**Tabelle 2: Wahrscheinlichkeit, Bewertung**

<b>Wahrscheinlichkeit des Auftritts</b>	
<b>Name</b>	<b>Wert zur Berechnung</b>
unmöglich	1
unwahrscheinlich	2
selten	3
wahrscheinlich	4
sehr wahrscheinlich	5

**Tabelle 3: Schadenbedingter Ausfall, Bewertung**

Zur Berechnung der Koordinatenpunkte ist es notwendig, die verbalen Werte pro Klasse in numerische Werte umzuwandeln. Dies vereinfacht die Multiplikation der Klassen pro Ereignis. Anhand der Klassen aus Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß ergibt sich für die Darstellung die Form einer 5-Felder-Matrix. Damit die Klassen miteinander multipliziert werden können, wurden ihnen ganzzahlige Werte von 1 bis 5 (vgl. Abbildung 9 und 10), aufsteigend der Schwere nach, zugeteilt. Zur Vermeidung von Überschneidungen in der Darstellung der Punkte, wurde bei der Multiplikation der Werte eine Logik unter der Anwendung der Werte - 1, 0 und 1 angewendet. Als Grundlage zur Berechnung ergeben sich die in Tabellen 2 und 3 dargestellten Einteilungen.

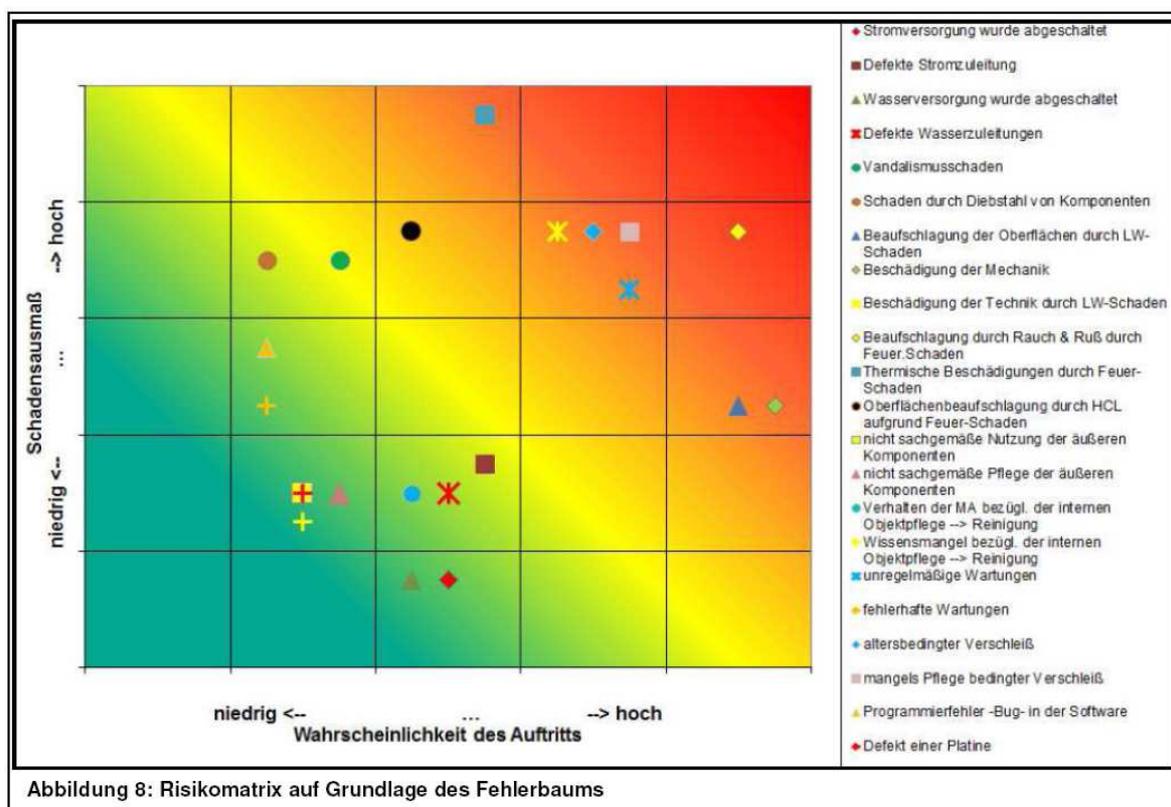
Zur Repräsentation der Schwere der Schadensausmaße werden der Risikomatrix Grenzbereiche zugeteilt<sup>16</sup>. Diese Grenzbereiche werden durch aussagekräftige Farben signalisiert und sollen bei der Wahl des geeigneten Ansatzes zur Risikobewältigung helfen. Am Beispiel des Behandlungsstuhls wird die Schwere der Ereignisse in einer Matrix dargestellt, die die Oberfläche einer Heat-Map besitzt. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Schwere des Schadens die Positionierung in einem wärmeren Bereich stattfindet. Der Verlauf der Wärmebereiche

<sup>16</sup> Vgl. Strohmeier, Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben, 2007, S.37

stellt sich als farblicher Übergang von Grün, für den kälteren = unbedenklicheren Bereich, bis Rot, dem bedrohlicheren Bereich, dar.

Die Risikomatrix in Abbildung 8 gibt bereits erste Aufschlüsse darüber, dass, auf Basis der ermittelten Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse, der Großteil der Ereignisse erhebliche Schäden zur Folge haben wird. Dies lässt somit schon mal erahnen, dass im Falle des schadenbedingten Ausfalls des Behandlungsstuhls hohe Kosten entstehen können. Somit kann die Risikomatrix, auf Basis des Zahnarztbehandlungsstuhls, bereits als präventives Werkzeug genutzt werden, um Schwachstellen zu beseitigen, auf die mit frühzeitigem Handeln teilweise Einfluss genommen werden kann. Im Beispiel des ZBS ist beispielsweise zu erkennen, dass aufgrund operativer Risiken Schäden entstehen können, die letztendlich durch gezielte, präventive Maßnahmen unterbunden werden können.

Auf Basis der identifizierten und kategorisierten Ereignisse stellt sich die Risikomatrix wie folgt dar<sup>17</sup>:



<sup>17</sup> Anmerkung: Diese Risikomatrix befindet sich, zur deutlicheren Darstellung, im DIN-A4 Format im Anhang

## 4. Auswertung des Fehlerbaums

Im vorangegangenen Kapitel wurden bereits erste Analysen mithilfe der Risikomatrix getroffen. Dabei ging es primär darum, zu untersuchen, welche Gewichtung die dem Fehlerbaum zugrunde liegenden Basisereignisse (Ursachen) besitzen. Aussagen über den Ausfall können somit noch nicht getroffen werden. In diesem Fall muss der Fehlerbaum, in Hinblick auf Ursachen und Wirkungen, untersucht und miteinander verknüpft werden. Dies geschieht mithilfe der Mathematik und/oder der Beachtung logischer Zusammenhänge. Der Auswertung bieten sich hierbei verschiedene Ansätze (vgl. dazu Kap. 1.2). Im Folgenden soll näher auf den **qualitativen** und **quantitativen** Ansatz eingegangen werden.

### Der qualitative Ansatz

Maßgebend für die Auswertung des Fehlerbaums ist die Betrachtung in Hinblick auf so genannte Schnittmengen, oder auch „Cut Sets“<sup>18</sup>. Die Schnittmenge gibt die Menge an Basisereignissen an, die vorhanden sein muss, damit das Hauptereignis eintreten kann. Dabei ist es möglich, dass ein Fehlerbaum mehrere Cut Sets aufweisen kann. Fokus der qualitativen Risikoanalyse ist es, den oder die minimalen Schnitte zu identifizieren. Ein Minimalschnitt (auch „Minimal Cut Set“ genannt) beschreibt eine geringe Anzahl an Ereignissen oder Kombinationen, die auftreten, damit das unerwünschte Ereignis eintritt<sup>19</sup>.

Der Minimalschnitt, der unter allen ermittelten Schnitten die wenigsten zugrunde liegenden Ereignisse aufweist, wird als der kritische Pfad bezeichnet. Für das Risiko- oder auch Krisenmanagement stellt dieser kritische Pfad den unabdingbaren Handlungsbedarf bezüglich der analysierten Ursache-Wirkungskette dar. Bei der Analyse des Fehlerbaums ist es möglich, dass ein einzelnes Ereignis der Ursache zugrunde liegt. In diesem Fall spricht man auch von einem „Single Point of Failure“.

Zur Darstellung der Wichtigkeit der Ereignisse bietet es sich an, diese ihrer Wichtigkeit oder Wahrscheinlichkeit nach zu ordnen. Dabei werden so genannte qualitative Importanzen gebildet. Diese werden wiederum ihrer Wichtigkeit (Importanz) nach geordnet. Dabei wird die Spitze der Rangfolge durch den Minimalschnitt angegeben, der die wenigsten Ereignisse enthält (siehe kritischer Pfad). Die Umformung des Fehlerbaums in seine Schnittmengen erfolgt mit den Regeln der Booleschen Algebra (siehe Kapitel 2). Hierbei bestimmt der Zustand der Ereignisse pro Schnittmenge über das Eintreten des Hauptereignisses. So müssen beispielsweise alle Ereignisse wahr sein, damit auch das Hauptereignis wahr sein kann.

Auf Basis des Fehlerbaums des Zahnarztbehandlungsstuhls wurde eine Analyse der Minimalschnitte durchgeführt. Aufgrund der Konstellationen der Basisereignisse tritt die Situation ein, dass alle Basisereignisse einem Minimalschnitt entsprechen. Die Ausnahmen bilden die Basisereignisse 1+2, sowie 3+4 und 15+16. Hierbei ergibt sich der Minimalschnitt aus den zugrunde liegenden Basisereignissen der jeweiligen UND-Verknüpfungen. Somit kann folglich gesagt werden, dass alle Basisereignisse, bis auf die Ausnahmen, durch ihr alleiniges Auftreten zum Ausfall des Behandlungsstuhls führen können. Dabei geht es um die rein qualitative Aussage, dass ein Ereignis eintritt. Die Wahrscheinlichkeit des Eintritts wird durch den quantitativen Ansatz beschrieben. Der Vorteil des qualitativen Ansatzes liegt darin, dass bereits

---

<sup>18</sup> Vgl. Königs, IT-Risiko-Management mit System, 2009, S. 217 ff

<sup>19</sup> Vgl. Blank, Qualitätsmanagement für Ingenieure, 2003, S. 157 ff

vor Zuweisung von Wahrscheinlichkeiten der Basisereignisse erste Informationen über die Redundanz des Systems gewonnen werden können<sup>20</sup>.

## Der quantitative Ansatz

Der quantitative Ansatz ermittelt die Ausfallwahrscheinlichkeit aller Ereignisse bis hin zum Hauptereignis auf rechnerischem Weg. Hinzu kommt die Möglichkeit, den Anteil der Minimalschnitte an der Ausfallwahrscheinlichkeit des Hauptereignisses zu berechnen. Die dabei wichtigsten Größen sind die Zuverlässigkeits- oder Ausfallzahlen. Der quantitative Ansatz bietet zusätzlich die Möglichkeit das Variieren der Ausfallwahrscheinlichkeiten zu simulieren, wenn Änderungen an den Parametern der Ereignisse stattfinden.

Unter Beachtung der Ereignisalgebra lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Fehlerbaums auf Basis der Wahrscheinlichkeiten der Einzelereignisse ermitteln<sup>21</sup>. Die Verknüpfung der Ereignisse wird unter Anwendung der Regelungen für UND und ODER-Verknüpfungen durchgeführt. Die Ereignisse im Fehlerbaum des Zahnarztbehandlungsstuhls werden als unabhängig voneinander angesehen, so dass sich folgende Ansätze (Abbildung 8), auf Basis der Gesetze für Multiplikation und Addition, betrachten lassen<sup>22</sup>. Zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit eines Minimalschnittes werden die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Einzelereignisse miteinander multipliziert. Folglich gilt für die Ausfallwahrscheinlichkeit des Zahnarztbehandlungsstuhls =  $W(\text{ZBS}_{\text{Ausfall}})$  unter Betrachtung der Wahrscheinlichkeiten der Minimalschnitte =  $W(\text{MS}_i)$  :

$$W(\text{ZBS}) = \prod_{j=1}^{n_i} W(\text{MS})$$

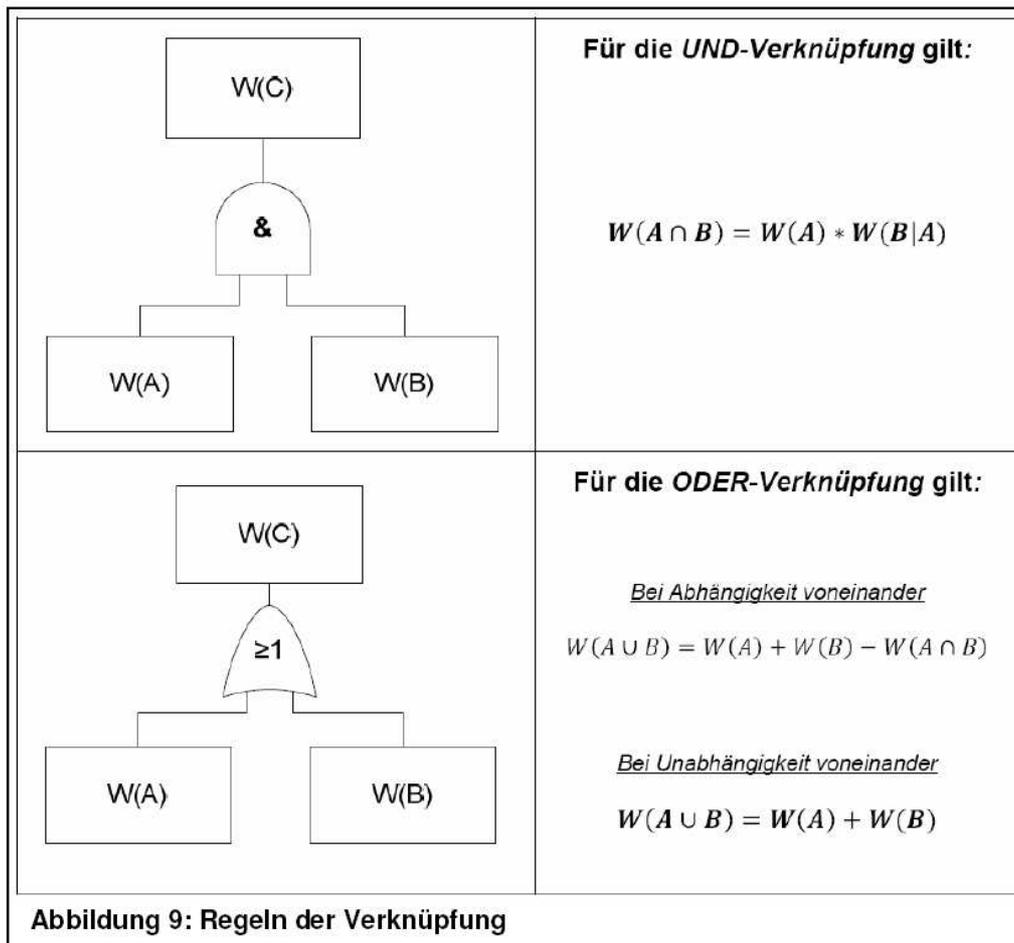
Damit der Fehlerbaum ausgewertet werden kann, müssen Wahrscheinlichkeiten und Schadensmaße quantifiziert werden, d.h. in numerische Werte umgewandelt werden. Dazu gilt es, die ordinalen Werte der Kategorien aus 3.2 zu erfassen und zahlenmäßig zu beschreiben.

---

<sup>20</sup> Vgl. Hennings/Mertens, Methodik der Risikoanalyse für Kernkraftwerke, 1995, S. 76

<sup>21</sup> Vgl. Blank, Qualitätsmanagement für Ingenieure, 2003, S. 161

<sup>22</sup> Vgl. Bourier, Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik, 2011, S.37 u. 50



### Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Im 3. Kapitel wurden bereits mittels qualitativem Ansatz die größten Risiken dargestellt. Damit gewinnt man einen ersten Einblick von der Risikosituation. Wie unter 3.2 beschrieben, ist dabei anzumerken, dass bei einer qualitativen Auswertung der ermittelte Erwartungswert nicht seinem exakten Wert entspricht. Mittels quantitativem Ansatz soll versucht werden, sich dem exakten Wert anzunähern. Dazu ist es notwendig, die qualitativen Bewertungen der Ereignisse in quantitative Werte umzuwandeln.

Zur Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse werden im Vorhinein so genannte Verbindungen oder Knoten (Zwischenereignisse) festgelegt, mittels deren Entscheidungswege sich der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit je Ereignis bestimmt. Die Verbindung der Knoten erfolgt durch Wege, die sich durch Geraden oder Pfeile darstellen lassen. Diese Wege bestimmen die Abhängigkeiten der Ereignisse voneinander und somit auch die Wahrscheinlichkeit des Eintritts des Ereignisses. Es empfiehlt sich, den bereits erstellten Fehlerbaum als „Schablone“ zu nutzen. Die Darstellung erfolgt in der Regel so, dass die Äste des Fehlerbaumes von links nach rechts verlaufen<sup>23</sup>. Dies begünstigt die Darstellung in der Hinsicht, dass die Knoten und Wege durch numerische Werte leserlich ergänzt werden können. Auf Basis dieser Vorgehensweise erfolgt die Umwandlung des vertikal verlaufenden Fehler-

<sup>23</sup> vgl. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, 1996, S.5/8

baums in ein horizontal verlaufendes Knoten-Wege-Konstrukt (siehe Abbildung 10: Fehlerbaum mit Eintrittswahrscheinlichkeiten). Mithilfe dieses Fehlerbaums lassen sich die Wahrscheinlichkeiten der Knoten (Zwischenereignisse) sowie die der Basisereignisse darstellen. Die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit der Basisereignisse erfolgt anschließend unter Beachtung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der dabei bedingten Knoten und Wege (vgl. Minimalschnitte).

Grundlage zur quantitativen Bewertung der Ereignisse bildet die in Abbildung 8 dargestellte tabellarische Übersicht der Basisereignisse. Die Tabelle wird ergänzt um die den Basisereignissen übergeordneten Ereignisse, in Hinblick darauf, den gesamten Fehlerbaum in einer Tabelle darzustellen; s. Tabelle 4.

Nr.	Titel	Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit	Eintrittswahrscheinlichkeit
<b>Stuhlexternes Ereignis</b>		<b>85%</b>	
<b>Probleme der Versorgung</b>		<b>5%</b>	<b>4,250%</b>
<b>Kein Strom</b>		<b>65%</b>	<b>2,763%</b>
1	Stromversorgung wurde abgeschaltet	50%	1,381%
2	Defekte Stromzuleitung	50%	1,381%
<b>Kein Wasser</b>		<b>35%</b>	<b>1,488%</b>
3	Wasserversorgung wurde abgeschaltet	50%	0,744%
4	Defekte Wasserzuleitungen	50%	0,744%
<b>Gefahren</b>		<b>70%</b>	<b>59,500%</b>
<b>Einbruchdiebstahl</b>		<b>6%</b>	<b>2,975%</b>
5	Vandalismusschaden	80%	2,380%
6	Schaden durch Diebstahl von Komponenten	20%	0,595%
<b>Leitungswasser</b>		<b>66%</b>	<b>38,676%</b>
7	Beaufschlagung der Oberflächen durch LW-Schaden	75%	29,008%
8	Beschädigung der Mechanik	10%	3,868%
9	Beschädigung der Technik durch LW-Schaden	15%	5,801%
<b>Feuer</b>		<b>30%</b>	<b>17,850%</b>
10	Beaufschlagung durch Rauch & Ruß durch Feuer-Schaden	70%	12,495%
11	Thermische Beschädigungen durch Feuer-Schaden	20%	3,570%
12	Oberflächenbeaufschlagung durch HCL aufgrund Feuer-Schaden	10%	1,785%
<b>nicht ordnungsgemäße Handhabung</b>		<b>25%</b>	<b>21,250%</b>
13	nicht sachgemäße Nutzung der äußeren Komponenten	50%	10,625%
14	nicht sachgemäße Pflege der äußeren Komponenten	50%	10,625%
<b>Stuhlinternes Ereignis</b>		<b>15%</b>	
<b>mechanischer Defekt</b>		<b>95%</b>	<b>14,250%</b>
<b>mangelnde Pflege der Komponenten</b>		<b>50%</b>	<b>7,125%</b>
15	Verhalten der MA bezügl. der internen Objektpflege --> Reinigung	90%	6,413%
16	Wissensmangel bezügl. der internen Objektpflege --> Reinigung	10%	1,425%
<b>Wartungsprobleme</b>		<b>25%</b>	<b>3,563%</b>
17	unregelmäßige Wartungen	97%	3,456%
18	fehlerhafte Wartungen	3%	0,107%
<b>Verschleiß</b>		<b>25%</b>	<b>3,563%</b>
19	altersbedingter Verschleiß	50%	1,781%
20	mangels Pflege bedingter Verschleiß	50%	1,781%
<b>elektrischer Defekt</b>		<b>5%</b>	<b>0,750%</b>
21	Programmierfehler -Bug- in der Software	30%	0,225%
22	Defekt einer Platine	70%	0,525%

Tabelle 4: Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Die in der Spalte 4 (Eintrittswahrscheinlichkeit) angegebenen numerischen Werte ergeben sich anhand der Orientierung an das im Fehlerbaum positionierte, übergeordnete Ereignis. Im Beispiel des Basisereignis 11 (Thermische Beschädigungen durch Feuer-Schaden) sieht die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit folgendermaßen aus:

#### Verlauf gemäß Fehlerbaum

- **A** Wenn Feuer eintritt, dann 20% Eintrittswahrscheinlichkeit für thermische Beschädigungen durch Feuer-Schaden
- **B** Wenn eine Gefahr sich verwirklicht, dann ist es zu 30% Feuer
- **C** Wenn ein stuhlexternes Ereignis eintritt, dann kann es zu 70% eine Gefahr sein
- **D** Wenn ein Ereignis eintritt, dann könnte es zu 85% ein stuhlexternes Ereignis sein

Unter Annahme der aufgeführten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Ereignisse, die zu dem Basisereignis 11 führen (Minimalschnitt des Ereignisses 11), ergibt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Basisereignis 11 selbst (vgl. Tabelle 1, Spalte 4; Eintrittswahrscheinlichkeit)<sup>24</sup>. Rechnerisch stellt sich das Ergebnis wie folgt dar:

#### Verlauf gemäß Fehlerbaum

$$\begin{aligned}\text{Basisereignis 11} &= A*B*C*D \\ &= 0,2*0,3*0,7*0,85 \\ &= \underline{0,0357 = 3,57\%}\end{aligned}$$

Auf Basis der hier aufgeführten Vorgehensweise zur Berechnung lassen sich für alle Basis- und Zwischenereignisse die Eintrittswahrscheinlichkeiten ermitteln. Dies ist insofern möglich, da die Basisereignisse ihren Minimalschnitten entsprechen und keine weiteren Bedingungen beachten müssen. Zusätzlich ist es möglich, Aussagen über die Zwischenereignisse zu treffen (vgl. Abbildung 10).

### **Identifizierung der Kosten je Ereignis**

Kosten, die im Zusammenhang mit der Beschädigung des ZBS entstehen können, müssen richtig zugeordnet werden, um den Gesamtschaden ermitteln zu können. Kosten im versicherungstechnischen Sinne werden nicht betrachtet. Es werden die Kosten betrachtet, die im Allgemeinen anfallen könnten. Dabei werden bei der Ermittlung der Kosten nur die Schäden berücksichtigt, die auch im Fehlerbaum als Basisereignis dargestellt sind. Eine Analyse aller möglichen Kosten ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Unter Beachtung der aufgeführten Punkte können z.B. die folgenden Kosten im Zusammenhang mit den Basisereignissen auftreten:

- Kosten für ein Neugerät
- Reparaturkosten
- Sanierungskosten
- Trocknungskosten
- Aufräumungskosten
- Kosten für ausgefallene Erträge

---

<sup>24</sup> Anmerkung: Es ist zu erkennen, dass die numerischen Werte der Eintrittswahrscheinlichkeiten mit den verbalen Aussagen der Eintrittswahrscheinlichkeiten aus Kapitel 3 nicht konform sind. Hintergrund ist der, dass in Kapitel 3 die Wahrscheinlichkeit des Eintritts des Basisereignisses so betrachtet wurde, dass kein weiteres Zwischenereignis vorliegt. Hier lag folglich die reinsubjektive Betrachtung des Ereigniseintritts gegenüber dem Ausfall des ZBS vor.

Für eine Zuordnung der genannten Kosten zu den jeweiligen Ereignissen werden den Kosten Codes = Abkürzungen zugeteilt (vgl. dazu Tabelle 5). Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass die Zuordnung der Kosten bezüglich der Basisereignisse übersichtlicher gestaltet wird. Zusätzlicher Vorteil durch die Vergabe von Codes ist der, dass der beteiligte Personenkreis auf ein einheitliches Verständnisniveau gebracht werden kann. Mit der Zuordnung der Codes zu den jeweiligen Ereignissen kann ebenso ein erster kurzer Überblick darüber geschaffen werden, wie und wo sich Kosten manifestieren (vgl. Tabelle 6).

<b>Kostenarten</b>	<b>Codierung</b>
Neugerät	NG
Reparatur	RK
Trocknungskosten	TK
Aufräumkosten	AK
Sanierungskosten	SK
Ertragsausfall	EA

**Tabelle 5: Kostenarten und Codes**

		Codierung
<b>Stuhlexternes Ereignis</b>		
<b>Probleme der Versorgung</b>		
<b>Kein Strom</b>		
1	Stromversorgung wurde abgeschaltet	EA
2	Defekte Stromzuleitung	EA
<b>Kein Wasser</b>		
3	Wasserversorgung wurde abgeschaltet	EA
4	Defekte Wasserzuleitungen	EA
<b>Gefahren</b>		
<b>Einbruchdiebstahl</b>		
5	Vandalismusschaden	RK, AK, EA
6	Schaden durch Diebstahl von Komponenten	RK, EA
<b>Leitungswasser</b>		
7	Beaufschlagung der Oberflächen durch LW-Schaden	RK, AK, TK, SK, EA
8	Beschädigung der Mechanik	RK, AK, TK, SK, EA
9	Beschädigung der Technik durch LW-Schaden	RK, AK, TK, SK, EA
<b>Feuer</b>		
10	Beaufschlagung durch Rauch & Ruß durch Feuer-Schaden	AK, SK, EA
11	Thermische Beschädigungen durch Feuer-Schaden	NG, AK, RK, SK, EA
12	Oberflächenbeaufschlagung durch HCL aufgrund Feuer-Schaden	NG, AK, RK, SK, EA
<b>nicht ordnungsgemäße Handhabung</b>		
13	nicht sachgemäße Nutzung der äußeren Komponenten	RK, EA
14	nicht sachgemäße Pflege der äußeren Komponenten	RK, EA
<b>Stuhlinternes Ereignis</b>		
<b>mechanischer Defekt</b>		
<b>mangelnde Pflege der Komponenten</b>		
15	Verhalten der MA bezügl. der internen Objektpflege --> Reinigung	RK, EA
16	Wissensmangel bezügl. der internen Objektpflege --> Reinigung	RK, EA
<b>Wartungsprobleme</b>		
17	unregelmäßige Wartungen	RK, EA
18	fehlerhafte Wartungen	RK, EA
<b>Verschleiß</b>		
19	altersbedingter Verschleiß	RK, EA
20	mangels Pflege bedingter Verschleiß	RK, EA
<b>elektrischer Defekt</b>		
21	Programmierfehler -Bug- in der Software	RK, EA
22	Defekt einer Platine	RK, EA

Tabelle 6: Ereignisse und Codes

## Problematik der Bewertung der Kosten je Ereignis

Die bereits ermittelten Kosten bzw. Kostenarten je Ereignis gilt es nun zu bewerten. Dies kann in der Regel auf Basis von ausreichend zugrunde liegendem Datenmaterial geschehen. Den Ereignissen, denen bereits Wahrscheinlichkeiten zugeordnet worden sind, könnten Werte zugeteilt werden. Multipliziert man, wie im Beispiel unter 4.2, die Wahrscheinlichkeiten unter Zugrundelegen eines bewerteten Basisereignisses miteinander, so erhält man folglich die Kosten, die sich unter Berücksichtigung der vorangegangenen Wahrscheinlichkeiten entwickeln könnten. Zum besseren Verständnis soll die Abbildung 10 beitragen. Die Beträge in der Beispieldarstellung wurden willkürlich gewählt und sollen lediglich die Gesamtkosten je Basisereignis beispielhaft darstellen<sup>25</sup>. Diese Form der Berechnung bietet sich dann an, wenn die Kosten je Ereignis absolut fix sind. Beispielsweise könnte dies für einen Fehlerbaum an einem LEGO™ Technic-Fahrzeug sein. Dies bedeutet, sollte das Fahrzeug aufgrund eines defekten Reifens nicht fahrbar sein, so besteht die Möglichkeit, bei LEGO™ einen Ersatzreifen zum Wert von X € zu erwerben. Da LEGO™ der einzige Anbieter für diesen Reifen ist, bleibt der Preis für einen Ersatzreifen immer gleich. Somit sind Wahrscheinlichkeit und Wert des Reifens klar bestimmt und können auf das Gesamtsystem anteilig gerechnet werden.

Die Problematik, die sich am Beispiel des Behandlungsstuhls abzeichnet ist die, dass nicht wie im Beispiel LEGO™ für die Basisereignisse fixe Werte zugrunde liegen. Vielmehr manifestieren sich die Werte aufgrund der Komplexität der Ereignisse. Hinzu kommt, dass sich die Kosten der Ereignisse aus mehreren Kosten zusammensetzen können, die wiederum einen Anteil an den Gesamtkosten je Ereignis besitzen, der wiederum variieren kann.

Als Beispiel soll Ereignis 10 „*Beaufschlagung durch Rauch & Ruß durch Feuer-Schaden*“ dienen. Hier wird angenommen, dass die in diesem Ereignis möglichen, auftretenden Kosten sich wie folgt manifestieren:

*Aufräumkosten, Sanierungskosten, Reparaturkosten und Ertragsausfall*

In diesem Beispiel treten vier verschiedene Kostenkategorien auf. Je nach Umfang der Verrußung und der Dauer der Wiederherstellung kann der Anteil der vier verschiedenen Kostenkategorien an den Gesamtkosten stark variieren. So kann beispielsweise eine relativ geringe Verrußung vorliegen, die aber aufgrund ihrer sehr komplizierten Sanierbarkeit eine lange Unterbrechungsdauer erzwingt, was wiederum den Unterbrechungszeitraum und somit den Ertragsausfall erhöhen kann. Im folgenden Kapitel 5 werden wir die Kosten in Abhängigkeit vom jeweiligen Schadenszenario in Form einer Schadenverteilung darstellen.

---

<sup>25</sup> Anmerkung: Die in der Grafik dargestellte Rechnung erfolgte unter Zuhilfenahme der Excelerweiterung Precision Tree der Anwendungssoftware Palisade Decision Tools

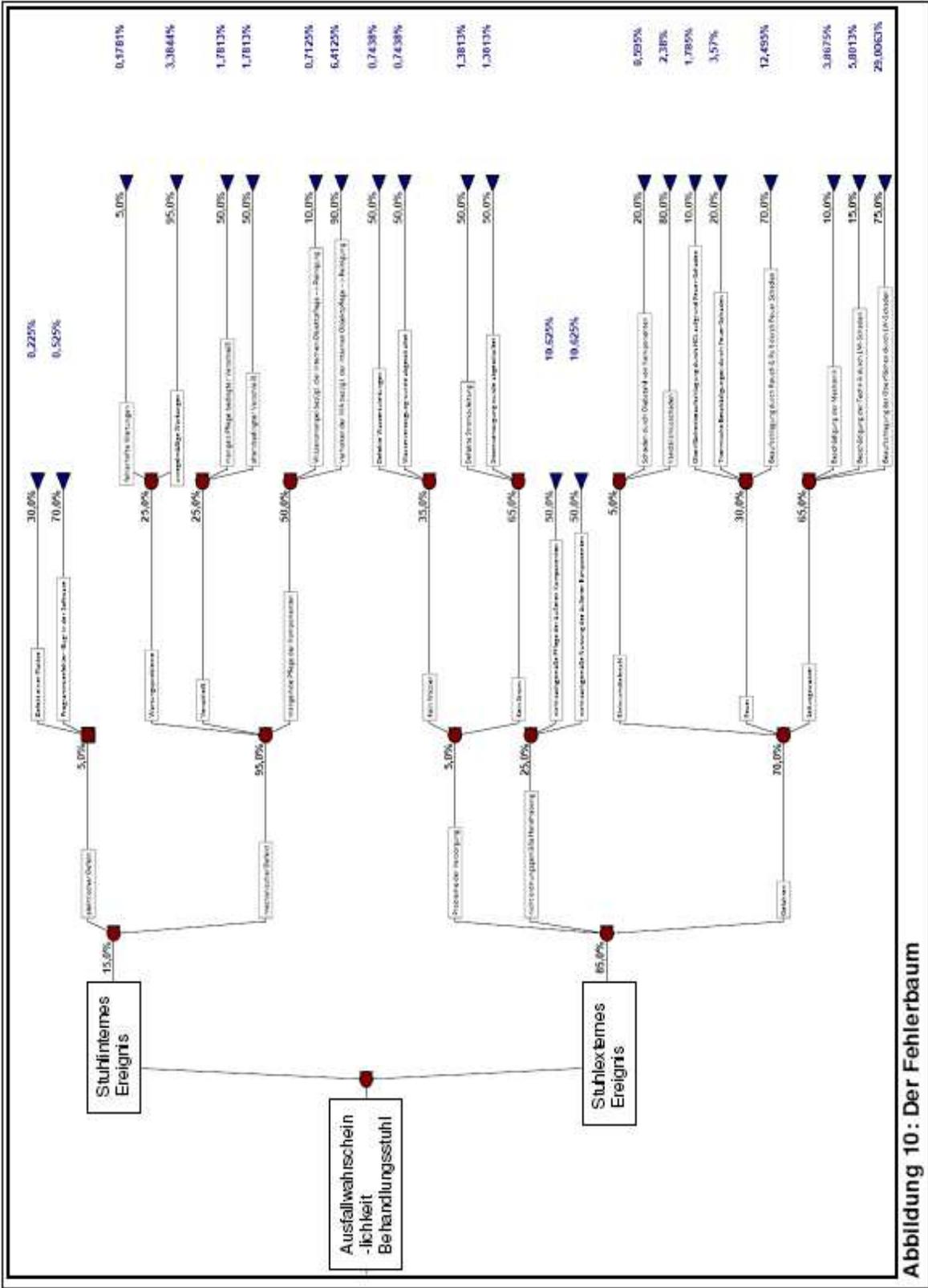


Abbildung 10: Der Fehlerbaum

## 5. Quantitatives Risikomanagement

### Simulation der Gesamtschadenverteilung.

Die vorliegende Arbeit integriert die quantitative Fehlerbaumanalyse, eine klassische, ingenieurwissenschaftlichen Methoden der technischen Risikoanalyse, einerseits und die versicherungsmathematischen Risikoanalyse - Methode andererseits zu einer Methode des quantitativen Risikomanagements. Ziel dieses Vorgehens ist die Ermittlung der Gesamtschadenhöhenverteilung eines technischen Gesamtsystems oder Prozesses. Die Kenntnis der Gesamtschadenhöhenverteilung ist die Voraussetzung zur Berechnung der fairen Prämie sowie zur Bestimmung der im Risikomanagement üblichen Risikomaße (z.B. VaR, Expected Shortfall,...) und damit der Höhe des benötigten Risikokapitals. Wir veranschaulichen diese Vorgehensweise anhand eines konkreten technischen Systems: Dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl. Die Beschreibung der technischen Risikoanalyse dieses Systems findet sich in den vorausgehenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit. Im Folgenden stellen wir diese Methode des quantitativen Risikomanagements vor. Damit lassen sich viele verschiedene Fragestellungen beantworten. Eine spezifische Eigenschaft dieser Methode ist ihre hohe Flexibilität. Einige Beispiele für analysierbare Fragestellungen sind im Falle des zahnärztlichen Behandlungsstuhls: der Ertragsausfall einer Zahnarztpraxis, die Gesamtschäden für einen Versicherer in diesem Segment oder der Arbeitsanfall eines mit der Begutachtung beauftragten Ingenieurbüros, um nur einige Anwendungsbeispiele dieser neuen Methode zu nennen. All diese Größen können mit Hilfe der hier vorgestellten Methode quantifiziert werden, denn der Gesamtschaden kann kontextabhängig unterschiedlich definiert werden.

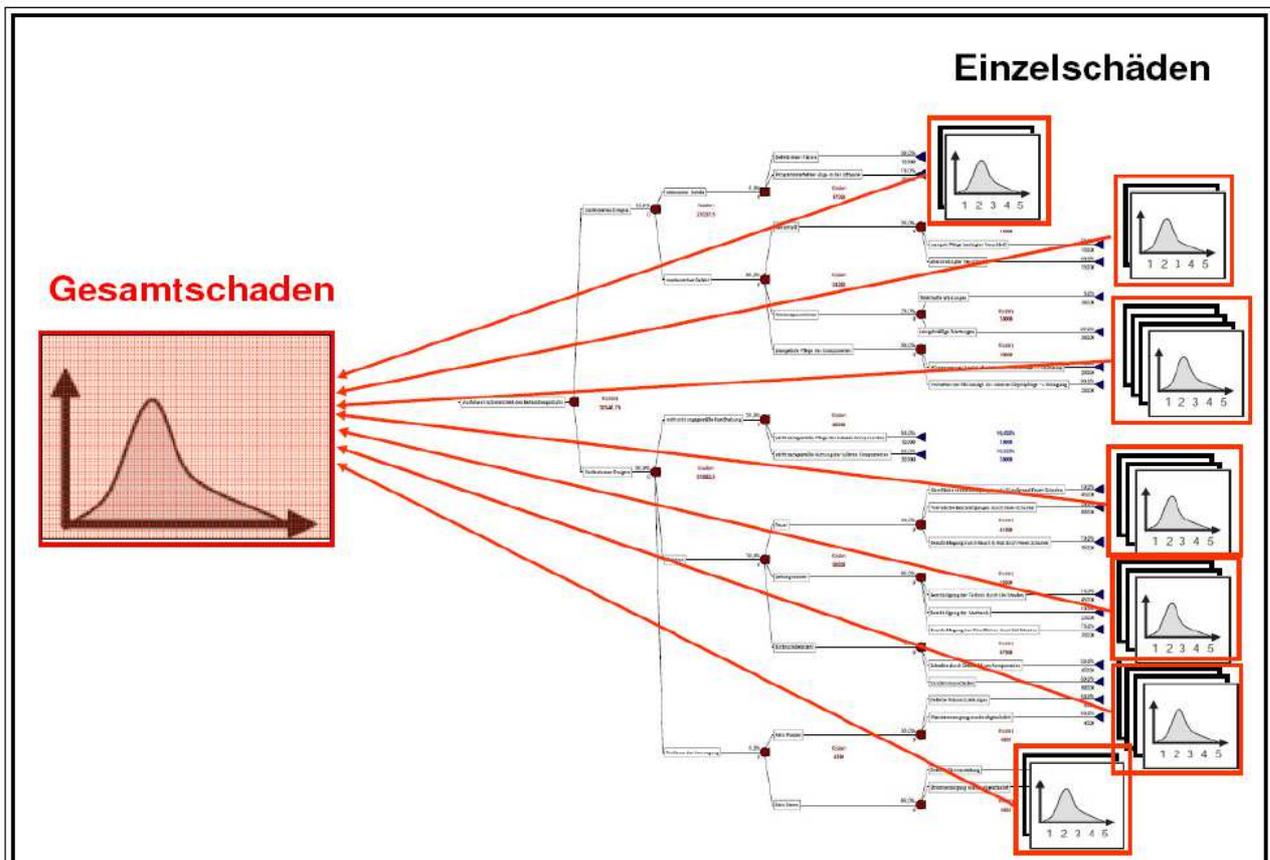


Abbildung 11: Darstellung der Berechnung der Gesamtschadenverteilung.

## Die Integration zur Methode des quantitativen Risikomanagements

Die Grundlage für die Methodenintegration bildet ein Modell, das in Abb. 11 grafisch dargestellt ist. Dieses Modell wird mit Software-Unterstützung in ein Monte Carlo Simulationsprogramm umgesetzt. Auf diese Weise erhält man die konkreten Ergebnisse, insbesondere die empirische Gesamtschadenhöhenverteilung. Man spricht von einer Monte Carlo (MC) Simulation, weil im Berechnungsprozess vom Computer erzeugte Zufallszahlen verwendet werden. Diese Zufallszahlen genügen den schadenspezifischen Verteilungen, die man aus der Realität, z.B. den Schadenstatistiken eines Versicherungsbestandes, kennt. Um die vorliegende Methode des quantitativen Risikomanagements anwenden zu können, müssen die folgenden Sachverhalte geklärt sein: Es muss klar sein, welche Größe untersucht werden soll, d.h. der Gesamtschaden muss definiert sein. Es muss der Fehlerbaum mit Eintrittswahrscheinlichkeiten vorliegen als Ergebnis einer ingenieur-technischen Risikoanalyse. Die Einzelschadenverteilungen eines jeden Schadensegments (Astende des Fehlerbaumes) müssen bekannt sein aus aktuariellen Methoden oder aus Expertenschätzungen. Außerdem muss das Schadenvolumen in Form von der erwarteten Anzahl Schäden (als feste Zahl oder als Schadenzahlverteilung) vorliegen.

Nachdem die Voraussetzungen für das Modell geklärt sind, beschreiben wir im Folgenden die Umsetzung des Modells in ein Simulationsprogramm.

### Der Fehlerbaum

In einem ersten Schritt wird eine quantitative Fehlerbaumanalyse durchgeführt. Für unser Beispiel wurde dies in Kap. 3 und 4 beschrieben. Es liegt also bereits ein Fehlerbaum mit Eintrittswahrscheinlichkeiten vor (vgl. Abb. 10). Man kennt folglich alle möglichen Schadenergebnisse und die ihnen zugrunde liegenden Eintrittswahrscheinlichkeiten. Der Fehlerbaum ist symbolisch in Abb. 11 dargestellt. Die Ereignisse an jedem Knoten im Baum sind disjunkt, d.h. es kann der eine **oder** der andere Weg eingeschlagen werden (nicht beide gleichzeitig). Am Astende sind also alle Teilereignismengen disjunkt. Das folgt aus dem Konstruktionschema des Baumes. Daher ergibt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit für die in den Baumspitzen dargestellten Ereignisse (s. Abb.11, rechts) als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeiten aller auf dem Pfad liegenden Teil – Eintrittswahrscheinlichkeiten. In den Baumspitzen hat man also den Gesamtschaden („Schaden am Behandlungsstuhl“) in sehr viele unterschiedliche Teilschäden (in unserem Beispiel 22 Schadensegmente; disjunkte Ereignismengen) zerlegt. Die Eintrittswahrscheinlichkeiten der durch die Astenden symbolisierten Schadenergebnisse sind aus der technischen Risikoanalyse bekannt.

Der Fehlerbaum wird im MC Programm wie folgt umgesetzt: Als Eingabegröße benötigt das Programm die Anzahl der Gesamtschäden  $N$ . Diese Zahl kann als konstante Zahl vorgegeben werden oder als Zufallszahl. Im zweiten Fall muss eine Anzahlverteilung vorgegeben werden, z.B. eine Poisson Verteilung. Auf diese Weise kann das Programm für unterschiedlich große Einheiten, z.B. für eine Praxis oder für alle Zahnarztpraxen, die von einem Vermittler bzw. einem Schadenbüro betreut werden oder bis hin zu einem Portfolio eines großen Versicherungskonzerns verwendet werden. Ist die Anzahl der Gesamtschäden  $N$  bekannt (entweder fest gegeben oder das MC Programm hat  $N$  auf der Grundlage der gegebenen Verteilung ermittelt), dann verteilt das MC Programm die  $N$  Schäden nach dem Zufallsprinzip entlang der gegebenen Baumstruktur auf die (in unserem Fall 22) Astenden. „Nach dem Zufallsprinzip“ bedeutet, dass die  $N$  Schäden vom Programm zufällig verteilt werden, jedoch unter Wahrung der vorgegebenen Eintrittswahrscheinlichkeiten. Hat man z.B. 1000 Schäden, die verteilt

werden müssen und ein Astende hat die Eintrittswahrscheinlichkeit 0,225%, dann bedeutet das, dass nicht immer exakt 225 Schäden dem Ast zugeordnet werden, sondern dass diese Zahl im statistischen Mittel erreicht wird. Bei den einzelnen MC Läufen sind Abweichungen vom exakten Erwartungswert die Regel. Dieses Vorgehen simuliert die in der Realität vorkommenden Schwankungen um den rechnerischen Mittelwert.

Der im Folgenden beschriebene MC Programmablauf wird sehr oft (z.B. 1000 oder 10000 mal) wiederholt. Diese Wiederholungen werden als MC „Läufe“ bezeichnet, weil das Grundprogramm immer wieder „laufen gelassen“ wird. Sie sind programmiert und müssen natürlich nicht händisch ausgeführt werden. Durch die Wiederholungen kann sich der „Zufall“ entfalten. Man kann sehr viele mögliche Pfade simulieren und kommt so letztendlich zu Wahrscheinlichkeitsaussagen über den Gesamtschaden des technischen Systems. Pro MC Lauf wird eine Realisation des Gesamtschadens ermittelt. Am Ende hat man sehr viele (z.B. 1000 oder 10000) Realisationen des Gesamtschadens, die man statistisch auswerten kann. Die Anzahl der MC Läufe bestimmt die Genauigkeit der statistischen Auswertungen. Dazu mehr in den folgenden Abschnitten.

Im Folgenden konzentrieren wir uns nun wieder auf einen einzigen MC Lauf und beschreiben, wie damit ein einzelner Gesamtschaden des Systems MC simuliert werden kann.

### **Die Einzelschäden**

Nach dem oben beschriebenen Schritt der Verteilung der Gesamtschadenzahl  $N$  auf die einzelnen Äste, kennen wir nun die Anzahl der Schadenereignisse in jedem Teilsegment (Astende, insgesamt 22 Teilsegmente). Die einzelnen Schadenereignisse ziehen Schadenkosten nach sich, die mit Methoden der Versicherungsmathematik in Form von Einzelschadenhöhenverteilungen bewertet werden können. Diese Schadenkosten sind z.B. Behandlungskosten oder Entschädigungen für verletzte Menschen, Kosten für beschädigte Sachen oder Kosten, die durch den Ausfall der technischen Systeme entstehen. Wir benötigen daher die Verteilung der Einzelschäden in den jeweiligen Teilsegmenten. Es ist viel einfacher, diese Verteilung für spezifische Schadensegmente zu bestimmen als für das Gesamtsystem, weil der Charakter des Schadens (Ursache, Art) genau eingegrenzt ist. In unserem Fall ist ein Beispiel für ein Schaden – Teilsegment: Leitungswasser Schaden - Beschädigung der Oberfläche. Die Bestimmung der Einzelschadenhöhenverteilung ist eine klassische Methode der Versicherungsmathematik. Man wertet Schadenaufwände aus und bestimmt auf diese Weise die Art und die Parameterwerte einer passenden Verteilung. Ist diese Form der Auswertung nicht möglich, weil z.B. Daten nicht oder nicht in ausreichendem Umfang vorliegen, dann ist auch eine grobe Abschätzung der Höhenverteilung ausreichend. Für das Beispiel mit der Beschädigung der Oberfläche wäre z.B. eine Aufstellung der folgenden Form möglich:

20% der Schäden ziehen einen Aufwand unter 500 EUR nach sich

30% der Schäden kosten zwischen 500EUR und 1200EUR

50% der Schäden kosten zwischen 1200EUR und 2000EUR.

Aus dieser Information lässt sich eine Näherung für die Einzelschadenverteilung gewinnen.

Die Einzelschadenverteilungen werden im MC Programm hinterlegt. Für jedes Schadensegment wird die jeweils passende Verteilung ausgewählt. Das Programm ist nun in der Lage, Schäden entsprechend den eingestellten Verteilungen nach dem Zufallsprinzip zu erzeugen. Das Programm simuliert für jedes Teilsegment spezifische Schadenhöhen. Die Anzahl der Schäden, die pro Teilsegment simuliert werden müssen, ist dem Programm durch die oben beschriebene Verteilung der Anzahlen entlang der Baumstruktur bekannt. Dieser Vorgang ist

in Abb. 11 ganz rechts dargestellt. Die roten Boxen symbolisieren die Einzelschadenverteilungen für jedes Schadensegment (Astende).

### **Der Gesamtschaden**

Bis jetzt fehlt noch die Zusammenführung der vielen Einzelschäden zum Gesamtschaden. Dieser Prozess ist in Abb. 11 durch Pfeile dargestellt, die von den Einzelschäden ausgehen und zur Gesamtschadenverteilung hinweisen. Die Ermittlung des Gesamtschadens gelingt mit der MC Simulation sehr einfach: Der Gesamtschaden ist die Summe der Einzelschäden. Das MC Verfahren ist also so programmiert, dass die Realisationen der einzelnen Schadensegmente zum Gesamtschaden addiert werden. Zusammenfassend lässt sich festhalten: Für jeden MC Lauf geht man aus von einer Gesamtschadenzahl, verteilt diese entsprechend der Baumstruktur auf die Schaden-Teilsegmente, simuliert (MC) entsprechend der spezifischen Einzelschadenverteilung die zuvor ermittelte Anzahl von Einzelschäden und berechnet zum Schluss die Summe aller Einzelschäden. Auf diese Weise bekommt man für jeden Lauf des MC Programms eine Realisation des Gesamtschadens für das technische System. Der MC Lauf wird sehr oft wiederholt, damit man sehr viele Realisationen des Gesamtschadens erhält und zu statistischen Aussagen kommt. Aus den Realisationen des Gesamtschadens lassen sich neben dem statistischen Mittel und der empirischen Standardabweichung auch die empirische Verteilungsfunktion – und daraus alle anderen Risikomaße, wie z.B. der VaR oder der expected Shortfall – berechnen.

Im Folgenden stellen wir die eben erläuterte Methode anhand einiger konkreter numerischer Beispiele dar.

### **Die Resultate der MC Simulation – einige Beispiele**

Der in Abb. 10 dargestellte Fehlerbaum bildet die Grundlage für die folgenden Beispiel Simulationen. Wie oben geschildert, ergibt sich aus dem Fehlerbaum die Anzahl der Schäden pro Teilsegment am jeweiligen Astende. Für unsere Simulationsbeispiele verwenden wir Einzelschaden Höhenverteilungen, die in Tab. 7 dargestellt sind. Dort sind die Verteilungstypen und die jeweiligen Parameter der Verteilung aufgelistet. Im Einzelnen sind dargestellt: Die laufende Nummer des Astes (Spalte 1; entsprechend Abb.10), die dazu gehörende Eintrittswahrscheinlichkeit (Spalte 2), die numerischen Werte für Erwartungswert (Spalte 3) und Standardabweichung (Spalte 4) der jeweiligen Einzelschadenhöhenverteilung sowie der Verteilungstyp (Spalte 5). Zu jeder Schadenart (Astende) haben wir die passende Verteilung gewählt; einige Beispiele dafür: Für Kleinschäden, wie sie z.B. bei Versorgungsproblemen mit Wasser und Strom entstehen (Ast Nr. 9 -11) haben wir eine Exponentialverteilung gewählt mit dem Erwartungswert (Exponentialparameter), der einem mittleren Einzelschaden entspricht. Für mittlere Schadenhöhen wird eine Log-Normalverteilung verwendet. Hier gibt es zwei freie Parameter. Diese werden in einer Weise gewählt, dass der Erwartungswert der Verteilung dem mittleren Aufwand eines Einzelschadens entspricht und die Standardabweichung der typischen Streuung der Schadenaufwände im betreffenden Schadensegment. Mittlere Schadenhöhen ergeben sich z.B. bei einem Feuerschaden, nach dem der Behandlungsstuhl durch Sanierung wiederhergestellt werden kann (Ast Nr.19) oder bei einem elektrischen Defekt aufgrund eines Softwarefehlers (Ast Nr.2). Für Schäden, bei denen der Behandlungsstuhl nicht wieder hergestellt werden kann, haben wir empirische Schadenhöhenverteilungen in Treppenform verwendet. Diese Fälle sind in Tab. 7, Spalte 5 mit „Spezial“ gekennzeichnet. Ein Beispiel dafür ist (Ast Nr.18) der Totalverlust aufgrund eines Feuers. Hier wird die folgende Schadenhöhenverteilung verwendet:

2% der Schäden ziehen einen Aufwand unter 2500 EUR nach sich,

2% der Schäden kosten zwischen 2500EUR und 10000EUR,

3% der Schäden kosten zwischen 10000EUR und 56600EUR,

93% der Schäden kosten zwischen 56600EUR und 70000EUR.

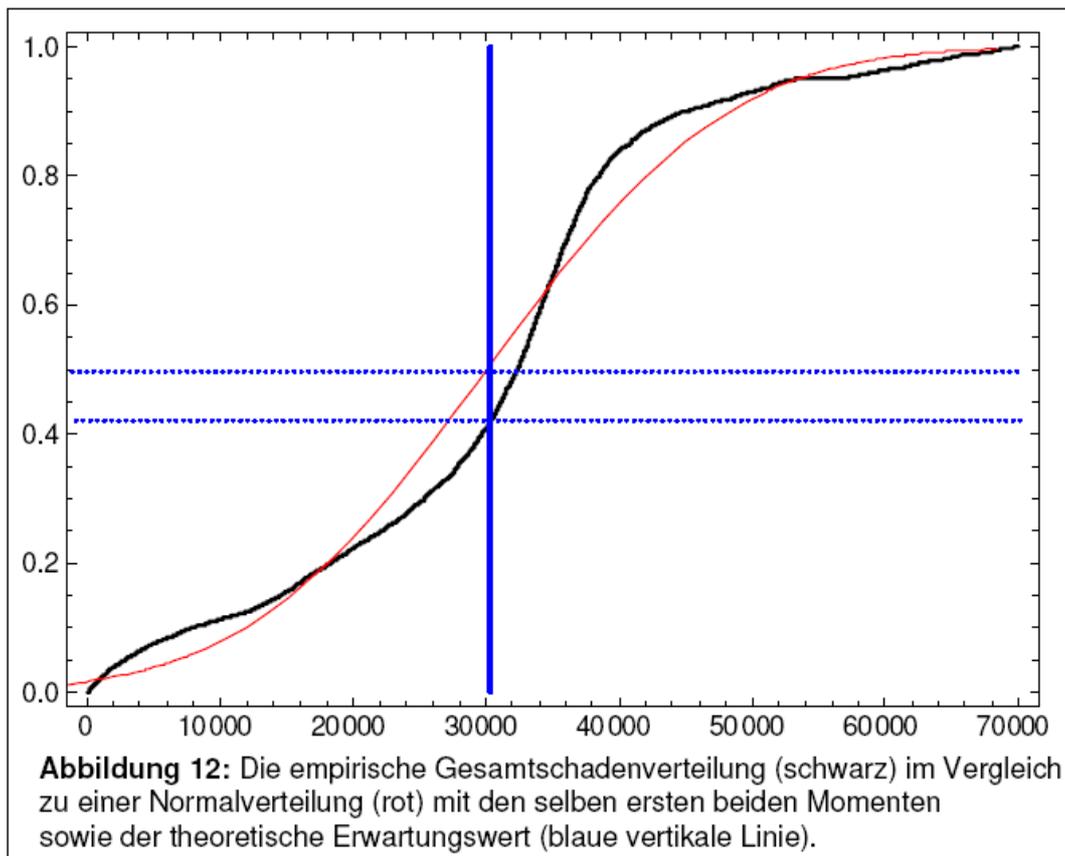
In fast allen Fällen muss also in diesem Ast des Fehlerbaumes der Totalschaden des Stuhls plus ggf. Nebenkosten (z.B. Entsorgung) ersetzt werden. In 7% der Fälle muss der angezeigte Schaden nicht oder nur teilweise (z.B. aus Vertragsgründen, Regress / Brandstiftung) ersetzt werden.

Ast Nr.	Wkeit Astende	EW Schaden	StdAbw Schaden	Verteilungstyp
1	0,2250%	10.000	10.000	exp
2	0,5250%	20.000	4.000	LogNorm
3	0,1781%	30.000	4.500	LogNorm
4	3,3844%	30.000	4.500	LogNorm
5	1,7813%	15.000	3.000	LogNorm
6	1,7813%	15.000	3.000	LogNorm
7	0,7125%	20.000	4.000	LogNorm
8	6,4125%	20.000	4.000	LogNorm
9	0,7438%	4.500	4.500	exp
10	0,7438%	4.500	4.500	exp
11	1,3813%	4.500	4.500	exp
12	1,3813%	4.500	4.500	exp
13	10,6250%	10.000	1.000	exp
14	10,6250%	30.000	4.500	LogNorm
15	0,5950%	45.027	8.830	Spezial
16	2,3800%	60.018	13.333	Spezial
17	1,7850%	45.027	8.830	Spezial
18	3,5700%	60.018	13.333	Spezial
19	12,4950%	35.000	3.500	LogNorm
20	3,8675%	25.000	3.750	LogNorm
21	5,8013%	45.027	8.830	Spezial
22	29,0063%	35.000	3.500	LogNorm

**Tabelle 7: Überblick Einzelschadenhöhen Verteilungen**

In der Praxis können die Einzelschadenhöhenverteilungen für die Schäden eines jeden „Astendes“ aus den Schadendaten geschätzt werden. Dies ist eine aktuarielle Standardaufgabe. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Schadenhöhenverteilungen von Experten einschätzen zu lassen. Die oben dargestellte Treppenform der Schadenhöhenverteilung bietet sich dafür besonders an. In der Berufspraxis ist es leichter, eine Einschätzung der Verteilung von Schadenhöhen eines scharf umrissenen Schadensegments zu erhalten als die Schadenhöhenverteilung des technischen Gesamtsystems. Daraus resultiert ein wesentlicher Vorteil der hier neu entwickelten Methode.

Im Folgenden betrachten wir einige Beispiele von Ergebnissen der MC Simulation. Zuerst bestimmen wir die Gesamtschadenhöhenverteilung für einen Schaden, d.h.  $N = 1$ . Wir aggregieren also die Einzelschadenverteilungen der 22 Schadenssegmente (analog zu Tab. 7) zur Gesamtschadenverteilung des technischen Systems „zahnärztlicher Behandlungsstuhl“. In Abbildung 12 ist das Ergebnis der Simulation, die empirische Gesamtschadenhöhenverteilung abgebildet (s. schwarze Linie). Der rechnerische Erwartungswert des Gesamtschadens ergibt sich aus Tabelle 7 als Summenprodukt aus Spalte 2 und Spalte 3 zu 30344 EUR. Dieser Wert

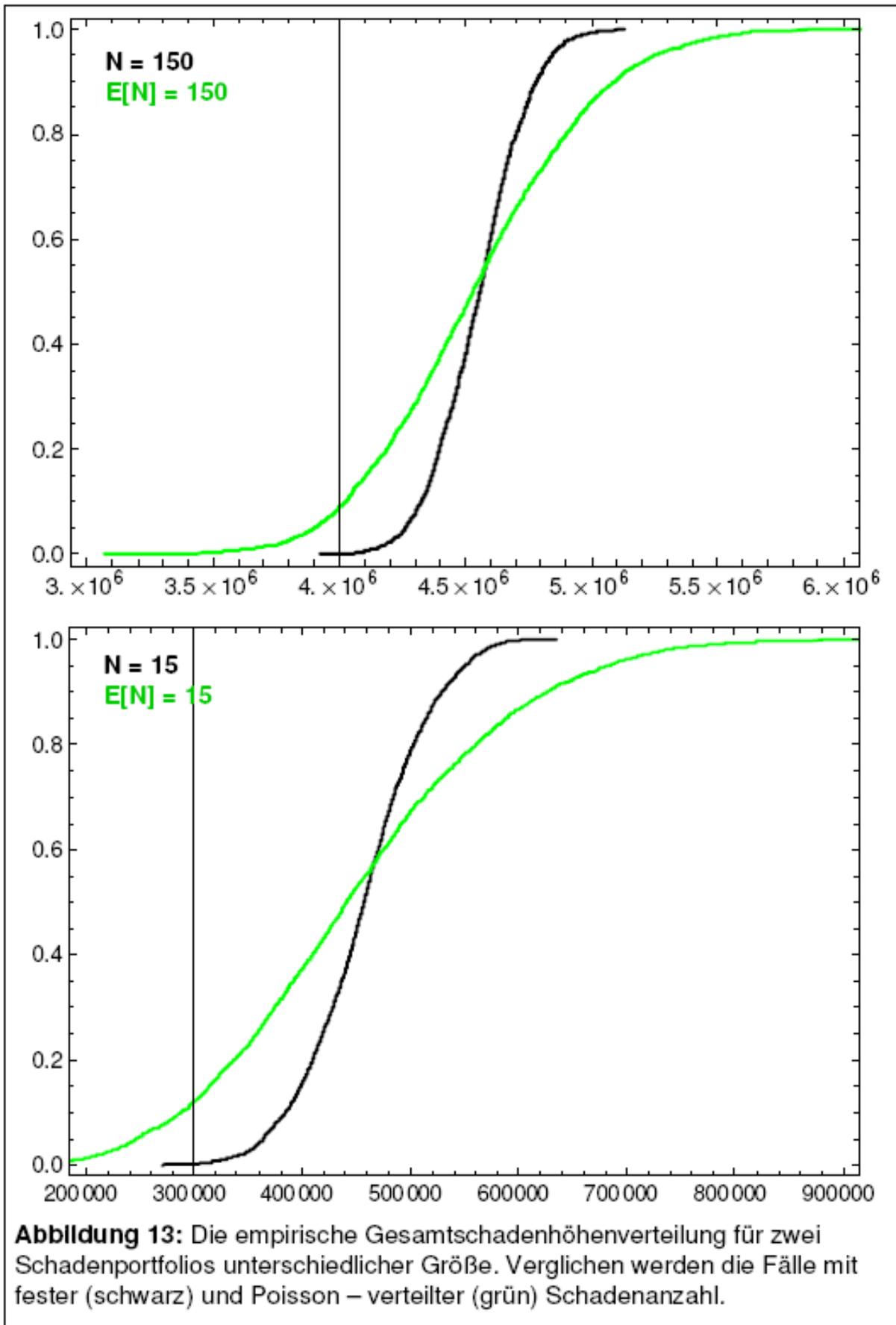


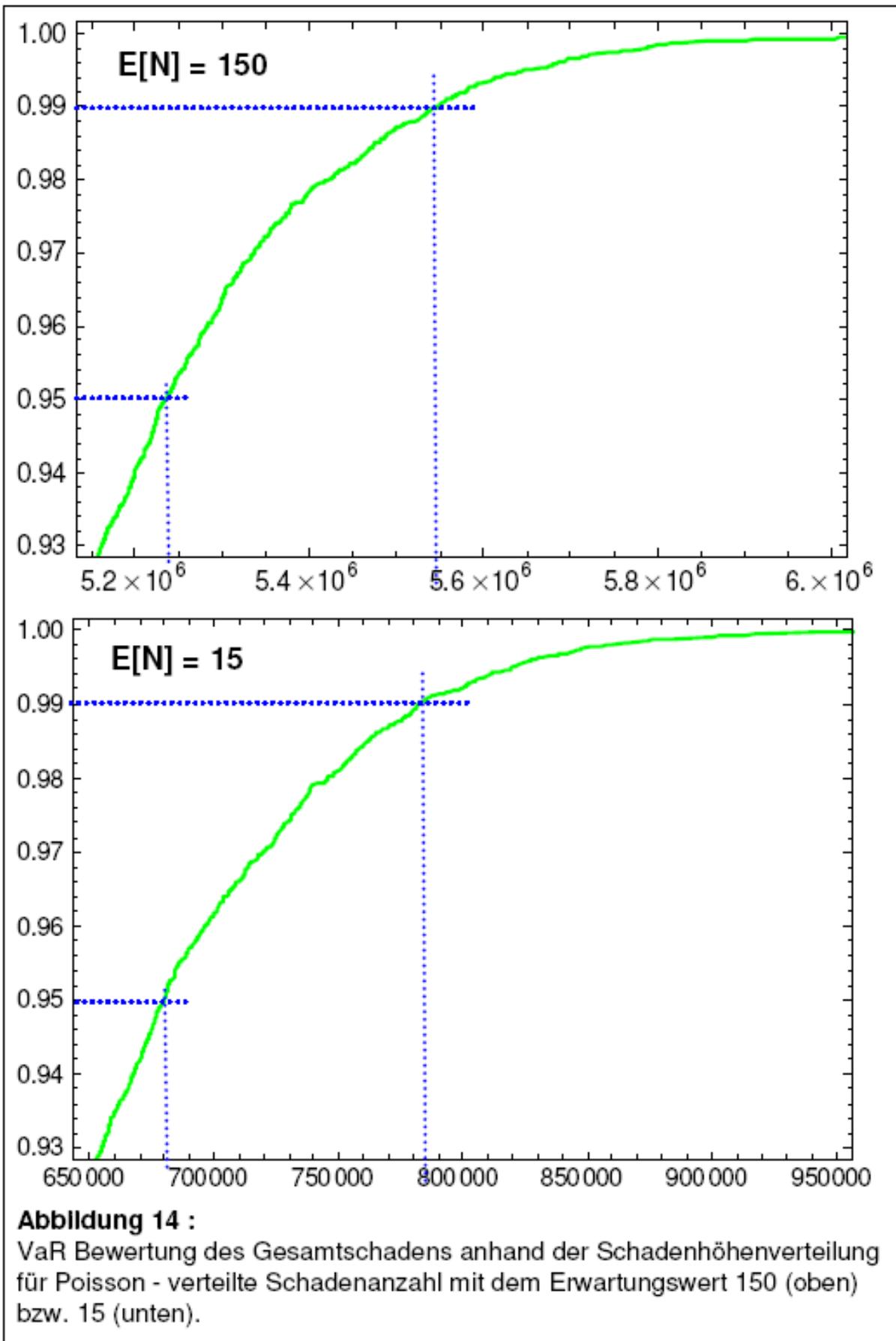
ist als blaue, vertikale Linie in Abb. 12 eingezeichnet. Außerdem ist die nach der Momentenmethode angepasste Normalverteilung zu sehen (rote Linie). Das bedeutet, die beiden Parameter der Normalverteilung wurden so bestimmt, dass sie mit dem empirischen Erwartungswert und der empirischen Standardabweichung der MC simulierten Gesamtschäden übereinstimmen. Die deutliche Abweichung der Gesamtschadenverteilung von der Normalverteilung ist auf Abb. 12 gut zu erkennen. Das 50% - Quantil der Gesamtschadenverteilung liegt rechts vom Erwartungswert entsprechend der zuvor festgestellten Rechtsschiefe der Verteilung. Aufgrund der vorgenommenen Kalibrierung stimmt das 50% - Quantil der Normalverteilung exakt mit dem Erwartungswert der Schadenhöhe überein. Dieser liegt etwas über dem 40% - Quantil der Gesamtschadenverteilung, d.h. knapp 60% der Schadenaufwände sind höher als der Erwartungswert. Die Gesamtschadenverteilung ist folglich rechtsschief. Diese Ergebnisse sind gut nachzuvollziehen, weil sich der Gesamtschaden aus vielen Einzelschäden zusammensetzt, die stark unterschiedlichen Verteilungen genügen. Die Schadenssegmente, aus denen Großschäden hervorgehen (Äste Nr. 15-18 und 21), bewirken die deutliche Rechtsschiefe der Gesamtschadenverteilung.

Jetzt gehen wir über zur Untersuchung von Schadenportfolios. Wir betrachten ein kleines Schadenportfolio mit  $N = 15$  Schäden und ein großes Schadenportfolio mit  $N = 150$  Schäden. Wir vergleichen jeweils den Fall einer festen Anzahl von Schäden  $N = 15$  bzw.  $150$  mit dem Fall einer Poisson-verteilten Schadenanzahl, wobei die Erwartungswerte  $E[N] = 15$  bzw.  $150$  Schäden betragen. Die Ergebnisse der MC Simulationen sind als empirische Gesamtschadenverteilungen in Abb. 13 dargestellt. Die schwarzen (grünen) Verteilungen stellen jeweils den Fall mit fest vorgegebenen (Poisson – verteilten) Schadenanzahlen dar. Im unteren Teil der Abb. 13 ist die Gesamtschadenhöhenverteilung des kleinen ( $N = 15$ , bzw.  $E[N] = 15$ ) Schadenportfolios zu sehen, im oberen Teil die des großen ( $N = 150$ , bzw.  $E[N] = 150$ ). In allen Fällen lässt sich feststellen, dass die Verteilungen einer Normalverteilung wesentlich ähnlicher sind als im Fall des Einzelschadens, der in Abbildung 12 dargestellt ist. Dieser Effekt lässt sich mit Hilfe des Zentralen Grenzwertsatzes erklären, nach dem die Normalverteilung umso besser approximiert wird, je höher die zum Gesamtschaden beitragende Schadenanzahl ist. Die Voraussetzungen für die Gültigkeit dieses Satzes sind in dem vorliegenden Beispiel näherungsweise erfüllt: Wir betrachten den Gesamtschaden, der sich aus einer Vielzahl von Einzelschäden zusammensetzt, die Gesamtschaden – Ereignisse (nicht die Einzelschaden – Ereignisse!) sind unabhängig von einander, der Zufall wird durch die MC Simulation generiert und die Einzelschadenverteilungen besitzen eine endliche Standardabweichung (vgl. Tab.7, Spalte 4). Auf Abb. 13 ist deutlich zu erkennen, dass die Schwankung der Schadenanzahl (Schadenanzahl Poisson-verteilt; grüne Kurven) eine deutliche Zunahme in der Streuung der Gesamtschadenverteilung verursacht gegenüber dem Fall mit der fest vorgegebenen Schadenanzahl (schwarze Kurven).

In Abb. 14 betrachten wir das rechte obere Ende („Tail“) der Gesamtschadenhöhenverteilungen für Poisson-verteilte Schadenanzahlen. Der Tail der Schadenhöhenverteilung ist entscheidend für die Bewertung des Großschaden – Risikos, denn er enthält Informationen über Schadenhöhen, die deutlich größer als der mittlere Schaden sind. Aus der Abbildung 14 lässt sich z.B. der VaR des Gesamtschadens ablesen (s. blaue, gestrichelte Linien). Für das kleine Schadenportfolio (Abb. 14 unten) ergibt sich beispielsweise der VaR zum 95% (99%) – Niveau zu ca. 680 TEUR (ca. 785 TEUR). Für das große Schadenportfolio (Abb. 14 oben) ergibt sich der VaR zum 95% (99%) – Niveau zu knapp 5,25 Mio. EUR (knapp 5,55 Mio. EUR). Selbstverständlich lässt sich durch detaillierte Auswertung der Simulationsdaten auch der exakte rechnerische Wert der VaRs ermitteln. Darauf wird hier nicht näher eingegangen.

Zusammenfassend halten wir fest: Wir haben hier anhand einiger Beispiele demonstriert, wie sich Fragestellungen des quantitativen Risikomanagements mit Hilfe der von uns entwickelten Methode für technische Systeme beantworten lassen. Durch die Integration der Einzelschadenverteilungen der Schadensegmente über den Fehlerbaum, dem Ergebnis der ingenieur-technischen Risikoanalyse, gelingt die quantitative Risikobewertung des technischen Gesamtsystems.





**ALEXANDER KLATT**

Chubb Insurance Company of Europe SE  
Grafenberger Allee 295  
40237 Düsseldorf

**MAGDA SCHIEGL**

Fachhochschule Landshut  
Am Lurzenhof 1  
D-84036 Landshut  
und  
Fachhochschule Köln  
Institut für Versicherungswesen  
Gustav-Heinemann-Ufer. 54  
D-50968 Köln

[mschiegl@fh-landshut.de](mailto:mschiegl@fh-landshut.de)



## Literaturverzeichnis

- Adam, Dietrich. *Planung und Entscheidung*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1997.
- Bärwolf, Hartmut, Frank Victor, und Volker Hüsken. *Handbuch IT-Systeme in der Medizin*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2006.
- Blank, Hans-Peter. *Qualitätsmanagement für Ingenieure*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003.
- Bourier, Günther. *Wahrscheinlichkeitsrechnung und schließende Statistik*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011.
- Elser, Thomas. *Statistik für die Praxis*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- Engineers, American Institute of Chemical. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. John Wiley & Sons, 1995.
- Geiger, Walter, und Willi Kotte. *Handbuch Qualität*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008.
- Gietl, Gerhard, Werenn Lobinger, und Gerd F. Kamiske. *Risikomanagement für Geschäftsprozesse*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & CO. KG, 2005.
- Gunkel. *Effiziente Gestaltung des Risikomanagements in Deutschen Nicht-Finanzunternehmen*. Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2010.
- Hennings, Wilfried. *Aspekte der Risikoanalyse in der verfahrenstechnischen Industrie*. ETH Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 1996.
- Hennings, Wilfried, und Johannes Mertens. *Methodik der Risikoanalyse für Kernkraftwerke*. ETH Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 1995.
- Königs, Hans-Peter. *IT-Risiko-Management mit System*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009.
- Lees, Frank P. *Loss Prevention in the Process Industries*. Great Britain: Butterworth-Heinemann Ltd, 1996.
- Martin, Anton. *Sachversicherungsrecht*. München: C.H. Beck Verlag, 1992.
- Middendorf, Conrad. *Klinisches Risikomanagement*. Münster: LIT Verlag Berlin, 2005.
- Ocker, Dominik. *Unscharfe Risikoanalyse strategischer Ereigniskriterien*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH, 2010.
- Papula, Lothar. *Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Band 3*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | Springer Fachmedien, 2011.
- Reichardt, Agnes, und Reichardt Helmut. *Statistische Methodenlehre für Wirtschaftswissenschaftler*. Wiesbaden: Dr. Th. Gabler Verlag, 2002.
- Risikoaggregation, Deutsche Gesellschaft für. *Risikoaggregation in der Praxis*. Heidelberg: Springer Verlag Berlin, 2008.
- Romeike. *Risikomanagement in Versicherungsunternehmen*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.

- Schäfer, Anselm. „<http://www.isar.tum.de>.“ 2011. <http://www.isar.tum.de/tum/t03> (Zugriff am August 2011).
- Schmidt, Reimer. *Versicherungs-Alphabet*. Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft, 2001.
- Strohmeier, Georg. *Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag | GWV Fachverlage GmbH, 2007.
- Tietjen, Horst, und Dieter H. Müller. *FMEA-Praxis*. Wien: Carl Hanser Verlag München, 2003.
- Vesely, W. E., und U.S. Nuclear Regulatory Commission. *Fault Tree Handbook*. Systems and Reliability Research, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.
- Wagner, Fred. *Risk Management im Erstversicherungsunternehmen*. Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft, 2000.
- Wiederkehr, Bruno, und Rita Maria Züger Conrad. *Risikomanagementsystem im Unternehmen*. Edubook AG: Merenschwand, 2010.
- Ziegenbein, Arne. *Supply Chain Risiken*. ETH Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2007.

# Kontakt/Impressum

Diese Veröffentlichung erscheint im Rahmen der OnlinePublikationsreihe „**Forschung am IVW Köln**“.

Alle Veröffentlichungen dieser Reihe können unter [www.ivw-koeln.de](http://www.ivw-koeln.de) oder unter <http://opus.bsz-bw.de/fhk/index.php?la=de> abgerufen werden.

Eine weitere Publikationsreihe ist die **Schriftenreihe des Instituts für Versicherungswesen der Fachhochschule Köln**.

Herausgeber: Verein der Förderer des Instituts für Versicherungswesen an der Fachhochschule Köln e. V. Die Schriftenreihe kann über den Verlag Versicherungswirtschaft bezogen werden (<http://www.vvw.de/>).

Eine Übersicht aller Hefte der Schriftenreihe kann auch unter folgender Adresse abgerufen werden:

<http://www.f04.fh-koeln.de/fakultaet/institute/ivw/informationen/publikationen/00366/index.html>

## Köln, Oktober 2012

### Herausgeber / Editorship:

Prof. Dr. Reimers-Rawcliffe  
Prof. Dr. Peter Schimikowski  
Prof. Dr. Jürgen Strobel

Institut für Versicherungswesen /  
Institute for Insurance Studies

Fakultät für Wirtschafts- und Rechtswissenschaften /  
Faculty of Business, Economics and Law

Fachhochschule Köln / Cologne University of Applied Sciences

Web [www.ivw-koeln.de](http://www.ivw-koeln.de)

### Schriftleitung / Contact editor's office:

Prof. Dr. Jürgen Strobel

Tel. +49 221 8275-3270  
Fax +49 221 8275-3277

Mail [juergen.strobel@fh-koeln.de](mailto:juergen.strobel@fh-koeln.de)

Institut für Versicherungswesen /  
Institute for Insurance Studies

Fakultät für Wirtschafts- und Rechtswissenschaften /  
Faculty of Business, Economics and Law

Fachhochschule Köln / Cologne University of Applied Sciences  
Gustav Heinemann-Ufer 54  
50968 Köln

### Kontakt Autor / Contact author:

Prof. Dr. Magda Schiegl

Fakultät für Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen

Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Fachhochschule Landshut  
Am Luzernhof 1  
84036 Landshut

Tel. +49 871 506-259

Mail [mschiegl@fh-landshut.de](mailto:mschiegl@fh-landshut.de)

Alexander Klatt

Chubb Insurance Company of Europe SE

Grafenberger Allee 295  
40237 Düsseldorf

ISSN (online) 2192-8479