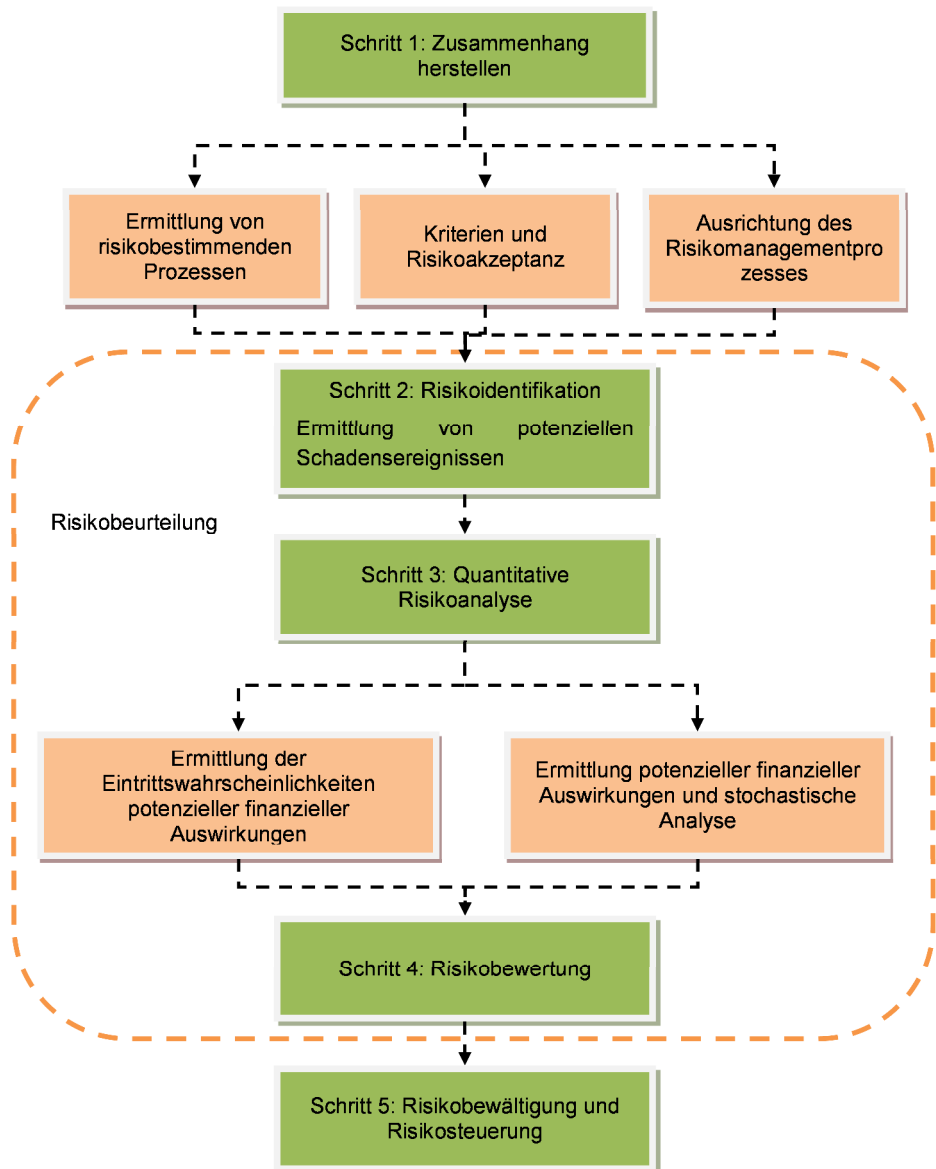


Entwicklung einer Methodik zur monetären Bewertung von Schadensereignissen

Vorstellung einer Methodik zur Bewertung der finanziellen Auswirkungen verursacht durch eine Explosion.

Von Anja Kustosz



Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20140218-125053-4

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20140218-125053-4>]

***Entwicklung einer Methodik zur monetären Bewertung von
Schadensereignissen***



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Dissertation zur Erlangung eines Doktorgrades

***Bergische Universität Wuppertal, Abteilung Sicherheitstechnik
Fachbereich D***

vorgelegt von

Anja Kustoscz

Prüfung am 19. November 2013

1. Gutachter: Univ. Prof. Dr. Ing. Uli Barth
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich-Wilhelm Wittbecker

Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und Zitate kenntlich gemacht habe.

Darmstadt, den 3. Februar 2014

Anja Kustosz

Danksagung

Danken möchte ich insbesondere meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Uli Barth, der mir die Möglichkeit gab, als externer Promotionsstudent am Lehrstuhl Methoden der Sicherheitstechnik/Unfallforschung an der Bergischen Universität Wuppertal promoviert zu werden. Für die Möglichkeit der Bearbeitung des Themas, die fachlichen Unterstützungen und die angenehme Arbeitsatmosphäre möchte ich mich besonders bei ihm bedanken.

Weiterhin danke ich Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Friedrich-Wilhelm Wittbecker für seine Bereitschaft das Koreferat zu übernehmen. Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer und Prof. Dr. Günther Apel danke ich für Ihr Interesse.

Außerdem bedanke ich mich bei Dr. Erwin Pfleging, Christine Fischer und Tobias Stefaniak, welche mir für die praktische Umsetzung meines Themas ihre Anlage und vor allem ihre Zeit zur Verfügung gestellt haben.

Meinem Arbeitgeber, der ERM GmbH, danke ich für die Möglichkeit meine Arbeitszeit zu reduzieren, um so den Freiraum zu haben, die vorlegte Arbeit zu erstellen.

Mein besonderer Dank gilt Nadine Voigt, Birgit-Sabine Engel, Dr.- Ing. Martin Kreschel und Mark Hoff, welche mir in der Korrektur der Arbeit eine große Hilfe waren.

Außerdem möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie und meinem Partner Jens Voigt für ihre Geduld und Unterstützung bedanken.

Zusammenfassung

Eine Explosion ist ein seltenes Ereignis, welches sich im Lebenszyklus eines Unternehmens im besten Fall niemals oder im schlechtesten Fall nur einmal ereignet. Die Auswirkung dieses Ereignisses hat - in Abhängigkeit von der Schwere der Explosion - erhebliche finanzielle Auswirkungen auf das betroffene Unternehmen. Die Explosion kann daher zu den strategischen Risiken eines Unternehmens gezählt werden, da in den meisten Fällen nicht nur ein Unternehmensbereich betroffen ist, sondern eine Explosion im schlechtesten Fall erheblichen Einfluss auf das Weiterbestehen des Unternehmens haben kann. Die Investitionen in technische Maßnahmen zum vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutz und der Unterhalt dieser können damit Auswirkungen auf die langfristige Entwicklung des Unternehmens haben. Da die Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen zumeist kostenintensiv sind, ist eine Kosten-Nutzen-Bewertung in den meisten Fällen nur möglich, wenn es zu einem Explosionsereignis kommt und die Auswirkungen aufgrund der getroffenen Explosionsschutzmaßnahmen gering sind.

Die vorliegende Arbeit belegt, dass es möglich ist, die durch eine Explosion verursachten finanziellen Schäden bzw. Auswirkungen für bereits bestehende Anlagen zu ermitteln und so Investitionen in Explosionsschutzmaßnahmen bzw. Maßnahmen zur Risikobewältigung zu begründen. Dies wird vor allem in dem aufgeführten Praxisbeispiel deutlich, welches in der vorliegenden Arbeit erläutert wird. Im Praxisbeispiel werden die finanziellen Schäden, verursacht durch eine mögliche Explosion, in einem Tanklager analysiert. Hierbei wird deutlich, dass durch die Explosion des Tanklagers erhebliche finanzielle Schäden verursacht werden können, welche das Weiterbestehen des betroffenen Unternehmens erheblich beeinflussen würden. Die Investitionen in zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen sind in dieser Anlage aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll. Dies macht auch die Gegenüberstellung des potenziellen Schadens und der zusätzlichen Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen deutlich.

Zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen eines Explosionsereignisses wird eine Risikobeurteilung gemäß den Vorgaben des Risikomanagementstandards ISO 31000 und der so genannten RISQUE-Methode durchgeführt. Die Anwendung der RISQUE-Methode innerhalb der Sicherheitstechnik bietet einen neuen Ansatz, um technische Risiken zu quantifizieren. Diese Risikobeurteilung besteht aus vier Teilen – Risikoidentifikation, Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobewältigung. In der Risikoidentifikation werden zunächst das auslösende Ereignis und die potenzielle Explosionsauswirkung in einer Ereignisablaufanalyse ermittelt. Basierend auf den Ergebnissen der Ereignisablaufanalyse und den ermittelten erheblichen Auswirkungen können die finanziellen Auswirkungen in den drei Schadenskategorien: Personen-, Sach- und Ertragsausfallschaden erfasst werden. Da die Ermittlung der finanziellen Schäden innerhalb der vordefinierten Schadenskategorien mit Unsicherheiten verbunden ist, werden die finanziellen Schäden in der Risikoanalyse mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen dargestellt und stochastisch ausgewertet. Basierend auf den Ergebnissen der Risikoanalyse wird das Risiko bzw. der Risikoquotient als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und finanziellem Schaden berechnet und daraufhin in der Risikobewertung in Risikoprofilen bzw. Risikomatrizen dargestellt. Hierdurch können die Risiken miteinander verglichen und signifikante Auswirkungen, ausgelöst durch das Explosionsereignis, bestimmt werden. Demzufolge können Prioritäten zur Risikobewältigung festgelegt und Maßnahmen bzw. notwendige Investitionen bestimmt werden.

Das Ergebnis dieser Risikobeurteilung ist zum einen die Darstellung der signifikanten Risiken im Falle einer Explosion, d. h. die Auswirkungen eines Explosionsereignisses mit und ohne Anwendung von sicherheitstechnischen Maßnahmen, sowie eine Gegenüberstellung der notwendigen Investitionen zur Umsetzung der jeweiligen Maßnahmen.

Diese Maßnahmen sollen einerseits die Auswirkungen der Explosion minimieren und andererseits den sicherheitstechnischen Standard der betroffenen Anlage erhöhen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die systematische Ermittlung und Analyse die Kosten für Schadensereignisse mittels einer stochastischen Methode ermittelt und so Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen in objektiver Weise begründet werden.

Summary

An explosion is a rare event that never occurs in the best case scenario or only once in the life time of a company in the worst case scenario. The consequence of this event may have negative financial consequences for the company depending on the severity of the outcome. Due to the potential catastrophic outcome of the event an explosion can be counted towards the strategic risk of a company, since in the most cases the explosion affects not only the individual business area but rather, in the worst case, it may have a significant influence on the continued existence of the company. Consequently investments in explosion preventive and protective measures may have an important effect on the strategic development of a company. However, the investment in explosion prevention measures is often very cost intensive. In the most cases a cost-benefit analysis is only possible if an explosion occurs and the consequence of the explosion is marginal due to loss prevented by the explosion prevention measures implemented by the company.

The present work demonstrates that it is possible to determine the substantial financial damage caused by an explosion and thus to justify investments in the explosion protection measures and measures for risk treatment. This is mainly proven by the two practical examples demonstrated in the practical part of the work. In the first practical example, a real incident is analyzed and the financial damage caused by loss of revenue and property is determinate. The practical example shows that existing risk control measures such as the Business Continuity minimizes financial losses of the event. In the second practical example, the financial damage caused by a possible explosion in a tank farm is analyzed. In this case the explosion of the tank farm would cause serious financial damage which would significantly affect the existence of the company. In this case the investment in additional safety measures is valuable from an economic point of view. This confirms the comparison of the potential damage and the additional investment in safety measures.

The risk assessment is conducted according to the requirements of the risk management standard ISO 31000 and according to the so-called RISQUE method. The application of the RISQUE method in the area of safety offers a new approach to quantify technical risks. The risk assessment of financial consequences comprises of four parts – risk identification, risk analysis, risk reduction and risk treatment. In the first step, the risk identification, the triggering event and the potential impact of explosion is determined using the event tree analysis. Then the costs for the identified consequences can be determined based on the results of the event tree analysis and the identified significant effects in the three damage categories: assets, personnel and revenue loss. The investigation of the financial consequences conducted for three pre-defined damage categories is associated with uncertainties. Therefore the identified costs are displayed and analyzed in the risk analysis in the forms of probability distributions and the stochastic evaluation. Based on the result of the risk analysis the risk quotient will be calculated as a product of probability and financial consequence. The results of the risk calculation are presented in a risk profile or in a risk matrix. This representation in the risk assessment can be compared with each risk and it is possible to determine significant risks caused by the explosion event which is represented by the one with the effects of a significant financial impact or impact with a high probability. Priorities for risk reduction are defined accordingly and necessary measures or investments can be determined.

The output of this risk assessment is twofold, it provides an overview regarding the significant risks triggered by an explosion and it offers comparison of an explosion event with and without the application of explosion prevention measures. Those comparisons of the investments which are necessary to minimize the impact of the explosion are possible.

It can be summarized that the cost of a hazard event can be evaluated with the systematic determination and analysis through a stochastic approach and justify investments in safety related measurements.

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	IV
SUMMARY	V
1 EINLEITUNG.....	13
2 AUFGABENSTELLUNG	15
2.1 Problemstellung.....	15
2.2 Zielstellung.....	15
2.3 Methodische Vorgehensweise	16
3 STAND DER ENTWICKLUNG.....	17
3.1 Auswirkungen von Schadensereignissen – aus technischer Sicht.....	17
3.2 Auswirkungen von Schadensereignissen – aus wirtschaftlicher Sicht	19
3.3 Methoden zur Ermittlung der wirtschaftlichen Folgen von Schadensereignissen	20
3.4 Ausblick.....	21
4 RISIKOMANAGEMENT	22
4.1 Risikomanagement nach ISO 31000	22
4.2 Explosionsrisiko im Kontext eines Unternehmens.....	23
4.2.1 Explosion	23
4.2.2 Unternehmensrisiken.....	25
5 ERMITTLUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN AUSWIRKUNGEN VON SCHADENSEREIGNISSEN	28
5.1 Randbedingungen des Risikomanagementprozesses	30
5.1.1 Kommunikation und Rücksprache.....	30
5.1.2 Risikoüberwachung und Steuerung	30
5.2 Zusammenhang- Herstellen (Schritt 1).....	30
5.2.1 Ermittlung der Ziele des Risikomanagementprozesses	30
5.2.2 Ausrichtung des Risikomanagements	31
5.2.3 Identifikation von risikobestimmenden Prozessen	32
5.2.4 Festlegung von Risikokriterien	33
5.3 Risikobeurteilung	34
5.3.1 Risikoidentifikation (Schritt 2)	34
5.3.2 Risikoanalyse (Schritt 3).....	37
5.3.3 Risikobewertung (Schritt 4)	59
5.3.4 Risikobewältigung und Risikosteuerung (Schritt 5).....	62

6	PRAKTISCHE UMSETZUNG DER RISIKOBEURTEILUNG	68
6.1	Praxisbeispiel: Explosionsereignis in einem Tanklager im Kellergeschoss einer Extraktionsanlage.....	69
6.1.1	Zusammenhang herstellen (Schritt 1)	69
6.1.2	Teilnehmer der Risikobeurteilung.....	76
6.1.3	Fotodokumentation.....	76
6.1.4	Risikobeurteilung	78
6.1.5	Risikoanalyse (Schritt 3) und Risikobewertung (Schritt 4)	97
6.1.6	Risikobewältigung (Schritt 5).....	99
6.2	Ergebnis der praktischen Umsetzung	108
7	FAZIT	110
8	QUELLENVERZEICHNIS	113
9	BILDERVERZEICHNIS	115
10	TABELLENVERZEICHNIS	117
	ANHANG.....	118

Verwendete Abkürzungen

ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz (Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit, 7. August 1996)
BCM	Business Continuity Management (deutsch: Betriebliches Kontinuitätsmanagement, BKM)
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung (Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes, 03. Oktober 2002)
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
BG	Berufsgenossenschaft
CB	Crystal Ball®
DB	Deckungsbeitrag
e.V.	Eingetragener Verein
GB	Gefahrenbereich
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Ggf.	Gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IEC	International Electrotechnical Commission (deutsch: Internationale Elektrotechnische Kommission)
ISO	International Organization of Standardization (deutsch: Internationale Organisation für Normung)
KonTraG	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich
kPa	Kilo Pascal
LPG	Liquefied Petroleum Gas (deutsch: Flüssigerdgas)
MaRisk	Mindestanforderungen an das Risikomanagement
OEG	Obere Explosionsgrenze
ONR	Regel des österreichischen Norminstituts
PLS	Prozessleitsystem
QRA	Quantitative Risikoanalyse
RISQUE	Risk identification and strategy using quantitative evaluation
SGK	Mindestsauerstoffkonzentration
TNT	Trinitrotoluol
TRBS	Technische Regel für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
USA	United States of America
UEG	Untere Explosionsgrenze
VdS	VdS Schadensverhütung GmbH
VN	Vertrauensniveau
ZEMA	Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
A	m ²	Fläche
d	m	Durchmesser
δ	kg/m ³	Dichte
D	-	D eine Konstante
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
Gew. %		Gewichts-Prozent
h	m	Höhe
h _o	m	Höhe der Leckage
μ	-	Reibungskoeffizient
M	g/mol	Molare Masse
m	kg	Masse
\bar{M}	-	Mittelwert
N	-	Anzahl der Versuche
n	-	Sicherheitsbeiwert
P	-	Eintrittswahrscheinlichkeit
p	bar	Druck
p ₀	bar	Überdruck
Π	-	Kreiszahl, Konstante ($\pi = 3,14159$)
R	J/kgK	Individuelle Gaskonstante
r	m	Radius
s ²	-	Varianz
V	m ³	Volumen
\dot{V}	m ³ /s	Volumenstrom
W	kJ/kg	Verbrennungsenthalpie
X	-	Zielgröße
x _n	-	Möglicher Wert für die Zielgröße X
z _n	-	Zufallsvariable
z _i	-	Werte z _i in einer Stichprobe

Begriffsbestimmung

Da in der zur Verfügung stehenden Fachliteratur sehr unterschiedliche Definitionen für die einzelnen Fachbegriffe Anwendung finden, wurden Begriffe aus international gültigen Normen verwendet. Die im anschließenden Verzeichnis definierten Begriffe wurden subjektiv ausgewählt.

ABC Analyse	Ordnungsverfahren zur Klassifizierung einer großen Anzahl von Daten. [39]
Auswirkung	Ausgang eines Ereignisses, welches die Ziele beeinflusst. Ein Ereignis kann zu einer Reihe von Konsequenzen führen. Eine Auswirkung kann sicher oder unsicher sein und kann positive oder negative Auswirkungen auf die Ziele haben. Die Folgen können qualitativ oder quantitativ ausgedrückt werden. [27]
Assumption	Deutsch: Annahme. Ein geschätzter Wert oder Eingabe in ein Tabellenkalkulation-Modell. [15]
Credible worst case	Der schlimmstmögliche, aber dennoch glaubwürdigste Fall. [7]
Dispositives Risikomanagement	Risiken, die kurzfristige Auswirkungen auf das Unternehmen haben. [9]
Ereignisablaufanalyse	Folgeereignisse, ausgehend von einem Anfangsereignis, werden bis zu den möglichen Endzuständen der Betrachtungseinheit analysiert. [44]
Ereignis	Plötzlicher Eintritt einer bestimmten Kombination von Umständen, die sich auf die Organisation positiv oder negativ auswirken können. Die negative Auswirkung ist ein Schadensereignis. [9]; [27]
Finanzwert	Darstellung der Auswirkung in monetären Werten bzw. Geldwerten, z. B. in Euro oder Dollar.
Forecast	Prognose: Eine statistische Aufstellung der Annahmen in einem Tabellenkalkulations-Modell, Ausgabe grafisch oder numerisch. [15]
Gefährdung	Potenzielle Quelle eines Schadens. Die Gefährdung kann die Quelle des Risikos sein. [27]
Häufigkeit	Maß für die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, ausgedrückt als Anzahl der Ereignisse oder Ergebnisse pro definierter Zeiteinheit. [27]
Kosten-Nutzen-Analyse	Überbegriff für verschiedene Analysen, die Nutzen und Kosten vergleichen. [22]
Modell	Als Modelle werden jene gegenständlichen oder formalen Gebilde bezeichnet, die die Systeme mit mehr oder weniger großem Abstraktionsgrad darstellen. Ein Modell steht für einen Zusammenhang. [36]
Monte-Carlo-Simulation	Verfahren der stochastischen Simulation zur annäherungsweisen Bestimmung von mathematischen Größen, die vom Zufall abhängig sind. [9]
Operationelles (technisches) Risiko	Risiken, die mittelfristig Auswirkungen auf die Ziele des Unternehmens haben. Wird auch als Betriebsrisiko bezeichnet. [9]
Qualitative Risikoanalyse	Die qualitative Risikoanalyse definiert Folge, Wahrscheinlichkeit und Risiko durch Begriffe wie hoch, mittel und niedrig und kann so Auswirkungen und Wahrscheinlichkeit kombinieren. Sie bewertet die daraus resultierende Höhe des Risikos gegen qualitative Kriterien. [25]
Quantitative Risikoanalyse	Die quantitative Analyse berechnet realistische Werte für die Auswirkung und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und erhebt Daten für das Risiko in einer bestimmten Einheit. [25]

Risiko	<p>Auswirkung von Unsicherheiten auf Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen von Risiken können positiv oder negativ sein. • Die Unsicherheit bzw. Ungewissheit wird mit Wahrscheinlichkeiten geschätzt bzw. ermittelt. • Die Ziele der Organisation oder des Systems umfassen strategische, operationelle oder finanzielle Ziele sowie die Sicherheit von Menschen, Sachen und der Umwelt. • Risiko umfasst eine Folge von Ereignissen oder von Entwicklungen. [27]
Risikoakzeptanz	Entscheidung, das Risiko zu tragen, zu tolerieren oder zu akzeptieren. [27]; [9]
Risikoanalyse	Systematische Ermittlung und Gebrauch von Informationen, um ein Risiko zu verstehen und nach Wahrscheinlichkeit und Auswirkung auf eine Organisation oder ein System einzuschätzen. Die Risikoanalyse liefert die Grundlage für die Risikobewertung und die Risikobewältigung. [27]; [9]
Risikoappetit	Absicht, bewusst bestimmte Risiken einzugehen. [27]; [9]
Risikoavers	Einstellung, Risiko möglichst zu vermeiden. [27]
Risikobeurteilung	Gesamter Prozess der Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Risikobewertung. [27]
Risikomatrix	Grafische Darstellung, in der Risiken nach einer Skala für die Auswirkungen und für die Wahrscheinlichkeiten eingeordnet werden. [9]; [27]
Risikomanagement	Prozess und Verhaltensweise, die darauf ausgerichtet sind, eine Organisation bezüglich Risiken zu steuern. [9]; [27]
Risikomanagementprozess	Systematische Anwendung von Management-Richtlinien, -Verfahren und -Praktiken, Kommunikationsaufgaben, Beratung, Festlegen von Inhalten, Identifizierung, Analyse, Bewertung, Steuerung, Überwachung und Überprüfung von Risiken. [27]
Risikobewertung	Prozess zum Vergleich der Ergebnisse der Risikoanalyse gegen die Risikokriterien, um zu ermitteln, ob die Höhe des Risikos akzeptabel oder tolerierbar ist. Die Risikobewertung hilft bei der Entscheidung zur Risikobewältigung. [27]
Risikoeinschätzung	Verfahren, mit dem einer Gefährdung oder einem Risikoszenario Werte für seine Wahrscheinlichkeit und für seine Auswirkung zugeordnet werden.
Risikoquotient	Höhe des Risikos, ausgedrückt als Kombination von Auswirkung und deren Wahrscheinlichkeit. [27]
Risikoszenario	Konkrete und bildhafte Darstellung eines Risikos mit Annahmen über mögliche Zusammenhänge von Ursachen, Abfolgen von Ereignissen oder Entwicklungen, die aufzeigt, wie sich Risiken in einer Organisation oder einem System entwickeln. [9]; [27]
Risikotoleranz	Bereitschaft des Unternehmens, das Risiko nach der Risikobewältigung zu tragen, um seine Ziele zu erreichen. Die Risikotoleranz kann durch rechtliche Anforderungen limitiert werden. [27]
Schadensszenario	Darstellung von potenziellen Schadensereignissen.

Strategisches Risiko	Risiken, die langfristig Auswirkungen auf die Ziele und die Strategien des Unternehmens haben.
Szenario	Konkrete und bildhafte Darstellung, die aufzeigt, wie sich Chancen und Gefahren in einer Organisation oder in einem System verwirklichen. [27]
Unsicherheit	Zustand, auch teilweise Mangel an Informationen, im Zusammenhang mit Verständnis oder Kenntnissen über ein Ereignis, seine Auswirkungen und seine Eintrittswahrscheinlichkeiten.[26]
Vertrauensniveau	Das Vertrauensintervall schließt einen Bereich um den geschätzten Wert des Parameters ein, der mit einer zuvor festgelegten Wahrscheinlichkeit (dem Konfidenzniveau) die wahre Lage des Parameters trifft. [39]
Worst Case	Das schlimmstmögliche Szenario. [7]

1 Einleitung

Die Auswirkungen eines Explosionsereignisses sind zumeist erheblich und können bedeutende Folgen für das betroffene Unternehmen und teilweise seine für Nachbarn haben. Wirtschaftliche Schäden entstehen kurzfristig durch Produktionsausfall sowie langfristig durch die Aufgabe des Wiederaufbaus, der nachhaltig negative finanzielle Auswirkungen für das Unternehmen und seine Betriebsergebnisse haben kann. Andererseits ist es eine in der Praxis oft belegte Tatsache, dass Investitionen in Sicherheitstechnik teuer sind und die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen erst nachgewiesen wird, wenn es zu einem Schadensereignis kommt. Da dieses Schadensereignis innerhalb eines Unternehmens ein seltenes oder nie eintretendes Ereignis ist, wird eine Kosten-Nutzen-Analyse meistens nicht durchgeführt und die potenziellen wirtschaftlichen Schäden, ausgelöst durch das Schadensereignis, werden nicht ermittelt. Im Nachfolgenden wird eine Methodik vorgestellt, die mittels eines Risikomanagementsystems die finanziellen Auswirkungen eines Schadensereignisses ermittelt und quantifiziert.

Das Ziel ist es hierbei nicht, die Sicherheitstechnik einer Anlage detailliert zu bewerten, sondern vielmehr Fragestellungen zu beantworten, bei denen konventionelle Verfahren zur Risikobeurteilung keine hinreichende Aussage treffen können. Das gilt zum Beispiel für die Auswirkungen einer Explosion auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Die vorgestellte Methodik bietet die Chance, die Wirtschaftlichkeit von sicherheitstechnischen Installationen zu bewerten, indem dargestellt wird, was die finanzielle Auswirkung möglicher Schadensereignisse ist und wie durch den gezielten Einsatz von sicherheitstechnischen Maßnahmen, wie beispielsweise Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutzes, die negativen Auswirkungen einer Explosion verhindert oder minimiert werden können. Die hierbei entstandenen Kosten, d. h. die finanziellen Auswirkungen im Fall eines Schadens und die Investitionskosten für die Sicherheitstechnik, werden mit Hilfe dieser Methodik gegenübergestellt, so dass eine objektive Bewertung der sicherheitstechnischen Maßnahmen möglich wird. Die Betrachtung der finanziellen Auswirkungen von Schadensereignissen erfolgt innerhalb der Sicherheitstechnik nur in den seltensten Fällen. Oftmals wird bei Investitionen in sicherheitstechnische Anlagen nicht überprüft, inwieweit die Installation neben technischen Auswirkungen auch mögliche finanzielle Auswirkungen reduzieren kann. Die hierbei durchgeführte Betrachtung geht über den klassischen Ansatz einer Risikobeurteilung in der Sicherheitstechnik hinaus, da die Auswirkungen auf das Unternehmen nach Eintreten einer Explosion oder eines Brandes betrachtet werden. Die Vulnerabilität des Unternehmens gegenüber dem Risiko einer Explosion oder eines Brandes wird mit Hilfe der vorgestellten Methodik deutlich. Mittels der vorgestellten Methodik wird versucht, dieses bestehende Defizit zu beheben.

Die Ausführungen orientieren sich an dem neuen internationalen Risikomanagementstandard *ISO 31000 – Risk Management – Principles and Guidelines* vom 15. November 2009, welcher die Harmonisierung des Risikomanagements fortsetzt und die bisherige Zweiteilung der technischen Sicherheit und der Geschäftsrisiken überwinden soll. Im Nachfolgenden werden die einzelnen Elemente des Risikomanagementprozesses näher erläutert und ihre Anwendbarkeit auf eine sicherheitstechnische Fragestellung dargestellt. Danach werden die finanziellen Auswirkungen und die Eintrittswahrscheinlichkeit modelliert und mittels eines stochastischen Verfahrens analysiert. Die Darstellung und Bewertung des ermittelten Risikos, welches ein Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Finanzwert ist, erfolgt durch Risikoprofile, welche das Ausmaß eines Risikoereignisses aufzeigen. Basierend auf diesen Ergebnissen können sicherheitstechnische Maßnahmen zur Risikobewältigung und -steuerung getroffen werden, um das tatsächliche Eintreten von finanziellen Auswirkungen und damit wirtschaftliche Schäden für das Unternehmen zu verhindern. Diese Maßnahmen führen zu einer Reduzierung der Auswirkung sowie zu einer Minimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit.

Mit Hilfe der Ergebnisse der Risikobewältigung wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Auswirkung erneut ermittelt und somit die Berechnung des Risikos basierend auf den getroffenen Maßnahmen aktualisiert.

Anhand dieser Darstellung können das Risiko und die Kosten für die sicherheitstechnischen Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz gegenübergestellt werden, um eine Entscheidungsgrundlage für die Investition in sicherheitstechnische Maßnahmen zu geben.

Somit kommen im vorgestellten Ansatz ingenieurwissenschaftliche wie auch zusätzliche finanzwirtschaftliche Herangehensweisen zur Anwendung, um die wirtschaftlichen Folgen einer Explosion quantitativ zu beurteilen.

2 Aufgabenstellung

2.1 Problemstellung

Im Risikoportfolio eines Unternehmens gehören Explosionen zu den technischen Risiken, deren Bewertung und Bewältigung zu den Aufgaben einer ingenieurtechnischen Abteilung gehören. Die technischen Risiken einer Explosion werden in einer Risikobeurteilung, beispielsweise in einem Explosionsschutzdokument, bewertet. Dabei werden Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutzes dem Unternehmen vorgeschlagen und nicht immer umgesetzt. Allerdings besteht bei der Umsetzung der Maßnahmen zumeist die Abwägung zwischen den Kosten und dem Nutzen, da diese nicht amortisierbar sind und somit kaufmännisch nicht erfassbar. Der Nutzen von sicherheitstechnischen Maßnahmen ist nicht aus der Relation zu den Kosten erkennbar, und eine wirkliche Amortisierung ist erst dann ersichtlich, wenn es zu einer Explosion kommt und die Auswirkung aufgrund der getroffenen sicherheitstechnischen Maßnahmen marginal ist. In den meisten Fällen stehen die vermiedenen wirtschaftlichen Schäden nicht in Relation zu den häufig hohen Kosten für die Installation und den Betrieb des vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutzes.

Bislang werden die wirtschaftlichen Risiken, welche mit Explosionen verbunden sind, nicht als solche erfasst und fließen daher nicht in das Risikomanagementsystem eines Unternehmens ein. Es wird häufig verkannt, dass die Auswirkungen von Explosionen zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden führen können. Sie sind vielfältig, da es nicht nur zu einem finanziellen Schaden aufgrund des Produktionsausfalls kommt, sondern möglicherweise auch zu Personen- und Umweltschäden sowie Sachschäden an Gebäuden und Anlagen. Somit wird deutlich, dass die Kette von Ereignissen und Auswirkungen, die dem Schadensereignis folgen, existenzbedrohende Folgen für das Unternehmen haben kann.

Bisher gibt es vergleichsweise kaum Methoden, welche die Wirtschaftlichkeit sicherheitstechnischer Maßnahmen bestätigen und technische Risiken in monetären Werten quantifizieren. Daher wird in der vorgelegten Arbeit eine Methode vorgestellt, welche technische Risiken in Finanzwerten darstellt, um die Wirtschaftlichkeit von sicherheitstechnischen Maßnahmen zu belegen.

2.2 Zielstellung

Die Zielsetzung der nachfolgenden Arbeit ist es, die finanziellen Auswirkungen durch Explosionen darzustellen und eine Methodik zu entwickeln, welche es ermöglicht, finanzielle Auswirkungen von Explosionen vergleichbar und transparent darzustellen. Anhand dieser Darstellung können die finanziellen Auswirkungen den Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen gegenübergestellt werden, um eine Entscheidungsgrundlage zu bilden. Mit Hilfe der vorgestellten Methode soll es möglich sein, die Auswirkungen von Explosionen objektiv zu beurteilen und die Umsetzung von Maßnahmen zur Bewältigung von Explosionsereignissen zu verstehen und deren Nutzen zu beurteilen.

Die Zielstellung der nachfolgenden Dissertation stellt sich somit folgendermaßen dar:

- Vergleichbarkeit zwischen den Auswirkungen einer Explosion und der Investition in sicherheitstechnische Maßnahmen.
- Entwicklung einer Vorgehensweise, mit deren Hilfe die wirtschaftlichen Folgen eines technischen Schadensereignisses quantitativ bewertet werden können.
- Transparente objektivierte Darstellung von technischen Risiken in der Form, dass sie auch für „Nicht-Techniker“ bzw. „Nicht-Ingenieure“ verständlich ist.

Mit der vorgestellten Methodik wird nicht die Ursache der Schäden ermittelt, sondern ausschließlich ihre wirtschaftliche Auswirkung für ein Unternehmen dargestellt. Die betrachteten Auswirkungen werden klassifiziert hinsichtlich möglicher Personen-, Sach- und Ertragsausfallschäden. Der durch ein Schadensereignis entstandene mittelbare Reputationsschaden sowie der mögliche Verlust von Marktpositionen fließen in diese Betrachtung nicht mit ein.

Der Mehrwert für die Sicherheitstechnik besteht in der Betrachtung der finanziellen Schäden, welche durch ein Schadensereignis verursacht werden. Im Gegensatz zu klassischen sicherheitstechnischen Risikobeurteilungen werden nicht nur die technischen bzw. operationellen Auswirkungen eines Schadensereignisses betrachtet, sondern auch der finanzielle Schaden für das betroffene Unternehmen. Diese Herangehensweise macht es möglich, die Umsetzung von sicherheitstechnischen Maßnahmen nicht nur basierend auf technischen Notwendigkeiten, sondern auch aus finanziellen Aspekten zu begründen.

2.3 Methodische Vorgehensweise

Die Herangehensweise zur Ermittlung wirtschaftlicher Auswirkungen von Schadensereignissen wird in den nachfolgenden Kapiteln dargelegt. Es werden hierbei folgende Schwerpunkte gebildet:

- Vorstellung der Risikomanagementnorm ISO 31000 sowie deren Anwendung bei der vorgestellten Methodik
- Beschreibung der Methodik zur Ermittlung und Quantifizierung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Explosionsereignissen
- Praktische Umsetzung der vorgestellten Methodik

Hierbei werden in *Kapitel 3 Stand der Entwicklung* zunächst die Methoden zur Ermittlung von finanziellen Auswirkungen vorgestellt. Außerdem erfolgt eine Übersicht der in Deutschland geltenden gesetzlichen Anforderungen zum einen hinsichtlich der Anforderungen des Explosionsschutzes, zum anderen hinsichtlich der Anforderungen des strategischen Risikomanagements.

Daraufhin werden in *Kapitel 4 Risikomanagement* die Grundbegriffe des Risikomanagements sowie die grundsätzliche Methodik des Risikomanagementsystems gemäß ISO 31000 erläutert. Darüber hinaus wird das Schadensereignis einer Explosion in das Risikoportfolio eines Unternehmens eingeordnet.

Im nachfolgenden Kapitel 5 Ermittlung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Schadensereignissen wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der wirtschaftlichen Auswirkungen anhand des Risikomanagementprozesses gemäß ISO 31000 erläutert. Daher wird dieses Kapitel in verschiedene Unterkapitel aufgeteilt. Hierbei werden im Unterkapitel 5.1 die Randbedingungen des Risikomanagementprozesses festgelegt. Im Unterkapitel 5.2 Zusammenhang- Herstellen werden die Ziele und die Ausrichtung des Risikomanagementprozesses festgelegt, die risikobestimmenden Prozesse identifiziert sowie die Risikokriterien bestimmt. Im nächsten Schritt wird in Unterkapitel 5.3 Risikobeurteilung die allgemeine Herangehensweise zur Risikobeurteilung beschrieben. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse anhand von zwei praktischen Beispielen im Kapitel 6 Praktische Umsetzung der Risikobeurteilung dargelegt. In der praktischen Umsetzung werden sowohl ein reales als auch ein hypothetisches Ereignis und ihre potenziellen finanziellen Auswirkungen betrachtet.

3 Stand der Entwicklung

Die Auswirkungen von Explosionsereignissen auf die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen wurden in der Vergangenheit in verschiedenen Untersuchungen ausgewertet. Hierbei muss betont werden, dass sich die Bewertung größtenteils auf Brände bezieht, welche u. a. durch ein Explosionsereignis verursacht werden können. Gezielte Untersuchungen, beispielsweise wie sich eine Explosion auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens auswirkt, gibt es kaum. Daher wird im Nachfolgenden zunächst auf die Auswirkung von Bränden eingegangen, da die meisten Explosionen in einen Folgebrand übergehen oder durch einen Brand ausgelöst werden können.

3.1 Auswirkungen von Schadensereignissen – aus technischer Sicht

Zwei voneinander unabhängige Studien wurden in den USA durch *Dun & Bradstreet*, einer Unternehmensberatung, und *COLT International*, einem produzierenden Unternehmen, in den 90er Jahren durchgeführt. Beide Studien belegen, dass 43 Prozent der Unternehmen, die aufgrund eines Feuer Schadens nicht mehr produzieren konnten, ihren Betrieb nicht wieder aufnehmen. In Europa wurde dieses Ergebnis durch eine Studie der *Französischen Nationalen Brandschutzbehörde* über die Chancen eines Unternehmens, einen Schaden ohne Betriebsunterbrechungsversicherung zu überstehen, bestätigt. [4] Da diese Brandereignisse auch durch ein Explosionsereignis ausgelöst werden können, werden diese Studien als Referenz herangezogen. Dies macht auch die folgende Zusammenstellung deutlich, welche sich mit den Ursachen von Brand- und Explosionsereignissen befasst. Seit 1985 wird in Deutschland durch Feuerversicherer ermittelt, was die Ursachen eines Brandereignisses waren, um den Schadensumfang von Millionenschäden zu bestimmen. Die Ergebnisse der Untersuchung für die Jahre 1986 bis 1995 werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Hauptgründe für den Schadensumfang der Millionenschäden (1986 - 1995) [33]

Gründe für Schadensumfang	Schadensaufwand [Millionen Euro]
Unzureichende Löschwasserversorgung	267
Explosion	982
Ungenügende bauliche Trennung	1.941
Bauteile aus/mit brennbaren Baustoffen oder mit unzureichender Feuerwiderstandsfähigkeit	1.656
Versagen automatischer Brandmelde- oder Löschanlagen	90
Anhäufung brennbarer oder explosionsfähiger Stoffe	3.223
Folgeschäden (durch Ruß, korrosive Gase, Verschmutzung mit giftigen oder radioaktiven Stoffen)	2.580
Späte Brandentdeckung oder späte/erschwerete Brandbekämpfung	1.391
Sonstiges / Unbekannt	1.518

Die Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass entscheidend für das Entstehen von Millionenschäden die Brandlast, Brandfolgeprodukte und unzureichender baulicher Brandschutz sind. Inwieweit unzureichende Explosionsschutzmaßnahmen Ursache für die Auswirkung des Brandes sind, wird allerdings nicht betrachtet.

Genauere Daten zu direkten wirtschaftlichen Verlusten, verursacht durch Explosionsereignisse, erhält man in Deutschland durch die Daten, die für meldepflichtige Ereignisse gemäß *Störfall-Verordnung (12. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes, 12. BImSchV)* durch die *Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA)* gesammelt werden. Entsprechend der Auswertung durch die *ZEMA* betragen die Schadenskosten, ausgelöst durch Explosionen, 8 Millionen Euro im Jahr 2006, 24 Millionen Euro im Jahr 2005 und 11 Millionen Euro im Jahr 2004. [41] Zur Höhe der Schäden, die durch nicht-meldepflichtige Ereignisse und durch die wirtschaftlichen Folgen einer Explosion, wie beispielsweise dem Ertragsausfall, entstanden sind, werden in dieser Statistik keine Angaben gemacht.

Ein Überblick der durch die *ZEMA* erfassten Schäden wird in der nachfolgenden Tabelle gegeben.

Tabelle 2: Auswertung von Störfällen aus der ZEMA-Datenbank für Schäden > 50.000 Euro (Zeitraum 2000 – 2006) [41]

Beschreibung	beteiligter Stoff	Schäden innerhalb der Anlage	Schäden außerhalb der Anlage
0611 (2006-07-03 Explosion in einer Polyethylen-Anlage)	Ethylen ca. 6000-10.000 kg	2.000.000 Euro Beschädigungen an den verfahrenstechnischen Einrichtungen und Gebäuden der Anlage	Keine Angabe
0508 (2005-04-18 Explosion eines Tanks in einer Teerdestillation mit nachfolgendem Brand)	Teeröl	1.400.000 Euro Explosions- und Brandschäden	400.000 Euro Explosionsschaden (Druckwelle)
0521 (2005-11-11 Explosion und Brand in einem Tanklager)	Ottokraftstoffe und Naphtha	3.000.000 Euro Tank und Bodenbefestigung	Keine Angabe
0524 (2005-12-10 Explosion mit Folgebrand in einer Polymerisationsanlage)	Hexan; Lösungs-/Transportmittel in der Reaktion	Totalverlust	Glasschäden an ca. 20 Fensterscheiben
0203 (2002-01-05 Explosion in einer Anlage zur Herstellung von Polystyren)	Leicht entzündliche Flüssigkeiten Pentan, 16,2 kg	100.000 Euro Schädigung mehrerer Aggregate und Gebäude	Keine Angabe
0206 (2002-02-06 Explosion mit Folgebrand an einem Rührbehälter)	Leicht entzündliche Flüssigkeiten 32 kg Toluol (auslösender Stoff), Lithiumamid Lithium C6-Acetylid	1.500.000 Euro Anlagen- und Gebäudeschäden	Keine Angabe
0208 (2002-04-22 Explosion bei der Herstellung eines Polymer-Produktes)	Brandfördernd In Brand geratener Stoff 110 kg 2,2-Di-(tert. butylperoxy) Butan, auslösender Stoff 1-Decen	500.000 Euro Brandschaden, mechanische Deformationen	Keine Angabe

Beschreibung	beteiligter Stoff	Schäden innerhalb der Anlage	Schäden außerhalb der Anlage
0225 (2002-10-29 Explosion mit Folgebrand in einer Anlage zur Herstellung von Peroxid)	Brandfördernd / in Brand geratener Stoff TAHP 800 kg; auslösender Stoff tert.-Butylhydroperoxid (TBHP)	20.000.000 Euro Schäden an Anlage- und Gebäudeteilen	Keine Angabe
0115 (2001-07-15 Explosion in einer Carbonsäure-Anlage)	Leicht entzündliche Flüssigkeiten: In Brand geratener Stoff i-Butyraldehyd 4800 kg	500.000 Euro Stahlgerüst des Reaktors, gesamtes Equipment im Fußbereich des Reaktors	Keine Angabe
0121 (2001-10-27 Explosion in einer Rückstandsverbrennungsanlage)	gesamt 3100 kg p-Chloranilin (ca. 15 Gew. %), Chlorbenzol (ca. 20 Gew. %), Toluol (ca. 35 Gew. %), p-Chlorphenol (ca. 25 Gew. %), Chlorphenylhydrazin (ca. 5 Gew. %)	2.000.000 Euro Schäden an Anlage- und Gebäudeteilen	500.000 Euro

Die Betreiber von Anlagen, die in Deutschland der Störfallverordnung unterliegen, müssen bisher die wirtschaftlichen Folgen von potenziellen Explosionsereignissen nicht ermitteln. Dies gilt auch für Betreiber von Anlagen, die nicht der Störfallverordnung unterliegen, die allerdings aufgrund ihrer Tätigkeit die Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre nicht ausschließen können. Sie unterliegen hinsichtlich des Explosionsschutzes dem *Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)* und der *Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)*. Auf Grundlage dieser Verordnung ist der Betreiber ebenfalls nicht dazu verpflichtet, die wirtschaftlichen Folgen eines Explosionsereignisses zu ermitteln.

Zusammenfassend kann man somit feststellen, dass die umfängliche Ermittlung der finanziellen Auswirkungen von Explosionsereignissen durch die in Deutschland geltenden Gesetze und Verordnungen nicht gefordert ist und daher in den meisten Fällen auch nicht durchgeführt wird.

3.2 Auswirkungen von Schadensereignissen – aus wirtschaftlicher Sicht

Das Auftreten von Schadensereignissen hat Einfluss auf das betriebliche Risikomanagement. Allerdings stehen beim betrieblichen Risikomanagement zumeist wirtschaftliche Belange im Fokus und die technischen bzw. operationellen Risiken eines möglichen Schadensereignisses, auch außerhalb der Anforderungen der Störfallverordnung, werden zumeist nicht umfänglich ermittelt und bewertet. Innerhalb des betrieblichen Risikomanagements liegt die Grundlage zur Ermittlung wirtschaftlicher Risiken in den Anforderungen von *Basel II*. Hiermit bezeichnet man die Gesamtheit der Eigenkapitalvorschriften, welche durch Aktiengesellschaften und Kreditinstitute angewendet werden muss. Die Umsetzung erfolgt in Deutschland durch das *Kreditwesengesetz (KWG)*, die *Solvabilitätsverordnung* und durch die *Mindestanforderungen an das Risikomanagement (MaRisk)*. Neben den wirtschaftlichen und finanzwirtschaftlichen Anforderungen wird durch Basel II auch eine Ermittlung und Bewertung von operationellen, also technischen Risiken gefordert. Dies wird in den *Mindestanforderungen an das Risikomanagement (MaRisk)* [32] definiert und verbindlich ausgelegt.

Im Modul *Besonderer Teil (BT)* des *MaRisk* werden spezifische Anforderungen an die Organisation bzw. die Prozesse für das Management und Controlling operationeller Risiken beschrieben. Es stellt das Risiko direkter oder indirekter Verluste infolge unzulänglicher oder ausfallender interner Verfahren, Mitarbeiter und Systeme dar. [32]

Im Dezember 2010 wurde eine vorläufige Endfassung von Basel III veröffentlicht, welche ab 2013 schrittweise in Kraft tritt. Unternehmen, die den Anforderungen von Basel II unterliegen, müssen damit auch technische Risiken, die sich negativ auf die Kreditwürdigkeit eines Unternehmens auswirken könnten, ermitteln und bewerten. Ist dieses technische Risiko eine Explosion, ist eine Ermittlung der potenziellen finanziellen Auswirkungen gesetzlich vorgeschrieben.

Abschließend kann somit festgestellt werden, dass im finanzwirtschaftlichen Bereich gesetzliche Anforderungen bestehen, die wirtschaftlichen Auswirkungen von Schadensereignissen zu ermitteln, soweit das Unternehmen den Anforderungen von Basel II bzw. Basel III unterliegt.

3.3 Methoden zur Ermittlung der wirtschaftlichen Folgen von Schadensereignissen

Im Bereich des betrieblichen Kontinuitätsmanagements (BKM) sind im Kontext des Ertragsausfalls in den letzten Jahren einige Studien erstellt worden. Eine Methodik zur Ermittlung von Ertragsausfallschäden, verursacht durch Schadensereignisse, wurde durch *Ulf Hinterscheid* [20] vorgestellt. Diese Methodik bezieht sich auf die Ermittlung des Ertragsausfalls, ausgelöst durch einen betrieblichen Vorfall, z. B. Brand oder Explosion. Das Ziel des BKM ist es sicherzustellen, dass ein Unternehmen nach einer Betriebsstörung genauso am Markt auftreten kann wie vor dem Eintritt der Störung. [20] Auf die Ermittlung des Ertragsausfalls anhand der von *Hinterscheid* vorgestellten Methodik wird bei der Ermittlung der Ertragsausfallschäden in Kapitel 5.3.2.8 eingegangen.

Eine weitere Vorgehensweise, allerdings im Kontext der Umweltrisiken, wurde durch *Adrian Bowden* [5] vorgestellt. Die so genannte RISQUE-Methode ist ein Risikomanagementprozess, welcher die Beurteilung von Umwelt- und Sozialrisiken und die Entwicklung von Risikomanagementstrategien mit Hilfe von Finanzwerten durchführt. Die RISQUE-Methode kommt bereits seit einigen Jahren, vor allem in Australien, USA und in Großbritannien, zur Anwendung. Diese Methode ist einzigartig in ihrer Anwendung technische Risiken zu quantifizieren, verbunden mit Aspekten wie gesellschaftlicher Gegenwehr, wirtschaftlichem Ansehen, rechtlicher Strafbarkeit und Umwelteinwirkungen. In diesem Zusammenhang erfolgt eine finanzielle Darstellung von Risiken, Risikoprofilen und Gewinn-Kosten-Verbindung. [5]

Darüber hinaus wurde vom *Department of Chemical Engineering der Texas A&M University, USA*, [28] eine Methodik zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen von Schadensereignissen mit Hilfe der *Value-at-Risk*-Methode vorgestellt. In der dargestellten Methodik werden mittels Kosten-Nutzen-Analyse kritische Risikoszenarien und Anlagen ermittelt und auf dieser Grundlage Maßnahmen zur Risikobegrenzung umgesetzt. Diese Herangehensweise quantifiziert die Risiken ebenfalls über eine Quantitative Risikoanalyse (QRA), monetisiert daraufhin die materiellen Risiken unter Einbeziehung der verlorenen Produktionszeit und des maximalen Portfolioverlustes mit Hilfe des *Value-at-Risk*-Ansatzes. [28] Auf die *Value-at-Risk*-Methode wird nicht eingegangen.

3.4 Ausblick

Die im Weiteren vorgestellte Herangehensweise orientiert sich sowohl an der von *Bowden [5]* vorgestellten RISQUE-Methodik als auch an der neuen international gültigen Risikomanagementnorm *ISO 31000 Risk Management — Principles and Guidelines on Implementation*, die am 15. November 2009 veröffentlicht wurde. Hierbei erfolgt in Abweichung von der RISQUE-Methode eine Anpassung an die Anforderungen der ISO 31000 sowie eine Umsetzung in einem durch die RISQUE-Methode bisher nicht betrachteten Bereich – die Untersuchung finanzieller Auswirkungen von Schadensereignissen sowie einer Kosten-Nutzen-Analyse zur Anwendung sicherheitstechnischer Maßnahmen. Die detaillierten Anforderungen der ISO 31000 werden im nachfolgenden *Kapitel 4.1 Risikomanagement nach ISO 31000* beschrieben und die Umsetzung der RISQUE-Methode im *Kapitel 5 Ermittlung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Schadensereignissen*.

4 Risikomanagement

4.1 Risikomanagement nach ISO 31000

Der Risikomanagementstandard ISO 31000 wurde im November 2009 veröffentlicht. Die Zielsetzung dieses neuen Risikomanagementstandards besteht darin, den organisatorischen Rahmen und den Prozess Risikomanagement zu harmonisieren sowie das Risikomanagement auf alle Organisationen und auf alle Arten von Risiken auszuweiten. Hierbei werden neben technischen Risiken auch Sicherheits- und Umweltrisiken sowie Geschäfts- und Finanzrisiken betrachtet. Die Zertifizierung gemäß den Anforderungen des Risikomanagementstandards ist nicht vorgesehen. Er verpflichtet sich zu einem systematischen Ansatz zur Darstellung des Risikomanagements, wobei Grundsätze (*Principles*), Rahmenbedingungen (*Framework*) und Prozesse gleichwertig im Mittelpunkt stehen. Bei dem neuen Risikomanagementstandard handelt es sich um einen Leitfaden und nicht um eine Anforderungsnorm. [7] Er enthält keine konkrete, detaillierte Handlungsanweisung, sondern schafft eine Einheitlichkeit in Begriffen und Denkweisen, Grundsätzen, Prozessen und Leitlinien. Die Besonderheit besteht darin, dass es keine nationale und damit keine enge Norm ist, sondern ein Regelwerk, das global unterstützt ist und somit eine breite Anwendung findet. [10]

Der Standard ISO 31000 ist in seiner Formulierung sehr allgemein gehalten und stellt innerhalb der nationalen Normung ein strategisches Dokument dar, welches die Harmonisierung im Risikomanagement weiterführt und die bisherige Zerteilung der technischen und wirtschaftlichen Risiken überwinden soll. Dies soll durch die folgende Herangehensweise erreicht werden:

- Gemeinsames Verständnis von Risikomanagement durch den ISO Guide 73
- Definition von Methoden zur Risikobeurteilung durch die IEC 31010 Risk Management Techniques
- Weites inhaltliches Spektrum der angesprochenen Risiken durch die Anwendbarkeit auf technische Risiken und auf Geschäftsrisiken
- Festlegung von Verfahren im Risikomanagementprozess sowie
- Integration des Risikomanagement- Frameworks in die Organisation und in ihre Führung.[7]

Ein zentraler Bestandteil der ISO 31000 ist die einheitliche Definition des Begriffes Risiko, so dass eine Anwendung auf technische und wirtschaftliche Risiken erfolgen kann. Des Weiteren wird der Risikomanagementprozess vereinheitlicht, so dass dieser für verschiedene Risikoarten anwendbar ist und einen transparenten Risikomanagementprozess garantiert. Gemäß den Anforderungen der ISO 31000 besteht der Risikomanagementprozess somit aus den folgenden Kernprozessen:

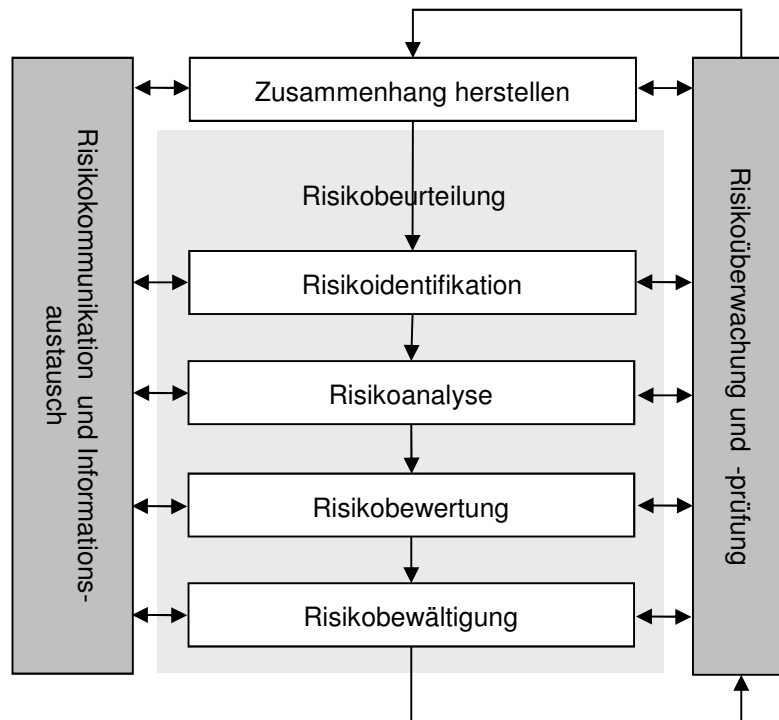


Bild 1: Risikomanagementprozess nach ISO 31000 [26]

Die im Folgenden vorgestellte Herangehensweise orientiert sich an der Risikomanagementnorm ISO 31000. Hierzu werden in den nachfolgenden Kapiteln zunächst die Grundlagen des Risikomanagementstandards (Kapitel 4) erläutert und aufbauend auf den Anforderungen der ISO 31000 die Herangehensweise zur Ermittlung finanzieller Folgen von Schadensereignissen (Kapitel 5) entwickelt. Abschließend wird in Kapitel 6 die praktische Umsetzung der ISO 31000 demonstriert.

Die Anwendung der ISO 31000 erfolgt im Nachfolgenden für das Prozessrisiko einer Explosion, daher erfolgt zunächst die Einordnung des Prozessrisikos einer Explosion in das Risikoportfolio eines Unternehmens. Zur genauen Abgrenzung wird zunächst kurz definiert, was eine Explosion ist und welche Auswirkungen diese auf das Unternehmen haben kann.

4.2 Explosionsrisiko im Kontext eines Unternehmens

Für ein Unternehmen ist eine Explosion ein seltenes Ereignis, welches beim Eintritt erhebliche Auswirkungen auf die Weiterentwicklung eines Unternehmens haben kann. Daher stellt es für das Unternehmen ein Betriebsrisiko dar, welches beurteilt - und wenn notwendig - behandelt werden muss.

4.2.1 Explosion

In der Lebensdauer eines Betriebes treten Explosionen zumeist sehr selten auf, dann allerdings mit erheblicher Auswirkung. In der Technischen Regel für Betriebssicherheit *TRBS 2152 / TRGS 720 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre* wird der Begriff Explosion folgendermaßen definiert: „Die Explosion ist eine plötzliche Oxidationsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beidem gleichzeitig“. [35] Hierbei wird zwischen zwei Explosionsarten unterschieden:

- **Deflagration** ist eine Explosion, die sich mit Unterschallgeschwindigkeit fortpflanzt.
- **Detonation** ist eine Explosion, die sich mit Überschallgeschwindigkeit fortpflanzt; sie ist gekennzeichnet durch eine Stoßwelle. [35]

Eine Explosion wird auch als eine plötzliche Entlastung von Überdruck in die Umgebung bezeichnet. Hierfür muss die Entlastung spontan genug sein, so dass die Energieentlastung als Druck oder Druckwelle wahrgenommen wird.

Ausgelöst wird eine Explosion durch physikalische oder chemische Ursachen. Zu einer Explosion kann es innerhalb eines Gebäudes oder Behälters bzw. im offenen Gelände kommen. [1]

Im Allgemeinen wird in der Fachliteratur von verschiedenen Explosionsarten gesprochen u.a.:

- Dampfwellenexplosion
- Physikalische Explosion und
- BLEVE oder Feuerball [1]

Auf die Entstehung sowie den Ablauf der oben genannten Explosionsarten wird im Weiteren nicht eingegangen, da der Schwerpunkt auf der Auswirkung einer Explosion liegt. Die Auswirkungen, unabhängig von Entstehung und Ablauf, können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Thermische Auswirkungen, z. B. Konvektion oder Wärmeübertragung
- Überdruck, z. B. Druckwelle
- Trümmerflug sowie
- Freisetzung gefährlicher Stoffe, z. B. toxische und umweltgefährliche Stoffe [1], [3]

Die Auswirkungen einer Explosion beeinflussen die Weiterführung eines Unternehmens erheblich, da es zu Schäden innerhalb der drei Elementarfaktoren - Sachwert, Personen und Ertrag - kommen kann. In der angewendeten Methodik wird in der nachfolgenden Darstellung zwischen folgenden Schadensarten unterschieden:

- Personenschaden
- Sachschaden
 - Gebäudeschaden
 - Anlagenschaden
 - Umweltschaden und
- Ertragsausfallschaden

Die Abschätzung der zu erwartenden Personen-, Sach- und Ertragsausfallschäden sowie der Größe des betroffenen Bereiches ist nur für den jeweiligen Einzelfall möglich. Daher wird zunächst das Risiko einer Explosion in das Risikoportfolio eines Unternehmens eingeordnet.

4.2.2 Unternehmensrisiken

Im Allgemeinen bezeichnet man Risiken, die auf ein Unternehmen einwirken, als Unternehmensrisiken. Das Unternehmensrisiko ist eine Kombination aus der Wahrscheinlichkeit, dass es zu dem Ereignis kommt, und der Größe der Auswirkung, die durch das Ereignis verursacht wird. Die Zusammenhänge der Unternehmensrisiken werden im nachfolgenden Bild zusammengefasst:

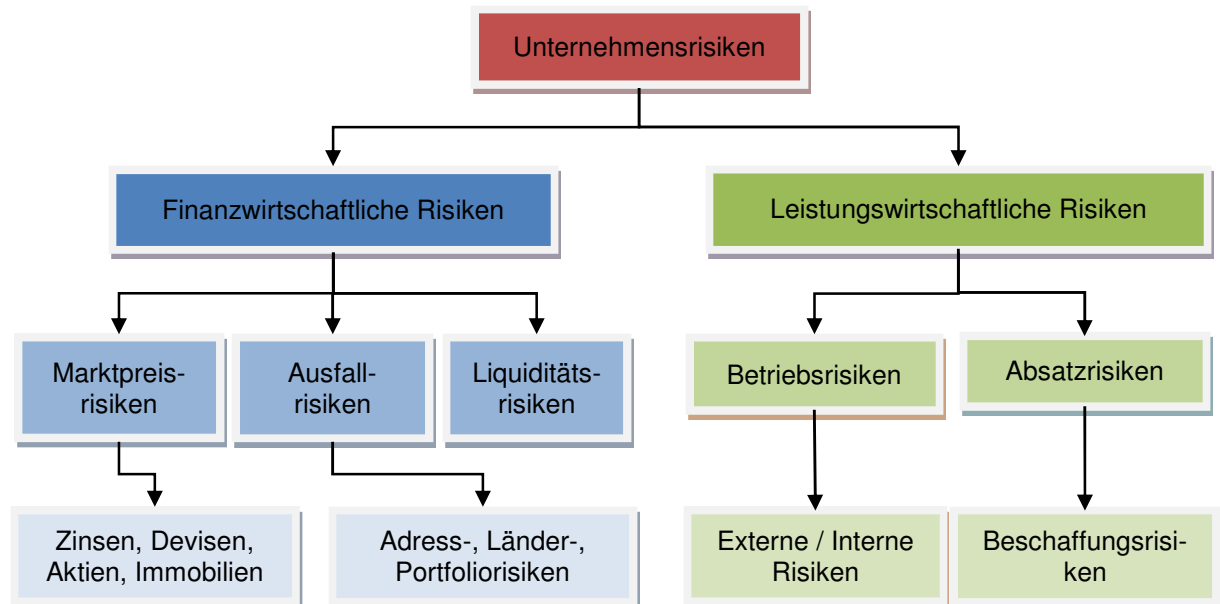


Bild 2: Zusammenstellung von Unternehmensrisiken nach Wolke [40]

Unternehmensrisiken entstehen durch das potenzielle Auftreten von Risikoereignissen. Die Ereignisse, die hierbei in Betracht kommen, haben das Potenzial, sich innerhalb der Lebensdauer eines Unternehmens zu ereignen. Hierzu gehört beispielsweise eine Explosion im Lagertank eines Tanklagers, welche innerhalb einer beispielsweise 30-jährigen Betriebsperiode nicht erwartet wird, wenn alle Sicherheitsmaßnahmen getroffen wurden, die die Wahrscheinlichkeit des Entstehens einer Explosion verringern und die Auswirkungen reduzieren. Trotzdem besteht eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit, dass es während dieses Zeitraums zu einer Explosion kommt, die ein existenzielles Risiko für das Unternehmen darstellt.

Innerhalb der Unternehmensrisiken gehört die Explosion eines Tanks zur Untergruppe der Betriebsrisiken. Diese werden als die Gefahr von Verlusten, die infolge von Unangemessenheit oder des Versagens von internen Personen, Prozessen und Systemen oder externen Ereignissen eintreten können definiert. Dies schließt rechtliche Risiken, aber keine strategischen- oder Reputationsrisiken ein. [40] Im folgenden Bild wird die entsprechende Unterteilung der Betriebsrisiken grafisch dargestellt.

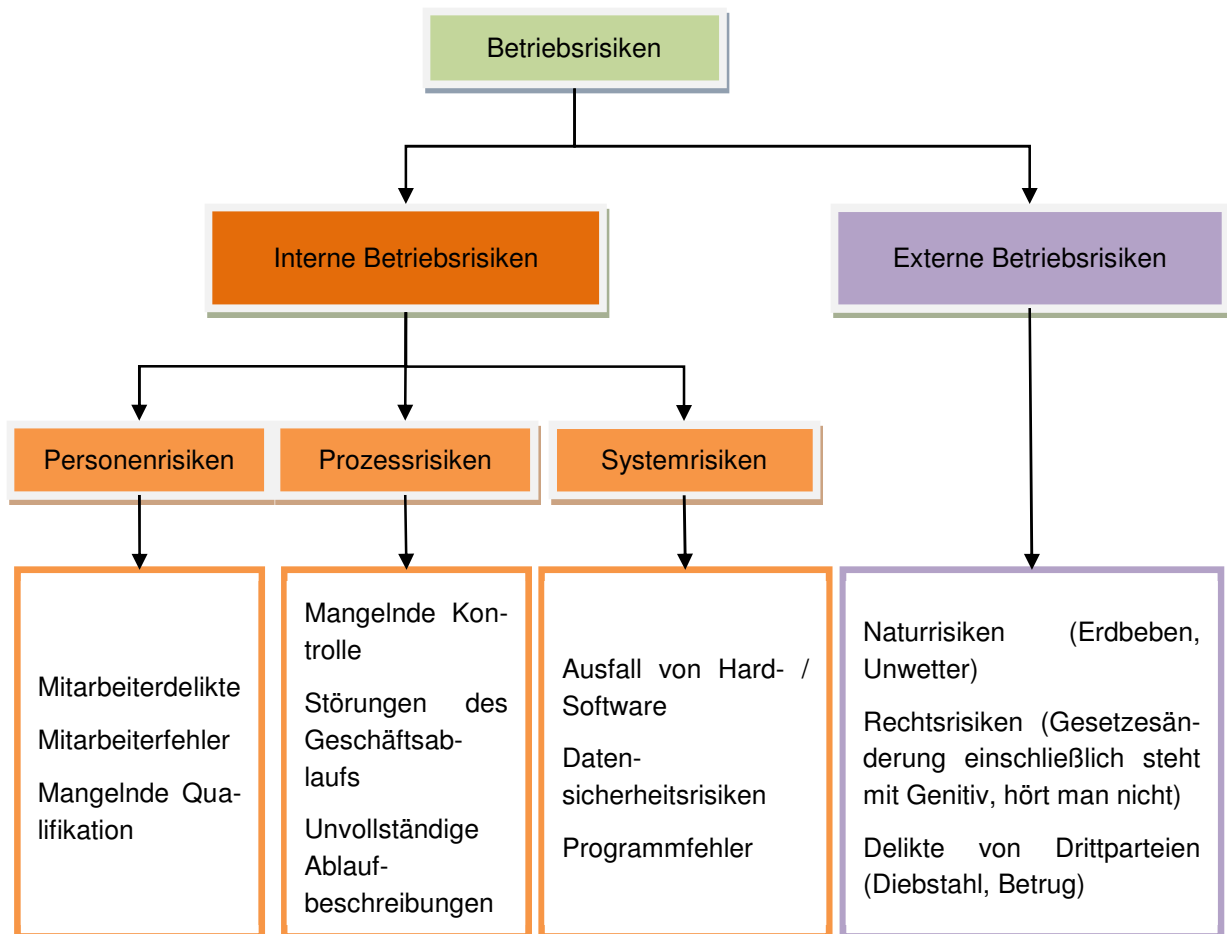


Bild 3: Gliederung von Betriebsrisiken [40]

Betriebsrisiken werden auch als operationelle bzw. operative Risiken bezeichnet. Diese Definition fokussiert auf die Ursache operationeller Risiken, welche meist in den betrieblichen Prozessen des Unternehmens liegen. Hierzu werden die Verlustquellen nach Personen, Prozessen, Systemen und externen Ereignissen gegliedert. Folglich erfolgt eine Einteilung in interne Risiken, wie das Versagen von Personen, Prozessen und Systemen und externe Risiken, beispielsweise Feuer von Nachbaranlagen oder Naturkatastrophen. Die Explosion wird den Prozessrisiken zugeordnet, da es sich im Falle einer Explosion um eine Prozessstörung handelt, die während des Normalbetriebs einer Anlage nicht auftreten sollte. Betrachtet man den Risikomanagementprozess als eine Einheit, welche das gesamte Risikoportfolio eines Unternehmens darstellen soll, ist dies nur ein Risiko von vielen Risiken, das auf das Unternehmen einwirken kann. Daher ist es notwendig, andere Risiken, wie Finanzrisiken bzw. strategische Risiken, mit gleicher Systematik zu betrachten und neben den Prozessrisiken in den Risikomanagementprozess des Unternehmens einzubetten. Die hierbei ermittelten Risiken sollten transparent nebeneinander stehen, um Prioritäten zu bilden sowie eine Vergleichbarkeit der einzelnen Unternehmensrisiken zu ermöglichen.

Zusammenfassung

Das Risiko einer Explosion gehört zur Gruppe der Betriebsrisiken, einer Untergruppe der Unternehmensrisiken, und wird in der vorliegenden Arbeit aufgrund der beschriebenen Auswirkungen zu den strategischen Risiken gezählt. Daher bietet es sich an, ein Instrument des Risikomanagements anzuwenden, um die Wirtschaftlichkeit von sicherheitstechnischen Maßnahmen zu beweisen. Mit der Veröffentlichung der Risikomanagementnorm ISO 31000 im November 2009 wurde ein Instrument vorgestellt, welches das Risikomanagement harmonisiert und einen organisatorischen Rahmen für die Durchführung und Umsetzung von Risikomanagementsystemen bietet. Die Anwendung der Norm ist sowohl für technische als auch für wirtschaftliche Risiken vorgesehen und ermöglicht so erstmals eine einheitliche Vorgehensweise zur Beurteilung dieser sehr unterschiedlichen Risikoarten. Daher wird das in der ISO 31000 vorgestellte Risikomanagementsystem genutzt, um die wirtschaftlichen Auswirkungen eines Explosionsereignisses zu beurteilen und die Investition in sicherheitstechnische Maßnahmen zu belegen.

Zur Erläuterung der Vorgehensweise erfolgt im nächsten Kapitel die Beschreibung der Methodik zur Ermittlung der wirtschaftlichen Folgen von Explosionsereignissen.

5 Ermittlung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Schadensereignissen

Die vorgestellte Methodik zur Ermittlung, Bewertung und Bewältigung der Risiken, verursacht durch ein Explosionsereignis, umfasst fünf Schritte. Der Aufbau orientiert sich an dem in der Risikomanagementnorm ISO 31000 beschriebenen Risikomanagementprozess.

Im **Schritt 1 – Zusammenhang herstellen** werden der Umfang und die Ziele des Risikomanagementprozesses festgelegt. Außerdem werden externe und interne Parameter definiert und der Umfang der Risikokriterien für das weitere Vorgehen festgelegt. Ebenso werden die Prozesse ermittelt, die während der Risikobeurteilung betrachtet werden.

Die nachfolgenden drei Schritte werden als Risikobeurteilung zusammengefasst. Begonnen wird mit dem **Schritt 2 – Risikoidentifikation**. In diesem Teilprozess der Risikobeurteilung werden die Quellen des Risikos, Ereignisse, deren Ursachen sowie mögliche Folgen für das Unternehmen ermittelt. Die Teilnehmer am Prozess der Risikobeurteilung werden festgelegt, und eine umfassende Auflistung von Risiken, hervorgerufen durch das Risikoereignis einer Explosion für den ausgewählten Prozess, wird anhand einer Ereignisablaufanalyse erstellt.

Der nächste Teilschritt der Risikobeurteilung ist der **Schritt 3 – Risikoanalyse**. In der Risikoanalyse werden für die in der Risikoidentifikation ermittelten Prozesse Eintrittswahrscheinlichkeiten und finanzielle Auswirkungen bestimmt. Hierbei kommt eine quantitative Risikoanalyse zur Anwendung. Um die Unsicherheiten, die mit der Erhebung der Daten verbunden sind, zu minimieren, werden die ermittelten finanziellen Auswirkungen zum einen in verschiedenen Vertrauensniveaus dargestellt, und zum anderen erfolgt die Anwendung der Monte-Carlo-Methode, welche mit Hilfe des Computerprogramms Crystal Ball[®] realisiert wird. Es erfolgt die Kalkulation des so genannten Risikoquotienten, dessen Auswertung sowie grafische Darstellung in Risikoprofilen bzw. einer Risikomatrix.

Die Ergebnisse der Risikoanalyse werden im **Schritt 4 – Risikobewertung** ausgewertet, um somit festzulegen, welche Maßnahmen zur Risikobewältigung und -steuerung veranlasst werden sollten.

Im letzten **Schritt 5 – Risikobewältigung und Risikosteuerung** wird die Signifikanz der ermittelten Risiken bewertet und Maßnahmen zur Risikobewältigung vorgeschlagen. Dies beinhaltet sowohl die Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Auswirkung als auch die Eliminierung bzw. Minimierung der Auswirkung. Basierend auf diesen Maßnahmen wird die Berechnung des Risikoquotienten wiederholt. Hierdurch wird überprüft, ob es durch die Maßnahmen zur Risikobewältigung zu einer Eliminierung bzw. Reduzierung des Risikos gekommen ist. Außerdem erfolgt eine Darstellung der Maßnahmen und der damit verbundenen Kosten zur Risikobewältigung und ermöglicht so die Darstellung der finanziellen Auswirkungen gegenüber den zu tätigenden Investitionen.

Anhand dieser Gegenüberstellung wird deutlich, inwieweit Maßnahmen zur Risikobewältigung umgesetzt werden können. Die kontinuierliche Risikokommunikation, der Informationsaustausch sowie eine effektive Risikoüberwachung und -steuerung rahmen diesen Prozess ein. Dieser wird in *Bild 4: Risikomanagementprozess* nochmals verdeutlicht und in den folgenden Kapiteln beschrieben.

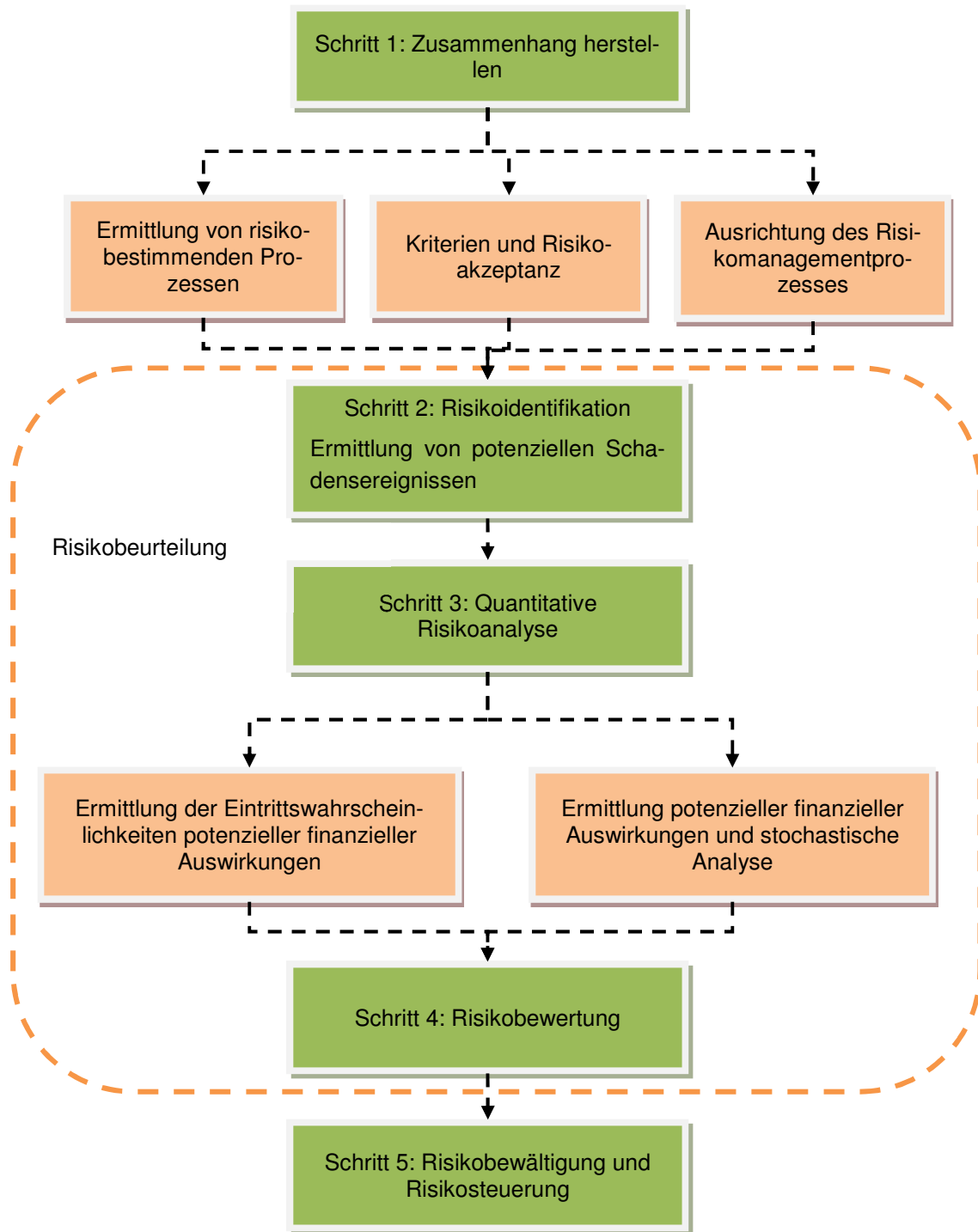


Bild 4: Risikomanagementprozess

5.1 Randbedingungen des Risikomanagementprozesses

5.1.1 Kommunikation und Rücksprache

Die ISO 31000 fordert einen kontinuierlichen Prozess, bestehend aus Kommunikation und Rücksprachen als Fundament eines guten Risikomanagementprozesses, da ohne eine effektive Kommunikation Risiken nicht effektiv bewertet und beseitigt werden. Daher wird vorgeschlagen, die Kommunikation und die Abstimmung mit externen und internen Beteiligten in allen Phasen des Risikomanagementprozesses zu etablieren und hierfür frühzeitig eine Strategie zu entwickeln. Diese Kommunikationsstrategie sollte alle Fragen in Zusammenhang mit dem Risiko, dessen Ursachen, Folgen (falls bekannt) sowie Risikobewältigungsmaßnahmen beantworten. [26]

Da die Risikokommunikation ein individueller Prozess ist und für jeden Einzelfall erstellt werden muss, wird auf den Aufbau einer Kommunikationsstrategie nicht detailliert eingegangen.

5.1.2 Risikoüberwachung und Steuerung

Eine weitere Basis des Risikomanagementprozesses gemäß ISO 31000 stellt die kontinuierliche Risikoüberwachung und -steuerung dar. Hierbei wird gefordert, dass sowohl die Überwachung als auch die Überprüfung des gesamten Prozesses sorgfältig geplant sein muss sowie regelmäßige und anlassbezogene Prüfungen und Kontrollen umfassen soll. Die Zuständigkeit für die Überwachung und Überprüfung sollte hierbei klar definiert werden und alle Aspekte des Risikomanagementprozesses beinhalten. Im Falle des Prozessrisikos einer Explosion bedeutet es, dass Ereignisse einschließlich Beinahe-Unfälle und Veränderungen analysiert und Erkenntnisse gewonnen werden, um Abweichungen einschließlich der Veränderung von Risikokriterien und des Risikos zu erkennen. Anhand dieser Erkenntnisse können eine Revision der Risikobewältigung und Prioritäten erfolgen sowie neue Risiken identifiziert werden. Die Fortschritte bei der Umsetzung der Pläne zur Risikobewältigung sind ein Gradmesser für die Wirksamkeit und die Leistung des Risikomanagementprozesses. [26]

5.2 Zusammenhang- Herstellen (Schritt 1)

5.2.1 Ermittlung der Ziele des Risikomanagementprozesses

Vor Beginn der Risikobeurteilung muss festgelegt werden, welches die Ziele und Strategien des Unternehmens sind. Externe Umstände und Anforderungen, wie beispielsweise gesetzliche Anforderungen, müssen in diesem Stadium mit einbezogen werden. Außerdem spielen die Ressourcen der Organisation, auch die finanziellen, beziehungsweise die Natur der Risiken – Grad der Unsicherheit und die Komplexität der Risiken – eine bedeutende Rolle in der Risikobeurteilung und sollten daher im Vorfeld geklärt werden. [8]

Die Ermittlung des Zusammenhangs einer Risikobeurteilung ist kritisch, da sie die Ziele und den Inhalt für die Risikobeurteilung festlegt. Daher werden im Weiteren die folgenden Teilschritte besonders betrachtet:

- Ausrichtung des Risikomanagements
- Risikokriterien und Risikoakzeptanz und
- Identifikation der risikobestimmenden Prozesse

5.2.2 Ausrichtung des Risikomanagements

Die Erwartungen und die Ausrichtung des Risikomanagements muss zunächst festgelegt werden. Hierzu gehört die Festlegung, ob das Risikomanagement strategisch (Top-Down-Ansatz) oder operativ eingreifend (Bottom-Up-Ansatz) ausgerichtet sein soll. Da diese Entscheidung maßgeblich für den Verlauf des Risikomanagementprozesses ist, muss sie in Kooperation mit dem Unternehmen vor Beginn der Risikobeurteilung getroffen werden. Die Unterschiede zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz werden in dem folgenden Bild dargestellt und den nachstehenden Kapiteln beschrieben.



Bild 5: Top-Down und Bottom-Up [6], [46]

5.2.2.1 Top-Down-Ansatz

Der Top-Down-Ansatz ist im strategischen Risikomanagement eines Unternehmens anzusetzen. Risiken werden hierbei vor allem als eine Bedrohung des gesamten Unternehmens verstanden und basieren auf Daten des gesamten Unternehmens zur Risikomessung. Der Fokus liegt auf dem Zusammenspiel aller Unternehmensrisiken und konzentriert sich auf grundsätzliche Fragen, wie beispielsweise die Strategie der Organisation. Operative und dispositive Details werden nicht betrachtet. Eine Explosion als Betriebsrisiko wird als eine Residualgröße betrachtet, d. h., dem Betriebsrisiko wird alles zugeordnet, was nicht dem Markt- und Ausfallrisiko zugeordnet werden kann. [40] Der neue Ansatz des Risikomanagementstandards ISO 31000 befasst sich mit allen möglichen Risiken einer Organisation. Es ist somit ein umfassender Top-Down-Ansatz. Hierbei sollen die einzelnen Teilgebiete durch ISO 31000 nicht etwa ersetzt, sondern gestärkt werden. Ein umfassender Führungsansatz, der sich mit den positiven und negativen Auswirkungen von Unsicherheit auf Ziele einer Organisation oder eines Unternehmens befasst, steht hierbei im Vordergrund. Allerdings fokussiert das Risikomanagement nach ISO 31000 nicht nur die strategischen Risiken (z. B. Produkte, Technologien, Märkte, Kunden und die Veränderungen der Umfeldfaktoren), es schließt auch alle nachgelagerten Risiken auf operativer und prozessualer Führungsebene ein. [6] Diese wurden bisher vor allem dem Bottom-Up-Ansatz zugeordnet.

5.2.2.2 Bottom-Up-Ansatz

Der Bottom-Up-Ansatz befasst sich mit technischen und organisatorischen Risikodetails von Systemen und Prozessen. Dieser Ansatz wird auch als dispositives Risikomanagement bezeichnet. Er erfasst und misst Betriebsrisiken an der Stelle, wo sie entstehen, und kann sich an Geschäftsfeldern, Organisationseinheiten oder betrieblichen Arbeitsabläufen orientieren. Diese Vorgehensweise ist schwieriger zu realisieren, hat aber den Vorteil, eine verursachungsgerechte Risikomessung und eine wirksame Steuerung des Betriebsrisikos zu sein. Des Weiteren ist nur durch den Bottom-Up-Ansatz sichergestellt, dass eine Zuweisung der Betriebsrisiken zu bestimmten Produkten und Dienstleistungen erfolgt. [40] Beim dispositiven Risikomanagement werden technische und organisatorische Risikodetails auf der Ebene von Leistungsprozessen erfasst. Er ist konkreter und sachbezogen.

5.2.2.3 Anwendung

Da eine Explosion aufgrund ihrer umfassenden Auswirkungen zu den strategischen Risiken gezählt werden sollte, wird der Top-Down-Ansatz angewendet. Hierdurch wird sichergestellt, dass das Risiko einer Explosion nicht nur als operative Bedrohung angesehen wird, sondern in das strategische Risikomanagement integriert wird. Dies soll durch die Anwendung der ISO 31000 und die Fokussierung auf den Top-Down-Ansatz erfolgen.

5.2.3 Identifikation von risikobestimmenden Prozessen

Die Ermittlung der zu betrachtenden Prozesse sollte in enger Zusammenarbeit mit dem betroffenen Unternehmen erfolgen. Zunächst sollte festgestellt werden, in welchen Bereichen eine Explosionsgefahr besteht und ob der Ausfall dieses Bereiches zu erheblichen Auswirkungen für das Unternehmen führen könnte. Es wird empfohlen, bei der Auswahl der zu betrachtenden Bereiche auf bereits vorhandene betriebsinterne Risikobeurteilungen zurückzugreifen. Eine gute Informationsquelle sind beispielsweise Sicherheitsanalysen oder -berichte, welche u. a. beispielsweise im Rahmen der Anforderungen der Störfallverordnung erstellt wurden und bereits mögliche Schadensszenarien, Auswirkungen sowie Eintrittswahrscheinlichkeiten enthalten können. Fällt die betrachtete Anlage nicht unter die Anforderungen der Störfallverordnung, können bestehende Gefährdungsbeurteilungen, wie das Explosionsschutzdokument nach der Betriebssicherheitsverordnung, als Grundlage für die Risikobeurteilung verwendet werden. Liegen keine Risikobeurteilungen vor, müssen die für die Risikobeurteilung notwendigen Daten in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen ermittelt werden. Eine Möglichkeit zur Ermittlung von risikobestimmenden Prozessen wurde durch Ulf Hinterscheid in *Ansätze zur Bewältigung existenzbedrohender Unternehmensrisiken, 2006*, Bergische Universität Wuppertal, vorgestellt. Hierbei wird das Unternehmen hinsichtlich seiner Prozesse analysiert und Prioritäten mittels der Pareto-Analyse gesetzt. Der Bewertungsschwerpunkt liegt hierbei bei Prozessen die 80 Prozent des Gewinns erzielen, allerdings nur 20 Prozent der Wertschöpfungskette darstellen. Da ein Ausfall dieser Prozesse eine erhebliche Auswirkung auf den Ertrag des Unternehmens hat, erfolgt eine genauere Betrachtung dieser Prozesse. [20] Zur Ermittlung der Auswirkungen einer Explosion bzw. eines Brandes ist die Durchführung einer vorgeschalteten detaillierten Konsequenz-Analyse notwendig, um potenzielle Auswirkungen abzuschätzen. Dies kann unter anderem mit Hilfe einer so genannten Szenario-Analyse erfolgen. Hierbei werden mögliche Szenarien einer Explosionsauswirkung ermittelt. In dieser Analyse werden mehrere mögliche Szenarien ausgearbeitet, hauptsächlich die negativen Szenarien. Da sich die vorgelegte Arbeit auf die Bewertung von Schadensereignissen fokussiert, wird auf die vorgestellte Methodik zur Ermittlung risikobestimmender Prozesse sowie auf die Szenario-Analyse nicht genauer eingegangen.

5.2.4 Festlegung von Risikokriterien

Um die Signifikanz des Risikos zu beurteilen, müssen Risikokriterien festgelegt werden. Die Risikokriterien sollten die Ziele, Grundsätze und Ressourcen des Unternehmens berücksichtigen. Risikokriterien können aus rechtlichen oder anderen Anforderungen, denen das Unternehmen unterliegt, ermittelt werden und sollten zu Beginn des Risikomanagementprozesses bestimmt und kontinuierlich angepasst werden.

Risikokriterien können in folgende Gruppen unterteilt werden [8]:

- **Allgemeine Leistungsfähigkeit:** Betriebsfunktionen werden für längere Zeit unterbrochen, die Leistungsfähigkeit oder der Leistungsertrag wird beeinträchtigt und die Weiterführung der Organisation wird in Frage gestellt → *Sach-, Umwelt- und Infrastrukturschäden*
- **Körperliche Integrität:** Direkte Auswirkung von Ereignissen auf die körperliche Integrität, Sicherheit und Gesundheit von Mitarbeitern und Nachbarn → *Personenschaden*
- **Werte und Ansehen:** Verlust von Ansehen und Reputation, Misstrauen von Kunden und Stakeholdern ist so groß, dass die Leistungsfähigkeit des Unternehmens betroffen ist → *Reputationsschaden*
- **Finanzverlust:** Durch Mehrkosten, Einbrechen von Umsätzen und Erlösen, neue Verpflichtungen (z. B. Haftungsklage) → *Ertragsausfall*

Diese Risikokriterien spiegeln die Risikoakzeptanz eines Unternehmens wider. Die Definition der Risikoakzeptanz eines Unternehmens stellt die Schlüsselrolle eines Risikomanagementprozesses dar. Bei der Bestimmung der Risikoakzeptanz wird oftmals von Risikoappetit bzw. Risikotoleranz gesprochen. Der Leitfaden ISO IEC CD 73 zur ISO 31000 definiert dies folgendermaßen:

- **Risikoappetit:** Vorbereitung des Unternehmens, eine bestimmte Menge und Art des Risikos zu verfolgen und anzunehmen.
- **Risikotoleranz:** Bereitschaft des Unternehmens, das Risiko nach der Risikobewältigung zu tragen, um seine Ziele zu erreichen. Die Risikotoleranz kann durch rechtliche Anforderungen limitiert werden.
- **Risikoavers:** Keine Akzeptanz von Risiken.

Der Leitfaden ISO IEC CD 73 definiert Risikoakzeptanz als „eine Entscheidung ein bestimmtes Risiko zu akzeptieren“. [27] Das Risiko kann ohne die Anwendung von Risikobewältigungsmaßnahmen oder während der Risikobewältigung akzeptiert werden. Die Ermittlung der Risikoakzeptanz ist ein Prozess und sollte kontinuierlich überprüft und überwacht werden.

Eine Aussage zur allgemeinen Risikoakzeptanz von finanziellen Auswirkungen verursacht durch Explosionsereignisse gibt es in der deutschen Gesetzgebung, beispielsweise in der Störfallverordnung oder in der Betriebssicherheitsverordnung, nicht. Im Zusammenhang mit Explosionen wird die Risikotoleranz im Normalfall bei Personen- oder Sachschäden festgesetzt. Daher sollten die Kriterien zur Ermittlung der Risikoakzeptanz von finanziellen Auswirkungen nicht mit der Risikoakzeptanz für Personenschäden verglichen oder gleichgesetzt werden.

Somit wird festgestellt, dass die Auswahl der Risikoakzeptanzkriterien für jeden Einzelfall notwendig ist. Die Darstellung des Risikos im vorgestellten Ansatz erfolgt mit Hilfe von Finanzwerten, d. h. die Darstellung der finanziellen Schäden/Auswirkungen in der jeweiligen Schadenskategorie (z. B. Personen-, Sach- und Ertragsausfallschaden), die durch das Unternehmen akzeptiert werden, bezogen auf das individuelle Explosionsereignis. Für dieses ermittelte Risiko, d. h. den finanziellen Verlust durch das eingetretene Schadensereignis, muss das zu akzeptierende Risiko festgelegt werden.

Dieser Finanzwert kann sich sowohl auf die finanzielle Auswirkung als auch auf das Risiko, welches durch die Multiplikation von Eintrittswahrscheinlichkeit und finanzieller Auswirkung ermittelt wird, beziehen. Das akzeptierte Risiko ist ein sehr individueller Wert und muss durch das Unternehmen im Einzelfall festgelegt werden. Als Orientierungsgröße wird oftmals der Selbstbehalt herangezogen, d. h. die Schadenssumme, welche aus eigenen Mitteln abgedeckt werden kann. Da dies ein kritischer Punkt im Risikomanagementprozess ist, sollte dieser Wert bereits vor der Risikobeurteilung festgelegt werden.

5.3 Risikobeurteilung

Als Risikobeurteilung bezeichnet man den gesamten Prozess, bestehend aus der Risikoidentifikation, der Risikoanalyse und der Risikobewertung. [26] In der *Risikoidentifikation (Schritt 2)* werden mit Hilfe einer Ereignisablaufanalyse potenzielle Auswirkungen des Explosionsereignisses ermittelt. Diese Daten bilden die Grundlage für die im nächsten Schritt durchzuführende Risikoanalyse. In der *Risikoanalyse (Schritt 3)* werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten für den Eintritt der potenziellen Auswirkung sowie der finanzielle Schaden durch die Auswirkungen bestimmt. Um die Unsicherheiten zu minimieren, die mit der Erhebung der Daten verbunden sind, wird die Monte-Carlo-Methode eingesetzt, welche mit Hilfe des Computerprogramms Crystal Ball[®] realisiert wird. Es erfolgt die Kalkulation des Risikos, dessen Auswertung sowie die grafische Darstellung der Ergebnisse in Risikoprofilen bzw. in einer Risikomatrix. Die Ergebnisse der Risikoanalyse werden in der *Risikobewertung (Schritt 4)* ausgewertet, um Prioritäten zur Umsetzung von Maßnahmen zur Risikobewältigung bzw. -steuerung zu setzen. Im letzten Schritt, der *Risikobewältigung und -steuerung (Schritt 5)*, wird die Signifikanz der ermittelten Risiken bewertet und Maßnahmen und Investitionen zur Risikobewältigung vorgeschlagen. Darauf basierend erfolgt eine erneute Kalkulierung der Eintrittswahrscheinlichkeit anhand der individuellen Ereignisbäume. Hierdurch wird überprüft, ob es durch die Maßnahmen zur Risikobewältigung zu einer Eliminierung bzw. Reduzierung des Risikos gekommen ist.

5.3.1 Risikoidentifikation (Schritt 2)

Die Quellen eines Risikos, relevante Einflussbereiche, Ursachen sowie mögliche Folgen für das Unternehmen werden während der Risikoidentifikation ermittelt. In dem vorgestellten Anwendungsbereich umfasst dies die Bestimmung der wirtschaftlichen Explosionsauswirkungen in den ausgewählten Schadenskategorien – Personen, Sach- und Ertragsausfallschaden. Kritisch an der umfassenden Identifikation ist, dass Risiken, die an dieser Stelle nicht erkannt werden, auch nicht in die Risikoanalyse mit einbezogen werden. Die Risikoidentifikation sollte Dominoeffekte spezieller Auswirkungen einschließlich der Kaskadeneffekte und der kumulativen Effekte mit einbeziehen. Eine umfangreiche Auswahl möglicher Auswirkungen, auch wenn die Risikoquelle oder -ursache nicht offensichtlich ist, sollte in der Risikoidentifikation mit enthalten sein. Alle wesentlichen Auswirkungen sollten im ersten Schritt der Risikoidentifikation in Betracht gezogen werden. [25]

Die Risikoidentifikation gehört zu den kritischsten Punkten im Risikomanagementprozess. Ist die Identifikation von Risiken lückenhaft oder ist die Möglichkeit Risiken zu erkennen begrenzt, besteht die Gefahr, dass diese im Risikomanagementprozess nicht erkannt oder nicht bekannt wird. Dabei ist es nicht ausreichend sich allein auf Risiken zu beschränken, die in der Vergangenheit aufgetreten sind, da auch zukünftig Risiken eintreten können, die nicht bekannt sind oder in ihrer Kombination noch nicht aufgetreten sind. Zudem gibt es Risiken, die nach Stand der Technik und der Wissenschaft objektiv noch gar nicht erkennbar sind. [7]

In der im Nachfolgenden vorgestellten Herangehensweise zur Risikoidentifikation werden zunächst die Teilnehmer am Prozess der Risikobeurteilung identifiziert und danach die Vorgehensweise zur Bestimmung der Explosionsauswirkungen mittels Ereignisablaufanalyse vorgestellt.

5.3.1.1 Teilnehmer in der Risikoidentifikation

Ein wichtiger Bestandteil der Risikoidentifikation ist die Einbeziehung aller Interessenvertreter während des gesamten Prozesses. Zur Steuerung des Risikomanagementprozesses werden verschiedene Positionen vergeben, u. a. die des Risikoanalysten, der Expertenkommission und des Unternehmensvertreters.

Der *Risikoanalyst* lenkt den Risikomanagementprozess und führt die quantitative Analyse durch. Er stellt sicher, dass Prozesse und technische Aspekte der Risikobeurteilung angemessen und korrekt sind und dass die Ergebnisse an die Unternehmensvertreter kommuniziert werden. Zugleich ist die Qualität der Information, welche für die Risikobeurteilung verwendet wird, abhängig von den Erfahrungen und dem Wissensstand des Experten sowie der Fähigkeit des Risikoanalysten.

Der *Unternehmensvertreter* stellt sicher, dass die Interessen des Unternehmens vertreten werden und der Risikoanalyst die benötigten Informationen vom Unternehmen erhält. Außerdem erhält er regelmäßige Zwischenberichte durch den Risikoanalysten und greift steuernd ein, wenn Bereiche nicht ausreichend berücksichtigt werden. Ergänzend hat er betriebsinterne Ressourcen und Informationen dem Risikoanalysten zur Verfügung zu stellen bzw. den Zugriff auf diese Informationen zu garantieren.

Die *Expertenkommission* ist das kritische Element des Prozesses. Die Stärke und der Erfolg der Risikobeurteilung sind abhängig von der Genauigkeit und der Vollständigkeit der Risikoinformation, welche die Grundlage der Risikomodellierung bildet. [5] Die Expertenkommission besteht aus Experten und Fachkräften, die das Unternehmen gut kennen und die Tragweite von potenziellen Risikoereignissen aufgrund der Standortaktivität einschätzen können. Die Einrichtung einer Expertenkommission ist entscheidend für eine quantitative Risikoanalyse, wenn Eingangsinformationen über Risikoereignisse erforderlich sind.

Mögliche Teilnehmer der Expertenkommission sind beispielsweise:

- Betriebsleitung/Produktionsleitung, da sie über genaue Kenntnisse zur Anlage und zum Prozess verfügen.
- Umwelt- und Arbeitsschutzabteilung, da sie Kenntnisse zu Explosionsrisiken, verursacht durch die betrachtete Anlage, hat.
- Betriebswirtschaftliche Abteilung, da sie den Überblick über die wirtschaftlichen Folgen eines Schadensereignisses hat.
- Ggf. Instandhaltung, da sie im Falle von Störungen an Anlagen hinzugezogen wird und die Anlagen instand setzt und wartet.
- Ggf. Personalabteilung, da sie Kenntnisse zur personellen Struktur hat und Maßnahmen zur Rekrutierung neuer Mitarbeiter koordiniert.
- Ggf. externe Berater, um eine objektive Beurteilung der Anlagen zu garantieren.

Mit Hilfe der Expertenkommission können zum einen potenzielle negative Auswirkungen und zum anderen deren Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmt werden.

5.3.1.2 Ermittlung von potenziellen Auswirkungen

Die Ermittlung der Auswirkungen eines Risiko- oder Schadensereignisses hat Einfluss auf den gesamten Risikomanagementprozess. Werden die falschen Auswirkungen ermittelt oder wird nicht sorgfältig genug vorgegangen, kann dies Folgen für die weitere Entwicklung des Risikomodells haben.

In der nachfolgenden Herleitung wird eine Methodik vorgestellt, mit der die Auswirkungen des Risikoereignisses Explosion ermittelt und ihre Signifikanz bewertet wird. Dabei wird zwischen drei Kategorien von Auswirkungen unterschieden:

- Personenschäden
- Sachschäden und
- Ertragsausfallschäden.

Im Fokus der Betrachtung steht hierbei das so genannte Worst-Case-Szenario. Dieses spiegelt auch die Herangehensweise des Top-Down-Ansatzes wider, welcher bei der Ermittlung der finanziellen Auswirkungen zur Anwendung kommt. In diesem Ansatz werden die Risikoverhältnisse einer Organisation komplex und vielschichtig betrachtet und die Risiken werden in so genannten Risikoszenarien dargestellt. Das Szenario geht von einer oder mehreren Ursachen bzw. Auslöser als Ausgangspunkt aus und entwickelt die verschiedenen Auswirkungen. Das ermittelte Szenario ist der schlimmstmögliche, aber dennoch glaubwürdigste Fall, der so genannte *credible worst case*. [7]

Die Auswirkungen des Worst-Case-Szenarios werden unter Berücksichtigung der bestehenden Möglichkeiten einer Risikobewältigung bzw. Risikominimierung betrachtet. Sind keine Möglichkeiten zur Risikominimierung oder -bewältigung vorhanden oder bekannt, wird das tatsächliche Risiko dem geschätzten Risiko der Worst-Case-Betrachtung gleichgesetzt. [19]

Eine Schlüsselrolle in der Identifikation von Risiken hat die Verwendung von Ereignisablaufanalysen. Das Grundprinzip der Ereignisablaufanalyse ist die Zerlegung von relativ komplexen Ereignissen in sich ableitende Einzelereignisse, d. h. in ihre Eintrittswahrscheinlichkeit und in ihre Auswirkung, um eine bessere Bewertungsgrundlage basierend auf vorhandene Daten und Beurteilungen zu erhalten.

Die Ereignisablaufanalyse ist eine Methode zur Risikobeurteilung, die in der *IEC 31010 Risk Management Techniques* [24] beschrieben wird. Sie ist eine Methodik, die verwendet wird, um ein System qualitativ oder quantitativ zu modellieren. Dies erfolgt durch die Identifikation von möglichen Folgen eines auslösenden Ereignisses oder Versagens und einer darauf folgenden Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit von möglichen Auswirkungen.

Der Ereignisbaum startet mit der Auswahl des auslösenden Ereignisses. In der vorgestellten Herangehensweise ist das auslösende Ereignis eine Explosion. Für jede Funktion oder jedes System wird eine „Verzweigung“ gezogen, um den Erfolg oder Misserfolg darzustellen. Funktionen oder Systeme, die vorhanden sind, um Ergebnisse zu mildern, werden in ihrer entsprechenden Reihenfolge aufgeführt. Durch die baumartige Darstellung ist es möglich, mindernde oder erschwerende Ereignisse als Reaktion auf das auslösende Ereignis darzulegen. Die einzelnen Auswirkungen werden durch die Menge der Zweige (Verzweigungen) repräsentiert.

Die Ereignisablaufanalyse kann von sehr umfangreichen bis zu relativ einfachen Ereignissen angewendet werden, da man durch eine umfangreiche Ereignisablaufanalyse ein vollständiges Bild von allen potenziellen Auswirkungen erhält, die durch ein einzelnes auslösendes Ereignis hervorgerufen werden. Darüber hinaus bieten Ereignisbäume einen zusätzlichen Nutzen für die so genannte Quantitative Risikoanalyse (QRA), da sie dabei behilflich sind, den Prozess transparent darzustellen. Daher ist es hilfreich, die grafische Darstellung des Ereignisbaums zu dokumentieren. Außerdem ist der Ereignisbaum ideal für die eindeutige Dateneingabe in das Risikomodell. [24]

Der Ereignisbaum wird während des Diskussionsprozesses in der Expertenkommission erstellt, da es meist sehr effektiv ist, wenn die Expertenkommission bei der Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Auswirkungen mit einbezogen wird. In dem nachfolgenden Bild wird eine Ereignisablaufanalyse beispielhaft dargestellt:

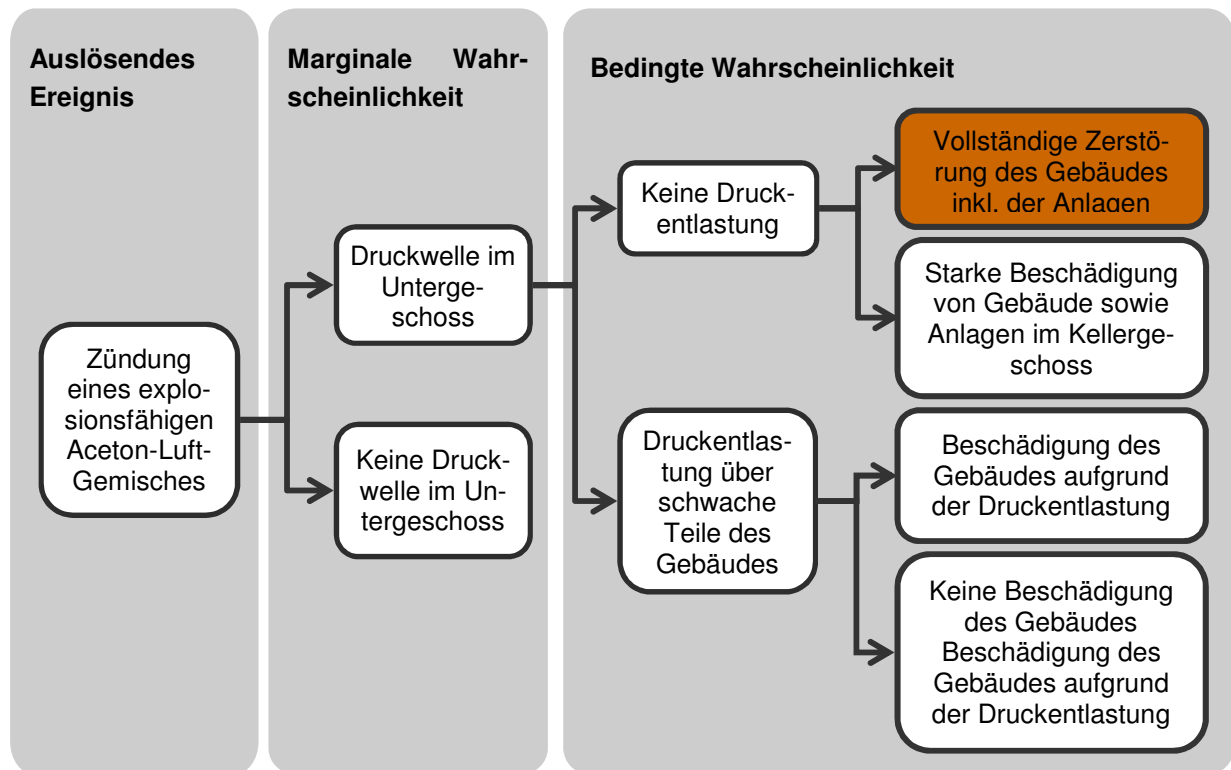


Bild 6: Ereignisablaufanalyse [24], [1]

In der vorgestellten Herangehensweise werden mittels der Ereignisablaufanalyse die Auswirkungen in den drei Schadenskategorien Sach-, Personen- und Ertragsausfallschaden ermittelt. Das Ziel ist es hierbei, mittels einer Ereignisablaufanalyse für das zu betrachtende Explosionsereignis negative finanzielle Auswirkungen in den ausgewählten Schadenskategorien zu identifizieren. Am Ende der Betrachtung erhält man eine Anzahl von Ereignisablaufanalysen, für die in der Risikoanalyse die finanziellen Auswirkungen und die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

5.3.2 Risikoanalyse (Schritt 3)

In der Risikoanalyse wird das Verständnis für das Risiko entwickelt. Die Risikoanalyse trägt zur Risikobewertung und zu der Entscheidung bei, ob eine Risikobewältigung erforderlich ist und welche Strategie und Methode am ehesten zur Auswahl geeignet ist. Außerdem ist sie dabei behilflich Entscheidungen zu treffen, wenn die Wahl zwischen verschiedenen Risikoarten und zwischen Risikosignifikanzen zu treffen ist. Die Risikoanalyse bedarf der Betrachtung von Risikoursachen und Risikoquellen, ihrer positiven und negativen Auswirkungen und der Wahrscheinlichkeit, dass diese Auswirkungen auftreten können. Außerdem müssen die Faktoren, welche die Auswirkungen und Wahrscheinlichkeiten beeinflussen, identifiziert werden. Wie Auswirkung und Wahrscheinlichkeit dargestellt und wie sie zur Ermittlung des Risikos zusammengefasst werden, sollte die Art des Risikos, die Art der zur Verfügung stehenden Informationen und den Zweck der Risikobewertung widerspiegeln und mit den festge-

legten Risikokriterien übereinstimmen. Außerdem sollte die Wechselbeziehung zwischen den verschiedenen Risiken und ihren Quellen berücksichtigt werden. [26]

Die Risikoanalyse kann in Abhängigkeit von dem Risiko, dem Zweck der durchzuführenden Analyse, den vorhandenen Informationen, den Daten und Ressourcen in einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad erstellt werden. Die Analyse kann qualitativ, quantitativ oder als Kombination erstellt werden. Die Umsetzung der qualitativen und quantitativen Risikoanalyse wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

5.3.2.1 Qualitative Risikoanalyse

Die qualitative Risikoanalyse ist eine häufig verwendete Methode, um einen allgemeinen Überblick über Risiken zu erhalten. In der qualitativen Risikoanalyse werden beschreibende Instrumente genutzt, um die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen von Risikoereignissen darzustellen. [5] Hierzu hat sich in den letzten Jahren die grafische Darstellung in Form einer Risikomatrix bewährt. Die Risikomatrix wird hierbei den Anforderungen der Risikobeurteilung angepasst.

Ein Beispiel für eine Risikomatrix ist im nachfolgenden Bild dargestellt. Die Werte in der Risikomatrix charakterisieren den Grad des Risikos. Eintrittshäufigkeit und Schadensausmaß bilden die Achsen der Matrix. Die Ermittlung umfasst beispielsweise die Charakterisierungen des Schadensausmaßes in den Kategorien - *sehr hoch, hoch, mittel, gering und keine* - und die der Eintrittshäufigkeit in den Kategorien: *häufig, gelegentlich, selten, unwahrscheinlich und nie*.

		Eintrittshäufigkeit				
		A	B	C	D	E
Schadensausmaß		häufig	gelegentlich	selten	unwahrscheinlich	praktisch unmöglich
I	keine	0	0	0	0	0
II	gering	0,2	0,2	0,2	0,2	0
III	mittel	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2
IV	hoch	0,8	0,8	0,5	0,5	0,2
V	sehr hoch	1	1	0,8	0,8	0,5

Bild 7: Risikomatrix [31]

Aus diesem Risikoprofil lässt sich eine Priorität zur Risikobewältigung ablesen (rot umrandeter Bereich). Den jeweiligen Kategorien werden spezifische Definitionen zugeordnet, da die relevanten Kriterien, nach denen eine Zuordnung stattfindet, von speziellen Gegebenheiten abhängig sind.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Analyse einfach aufgebaut und daher leicht nachvollziehbar ist. Allerdings werden Schadensausmaß und Eintrittshäufigkeit lediglich qualitativ umschrieben. Die Ergebnisse beruhen auf der Einschätzung des Expertenurteils und können subjektiv geprägt sein. Außerdem ist die Methode einfach und schnell anzuwenden, so dass Risikoereignisse, die in Betracht gezogen werden, analysiert und die Auswirkungen und die Wahrscheinlichkeiten identifiziert werden. Der Nutzer erhält ein allgemeines Verständnis, um Risikoereignisse zu vergleichen. [5]

Der Nachteil der Methode besteht darin, dass sie ungenau ist. Risikoereignisse, die in derselben Risikoklasse auftreten, können unterschiedliche Erheblichkeiten haben.

Verschiedene Risikoklassen sind schwieriger vergleichbar, da Risikoereignisse nicht auf einer allgemeinen Basis, wie Finanzverlust oder Unfall-/Todesrate, verglichen werden.

Außerdem kann der Vergleich zwischen Risikoklassen inkonsistent sein. Die Auswahl der abgeleiteten Risikoklassen ist qualitativ und wird mittels visueller Interpretation der Risikomatrix verglichen. Außerdem gibt es selten einen klaren Prozess, um Risiken basierend auf den Konsequenzen zu bewerten. [5] So ist nur eine schlechte Abgrenzung zwischen den Risikoereignissen möglich, da die Risikoprofile, welche in der Risikoanalyse erstellt werden, eine begrenzte Anzahl von Risikoklassen enthalten.

Da diese Methode zu ungenau ist, um finanzielle Auswirkungen von Schadensereignissen zu quantifizieren und darüber hinaus die Risikoereignisse schwer verglichen werden können, kommt diese Methode im Folgenden nicht im vollen Umfang zur Anwendung. Ein qualitativer Ansatz kommt in der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit zum Einsatz. Durch die Expertenkommission wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Auswirkung innerhalb des Ereignisbaums mittels qualitativ beschriebener Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmt (*siehe Kapitel 5.3.2.4*) und somit einen qualitativen Ansatz angewendet.

5.3.2.2 Quantitative Risikoanalyse

Neben der Qualitativen Risikoanalyse kommt die Quantitative Risikoanalyse (QRA) zur Anwendung. Die Quantitative Analyse schätzt realistische Werte für die Auswirkung und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit und erhebt den Wert des Risikos in einer bestimmten Einheit. [25] Der Schwerpunkt der Quantitativen Risikoanalyse (QRA) liegt bei seltenen, aber potenziell katastrophalen Ereignissen. Die Grundlage einer QRA ist die Identifikation von potenziellen Schadensereignissen, die Bewertung von Risiken durch die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit von verschiedenen Auswirkungen und die Ermittlung der Schwere möglicher Auswirkungen, verursacht durch das Schadensereignis.

Die QRA kann in allen Bereichen der Risikobeurteilung angewendet werden - von der erstmaligen Auswahl der Risikoereignisse bis hin zu einer umfangreicheren Bewertung. Durch die umfangreiche Analyse der Risiken kann ein detailliertes Risikoprofil zur Einordnung der Risiken erstellt sowie eine Ermittlung von Kosten, die durch ein Risikoereignis erzeugt werden, erfolgen. Außerdem werden grundlegende Daten zur Strukturierung von Finanzmodellen und die Grundlagen für eine Kosten-Nutzen-Analyse ermittelt. Die Vorteile und die Nachteile der QRA werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

Vorteile:

- Schnelle Durchführung, wenn erste Anzeichen für potenzielle Risiken bestehen.
- Klare Darstellung von umfassenden Risiken.
- Direkte Bestimmung der Schwere der Auswirkungen.
- Risikoereignisse können voneinander abgegrenzt und verglichen werden.
- Keine Anwendung von Begriffen zur Beschreibung von Risikoklassen.
- Komplexe Ereignisse können durch die Anwendung eines Ereignisbaums in der Ereignisablaufanalyse abgebildet werden, so dass verschiedene Auswirkungen kombiniert und einzelne Ereignisse hervorgehoben werden.
- Umfassende Bewertung von strategischen Entwicklungen, da das Ergebnis einer QRA angewendet werden kann, um eine umfangreiche Risikomanagementstrategie zu entwickeln.

- Nicht quantifizierbare Ereignisse können durch die Anwendung einer systematischen Beurteilung mit einbezogen werden. [5]

Nachteile:

- Sehr umfangreiche Risikoanalyse, da eine ausreichend zuverlässige Datenmenge benötigt wird, um ein realistisches Ergebnis zu erhalten, und so ein Potenzial für Unsicherheiten besteht.
- Die Qualität der Ausgabedaten ist nur so gut wie die Qualität der Eingabedaten.
- Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, müssen verschiedene Interessenvertreter beteiligt werden, was personelle Ressourcen bindet, die für andere Aufgaben eingesetzt werden könnten.

Die QRA bezieht beide Bestandteile einer Risikoanalyse in ihre Betrachtung mit ein, sowohl die Trennung zwischen akzeptablen und nicht akzeptablen Risiken als auch die Bereitstellung von Informationen, die für die Entwicklung einer Strategie zur Risikominimierung notwendig sind. Die quantitative Risikoanalyse wird in der ausgewählten Herangehensweise verwendet, um die finanziellen Auswirkungen eines Risikoereignisses zu quantifizieren. [5]

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt der angewendeten Risikoanalyse liegt bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Auswirkung des Schadensereignisses. In der vorgestellten Herangehensweise erfolgt die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit für die finanzielle Auswirkung einer Explosion innerhalb der drei Schadenskategorien Personen, Sache und Ertrag mittels Ereignisablaufanalyse. Die genaue Vorgehensweise wird in *Kapitel 5.3.2.4 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit* beschrieben. Zur Anwendung kommt ein kombinierter qualitativer – quantitativer Ansatz.

Die Beurteilung der Auswirkung erfolgt über die Berechnung der potenziellen finanziellen Schäden in Finanzwerten (z. B. Euro), verursacht durch das Schadensereignis. Um die Unsicherheiten, welche mit der Datenermittlung verbunden sind, zu minimieren, kommt die Monte-Carlo-Methode zum Einsatz. Die Herangehensweise zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen einer Explosion innerhalb der drei Schadenskategorien wird im *Kapitel 5.3.2.5 Ermittlung der finanziellen Auswirkungen* zusammengestellt. Zur Anwendung kommt folglich ein quantitativer Ansatz.

Der Zahlenwert, welcher als Ergebnis der Risikoanalyse ermittelt wird, ist das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und der numerischen Messung der Auswirkungen in Euro. Da es sich um eine mathematische Herleitung handelt, wird anstelle der Bezeichnung „Risiko“ das Ergebnis als „Risikoquotient“ bezeichnet. Ermittelt wird ein quantitativer Risikoquotient. [5]

Da sowohl die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die der finanziellen Auswirkungen mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind, wird im nachfolgenden Kapitel auf die Behandlung der Unsicherheiten eingegangen.

5.3.2.3 Unsicherheiten

Die Eingangsdaten, die in der Ermittlung möglicher Auswirkungen zusammengetragen und in der nachfolgenden Risikoanalyse verwendet werden, sind mit Unsicherheiten behaftet, da Prozessdaten, die eine genauere Einschätzung möglicher Konsequenzen und damit verbundener Kosten ermöglichen, zumeist nicht oder nur begrenzt vorliegen. Der Leitfaden zum Risikomanagementstandard ISO 31000 definiert Unsicherheit als einen „Zustand, auch teilweise, Mangel an Informationen im Zusammenhang mit Verständnis oder Kenntnissen über ein Ereignis, seinen Auswirkungen und seiner Eintrittswahrscheinlichkeiten“. [26] Im Allgemeinen wird zwischen Modell- und Datenunsicherheiten unterschieden. Von Modellunsicherheit wird gesprochen, wenn nicht sicher ist, ob das Modell das Realsystem unter Berücksichtigung der zu beantwortenden Fragestellung ausreichend genau beschreibt. Datenunsicherheit steht in einem direkten Zusammenhang mit der Modellierungsunsicherheit, was bedeutet, dass eine Variable im Modell nicht sicher ist. Deshalb sollte geprüft werden, ob alle Einflüsse der Variable hinreichend genau im Modell abgebildet werden oder ob auch andere Variablen berücksichtigt werden müssten. [20]

Die Gründe für Unsicherheiten sind vielfältig - hervorgerufen werden sie beispielsweise durch Wissens- und Erfahrungslücken, welche charakteristisch sind für Entscheidungen bei unvollständigen Informationen. Das betrifft vor allem die verwendeten Modelle und ihre Eingangsdaten. Während die Behandlung von Modellunsicherheiten derzeit nur ansatzweise erfolgt, behandelt man Datenunsicherheiten (z. B. die Eingangsdaten für die Auswirkungsberechnung) gewöhnlich in quantitativen Analysen. In der vorgestellten Methodik wird die Monte-Carlo-Methode angewendet, um die bestehenden Datenunsicherheiten zu minimieren, da unsichere Größen durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden. [18]

Bei Unsicherheiten unterscheidet man zwischen aleatorischen Unsicherheiten (d. h. essenzielle Unsicherheiten mit stochastischem Charakter) und epistemischen Unsicherheiten (d. h. operationelle Unsicherheiten). Epistemische Unsicherheiten lassen sich im Grundsatz beheben (z. B. durch Forschung). Aleatorische Unsicherheiten lassen sich durch eigenen Aufwand reduzieren, können aber nicht vollständig eliminiert werden. Der Übergang zwischen beiden Formen von Unsicherheiten ist fließend. [19]

5.3.2.3.1 Monte-Carlo-Methode

Die Monte-Carlo-Methode fand ihre erste Erwähnung in einer Veröffentlichung (The Monte Carlo Method) der Mathematiker J. v. Neumann und S. Ulam im Jahr 1949. Da zu dieser Zeit keine geeignete elektronische Datenverarbeitung (EDV) zur Verfügung stand, konnte die Methode nicht angewendet werden, weil die Modellierung von Zufallsgrößen ohne EDV einen großen Arbeitsaufwand bedeutete. Daher wurde die Monte-Carlo-Methode erst dann umfänglich umgesetzt, als eine entsprechende EDV zur Verfügung stand. Die Bezeichnung „Monte Carlo“ geht auf die Stadt Monte Carlo im Fürstentum Monaco zurück, welche bekannt ist für ihre Spielkasinos, in denen das einfachste mechanische Gerät zur Erzeugung von Zufallszahlen das Roulette ist. [34]

Mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode lassen sich Vorgänge modellieren und simulieren, deren Ablauf durch zufällige Faktoren beeinflusst wird. Diese Methode ist eine universell anwendbare Methode zur Lösung mathematischer Probleme und verwendet ein künstliches Modell für die Modellierung zufälliger realer Prozesse verwendet. In der Umsetzung heißt das, dass die gleiche Aufgabe mit Hilfe verschiedener Zufallsgrößen modelliert werden kann. Die Monte-Carlo-Methode ist ein stochastisches Verfahren, dessen Basis häufig durchgeführte Zufallsexperimente sind.

Die Besonderheit der Monte-Carlo-Methode ist ihre einfache Struktur und ihre Rechengenauigkeit. Durch die einfache Struktur des Algorithmus findet das Rechenprogramm Anwendung bei der Realisierung eines zufälligen Versuchs.

Der Versuch wird n-mal wiederholt, jeder der durchgeführten Versuche ist von allen übrigen Versuchen unabhängig. Die Ergebnisse der Versuche werden statistisch ausgewertet. Die Rechengenauigkeit ist proportional $\sqrt{\frac{D}{N}}$,

$$\text{keit ist proportional } \sqrt{\frac{D}{N}},$$

wobei D eine Konstante und N die Anzahl der Versuche ist. Möchte man den Fehler auf 1/10 verkleinern, so muss die Anzahl der Versuche auf ein 100-faches erhöht werden. [34]

In der Praxis wird für die jeweilige Verteilung mit einem Stichprobenumfang von $N \geq 30$ gerechnet. Da die Approximation umso schlechter ausfällt, je mehr die Wahrscheinlichkeitsverteilung von der Normalverteilung abweicht, entsteht bei der direkten Monte-Carlo-Simulation als wesentlicher Nachteil die langsame Konvergenz. [36] Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Methode werden Unsicherheiten in der Berechnung berücksichtigt, da die Eingangsdaten mittels Wahrscheinlichkeit dargestellt und die erzeugten Zufallszahlen dieser Verteilung entsprechen. [28]

Der Ausgangspunkt der Monte-Carlo-Simulation ist die Benutzung von Zufallszahlen, die auf dem Intervall [0,1] gleich verteilt sind. Die Zufallszahlen werden auf die zugrunde liegende Wahrscheinlichkeitsverteilung transformiert. [18] Die mathematische Grundlage der Monte-Carlo-Methode ist das Gesetz der großen Zahl, welches besagt, dass sich die relative Häufigkeit eines Zufallsergebnisses in der Regel der Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses annähert, wenn das zugrunde liegende Zufallsexperiment immer wieder durchgeführt wird. [21]

5.3.2.3.2 Zufallszahlen

Die Anwendung von Zufallszahlen bildet die Grundlage der Monte-Carlo-Methode, da das Kernelement dieser Methode das Zufallsexperiment ist, welches auf die Erzeugung von Zufallszahlen zurückgreift. [18] Bei den Zufallszahlen unterscheidet man im Allgemeinen zwischen diskreten und stetigen Zufallszahlen. Da im Nachfolgenden vor allem die Anwendung diskreter Zufallszahlen erfolgt, wird auf die Verwendung von stetigen Zufallszahlen nicht genau eingegangen.

Bei der diskreten Zufallszahl handelt es sich um eine Größe X, die eine diskrete Menge von Werten x_1, \dots, x_n annehmen kann. [34] Eine diskrete Zufallszahl lässt sich folgendermaßen definieren. [15]

$$X = \begin{pmatrix} x_1, x_2, \dots, x_n \\ p_1, p_2, \dots, p_n \end{pmatrix}$$

X Zielgröße

x_1, x_2, \dots, x_n mögliche Werte der Zielgröße X

p_1, p_2, \dots, p_n Wahrscheinlichkeiten der Werte der Größe X

$p_i > 0$ und

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$$

Die in der Monte-Carlo-Methode anzuwendenden Zufallszahlen werden bei der Modellierung mit Hilfe des Excel-Zusatzprogramms Crystal Ball[®] erzeugt. Die unsicheren Größen, d. h. die finanziellen Auswirkungen des Schadensereignisses, werden hierbei als Zufallsvariable dargestellt. Bevor genauer auf das Programm Crystal Ball[®] eingegangen wird, wird zunächst der Ablauf der Monte-Carlo-Simulation beschrieben.

5.3.2.3.3 Ablauf der Monte-Carlo-Simulation

Zunächst wird die Zielgröße X in Abhängigkeit von der Zufallsvariable z_n , welche die risikobehafteten Einflussgrößen beschreiben, erzeugt. Risikobehaftete Einflussgrößen sind in der vorgestellten Methodik die finanziellen Auswirkungen des Schadensereignisses, welche in *Kapitel 5.3.2.5 Ermittlung der finanziellen Auswirkungen* bestimmt werden. Sie sind die Eingangsdaten für das Zufallsexperiment.

$$X = X(z_1, z_2, \dots, z_n) \quad (\text{Gl. 1})$$

Da es sich um eine Modellierung von Finanzwerten handelt, kommt die logarithmische Normalverteilung zur Anwendung, weil sie für die finanziellen Modellierungen am zweckmäßigsten ist. [5] Die logarithmische Normalverteilung ist im Ursprung des Koordinatensystems Null, so dass die Werte ausschließlich positiv sind und nicht negativ werden können. Die logarithmische Normalverteilung deckt die meisten Kostenverteilungen ab, da sie ausschließlich positive Werte enthält und die Kosten theoretisch kein Limit haben. Daher ist sie für die Modellierung von Finanzwerten besonders geeignet. Sie hat ihren Namen daher, da sie Zufallsvariablen darstellt, die logarithmisch der Normalverteilung nachlaufen. [32]

Die logarithmische Normalverteilung ist definiert durch die Funktion [14]:

$$f(x) = \frac{1}{sz\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log_e(z) - m)^2}{2s^2}\right) \quad \text{für } 0 < x < \infty, \quad (\text{Gl. 2})$$

wobei z die Zufallsvariable, m der Mittelwert und s^2 die entsprechende Varianz ist.

Zur Durchführung der Monte-Carlo-Simulation ist nun eine Reihe von Parametern individuell einzustellen, beispielsweise die Art des Zufallsgenerators sowie die Anzahl der Testläufe bzw. das Kriterium zum Abbruch der Simulation bei Unterschreitung eines bestimmten mittleren Standardfehlers. Nach der Einstellung dieser Parameter kann mit der Monte-Carlo-Simulation begonnen werden.

Das Ergebnis ist eine Stichprobe des Umfangs n der Zufallsvariable z :

$$z^{(1)}, z^{(2)}, z^{(3)}, \dots, z^{(n)}$$

Als Ergebnis der Simulation wird die relative Häufigkeitsverteilung der Stichprobe als Histogramm dargestellt (siehe Bild 11: Ergebnis der Crystal Ball[®]-Modellierung für Gebäudeschäden), da diese zur Beschreibung einer diskreten Zufallszahl geeignet sind. Um eine Häufigkeitsverteilung zu erhalten, wird ein Zufallsexperiment n -mal unter gleichen Bedingungen durchgeführt. Das Ergebnis ist eine Stichprobe vom Umfang n . Danach wird gezählt, wie häufig jeder Wert, den die Zufallsvariable theoretisch annehmen kann, in der Stichprobe vorkommt. Sind die möglichen Werte, die die Zufallsvariable annimmt z_n , dann beschreibt die Funktion $h(z_n)$ die absolute Häufigkeitsverteilung, mit der die Werte z_i in der Stichprobe vorkommen. [32]

Die Qualität der Ergebnisse ist abhängig von der Anzahl der Simulationsläufe und der Größe der Stichprobe. Die Anzahl der Spiele wird immer weiter erhöht, bis sich die Häufigkeitsverteilung von z nicht mehr nennenswert verändert. Erzeugt wird eine diskrete Zufallszahl.

5.3.2.3.4 Risikoanalyse mit Crystal Ball®

Die Umsetzung der Monte-Carlo-Simulation kann mittels Crystal Ball® erfolgen. Crystal Ball® ist ein Software-Produkt des Unternehmens ORACLE, welches vor allem in den USA vertrieben wird, aber auch in Europa und Australien zur Anwendung kommt. Die Anwendung im Umweltbereich wurde erstmals von Adrian Bowden [5] 2001 in Australien veröffentlicht und wird seitdem weltweit für Umweltanalysen eingesetzt.

Die Software Crystal Ball® ist eine der führenden Software-Anwendungen für die Erstellung von Modellen und der Monte-Carlo-Simulation. Mit über 4.000 Kunden weltweit, darunter 85 Prozent der Fortune 500¹, wird Crystal Ball von Unternehmen aus den Sektoren Luftfahrt, Finanzdienstleistungen, Produktion, Öl und Gasindustrie sowie von Pharma- und Versorgungsunternehmen genutzt. Zum klassischen Anwendungsgebiet von Crystal Ball® gehören die finanzielle Risikoanalyse und -beurteilung, die sogenannte Six Sigma, Portfolio-Analysen, Kostenschätzung und das Projektmanagement.

5.3.2.3.4.1 Anwendungsgebiete für Monte-Carlo-Simulationen bzw. für Crystal Ball®

Die Anwendung von Crystal Ball® ist vielfältig und wird durch Bowden [5] sowie Oracle Crystal Ball® [48] beschrieben. Anschließend werden zwei ausgewählte Anwendungsbeispiele vorgestellt:

Beispiel 1: Abfallmanagementplan für eine Mine (1996 – 1999)[5]

In Papua-Neuguinea betreibt das Unternehmen *Ok Tedi Mining Limited* eine Gold- und Kupfermine am Oberlauf eines der weltweit größten Flusssysteme. Die Mine wurde 1980 eröffnet und befindet sich in einem Gebiet mit extrem starken Regenfällen, hohem Erdbebenrisiko, komplexer Geologie und einer hochkomplexen Umwelt- und Sozialstruktur in der Umgebung der Mine.

1984 zerstörte ein Erdbeben den Damm der Abraumhalde, und der Abfall der Mine wurde daraufhin im Flusssystem entsorgt. In den 90er Jahren wurde festgestellt, dass die Einleitung des Abfalls zu negativen Umwelteinwirkungen geführt hat. Um die Mine weiter betreiben zu können, musste durch den Minenbetreiber ein Abfallmanagementplan erstellt werden. Die quantitative Risikobeurteilung unter Anwendung der RISQUE-Methode war ein wichtiger Bestandteil dieses Plans.

In der Risikobeurteilung wurden fünf Szenarien zur Minderung von Umwelteinwirkungen durch Minenabfälle identifiziert. Dies umfasst die folgenden Schritte:

- Identifikation und Quantifizierung von signifikanten ingenieurtechnischen, Umwelt- und Sozial-Risikoereignissen

¹Fortune Global 500 ist eine jährlich erscheinende Zusammenstellung des US-amerikanischen Wirtschaftsmagazins Future, welche die 500 umsatzstärksten Unternehmen der Welt veröffentlicht. Hierbei handelt es sich um ausschließlich börsennotierte Unternehmen.

- Kombination der ingenieurtechnischen Risiken mit den Umwelt-/Sozialrisiken zur Ermittlung eines Gesamtrisikos
- Quantifizierung der höchsten finanziellen Auswirkung für den Betreiber der Mine
- Präsentation der Basiskosten und der totalen Risikokosten, so dass ein Vergleich der Möglichkeiten (fünf Szenarien) möglich ist.

Die Bewertung umfasste eine Vielzahl von Interviews und Workshops mit qualifizierten und erfahrenen Spezialisten. Das Ergebnis der Risikobeurteilung bestand aus leicht verständlichen Abbildungen, welche die Verbindung zwischen Basiskosten und Risikokosten sowie den Vorteil jeder Option aufzeigte. 1997 entschloss sich der Aufsichtsrat, basierend auf dem Ergebnis der Risikobeurteilung, Baggerversuche zu unternehmen, und beauftragte darüber hinaus die Erstellung einer Umwelt- und Sozialstudie. 1999 wurde die Struktur der Risikobeurteilung modifiziert, um die signifikanten Verbesserungen innerhalb der letzten zwei Jahre aufzuzeigen. Die Ergebnisse der Risikobeurteilung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Das komplizierte Verständnis zwischen der Mine, dem Flusssystem und der örtlichen Bevölkerung hat sich wesentlich verbessert.
- Es gibt einen quantitativen Unterschied zwischen den einzelnen Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich des ökologischen Vorteiles.
- Die Beurteilung sozialer Risikoereignisse ermöglicht eine bessere Unterscheidung zwischen den Optionen.
- Es verbleiben berechenbare Unsicherheiten über die ökologischen und sozialen Risiken, die Einfluss auf die Gesamtkosten der Verbesserungsmaßnahmen haben.

Der größte Gewinn durch den Einsatz der RISQUE-Methode war ein besseres Verständnis der örtlichen Gegebenheiten und der Feinheiten dieses komplexen Projektes. Eines der natürlichen Ergebnisse dieses Prozesses war die fortlaufende Verbesserung des Risikoprofils verbunden mit jeder Minderungsmaßnahme, da große Risiken identifiziert und Lösungen entwickelt wurden, um diese Risiken zu reduzieren.

- **Beispiel 2: Brückenbau Al Reem Island, Abu Dhabi [48]**

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel wird durch Oracle Crystal Ball[®] zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um ein städtebauliches Beispiel auf dem Al Reem Island. Das Al Reem Island ist eine 860 Hektar große Insel vor der Küste von Abu Dhabi Stadt, der Hauptstadt der Vereinigten Arabischen Emirate. In der Veröffentlichung wird ein städtebauliches Projekt in einem Ballungsraum zur Entwicklung von Luxus-Wohnungen, Büros, Gewerbe- und Einzelhandelsflächen vorgestellt. Die Planung umfasst den Zugang über 3 Brücken mit insgesamt 13 Fahrspuren von Abu Dhabi Stadt auf die Insel (siehe Bild 8). Die Planung ist mit Unsicherheiten verbunden in Bezug auf die zukünftige Bevölkerungs- und Mitarbeiterentwicklung, dem Prozentsatz der Wohneinheiten, welche als Ferienhäuser genutzt werden, deren Auslastung sowie die Fahrzeug-Auslastung. Die Unsicherheit besteht darin, die Anzahl der täglichen Brückenquerungen abzuschätzen und somit die Anzahl der notwendigen Fahrspuren auf der Brücke zu ermitteln. Innerhalb der Planung wurden mehrere Optionen vorgestellt und die Monte-Carlo-Simulation wurde verwendet, um die Risiken bei der Auswahl der bevorzugten Option zu identifizieren. Hierbei wurde berücksichtigt, wie viele Personen täglich aus Abu Dhabi Stadt zur Arbeit auf die Insel pendeln und ob die vorhandenen Brückkapazitäten proportional zur Bevölkerungsentwicklung ausreichend sind.



Figure 1: Location Plan of Al Reem Island



Figure 2: Proposed Masterplan of Al Reem

Bild 8: Al Reem Island; Abu Dhabi City [48]

Die Monte-Carlo-Simulation mit Crystal Ball[®] wurde durchgeführt, um die Auswirkungen der Planungsparameter in Bezug auf die Anzahl der Fahrspuren zur Brückenüberquerung auszuwerten. Hierfür wurden sieben verschiedene potenzielle Bevölkerungsentwicklungsszenarien für Al Reem Island getestet, von 250.000 bis maximal 344.000 Einwohner. Außerdem wurden fünf Planungsparameter in unterschiedlichster Verteilung angenommen und als Minimum, Maximum und Mittelwert dargestellt, u. a. Bevölkerungswachstum, Erschwinglichkeit zukünftiger Entwicklungen, Nutzung von Wohnhäusern als Ferienhäuser, Anzahl der Privat-Autos sowie die Anzahl der Schulbusse.

In der anschließenden Modellierung wurden drei Szenarien betrachtet, u. a. das 50:50-Szenario, welches besagt, dass 50 Prozent der Beschäftigten auf der Insel wohnen und 50 Prozent auf die Insel zur Arbeit pendeln. Neben dem 50:50-Szenario wurden auch das 60:40- und das 70:30-Szenario betrachtet. Um nach der Kombination die Variabilität dieser unterschiedlichen Parameter zu berücksichtigen, wurde die Monte-Carlo-Simulation durchgeführt.

Nach der Monte-Carlo-Simulation können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Bei einem Szenario von 70:30 (interner zu externer Verkehr) und einer Bevölkerungsentwicklung von 250.000 bis 344.000 sind 13 Fahrspuren ausreichend.
- Bei einem Szenario 60:40 (als wahrscheinlichstes Szenario) und einer Bevölkerungsentwicklung 250.000 bis 280.000 sind 13 Fahrspuren ausreichend; mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 Prozent sind 13 Fahrspuren nicht ausreichend.
- Bei einem Szenario von 50:50 ist es unwahrscheinlich, dass die derzeitige Gestaltung mit 13 Fahrspuren ausreichend ist. Mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von 46 Prozent bis zu 88 Prozent sind die 13 Fahrspuren nicht ausreichend.

Mit diesem Befund kann das Risiko einer Fehlplanung abgeschätzt werden und es ist möglich, eine Entscheidung in Bezug auf Brückenplanung, Bevölkerung und andere Planungen zu treffen.

5.3.2.3.4.2 Anwendung von Crystal Ball zur Ermittlung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Schadensereignissen

Die Grundlage für die Modellierung bilden die finanziellen Auswirkungen, deren Bestimmung in Kapitel 5.3.2.5 beschrieben wird. Die hierbei ermittelten Kosten werden als Wahrscheinlichkeitsfunktion dargestellt. Hierzu werden zwei Kostenschätzungen abgegeben, um die Unsicherheiten und die Spanne der potenziellen Kosten zu berücksichtigen – der beste Fall (*Best Case*) und der schlechteste Fall (*Credible Worst Case*).

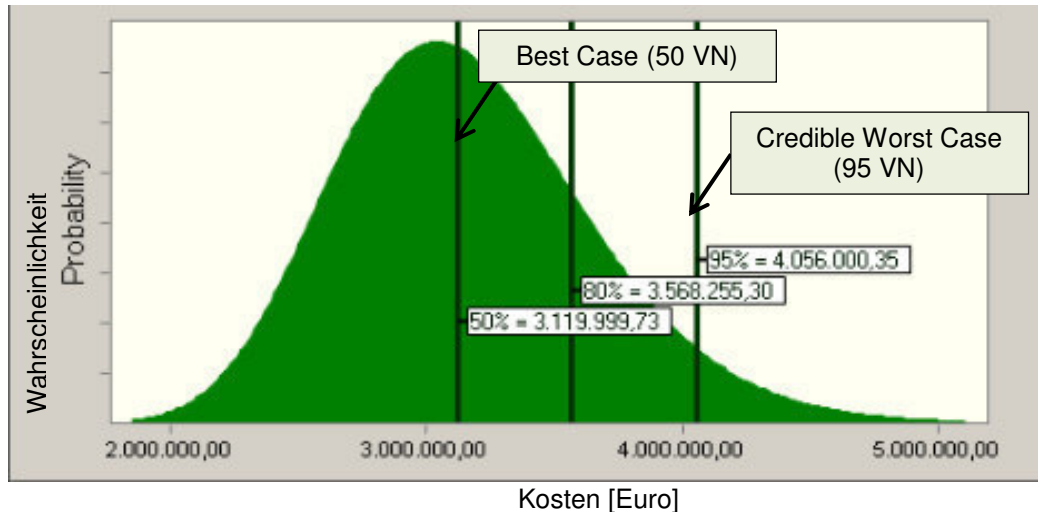


Bild 9: Best Case und Credible Worst Case am Beispiel einer Annahme (engl. Assumption) [Screenshot aus Crystal Ball Programm]

Beim besten Fall handelt es sich um die mittleren Kosten oder die am wahrscheinlichsten auftretenden Kosten. Die mittleren Kosten werden dem 50%-Vertrauensniveau (VN 50) bzw. dem 50%-Perzentil zugeordnet. Es besteht somit eine Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass die kalkulierten Kosten eintreten.

Mit der zweiten Kostenschätzung, dem schlechtesten Fall, folgt eine sehr konservative Abschätzung, da es die höchst möglichen Kosten darstellt, allerdings nicht die am höchsten denkbaren Kosten. Die konservativ geschätzten Kosten sind hoch, aber realistisch. Sie werden in 5 % der Fälle erwartet und werden als 95%-Vertrauensniveau (VN 95) bzw. 95%-Perzentil bezeichnet. Die Spanne zwischen den zwei ausgewählten Vertrauensniveaus beinhaltet Unsicherheiten, welche der kritische Eingangswert der QRA ist.

In der nachfolgenden Tabelle und dem darauffolgenden Bild wird eine Kostenermittlung inkl. der Vertrauensniveaus in Crystal Ball® beispielhaft dargestellt.

Tabelle 3: Festlegung der Daten zur Modellierung der Gebäudeschäden in Crystal Ball®

Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen			
Kostenart	VN 50	VN 95*	Einheit
Gebäude	3.000.000,00	3.900.000,00	Euro
Anlagen	20.000.000,00	36.000.000,00	Euro
	23.000.000,00	29.900.000,00	

Definition der Annahme (Define Assumption)

Definition der Prognose (Forecast)

*CL 95 werden mit der Annahme einer 20%-Erhöhung der Quantität und einer 30%-Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Jede getroffene Annahme (Englisch: *Assumption*) wird in Crystal Ball® als logarithmische Normalverteilung eingegeben und die vordefinierten Kosten als 50%- und 95%-Perzentil für die Verteilung angenommen. Mittels der vorgestellten Herangehensweise in Crystal Ball® wird für jeden entstandenen Kostenfaktor, welcher in der Ermittlung der finanziellen Auswirkungen zusammengestellt wird, eine individuelle Kostenverteilung erzeugt. Die Zwischensummen der anfallenden Kosten in der jeweiligen Schadenskategorie wird summiert und als so genannte Prognose (Englisch: *Forecast*) in Crystal Ball® dargestellt.

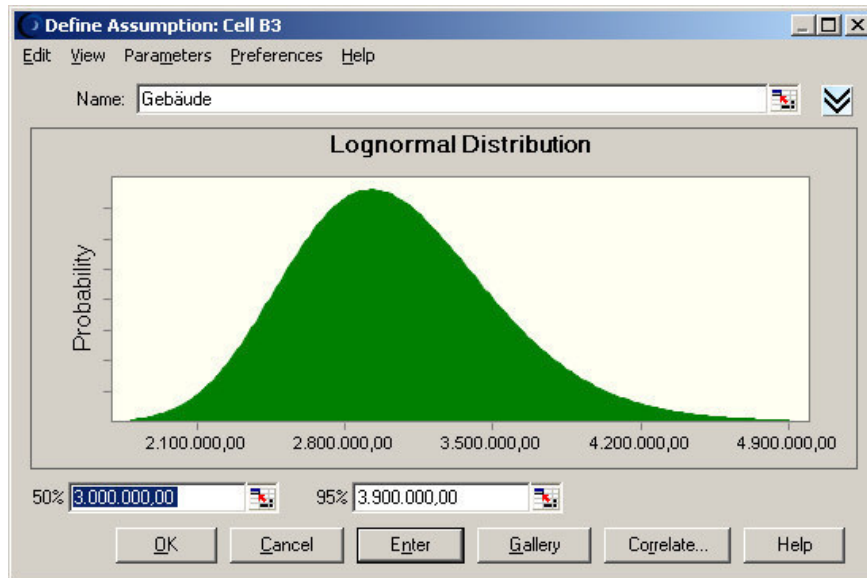


Bild 10: Darstellung der Dateneingabe für Gebäudeschäden – Kostenpunkt Gebäude – in eine logarithmische Normalverteilung in Crystal Ball®

Sind alle Modelldaten in Crystal Ball® eingegeben, die Annahmen sowie Prognosen getroffen, wird mit der Modellierung begonnen. Die Modellierung durchläuft eine vorgegebene Anzahl an Spielen, im Normalfall 1000 Spiele. Dies bedeutet, dass durch das Programm 1000 Zufallszahlen innerhalb der vergebenen Verteilung erzeugt werden und somit die Anzahl der Annahmen von zwei auf 1000 Werte erhöht wird. Um die Genauigkeit zu erhöhen, kann die Anzahl der Spiele erhöht werden. Grundsätzlich sollte so lange modelliert werden, bis keine signifikante Änderung innerhalb der Verteilung sichtbar ist. Die Wahrscheinlichkeits- („Probability“) und die Häufigkeitsverteilung („Frequency“) der berechneten Ergebnisse werden im folgenden Bild dargestellt:

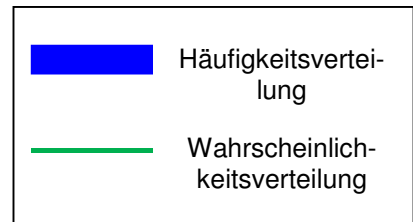
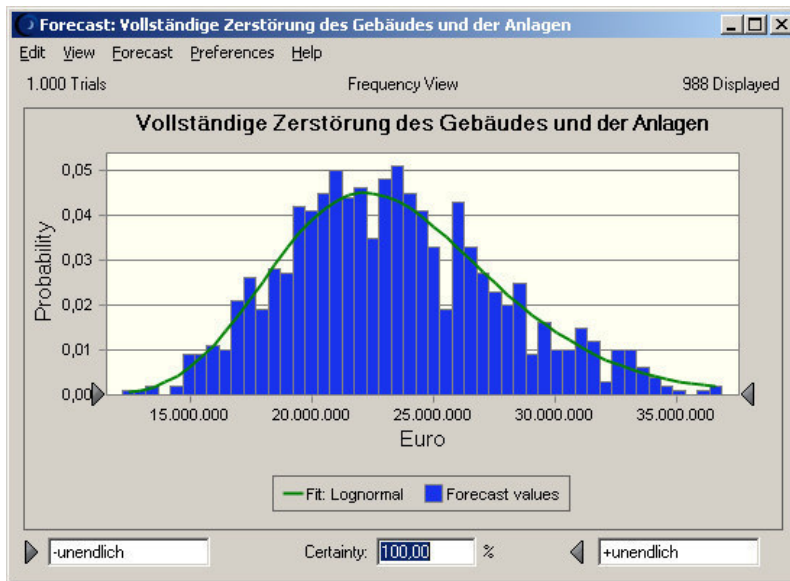


Bild 11: Ergebnis der Crystal Ball®-Modellierung für Gebäudeschäden

Die ermittelten Zufallszahlen werden durch Crystal Ball® nach der Modellierung einer spezifischen Verteilung zugeordnet, welche von der vorher definierten logarithmischen Normalverteilung abweichen kann.

Die „Passgenauigkeit“ der ermittelten Verteilung kann durch den Menüpunkt „Fit Probability Distribution“ überprüft werden. Dargestellt wird diese Funktion als grüne Linie in *Bild 11: Ergebnis der Crystal Ball®-Modellierung für Gebäudeschäden*.

Neben der Ausgabe grafischer Darstellungen bietet Crystal Ball® eine Auswahl statistischer Kennzahlen an. Sie dienen dazu, Verteilungen in knapper Form durch wenige Einzelwerte zu charakterisieren. Zu diesen statistischen Kennzahlen gehören u. a. die Anzahl der Spiele, das arithmetische Mittel, der Medianwert, die Standardabweichung und der mittlere Standardfehler. Mit dem mittleren Standardfehler kann die Genauigkeit der Simulationsergebnisse gesteuert werden, da Crystal Ball® die Option bietet die Simulation dann abzubrechen, wenn ein vorgegebener mittlerer Standardfehler unterschritten wird. [14]

Aus dem Ergebnis der Crystal Ball®-Modellierung erfolgt die Einschätzung der Risikokosten innerhalb von drei Vertrauensintervallen:

- Vertrauensniveau 50 % als optimistische Schätzung, d. h., es besteht eine 50%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Schadenssumme überschritten wird.
- Vertrauensniveau 80 % als realistische Schätzung, d. h., es besteht eine 20%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Schadenssumme überschritten wird.
- Vertrauensniveau 95 % als pessimistische bzw. konservative Schätzung, d. h., es besteht eine 5%ige Wahrscheinlichkeit, dass die Schadenssumme überschritten wird.

Diese Daten werden als Perzentil der statistischen Auswertung entnommen und zur Berechnung des Risikoquotienten genutzt. Bevor dieser berechnet werden kann, müssen zunächst die Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie die finanziellen Auswirkungen in den drei Schadenskategorien: Personen-, Sach- und Ertragsausfallschaden ermittelt werden.

Hierzu wird im nachfolgenden Kapitel zunächst die Herangehensweise zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit und nachfolgend das Vorgehen zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen beschrieben.

5.3.2.4 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Mit dem Begriff Eintrittswahrscheinlichkeit sind zwei Konzepte verbunden: die subjektive und die objektive Eintrittswahrscheinlichkeit. Bei der objektiven bzw. statistischen Herangehensweise ist eine entsprechende Datenmenge Voraussetzung, die aufgrund von Ereignissen in der Vergangenheit zusammengestellt wurde, um daraus Schlüsse in der Zukunft zu ziehen. [8]

Da die Datenbasis für die Ermittlung von Schäden, verursacht durch nicht vorhersehbare Risikoereignisse, in den meisten Fällen sehr gering bzw. nicht vorhanden ist, kommt die subjektive Herangehensweise selten zum Einsatz. Sind allerdings diese Werte für den betrachteten Prozess vorhanden, sollten sie in der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines potenziellen Schadensereignisses mit einbezogen werden. Ist dies nicht der Fall, muss die Eintrittswahrscheinlichkeit mittels der subjektiven Methode, d. h. einer Expertenschätzung, ermittelt werden. Bei der subjektiven Herangehensweise liegen keine statistisch aufbereiteten Daten vor. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist hierbei der Grad der persönlichen Überzeugung von Experten hinsichtlich des Eintritts eines Ereignisses oder einer Entwicklung. [8]

Wenn die Einschätzungen auf der Erfahrung der Expertenkommission basieren, ist es sinnvoll, einen Leitfaden (z. B. eine Tabelle) zur Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten zur Verfügung zu stellen. Da es verschiedene Tabellen gibt, anhand derer die Wahrscheinlichkeit eingeschätzt wird, sollte dieselbe Tabelle für alle Ereignisse genutzt werden. Die nachfolgende Tabelle enthält eine beispielhafte Darstellung dieser Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Tabelle 4: Beispiele für die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit [5]

Qualitative Beschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit P	Grundlage
A. sicher	1 (oder 0,999; 99,9 %)	Sicher, oder so sicher, dass es keinen Unterschied macht.
B. fast sicher	0,2 - 0,9	Ein oder mehrere Unfälle von gleicher Art sind vorgefallen.
C. höchstwahrscheinlich	0,1	Ein früherer Unfall von gleicher Art ist aufgetreten.
D. wahrscheinlich	0,01	Wäre bereits passiert, wenn man nicht eingegriffen hätte.
E. unwahrscheinlich	0,001	Anderswo vor kurzem berichtet
F. sehr unwahrscheinlich	$1 \cdot 10^{-4}$	Anderswo passiert
G. höchst unwahrscheinlich	$1 \cdot 10^{-5}$	Veröffentlichte Informationen existieren, aber in einem vollständig anderen Kontext.
H. fast unmöglich	$1 \cdot 10^{-6}$	Es gibt keine Veröffentlichungen über gleiche Vorfälle.

Eine spezielle Eintrittswahrscheinlichkeit wird jedem Ereignis zugeordnet und mit diesem die bedingte Wahrscheinlichkeit abgeschätzt. Hierbei werden die in der Risikoidentifikation erstellten Ereignisablaufanalysen verwendet (Kapitel 0). Auf diese Weise können unterschiedliche Wege vom auslösenden Ereignis modelliert werden. Beachtet werden muss, dass die Wahrscheinlichkeiten des Ereignisbaums bedingte Wahrscheinlichkeiten sind. Es handelt sich daher um die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses unter der Voraussetzung, dass ein anderes Ereignis bereits eingetreten ist.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Auswirkung wird durch das Produkt der einzelnen bedingten Wahrscheinlichkeiten im jeweiligen Zweig des Ereignisbaums berechnet.

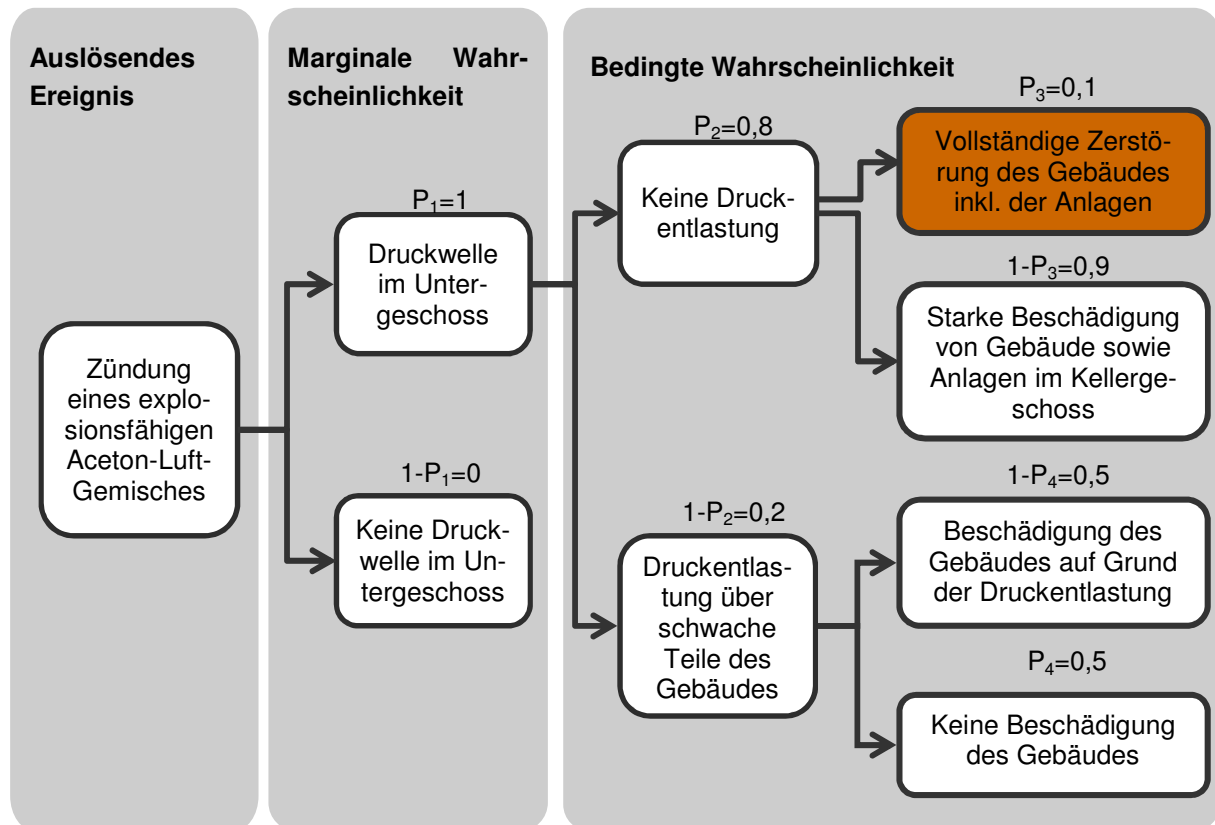


Bild 12: Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit

In der vorgestellten Herangehensweise ist das Ziel der Eintrittswahrscheinlichkeitsermittlung die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer bestimmten Auswirkung, die im Falle einer Explosion eintritt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es in jedem Fall zu einem Explosionsereignis kommt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Explosionsereignisses wird in der vorgestellten Methodik nicht ermittelt.

5.3.2.5 Ermittlung der finanziellen Auswirkungen

Basierend auf dem Ergebnis der Ereignisablaufanalyse werden für die ermittelten negativen Auswirkungen die finanziellen Schäden bestimmt. Grundsätzlich werden die Folgekosten nur ermittelt, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens $> 1 \%$ ist. Die potenziellen Kosten, verursacht in den drei Schadenskategorien, werden exemplarisch in den nächsten Kapiteln erläutert. Sollte es zu finanziellen Auswirkungen außerhalb dieser Schadenskategorien kommen, beispielsweise durch Reputationsverluste und große Datenverluste, sollten diese auch betrachtet werden.

Da Reputationsverluste nur für spezifische Fälle und bei einer ausreichenden Datenlage spezifisch beschrieben werden können, erfolgt keine Ermittlung der finanziellen Auswirkungen durch den Reputationsverlust und den resultierenden Verlust von Marktanteilen.

5.3.2.6 Personenschäden

Während einer Explosion kann es durch verschiedene Faktoren zur Verletzung bzw. Tötung von Personen kommen. Zu den schlimmsten Auswirkungen von Explosionen zählen Verletzungen und Todesfälle, entstanden durch den Explosionsdruck auf stationäre Gebäude. Verletzungen, verursacht durch eine Druckwelle, umfassen die Lungen und das Trommelfell. Des Weiteren können durch den Folgebrenn einer Explosion u. a. Bandverletzungen, Erstickungen infolge des Sauerstoffmangels oder Vergiftungen verursacht werden. Sekundäre Effekte schließen Verletzungen durch Fragmente und Bruchstücke mit ein. [13]

In der Ermittlung der finanziellen Auswirkungen durch Personenschäden werden die durchschnittlichen Kosten für den Ausfall eines Mitarbeiters mit 1000 Euro/Tag angenommen. Diese Kosten beinhalten die folgenden Positionen:

- Personalkosten
- Arbeitsplatzkosten
- Direkte Unfallkosten
- Personalmehrkosten zum Nachholen der durch den Unfall ausgefallenen Arbeitsleistung
- Kosten des Produktionsausfalls bei benachbarten bzw. nachgeschalteten Arbeitsplätzen
- Kosten der Abwicklung und Verwaltung
- Unfallbedingter Kostenanteil der Krankenversicherung
- Unfallgemeinkosten und
- Beeinflussbarer Gemeinkostenanteil der Kosten der Berufsgenossenschaft (BG) [17].

Neben den Kosten für die Ausfalltage eines Mitarbeiters werden außerdem mögliche Strafen durch die Arbeitsschutzbehörde, die Erhöhung des Beitrags zur Berufsgenossenschaft sowie die Kosten für die Unfalluntersuchung durch den Vorgesetzten bzw. die Fachkraft für Arbeitssicherheit berücksichtigt. Kommen durch die Explosion/den Brand betriebsfremde Personen zu Schaden, müssen Kompensationszahlungen für Personenschäden berücksichtigt werden.

5.3.2.7 Sachschäden

Bei der Ermittlung von Sachschäden wird zwischen folgenden Kategorien unterschieden:

- Gebäudeschäden
- Anlagenschäden und
- Umweltschäden.

Bei den ermittelten Kosten handelt es sich zum größten Teil um Kosten für die Beseitigung von Schäden und Kosten für die Rückführung in den ursprünglichen Zustand.

5.3.2.7.1 Gebäudeschäden

Eine Explosion führt zu unterschiedlichen strukturellen Belastungen, die schädliche Auswirkungen auf Gebäude und Ausrüstung haben können. Diese Auswirkungen reichen von geringen Schäden bis hin zur vollständigen Zerstörung, abhängig vom strukturellen Vermögen den Belastungen zu widerstehen. Es wird unterschieden zwischen Schäden verursacht durch äußere Einwirkungen und Schäden durch innere Einwirkungen. Der durch eine Explosionswelle ausgelöste Überdruck kann zu Schäden am Gebäude oder an benachbarten Gebäude und Anlagen führen. Hierbei ist die Überdruckdauer maßgeblich für die Bestimmung der Auswirkung auf die Gebäudestruktur. Wenn die Belastungsdauer kürzer ist als die eigentliche strukturelle Ansprechzeit, kann die Gebäudestruktur die Belastung überstehen. [13] In der nachfolgenden Tabelle werden typische Explosionseffekte auf Gebäude dargestellt:

Tabelle 5: Darstellung von Explosionseffekten auf Gebäude [13]

Explosionseffekt	Einwirkung auf die Gebäudestruktur
Druckwelle	Belastung der Gebäudestruktur durch direkten oder reflektierten Überdruck
Druckstoß	Belastung der Struktur durch die hohe Geschwindigkeit der Luftpartikel in der Druckwelle
Trümmerflug	Belastung der Gebäudestruktur durch schnell fliegendes Objekt und das Auftreffen auf die Struktur
Einwirkungen in den Untergrund	Belastungen an der Struktur, hervorgerufen durch Bewegungen im Untergrund

Die Zerstörung eines einzelnen Gebäudes durch eine Explosion ist generell vom Überdruck und der Druckwellendauer abhängig. Die Zerstörung variiert von geringer bis totaler Zerstörung [13] Die Bestimmung der Gebäudeschäden erfolgt mit Hilfe der Berechnung des TNT-Äquivalents und der Überdruckspitze der Explosion. Unter Verwendung dieser Daten kann anhand einer Zerstörungsklassifizierung eine grobe Einteilung der Gebäudeschäden erfolgen. Diese Berechnung wird in Kapitel 6 mittels der praktischen Umsetzung der Methodik dargestellt.

Eine Zerstörungsklassifizierung, welche eine breite Anwendung ermöglicht, wird durch *Stephens* [30] (1970) vorgestellt. Sie unterscheidet folgende Kategorien:

Tabelle 6: Zerstörungsklassifizierung für die Überdruckwirkung einer Explosion [30]

Zone	Zerstörungsgrad	Überdruck (kPa)
A	Totale Zerstörung	> 83
B	Starke Beschädigung	>35
C	Moderate Beschädigung	>17
D	Leichte Beschädigung	< 3,5

Neben der Druckentwicklung stellt die Wärmeübertragung eine weitere Auswirkung dar, welche erhebliche Folgen haben kann. Im Allgemeinen wird hierbei zwischen der Wärmeübertragung, die zum einen durch eine Explosion und zum anderen durch einen Folgebrand verursacht wird, unterschieden. Wie bei den Personenschäden wird auch in diesem Fall davon ausgegangen, dass es durch die Druckbelastung zu wesentlich größeren Schäden kommen kann als durch die Wärmeübertragung.

Eine detaillierte Berechnung der Wärmeübertragung, verursacht durch die Explosion, wird nicht vorgenommen, da dies nicht im Fokus der Betrachtung steht.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass es zu erheblichen Schäden durch die Wärmeübertragung kommen wird und erhebliche Brandschäden auftreten können. Hierbei wird sowohl die Beschädigung der betroffenen Anlage als auch die Verruption von Nachbarbereichen als mögliche Auswirkung angenommen.

In der Ermittlung der finanziellen Auswirkung für Gebäudeschäden werden sowohl Materialkosten (Materialkosten/Baustelleneinrichtung für Reparatur/Entsorgung) für den Wiederaufbau bzw. die Reparatur der Anlagen berücksichtigt als auch Personalkosten für Planung, Begutachtung, Bauleitung und Durchführung. Außerdem muss im Fall einer vollständigen Zerstörung der Gesamtwert des Gebäudes und der Anlagen ermittelt und die Entsorgungskosten für den Brandschutt berücksichtigt werden.

5.3.2.7.2 Anlagenschäden

Durch die Auswirkungen einer Explosion, sowohl durch die Druckwelle als auch durch die Wärmeübertragung, werden Schäden an Produktionsanlagen und unterstützenden Prozessen wie der Energieversorgung verursacht. Betrachtet werden sowohl Produktionsanlagen wie Maschinen und Anlagen als auch Infrastrukturanlagen wie die Transportvorrichtungen, Brandschutzanlagen sowie die Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen. Der Ausfall dieser Anlagen hat auch erheblichen Einfluss auf die Wiederinbetriebnahme, da sich die Wiederbeschaffung über mehrere Monate erstrecken kann und so eine zügige Wiederaufnahme der Produktionsprozesse verhindert wird. Außerdem beanspruchen der Aufbau und der Wiederbetrieb der Anlage zumeist zusätzliche Zeit und personelle Ressourcen, welche in der finanziellen Auswirkungsbetrachtung ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Neben der Zerstörung von Produktionsanlagen können durch eine Explosion Produkte, Rohstoffe und Hilfsstoffe vernichtet werden. In Abhängigkeit vom Industriesektor kann dies erhebliche finanzielle Auswirkungen für das Unternehmen haben. Es ist besonders dann kritisch, wenn beispielsweise Rohstoffe verwendet werden, die unter hohem zeitlichen und finanziellen Aufwand wiederbeschafft werden müssen oder deren Herstellung viel Zeit beansprucht.

In der Auswirkungsbetrachtung für Anlagenschäden werden sowohl der Neuwert der zerstörten oder beschädigten Anlagen als auch die Personalkosten für Planung, Begutachtung und Wiederaufbau vor Ort berücksichtigt. Im Falle einer vollständigen Zerstörung der Anlage wird der Wiederaufbau kalkuliert.

5.3.2.7.3 Umweltschäden

Während einer Explosion und dem potenziellen Folgebrand kann es durch den erzeugten Überdruck bzw. durch die Wärmeübertragung zur Umsetzung von Gefahrstoffen kommen. So können Stoffe, die im Normalzustand nicht gefährlich sind, toxische Verbrennungsprodukte entwickeln, die Umweltschäden verursachen können. Schadstoffe können sich im Boden, in der Luft und im Wasser verteilen und erhebliche Kosten für die Beseitigung verursachen.

Bei Umweltschäden unterscheidet man zwischen direkten und indirekten Schäden, hierzu gehören beispielsweise folgende Umweltschäden:

Direkte Umweltschäden:

- Brandschutt: kontaminierte Abfälle (z. B. durch den Abbruch von verbrannten Gebäudeteilen)
 - Einleitung von kontaminiertem Löschwasser und Leckagen aus zerstörten Lagerbehältern in Oberflächengewässer
 - Schäden an eigenen Gebäuden durch toxische Emissionen oder
 - Versickern von kontaminiertem Löschwasser und freigesetzten Schadstoffen in den Boden und ins Grundwasser.

Indirekte Umweltschäden:

- Schäden Dritter – Produktionsunterbrechung in benachbarten Anlagen aufgrund von toxischen Emissionen oder Verschmutzung von Gebäuden und Anlagen
- Erhöhte Entsorgungskosten durch kontaminierte Bereiche (z. B. Boden) in Nachbarbereichen
- Boden- und Grundwassersanierungen
- Verschmutzung von Gewässern und resultierende Sanierung von Gewässern, Verdienstaustausch von Fischern und Tourismus oder
- Die Abwicklung der Schäden erfordert einen relativ hohen organisatorischen Aufwand.

Aufgrund der verursachten Umweltschäden können Ansprüche durch Dritte auf Grundlage des Umwelthaftungsgesetzes oder deliktischer Handlung auf das Unternehmen zukommen. Die Kosten für die Dekontamination von Boden und Wasser erreichen schnell Millionenbeträge. Da diese Summen nur selten vollständig von der Versicherung abgedeckt werden, bleibt ein relativ hoher Selbstbehalt übrig. Außerdem kann ein Umweltschaden, verursacht durch das Unternehmen, einen Reputationsverlust nach sich ziehen und so zu nachhaltigen Umsatzrückgängen führen. [17] Dass Umweltschäden erhebliche Kosten verursachen können, ist von Schadensversicherungen nachgewiesen worden. Hierbei haben die Schadensversicherer zwei Umweltschadenschwerpunkte ausgemacht. Zum einen ist es die Landwirtschaft, beispielsweise durch Gülle-Einleitungen, die zu Gewässerschäden führen, und zum anderen sind es die resultierenden Schäden aus Feuer und Explosionen. [24]

Daher werden vor allem Umweltschäden, die durch den Brand und durch Brandrückstände verursacht werden können, prioritär betrachtet. Die Kosten für die Beseitigung von Brandschäden können anhand der Publikationen des *Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)* ermittelt werden. Beispielsweise werden in der *VdS 2357 Richtlinie zur Brandsanierung* [37] Kriterien beschrieben, anhand derer es möglich ist, die vom Brand und dessen Folgeprodukten betroffenen Bereiche auf der kalten Brandstelle in die Gefahrenbereiche (GB 0 bis GB 3) einzustufen. Als Gefahrenbereich wird hierbei ein räumlich abtrennbarer Bereich bezeichnet, der brandbedingt mit Schadstoffen kontaminiert ist. Auf der Grundlage dieser Einteilung werden durch den GDV gemäß *VdS 2357-05 Richtlinie zur Brandschadenssanierung* die in der nachfolgenden Tabelle skizzierten Maßnahmen empfohlen. [38] Basierend auf dieser Einteilung können der potenzielle Umweltschaden und resultierende Sanierungsmaßnahmen ermittelt werden.

Tabelle 7: Empfehlungen zur Brandschadenssanierung und Brandentschuttung [38]

Gefahrenbereich	Einstufung	Reinigung/ Sanierung	Entsorgung
GB 0	Kleinbrand	Reinigung ohne besondere Maßnahmen	Hausmüll
GB 1	Brand ohne gravierende Kontamination mit Gefahrstoffen (z. B. Wohnungsbrand)	Reinigung/ Sanierung mit Schutzmaßnahmen*	Entsorgungskonzept
GB 2	Brand mit gravierender Kontamination mit Gefahrstoffen (z. B. Brand in Kabeltrasse)	Sanierung mit besonderen Schutzmaßnahmen*	Entsorgungskonzept
GB 3	Brände im gewerblich-industriellen Bereich mit Beteiligung größerer Mengen von Gefahrstoffen	Sanierung mit besonderen Schutzmaßnahmen*	Entsorgungskonzept

* geregelt in Richtlinien zur Brandschadenssanierung (VdS 2357, 2007-04 (05))

Sollte es durch die Explosion und dem resultierenden Brandschaden durch die Einleitung/Versickerung von kontaminiertem Löschwasser zur Verunreinigung von Boden, Grundwasser bzw. Oberflächenwasser oder der angeschlossenen Kläranlage kommen, kann dies als Ordnungswidrigkeit mit einer Geldbuße von bis zu 50.000 Euro im Falle des Nichteinhaltens von behördlichen Auflagen und in den übrigen Fällen mit einer Geldbuße bis zu 10.000 Euro bestraft werden. [11]; [12] Außerdem muss mit erheblichen Kosten aufgrund der Sanierungsanforderungen durch die Behörde gerechnet werden bzw. mit Kosten für die Reinigung und die Wiederinbetriebnahme der Kläranlage.

In der finanziellen Auswirkungsermittlung der Umweltschäden werden neben den Entsorgungskosten für kontaminierte Brandrückstände und den zerstörten Anlagen auch die Kosten für die Entsorgung des entstandenen Löschwassers berücksichtigt. Sowohl die Brandrückstände als auch das Löschwasser werden als gefährlicher Abfall klassifiziert. Kosten für Boden- und Grundwassersanierungen können nur für den jeweiligen Einzelfall ermittelt werden, da dies abhängig ist von der Geologie und Hydrologie des betroffenen Bereiches. Die Kosten für die Reinigung bzw. Wiederinbetriebnahme der Kläranlagen sind stark abhängig von der Größe und dem Verschmutzungsgrad durch das eingeleitete Löschwasser.

5.3.2.8 Ertragsausfallschäden

Im Gegensatz zum Sachwertrisiko handelt es sich beim Ertragsausfallrisiko um eine Bedrohung der unternehmerischen Ertragskraft. Der aufgrund eines Schadensereignisses verursachte Sachwerteschaden und der darauf folgende Ertragsausfallschaden sind zwangsläufig miteinander verbunden und bedrohen in ihrem Zusammenwirken als kombinierter Schaden die wirtschaftlichen Interessen des Unternehmens. Eine der kurzfristigsten Folgen eines Schadensereignisses ist der Verlust der Lieferfähigkeit, da dieses unmittelbar zu Marktanteilverlusten führt, die in der Regel das Unternehmen nicht nur kurzfristig schädigt, sondern langfristig einen größeren betriebswirtschaftlichen Schaden als den eigentlichen Sachschaden zur Folge hat. Dies führt in einzelnen Fällen zu Vertragsstrafen oder ähnlichen Ausgleichszahlungen an die Kunden und Geschäftspartner.

Hierbei gilt: Je komplexer die Produkte und die Abhängigkeit von dem Geschäftspartner sind, umso schwerwiegender sind die Folgen für das Unternehmen. [17]

In der Regel ist der Anteil des Ertragsausfalls am Gesamtschaden größer als der Anteil des Sachschadens. Das kombinierte Risiko, bestehend aus den Faktoren Sachwertrisiko und Ertragsausfallrisiko, muss in Form einer abhängigen Verkettung interpretiert werden. Analysen in der Vergangenheit haben gezeigt, dass im Falle eines kombinierten Sachwert- und Ertragsausfallrisikos die größere Bedrohung mit dem Ertragsausfallrisiko verbunden ist. [20]

Wichtige inner- und außerbetriebliche Einflussfaktoren auf das unternehmerische Handeln hinsichtlich der Sach- und Ertragsausfallrisiken sind:

- Betriebsart
- Höhe und Verteilung des Anlagevermögens
- Verteilung der Produktionskapazität sowie der Auslastung
- Technologischer Stand und Automatisierungsgrad
- Höhe und Verteilung der Betriebsleistung
- Vernetzungsgrad
- Standort des Unternehmens mit den jeweils geltenden Gesetzen
- Marktposition des Unternehmens.

Die betriebswirtschaftlich am besten geeignete Größe zur Bewertung des Ertragsausfalls ist der Umsatz wegen seiner Mess- und Vergleichbarkeit. Er setzt sich aus fixen Kosten, variablen Kosten sowie dem Gewinn zusammen.

Direkte Kostenarten bei Schadensfall [20]:

- *Fixe Kosten* ($DB_{\text{Risiko 1}}$): Alle nicht abbaubaren Kosten fallen unabhängig von der Auswirkung immer in gleicher Höhe an und werden nach der Kalenderzeit berechnet (z. B. Personalkosten, Abschreibungen, Fremdkapitalzins, Grundgebühren und Mietkosten).
- *Gewinn* ($DB_{\text{Risiko 2}}$): Bruttogewinn von Steuern ohne sonstige Erträge
- *Variable Kosten*: Alle abbaubaren Kosten, die von der Menge der hergestellten Produkte abhängig sind (z. B. Akkordlöhne, Kosten für Rohstoffe, Lagerung von Fertigprodukten oder Material- und Transportkosten).
- *Deckungsbeitrag Ertragsausfall* (Ri_{Siko}): Bei der Berechnung des Deckungsbeitrages Ertragsausfallberechnung ist der schlimmste Fall anzunehmen. Dabei ist zu beachten, dass die fixen Kosten risikobestimmend sind. Die Höhe des Ertragsausfallrisikos entspricht dem Teil des Ertrags aus betrieblichen Leistungen, welcher während des Zeitraums einer Betriebsunterbrechung nicht erwirtschaftet werden kann, jedoch zur Deckung aller im Schadensfall nicht abbaubaren Kosten zuzüglich des Gewinns oder abzüglich des Verlustes erforderlich ist.

Nachfolgend wird der Deckungsbeitrag des Ertragsausfallrisikos (Ertrag = Umsatz ohne variable Kosten) berechnet

$$DB_{\text{Risiko}} = DB_{\text{Risiko 1}} + DB_{\text{Risiko 2}}$$

$$\text{(Deckungsbeitrag Ertragsausfallrisiko = Fixe Kosten + Gewinn)} \quad \text{(Gl. 3)}$$

Die finanziellen Auswirkungen durch den Ertragsausfall sind zum einen abhängig von der Haftzeit der Betriebsunterbrechungsversicherung und zum anderen von der Dauer der Betriebsunterbrechung.

5.3.2.9 Ermittlung der Dauer der Betriebsunterbrechung

Zur Abschätzung der maximalen Dauer einer Betriebsunterbrechung wird eine konservative Abschätzung im Rahmen des Worst-Case-Szenarios durchgeführt, welche direkt oder indirekt zu einer Produktionsunterbrechung führt. Hierbei ist der Zeitraum der Betriebsunterbrechung abhängig von möglichen Wechsel- und Rückwirkungen im Sinne des Wertschöpfungsprozesses und damit verbundenen Vertragsausfällen. Außerdem ist es wichtig, den Zeitbedarf für das Wiedererlangen der Betriebsbereitschaft, auch interne und externe Faktoren wie den Zeitbedarf für Planung, Genehmigung, Umsetzung und Problemlösung, mit einzukalkulieren. Dabei darf der Zeitraum zur Erteilung betriebswichtiger Genehmigungen nicht unterschätzt werden, da erst nach ihrer Erteilung mit der Produktion begonnen werden kann. [20]

Aus diesem Grund wird zwischen kaufmännischer und technischer Betriebsbereitschaft unterschieden. Zur kaufmännischen Betriebsbereitschaft zählt unter anderem die Beschaffung notwendiger finanzieller Mittel zur Wiederaufnahme des Betriebes, während zur technischen Betriebsbereitschaft die Bereitstellung von Produktionsanlagen, Infrastruktur, Roh- und Hilfsstoffen, die Erteilung von Betriebs- und Umweltgenehmigungen zählt.

Außerdem gibt es weitere Faktoren, die den Wiederaufbau des Betriebes erschweren können. Hierzu zählen unter anderem die folgenden Punkte:

- Polizeiliche Ermittlung, wenn Personen durch den Schaden verletzt oder getötet wurden (z. B. durch blockierte Flucht- und Rettungswege)
- Behördliche Untersuchungen beim Austritt von umweltschädlichen Substanzen (Immissionen) wegen mögliche Verstöße gegen das Umweltstrafrecht oder das Bundesimmissionsschutzgesetz, die eine Wiederinbetriebnahme auf dem bestehenden Betriebsgelände unmöglich machen können
- Reinigung des Betriebsgeländes und Entsorgung von kontaminierten Brandrückständen und von Löschwasser [4]

Bei der Ermittlung der Dauer der Betriebsunterbrechung muss außerdem die Haftzeit einer Betriebsunterbrechungsversicherung berücksichtigt werden (siehe 5.3.4.6 Risikofinanzierung).

Der Zeitraum der Betriebsunterbrechung fließt in die Berechnung des Ertragsausfalls mit ein.

5.3.2.10 Abschluss der Risikoanalyse

Wenn sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Auswirkung sowie deren finanzieller Schaden ermittelt wurde, kann der Risikoquotient ermittelt werden. Hierzu wird das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und finanzieller Auswirkung gebildet und daraufhin in der Risikobewertung ausgewertet. Dies kann folgendermaßen aussehen, dargestellt in der nachfolgenden Tabelle:

Tabelle 8: Berechnung des Risikoquotienten

Risikoidentifikation				Risikoanalyse und Risikobewertung				
P	Kategorie	kurze Beschreibung	Be-	Eintrittswahrscheinlichkeit	50 %	80 %	95 %	Risikoquotient
1	Gebäudeschaden	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	und	8 %	22.862.702	26.669.936	30.787.156	2.133.595
					*		=	

5.3.3 Risikobewertung (Schritt 4)

Das Ziel der Risikobewertung ist es, die Entscheidungsfindung, basierend auf den Ergebnissen der Risikoanalyse, zu unterstützen. Durch die Identifikation von Risiken, die ein hohes Schadenspotenzial haben, ist es möglich, Prioritäten bei der Minimierung dieser in der Risikobewältigung zu setzen. In der Risikobewertung wird die Erheblichkeit der Risiken, die während der Risikoanalyse ermittelt wurden, entsprechend den Risikokriterien bewertet. Auf der Basis dieses Vergleichs kann die Notwendigkeit der Risikobewältigung festgelegt werden. Diese Entscheidungen sollten den größeren Zusammenhang des Risikos berücksichtigen und in Übereinstimmung mit gesetzlichen, behördlichen und anderen Vorschriften getroffen werden. In einigen Fällen kann die Bewertung der Risiken zu der Entscheidung führen weitere Analysen durchzuführen. Allerdings kann die Risikobewertung auch zu der Schlussfolgerung führen, dass das Risiko nicht zu behandeln, sondern nur zu kontrollieren ist. Diese Entscheidung wird durch die Risikoeinstellung und die festgelegten Risikokriterien beeinflusst.

Risiken können auf verschiedene Arten dargestellt werden. Eine häufig angewendete Darstellungsform sind Risikoprofile oder Risikomatrizen.

5.3.3.1 Risikoprofil

Risikoprofile stellen die Beziehung zwischen Risikoereignis und die Verteilung des Risikos über das Risikoereignis dar. Sie erlauben eine Unterscheidung von Ereignissen, zunächst auf der Basis des Risikos bzw. des Risikoquotienten, danach auf der Basis der einzelnen Komponenten: Wahrscheinlichkeit und/oder Kosten. Risikoprofile können in verschiedenen Formen erstellt werden, um die Verbindung zwischen den einzelnen Risikoereignissen aufzuzeigen. Das Ordnen von Risikoereignissen ermöglicht es, die Erhöhung des Risikos darzulegen und eine grafische Darstellung zu erhalten, um somit einen Vergleich der Risiken zu ermöglichen. Geordnete Risikoprofile identifizieren klar die Beziehung, wie beispielsweise die relative Bedeutung des Risikos für jedes Ereignis, und zeigen, welches das risikoreichste bzw. risikoärmste Ereignis ist.

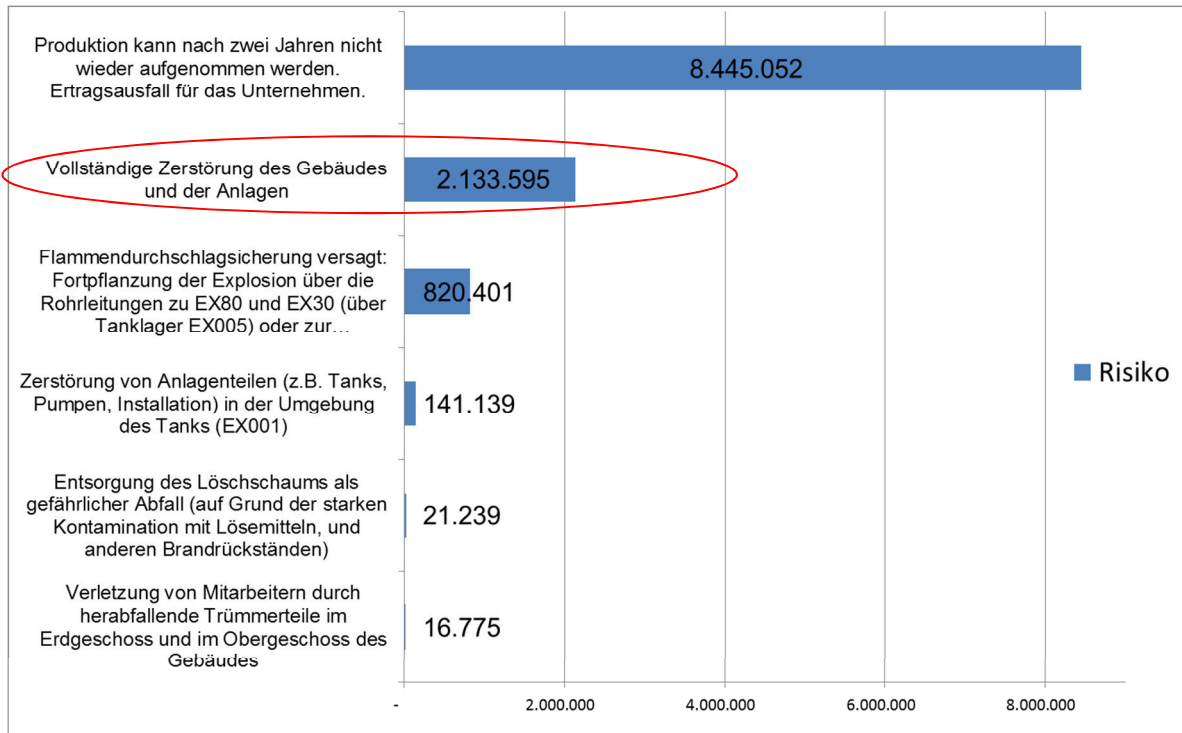


Bild 13: Beispiel für ein geordnetes Risikoprofil

Mittels geordneter Risikoprofile können Prioritäten zur Risikobewältigung und -steuerung gebildet werden. Neben dem Risikoprofil kann das Risiko auch in einer Risikomatrix dargestellt werden.

5.3.3.3 Risikomatrix

Zur besseren Veranschaulichung lassen sich die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten und die finanziellen Auswirkungen in einer Risikomatrix darstellen. Innerhalb dieser Risikomatrix gibt es verschiedene Zonen, die nach großen, mittleren und kleinen Risiken unterschieden werden. Im unten dargestellten Beispiel sind die Zonen anhand von Ampelfarben dargestellt.

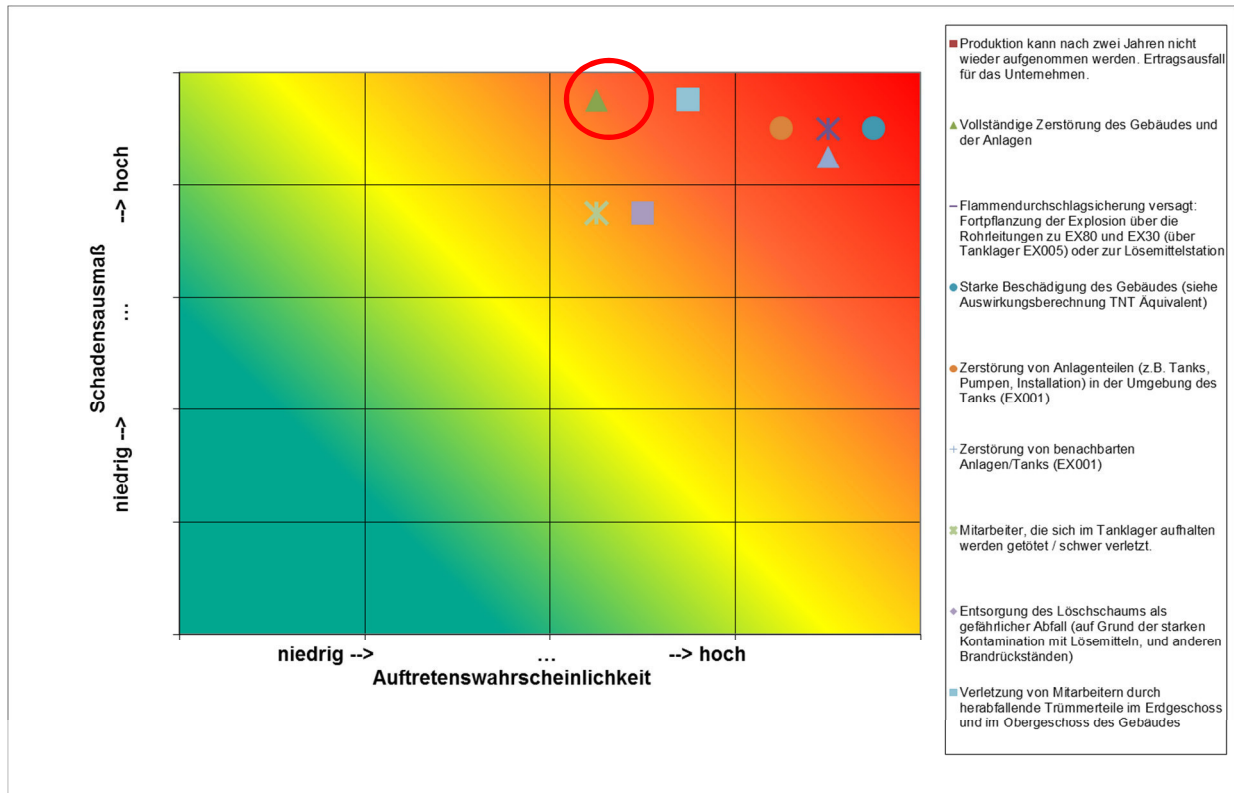


Bild 14: Risikomatrix

Das Ziel der Risikobewertung ist die transparente Darstellung von Risiken, so dass erkannt werden kann, welches Einzelrisiko in der Risikobewältigung betrachtet werden muss. Das kann anhand folgender Kriterien erfolgen:

- Auswirkungen mit einem hohen Risiko
- Auswirkungen mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit
- Auswirkungen mit einer hohen finanziellen Auswirkung
- Auswirkungen, deren Eintritt rechtliche Konsequenzen für das Unternehmen haben würde (z. B. Verursachung erheblicher Umweltschäden).

Der Schwerpunkt der Risikobewältigung und -steuerung sollte bei diesen Risiken liegen.

5.3.4 Risikobewältigung und Risikosteuerung (Schritt 5)

Die Schlüsselrolle im gesamten Risikomanagementprozess nimmt die Risikobewältigung und -steuerung ein. Diese Phase hat das Ziel, die Risikolage des Unternehmens positiv zu verändern bzw. ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Ertrag (Chance) und Verlustgefahr (Risiko) zu erreichen. Sie beinhaltet alle Mechanismen und Maßnahmen, um die Risikosituation zu beeinflussen. Dies erfolgt entweder durch eine Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder des Schadensausmaßes. [26]

In der Risikobewältigung werden eine oder mehrere Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos und die Umsetzung dieser Maßnahmen vorgestellt. Da die Risikobewältigung ein zyklischer Prozess ist, beinhaltet sie die folgenden Elemente:

- Auswahl der zu bewältigenden Risiken
- Entwicklung eines Maßnahmenplans zur Bewältigung des Risikos
- Entscheidung, ob das Restrisiko tolerierbar ist
- Wenn es nicht tolerierbar ist, erfolgt eine neue Risikobewältigung und
- Bewertung der Wirksamkeit dieser Risikobewältigung [26]

Die Möglichkeiten zur Risikobewältigung können folgendermaßen aussehen:

- Risiko vermeiden, indem man Tätigkeiten, die das Risiko erzeugen, nicht beginnt bzw. nicht fortsetzt
- Beseitigung der Risikoquelle
- Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- Veränderung der Auswirkungen
- Teilung des Risikos mit einer anderen Partei oder Parteien (einschließlich der Verträge und Risikofinanzierung) und
- Beibehaltung des Risikos [9]

Um eine wirksame Risikobewältigung bzw. -steuerung umzusetzen, müssen spezifische Maßnahmen zur Risikobewältigung ausgewählt werden. Diese Maßnahmen werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

5.3.4.1 Auswahl der Maßnahmen zur Risikobewältigung

Zur Planung der Maßnahmen zur Risikobewältigung werden durch die ISO 31000 verschiedene Strategien vorgeschlagen. Bevor mit der Maßnahmenplanung begonnen wird, müssen zunächst die Anforderungen an Kosten und Nutzen sowie rechtliche Anforderungen gegenübergestellt werden. Außerdem wird vorgeschlagen bei der Auswahl der Maßnahmen auch Risiken zu berücksichtigen, die aufgrund ihrer negativen wirtschaftlichen Folgen nicht vertretbar sind, aber durch ihre geringe Eintrittswahrscheinlichkeit ein geringes Risiko darstellen. Möglichkeiten zur Risikobewältigung, die hierbei in Betracht gezogen und angewandt werden, sind entweder Einzelmaßnahmen oder eine Kombination von Maßnahmen. Des Weiteren sollte berücksichtigt werden, ob die Maßnahme an einer anderen Stelle im Unternehmen oder bei anderen Interessengruppen (z. B. Nachbarschaft) zu möglicherweise neuen Auswirkungen führt.

Ein weiterer Punkt ist die Akzeptanz der Maßnahmen zur Risikobewältigung, da trotz gleicher Wirksamkeit bestimmte Maßnahmen durch Beteiligte stärker akzeptiert werden als vergleichbare andere Maßnahmen. [26]

Der Maßnahmenplan zur Risikobewältigung sollte daher eindeutige Prioritäten in der Reihenfolge der umzusetzenden Maßnahmen setzen. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass in der Umsetzung der Maßnahmen zur Risikobewältigung neue Risiken identifiziert werden können. Ein erhebliches Risiko stellt hierbei der Ausfall oder die Unwirksamkeit einer Maßnahme dar. Die Überwachung der umgesetzten Maßnahmen ist ein wesentlicher Teil der Risikobewältigungsplanung um sicherzustellen, dass die Maßnahmen wirksam bleiben. Während der Risikobewältigung können sekundäre Risiken aufgedeckt werden, welche ebenfalls beurteilt, behandelt, überwacht und geprüft werden müssen. Diese sekundären Risiken sollten in dem Risikobewältigungsplan für ursprüngliche Risiken mit aufgenommen und nicht als eine neue Gefahr behandelt werden. Außerdem sollte die Verbindung zwischen den ursprünglichen Risiken und den sekundären Risiken identifiziert und behandelt werden. [26]

Daher wird vorgeschlagen, einen Maßnahmenplan anhand der Ergebnisse der Risikoanalyse zusammenzustellen. Der Maßnahmenplan stellt dar, wie das jeweilige Risiko zeitnah und kosteneffektiv reduziert werden kann. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit der negativen Auswirkung führen und dass das Risiko somit durch eine Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit minimiert wird. Folglich ist es notwendig, die bestehenden Ereignisablaufanalyse zu überprüfen und basierend auf den geplanten Maßnahmen die bedingten Wahrscheinlichkeiten zu aktualisieren. Basierend auf den Ergebnissen des Maßnahmenplans wird die Berechnung des Risikoquotienten mit der reduzierten Eintrittswahrscheinlichkeit wiederholt.

Als Ergebnis der Risikobewältigung kann das Ursprungsrisiko dem reduzierten Risiko gegenübergestellt werden. Folglich wird ersichtlich, inwieweit das Risiko aufgrund der Maßnahmen zur Risikobewältigung reduziert werden kann.

Vor der Auswahl der Maßnahmen zur Reduzierung oder Eliminierung des Risikos müssen folgende Randbedingungen erfüllt sein:

- Festlegung eines Risikolevels, das akzeptabel ist
- Definition, welches Ereignis zuerst betrachtet werden soll
- Maßnahmen, die getroffen werden müssen, um das Risiko zu minimieren
- Geplante Effektivität jeder Maßnahme
- Kosten für die Maßnahmen
- Vorhandenes Budget, um die geplanten Maßnahmen umzusetzen
- Finanzieller Erfolg der Risikoreduktion [5]

Die Risikobewältigung ist ein zyklischer Prozess, in dem die Maßnahmen ständig beurteilt werden. Ist das Restrisiko in der Risikohöhe noch nicht tolerierbar, müssen weitere Maßnahmen ausgearbeitet und beurteilt werden. Dies erfolgt so lange, bis die Risikohöhe, gemessen am vorher definierten Risikokriterium, erreicht wird.

Die größte Schwierigkeit liegt in der praktischen Umsetzung der Maßnahmen, da nur durch sie das Risikomanagement wirksam wird. Bei der Umsetzung der Maßnahmen muss darauf geachtet werden, dass die Mehrkosten nicht höher sind als die ermittelten Risikokosten. [20]

5.3.4.2 Methoden und Maßnahmen zur Risikobewältigung und -steuerung

Risiken können vermieden werden, indem risikoerzeugende Aktivitäten aufgegeben bzw. verändert werden (z. B. durch Schließung des Produktionsprozesses) oder deren Auswirkungen durch organisatorische und technische Maßnahmen gemindert werden. Außerdem können sie durch Risikoübertragung und -steuerung begrenzt werden. Die Wirtschaftlichkeit ist in dieser Phase der Steuerung und Kontrolle der Risiken ein bedeutender Faktor.

Bei der Risikobewältigung unterscheidet man vier Herangehensweisen:

- *Risikoprävention*: Eintritt von Risiken vermeiden oder vermindern.
- *Notfall- und Krisenmanagement*: Falls Risiken trotz Präventionsmaßnahmen auftreten, muss die Organisation entsprechend vorbereitet sein, um die Auswirkungen eines Schadensereignisses schnell zu erkennen und zu bekämpfen.
- *Betriebliches Kontinuitätsmanagement BKM (engl. Business Continuity Management (BCM))*: Im Falle eines Schadens müssen die Folgen des Schadensereignisses schnell überwunden werden. Dies erfordert umfangreiche Vorbereitung in Infrastruktur und Logistik, um negative Folgen des in Frage kommenden Risikoszenarios möglichst rasch zu überwinden.
- *Risikofinanzierung*: Schwerpunkt liegt hierbei in der Versicherung. Risikomanagement hat sich aus der Versicherungswesen heraus entwickelt. [7]

5.3.4.3 Risikoprävention

In der vorgestellten Herangehensweise werden Maßnahmen zur Risikoprävention, vor allem technische Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutzes, welche das Entstehen, die Ausbreitung und die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verhindern, gezeigt. Auf eine detaillierte Beschreibung zur Umsetzung dieser Maßnahmen wird in der praktischen Umsetzung eingegangen. Zur Bewältigung technischer Risiken kann ein Drei-Stufen-Modell zur Anwendung kommen. Dieses Modell bietet einen Leitfaden, wie mit (technischen) Risiken umgegangen werden kann. Das Risikomodell funktioniert in drei Stufen, dargestellt im nachfolgenden Bild.

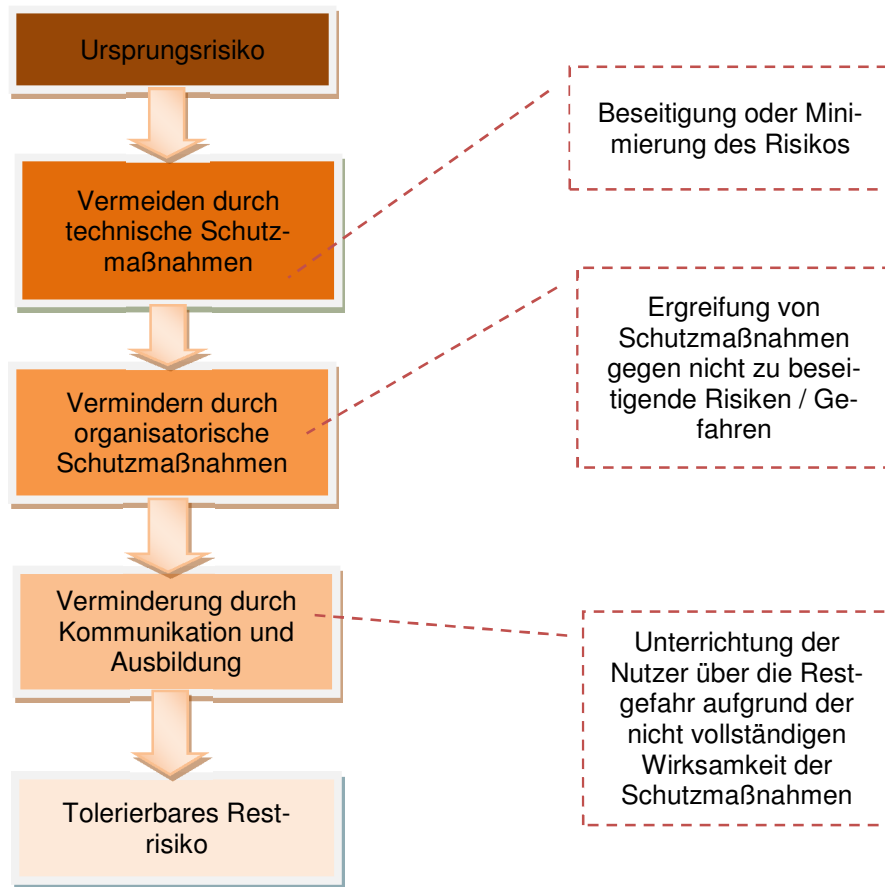


Bild 15: Drei-Stufen-Modell [7]

Zunächst muss überprüft werden, ob durch zusätzliche technische Maßnahmen die Entstehung und Ausbreitung der Explosion verhindert werden kann. Dies geschieht durch die Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutzes, welche die Entstehung, Ausbreitung und Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verhindern oder reduzieren. Die Wirksamkeit der ausgewählten Maßnahmen sollte sich in der Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit widerspiegeln.

Ist die Durchführung technischer Maßnahmen nicht möglich, sollte durch organisatorische Maßnahmen versucht werden, die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswirkungen zu reduzieren. In der dritten Stufe werden Ausbildung und Kommunikation genutzt, um das Restrisiko zu akzeptieren. Im übertragenen Sinne können Restrisiken dadurch beeinflusst werden, dass Risikobewusstsein, Risikosensibilität und Risikokultur dazu führen, dass das Unternehmen in der Lage ist, auf Risiken schneller zu reagieren. [7] Nach der Umsetzung technischer Schutzmaßnahmen zur Reduzierung des Risikos besteht noch ein gewisses Restrisiko, welches mit gezielten Maßnahmen abgefangen werden muss. Dies erfolgt durch ein wirkungsvolles Notfall- und Krisenmanagement.

5.3.4.4 Notfall- und Krisenmanagement

Das Ziel des Notfall- und Krisenmanagements ist es, Restrisiken, die durch die Risikoprävention nicht reduziert wurden, zu bewältigen, damit der materielle und immaterielle Schaden so gering wie möglich gehalten werden kann. Hier stellt sich zunächst die Frage, was Notfälle und Krisen sind und wie sich das Unternehmen professionell auf diese vorbereiten kann. Hierfür muss geklärt werden, zu welcher Art von Störungen, Störfällen, Notfällen bzw. Krisen es in der Organisation kommen kann. Im Nachfolgenden werden die jeweiligen Begrifflichkeiten definiert, um eine klare Abgrenzung zwischen den jeweiligen Schadensarten herstellen zu können. [8]

- **Störfall:** Ein Ereignis, wie z. B. eine Explosion größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem Betriebsbereich oder in einer Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer ernststen Gefahr oder zu Sachschäden führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind.[42]
- **Störung:** Beeinträchtigung und Unterbrechung des Betriebes durch ein Ereignis, das im Rahmen der betriebsgewöhnlichen Struktur und Ressourcen durch betriebliche Maßnahmen behoben werden kann. [2]
- **Notfall:** Beeinträchtigung oder Unterbrechung des Betriebs durch ein Ereignis, das sofortiges Handeln erfordert und bei dem unmittelbare Gefahr für Personen und Sachwerte droht. [2]
- **Krise:** Situation, die organisationsweit außergewöhnliche Maßnahmen erfordert und nur mit Stabsarbeit bewältigt werden kann. [2]

Zur Bewältigung der oben genannten Schadenslagen kommen verschiedene Methoden zum Einsatz. Diese Methoden müssen im konkreten Umsetzungsfall individuell für das Unternehmen und die potenziellen Schadenarten angepasst werden. Daher wird im Weiteren nicht detailliert auf den Umfang der einzelnen Methoden eingegangen.

5.3.4.5 Betriebliches Kontinuitätsmanagement

Ein wesentlicher Bestandteil der Risikobewältigung ist das Betriebskontinuitätsmanagement (BKM) (*engl. Business Continuity Management*). BKM bezeichnet die Entwicklung von Strategien, Plänen und Handlungen, um Tätigkeiten oder Prozesse – deren Unterbrechung ernsthafte Schäden oder finanzielle Verluste verursachen würde – zu schützen bzw. alternative Abläufe zu ermöglichen. Ziel ist die Sicherstellung des Fortbestands des Unternehmens im Falle des Auftretens von Risiken mit hohem Schadensausmaß.

Das BKM sollte in Zusammenarbeit mit dem betrieblichen Notfall- und Krisenmanagements sicherstellen, dass wichtige Geschäftsprozesse selbst in kritischen Situationen und in Notfällen nicht oder nur temporär unterbrochen werden und die wirtschaftliche Existenz des Unternehmens trotz Schadensereignis gesichert bleibt.

Ziel des BKM ist die Generierung und Proklamation von Prozessdefinitionen und die Dokumentation eines betriebsbereiten und dokumentierten Notfallvorsorgeplans, welcher auf die individuellen Anforderungen des Unternehmens abgestimmt ist. [22]

Durch die Umsetzung und Einführung eines BKM soll gewährleistet werden, dass das Unternehmen nach einer Betriebsstörung genauso am Markt auftreten kann wie vor dem Eintritt der Störung. Im Idealfall sind keine sichtbaren Auswirkungen erkennbar und werden daher weder vom Kunden noch von anderen externen Stellen (z. B. Wettbewerbern) bemerkt.

Bei der Ermittlung eines unternehmensspezifischen Konzepts zum betrieblichen Kontinuitätsmanagement müssen alle erdenklichen Faktoren, welche sich auf den Prozess auswirken können, berücksichtigt werden. Hierzu zählen sowohl unternehmensinterne als auch externe Faktoren, auf die das Unternehmen keinen direkten Einfluss hat. Um langfristig in die unternehmerische Zukunft zu investieren, eignet sich die Einführung eines betrieblichen Kontinuitätsmanagements als ganzheitlicher Ansatz. Durch die detaillierte Betrachtung aller Wege der betrieblichen Leistungserstellung innerhalb eines Unternehmens ist es möglich, Schwachstellen zu erfassen und die Wertschöpfungsprozesse sowohl in der Produktion als auch in der Distribution und Logistik nachhaltig und langfristig zu optimieren und zu sichern. [20]

Kann das Risiko mit den vorstellten Maßnahmen nicht eliminiert bzw. reduziert werden, bleibt als abschließendes Instrument die Risikofinanzierung.

5.3.4.6 Risikofinanzierung

Der Schwerpunkt der Risikofinanzierung liegt in der Versicherung. In den meisten Fällen erfolgt die Risikofinanzierung über eine Betriebsunterbrechungsversicherung.

„Die Betriebsunterbrechungsversicherung ist eine Schadensversicherung, die Versicherungsschutz für den Ausgleich planwidrig entgangener Erträge infolge einer Unterbrechung oder Beeinträchtigung im leistungswirtschaftlichen Bereich gewährt. Die Art der Betriebsunterbrechungsversicherung ist abhängig von den versicherten Ereignissen, die den Tatbestand der Betriebsunterbrechung auslösen, sowie des Umfangs versicherten Unterbrechungsschadens.“ [23]

In der Regel ist die Betriebsunterbrechungsversicherung abhängig von der mit der Versicherung vereinbarten Haftzeit, welche zwischen 12 bis 24 Monate betragen kann. Im schlimmsten Fall ist der Zeitpunkt bei Wiederinbetriebnahme bereits überschritten. Das muss bei der Ermittlung des Ertragsausfallschadens beachtet werden, da das Unternehmen für die Kosten, die nach Beendigung der Haftzeit durch die Versicherung auftreten, haften muss.

In der Regel wird der Ertragsausfallschaden durch die Betriebsunterbrechungsversicherung gedeckt. Ist allerdings nach 24 Monaten keine Wiederinbetriebnahme der betroffenen Anlage erfolgt, muss der danach auftretende Ertragsausfall sowie alle anfallenden Kosten durch das Unternehmen getragen werden.

6 Praktische Umsetzung der Risikobeurteilung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde eine Herangehensweise zur Ermittlung finanzieller Auswirkungen, verursacht durch ein Explosionsereignis, vorgestellt und folglich ein Handlungsleitfaden zur praktischen Umsetzung gegeben. Um nachzuvollziehen, inwieweit die vorgestellte Vorgehensweise in die Praxis umgesetzt werden kann, wird im folgenden Kapitel ein praktisches Anwendungsbeispiel erläutert. Hierbei soll anhand einer bestehenden Anlage dargestellt werden, wie die vorgestellte Herangehensweise in der Praxis umgesetzt wird.

In diesem Beispiel wird eine Risikobeurteilung für eine Anlage durchgeführt, deren Ausfall im Falle eines Schadensereignisses erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen auf das Unternehmen haben würde. Auch bei dieser Anlage handelt es sich um ein mittelständisches Unternehmen, welches betriebsinterne Daten sowie den Zugang zu der Anlage gewährt hat.

Anhand dieses vorgestellten Praxisbeispiels soll deutlich werden, wie hoch der wirtschaftliche Schaden für das Unternehmen im Falle eines Ereignisses sein kann und wie durch die Umsetzung von Maßnahmen zur Risikobewältigung dieser Schaden minimiert werden kann.

6.1 Praxisbeispiel: Explosionsereignis in einem Tanklager im Kellergeschoss einer Extraktionsanlage

Im Praxisbeispiel wird eine Extraktionsanlage in einem mittelständischen Betrieb betrachtet. In diesem Beispiel kommt die vorgestellte Methodik zur Ermittlung der finanziellen Auswirkungen von Schadenereignissen zum Einsatz. Alle im Folgenden dargestellten Kosten sind Annahmen.

6.1.1 Zusammenhang herstellen (Schritt 1)

6.1.1.1 Beschreibung des betrachteten Bereiches

Die Risikobeurteilung wird in einem pharmazeutischen Unternehmen durchgeführt, welches Arzneimittel auf pflanzlicher Basis herstellt. Die für die Risikobewertung ausgewählte Anlage ist ein Extraktionsbetrieb, in dem aus getrockneten pflanzlichen Materialien, wie z. B. Johanniskraut, Arzneimittelwirkstoffe gewonnen werden. Die Extraktionsanlage stellt Grundstoffe für die Arzneimittelproduktion her und ist in Deutschland die einzige vom Unternehmen betriebene Extraktionsanlage. Ein Ausfall dieser Anlage würde zu einer Produktionsunterbrechung in nachfolgenden Prozessen führen, was Auswirkungen auf die Produktivität des gesamten Unternehmens hätte.

6.1.1.2 Funktionsweise der ausgewählten Anlage

Die Extraktion der gewünschten Pflanzeninhaltsstoffe bzw. die Entfernung der wertlosen Bestandteile erfolgt mit den Lösemitteln Aceton, Ethanol, Methanol, Butanon und Heptan, wobei Letzteres ausschließlich in relativ geringen Mengen zum „Reinigen“ von unerwünschten fettlöslichen Bestandteilen verwendet wird.

Nach der Fest-Flüssig-Extraktion mit überwiegend Ethanol oder Aceton schließen sich in verschiedenen und unterschiedlich aufwändigen verfahrenstechnischen Prozessen noch weitere Stufen zur Aufarbeitung an, so zum Beispiel auch Flüssig-Flüssig-Extraktionen, wobei die gewünschten Extraktbestandteile von einer Flüssigphase (z. B. wasserlöslich) in eine zweite (z. B. nicht wassermischbar) übergeführt werden. Neben den „eigentlichen“ Extraktionsstufen sind in den einzelnen Produktionslinien verschiedene weitere verfahrenstechnische Schritte wie Mischen, Verdünnen, Konzentrieren, Destillieren, Kondensieren, Fällungen und Fest-Flüssig-Trennungen erforderlich.

Die Extraktion befindet sich in einem vierstöckigen Gebäude. Im Kellergeschoss liegt das Tanklager der Lösemittel und Zwischenprodukte mit einem Lagervolumen von 165 m³ in 5 m³-Tanks. Das Tanklager im Kellergeschoss erstreckt sich über drei Lagerbereiche (Tanklager 1, 2, 3), welche durch einen Gang verbunden und durch Trennwände voneinander abgetrennt sind. Das Lager ist gemäß der außer Kraft getretenen *Verordnung für brennbare Flüssigkeiten (VbF)* in den 1970er Jahren genehmigt worden. Die Produktionsbereiche der Extraktion befinden sich in den darüber liegenden Stockwerken.

6.1.1.3 Kurze Beschreibung des Szenarios

Im Kellergeschoss der Extraktionsanlage kommt es zur Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre, verursacht durch Aceton - Leckage an einem Lagertank im Tanklager 1. Die Leckage wird durch einen Pumpendefekt verursacht, die Zündung erfolgt durch einen elektrischen Defekt.

6.1.1.4 Festlegung der Risikokriterien

Um die Signifikanz des Risikos zu beurteilen, werden Risikokriterien festgelegt. Die Risikokriterien sollten die Ziele, Grundsätze und Ressourcen des Unternehmens berücksichtigen. Risikokriterien können aus rechtlichen oder anderen Anforderungen, denen das Unternehmen unterliegt, ermittelt werden und sollten zu Beginn des Risikomanagementprozesses ermittelt und kontinuierlich angepasst werden.

Die Risikokriterien wurden durch das Unternehmen gemäß folgender Hierarchie festgelegt.

- **Finanzverlust:** Durch Mehrkosten (z. B. Einkauf von Extrakt), Neubau der Anlage. Selbstbehalt von 100.000 Euro.
- **Allgemein/ Leistungsfähigkeit:** Betriebsinterne Produktion von Extrakten wird für längere Zeit unterbrochen, Leistungsfähigkeit oder Leistungsertrag wird beeinträchtigt und die Weiterführung der Organisation wird in Frage gestellt, da die bestehende Anlage in der heutigen Form nicht mehr errichtet und betrieben werden kann. Der Weiterbetrieb der Anlage am jetzigen Standort wäre aufgrund der Lage und der Nachbarschaft so nicht mehr möglich.
- **Körperliche Integrität:** Direkte Auswirkung von Ereignissen auf die körperliche Integrität, Sicherheit und Gesundheit von Mitarbeitern.

Basierend auf den festgelegten Risikokriterien und den nachfolgend ermittelten Daten wird die Risikobeurteilung durchgeführt.

6.1.1.5 Allgemeine Angaben zum Betrieb – Ermittlung des risikobestimmenden Prozesses

Tabelle 9: Allgemeine Übersicht der betrachteten Anlage

Allgemeine Angaben zum Betrieb	
Name des Betriebs	Extraktionsgebäude
Lage des betroffenen Bereiches	KG
Jahr der Inbetriebnahme	1978 (Erweiterung der Anlage bis in den 1990er Jahre)
Anzahl der Gebäude	1
Art des Gebäudes	Gebäude (EG & OG): Stahlstruktur / Metallwände / vorgefertigte Bauteile Kellergeschoss: bewehrtes Beton- oder Mauerwerksgebäude
Fenster	Keine Fenster im Kellergeschoss.
Dach	Teerpappe
Gebäudeschadstoffe vorhanden (z. B. Asbest, PCB, PAK, Mineralwolle)	geringe Mengen Mineralwolle, PAK
Wiederbeschaffungsneuwert des Gebäudes	25 Millionen Euro (all inkl.)
Anzahl der Stockwerke inkl. Keller	UG, EG, Obergeschoss mit Zwischendecken, Dachgeschoss
Größe des betroffenen Gebäudeteils (Tanklager 1, 2, 3). Drei Kammern im Untergeschoss, welche durch einen Gang miteinander verbunden sind.	Fläche: Tanklager 1: 216 m ² Tanklager 2: 162 m ²

	Tanklager 3: 148m ² Gesamtfläche Tanklager Kellergeschoss: 500 m ² Gebäudegrundfläche: 2.052 m ² Anzahl der Lagertanks: 33	
Abmessung des betrachteten Tanklagers:	Tanklager 1	Werte
	Höhe	3,3
	Breite	12
	Länge	18
	Wandmaterial Tank	Einwandig, Edelstahl 5 mm
	Wandmaterial Gebäude	F90 (175 mm)
	Luftwechsel	5 h ⁻¹
	Volumen der Auffangwanne	0,1 m Aufkantung an den Ausgängen des Tanklagers: 21,6 m ³ Auffangvolumen

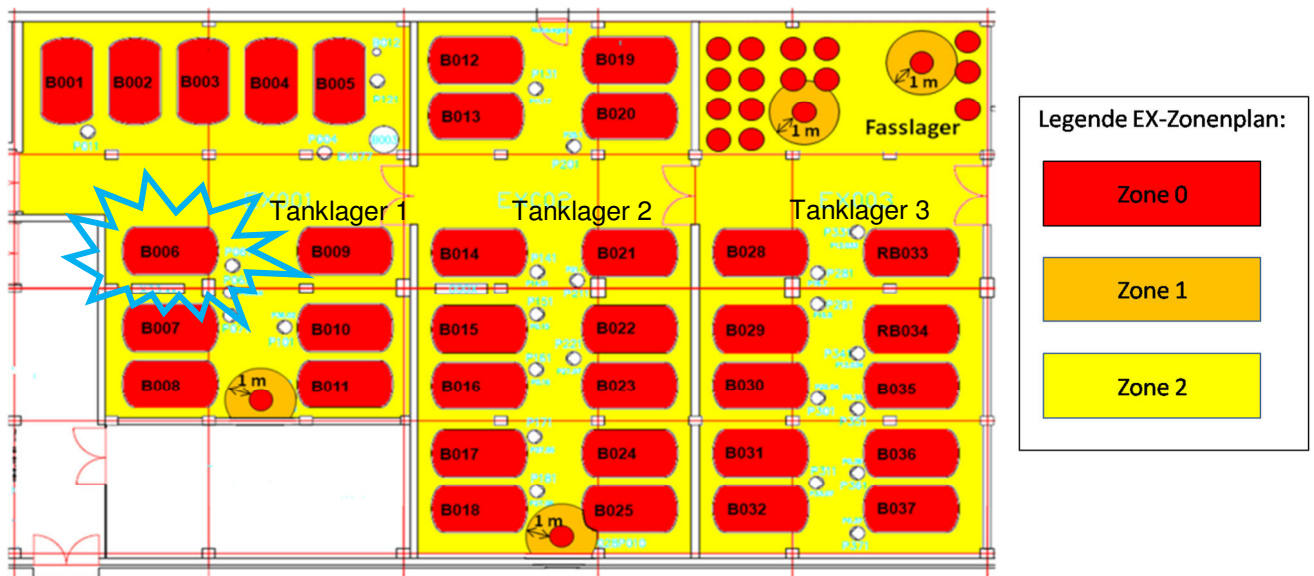


Bild 16: Zoneneinteilung Tanklager (Untergeschoss) – Darstellung des betroffenen Bereichs (blau) [49]

Tabelle 10: Lagermengen brennbarer Flüssigkeiten in den Tanklagern [49]

Stoffdaten														
Nr.	Stoffbezeichnung	Lagermenge [m ³]	Anzahl der Lagertanks (à 5000 l)	Flammpunkt [°C]	Zündtemperatur [°C]	UEG [Vol.-%]	OEG [Vol.-%]	Exgruppe	Dampfdruck mbar (20°C)	Dampfdruck [mbar (50°C)]	Dichte g/cm ³	SGK [Vol.-%]	Grenzsplittweite mm	Temperaturklasse
Tanklager 1														
1	Aceton	10	2	-18	535	2,5	14,3	IIA	246	814	0,79	-	1,04	T1
2	Ethanol	40	8	12	400	3,1	27,7	IIB	58	293	0,79	8,5	0,89	T2
3	Methanol	5	1	9	440	6	50	IIA	129	552	0,79	8,1	0,92	T2
Summe			55 m³											
Tanklager 2														
1	Ethanol > 62 %	10	2	< 22	400	3,1	27,7	IIB	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	T2
2	Butanon-Aceton	35	7	-10	475	1,5	12,6	IIB	-	-	0,81	9,5	0,85	T1
3	Butanon (50 %)-Heptan (5-15 %)	5	1	-10	475	1,5	12,6	IIB	-	-	0,81	9,5	0,85	T1
4	Ethanol	20	4	12	400	3,1	27,7	IIB	58	293	0,79	8,5	0,89	T2
Summe			70 m³											
Tanklager 3														
1	Aceton	5	1	-18	535	2,5	14,3	IIA	246	814	0,79	-	1,04	T1
2	Ethanol	25	5	12	400	3,1	27,7	IIB	58	293	0,79	8,5	0,89	T2
3	Butanon (50 %)-Heptan (5-15 %)	10	2	-10	475	1,5	12,6	IIB	-	-	0,81	9,5	0,85	T1
Summe			40 m³											

Tabelle 11: Output [49]

Output	Menge / Monat	Umsatz / Zeitintervall (Euro)
Extrakt	Jahresmengen der Extrakt-Produktion: Stoff A: 30 t/a Stoff B: 10 t/a Stoff C: 60 t/a Stoff D: 10 t/a Stoff E: 10 t/a	Stoff F (als Rohstoff), 400 Euro/kg Stoff F–(als Fertigextrakt) 500 Euro/kg bei einer Produktionsmenge von ca.: 20 t/a entspricht dies 10 Millionen Euro

Tabelle 12: Brand- und Explosionsschutz [49]

Explosionsgefährdete Bereiche	Raum: Zone 2 Behälter für Lösemittelabfälle (1 m-Radius): Zone 1; Tanks, Fässer (innen) Zone 0
Mögliche Zündquellen:	Defekt in elektrischen Betriebsmitteln, Elektrostatische Aufladungen Heißarbeiten (unsachgemäß ausgeführt)
Vorbeugender Explosionsschutz:	Technische Dichtheit der Anlage; Technische Lüftung (Bodenabsaugung, Zuluft von oben) 5-facher Luftwechsel; Gaswarnanlage (Lösemittel) Geräte entsprechen der RL94/9/EG Innere Apparaturen, Belüftungsleitungen, Rohrleitungen betriebsmäßig gasgefüllt für Zone 0; äußere Apparaturen, Pumpen und Rohrleitungen betriebsmäßig flüssigkeitsgefüllt für Zone 1, Lüftung nach ATEX
Abwehrender Explosionsschutz	Flammendurchschlagsicherung an Abluft-/ Zuluft- und Auslaufleitungen der Tanks (Baujahr 1972, Flammenschutzsieb Wilka Werke AG, Siebe werden regelmäßig gewechselt). Interne Prüfung der Sicherung, bisher keine externe Prüfung durch befähigte Person erfolgt.
Brandschutz	Schaumlöschanlage Fahrbare Feuerlöscher & Handfeuerlöscher
Schwachstellen	Absicherung der Zu-/Ableitung der Tanks sowie Tankentlüftung mittels Flammenrückschlagsicherung Baujahr 1972. Installation der Gasetektoren oberhalb der Entlüftungsschächte, so dass Lösemitteldämpfe nicht optimal erfasst werden können.

Tabelle 13: Umweltschäden [49]

Bestehende Genehmigungen/Erlaubnis	Erlaubnis gemäß VbF Errichtung der Produktionsanlage 1979, Erweiterung der Anlage bis 1990er Jahre. Tanks inbegriffen.
Anlagen, die zukünftig genehmigungsbedürftig sein könnten:	Extraktion: BImSchG; 4. BImSchV Nr. 4.3a, Spalte 2 Lager brennbarer Flüssigkeiten: Erlaubnis gemäß Betriebssicherheitsverordnung für Lager > 10.000 l
Lage des Grundstücks	Mischgebiet
Löschwasserrückhaltung	Keine Löschwasserrückhaltevorrückung vorhanden. Allerdings befindet sich im Kellergeschoss auch keine Ableitmöglichkeit für Abwasser.
Abwasserbehandlung	Werkseigene Abwasserbehandlung (in Planung) Externe Abwasserbehandlung
Brandlasten betroffener Bereiche	Elektroinstallation Inhalte der Tanks (brennbare Flüssigkeiten)
Schadstoffe, die durch einen Brand verursacht werden:	Folgebrand der gelagerten brennbaren Flüssigkeiten (Inhalt des betroffenen Tanks) – verursacht durch den Austritt von brennbaren Flüssigkeiten. Im Allgemeinen geringe Brandlast, da Anlagenteil größtenteils aus Edelstahl. Kunststoffe (Elektroverkabelung)
Brandbekämpfung durch die Feuerwehr:	Vor Ort: Einsatz der Schaumlöschanlage im Falle eines Brandes. Feuerwehr: Schaum. Da sich der betroffene Bereich im Keller befindet, würde durch die Feuerwehr kein direkter Löschangriff erfolgen. Über die Schaumlöschanlage kann Löschschaum in die Kellerräume geleitet werden (z. B. über das Wasserreservoir).
Schadstoffaustrag aus der Brandstelle	Löschwasser sammelt sich im Kellerraum und verteilt sich in benachbarte Bereiche. Es können bis zu 100m ³ Löschschaum erzeugt werden.
Schadstoffsituation an der kalten Brandstelle	Entsorgung von Brandgut, d. h. defekter ausgebrannter Tank als gefährlicher Abfall. Entsorgung von Kabelresten als gefährlicher Abfall sowie Entsorgung des kontaminierten Löschwassers als gefährlicher Abfall.
Rauchentwicklung, betroffene Wohnbebauung in der Nachbarschaft	Anlage befindet sich in unmittelbarer Nähe zu einem Wohngebiet: Süd: 200 m Wohngebiet Nord: Gewerbegebiet West: Gewerbegebiet, 400 m entferntes Wohngebiet, Bahnhof Ost: 200 m Bahnhof Hauptwindrichtungen: Südwest und weniger häufig Nordost

Tabelle 14: Personenschäden [49]

Personen im Gefahrenbereich:	Kellergeschoss: Personal ausschließlich bei Kontrollgängen 1 Mitarbeiter – Facharbeiter
Personen im benachbarten/darüber liegenden Bereichen	Anzahl der Personen, die sich dauerhaft dort aufhalten: EG: 5 Mitarbeiter
Ersatz ausgefallener Mitarbeiter	1000 Euro/Tag Verlust für den Ausfall eines Mitarbeiters

Tabelle 15: Versicherungen [49]

Versicherungen	Abgedeckte Schäden	Deckungsbeitrag (Euro)	Haftungszeitraum (Monate)
Betriebsunterbrechungsversicherung	All-Gefahren-Deckung	60 Millionen Euro /Schaden 29 Millionen Euro/Jahr	24 Monate
Betriebs- und Produkthaftpflicht (Allianz)	Personen- und Sachschäden	5 Millionen Euro/ Schaden 20 Millionen Euro/ Jahr	N/A
Umwelthaftpflicht	Personen- u. Sachschäden durch Umwelteinwirkung 5 Millionen	5 Millionen Euro/ Schaden 20 Millionen Euro/ Jahr	N/A
Selbstbehalt	100.000 Euro		
Berufsgenossenschaft (BGRCI) Versicherungsbeitrag 2010	20.000 Euro		

Tabelle 16: Ertragsausfall [49]

Umsatz	31 Millionen Euro/Jahr
Zeitraum bis zur Wiederinbetriebnahme der gesamten Anlage	24 Monate

6.1.2 Teilnehmer der Risikobeurteilung

An der Risikobeurteilung waren folgende Fachabteilungen beteiligt:

- Mitarbeiter der Abteilung Sicherheit- und Umwelt
- Externe Fachkraft für Arbeitssicherheit
- Betriebsleitung Extraktion
- Bauabteilung
- Versicherungsabteilung (keine aktive Teilnahme, ausschließliche Bereitstellung von Unterlagen) und
- Anlagenplanung Verfahrenstechnik.

Die Expertenkommission zur Erstellung der Ereignisablaufanalyse sowie der Zuordnung der Eintrittswahrscheinlichkeit setzte sich hierbei folgendermaßen zusammen:

- Mitarbeiter der Abteilung Sicherheit- und Umwelt
- Externe Fachkraft für Arbeitssicherheit sowie
- Betriebsleitung Extraktion.

Die im Nachfolgenden dargestellten Auswirkungen sowie Ereignisablaufanalysen wurden in enger Zusammenarbeit mit den oben genannten Fachabteilungen erstellt.

6.1.3 Fotodokumentation



Bild 17: Tanklager (Flammendurchschlagsicherungen im Vordergrund) [49]



Bild 18: Flammendurchschlagsicherungen und Installationen [49]

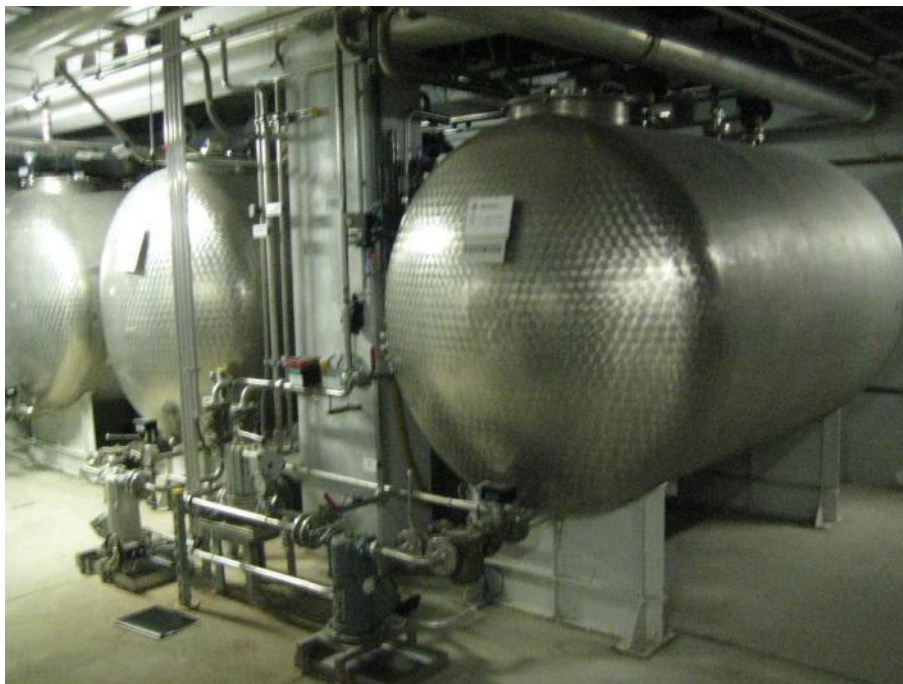


Bild 19: Aceton-Tank (im Vordergrund) [49]

6.1.4 Risikobeurteilung

6.1.4.1 Risikoidentifikation (Schritt 2)

Die Risikoidentifikation besteht im vorgestellten Beispiel aus drei Schritten. Um einen Überblick über die technischen Auswirkungen der Explosion im Tanklager zu erhalten, wird zunächst die Menge der austretenden Flüssigkeit durch die Leckageöffnung berechnet und daraufhin der Überdruck, ausgelöst durch die Explosion, berechnet. Hierdurch kann die Signifikanz möglicher Sach- und Personenschäden abgeschätzt werden (siehe Kapitel 6.1.4.2 *Ermittlung der technischen Auswirkungen*).

Basierend auf den Ergebnissen der Berechnung werden Ereignisablaufanalysen entwickelt, welche die Auswirkungen der Explosion in den drei Schadenskategorien darstellt. (siehe Kapitel 6.1.4.3).

Allen Auswirkungen, welche auf der Basis der Ereignisablaufanalyse eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $> 1\%$ haben, werden finanzielle Schäden, d. h. Kosten verursacht durch das spezifische Ereignis, zugeordnet (siehe Kapitel 6.1.4.4 *Ermittlung der finanziellen Auswirkungen*). Diese Ergebnisse werden in der Monte-Carlo-Analyse verwendet.

6.1.4.2 Ermittlung der technischen Auswirkungen

Ausgangsdaten:

V	Volumen des Tanks	5 m ³
d _{Tank}	Durchmesser Tank	1,46 m
h _{Tank}	Höhe Tank	3 m
d _L	Durchmesser Leck	0,1 m
δ _{Aceton}	Dichte Aceton	790 kg/m ³
μ	Reibungskoeffizient	0,62
h _o	Höhe der Leckage	1 m
g	Erdbeschleunigung	9,81 m/s ²
p _{Tank}	Druck im Tank	1 bar
p ₀	Umgebungsdruck	1 bar
n	Luftwechsel	5 h ⁻¹
t	Zeit	5 min

6.1.4.2.1 Berechnung des Massestroms (Aceton aus Leckage am Tank)

Im ersten Schritt wird die Masse der ausströmenden Flüssigkeit aus der Leckage am Tank berechnet. Durch Gleichung 4 berechnet sich der Massestrom der ausströmenden Flüssigkeit aus einer Leckageöffnung mit dem Durchmesser d_L von 0,1 m [30], [45].

$$\dot{m} = \mu * \delta * A_{Leck} * \sqrt{2 * g * h_0} \quad [kg/s] \quad (GI. 4)$$

$$\dot{m} = 0,62 * 790 \frac{kg}{m^3} * \left(\frac{\pi}{4} * (0,1m)^2\right) * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 1m}$$

$$\underline{\underline{\dot{m} = 17,04 kg / s}}$$

Der Massestrom, welcher innerhalb einer Zeit von t= 5 min aus dem Tank fließt, wird mittels Gleichung 5 berechnet. [30], [45]:

$$\dot{m} = \mu * \delta * F_{Leck} * \sqrt{2 * g * h_0} - \left(\frac{\mu^2 * A_{Leck}^2 * \rho * g}{A_{Tank}} \right) * t \quad [kg / s] \quad (GI. 5)$$

Für diese Berechnung der freigesetzten Lachenfläche innerhalb t= 5 min wird die Tankfläche benötigt, welche mit der nachfolgenden Gleichung 6 berechnet wird:

$$A_{Tank} = \pi * d_{Tank} \left(\frac{d_{Tank}}{2} + h_{tank} \right) \quad [m^2] \quad (GI. 6)$$

$$A_{Tank} = \pi * 1,46m \left(\frac{1,46m}{2} + 3m \right)$$

$$\underline{\underline{A_{Tank} = 17,1m^2}}$$

Mit Hilfe dieser Angaben kann der Massestrom gemäß Gleichung 5 berechnet werden:

$$\dot{m} = 0,62 * 790 \frac{kg}{m^3} * \left(\frac{\pi}{4} * 0,1m\right)^2 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 1} - \left(\frac{0,62^2 * (7,85 * 10^{-3} m^2)^2 * 790 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}}{17,1m^2} \right) * 300s$$

$$\underline{\underline{\dot{m} = 13,8kg / s}}$$

Innerhalb von 5 Minuten strömen m=13,8 kg aus einer Leckage von d_L = 0,1 m aus dem Aceton-Tank. Die Umrechnung der Masse in Volumen erfolgt mittels Gleichung 7:

$$V = \frac{m}{\delta_{Aceton}} \quad [m^3] \quad (GI. 7)$$

$$V = \frac{13,8kg}{790kg/m^3}$$

$$\underline{\underline{V = 0,017m^3 = 17l}}$$

6.1.4.2.2 Berechnung der Verdampfungsrate

Die ausgelaufene Menge Aceton verdampft innerhalb des Tanklagers und erzeugt somit eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre. Daher wird in der nachfolgenden Berechnung die Verdampfungsrate der Aceton-Lache bestimmt. Hierbei kommt Gleichung 8 zur Anwendung [30]; [45]:

$$E = 78,76 * \left(\frac{M * P_0}{T} \right) * v^{0,78} * r^{1,89} \quad [g/s] \quad \text{(Gl.8)}$$

Im ersten Schritt muss zunächst die Luftgeschwindigkeit im Raum berechnet werden. Dies erfolgt mit Hilfe von Gleichung 9. Hierbei wird mit dem Volumen des Tanklagers (V_{Raum}) und dem Luftwechsel (n) im Tanklager das Volumen im Raum (\dot{V}_{Raum}) berechnet:

$$\dot{V}_{Raum} = V_{Raum} * n \quad [m^3/h] \quad \text{(Gl.9)}$$

$$\dot{V}_{Raum} = 1500 m^3 * 5 h^{-1}$$

$$\underline{\underline{\dot{V}_{Raum} = 7.500 m^3/h}}$$

Zur weiteren Berechnung wird der Volumenstrom in m^3/s umgerechnet:

$$\underline{\underline{\dot{V}_{Raum} = 2,1 m^3/s}}$$

Mit diesem Wert kann näherungsweise die Luftgeschwindigkeit (v_{Raum}) im Raum aufgrund der Belüftung bestimmt werden:

$$v_{Raum} = \frac{\dot{V}_{Raum}}{A_{Raum}} \quad [m/s] \quad \text{(Gl.10)}$$

$$v_{Raum} = \frac{2 m^3/s}{500 m^2}$$

$$\underline{\underline{v_{Raum} = 4 * 10^{-3} m/s}}$$

Zur Bestimmung der minimalen Schichthöhe bei unbegrenzter Lachenausbreitung können die Richtwerte in der nachfolgenden Tabelle, in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit, herangezogen werden:

Tabelle 17: Minimale Lachenschichthöhe h_{Lache} [43]

Bodenbeschaffenheit	Minimale Höhe h_{min} in mm
Unebener sandiger Boden	25-30
Ebener Sand, Kies	10
Beton, Stein	5

Würde der Aceton-Tank vollständig auslaufen, würde sich ein Volumen von 5 m³ im Keller ausbreiten, welches einer Lachen-Fläche (A_{Lache}) von 1000 m² entspricht, wie in Gleichung 11 berechnet:

$$A_{Lache} = \frac{V_{Tank}}{h_{Lache}} \quad [m^2] \quad (GI.11)$$

$$A_{Lache} = \frac{5m^3}{0,005m}$$

$$\underline{\underline{A_{Lache} = 1000m^2}}$$

Diese Lache hätte einen Radius (r_{Lache}) von 17,84 m (mit der Annahme, dass sie kreisförmig ist), berechnet mittels Gleichung 12:

$$r_{Lache} = \sqrt{\frac{A_{Lache}}{\pi}} \quad [m] \quad (GI.12)$$

$$r_{Lache} = \sqrt{\frac{1000m^2}{\pi}}$$

$$\underline{\underline{r_{Lache} = 17,84m}}$$

Mit den berechneten Werten – Radius der Lache (r_{Lache}) aus Gleichung 12 sowie der Luftgeschwindigkeit (v_{Raum}) aus Gleichung 10 - wird für einen Normaldruck von p=1 bar sowie einer Umgebungstemperatur von 20°C die Verdampfungsrate mit Gleichung 8 bestimmt:

$$E = 78,76 * \left(\frac{58,08 \frac{g}{mol} * 1bar}{293K} \right) * (4 * 10^{-3})^{0,78} \frac{m}{s} * (17,84)^{1,89} m$$

$$\underline{\underline{E = 49,42 \frac{g}{s}}}$$

Die Zeit t bis der gesamte Tankinhalt (5.000 l bzw. 3.950 kg) verdampft ist, kann mittels des nachfolgenden Dreisatzes berechnet werden:

$$\frac{49,42 g}{1s} = \frac{3.950.000 g}{t}$$

$$t = \frac{3.950.000 g}{49,42 g} * 1s$$

$$\underline{\underline{t = 79.927,15s = 22,2h}}$$

Das bedeutet, dass sich der gesamte Tankinhalt von 5 m³ innerhalb von 26 Minuten im Tanklager ausbreitet und eine Lache mit einem Radius von ca. 18 m bildet. Diese Lache ist nach 22 Stunden vollständig verdampft.

Würde die Leckage nach 5 Minuten lokalisiert und gestoppt werden, würden 13,8 kg (berechnet mittels Gleichung 5) entweichen, welches einer Verdampfungsrate E von 0,022 g/s entspricht. In diesem Fall würde die Flüssigkeit innerhalb von 12,8 h vollständig verdampfen.

Im nachfolgenden Kapitel wird der Überdruck durch eine Explosion für die Masse von 13,8 kg berechnet. Die Bestimmung des Überdrucks erfolgt mittels TNT-Äquivalents. Anhand dieser Berechnung soll verdeutlicht werden, zu welchen Gebäude- und Anlagenschäden der Überdruck einer Explosion führen würde.

6.1.4.2.3 Berechnung des TNT- Äquivalents (M_{TNT})

Ausgangsdaten:

W_{exTNT}	Verbrennungsenthalpie TNT	4.520 kJ/kg
$W_{exAceton, Mol}$	Verbrennungsenthalpie Aceton	1.821,4 kJ/mol
M_{Aceton}	Molare Masse	58,08 g/mol
p_0	Umgebungsdruck	1 bar
R_{Aceton}	Individuelle Gaskonstante	2.210 J/kgK
δ_{Aceton}	Dichte Aceton	790 kg/m ³
m	Masse Leckage	13,8 kg (siehe Gl.7)
n	Verdunstungszahl Aceton	2,3
r	Radius um die Druckwelle	6 m

Im ersten Schritt erfolgt ein Abgleich der Einheiten für W_{exTNT} und $W_{exAceton, Mol}$

$$W_{Aceton} = \frac{W_{EXAceton, Mol}}{M_{Aceton}} \quad [kJ / kg] \quad \text{(Gl.13)}$$

$$W_{Aceton} = \frac{-1821,4 \text{ kJ/mol}}{0,05808 \text{ kg/mol}}$$

$$W_{Aceton} = \underline{\underline{-31.360,19 \text{ kJ/kg}}}$$

Daraufhin wird mit Gleichung 14 die Energie, welche bei der Explosion der Aceton-Dampf Wolke entsteht, berechnet [30]; [45]:

$$W_{EX, Aceton} = m * W_{Aceton} \quad [kJ] \quad \text{(Gl.14)}$$

$$W_{EX, Aceton} = 13,8 \text{ kg} * -31.360,19 \text{ kJ/kg}$$

$$\underline{\underline{W_{EX, Aceton} = -432.770,62 \text{ kJ}}}$$

Basierend auf diesem Ergebnis wird die TNT-Masse bestimmt, welche der Explosionsenergie der Aceton-Lache entspricht [30]; [45]

$$M_{TNT} = \frac{W_{Ex,Aceton}}{W_{ExTNT}} \quad [kg] \quad (Gl.15)$$

$$M_{TNT} = \frac{-432.770,62kJ}{-4520kJ/kg}$$

$$\underline{\underline{M_{TNT} = 95,75 kg}}$$

Mittels des berechneten TNT-Äquivalents erfolgt im nächsten Kapitel die Berechnung des Überdrucks, welcher durch die Explosion verursacht wird.

6.1.4.2.4 Berechnung des max. Überdrucks

Die Berechnung des Überdrucks erfolgt gemäß [30], [45]:

$$p_0 = 20 * 6^n * \left(\frac{M_{TNT}^{1/3}}{r} \right) \quad [kPa] \quad (Gl.16)$$

Für einen Radius von 6 m (maximaler Radius im Umkreis des Tanks) ergibt sich folgender Überdruck p_0 gemäß Gl.16:

$$p_0 = 20 * 6^{2,3} * \left(\frac{95,75^{1/3} kg}{6m} \right)$$

$$\underline{\underline{p_0 = 57579,62 Pa = 57 kPa}}$$

Mittels des berechneten Überdrucks können Schäden an Gebäude und Anlagen klassifiziert werden. Eine Zerstörungsklassifizierung, welche eine breite Anwendung ermöglicht, wird durch Stephens (1970) vorgestellt. Sie unterscheidet folgende Kategorien:

Tabelle 18: Zerstörungsklassifizierung für die Überdruckwirkung einer Explosion [30]

Zone	Zerstörungsgrad	Überdruck (kPa)
A	Totale Zerstörung	> 83
B	Starke Beschädigung	>35
C	Moderate Beschädigung	>17
D	Leichte Beschädigung	< 3,5

Gemäß der Zerstörungsklassifizierung würde es zu einer starken Beschädigung (Zone B, starke Beschädigung, > 35 kPa) des Tanklagers kommen. Eine weitere Bestimmung des Zerstörungsgrades kann mittels Tabelle 19 vorgenommen werden. Diese Einteilung besagt, dass bei einem Überdruck von 48,2-55,1 kPa Ziegelsteinwände mit 20 - 30 cm Breite, welche nicht verstärkt sind, durch Abscheren oder Biegen versagen.

Tabelle 19: Schadenseinschätzung für allgemeine Strukturen basierend auf dem Überdruck [1]

Überdruck [kPa]	Schaden
0,14	Erhöhter Lärm (137 dB bei einer geringen Frequenz von 10 - 15 Hz)
0,21	gelegentliches Zerschlagen von großen Glasfenstern
0,28	Lärm (143 dB), Überschallknall, Glasbruch
0,69	Brechen kleiner Fensterscheiben
1,03	Typischer Druck für Glasbruch
2,07	Sichere Distanz (Wahrscheinlichkeit von 0,95 von nicht ernsthaften Schäden unter diesem Wert), vereinzelter Trümmerflug, geringe Schäden an der Hausverkleidung.
2,76	Limitierte Schäden an der Gebäudestruktur
3,4-6,9	Große und kleine Fenster werden gewöhnlich zerstört, teilweise Zerstörung von Fensterrahmen
4,8	Geringe Schäden an der Gebäudestruktur
6,9	Teilweise Zerstörung des Hauses, unbewohnbar
6,9-13,8	gewelltes Asbest zertrümmert, gewellter Stahl oder Aluminiumplatten, Verankerungen/Befestigungen versagen, gefolgt durch Verkrümmungen, Verankerungen von Holzwänden versagen, Wände werden porös
9	Stahlrahmen von verkleideten Gebäuden werden leicht verkrümmt
13,8	Teilweises Versagen von Hausdach und -wänden
13,8-20,7	Beton oder gemauerte Wände, Umwehrungen versagen
15,8	Untere Grenze für starke Gebäudeschäden
17,2	50 % Zerstörung des Mauerwerks eines Hauses
20,7	Schwere Maschinen (3000 lb) in Industriegebäuden erleiden leichte Schäden, stahlbewehrte Gebäude sind deformiert und setzen sich vom Fundament ab
20,7-27,6	Rahmenlose, selbststrahlende Stahlwandgebäude werden zerstört, Bersten von Öltanks
27,6	Hülle von leichten Industriegebäuden wird zerstört
34,5	Holzstützpfeiler knicken ab, große Hydraulikpressen (40.000 lb) in Gebäuden sind leicht beschädigt
34,5-48,2	Fast vollständige Zerstörung des Gebäudes
48,2	Beladene Zugwaggons stürzen um
48,2-55,1	Ziegelsteinwände, 8 - 12 Inches (20,3 - 30,48 cm) dick, nicht verstärkt, versagen durch Abscheren oder Biegen
62	Beladener Güterwaggon werden vollständig zerstört
68,9	Wahrscheinlich totale Zerstörung von Gebäuden, schwere Maschinenteile (7000 lb) bewegen sich und werden schwer zerstört, sehr schwere Maschinenteile werden nicht zerstört.
2068	Limitierte Kraterbildung

Es ist somit davon auszugehen, dass es durch die Explosion zu einer erheblichen Beschädigung von Gebäude und Anlagen kommen kann.

Da sich die Anlage im Kellergeschoss des Gebäudes befindet, ist eine Druckentlastung über die Seitenwände unwahrscheinlich. Daher wird davon ausgegangen, dass die Druckentlastung nach oben, d. h. in die darüber liegenden Stockwerke, erfolgt und es somit zu Schäden (z. B. Risse, Verschiebungen) in der Stahlstruktur kommen wird. Innerhalb des Kellergeschosses werden durch die Explosion die dort befindlichen Anlagenteile beschädigt (siehe Ereignisablaufanalyse im Nachfolgenden). Außerdem wird davon ausgegangen, dass Anlagenteile in den Obergeschossen durch Trümmerwurf (z. B. Gebäudeteile) und durch die Erschütterung des Gebäudes beschädigt werden.

Zum jetzigen Zeitpunkt wird nicht von einer vollständigen Zerstörung des Gebäudes ausgegangen. Allerdings wird in der nachfolgenden Ereignisablaufanalyse betrachtet, mit welcher Eintrittswahrscheinlichkeit es zu einer vollständigen Zerstörung des Gebäudes kommen könnte (siehe *Bild 20: Gebäudeschäden durch Druckwelle*). Basierend auf den Ergebnissen der Auswirkungsberechnung für das ausgewählte Szenario (Leckage von 13,8 kg, Zündung durch einen elektrischen Defekt) wird eine Ereignisablaufanalyse für die Auswirkungen des Explosionsszenarios erstellt.

6.1.4.3 Ereignisablaufanalyse – Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Das Ziel ist die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Auswirkung im Falle einer Explosion eintritt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass es in jedem Fall zu einem Explosionsereignis kommt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Explosionsereignisses wird in der vorgestellten Methodik nicht ermittelt, sondern vielmehr die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Auswirkung. Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt anhand von qualitativen Beschreibungen, welche in der nachfolgenden Tabelle dargestellt werden:

Tabelle 20: Qualitative Beschreibung der Eintrittswahrscheinlichkeit [5]

Qualitative Beschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit	Grundlage
A. Sicher	1 (oder 0,999, 99,9 %)	Sicher, oder so sicher, dass es keinen Unterschied macht.
B. Fast sicher	0,2 - 0,9	Ein oder mehrere Unfälle von gleicher Art sind vorgefallen.
C. Höchstwahrscheinlich	0,1	Ein früherer Unfall von gleicher Art ist aufgetreten.
D. Wahrscheinlich	0,01	Wäre bereits passiert, wenn man nicht eingegriffen hätte.
E. Unwahrscheinlich	0,001	Anderswo vor kurzem berichtet
F. Sehr unwahrscheinlich	$1 \cdot 10^{-4}$	Anderswo passiert
G. höchst unwahrscheinlich	$1 \cdot 10^{-5}$	Veröffentlichte Informationen existieren, aber in einem vollständig anderen Kontext.
H. fast unmöglich	$1 \cdot 10^{-6}$	Es gibt keine Veröffentlichungen über gleiche Vorfälle.

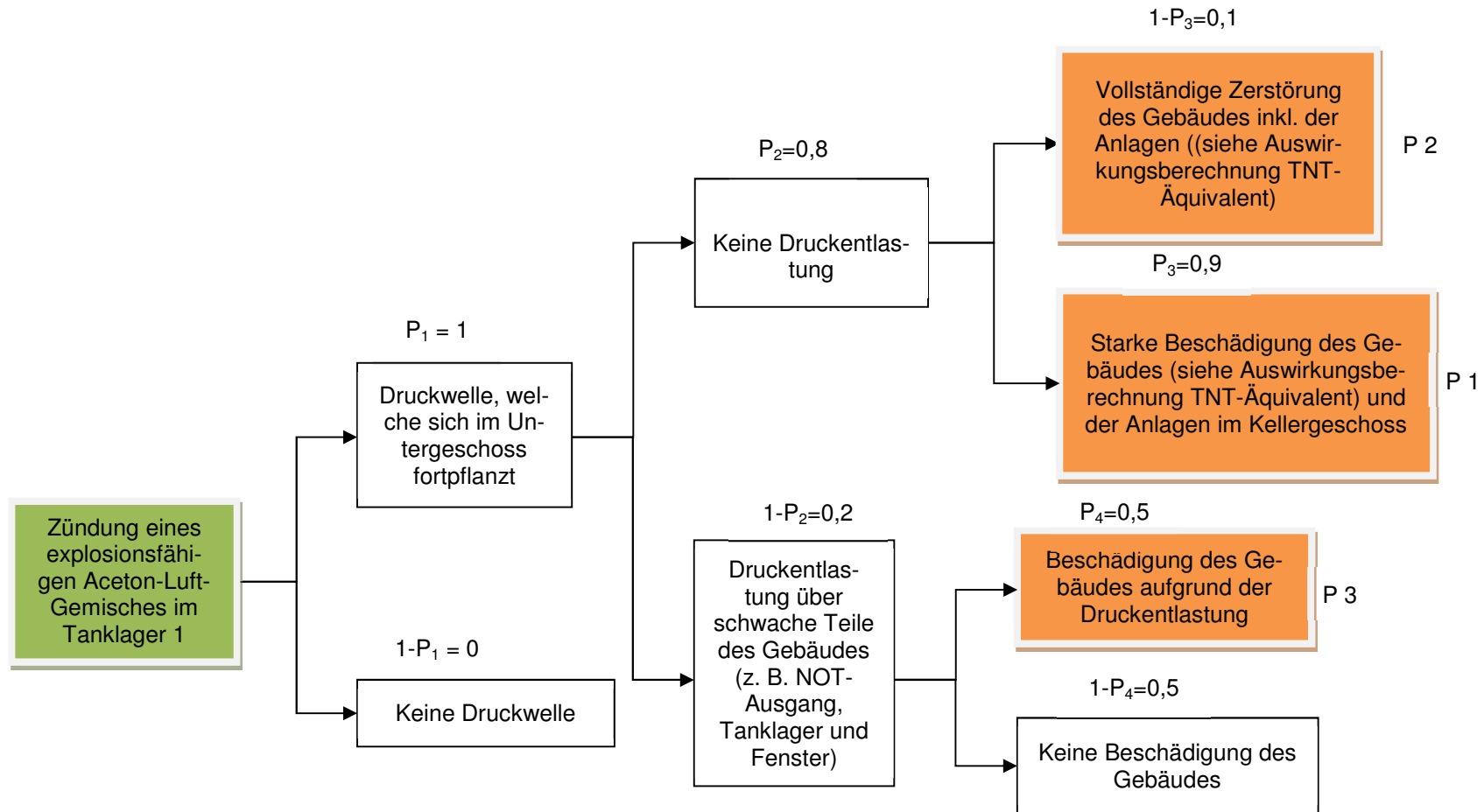


Bild 20: Gebäudeschäden durch Druckwelle

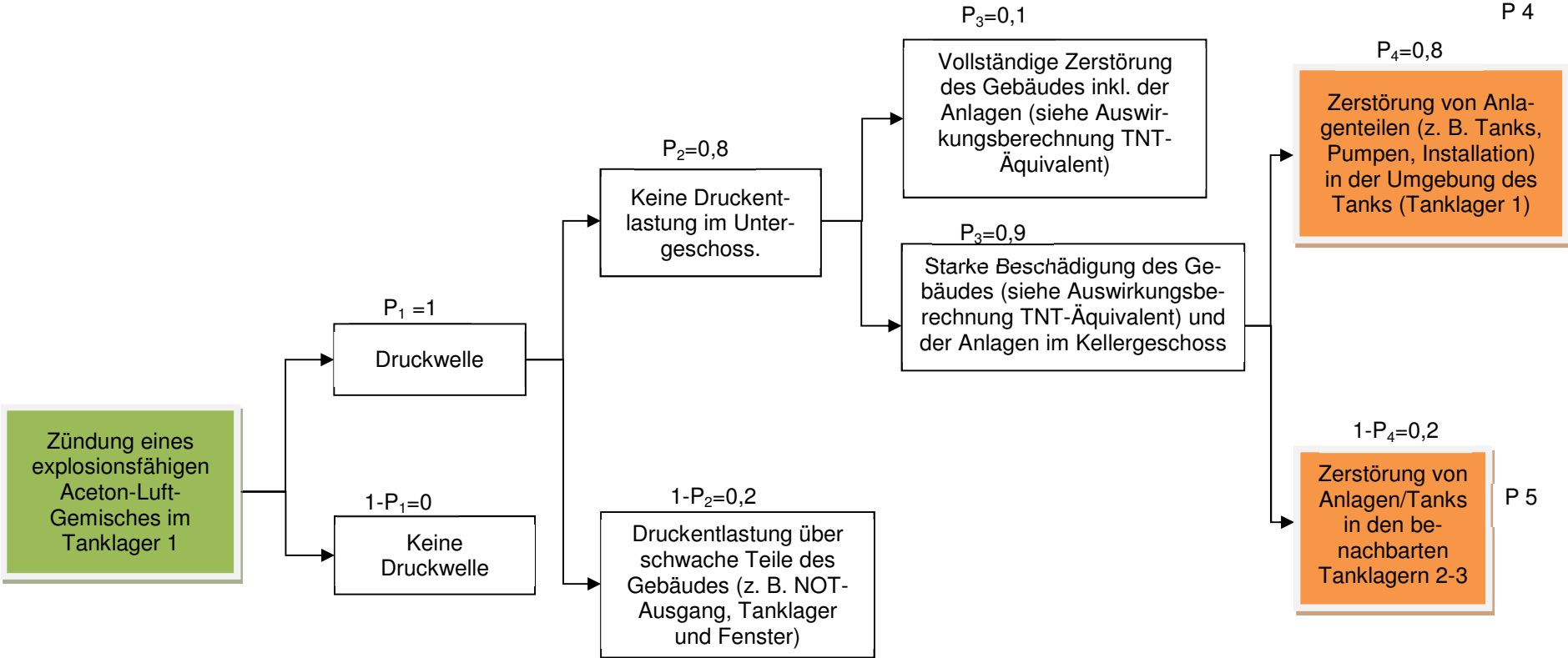


Bild 21: Anlagenschäden durch Druckwellenbildung im Untergeschoss

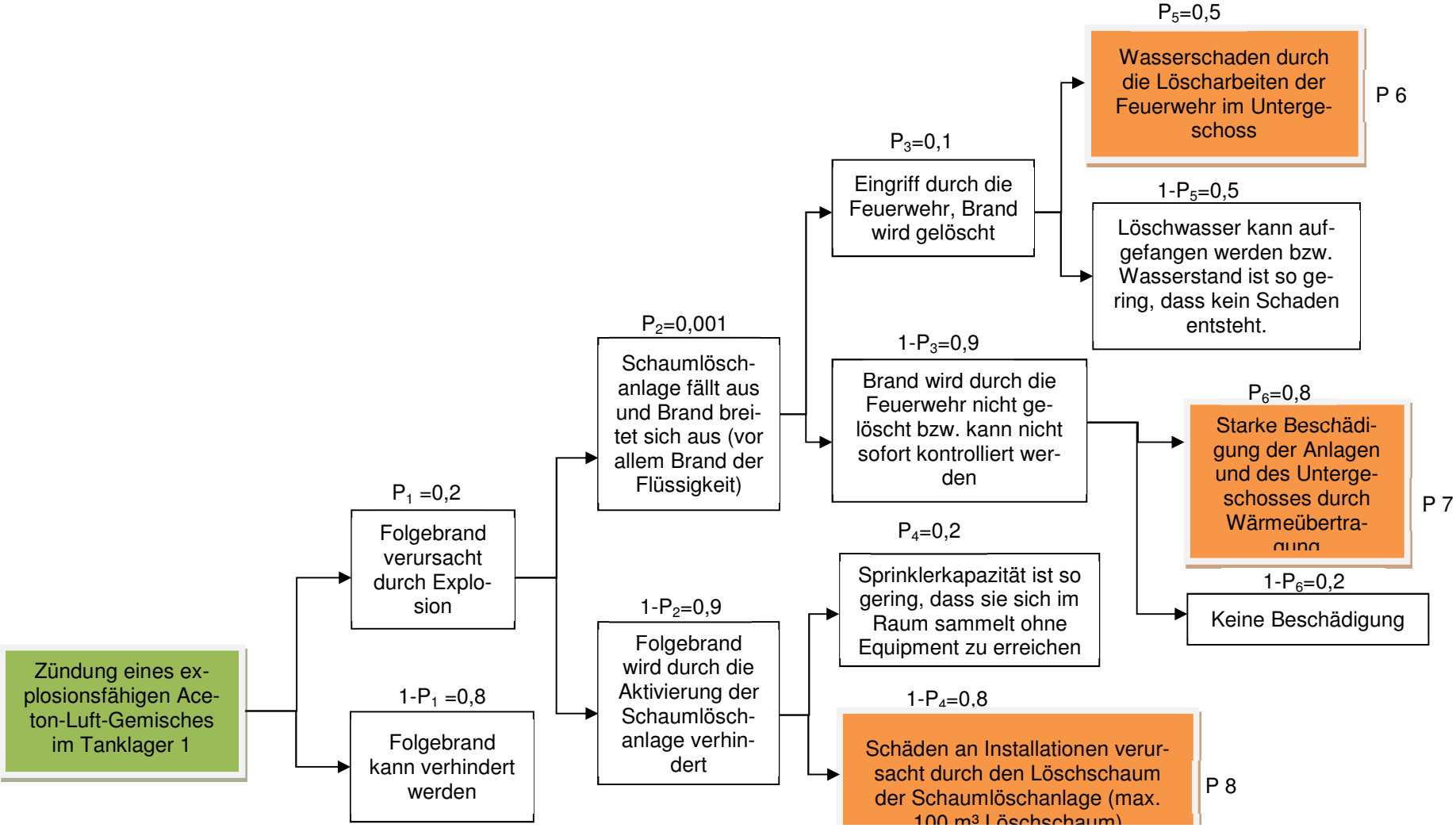


Bild 22: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Wärmeübertragung

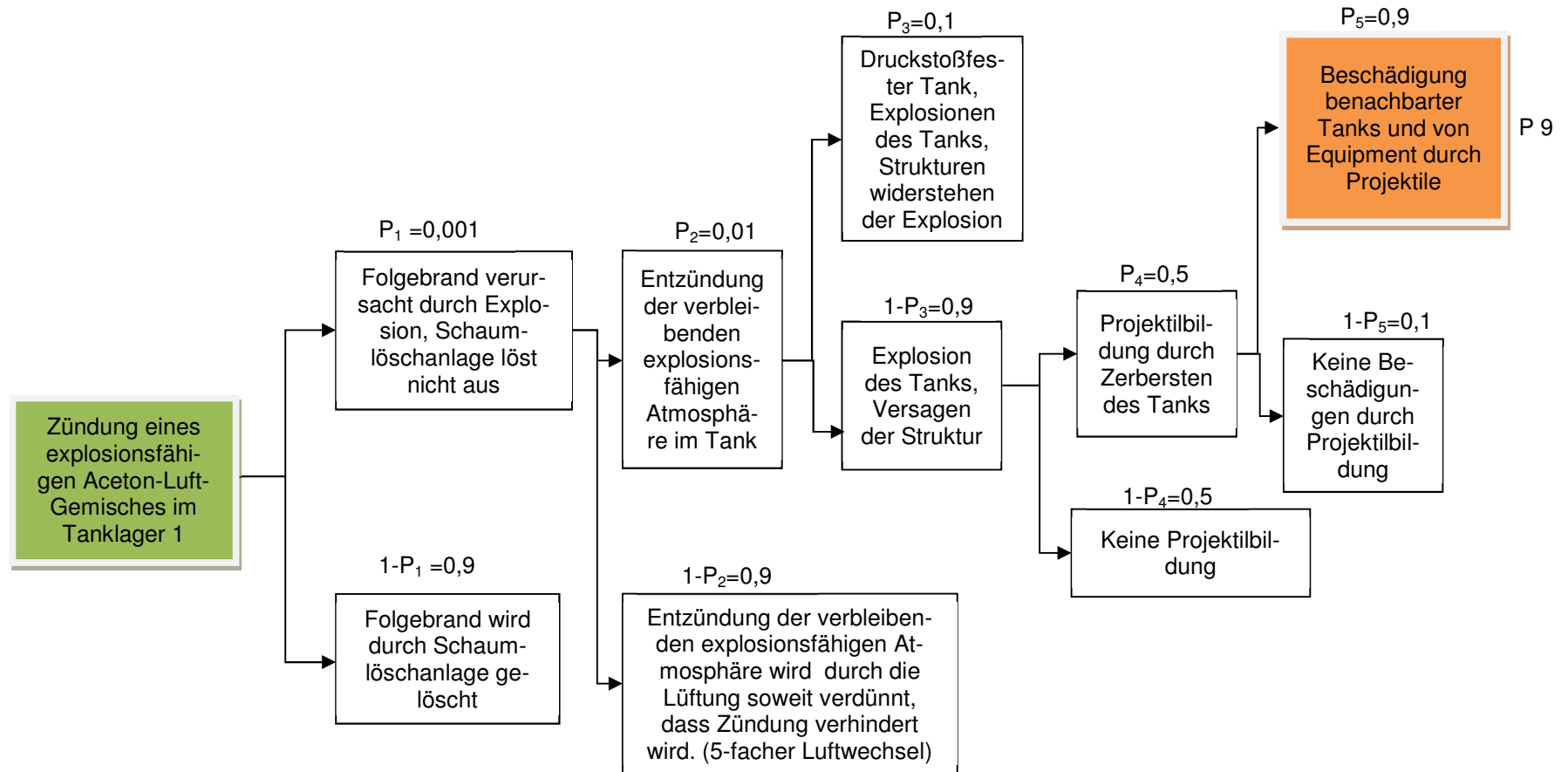


Bild 23: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Trümmerflug

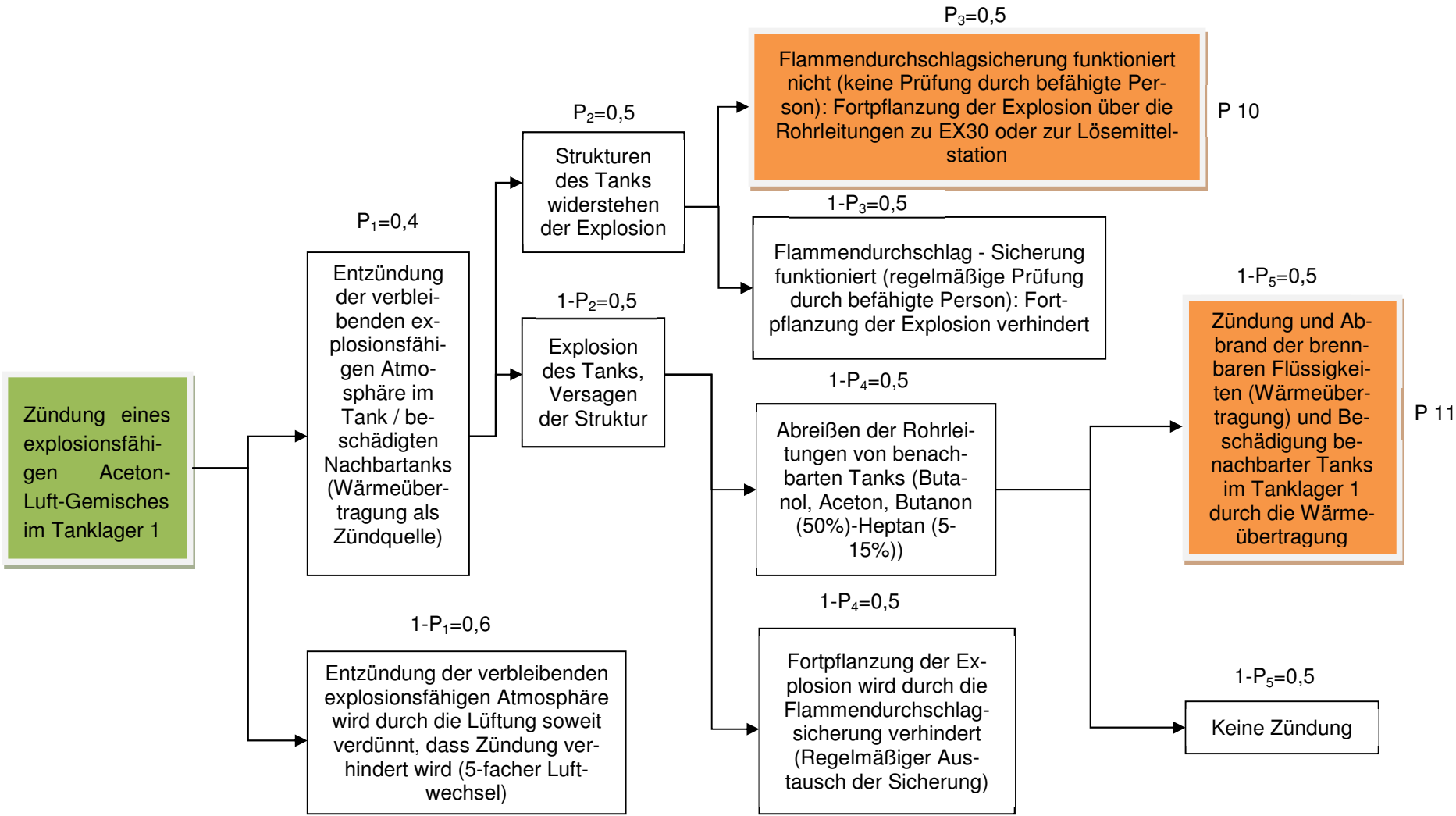


Bild 24: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Flammendurchschlag (verursacht durch Zündung)

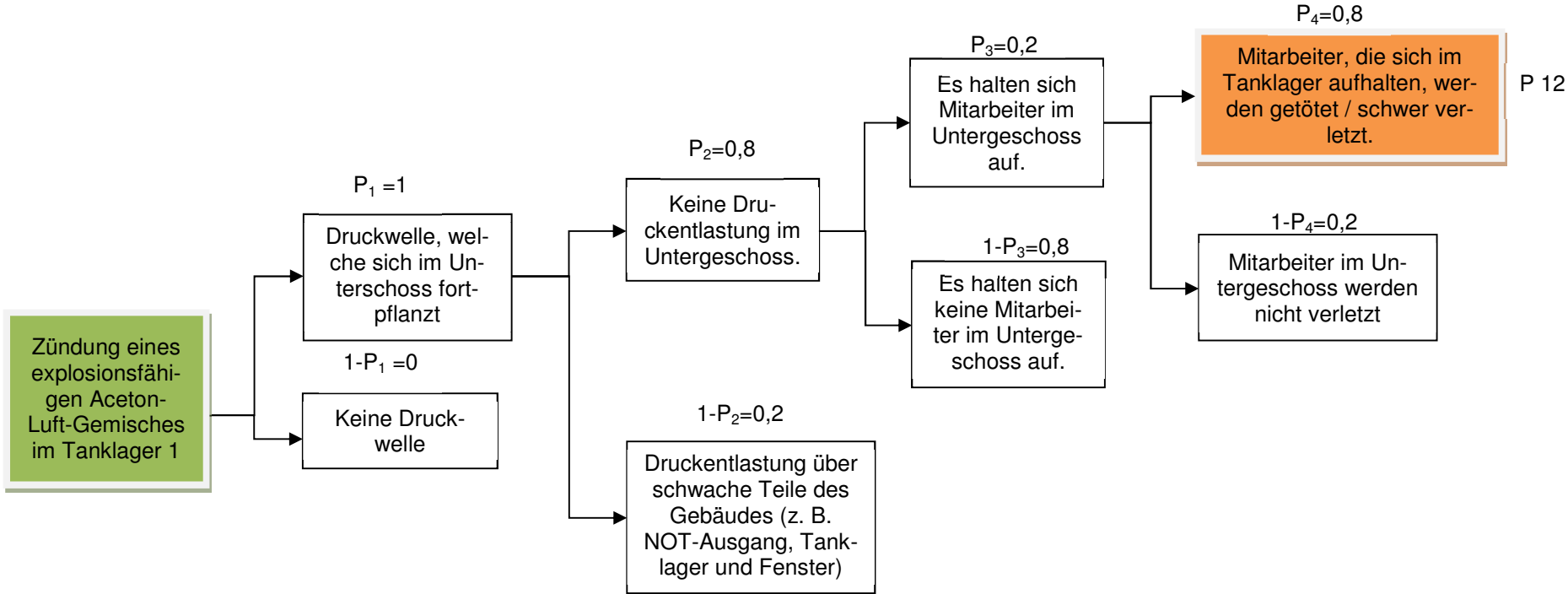


Bild 25: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle

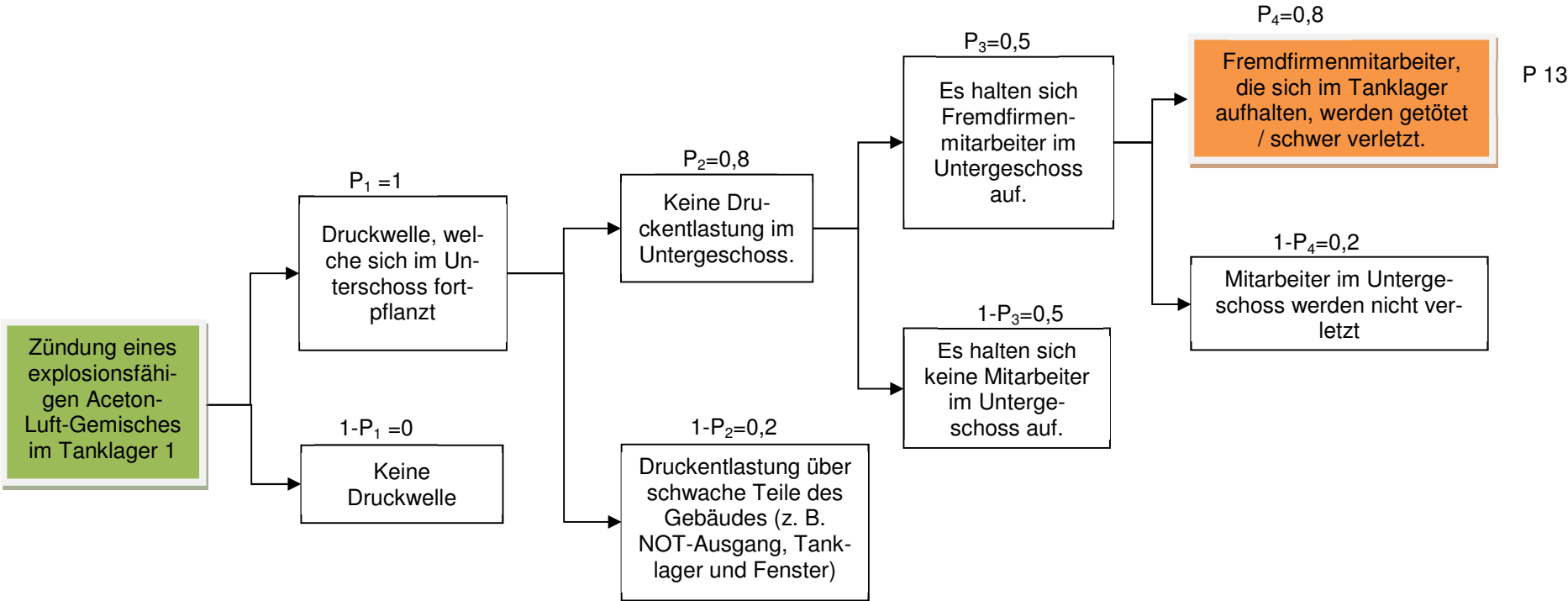


Bild 26: Personenschäden (Fremdfirmen) im Untergeschoss durch die Druckwelle

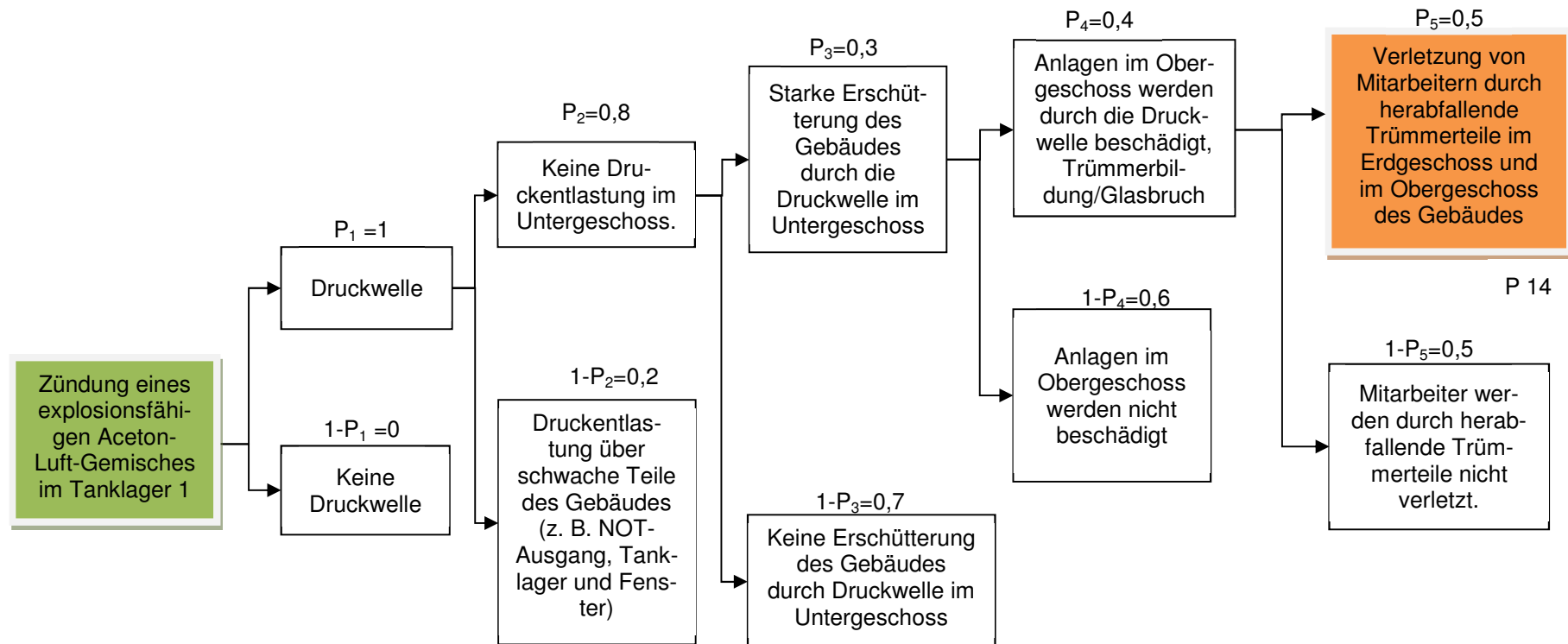


Bild 27: Personenschäden im Erdgeschoss und im Obergeschoss durch Trümmerteile

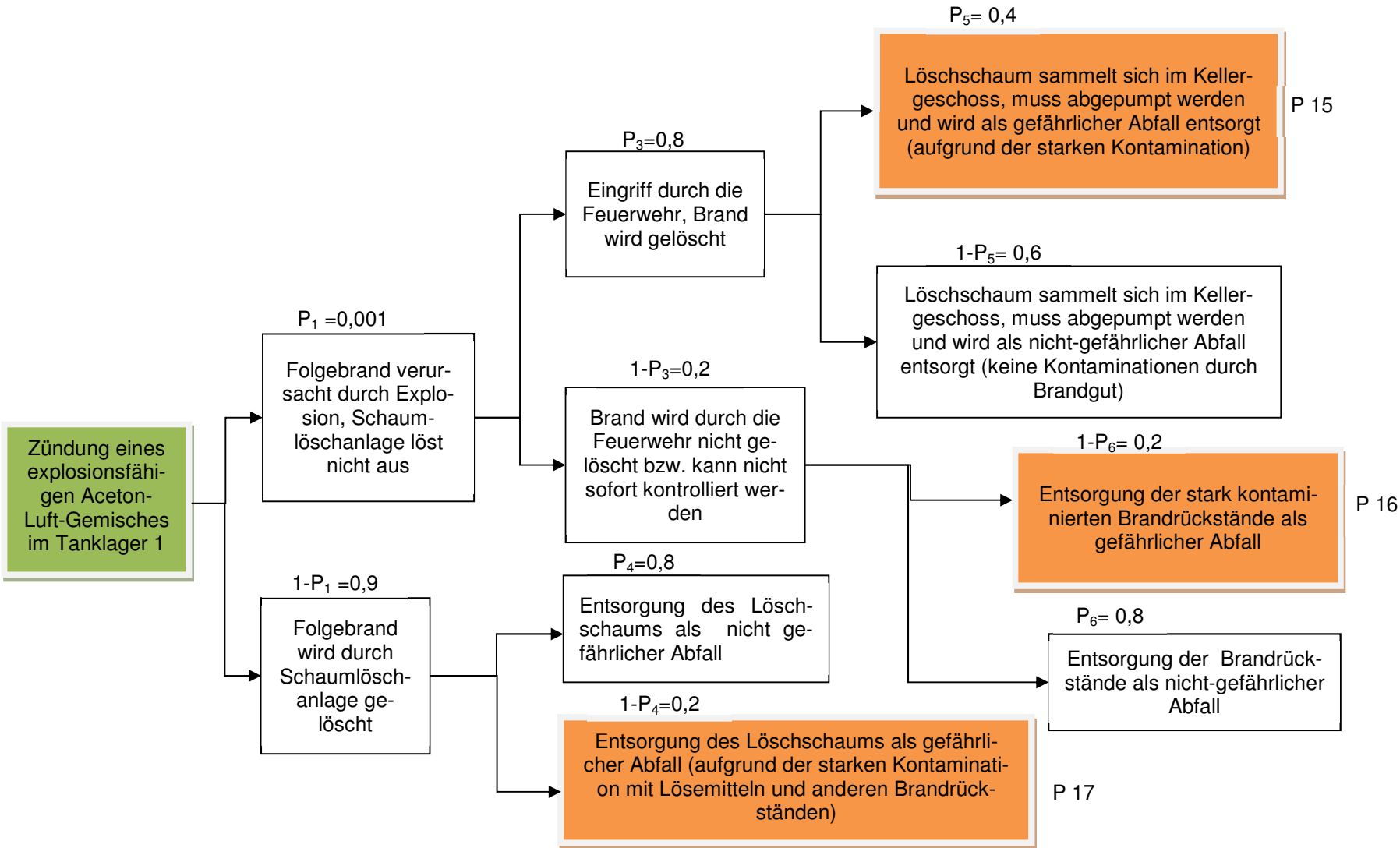


Bild 28: Umweltschäden: Löschschaum- Entsorgung als gefährlicher Abfall

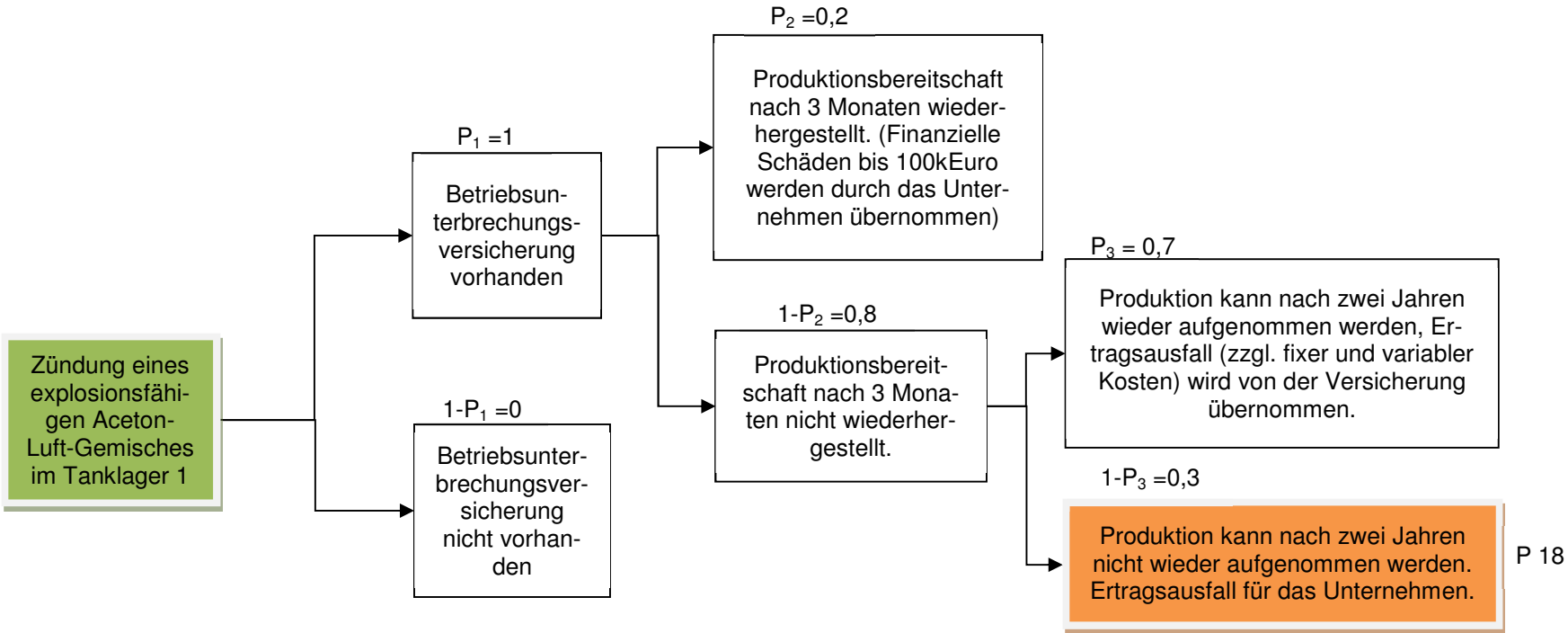


Bild 29: Ertragsausfallschäden

6.1.4.3.1 Ergebnis der Ereignisablaufanalyse

In diesem Schritt werden die Ergebnisse der Ereignisablaufanalyse zusammengefasst und es wird entschieden, für welche Auswirkungen die finanziellen Schäden ermittelt werden. Hierbei werden alle Ereignisse berücksichtigt, welche eine Eintrittswahrscheinlichkeit > 1 % aufweisen. Ereignisse, welche diese Eintrittswahrscheinlichkeit nicht erreichen, werden in der Ermittlung der finanziellen Auswirkungen nicht berücksichtigt und in der nachfolgenden Tabelle rot gekennzeichnet. Das detaillierte Ergebnis der Ereignisablaufanalyse sowie die Ermittlung der finanziellen Auswirkungen für die identifizierten Ereignisse kann man dem Anhang entnehmen:

Tabelle 21: Ergebnis der Ereignisablaufanalyse

P	Kurze Beschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit
1	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	8 %
2	Starke Beschädigung des Gebäudes (siehe Auswirkungsberechnung TNT-Äquivalent)	72 %
3	Beschädigung des Gebäudes aufgrund der Druckentlastung über schwache Teile	10 %
4	Zerstörung von Anlagenteilen (z. B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (EX001)	58 %
5	Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (EX001)	14 %
6	Wasserschaden durch die Löscharbeiten der Feuerwehr im Untergeschoss	0,001 %
7	Starke Beschädigung der Anlagen und des Untergeschosses durch Wärmeübertragung	0,014 %
8	Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m ³ Löschschaum)	14%
9	Beschädigung benachbarter Tanks und von Equipment durch Trümmerflug	0,0004%
10	Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen zu EX80 und EX30 (über Tanklager EX005) oder zur Lösemittelstation	10 %
11	Zündung und Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmeübertragung) und Beschädigung benachbarter Tanks im Lager EX01 durch die Wärmeübertragung	5 %
12	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet/schwer verletzt.	13 %
13	Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt	32 %
14	Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes	5 %
15	Löschschaum sammelt sich im Kellergeschoss, muss abgepumpt werden und wird als gefährlicher Abfall entsorgt (aufgrund der starken Kontamination)	0,0 32%

P	Kurze Beschreibung	Eintrittswahrscheinlichkeit
16	Entsorgung der stark kontaminierten Brandrückstände als gefährlicher Abfall	0,004 %
17	Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (aufgrund der starken Kontamination mit Lösemitteln und anderen Brandrückständen)	18 %
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	24 %

6.1.4.4 Ermittlung der finanziellen Auswirkungen

Für Auswirkungen mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von > 1 % werden die finanziellen Schäden individuell ermittelt. Da diese Aufstellung sehr umfangreich ist, erfolgt eine Darstellung im Anhang 1. Die Ergebnisse dieser Zusammenstellung werden in der Monte-Carlo-Methode verwendet und mit Crystal Ball umgesetzt. Die Ergebnisse der Crystal Ball-Analyse werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

6.1.5 Risikoanalyse (Schritt 3) und Risikobewertung (Schritt 4)

Das Ergebnis der Modellierung mit Crystal Ball® (Monte-Carlo-Analyse) wird im Anhang 1 dargestellt. Die Zusammenfassung der Ergebnisse kann man dem folgenden Bild entnehmen.

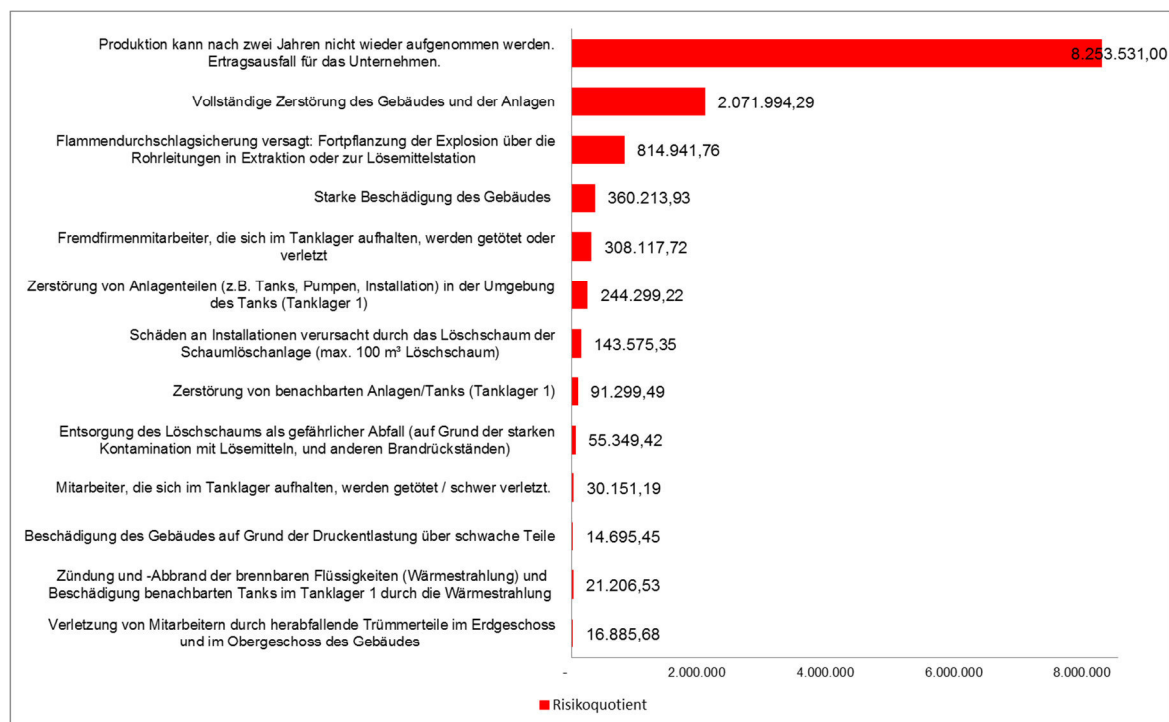


Bild 30: Darstellung des Risikos (Risikoquotient = Schaden [Vertrauensniveau 80 % *] * Eintrittswahrscheinlichkeit)

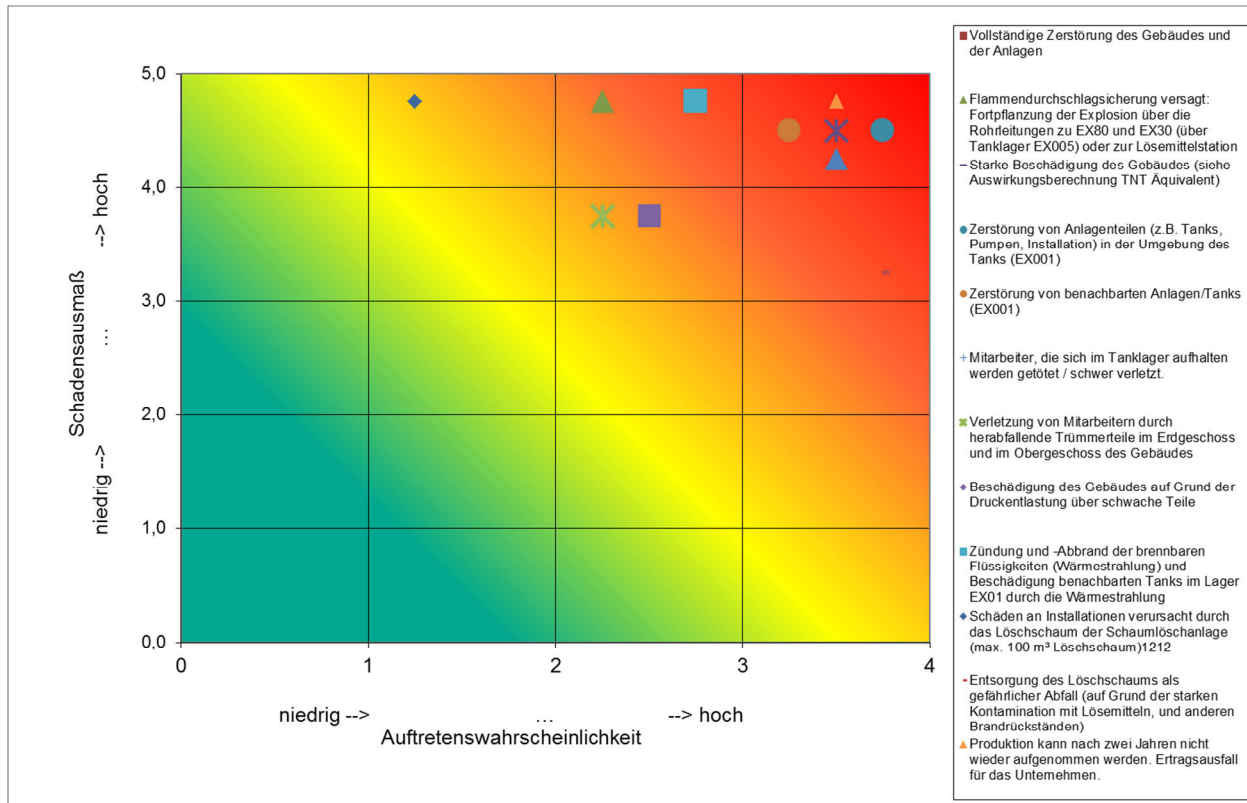


Bild 31: Risikomatrix Tanklager 1

Das höchste Risiko stellt der Ertragsausfall dar. Außerdem würde die Zerstörung/starke Beschädigung des Produktionsgebäudes und der zugehörigen Produktionsanlagen zu erheblichen finanziellen Folgen für das Unternehmen führen. Um eine wirksame Risikobewältigung bzw. -steuerung umzusetzen, müssen spezifische Maßnahmen zur Risikobewältigung ausgewählt werden. Auswirkungen, bei denen eine Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit zu einer Minimierung des Gesamtrisikos führen würde, werden im nachfolgenden Kapitel dargestellt. Nach Rücksprache mit dem Betreiber der Anlage wurde entschieden, Maßnahmen zur Risikobewältigung für Auswirkungen mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit und einem hohen Risikoquotienten zu ermitteln. Auswirkungen mit einem geringen Risikoquotienten, aber einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit werden durch den Betreiber akzeptiert.

Auswirkungen mit einem hohen Risikoquotienten (≥ 100.000 Euro) und einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit ($>10\%$):

Personenschäden:

- P 13: Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt

Sachschäden:

- P 2: Starke Beschädigung des Gebäudes
- P 10: Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen in Extraktion oder zur Lösemittelstation
- P4: Zerstörung von Anlagenteilen (z. B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung von Tank 1

Ertragsausfallschäden:

- P 18: Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.

Die Maßnahmen zur Bewältigung der oben dargestellten Risiken werden im folgenden Kapitel zusammengefasst.

6.1.6 Risikobewältigung (Schritt 5)

6.1.6.1 P13 Personenschäden – Risikoprävention durch technische und organisatorische Maßnahmen

Zu Personenschäden kommt es, wenn sich Mitarbeiter oder Fremdfirmenmitarbeiter im Kellergeschoss aufhalten. Da es zurzeit keine Zutrittskontrolle im Kellergeschoss gibt, besteht die Möglichkeit, dass sich Fremdfirmenmitarbeiter ohne das Wissen der Produktionsmitarbeiter im Kellergeschoss aufhalten. Im Fall eines Gasalarms würden diese Personen nicht gewarnt werden, da die Alarmer der Gasmeldeanlage zurzeit nur in der Leitwarte der Produktion erfasst werden. Eine zeitnahe und schnelle Alarmierung im Keller ist somit nicht gegeben. Daher wird vorgeschlagen, eine akustische Warnung an die bestehende Gaswarnanlage zu koppeln. Während der Begehung des Kellergeschosses wurde außerdem festgestellt, dass die Gassensoren zu hoch und über den Entlüftungsschächten angebracht wurden. Da Lösemitteldämpfe schwerer als Luft sind, würden sich diese auf dem Boden ausbreiten.

Die Gassensoren sind zurzeit in einer Höhe von 1 m und würden somit im Falle eines Stoffaustritts zu spät reagiert. Daher wird eine Versetzung der Gaswarnsensoren in bodennahe Bereiche empfohlen. Die Kosten für den Einbau werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Die Kosten beruhen sich auf Schätzungen aus ähnlichen Projekten:

Tabelle 22: Kosten für das Versetzen der Gassensoren und Installation einer akustischen Alarmierung

Kostenart	CL50	CL95	Einheit
Materialkosten (Versetzen der Sensoren, Einbau der Alarmierung)			
Akustische Alarmierung und Material	5.000,00	6.500,00	Anzahl
Zwischensumme Materialkosten	5.000,00	6.500,00	Euro
Personalkosten			
Facharbeiter	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	45,00	58,50	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	10,00	12,00	Stunden
Zwischensumme Personalkosten	4.400,00	8.236,80	Euro
Summe Upgrade der Gaswarnanlage	9.400,00	14.736,80	Euro

*CL 95 werden mit der Annahme einer 20%-Erhöhung der Quantität und einer 30%-Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen würde sich die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswirkungen reduzieren. Daher werden die Ereignisablaufdiagramme für die ermittelten Schadensarten aktualisiert und in *Bild 32: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert* sowie in *Bild 34: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert* dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass es bei der Umsetzung der geplanten Maßnahmen nicht nur zu einer Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit bei Personenschäden – Fremdfirmenmitarbeiter kommt, sondern Personenschäden insgesamt reduziert werden. Die Ergebnisse der aktualisierten Ereignisablaufanalyse werden in Tabelle 27 dargestellt.

6.1.6.2 P2 & P4 Sachschäden – Risikoprävention durch technische Maßnahmen

Gebäude- und Anlagenschäden mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit werden vor allem durch den Überdruck der Explosion verursacht. Eine technische Lösung zur Reduzierung des Überdrucks ist aufgrund der baulichen Gegebenheiten nicht möglich. Die einzige Möglichkeit wäre die Verlegung der Anlage aus dem Keller in die Außenbereiche des Standortes. Diese Möglichkeit der Verlegung wurde vom Unternehmen bereits geplant und folgende Kosten für die Umbaumaßnahmen wurden ermittelt. Dabei wurde die Verlegung des Tanklagers in zwei Ausbaustufen geplant:

- Stufe 1: 6 Lagebehälter mit je 30.000 l - Kosten all inklusive: ca. 1,5 Mio. Euro
- Stufe 2: 12 Lagerbehälter je 30.000 l: 2,5 Mio. Euro

Die Gesamtkosten für den Ausbau wurden somit auf 4.000.000 Euro geschätzt. Damit übersteigen die hierbei anfallenden Kosten das ermittelte Risiko bzw. den Risikoquotienten von 2.133.595. Daher wurde dieses durch das Unternehmen im Sinne der Risikobewältigung als nicht sinnvoll erachtet.

6.1.6.3 P10 Sachschäden - Risikoprävention durch technische Maßnahmen

Die Flammendurchschlagsicherungen im Tanklager wurden 1972 eingebaut und durch das Standortpersonal regelmäßig gewartet. Eine Prüfung durch eine befähigte Person hat nicht stattgefunden. Daher wird es als sinnvoll erachtet, die bestehenden Flammendurchschlagsicherungen dem Stand der Technik entsprechend zu ersetzen. Zur Ermittlung der Kosten für den Austausch der Flammendurchschlagsicherungen wurde ein anlagenspezifisches Angebot bei einem Hersteller für Flammendurchschlagsicherungen (*Braunschweiger Flammenfilter*) eingeholt. Das Angebot ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst und ist die Grundlage für die Kostenermittlung:

Tabelle 23: Kosten für den Austausch der Flammendurchschlagsicherung

Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Materialkosten			
Detonationsrohrsicherung: Absicherung der Füllleitung, Saugleitung und Ent- und Belüftungsleitung (Tanks mit Medium Aceton und Methanol)	14.676,00	19.078,80	Euro
Detonationsrohrsicherung: Absicherung der Füllleitung, Saugleitung und Ent- und Belüftungsleitung (Tanks mit Medium Ethanol, Butanon 50 %, Heptan 5-15 %, Ethanol > 62 % und Butanon-Aceton)	111.795,00	145.333,50	Euro
Absicherung der Gaspendelleitung bei der Annahme jeweils einer Sammelleitung für die Medien Aceton oder Methanol	6.418,00	8.343,40	Euro

Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Absicherung der Gaspendelleitung bei der Annahme jeweils einer Sammelleitung für die Medien Ethanol, Butanon 50 %, Heptan 5-15 %, Ethanol > 62 % und Butanon-Aceton	13.968,00	18.158,40	Euro
Zwischensumme Materialkosten	146.857,00	190.914,10	Euro
Personalkosten für den Einbau			
Facharbeiter	5,00	6,00	Anzahl
Stundenlohn	45,00	58,50	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Zwischensumme Personalkosten	37.600,00	70.387,20	Euro
Summe zum Austausch der Flammendurchschlag-sicherungen	184.457,00	261.301,30	Euro

*CL95 werden mit der Annahme einer 20%-Erhöhung der Quantität und einer 30%-Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Der möglicherweise notwendige Austausch von Rohrleitungen wurde in der Kostenaufstellung nicht berücksichtigt, da dies aus heutiger Sicht nicht kalkulierbar ist. Die aktualisierte Ereignisablaufanalyse wird in *Bild 33: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Flammendurchschlag (verursacht durch Zündung)* - reduziert dargestellt und die Ergebnisse in Tabelle 27 dargestellt.

6.1.6.4 P 18 Ertragsausfallschäden -> Betriebliches Kontinuitätsmanagement

Um einen Ertragsausfall aufgrund nicht mehr fortzuführender Produktionsprozesse zu verhindern, wird die Einführung eines betrieblichen Kontinuitätsmanagements empfohlen. Im Kontext des betrieblichen Kontinuitätsmanagements können beispielsweise durch die Identifikation eines Ersatz-Extraktes, welches extern hinzugekauft wird, Ertragsausfälle reduziert werden. Ziel ist hierbei, bereits im Vorfeld Strukturen zu entwickeln, welche es im Schadensfall möglich machen schnell und effizient zu handeln, um einen längeren Produktionsausfall zu verhindern. Die Kosten zur Beschaffung eines Substituts wurden in Zusammenarbeit mit der Produktionsleitung und dem Einkauf ermittelt. Hierbei wurde festgestellt, dass es für einige Extrakte schwierig ist, einen passenden Lieferanten zu finden. Daher wurden zunächst marktübliche Preise abgeschätzt:

Tabelle 24: Extrakt-Preise zur Ersatzbeschaffung

Kostenart	Preis [Euro/kg]	Jahresverbrauch [Tonne]	CL50	CL95*	Einheit
Stoff A	42	30	1.260.000	1.638.000	Euro
Stoff B	35	10	350.000	455.000	Euro
Stoff C	52	60	3.120.000	4.056.000	Euro
Stoff D	45	10	450.000	585.000	Euro
Stoff E	55	10	550.000	715.000	Euro
Stoff F	500	20	10.000.000	13.000.000	Euro
Summe Extrakt			15.730.000	20.449.000,00	Euro

*CL95 werden mit der Annahme einer 20%-Erhöhung der Quantität und einer 30%-Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Die Einführung eines Betrieblichen Kontinuitätsmanagements (BKM) wird als interne Managementzeit gerechnet. Externe Ressourcen können durch auf BKM spezialisierte Beratungsgesellschaften gestellt werden. Die Kosten für die Einführung des BKM werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Interner Managementaufwand ist in dieser Aufstellung nicht enthalten.

Tabelle 25: Kosten für die Einführung eines BKM (nur externe Unterstützung)

Kostenart	CL 50	CL 95*	Einheit
BKM- Berater	2,00	2,40	Stück
Stundenlohn	130,00	169,00	Euro
Einsatzzeit	120,00	144,00	Stunden
Kosten Planung	31.200,00	58.406,40	Euro
Nebenkosten	2.500,00	3.250,00	Euro
Summe Einführung eines BKM	33.700,00	61.656,40	Euro

*CL95 werden mit der Annahme einer 20%-Erhöhung der Quantität und einer 30%-Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Das Ereignisablaufdiagramm für den Ertragsausfallschaden wird aktualisiert und in *Bild 35: Ertragsausfallschäden - reduziert* dargestellt. Die Ergebnisse der aktualisierten Ereignisablaufanalyse werden in Tabelle 27 dargestellt. Basierend auf den Ergebnissen der Risikobewältigung werden die Ereignisablaufdiagramme aktualisiert. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden und dass es somit durch die Implementierung zusätzlicher Schutzmaßnahmen zu einer Reduzierung der Gesamt-Eintrittswahrscheinlichkeit für die betrachtete Auswirkung kommt. Außerdem werden die ermittelten Kosten nochmals mittel Crystal Ball® modelliert. Die Ergebnisse – sowohl die aktualisierte Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die Investitionen für die zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen - werden in den nachfolgenden Ereignisablaufanalysen zusammengefasst.

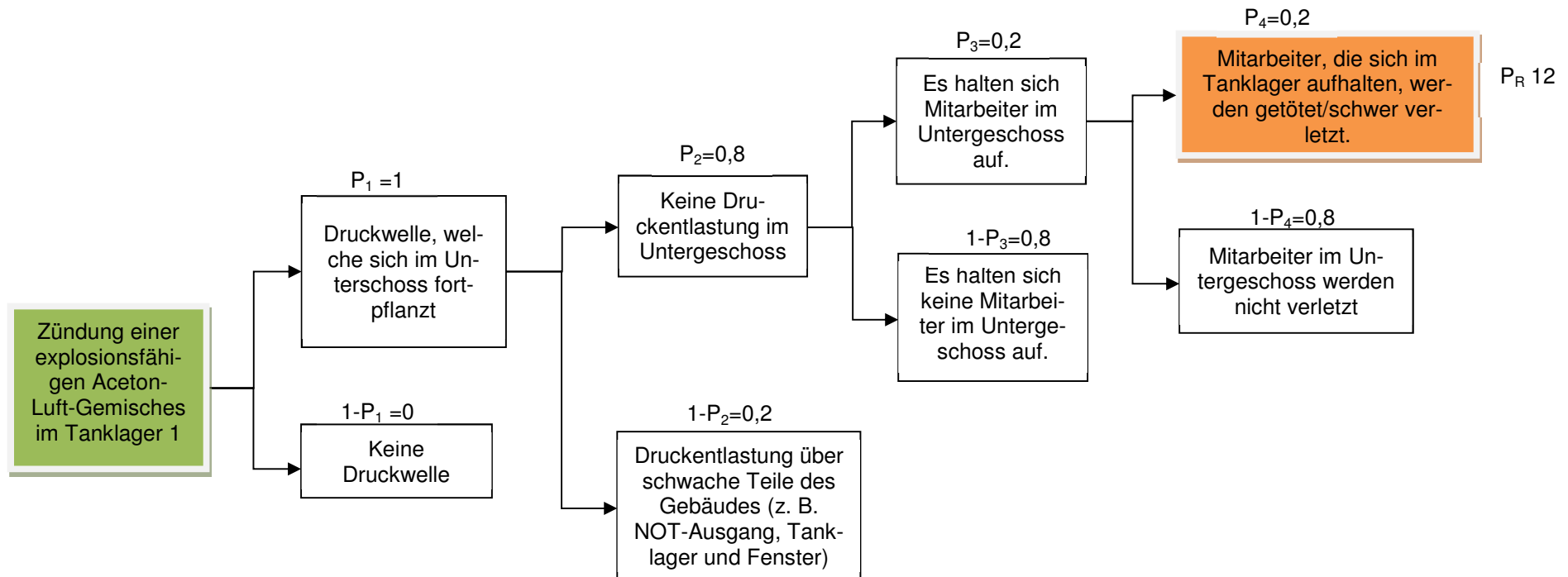


Bild 32: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert

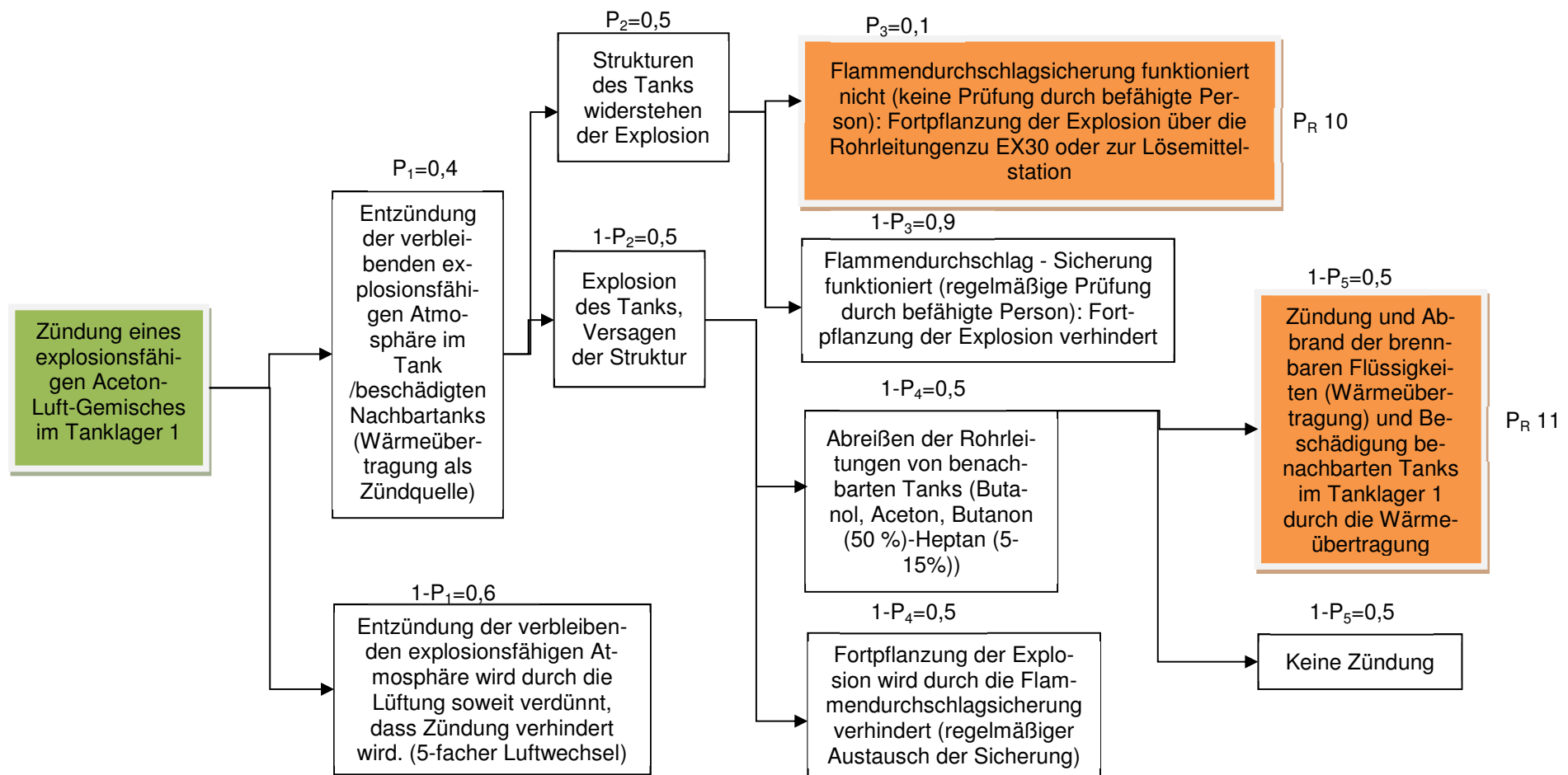


Bild 33: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Flammdurchschlag (verursacht durch Zündung) - reduziert

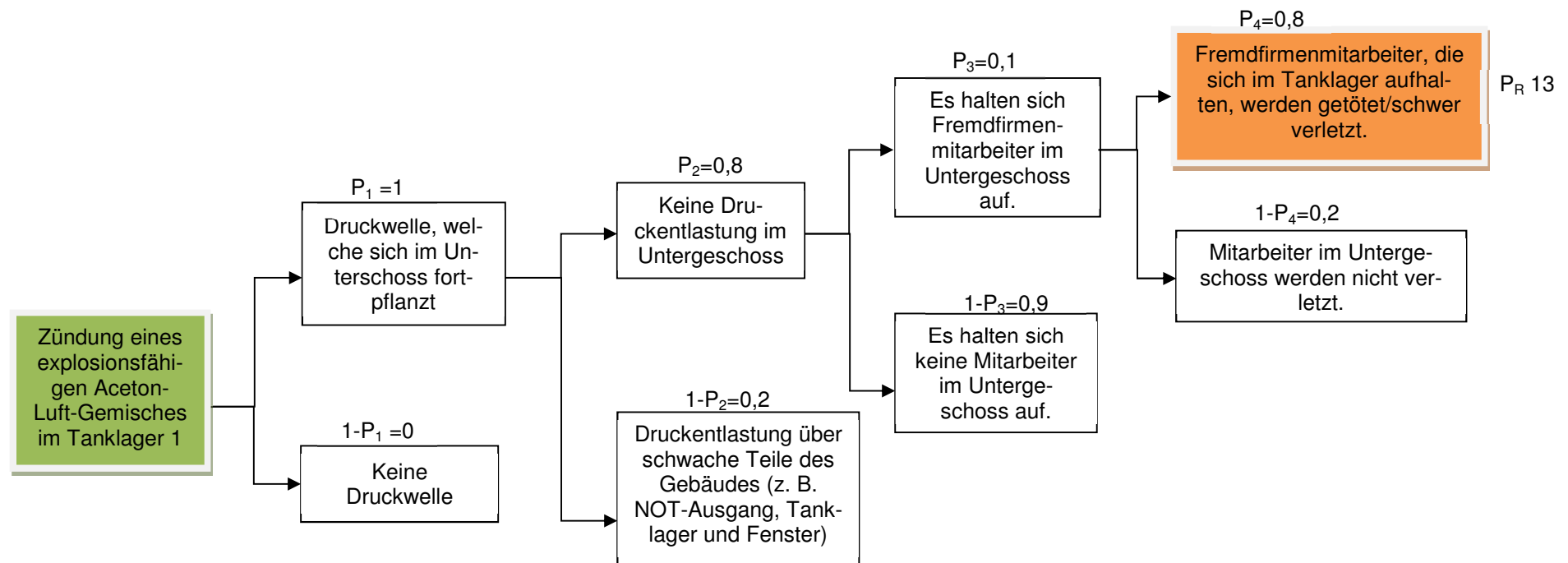


Bild 34: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert

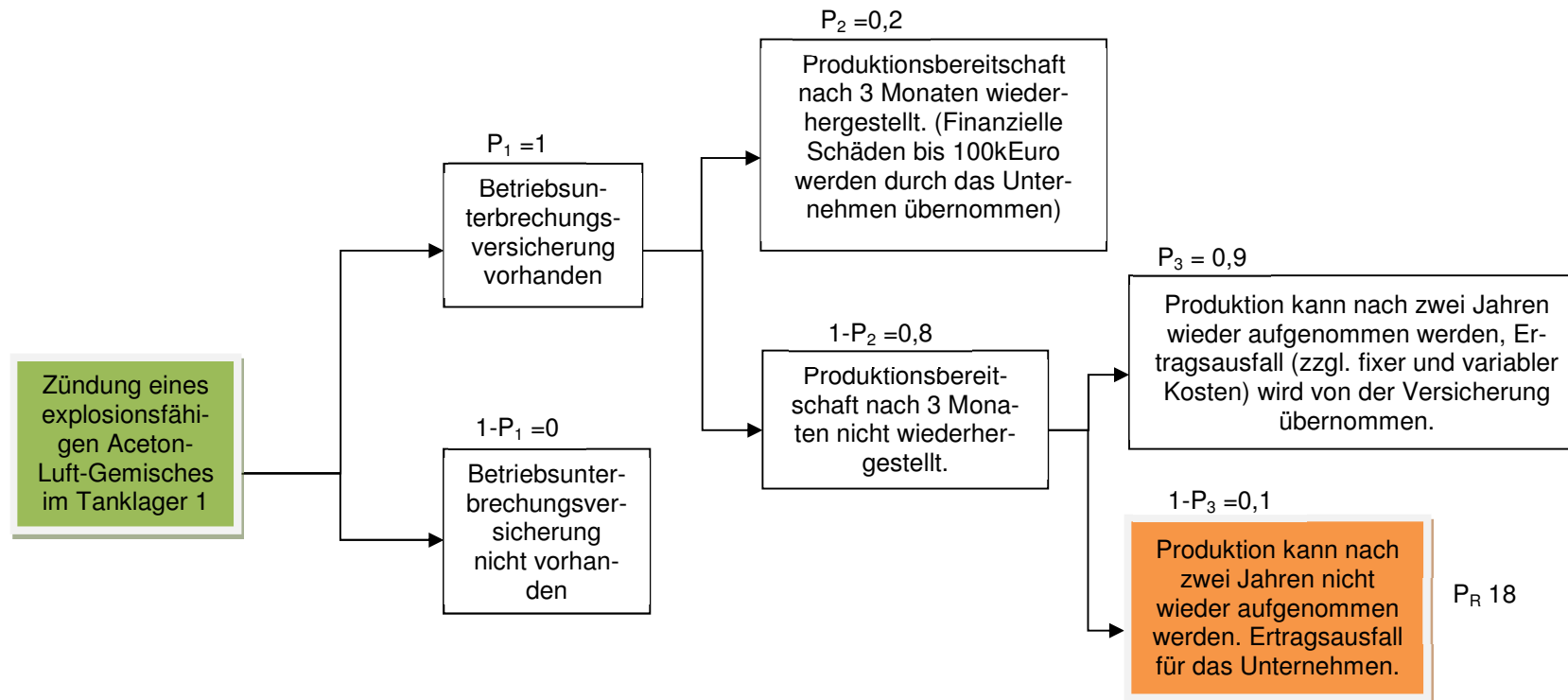


Bild 35: Ertragsausfallschäden - reduziert

Aufgrund der geplanten Maßnahmen kommt es zu folgenden reduzierten Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie reduzierten Risikoquotienten.

Tabelle 26: Maßnahmen zur Risikobewältigung

<i>P</i>	<i>kurze Beschreibung</i>	<i>Reduzierte Eintrittswahrscheinlichkeit P_R</i>
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall	8 %
10	Flammendurchschlagsicherung versagt	2 %
12	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet/schwer verletzt.	3 %
14	Verletzung durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss	1 %

Durch die Maßnahmen der Risikobewältigung wird die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine negative Auswirkung erheblich reduziert. Im vorgestellten Praxisbeispiel kann durch eine Investition von ca. 250.000 Euro der Risikoquotient, welcher die finanziellen Auswirkungen durch eine Explosion im Tanklager 1 darstellt, erheblich reduziert werden. Dies wird auch in der nachfolgenden Darstellung im Risikographen und in der Risikomatrix deutlich. Die Ergebnistabelle für den reduzierten Risikoquotienten befindet sich in Anhang 1.

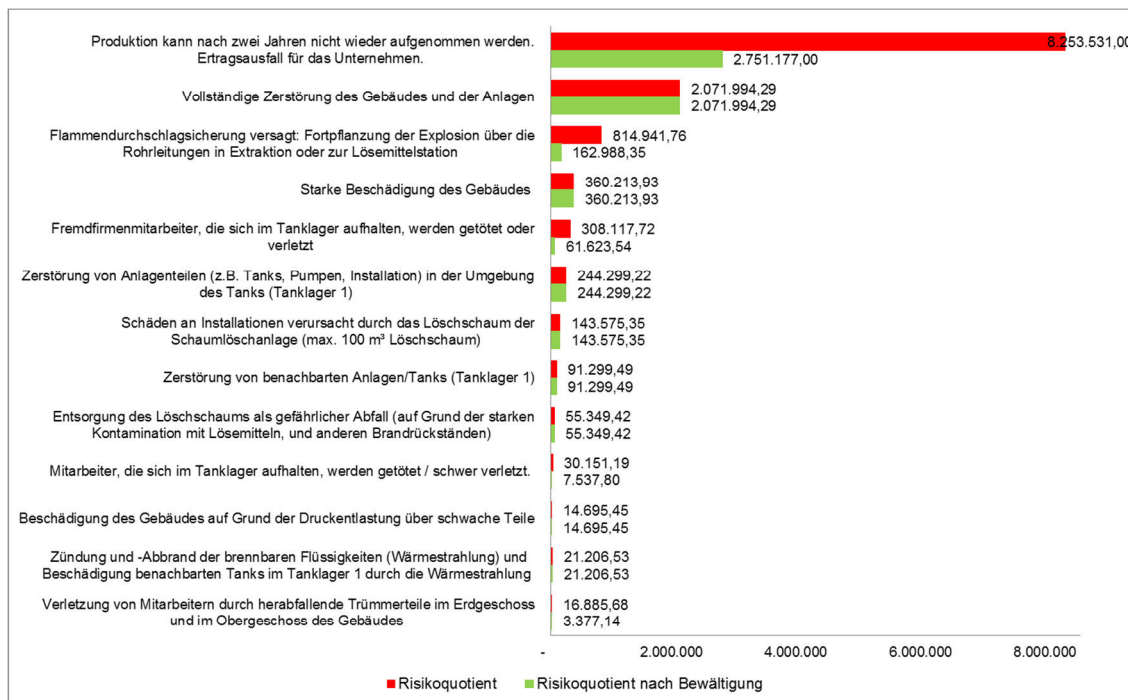


Bild 36: Risikograph nach Risikobewältigung

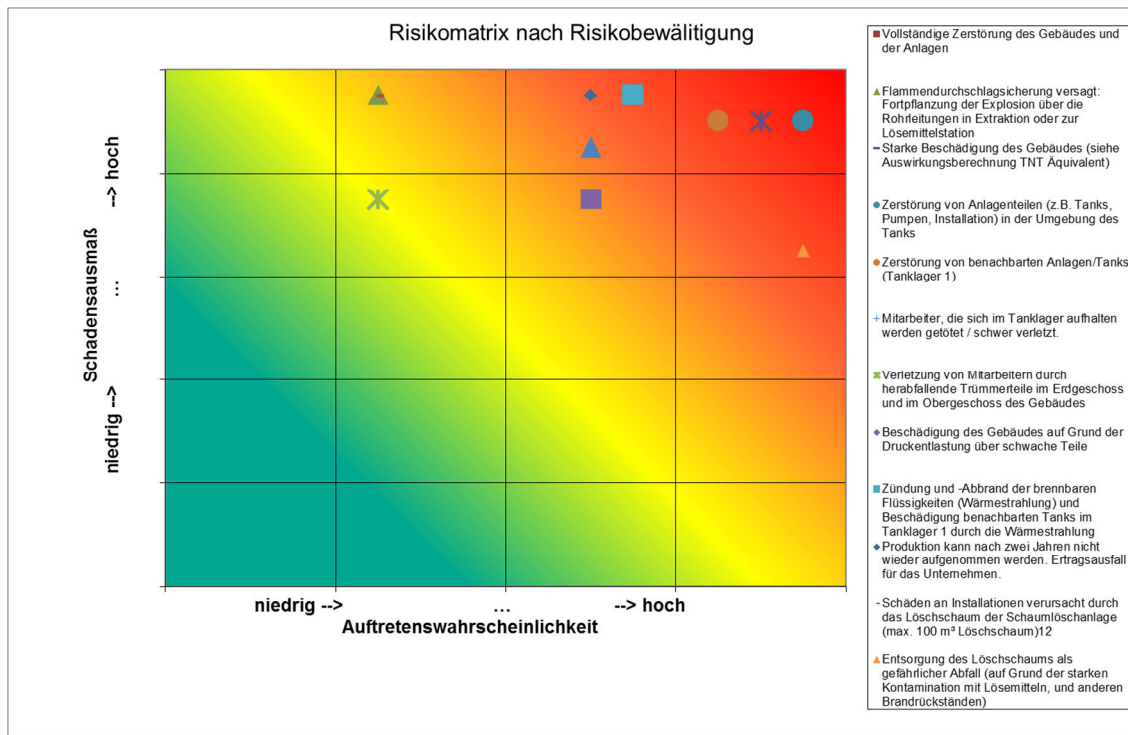


Bild 37: Risikomatrix nach Risikobewältigung

6.2 Ergebnis der praktischen Umsetzung

Insgesamt verursacht die Explosion im Tanklager folgende finanzielle Schäden (im besten Fall VN 50):

- Sachschäden:
 - bei vollständiger Zerstörung: 23 Millionen Euro
 - bei starker Beschädigung: 8 Millionen Euro
- Ertragsausfallschäden: 30 Millionen Euro
- Personenschäden: 1,3 Millionen Euro

Bei dem Praxisbeispiel handelt es sich um einen Explosionsschaden, verursacht durch die Explosion eines Tanks im Kellergeschoss eines Produktionsgebäudes. Durch starke Verkettung der Anlagenteile innerhalb des Extraktionsprozesses geht man von einer starken Beschädigung in den nachfolgenden Anlagen aus. Der Ausfall der Extraktionsanlage aufgrund der entstandenen Explosionsschäden hat erhebliche Auswirkungen auf den Weiterbetrieb der Anlage. Die Investitionen in zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen sind in dieser Anlage aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll. Dies macht auch die Gegenüberstellung des Risikoquotienten deutlich. Mit der Umsetzung der identifizierten Maßnahmen zur Risikobewältigung kann das Gesamtrisiko bzw. der Risikoquotient von 12.000.000 auf 6.000.000 reduziert werden.

Instrumente zur Risikobewältigung sind bisher noch nicht implementiert, was zu einem hohen Schaden in den Schadenskategorien Sachschaden und Ertragsausfall führen würde. Hier würden die Umsetzung der sicherheitstechnischen Maßnahmen zur Risikoprävention (z. B. Modernisierung der Flammendurchschlagsicherungen) sowie die Einführung eines betrieblichen Kontinuitätsmanagements die finanziellen Auswirkungen einer Explosion erheblich reduzieren.

Praktische Umsetzung der Risikobeurteilung

Die praktische Umsetzung der entwickelten Methodik hat gezeigt, dass durch eine systematische Analyse potenzielle Schadensereignisse im Vorfeld ermittelt und erhebliche finanzielle Auswirkungen für das Unternehmen begrenzt werden können. Die Investition in zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen lässt sich mit den Ergebnissen der Risikobeurteilung objektiv begründen.

7 Fazit

Die Notwendigkeit der Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen kann objektiv bewiesen werden. Dies wird nicht nur in der praktischen Umsetzung verdeutlicht, welche die finanzielle Auswirkung eines Explosionsereignisses bewertet und den notwendigen Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen gegenüberstellt. Dies wird auch anhand der vorgestellten Methodik deutlich, welche eine Integration technischer Risiken in das wirtschaftlich geprägte Risikomanagementsystem eines Unternehmens ermöglicht und so die Wirtschaftlichkeit sicherheitstechnischer Maßnahmen beweist. Durch die Anwendung der Monte-Carlo-Methode und deren Umsetzung mit Crystal Ball[®] werden Unsicherheiten, welche mit der Datenermittlung in der quantitativen Risikobeurteilung verbunden sind, reduziert. Der gewählte Ansatz der quantitativen Risikobeurteilung stellt durch die Modellierung der Risikokosten mit Crystal Ball[®] einen in der Sicherheitstechnik neuen Ansatz dar, welcher die ingenieurwissenschaftliche und wirtschaftliche Betrachtung von Schadensereignissen ermöglicht.

Betrachtet man die Höhe des entstandenen finanziellen Schadens, welcher anhand des Praxisbeispiels ermittelt wurde, wird deutlich, dass die Beurteilung der wirtschaftlichen Auswirkung eines Explosionsereignisses ein wesentlicher Bestandteil des strategisch geprägten Risikomanagements eines Unternehmens sein sollte. Die Gegenüberstellung der finanziellen Auswirkungen und der notwendigen Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen bietet nicht nur der sicherheitstechnischen Fachabteilung eine Entscheidungsgrundlage, sondern auch der Unternehmensführung einen transparenten Überblick der technischen Risiken und notwendiger Maßnahmen bzw. Investitionen, um diese Risiken zu minimieren.

Mittels der vorgestellten Methodik können technische Risiken mit Hilfe von Finanzwerten quantifiziert und in das Risikomanagementsystem eines Unternehmens integriert werden. Den organisatorischen Rahmen und den Prozess für die Umsetzung bildet die ISO 31000, welche es folglich ermöglicht, Risikomanagement auf alle Organisationen und auf alle Arten von Risiken auszuweiten. So ist es möglich, dass innerhalb des Risikomanagementsystems technische Risiken neben anderen Unternehmensrisiken bzw. Betriebsrisiken dargestellt werden, signifikante technische Risiken identifiziert und Prioritäten bei der Risikobewältigung gesetzt werden. Für das betroffene Unternehmen besteht somit nicht mehr das Risiko, dass technischen Risiken aufgrund fehlender Kenntnis im betriebsinternen Risikomanagementsystem keine Anwendung finden und wirtschaftlichen Risiken, welche mit einer Explosion verbunden sind, nicht erkannt werden.

Der Mehrwert der vorgestellten Methodik besteht somit in zweierlei Hinsicht: einerseits mit der objektiven Begründung sicherheitstechnischer Maßnahmen und andererseits mit der Integration technischer Risiken in das Risikomanagementsystem eines Unternehmens. Das wird vor allem dann ersichtlich, wenn man berücksichtigt, dass sich Investitionen in Sicherheitsmaßnahmen erst dann begründen, wenn es im Falle eines Unfalls zu keinen oder nur geringen negativen finanziellen Auswirkungen kommt. In der Praxis hat sich gezeigt, dass in vielen Fällen eine objektive Begründung sicherheitstechnischer Maßnahmen nicht immer möglich ist und sicherheitsrelevante Investitionen daher nicht getätigt werden, wenn die Notwendigkeit für Dritte nicht ersichtlich ist. Der Betreiber einer Anlage bzw. die Fachkraft für Arbeitssicherheit muss sich mit kostengünstigen, meist organisatorischen Maßnahmen behelfen, welche keine vollständige Sicherheit geben, dass die Anlage unfallfrei betrieben werden kann. Durch die Ermittlung der finanziellen Auswirkungen eines potenziellen Schadensereignisses im Vorfeld möglicher Investition können der Schaden durch eine Explosion und der Nutzen durch sicherheitstechnische Maßnahmen gegenübergestellt werden und auf diese Weise eine objektive Entscheidung ermöglichen.

Außerdem kann die vorgestellte Methodik neben den vorgestellten Anwendungsmöglichkeiten auch wie folgt eingesetzt werden:

- Erstellung technischer Kosten-Nutzen-Analysen
- Ermittlung der Dringlichkeit bei der Umsetzung spezifischer Maßnahmen.
- Bemessung von Versicherungen (z. B. Betriebshaftpflicht, Umwelthaftpflicht)
- Benchmarking von Unternehmensbereichen
- Portfolioanalyse

Während der praktischen Umsetzung der vorgestellten Herangehensweise wurde deutlich, dass für eine umfangreiche Bewertung ein hoher Zeit- und Personalaufwand notwendig ist. In der Praxis kann dies ein Nachteil sein, aber auch ein Gewinn für das Unternehmen. Die Auswirkung von Schadensereignissen wird aus verschiedenen Blickwinkeln, d. h. durch verschiedene Fachabteilungen betrachtet und die Priorität sicherheitstechnischer Maßnahmen neu bewertet.

Ein kritischer Punkt innerhalb der Methodik sind die Daten, welche für die Risikobeurteilung verwendet werden. Nur durch eine umfangreiche Datenermittlung und eine kontinuierliche Qualitätssicherung der zur Verfügung gestellten Daten kann garantiert werden, dass das entwickelte Modell die Realität abbildet. In der praktischen Umsetzung hat sich gezeigt, dass viele Daten nicht automatisch durch die Unternehmen erhoben werden und somit nicht zur Verfügung stehen. Eine Abschätzung oder die einfache Annahme der Eingangsdaten stellen eine erhebliche Unsicherheit im Modell dar. Verlässt man sich auf unsichere, nicht bestätigte Daten kann es im schlechtesten Fall zu Fehleinschätzungen führen. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn aus Datenschutzgründen nicht ausreichend sichere Daten zur Verfügung gestellt werden. Da jedes Modell nur so gut ist wie die Daten, die in das Modell eingegeben werden, ist dies auch der Schwachpunkt der Methodik. Ist die Qualität der Daten unzureichend und die Einbeziehung von Fachabteilungen außerhalb der Sicherheitstechnik nicht gegeben, ist das Ergebnis nicht repräsentativ und das Ergebnis kann nicht in das strategische Risikomanagement des Unternehmens integriert werden.

Während der praktischen Umsetzung der vorgestellten Methodik hat sich auch gezeigt, dass es nicht nur zu erheblichen finanziellen Auswirkungen aufgrund der Explosion kommt. In den meisten Fällen führt eine Explosion zu einem Folgebrand, welcher ebenfalls erhebliche finanzielle Auswirkungen für das betroffene Unternehmen hat. Sind die Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen nicht optimal auf einander abgestimmt, können die finanziellen Auswirkungen eines Explosionsereignisses durch unzureichende Brandschutzmaßnahmen erheblich ansteigen. Daher sollte bei einer Weiterentwicklung der vorgestellten Methodik auch auf die kohärente Bewertung von Brand- und Explosionsschutz eingegangen werden. Hierbei ist insbesondere die Gegenüberstellung der Auswirkungen einerseits durch die Explosion und andererseits durch den Folgebrand einer Explosion von Interesse. Es sollten die Wechselwirkungen möglicher Brand- und Explosionsszenarien und die daraus resultierenden finanziellen Auswirkungen in Abhängigkeit von den gewählten Maßnahmen gegenübergestellt werden.

Grundsätzlich kann die vorstellte Methodik in der Praxis umgesetzt werden. Eine erfolgreiche Anwendung bedingt allerdings die Einbeziehung aller Fachabteilungen und die Zurverfügungstellung aller notwendigen Informationen, um eine objektive Bewertung der finanziellen Auswirkungen zu garantieren. In der Praxis kann auf bestehende Informationen aus Gefährdungsbeurteilungen, Sicherheitsberichten und anderen Gutachten im Bereich der Sicherheitstechnik zurückgegriffen werden, um die technischen Voraussetzungen für die Beurteilung herzustellen. Durch die Anwendung von Crystal Ball[®] ist die Umsetzung der Monte-Carlo-Methode auf einfachem Wege möglich. Ein limitierender Faktor ist der hohe zeitliche Aufwand, welcher erforderlich ist, um diese Bewertung durchzuführen.

Eine Anwendung in der betrieblichen Praxis ist beispielsweise vor größeren sicherheitstechnischen Investitionen oder bei der Bemessung des Versicherungsschutzes sinnvoll. Außerdem ist es für Unternehmen mit einem bestehenden Risikomanagementsystem hilfreich, wenn technische Risiken bewertet werden müssen und man auf bestehende Ressourcen zurückgreifen kann.

Abschließend kann man feststellen, dass zum einen gezeigt wurde, wie stark die finanziellen Auswirkungen einer Explosion ein Unternehmen beeinflussen können und zum anderen, wie wichtig es ist, vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen. Außerdem wird deutlich, dass die Beurteilung des technischen Risikos einer Explosion nicht nur den Fachabteilungen überlassen werden sollte, sondern einen essenziellen Teil des strategischen Risikomanagementsystems darstellt.

8 Quellenverzeichnis

- 1 AICHE American Institute of chemical engineers: Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 2001
- 2 ÖNORMS 2400: 2009 Business Continuity and Corporate Security management - Benennungen und Definition
- 3 Barth, Uli; Kohärente Beurteilung der Brand- und Explosionsgefährdung, Vortrag Symposium des Werksfeuerwehrverband, Januar 2012
- 4 Bockslaff, Klaus: Die Finanzielle Folge von Großschäden, WIK, 1998, S.17-19
- 5 Bowden, Adrian: Triple Bottom Line Risk Management: Enhancing Profit, Environmental Performance and Community Benefit, 1.Auflage, New York, 2001
- 6 Brühwiler, Bruno: ISO 31000: Risikomanagement als Führungsaufgabe [http://www.risknet.de/Detailansicht-NeWS.479.0.html?no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=1327](http://www.risknet.de/Detailansicht-NeWS.479.0.html?no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=1327) vom 30.01.2009
- 7 Brühwiler, Bruno: Risikomanagement als Führungsaufgabe, Haupt Verlag, Bern, 2007
- 8 Brühwiler, Bruno: Risikomanagement nach ISO 31000 und ONR 49000 Mit 12 Praxisbeispielen, Fachbuch Plus, 1.Auflage, Wien, 2009
- 9 Brühwiler, Bruno; Frank Romeike: Praxisleitfaden Risikomanagement: ISO31000 und ONR49000 sicher anwenden, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2010
- 10 Brühwiler, Der neue Risikomanagementstandard ISO 31000, ZRFG RiskFraud&Governance ZFG0, Erich Schmidt Verlag, 1/2008
- 11 Bundesbodenschutzgesetz;1998; §4;17
- 12 Wasserhaushaltsgesetz, 2009; §89
- 13 Center for chemical process safety (USA): Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires, New York, 1998
- 14 Charnes, John; Financial Modeling with Chrystal Ball and Excel, 2007
- 15 Crystal Ball[®] User Manual, Decisioneering, Inc., 2001
- 16 Finke, Robert: Grundlagen des Risikomanagements: Quantitative Risikomanagement – Methoden für Einsteiger und Praktiker, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2005
- 17 Friedl, Wolfgang J. (Hrsg.): Ökologische und ökonomische Bedeutung des Brand-und Explosionsschutzes, Kohlhammer, Stuttgart, 1998
- 18 Hauptmanns, Ulrich: Brände und Explosionen im Rahmen der Risikoermittlung, Otto von Guericke Universität, Magdeburg, 2010
- 19 Hauptmanns, Ulrich: Probabilistische Risiko- und Sicherheitsanalysen und ihre Anwendungsbereiche, Otto von Guericke Universität, Magdeburg, 2006
- 20 Hinterscheid, Ulf: Ansätze zur Bewältigung existenzbedrohender Unternehmensrisiken, Pro BUSINESS Verlag, Bergische Universität Wuppertal, 2008
- 21 Hölemann, Hans: Der Brandbegriff im Versicherungswesen aus naturwissenschaftlicher und technischer Sicht; Hamburger Gesellschaft zur Förderung des Versicherungswesens, Hamburg, 1988
- 22 www.wikipedia.org
- 23 <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/betriebsunterbrechungsversicherung.html>, 06. Dezember 2011
- 24 <http://www.ftd.de/unternehmen/:versicherungen-was-umweltschaeden-wirklich-kosten/50116181.html>, 24. Mai 2010
- 25 International Organization for Standardization: IEC 31010 Risk Management Technicques, 2008
- 26 International Organization of Standardization, ISO 31000Risk management - Principles and guidelines on implementation, Geneva, 2008
- 27 International Organization of Standardization ISO IEC CD 73 Risk management – Vocabulary, Geneva, 2008
- 28 Katerin P. Prema, Dedy Nga, Hans J. Pasmama, Mike Sawyerb, Yuyan Guoa, M.Sam Mannan; Risk measures constituting a risk metrics which enables improved decision making: Value-at-Risk, August 2009,

Journal of Loss Prevention in the Process Industries

- 29 Knetsch, Thomas: Vorlesungsunterlagen Rechenmodelle, Otto von Guericke Universität Magdeburg, 2004
- 30 Mannan Dr., Sam, Lee's Loss Prevention in the process industry: Volume I, Elsevier Butterworth Heine-
mann, Oxford, 2005
- 31 Kustoscz, Anja; Entwicklung einer Vorgehensweise zur Erstellung von Explosionsschutzdokumenten am
Beispiel „Flüssigkeiten“ und Umsetzung in eine Software, Otto von Guericke Universität Magdeburg, 2005
- 32 Rundschreiben 11/2010 (BA) – Mindestanforderungen an das Risikomanagement –MaRisk,
Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, BaFin, Bonn/Frankfurt a.M., 2010
- 33 Siepelmeyer-Kierdorf, Ludger: Entwicklung und vergleichende Bewertung unterschiedlicher
Brandschutzkonzepte für Industriegebäude, VdS Schadensverhütung, Köln, 2008
- 34 Sobol, I.M.: Die Monte Carlo Methode, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1971
- 35 TRBS2152/TRGS720-Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, Allgemeines, Berlin, 15.März 2006
- 36 VDI 4008 Blatt 6: Monte-Carlo-Simulation, April 1999
- 37 VdS(Hrsg.): Richtlinie zur Brandschadensanierung. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft,
Köln, 2007
- 38 vfdb-Richtlinie: Richtlinie Schadstoffe bei Bränden: vfdb Richtlinie, 2003
- 39 <http://de.wikipedia.org/wiki/Monte-Carlo-Simulation>, 28. Juni 2009
- 40 Wolke, Thomas: Risikomanagement, Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2008
- 41 Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA)
Jahresbericht 2006, Umweltbundesamt Dessau, 1. September 2009
- 42 12. BImSchV - Störfall-Verordnung Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes
Immissionsschutzgesetzes; Berlin, 2005
- 43 Koinig, Dr., Referenzszenarien Seveso II Richtlinie (96/82/EG), Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1999
- 44 DIN 25419: Ereignisablaufanalyse; Verfahren, grafische Symbole und Auswertung, November 1985
- 45 Hauptmanns, Ulrich: Anlagensicherheit II, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 22. April 2004
- 46 ONR 49000: Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Begriffe und Grundlagen, Wien, 01.
Januar 2010
- 47 Peter C. Compes: Technische Risiken in der Industriegesellschaft: Erfassung, Bewertung, Kontrolle; Band 7
von Internationales GfS-Sommer-Symposium, 26.- 28. Mai 1986, Bonn
- 48 Lim EngHwa; Hyder Consulting Middle East Ltd; PO Box 2774, Abu Dhabi; United Arab Emirates via Crystal
Ball® User Conference, 2007
- 49 Dokumentation der Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt der Dr. Willmar Schwabe GmbH & Co KG, 2011,
Karlsruhe

9 Bilderverzeichnis

Bild 1: Risikomanagementprozess nach ISO 31000 [26].....	23
Bild 2: Zusammenstellung von Unternehmensrisiken nach Wolke [40]	25
Bild 3: Gliederung von Betriebsrisiken [40]	26
Bild 4: Risikomanagementprozess	29
Bild 5: Top-Down und Bottom-Up [6], [46].....	31
Bild 6: Ereignisablaufanalyse [24], [1]	37
Bild 7: Risikomatrix [31].....	38
Bild 8: Al Reem Island; Abu Dhabi City [48].....	46
Bild 9: Best Case und Credible Worst Case am Beispiel einer Annahme (engl. Assumption) [Screenshot aus Crystal Ball Programm]	47
Bild 10: Darstellung der Dateneingabe für Gebäudeschäden – Kostenpunkt Gebäude – in eine logarithmische Normalverteilung in Crystal Ball®	48
Bild 11: Ergebnis der Crystal Ball®-Modellierung für Gebäudeschäden	49
Bild 12: Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit.....	51
Bild 13: Beispiel für ein geordnetes Risikoprofil	60
Bild 14: Risikomatrix	61
Bild 15: Drei-Stufen-Modell [7].....	65
Bild 16: Zoneneinteilung Tanklager (Untergeschoss) – Darstellung des betroffenen Bereichs (blau) [49].....	71
Bild 17: Tanklager (Flammendurchschlagsicherungen im Vordergrund) [49].....	76
Bild 18: Flammendurchschlagsicherungen und Installationen [49].....	77
Bild 19: Aceton-Tank (im Vordergrund) [49].....	77
Bild 20: Gebäudeschäden durch Druckwelle	86
Bild 21: Anlagenschäden durch Druckwellenbildung im Untergeschoss	87
Bild 22: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Wärmeübertragung	88
Bild 23: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Trümmerflug.....	89
Bild 24: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Flammendurchschlag (verursacht durch Zündung)	90
Bild 25: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle.....	91
Bild 26: Personenschäden (Fremdfirmen) im Untergeschoss durch die Druckwelle	92
Bild 27: Personenschäden im Erdgeschoss und im Obergeschoss durch Trümmerteile	93
Bild 28: Umweltschäden: Löschschaum– Entsorgung als gefährlicher Abfall	94
Bild 29: Ertragsausfallschäden.....	95
Bild 30: Darstellung des Risikos (Risikoquotient = Schaden [Vertrauensniveau 80 % *] * Eintrittswahrscheinlichkeit)	97
Bild 31: Risikomatrix Tanklager 1	98
Bild 32: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert.....	103

Bild 33: Gebäudeschäden und Anlagenschäden durch Flammendurchschlag (verursacht durch Zündung) - reduziert 104

Bild 34: Personenschäden im Untergeschoss durch die Druckwelle - reduziert..... 105

Bild 35: Ertragsausfallschäden - reduziert..... 106

Bild 36: Risikograph nach Risikobewältigung..... 107

Bild 37: Risikomatrix nach Risikobewältigung 108

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hauptgründe für den Schadensumfang der Millionenschäden (1986 - 1995) [33]	17
Tabelle 2: Auswertung von Störfällen aus der ZEMA-Datenbank für Schäden > 50.000 Euro (Zeitraum 2000 – 2006) [41]	18
Tabelle 3: Festlegung der Daten zur Modellierung der Gebäudeschäden in Crystal Ball®	47
Tabelle 4: Beispiele für die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit [5]	50
Tabelle 5: Darstellung von Explosionseffekten auf Gebäude [13]	53
Tabelle 6: Zerstörungsklassifizierung für die Überdruckwirkung einer Explosion [30].....	53
Tabelle 7: Empfehlungen zur Brandschadenssanierung und Brandentschuttung [38].....	56
Tabelle 8: Berechnung des Risikoquotienten.....	59
Tabelle 9: Allgemeine Übersicht der betrachteten Anlage	70
Tabelle 10: Lagermengen brennbarer Flüssigkeiten in den Tanklagern [49].....	72
Tabelle 11: Output [49]	73
Tabelle 12: Brand- und Explosionsschutz [49]	73
Tabelle 13: Umweltschäden [49]	74
Tabelle 14: Personenschäden [49].....	75
Tabelle 15: Versicherungen [49].....	75
Tabelle 16: Ertragsausfall [49].....	75
Tabelle 17: Minimale Lachenschichthöhe h_{Lache} [43]	80
Tabelle 18: Zerstörungsklassifizierung für die Überdruckwirkung einer Explosion [30].....	83
Tabelle 19: Schadenseinschätzung für allgemeine Strukturen basierend auf dem Überdruck [1]	84
Tabelle 20: Qualitative Beschreibung der Eintrittswahrscheinlichkeit [5]	85
Tabelle 21: Ergebnis der Ereignisablaufanalyse	96
Tabelle 22: Kosten für das Versetzen der Gassensoren und Installation einer akustischen Alarmierung	99
Tabelle 23: Kosten für den Austausch der Flammendurchschlagsicherung	100
Tabelle 24: Extrakt-Preise zur Ersatzbeschaffung	102
Tabelle 25: Kosten für die Einführung eines BKM (nur externe Unterstützung)	102
Tabelle 26: Maßnahmen zur Risikobewältigung	107

Anhang

Ergebnis der praktischen Umsetzung – Praxisbeispiel

Tabelle 1	Risikoidentifikation inkl. Eingabedaten für Monte-Carlo-Simulation mit Crystal Ball
Tabelle 2	Eintrittswahrscheinlichkeit (vor- und nach Risikobewältigung)
Tabelle 3	Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation und Berechnung des Risikoquotienten
Tabelle 4	Ergebnis der Risikoanalyse - nach Risikoreduktion
Tabelle 5	Risikokosten
Tabelle 6	Kosten zur Risikobewältigung
Tabelle 7	Risikomodellierung mit Crystal Ball Simulationsergebnisse

Alle Kosten sind Annahmen!

ID	Kategorie	kurze Beschreibung der Auswirkung	Zu modellieren (1->Ja, 0->Nein)	Dateneingabe Chrystal Ball		
				50% CL (Beste Fall - MLC) [Euro]	95% CL (Schlechtester Fall - RWC) [Euro]	Forecast
1	Gebäudeschäden	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	1	23.000.000	29.900.000	23.000.000
2	Gebäudeschäden	Starke Beschädigung des Gebäudes	1	440.400	750.069	440.400
3	Gebäudeschäden	Beschädigung des Gebäudes durch Druckentlastung über schwache Teile	1	129.200	224.702	129.200
4	Anlagenschäden	Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager 1)	1	377.172	618.340	377.172
5	Anlagenschäden	Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)	1	564.365	910.861	564.365
6	Anlagenschäden	Wasserschaden durch die Löscharbeiten der Feuerwehr im Untergeschoss	0			
7	Anlagenschäden	Starke Beschädigung der Anlagen und des Untergeschosses durch Wärmeübertragung	0			
8	Anlagenschäden	Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m³ Löschschaum)	1	848.622	1.364.746	848.622
9	Anlagenschäden	Beschädigung benachbarter Tanks und Equipment durch Projektilen	0			
10	Anlagenschäden	Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen in Extraktion oder zur Lösemittelstation	1	7.384.600	9.851.473	7.384.600
11	Anlagenschäden	Zündung und Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmeübertragung) und Beschädigung benachbarter Tanks im Tanklager 1 durch die Wärmeübertragung	1	377.172	618.340	377.172
12	Personenschäden	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet / schwer verletzt.	1	204.400	304.824	204.400
13	Personenschäden	Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt	1	850.000	1.217.000	850.000
14	Personenschäden	Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes	1	304.400	460.824	304.400
15	Umweltschäden	Löschschaum sammelt sich im Kellergeschoss, muss abgepumpt werden und wird als gefährlicher Abfall entsorgt (auf Grund der starken Kontamination)	0			
16	Umweltschäden	Entsorgung der stark kontaminierten Brandrückstände als gefährlicher Abfall	0			
17	Umweltschäden	Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)	1	267.560,00	419.752,32	267.560
18	Ertragsausfall	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	1	#####	#####	30.398.938

ID	kurze Beschreibung der Auswirkung	Eintrittswahrscheinlichkeit						Eintrittswahrscheinlichkeit (nach Risikobewältigung)					
		1.	2.	3.	4.	5.	P	1.	2.	3.	4.	5.	P
1	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	1	0,8	0,1			8%						
2	Starke Beschädigung des Gebäudes	1	0,8	0,9			72%						
3	Beschädigung des Gebäudes auf Grund der Druckentlastung über schwache Teile	1	0,2	0,5			10%						
4	Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager 1)	1	0,8	0,9	0,8		58%						
5	Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)	1	0,8	0,9	0,2		14%						
6	Wasserschaden durch die Löscharbeiten der Feuerwehr im Untergeschoss	0,2	0,001	0,1	0,5		0,001%						
7	Starke Beschädigung der Anlagen und des Untergeschosses durch Wärmeübertragung	0,2	0,001	0,9	0,8		0,014%						
8	Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m ³ Löschschaum)	0,2	0,9	0,8			14%						
9	Beschädigung benachbarter Tanks und Equipment durch Trümmerflug	0,001	0,01	0,9	0,5	0,9	0,0004%						
10	Flammdurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen in Extraktion oder zur Lösemittelstation	0,4	0,5	0,5			10%	0,4	0,5	0,1			0,02
11	Zündung und Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmeübertragung) und Beschädigung benachbarter Tanks im Tanklager 1 durch die Wärmeübertragung	0,4	0,5	0,5	0,5		5%						
12	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet / schwer verletzt.	1	0,8	0,2	0,8		13%	1	0,8	0,2	0,2		3%
13	Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt	1	0,8	0,5	0,8		32%	1	0,8	0,1	0,8		6%
14	Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes	1	0,8	0,3	0,4	0,5	5%	1	0,8	0,3	0,4	0,1	1%
15	Löschschaum sammelt sich im Kellergeschoss, muss abgepumpt werden und wird als gefährlicher Abfall entsorgt (auf Grund der starken Kontamination)	0,001	0,8	0,4			0,032%						
16	Entsorgung der stark kontaminierten Brandrückstände als gefährlicher Abfall	0,001	0,2	0,2			0,004%						
17	Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)	0,9	0,2				18%						
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	1	0,8	0,3			24%	1	0,8	0,1			8%

ID	kurze Beschreibung	Risikoanalyse					
		P	Ergebnis der Modellierung mit Crystal Ball			Risiko-quotient	Anteil am Gesamt-risiko
			50%	80%	95%		
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	24%	30.570.432	34.435.381	34.435.381	8.264.491	66,6%
1	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	8%	22.982.857	25.478.664	25.478.664	2.038.293	16,4%
10	Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen in Extraktion oder zur Lösemittelstation	10%	7.386.377	8.181.978	8.181.978	818.198	6,6%
2	Starke Beschädigung des Gebäudes	72%	446.073	495.849	495.849	357.011	2,9%
13	Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt	32%	843.884	958.972	958.972	306.871	2,5%
4	Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager 1)	58%	381.052	424.602	424.602	244.571	2,0%
8	Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m ³ Löschschaum)	14%	847.653	990.486	990.486	142.630	1,1%

ID	kurze Beschreibung	Risikoanalyse					
		P	Ergebnis der Modellierung mit Crystal Ball			Risiko-quotient	Anteil am Gesamt-risiko
			50%	80%	95%		
5	Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)	14%	571.219	641.919	641.919	92.436	0,7%
17	Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)	18%	268.481	313.091	313.091	56.356	0,5%
12	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet / schwer verletzt.	13%	205.291	236.539	236.539	30.277	0,2%
3	Beschädigung des Gebäudes durch Druckentlastung über schwache Teile	10%	131.597	148.373	148.373	14.837	0,1%
11	Zündung und Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmeübertragung) und Beschädigung benachbarten Tanks im Tanklager 1 durch die Wärmeübertragung	5%	381.052	424.602	424.602	21.230	0,2%
14	Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes	5%	300.442	357.062	357.062	17.139	0,1%
Summe						12.404.341,54	100%

Risikoidentifikation		Risikoanalyse		Risikobewältigung			
ID	kurze Beschreibung	Ergebnis der Ereignisablaufanalyse		Maßnahmen zur Risiko-bewältigung	CB Analyse - Ergebnis	Risikobewältigung	
		P	Risiko-quotient		80%	P _R	Risiko-quotient
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	24%	8.264.491	Identifikation eines Substituten um den Verkauf ohne Verlust von Marktanteilen fortzusetzen (BKM)	17.357.494	8%	2.754.830
18	Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.	24%	8.264.491	Einführung eines Betrieblichen Kontinuitätsmanagements	40.129	8%	2.754.830
1	Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen	8%	2.038.293	keine Druckentlastung innerhalb des Gebäudes möglich. D.h. Keine Maßnahme			2.038.293
10	Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen in Extraktion oder zur Lösemittelstation	10%	818.198	Austausch der Flammendurchschlagsicherungen und Umrüstung auf Stand der Technik	204.697	2%	163.640
2	Starke Beschädigung des Gebäudes	72%	357.011	Keine Maßnahme			357.011
13	Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet oder verletzt	32%	306.871	Zutrittskontrolle, Zutritt nur für autorisierte Personen Akustische Warnung bei Gas-Alarm	10.495	6%	61.374
4	Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager 1)	58%	244.571	Keine Maßnahme			244.571

Risikoidentifikation		Risikoanalyse		Risikobewältigung			
ID	kurze Beschreibung	Ergebnis der Ereignisablaufanalyse		Maßnahmen zur Risiko-bewältigung	CB Analyse - Ergebnis	Risikobewältigung	
		P	Risiko-quotient		80%	P _R	Risiko-quotient
8	Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m ³ Löschschaum)	14%	142.630	Keine Maßnahme			142.630
5	Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)	14%	92.436	Keine Maßnahme			92.436
17	Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)	18%	56.356	Keine Maßnahme			56.356
12	Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten, werden getötet / schwer verletzt.	13%	30.277	Versetzung der Gaswarneinrichtung	10.495	3%	7.569
3	Beschädigung des Gebäudes durch Druckentlastung über schwache Teile	10%	14.837	Keine Maßnahme			14.837
11	Zündung und Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmeübertragung) und Beschädigung benachbarten Tanks im Tanklager 1 durch die Wärmeübertragung	5%	21.230	Keine Maßnahme			21.230
14	Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes	5%	17.139	Akustische Warnung bei Gas-Alarm im Kellergeschoss, Räumung des Gebäudes.	10.495	1%	3.428
Summe		12.404.342					5.958.207

P1 Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Gebäude	3.000.000,00	3.900.000,00	Euro
Anlagen	20.000.000,00	26.000.000,00	Euro
Summe Vollständige Zerstörung von Gebäuden und Anlagen	23.000.000,00	29.900.000,00	
P2 Starke Beschädigung des Gebäudes			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Planung			
Ingenieur	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
Kosten Planung	25.600,00	47.923,20	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
Kosten Statik	12.800,00	23.961,60	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	12.800,00	23.961,60	Euro
Reparatur			
<i>Facharbeiter</i>	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro
Einsatzzeit	480,00	576,00	Stunden
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	240,00	288,00	Stunden
Kosten Reparatur	259.200,00	485.222,40	Euro
Materialkosten/Baustelleneinrichtung für Reparatur/Entsorgung	130.000,00	169.000,00	Euro
Summe Gebäudeschäden	440.400,00	750.068,80	Euro
P 3 Beschädigung des Gebäudes auf Grund der Druckentlastung über schwache Teile			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Planung			
Ingenieur	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Planung	6.400,00	11.980,80	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Statik	3.200,00	5.990,40	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	3.200,00	5.990,40	Euro
Reparatur			
<i>Facharbeiter</i>	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	80,00	96,00	Stunden
Kosten Reparatur	86.400,00	161.740,80	Euro
Materialkosten/Baustelleneinrichtung für Reparatur/Entsorgung	30.000,00	39.000,00	Euro
Summe Gebäudeschäden	129.200,00	224.702,40	Euro
P 4 P11 Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager EX001)			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Materialkosten			
Lagertanks EX001 incl. Installationen	4,00	4,80	Anzahl
Einzelpreis Lagertank	53.123,00	69.059,90	Euro
Kosten Lagertank (Material)	212.492,00	331.487,52	Euro
Inhalt des Lagertanks (Aceton)	10.000,00	12.000,00	m³
Beschaffungspreis	0,50	0,65	Euro/Liter
Kosten Lagertank (Tankinhalt)	5.000,00	7.800,00	Euro
Beleuchtungsanlage (EX)	190,00	228,00	m²
Einzelpreis	20,00	26,00	Euro/m²
Kosten Beleuchtungsanlage (EX)	3.800,00	5.928,00	Euro
Schaumlöschanlage (Rohrleitungen)	190,00	228,00	m²

Einzelpreis	32,00	41,60	Euro/m ²
Kosten Schaumlöschanlage (Rohrleitungen)	6.080,00	9.484,80	Euro
Elektroverteilung (Niederspannung)	190,00	228,00	m ²
Einzelpreis	8,00	10,40	Euro/m ²
Kosten Elektroverteilung (Niederspannung)	1.520,00	2.371,20	Euro
Gassensoren	2,00	2,40	Euro
Einzelpreis	400,00	520,00	Euro/m ²
Kosten Gassensoren	800,00	1.248,00	Euro
Lüftungsanlage	190,00	228,00	m ²
Einzelpreis	12,00	15,60	Euro/m ²
Kosten Lüftungsanlage	2.280,00	3.556,80	Euro
Edelstahlrohrleitungen zur Verteilung der Produkte	1.000,00	1.200,00	m
Einzelpreis	50,00	65,00	Euro/m
Kosten Edelstahlrohre	50.000,00	78.000,00	Euro
Summe Materialkosten	281.172,00	438.628,32	Euro
Personalkosten			
Ingenieur	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Planung	6.400,00	11.980,80	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Kosten Statik	1.600,00	2.995,20	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	1.600,00	2.995,20	Euro
Reparatur			
Facharbeiter	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	80,00	96,00	Stunden
Kosten Reparatur	86.400,00	161.740,80	Euro
Zwischensumme Personalkosten	96.000,00	179.712,00	Euro
Summe der Anlagenschäden	377.172,00	618.340,32	Euro
P 5 Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Materialkosten:			
Lagertanks Tanklager 2 incl. Installationen	7,00	8,40	Anzahl
Einzelpreis Lagertank	53.123,00	69.059,90	Euro
Kosten Lagertank	371.861,00	580.103,16	Euro
Inhalt des Lagertanks (Ethanol 5 Tanks)	20.000,00	24.000,00	m ³
Beschaffungspreis	1,00	1,30	Euro/Liter
Butanon (50%)-Heptan (5-15%) 2 Tanks	5.000,00	6.000,00	m ³
Beschaffungspreis	2,00	2,60	Euro/Liter
Kosten Lagertank (Tankinhalt)	30.000,00	46.800,00	Euro
Beleuchtungsanlage (EX)	162,00	194,40	m ²
Einzelpreis	20,00	26,00	Euro/m ²
Kosten Beleuchtungsanlage (EX)	3.240,00	5.054,40	Euro
Schaumlöschanlage (Rohrleitungen)	162,00	194,40	m ²
Einzelpreis	32,00	41,60	Euro/m ²
Kosten Schaumlöschanlage (Rohrleitungen)	5.184,00	8.087,04	Euro
Elektroverteilung (Niederspannung)	162,00	194,40	m ²
Einzelpreis	8,00	10,40	Euro/m ²
Kosten Elektroverteilung (Niederspannung)	1.296,00	2.021,76	Euro
Gassensoren	2,00	2,40	Euro
Einzelpreis	400,00	520,00	Euro/m ²
Kosten Gassensoren	800,00	1.248,00	Euro
Lüftungsanlage	162,00	194,40	m ²
Einzelpreis	12,00	15,60	Euro/m ²
Kosten Lüftungsanlage	1.944,00	3.032,64	Euro
Edelstahlrohrleitungen zur Verteilung der Produkte	1.000,00	1.200,00	m
Einzelpreis	50,00	65,00	Euro/m
Kosten Edelstahlrohre	50.000,00	78.000,00	Euro
Blitzschutz- und Erdungsanlage	162,00	194,40	Euro

Einzelpreis	20,00	26,00	Euro/m ²
Kosten Blitzschutz- und Erdungsanlage	3.240,00	5.054,40	Euro
Zwischensumme Materialkosten	466.765,00	728.153,40	Euro
Personalkosten			
Ingenieur	2,00	2,40	2,88
Stundenlohn	80,00	104,00	135,2
Einsatzzeit	40,00	48,00	57,6
Kosten Planung	6.400,00	11.980,80	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Statik	3.200,00	5.990,40	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	1.600,00	2.995,20	Euro
Reparatur			
<i>Facharbeiter</i>	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	80,00	96,00	Stunden
Kosten Reparatur	86.400,00	161.740,80	Euro
Zwischensumme Personalkosten	97.600,00	182.707,20	Euro
Summe der Anlagenschäden	564.365,00	910.860,60	Euro
P 8 Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m³ Löschschaum)			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Materialkosten:			
Lagertanks EX001 incl. Installationen	14,00	17,00	Anzahl
Einzelpreis Lagertank (nur Installation)	53.123,00	69.059,00	Euro
Kosten Lagertank	743.722,00	1.174.003,00	Euro
Elektroverteilung (Niederspannung)	50,00	60,00	m ²
Einzelpreis	8,00	10,00	Euro/m ²
Kosten Elektroverteilung (Niederspannung)	400,00	600,00	Euro
Gassensoren	2,00	3,00	Euro
Einzelpreis	400,00	520,00	Euro/m ²
Kosten Gassensoren	800,00	1.560,00	Euro
Edelstahlrohrleitungen zur Verteilung der Produkte	162,00	194,00	m ²
Einzelpreis	50,00	65,00	Euro/m ²
Kosten Edelstahlrohre	8.100,00	12.610,00	Euro
Blitzschutz- und Erdungsanlage	100,00	120,00	Euro
Einzelpreis	20,00	26,00	Euro/m ²
Kosten Blitzschutz- und Erdungsanlage	2.000,00	3.120,00	Euro
Zwischensumme Materialkosten	754.222,00	1.190.333,00	Euro
Personalkosten			
Ingenieur	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Planung	6.400,00	11.980,80	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Statik	3.200,00	5.990,40	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	3.200,00	5.990,40	Euro
Reparatur			
<i>Facharbeiter</i>	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,00	Euro
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Kosten Reparatur	81.600,00	150.451,20	Euro
Zwischensumme Personalkosten	94.400,00	174.412,80	Euro
Summe der Anlagenschäden	848.622,00	1.364.745,80	Euro

P 10 Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen zu EX80 und EX30 (über Tanklager EX005) oder zur Lösemittelstation			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Materialkosten:			
Lagertank B006 (abgehende Leitungen)	60.000,00	78.000,00	Euro
Lösemittelstation (Gebäude 109 Erdgeschoss)	45.000,00	58.500,00	Euro
EX002 (B022-B025) - Anzahl der Einzeltanks	3,00	3,60	Stück
EX002 (B022-B025) Preis pro Tank	200.000,00	260.000,00	Euro
Summe EX002	600.000,00	936.000,00	Euro
EX003 (B028/B029) Anzahl	2,00	2,40	Stück
EX002 (B022-B025) Preis pro Tank	50.000,00	65.000,00	Euro
Summe EX002	100.000,00	156.000,00	Euro
Gesamtwert EX030	1.500.000,00	1.950.000,00	Euro
Gesamtwert EX080	5.000.000,00	6.500.000,00	Euro
Zwischensumme Materialkosten	7.305.000,00	9.678.500,00	Euro
Personalkosten			
Ingenieur	2,00	2,40	Stück
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Planung	6.400,00	11.980,80	Euro
Statische Untersuchung/Gutachten			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Statik	3.200,00	5.990,40	Euro
Ausschreibung			
Ingenieur	1,00	1,20	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
Kosten Ausschreibung	3.200,00	5.990,40	Euro
Reparatur			
Facharbeiter	20,00	24,00	Anzahl
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro
Einsatzzeit	140,00	168,00	Stunden
Ingenieur	2,00	2,40	Anzahl
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro
Einsatzzeit	60,00	72,00	Stunden
Kosten Reparatur	79.600,00	149.011,20	Euro
Zwischensumme Personalkosten	92.400,00	172.972,80	Euro
Summe der Anlagenschäden	7.384.600,00	9.851.472,80	Euro
P 12 Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten werden getötet / schwer verletzt.			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Verletzte Personen	1,00	1,20	Personen
Arbeitsausfalltage Verletzte Personen	150,00	180,00	Tage
Summe Arbeitsausfalltage	150,00	180,00	Tage
Kosten für Arbeitsausfall pro Tag	1.000,00	1.300,00	Euro
Zwischensumme Arbeitsausfall	150.000,00	234.000,00	Euro
Erhöhung der Beiträge zur Berufsgenossenschaft	4.000,00	5.200,00	Euro
Zwischensumme BG Beiträge	4.000,00	5.200,00	Euro
Strafen durch die Arbeitsschutzbehörde	50.000,00	65.000,00	Euro
Zwischensumme Strafe	50.000,00	65.000,00	Euro
Unfalluntersuchung durch den Vorgesetzten bzw. die Fachkraft für Arbeitssicherheit	5,00	6,00	Tage
Vergütung	80,00	104,00	Euro/Tag
Zwischensumme Unfalluntersuchung	400,00	624,00	Euro
Summe Personenschäden	204.400,00	304.824,00	Euro
P 13 Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten werden getötet oder verletzt			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Verletzte Personen	1,00	1,20	Personen
Schadensersatzanspruch durch die Fremdfirma (incl. Prozesskosten)	800.000,00	960.000,00	Euro
Zwischensumme Arbeitsausfall	800.000,00	1.152.000,00	Euro
Strafen durch die Arbeitsschutzbehörde	50.000,00	65.000,00	Euro
Zwischensumme Strafe	50.000,00	65.000,00	Euro
Summe Personenschäden	850.000,00	1.217.000,00	Euro

P 14 Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Verletzte Personen	5,00	6,00	Personen
Arbeitsausfalltage Verletzte Personen	50,00	60,00	Tage
Summe Arbeitsausfalltage	250,00	300,00	Tage
Kosten für Arbeitsausfall pro Tag	1.000,00	1.300,00	Euro
Zwischensumme Arbeitsausfall	250.000,00	390.000,00	Euro
Erhöhung der Beiträge zur Berufsgenossenschaft	4.000,00	5.200,00	Euro
Zwischensumme BG Beiträge	4.000,00	5.200,00	Euro
Strafen durch die Arbeitsschutzbehörde	50.000,00	65.000,00	Euro
Zwischensumme Strafe	50.000,00	65.000,00	Euro
Unfalluntersuchung durch den Vorgesetzten bzw. die Fachkraft für Arbeitssicherheit	5,00	6,00	Tage
Vergütung	80,00	104,00	Euro/Tag
Zwischensumme Unfalluntersuchung	400,00	624,00	Euro
Summe Personenschäden	304.400,00	460.824,00	Euro
P 17 Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Entsorgungskosten			
gefährlicher Abfall (Brandrückstände)	1.000,00	1.200,00	Tonnen
Sortierung des Abfalls	60,00	78,00	Euro/Tonne
Entsorgungskosten	200,00	260,00	Euro/Tonne
Zwischensumme Entsorgungskosten	260.000,00	405.600,00	Euro
Personalkosten			
Ingenieur	1,00	1,20	Personen
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro/Stunde
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden
Zwischensumme Planung	1.600,00	2.995,20	Euro
Entsorgung			
<i>Facharbeiter</i>	5,00	6,00	Personen
Stundenlohn	25,00	32,50	Euro/Stunde
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Personen
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro/Stunde
Einsatzzeit	12,00	14,40	Stunden
Zwischensumme Personalkosten	5.960,00	11.157,12	Euro
Summe Entsorgung	267.560,00	419.752,32	Euro
P 18 Ertragsausfallschäden (Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.) Ausfall drittes Jahr			
Kostenart	CL50	CL95*	Einheit
Ertrag			
Umsatz	31.000.000,00	40.300.000,00	Euro
Sonstige (betriebsfremde) Ertrag	-	-	Euro
Gesamt Ertrag	31.000.000,00	40.300.000,00	Euro
Aufwand			
<i>fixe Kosten</i>			
Personalkosten (Mitarbeiter)	200,00	260,00	Euro
Durchschnitt Brutto	50.000,00	65.000,00	
Summe Personalkosten	10.000.000,00	13.000.000,00	
Fixe Kosten (DB Risiko 1)	10.000.000,00	13.000.000,00	Euro
<i>variable Kosten</i>			
Rohstoff (Extrakt)	50,00	65,00	Euro/kg
Verbrauch	1.000,00	1.200,00	kg/Monat
Ausfallzeit	12,00	14,40	Monate
Summe Rohstoffe	600.000,00	1.123.200,00	Euro
variable Kosten	601.062,00	1.124.479,40	Euro
Gesamt Aufwand	10.601.062,00	14.124.479,40	Euro
Gesamt Gewinn	20.398.938,00	26.175.520,60	Euro
Gewinn ohne sonstigen betriebsfremden Ertrag (DB Risiko 2)	20.398.938,00	26.175.520,60	Euro
Ertragsverlust	30.398.938,00	39.175.520,60	Euro

*CL 95 werden mit der Annahme einer 20% Erhöhung der Quantität und einer 30% Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

R 12/13/14 Versetzen der Gassensoren und Installation einer akustischen Alarmierung				
Kostenart	CL50	CL951)	Einheit	
Materialkosten:				
Akustische Alarmierung	5.000,00	6.500,00	Anzahl	
SUMME MATERIALKOSTEN	5.000,00	6.500,00	Euro	
Personalkosten				
Reparatur				
<i>Facharbeiter</i>	2,00	2,40	Anzahl	
Stundenlohn	45,00	58,50	Euro	
Einsatzzeit	40,00	48,00	Stunden	
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl	
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro	
Einsatzzeit	10,00	12,00	Stunden	
Kosten Reparatur	4.400,00	8.236,80	Euro	
Summe Upgrade der Gaswarnanlage	9.400,00	14.736,80	Euro	
R 10 Austausch der Flammendurchschlagsicherungen im gesamten Lager				
Kostenart	CL50	CL951)	Einheit	
Materialkosten:				
Detonationsrohrsicherung: Absicherung der Füllleitung, Saugleitung und Ent- und Belüftungsleitung (Tanks mit Medium Aceton und Methanol)	14.676,00	19.078,80	Euro	
Detonationsrohrsicherung: Absicherung der Füllleitung, Saugleitung und Ent- und Belüftungsleitung (Tanks mit Medium Ethanol, Butanon 50%, Heptan 5-15 %, Ethanol > 62% und Butanon-Aceton)	111.795,00	145.333,50	Euro	
Absicherung der Gaspendelleitung bei der Annahme jeweils einer Sammelleitung für die Medien Aceton oder Methanol	6.418,00	8.343,40	Euro	
Absicherung der Gaspendelleitung bei der Annahme jeweils einer Sammelleitung für die Medien Ethanol, Butanon 50%, Heptan 5-15 %, Ethanol > 62% und Butanon-Aceton	13.968,00	18.158,40	Euro	
Summe Materialkosten	146.857,00	190.914,10	Euro	
Personalkosten				
Reparatur				
<i>Facharbeiter</i>	5,00	6,00	Anzahl	
Stundenlohn	45,00	58,50	Euro	
Einsatzzeit	160,00	192,00	Stunden	
<i>Ingenieur</i>	1,00	1,20	Anzahl	
Stundenlohn	80,00	104,00	Euro	
Einsatzzeit	20,00	24,00	Stunden	
Kosten Reparatur	37.600,00	70.387,20	Euro	
Summe der Austausch der Flammendurchschlagsicherungen	184.457,00	261.301,30	Euro	
R 18 Kosten für Substitut				
Kostenart	Preis [€/kg]	Jahresverbrauch [Tonne]	CL50	CL951)
Stoff A	42	30	1.260.000,00	1.638.000,00
Stoff B	35	10	350.000,00	455.000,00
Stoff C	52	60	3.120.000,00	4.056.000,00
Stoff D	45	10	450.000,00	585.000,00
Stoff E	55	10	550.000,00	715.000,00
Stoff F	500	20	10.000.000,00	13.000.000,00
Substitut			15.730.000,00	20.449.000,00
R 18 Kosten für die Einführung eines BKM (nur externe Unterstützung)				
BKM Berater	2,00	2,40	Stück	
Stundenlohn	130,00	169,00	Euro	
Einsatzzeit	120,00	144,00	Stunden	
Kosten Planung	31.200,00	58.406,40	Euro	
Nebenkosten	2.500,00	3.250,00	Euro	
Einführung eines BKM	33.700,00	61.656,40	Euro	

*CL 95 werden mit der Annahme einer 20% Erhöhung der Quantität und einer 30% Erhöhung der einheitlichen Kosten berechnet

Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Crystal Ball-Bericht - Prognosen

Simulation gestartet am 26.01.2013 um 16:17

Simulation gestoppt am 26.01.2013 um 16:17

Simulationseinstellungen:

Anzahl auszuführender Versuche	1.000
Extremgeschwindigkeit	
Monte Carlo	
Zufälliger Anfangswert	
Genauigkeitskontrolle aktiviert	
Konfidenzebene	95,00%

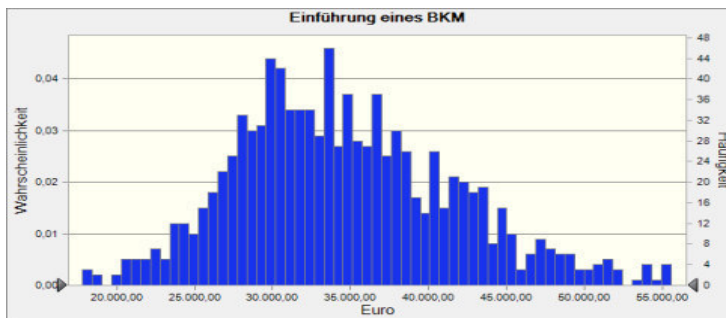
Ausführungsstatistiken:

Gesamte Ausführungszeit (Sek.)	0,84
Versuche/Sekunde (Durchschnitt)	1.190
Zufallszahlen pro Sek.	249.796

Crystal Ball-Daten:

Annahmen	210
Korrelationen	0
Korrelierte Gruppen	0
Entscheidungsvariablen	0
Prognosen	17

Prognose: Einführung eines BKM



Statistiken:

Versuche	1.000
Basisfall	33.700,00
Mittelwert	34.831,42
Median	33.849,45
Modus	---
Standardabweichung	7.395,61
Varianz	54.695.103,91
Schiefe	0,7303
Kurtosis	4,08
Variabilitätskoeffizient	0,2123
Minimum	17.830,00
Maximum	71.421,18
Breite des Bereichs	53.591,18
Standardfehler des Mittelwert	233,87

Prognosewerte Perzentile:

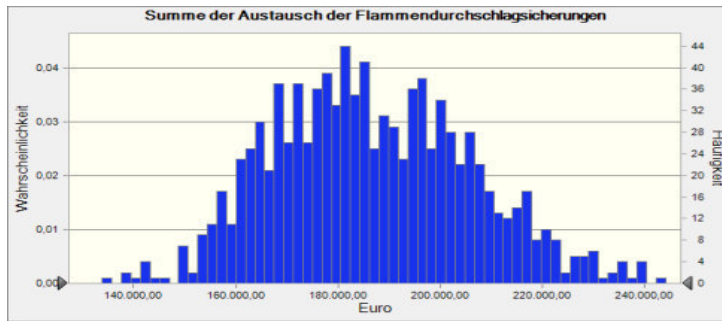
1.000	0%
33.700,00	10%
34.831,42	20%
33.849,45	30%
---	40%
7.395,61	50%
54.695.103,91	60%
0,7303	70%
4,08	80%
0,2123	90%
17.830,00	100%

Prognosewerte

17.830,00
26.407,50
28.678,14
30.449,37
32.081,82
33.843,76
35.792,67
37.830,20
40.724,77
44.379,22
71.421,18

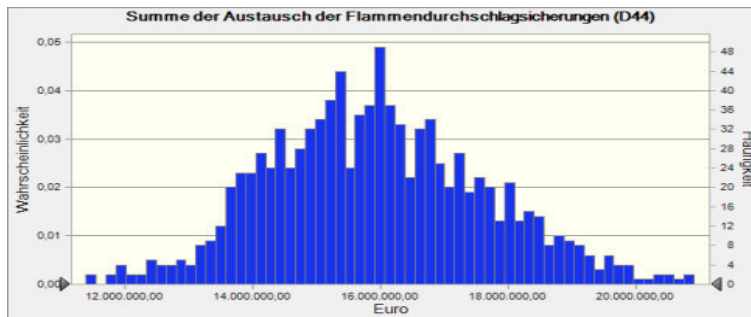
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Summe der Austausch der Flammendurchschlagsicherungen



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	117.466,30
Basisfall	184.457,00	10%	162.435,79
Mittelwert	187.113,28	20%	169.213,29
Median	184.929,68	30%	175.491,34
Modus	---	40%	180.355,08
Standardabweichung	20.343,26	50%	184.921,37
Varianz	413.848.148,21	60%	191.436,97
Schiefe	0,4632	70%	197.217,90
Kurtosis	3,63	80%	203.483,34
Variabilitätskoeffizient	0,1087	90%	213.336,21
Minimum	117.466,30	100%	282.422,49
Maximum	282.422,49		
Breite des Bereichs	164.956,19		
Standardfehler des Mittelwert	643,31		

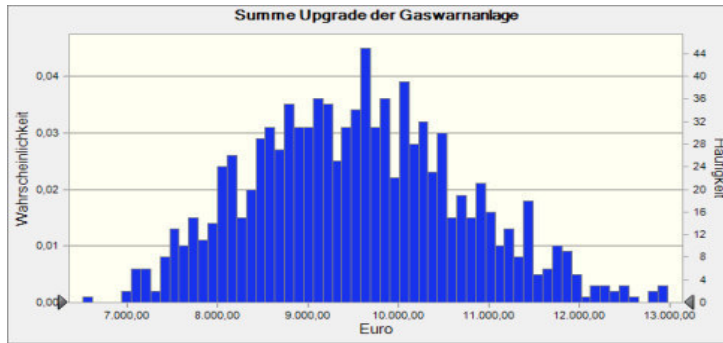
Prognose: Summe der Austausch der Flammendurchschlagsicherungen (D44)



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	11.400.862,34
Basisfall	15.730.000,00	10%	13.853.326,13
Mittelwert	15.978.597,86	20%	14.468.040,29
Median	15.891.001,65	30%	15.000.285,14
Modus	---	40%	15.413.954,86
Standardabweichung	1.757.189,71	50%	15.890.812,43
Varianz	3.087.715.663.177,21	60%	16.256.573,98
Schiefe	0,3955	70%	16.793.714,27
Kurtosis	3,28	80%	17.424.394,20
Variabilitätskoeffizient	0,1100	90%	18.331.967,73
Minimum	11.400.862,34	100%	22.333.899,97
Maximum	22.333.899,97		
Breite des Bereichs	10.933.037,63		
Standardfehler des Mittelwert	55.567,22		

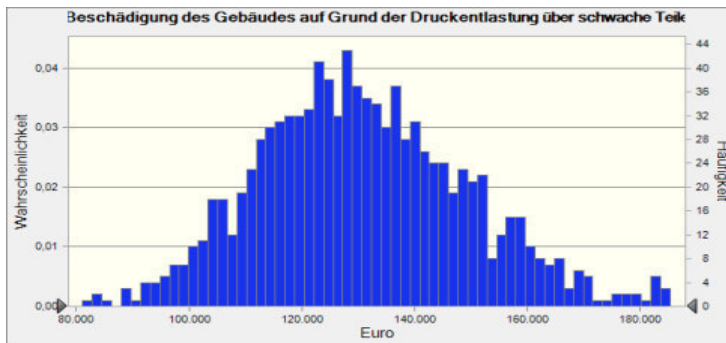
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Summe Upgrade der Gaswarnanlage



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	6.519,79
Basisfall	9.400,00	10%	8.050,71
Mittelwert	9.570,19	20%	8.505,13
Median	9.526,12	30%	8.862,40
Modus	---	40%	9.181,71
Standardabweichung	1.213,19	50%	9.524,95
Varianz	1.471.821,26	60%	9.811,62
Schiefe	0,4214	70%	10.152,14
Kurtosis	3,22	80%	10.517,00
Variabilitätskoeffizient	0,1268	90%	11.154,23
Minimum	6.519,79	100%	14.158,61
Maximum	14.158,61		
Breite des Bereichs	7.638,82		
Standardfehler des Mittelwert	38,36		

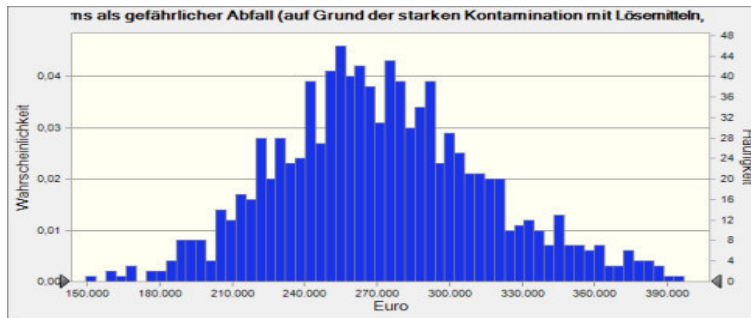
Prognose: Beschädigung des Gebäudes auf Grund der Druckentlastung über schwache Teile



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	81.190
Basisfall	129.200	10%	108.226
Mittelwert	131.208	20%	115.158
Median	129.418	30%	120.451
Modus	---	40%	124.993
Standardabweichung	19.279	50%	129.385
Varianz	371.667.045	60%	134.546
Schiefe	0,5421	70%	140.007
Kurtosis	3,79	80%	146.955
Variabilitätskoeffizient	0,1469	90%	156.249
Minimum	81.190	100%	225.996
Maximum	225.996		
Breite des Bereichs	144.806		
Standardfehler des Mittelwert	610		

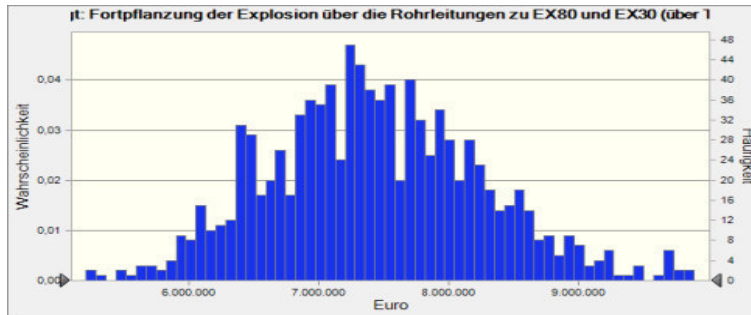
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Entsorgung des Löschschaums als gefährlicher Abfall (auf Grund der starken Kontamination mit Lösemitteln, und anderen Brandrückständen)



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	149.762
Basisfall	267.560	10%	219.416
Mittelwert	273.258	20%	236.094
Median	269.561	30%	249.377
Modus	---	40%	259.310
Standardabweichung	45.547	50%	269.529
Varianz	2.074.551.284	60%	280.143
Schiefe	0,5117	70%	292.242
Kurtosis	3,62	80%	307.497
Variabilitätskoeffizient	0,1667	90%	333.088
Minimum	149.762	100%	451.929
Maximum	451.929		
Breite des Bereichs	302.167		
Standardfehler des Mittelwerts	1.440		

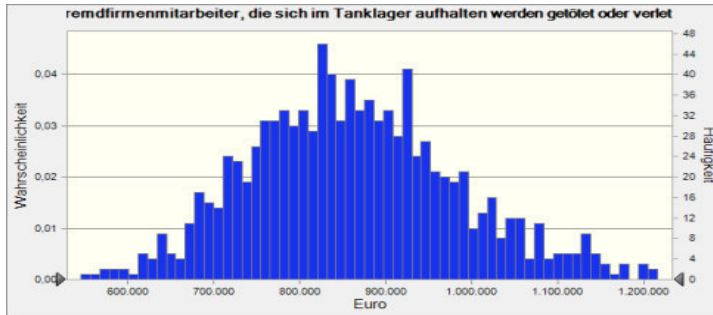
Prognose: Flammendurchschlagsicherung versagt: Fortpflanzung der Explosion über die Rohrleitungen zu EX80 und EX30 (über Tanklager EX005) oder zur Lösemittelstation



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	5.215.214
Basisfall	7.384.600	10%	6.407.003
Mittelwert	7.460.606	20%	6.736.369
Median	7.409.833	30%	6.992.894
Modus	---	40%	7.229.056
Standardabweichung	864.545	50%	7.408.935
Varianz	747.437.213.819	60%	7.621.165
Schiefe	0,5121	70%	7.859.157
Kurtosis	3,75	80%	8.149.418
Variabilitätskoeffizient	0,1159	90%	8.544.127
Minimum	5.215.214	100%	11.310.697
Maximum	11.310.697		
Breite des Bereichs	6.095.483		
Standardfehler des Mittelwerts	27.339		

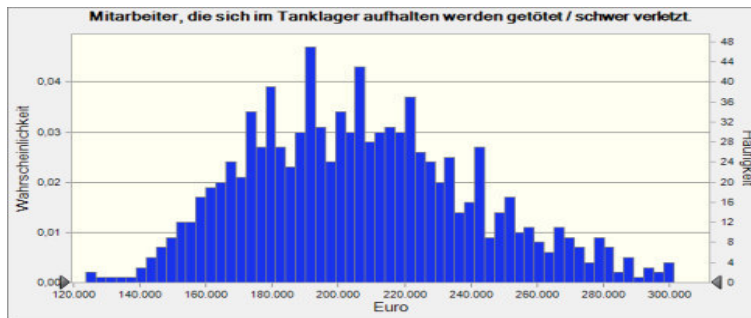
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Fremdfirmenmitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten werden getötet oder verletzt



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	546.847
Basisfall	850.000	10%	714.152
Mittelwert	865.637	20%	761.097
Median	857.742	30%	795.120
Modus	---	40%	828.542
Standardabweichung	124.706	50%	857.349
Varianz	15.551.622.521	60%	887.625
Schiefe	0,4646	70%	921.494
Kurtosis	3,33	80%	962.868
Variabilitätskoeffizient	0,1441	90%	1.028.220
Minimum	546.847	100%	1.306.831
Maximum	1.306.831		
Breite des Bereichs	759.984		
Standardfehler des Mittelwert	3.944		

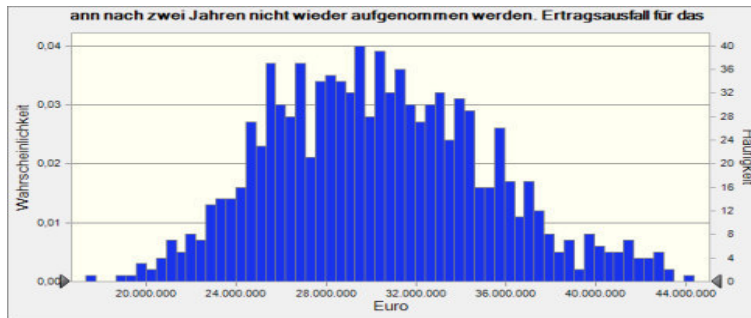
Prognose: Mitarbeiter, die sich im Tanklager aufhalten werden getötet / schwer verletzt.



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	123.863
Basisfall	204.400	10%	164.983
Mittelwert	207.614	20%	176.770
Median	204.899	30%	186.667
Modus	---	40%	194.389
Standardabweichung	35.614	50%	204.894
Varianz	1.268.322.215	60%	213.804
Schiefe	0,5455	70%	223.060
Kurtosis	3,25	80%	235.556
Variabilitätskoeffizient	0,1715	90%	254.203
Minimum	123.863	100%	357.635
Maximum	357.635		
Breite des Bereichs	233.772		
Standardfehler des Mittelwert	1.126		

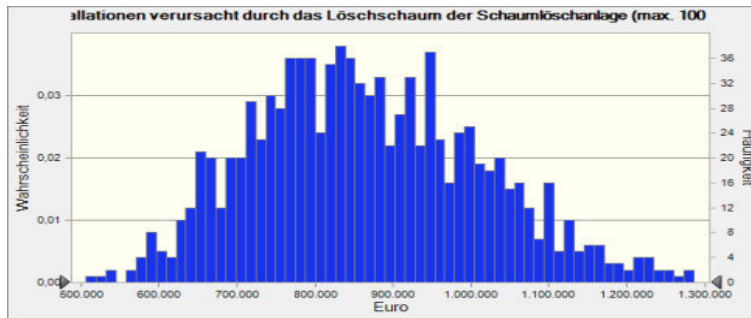
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Produktion kann nach zwei Jahren nicht wieder aufgenommen werden. Ertragsausfall für das Unternehmen.



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	17.337.152
Basisfall	30.398.938	10%	24.465.954
Mittelwert	30.433.636	20%	26.002.774
Median	30.138.812	30%	27.547.143
Modus	---	40%	28.790.677
Standardabweichung	4.963.655	50%	30.133.353
Varianz	24.637.866.875.382	60%	31.338.848
Schiefe	0,4637	70%	32.876.401
Kurtosis	3,39	80%	34.389.713
Variabilitätskoeffizient	0,1631	90%	36.833.065
Minimum	17.337.152	100%	53.005.427
Maximum	53.005.427		
Breite des Bereichs	35.668.275		
Standardfehler des Mittelwert	156.965		

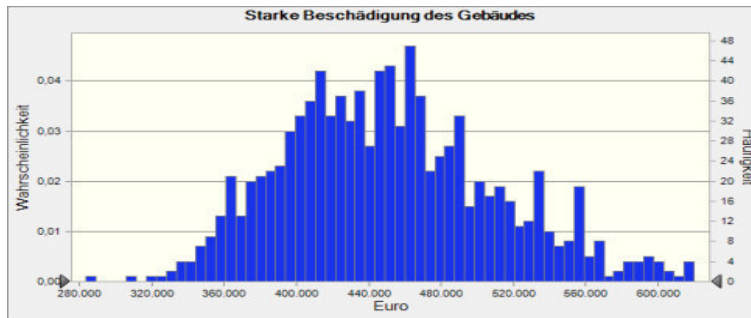
Prognose: Schäden an Installationen verursacht durch das Löschschaum der Schaumlöschanlage (max. 100 m³ Löschschaum)



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	507.039
Basisfall	848.622	10%	682.060
Mittelwert	868.296	20%	738.496
Median	854.457	30%	780.556
Modus	---	40%	818.832
Standardabweichung	148.962	50%	854.362
Varianz	22.189.642.070	60%	896.525
Schiefe	0,4286	70%	943.349
Kurtosis	3,10	80%	997.051
Variabilitätskoeffizient	0,1716	90%	1.065.195
Minimum	507.039	100%	1.517.127
Maximum	1.517.127		
Breite des Bereichs	1.010.089		
Standardfehler des Mittelwert	4.711		

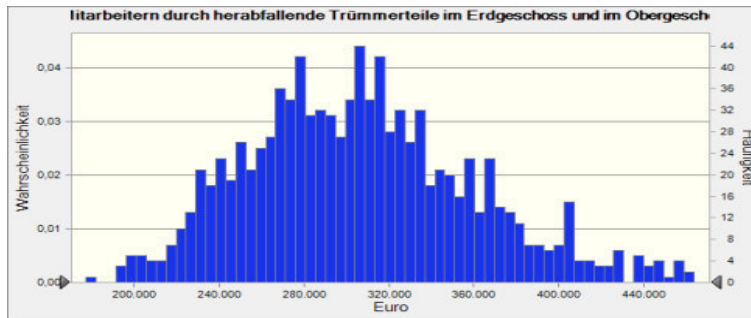
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Starke Beschädigung des Gebäudes



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	283.827
Basisfall	440.400	10%	378.312
Mittelwert	451.707	20%	400.841
Median	447.596	30%	415.066
Modus	---	40%	430.953
Standardabweichung	59.993	50%	447.564
Varianz	3.599.121.848	60%	461.595
Schiefe	0,4780	70%	477.836
Kurtosis	3,06	80%	500.297
Variabilitätskoeffizient	0,1328	90%	534.595
Minimum	283.827	100%	652.586
Maximum	652.586		
Breite des Bereichs	368.759		
Standardfehler des Mittelwert:	1.897		

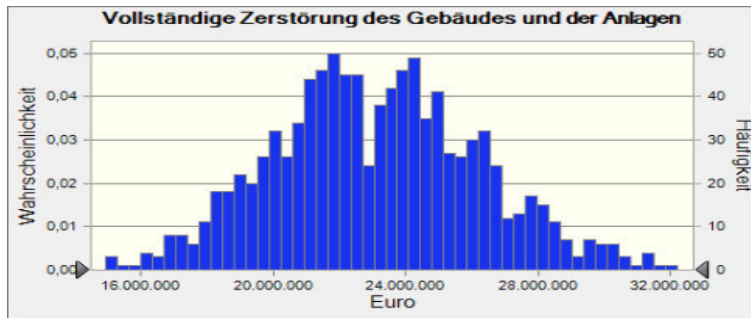
Prognose: Verletzung von Mitarbeitern durch herabfallende Trümmerteile im Erdgeschoss und im Obergeschoss des Gebäudes



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	177.607
Basisfall	304.400	10%	239.928
Mittelwert	307.945	20%	260.418
Median	304.191	30%	275.703
Modus	---	40%	288.847
Standardabweichung	55.515	50%	304.175
Varianz	3.081.914.194	60%	315.915
Schiefe	0,6094	70%	330.877
Kurtosis	3,42	80%	351.785
Variabilitätskoeffizient	0,1803	90%	380.329
Minimum	177.607	100%	520.081
Maximum	520.081		
Breite des Bereichs	342.474		
Standardfehler des Mittelwert:	1.756		

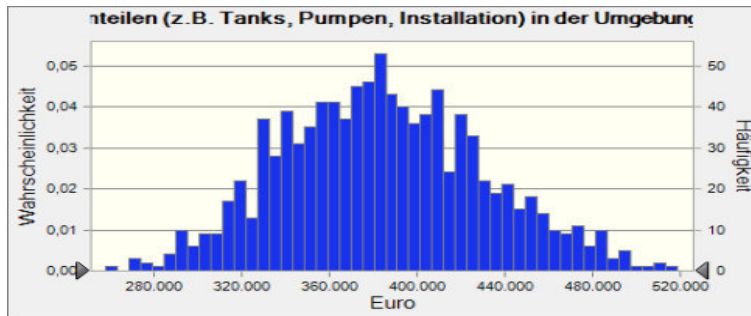
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Vollständige Zerstörung des Gebäudes und der Anlagen



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	14.922.724
Basisfall	23.000.000	10%	19.079.374
Mittelwert	23.190.832	20%	20.504.716
Median	23.104.326	30%	21.373.543
Modus	---	40%	22.186.439
Standardabweichung	3.228.493	50%	23.093.838
Varianz	10.423.163.902.372	60%	23.952.329
Schiefe	0,3539	70%	24.748.148
Kurtosis	3,34	80%	25.899.929
Variabilitätskoeffizient	0,1392	90%	27.335.514
Minimum	14.922.724	100%	36.938.610
Maximum	36.938.610		
Breite des Bereichs	22.015.887		
Standardfehler des Mittelwert	102.094		

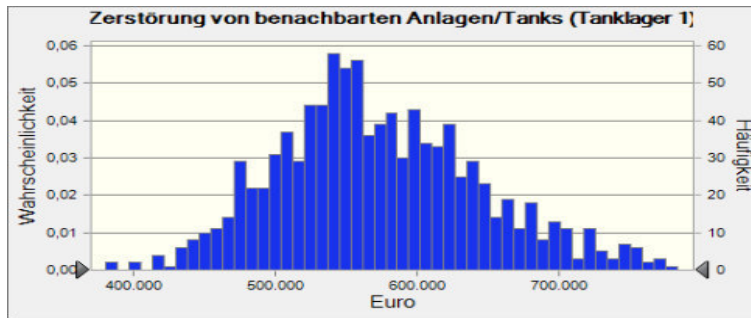
Prognose: Zerstörung von Anlagenteilen (z.B. Tanks, Pumpen, Installation) in der Umgebung des Tanks (Tanklager 1)



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	258.098
Basisfall	377.172	10%	327.401
Mittelwert	385.243	20%	343.225
Median	382.662	30%	358.386
Modus	---	40%	371.665
Standardabweichung	47.711	50%	382.662
Varianz	2.276.297.583	60%	395.223
Schiefe	0,3708	70%	408.125
Kurtosis	3,35	80%	424.131
Variabilitätskoeffizient	0,1238	90%	448.392
Minimum	258.098	100%	611.672
Maximum	611.672		
Breite des Bereichs	353.574		
Standardfehler des Mittelwert	1.509		

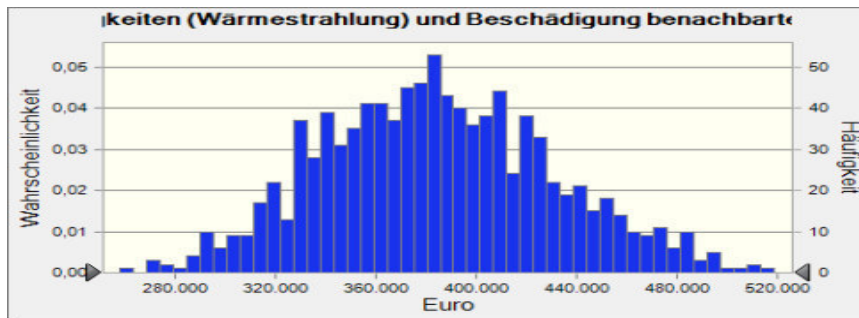
Tabelle 7: Risikomodellierung mit Crystal Ball
Simulationsergebnisse

Prognose: Zerstörung von benachbarten Anlagen/Tanks (Tanklager 1)



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	379.913
Basisfall	564.365	10%	484.106
Mittelwert	574.703	20%	512.824
Median	564.928	30%	533.610
Modus	---	40%	548.062
Standardabweichung	74.612	50%	564.800
Varianz	5.566.902.874	60%	585.793
Schiefe	0,5597	70%	608.562
Kurtosis	3,51	80%	634.024
Variabilitätskoeffizient	0,1298	90%	673.651
Minimum	379.913	100%	900.317
Maximum	900.317		
Breite des Bereichs	520.404		
Standardfehler des Mittelwert	2.359		

Prognose: Zündung und -Abbrand der brennbaren Flüssigkeiten (Wärmestrahlung) und Beschädigung benachbarten Tanks im Tanklager 1 durch die Wärmestrahlung



Statistiken:	Prognosewerte	Perzentile:	Prognosewerte
Versuche	1.000	0%	258.098
Basisfall	377.172	10%	327.401
Mittelwert	385.243	20%	343.225
Median	382.662	30%	358.386
Modus	---	40%	371.665
Standardabweichung	47.711	50%	382.662
Varianz	2.276.297.583	60%	395.223
Schiefe	0,3708	70%	408.125
Kurtosis	3,35	80%	424.131
Variabilitätskoeffizient	0,1238	90%	448.392
Minimum	258.098	100%	611.672
Maximum	611.672		
Breite des Bereichs	353.574		
Standardfehler des Mittelwert	1.509		

Eine Explosion ist ein seltenes Ereignis, welches sich im Lebenszyklus eines Unternehmens im besten Fall niemals oder im schlechtesten Fall nur einmal ereignet. Die Auswirkung dieses Ereignisses hat - in Abhängigkeit von der Schwere der Explosion - erhebliche finanzielle Auswirkungen auf das betroffene Unternehmen. Die Investitionen in technische Maßnahmen zum vorbeugenden und abwehrenden Explosionsschutz und der Unterhalt dieser können damit Auswirkungen auf die langfristige Entwicklung des Unternehmens haben. Da die Investitionen in sicherheitstechnische Maßnahmen zumeist kosten-intensiv sind, ist eine Kosten-Nutzen-Bewertung in den meisten Fällen nur möglich, wenn es zu einem Explosionsereignis kommt und die Auswirkungen aufgrund der getroffenen Explosionsschutzmaßnahmen gering sind.

Die vorliegende Veröffentlichung belegt, dass es möglich ist, die durch eine Explosion verursachten finanziellen Schäden bzw. Auswirkungen für bereits bestehende Anlagen zu ermitteln und so Investitionen in Explosionsschutzmaßnahmen bzw. Maßnahmen zur Risikobewältigung zu begründen. Dies wird vor allem in dem aufgeführten Praxisbeispiel deutlich, welches in der vorliegenden Arbeit erläutert wird.

Das Buch enthält ein Praxisbeispiel welches die finanziellen Schäden, verursacht durch eine mögliche Explosion, in einem Tanklager analysiert.