

# **Generic - FMEA als Instrument der Prozessoptimierung im Wuppertaler Generic-Management-Konzept**



Vom Fachbereich D der Abteilung Sicherheitstechnik der

**Bergischen Universität Wuppertal**

zur Erlangung eines akademischen Grades

- Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) -

genehmigte Dissertation

von

Diplom-Ingenieur Matthias Eisenbrand

aus

Heidelberg

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing habil. Petra Winzer

Univ.-Prof. Dr.-Ing Uli Barth

Tag der mündlichen Prüfung:

16. April 2010

D468

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20100316

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20100316>]

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1 Ausgangssituation.....	3
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	9
1.3 Aufbau der Arbeit .....	10
<b>2 Definitionen .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Analyse gesetzlicher Anforderungen und deren Erfüllungsgrad .....</b>	<b>19</b>
3.1 Anforderungen an Produkte .....	19
3.1.1 Das Prinzip des „new approach“ .....	19
3.1.2 Risikobeurteilung – Anhang I Maschinenrichtlinie – Allgemeine Grundsätze.....	20
3.1.3 Risikobeurteilung – Anhang I Maschinenrichtlinie – Allgemeine Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen .....	30
3.1.4 Verfahren zur Risikobeurteilung.....	30
3.2 Arbeitsschutzanforderungen an ein Generic-Managementsystem.....	30
3.2.1 Generalisierter Ansatz zur Gefährdungsbeurteilung.....	34
3.2.2 Arbeitsschritte zur Gefährdungsbeurteilung .....	36
3.2.3 Gefährdungsermittlung .....	36
3.2.3.1 Checklisten und Erkennungsleitfäden .....	36
3.2.3.2 Begehungen und Befragung .....	37
3.2.4 Bewerten der Gefährdungen.....	38
3.2.5 Methoden der Gefährdungsbeurteilung.....	39
3.2.5.1 Verfahren von Nohl zur Gefährdungsbeurteilung .....	39
3.2.5.2 Verfahren von Gruber zur Gefährdungsbeurteilung .....	41
3.3 Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung bezüglich explosionsgefährdeter Bereiche und Explosionsschutzdokument .....	43
3.3.1 Voraussetzungen für eine Explosion.....	44
3.3.2 Beurteilungsablauf zur Erkennung und Verhinderung von Explosionsgefahren ..	46
3.3.3 Wirksame Zündquellen .....	47

<b>4</b>	<b>Konsolidierte Anforderungen an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutz.....</b>	<b>48</b>
4.1	Prinzipien des Wuppertaler Generic- Management-Konzeptes .....	48
4.2	Basisanforderungen des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes an ein Generic-Instrument .....	50
4.3	Konkretisierung des Anforderungsprofils an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich .....	52
4.4	Entscheidungsfindung zur Methodenauswahl.....	54
<b>5</b>	<b>Ausfalleffektanalyse.....</b>	<b>56</b>
5.1	Historie der FMEA .....	56
5.2	Arten und Weiterentwicklungen der FMEA .....	57
5.3	Ablauf der FMEA .....	61
5.4	Formblatt der FMEA .....	62
<b>6</b>	<b>Entwicklung Generic – FMEA .....</b>	<b>66</b>
6.1	Modifiziertes FMEA - Formblatt .....	70
6.1.1	Anforderungen an die Formblattgestaltung .....	70
6.1.1.1	Geforderte Dokumentationen.....	70
6.1.1.2	Zuordnung der Anforderungen an das Formblatt .....	71
6.1.2	Modifizierte Kopfdaten des Formblattes .....	72
6.1.3	Modifizierte Struktur des Formblattes.....	76
6.2	Kriterien zur Modifizierung von Bewertungstabellen nach Arbeitsschutzgesetz, Maschinenrichtlinie.....	79
6.2.1	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Bedeutung – Gesundheitsschaden .....	82
6.2.2	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit.....	83
6.2.3	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit .....	84
6.2.4	Zuordnung der Risikoprioritätszahl zur Maßnahmenhierarchie .....	86
6.3	Kriterien zur Modifizierung von Bewertungstabellen nach Betriebssicherheitsverordnung .....	87
6.3.1	Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Bedeutung .....	88
6.3.2	Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit.....	90
6.3.3	Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit .....	96
6.3.4	Zuordnung der Risikoprioritätszahl zu Maßnahmen .....	98

<b>7</b>	<b>Untersuchungen zur Anwendung modifizierter FMEA - Elemente und deren Validierung.....</b>	<b>100</b>
7.1	Überprüfung Formblatt – Kopfdaten und Struktur .....	100
7.2	Anwendung modifizierter FMEA - Bewertungstabellen .....	100
7.2.1	Studie zur Risikobewertung .....	100
7.2.1.1	Risikograph; Einzel -und Gruppenbewertung.....	105
7.2.1.1.1	Ergebnisse – Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen .....	106
7.2.1.1.2	Ergebnisse – Exzenterpresse.....	107
7.2.1.1.3	Ergebnisse – kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore.....	108
7.2.1.1.4	Ergebnisse – Steinspaltmaschine.....	109
7.2.1.1.5	Beurteilung der Risikofehlbewertungen nach Risikograph .....	110
7.2.1.2	Modifizierte FMEA – Bewertungstabellen ; Einzel- und Gruppenbewertung .....	112
7.2.1.2.1	Ergebnisse – Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen .....	113
7.2.1.2.2	Ergebnisse – Exzenterpresse.....	114
7.2.1.2.3	Ergebnisse – kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore.....	115
7.2.1.2.4	Ergebnisse – Steinspaltmaschine.....	116
7.2.1.2.5	Beurteilung der Risikofehlbewertungen nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen .....	117
7.2.2	Methodenvergleich .....	118
7.3	Gefährdungsbeurteilung mit Hilfe der modifizierten FMEA .....	127
7.4	Risikobeurteilung mit Hilfe der modifizierten FMEA .....	128
7.5	Erstellung Explosionsschutzdokument mit Hilfe der modifizierten FMEA.....	128
<b>8</b>	<b>Schlussbetrachtung.....</b>	<b>130</b>
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	130
8.2	Ausblick.....	137
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>141</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>143</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>144</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>146</b>

<b>Anhänge.....</b>	<b>160</b>
<b>Anhang I - FMEA Leer Formular .....</b>	<b>161</b>
<b>Anhang II - Anforderung an die Dokumentation .....</b>	<b>162</b>
<b>Anhang III - Arbeitsblatt Risikobewertung.....</b>	<b>167</b>
<b>Anhang IV - Bewertungstabellen.....</b>	<b>176</b>
BEWERTUNGSTABELLE 1 „Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition – A “ .....	176
BEWERTUNGSTABELLE 2 „Entdeckungswahrscheinlichkeit / Ausweichmöglichkeit – E “ .....	179
BEWERTUNGSTABELLE 3 „Gesundheitsschaden Bedeutung – B “ .....	182
<b>Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA.....</b>	<b>183</b>

## **Kurzfassung**

Unterschiedliche Stakeholder definieren die Anforderungsvielfalt an Unternehmen mit wachsender Dynamik, steigender Komplexität. Das Wuppertaler Generic-Managementsystem-Konzept bietet als universelles Managementsystem auf der Basis der ganzheitlichen Betrachtungsweise Lösungen, Unternehmen zukunftsfähig und anforderungsgerecht lenken zu können.

Dies setzt die Entwicklung und den Einsatz von geeigneten Instrumenten voraus, deren funktionale Ausrichtung alle unternehmensrelevanten Aspekte einschließt, dynamisch und flexibel ist.

Vorgenommene Analysen im Arbeitsschutzbereich zeigen deutliche Mängel in der Realisierung von Stakeholderanforderungen. Fehlende Transparenz von Definitionen und Rechtsbegriffen sowie deren einheitliche Verwendung als auch Schwachstellen in Arbeitsschutzmethoden beschreiben die bestehende Problematik im Arbeitsschutz.

Die durch Modifizierung, Implementierung und Validierung nachgewiesene Erweiterbarkeit des Einsatzes der aus dem Qualitätswesen bekannten FMEA-Methode im Bereich des Arbeitsschutzes stellt einen Meilenstein zur Entwicklung eines Generic-Instrumentes dar.

Die Basis zur Erreichung optimaler Anwendbarkeit und hoher Akzeptanz der modifizierten Generic-FMEA im Arbeitsschutz bilden die entwickelte Systematik einheitlicher Bewertungskriterien zur Durchführung von Risiko- und Gefährdungsbeurteilung sowie das erarbeitete Schulungsmodul GRFMEA.

## **Abstract**

Different stakeholders define the diverse requirements they have of companies with a growing drive, an increasing complexity. The Wuppertal Generic Management Concept, as a universal management system, provides solutions for this based on an integrated, all-encompassing approach, making companies both fit for the future and helping to steer these in a suitable, needs-oriented manner.

This presumes that the development and implementation of fitting instruments, which in their functional alignment encompass all aspects of company relevance, is both dynamic as well as flexible.

Analyses conducted in the field of work safety have shown considerable shortcomings with regard to the realisation of stakeholder requirements. Missing transparency of definitions and legal terms as well as their uniform usage plus flaws in work safety methods describe the existing problems within the field of work safety. The expandability of the implementation of the FMEA Method (well-known in quality control circles), which has been proven through modification, implementation and validation, within work safety presents us with a milestone when it comes to the development of a generic instrument.

The basis for attaining an optimal applicability and a high degree of acceptance of the modified generic FMEA within work safety is the developed system of uniform evaluation criteria for executing risk and exposure assessment as well as the worked out training module GRFMEA.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

„Aufgabe der Europäischen Gemeinschaft ist es, durch die Errichtung eines gemeinsamen Marktes und einer Wirtschaftsunion in der ganzen Gemeinschaft eine harmonische, ausgewogene und nachhaltige Entwicklung des Wirtschaftslebens, ein hohes Maß an sozialem Schutz, die Hebung der Lebensqualität, den wirtschaftlichen und sozialen Zusammenhalt und die Solidarität zwischen den Mitgliedsstaaten zu fördern“ [1].

Um die hierfür notwendige Rechtsangleichung in den Mitgliedsstaaten zu erreichen, werden auf der Grundlage der Art. 94 EGV [1] und Art. 95 EGV [1] unter anderem so genannte Binnenmarktrichtlinien der Europäischen Gemeinschaft erarbeitet.

Diese Binnenmarktrichtlinien legen die Bau- und Ausrüstungsbestimmungen für Produkte fest. Eine dieser Richtlinien ist die EG-Maschinenrichtlinie (MaschRL) [2].

Damit ein Produkt, welches in den Geltungsbereich der Maschinenrichtlinie [2] fällt, in Verkehr gebracht werden darf, muss das EG-Konformitätsverfahren durchlaufen werden. Dies bedeutet, dass die Maschine allen einschlägigen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen entspricht. Dazu legen die Vorbemerkungen des Anhangs I der Maschinenrichtlinie [2] fest:

„...der Hersteller ist verpflichtet, eine Gefahrenanalyse vorzunehmen, um alle mit seiner Maschine verbundenen Gefahren zu ermitteln; er muss die Maschine dann unter Berücksichtigung seiner Analyse entwerfen und bauen“ [2].

Im Jahre 2005 wurde mit dem Forschungsprojekt F 1896 „Analyse von Konformitätsnachweisen für Maschinen: Inhalte, Formen, Vorgehensweise bei der Erarbeitung“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin [3] festgestellt, „dass die flächendeckende Umsetzung der MaschRL in die betriebliche Praxis der Hersteller von Maschinen und Anlagen auch 11 Jahre nach ihrem Inkrafttreten noch nicht gegeben ist“ ([3], Seite 74). Die an der Studie beteiligten Experten kamen übereinstimmend zu der Auffassung, „dass die MaschRL in Klein- und Kleinstbetrieben nicht bekannt ist“ ([3], Seite 74). Darüber hinaus wird in dieser Studie bestätigt, dass der Normenaufbau zur Konkretisierung der MaschRL „nur wenigen Anwendern bekannt ist“ ([3], Seite 89).

Anlässlich des 15. Dresdner Arbeitsschutz-Kolloquiums "Sichere Maschinen - Die neue Maschinenrichtlinie - CE-Management im Unternehmen" am 19.09.2006, veranstaltet von der BAuA in Dresden, wurde festgestellt, dass die Gefahrenanalyse für weniger als 50% der Maschinen vorliegt. Hierbei wurde nicht unterschieden zwischen KMUs und Großbetrieben, auch wurde keine Aussage über den Umfang und die Qualität der durchgeführten Gefahrenanalysen getroffen [4, 5].

Die amtlichen Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin berichten, dass im Jahr 2006 die Produktmängel in Europa angestiegen sind. Darüber hinaus wird für 2007 mit einem weiteren Anwachsen gerechnet [6]. „Um dem Informationsbedürfnis der Bevölkerung über gefährliche technische Produkte entgegen zu kommen, hat sich die BAuA entschlossen, im Jahr 2009 eine entsprechende Informationsschrift herauszugeben [7].

„Den Unternehmen ist zwar bekannt, dass im Rahmen der Konstruktion von Produkten ein CE - Konformitätsverfahren zu durchlaufen ist und dabei Gefährdungen im Vorfeld ermittelt und bewertet werden müssen. Eine systematische Vorgehensweise nach den in Normen genannten Methoden wird jedoch nicht durchgeführt“ ([8], Seite 71).

Art.136ff. EGV [1] legen die Sozialvorschriften der Europäischen Gemeinschaft fest. Dabei werden Richtlinien mit Mindestanforderungen erlassen, die die Verbesserung der Arbeitsumwelt zum Schutz der Gesundheit und der Sicherheit der Arbeitnehmer zum Ziel haben.

Durch die Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit [8] ist der betriebliche Arbeitsschutz auf eine neue europäisch harmonisierte, rechtliche Grundlage gestellt worden.

Ziel dieser Richtlinie ist, unverzüglich vorbeugende Maßnahmen für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer zu ergreifen. Die Gefährdungsbeurteilung ist dabei das zentrale Präventionsinstrument des betrieblichen Arbeitsschutzes [9,10].

Die nationale Umsetzung dieser europäischen Richtlinie erfolgte am 07. August 1996 durch das „Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit“, kurz das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [11].

Auch die Betriebssicherheitsverordnung [12], die Arbeitsstättenverordnung [13] sowie die seit dem 01. Januar 2005 gültige Gefahrstoffverordnung [14], die BGV A1 „Grundsätze der Prävention“ [15], um nur einige zu nennen, fordern in Anlehnung an das Arbeitsschutzgesetz eine Gefährdungsbeurteilung und Festlegung der erforderlichen Maßnahmen der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes durch den Arbeitgeber.

Der Arbeitskreis „Gefährdungsbeurteilung“ der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften führte im Jahr 2004 eine Sachstandsermittlung zur Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG durch und befragte 1209 Betriebe [16].

Dabei zeigten sich folgende Ergebnisse:

Einerseits gaben 31% der Unternehmen mit bis zu 10 Mitarbeitern an, alle Arbeitsplätze seien bewertet worden, andererseits sagten 40% der Unternehmen mit bis zu 10 Mitarbeitern, sie hätten keinen Arbeitsplatz bewertet.

Die Gefährdungsbeurteilung wurde zu über 30% von externen Sicherheitsfachkräften erstellt. Die Dokumentation erfolgte zu über 40% durch Betriebsanweisungen. Davon ausgehend, dass Unternehmen mit 1 – 10 Mitarbeitern zu über 60% keine externe Fachkraft für Arbeitssicherheit bestellt haben [17] und wenn eine Fachkraft für Arbeitssicherheit bestellt ist, diese Fachkräfte im Durchschnitt 15 Stunden im Jahr die Unternehmen betreuen [18], ist dieses Ergebnis sehr zweifelhaft.

Gefährdungsbeurteilungen in Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern wurden zu 61% von der innerbetrieblichen und zu 11% von einer externen Fachkraft für Arbeitssicherheit durchgeführt. Nur 11% der Führungskräfte führten eine Gefährdungsbeurteilung durch. Diese Unternehmen haben zu 38% die Gefährdungsbeurteilung komplett erstellt und zu 43% zu über 50%. Die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung erfolgte zu 81% durch Betriebsanweisungen [16].

Die Qualität der Gefährdungsermittlung blieb in dieser Studie unberücksichtigt.

Am 20. November 2007 berichtete A. Notthoff [19] über die Ergebnisse des Projektes „BetrSichV im Handwerk“. Dabei stellte sich heraus, dass bei 2/3 der 1002 Betriebe mit weniger als 20 Mitarbeitern die BetrSichV [12] unbekannt war, 62% der Betriebe die Pflichten nach BetrSichV nicht kannten, dennoch 60% der Betriebe die Pflichten ansatzweise umgesetzt haben.

A. Notthoff lieferte als Begründung, dass es „viele Handlungshilfen zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung gibt, diese aber wenig Hilfe bieten“ ([19], Seite 6) und dass die technischen Regeln, die die Verordnungen konkretisieren, weitgehend unbekannt sind.

Die TNS Infratest Sozialforschung, FH Gießen, führte 2006 – 2007 im Auftrag des BMAS eine Evaluation zur Bildschirmarbeitsplatzrichtlinie durch. Die Evaluation ergab, dass nur die Hälfte der Betriebe Arbeitsplatzbegehungen durchführen [20]. Ohne Arbeitsplatzbegehung kann jedoch eine Gefährdungsbeurteilung nicht sinnvoll erstellt werden.

Erschwerend kommt hinzu, dass es zurzeit keine einheitlichen Definitionen im Arbeitsschutz gibt.

Technische Regeln zur Betriebssicherheitsverordnung definieren Gefährdungsfaktoren anders als die technischen Regeln zur Gefahrstoffverordnung. Die ab dem 31.12.2009 gültige modifizierte Maschinenrichtlinie benutzt statt dem Begriff Gefahrenanalyse den Begriff Risikobeurteilung [21, 22]. Die im Anhang der Maschinenrichtlinie [2] genannten Gefährdungen stimmen nicht mit den entsprechenden harmonisierten Normen überein. Die Definitionen zum Entstehen eines Unfalls oder einer arbeitsbedingten Erkrankung werden in den Ausbildungsunterlagen zur Fachkraft für Arbeitssicherheit unpräzise und widersprüchlich angegeben, sodass eine Überarbeitung für 2008 vorgesehen war [23]. Darüber hinaus werden in den unterschiedlichsten gesetzlichen Vorgaben zum Arbeitsschutz unklare Rechtsbegriffe genutzt. Die Betriebssicherheitsverordnung definiert z.B. für den Explosionsschutz die Zoneneinteilung durch „ständig, über lange Zeit, häufig, gelegentlich, kurzzeitig, normalerweise nicht“ [12]. Die Auslegung dieser Begriffe ist somit der Person übertragen, die die Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche vornimmt.

Die zurzeit eingesetzten Arbeitsschutztools wie

- Checklisten
- Verfahren nach Nohl [24]
- Wertebaum
- DIN EN ISO 13849-1 [25] (Nachfolge der DIN EN 954 Teil 1) [26]
- DIN EN ISO 14121 - 1 (Nachfolge der DIN EN ISO 1050) [27]
- Merkblatt A 017 Gefährdungsbeurteilung der BG Chemie [120]
- Broschüren des IVSS [102, 121]
- oder unterschiedliche Softwaretools [144, 145]

sind nur teilweise für die Erstellung einer Risikobeurteilung und Gefährdungsbeurteilung anwendbar.

Eine weitere Schwierigkeit beim Erstellen der Risiko- und Gefährdungsbeurteilung stellen die unterschiedlichen Themenfelder, die zu betrachten sind, dar. Dies beginnt bei mechanischen Gefährdungen oder elektrischen Gefährdungen und geht bis zu ergonomischen oder psychischen Gefährdungen. In Abhängigkeit davon kann es sich um eine arbeitsplatzbezogene oder personenbezogene oder produktbezogene Analyse handeln.

Bisher werden die Risikobeurteilungen und Gefährdungsbeurteilungen überwiegend von den Fachkräften für Arbeitssicherheit durchgeführt [16]. Aufgrund der Komplexität der zu berücksichtigenden Themengebiete besteht hier der berechtigte Zweifel, ob eine einzelne Person die unterschiedlichen Fragestellungen richtig und umfassend beantworten kann.

Ein Unternehmen und seine Arbeitsschutzaktivitäten sind immer in Wechselbeziehung zu den Interessen und Vorstellungen aller am Unternehmen Beteiligten, seinen Führungskräften, Mitarbeitern, Betriebsratsmitgliedern, Kunden oder von seinen Handlungen betroffenen Gruppen zu betrachten. „Für diese Bezugs- oder Anspruchsgruppen hat sich der Begriff Stakeholder durchgesetzt“ [28], ([29], Seite 14).

Aus den Forderungen der Stakeholder leiten sich die Vorgaben für die Gestaltung der Arbeitsschutzaktivitäten ab. Zahlreiche Veröffentlichungen weisen darauf hin, „dass die Vielfalt der Forderungen, die an ein Unternehmen gestellt werden, kontinuierlich wächst und ständigen Veränderungen, z.B. durch gesellschaftliche und gesetzliche Forderungen, technologische und marktliche Entwicklungen unterworfen ist“ ([28], Seite 27). „Die Erfahrungen zeigen, dass es durchaus Forderungen an Unternehmen gibt, die über einen längeren Zeitraum konstant bleiben, aber häufig den Unternehmen nicht bekannt sind. Das trifft auf bestimmte gesetzliche bzw. normative Regelungen zu, wie auf die Maschinenrichtlinie“ ([27] Seite 2). Die unterschiedlichen Anforderungen der Stakeholder und die kontinuierliche Veränderung der Anforderungen stellen für Unternehmen eine kaum zu lösende Aufgabe dar [31, 32, 33, 35, 36].

Um die Komplexität in der Vielfalt, Dynamik aber auch Stetigkeit von Anforderungen an ein Unternehmen beherrschen zu können, wurde der theoretische Ansatz des Generic-Managementsystems entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein Organisations- und Führungssystem, welches darauf abzielt, „die Erwartungen aller Interessenspartner, Wirtschaftlichkeit und Risikobeherrschung sicherzustellen“ ([29], Seite 15).

Zur Analyse und Erfüllung von Anforderungen werden derzeit verschiedene Werkzeuge genutzt, die nicht flexibel bzw. systemübergreifend in verschiedenen Subsystemen des Wuppertaler Generic-Management-Konzepts eingesetzt werden. Auch wurden deren generalisierte Einsatzmöglichkeiten nicht geprüft [33,36]. Bezogen auf Anforderungen aus dem Arbeitsschutz ist derzeit kein Instrument verfügbar, das in seiner Anwendung die Vorgaben an den Hersteller von Produkten als auch deren Verwender komplex umsetzt und gleichzeitig den Prozess der Produktsicherheit im Unternehmen optimiert.

Abgeleitet von der beschriebenen Gesamtproblematik als Spiegelbild bestehender Unternehmenssituationen ist die Klärung folgender Kernfragen der wissenschaftliche Ansatz zur Entwicklung eines Generic - Instrumentes als Baustein im WGMK:

- Können durch die Optimierung des bestehenden Prozessmanagements im Unternehmen die Risiko- sowie die Gefährdungsbeurteilung integriert werden?
- Sind als Voraussetzung zur Prozessoptimierung unklare Rechtsbegriffe aus dem Arbeitsschutz zur Ermittlung, Beurteilung und Bewertung von Gefahren, Gefährdungen und Risiken einheitlich zu definieren?
- Ist ein Managementinstrument entwickelt, das die Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllt und sowohl im Unternehmen als auch bei Konstrukteuren für die Erstellung der Gefahrenanalyse (Risikobeurteilung) praxiserprobt und bekannt ist?
- Ist eine Modifizierbarkeit und damit flexible Nutzung des Managementinstrumentes gegeben für die Umsetzung
  - der Gefahrenanalyse (Risikobeurteilung) nach Maschinenrichtlinie und
  - der Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz und Betriebssicherheitsverordnung?
- Lassen Managementinstrumente mit ihrer Gestaltung genügend Freiräume, um veränderte Anforderungsbedingungen, in Form eigenverantwortlichen Handelns und Entscheidens auf der Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung, Arbeitsstättenverordnung, Gefahrstoffverordnung für eine Gefährdungsbeurteilung, zu erfüllen?
- Sind Ergebnisse der Risikobeurteilung als Teilergebnisse einer Gefährdungsbeurteilung zu transferieren? Werden mögliche Iterationen aufgrund gleicher gesetzlicher Arbeitsschutzanforderungen durch den Einsatz eines modifizierbaren Managementinstrumentes vermieden?

- Können Mitarbeiterkompetenzen in den Umsetzungsprozess zur Gefährdungsbeurteilung integriert werden? Ist hier eine positive Beziehung zur kontinuierlichen Verbesserung der Arbeitsbedingungen nachweisbar?
- Sind praxisorientierte Managementinstrumente geeignet, theoretische Denkmodelle zur Unfallentstehung sowie zur Entstehung arbeitsbedingter Erkrankungen zu implementieren?

Ausgehend von diesen Fragestellungen werden die Forschungsziele definiert.

### **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

Mit der Zielsetzung der Arbeit erfolgt die konkrete Formulierung von Themen, die sich aus den Forschungslücken ergeben und durch unterschiedliche Untersuchungsansätze wissenschaftlich behandelt werden. Unter Berücksichtigung einer möglichen Verknüpfung der Ergebnisse werden nachfolgende Zielsetzungen erarbeitet:

- Ableitung und Erarbeitung des Anforderungsprofils an ein Generic - Instrument für den Arbeitsschutzbereich
- Entwickeln einer Generic - FMEA als Instrument im Bereich des Arbeitsschutzes zur Prozessoptimierung im Wuppertaler Generic-Management-Konzept
- Integration des Erklärungsmodells zur Entstehung von Unfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen in den Entwicklungsprozess der Generic - FMEA im Bereich des Arbeitsschutzes
- Durchführung einer Vergleichsstudie zur Umsetzung der Risikobeurteilung nach der Risikograph - Methode und nach modifizierten Bewertungstabellen. Prüfung auf Implementierung bzw. Ersetzbarkeit der Risikograph - Methode in bzw. durch die Generic - FMEA
- Validierung der Ergebnisse
- Schaffung einer Basis zur breiten Wissens- und Praxisanwendung der Generic - FMEA durch den Anspruch als Schulungsmodul im Arbeitsschutz.

Die einzelnen Zielsetzungen richten sich in ihrer Komplexität auf die Entwicklung der FMEA zu einem Instrument, welches den generalisierten Ansatz innerhalb des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes verstärken soll. Das Gesamtergebnis der Arbeit zielt daher auf die Wertung der Entwicklungsmöglichkeit der FMEA zu einem Generic - Instrument auf der

Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse der FMEA unter modifizierten Bedingungen im Subsystem Arbeitsschutz. Dies wird als übergeordneter, wissenschaftlicher Wert der Arbeit definiert.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Der Aufbau der Arbeit gestaltet sich in Abhängigkeit von den notwendigen Umsetzungskriterien zur definierten Zielerreichung. Die festgelegten Einzelziele werden mit ihren Untersuchungsansätzen in strukturierter Schrittfolge kapitelweise abgehandelt.

Ausgangsbasis ist die Analyse von Anforderungen verschiedener Stakeholder an das Subsystem Arbeitsschutz im Wuppertaler Generic-Management-Konzept sowie deren aktuellen Erfüllungsgraden.

Zunächst werden in Kapitel 2 die wichtigsten Definitionen zu arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen an den Arbeitsschutzbereich für einen einheitlichen Sprachgebrauch zusammengefasst. Dies bildet eine elementare Voraussetzung für das Verständnis des vorliegenden Arbeitsinhaltes, da in Gesetzen, Verordnungen, technischen Regeln und Normen zum Arbeitsschutz unterschiedliche Begriffe für den gleichen Sachverhalt benutzt werden.

Kapitel 3 konkretisiert die gesetzlichen Arbeitsschutzanforderungen. Hierzu werden exemplarisch die 9. Verordnung des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes, das Arbeitsschutzgesetz sowie Teile der Betriebssicherheitsverordnung analysiert. Eine weiterführende Betrachtung und Wertung vorhandener Methoden und Verfahren im Arbeitsschutz zur Umsetzung der arbeitsschutzrechtlichen Anforderungen erfolgt in Abhängigkeit zum erreichbaren Erfüllungsgrad und dessen Erfüllungsqualität. Ein weiterer Bewertungsschwerpunkt liegt auf der Anwendbarkeit und / oder Weiterentwicklung dieser bekannten Methoden und Verfahren zu einem Generic - Instrument.

Auf der Grundlage der Anforderungs- und Analyseergebnisse aus Kapitel 3 wird in Kapitel 4 erstmals ein definiertes Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument für den Arbeitsschutzbereich konsolidiert. Ein Abgleich von Basis- / Ausgangspotenzialen vorhandener Methoden im Arbeitsschutz (Verfahren nach Nohl, Verfahren nach Gruber) und Qualitätsmanagement (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse) mit dem erarbeiteten Anforderungsprofil dient zur Entscheidungsfindung, welche Methode mit dem höchsten Potenzial zur Generic - Entwicklung geeignet ist.

Die nächsten Schritte ergeben sich aus der Überprüfung der FMEA als praxiserprobte Methode in den Bereichen Qualität und Human Resources des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes zur Nutzbarkeit und Kompatibilität im Rahmen des Arbeitsschutzes (Kapitel 5).

Die Verknüpfung relevanter Methodenansätze aus der FMEA mit den in Kapitel 3 herausgearbeiteten Anforderungen der Stakeholder aus dem Arbeitsschutzgesetz sowie der Betriebs-sicherheitsverordnung bilden die Basis für die in Kapitel 6 entwickelte modifizierte FMEA. Die durchgeführte Modifizierung der FMEA beinhaltet die Anpassung der Formblattgestaltung an die Anforderungen aus dem Arbeitsschutz, die Integration von Begrifflichkeiten des Denkmodells zur Entstehung von Unfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen, die Entwicklung anforderungsbezogener Bewertungstabellen sowie die Zuordnung der Risikoprioritätszahlen zu Schutzmaßnahmen nach der Maßnahmenhierarchie. Im Resultat dieser Veränderungen beschreibt diese modifizierte FMEA im Ansatz die Qualitätsebene eines Generic-Instrumentes.

Die praktische Anwendbarkeit der entwickelten, theoretischen Grundlagen eines Generic-FMEA-Instrumentes für den Arbeitsschutzbereich wird im nachfolgenden Kapitel gezeigt. Anhand einer Studie zur Risikobewertung werden hierzu die neu entwickelten Bewertungstabellen überprüft. Als mitgeltende Forschungsergebnisse zur Bewertung des Generic-Instrumentes werden die in der Vorbereitung zu dieser Arbeit koordinierten Erprobungsphasen bezüglich der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung, einer Risikobeurteilung und eines Explosionsschutzdokumentes herangezogen.

Der Abschluss der Arbeit beinhaltet die gewonnenen Erkenntnisse und eröffnet im Ausblick weitere Forschungsfelder zur Konkretisierung des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes.

## 2 Definitionen

Um eine einheitliche Methode zu entwickeln, ist es notwendig, Begriffe festzulegen und diese durch die Angabe ihrer wesentlichen Merkmale zu beschreiben. Die größte Schwierigkeit bei der Angabe von Definitionen besteht darin, einerseits den gesetzlichen Begriffen Rechnung zu tragen, wobei diese sich teilweise widersprechen, und andererseits neue, angepasste und überarbeitete Begriffe zu benutzen.

Diese Widersprüche in den Definitionen soll folgendes Beispiel zeigen:

- *Gefahr/Gefahrenanalyse/Gefahrenbereich/Gefährdung:*

Die MaschRL (98/37/EG) [2] gibt keine Definition für den Begriff Gefahr an.

Im Sinne der MaschRL (98/37/EG) [2] gilt als Gefahrenbereich „der Bereich innerhalb und/oder im Umkreis einer Maschine, in dem die Sicherheit und die Gesundheit einer Person durch den Aufenthalt in diesem Bereich gefährdet wird.“

Die DIN EN ISO 12100-1 [38] „legt die grundsätzliche Terminologie und Methodologie fest, die für das Erreichen der Sicherheit von Maschinen angewandt werden“. Diese Norm ist eine Grundnorm des Typs A und „bildet die Grundlage für eine Normenreihe, bestehend aus Typ A, Typ B und Typ C-Normen. Die Festlegungen in dieser Norm sind für Konstrukteure vorgesehen“.

In dieser Norm werden die Begriffe Gefahr, Gefahrenanalyse und Gefahrenbereiche ebenfalls nicht angegeben. Gleiches gilt für die Norm DIN EN ISO 14121-1 „Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung -Teil 1: Leitsätze“ [39].

Obwohl es keine Definitionen in der MaschRL (98/37/EG) [2] gibt, wird im Anhang I dieser Richtlinie von „Gefahren durch ...“ gesprochen.

Die sicherheitswissenschaftliche ältere Literatur definiert „die Gefährdung als eine räumlich und zeitlich sowie nach Art, Größe und Richtung bestimmte Gefahr, die auf Personen, Sachen oder Funktionen gerichtet ist“ [122].

Der Zusammenhang zwischen Gefahr und Gefährdung wird von Compes wie folgt angegeben:

„Dem Zustand Gefährdung kann bereits etwas Aktives zugesprochen werden, noch ist das Risiko latent. War Gefahr als Möglichkeit charakterisiert, ist Gefährdung bereits

Wahrscheinlichkeit, sie ist nicht absolut, sondern relativ, steht in Beziehung, kann als Vektor mit Richtung und Skalar verstanden werden“ [123].

Oder: „Gefährdung = Gefahr-Wirkung“ [124].

Kuhlmann entwickelte die Begriffe Gefahr und Gefährdung weiter, indem er „Gefahr kann von der Nutzung eines technischen Systems ausgehen und bedeutet die Möglichkeit einer Schädigung von Mensch oder Sachgut“ und „Gefährdung kann sich für Mensch und Sachgut ergeben, wenn ein technisches System genutzt wird und sich Mensch und Sachgut in seinem Wirkungsbereich befinden“ definiert [125].

Im Bereich des Arbeitsschutzes wird eine Gefahr als „ein Zustand oder ein Ereignis, bei dem ein unvertretbares (nicht akzeptables) Risiko besteht, definiert. Gefahr ist somit eine bewertete Gefährdung“ [40].

Die ab dem 31.12.2009 gültige überarbeitete MaschRL (2006/42/EG) [41] benutzt nicht mehr die Begriffe Gefahr bzw. Gefahrenanalyse, sondern führt den Begriff Risikobeurteilung ein.

Somit wird von folgender Prämisse ausgegangen:

In dieser Arbeit werden die wichtigsten Begriffe des Arbeitsschutzgesetzes, der Betriebssicherheitsverordnung [12] und der dazu gehörigen technischen Regeln, gemäß dem Glossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung und Gefahrstoffverordnung angegeben und benutzt [42]. Zusätzlich werden die Begriffe „Schaden, Gefährdungssituation, Risikoanalyse, Risikoeinschätzung und Risikobeurteilung“ aus der DIN EN ISO 12100 übernommen.

- *System*

Der Begriff System wird am kürzesten wie folgt definiert:

„Ein System ist ein aus Teilen bestehendes Ganzes“ [43] oder

„Ein System ist ein Satz in Wechselbeziehungen oder Wechselwirkungen stehenden Elementen“ ([29], S. 24), [45,46].

Eine weitere Definition lautet:

„Ein System ist eine geordnete Gesamtheit von Elementen, zwischen denen Beziehungen bestehen oder hergestellt werden können. Dieser Begriff sagt jedoch nichts über die Art der Elemente oder ihre Beziehungen aus. Des Weiteren lässt sie keinen Schluss über den Zweck des Systems und der Art der Anordnung der Elemente zu“ ([47], Seite 2).

- *Arbeitssystem*

„Ein Arbeitssystem ist ein abgegrenztes System des Zusammenwirkens von Personal, Technik und Organisation zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe in einer bestimmten Arbeitsumgebung“ [40].

Eine andere Definition lautet:

„Das Arbeitssystem beinhaltet das Zusammenwirken und die Wechselwirkung von Mensch und Arbeitsmittel im Arbeitsablauf, um die Arbeitsaufgabe am Arbeitsplatz/der Arbeitsstätte in der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgabe gesetzten Bedingungen zu erfüllen“ [48].

- *Arbeitsumgebung*

„Arbeitsumgebung beinhaltet die physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren, die Arbeitsmittel und Beschäftigte bei der Benutzung umgeben. Unter physikalischen Faktoren sind z. B. Hindernisse, räumliche Enge, mechanische Schwingungen, Klima, Licht, ionisierende Strahlung, Magnetfelder, Mikrowellen; unter chemischen Faktoren sind z. B. Luftverunreinigungen, explosionsfähige Atmosphäre und unter biologischen Faktoren ist z. B. bakterielle Kontaminierung zu verstehen. Der Begriff der Arbeitsumgebung ist im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung [12] auf physikalische, chemische und biologische Faktoren beschränkt. Insoweit ist die Arbeitsumgebung Teil der Arbeitsbedingungen, unter denen ein Arbeitsmittel verwendet wird“ [42].

- *Arbeitsmittel*

„Arbeitsmittel sind Werkzeuge, Geräte, Maschinen oder Anlagen. Anlagen setzen sich aus mehreren Funktionseinheiten zusammen, die zueinander in Wechselwirkung stehen und deren sicherer Betrieb wesentlich von diesen Wechselwirkungen bestimmt wird; hierzu gehören insbesondere überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne des §2 Abs. 7 des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes“ [42].

- *Arbeitsbedingungen*

„Arbeitsbedingungen sind alle organisatorischen, technischen und witterungsbedingten Einflüsse, einschließlich deren physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren, die bei Tätigkeiten auf die Beschäftigten wirken“ [42].

- *Gefahrenquelle*

„Gefahrenquellen sind die Quellen für mögliche Schäden“ [40].

- *Explosion*

„Explosion ist eine plötzliche Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig“ [49].

- *Explosionsbereich*

„Ein Explosionsbereich ist der Bereich der Konzentration eines brennbaren Stoffes in Luft, in dem eine Explosion auftreten kann“ [49].

- *Explosionsfähige Atmosphäre*

„Eine explosionsfähige Atmosphäre ist ein Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt“ [49].

- *Explosionsfähiges Gemisch*

„Ein explosionsfähiges Gemisch ist ein Gemisch von Gasen oder Dämpfen untereinander oder mit Nebeln oder Stäuben, in dem sich nach erfolgter Entzündung eine Reaktion selbstständig fortpflanzt“ [49].

- *Explosionsgefährdeter Bereich*

„Ein explosionsgefährdeter Bereich ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Ein Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre nicht in einer solchen Menge zu erwarten ist, dass besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden, gilt nicht als explosionsgefährdeter Bereich“ [49].

- *Explosionsgrenzen*

„Explosionsgrenzen sind Grenzen des Explosionsbereiches. Untere Explosionsgrenze (UEG) und obere Explosionsgrenze (OEG) ist der untere bzw. obere Grenzwert der Konzentration eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch von Gasen, Dämpfen, Nebeln und/oder Stäuben, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann“ [49].

- *Explosionpunkte*

„Unterer Explosionpunkt bzw. oberer Explosionpunkt einer brennbaren Flüssigkeit ist die Temperatur, bei der die Konzentration des gesättigten Dampfes im Gemisch mit Luft die untere bzw. obere Explosionsgrenze erreicht. Bei reinen Stoffen und azeotropen Gemischen lassen sich mit Hilfe der Explosionpunkte und der Dampfdruckkurve die Explosionsgrenzen bestimmen“ [49].

- *Gefahrdrohende Menge*

„Unter einer gefahrdrohenden Menge wird die quantitative Stoffmenge verstanden, bei der mit der Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen ist“ [49].

- *Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre*

„Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ist eine explosionsfähige Atmosphäre, die in einer solchen Menge (gefahrenrohende Menge) auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung des Schutzes von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer oder Anderer erforderlich werden“ [49].

- *Schaden*

Ein Schaden wird nach DIN EN 12100-1 [38] definiert als „physische Verletzung und/oder Schädigung von Gesundheit oder Sachen“.

- *Gesundheit*

„Gesundheit ist der Zustand des Freiseins von Krankheit und Gebrechen sowie des vollständigen physischen und sozialen Wohlbefindens des Menschen (WHO-Definition)“ ([40], Seite 52).

- *Gefährdungsfaktor*

„Gefährdungsfaktoren beschreiben die Eigenschaften von Gefahrenquellen“ [40].

- *Gefährdung*

„Eine Gefährdung entsteht durch ein räumliches und/oder zeitliches Zusammentreffen einer Gefahrenquelle mit einer Person, bei der eine schädigende Wirkung eintreten kann“ [40].

- *Gefährdungssituation*

„Jede Situation, in der ein Mensch einer oder mehreren Gefährdungen ausgesetzt ist, wird als Gefährdungssituation bezeichnet“ [38].

- *Arbeitsbedingte Gefährdung*

„Möglichkeit eines Schadens (Gesundheitsschadens) oder einer gesundheitlichen Beeinträchtigung ohne bestimmte Anforderungen an deren Ausmaß oder Eintrittswahrscheinlichkeit – latente Sachlage –“ [51].

- *Gefahrbringende Bedingung*

„Umstände für das Entstehen einer Gefahr. Gefahrbringende Bedingungen sind begünstigend für die Wahrscheinlichkeit des Entstehens der Gefahr. Gefahrbringende Bedin-

gungen resultieren aus technischen und organisatorischen Mängeln und charakterisieren unzureichende Eigenschaften bezüglich des bestimmungsgemäßen Einsatz- bzw. Verwendungszwecks von Systemelementen“ [52].

- *Gefahr*

„Eine Gefahr ist ein Zustand oder ein Ereignis, bei dem ein unvertretbares (nicht akzeptables) Risiko besteht. Gefahr ist somit eine bewertete Gefährdung“ [40].

- *Gefährdungsbeurteilung*

„Die Gefährdungsbeurteilung umfasst die beiden Arbeitsschritte „Ermitteln der Gefährdungen“ und „Bewerten der Gefährdungen (Risikoeinschätzung und Bewertung)“ [40].

- *Risiko*

„Das Risiko ist eine Kombination der Wahrscheinlichkeit und des Schweregrades / Schadensausmaßes der möglichen Verletzung oder Gesundheitsschädigung in einer Gefährdungssituation“ [27].

Beim Eintritt des Schadens spielt die Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses und die Möglichkeit zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens eine Rolle [27], [53].

- *Restrisiko*

„Als Restrisiko wird das Risiko bezeichnet, dass nach Ausführung der Schutzmaßnahmen verbleibt“ [27].

- *Risikobeurteilung*

„Die Risikobeurteilung ist die Gesamtheit des Verfahrens, das eine Risikoanalyse und Risikobewertung umfasst“ [38].

- *Risikoanalyse*

„Kombination aus Festlegung der Grenzen der Maschine, Identifizierung der Gefährdungen und Risikoeinschätzung“ [38].

- *Risikoeinschätzung*

„Bestimmung des wahrscheinlichen Ausmaßes eines Schadens und der Wahrscheinlichkeit seines Eintritts“ [38].

- *Risikobewertung*

Die Risikobewertung ist eine auf der Risikoanalyse beruhende Beurteilung, ob die Ziele zur Risikominderung erreicht wurden. In der nachfolgenden Abbildung 2-1 sind die Zu-

sammenhänge zwischen Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobeurteilung [27] dargestellt.

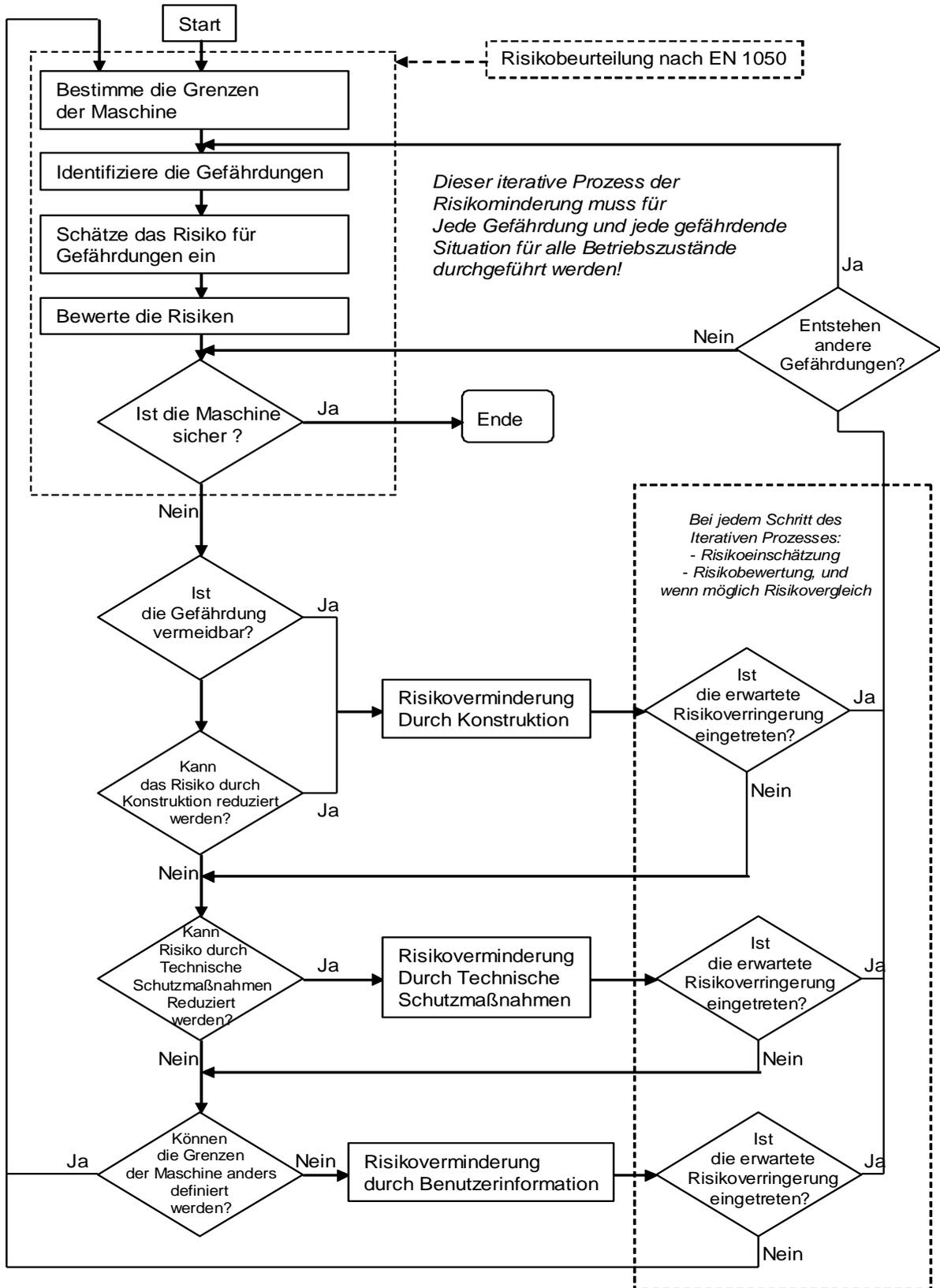


Abbildung 2-1: Zusammenhang zwischen Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobeurteilung [27]

## **3 Analyse gesetzlicher Anforderungen und deren Erfüllungsgrad**

### **3.1 Anforderungen an Produkte**

Um eine im Sinne der MaschRL sichere Maschine zu bauen, müssen die im Anhang I aufgeführten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen an die Konstruktion und den Bau von Maschinen erfüllt werden. Diese Anforderungen unterscheiden zwischen den allgemeinen Grundsätzen, den Steuerungen und Befehlseinrichtungen, den Anforderungen an Schutzmaßnahmen sowie den Gefährdungsfaktoren und Gefährdungssituationen.

Harmonisierte Normen haben die Aufgabe, diese Anforderungen zu konkretisieren [54]. Hintergrund dazu ist das Prinzip des „new approach“.

#### **3.1.1 Das Prinzip des „new approach“**

„Der Anlass zum „new approach“ lag nach herrschender Meinung in der EG-Richtlinie 86/663/EWG Flurförderzeuge begründet“ ([55], Seite 17). In dieser Richtlinie waren die Details zur Bau- und Ausrüstung vorgeschrieben. Die langwierigen Erörterungen auf politischer Ebene, welche Details explizit geregelt werden sollten, waren schließlich Ausgangspunkt zum „new approach“.

Mit der Entschließung vom 07. Mai 1985 über eine „neue Konzeption auf dem Gebiet der technischen Normung“ hat der Rat der Europäischen Gemeinschaft seine Praxis aufgegeben, alle technischen Details bezüglich der Bau- und Ausrüstungsbestimmungen gesetzlich festzulegen [55].

Das Prinzip des „new approach“ bedeutet, dass europäische Richtlinien lediglich grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen regeln. Bei Produkten, bei denen harmonisierte Normen angewandt wurden, ist anzunehmen, dass der Hersteller die Anforderungen der Richtlinien eingehalten hat (Vermutungswirkung).

Durch die harmonisierten Normen und zur Deregulierung des in Deutschland etablierten Dualismus des Arbeitsschutzes wurden die Berufsgenossenschaftlichen Unfallverhütungsvorschriften überwiegend außer Kraft gesetzt. Die Bau- und Ausrüstungsbestimmungen dieser Vorschriften wurden in die Berufsgenossenschaftlichen Regeln überführt und bilden lediglich den Stand der Technik.

#### 3.1.2 Risikobeurteilung – Anhang I Maschinenrichtlinie – Allgemeine Grundsätze

Bevor ein Hersteller einer Maschine mit der Konstruktion beginnt,

„hat der Hersteller einer Maschine dafür zu sorgen, dass eine Risikobeurteilung vorgenommen wird, um die für die Maschine geltenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln. Die Maschine muss dann unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung konstruiert und gebaut werden“ ([41], Anhang I).

Die MaschRL gibt ein Verfahren vor, wie diese Grundsatzforderung zu erfüllen ist.

- Im ersten Schritt hat

**„der Hersteller die Grenzen der Maschine zu bestimmen, was ihre bestimmungsgemäße Verwendung und jede vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung einschließt.“**

Dabei gibt die MaschRL nicht vor, was die Grenzen der Maschine sind. Auch wird der Begriff „vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung“ nicht definiert.

Die Grundnorm DIN EN ISO 12100 [38] erläutert die Grenzen der Maschine und gibt die Ergänzung „räumliche Grenzen – Bewegungsraum, Platzbedarf“ und „zeitliche Grenzen – vorhersehbare Lebensdauer –“ an. Diese Norm gibt ebenfalls keine Definition des Begriffes „vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung“ [55].

Die Kommission für Arbeitsschutz und Normung [57] versucht eine Interpretation wie folgt:

„Nicht nur die „bestimmungsgemäße Verwendung“ von Produkten, sondern auch ihre „vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung“ (bislang als „vorhersehbarer Missbrauch“ bezeichnet) muss in Normen berücksichtigt werden. Gemeint ist die Verwendung einer Maschine in einer anderen Weise als vom Hersteller vorgegeben, die sich aber aus dem leicht absehbaren menschlichen Verhalten ergibt“.

In den Produktnormen wird, z.B. in der DIN EN 415-1 [58], die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung in der Regel nicht berücksichtigt oder schwammig umschrieben. Als Beispiel sei die DIN EN 12417 [59] genannt:

„Zusätzlich muss der Anwender dieser Norm (z. B. der Konstrukteur, Hersteller, Lieferant) bestätigen, dass die Risikobeurteilung für die in Betracht gezogene Maschine

vollständig ist, unter besonderer Berücksichtigung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine einschließlich Wartungsarbeiten, Einrichten und Reinigung und ihr vorhersehbarer Missbrauch“ [59].

- Im zweiten Schritt hat der Hersteller

**„Die Gefährdungen, die von der Maschine ausgehen können, und ihre damit verbundenen Gefährdungssituationen zu ermitteln“**

Gefährdungen, die von Maschinen ausgehen können sind sowohl im Anhang der MaschRL, der DIN EN ISO 14121-1 [39] als auch in den zu verwendeten Produktnormen angegeben. In den Produktnormen sind diese Anforderungen auf mögliche Anwendungen bezogen und somit auf das jeweilige Produkt reduziert und angepasst. In der Regel werden dazu in den Normen Tabellen angewandt.

Die nachfolgend in Abbildung 3-1 aufgezählten Gefährdungen geben einen Überblick über die möglichen Gefährdungen an Maschinen:

<b>Mögliche Gefährdungen</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mechanische Gefährdung</li><li>• Elektrische Gefährdung</li><li>• Thermische Gefährdung</li><li>• Gefährdung durch Lärm</li><li>• Gefährdung durch Vibration</li><li>• Gefährdung durch Strahlung</li><li>• Gefährdung durch (Werk)-Stoffe</li><li>• Gefährdung durch Vernachlässigung ergonomischer Prinzipien</li><li>• weitere Gefährdungen</li></ul>

Abbildung 3-1: Überblick möglicher Gefährdungen an Maschinen [38]

Auch die möglichen Gefährdungssituationen sind in den beiden Grundnormen DIN EN ISO 14121-1 [39] und DIN EN ISO 12100 [38] angegeben. Bei den Gefährdungssituationen sind dabei die verschiedenen Phasen der Lebensdauer der Maschine zu berücksichtigen.

In Abbildung 3-2 sind die unterschiedlichen Lebensphasen zusammengefasst.

Mögliche Lebensphasen
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bau</li><li>• Transport und Inbetriebnahme (Aufbau, Installation, Einstellung)</li><li>• Einsatz/Gebrauch (Einstellen, Teachen/Programmieren, Verfahrensänderung/Umrüsten, Betrieb, Reinigung, Fehlersuche, Instandhaltung)</li><li>• Außerbetriebnahme (Abbau, Demontage und, sofern die Sicherheit betroffen ist, Entsorgung)</li></ul>

Abbildung 3-2: Phasen der Lebensdauer von Maschinen

- Im dritten Schritt hat der Hersteller

**„die Risiken abzuschätzen unter Berücksichtigung der Schwere möglicher Verletzungen oder Gesundheitsschäden und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens“**

Dieser Schritt ist das zentrale Element für die Erfüllung der Anforderungen. In Anhängigkeit von diesem Ergebnis werden die notwendigen Konstruktionsdetails, Bau- und Ausrüstungselemente und Schutzmaßnahmen ausgeführt, was sowohl für die spätere Verwendung als auch für den Preis entscheidend ist.

Eine einheitliche und exakte Vorgabe für die Risikoabschätzung gibt es in der Literatur nicht.

Das Schadensausmaß wird nach unterschiedlichen Modellen eingeschätzt.

DIN EN 954-1 [26] unterscheidet zwischen leichter und schwerer Verletzung.

Lehder et.al. betrachten das Ausmaß der Verletzung oder Gesundheitsschädigung indem sie fünf Stufen festlegen und diesen Stufen Wichtungszahlen zuordnen (Tabelle 3-1) ([51], Seite 150).

Tabelle 3-1: Ausmaß der Verletzung ([51], Seite 150)

<b>Ausmaß der Verletzung oder Gesundheitsschädigung</b>	<b>Wichtungszahlen</b>
S1 = keine Folgen	1
S2 = leichte Verletzungen	2 - 3
S3 = mittelschwere Verletzungen	4 – 6
S4 = schwere Verletzungen	7 - 8
S5 = Tod	9 – 10

Reudenbach wendet ebenfalls diese Methode an [53] ohne Konkretisierung der entsprechenden Ziffern. Eine Definition der unklaren Begriffe „leicht, mittel, schwerer Schaden“ wird nicht gegeben, auch werden keine möglichen Entscheidungshilfen zur Zuordnung zur Verfügung gestellt.

„Das britische Wirtschaftsministerium, Abteilung für Verbraucher und Wettbewerbsangelegenheiten ([60], Seite 366) hat (siehe Tabelle 3-2) drei Gradabstufungen mit Beispielen für typische Verletzungen angegeben“.

Tabelle 3-2: Verletzungsgrad ([60], Seite 394)

Verletzungsgrad		
Leicht	Schwer	Sehr schwer
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ weniger als 2% körperliche Beeinträchtigung</li> <li>→ für gewöhnlich reversibel</li> <li>→ bedingt keine Behandlung im Krankenhaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 2 – 15 % körperliche Beeinträchtigung</li> <li>→ für gewöhnlich irreversibel</li> <li>→ bedingt Behandlung im Krankenhaus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ mehr als 15 % körperliche Beeinträchtigung</li> <li>→ irreversibel</li> <li>→ bedingt Behandlung im Krankenhaus</li> </ul>
		Tod
Geringfügige Schnittverletzungen	Schwere Schnittverletzungen	Schwere Verletzung innerer Organe
Geringfügigste Brüche	Schwere Brüche, Verlust von Fingern oder Zehen	Verlust von Gliedmaßen
	Beeinträchtigung des Sehvermögens	Verlust des Sehvermögens
	Beeinträchtigung des Hörvermögens	Verlust des Hörvermögens
Geringe Verbrennungen	Mittlere Verbrennungen	Schwere Verbrennungen (mehr als 25 %)
Verstauchungen	Mittlere Behinderung	Schwere bleibende Behinderung
		Schwere geistige Beeinträchtigung oder längeres Koma

Ob eine Verletzung nur als schwer einzustufen ist, wenn ein Fingerverlust oder eine Beeinträchtigung des Sehvermögens gegeben ist, sei dahingestellt. In Abhängigkeit der Berufsausbildung, des sozialen Standes, den Ethikgrundsätzen eines Unternehmens erfolgt eine unterschiedliche Wertung. So wird der Schadensbegriff bei gesellschaftlichen Risiken von dem jeweils unterschiedlichen problem- und situationspezifischen Spannungsverhältnis zwischen Risikobewusstsein und Risikobereitschaft bestimmt ([61], Seite 02-7).

Für die Eintrittswahrscheinlichkeit findet in der DIN EN 954-1 [26] eine Unterteilung in die Häufigkeit der Aufenthaltsdauer, mit der Unterteilung selten und häufig und Möglichkeit zur Vermeidung von Gefährdungen, mit der Unterteilung möglich und kaum möglich statt. Diese Einteilung wird in der Literatur als Risikograph bezeichnet [62].

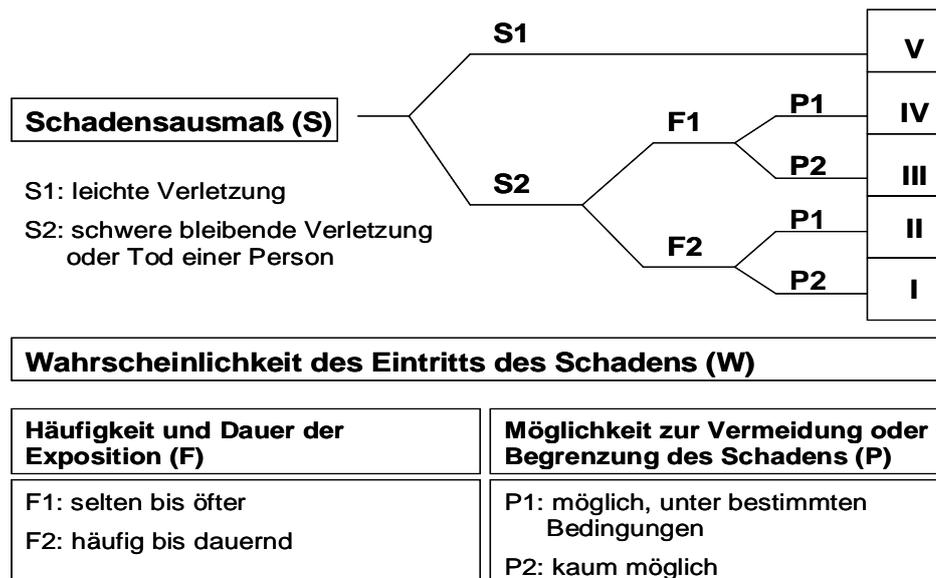


Abbildung 3-3: Risikograph [62]

Bei dieser Einschätzung wird die Anforderung der MaschRL an die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses nicht berücksichtigt.

Lehder et.al. [51] und Reudenbach [53] vergeben Wichtungszahlen für die

- *Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition*
- *Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses*
- *Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens.*

Tabelle 3-3: Eintrittswahrscheinlichkeit [51, 53]

<b>Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition (WI)</b>	<b>Wichtungszahlen</b>
W1 = selten	1
W2 = häufig (mehr als 1 x pro Schicht)	2
<b>Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungseignisses (WII)</b>	<b>Wichtungszahlen</b>
W3 = gering (kaum möglich)	1
W4 = mittel (durchaus möglich)	3
W5 = groß (sehr wahrscheinlich)	5
<b>Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens</b>	<b>Wichtungszahlen</b>
W6 = möglich	1
W7 = möglich unter bestimmten Bedingungen	2
W8 = unmöglich	3

Wie diese Wichtungszahlen zustande kommen, welche Zeitintervalle, welche Wahrscheinlichkeiten möglich sind, wird nicht angegeben. Auch sind die benutzten Adjektive wie „gering, mittel, groß“ nicht messbar.

- Nach der Abschätzung der Risiken, sind im vierten Schritt

**„die Risiken zu bewerten, um zu ermitteln, ob eine Risikominderung gemäß dem Ziel dieser Richtlinie (gemeint ist die Maschinenrichtlinie) erforderlich ist“.**

Unter dieser Risikominderung wird definiert,

„die Gefährdungen oder durch Anwendung von Schutzmaßnahmen die mit diesen Gefährdungen verbundenen Risiken auszuschalten in der Reihenfolge:

- Beseitigung oder Minimierung der Risiken so weit wie möglich
- Ergreifen der notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Risiken, die sich nicht beseitigen lassen
- Unterrichtung der Benutzer über Restrisiken aufgrund der nicht vollständigen Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen; Hinweis auf eine eventuell erforderliche spezielle Ausbildung oder Einarbeitung und persönliche Schutzausrüstung“.

Dadurch, dass bei der Risikoabschätzung unklare Zuordnungen getroffen wurden, müssen in der Folge die Bewertungen ebenfalls mangelhaft sein. Dass diese Fehler bei der Bewertung vorliegen, wird bei der Anwendung der DIN EN ISO 954-1 [62] deutlich.

Die Bewertung der Risiken mit Hilfe des Risikographen führt zu fünf Kategorien (B bis 4), welche in Abbildung 3-4 dargestellt sind.

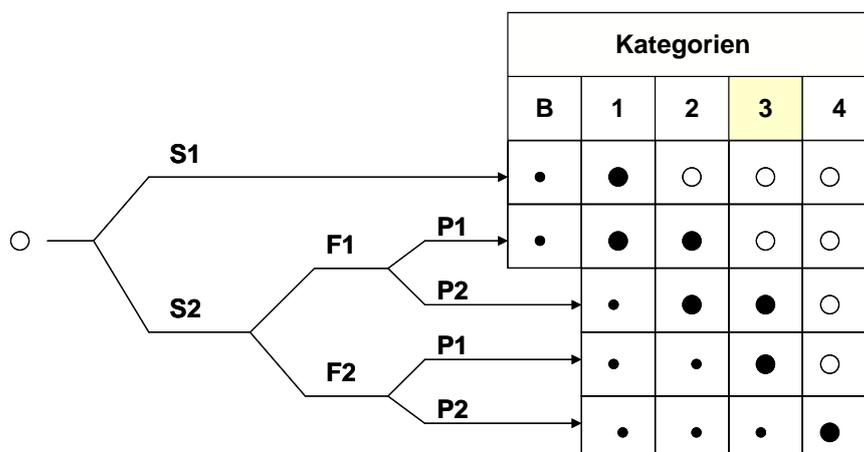


Abbildung 3-4: Risikograph mit Kategorien [62]

Das Verfahren des Risikographen findet seine überwiegende Anwendung in der Auswahl der steuerungstechnischen Mittel für Maschinen und Anlagen. Beispiele für die Anwendung des Risikographen sind im BIA - Report 6/97 aufgeführt [62]. Dabei sind verschiedene Steuerungskategorien bei gleicher Bewertung möglich.

Dieser Widerspruch zeigt, dass dieses Verfahren für Steuerungen nur begrenzt sinnvoll ist. Daher wurde die Norm 954-1 [26] durch die DIN EN ISO 13849-1 [25] ersetzt und es ist ein so genannter Performance Level zu bestimmen, der den bekannten Kategoriebegriff erweitert.

Neben der DIN EN ISO 13849 [25, 156] sind die Normen der DIN EN 61508 [126] und ihre Sektornorm DIN EN 62061 [127] für die Maschinenindustrie relevant. Dabei handelt es sich um Normen der funktionalen Sicherheit. Funktionale Sicherheit bedeutet hierbei, dass mögliche Gefährdungen behandelt werden, die durch Ausfälle eines Steuerungssystems bedingt sind. Diese Ausfälle rühren folglich von einer Fehlfunktion. Die Normen sind im Anwendungsbereich auf elektrische, elektronische und programmierbar elektronische Systeme beschränkt [128].

Die notwendigen Sicherheitsfunktionen werden dann eingesetzt, wenn eine technische Schutzfunktion notwendig ist. In diesem Zusammenhang werden Sicherheitsfunktionen definiert, die von den SRP/CS (Safety Related Parts of Control Systems), den sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen, ausgeführt werden. Dabei wird eine Funktion durch einen Sensor erfasst, durch eine Logik verarbeitet und durch einen Aktor geschaltet.

In der DIN EN 61508 [126] und DIN EN 62061 [127] sind Sicherheits-Integrationslevel (SIL) festgelegt. Diese sind ein Gradmesser für die sicherheitsgerichtete Zuverlässigkeit. Es handelt sich dabei um Ausfallgrenzwerte, die jeweils eine Dekade umfassen. Im Maschinenbereich ist bei einer hohen Anforderungsrate als Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde PFH (**P**robability of a **D**angerous **F**ailure per **H**our) relevant. SIL-4 Systeme, die in der DIN EN 61508 [126] beschrieben sind, sind im Maschinenbereich nicht bekannt. Weitere Informationen zur funktionalen Sicherheit von Bauteilen sind in den oben aufgeführten Normen, die um die Normen der DIN EN 61511 [129] oder der DIN EN ISO 14620-1 [130] ergänzt werden, aufgeführt.

Lehder [51] führt eine Bewertung anhand folgender Tabelle durch und ordnet dieser Bewertung noch Maßnahmen zu.

Tabelle 3-4: Dringlichkeit von Arbeitsschutzmaßnahmen ([51], Seite 150)

Risikozahl	0-24	25-42	43-100
Risikobewertung	Geringes Risiko	Mittleres Risiko	Hohes Risiko
	Organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen	Maßnahmen mit normaler Schutzwirkung notwendig	Maßnahmen mit erhöhter Schutzwirkung dringend notwendig

Diese vorgeschlagenen Maßnahmen entsprechen nicht den Anforderungen der Maschinenrichtlinie. Maßnahmen mit „normaler Schutzwirkung“ oder mit „erhöhter Schutzwirkung“ werden nicht definiert.

Eine richtliniengerechte Unterteilung der Maßnahmen findet sich bei KOM [63] und wird in Tabelle 3-5, Maßnahmenhierarchie zur Maschinenrichtlinie, gezeigt.

Tabelle 3-5: Maßnahmenhierarchie zur Maschinenrichtlinie [63]

Maßnahmenhierarchie	
Priorität	Maßnahmen
1	Beseitigen der Risiken – Inhärent sichere Konstruktion
2	Sicherheitstechnische Maßnahmen – Schutzeinrichtungen - Steuerungen
3	Organisatorische Maßnahmen (zeitliche Begrenzung im Gefährdungsbereich)
4	Information über Restrisiken - Warnhinweise
5	Unterweisung und persönliche Schutzausrüstung

#### **3.1.3 Risikobeurteilung – Anhang I Maschinenrichtlinie – Allgemeine Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen**

Die allgemeinen Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen beziehen sich auf Materialien, Beleuchtung, Steuerungen und Befehlseinrichtungen, Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdungen, Anforderungen an Schutzeinrichtungen, um nur einige zu nennen. Diese allgemeingültigen Anforderungen sind in den unterschiedlichsten Grund- und Produktnormen genannt und werden hier nicht weiter beschrieben.

#### **3.1.4 Verfahren zur Risikobeurteilung**

In der Maschinenrichtlinie sind keine Verfahren zur Risikobeurteilung von Maschinen genannt. Die DIN EN ISO 12100 [38] nennt ebenfalls kein Verfahren zur Risikobeurteilung. Die DIN EN ISO 14121 [39] beschreibt die Risikoelemente und konkretisiert die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens sowie die Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung eines Schadens. Gefährdungen werden wie in der Vorgängernorm als Tabelle gelistet, eine Beurteilung selbst wird nicht durchgeführt. Auch werden keine Verfahren zur Risikobeurteilung, im Gegensatz zur Vorgängernorm DIN EN ISO 1050 [27], mehr genannt.

Die in der DIN EN ISO 1050 [27] genannten Verfahren werden dort kurz beschrieben, ein Beispiel oder eine Anwendung gibt es nicht.

In der Literatur werden verschiedene Vorschläge für die Durchführung einer Risikobeurteilung gemacht [53, 55, 64]. Eine und am weitesten fortgeschrittene und aktualisierte Praxisanwendung findet sich bei Reudenbach [53]. Die Mängel dieser Risikobeurteilung wurden oben beschrieben.

### **3.2 Arbeitsschutzanforderungen an ein Generic-Managementsystem**

Bestandteil der Maschinenrichtlinie und der sie konkretisierenden Normen ist die Weitergabe von Hinweisen zum sicheren Umgang mit Maschinen an den Benutzer. Diese so genannten Benutzerinformationen umfassen Angaben zur bestimmungsgemäßen Verwendung, erforderlichen Ausbildung, Warnhinweisen u.ä. und bündeln sich somit in Grundanforderungen an die Schnittstellen Mensch – Maschine – System.

Ein System unterliegt jedoch internen sowie externen Anforderungen, die sich im Wuppertaler Generic-Management-Konzept widerspiegeln. Die Dynamik und Priorität für die einzelnen

Anforderungen innerhalb dieses Gesamtsystems sind abhängig von der Orientierung eines Unternehmens basierend auf den Forderungen der Stakeholder.

Inwieweit ein Unternehmen es schafft, die Forderungsvielfalt aller Stakeholder zu harmonisieren, d.h. die Forderungen zu charakterisieren und den Prozessen in allen Unternehmensebenen zu zuordnen, hat Einfluss auf das Gleichgewicht im Wuppertaler Generic-Management-Konzept. Es beschreibt gleichzeitig die zu steuernden Veränderungsprozesse im Gesamtsystem, die die Anpassung der Strukturen im Unternehmen an veränderte Forderungen gewährleisten kann.

Innerhalb des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes werden als kleinste Betrachtungseinheiten des Unternehmens die Arbeitssysteme definiert. Ein Arbeitssystem stellt ein sozio-technisches System dar und dient der Erfüllung von Arbeitsaufgaben ([66], Seite 52).

Die Erfüllung von Arbeitsaufgaben bedeutet verantwortlich zu handeln. Im Arbeitsschutz bedeutet dies, das als notwendig Erkannte zu unternehmen. Folglich ist diese Verantwortung eine Unternehmensstrategie.

Da das Arbeitssystem eine Betrachtungseinheit im Wuppertaler Generic-Management-Konzept ist, „kann der Unternehmer nicht alle Aufgaben, die an ein solches System bestehen, erfüllen. Folglich zieht der Gesetzgeber die Aufgaben an sich, die von den nach dem Gesetz Handelnden nicht erfüllt werden können“ ([67], Seite 13).

Der Staat fungiert mit seinen Forderungen zum Schutz des Menschen im System als Stakeholder. Der Gesetzgeber schafft mittels Gesetzen und Verordnungen im Arbeitsschutz Schutzziele als die Rahmenbedingungen für das Arbeitsschutzhandeln. Andersherum: Der Gesetzgeber sieht sich in der Pflicht, die Rahmenbedingungen zu formulieren, unter denen sich unternehmerisches Handeln als Arbeitsschutzhandeln ausreichend etabliert. Dabei lautet die Grundforderung an den Unternehmer, die Elemente des Arbeitssystems mit ihren Wechselwirkungen zu analysieren, zu beurteilen und Maßnahmen festzulegen, um Unfälle und arbeitsbedingte Erkrankungen zu vermeiden.

Die Vielfalt der Forderungen aus den Gesetzen und Verordnungen ergibt sich aus den unterschiedlichen existierenden Arbeitssystemen, Subsystemen und dazugehörigen Elementen, die sich auf verschiedenen Ebenen befinden.

In Abhängigkeit von den Hierarchieebenen werden diesen Systemen, Subsystemen und Elementen die entsprechenden Gesetze und Verordnungen des Arbeitsschutzes gegenübergestellt.

Unabhängig vom Ausgangspunkt der Prozessanalyse (hier Arbeitsschutz als Subsystem im WGMK) existieren in der Gesamtheit Anforderungen von Stakeholdern an die Elemente des Arbeitssystems innerhalb des Arbeitsschutzbereiches, die sich nicht nur explizit aus arbeitsschutzrelevanten Gesetzen und Verordnungen ableiten. So greifen auch gesetzliche Anforderungen aus dem Bürgerlichen Gesetzbuch oder aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetz direkt in den Bereich des Arbeitsschutzes ein. Um auch hier einen hohen Erfüllungsgrad gewährleisten zu können, muss der Prozess der Anforderungsanalysen zwangsläufig in der Managementsystemebene und nicht auf Bereichsebene durchlaufen werden.

Diese notwendige Berücksichtigung fachübergreifender Anforderungen an verschiedene Bereiche eines Unternehmens bestätigt indirekt ein erfolgreiches Umsetzen durch Integration des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes.

Die Abbildung 3-5 zeigt an Beispielen die Forderungen aus verschiedenen Gesetzen und Verordnungen, die übergeordnet an das Unternehmen gestellt sind, aber durch Analyse ihrer Gültigkeit u.a. auch für ein durch den Arbeitsschutz definiertes Arbeitssystem mit seinen Elementen zutreffen können. Aus den aufgeführten Gesetzen mit ihren Anforderungen zum Handels- bzw. Umweltrecht wird eine Verknüpfung zum Arbeitsschutz sichtbar. Beide Gesetze beinhalten Elemente bzw. Forderungen, die somit in verschiedenen Subsystemen eines Managementsystems zu berücksichtigen sind.

Hier spiegelt sich an einem kleinen Beispiel die zu betrachtende Komplexität des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes wider. Gesetze und Verordnungen stellen generell an ein Unternehmen Anforderungen. Aus diesem Pool werden die Anforderungen entsprechend der Fachspezifikation den Modulen / Bereichsebenen des WGMKs oder aber wie in Abbildung 3-5 aufgezeigt, direkt Teilelementen des Arbeitssystems aus dem Arbeitsschutzbereich zugeordnet.

### 3 Analyse gesetzlicher Anforderungen und deren Erfüllungsgrad

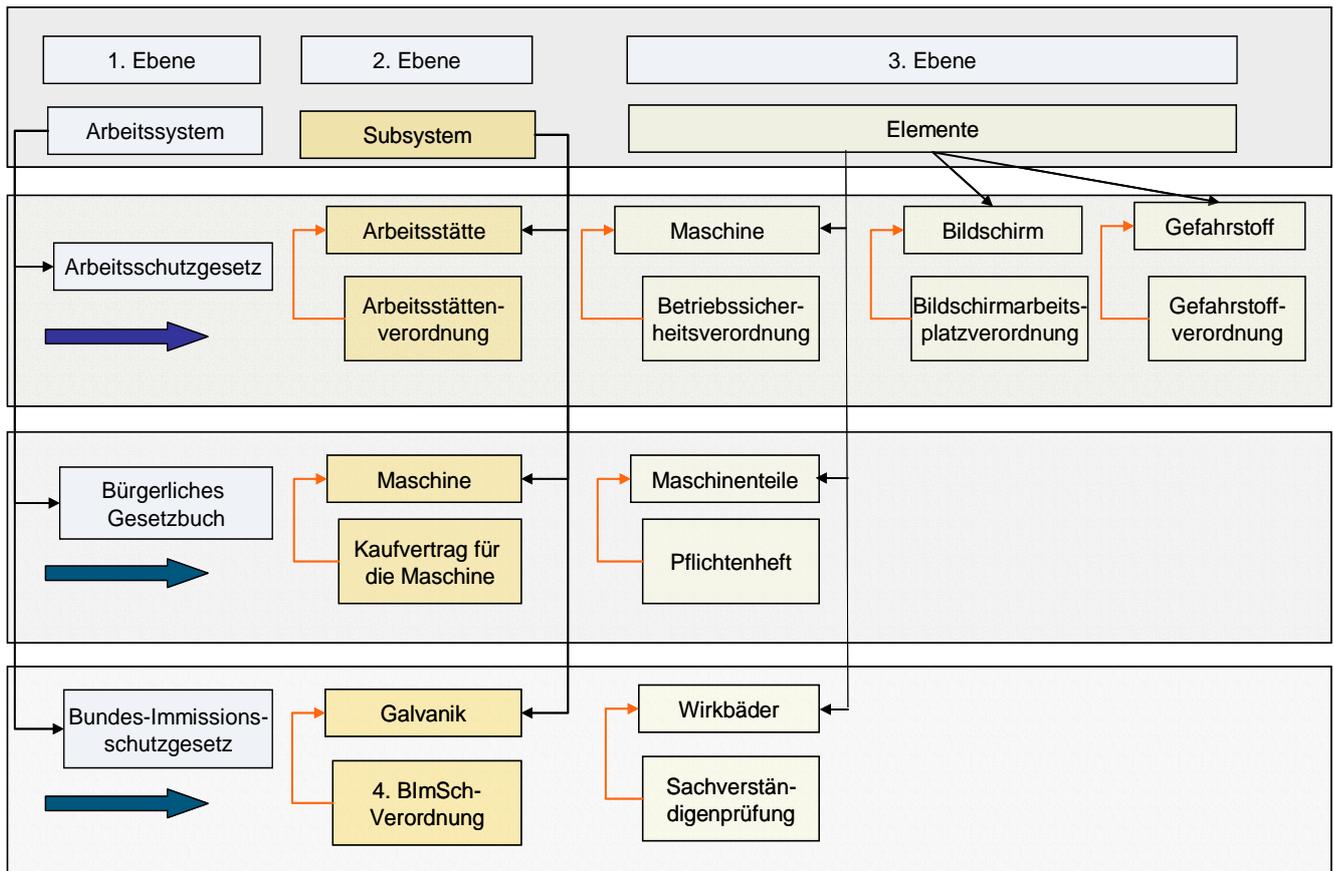


Abbildung 3-5: Hierarchie - Ebenen im Arbeitssystem

Innerhalb der Hierarchieebenen ist in Abhängigkeit von der Betrachtungsebene ein Verschieben möglich. Das bedeutet, dass Elemente zu Subsystemen sowie zu Systemen erhoben werden können. Gleiches ist in umgekehrter Richtung möglich.

Auch sind die dargestellten Hierarchieebenen nicht abschließend. Die verschiedenen Verordnungen werden durch technische Regeln, zum Beispiel TRBSen (Technische Regeln zur Betriebssicherheitsverordnung) konkretisiert. Auch die Berufsgenossenschaftlichen Regeln und Informationen, mögliche Normen und Richtlinien der Fachverbände stellen eine weitere Ebene dar.

Unbeeinflusst von der Flexibilität der Zuordnung der Hierarchieebenen berücksichtigt das übergeordnete Arbeitsschutzgesetz alle bestehenden Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen bzw. Subsystemen.

Die Gefährdungsbeurteilung bildet für die Unternehmen dabei das elementare Instrument, die Anforderungen von Stakeholder Staat bezüglich des Arbeitsschutzes umzusetzen.

### 3.2.1 Generalisierter Ansatz zur Gefährdungsbeurteilung

Aus dem Anspruch einer einheitlichen sowie komplexen Vorgehensweise bei der Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen wurde von den Berufsgenossenschaften und den Staatlichen Behörden für Arbeitsschutz im Rahmen der Modifizierung / Aktualisierung der Ausbildungsinhalte für Fachkräfte für Arbeitssicherheit ein Denkmodell eingeführt. Dieses Denkmodell wurde 2006 überarbeitet und fungiert heute als Erklärungsmodell zur Entstehung von Unfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen.

Die Schutzziele Sicherheit und Gesundheit haben Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Die entscheidenden Gesichtspunkte sind:

- *Sicherheit und Gesundheit beschreiben Zustände.*
- *Sicherheit* wird dabei systembezogen, mit dem Frei sein von unvermeidbaren Risiken in einem Arbeitssystem gesehen.
- *Gesundheit* wird personenbezogen, mit geistigem, körperlichem und sozialem Wohlbefinden, mit der Option zur Bewältigung externer und interner Anforderungen, gesehen ([68], Seite 17).
- Die Anwendung des Erklärungsmodells kann unabhängig von Hierarchieebenen erfolgen. Es gibt keine Einschränkungen für die Anwendung in Arbeitssystemen. Entscheidend für die Schlüssigkeit in der Umsetzung des Erklärungsmodells ist die situationsabhängige Zuordnung und Abgrenzung der Subsysteme und Elemente zu denen im Modell spezifizierten Definitionen.

Die folgende Abbildung 3-6 stellt den Zusammenhang zwischen Gefahrenquelle, Gefährdung, Gefahr und Gesundheitsschaden dar.

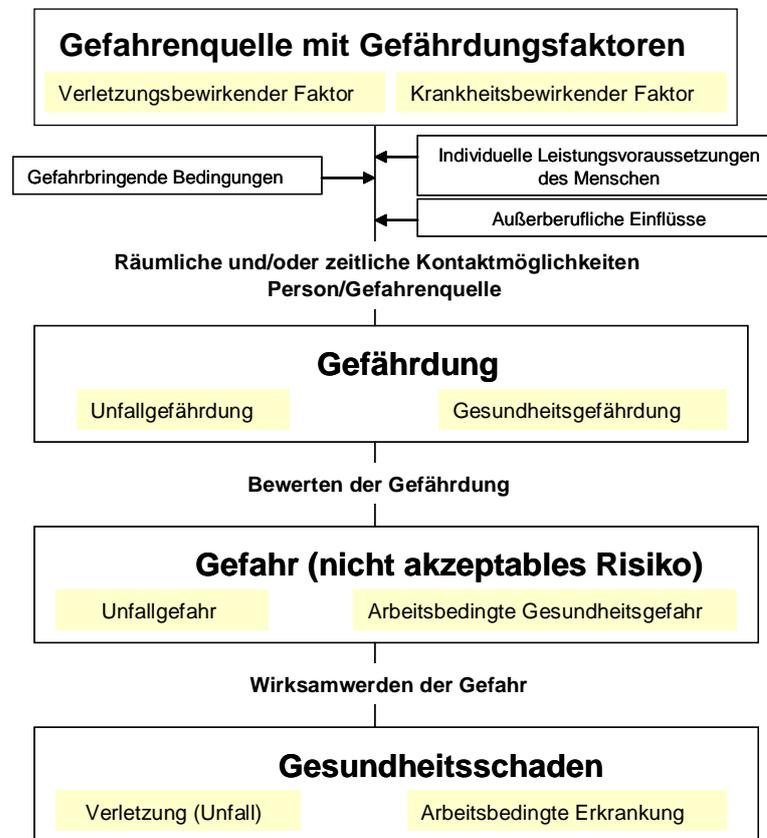


Abbildung 3-6: Gefahrenquelle mit Gefährdungsfaktoren [52]

Die unterschiedlichen Gefährdungsfaktoren können den beiden Gruppen verletzungsbewirkende Faktoren und krankheitsbewirkende Faktoren zugeordnet werden. Das Vorhandensein der Gefahrenquelle mit verletzungsbewirkenden und/oder krankheitsbewirkenden Faktoren ist die unbedingte Voraussetzung für den Eintritt des Schadens. Daneben ist das räumliche und/oder zeitliche Zusammentreffen von Mensch und Gefährdungsfaktor notwendige Voraussetzung für den Eintritt des Schadens.

Gefahrbringende Bedingungen führen dazu, dass ein Zusammentreffen von Mensch und Gefährdungsfaktor möglich ist. Gefahrbringende Bedingungen resultieren aus technischen und organisatorischen Mängeln und charakterisieren unzureichende Eigenschaften bezüglich des bestimmungsgemäßen Einsatz- und Verwendungszwecks. Bei diesen Bedingungen handelt es sich um Probleme wie technische Sicherheit, Funktionssicherheit, usw..

Das Vorhandensein von begünstigenden Bedingungen, dies sind z.B. technische Störungen, plötzliche Ausfälle, aktuelle Organisationsabläufe, momentane individuelle physische Leis-

tungsvoraussetzungen der Beschäftigten, kann dazu beitragen, dass die Gefahr tatsächlich zu einem Gesundheitsschaden führen kann [52]. Diese Bedingungen sind im Vorfeld nicht erkennbar und bilden daher einen Anteil des Restrisikos.

#### **3.2.2 Arbeitsschritte zur Gefährdungsbeurteilung**

Die Gefährdungsbeurteilung lässt sich in drei Schritte unterteilen. Dabei wird mit der Abgrenzung des Systems begonnen. Hierbei wird festgelegt, welche Arbeitsbereiche, Tätigkeiten und Personen in die Gefährdungsbeurteilung einbezogen werden sollen. Damit wird auch eine Vorentscheidung für das Vorgehen bei der Gefährdungsbeurteilung getroffen.

In der Praxis haben sich folgende Verfahrensweisen bewährt:

- arbeitsbereichs- und tätigkeitsbezogene Beurteilung für überwiegend ortsfeste Arbeitsplätze
- berufsgruppenbezogene Beurteilung für nicht ortsfeste Arbeitsplätze
- personenbezogene Beurteilung für spezielle Tätigkeiten oder spezielle Personenkreise.

Prozessorientierte und systemübergreifende Gefährdungsbeurteilungen werden in der Regel nicht erstellt.

#### **3.2.3 Gefährdungsermittlung**

Voraussetzung für die effektive Bekämpfung der Gefahrenquellen, Gefährdungsfaktoren und gefahrbringenden Bedingungen ist die Erkennbarkeit, verbunden mit den Kenntnissen zu ihrer Entstehung und Wirkung.

##### **3.2.3.1 Checklisten und Erkennungsleitfäden**

Gefährdungen können mit Hilfe von Checklisten und Erkennungsleitfäden im Unternehmen ermittelt werden. Hierzu sind von den Berufsgenossenschaften, den Arbeitsschutzbehörden sowie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin spezifische Gefährdungs-/Belastungskataloge erarbeitet und veröffentlicht worden.

Eine Liste dieser Kataloge ist unter [www.vti-bochum.de](http://www.vti-bochum.de) beziehungsweise auf [www.baua.de](http://www.baua.de), zu finden.

Für eine systematische Gefährdungsermittlung wurden die möglichen Gefährdungsfaktoren zusammengestellt und in 13 Klassen (z.B. mechanische Gefährdungen, elektrische Gefährdungen, usw.) eingeteilt. Innerhalb der Klassen findet jetzt eine Feingliederung statt, mit deren Hilfe eine erleichterte Dokumentation, Datenverarbeitung und Datenverwaltung auf PC-Basis gegeben ist.

Die Gefährdungs-/Belastungskataloge sind sehr umfangreich (z.B. der Gefährdungs-/Belastungskatalog 02 „Metallbearbeitung und -verarbeitung, allgemein“ umfasst 144 Seiten [69]) und umfassend.

Der entscheidende Nachteil dieser Kataloge ist, dass sie nicht auf die spezielle Unternehmens- und damit Gefährdungssituation angepasst und reduziert sind. Darüber hinaus eignen sie sich nicht, um den Arbeitsprozess zu analysieren und werden oft als Alibidokumentation am grünen Tisch ausgefüllt.

Allen Gefährdungs-/Belastungskatalogen ist gemein, dass keine Bewertungen der möglichen Gefährdungen durchgeführt werden. Auch die individuellen Leistungsvoraussetzungen bleiben unberücksichtigt. Die psychischen Komponenten werden unzureichend betrachtet.

„Im Ursachengefüge von Arbeitsunfällen spielen technische Fehler eine untergeordnete Rolle. Bis zu 96% werden auf vermeidbare Handlungsunsicherheiten des arbeitenden Menschen zurückgeführt“ ([70], Seite 80).

#### 3.2.3.2 Begehungen und Befragung

Die Begehung ist eine Beobachtungsmethode bei gleichzeitiger Befragung der Mitarbeiter und ist unentbehrlich für den Erkenntnisgewinn. Dabei werden, meist in einer Gruppe, geplant, systematisch und zielgerichtet Daten erfasst.

Nachteile dieses Verfahrens sind, dass seltene, aber für die Arbeitstätigkeit wichtige Ereignisse nicht erfasst werden können, da sie im Beobachtungszeitraum nicht auftreten, die regulativen Prozesse komplexer Arbeitstätigkeiten mit überwiegend geistigen Anforderungen kaum beobachtet werden können, da die Begehungen zeitaufwendig und arbeitsintensiv sind.

### 3.2.4 Bewerten der Gefährdungen

Jede identifizierte Gefährdung muss bewertet und eine mögliche Gefahr abgewendet werden. Bei der Bewertung der Gefährdung wird das Risiko eingeschätzt, in welchem Maße Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten gefährdet werden. Anschließend ist festzulegen, ob ein Handlungsbedarf zur Risikominderung besteht. Abbildung 3-7 zeigt den Zusammenhang zwischen Sicherheit und Gefahr.

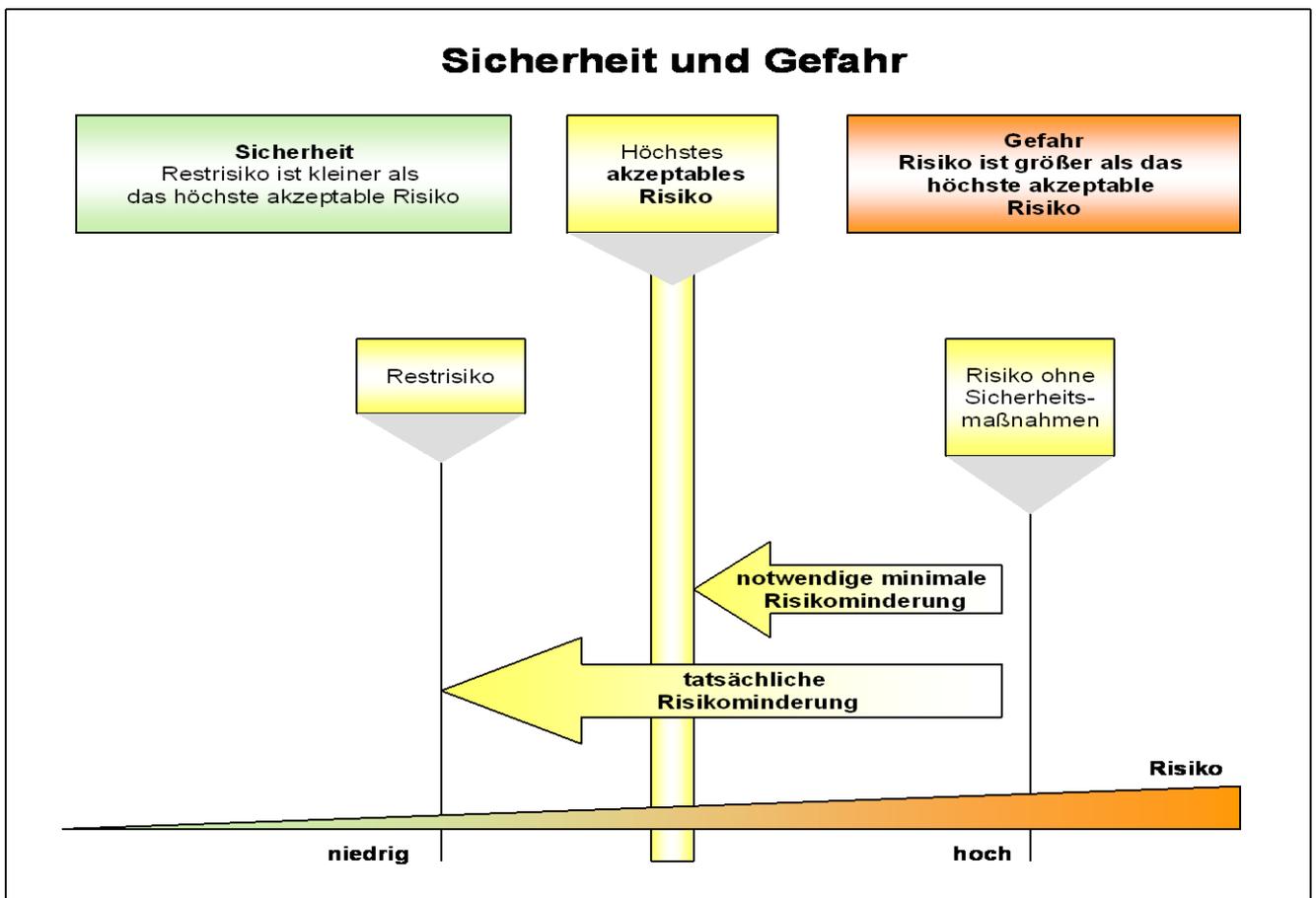


Abbildung 3-7: Zusammenhang zwischen Sicherheit und Gefahr [40]

### 3.2.5 Methoden der Gefährdungsbeurteilung

Die Verwendung richtet sich nach der zu bewertenden Situation. Dabei müssen oftmals mehrere Methoden benutzt werden. Hier ist der Kenntnisstand der betrieblichen Erfahrungsträger genauso zu berücksichtigen wie die Tatsache, dass die meisten Methoden lediglich die korrigierende Arbeitsgestaltung zur Aufgabe haben. Eine Methodenübersicht zur sicherheits- und gesundheitsbezogenen Arbeitstätigkeitsanalyse ist bei Hemmann et. al. zu finden ([70], Seite 165 ff).

Im Vergleich zum Qualitätsbereich verfügt der Arbeitsschutzbereich über keine Standardmethode analog der FMEA.

#### 3.2.5.1 Verfahren von Nohl zur Gefährdungsbeurteilung

Nohl und Thiemecke versuchten eine Systematik zur Durchführung einer Gefährdungsanalyse zu entwickeln. Das Ergebnis war „ansatzweise ein Verfahren zur prospektiven Gefährdungsanalyse“ [24].

Nohl und Thiemecke [24] haben dabei zur Bewertung von Gefährdungen folgende Matrix entwickelt:

Tabelle 3-6: Matrix zur Bewertung von Gefährdungen [24]

Wahrscheinlichkeit	Schadensausmaß				
	Keine Folgen	Bagatellfolgen	Verletzungs-/Erkrankungsfolgen	Leichter bleibender Gesundheitsschaden	Schwerer bleibender Gesundheitsschaden, Tod
Nicht vorstellbar	0	0	0	1	1
Äußerst gering	0	0	1	3	4
Vorstellbar	0	1	2	5	7
Sehr hoch	0	1	3	7	10

Hierbei werden den Gefährdungsmaßen von 0 bis 10 bestimmte Systemzustände zugeordnet [24]. Die Methode definiert damit in Abhängigkeit von der Höhe des Gefährdungsmaßes die Dringlichkeit der durchzuführenden Maßnahmen, wobei 1 die niedrigste Dringlichkeitsstufe und 10 die höchste Dringlichkeitsstufe festschreibt. Es liegen keine Definitionen zu den Abstufungen der Gefährdungsmaße, zum einheitlichen Verständnis von Dringlichkeitsstufen sowie der Art der abzuleitenden Maßnahmen vor.

Für die Einteilung in die Kategorien des Schadensausmaßes sowie Wahrscheinlichkeit liegen keine Bewertungsgrundlagen bzw. -einstufungen vor. Hier kann die Bewertung folglich nur subjektiv erfolgen. Das bewertete Gefährdungsmaß unterliegt der fachkundigen Einschätzung, mit welcher Eintrittswahrscheinlichkeit welcher Schaden akzeptiert wird.

Die gleiche Problematik ergibt sich auch für die Festlegung eines Handlungsbedarfes zur Risikominimierung. Die Methode definiert nicht, ab welcher Risikohöhe, hier als Gefährdungsmaß angegeben, welcher Handlungsbedarf angezeigt ist. Das hat zur Folge, dass der Handlungsbedarf zur Risikominimierung vom jeweils akzeptierten Risiko des Unternehmens bestimmt wird.

Des Weiteren bezieht sich die Methode ausschließlich auf die im Arbeitssystem zu bewertenden Gefährdungen bezüglich eines möglichen Unfallereignisses und ist damit eingeschränkt, um als Instrument zur Umsetzung anderer Anforderungen aus dem WGMK zu fungieren.

3.2.5.2 Verfahren von Gruber zur Gefährdungsbeurteilung

Das Verfahren von Nohl und Thiemecke wurde von Debitz, Gruber, Richter bezüglich der psychischen Faktoren weiterentwickelt und wird in Abbildung 3-8 dargestellt [71].

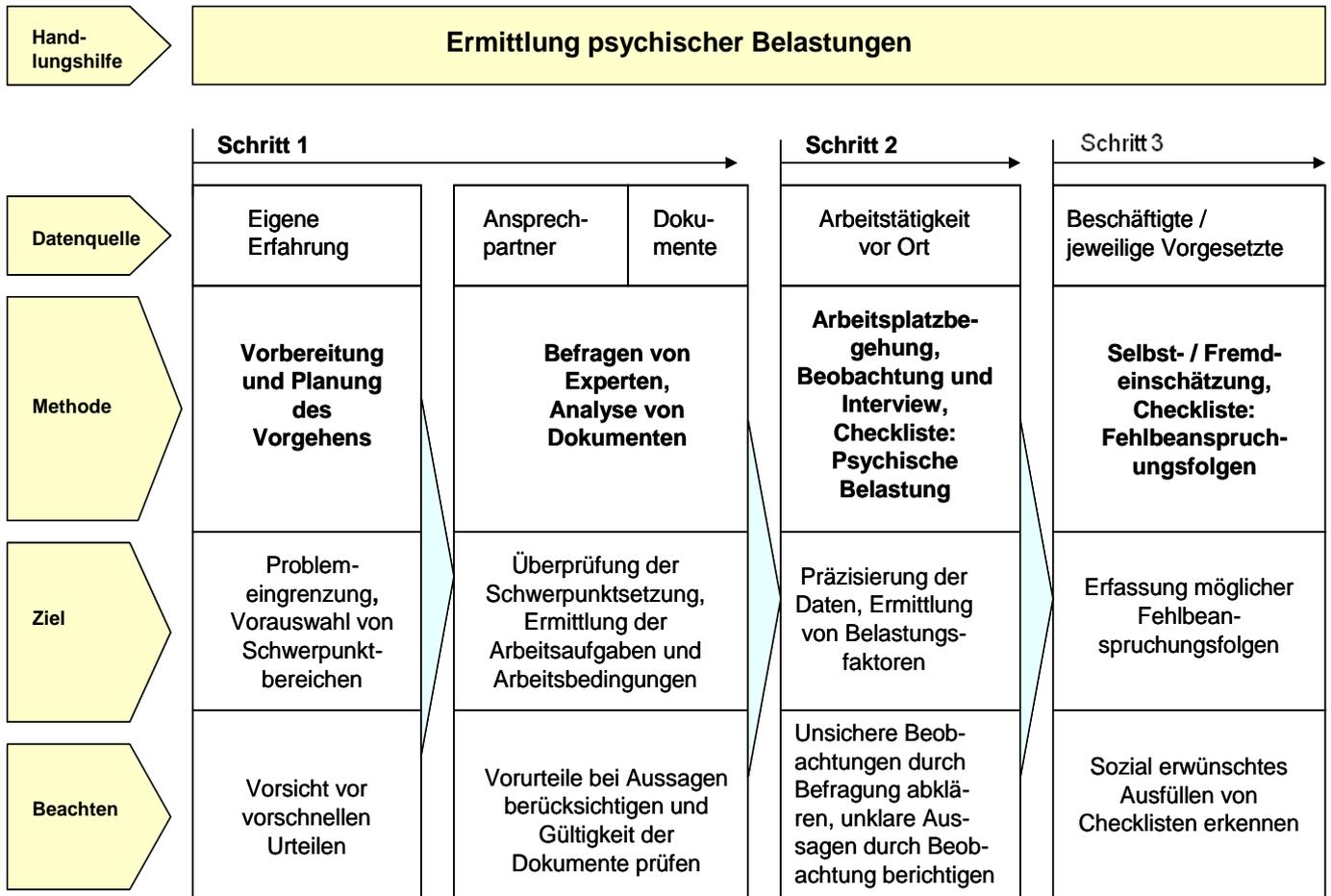


Abbildung 3-8: Ermittlung psychischer Belastungen [71]

Dabei wurde ein Vorschlag zur Ermittlung der arbeitsbedingten psychischen Belastungen erarbeitet.

Die nun folgende Risikoeinschätzung und Risikobewertung basiert auf der Grundlage von Nohl.

		<b>S</b> <b>Schadensausmaß</b>		
		gering III	mittel II	hoch I
<b>W</b>	<b>Wahrscheinlichkeit</b>			
	→ häufig <b>A</b>	3	2	1
	→ gelegentlich <b>B</b>	3	2	1
	→ selten <b>C</b>	3	2	1
	→ unwahrscheinlich <b>D</b>	3	2	2
→ praktisch unmöglich <b>E</b>	3	3	3	

<b>R</b>	Risikogruppe	Risikopotenzial	Maßnahmen
→	1	groß	Handlungsbedarf sofort notwendig
→	2	mittel	Maßnahmen mittelfristig einleiten
→	3	klein	Maßnahmen je nach Bedarf einleiten (Eintrittswahrscheinlichkeit)

Abbildung 3-9: Risikobewertung psychischer Belastungen ([71], Seite 30)

Nicht nur, dass abermals keine klaren Definitionen bzw. Abgrenzungen zur Einteilung der Wahrscheinlichkeiten sowie des Schadensausmaßes vorliegen, wird hier als Schadensausmaß eine monetäre Bewertung von entstehenden Kosten festgelegt.

Der eigentliche Gesundheitsschaden tritt in den Hintergrund.

Die Methode ermöglicht keine Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion der ermittelten psychischen Belastungen.

Die Ermittlung und Bewertung der psychischen Faktoren ist nicht Bestandteil dieser Arbeit. Insbesondere spielt dabei die Wahrnehmung eine entscheidende Rolle und eröffnet einen eigenen Forschungsbereich [72].

Fazit:

- Die beschriebenen Methoden betrachten ausschließlich analysierte Gefährdungsfaktoren bzw. Teilgefährdungen. Eine ganzheitliche Betrachtung des Arbeitssystems im Prozess der Gefährdungsbeurteilung als gesetzliche Forderung an den Arbeitsschutz ist hier nicht realisierbar.
- Aufgrund fehlender messbarer Bewertungskriterien, unklarer Definitionen und Abgrenzungen ist die Wiederholbarkeit der Ergebnisse und damit die Qualität der Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung als instabil zu bewerten.

### **3.3 Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung bezüglich explosionsgefährdeter Bereiche und Explosionsschutzdokument**

§3 BetrSichV fordert vom Unternehmer mit Rückbezug auf das Arbeitsschutzgesetz und einem Verweis auf die Gefahrstoffverordnung die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung.

„Kann nach den Bestimmungen des §16 der Gefahrstoffverordnung die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre nicht sicher verhindert werden, hat der Arbeitsgeber zu beurteilen:

1. die Wahrscheinlichkeit und die Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären,
2. die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins, die Aktivierung und des Wirksamwerdens von Zündquellen einschließlich elektrostatischer Entladungen und
3. das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkungen von Explosionen“ [12].

Die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung hat bei Vorliegen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre in einem Explosionsschutzdokument zu erfolgen [102]. Aus dem Explosionsschutzdokument muss insbesondere hervorgehen, welche Bereiche entsprechend Anhang 3 der BetrSichV in Zonen eingeteilt werden.

In Anhang 3 BetrSichV wird diese Forderung konkretisiert und die einzelnen Zonen definiert. Eine Zone 0 liegt vor, wenn eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (g.e.A.) ständig oder häufig auftritt. Eine Zone 1 liegt vor, wenn eine g.e.A. gelegentlich auftritt. Eine Zone 2 liegt vor, wenn eine g.e.A. normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen den Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung für Explosionsgefährdung werden in dieser Arbeit nur die wichtigsten Grundlagen aufgeführt. Weitere Grundlagen sind der Literatur, zum Beispiel [49, 73, 74, 102, 105, 107, 108], zu entnehmen.

#### **3.3.1 Voraussetzungen für eine Explosion**

Überall dort, wo in der Industriepraxis brennbare Stoffe, sei es als brennbares Gas, brennbare Flüssigkeit oder brennbarer Staub, gehandhabt werden, kann aufgrund der Erfahrung Explosionsgefahr gegeben sein. Diese aus heutiger Sicht triviale Feststellung geht auf die Jahrhundertwende zurück.

Im April des Jahres 1886 wurde im Protokoll der zweiten Sitzung des Genossenschaftsvorstandes der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie bereits festgehalten:

„Räume, in welchen sich explosive oder brennbare Gase entwickeln können, dürfen nur von außen beleuchtet werden“ [74].

Eine Explosion kann nur ablaufen, wenn drei Faktoren zusammenkommen:

1. Brennbarer Stoff (in entsprechender Verteilung und Konzentration)
2. Sauerstoff (aus der Luft)
3. Zündquelle.

Die Explosionsgefährdung hängt von den Stoffen ab, die von den Geräten, Schutzsystemen und Komponenten be- oder verarbeitet, verwendet oder freigesetzt werden und den Werkstoffen, aus denen die Geräte, Schutzsysteme und Komponenten hergestellt sind. Einige dieser Stoffe und Werkstoffe können mit Luft Verbrennungsreaktionen eingehen. Bei diesen Verbrennungsreaktionen können beträchtliche Wärmemengen freigesetzt werden, die von einem Druckaufbau und Freisetzen gefährlicher Stoffe begleitet werden können [131].

Brennbare Substanzen sind als Stoffe, die explosionsfähige Atmosphäre bilden können, einzustufen, es sei denn, die Prüfung ihrer Eigenschaften hat ergeben, dass sie in Mischungen mit Luft nicht in der Lage sind, eine Explosion selbsttätig fortzuleiten [131].

Da das Gefährdungspotential in diesem Zusammenhang nicht vom Stoff selbst ausgeht, sondern von dessen Kontakt oder seiner Vermischung mit Luft, müssen die Eigenschaften

des Gemisches aus brennbarem Stoff und Luft bestimmt werden.

Diese Eigenschaften geben Auskunft über das Brennverhalten eines Stoffes und darüber, ob er Feuer oder Explosionen verursachen kann.

Wesentliche Daten sind z. B. der Flammpunkt, die Explosionsschutzgrenzen und die Sauerstoffkonzentration [131].

Eine wirksame Zündquelle liegt vor, wenn die Zündeigenschaften ausreichen, die explosionsfähige Atmosphäre zu zünden. Wesentliche Kenngrößen sind die Mindestzündenergie, die Mindestzündtemperatur der explosionsfähigen Atmosphäre sowie die Mindestzündtemperatur einer Staubschicht.

### 3.3.2 Beurteilungsablauf zur Erkennung und Verhinderung von Explosionsgefahren

Zur Ermittlung der Explosionsgefahr wird folgendes, in der Literatur aufgeführtes Ablaufdiagramm vorgeschlagen [49, 73] (Zur besseren Lesbarkeit wird von dem in der Literatur illustrierten Duktus abgewichen, die Inhalte sind jedoch unverändert):

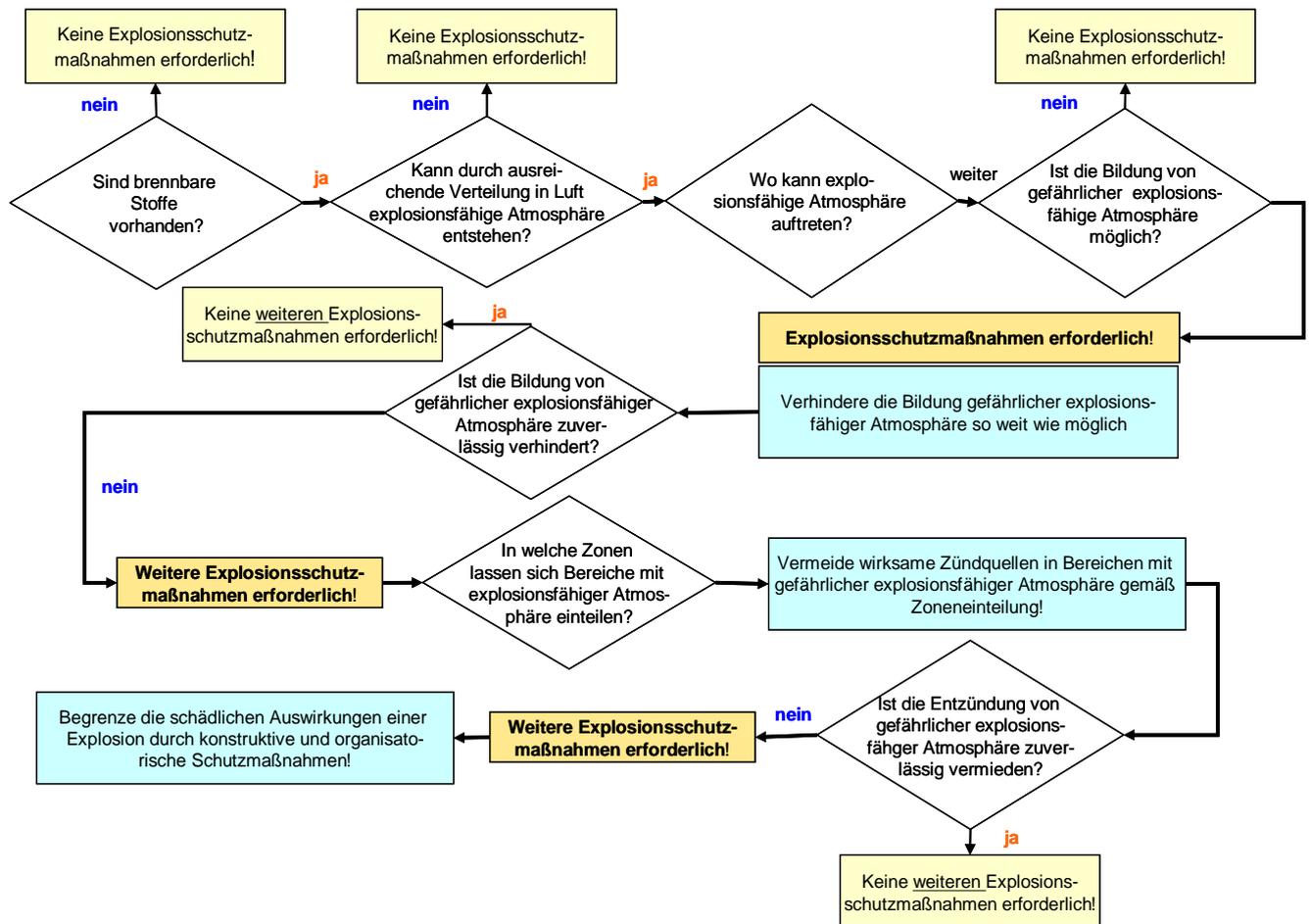


Abbildung 3-10: Beurteilungsablauf zur Erkennung und Verhinderung von Explosionsgefahren [73]

### 3.3.3 Wirksame Zündquellen

Entsprechend der BGR 104 werden allgemein 13 mögliche Zündquellen angegeben, die in der Lage sind, eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre zu zünden [49].

Die 13 Zündquellen nach BGR 104 sind:

1. Heiße Oberflächen
2. Flammen und heiße Gase
3. Mechanisch erzeugte Funken
4. Elektrische Anlagen
5. Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz Zündvorgang
6. Statische Elektrizität Zündvorgang
7. Blitzschlag
8. Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9 kHz bis 300 GHz
9. Elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von  $3 \times 10^{11}$  Hz bis  $3 \times 10^{15}$  Hz bzw. Wellenlängen von 1000  $\mu\text{m}$  bis 0,1  $\mu\text{m}$
10. Ionisierende Strahlung Zündvorgang
11. Ultraschall
12. Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase
13. Chemische Reaktion.

Zu den in der Fachliteratur angegebenen Zündquellen können Primärexplosionen subsumiert werden.

## 4 Konsolidierte Anforderungen an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutz

Ausgehend von standardisierten und bereits implementierten Einzelmanagementsystemen (z.B.: Qualität, Arbeitssicherheit, Umwelt, Lean) bestätigt die Entwicklung zu Integrierten Managementsystemen (IMS) – z.B. gebündelt im Business System Management - die Richtung des zukunftsorientierten, konzeptionellen Aufbaus des WGMKs.

### 4.1 Prinzipien des Wuppertaler Generic- Management-Konzeptes

Reiche, Scharn und Winzer definieren das WGMK als:

„... ein Konzept, das auf den Eckpfeilern aller Managementsysteme ... aufbaut, dennoch nur ein Management umfasst, welches unternehmensspezifische Lösungen für unterschiedliche Anforderungen umsetzt.“

„... ein offenes, systemisches und anforderungsgerechtes Organisations- und Führungssystem, das von einem prozessorientierten ganzheitlichen Gestaltungsansatz ausgeht.“ [96]

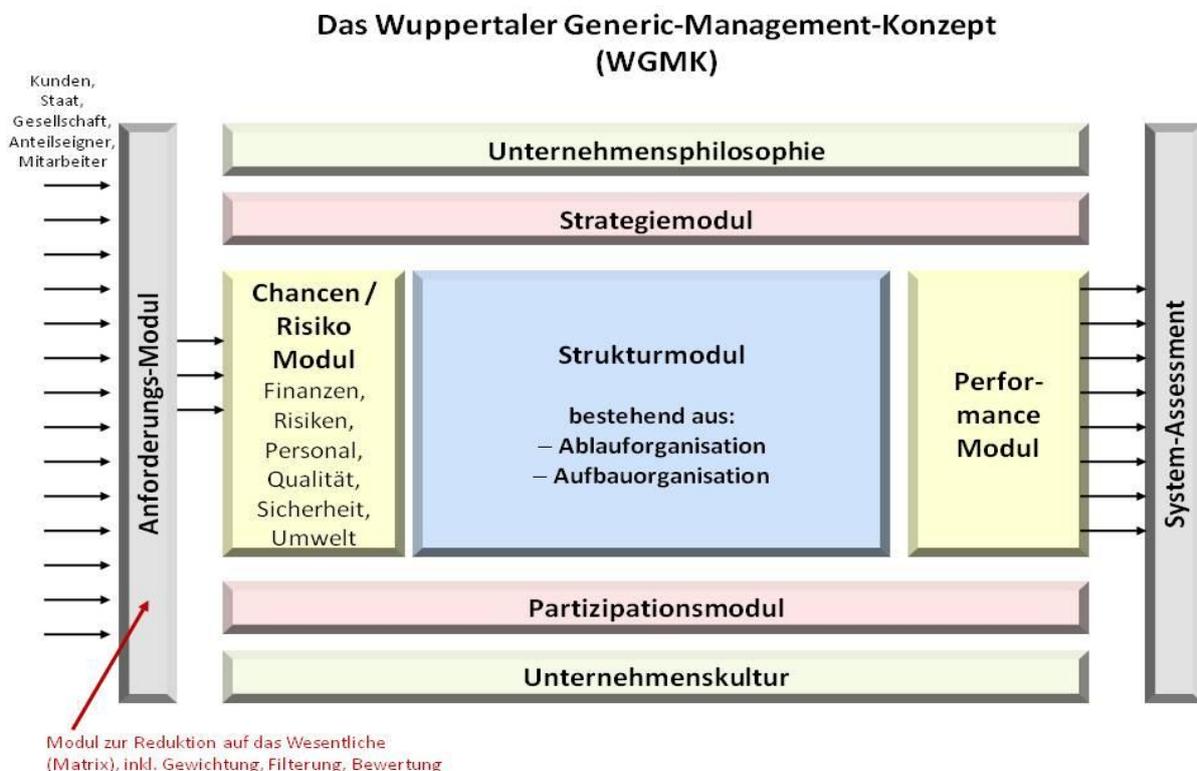


Abbildung 4-1: Systemmodell des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes (WGMK) [96]

Der Wandel der Unternehmensphilosophien von kurzfristig ausgerichteter Gewinnmaximierung hin zur Existenzsicherung [132] zwingt zum Kennen, Systematisieren und Integrieren aller Forderungen von Stakeholdern an ein Unternehmen [133,134]. Infolge dessen gewinnt auch hier der ganzheitliche Gestaltungsansatz von nur einem Managementsystem immer mehr an Bedeutung.

Im Antrag zu einem Sonderforschungsbereich 851 der Universität Stuttgart werden analoge Strategien bezüglich ganzheitlicher Gestaltungsansätze definiert. Methoden und Werkzeuge zur Optimierung von Einzelprozessen werden oft als nicht mehr ausreichend beschrieben. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Prozesskette zur Optimierung eines Produktes ist notwendig [135, 136].

Eine Anpassung von Analysen, Methoden und Instrumenten sowie letztendlich die Umsetzungen von Anforderungen unterliegen daher dem Anspruch der Ganzheitlichkeit.

Sowohl in der Systemphilosophie von Haberfellner [137] als auch in dem von Sitte und Winzer [138] entwickelten Ansatz des General Systems Engineering (GSE) werden Instrumente als Bestandteil des jeweiligen Systems definiert. Bei einer Übertragung des GSE-Ansatzes auf das WGMK bleibt der Grundaufbau bestehen, d. h. auch hier werden Instrumente unabdingbare Bestandteile des Systems sein. Reiche, Scharn und Winzer [96] formulieren dazu in ihrem Ausblick zum Wuppertaler Generic-Managementsystem-Konzept als Grundbedingung für die Entwicklung bzw. Anpassung von Instrumenten in den einzelnen Modulen die Sicherstellung des angestrebten universellen Einsatzes des WGMKs.

Genau hier knüpfen die festgelegten Ziele der vorliegenden Arbeit an:

- Ableitung und Erarbeitung des Anforderungsprofils an ein Generic – Instrument für den Arbeitsschutzbereich
- Entwickeln einer Generic – FMEA als Instrument im Bereich des Arbeitsschutzes zur Prozessoptimierung im Wuppertaler Generic-Management-Konzept.

Die im Ansatz von Reich, Scharn und Winzer geforderte modulbezogene WGMK-Tauglichkeit von Instrumenten sowie deren mögliche Kombinierbarkeit bzw. Modifizierbarkeit [96] wird in der Arbeit über die angestrebte Entwicklung nur eines Generic-Instrumentes innerhalb des WGMKs in eine neue Zielqualität gehoben.

Der Anspruch an das zu entwickelnde Instrument ist nun von dem universellen Einsatz (Gesamtanforderungen an ein Unternehmen) auf alle Module und nicht von den einzelnen Mo-

dulen in Bezug auf die ganzheitliche Betrachtungsweise entsprechend dem WGMK zu bewerten.

### **4.2 Basisanforderungen des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes an ein Generic-Instrument**

Das zu entwickelnde Instrument muss in seiner Struktur, Funktionalität und in seinen Eigenschaften eine Parallelität zum Systemmodell bzw. Ordnungsrahmen des WGMKs aufweisen.

Bezogen auf die Struktur und Funktion ist ein Generic-Instrument mit seinen Anwendungsschritten und zu erwartenden Ergebnissen auf die Zielvorgaben der einzelnen Module des WGMKs abzustimmen und haben diese bei der Erreichung zu unterstützen. Der Aufbau des Instrumentes muss der logischen Verknüpfung der einzelnen WGMK-Module folgen. Der festgelegte Aufgaben- bzw. Arbeitsablauf der Funktionsmodule im Systemmodell des WGMKs

- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| - Anforderungsmodul:        | Erfassen, Systematisieren |
| - Chancen- und Risikomodul: | Bewerten                  |
| - Strukturmodul:            | Aktionen                  |
| - Performance Modul:        | Messung der Leistung      |
| - System-Assessment:        | Überprüfung/Anpassung     |

definiert die mindestens zu erfüllenden Funktionsmerkmale eines Standard-Instruments.

Funktionsübergreifend müssen weitere zu erfüllende Bedingungen eines Generic-Instruments abgeleitet werden. Grundlagen hierfür sind die Zielvorgaben für die Strategie- und Partizipationsmodule sowie die ermittelten Vorteile für das Systemmodell des WGMKs selbst.

Schwerpunkt für die Entwicklung nur eines Instruments mit generalisiertem Ansatz bildet die geforderte Neutralität bezüglich der funktionalen Ausrichtung, d.h. keine Spezifikation je Bestandteil des Chancen-/Risikomoduls. Daher kann das zu entwickelnde Instrument analog zum WGMK nur einem Gerüst entsprechen, das Flexibilität, Anpassung, modulabhängige Implementierung sowie systemübergreifenden Einsatz zulässt.

Diese analysierten Bedingungen für den Einsatz eines Generic-Instrumentes legen deren notwendigen Unterstützungsfunktionen fest und sind Voraussetzung, die Zielvorgabe des

Strategiemoduls – Schaffung einer werthaltigen Wettbewerbsposition - auf der Grundlage des Zusammenwirkens der gesamten Managementebenen umsetzen zu können.

Um den Anspruch eines Generic-Instrumentes gerecht zu werden, müssen die Systemmodellvorteile Einfachheit, Verständlichkeit sowie Akzeptanz von allen Mitarbeitern auf das Instrument übertragbar sein. Nur so kann eine größtmögliche und angestrebte systemübergreifende Nutzung des Instrumentes erreicht werden.

In Abhängigkeit vom Nutzungserfolg eines Generic-Instrumentes sind Einflüsse auf die Partizipation von Mitarbeitern im Unternehmen, auf die Optimierung der Lenkung und Pflege von betrieblichen Dokumenten sowie auf die Effizienz eines Managementsystems zu erwarten.

Die Vorgehensweise zur Entwicklung eines Generic-Instrumentes ist priorisiert durch den Nachweis einer möglichen Neutralität bezogen auf den Einsatz in allen unternehmensabhängigen Subsystemen, dargestellt in Abb. 4-2. Dies erfordert eine systematische Überprüfung der Modifizierbarkeit eines Instrumentes bei maximalem Erfüllungsgrad von Anforderungen innerhalb der Subsysteme des WGMKs.

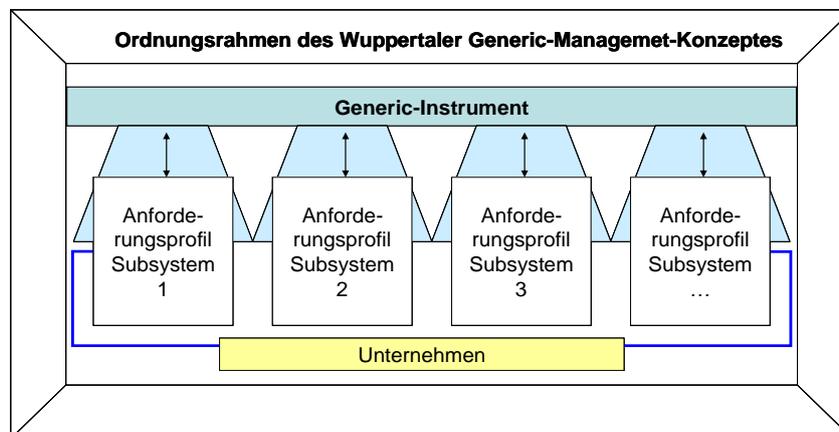


Abbildung 4-2: Modell einer Einsatzneutralität eines Generic-Instrumentes im WGMK

Mit der Konkretisierung des Anforderungsprofils für ein Generic-Instrument im Subsystem Arbeitsschutz werden erstmals Grundvoraussetzungen definiert, dem eine Überprüfung des Generic-Instrumentes in diesem Subsystem standhalten muss.

### **4.3 Konkretisierung des Anforderungsprofils an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich**

Aus den Vorgaben des WGMKs und den systematisierten Anforderungen arbeitsschutzrelevanter Gesetze und Verordnungen an Hersteller sowie Anwender von Produkten können konkretisierte Anforderungen an ein Generic - Instrument definiert werden. Unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Betrachtung des WGMKs als ein Managementsystem bestehend aus einer variierenden Anzahl von Subsystemen müssen die konsolidierten Anforderungen mindestens 2 Ebenen zugeordnet werden.

1. Ebene = Managementsystem/Module (horizontale Ebene)
2. Ebene = Subsysteme (vertikale Ebene)

Die Anforderungen an das Generic - Instrument ergeben in ihrer Gesamtheit eine Kombination aus den Zielfunktionen der einzelnen WGMK-Module (Erfassen, Analysieren, Beurteilen, Bewerten, Umsetzen, Überwachen, Anpassen) und der Modifizierbarkeit entsprechend der unternehmensabhängigen Subsysteme.

Die abgeleiteten Qualitätsanforderungen für ein im Arbeitsschutz einzusetzendes Generic - Instrument definieren die geforderte Methodenqualität, die unabhängig von der Management- oder Subsystemebene einen gleichen Anforderungslevel besitzt.

Das entwickelte Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument für den Arbeitsschutzbereich wird in Abbildung 4-3 systematisiert und stellt den Anspruch einer Entwicklungsstufe innerhalb des Gesamtkonzeptes zum WGMK dar.

**Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich**

**1. Ebene:  
Anforderungen  
aus dem WGMK**

- Flexibilität und Modifizierbarkeit am Bsp. der Anforderungen aus dem Arbeitsschutz
- Standardinstrument zur Erfüllung aller Anforderungen von Stakeholdern an ein Unternehmen
- Möglichkeit zur Abgrenzung bzw. Zuordnung von Sharepoints / Interfaces zu weiteren Subsystemen des WGMKS
- Manifestierung des Generic - Ansatzes der modifizierten Methode durch deren ergebnisbezogene Beeinflussung weiterer Unternehmensmodule

**Qualitätsanforderungen**

- Prozessstabilität im gewählten Bereich einschließlich Wiederholbarkeit der Ergebnisse durch Messbarkeit von Bewertungskriterien
- Möglichkeit der Implementierung bzw. Integrierung verschiedener Methoden, Instrumente und Denkmodelle aus dem Arbeitsschutz
- Maximale Optimierung des Erfüllungsgrades von Anforderungen zur Risiko- und Gefährdungsbeurteilung und deren Bewertung
- Anwendung ohne Abhängigkeit von Zeitdimensionen aufgrund der Art des Schadensereignisses Unfall oder arbeitsbedingte Erkrankung

**2. Ebene:  
Anforderungen  
aus dem Arbeitsschutz**

- Anpassungsfähigkeit an alle Gesetze und Verordnungen aus dem Arbeitsschutz einschließlich an deren Dynamik
- Konkretisierung und Vereinheitlichung von Rechtsbegriffen aus dem Arbeitsschutz
- Kompatibilität von Fehler- und Schadensdefinitionen
- Prozessrealisierung der Risiko- und Gefährdungsbeurteilung sowie deren Bewertung
- Schulungsmodul zum Einsatz in Arbeitsschutzseminaren

Abbildung 4-3: Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich

### 4.4 Entscheidungsfindung zur Methodenauswahl

Entsprechend der Zielsetzung der Arbeit muss eine Methode bzw. ein Verfahren definiert werden, welche/s im Arbeitsschutzbereich in der Erprobung den generalisierten Ansatz eines Generic - Instruments durchläuft.

Naheliegender schien hier die Modifizierung und Entwicklung von bekannten Verfahren aus dem Arbeitsschutz selbst. Im Hinblick auf die zu erfüllenden Anforderungen aus dem WGMK an ein Generic - Instrument bezüglich der Funktion eines Standardinstruments ist das Ausgangs- bzw. Basispotenzial sowohl bei dem Verfahren nach Nohl als auch bei dem Verfahren nach Gruber als gering einzustufen.

Beide Verfahren sind ausschließlich im Bereich des Arbeitsschutzes bekannt. Ein Einsatz in weiteren Subsystemen des WGMKs ist nicht nachgewiesen.

Ausgehend von weiteren definierten Anforderungen, z.B. einer Prozessrealisierung für die Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung sowie einer Prozessstabilität aufgrund der Wiederholbarkeit von Ergebnissen (siehe Abbildung 4-3: Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich) stoßen beide Verfahren bereits an ihre Grenzen.

Die in Kapitel 3 aufgeführten Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung aus dem Arbeitsschutzbereich beschränken sich nur auf analysierte Gefährdungsfaktoren bzw. Teilgefährdungen oder auf eine begrenzte Maßnahmengestaltung. Diese Problematik zeigten bereits Nohl und Thiel 1988 als Systemmängel auf [24]. Um den Gesamtprozess einer Gefährdungsbeurteilung realisieren zu können, ist daher die Kombination verschiedener Verfahren aus dem Arbeitsschutz notwendig. Diese in der Praxis relevante Tatsache rechtfertigt den Ausschluss eines der vorhandenen Verfahren als Standardmethode im Arbeitsschutz.

Bei der Methode Risikograph handelt es sich um eine Bewertungsmethode, insbesondere die Risikobewertung eines Ereigniseintrittes. Eine Systembewertung nach Durchführung der Maßnahmen findet nicht statt. Auch werden Vorgaben aus dem System selbst, bezogen auf die Schnittstellen Mensch-Arbeitsumgebung-Maschine, nur eingeschränkt berücksichtigt.

Bereits als Standardmethode erprobte und definierte Methode eines Subsystems des WGMKs fungiert die FMEA „Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse“. Der erreichte Level, Standardmethode eines Subsystems (Qualitätsbereich) sowie der erfolgreiche modifizierte Einsatz in weiteren Bereichen des WGMKs [75, 78, 79, 81, 82] sind entscheidende Ansatzpunkte für eine Erprobung der Funktionalität auch im Bereich des Arbeitsschutzes.

Die FMEA betrachtet ein System, zerlegt dieses in Systemstrukturen sowie -hierarchien und nimmt dann die Bewertung der Funktionen der einzelnen Systemelemente und deren Wechselwirkungen vor [83]. Diese systembezogene Methode scheint daher gut geeignet, schablonenhaft die ebenfalls aus Systemelementen und Hierarchien bestehende Struktur des Arbeitssystems im Arbeitsschutzbereich [51] aufzunehmen. Auch die gesetzlichen Anforderungen verschiedener Stakeholder an den Arbeitsschutzbereich richten sich in ihrer Gültigkeit und Anwendung an verschiedene Elemente und Hierarchieebenen des Arbeitssystems.

Diesen Qualitätssprung nutzend, ist die Modifizierung und der Einsatz der FMEA im Bereich des Arbeitsschutzes relevant, den Geltungsbereich der FMEA als Standardmethode auch im Arbeitsschutzbereich zu erweitern sowie die Verdichtung der Überprüfung der FMEA als Generic - Instrument im WGMK voranzutreiben.

# 5 Ausfalleffektanalyse

## 5.1 Historie der FMEA

Die Ausfalleffektanalyse wurde Mitte der 70iger Jahre von der NASA für das Apollo – Projekt entwickelt und findet heute vielfache Anwendung vor allem in der Automobilindustrie [84]. In den USA wird die Methode als „Failure mode and effectives analyses“ bezeichnet [85]. Die Übersetzung des englischen Begriffs lautet „Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse“, kurz FMEA. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich diese Kurzbezeichnung durchgesetzt, obwohl die DIN 25448 [85] mit „Ausfalleffektanalyse (Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse)“ [86] überschrieben war und die Nachfolgenorm DIN EN 60812 mit „Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)“ überschrieben ist [44].

Ursprünglich war die Ausfalleffektanalyse ein Verfahren zur Untersuchung der Ausfallarten aller Baueinheiten eines Systems und deren Auswirkungen (Effekte) auf das System [85]. In den letzten zwanzig Jahren hat sich das Verfahren weiter entwickelt und wird heute zur kontinuierlichen Verbesserung von Produkt- und Prozessstrategien eingesetzt [86]. Heute ist das Ziel der FMEA „die Absicherung der konstruktiven und fertigungstechnischen Produktqualität, die Sicherstellung der geforderten Funktionen, das Einhalten von Qualitätszielen“ ([81], Seite 89).

Somit bietet sich als Anwendungsgebiet für die FMEA grundsätzlich jede Neuentwicklung oder Änderung eines Produktes, der Einsatz neuer Anlagen, Maschinen, Werkzeuge und Stoffe, bei Umwelt- und Arbeitsrisiken sowie bei wesentlichen Organisationsänderungen an [87]. Darüber hinaus kann die FMEA zur Risikominimierung bei Sicherheits- und Problemteilen eingesetzt werden [88].

### 5.2 Arten und Weiterentwicklungen der FMEA

Je nach Aufgabenstellung und Zielformulierung, für die eine FMEA durchgeführt werden soll, wird zwischen *der System-, der Konstruktions- und der Prozess - FMEA* unterschieden [89].

Die System - FMEA untersucht auf der Grundlage des Systempflichtenheftes das funktionsgerechte Zusammenwirken der Systemkomponenten und ihrer Verbindungen zur Vermeidung von Fehlern bei Systemauswahl und Systemauslegung sowie den Feldrisiken.

Die Konstruktions - FMEA untersucht die pflichtenheftgerechte Gestaltung und Auslegung der Erzeugnisse bzw. Komponenten zur Vermeidung von Entwicklungsfehlern und konstruktiv beeinflussbaren Prozessfehlern.

Die Prozess - FMEA untersucht die zeichnungsgerechte Prozessplanung und Prozessausführung der Erzeugnisse bzw. Komponenten zur Vermeidung von Planungs- und Fertigungsfehlern. Dabei soll sichergestellt werden, dass die Qualität des Endproduktes den Erwartungen des Kunden entspricht.

Ziel der FMEA ist es, durch frühzeitige Fehlervermeidung sowohl die Fehlerkosten als auch die Fehlerrisiken zu verringern.

Dazu werden unabhängig von der FMEA - Art:

- alle möglichen Fehler systematisch aufgelistet
- auf ihre Folgen für den Kunden beurteilt
- die möglichen Fehlerursachen bestimmt
- die vorgesehene Produktspezifikation bzw. Prozessüberwachung in Hinsicht auf Erkennung und Vermeidung dieser Fehler bewertet
- die Wahrscheinlichkeit des Auftretens
- die Auswirkung auf den Kunden
- die Möglichkeit des Entdeckens des Fehlers beurteilt
- hieraus eine Prioritätszahl gebildet
- entsprechende konstruktive bzw. fertigungs- und/oder prüfungstechnische Maßnahmen festgelegt
- die Verantwortung für deren Durchführung bestimmt
- die Fehlererkennung und Fehlervermeidung entsprechend den festgelegten Maßnahmen erneut bewertet.

„Die FMEA - Methode wurde vom VDA weiterentwickelt“ ([84], Seite 8). Hintergrund waren verschiedene Nachteile der bis dahin benutzten FMEA - Arten.

„Bei der Konstruktions - FMEA wurde die Fehlerbetrachtung auf der Bauteilebene durchgeführt“ ([84], Seite 4). Bei der Fehlerbetrachtung auf einer Bauteilebene werden die Wechselwirkungen mit anderen Bauteilen nicht berücksichtigt.

Ähnlich negative Erfahrungen wurden bei der Prozess - FMEA gemacht. Einzelne Prozessschritte wurden untersucht, nicht jedoch ihre Wechselwirkungen.

Folgende Neuentwicklung wurde eingeführt:

- System - FMEA Produkt

Die System - FMEA Produkt betrachtet die möglichen Funktionsfehler des gesamten Bauteils, nicht seiner einzelnen Bauteilelemente. Dabei wird das Bauteil in seine Bauteilgruppen herunter gebrochen und „die Betrachtung wird nur dann bis zu den Versagensarten der Bauteile durchgeführt, wenn dies erforderlich ist“ ([84], Seite 11).

- System - FMEA Prozess

Die System - FMEA Prozess strukturiert den Herstellungsprozess mit Hilfe der einzelnen Systemelemente. Die Prozessschritte werden als Aufgaben/Funktionen dieser Systemelemente verstanden.

- Transport (Logistik) - FMEA

Die Transport - oder Logistik - FMEA ist von der Methode eine Prozess - FMEA. In der Logistik - FMEA wird der logische Ablauf des Erzeugnisses vom Wareneingang bis zur Anlieferung beim Kunden betrachtet [90].

- HACCP-Konzept - FMEA

Für Unternehmen der Agrar- und Ernährungswirtschaft ist die Fehlervermeidung insbesondere bei gesundheitsrelevanten Risiken überlebenswichtig. Eigenkontrollen und Risikoanalysen sind nach gewissen Grundsätzen, die sich an den internationalen Empfehlungen des „Codex Alimentarius“ zum HACCP-Konzept („**H**azard **A**nalysis and **C**ritical **C**ontrol **P**oint“) orientieren, durchzuführen. Die Möglichkeiten der Anwendung der FMEA im überbetrieblichen und unternehmensübergreifenden Hygienemanagement wird am Institut für Tierwissenschaften der Universität Bonn, Abteilung Präventives Gesundheitsmanagement, Frau Prof. B. Petersen erforscht [139, 140].

- FMEDA

Mit der FMEDA (**F**ailure **M**odes, **E**ffects and **D**iagnostic **C**overage **A**nalysis) wird der Anteil ungefährlicher Ausfälle (SFF = Safe Failure Fraction) und der Diagnosedeckungsgrad (DC = Diagnostic Coverage) eines Systems entsprechend den Anforderungen aus der DIN EN 61508 [126] bestimmt. Dazu ist folgender Ablauf vorgesehen:

- Identifikation aller für die Sicherheitsfunktion relevanten Bauteile und Ermittlung der zugehörigen Fehlerraten,
- Identifikation der potentiellen Fehlerarten und Aufteilung der Bauteilfehlerrate,
- Bestimmung der Auswirkung der einzelnen Fehlerarten auf die Sicherheitsfunktion und Einstufung in „sicherer Ausfall“ oder „gefährbringender Ausfall“. Die Einstufung „sicher“ oder „gefährbringend“ erfolgt dabei ohne Berücksichtigung von Fehlerreaktionen.
- Bestimmung der Diagnosedeckung für Fehlerarten, welche zu potentiell gefährbringenden Ausfällen führen. Hierbei wird untersucht, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Fehler erkannt und in den sicheren Zustand überführt wird, bevor er zu einer Gefahr führt.
- Berechnung von SFF und DC für das System aus den ermittelten Daten.

Der Anteil ungefährlicher Ausfälle und der Diagnosedeckungsgrad dienen als Nachweis der Hardware-Sicherheitsanforderungen im Rahmen einer Sicherheitsanalyse nach DIN EN 61508 [126].

Die Methode der FMEDA ist in ihrer Anwendung allerdings begrenzt, da redundante Systemfunktionen, die einen unsicheren Zustand verhindern, nicht berücksichtigt werden können [149].

- DRBFM

Die Methode **D**esign **R**evue **B**ased on **F**ailure **M**odes ist eine entwicklungsbegleitende Kreativitätsmethode, die in der Literatur auch als Toyota-Methode beschrieben wird [146, 147]. Die Methode ist Bestandteil einer umfassenden Qualitätsphilosophie und wurde aus der FMEA hergeleitet. Die Philosophie hinter der Methode heißt „GD<sup>3</sup>“. GD<sup>3</sup> steht für „Good Design“, Good Discussion“ und „Good Dissection“. Informationen aus der FMEA fließen in die DRBFM-Untersuchung ein, Erkenntnisse daraus können die FMEA wieder ergänzen. Die DRBFM zielt darauf, den Design-Ingenieur sicher, systematisch und kreativ durch die Phasen eines Änderungsprozesses zu führen, den Design-Ingenieur aktiv in den Qualitätsprozess einzubinden und damit die Trennung von Qualitätsprozess und Entwicklungsprozess aufzuheben [146, 147].

- Fuzzy-FMEA

Bei Zuverlässigkeitsuntersuchungen mechatronischer Systeme, insbesondere im Fahrzeugbau, hat sich die FMEA als bekannteste und meist verbreiteste Methode der qualitativen Zuverlässigkeitsanalyse durchgesetzt. Sie deckt dabei viele Teilbereiche, Inhalte und Ergebnisse anderer Methoden der Qualitätssicherung ab [150, 151, 152]. Der Wunsch die FMEA für Prognosen nutzbar zu machen wird damit begründet, dass Tests erst in späteren Entwicklungsphasen durchgeführt werden können [150] und die Übertragbarkeit von Prototypen zu Serienprodukten nur begrenzt möglich ist. Darüber hinaus gilt, dass die Aussage der qualitativen Methode stark von den zu untersuchenden Komponenten und Felddaten abhängt.

Die zur Verfügung stehenden Daten sind oft mit linguistischen Variablen belegt. Um die linguistischen Daten für die FMEA nutzbar zu machen, wird versucht, die FMEA mit der Fuzzy-Logik zu verbinden [153]. Ausgangspunkt bei der Fuzzy-Logik ist, dass es nicht immer sinnvoll ist, dass logische Aussagen nur die Werte wahr oder falsch annehmen können. Die Unterteilung in beliebig viele Zwischenschritte zwischen wahr und falsch kommt dem menschlichen Denken näher als die binäre Logik. Sprachliche Beschreibungen werden durch mathematische Formeln ausgedrückt und mit den Methoden der Statistik bearbeitet. Da die statistische Analyse scharfer Daten schon nicht einfach ist, ist die Aussage bei unscharfen Daten ziemlich kompliziert [154]. Im Bereich des Arbeitsschutzes ist diese Methode nicht bekannt. Die Fuzzy-FMEA hat sich im Qualitätswesen nicht durchgesetzt, sodass die Anforderung an ein Generic-Instrument nicht erfüllt ist und somit nicht weiter entwickelt wird.

Um den modernen Erfordernissen und Vereinheitlichungen der Qualitätsdefinitionen gerecht zu werden, wurden 2006 vom VDA ([75], Seite 29) lediglich zwei Begriffe favorisiert, nämlich die

- *Produkt – FMEA* und
- *Prozess – FMEA*

Produkt ist daher ein übergeordneter Begriff und ist vergleichbar mit dem früheren System – FMEA. „Unter Produkt kann verstanden werden: Ein Produkt mit seinen verschiedenen Bauteilen (Waschmaschine, Fön, Fenster...), Dienstleistungen, Versicherungspaket, Fuhrparkbetreuung, Pizzaservice“ ([75], Seite 30).

### 5.3 Ablauf der FMEA

Die Durchführung von Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen erfolgt durch FMEA - Teams. Diese FMEA - Teams setzen sich aus Mitgliedern unterschiedlicher Abteilungen zusammen. Durch diese interdisziplinäre Zusammensetzung können alle anforderungsrelevanten Aspekte wie

- Klärung fachspezifischer Fragen
- Unterstützung des Teams durch Beschaffung von Informationen
- Einbringung von Erfahrung und Wünschen bei der Auswahl von Maßnahmen
- Unterstützung von Maßnahmen in den entsprechenden Fachabteilungen berücksichtigt werden.

Ein Mitarbeiter, der die Techniken der Moderation und Präsentation beherrscht, sollte die Teamarbeit unterstützen. Dieser Moderator sollte insbesondere dann hinzugezogen werden, wenn Team unerfahrene Mitglieder die FMEA durchführen.

Die wichtigsten Aufgaben des Moderators sind:

- Vorbereitung und Organisation der FMEA
- Betreuung der Teamarbeit
- Beschaffung von Daten und Unterlagen mit Hilfe der Teammitglieder
- Terminplanung und Ergebnisplanung inklusive Fortschrittsverfolgung
- problemabhängiges Hinzuziehen der Wissens- und Erfahrungsträger
- Unterstützung der Aktivitäten und Terminverfolgung für die Umsetzung der Maßnahmen
- Aktualisierung der FMEA Aufzeichnung
- Sicherstellung der FMEA Dokumentation.

Die Durchführung der FMEA orientiert sich zum einen an dem vom Verband der Automobilindustrie empfohlenen Formblatt (Anhang I) und zum anderen an einem fest strukturierten Denk- und Arbeitsschema.

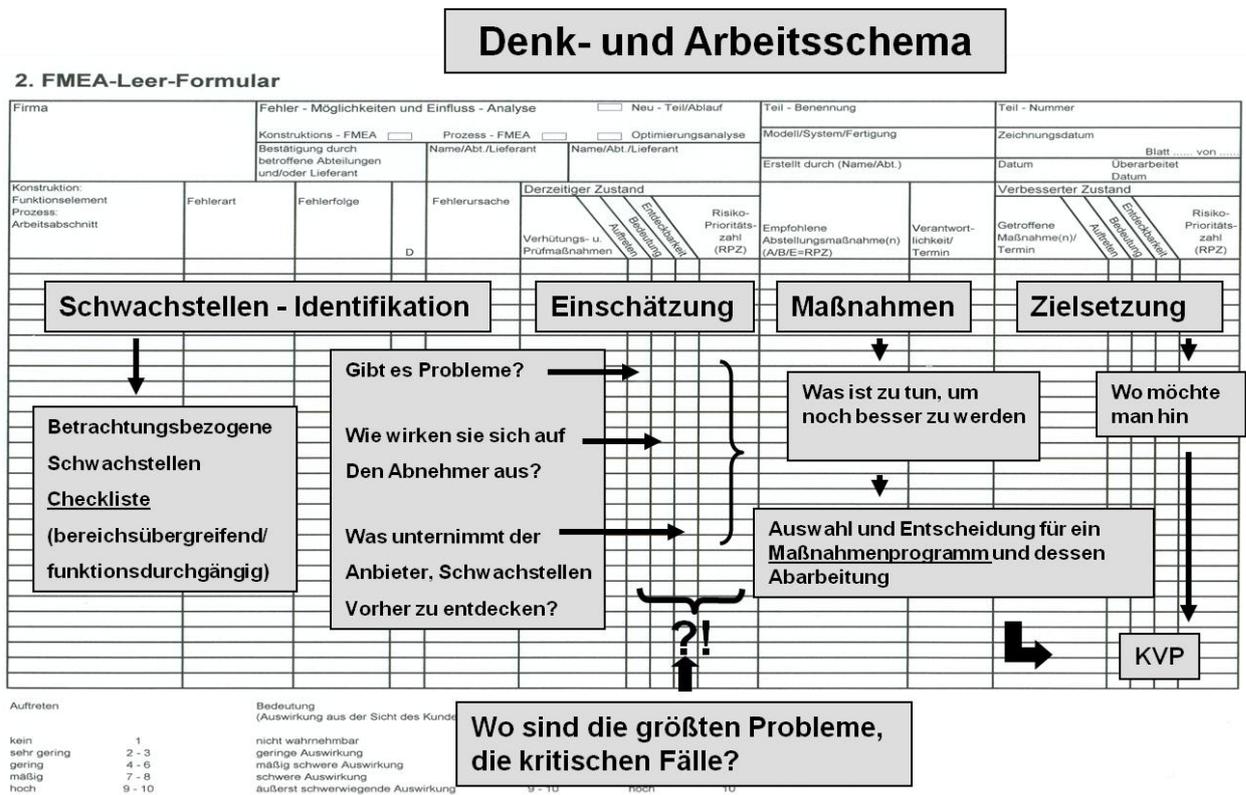


Abbildung 5-1: Denk- und Arbeitsschema [91]

### 5.4 Formblatt der FMEA

Das FMEA Formblatt unterscheidet zwischen den Kopfdaten und der Struktur. Die Struktur gliedert sich in mehrere Abschnitte und wird durch Spalten charakterisiert.

- **Spalten 1 – 4:** Betrachtungseinheit mit Fehlerbeschreibung
- **Spalten 5 – 9:** Risikobewertung des Zustandes zum Zeitpunkt der FMEA Erstellung mit Verhütungs- und Prüfmaßnahmen
- **Spalten 10 - 11:** Empfehlung für Verbesserung mit Veränderung des Risikos und Nennung der Adressaten
- **Spalten 12 – 16:** Neubewertung des Risikos im verbesserten Zustand, auch zum Vergleich und zur Ergebnisprüfung.

Das hier beschriebene Formblatt wird im Anhang I gezeigt und ist die Grundlage des modifizierten Formblattes, welches in der Evaluationsphase eingesetzt wurde.

In der 1. Spalte des FMEA - Formulars werden zu Beginn der Risikoanalyse die zu analysierenden Bauteile, Arbeitsmittel, Werkzeuge oder Anlagen bzw. die einzelnen Arbeitsschritte

oder Prozesse eingetragen und jeder denkbare Fehler für das Teil, die Teilfunktion bzw. für den Prozess wird in der 2. Spalte aufgelistet.

Dabei ist davon auszugehen, dass der Fehler auftreten kann, aber nicht unbedingt auftreten wird. Es ist die Frage zu beantworten: „Wie würde sich der Fehler äußern, wenn die beschriebene Funktion/Anforderung nicht oder nur teilweise erfüllt wird?“ In Spalte 3 werden dann alle möglichen Fehlerfolgen festgehalten, wobei unterstellt wird, dass der Fehler aufgetreten ist. Die Folgen des Fehlers sind dabei so beschrieben, wie der Kunde sie bemerken oder empfinden wird.

Danach ist jede bekannte und gedachte Fehlerursache aufzuführen, die dem aufgezeigten Fehler zugeordnet werden kann (Spalte 4). Nachdem die einzelnen Fehlerarten, Fehlerursachen und Fehlerfolgen aufgelistet sind, erfolgt die Risikobewertung. Ein Bindeglied zwischen der Risikoanalyse und der Risikobewertung ist die Formblattspalte 5. In ihr werden alle derzeit vorhandenen oder möglichen Fehlerverhütungsmaßnahmen und/oder Prüfmaßnahmen aufgeführt. Dabei umfassen die Fehlerverhütungsmaßnahmen alle eingeplanten und bereits durchgeführten Maßnahmen, die das Auftreten einer Fehlerursache zum Produkt minimieren. Prüfmaßnahmen dienen dazu, aufgetretene Fehler und Fehlerursachen zu entdecken.

Für Neuentwicklungen bzw. bei neuen Prozessschritten werden die geplanten Maßnahmen herangezogen. In Spalte 6 bis 8 werden die Maßzahlen für die Risikobewertung eingetragen. Dabei wird das Risiko eines Fehlers für jede Fehlerursache mit Hilfe der folgenden Kriterien beurteilt:

- Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache bzw. des Fehlers (Spalte 6)
- Bedeutung des Fehlers für den Kunden (Spalte 7)
- Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache bzw. des Fehlers vor Auslieferung an den Kunden (Spalte 8).

Jede Fehlerursache eines potentiellen Fehlers wird hinsichtlich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit betrachtet. Die Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit signalisiert, inwieweit „robustes Design (Konstruktion) bzw. beherrschte Prozessschritte“ vorliegen und erfolgt anhand einer von 1 bis 10 reichenden Skala. Die Bedeutung einer Fehlerursache bzw. eines Fehlers orientiert sich an den Fehlerfolgen, wobei zu bewerten ist, welche Bedeutung der Endnutzer dieser Beeinträchtigung vermutlich zumessen wird bzw. welcher Schaden durch sie entstehen kann.

Die Bewertung erfolgt dabei zwischen den folgenden Eckpunkten:

- 1** = der Fehler wird keine wahrnehmbare Auswirkung auf das Verhalten des Produktes oder der Weiterverarbeitung der Teile/Materialien haben. Der Kunde wird den Fehler wahrscheinlich nicht bemerken.
  
- 10** = äußerst schwerwiegender Fehler, der möglicherweise die Sicherheit und/oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften beeinträchtigt.

Diese Bewertung der Auftretenswahrscheinlichkeit und Bedeutung ist mit dem Verfahren von Nohl und Thiemecke vergleichbar. Der Risikofaktor Entdeckungswahrscheinlichkeit gibt an, inwieweit die Fehlerursache (Fehlerart) vor Weitergabe an die nächsten Arbeitsschritte bzw. den externen Kunden entdeckt wird. Die Möglichkeit, einen Fehler zu entdecken, wird wie die Auftretenswahrscheinlichkeit, anhand einer Skala von 1 (Fehlerursache, die beim Betrachten oder dem nächsten Arbeitsschritt zwangsläufig entdeckt wird) bis 10 (die Fehlerursache wird nicht geprüft oder kann nicht geprüft oder kann nicht erkannt werden) geschätzt.

Die Entdeckbarkeit des Fehlers kann dabei durch Änderungen der Konstruktion des Prozesses und der Prüfung verbessert werden. Durch die Multiplikation der Werte von Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit wird quantifiziert, wie viele wahrscheinlich aufgetretene Fehler nicht entdeckt werden und zum Kunden gelangen. Das Gesamtrisiko eines potentiellen Fehlers wird abschließend durch die Risikoprioritätszahl (Spalte 9) ausgedrückt.

Die Risikoprioritätszahl wird durch Multiplikation der drei Faktoren Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit ermittelt. Sie dient als Orientierungsstufe und zur Schwerpunktbildung (Rangfolge) der Fehlerrisiken. Die Einleitung von Verbesserungsmaßnahmen ist dabei vorrangig für solche Fehlerursachen notwendig, die eine hohe Risikoprioritätszahl (> 125) erhalten haben [78].

Die oben beschriebene 3-Faktoren-Bewertung ist für die FMEA - Praxis üblich und kann mit dem Risikograph verglichen werden. Der eigentliche Kernpunkt jeder FMEA ist es, anhand der vorausgegangenen Analyse und Risikoprioritätszahlen geeignete Abstellmaßnahmen zu entwickeln und einzuleiten (Spalte 10). Das Auffinden von Verbesserungsmaßnahmen kann dabei unter Anwendung verschiedener Kreativitätstechniken wie z.B. Brainstorming [92, 93] oder der Delphimethode erfolgen. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass die Delphimethode [94] in der DIN EN 1050 [27] als besonders effektives Verfahren bezeichnet wird, weil ausschließlich Fachleute beteiligt werden.

Ausgehend von den Ergebnissen der Risikobewertung können Abstellmaßnahmen eingesetzt werden, um die Fehlerursache auszuschalten und das Auftreten zu reduzieren, die Entdeckbarkeit von Fehlern zu erhöhen oder die Bedeutung des Fehlers zu reduzieren. Grundsätzlich sind fehlervermeidende Maßnahmen den fehlerentdeckenden Maßnahmen vorzuziehen. Sämtliche Abstell- und Verbesserungsmaßnahmen müssen mit den betroffenen Abteilungen abgestimmt werden. Die für die Durchführung verantwortliche Stelle und möglichst der zuständige Bearbeiter werden in Spalte 11 eingetragen, ebenso eine Terminvorgabe, wann die Abstellmaßnahme realisiert sein sollte. Der Zustand nach der Einführung entsprechender Abstellmaßnahmen wird ebenso bewertet (Auftreten, Bedeutung, Entdeckung) wie bereits oben für den derzeitigen Zustand geschildert. Diese neue Bewertung wird in den Spalten 12 – 15 dokumentiert. Die neu ermittelte Risikoprioritätszahl (Spalte 16) gestattet es, den verbesserten Zustand zu beurteilen und zu entscheiden, ob ein weiterer Verbesserungsschritt angebracht ist.

Fazit:

- Die Grundstruktur, der aus dem Subsystem Qualität bekannten Methode der FMEA, beinhaltet sowohl den Systemansatz, bezeichnet als Produkt - FMEA mit gleichzeitiger Festlegung von Grenzen, als auch den Systemablauf Ermitteln, Bewerten und Festlegen von Maßnahmen als Voraussetzung für die Umsetzung der Anforderungen im Subsystem Arbeitsschutz.
- Die Methode der FMEA berücksichtigt den produkt- und prozessbezogenen Fehlerbegriff.
- Die Bewertungsziffern sind analog zu den beschriebenen Methoden im Subsystem Arbeitsschutz nicht eindeutig definiert.

Um die FMEA als Methode im WGMK anwenden zu können, müssen unterschiedliche Modifizierungen vorgenommen werden.

## 6 Entwicklung Generic – FMEA

„Das Wuppertaler Generic-Management-Konzept stellt sich als Organisations- und Führungssystem dar, welches von einem ganzheitlichen Gestaltungsansatz der Prozessorientierung in allen Geschäftsentscheidungen ausgeht“ ([95], Seite 1). „Der Anspruch des WGMKs, sämtlichen unternehmensrelevanten Aspekte, wie z.B. Strategie, Chancen / Risiken, Finanzen, Personal, Qualität, Sicherheit und Umwelt in ein prozessorientiertes Unternehmensmodell zu integrieren, spiegelt den Leitgedanken zur Entwicklung einer Generic - FMEA wider“ [96].

Die qualitätsorientierte sowie produkt- und prozessbezogene FMEA zielt auf eine rechtzeitige Erkennung von Fehlern und deren Ursachen, um daraus zielgerichtete Maßnahmen zur Fehlervermeidung abzuleiten. Demgegenüber definiert sich der Qualitätssprung zur Entwicklung einer Generic - FMEA in der Identifizierung von Fehlern und Risiken analog der Struktur des WGMKs für alle unternehmensrelevanten Aspekte sowie in einem prozessorientierten Ansatz zur Umsetzung. Dabei wird der Begriff Fehler dem Begriff Schaden in der Bedeutung gleichgesetzt.

Unter Schaden ist dabei jede Störung innerhalb und außerhalb des Unternehmens zu verstehen, wobei im Subsystem Arbeitsschutz jeder mögliche oder entstandene Gesundheitsschaden zur Störung im Unternehmen subsumiert wird.

Durch die Anwendung der Generic - FMEA wird das Bewerten von Störungen / Fehlern / Schäden sowie das Ableiten von Korrekturmaßnahmen unter ganzheitlicher Betrachtung der Prozesse im Unternehmen angestrebt, was im Gesamtkonzept des WGMKs dem Interessenausgleich aller Stakeholder unterstützend bzw. fördernd wirken kann.

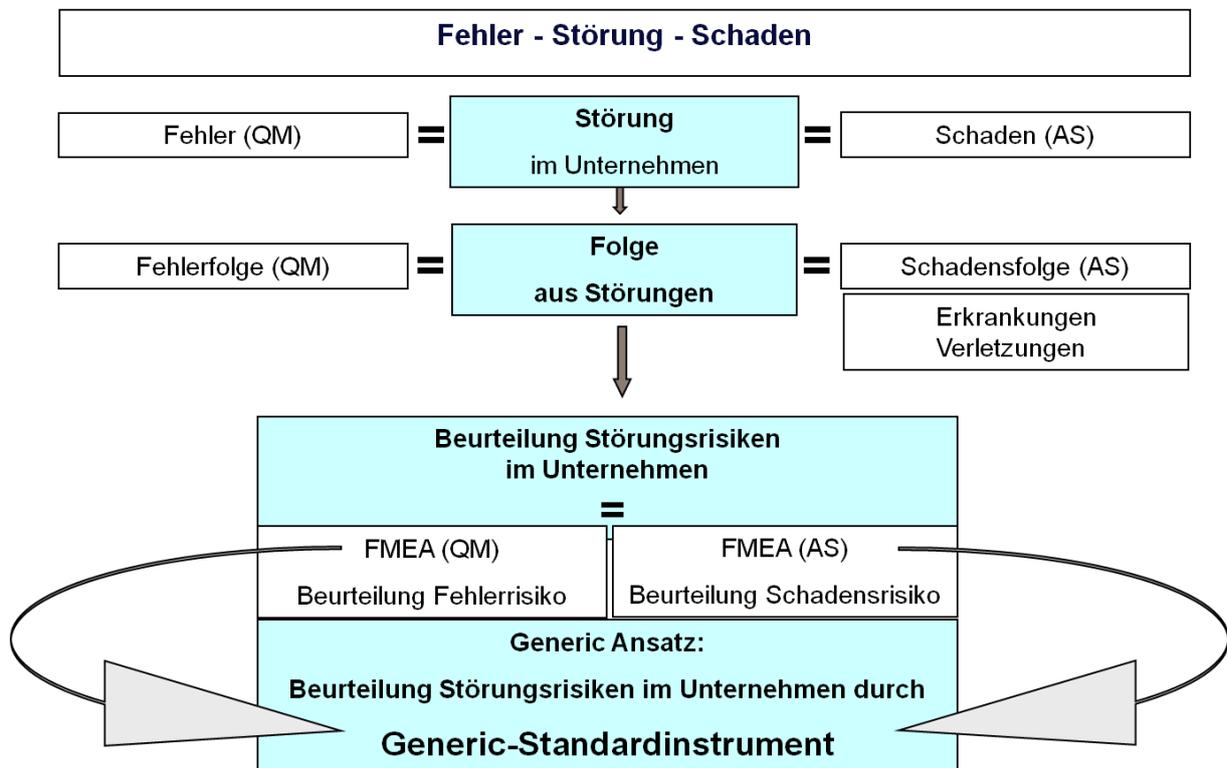


Abbildung 6-1: Darstellung von Zusammenhängen zwischen Fehler - Störung - Schaden

Die Generic - FMEA als Instrument zur Umsetzung unterschiedlichster Anforderungen von Stakeholdern und auch deren Verknüpfungen an das Wuppertaler Generic-Management-Konzept muss modifizierbar sein.

Die Struktur der Generic - FMEA einschließlich modifizierbarer Bewertungstabellen lässt eine Minimierung subjektiver Bewertungen von Störungen / Fehlern / Schäden sowie eines möglichen Deltas zwischen intern und extern vorgenommenen Bewertungen zu, wenn sich die Generic - FMEA als Standardinstrument zum Identifizieren, Beurteilen, Bewerten von Störungen / Fehlern / Schäden sowie zum Ableiten von Korrekturmaßnahmen ganzheitlich im WGMK, auf einer höheren Ebene auch bei allen internen und externen Stakeholdern manifestiert.

Bei der Risikobeurteilung / Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz, Betriebssicherheitsverordnung und Maschinenrichtlinie ist von zentraler Bedeutung, dass Gefährdungen ermittelt, diese Gefährdungen beurteilt und Maßnahmen zur Vermeidung von Unfällen und Gesundheitsschäden festgelegt werden. Mit der modifizierten FMEA muss folglich umsetzbar sein, die Risikoermittlung und Risikobewertung eindeutig zu beschreiben, damit

Maßnahmen festgelegt werden, die einerseits dem Sicherheitsaspekt genüge tun und andererseits die wirtschaftlichen Interessen des Unternehmens nicht aus dem Auge verlieren.

Der generalisierte Ansatz des Modells zur Unfallentstehung und zum Krankwerdungsprozess mit seinen Begriffen Gefahrenquelle mit ihren Eigenschaften der Gefährdungsfaktoren und den gefahrbringenden Bedingungen ist zu berücksichtigen.

Die notwendigen Entwicklungsschritte zur Generic - FMEA im Arbeitsschutzbereich leiten sich vom Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich ab und werden in Tabelle 6-1 anforderungsbezogen systematisiert.

Tabelle 6-1: Ableitung notwendiger Entwicklungsschritte zur Generic - FMEA im Arbeitsschutzbereich

1. Ebene Anforderungen aus WGMK	2. Ebene Anforderungen aus Arbeitsschutz	Entwicklungsschritte zur Generic - FMEA
Flexibilität und Modifizierbarkeit am Beispiel der Anforderungen aus dem Arbeitsschutz	Anpassungsfähigkeit an alle Gesetze und Verordnungen aus dem Arbeitsschutz als auch an deren Dynamik	Das Formblatt wird entsprechend dem generalisierten Ansatz angepasst und muss die gesetzlichen Anforderungen zur Dokumentation der Risikobeurteilung / Gefährdungsbeurteilung erfüllen.
		Die Anforderungen der Maschinenrichtlinie werden mit dem neuen Formblatt verglichen.
		Die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung bzgl. des Explosionsschutzes werden mit dem modifizierten Formblatt verglichen.
Standardinstrument zur Erfüllung aller Anforderungen von Stakeholdern an Unternehmen	Prozessrealisierung der Risiko- bzw. Gefährdungsbeurteilung und deren Bewertung	Überprüfung an Praxisbeispielen zu Arbeitsschutzgesetz, Maschinenrichtlinie und Explosionsschutz.
<b>Qualitätsanforderung:</b>  Prozessstabilität im gewählten Bereich einschließlich Wiederholbarkeit der Ergebnisse durch Messbarkeit von Bewertungskriterien		Die Qualität der Risikobewertung wird überarbeitet und an Praxisbeispielen validiert

## 6.1 Modifiziertes FMEA - Formblatt

### 6.1.1 Anforderungen an die Formblattgestaltung

„Das FMEA - Arbeitsblatt enthält die Einzelheiten der Untersuchung in tabellarischer Art. Wenngleich die allgemeine FMEA - Vorgehensweise eine Richtschnur ist, kann der Entwurf eines bestimmten Arbeitsblattes angepasst werden, um den Anwendungs- und Projektforderungen zu entsprechen“ [44]. Beispiele angepasster Arbeitsblätter finden sich in der Literatur [78, 79, 81, 98, 99].

#### 6.1.1.1 Geforderte Dokumentationen

Zunächst sind die Forderungen an die Dokumentation bezüglich dem Inhalt der Risikobeurteilung nach MaschRL, der Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz und seiner konkretisierenden Verordnungen - hier insbesondere die Anforderungen an ein Explosionsschutzdokument gemäß der Betriebssicherheitsverordnung - sowie dem generalisierten Ansatz zum Entstehen von Unfällen und Krankheiten, zu ermitteln.

Gemäß dem Arbeitsschutzgesetz sind Angaben zum Arbeitssystem, seiner Subsysteme und deren Elemente notwendig. Dies beinhaltet die Beschreibung der Arbeitsstätte und des Arbeitsplatzes, die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, die Gestaltung von Arbeitsverfahren bzw. Fertigungsverfahren. Arbeitsabläufe, Arbeitszeit und deren Zusammenwirken sowie die unzureichende Qualifizierung und fehlende Unterweisungen der Beschäftigten sind dabei genauso zu berücksichtigen wie Prüfungsanforderungen und Beauftragungen. Formale Vorgaben zur Dokumentation existieren nicht.

Der §6 Absatz 2 BetrSichV fordert: „Aus dem Explosionsschutzdokument muss insbesondere hervorgehen,

1. dass die Explosionsgefährdung ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden ist,
2. dass angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen,
3. welche Bereiche entsprechend Anhang 3 in Zonen eingeteilt wurden, und
4. für welche Bereiche die Mindestvorschriften gemäß Anhang 4 gelten“ [12].

Die Gewerbeaufsichtsämter Rheinland - Pfalz und Sachsen haben ein Musterexplosionsschutzdokument entwickelt [100]. Der dort beschriebene Aufbau ist allgemein anerkannt und dient ebenfalls als Grundlage für die Anforderung an eine Dokumentation. Weitere Beispiele

befinden sich in der BGR 104 [49], in der BGI 740 [101] oder weiteren Veröffentlichungen [141, 142, 143].

Die festgelegten Maßnahmen und ihre Wirksamkeit müssen aus der Dokumentation ersichtlich sein.

Da letztendlich das Formblatt so modifiziert werden soll, damit die o.g. Anforderungen sich im Formblatt widerspiegeln, sind diese in der Tabelle im Anhang II geclustert und dem Kopfteil bzw. der Struktur zugeordnet. Zusätzlich zu den Anforderungen bezüglich der Risikobewertung/Gefährdungsbewertung sind Informationen wie Kenndaten von Stoffen und Maschinen genannt, die als Empfehlung ebenfalls im Bezug zum FMEA - Formblatt stehen sollten.

### 6.1.1.2 Zuordnung der Anforderungen an das Formblatt

Die im Anhang II vorgestellten Anforderungen wurden mit dem FMEA - Formblatt verglichen. Gelingt es, die Anforderungen in das Formblatt zu integrieren, ist eine in den Unternehmen bekannte Dokumentationsstruktur anwendbar. Dies reduziert den Aufwand erheblich. Dabei sollte jedoch nicht der Fehler begangen werden, das Formblatt so mit Informationen zu überfrachten, dass die Überschaubarkeit und Anwenderfreundlichkeit nicht gewährleistet sind. Auch ist zu unterscheiden, ob die Eintragung von Hand, in einer Exceltabelle oder mit einer FMEA - Software erfolgen soll. Die Erfassung von Hand benötigt mehr Platz zum Schreiben, die Benutzung einer FMEA - Software muss gegebenenfalls angepasst werden, dazu sind oftmals Administratorenrechte und ein hoher Vorbereitungsanfang notwendig [98].

Bereits vorliegende Unterlagen wie Sicherheitsdatenblätter, Schaltpläne sollten mit einem Verweis auf mitgeltende Unterlagen im Anhang der FMEA - Dokumentation aufgeführt sein.

### 6.1.2 Modifizierte Kopfdaten des Formblattes

Bevor die Kopfdaten geändert werden, stellt sich die Frage, was überhaupt mit diesen Kopfdaten erreicht werden soll. Welchen Einfluss haben die Kopfdaten letztendlich auch auf das Ergebnis einer Analyse.

Die DIN EN 60812 [44] gibt vor:

„Der Kopfteil des Formblattes enthält die folgenden Informationen:

- das System als Ziel-Einheit bezeichnet die Einheit, für die die Endauswirkungen ermittelt werden sollen. Diese Bezeichnung sollte im Einklang stehen mit der in Blockdiagrammen, Schaltbildern und anderen Darstellungen verwendeten Terminologie;
- die für die Analyse unterstellte Betriebsart;
- Einheit bezieht sich auf die Einheit (Modul, Baugruppe oder Bauteil), die in diesem Arbeitsblatt untersucht wird;
- Überarbeitungsebene, Datum und Name des Bearbeiters, der den FMEA - Aufwand abstimmt, sowie die Namen der Kernteammitarbeiter bilden weitere Informationen für die Dokumentenlenkung“.

Zunächst ist auffallend, dass die Begriffe System, Subsystem oder Elemente nicht benutzt werden, sondern der Begriff „Ziel-Einheit“. Dies steht im Widerspruch, da bei den Definitionen in dieser Norm der Begriff „System“, nicht jedoch „Ziel-Einheit“ benutzt wird.

Ziel einer Modifizierung muss es daher sein, die Dokumentation von Informationen zum System und seinem Zustand, Angaben zum Ersteller / Verantwortlichen sowie zur Dokumentenlenkung systematisch zu führen.

In der Abbildung 6-2 sind in dem ursprünglichen Kopfteil des FMEA - Formblattes Markierungsfelder eingefügt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden diese Markierungsfelder entsprechend den zugeordneten Kopfteilen beschrieben. Vorgenommene Änderungen fließen in die Beschreibung mit ein.

Firma		Fehler- Möglichkeiten und Einfluss - Analyse <input type="checkbox"/> Neu- Teil/Ablauf			Teil - Benennung		Teil - Nummer									
		Konstruktions - FMEA <input type="checkbox"/>		Prozess - FMEA <input type="checkbox"/>	Optimierungsanalyse <input type="checkbox"/>	Modell/System/Fertigung	Zeichnungsdatum									
Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abt./Lieferant		Name/Abt./Lieferant		Erstellt durch (Name/Abt.)		Datum								
								Überarbeitet Datum								
Konstruktion: Funktionselement Prozess: Arbeitsabschnitt		Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Derzeitiger Zustand			Verbesserter Zustand								
					Verhütungs- u. Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckbarkeit	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)	Empfohlene Abstellungsmaßnahme(n) (A/B/E=RPZ)	Verantwortlichkeit/Termin	Getroffene Maßnahme(n)/Termin	Auftreten	Bedeutung	Entdeckbarkeit	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)

Abbildung 6-2: FMEA - Kopfteil

**a** Firma

Name des Betriebes/Hersteller mit Anschrift

**b** Fehler- Möglichkeiten und Einfluss- Analyse

Bisher besteht in diesem Feld die Möglichkeit durch das Ankreuzen eines vorgegebenen Kästchens die durchzuführende FMEA auszuwählen. Diese Möglichkeit sollte nicht mehr bestehen, stattdessen wird das Feld mit FMEA - Art überschrieben. Einzutragen ist jetzt, ob es sich um eine Gefährdungsbeurteilung nach ArbSchG oder BetrSichV, Risikobeurteilung nach MaschRL, eine Produkt - FMEA oder Prozess - FMEA handelt.

**c** – **e** Bestätigung durch betroffene Abteilung und/oder Lieferant;

Name/Abteilung/Lieferant; Name/Abteilung/Lieferant

Bisher sind drei Felder für die Bestätigung durch die betreffende Stelle angegeben. Die Anzahl der Felder wird auf zwei Felder reduziert. Ein Feld ist dabei vorgesehen für eine Person, die die FMEA federführend geleitet hat. Dies kann der Moderator oder Projektverantwortliche oder CE-Koordinator sein. Das zweite Feld ist für den Unternehmensverantwortlichen vorgesehen. Arbeitsschutzgesetz und Betriebssicherheitsverordnung wenden sich an den Unternehmer.

Oftmals delegiert der Unternehmer die Aufgabe der Gefährdungsbeurteilung an seine Führungskräfte. Die Verantwortung für die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes liegt grundsätzlich beim Arbeitgeber. Innerhalb einer Konzernstruktur ist der jeweilige Werkleiter für die Durchführung verantwortlich. Der jeweilige Verantwortliche bestätigt an dieser Stelle des FMEA - Formblattes die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.

Die Maschinenrichtlinie fordert für die Unterzeichnung der Konformitätserklärung, dass Angaben zur Person, die zur Ausstellung der Konformität bevollmächtigt ist, und zu der Person, die die technischen Unterlagen zusammenstellt, angegeben werden [21].

Die neuen Überschriften lauten: „erstellt durch“ für **c** und „Verantwortung“ für **d**

**e** neu: Mitgeltende Unterlagen

In diesem Feld erscheint der Querverweis für mitgeltende Unterlagen, die im Anhang zur FMEA aufgeführt werden. Dies führt zur Übersichtlichkeit und höheren Akzeptanz bei der Benutzung des Formblattes.

**f** Teil-Benennung

Diese Überschrift wird geändert in Element-Benennung. Hier soll im Sinne des Systemgedankens entweder das Subsystem oder das Element als kleinste betrachtete Einheit aufgeführt werden (Name oder Bezeichnung des Elementes / Arbeitsmittels / Bereichs ggf. mit Herstellerangabe und genauem Standort).

### **g** Teil – Nummer

Dieses Feld wird zur Verbesserung der Einheitlichkeit an **f** angepasst und in Element-Nummer umbenannt. Hier erfolgt die Angabe der Inventarnummer oder einer eindeutig zuordenbaren FMEA - Nummer/Projektnummer.

### **h** Modell/System/Fertigung

Dieses Feld bleibt unverändert.

In dieses Feld wird das beschriebene System oder Subsystem (Produktionsbereich/Werkstatt) eingetragen, für welches die FMEA gilt.

### **i** Erstellt durch (Name/Abt.)

Die Überschrift wird geändert in „Überarbeitet durch (Name/Funktion/Abt.)“. Hier werden Angaben der Person, ihrer Funktion und/oder der Abteilung, die für die Überarbeitung der FMEA zuständig ist, eingetragen.

### **j** Zeichnungsdatum

Hier wird das Datum des FMEA - Beginns eingetragen.

### **k** Datum; Überarbeitet - Datum

Auch dieses Feld bleibt ohne Änderung. Hier wird das Datum der Fertigstellung der FMEA bzw. der Änderungsstand eingetragen.

### 6.1.3 Modifizierte Struktur des Formblattes

Die Struktur des Formblattes umfasst die Spalten mit dem eigentlichen Analyseteil, dem Bewertungsteil, dem Maßnahmenteil und der Wirksamkeitskontrolle.

Firma		Fehler - Möglichkeiten und Einfluss - Analyse <input type="checkbox"/> Neu - Teil/Ablauf				Teil - Benennung		Teil - Nummer								
		Konstruktions - FMEA <input type="checkbox"/> Prozess - FMEA <input type="checkbox"/> Optimierungsanalyse <input type="checkbox"/>				Modell/System/Fertigung		Zeichnungsdatum								
		Bestätigung durch betroffene Abteilungen und/oder Lieferant		Name/Abt./Lieferant		Name/Abt./Lieferant		Blatt ..... von .....								
						Erstellt durch (Name/Abt.)		Datum Überarbeitet Datum								
Konstruktion: Funktionselement		Fehlerart	Fehlerfolge	Fehlerursache	Derzeitiger Zustand			Verbesserter Zustand								
Prozess: Arbeitsabschnitt					Verhütungs- u. Prüfmaßnahmen	Auftreten	Bedeutung	Entdeckbarkeit	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)	Empfohlene Abstellmaßnahme(n) (A/B/E=RPZ)	Verantwortlichkeit/Termin	Getroffene Maßnahme(n)/Termin	Auftreten	Bedeutung	Entdeckbarkeit	Risiko-Prioritätszahl (RPZ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				

Abbildung 6-3: FMEA - Struktur

Der Änderung liegt folgender Gedanke zugrunde: Die Begriffe und Definitionen im Subsystem Arbeitsschutz sowie das generalisierte Erklärungsmodell müssen sich in der Struktur des Formblattes widerspiegeln.

Der Begriff Gefahrenquelle mit ihren Gefährdungsfaktoren wird mit dem Begriff der Fehlerquelle gleichgesetzt. Eine genaue Zuordnung des potentiellen Fehlers zu den Systemelementen des jeweiligen Produkt- oder Prozesssystems kann somit erfolgen.

**1** Konstruktion: Funktionselement / Prozess: Arbeitsabschnitt

Diese Spalte wird um den Begriff Gefahrenquelle ergänzt. Die zu analysierenden Systeme, Subsysteme - in der Beschreibung von Bauteilen, Arbeitsmitteln, Werkzeugen oder Anlagen bzw. die einzelnen Arbeitsschritte oder Prozesse – werden eingetragen. Zur besseren Veranschaulichung können auch Skizzen oder Bilder in die Spalte eingetragen werden.

Bei der Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung sollten die Systeme soweit wie möglich auf ihre Elemente herunter gebrochen werden.

Bei einer oberirdischen Gastankstelle sind dies das Gas, der Gasbehälter, die Zapfsäule, der Zapfhahn, die Mediumpumpe, die Auslass- oder Entlüftungsventile und der Außenbereich

der Anlage. Wird der Zapfhahn betrachtet, so muss genau definiert werden, ob nur der Zapfhahn alleine betrachtet wird oder der Zapfhahn mit dazugehörigem Schlauch.

Auch ist in diesem Fall von Bedeutung, in welchem Umkreis der Schlauch eingesetzt wird, da innerhalb dieses Bereiches die Zündquellen eine entscheidende Rolle spielen. Bezogen auf die Lebensphasen sind z.B. für den Zapfschlauch die Dichtheit, die Prüfintervalle und die Lagerung bzw. Verwendung zu berücksichtigen.

### **2**     Fehlerart

Die zweite Spalte wird ergänzt um den Begriff Gefährdungsfaktor. Gefährdungsfaktoren beschreiben Gefahrenquellen, ihren energetischen Zustand. Für den Explosionsschutz bedeutet dies, dass die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre ein Gefährdungsfaktor eines entsprechenden Stoffes ist.

### **3**     Fehlerfolge

Die Fehlerfolge ist die nachvollziehbare, kurze und präzise Beschreibung der Kausalkette von der Fehlerart bis zur Auswirkung auf die höchste Systemebene, die Umwelt oder den Kunden.

Im Falle des Arbeitsschutzes bezieht sich die Fehlerfolge auf einen Gesundheitsschaden oder Sachschaden.

Der Begriff Fehlerfolge wird um den Begriff Schaden ergänzt.

### **4**     Fehlerursache

In dieser Spalte sind alle denkbaren Fehlerursachen aufzulisten, die zu der betrachteten Fehlerart führen.

Hier folgt eine der entscheidenden Änderungen. Die Fehlerursache wird ergänzt um den Begriff „gefährbringende Bedingung“. Das Vorhandensein von Gefährdungsfaktoren und gefährbringenden Bedingungen führt erst zu einer Kontaktmöglichkeit, woraus der mögliche Schaden entstehen kann. Dieses Geflecht ist für jede Beurteilung entscheidend. Nur durch eine genaue Zuordnung ist eine anschließende Bewertung sinnvoll durchzuführen.

Im Bereich des Explosionsschutzes sind den gefährbringenden Bedingungen auch die wirksamen Zündquellen zu subsumieren. Erst durch das Vorliegen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und einer wirksamen Zündquelle kommt es zur Explosion.

### **5** Verhütungs- und Prüfmaßnahmen

Unter den Verhütungsmaßnahmen versteht man alle Präventionsmaßnahmen, die in der Fertigungsvorbereitung ergriffen werden, um die Fehlerursache erst gar nicht auftreten zu lassen oder deren Auftreten zumindest zu erschweren.

Die Prüfmaßnahmen oder Fehler entdeckenden Maßnahmen ermöglichen ein frühes Feststellen von Fehlern im Prozess und verhindern, dass fehlerhafte Produkte zu Kunden gelangen.

Unter den Verhütungs- und Prüfmaßnahmen im Subsystem Arbeitsschutz werden die zurzeit vorliegenden Präventionsmaßnahmen verstanden. Dabei werden sowohl organisatorische, technische und persönliche Schutzmaßnahmen berücksichtigt.

### **6** Auftretenswahrscheinlichkeit (A)    **7** Bedeutung der Fehlerfolge (B)

### **8** Entdeckbarkeit (E)

Die Tabellen Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung, Entdeckbarkeit werden an dieser Stelle nicht weiter beschrieben, da ihre Modifikation einen Schwerpunkt dieser Arbeit bilden.

### **9** Risikoprioritätszahl

Die Risikoprioritätszahl wird durch die Multiplikation der Bewertungszahlen für das Auftreten, die Bedeutung und die Entdeckbarkeit ermittelt. Das Ergebnis gibt Aufschluss darüber, ob Schutzmaßnahmen ausreichend sind oder ob zusätzliche Schutzmaßnahmen benötigt werden. Durch die RPZ ergibt sich eine Prioritätenliste, anhand derer die Dringlichkeit der Maßnahmen abgeleitet werden.

Die Maßnahmen sind entsprechend den Anforderungen der Stakeholder zu bestimmen. Die Berechnung der Risikoprioritätszahl wird nicht verändert.

### **10** Empfohlene Abstellmaßnahmen

Die durchzuführenden Maßnahmen richten sich nach der Maßnahmenhierarchie und unterscheiden sich in technische, organisatorische und personenbezogene Maßnahmen. Vor der Festlegung einer oder mehrerer Maßnahmen sollten Alternativen gesucht und bewertet werden. Dieser Punkt wird im Formblatt nicht geändert.

**11** Verantwortlichkeit/Termin

Die festgelegten Maßnahmen müssen umgesetzt werden. Eine verantwortliche Person (Unternehmer, Vorgesetzter, Projektverantwortlicher, Prozesseigner) ist einzutragen.

Hier erfolgt keine Änderung.

**12, 13** Beurteilung des verbesserten Zustandes

Der Zustand nach der Einführung der Abstellmaßnahmen wird noch einmal für das Auftreten, die Bedeutung und die Entdeckung des Fehlers / Schadens bewertet. Diese Beurteilung stellt die Wirksamkeitskontrolle dar. Auch hier ist keine Änderung des Formblattes notwendig.

## **6.2 Kriterien zur Modifizierung von Bewertungstabellen nach Arbeitsschutzgesetz, Maschinenrichtlinie**

Die Inhalte der Bewertungstabellen sind entsprechend den Unternehmensvorgaben und zu beurteilenden Systeme unterschiedlich. Beim Arbeitsschutzgesetz und der Maschinenrichtlinie stehen die Wechselwirkungen innerhalb des Arbeitssystems bezogen auf Mensch – Maschine – Arbeitsaufgabe – Arbeitsprozess – Arbeitsumwelt – Arbeitsstätte im Vordergrund. Hier gelingt eine Clusterung und Vereinheitlichung der Bewertungstabellen.

Grundlage für eine qualitativ hochwertige Risikobeurteilung ist neben den Kenntnissen über mögliche Gefährdungen die Fähigkeit einer objektiven Risikobewertung. Das Ergebnis der Risikobewertung ist zum einen abhängig von der angewandten Methode mit ihren Definitions- und Entscheidungsspielräumen für den Benutzer. Zum anderen wird die Qualität der Risikobewertung durch die Individualität / Fähigkeit der Auslegung von Definitions- und Entscheidungsspielräumen durch den Anwender selbst beeinflusst.

Den Bewertungsziffern von „Auftreten, Bedeutung, Entdeckbarkeit“ sind in der FMEA unklare, nicht messbare Begriffe zugeordnet und decken nicht die Anforderungen des Arbeitsschutzes ab. Die FMEA zielt auf Fehler bezüglich des Produktes oder Systems, insbesondere die Fehlerfolge ist rein produktbezogen, während im Arbeitsschutz der Mensch im Mittelpunkt des Systems steht.

Die Schwierigkeit zur Bewertung eines vorhandenen oder eben nicht vorhandenen Risikos basiert also auf einer genauen Einschätzung der Schwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines möglichen Personenschadens durch eine Gefährdung.

Auch die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit, abhängig von der Einzeleinschätzung zur

- Exposition
- Wahrscheinlichkeit des Eintretens
- Möglichkeiten zur Vermeidung

verlangt von dem Beurteilenden ein hohes Maß an Kompetenz.

Für die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadens werden neben den fachlichen Kenntnissen und Erfahrungen, z.B. über die Zuverlässigkeit von Bauteilen / Einrichtungen, auch die richtige Deutung vom bisherigen Unfallgeschehen sowie die Einschätzung des Sicherheitsbewusstseins des Bedieners vorausgesetzt. Gerade das Sicherheitsbewusstsein der Mitarbeiter ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Im privaten Bereich ist die Bereitschaft, ein Risiko einzugehen, bedeutend höher als im Unternehmen.

Auch das Handeln des Mitarbeiters ist geprägt durch seine Erfahrungen, Kenntnisse und Fertigkeiten. Geübte und eintrainierte Verhaltensweisen führen zu einer geringeren Anzahl von Fehlhandlungen, Handlungsautomatismen laufen intuitiv ab. Bei bewussten Abläufen erfasst der Bediener Informationen, verarbeitet diese Informationen und entwickelt daraus unterschiedliche Reaktionen. Diese Reaktionen und Handlungen sind nicht stur auf Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen zu reduzieren. Verhaltensweisen der Mitarbeiter sind nur innerhalb einer Organisationseinheit zu erkennen, da hier die sozialen und wirtschaftlichen Zwänge bekannt sind.

Die psychologisch kognitiven Prozesse der Risikowahrnehmung, Risikobewertung und Akzeptanz widersprechen einem normativen – formalistischen Risikoansatz [72]. Auch durch eine Risikokommunikation, die als Gestaltungsstrategie und somit als Anforderung der Stakeholder an die Unternehmensstrategie gilt, kommt es zu einer Änderung der Risikostrategie.

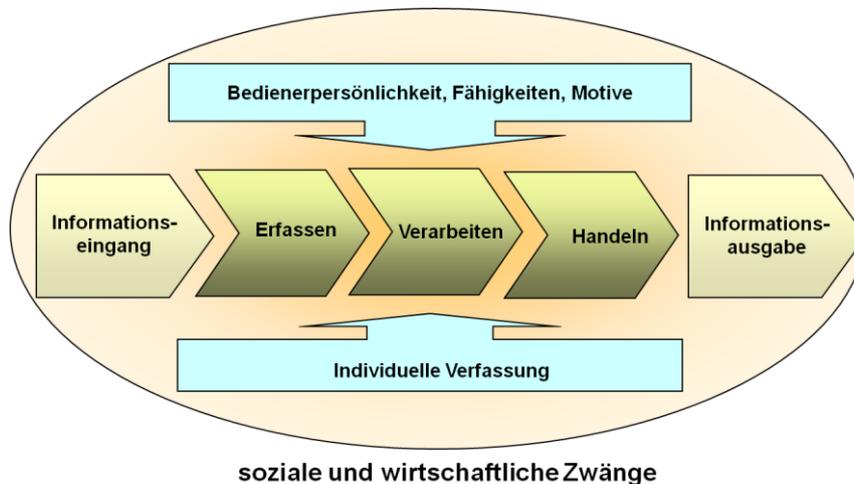


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung von Handlungsautomatismen und deren Einflussfaktoren

Unabhängig davon kann der Beurteilende für die Einschätzung der Möglichkeiten zur Vermeidung eines Schadens dann zu einem objektiven Ergebnis kommen, wenn dieser zur Abschätzung möglichst viele der nachfolgenden Bewertungskriterien berücksichtigen kann:

- die Bewegungs-/Fluchtmöglichkeiten des Bedieners
- spontane und unerwartete Maschinenbewegungen
- die Schnelligkeit und Dynamik der Maschinenbewegungen im Vergleich zur Reaktionsfähigkeit des Menschen
- die Übersichtlichkeit der Maschine
- die mentale Beanspruchung des Bedieners
- die Kenntnisse des Bedieners vom Arbeitsprozess
- und die Erfahrung des Bedieners.

Allein die Vielfalt der zu beachtenden Bewertungskriterien zur Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Personenschadens verdeutlichen die Notwendigkeit, den Anspruch an eine Methode der Risikobeurteilung so explizit zu erhöhen, um menschliche Fehlinterpretationen und –einschätzungen bezüglich der möglichen Schadensschwere sowie der Eintrittswahrscheinlichkeit komprimieren zu können.

Die Faktoren der Risikoprioritätszahl (B – Bedeutung, E – Entdeckungswahrscheinlichkeit, A – Auftretenswahrscheinlichkeit) wurden in ihren Bestimmungskriterien und deren Prioritätszuordnung so modifiziert, dass die FMEA - Methode als solche für eine Risikobeurteilung,

entsprechend der Anforderungen der Stakeholder und der permanenten Weiterentwicklung der Unternehmen selbst, einsetzbar ist. Im ersten Schritt werden die Begriffe „Bedeutung, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Auftretenswahrscheinlichkeit“ an die Anforderungen des Arbeitsschutzes angepasst.

Die im Folgenden aufgeführten Tabellen (Tabelle 6-2 bis Tabelle 6-4) werden an dieser Stelle exemplarisch für einzelne Bewertungspunkte aufgezeigt. Die ausführlichen Tabellen befinden sich im Anhang IV.

### 6.2.1 Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Bedeutung – Gesundheitsschaden

Der Faktor „Bedeutung“ als Begriff der FMEA wird bei der Modifizierung und Abstimmung zur Erfüllung der Anforderungen aus dem Arbeitsschutzgesetz und der Maschinenrichtlinie dem Gesundheitsschaden gleichgesetzt.

Die genaue Festlegung des Gesundheitsschadens anhand der Unterteilung in der modifizierten Bewertungstabelle (Tabelle 6-2) ermöglicht eine klare Zuordnung zu den Bewertungspunkten.

Tabelle 6-2: Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Bedeutung - Gesundheitsschaden

Bewertungspunkte	Gesundheitsschaden	Beispiele zur Zuordnung
10	Tod	
9	lebensbedrohlicher Gesundheitsschaden	Verätzungen Verbrennungen Stufe 3 Vergiftungen Schockzustände Elektrischer Stromschlag Schädelfraktur / lebensbedrohliche Frakturen Verletzung lebensnotwendiger Organe
8	äußerst schwerwiegender Gesundheitsschaden	Verlust von Körperteilen Chronische Erkrankungen Lähmungen MdE > 50 %
7	schwerwiegender Gesundheitsschaden	Erkrankung der Lenden- und Halswirbelsäule (Bandscheibenvorfall) Erfrierungen MdE 20 – 50 %

## 6.2.2 Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit

Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird jetzt der Eintrittswahrscheinlichkeit des möglichen Ereignisses im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition gleichgesetzt.

Tabelle 6-3: Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition
10	sehr hoch	<p>Kein Sicherheitskonzept vorhanden</p> <p>Keine Schutzeinrichtungen</p> <p>Mindestens 5 Störungsbeseitigungen pro Schicht</p> <p>Wartung/Instandhaltung nur bei gespeicherten Energien</p> <p>Permanente Prozessbeobachtung notwendig</p> <p>Bekannte Unfälle an ähnlichen Maschinen/Anlagen</p> <p>Materialzufuhr bei laufender Maschine, Zuführung &gt; 10 x pro Schicht, Verwendung von nicht sicherem Werkzeug, Eingriff in den Gefahrenbereich nötig, Einfädelarbeiten nötig, Zuführgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</p> <p>Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine innerhalb und außerhalb des Gefahrenbereiches mehrmals pro Schicht, Verwendung von nicht sicheren Hilfswerkzeugen und Einsatz von als Gefahrstoff gekennzeichneten Reinigungsmitteln</p> <p>Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und generell notwendigem Eingriff in den Gefahrenbereich</p>
5	mäßig	<p>Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</p> <p>Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</p> <p>Wartung/Instandhaltung ohne gespeicherte Energien</p> <p>Manipulation mit einfachem Werkzeug nicht möglich</p> <p>Prozessbeobachtung einmal pro Schicht notwendig</p> <p>Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</p> <p>Kein Beinaheunfall bekannt</p> <p>Materialzuführung bei laufender Maschine bis 10 x pro Schicht, Einlegearbeiten unter Verwendung von Hilfswerkzeugen, Eingreifen in den Gefahrenbereich ist nicht nötig, keine Einfädelarbeiten, Zuführgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</p> <p>Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine 3 x pro Schicht mittels Hilfswerkzeugen bzw. keinen Einsatz von Gefahrstoffen als Reinigungsmittel; kein Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</p> <p>Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</p>

### 6.2.3 Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit

Der Begriff Entdeckbarkeit wird gekoppelt mit der Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens. Die hier vorgeschlagene Unterteilung ist in Tabelle 6 - 4 Entdeckungswahrscheinlichkeit aufgeführt.

Tabelle 6-4: Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Entdeckbarkeit; Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens
10	sehr gering	Keine akustische und optische Warnhinweise Einsatz von nicht geschultem und unterwiesenem Personal im Umgang mit Arbeitsmitteln sowie Gefahrstoffen oder Hilfspersonal Keine Wartung, ausschließlich Reparatur Nichteinhaltung von wiederkehrenden Prüfungen und Prüfindervallen Bediener kann sich bei Ereigniseintritt nicht entfernen Keine Auditierung Keine arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung liegt vor Fehlende Sicherheitsstandards (Betriebsanweisungen)
8	gering	Keine akustische oder optische Warnhinweise Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen Keine regelmäßige Auditierung Keine durchgängige sowie aktuelle Gefährdungsbeurteilung (nur allgemein, keine Trennung nach Arbeitsplatz bzw. Tätigkeit sowie Umgang mit Gefahrstoffen) Unregelmäßige Auditierung Keine Sicherheitsunterweisungen zum Umgang mit Gefahrstoffen
6	mäßig	Mögliche Gefährdung durch akustische oder optische Warnhinweise angezeigt Jährliche Auditierung Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen Keine durchgängige Gefährdungsbeurteilung (nur arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen) Nicht ausreichender Einsatz von Fachpersonal Fehlende Gefahrenkennzeichnung Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Entdeckbarkeit; Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens
4	mäßig	Jährliche Auditierung Mögliche Gefährdung durch akustische oder optische Warnhinweise angezeigt Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung einmal jährlich Sicherheitsstandards in Form von Betriebsanweisungen sind nicht durchgängig definiert Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen Ausgebildetes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen Regelmäßige Instandhaltung und Wartung
1	sehr hoch	Mögliche Gefährdung durch akustische und optische Warnhinweise sicher erkannt Bediener kann sich vor Ereigniseintritt sicher entfernen Ausgebildetes und geschultes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen Fehlbedienung führt zu Stillstand Vorbeugende Instandhaltung und Wartung Regelmäßige Prüfungen durch unabhängige Institutionen Monatliche Auditierung Monatliche Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung (nach Betriebs-sicherheitsverordnung und Gefahrstoffverordnung) Keine störenden Umgebungsbedingungen (Lärm/Beleuchtung/Klima)

Da in jeder Unternehmung unterschiedliche Anforderungen und unterschiedliche Systeme existieren, muss eine zunächst generalisierte Methode auf das zu bewertende System angepasst werden. Jede noch so gute Methode muss durch die Unternehmensexperten, insbesondere im Subsystem Arbeitsschutz, mit ihrem Können und Wissen, nicht nur bezogen auf die betrieblichen Unternehmenssituationen, untermauert werden. Dies geschieht in unserem Fall durch die individuelle Anpassung der Bewertungstabellen.

Hier kommt dem FMEA -Team eine besondere Bedeutung zu. Die Teammitglieder mit ihren unterschiedlichen Kompetenzen modifizieren zu Beginn der Bewertung die Bewertungstabellen. Dabei sind die sozialen, technischen und wirtschaftlichen Belange genau so zu berücksichtigen, wie die Subsysteme und Elemente des Arbeitssystems. Als Beispiel seien die Art der Maschine, die Arbeitsabläufe und Prozesse, Mitarbeiter, Eingabeinformationen, Wech-

selbbeziehungen usw. genannt. Dies ist die Voraussetzung, um ein nachvollziehbares, qualitativ hochwertiges, den Maßnahmen entsprechendes Ergebnis erzielen zu können.

### **6.2.4 Zuordnung der Risikoprioritätszahl zur Maßnahmenhierarchie**

Die durch Multiplikation ermittelte Risikoprioritätszahl liegt in einem Intervall von [1; 1000]. Aufgabe ist es jetzt dieses Intervall so zu unterteilen, das die Maßnahmen den Unterteilungen zugeordnet werden können. Die Anforderungen der Stakeholder sind dabei zu berücksichtigen. Im Arbeitsschutz umfasst die Maßnahmenhierarchie 5 Bereiche (Tabelle 6-5).

Bei der folgenden Einteilung wird zunächst unterschieden zwischen persönlichen Maßnahmen, die eine Verhaltensänderung des Bedieners als Folge haben, organisatorischen Maßnahmen, die sich auf Arbeitsabläufe und Arbeitsprozesse beziehen, sicherheitstechnischen Maßnahmen, die Bau- und Ausrüstungsänderungen fordern und der inhärent sicheren Konstruktion. Als kritischer Schwellenwert wird dabei die Risikoprioritätszahl von 125 definiert. Dies ist dadurch begründet, dass die RPZ von 125 bereits in der Literatur als kritischer Wert verankert ist [84, 87]. Auch soll durch den generalisierten Ansatz eine einheitliche Vorgehensweise in den unterschiedlichen Subsystemen erreicht werden.

Das Risiko wird als akzeptabel eingestuft bei einem Intervall von 1 bis 100. Unterweisungen sind im Arbeitsschutz gesetzlich gefordert, bei der Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen muss ebenfalls unterwiesen werden [15]. Im Intervall von 100 – 125 sind zusätzlich Warnhinweise vorzusehen.

Als erhöhtes Restrisiko wird das Intervall von 125 bis 250 angesehen. Hier ist ein Gesundheitsschaden nicht auszuschließen und organisatorische Maßnahmen sind zu berücksichtigen.

Ab einer Risikoprioritätszahl von 250 ist das Restrisiko nicht ohne eine sicherheitstechnische Maßnahme vertretbar. Steigt die RPZ über 500, liegt keine inhärent sichere Konstruktion vor, die Anforderungen der Stakeholder sind nicht erfüllt.

Tabelle 6-5: Zuordnung Risikoprioritätszahl zu Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie

<b>RPZ</b>	<b>Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie</b>
<b><math>500 \leq \text{RPZ} \leq 1000</math></b>	1. Beseitigen der Risiken – inhärent sichere Konstruktion
<b><math>250 \leq \text{RPZ} &lt; 500</math></b>	2. Sicherheitstechnische Schutzeinrichtungen – Steuerungen
<b><math>125 \leq \text{RPZ} &lt; 250</math></b>	3. Organisatorische Maßnahmen (zeitliche Begrenzung im Gefahrenbereich)
<b><math>100 \leq \text{RPZ} &lt; 125</math></b>	4. Information über Restrisiken – Warnhinweise
<b><math>1 \leq \text{RPZ} &lt; 100</math></b>	5. Unterweisung und persönliche Schutzausrüstung

Anhand der entwickelten, generalisierten Bewertungstabellen ist der Anwender in der Lage, Bewertungskriterien zu kommunizieren. Durch diese Kommunikation erfolgt eine Reflexion und Auseinandersetzung mit den einzelnen Bewertungspunkten zu den Bewertungsmerkmalen. Die Rechtssicherheit steigt, da die gesetzlichen Vorgaben, z.B. kontinuierliche Überprüfung der Gefährdungsbeurteilung im Bereich des Arbeitsschutzes, erfüllt sind. Um den Bewertungsanforderungen der Betriebssicherheitsverordnung gerecht zu werden, ist eine Anpassung der Bewertungstabellen notwendig.

### **6.3 Kriterien zur Modifizierung von Bewertungstabellen nach Betriebssicherheitsverordnung**

Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung unterscheiden sich erheblich von den Anforderungen der Maschinenrichtlinie und dem Arbeitsschutzgesetz. Neben der Beurteilung von Arbeitsmitteln ist insbesondere die Auftretenswahrscheinlichkeit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre abzuschätzen und die Möglichkeit einer Zündung zu berücksichtigen. Die Bedeutung des Fehlers / Störung berücksichtigt dabei auch mögliche Umweltschäden, Imageverluste und Sachschäden.

### 6.3.1 Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Bedeutung

Bei der Zuordnung der Bewertungspunkte im Bereich des Explosionsschutzes ist zu beachten, dass die Fehlerfolgen erheblich höher sind als bei Arbeitsunfällen.

Der nicht verbindliche Leitfaden für bewährte Verfahren Richtlinie 1999/92/EG „ATEX“ gibt zur Vorgehensweise zur Beurteilung der Explosionsschutzrisiken an, dass die Betrachtung der Auswirkungen im Beurteilungsprozess von untergeordneter Bedeutung ist, da im Fall einer Explosion immer mit einem hohen Schadensausmaß gerechnet werden muss, das von erheblichen Sachschäden bis hin zu Verletzten und Toten reichen kann [73].

Die TRBS 2152 Teil 1 [157] hatte diese Formulierung, dass im Fall einer Explosion von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre stets mit hohem Schadensausmaß und Personenschäden zu rechnen ist, die von Verletzten bis zu Toten reichen können unter Punkt 3.4.2. übernommen. Eine fallweise differenzierte Betrachtung der Auswirkungen ist im Beurteilungsprozess deshalb nicht erforderlich. Als Ergänzung wird jedoch aufgeführt, dass unabhängig davon begrenzte physikalische Wirkungen einer Explosion (z.B. Flammenausbreitung und Wärmestrahlung, Druckwirkungen, Möglichkeiten zur Ausbildung von Detonationen) zu betrachten sind. Eine das übliche Maß über- oder unterschreitende Explosionsauswirkung oder Explosionsgefährdung muss bzw. kann bei den zu ergreifenden Maßnahmen in Umfang und Art berücksichtigt werden.

Die unterschiedlichen Auswirkungen in einem Unternehmen sind für die unterschiedlichen Stakeholder verschieden. Der Staat als Stakeholder möchte Umweltschäden und Personenschäden vermeiden, Sachschäden spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Unternehmer oder Versicherungen als Stakeholder stellen besondere Anforderungen zur Vermeidung von Sachschäden oder Imageschäden. Unter einer ganzheitlichen Betrachtungsweise scheint eine Differenzierung notwendig, die durch eine Zuordnung zu den Ziffern 1 bis 10 erfolgen kann. Entscheidend für die Zuordnung ist eine Gewichtung der unterschiedlichen Anforderungen, die letztendlich im Unternehmen, speziell durch den Unternehmer, zu erfolgen hat.

Folgende Tabelle wird als eine Möglichkeit der Zuordnung vorgeschlagen:

Tabelle 6-6: Bewertungstabelle Zuordnung Gesundheitsschaden, Umweltauswirkungen und Sachschaden durch Explosion

<b>Bewertungs- punkte</b>	<b>Gesundheitsschaden, Umweltauswirkungen und Sachschaden durch Explosion</b>
<b>10</b>	Tod Hoheitliche Warnung Schaden > 10 Millionen €
<b>9</b>	Vergiftungen Verbrennungen Stufe 3 Nachweispflicht für Entsorgung Schaden bis 10 Millionen €
<b>8</b>	MdE ≥ 50 Verlust von Körperteilen Schaden bis 5 Millionen €
<b>7</b>	MdE 20 – 50 % Verbrennungen Stufe 2 Sachschaden bis 3 Millionen €
<b>6</b>	Beaufschlagungen auch außerhalb des Unternehmens Meldepflicht an Behörden MdE 5 – 20 % Sachschaden 1 Millionen €
<b>5</b>	Sachschaden < 1 Millionen € Beaufschlagungen im gesamten Produktionsbereich Knalltrauma Ausfallzeit > 3 Tage
<b>4</b>	leichte Rauchvergiftung Ausfallzeit 1 – 3 Tage Beaufschlagungen innerhalb von 5 m in der Umgebung vom Explosionsherd
<b>3</b>	Ausfallzeit 1 Tag Versorgung durch Ersthelfer ausreichend Sachschaden bis 5000 €

Bewertungs- punkte	Gesundheitsschaden, Umweltauswirkungen und Sachschaden durch Explosion
2	Einmaliges Einatmen von Gefahrstoffen Sachschaden 1000 - 5000 €
1	Kein Gesundheitsschaden Keine Umweltauswirkungen Nur sehr geringer Sachschaden (< 1000 €)

### 6.3.2 Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit

Explosionsschutzmaßnahmen sind bei dem Vorliegen einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre notwendig. In Abhängigkeit der Auftretenswahrscheinlichkeit sind diese explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen einzuteilen. In der Regel reichen einfache Überlegungen und einfache Untersuchungen der Umgebung von Anlagen oder Anlagenteilen und deren Innerem nicht aus, um zu entscheiden, welche Bereiche welcher Zone zugeordnet werden. Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer explosionsfähigen Atmosphäre und somit die Art der Zone hängen hauptsächlich von den Eigenschaften der Stoffe, deren Verarbeitungszustand und den Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder einschränken, ab. Als Beispiele seien genannt, sicherheitstechnische Kenngrößen (Dichteverhältnisse von Gasen, Korngrößenverteilung von Stäuben), Verarbeitungsbedingungen der Stoffe, Temperaturverhältnisse, Druckverhältnisse, Lüftung oder Thermik.

Aus dieser Zoneneinteilung werden dann Gerätegruppen abgeleitet, die in diesen Bereichen eingesetzt werden dürfen.

Die Zonen werden in drei Bereiche eingeteilt.

Für die **Zonen 0 und 20** gilt: „dies ist ein Bereich, in dem die explosionsfähige Atmosphäre ... ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist“ [12].

Für die **Zonen 1 und 21** gilt: „ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden kann“ [12].

Für die **Zonen 2 und 22** gilt: „ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre normalerweise nicht oder aber nur kurzfristig auftritt“ [12].

Bei diesen Definitionen führen der Begriff „Normalbetrieb“ und die unklaren Zeitintervalle zu unterschiedlichen Diskussionen [155].

Normalbetrieb ist der Zustand, in dem die Arbeitsmittel oder Anlagen und deren Einrichtungen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt oder betrieben werden. Inspektion und Wartung sowie die Freisetzung geringer Mengen brennbarer Stoffe können zum Normalbetrieb gehören. Störungen, die z.B. Instandhaltung oder Abschaltung erfordern, werden nicht als Normalbetrieb angesehen [148].

Die Zeitintervalle „ständig, über lange Zeiträume, gelegentlich, kurzfristig“ werden unterschiedlich definiert.

Ausgehend von der TRBS 2152 [158] wird der Begriff „häufig“ im Sinne „zeitlich überwiegend“ benutzt. Das bedeutet, der explosionsgefährdete Bereich ist der Zone 0 bzw. Zone 20 zuzuordnen, wenn mehr als 50% während der Betriebsdauer einer Anlage über eine Schicht explosionsfähige Atmosphäre vorherrscht [148].

Im nächsten Schritt wurde überlegt, was Zone 2 bzw. Zone 22 bedeutet. In verschiedenen Publikationen wird dort ausgesagt: Normalerweise nicht oder nur kurzzeitig bedeutet wenige Male/Jahr für je ca. ½ Stunde je Vorgang [148].

Die Zone 1 bzw. Zone 21 liegt vor, wenn Dauer und Häufigkeit der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zwischen Zone 2 bzw. Zone 22 und Zone 0 bzw. Zone 20 liegen.

Das Kompendium Explosionsschutz gibt im Ergebnis folgende Tabelle an:

Tabelle 6-7: Zeitliche Zuordnung nach dem Kompendium Ex - Schutz [105]

<b>Zone</b>	<b>Kompendium Explosionsschutz</b>
<b>0 / 20</b>	> 50% der Betriebsdauer
<b>1 / 21</b>	> 30 min bis 2 Std. <u>oder</u> gelegentlich (= täglich) <u>aber immer</u> < 50% der Betriebsdauer
<b>2 / 22</b>	≤ 30 min (bis 2 Std., je nach Meinung) ab 1/a bis mehrfach jährlich

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, über das Zählen einzelner Vorgänge und das genaue Bestimmen der Zeitdauer einzelner Vorgänge das Vorhandensein gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu quantifizieren, um so die Zoneneinteilung vorzunehmen. So kann auch bei unterschiedlichen Verfahrensweisen, ob Kontibetrieb oder Batchbetrieb einer Anlage, ggf. eine genauere Bestimmung der Zonenzuordnung erfolgen. Dyrba weist in [148] explizit darauf hin, dass „einige Publikationen versuchen, über das Zählen einzelner Vorgänge und das genaue Bestimmen der Zeitdauer eines einzelnen Vorgangs das Vorhandensein gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären in Zonen festzulegen. Diese Publikationen sind jedoch weder vom Fachausschuss „Chemie“, Sachgebiet „Explosionsschutz“, noch den dem Ausschuss für Betriebssicherheitsverordnung (ABS), Unterausschuss Brand- und Explosionsschutz (UA5), autorisiert.“

Hier ist kritisch zu hinterfragen, was ist der Sinn der Zoneneinteilung? Die Zoneneinteilung selbst ist ein Verfahren zur Einteilung der Umgebung oder des Inneren von Anlagen und Anlagenteilen, in denen explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, um auf diese Weise den Umfang der zu ergreifenden Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten, zu erleichtern [148]. Wird nicht nur die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Beschäftigten sondern auch Sachschäden, Umweltschäden, Imageschäden berücksichtigt, kann es durchaus sinnvoll sein, von den in Tabelle 6-7 vorgeschlagenen Zeitintervallen abzurücken und eine Differenzierung durchzuführen. Entscheidend dabei ist, dass die gewählten neuen Zeitintervalle nicht zu einer Verschiebung der Zoneneinteilung zum Nachteil der Beschäftigten führen.

In den DDR Standard TGL 30042 [104] wurde eine Einteilung der Explosionsgefährdung in Brandgefährdungsgraden und Explosionsgefährdungsgraden vorgenommen. In diesem Dokument wurde der Gefährdungsgrad wie folgt definiert: „Gefährdungsgrade sind Abstufungen der Brandgefährdung oder der Explosionsgefährdung. Sie dienen zur Festlegung von differenzierten Schutzmaßnahmen“ [104].

In den Erläuterungen zur DDR Standard TGL 30042 [104] wird dazu Folgendes beschrieben: „Der Gefährdungsgrad richtet sich nach dem zeitbezogenen Auftreten der Explosionsgefährdung. Er wird von solchen Faktoren beeinflusst, die sich darauf auswirken, wie oft und wie lange ein explosives Gemisch vorhanden sein kann“ [103,104].

„Unter der Prämisse, dass sich die Zeiträume, in denen explosionsfähige Atmosphären auftreten, nur durch Langzeitmessungen tatsächlich ermitteln lassen und die betriebliche Einstufung deshalb meist auf Erfahrungswerten beruht, wird an dieser Stelle eine Orientierungshilfe für den Anwender gegeben. Dabei wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass die Zeitangaben

keine absoluten Grenzwerte darstellen und in Zweifelsfällen der mit ökonomischen Nachteilen belastete Weg einer höheren Einstufung vorzunehmen ist“ [98].

Tabelle 6-8: Zeitbezogene Abgrenzung der Explosionsgefährdungsgrade [98]

Gefährdungsgrad	Intervall des Auftretens der g.e.A. (jährlich)	Intervall des Auftretens der g.e.A. (differenziert)	Verweilzeit der g.e.A.	Wahrscheinlichkeitsfaktor
<b>EG 1</b>	Höher als bei EG 2 z.B. über 1000 mal	Höher als bei EG 2 z.B. über 3 mal/Tag	Länger als bei EG 2	$> 10^{-1}$
<b>EG 2</b>	< 1000 mal ≥ 100 mal	< 3 mal/Tag ≥ 2 mal/Woche	Länger als 5-10 Stunden	$10^{-1} - 10^{-2}$
<b>EG 3</b>	< 100 mal ≥ 10 mal	< 3 mal/Woche ≥ 1mal/Monat	Länger als 0,5-5 Stunden	$10^{-2} - 10^{-3}$
<b>EG 4</b>	< 10 mal ≥ 1 mal	< 1 mal/Monat ≥ 1 mal/Jahr	Kürzer als 0,5 Stunden	$10^{-3} - 10^{-4}$

Die Gefährdungsgrade entsprechen nicht den Zonen der Betriebssicherheitsverordnung. Es erfolgte jedoch eine Einteilung in differenzierte Intervalle. Die relativ konkreten Intervalle des Auftretens ermöglichen unter Umständen eine leichte Zuordnung eines Arbeitsmittels zu einem Gefährdungsgrad [103].

Ausgehend von oben aufgeführter Tabelle wurde bei der V. Fachtagung „Maßnahmen des Brand- und Explosionsschutzes – Mittel zur Anlagen- und Arbeitssicherheit“ in Merseburg 2001 folgende Einteilungshilfe vorgestellt [106]:

Tabelle 6-9: Quantifizierung nach Merseburg [106]

Gefährdungsgrad	Intervall des Auftretens der g.e.A. (jährlich)	Intervall des Auftretens der g.e.A. (differenziert)	Verweilzeit der g.e.A.
<b>Zone 0</b>	Höher als bei Zone 1, z.B. über 1000 mal	Höher als bei Zone 1, z.B. über 3 mal/Tag	Länger als bei Zone 1
<b>Zone 1</b>	≥ 10 mal; < 1000 mal	≥ 1 mal/Monat < 3 mal/Tag	Länger als 0,5 h bis 10 h
<b>Zone 2</b>	≥ 1 mal; < 10 mal	≥ 1 mal/Jahr < 1 mal/Monat	Kürzer als 0,5 h

Die FMEA geht von einer Fehlerrate aus und ordnet der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Fehlers die Ziffern von 1 bis 10 zu [84]. Bei der Auftretenswahrscheinlichkeit der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre wird von Zeitintervallen gesprochen. Aus diesem Grund muss zunächst eine Zuordnung der Fehlerrate zu den Zeitintervallen erfolgen.

Der Höchstfehler der Auftretenswahrscheinlichkeit (10 Punkte) liegt bei der FMEA dann vor, wenn eines von zwei Teilen fehlerhaft ist. Dies entspricht 50%.

Bei einem Mehrschichtmodell können als Arbeitszeit 8000 Stunden im Jahr angesetzt werden [103].

Die 8000 Stunden pro Jahr sind mit 100% gleichgesetzt.

Wird von einem „Ein - Schichtsystem“ eines Arbeitnehmers ausgegangen, errechnet sich bei acht Stunden am Tag und 250 Tagen pro Jahr eine Gesamtzeit von 2000 Stunden im Jahr. Diese 2000 Stunden pro Jahr entsprechen dann ebenfalls 100%.

Andere Schichtmodelle bzw. Betriebszeiten können bei entsprechender Umrechnung ebenfalls als Grundlage zur Zuordnung der Ziffern benutzt werden.

Tabelle 6-10: Bewertungstabelle Auftretenswahrscheinlichkeit [98]

<b>B-Pkt. FMEA</b>	<b>FMEA- Leitbegriffe</b>	<b>Auftretenswahrscheinlichkeit g.e.A.</b>	<b>CENELEC 8000 h/a</b>	<b>250 d/a, 8 h/d 2000 h/a</b>
<b>10</b>	hoch	0,5	4000	1000
<b>9</b>	hoch	0,1	800	200
<b>8</b>	mäßig	0,05	400	100
<b>7</b>	mäßig	0,01	80	20
<b>6</b>	gering	0,005	40	10
<b>5</b>	gering	0,001	8	2
<b>4</b>	gering	0,0005	4	1
<b>3</b>	sehr gering	0,0001	0,8	0,2
<b>2</b>	sehr gering	0,00005	0,4	0,1
<b>1</b>	unwahrscheinlich	0,00001	0,08	0,02

Im nächsten Schritt erfolgt eine Zuordnung der Auftretenswahrscheinlichkeit zu den Zonen der Betriebssicherheitsverordnung.

Die Fachtagung Merseburg unterscheidet zwei Fälle. Der erste Fall bezieht sich auf eine einmalige, aber lang andauernde gefährliche explosionsfähige Atmosphäre. Der zweite Fall betrifft mehrere zeitlich kurze Auftretenswahrscheinlichkeiten, die in der Summe maximal 30 Minuten bis zwei Stunden andauern.

Durch diese Besonderheit wird für die weitere Bewertung des Auftretens einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zwischen zwei Fällen unterschieden:

1. Einmaliges bzw. länger anhaltendes Auftreten einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre (z.B. beim einmaligen Anfahren einer Maschine).
2. Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre kommt über mehrere kurze Zeiträume vor (kurze Zeitintervalle z.B. 20 x 3 min).

Die Unterscheidung in die Fälle 1 und 2 ergibt einen Unterschied in der Zonenzuordnung. Die Zone 0 wird für den Fall 1 - in der Tabelle als Merse 1 bezeichnet - ab 10 Stunden pro Jahr zusammenhängende gefährliche explosionsfähige Atmosphäre zugeordnet. Der Fall 2 - in der Tabelle als Merse 2 bezeichnet - ergibt eine Zone 0 ab 100 Stunden pro Jahr. Die Unterscheidung ist wie folgt begründet:

„Das Komitee 235 „Errichtung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission hat sich mit der Frage beschäftigt, inwieweit elektrisch angetriebene Armbanduhren, Hörgeräte, Taschenrechner und Handys in explosionsgefährdeten Bereichen verwendet werden können. Versuche in der chemischen Industrie mit Motoren der Zündschutzart „erhöhte Sicherheit“ (EEx e in Schutzart IP 44) haben ergeben, dass bei laufendem Motor eine explosionsfähige Atmosphäre etwa 40 bis 60 Minuten vorhanden sein muss, ehe im Motorinnern ebenfalls Explosionsgefahr herrscht“ [108].

Befindet sich eine technische Einrichtung also längere Zeit in einem Raum, desto wahrscheinlicher ist die Zündung der gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre. Eine Zündung bei mehreren kurzen Aufenthalten hingegen ist unwahrscheinlich [107].

Auf der Fachtagung in Merseburg wurde einheitlich festgelegt, dass „kurzzeitig“ als ein Zeitraum von max. 30 min zu definieren ist. Dies begründet sich aus der Tatsache, dass sich Schwaden von explosionsfähigen Dämpfen nach 30 min derart verdünnt haben, dass sie auch in elektrischen Verteilerschränken keine Zündung mehr hervorrufen können. Dies wurde auch anhand von Messungen und Versuchen belegt [106].

Die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) definiert in dem Merkblatt 2153 „Explosionsschutz-Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen“ [108], die Zone 2 als „kurzzeitig =

weniger als zwei Stunden“. Dies wird ebenfalls im Kompendium Explosionsschutz beschrieben ([105], Kapitel 4.3.1).

Aufgrund der Erkenntnisse wird die Tabelle 6-11 wie folgt verändert. Die Zone 2 wird für einen Bereich von 0 bis 2 Stunden, bei einer jährlichen Betriebszeit von 8000 Stunden pro Jahr, festgelegt. Der exakte Zeitrahmen richtet sich nach der Zeit der Benutzung des Arbeitsmittels. Der prozentuale Anteil wird auf 0 – 0,0125 bzw. 0 bis 30 min / 2 h angepasst. Die Zonen werden in zwei Spalten angefügt.

Tabelle 6-11: Bewertungstabelle der Auftretenswahrscheinlichkeit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und Zonenzuordnung

B-Pkt.	FMEA-Leitbegriffe	Auftreten in % (differenziert)	CENELEC 8000 h/a	250 d/a, 8h/d 2000h/a	Zonen (Merse 1)	Zonen (Merse 2)
10	hoch	10 - 50	800 - 4000	200 - 1000	Zone 0	Zone 0
9	hoch	5 - 10	400 - 800	100 - 200	Zone 0	Zone 0
8	mäßig	1 - 5	80 - 400	20 - 100	Zone 0	Zone 1
7	mäßig	0,5 - 1	40 - 80	10 - 20	Zone 0	Zone 1
6	gering	0,1 - 0,5	8 - 40	2 - 10	Zone 1	Zone 1
5	gering	0,05 - 0,1	4 - 8	1 - 2	Zone 1	Zone 1
4	gering	0,025 - 0,05	2 - 4	30 min - 1 h	Zone 1	Zone 1
3	sehr gering	0,0125 - 0,025	1 - 2	15 min - 30 min	Zone 2	Zone 2
2	sehr gering	0,00625 - 0,0125	30 min - 1 h	7,5 min - 15 min	Zone 2	Zone 2
1	unwahrscheinlich	0 - 0,00625	30 min	0 – 7,5 min	Zone 2	Zone 2

Die Ermittlung der Auftretenshäufigkeit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre ist somit, im Vergleich zu den bestehenden Bewertungstabellen, jetzt möglich.

Aus der Zoneneinteilung ergeben sich nun die Vorgaben für mögliche Arbeitsmittel, die eingesetzt werden dürfen [101, 49].

### 6.3.3 Modifizierte FMEA – Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit

Die Entdeckbarkeit gibt an, inwieweit die gefahrbringende Bedingung (Vorhandensein einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre, Zündung einer g.e.A. durch die in Kapitel 3.3.3. genannten Zündquelle), durch Prüfungen, Wartungen, Betriebsanweisungen usw. festgestellt werden kann.

Dabei muss das FMEA - Team die Frage beantworten:

Wie hoch ist die Entdeckbarkeit, dass eine explosionsfähige Atmosphäre und eine wirksame Zündquelle vor dem Schadensereignis entdeckt werden kann? Ziel des Explosionsschutzes

muss es dabei sein, zuerst die gefährliche explosionsfähige Atmosphäre zu erkennen um Maßnahmen einzuleiten und im zweiten Schritt erst die möglichen Zündquellen zu verhindern. Die Wirksamkeit einer Zündquelle ist für den Beurteiler schwer einschätzbar. Die notwendige Zündenergie und die abgebende Energie einer möglichen Zündquelle sind nur durch aufwendige Versuche zu ermitteln. Deshalb wird vereinbart, dass grundsätzlich beim Vorliegen einer Zündquelle diese auch wirksam ist (sofern eine entsprechende Atmosphäre vorliegt). Einen Vorschlag hierzu zeigt Tabelle 6-12.

Tabelle 6-12: Entdeckbarkeit; gefahrbringende Bedingung

Bewertungs-Punkte	FMEA-Leitbegriffe	Entdeckbarkeit; gefahrbringende Bedingung
10	sehr gering	Keine Wartung, keine Prüfpläne Keine Geräte nach ATEX 95 [110] Keine technischen Prüf- und Messvorrichtungen vorhanden Keine Betriebsanweisungen
9	sehr gering	Keine Wartung, keine Prüfungen Keine Geräte nach ATEX 95 [110] Keine technischen Prüf- und Messvorrichtungen vorhanden Betriebsanweisungen unvollständig
8	gering	Wartung, Prüfungen unregelmäßig Keine Geräte nach ATEX 95 [110] Betriebsanweisung unvollständig Sicherheitsdatenblätter veraltet Keine Betriebsanleitung vorhanden
7	gering	Wartung, Prüfungen unregelmäßig Keine Geräte nach ATEX 95 [110] Prüfungen unregelmäßig Keine Befähigten Personen Sicherheitsdatenblatt veraltet Betriebsanleitung vorhanden Keine Temperaturüberwachung
6	mäßig	Aktuelles Sicherheitsdatenblatt vorhanden Betriebsanleitung vorhanden Prüfungen unregelmäßig Keine Befähigten Personen Temperaturüberwachung zyklisch

Bewertungs-Punkte	FMEA-Leitbegriffe	Entdeckbarkeit; gefahrbringende Bedingung
5	mäßig	Regelmäßig Prüfungen Temperaturüberwachung zyklisch
4	mäßig	Wartungs- und Instandhaltungspläne vorhanden Temperaturüberwachung zyklisch
3	hoch	Wartung nur durch Befähigte Person Technische Prüf- und Messvorrichtungen vorhanden Überprüfung der Anlage durch Befähigte Person Temperaturüberwachung zyklisch
2	hoch	Kontinuierliche Temperaturüberwachung Technische Prüf- und Messvorrichtungen vorhanden Instandhaltung nach Betriebsanleitung Einsatz der Geräte nach ATEX 95 [110] Aktuelle Sicherheitsdatenblätter vorhanden
1	sehr hoch	Kontinuierliche Temperaturüberwachung Technische Prüf- und Messvorrichtungen vorhanden Instandhaltung nach Betriebsanleitung Geräte gemäß ATEX 95 [110]

### 6.3.4 Zuordnung der Risikoprioritätszahl zu Maßnahmen

Nachdem die Inhalte der Bewertungstabellen erarbeitet sind, muss eine Wertung der Risikoprioritätszahl angegeben werden.

Die Risikoprioritätszahl wird über die Multiplikation der ermittelten Werte für die Auftretenswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckbarkeit errechnet. Das Ergebnis gibt Aufschluss darüber, ob Maßnahmen erforderlich sind und wie dringend ihre Umsetzung ist.

Bei der Bewertung von Arbeitsmitteln, bei denen mit einer Explosion gerechnet werden muss, werden über die einfache Multiplikation hinaus weitere Anforderungen an die Interpretation der RPZ gestellt. Im Folgenden werden die Anforderungen an die Interpretation der RPZ erläutert:

Tabelle 6-13: Maßnahmengrenzen der Risikoprioritätszahl [98]

Auftreten	Bedeutung	Entdeckbarkeit	RPZ
3	6	6	108
6	3	6	
6	6	3	

Die in Tabelle 6-13 dargestellten Bewertungspunkte sind Maximalwerte. Die RPZ darf 108 Punkte (einschließlich) nicht überschreiten. Werden die einzelnen Bewertungspunkte 9 und 10 gegeben, so müssen sicherheitstechnische Maßnahmen analog zur BGR 104 [49] eingeleitet werden. Die Vergabe der Bewertungspunkte 9 oder 10 bedeutet, dass mindestens die Zone 0 bzw. Zone 20 vorliegt oder keine Prüfungen der Arbeitsmittel oder Verfahrensüberwachung stattfindet oder Sachschäden über 5 Millionen € oder Verbrennungen Stufe 3 möglich sind. Dies gilt auch dann, wenn die RPZ unter 108 Punkten liegt. Ergibt die Bewertung in einer Spalte eine 6, so darf in den beiden anderen Spalten maximal die Punktzahl von 6 bzw. 3 vergeben werden.

Die Abstufungen sind dabei nicht festgelegt, sondern werden in Abhängigkeit von den Arbeitsschutzziele und den ethischen Wertvorstellungen im Unternehmen bestimmt. Dies impliziert Mindestanforderungen an die durchzuführenden Maßnahmen. Durch die Zuordnung der Ziffern in den Tabellen ist es praktisch nicht möglich, dass ein schwerer Gesundheitsschaden (hohe Ziffer für die Bedeutung) mit einer geringen Auftretenswahrscheinlichkeit (niedrige Ziffer) und einer hohen Entdeckungswahrscheinlichkeit (niedrige Ziffer) positiv korreliert.

Aus diesem Grund wird folgende Zuordnung in Tabelle 6-14 angegeben.

Tabelle 6-14: Zuordnung Risikoprioritätszahlen zu Explosionsschutzonen; Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie

RPZ	Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie
108 oder Bedeutung > 8	Sicherheitstechnische Maßnahmen analog zur BGR 104 [49]
28 - 107	Organisatorische Maßnahmen
1 - 27	Personenbezogene Maßnahmen

## **7 Untersuchungen zur Anwendung modifizierter FMEA - Elemente und deren Validierung**

### **7.1 Überprüfung Formblatt – Kopfdaten und Struktur**

Das modifizierte Formblatt erfüllt sowohl die gesetzlichen, als auch die von der Norm empfohlenen Anforderungen. Eine Gefährdungsbeurteilung, Risikobeurteilung und die Erstellung des Explosionsschutzdokumentes sind möglich.

### **7.2 Anwendung modifizierter FMEA - Bewertungstabellen**

Die der Studie zur Risikobewertung zugrunde gelegten Tabellen wurden im Rahmen der Prüfungsarbeit für Aufsichtspersonen in einem Unternehmen der Metallindustrie [99] erarbeitet. Die Anwendung dieser unternehmensspezifischen Tabellen erfolgte bei der Umsetzung einer Gefährdungsbeurteilung.

Für die Studie zur Risikobewertung wurden die Bewertungstabellen generalisiert (Anhang IV). Dies war notwendig, da diese Studie nicht in einem Unternehmen, sondern unter Teilnehmern eines Seminars aus unterschiedlichen Firmen stattfand.

Die Einstufungen der Maßnahmen in Abhängigkeit der Risikoprioritätszahl blieben unverändert.

#### **7.2.1 Studie zur Risikobewertung**

Ziel der Studie zur Risikobewertung bestand im Einzelnen in der Ermittlung von

- vergleichbaren Risikobewertungen, durch Anwendung unterschiedlicher Methoden zur Risikobewertung
- Aussagen zur Qualität der Ergebnisse, in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertungen
- Aussagen zu den Ergebnissen, in Abhängigkeit von dem Erfahrungs- und Kenntnisstand der Probanden im Rahmen des Arbeitsschutzes

Anhand der Ergebnisauswertung sollte zusammenfassend nachgewiesen werden, inwieweit durch die Anwendung der modifizierten Bewertungstabellen in der Praxis ein Qualitätssprung bei der Risikobewertung Bestätigung findet.

- Auswahlkriterien Vergleichsmethode Risikograph

Voraussetzung für die Bewertung und Einschätzung der modifizierten FMEA – Bewertungstabellen bezüglich Qualität und Praxistauglichkeit ist eine Vergleichbarkeit mit einer in der Praxis erprobten Methode zur Risikobewertung und –einschätzung bei technischen Systemen. Diese Vergleichbarkeit ist gegeben, wenn Methodengrundlagen, -aufbau, -verlauf, Ergebnisbewertung und Ergebnisverwertung nahezu mit denen der Bewertungsmethode durch Anwendung der modifizierten FMEA - Tabellen identisch sind.

Aufgrund dieser Anforderungen an die Eigenschaften einer Vergleichsmethode wurde die Risikobewertung nach dem Risikographen hierfür festgelegt.

Die Umsetzung dieser Methode, d. h. die Analyse, Ermittlung und Bewertung von Risiken anhand von nicht messbaren Bewertungskriterien sowie die Ergebnisdarstellung in Form eines Ranges bzw. der Höhe des bestehenden Risikos entspricht dem Ablauf der Methode zur Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen.

Eine Zuordnung der Ergebnisse zu einer Maßnahmenhierarchie ist möglich, da deren Umsetzung bei beiden Methoden auf eine Risikominimierung gerichtet ist.

- Auswahl der Probanden

Die Auswahl der Probanden sowie die Stichprobengröße erfolgten unter Beachtung der Vorgaben deskriptiver Statistik.

Um Rückschlüsse von den empirisch erhobenen Daten dieser Testgruppe auf die Gesamtgruppe (entspricht der Gesamtheit aller, die im Rahmen von Risikoermittlungen tätig sind) ziehen zu können, muss die Stichprobe repräsentativ sein [112]. Das setzt voraus, dass die Probanden breit gestreut sind (z.B. hinsichtlich Einfluss Tätigkeitsfeld auf Kenntnisse Gefährdungsfaktoren / Maschinensicherheit). Diese Streuung liegt im Ermessen des Untersuchenden und wurde durch die Probandenzusammenstellung gewährleistet.

„Es besteht tatsächlich ein allgemeines Gesetz, nach dem fast ohne Rücksicht auf die Gestalt der ursprünglichen Grundgesamtheit die Gestalt der aus ihr stammenden Stichprobenverteilungen bei Betrachtung der Maßzahlen, die in der Regel aus Stichproben errechnet werden, ungefähr normal ist. Dieses Gesetz ist als das zentrale Grenzwert-Theorem bekannt“ ([111], Seite 135).

Bei den Probanden handelte es sich um Mitarbeiter aus den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen (164), Serviceabteilungen (22), der Anwendungstechnik (12), der Abteilung Arbeits- und Umweltschutz (30) sowie Sonstige (24). Der Ausbildungsstand entsprach den Qualifikationen als Techniker, Ingenieur oder Konstrukteur.

Alle Teilnehmer waren Mitarbeiter von Unternehmen, die bei der Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft versichert sind.

Die Berechnung der Risikoprioritätszahl, in Analogie zur Methode der FMEA, war sechs Probanden bekannt. Das Verfahren des Risikographen war 52 Probanden bekannt. Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, das Risiko bei vier unterschiedlichen Maschinen zu bewerten.

Als weitere Entscheidung zugunsten der Repräsentativität der Studienergebnisse ist die relativ große Stichprobengröße von 252 Probanden zu werten. „Zwar kann eine große Stichprobe die Repräsentativität der Ergebnisse nicht garantieren, ermöglicht sie besser, als eine kleine Stichprobengröße“ [112].

- Versuchsanordnung

Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, an vier unterschiedlichen Maschinen die auftretenden mechanischen Gefährdungen zu bewerten. Zunächst führten 132 Teilnehmern einzeln eine Bewertung mit Hilfe des Risikographen durch. Analog dazu bewerteten weitere 120 Teilnehmer einzeln mit Hilfe einer modifizierten Bewertungstabelle die gleichen Situationsbeispiele.

Anschließend wurden die Teilnehmer in Gruppen von 4 - 6 Personen eingeteilt, um die Risiken der gleichen vier vorgegebenen Maschinen innerhalb der gebildeten Gruppe zu bewerten. Die 132 Teilnehmer für die Bewertung der Risiken mit Hilfe des Risikographen bildeten 26 Gruppen, welche die Bewertung erneut mit Hilfe des Risikographen vornahmen. Die 120 Teilnehmer für die Bewertung der Risiken anhand der modifizierten Bewertungstabellen bildeten 24 Gruppen und bewerteten analog mit Hilfe der modifizierten Bewertungstabellen.

Die Variationen der Bewertung simulieren hierbei die Anwendung der Methoden zur Risikobewertung unter Praxisbedingungen. Die Ergebnisse der Studie ermöglichen so Aussagen zur Anwendung und Ergebnisqualität der verwendeten Methoden sowohl in kleineren Unternehmen (entspricht i.d.R. Risikobewertung durch Einzelbewertung) als auch in großen Unternehmen (entspricht i.d.R. Risikobewertung durch Gruppenbewertung).

Eine Risikobewertung mit Hilfe beider angewandter Methoden durch die jeweils gleichen Probanden wurde mittels der beschriebenen Bewertungsvarianten ausgeschlossen. Der Einfluss einer möglichen Voreinnahme oder das Rückschließen von dem Ergebnis der einen, auf das Ergebnis der anderen Methode, ließen sich so eliminieren.

Die Versuchsanordnung der Studie zur Risikobewertung sowie die Bezeichnung der ausgewählten Maschinen, deren Risiken zu bewerten waren, sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Versuchsanordnung der Studie zur Risikobewertung

<b>Methode zur Risikobewertung</b>	<b>Anzahl Bewertende</b>	<b>Zu bewertendes Risiko bei</b>
<b>Risikograph</b>	<b>Einzelbewertung</b>	Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen Exzenterpresse ( Einlegemaschine) Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore Steinspaltmaschine
	<b>Gruppenbewertung</b>	Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen Exzenterpresse ( Einlegemaschine) Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore Steinspaltmaschine
<b>FMEA</b>	<b>Einzelbewertung</b>	Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen Exzenterpresse ( Einlegemaschine) Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore Steinspaltmaschine
	<b>Gruppenbewertung</b>	Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen Exzenterpresse ( Einlegemaschine) Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore Steinspaltmaschine

- Beschreibung des Vergleichsmerkmals

Eine Vergleichbarkeit der Studienergebnisse auf verschiedenen Bezugsebenen ist durch die Ermittlung eines Merkmals für alle zu bewertenden Risiken auf der Grundlage einer einheitlichen Beurteilungsbasis, unabhängig von bestehenden Gefahrenpotenzialen, gewährleistet.

Im Fall der Studie erfolgt der Vergleich der Ergebnisse anhand des Merkmals „Abweichung zur Musterlösung“, die so genannte Risikofehlbewertung. Dabei dokumentieren hier im Rahmen dieser Versuchsreihe die Ermittlung und Bewertung ausschließlich mechanischer Gefährdungsfaktoren die notwendige, einheitliche Beurteilungsbasis für Systeme mit unterschiedlichen Gefahrenpotenzialen.

Bei der Art dieser Gefährdungsfaktoren handelt es sich um nicht messbare Faktoren, jegliche Bewertung setzt also die Verwendung von Bewertungskriterien voraus. Die im Versuchs-

feld eingesetzten Bewertungsmethoden basieren auf der Auswahl von Kriterien zur Bewertung von Risiken und können so im Vergleich betrachtet werden.

Die Bewertungsgrundlagen für die Studienergebnisse zur Risikobewertung bilden standardisierte Lösungsvorgaben (Musterlösungen) bezüglich des Ergebnisses, d.h. des jeweils bestehenden Risikos für die vier Aufgaben.

- Musterlösung – Risikorang

Hierzu führten die Mitglieder des Arbeitskreises „Konstrukteure Maschinenbau“ der Metallberufsgenossenschaften als anerkannte Experten und unter Einbeziehung fachspezifischer Literaturhinweise [113, 114] die Bewertung von Risiken für diese vier Beispiele durch. Als Ergebnis der so ermittelten bestehenden Risiken wurden Musterlösungen definiert und dienen für die Studienergebnisse als Vergleichsmaßstab.

Tabelle 7-2: Übersicht der Musterlösungen

<b>Zu bewertende Beispiele</b>	<b>Musterlösung – Risikorang</b>
Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen	IV – hoch
Exzenterpresse	V – sehr hoch
Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore	II – niedrig
Steinspaltmaschine	II - niedrig

Die Bewertung des Risikos erfolgt über die Ermittlung eines so genannten Risikoranges bei der Anwendung des Risikographen. Die Ermittlung des bestehenden Risikos nach Anwendung der modifizierten Bewertungstabellen der FMEA wird durch Risikoprioritätszahlen festgeschrieben. Um eine Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse zu erzielen, werden in Tabelle 7-3 der Höhe bzw. Schwere des Risikos der Risikorang und das entsprechende Intervall der Risikoprioritätszahlen zugeordnet.

Tabelle 7-3: Gegenüberstellung Risikorang - Risikoprioritätszahl

Risikobewertung	Risikorang	Intervall Risikoprioritätszahl
sehr hoch	V	$500 \leq RPZ \leq 1000$
hoch	IV	$250 \leq RPZ < 500$
mäßig	III	$125 \leq RPZ < 250$
niedrig	II	$100 \leq RPZ < 125$
sehr niedrig	I	$1 \leq RPZ < 100$

### 7.2.1.1 Risikograph; Einzel -und Gruppenbewertung

Die Auswertung der ermittelten Risiken erfolgt für jedes Beispiel in einem Säulendiagramm. Um einen Vergleich zwischen den Einzelergebnissen mit den Gruppenergebnissen durchführen zu können, wurde das jeweilige Gruppenergebnis mit der Anzahl der Gruppenmitglieder multipliziert. Dieses bietet die Möglichkeit, Aussagen über die Streuung bzw. Verteilung der Risikobewertung in den Rängen I bis V zu treffen. Außerdem sind die Unterschiede zwischen den Einzelbewertungen und den Gruppenbewertungen zu erkennen.

Die Auswertung der Bewertungsergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten für jede einzelne Maschine. Die jeweils unter den Grafiken angegebene „korrekte Risikobewertung“ entspricht der Musterlösung, wie sie in den dazugehörigen Normen und/oder von den Referenten des Seminararbeitskreises festgelegt wurden.

Auf den Ordinaten sind jeweils als Risikobewertung die Anzahl der Einzelnennungen aufgetragen.

### 7.2.1.1.1 Ergebnisse – Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen

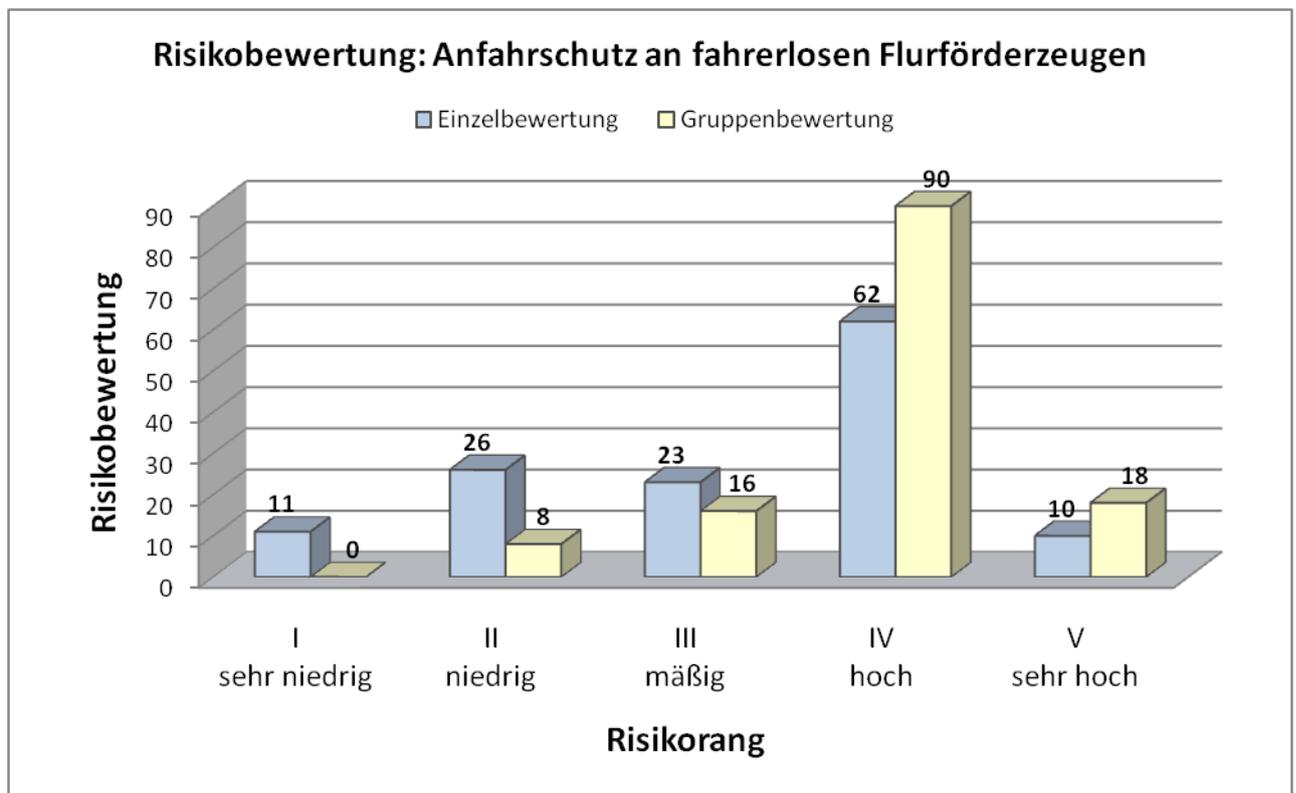


Abbildung 7-1: Risikobewertung nach Risikograph für einen Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen

#### **Korrekte Risikobewertung: hoch = Risikorang IV**

Fahrerlose Flurförderzeuge sind in einigen Großunternehmen im Einsatz. Das Risiko wurde bei der Einzelbewertung von Teilnehmern, die den Einsatz sowie die Maschinen selbst nicht kennen, mit einem Risikorang von I (sehr niedrig) oder II (niedrig) eingestuft. Im Vergleich hierzu wurde innerhalb der Gruppen das tatsächlich bestehende Risiko richtig bewertet bzw. eingeschätzt.

Als Ursache hierfür sind die argumentativ überzeugend dargestellten Erfahrungen und Kenntnisse von Teilnehmern, die mit dem Einsatz und der Beschaffenheit dieser fahrerlosen Flurförderzeuge vertraut sind, zu nennen.

7.2.1.1.2 Ergebnisse – Exzenterpresse

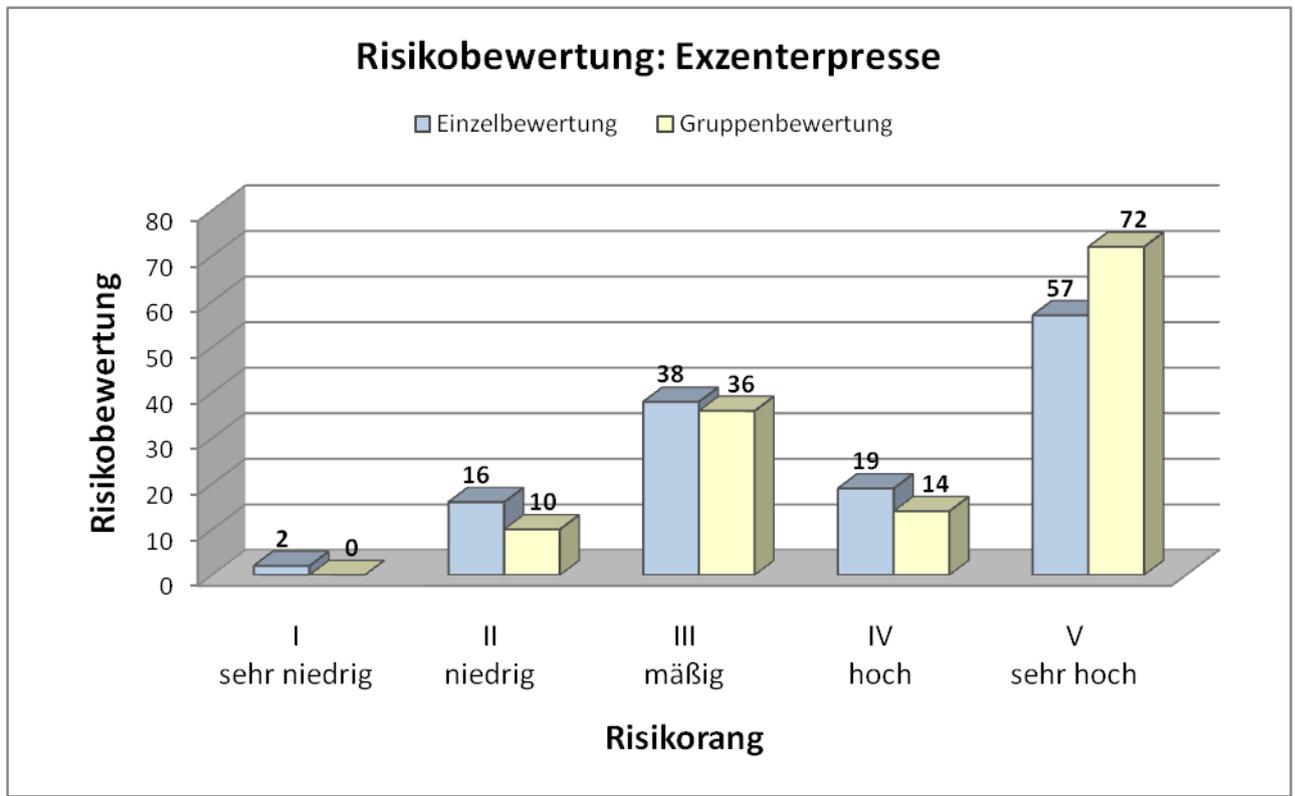


Abbildung 7-2: Risikobewertung nach Risikograph für eine Exzenterpresse

**Korrekte Risikobewertung: sehr hoch = Risikorang V**

Der Aufbau und Einsatz von Exzenterpressen sind in den meisten Unternehmen des Maschinenbaus bekannt. Diese Kenntnisse der Teilnehmer spiegeln sich in der Mehrzahl der Risikozuordnung in Rang V wider. Das bezieht sich sowohl auf die Einzel- als auch auf die Gruppenbewertung.

Die Zuordnung zu Rang III oder V ist auf die vorgenommene Eingruppierung „Häufigkeit der Aufenthaltsdauer“ zurückzuführen. Die bei der Einzelbewertung vorgenommenen Eingruppierungen des Risikos in Rang I tritt bei einer Gruppenbewertung nicht mehr auf.

7.2.1.1.3 Ergebnisse – kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore

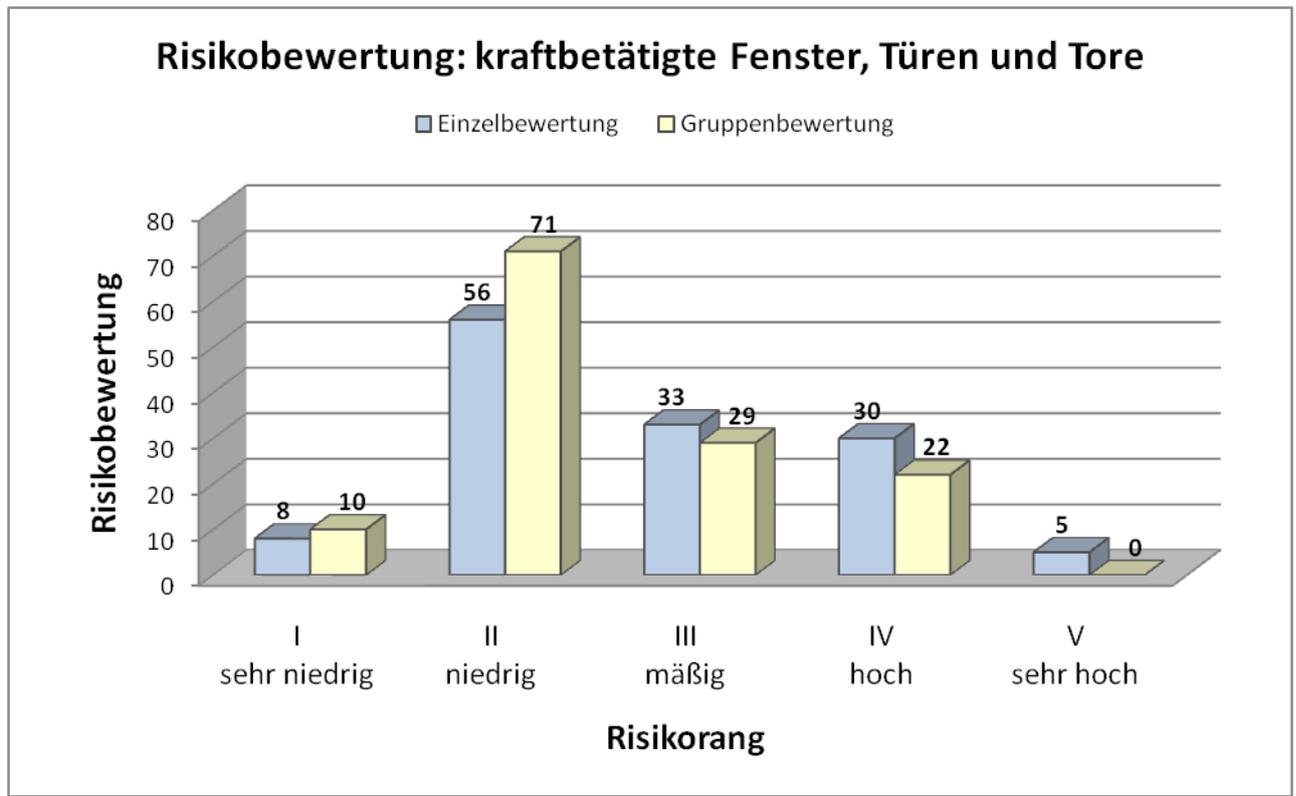


Abbildung 7-3: Risikobewertung nach Risikograph für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore

**Korrekte Risikobewertung: niedrig = Risikorang II**

Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore sind ebenfalls in vielen Unternehmen vorhanden. Unabhängig davon, kann bei dieser Art von Maschinen davon ausgegangen werden, dass bei allen Teilnehmern hierzu Allgemeinkenntnisse aufgrund der breiten Nutzung dieser Fenster, Türen und Tore vorhanden sind.

Bei der Einstufung des Risikos in Rang III wird als Ursache für die Fehleinschätzung die Geschwindigkeit der Türen überbewertet. Im Zusammenhang mit der Fehlbewertung für Rang IV steht die als zu lang angenommene Aufenthaltsdauer, bezogen auf die Arbeitszeit. Neue Informationen und Diskussionen in der Gruppe verbessern das Ergebnis derart, dass hier über die Hälfte der Teilnehmer dieses Beispiel richtig einschätzen.

7.2.1.1.4 Ergebnisse – Steinspaltmaschine

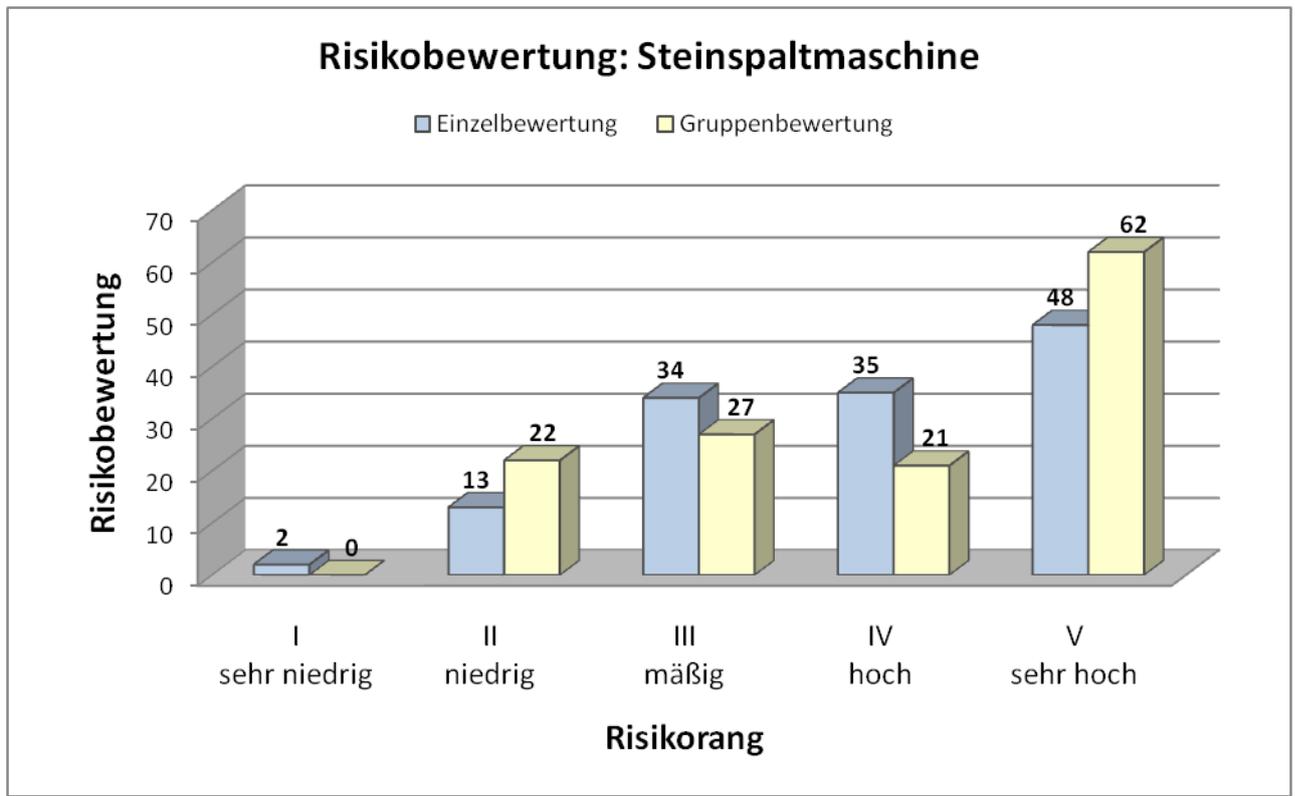


Abbildung 7-4: Risikobewertung nach Risikograph für eine Steinspaltmaschine

**Korrekte Risikobewertung: niedrig = Risikorang II**

Diese Art der Maschine ist im Maschinenbau fast unbekannt. Ursache für die insgesamt hohen Risikobewertungen sowohl bei der Einzel- als auch bei der Gruppenbewertung bilden die Einschätzungen beim Gesundheitsschaden. Der eintretende Gesundheitsschaden wird als hoch angesehen. Im Bezug auf die Bewertung der Aufenthaltsdauer und der Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung wird im Wesentlichen eine gleiche Verteilung vorgenommen. Hier bringt die Gruppenarbeit keine Verbesserung im Vergleich zur Einzelbewertung.

### 7.2.1.1.5 Beurteilung der Risikofehlbewertungen nach Risikograph

Die Abschätzung der Folgen aufgrund der Fehlbewertungen der vorhandenen Risiken lassen sich infolge der Zufälligkeit eines Unfalls nur erahnen. Die Möglichkeit von auftretenden Schäden ist an dieser Stelle nicht messbar. Unabhängig davon beeinflusst jedoch der Anteil der Fehlbewertungen die Höhe des verbleibenden Restrisikos, welches in enger Korrelation mit der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Personenschadens steht.

Auch lassen sich die deterministischen Risiken durch den funktionellen Aufbau eines Arbeitsmittels beeinflussen, zumal diese Risiken während der gesamten Lebensphasen des Arbeitsmittels latent vorhanden sind [113].

- Einzel- und Gruppenbewertung nach Risikograph

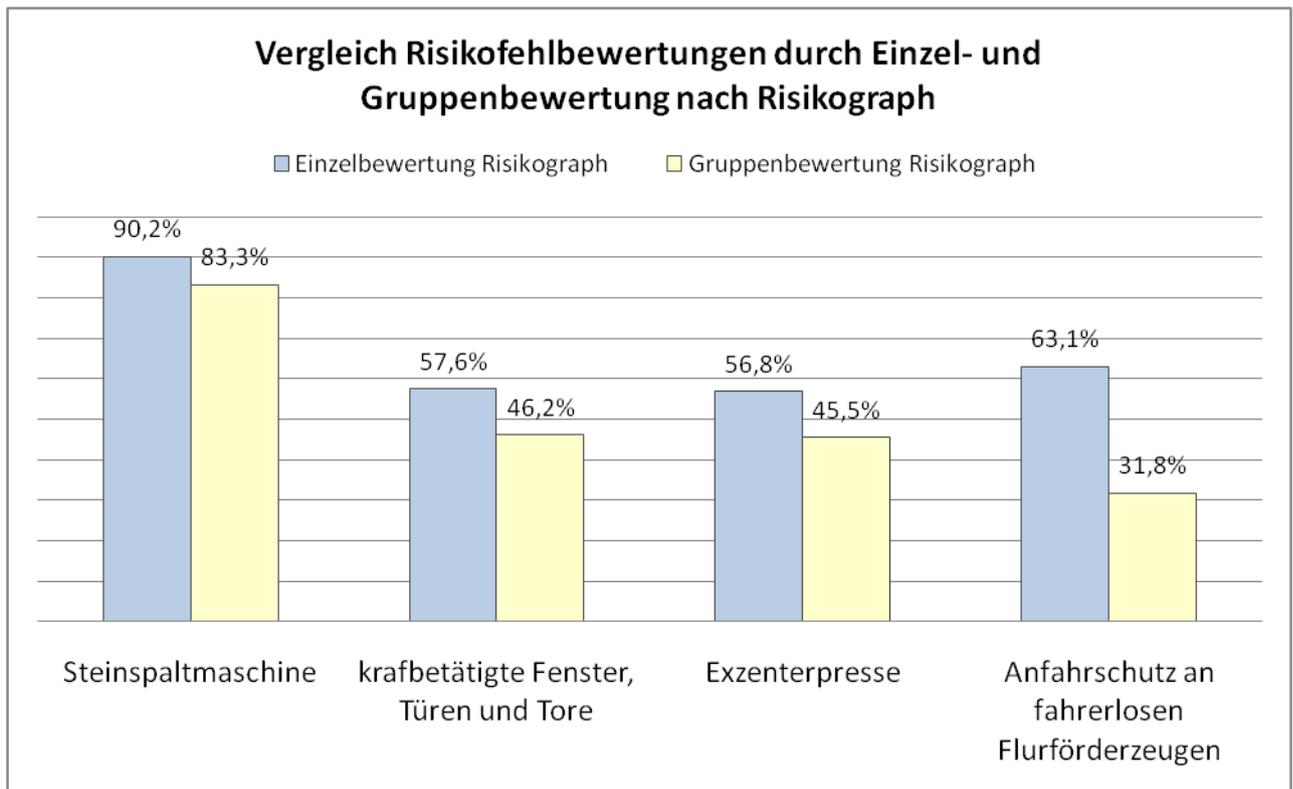


Abbildung 7-5: Vergleich Risikofehlbewertungen durch Einzel- und Gruppenbewertungen nach Risikograph

Die grafische Darstellung der prozentualen Anteile von Risikofehlbewertungen zeigt unabhängig von dem zu bewertenden Risiko für alle vier Beispiele deutlich den Vorteil einer Gruppenbewertung. Bei allen vier Bewertungsaufgaben reduzierten sich die Fehleinschätzungen bezüglich des tatsächlich bestehenden Risikos durch die Bewertung innerhalb einer

Gruppe. Dieses Verbesserungspotenzial aufgrund der Gruppenbewertung im Vergleich zur Einzelbewertung umfasst ein Intervall von 6,9% - 21,2%.

Die Abstufung der Reduzierung von Fehlentscheidungen steht hier in enger Beziehung zum Bekanntheitsgrad der jeweiligen Maschine.

Dieses Ergebnis bestätigt die im Allgemeinen bereits bekannten Vorteile einer Gruppenarbeit [118, 119].

Die Bewertung der Ergebnisse der Risikobewertung nach dem Risikographen insgesamt muss mit unzufrieden angegeben werden. Innerhalb der Einzelbewertung lagen die Risikofehlbewertungen generell über 50%, sogar bei einer Maschine bei 90%.

Auch bei den Ergebnissen der Gruppenbewertung liegen die Fehleinschätzungen überwiegend bei fast 50% und mehr, die Ausnahme bildet die Risikobewertung für den Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen.

Die Auswirkungen dieser hohen Anzahl von Fehlbewertungen lassen sich sowohl in Richtung sicherheitsrelevanter als auch wirtschaftlicher Aspekte für das Unternehmen diskutieren.

- Zuordnung zur Maßnahmenhierarchie

Ausgehend von den ermittelten Risikorängen ist es notwendig, den Teilnehmern ein Instrument an die Hand zu geben, welches eine klare, strukturierte Maßnahmenvorgabe entsprechend des ermittelten Risikoranges zuordnet. Dabei ist besonders die Differenzierung zwischen technischen und organisatorischen Maßnahmen herauszustellen.

Die bisherige Zuordnung des Risikoranges in eine vorgeschlagene Steuerungskategorie erfüllt bedingt den Anspruch an Sicherheitsbauteile, wobei auch hier eine direkte und verbindliche Zuordnung nicht gegeben ist. Maßnahmen zur Risikominimierung des Arbeitssystems werden nicht gegeben und sind folglich nicht ableitbar.

Im Rahmen der Risikobewertungsstudie wird hierzu eine Maßnahmenhierarchie als Handlungshilfe erarbeitet.

In Abhängigkeit von der Reichweite der geforderten Maßnahmen, erfolgt die systematische Einordnung zu dem Rang des Risikos. Dementsprechend verlangen in Rang I definierte, sehr niedrige Risiken Maßnahmen mit einer geringen Reichweite.

Tabelle 7-4: Zuordnung Maßnahmenhierarchie zum Risikorang nach Risikograph

<b>Risikorang nach Risikograph</b>	<b>Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie</b>
<b>V</b>	1. Beseitigen der Risiken - inhärent sichere Konstruktion
<b>IV</b>	2. Sicherheitstechnische Schutzeinrichtungen - Steuerungen
<b>III</b>	3. Organisatorische Maßnahmen (zeitliche Begrenzung im Gefahrenbereich)
<b>II</b>	4. Information über Restrisiken - Warnhinweise
<b>I</b>	5. Unterweisung und persönliche Schutzausrüstung

Zusätzliche Schutzeinrichtungen verringern nicht immer das Restrisiko. Elektrische Sicherheitsbauteile altern und fallen dadurch aus, mechanische Bauteile verschleißeln in Abhängigkeit der Lastzahlen. Folglich wird gegebenenfalls durch eine Zuordnung in eine niedrige Rangstufe die Systemsicherheit ebenfalls hergestellt.

Weitere negative Auswirkungen aufgrund der Risikofehleinschätzung ergeben sich aus wirtschaftlicher Sicht für das Unternehmen. Eine Überschätzung des Risikos hat zur Folge, dass in der Hierarchie höher stehende, jedoch für das tatsächlich bestehende Risiko nicht erforderliche Maßnahmen umgesetzt werden. Diese Schutzeinrichtungen können überdimensioniert sein, Produktionsabläufe sind behindert, dadurch wird die Manipulation von Sicherheitseinrichtungen vorangetrieben. Insgesamt entsteht für das Unternehmen ein nicht zu rechtfertigendes Kosten – Nutzen – Verhältnis. Grundsätzlich sollte bedacht werden, dass die rangniedrigeren Maßnahmen oftmals als Ergänzung notwendig und sinnvoll sind.

#### 7.2.1.2 Modifizierte FMEA – Bewertungstabellen ; Einzel- und Gruppenbewertung

In Fortführung der Studie zur Risikobewertung haben 120 Teilnehmer die Einschätzung der Risiken durch Anwendung der modifizierten Bewertungstabellen für die gleichen vier Beispielsituationen wie ihre Vergleichsgruppe (Bewertung mit Hilfe des Risikographen) vorgenommen.

Entsprechend den Versuchsvorgaben erfolgt auch hier eine Differenzierung in der Bewertung durch Einzel- und Gruppenarbeit.

7.2.1.2.1 Ergebnisse – Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen

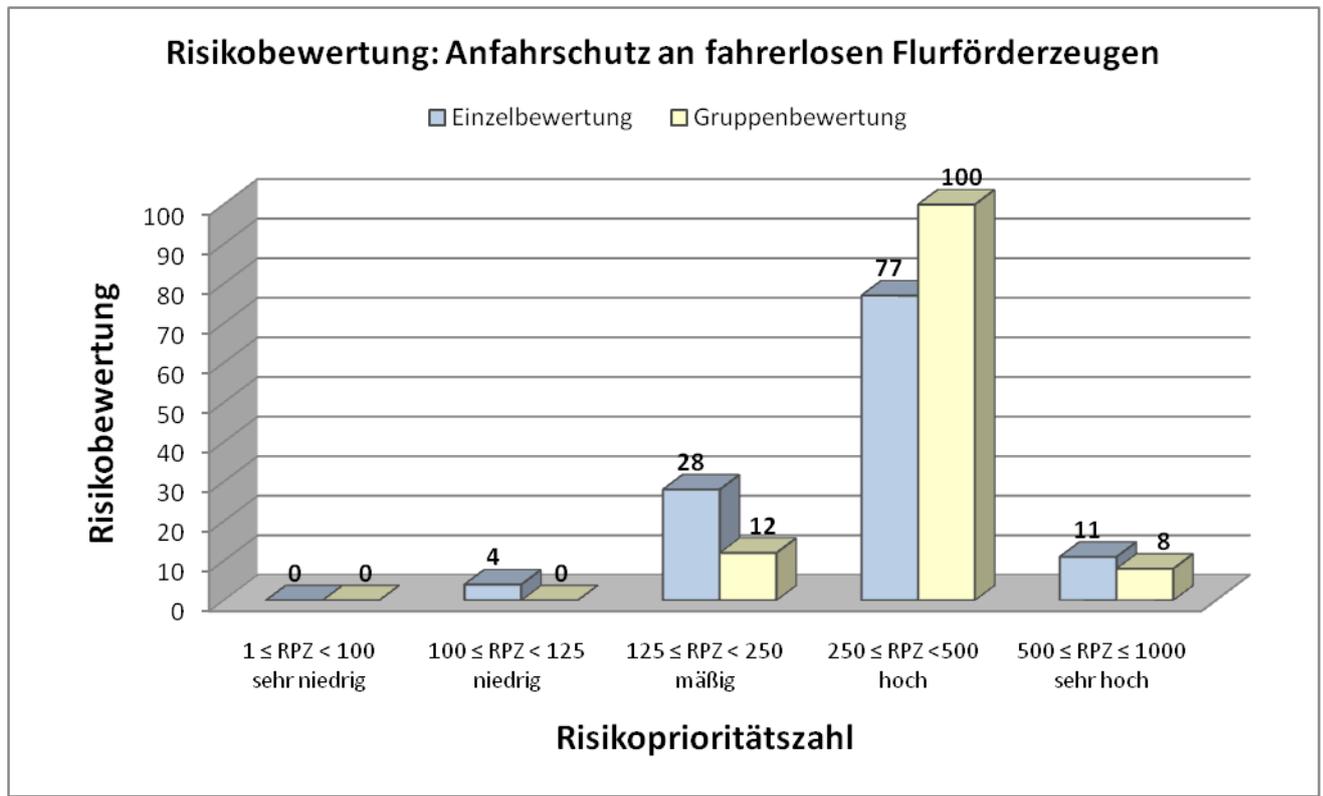


Abbildung 7-6: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für einen Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen

**Korrekte Risikobewertung: hoch = 250 ≤ RPZ < 500**

Durch die Anwendung der modifizierten FMEA - Bewertungstabellen und die Multiplikation der Bewertungspunkte zur Ermittlung der Risikoprioritätszahl nähern sich die Ergebnisse stark der Musterlösung. Besonders auffallend ist, dass nach Einzelbewertungen < 3% und nach der Gruppenbewertung keine ausschließlich verhaltensbezogenen Maßnahmen zu erfolgen hätten.

### 7.2.1.2.2 Ergebnisse – Exzenterpresse

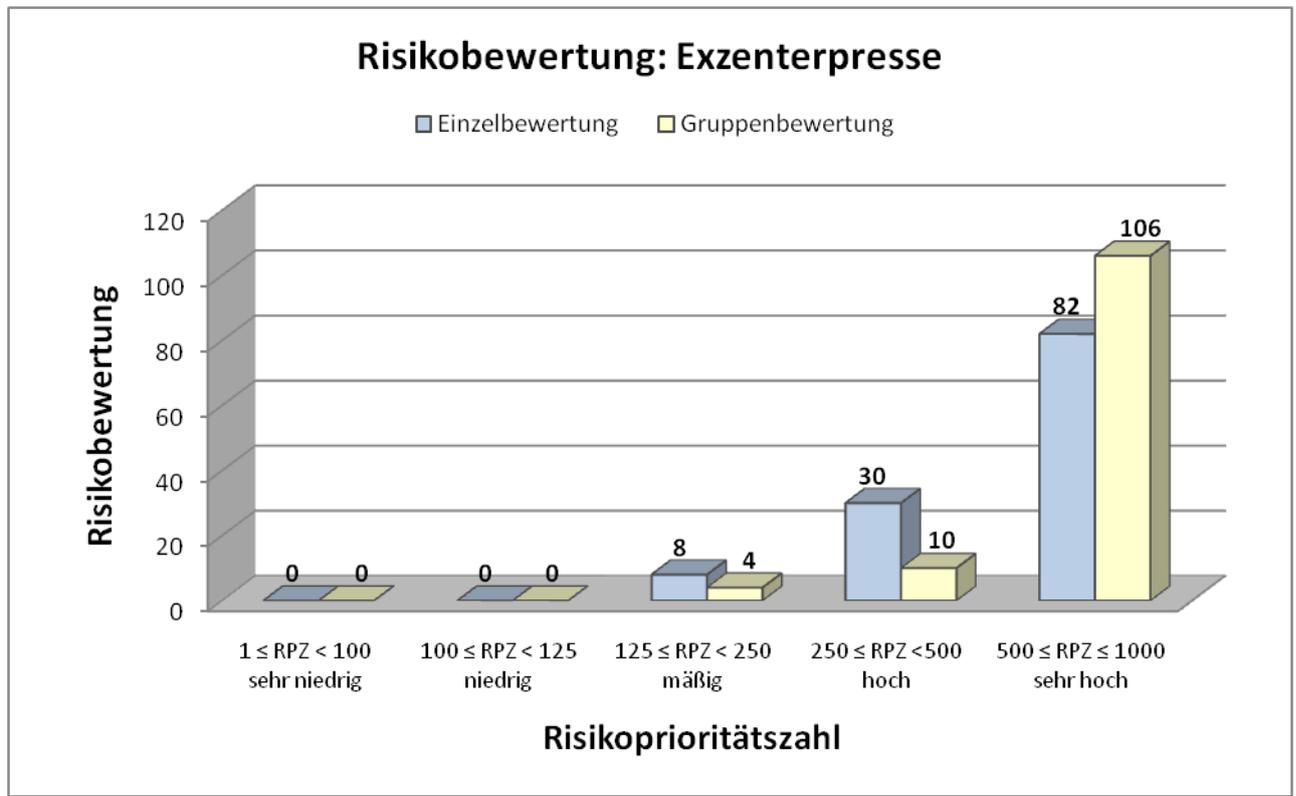


Abbildung 7-7: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für eine Exzenterpresse

#### **Korrekte Risikobewertung: sehr hoch = $500 \leq RPZ \leq 1000$**

Auf der Basis der gut strukturierten und inhaltlichen Gestaltung der modifizierten Bewertungstabellen ist die Tendenz zur richtigen Risikobewertung bei Einzel- und Gruppenbewertungen für die Exzenterpresse sehr hoch. Hier wurden in den Gruppen die richtigen Lösungen gefunden.

Durch die konsequente Anwendung der Bewertungstabellen wurden keine absoluten Fehleinschätzungen (Rang I und II) bei beiden Bewertungsformen vorgenommen.

7.2.1.2.3 Ergebnisse – kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore

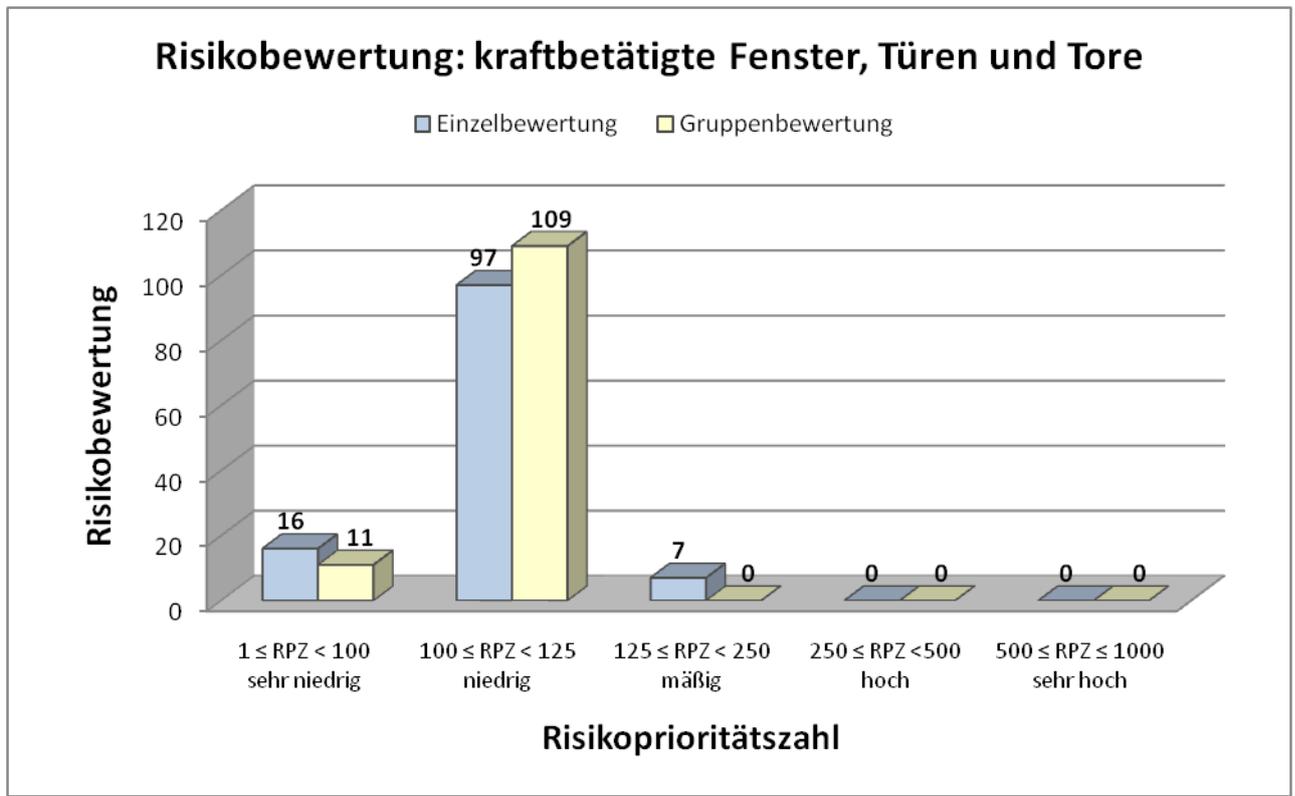


Abbildung 7-8: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore

**Korrekte Risikobewertung: niedrig =  $100 \leq RPZ < 125$**

Die Bewertung mit Hilfe der modifizierten Bewertungstabellen ergab sowohl bei der Einzelbewertung als auch bei der Gruppenbewertung eine Risikoeinschätzung, die dem tatsächlichen Risiko fast zu 100% entspricht. Eine Einstufung in höhere Risikogruppen erfolgte nicht.

7.2.1.2.4 Ergebnisse – Steinspaltmaschine

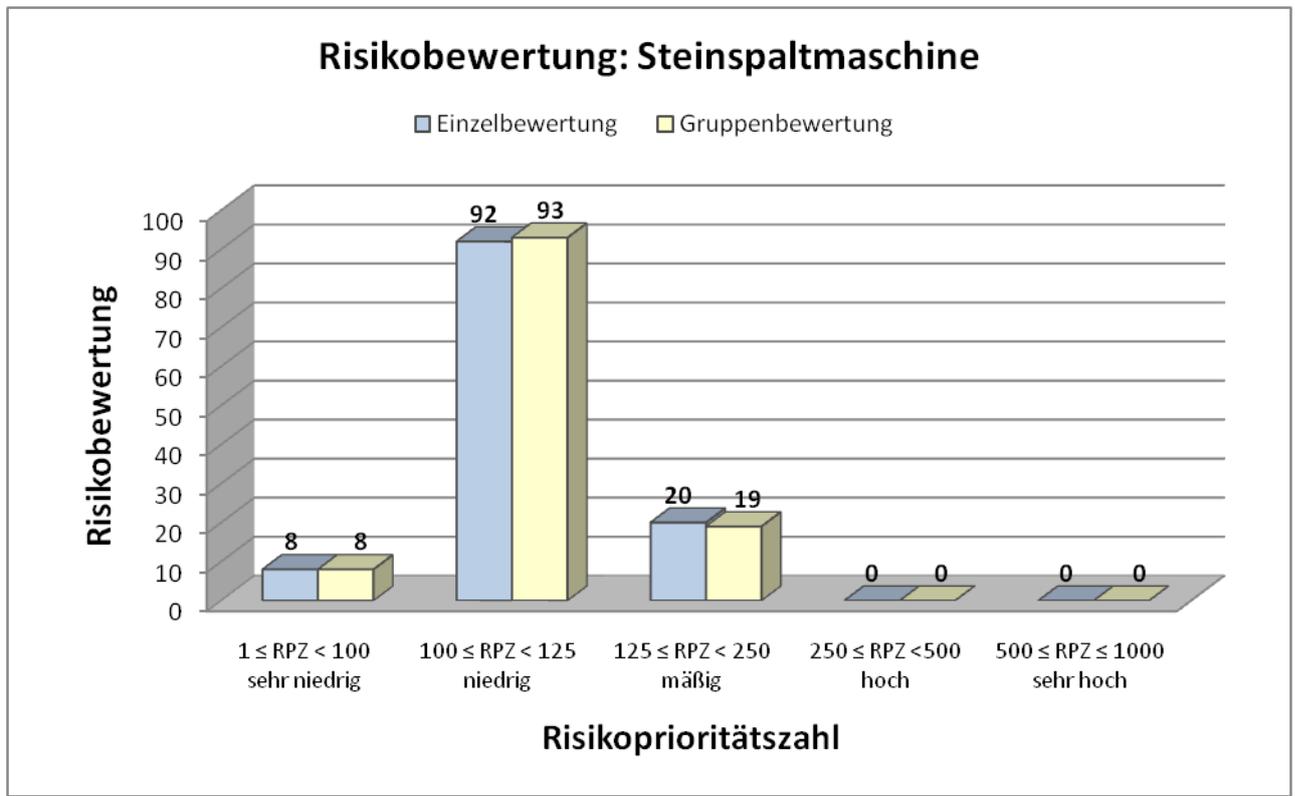


Abbildung 7-9: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für eine Steinspaltmaschine

**Korrekte Risikobewertung: niedrig =  $100 \leq RPZ < 125$**

Die Steinspaltmaschine wurde im Wesentlichen korrekt eingestuft. Hier zeigte sich der größte Vorteil einer Bewertung anhand der definierten Kriterien innerhalb der modifizierten Bewertungstabellen. Die Wahrscheinlichkeit einer groben Fehleinschätzung an unbekanntem Maschinen ist reduziert.

### 7.2.1.2.5 Beurteilung der Risikofehlbewertungen nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen

Obwohl bei der Studienreihe die Situationsbeschreibungen auf einen Standard begrenzt waren und nicht alle, sonst in der Praxis vorhandenen bzw. ermittelbaren Informationen zur Verfügung standen, konnten dennoch anhand der eingesetzten Bewertungskriterien praxisrelevante Bewertungen für den möglichen Gesundheitsschaden (Bedeutung), Auftrittshäufigkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit angegeben werden.

- Einzel- und Gruppenbewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen

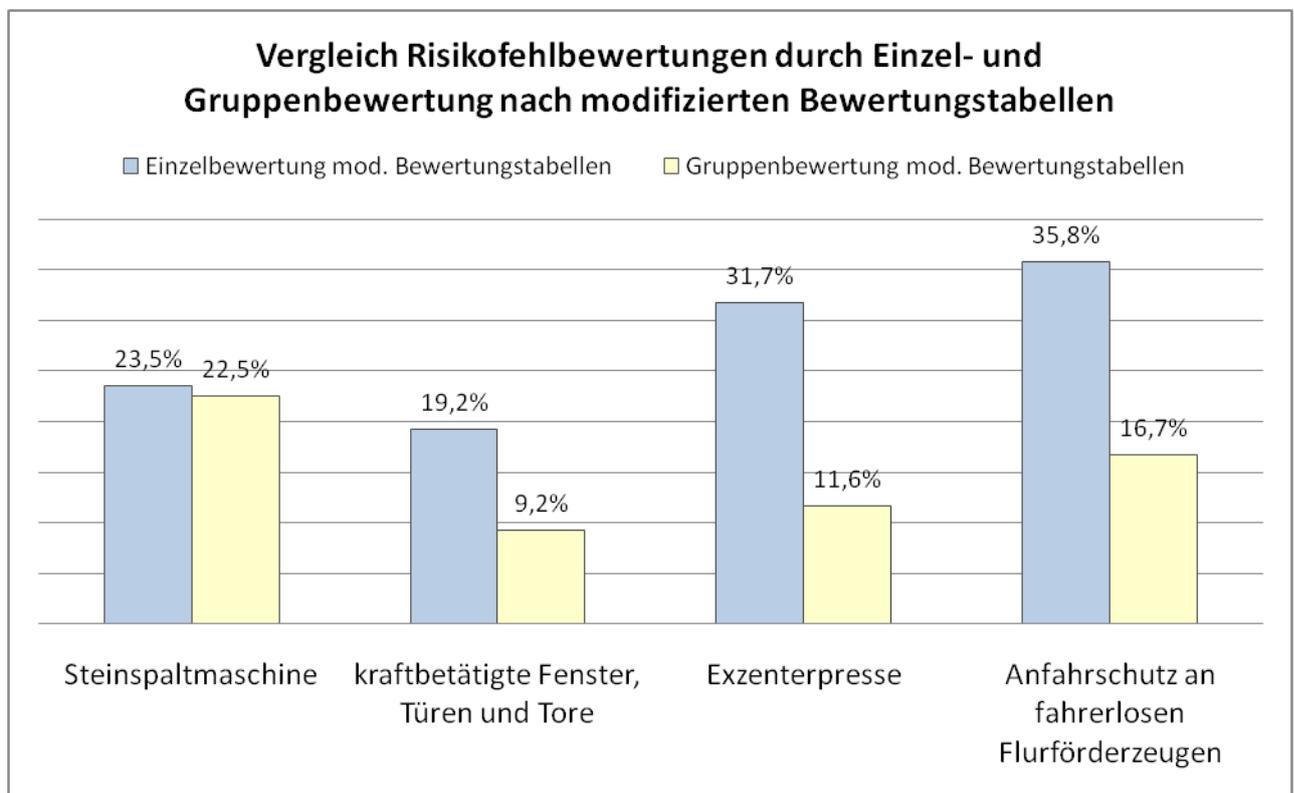


Abbildung 7-10: Vergleich Risikofehlbewertungen durch Einzel- und Gruppenbewertung nach modifizierten Bewertungstabellen

Auch diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass bei einer Gruppenbewertung im Vergleich zur Einzelbewertung die Treffsicherheit für eine korrekte bzw. realistische Risikobewertung erhöht ist. Die Risikofehlbewertungen reduzierten sich bei den Gruppenbewertungen bezogen auf die Ergebnisse der Einzelbewertungen um 0,8% - 20,1%.

Insgesamt schätzten die Probanden bei den Einzelbewertungen das Risiko im Durchschnitt nur zu 27,5% falsch ein. Bei der Gruppenbewertung reduzierte sich der Durchschnittswert der Risikofehleinschätzungen auf 15%.

Die Schwankungen in der Genauigkeit der Risikoeinstufung bei bekannten im Vergleich zu weniger bekannten Maschinen (Steinspaltmaschine) haben sich reduziert, was sich durch die relativ geringe Differenz zwischen der Anzahl von Risikofehlbewertungen bei den einzelnen Maschinen ergibt.

- Zuordnung zur Maßnahmenhierarchie

Über die Zuordnung der RPZ innerhalb der Maßnahmenhierarchie zu den notwendigen Maßnahmen besteht der kausale Zusammenhang zur Erreichung eines vertretbaren Restrisikos sowie eines gerechtfertigten Kosten – Nutzen – Verhältnisses für das Unternehmen.

Unter - bzw. überdimensioniert festgelegte Schutzmaßnahmen aufgrund von Risikofehlbewertungen bei den modifizierten FMEA - Bewertungstabellen haben die gleiche Bedeutung, wie Risikofehlbewertungen nach der Risikograph - Methode.

### **7.2.2 Methodenvergleich**

In den Abbildungen 7–11 bis 7-14 werden die Gegenüberstellungen der Ergebnisse von Risikobewertungen durch Einzel- und Gruppenbewertungen in Abhängigkeit von den eingesetzten Methoden für jedes Bewertungsbeispiel dargestellt.

Die Analyse der Ergebnisse bezieht sich auf die Auswertung des Anteils der Risikofehlbewertungen sowohl bei den Einzel- als auch bei den Gruppenbewertungen im Vergleich zu den verwendeten Methoden Risikograph und modifizierte Bewertungstabellen.

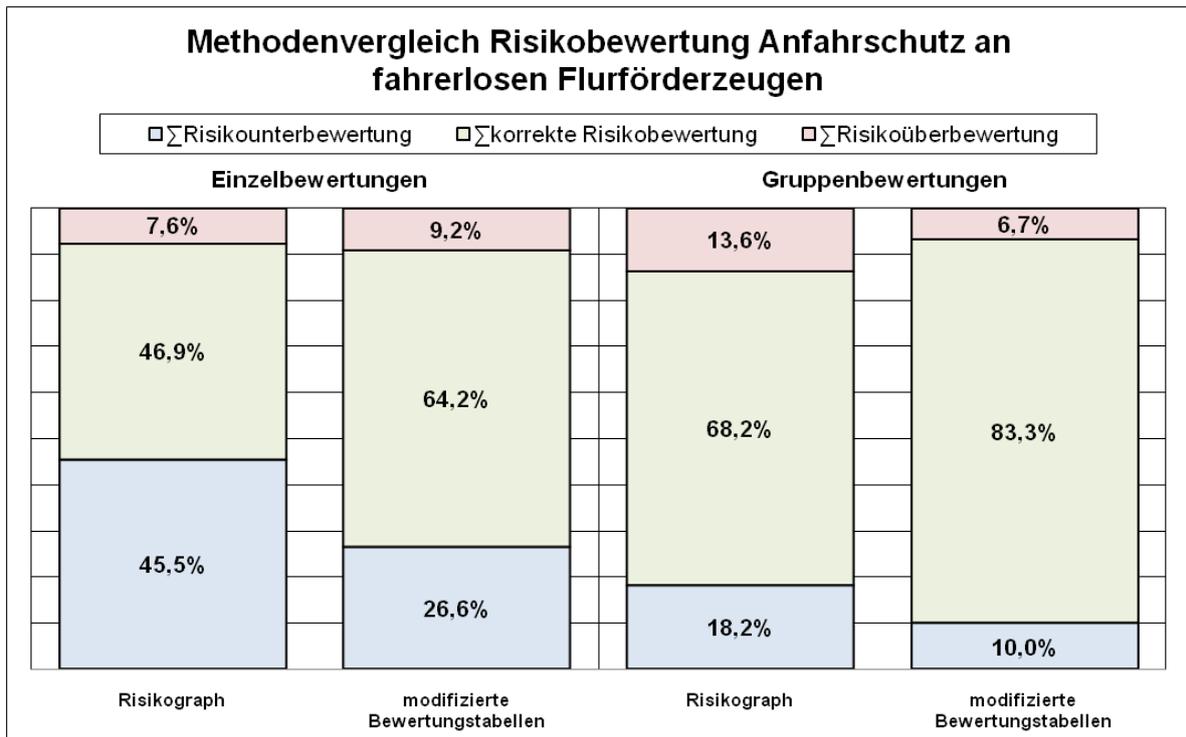


Abbildung 7-11: Methodenvergleich Risikobewertung für einen Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung

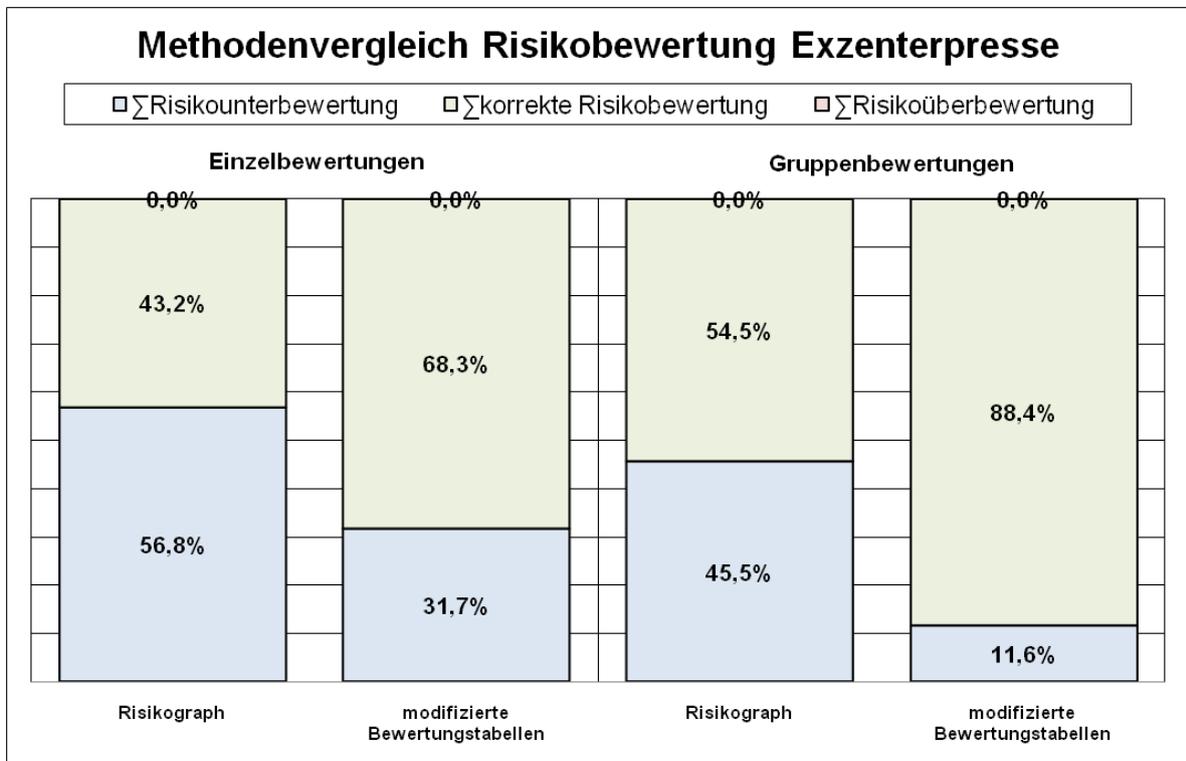


Abbildung 7-12: Methodenvergleich Risikobewertung für eine Exzenterpresse in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung

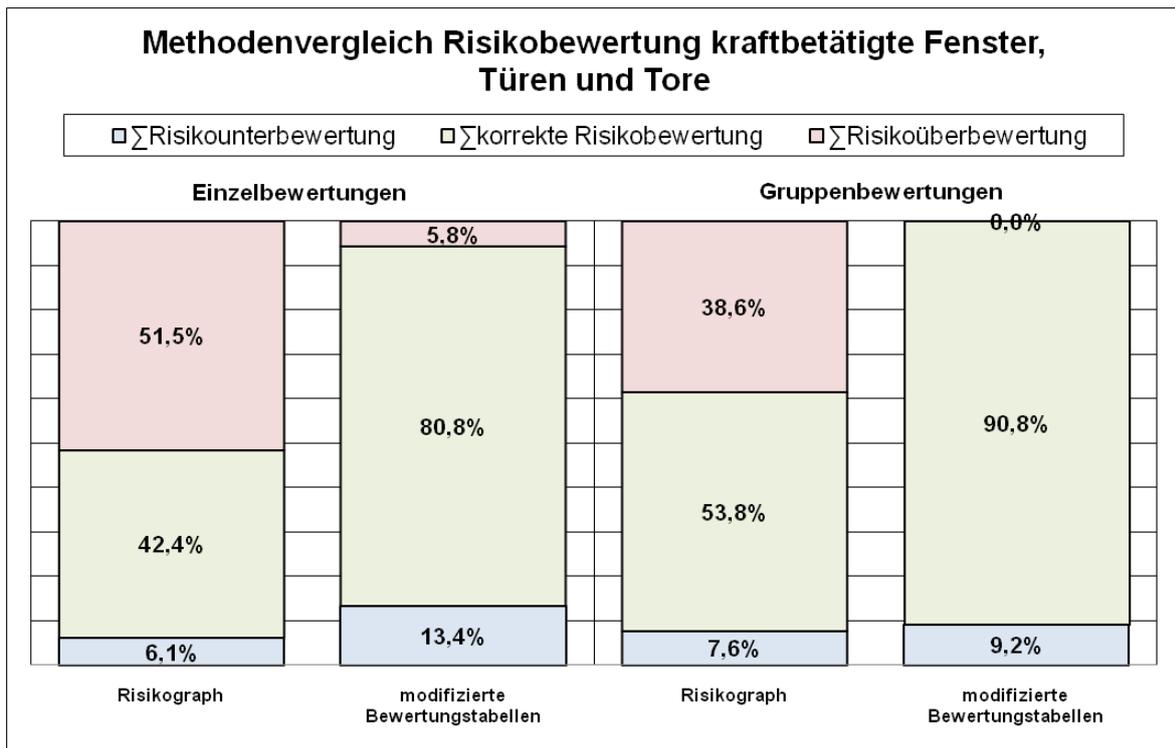


Abbildung 7-13: Methodenvergleich Risikobewertung für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung

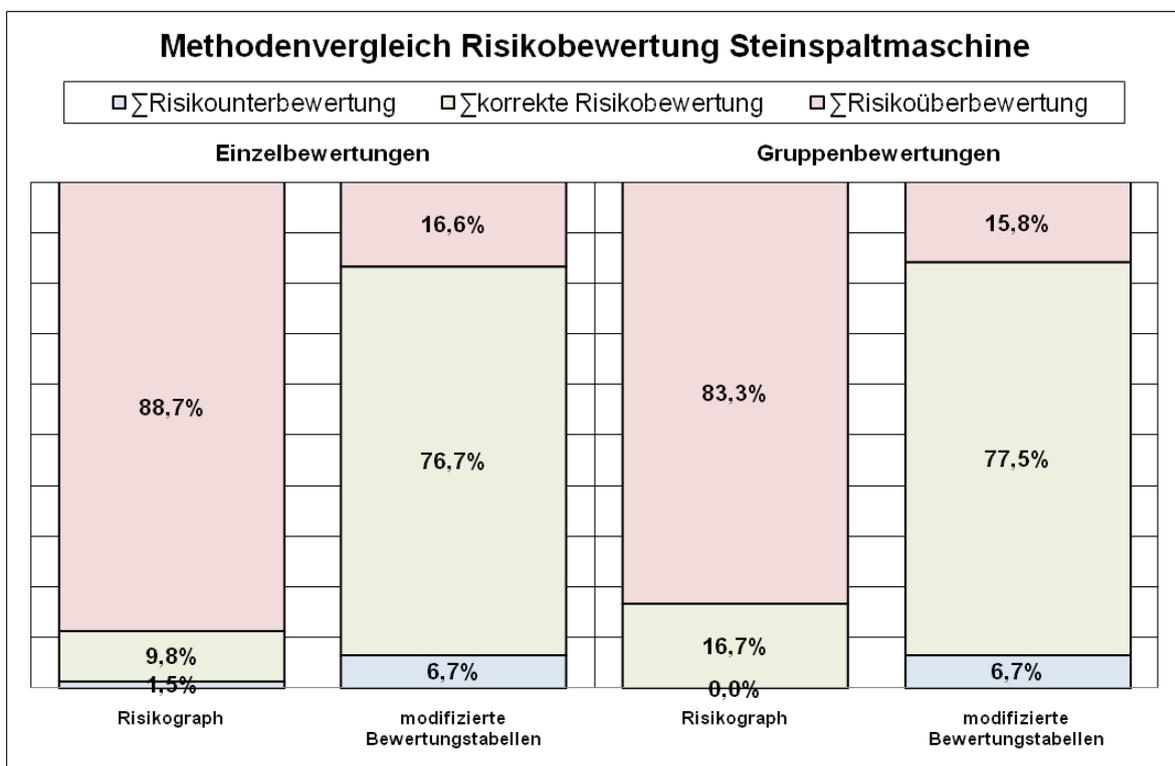


Abbildung 7-14: Methodenvergleich Risikobewertung für eine Steinspaltmaschine in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung

In Ableitung der Ergebnisse lässt sich für alle vier Bewertungsbeispiele schlussfolgern, dass bei der Verwendung des Risikographen als auch beim Einsatz der modifizierten Bewertungstabellen der Anteil der korrekten Risikobewertungen jeweils nach einer Gruppenbewertung höher ist als nach einer vorgenommenen Einzelbewertung. Dies unterstreicht deutlich die Vorteile einer Gruppenarbeit zur Einzelarbeit innerhalb einer Methode.

Bei Betrachtung des Verhältnisses der Risikounterbewertung zur Risikoüberbewertung unabhängig vom tatsächlichen Prozentsatz, spiegelt sich bei den Ergebnissen innerhalb jeweils eines Beispiels die gleiche Tendenz zwischen Einzel- und Gruppenbewertung sowohl nach dem Risikograph als auch nach den modifizierten Bewertungstabellen wider.

So sind die Anteile der Risikounterbewertung beim Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen generell höher im Vergleich zu den Anteilen der Risikoüberbewertung. Die umgekehrte Tendenz, d.h. einen höheren Anteil von Risikoüberbewertungen im Vergleich zu Risikounterbewertungen, zeigt sich bei den Ergebnissen zu kraftbetätigten Fenstern, Türen und Tore sowie bei den Ergebnissen der Steinspaltmaschine.

Das Verhältnis der Über- und Unterbewertung des Risikos bleibt bei der Exzenterpresse ohne Betrachtung, da aufgrund der Musterlösung (Risiko Rang V) keine Überbewertung erfolgen konnte.

- Methodenvergleich: Einzelbewertungen von Risiken

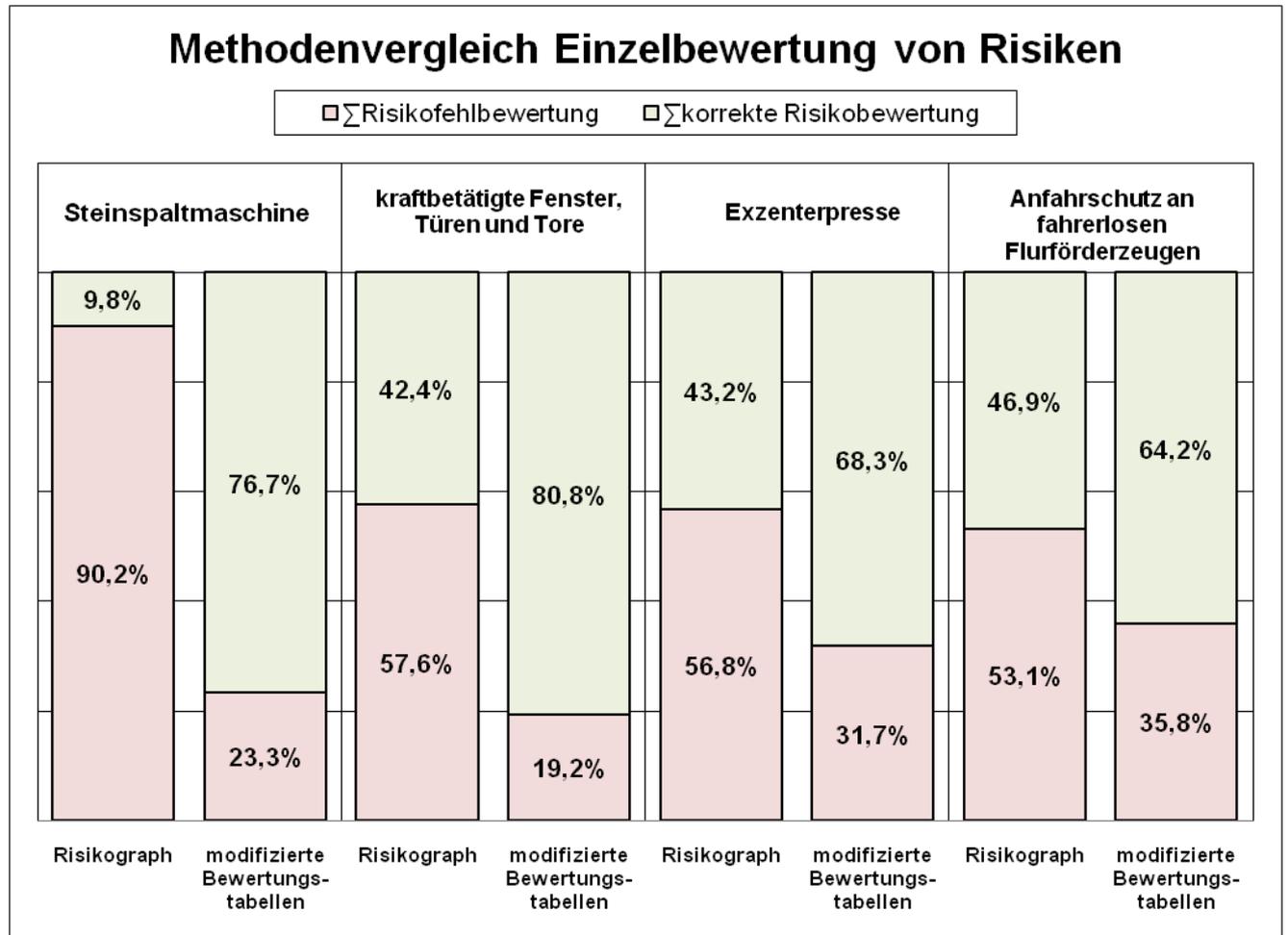


Abbildung 7-15: Methodenvergleich - Einzelbewertungen von Risiken

Die Abbildung der Ergebnisse durch vorgenommene Einzelbewertungen der Risiken belegt den Vorteil der Verwendung modifizierter Bewertungstabellen im Vergleich zum Einsatz des Risikographen. Der Qualitätssprung sowie die Eignung zur Praxisanwendung der modifizierten Bewertungstabellen kann an der Reduzierung von Risikofehlbewertungen um 17,3% - 66,9% gegenüber den Bewertungsergebnissen nach dem Risikograph gemessen werden.

Besonders deutlich wird der positive Einfluss möglichst vieler, nachvollziehbarer Bewertungskriterien auf die Ermittlung des bestehenden Risikos bei einer Steinspaltmaschine, die weitgehend unbekannt im Maschinenbau ist. Die Defizite im Bekanntheitsgrad und somit auch die mangelnden Erfahrungen bei der Risikobewertung wurden durch die modifizierten Bewertungstabellen kompensiert. Die Reduzierung der Risikofehlbewertungen beträgt 66,9%.

- Methodenvergleich: Gruppenbewertungen von Risiken

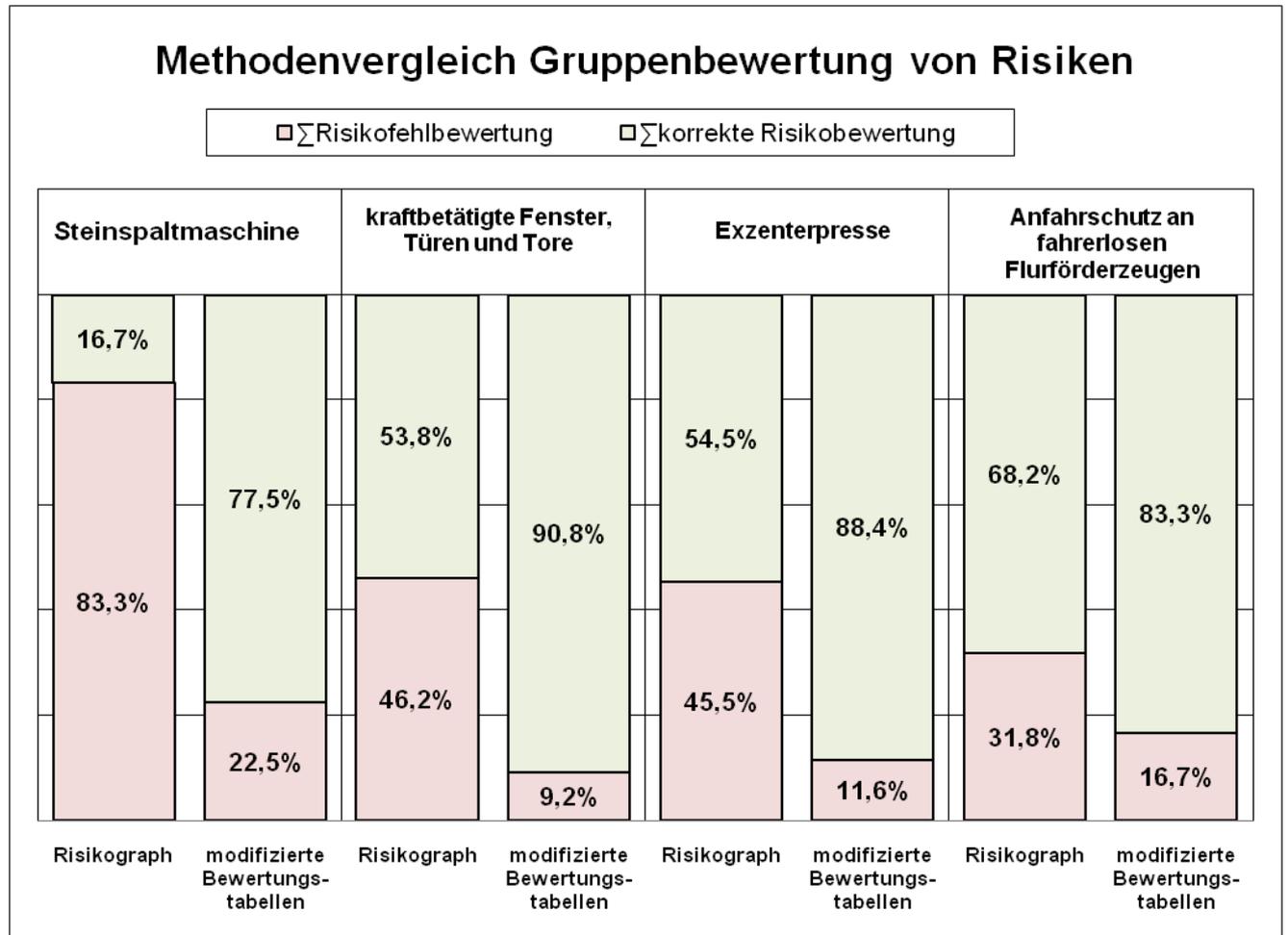


Abbildung 7-16: Methodenvergleich - Gruppenbewertungen von Risiken

Analog zu den Ergebnissen aus den Einzelbewertungen bestätigen auch die Ergebnisse der Risikobewertungen durch Gruppenarbeit den positiven Einfluss modifizierter Bewertungstabellen als Hilfsmittel und Informationsspiegel zur Entscheidungsfindung des Anwenders.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Risikobewertungen nach Risikograph konnten die Risikofehlbewertungen bei Verwendung der modifizierten Bewertungstabellen um 15,1% - 60,8% reduziert werden.

- Methodenvergleich: Risikobewertungen durch Gruppenbewertung nach Risikograph zu Risikobewertungen durch Einzelbewertungen nach modifizierten Bewertungstabellen

Wie aus den bisherigen Auswertungen der Grafiken zu entnehmen ist, bestätigte sich für beide Methoden der Vorteil der Gruppenarbeit auf das Ergebnis der korrekten Risikobewertung. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Einzelbewertung nach modifizierten Bewertungstabellen mit den Ergebnissen der Gruppenbewertung nach Risikograph in Abbildung 7-17 lässt weitere Aussagen über die Wertigkeit beider Methoden im Vergleich zu.

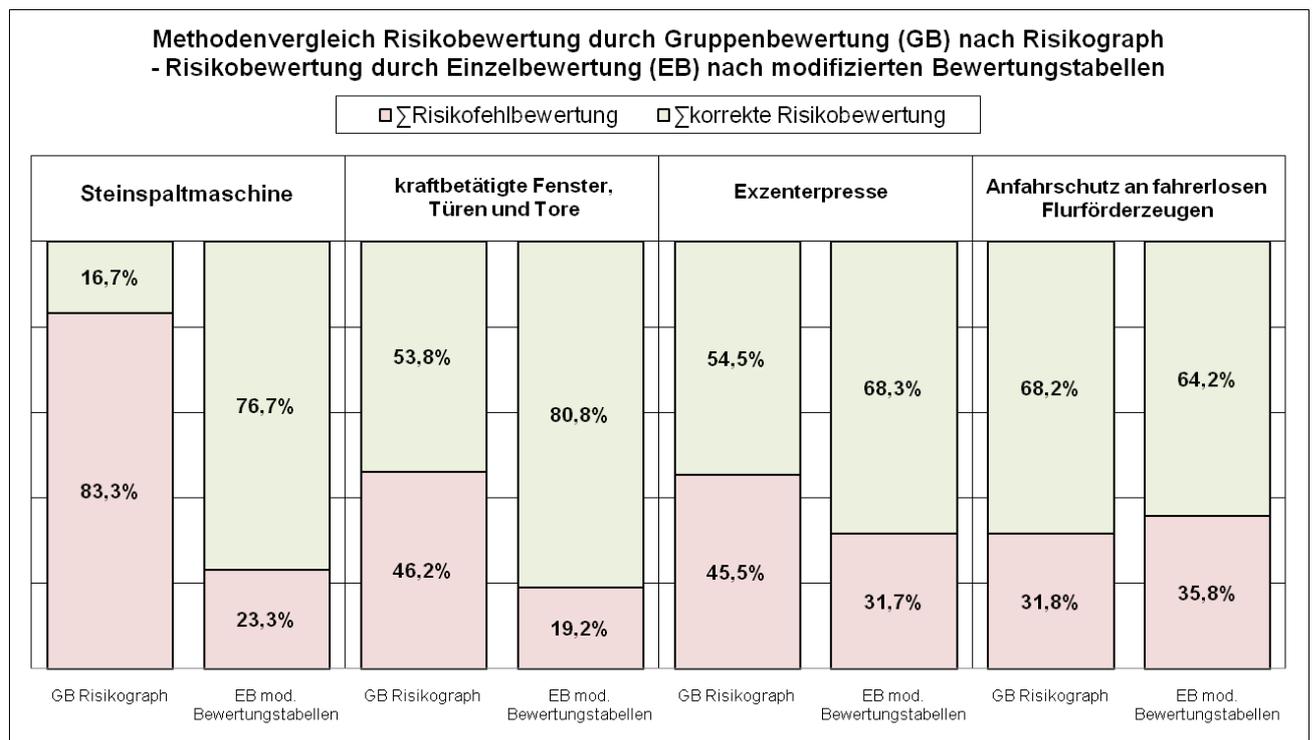


Abbildung 7-17: Risikobewertungen durch Gruppenbewertung nach Risikograph im Vergleich zu Risikobewertungen durch Einzelbewertungen nach modifizierten Bewertungstabellen

Anhand der Grafikauswertung ist zu sehen, dass der Vorteil der Gruppenarbeit aus dem Vergleich zur Einzelbewertung bei der Verwendung des Risikographen gegenüber den Ergebnissen der Einzelbewertung bei Verwendung der modifizierten Bewertungstabellen nicht erhalten bleibt.

Die mit Hilfe der modifizierten Bewertungstabellen vorgenommenen Einzelbewertungen ergaben für drei von den vier Beispielen eine Reduzierung der Risikofehlbewertung. So reduzierten sich die Fehlentscheidungen bezüglich des tatsächlich bestehenden Risikos um 60,0% bei der Steinspaltmaschine, um 27,0% bei kraftbetätigten Fenster, Türen und Tore sowie um 13,8% bei der Exzenterpresse. Die Ergebnisse für das bewertete Risiko eines An-

fahrschutzes an fahrerlosen Flurförderzeugen sind für beide Bewertungsformen fast identisch.

Fazit:

- Der Anteil der Risikofehlbewertungen war bei allen vier Situationsbeispielen nach der Ermittlung durch den Risikographen im Vergleich zur Anwendung der modifizierten FMEA - Bewertungstabellen höher. Dies bezieht sich sowohl auf die Einzel- als auch auf die Gruppenbewertung.

Die Anwender des Risikographen waren aufgrund der eingeschränkten Auswahlmöglichkeiten, der ungenauen und größtenteils unklaren Zuordnung von Bewertungskriterien nicht in der Lage, das bestehende Risiko korrekt zu bewerten. Besonders nachteilig wirkte sich dieses bei den Risikobewertungen durch Teilnehmer aus, die keine oder nur geringe Erfahrungen bzw. Kenntnisse über Maschinen / Situationen hatten.

Die aufgeführten Nachteile wurden durch die Verwendung der modifizierten Bewertungstabellen komprimiert und spiegeln sich in den geringeren Risikofehlbewertungen bei allen Teilnehmern in Einzel- und Gruppenbewertungen wider.

- Die Risikofehlbewertungen für unbekannte oder sehr spezifische Maschinen (siehe Steinspaltmaschine) sind nach der Anwendung des Risikographen sowohl bei der Einzel- als auch bei der Gruppenbewertung vermehrt aufgetreten. Das bestätigt die Aussage, dass gerade bei fehlenden Kenntnissen und Erfahrungen des Bewertenden der Einsatz des Risikographen ungeeignet ist und folglich mit einer hohen Anzahl von Fehlentscheidungen zu rechnen ist.

Im Vergleich hierzu zeigen die Bewertungsergebnisse bei der Einzel- und Gruppenbewertung nach den modifizierten Bewertungstabellen der FMEA eine deutliche Reduzierung der Fehlbewertungen der Risiken für die von den Teilnehmern kaum bekannten Maschinen. Es ist davon auszugehen, dass bei der Bewertung von Risiken, unabhängig von der Erfahrung mit den Maschinen oder nur den allgemeinen Kenntnissen zu den Maschinen der Bewertende durch die Anwendung der modifizierten FMEA - Bewertungstabellen eine hohe Treffsicherheit erzielen kann. D. h., die Qualität der Risikobewertung, der damit zusammenhängenden Risikominimierung sowie die Rechtfertigung wirtschaftlich beeinflussender Faktoren, gewinnt um ein Vielfaches.

- Der Vorteil einer Gruppenbewertung im Vergleich zur Einzelbewertung konnte innerhalb beider Bewertungsmethoden nachgewiesen werden. Dabei kann die Heterogenität der Gruppe - das Zusammentreffen von Erfahrungen und Fähigkeiten der Argumentation, Entscheidungsfindung sowie Umsetzung von Erkenntnissen - ein wesentlicher Faktor für die korrekte Risikobewertung sein. Außer Frage ist natürlich der positive Zusammenhang zwischen der Risikobewertung und einer homogen, fachkompetenten Gruppe. Diese Einflussfaktoren werden jedoch bei der Auswertung der Studie nicht weiter berücksichtigt.
- Die verwendeten Methoden hatten keinen Einfluss auf das Verhältnis zwischen der Risikounter- und Risikoüberbewertung. Innerhalb der Bewertung für jeweils ein Beispiel war die Tendenz für die Unter- bzw. Überbewertung ohne Berücksichtigung der absoluten Werte der Bewertungsvarianten gleich. Infolge der Zuordnung des ermittelten Risikos zur Maßnahmenhierarchie sind sicherheitstechnisch aber auch wirtschaftlich unter- bzw. überdimensionierte Fehlentscheidungen zu erwarten. Bestehende Einflüsse auf das Verhältnis von Über- oder Unterbewertung von Risiken sowie Auswirkungen auf den Erfüllungsgrad von Anforderungen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte wurden im Rahmen der Studie nicht analysiert.
- Der Vergleich der Risikofehlbewertungen in Abhängigkeit von den angewandten Methoden zeigt insgesamt ein deutlich besseres, genaueres Ergebnis bei der Anwendung der modifizierten FMEA - Bewertungstabellen gemessen an den vorliegenden Musterlösungen. Unterstützt wird diese Aussage durch die geringere Anzahl von Fehlbewertungen bei Einzelbewertungen nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen im Vergleich zu den Fehlbewertungen durch Gruppenbewertungen nach Risikograph, obwohl innerhalb der Methoden jeweils positive Effekte bzw. die Trefferquoten bezüglich des tatsächlich bestehenden Risikos einer Gruppenbewertung gegenüber einer Einzelbewertung nachweislich waren. Damit kann den modifizierten FMEA - Bewertungstabellen als Methode zur Risikobewertung eine höhere Wertigkeit im Vergleich zur Bewertungsmethode nach Risikograph zugeordnet werden.
- Als Einflussgrößen auf die Ergebnisqualität können die konsequente Anwendung der Bewertungstabellen, die Anpassung des Spektrums von Bewertungskriterien an betriebliche Gegebenheiten bzw. Anforderungen von Stakeholdern sowie die fachliche Kompetenz des / der Bewertenden definiert werden. Im Vergleich beider Methoden, Risikograph und modifizierte FMEA - Bewertungstabellen wurde herausgestellt, je genauer die

Bewertungskriterien auf das zu bewertende Risiko abgestimmt sind, um so höher ist die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Risikobewertung.

Ein Ranking der genannten Einflussgrößen war nicht Gegenstand der Studienanalyse.

### **7.3 Gefährdungsbeurteilung mit Hilfe der modifizierten FMEA**

In einem Automobilzulieferbetrieb wurden die gesetzlichen Forderungen zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung nur teilweise erfüllt. Im Rahmen des Qualitätsmanagements wurde vor jeder Anpassung der Anlagen, jeder Produktmodifikation oder Verfahrensänderung im Vorfeld eine Ausfalleffektanalyse durchgeführt. Dabei wurden mögliche Fehler und Auswirkungen auf das Produkt analysiert und dokumentiert. Im Rahmen einer Prüfungsarbeit für Aufsichtspersonen [99] wurde die Frage gestellt, ob eine Gefährdungsbeurteilung und die Festlegung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes in dieses bestehende Verfahren zu integrieren sei. Synergieeffekte und eine Kostenreduktion sollten erreicht werden.

Im Unternehmen bestand kein IMS, die Forderungen der Stakeholder waren nicht gebündelt, der moderne generalisierte Ansatz des Entstehungsmodells für Unfälle und Krankheiten war nicht eingeführt.

Zunächst wurde das Entstehungsmodell für Unfälle und Krankheiten erklärt und das Formblatt der FMEA in den entsprechenden Spalten ergänzt. Die Bewertungstabellen wurden im ersten Schritt nicht angepasst. Bei der Durchführung wurde festgestellt, dass die unklaren Zuordnungen der Bewertungsziffern Schwierigkeiten verursachten. Vom FMEA - Team wurde unter der Federführung des Moderators Beschreibungen zur Bewertung und Zuordnen der Ziffern erstellt.

Mit dieser Prüfungsarbeit konnte gezeigt werden, „dass die FMEA eine Methode ist, die sich durch ihre systematische und konsequente Vorgehensweise für die Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen und Festlegung von Maßnahmen eignet“ ([99], Seite 40).

### **7.4 Risikobeurteilung mit Hilfe der modifizierten FMEA**

2007 wurde für eine Umreifungsmaschine eine Risikobeurteilung nach Maschinenrichtlinie mit Hilfe der modifizierten FMEA durchgeführt. Dabei wurde das in Anhang I modifizierte Formblatt mit den modifizierten Bewertungstabellen eingesetzt. Hier wurde jedoch gefordert, eine zusätzliche Spalte in die Struktur aufzunehmen, um einen Bezug zwischen der Forderung aus der Produktnorm (Gliederungspunkt) und den Gefährdungsfaktoren herzustellen. Da diese Forderung unabhängig von der eigentlichen Durchführung der Risikobeurteilung ist, wird die Durchführung als Validierung akzeptiert [115, 116]. Des Weiteren findet seit 2009 bei der Maschinenbau-Metallberufsgenossenschaft ein Seminar „GRFMEA“ statt, bei dem die Methode der FMEA zur Risikobeurteilung angewandt wird [117]. Dieses Seminar wurde im Rahmen dieses Dissertationsvorhabens entwickelt. Der Seminarablaufplan befindet sich im Anhang V.

### **7.5 Erstellung Explosionsschutzdokument mit Hilfe der modifizierten FMEA**

Der Nachweis der Tauglichkeit der modifizierten FMEA zum Erstellen von Explosionsschutzdokumenten wurde im Rahmen einer Studien- und Diplomarbeit, die Bestandteil dieses Dissertationsvorhabens sind, erbracht [97, 98]. Die Studienarbeit hatte das Ziel, den Dokumentationsaufwand für das Erstellen eines Explosionsschutzdokumentes für die 1700 Maschinen, Anlagen und Einrichtungen der Firma Robert Bosch GmbH, Werk Homburg unter Nutzung der FMEA zu reduzieren.

Dazu wurden einerseits die unterschiedlichen Anlagen und andererseits die unterschiedlichen Gefahrstoffe geclustert. Anschließend wurde ein FMEA Team gebildet und die Bewertungstabellen für das Unternehmen definiert. Die hierbei vorgenommene Abweichung von den Zeitintervallen zur Zoneneinteilung nach Dyrba [147] basierte auf unterschiedlichen Überlegungen. Z.B. wurde bei einer Prüfanlage hinterfragt, wie häufig eine Dichtring platzt und es dadurch zu einer Zerstäubung des Öles kommt, oder mit welchen unterschiedlichen Temperaturen und Drücken werden die Öle in Abhängigkeit der unterschiedlichen Verfahrensparameter der Anlagen benutzt, welche R-Sätze stehen zur Verfügung.

Die Ziffernzuordnung der Bewertungstabelle Entdeckbarkeit (in der Studienarbeit als Entdeckungswahrscheinlichkeit-Vermeidung einer g.e.A. bezeichnet), wurde im Wesentlichen nach fehlenden Prüfungen, Prüffristen usw. sowie nach nicht qualifiziertem Personal vorgenommen. Die Ziffern der Bewertungstabelle Bedeutung wurde auf die möglichen wirksamen

Zündquellen in Abhängigkeit der Anlagen vergeben. Die unterschiedlichen Schäden und Folgen einer Explosion wurden zu diesem Zeitpunkt nicht berücksichtigt, da die Unternehmensvorgabe lautete, alle Maßnahmen unabhängig von entstehenden Kosten, umzusetzen.

Die auf der Grundlage der Studienarbeit erstellten Dokumente wurden dem zuständigen Gewerbeaufsichtsamt des Saarlandes und der Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik vorgelegt und als Umsetzung der Forderung der Betriebssicherheitsverordnung akzeptiert.

Die Diplomarbeit „Entwicklung eines Leitfadens zur effizienten Durchführung einer FMEA für Arbeitsschutzprozesse unter Verwendung eines geeigneten IQ-Tools“ wurde bei dem Unternehmen GKN in Trier erstellt. Ausgangspunkt war, dass das Unternehmen deutschlandweit die FMEA im Qualitätsbereich einsetzt und die Dokumentation softwaregestützt durchführt. Ziel der Arbeit war, die Vorgaben der Betriebssicherheitsverordnung für das Erstellen eines Explosionsschutzdokumentes mit der gleichen Software zu erfüllen. Dazu wurden die Bewertungstabellen zur Auftretenswahrscheinlichkeit der g.e.A. in Analogie zu der Fachtagung Merseburg erstellt, der Auftretenswahrscheinlichkeit einer wirksamen Zündquelle und die Bewertungstabelle für die Entdeckbarkeit mit den Eingabemöglichkeiten verschiedenen Programme verglichen und ein Anforderungsprofil für eine entsprechende Software erstellt. Anschließend wurden Explosionsschutzdokumente im Unternehmen für verschiedene Anlagen erstellt.

## 8 Schlussbetrachtung

### 8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form eines inhaltlichen Abgleichs mit der Zielsetzung der Arbeit. Das Hauptziel der Arbeit bestand in der Entwicklung und Praxisanwendung eines geeigneten Instruments zur Konkretisierung des generalisierten Ansatzes des Generic - Managements am Beispiel eines Integrierten Management Systems. Diese Aufgabenstellung wurde durch Modifizierungen der FMEA - Methode und deren Elemente als bekanntes Instrument aus dem Subsystem Qualitätsmanagement umgesetzt.

- Ableitung und Erarbeitung des Anforderungsprofils an ein Generic - Instrument für den Arbeitsschutzbereich



Die Analyse und Bewertung von Anforderungen aus der Maschinenrichtlinie, des Arbeitsschutzgesetzes und der Betriebssicherheitsverordnung an die Unternehmen ergaben auf Grund unterschiedlicher sowie unklarer Begriffsinterpretationen ein dezentrales Bild von Anforderungsspektren. Diese Problematik wirkt erschwerend auf die Anwendung vorhandener Methoden und Instrumente im Arbeitsschutz, signalisiert durch einen unzureichenden Erfüllungsgrad von Anforderungen, z.B. bezogen auf die Umsetzung von Gefährdungsbeurteilungen [16, 19, 20].

Die vorgenommene Konkretisierung sowie Konsolidierung ausgewählter Anforderungen aus dem Arbeitsschutz sowie die Definition von Anforderungen aus dem WGMK und Qualitätsmerkmalen bilden die grundlegende Basis für das erarbeitete Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich. Diese klare Zuordnung von Anforderungen definierte den Rahmen bzw. die Voraussetzung der notwendigen Schritte zur Entwicklung eines Generic - Instrumentes im Arbeitsschutz, die systematisch entsprechend der Zielvorgaben umgesetzt wurden.

- Entwickeln einer Generic - FMEA als Instrument im Bereich des Arbeitsschutzes zur Prozessoptimierung im Wuppertaler Generic-Management-Konzept



In der vorliegenden Arbeit wurde analysiert, inwieweit das qualitäts- und produktbezogene Instrument der FMEA dem definierten Anforderungsprofil aus dem Arbeitsschutzbereich entsprechen kann.

Mit der Gleichsetzung der Begriffsterminologie Fehler = Schaden konnten die Analogien zwischen dem Verfahrensablauf der FMEA und den Forderungen begrenzt, aus der Maschinenrichtlinie, dem Arbeitsschutzgesetz und der Betriebssicherheitsverordnung, identifiziert werden.



Anforderung an Generic - Instrument:  
Kompatibilität von Fehler - und Schadensdefinition



Die identische Vorgehensweise – Identifizieren, Beurteilen und Bewertung von Fehlern / Schäden / Störungen sowie Ableiten von Korrekturmaßnahmen zur Vermeidung derselben – erlaubte es, die FMEA als entwicklungsfähiges Instrument im Subsystem Arbeitsschutz zu erproben. Gleichzeitig eröffnete sich so die Perspektive, den generalisierten Ansatz des Generic -Management-Konzeptes durch die Entwicklung und Implementierung einer Generic - FMEA zu komplettieren.

Dazu wurden die Begriffe Fehler aus dem Qualitätsbereich und Schaden aus dem Arbeitsschutzbereich dem Begriff Störung subsumiert. Störung beschreibt dabei einen Zustand, Prozess, der mit Hilfe der Generic - FMEA betrachtet wird.

Aus den Ergebnissen eines Soll-Ist-Vergleiches der Inhalte vorhandener FMEA-Formblätter zu den geforderten Inhaltsmerkmalen aus dem Subsystem Arbeitsschutz liegt die in der Arbeit als Kernschwerpunkt vorgenommene Entwicklung von modifizierten Formblättern und Bewertungstabellen begründet.

Die Gestaltungskriterien Flexibilität und Anpassungsfähigkeit bildeten dabei die dominanten Ansatzpunkte für die Modifizierung der Formblätter / Bewertungstabellen. Dies sichert die Grundlage, dynamischen Prozessen der Anforderungsdefinitionen verschiedener Stakeholder sowie denen der Entwicklung von Integrierten Management Systemen gerecht zu werden. Die entwickelte Systematik in der Modifizierbarkeit einer Generic - FMEA schafft die Voraussetzung, dieses Handlungsinstrument im Gesamtkonzept des Wuppertaler Generic - Managementsystems zu erproben.

Eine erfolgreiche Umsetzung bzw. Anwendung der Generic - FMEA in allen (oder auch schon in einigen) Subsystemen innerhalb eines Unternehmens lässt auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse aus den durchgeführten Praxisversuchen genügend Spielraum, um gewinnbringende Unternehmensperspektiven, wie z.B. Erhöhung der Rechtskonformität, verbesserte Reaktionsfähigkeit bei Unternehmensentscheidungen bzw. –strategien, höhere wirtschaftliche Effizienz positiv zu beeinflussen.



Anforderung an Generic - Instrument:

Flexibilität und Modifizierbarkeit am Beispiel der Anforderungen aus dem Arbeitsschutz, Anpassungsfähigkeit an Gesetze und Verordnungen



- Integration des Erklärungsmodells zur Entstehung von Unfällen und arbeitsbedingten Erkrankungen in den Entwicklungsprozess der Generic - FMEA im Bereich des Arbeitsschutzes



Entsprechend der Zielformulierungen erfolgte die Modifizierung der FMEA für das Subsystem Arbeitsschutz auf der Basis der Anforderungen aus der Maschinenrichtlinie, dem Arbeitsschutzgesetz und der Betriebssicherheitsverordnung sowie der Integration des „Erklärungsmodells zur Unfallentstehung“.

Die gelungene Implementierung der Begrifflichkeiten Analyse zur Gefahrenquelle, Gefährdungsfaktor, gefahrbringende Bedingungen aus dem Erklärungsmodell in die modifizierte FMEA ist eine entscheidende Voraussetzung für deren erfolgreiche Praxisumsetzung



Anforderung an Generic - Instrument:

Möglichkeit der Implementierung bzw. Integrierung verschiedener Methoden, Instrumente und Denkmotive aus dem Arbeitsschutz



- Schaffung einer Basis zur breiten Wissens- und Praxisanwendung der Generic - FMEA durch den Anspruch als Schulungsmodul im Arbeitsschutz



Die Forschungsergebnisse der vorliegenden Arbeit bilden die Grundlage für ein neues Seminar, welches ab Januar 2009 bei der Vereinigung der Metallberufsgenossenschaften angeboten wird. Die Inhalte der Lernmodule sind identisch mit der in der Arbeit erprobten Vorgehensweise zur Gefährdungs- und Risikobeurteilung durch Anwendung der Generic - FMEA. Im Hinblick auf die Entwicklung der Generic - FMEA zum Standardinstrument im WGMK werden als Zielgruppe Mitarbeiter angesprochen, die die Gefährdungs- oder Risikobeurteilung durchführen und mit dem Verfahren der FMEA bereits vertraut sind. Die Erweiterung der Wissensgrundlage zum flexiblen Einsatz einer modifizierten FMEA ist ein entscheidender Prozess zur Realisierung des angestrebten Gesamtkonzeptes.



Anforderung an Generic - Instrument:

Schulungsmodul zum Einsatz in Arbeitsschutzseminaren



- Validierung der Ergebnisse



Die Anwendung der Generic - FMEA auf der Grundlage der modifizierten Dokumentationsstrukturen und -inhalte wurde im Rahmen der Anforderungen speziell für die Risikobewertung und Gefährdungsbeurteilung aus den oben genannten Gesetzen und Verordnungen des Arbeitsschutzes geprüft. Die erzielten Ergebnisse der erarbeiteten Gefährdungsbeurteilungen sowie der erstellten Explosionsschutzdokumente belegen die Schlüssigkeit in der Umsetzungsmethodik der Generic - FMEA, was als deren Praxistauglichkeit zu werten ist. Die Methoden aus dem Arbeitsschutz, Risikograph und Verfahren nach Nohl zur Risikobewertung und Gefährdungsbeurteilung, lassen sich durch die Anwendung der modifizierten Instrumente der Generic - FMEA ersetzen.



Anforderung an Generic - Instrument:

Möglichkeit der Implementierung bzw. Integration verschiedener Methoden, Instrument und Denkmotive aus dem Arbeitsschutz



Gleichzeitig lässt sich bei weiterführender Betrachtung als Folge konkreterer Analysen der Vorgaben und Forderungen von Stakeholdern eine positive Korrelation zur Dokumentationsqualität sowie zur Rechtskonformität schlussfolgern.



Anforderung an Generic - Instrument:

Maximale Optimierung des Erfüllungsgrades von Anforderungen zur Risiko- und Gefährdungsbeurteilung und deren Bewertung



- Durchführung einer Vergleichsstudie zur Umsetzung der Risikobeurteilung nach der Risikograph - Methode und modifizierten Bewertungstabellen. Prüfung auf Implementierung bzw. Ersetzbarkeit der Risikograph - Methode durch die Generic - FMEA



Anhand der Resultate einer Studie zur Risikobewertung an vier Beispielmaschinen lassen sich weitere Maßstäbe zur Beurteilung der Wertigkeit der modifizierten FMEA mit seinen Dokumentationsinstrumenten darstellen. Neben der nachgewiesenen Praxistauglichkeit sowie den erzielten Synergien zur Dokumentationsqualität sowie Rechtskonformität ergab sich für die Bewertung nach modifizierten Bewertungstabellen der Generic - FMEA im Vergleich zur Verwendung des Risikographen (bekannte Bewertungsmethode) auch ein Qualitätssprung bezüglich Reduzierung von Risikofehlbewertungen durch die Probanden.

Die konsequente Umsetzung sowohl der FMEA, der Anforderungen aus den arbeitsschutzrechtlichen Gesetzen und Verordnungen als auch die im Ergebnis entwickelte Generic - FMEA verlangt vom Anwender generell als letzten Arbeitsschritt das Ableiten von Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern / Schäden / Störungen. Im Subsystem Arbeitsschutz setzt dieses eine Verknüpfung der ermittelten Risiken (Risikoprioritätszahl) mit den notwendigen Schutzmaßnahmen entsprechend der gesetzlich vorgegebenen Maßnahmenhierarchie voraus.

Hier setzt ein weiterer Entwicklungsprozess innerhalb des Generic - Ansatzes als Bestandteil der vorliegenden Arbeit an. Die erarbeitete Systematik der Zuordnung durch Wichtung und Anpassung der Risikoprioritätszahlen an die Hierarchie der Maßnahmen bietet einem Unternehmen einen klar definierten Handlungsleitfaden zur Ableitung und Umsetzung von Korrekturmaßnahmen. Gleichzeitig nimmt die Einhaltung der Maßnahmenhierarchie eine Garantstellung zur Erreichung eines vertretbaren Restrisikos sowie zur Verhinderung von über- bzw. unterdimensionierten Maßnahmen bezogen auf das ermittelte Risiko ein. Diese ge-

schaffenen Voraussetzungen verdeutlichen nicht nur den realisierbaren Gewinn eines Unternehmens für dessen Arbeitsschutz sowie Wirtschaftlichkeit der umgesetzten Maßnahmen. Die damit nachzuweisende Verflechtung von Interessen, Forderungen sowie gewinnbringenden Aspekten zwischen den Subsystemen Arbeitsschutz und Controlling eines IMS kann als weiterer Schritt zur Konsolidierung der modifizierten FMEA mit dem Anspruch des Generic - Ansatzes gewertet werden.

Bestätigung finden diese Aussagen auch in dem erarbeiteten Vorschlag der modifizierten Bewertungstabellen zur Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung. Besondere Bedeutung trägt die erstmals klare und differenzierte Zuordnung der Auftretenswahrscheinlichkeit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zu Zeitintervallen. Mit dieser verbesserten Qualität der Bewertungskriterien stehen dem Anwender Voraussetzungen für die Konkretisierung der Zoneneinteilung zur Verfügung.

Schlussfolgernd leitet sich nach Erprobung der modifizierten FMEA explizit für Forderungen zum Explosionsschutzdokument nach Betriebssicherheitsverordnung die Kausalität zwischen einer konkreten / exakten Zoneneinteilung, der Ableitung notwendiger / richtiger Maßnahmen sowie die beeinflussbare Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ab. In der Konsequenz erfüllen diese erzielten Zusammenhänge wiederum die im Generic-Management-Konzept angestrebte Verknüpfung zwischen dem Interessenausgleich externer und interner Stakeholder an ein Managementsystem.

- ⇒ 

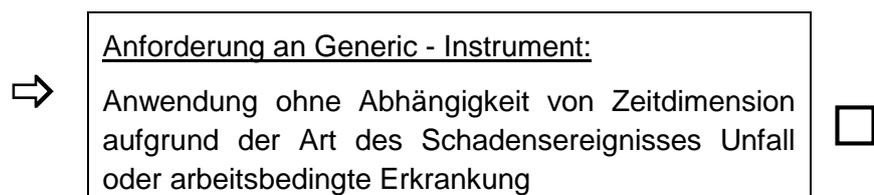
<u>Anforderung an Generic - Instrument:</u>
Prozessstabilität im gewählten Bereich einschließlich Wiederholbarkeit der Ergebnisse durch Messbarkeit von Bewertungskriterien
  
- ⇒ 

<u>Anforderung an Generic - Instrument:</u>
Möglichkeit zur Abgrenzung bzw. Zuordnung von Sharepoints / Interfaces zu weiteren Modulen / Subsystemen des WGMKs
  
- ⇒ 

<u>Anforderung an Generic - Instrument:</u>
Manifestierung des Generic - Ansatzes der modifizierten Methode durch deren ergebnisbezogene Beeinflussung weiterer Unternehmensmodule

Für alle beschriebenen, unternehmensspezifischen Vorteile der Generic - FMEA, wie Praxis-tauglichkeit und Nutzerfreundlichkeit, Erhöhung der Rechtskonformität, Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses müssen individuelle und unternehmensstrategische Entscheidungen als Einflussgrößen betrachtet werden. Dabei muss dem Anpassungsgrad der für die Generic - FMEA modifizierten Instrumente an dynamische Prozesse innerhalb der Forderungen von Stakeholdern an ein IMS sowie der konsequenten Umsetzung des standardisierten Verfahrensablaufes der Generic - FMEA, die größte Bedeutung beigemessen werden.

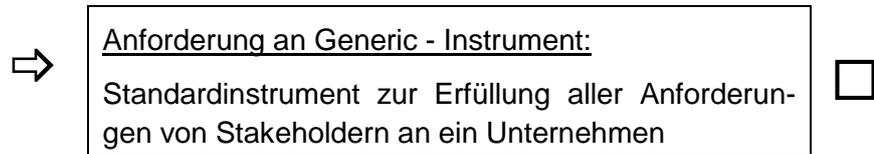
Der Einsatz der entwickelten Generic - FMEA für die Beurteilung psychischer Belastungen bezüglich Risiken / Gefährdungen konnte in der vorliegenden Arbeit nicht realisiert werden. Die Grenzen liegen in den noch fehlenden messbaren Kriterien zur Erarbeitung von Bewertungstabellen, die aufgrund nicht bestimmbarer Zeitdimensionen sowie der Individualität eines jeden Mitarbeiters eine Herausforderung darstellen. Diese Problematik wird explizit als weiterer Forschungsbedarf herausgestellt.



Die vorliegenden Ergebnisse der Arbeit dokumentieren in ihrer Gesamtheit einen bedeutenden Meilenstein in der nachzuweisenden Entwicklungsfähigkeit der qualitäts- und produktbezogenen FMEA - Methode zu einem Generic - Instrument im WGMK: Die umgesetzte Modifizierung der FMEA sowie die Integration von Methoden und Begriffen in die FMEA im Rahmen des Arbeitsschutzes bestätigen somit den möglichen Einsatz der FMEA unter modifizierten Bedingungen in einem weiteren Subsystem innerhalb des WGMKs. Die Bedeutung dieses Ergebnisses muss der Forderung nach der Manifestierung des generalisierten Ansatzes der modifizierten Generic - FMEA zugeordnet werden.

Die in der Arbeit erzielten Ergebnisse einschließlich der bereits kommunizierten Einsätze der FMEA in verschiedenen Subsystemen des WGMKs lassen jedoch nicht die Definition der Generic - FMEA als Standardmethode im WGMK zu. Hier ist der wissenschaftliche Nachweis der Modifizierbarkeit und Praxistauglichkeit der Generic - FMEA für die Gesamtheit, unabhängig von Subsystemen, aller Anforderungen von Stakeholdern an ein Unternehmen Voraussetzung. Die Erfüllung der Anforderung des WGMKs nach einer Standardmethode verlangt daher eine systematische und zielgerichtete Erprobung der Generic - FMEA in Abhän-

gigkeit von der Definition und Weiterentwicklung des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes.



### 8.2 Ausblick

Die abgeleiteten Forschungslücken umfassen in ihrer Gesamtheit die kontinuierliche Weiterentwicklung eines Generic-Instrumentes als fester Bestandteil im Wuppertaler Generic-Management-Konzept. Die Herausforderung besteht in der Komplexität sowie Vielfalt von differenzierten Forderungen der unterschiedlichsten Stakeholder an ein Unternehmen.

Um als Standardmethode zur Schaffung des Interessenausgleiches zwischen den Stakeholdern eines WGMKs fungieren zu können, muss der Integrationsanspruch aus dem WGMK auf den Aufbau und die Anwendung der Generic - FMEA übertragbar sein und zukunftsorientiert gleichzeitig Raum für dynamische Veränderungen lassen. Die Bedeutung dieser Forschungstätigkeit ist durch die bestehende Kausalität des Erfüllungsgrades von Anforderungen zu unternehmensspezifischen Aspekten, wie Rechtssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Ressourceneinsatz, Wettbewerbsvorteil, Nutzung von Synergien zu bewerten.

- Weiterführende Untersuchungen zur Manifestierung der Generic - FMEA

#### Generic - FMEA im Subsystem Arbeitsschutz

Die vorliegenden Ergebnisse der Arbeit haben gezeigt, dass die qualitäts- und produktbezogene FMEA - Methode durch Modifizierung und Integration von Methoden und Begriffen aus dem Arbeitsschutz zur Umsetzung von Anforderungen aus arbeitsschutzrechtlichen Vorgaben praxisrelevant ist. Zur Erprobung wurde die Methode des Risikographen sowie exemplarisch die Anforderungen aus der Betriebssicherheitsverordnung verwendet bzw. analysiert.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse lassen sich vertiefende Untersuchungsspektren zu Einsatzmöglichkeiten der entwickelten Generic - FMEA im Subsystem Arbeitsschutz ableiten. Insbesondere bleibt zu prüfen, ob weitere Methoden (Leitmerkmal - Methode, Verfahren von Gruber) ersetzt oder zu mindestens integriert werden können.

Der praxisrelevante Einsatz der entwickelten modifizierten Bewertungstabellen zur Anwendung der Generic - FMEA wurde in der Arbeit explizit zur Erfüllung der Anforderungen aus der Betriebssicherheitsverordnung nachgewiesen. Es gilt in einem nächsten Schritt eine Machbarkeitsstudie durchzuführen, inwieweit die hier angewandte Vorgehensweise zur Modifizierung der FMEA, d. h. Anpassung an Forderungen generell auch auf weitere Gesetze und Verordnungen aus dem Subsystem Arbeitsschutz übertragen werden kann.

Ein zielgerichteter Einsatz der Generic - FMEA unter ganzheitlicher Betrachtung von Unternehmensentscheidungen lässt die Erprobung offen, inwieweit die modifizierte FMEA als Standardinstrument zur Erfüllung aller Anforderungen von Stakeholdern an die unterschiedlichen Subsysteme eines Generic - Managementsystems definiert und prozessorientiert angewendet werden kann. Dies bildet die Voraussetzung für ein Verschmelzen von Fachkompetenzen auf der Ebene der FMEA - Anwendung und nimmt gleichzeitig positiven Einfluss auf das Integrationsbestreben einer IMS - Organisation im Unternehmen.

Damit würde sich ein weiterer Weg ebnen, die forderungsgerechte Gestaltung eines und nicht einer Vielzahl von Managementsystemen (z.B. Qualitäts-, Umwelt- und Arbeitsschutzmanagementsysteme) umzusetzen.

Gelingt es mit Hilfe der Generic - FMEA auf Grund der Analyse von Anforderungen verschiedenster Stakeholder den Informationsfluss im Unternehmen in seiner Dynamik aktuell sowie vorausschauend darzustellen, könnten weitere Forschungsansätze in Richtung Einfluss auf einen kontinuierlichen Arbeitsablauf / Vermeidung von Arbeitsspitzen, Effizienz des Ressourceneinsatzes, Einfluss auf Unternehmensentscheidungen diskutiert werden.

- Bewertung von psychischen Gefährdungen, Messbarkeit und Bestandteil der Kompetenzentwicklung von Mitarbeitern im Unternehmen.

Ausgehend von der gestellten Anforderung einer prozessorientierten Anwendung der Generic - FMEA innerhalb des WGMKs stößt die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Generic - FMEA auf Machbarkeitsgrenzen bezüglich temporär verlaufender Prozesse. Die Bewertung eines Gesundheitsschadensrisikos verlangt jedoch die Betrachtung einer Unfallgefahr sowie die einer arbeitsbedingten Gesundheitsgefahr.

Die Bewertung des Risikos „Unfall“ kann im Arbeitsprozess erfolgen und war Bestandteil der durchgeführten Studie zur Anwendung der Generic - FMEA mit Hilfe von modifizierten Bewertungstabellen.

Eine Bewertung der psychischen Belastungen kann zurzeit mit Hilfe der Generic - FMEA nicht vorgenommen werden.

Als Folgen psychischer Belastungen rücken Stress und Burnout erschreckend schnell in unser Gesellschaftsbild. Stress und Burnout kosten in Deutschland jährlich 40 Mrd. Euro und die Zahl der irreparablen Burnout - Fälle hat sich in den letzten zwei Jahren verdoppelt. Experten sprechen hier von einem neuen Problem am Arbeitsplatz.

Steigende Ausfallzeiten von Mitarbeitern infolge psychischer Belastungen sowie gesetzliche Forderungen nach Fürsorgepflicht von Unternehmen gegenüber ihren Mitarbeitern zwingt Unternehmer sich intensiver mit der Risikobewertung von psychischen Belastungen auseinanderzusetzen und gezielte Maßnahmen zur Risikominimierung abzuleiten.

Als ein Schwerpunkt für Forschungsansätze kristallisiert sich die Realisierbarkeit bezüglich Messbarkeit von Intensität und zeitlichem Verlauf der psychischen Belastungen heraus. An Bedeutung können hier auch die Schnittstellen zur „Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter im Unternehmen“ gewinnen. Die Untersuchungen zu Korrelationen zwischen dem Ausmaß der Diskrepanz - „Kompetenz des Mitarbeiters“ im Vergleich zur „Arbeitsaufgabe des Mitarbeiters“ - und dem Grad der psychischen Belastung bieten ein subsystemübergreifendes Forschungsprojekt. Hierbei ist gegebenenfalls der verstärkte Einfluss des demographischen Wandels der Mitarbeiter zu berücksichtigen. Es gilt zu prüfen, inwieweit das Instrument der Generic - FMEA für die Ermittlung und Bewertung von psychischen Gefährdungen sowie Kompetenzmessungen von Mitarbeitern angewandt werden kann.

- Weiterentwicklung Bewertungstabellen im Explosionsschutz und Verhältnis der Risikoprioritätszahl zur Maßnahmenhierarchie

Die Risikoprioritätszahlen wurden der im Arbeitsschutz gängigen Maßnahmenhierarchie zugeordnet. Dies erscheint auf den ersten Blick sinnvoll. Bei einer Weiterentwicklung im Explosionsschutz könnten die genaueren Unternehmenssituationen abgebildet werden. Die Randbedingungen für die Auftretenswahrscheinlichkeiten einer explosionsfähigen Atmosphäre und besonders das Schadensausmaß, welches bisher als „einer das übliche Maß über- oder unterschreitende Explosionsauswirkung“ angegeben wird, sollte weiter konkretisiert werden. In Abhängigkeit der sich jetzt ergebenden Risikoprioritätszahl kann auch die Maßnahmenhierarchie weiter spezifiziert werden. Insbesondere können jetzt die einzusetzenden Geräte mit ihrer Gerätekategorie zugeordnet werden. Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt kann auch das in der DIN EN 15198 [159] beschriebene Verfahren zur Zündrisikobewertung der entsprechenden Geräte mittels der Generic-FMEA im Bereich Explosionsschutz sein.

- Entwicklung einer Software – gestützten Dokumentationslösung

Unabhängig von den in der Arbeit hinterlegten Dokumentationsbeispielen für eine Risikobeurteilung, Gefahrenanalyse, Gefährdungsbeurteilung oder Explosionsschutzdokument nimmt die Erstellung und Dokumentation einen nicht unerheblichen Aufwand in Anspruch.

Das zurzeit angewandte Dokumentationsverfahren ermöglicht es kaum, Synergieeffekte wie Abfrage und Verwendung von gleichen Stammdaten, Vernetzung / Verknüpfung von hinterlegten Daten (z.B. verschiedene Bewertungstabellen) zu nutzen. Bestehende EDV-gestützte Dokumentationsverfahren werden bei Weitem nicht dem Anspruch einer Hilfe, Unterstützung und Lenkung des Benutzers gerecht.

Im Hinblick auf die noch bestehende Problematik des Ungleichgewichts zwischen den Anforderungen der Stakeholder „Staat“ an das Unternehmen und den Erfüllungsgrad dieser durch das Unternehmen nimmt die Entwicklung einer EDV Software zur modifizierten FMEA mit klar definierter Unterstützerfunktion ein weiteres, noch zu bearbeitendes Forschungsfeld ein. In Ableitung der gewonnenen Erfahrungen sollten die Entwicklungsschwerpunkte für diese Software u.a. auf die Nutzung nur eines Dokumentes unter Einflechtung der o.g. Synergieeffekte sowie die mögliche Anpassung der Daten an unternehmensspezifische Situationen oder Änderungen der Stakeholder-Forderungen durch den Anwender selbst gerichtet sein.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Zusammenhang zwischen Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobeurteilung [27].....	18
Abbildung 3-1: Überblick möglicher Gefährdungen an Maschinen [38].....	21
Abbildung 3-2: Phasen der Lebensdauer von Maschinen .....	22
Abbildung 3-3: Risikograph [62] .....	25
Abbildung 3-4: Risikograph mit Kategorien [62] .....	27
Abbildung 3-5: Hierarchie - Ebenen im Arbeitssystem .....	33
Abbildung 3-6: Gefahrenquelle mit Gefährdungsfaktoren [52] .....	35
Abbildung 3-7: Zusammenhang zwischen Sicherheit und Gefahr [40] .....	38
Abbildung 3-8: Ermittlung psychischer Belastungen [71].....	41
Abbildung 3-9: Risikobewertung psychischer Belastungen ([71], Seite 30).....	42
Abbildung 3-10: Beurteilungsablauf zur Erkennung und Verhinderung von Explosionsgefahren [73] .....	46
Abbildung 4-1: Systemmodell des Wuppertaler Generic-Management-Konzeptes (WGMK) [96].....	48
Abbildung 4-2: Modell einer Einsatzneutralität eines Generic-Instrumentes im WGMK .....	51
Abbildung 4-3: Anforderungsprofil an ein Generic - Instrument im Arbeitsschutzbereich... ..	53
Abbildung 5-1: Denk- und Arbeitsschema [91] .....	62
Abbildung 6-1: Darstellung von Zusammenhängen zwischen Fehler - Störung - Schaden .....	67
Abbildung 6-2: FMEA - Kopfteil .....	73
Abbildung 6-3: FMEA - Struktur .....	76
Abbildung 6-4: Schematische Darstellung von Handlungsautomatismen und deren Einflussfaktoren.....	81
Abbildung 7-1: Risikobewertung nach Risikograph für einen Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen .....	106
Abbildung 7-2: Risikobewertung nach Risikograph für eine Exzenterpresse .....	107
Abbildung 7-3: Risikobewertung nach Risikograph für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore.....	108
Abbildung 7-4: Risikobewertung nach Risikograph für eine Steinspaltmaschine.....	109
Abbildung 7-5: Vergleich Risikofehlbewertungen durch Einzel- und Gruppenbewertungen nach Risikograph.....	110
Abbildung 7-6: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für einen Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen .....	113

Abbildung 7-7: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für eine Exzenterpresse.....	114
Abbildung 7-8: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore.....	115
Abbildung 7-9: Risikobewertung nach modifizierten FMEA - Bewertungstabellen für eine Steinspaltmaschine .....	116
Abbildung 7-10: Vergleich Risikofehlbewertungen durch Einzel- und Gruppenbewertung nach modifizierten Bewertungstabellen.....	117
Abbildung 7-11: Methodenvergleich Risikobewertung für einen Anfahrschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung.....	119
Abbildung 7-12: Methodenvergleich Risikobewertung für eine Exzenterpresse in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung .....	119
Abbildung 7-13: Methodenvergleich Risikobewertung für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung .....	120
Abbildung 7-14: Methodenvergleich Risikobewertung für eine Steinspaltmaschine in Abhängigkeit von Einzel- und Gruppenbewertung .....	120
Abbildung 7-15: Methodenvergleich - Einzelbewertungen von Risiken .....	122
Abbildung 7-16: Methodenvergleich - Gruppenbewertungen von Risiken.....	123
Abbildung 7-17: Risikobewertungen durch Gruppenbewertung nach Risikograph im Vergleich zu Risikobewertungen durch Einzelbewertungen nach modifizierten Bewertungstabellen .....	124

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 3-1:	Ausmaß der Verletzung ([51], Seite 150) .....	23
Tabelle 3-2:	Verletzungsgrad ([60], Seite 394).....	24
Tabelle 3-3:	Eintrittswahrscheinlichkeit [51, 53] .....	26
Tabelle 3-4:	Dringlichkeit von Arbeitsschutzmaßnahmen ([51], Seite 150).....	29
Tabelle 3-5:	Maßnahmenhierarchie zur Maschinenrichtlinie [63].....	29
Tabelle 3-6:	Matrix zur Bewertung von Gefährdungen [24] .....	39
Tabelle 6-1:	Ableitung notwendiger Entwicklungsschritte zur Generic - FMEA im Arbeitsschutzbereich.....	69
Tabelle 6-2:	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Bedeutung - Gesundheitsschaden .....	82
Tabelle 6-3:	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Auftretenswahrscheinlichkeit .....	83
Tabelle 6-4:	Modifizierte FMEA - Bewertungstabelle: Entdeckbarkeit .....	84
Tabelle 6-5:	Zuordnung Risikoprioritätszahl zu Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie.....	87
Tabelle 6-6:	Bewertungstabelle Zuordnung Gesundheitsschaden, Umweltauswirkungen und Sachschaden durch Explosion.....	89
Tabelle 6-7:	Zeitliche Zuordnung nach dem Kompendium Ex - Schutz [105] .....	91
Tabelle 6-8:	Zeitbezogene Abgrenzung der Explosionsgefährdungsgrade [98].....	93
Tabelle 6-9:	Quantifizierung nach Merseburg [106].....	93
Tabelle 6-10:	Bewertungstabelle Auftretenswahrscheinlichkeit [98].....	94
Tabelle 6-11:	Bewertungstabelle der Auftretenswahrscheinlichkeit einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und Zonenzuordnung.....	96
Tabelle 6-12:	Entdeckbarkeit; gefahrbringende Bedingung.....	97
Tabelle 6-13:	Maßnahmengrenzen der Risikoprioritätszahl [98] .....	99
Tabelle 6-14:	Zuordnung Risikoprioritätszahlen zu Explosionsschutzzonen; Maßnahmen nach Maßnahmenhierarchie.....	99
Tabelle 7-1:	Versuchsanordnung der Studie zur Risikobewertung.....	103
Tabelle 7-2:	Übersicht der Musterlösungen .....	104
Tabelle 7-3:	Gegenüberstellung Risikorang - Risikoprioritätszahl .....	105
Tabelle 7-4:	Zuordnung Maßnahmenhierarchie zum Risikorang nach Risikograph.....	112

## Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausschuss für Betriebssicherheit
AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
AS	Arbeitsschutz
ATEX	atmosphère explosive
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeit und Gesundheit
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regel
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
BIA	heute: BGIA Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeit und Gesundheit
BMAS	Bundesministerium Arbeit und Soziales
CE	Communauté Européenne
CEN	Comité Européen de Normalisation
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIN	Deutsche Industrie Norm
DMT-Fachstelle	Deutsche Montan Technologie - Fachstelle
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEx	European Energy Exchange
EG	Europäische Gemeinschaft
EGV	Vertrag zur Europäischen Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
Fb	Forschungsbericht
FH	Fachhochschule
FMEA	Fehler-, Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse
g.e.A.	gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
IMS	Integriertes Managementsystem
ISO	International Organization for Standardization
KAN	Kommission für Arbeitsschutz und Normung
KMU	Kleine und Mittelständische Unternehmen
KOM	Seminar „Konstrukteure Maschinenbau“

KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MaschRL	Maschinenrichtlinie
MdE	Minderung der Erwerbsfähigkeit
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OEG	obere Explosionsgrenze
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
QM	Qualitätsmanagement
QMS	Qualitätsmanagementsystem
RL	Richtlinie
RPZ	Risikoprioritätszahl
Schutzart IP	Schutzart International Protection
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingungen
UEG	untere Explosionsgrenze
VDA	Verband der Automobilindustrie
WGMK	Wuppertaler Generic-Management-Konzept
WHO	Weltgesundheitsorganisation

## Literaturverzeichnis

- [1] §2 EGV, EU – Vertrag: Vertrag über die Europäische Union mit sämtlichen Protokollen und Erklärungen. Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft (EG – Vertrag) in den Fassungen von Amsterdam und Nizza. Grundrechte – Charta der Europäischen Union. Beck – Texte, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2001.
- [2] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22.06.1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen, geändert durch die Richtlinie 98/27/EG vom 22.10.1998, ersetzt durch die Richtlinie 2006/42/EG vom 17. Mai 2006.
- [3] BAuA Forschungsprojekt F 1896: Analyse von Konformitätsnachweisen für Maschinen - Inhalte, Formen, Vorgehensweise bei der Erarbeitung. Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2005.
- [4] Schulze, M.: Nationale Umsetzung. Dresdner Arbeitsschutz-Kolloquium „Sichere Maschinen - Die neue Maschinenrichtlinie - CE-Management im Unternehmen“. [www.baua.de/nn\\_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Dresdner-Kolloquium-2006.html](http://www.baua.de/nn_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Dresdner-Kolloquium-2006.html) (Abgerufen: 01.03.2007).
- [5] Mäder, Dr. J.: Gestaltung des CE-Managements im Unternehmen. Dresdner Arbeitsschutz-Kolloquium „Sichere Maschinen - Die neue Maschinenrichtlinie - CE-Management im Unternehmen“. [www.baua.de/nn\\_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Dresdner-Kolloquium-2006.html](http://www.baua.de/nn_11598/de/Publikationen/Fachbeitraege/Dresdner-Kolloquium-2006.html) (Abgerufen: 01.03.2007).
- [6] Mangelhafte technische Produkte 2006. baua: Aktuell - Ausgabe 1/2007, Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2007.
- [7] Zenza-Dobbert, M.; Schmidt, S.; Blume, J.; Honnacker, M.; Windberg, H.-J.: Gefährliche Produkte (Ausgabe 02/2008). Informationsdienst zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1. Auflage 2009.

- [8] Eisenbrand, M.; Winzer, P.: Das Qualitätsmanagement als Ruhekissen für das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz. In: Winzer, P.: Generic-Management und Möglichkeiten der Stakeholder. Shaker Verlag, Aachen, 2006.
- [9] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit.
- [10] Nöthlichs, M.: Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit. Ergänzender Kommentar zum Arbeitsschutzgesetz und zum Arbeitssicherheitsgesetz. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2008.
- [11] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996. BGBl. I, S.1246.
- [12] 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 vom 27. Dezember 2002. BGBl. I, S.3777.
- [13] Verordnung über Arbeitsstätten vom 12. August 2004. BGBl. I, S 2179.
- [14] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 23. Dezember 2004. BGBl. I, S. 3758.
- [15] BGV A1 Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“. Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft, Düsseldorf, 2004.
- [16] Sachstandsermittlung: Gefährdungsbeurteilung zum ArbSchG. Vereinigung der Metallberufsgenossenschaften, Düsseldorf, 2005.
- [17] Datenbank zum Betriebsdatenblatt der Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaften, Köln, 2005.
- [18] BGV A6 Unfallverhütungsvorschrift „Fachkräfte für Arbeitssicherheit“. Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft, Düsseldorf, 1996.
- [19] Notthoff, A.: Arbeitsmittel, Gefährdungsbeurteilung, Prüfungen – Was macht der Arbeitgeber daraus?  
In: Fünf Jahre Betriebssicherheitsverordnung – Stand der Umsetzung.

- Workshop vom 20. November 2007 in Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1. Auflage 2008.
- [20] Sieker, A.: Evaluation von Arbeitsschutzvorschriften.  
In: Fünf Jahre Betriebssicherheitsverordnung – Stand der Umsetzung.  
Workshop vom 20. November 2007 in Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1. Auflage 2008.
- [21] Hüning, A.; Kirchberg, S.; Schulze, M.: Die neue Maschinenrichtlinie.  
Bundesanzeigerverlag, Köln, 2006.
- [22] Bamberg, U.; Boy, S.: Die neue Maschinen-Richtlinie.  
Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin, 2008.
- [23] [www.sifa-online.de](http://www.sifa-online.de) (Abgerufen 02. Dezember 2007).
- [24] Nohl, J.; Thiemecke, H.: Systematik zur Durchführung von Gefährdungsanalysen - Teil 1. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 536, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1988.
- [25] DIN EN ISO 13849-1: 2008 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze.
- [26] DIN EN 954-1: 1997 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze.
- [27] DIN EN ISO 1050: 1997 - Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung. (Ersetzt durch DIN EN ISO 14121-1:2007).
- [28] Hamschmidt, J.: Wirksamkeit von Umweltmanagementsystemen.  
Dissertation, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften von St. Gallen, 2001.
- [29] Thiele, J.: Entwicklung, Erprobung, Evaluierung und dauerhafte Etablierung eines forderungsgerechten integrierten Managementsystems. Shaker Verlag, Aachen, Band 3/2007.
- [30] Winzer, P.: Generic - Management – Vision und Strategie. Shaker Verlag, Aachen, 2001.

- [31] Seghezzi, H. D.: Ganzheitliche Unternehmensführung. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [32] Winzer, P.: Generic-Management-System - Eine Alternative für die zukunftsorientierte Gestaltung von Unternehmen. In: Aktuelle Reihen 1/98, BTU Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften.
- [33] Bleicher, K.: Das Konzept Integriertes Management - Visionen Missionen-Programme (St. Galler Management-Konzept 1). Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2004.
- [34] Winzer, P.: Qualitäts- und Prozessmanagement - Grundlagen. Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- [35] Kuhn, H.: ISO 31000 - mit Frühwarn-Funktion - Proaktives Risikomanagement. MQ Management und Qualität, TÜV Media GmbH, Köln, 2008.
- [36] Schultz, M.: „Geschäftsprozessmanagement-Heute entscheiden, was morgen wichtig ist. MQ Management und Qualität, TÜV Media GmbH, Köln, 2008.
- [37] Fink, A.; Gausemeier, J.: Führung im Wandel - ein ganzheitliches Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung. Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [38] DIN EN ISO 12100-1: 2004 - Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze.
- [39] DIN EN ISO 14121-1: 2007 - Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung – Teil 1: Leitsätze.
- [40] Gruber, H.; Mierdel, B.: Leitfaden für die Gefährdungsbeurteilung. Verlag Technik & Information, Bochum, 2003.
- [41] Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlamentes vom 17. Mai 2006, gültig ab 29.12.2009.
- [42] BAuA: Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung, der Biostoffverordnung und der Gefahrstoffverordnung.  
[www.baua.de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Glossar/Begriffsglossar.pdf](http://www.baua.de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Glossar/Begriffsglossar.pdf)  
(Abgerufen: 01.06.2009).
- [43] Lehreinheit P14/Version 1: Teilnehmerunterlagen für die Ausbildung zur Fachkraft für Arbeitssicherheit. HVBG und BAuA, Sankt Augustin und Dortmund, 2004.

- [44] DIN EN ISO 60812: 2006 - Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA).
- [45] <http://www.quality.de/lexikon/system.html> (Abgerufen: 14.05.2007).
- [46] DIN EN ISO 9000:2000: 2001 - Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen.
- [47] Baumgartner, K.: Controlling nach Horváth. Hochschule Mittweida, 2003.
- [48] DIN EN ISO 6385: 2004 - Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.
- [49] BGR 104: Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung - Explosionsschutz-Regeln. Hauptverband der Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, 2005.
- [50] Wenchel, K.T.: Psychische Gesundheit am Arbeitsplatz - Teil 1. InfoMediaVerlag, Bochum, 2007.
- [51] Lehder G.; Skiba R.: Taschenbuch Arbeitssicherheit. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 11. Auflage 2005.
- [52] Lehrinheit P02/Version 1: Dozentenleitfaden für die Ausbildung zur Fachkraft für Arbeitssicherheit. HVBG und BAuA, Sankt Augustin und Dortmund, 2004.
- [53] Reudenbach, R.: Sichere Maschinen in Europa – Risikobeurteilung und Sicherheitskonzept - Anleitung für die praktische Durchführung. Verlag Technik & Information, Bochum, 3. Auflage 2007.
- [54] Eisenbrand, M.; Reudenbach, R.: Konkretisierung von Binnenmarkt-Richtlinien durch harmonisierte europäische Normen. Aktuelle Informationen der Fachstelle FFS, Info Nr.11, 2006.  
[http://www.mmbg.de/DIENSTL/FS04/2\\_aktuelles.html](http://www.mmbg.de/DIENSTL/FS04/2_aktuelles.html) (Abgerufen: 12.06.2009).
- [55] Hahn, H. P.: CE-Kennzeichnung leichtgemacht - Ein praktischer Leitfaden. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2. Auflage 1996.
- [56] Eisenbrand, M.; Reudenbach, R.: DIN EN ISO 12000 ersetzt DIN EN 292. Aktuelle Informationen der Fachstelle FFS, Info Nr.12, 2006.  
[http://www.mmbg.de/DIENSTL/FS04/2\\_aktuelles.html](http://www.mmbg.de/DIENSTL/FS04/2_aktuelles.html) (Abgerufen: 12.06.2009).

- [57] Sterk, W.: Bestimmungsgemäße Verwendung und vorhersehbarer Missbrauch. KANBrief 02/2001, Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin, 2001.
- [58] DIN EN 415 - 1: 2000 - Sicherheit von Verpackungsmaschinen - Teil 1: Terminologie und Klassifikation von Bezeichnungen für Verpackungsmaschinen und zugehörige Ausrüstungen.
- [59] DIN EN 12417: 2007 - Werkzeugmaschinen-Sicherheit-Bearbeitungsmaschinen.
- [60] Geiß, J.; Doll, W.: Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GSPG) – Kommentar und Vorschriftensammlung. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, 2005.
- [61] Böckle, F.: Individuelle und institutionelle Verantwortung für Risiken - Akzeptabilität von Risiken als ethische Fragen. In: Chakraborty, S.; Yadigaroglu, G.: Ganzheitliche Risikobetrachtungen - Technische, ethische und soziale Aspekte. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1991.
- [62] Kategorien für sicherheitsbezogene Steuerungen nach EN 954-1. BIA Report 6/97, HVBG, Sankt Augustin, 1997.
- [63] Dozentenleitfaden zum Seminar „Konstruktore Maschinenbau (KOM)“. Vereinigung der Metallberufsgenossenschaften, Düsseldorf, 2005.
- [64] Schneider, A.: Zertifizierung im Rahmen der CE-Kennzeichnung. Hüthig Verlag, Heidelberg, 2002.
- [65] Defren, W.; Kreuzkamp, F.: Personenschutz in der Praxis. Handbuch für Konstrukteure, Betriebsingenieure und Sicherheitsfachkräfte. K.A. Schmersal GmbH, Wuppertal, 2001.
- [66] Reiche, M.: Partizipatives Veränderungsmanagement. Shaker Verlag, Aachen, 2007.
- [67] Aich, U.; Damberg, W.; Preuße, C.: Die Betriebssicherheitsverordnung - Handlungsinstrument des Arbeitsschutzausschusses. Praxisreihe Arbeit-Gesundheit-Umwelt, Universum Verlag, Wiesbaden, 2004.
- [68] Ritter, G.: Psychologische Bewertungen von Arbeitsbedingungen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 909, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund/Berlin, 2001.

- [69] Gefährdungs-/Belastungs-Katalog 02: Metallbearbeitung und –verarbeitung, allgemein. Verlag Technik & Information, Bochum, 2004.
- [70] Hemmann, E.; Merboth, H.; Hänsgen, G.; Richter, P.: Gestaltung von Arbeitsanforderungen im Hinblick auf psychische Gesundheit und sicheres Verhalten. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 764, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund/Berlin, 1997.
- [71] Debitz, U.; Gruber, H.; Richter, G.: Psychische Gesundheit am Arbeitsplatz - Teil 2. Verlag Technik & Information, Bochum, 2004.
- [72] Kahl, A.: Risikowahrnehmung, -akzeptanz & -kommunikation im Gesundheits- und Arbeitsschutz. Präsentation zum Habilitationsvortrag im Rahmen des Habilitationsverfahrens an der TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Dresden, 27.04.2009.
- [73] Nicht verbindlicher Leitfaden für bewährte Verfahren im Hinblick auf die Durchführung der Richtlinie 1999/92/EG über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können. Europäische Kommission, GD Beschäftigung, soziale Angelegenheiten & Chancengleichheit Referat D4, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg, 2005.
- [74] Bartknecht, W.; Zwahlen G.: Explosionsschutz - Grundlagen und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [75] FMEA-Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. DGQ-Band 13 -11, Deutsche Gesellschaft für Qualität, Frankfurt, 2008.
- [76] Becker, S.: Risikomanagement mit FMEA. QZ 53, Heft Nr.12, Carl Hanser Verlag, München, 2008.
- [77] Warnke, J.: Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten einer rechnergestützten FMEA in der stationären Altenhilfe. GRIN Verlag, München, 2007.
- [78] Tietjen, T.; Müller, D. H.: FMEA - Praxis - Das Komplettpaket für Training und Anwendung. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2. Auflage 2003.
- [79] Helbing, H.; Weinbeck, T.: Human-FMEA-Failure Mode and Effect Analysis. Diplomarbeit, Züricher Hochschule Winterthur, 2004.

- [80] Brand, S.: Erstellen eines Modells zur Kostenbewertung von Risikoanalysen am Beispiel einer FMEA von beschichteten Kunststoffprofilen. Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Industriebetriebslehre und Arbeitswissenschaft, 2004.
- [81] Eberhardt, O.: Gefährdungsanalyse mit FMEA. expert Verlag, Renningen, 2003.
- [82] FMEA Info Centre. [www.fmeainfocentre.com](http://www.fmeainfocentre.com) (Abgerufen: 02.04.2008).
- [83] Brunner, F. J.: Qualitätsmanagement Leitfaden für Studium und Praxis. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 2008.
- [84] Verband der Automobilindustrie e.V.: Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie - Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz. VDA Band 4, Frankfurt, 1986.
- [85] DIN 25448: 1990 - Ausfalleffektanalyse.
- [86] Pieper, K. P.: Prozess - FMEA in der Serien und Normteileproduktion. QZ 40, Heft Nr. 11, Carl Hanser Verlag, München, 1995.
- [87] Schubert, M.: FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. DGQ-Schrift 13 -11, Deutsche Gesellschaft für Qualität, Frankfurt, 1993.
- [88] Kost, N.; Loos, S.: System - FMEA in der Praxis. QZ 42, Heft Nr. 7, Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- [89] Kersten, G.: FMEA-Schlüsselmethode für präventives Qualitätsmanagement. In: VDI-Berichte Nr. 1064 zur Tagung „Management in der Rezession“. Bonn, 22./23. Juni 1993.
- [90] Robert Bosch GmbH: Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe - Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse FMEA (Arbeitskreis Heft 14). Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 1998.
- [91] Schuler, W.: FMEA - Ein Instrument des Risikomanagements. QZ 35, Heft Nr. 8, Carl Hanser Verlag, München, 1990.
- [92] <http://www.zmija.de/brainstorming.html>  
(Abgerufen: 12.06.2009).
- [93] Clark, C.: Brainstorming - Methoden der Zusammenarbeit und Ideenfindung. Verlag Moderne Industrie, München, 1973.

- [94] Scholles, F.: Vorlesungsskript 5.4 Delphi.  
[http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm\\_KreaDelphi.html](http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm_KreaDelphi.html)  
(Abgerufen: 01.06.2009).
- [95] Scharn, R. W.: Entwurf eines Methodensets zur strategischen Gestaltung dynamischer Organisationsstrukturen auf Basis des Wuppertaler Generic Management Konzeptes. In: Winzer, P.: Zukunftsorientiertes QMS - eine Facette des Wuppertaler Generic-Managementsystem-Konzeptes. Shaker Verlag, Aachen, 2007.
- [96] Reiche, S.; Scharn, R.; Winzer, P.: Das Wuppertaler Generic Managementsystem Konzept - Ein Beitrag zur zukunftsfähigen Unternehmensgestaltung. In: Winzer, P.: Das Wuppertaler Generic Managementsystem Konzept. Shaker Verlag, Aachen, 2004.
- [97] Von Büren, A.: Nutzungsmöglichkeit der Ausfalleffektanalyse (FMEA) für die Erstellung von Explosionsschutzdokumenten und der Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung. Studienarbeit, Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen, Bergische Universität Wuppertal, 2005.
- [98] Von Büren, A.: Entwicklung eines Leitfadens zur effizienten Durchführung einer FMEA für Arbeitsschutzprozesse unter Verwendung eines geeigneten IQ-Tools. Diplomarbeit, Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen, Bergische Universität Wuppertal, 2006.
- [99] Eisenbrand, M.: Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes mit Hilfe der Ausfalleffektanalyse (FMEA) - Beispiel aus einem Mitgliedsbetrieb. Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft, Düsseldorf, 2003.
- [100] Informationsblatt zum Explosionsschutzdokument. Sächsisches Landesinstitut für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Chemnitz, [www.arbeitsschutz-sachsen.de](http://www.arbeitsschutz-sachsen.de) (Abgerufen: 13.06.2007).
- [101] BGI 740: Lackierräume und -einrichtungen für flüssige Beschichtungsstoffe. Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, Mainz, 2008.
- [102] Praxishilfen zur Erstellung des Explosionsschutzdokumentes. Internationale Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS), Mannheim, 2006.

- [103] Ante, T.: Verfahren zur Ermittlung explosionsgefährdeter Bereiche. Diplomarbeit, Fachgebiet Methoden der Sicherheitstechnik/Unfallforschung, Bergische Universität Wuppertal, 2005.
- [104] Erläuterungen zur TGL 30042. VEB Komplette Chemieanlagen Dresden, Dresden, 1979.
- [105] Dyrba, B.: Kompendium Explosionsschutz. Carl Heymanns Verlag, Köln, 2004.
- [106] Maßnahmen des Brand- und Explosionsschutz - Mittel zur Anlagen- und Arbeitssicherheit. V. Fachtagung in Merseburg 14.03.2007, [www.ihm-ex.de/zonen.pdf](http://www.ihm-ex.de/zonen.pdf) (Abgerufen: 01.06.2009).
- [107] T 049 - Explosionsschutz-Antworten auf häufig gestellte Fragen. Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg, [www.bgchemie.de](http://www.bgchemie.de) (Abgerufen: 15.01.2008).
- [108] Merkblatt 2153: Explosionsschutz - Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen. SuvaPro, Luzern, 2008.
- [109] Ist der Einsatz von Armbanduhren, Taschenrechnern und Hörgeräten im explosionsgefährdeten Bereich möglich? Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg, [www.bgchemie.de](http://www.bgchemie.de) (Abgerufen: 01.06.2009).
- [110] Richtlinie 94/9/EG des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.
- [111] Schulz, Dr. U.: Statistik als Grundlage der Unfallforschung. Hauptverband der Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, 1973.
- [112] Juska-Bacher, B.: Phraseologische Befragung und ihre statistische Auswertung. [www.linguistik-online.de/27\\_06/index.pdf](http://www.linguistik-online.de/27_06/index.pdf) (Abgerufen: 01.08.2008)
- [113] Neudörfer, A.: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte. Methoden und systematische Lösungssammlungen. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1997.
- [114] Preuße, C.: Maschinen sicher konstruieren. Carl Heymanns Verlag, Köln, 2004.
- [115] Von Büren, A.: Persönliche Mitteilung. Homburg, 2007.

- [116] Sklarek, U.: Persönliche Mitteilung. Konstruktionsleiter der Firma Sander GmbH & Co. KG, Wuppertal, 2007.
- [117] Seminare 2009 - Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, Düsseldorf, 2009.
- [118] Rehm, S.: Gruppenarbeit, Ideenfindung im Team. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt am Main, 1999.
- [119] Knoll, J.: Kleingruppenmethode. Beltz Weiterbildung, Beltz Verlag, Landsberg, 1993.
- [120] A 017 Gefährdungsbeurteilung. Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg, 2006.
- [121] Bewerten Sie selbst Ihr Risiko! - Beurteilung des Risikos am Arbeitsplatz. Internationale Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS), Mannheim, 2000.
- [122] Compes, P. C.: Unfallvorkommen und Unfallverhütung beim Gebrauch von Heim-sportgeräten. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1981.
- [123] Compes, P. C.: Probabilistische Risikoanalyse. Gesellschaft für Sicherheitswissen-schaft, Bergische Universität-Gesamthochschule Wuppertal, 1984.
- [124] Compes, P. C.: Risiken komplizierter Systeme - ihre komplexe Beurteilung und Be-handlung. Gesellschaft für Sicherheitswissenschaft, Bergische Universität-Gesamthochschule Wuppertal, 2. Auflage 1982.
- [125] Kuhlmann, A.: Einführung in die Sicherheitswissenschaft. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 2. Auflage 1995.
- [126] DIN EN 61508: 2002 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer /elek-tronischer/programmierbarer elektronischer Systeme.
- [127] DIN EN 62061: 2005 - Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheits-bezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steue-rungssysteme.
- [128] Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen - Anwendung der DIN EN ISO 13849. BIA Report 2/2008, DGUV, Sankt Augustin, 2008.

- [129] DIN EN 61511: 2005 - Funktionale Sicherheit - sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie.
- [130] DIN EN 14620-1: 2005 - Raumfahrtsysteme - Sicherheitsanforderungen, Teil 1.
- [131] DIN EN 1127-1: 2008 - Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz, Teil 1: Grundlagen und Methodik.
- [132] Simon, H.: Die heimlichen Gewinner - Die Erfolgsstrategie unbekannter Weltmarktführer. Campus Verlag, Frankfurt, 1997.
- [133] Sitte, J.; Winzer, P.: Bottom-up Framework for Enterprise Optimisation and Control. Tagungsband, Sektion B2 Extended Enterprise/Enterprise Integration, Norwegen/Trondheim, 1999.
- [134] Rzehorz, C.: Wissensbasierte Anforderungsentwicklung auf der Basis eines integrierten Produktionsmodells. In: Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe, Shaker Verlag, Aachen, Band 3, 1998.
- [135] Klocke, F.; Zeppenfeld, C.; Pampus, A.; Mattfeld, P.: Fertigungsbedingte Produkteigenschaften - FePro, Status und Perspektiven. Apprimus-Verlag, 1. Auflage 2008.
- [136] Bettin, V.: Ansatz zur übergreifenden Qualitätsregelung von Prozessketten in der Fertigung. In: Berichte aus dem Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Fertigungsmeßtechnik. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Band 9, 2004.
- [137] Haberfellner, R.; Daenzer, W.F.; Huber, F.: Systems Engineering - Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 8. Auflage 1994.
- [138] Sitte, J.; Winzer, P.: Systems Engineering - Old ideas, new potential. IN: 2004 IEEE-SMC Konferenz Den Haag, Netherland, 2004.
- [139] Schmitz, T.; Petersen, B.: Eigenkontrollsysteme durch softwaregestützte HACCP und FMEA "Besser vorsorgen als Nachsehen". QZ 50, Heft Nr. 10, Carl Hanser Verlag, München, 2005.
- [140] Gödderz, A.; Schmitz, T.; Mack, A.; Petersen, B.: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) as a decision support tool within a quality information system in pork produc-

- tion chains. In Tagungsband: 92nd Seminar Quality Management and Quality Assurance in Food Chains 2-4 March 2005, Göttingen, 2005.
- [141] Barth, U.: Gefährdungsbeurteilung – Teil 1. Tagungsband zur BGC-Fachtagung „Explosionsschutz“. Hamburg, 19. Mai 2005; Halle, 2. Juni 2005; Berlin, 27. Juli 2005; Ludwigshafen, 15. September 2005; Frankfurt/M., 14. September 2005; Bayreuth, 06. Oktober 2005.
- [142] Barth, U.: Gefährdungsbeurteilung – Teil 2. Tagungsband zur BGC-Fachtagung „Explosionsschutz“. Hamburg, 19. Mai 2005; Halle, 2. Juni 2005; Berlin, 27. Juli 2005; Ludwigshafen, 15. September 2005; Frankfurt/M., 14. September 2005; Bayreuth, 06. Oktober 2005.
- [143] Ott, R.; Siwek, R.; Suter, G.; Barth, U.: Explosionsschutz. Spezialbroschüre der Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz (ESCIS), SUVA, Luzern 2005.
- [144] Gefährdungsbeurteilung Software ISABEL Eco 2.0 - Gefährdungen beurteilen, Schutzmaßnahmen festlegen, Termine steuern. Universum Verlag, Wiesbaden, 2009.
- [145] Glawe, M.: Mustergefährdungsbeurteilungen für 700 Berufe - Übernehmen, anpassen - fertig. WEKA Media, Kissing, 2009.
- [146] Schorn, M.: Wie Toyota von DRBFM profitiert- Entwicklung mit System. MQ Management und Qualität, TÜV Media GmbH, Köln, 2005.
- [147] Schorn, M.; Kapust, A.: DRBFM - die Toyota-Methode. DVI-Z, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, 2005.
- [148] Dyrba, B.: Praxishandbuch Zoneneinteilung. Carl Heymanns Verlag, Köln, 2007.
- [149] [www.systema-gmbh.de/methoden/fmea/fmeda.html](http://www.systema-gmbh.de/methoden/fmea/fmeda.html) (Abgerufen: 28.11.2009).
- [150] Pickard, K.: Erweiterte qualitative Zuverlässigkeitsanalyse mit Ausfallprognose von Systemen. Dissertation, Institut für Maschinenelemente, Stuttgart, 2009.
- [151] Bertsche, B.; Lechner, G.: Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau - Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten. Springer Verlag, Düsseldorf, 2009.

- [152] Bertsche, B.; Göhner, P.; Jensen, U.; Schinköthe, W.; Wunderlich, H.-J.: Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme - Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen. Springer Verlag, Düsseldorf, 3. Auflage 2004.
- [153] Xu, L.; Tang, L.C.; Xie, M.; Ho, L.H.; Zhu, M.L.: Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 1 No.75, Singapur 2002.
- [154] Seising, R.: Fuzzy Theorie und Stochastik - Modelle und Anwendungen in der Diskussion. Vieweg Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 1999.
- [155] Explosionsschutzportal. Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg, [www.exinfo.de](http://www.exinfo.de) (Abgerufen: 01.12.2008).
- [156] DIN EN ISO 13849-2: 2008 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung.
- [157] TRBS 2152-1: 2006 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung.
- [158] TRBS 2152: 2006 - Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Allgemeines.
- [159] DIN EN 15198: 2007 - Methodik zur Risikobewertung für nicht-elektrische Geräte und Komponenten zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.

## Anhänge

Anhang I	FMEA Leer Formular
Anhang II	Anforderung an die Dokumentation
Anhang III	Arbeitsblatt Risikobewertung
Anhang IV	Bewertungstabellen
Anhang V	Seminarkonzept GRFMEA



<b>Anhang II - Anforderung an die Dokumentation</b>					
<b>Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation nach</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Arbeitsschutzgesetz</b></li> <li>• <b>Betriebssicherheitsverordnung</b></li> <li>• <b>Maschinenrichtlinie</b></li> </ul>	<b>gefordert</b>	<b>empfohlen</b>	<b>Kopfdaten</b>	<b>Struktur</b>	<b>Verweis im Kopfteil</b>
<b>1. Allgemeine Angaben</b>					
• Name des Betriebes / Firma	x		x		
• Name des Herstellers	x		x		
• Benennung von Betriebs- / Arbeitsbereichen / Arbeitsstätte	x		x		
• Arbeitsmittel / Maschine	x		x		
<b>2. Verantwortliche / beauftragte Personen für den Betrieb bzw. Betriebsteil</b>					
• Betriebsleiter / Unternehmensvertreter	x		x		
• Abteilungsleitung		x	x		
• Verantwortliche für die Erlaubnisverfahren ( z.B. Feuerarbeiten, Einfahren in enge Behälter etc.)		x	x		
• Befähigte Personen für die Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen		x	x		
• Sicherheitsfachkraft / CE - Koordinator		x	x		
• Angaben zu Art und Anzahl der befugten und unterwiesenen Beschäftigten in den jeweiligen Arbeitsbereichen	x		x		
<b>3. Kurzbeschreibung der baulichen und örtlichen Gegebenheiten</b>					
• Lagepläne der Gebäude		x			x
• Gebäudepläne		x			x
• Aufstellungspläne der relevanten Betriebs- und Anlagenteile	x				x
• Pläne für Flucht- und Rettungswege in allen Ebenen		x			x
• Räumliche Grenzen des Arbeitsmittels / Maschine	x		x		

## Anhang II - Anforderung an die Dokumentation

Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation nach	gefordert	empfohlen	Kopfdaten	Struktur	Verweis im Kopfteil
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsschutzgesetz</li> <li>• Betriebssicherheitsverordnung</li> <li>• Maschinenrichtlinie</li> </ul>					
<b>4. Verfahrensbeschreibung / Verwendung</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurzbeschreibung des verfahrenstechnischen Ablaufs</li> </ul>	x		x		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurzbeschreibung der relevanten Tätigkeiten (z.B. Probennahmen, Kontrollen etc.)</li> </ul>	x			x	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung</li> </ul>	x			x	
<b>5. Kenndaten Maschine / eingesetzte Stoffen</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahrensfliessbilder mit Informationen zu sicherheitstechnisch relevanten Komponenten, Geräten, Schutzsystemen sowie elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulikpläne, Pneumatikpläne, Elektropläne</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungsangaben</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffdaten (z.B. Korngrößenverteilung, Zusammensetzung, Konzentration, Dichte, etc.)</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für Rohprodukte Angaben zum Verarbeitungszustand, zu eventueller Vorreinigung oder sonstiger Vorbehandlung beim Lieferanten etc.</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevante, explosionstechnische Kenngrößen (Einsatzmengen, Fördermengen)</li> </ul>		x			x
<b>6. Zoneneinteilung</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoneneinteilung in Betriebsräumen bzw. im Freien</li> </ul>	x			x	x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zoneneinteilung im Anlageninneren</li> </ul>	x			x	x

## Anhang II - Anforderung an die Dokumentation

Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation nach					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsschutzgesetz</li> <li>• Betriebssicherheitsverordnung</li> <li>• Maschinenrichtlinie</li> </ul>	gefordert	empfohlen	Kopfdaten	Struktur	Verweis im Kopfteil
<b>7. Gefährdungsermittlung</b>					
• Relevante Gefährdungen	x			x	
• Lebensphasen	x			x	
• Betriebszustände	x			x	
• Berücksichtigte Normen		x		x	x
<b>8. Maßnahmen</b>					
• Beschreibung des Explosionsschutzkonzeptes	x			x	
• Vorbeugende Maßnahmen	x			x	
• Technische Maßnahmen	x			x	
• Rangfolge der Schutzmaßnahmen	x			x	
• Maßnahmen zur Verhinderung der Bildung g.e.A.	x			x	
• Vermeiden von Zündquellen	x			x	
• Maßnahmen zur Verhinderung der Entzündung von g.e.A.	x			x	
• Konstruktiver Explosionsschutz	x			x	
• Maßnahmen zur Beschränkung der Auswirkung einer Explosion	x			x	
• Relevante Betriebsanweisungen		x			x
• Beschreibung der notwendigen Qualifikation von Beschäftigten		x			
• Beschreibung der notwendigen Unterweisungen		x			
• Beschreibung des Arbeitsfreigabesystems		x			x

## Anhang II - Anforderung an die Dokumentation

---

Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation nach <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsschutzgesetz</li> <li>• Betriebssicherheitsverordnung</li> <li>• Maschinenrichtlinie</li> </ul>	gefordert	empfohlen	Kopfdaten	Struktur	Verweis im Kopfteil
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordination zwischen mehreren Arbeitgebern; Arbeitsanweisungen zum Umgang mit Leiharbeitnehmern, Fremdfirmen, Schülern, Praktikanten etc.</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennzeichnung der Zonenbereiche</li> </ul>	x				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Zoneneinteilung</li> </ul>	x				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinigungspläne, Kontrollgänge</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbeugende Instandhaltung</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instandhaltungskonzept</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfkonzert</li> </ul>		x			x
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benutzerinformation</li> </ul>	x			x	x

## Anhang II - Anforderung an die Dokumentation

Inhaltliche Anforderungen an die Dokumentation nach					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsschutzgesetz</li> <li>• Betriebssicherheitsverordnung</li> <li>• Maschinenrichtlinie</li> </ul>	gefordert	empfohlen	Kopfdaten	Struktur	Verweis im Kopfteil
<b>9. Anhänge</b>					
• EG-Konformitätserklärungen		x			x
• Herstellererklärungen		x			x
• EG-Baumusterprüfbescheinigungen		x			x
• Nachweise für Auslegung von Druckentlastungsflächen, Unterdrückungssystemen etc.		x			x
• Nachweis für die Eignung von relevanten elektrischen Anlagen und Betriebsmittel		x			x
• Muster-Erlaubnisschein für Heiarbeiten (Schweiererlaubnisschein)		x			x
• Muster-Erlaubnisschein für Arbeiten in engen Räumen		x			x
• Relevante Betriebsanweisungen		x			x
• Relevante Betriebsanweisungen von Arbeitsmitteln		x			x
• Dokumentation von Unterweisungen		x			x
• Prüfbescheinigungen		x			x
<b>10. Maßnahmenplan</b>					
• Art der durchzuführenden Maßnahmen (aus 8.)	x			x	
• Angabe der verantwortlichen Person für die Durchführung	x			x	
• Angabe des geplanten Fertigstellungstermins	x			x	

## Anhang III - Arbeitsblatt Risikobewertung

- **Zu bewertendes Risiko:**

### „Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen“

---

- **Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Bewertungstabellen durch. Ordnen Sie dem Ergebnis die entsprechende Risikoprioritätszahl zu.

---

- **Hinweis**

Fahrerlose Flurförderzeuge sind flurgebundene Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, die automatisch auf vorgegebenen Fahrbahnen geführt und zum Transport von Lasten eingesetzt werden. Fahrerlose Flurförderzeuge müssen eine Anfahrtsicherung in Fahrtrichtung besitzen, um Verletzungen von Personen zu verhindern. Als Anfahrtschutzsysteme sind z. B. elektromechanisch wirkende Bumpersysteme und Näherungssensoren (optische Scanner, Ultraschalltaster) im Einsatz bzw. in der Entwicklung.



---

#### Bewertungstabellen zur Risikoeinschätzung

- Gesundheitsschaden (B)
- Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)
- Auftrittswahrscheinlichkeit; (A)  
Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition

#### Berechnung der Risikoprioritätszahl (RPZ)

$$RPZ = B \times E \times A$$

☛ **Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

• **Zu bewertendes Risiko:**

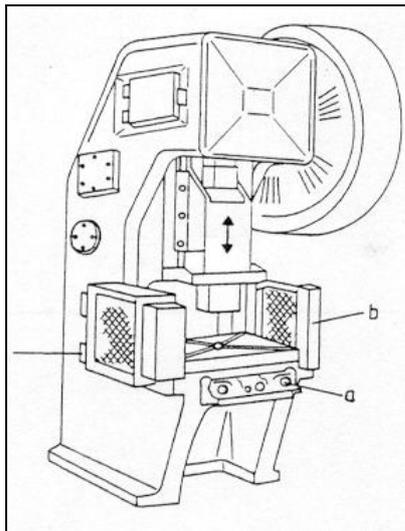
**„Exzenterpresse“**

• **Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Bewertungstabellen durch. Ordnen Sie dem Ergebnis die entsprechende Risikoprioritätszahl zu.

• **Hinweis**

Bei einer Exzenterpresse, die zum Ausstanzen von Teilen dient, muss das zu bearbeitende Teil von Hand zwischen das Werkzeug gelegt werden. Danach wird durch Betätigen der Zweihandschaltung - ZHS - (a) der Stanzhub ausgelöst. Nach Beendigung des Stanzvorganges wird das Teil von Hand wieder aus dem Werkzeug genommen. Neben der Zweihandschaltung ist noch eine berührungslos wirkende Schutzeinrichtung – BWS – (b) als Zugriffsschutz vorhanden. Wird die Zweihandschaltung losgelassen oder in das Schutzfeld der BWS eingegriffen, so muss die gefahrbringende Schließbewegung rechtzeitig zum Stillstand kommen.



Die betrachtete Exzenterpresse hat seitlich angebrachte Verkleidungen, die zum Umrüsten durch Ausschwenken geöffnet werden können. Je nach Werkzeug oder zu verarbeitendem Material muss das Einrichten der Presse bei geöffneter Verkleidung erfolgen. Damit in diesem Einrichtbetrieb bei geöffneter Verkleidung die Presse nicht unerwartet anlaufen kann, wird die Stellung der Verkleidung mit entsprechendem Positionsschaltern und nachgeschalteten Steuereinrichtungen (c) überwacht.

Exzenterpresse

- a) Zweihandschaltung (ZHS)
- b) Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS)
- c) Stellungüberwachung für zu öffnende Verkleidung

**Bewertungstabellen zur Risikoeinschätzung**

- Gesundheitsschaden **(B)**
- Entdeckungswahrscheinlichkeit **(E)**
- Auftretswahrscheinlichkeit; **(A)**  
Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition

**Berechnung der Risikoprioritätszahl**

$$RPZ = B \times E \times A$$

☛ **Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

• **Zu bewertendes Risiko:**

**„Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore“**

---

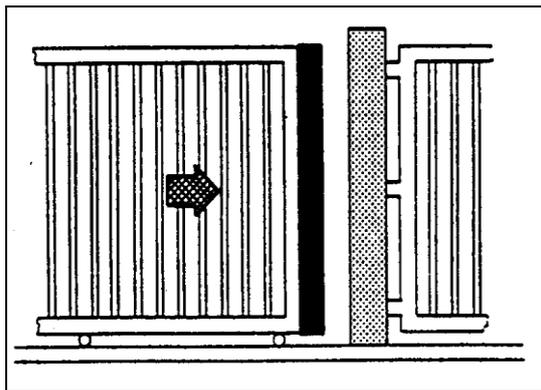
• **Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Bewertungstabellen durch. Ordnen Sie dem Ergebnis die entsprechende Risikoprioritätszahl zu.

---

• **Hinweis**

Mit der Bewegung kraftbetätigter Fenster-, Tür- und Torflügel von der Offen- in die Schließstellung ist in der Regel die Bildung von Quetsch- und Scherstellen verbunden. Verletzungen an einer derartigen Gefahrstelle lassen sich z. B. durch eine Schließkantensicherung vermeiden. Die Schließkantensicherung, z. B. eine Schalleiste, wird auf die Hauptschließkante der Flügel aufgesetzt.



Sich schließendes Tor, mit einer Schließkantensicherung auf der Hauptschließkante ausgestattet.

---

**Bewertungstabellen zur Risikoeinschätzung**

- Gesundheitsschaden **(B)**
- Entdeckungswahrscheinlichkeit **(E)**
- Auftrittswahrscheinlichkeit; **(A)**  
Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition

**Berechnung der Risikoprioritätszahl (RPZ)**

$$RPZ = B \times E \times A$$

☛ **Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

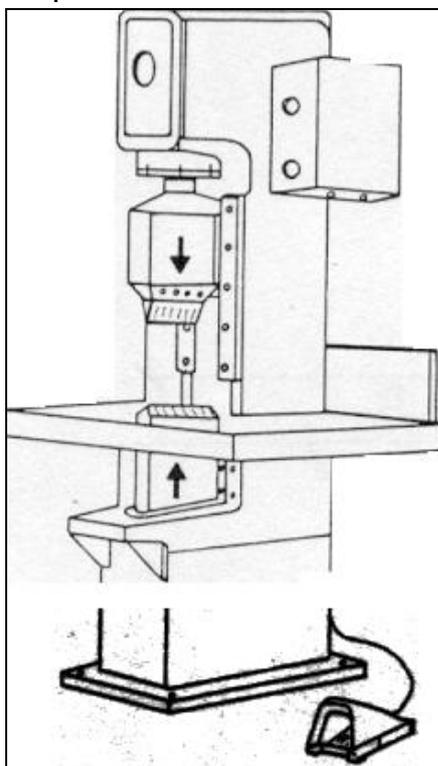
• **Zu bewertendes Risiko:**

**„Steinspaltmaschine“**

• **Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Bewertungstabellen durch. Ordnen Sie dem Ergebnis die entsprechende Risikoprioritätszahl zu.

• **Hinweis**



Steinspaltmaschinen werden zum Spalten von Natur- und Betonsteinen, z.B. zur Pflastersteinherstellung, benutzt.

Die Maschine hat zum Spalten zwei bewegliche Spaltmeißel, von denen sich der eine bei Stillstand der Maschine in der unteren und der andere in der oberen Stellung befindet.

Zum Spalten fahren beide Meißel zusammen, wobei der untere ca. 20 mm aus seiner Ruhelage herausfährt. Während des Spaltens wird der Stein per Hand auf den Arbeitstisch zwischen die sich schließenden Spaltmeißel gehalten. Der Spaltmeißel selbst wird über einen Fußschalter im Tippbetrieb mit Bewegungsumkehr ausgelöst. Die Presskraft der Maschine ist abhängig vom Druckaufbau während des Spaltens. Nach dem Arbeitshub wird automatisch der Rückhub eingeleitet. Ohne Werkstück können bei ausgelöstem Arbeitshub die Meißel nur bis auf einen Sicherheitsabstand von ca. 30 mm schließen.

**Bewertungstabellen zur Risikoeinschätzung**

- Gesundheitsschaden (B)
- Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)
- Auftretswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition (A)

**Berechnung der Risikoprioritätszahl**

$$RPZ = B \times E \times A$$

☛ **Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

**Zu bewertendes Risiko:**

**„Anfahrerschutz an fahrerlosen Flurförderzeugen“**

**Arbeitsaufgabe:**

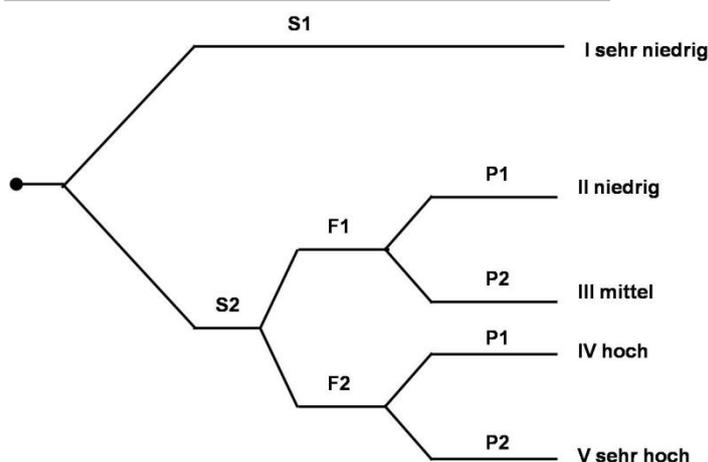
Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Risikograph durch. Ordnen Sie dem Ergebnis den entsprechenden Risikorang zu.

**Hinweis**

Fahrerlose Flurförderzeuge sind flurgebundene Fördermittel mit eigenem Fahrtrieb, die automatisch auf vorgegebenen Fahrbahnen geführt und zum Transport von Lasten eingesetzt werden. Fahrerlose Flurförderzeuge müssen eine Anfahrtsicherung in Fahrtrichtung besitzen, um Verletzungen von Personen zu verhindern. Als Anfahrtschutzsysteme sind z. B. elektromechanisch wirkende Bumpersysteme und Näherungssensoren (optische Scanner, Ultraschalltaster) im Einsatz bzw. in der Entwicklung.



**Risikograph zur Risikoabschätzung**



Schwere der Verletzung  
 S1=leichte Verletzung  
 S2=schwere Verletzung

Häufigkeit/Aufenthaltsdauer  
 F1=selten bis öfters  
 F2=häufig bis dauernd

Möglichkeit der Gefährdungsvermeidung  
 P1=Vermeidung möglich  
 P2=Vermeidung kaum möglich

**Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

**Zu bewertendes Risiko:**

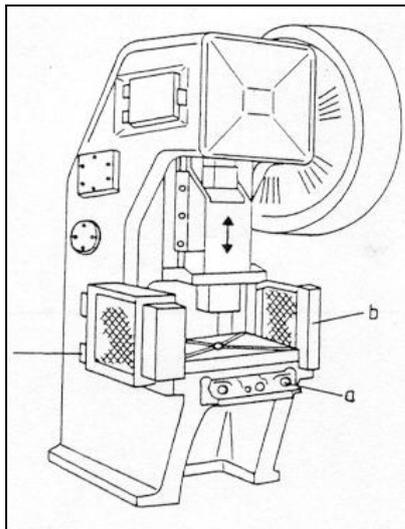
**„Exzenterpresse“**

**Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Risikograph durch. Ordnen Sie dem Ergebnis den entsprechenden Risikorang zu.

**Hinweis**

Bei einer Exzenterpresse, die zum Ausstanzen von Teilen dient, muss das zu bearbeitende Teil von Hand zwischen das Werkzeug gelegt werden. Danach wird durch Betätigen der Zweihandschaltung - ZHS - (a) der Stanzhub ausgelöst. Nach Beendigung des Stanzvorganges wird das Teil von Hand wieder aus dem Werkzeug genommen. Neben der Zweihandschaltung ist noch eine berührungslos wirkende Schutzeinrichtung – BWS – (b) als Zugriffsschutz vorhanden. Wird die Zweihandschaltung losgelassen oder in das Schutzfeld der BWS eingegriffen, so muss die gefährbringende Schließbewegung rechtzeitig zum Stillstand kommen.

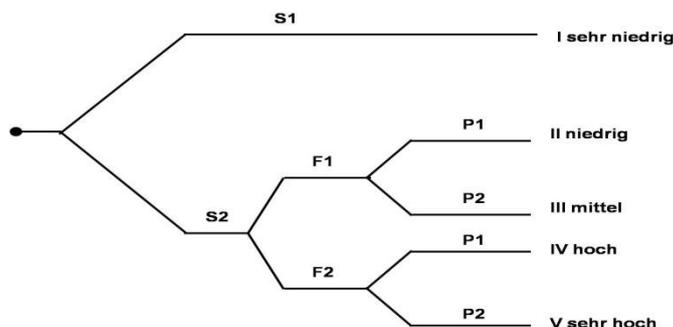


Die betrachtete Exzenterpresse hat seitlich angebrachte Verkleidungen, die zum Umrüsten durch Ausschwenken geöffnet werden können. Je nach Werkzeug oder zu verarbeitendem Material muss das Einrichten der Presse bei geöffneter Verkleidung erfolgen. Damit in diesem Einrichtbetrieb bei geöffneter Verkleidung die Presse nicht unerwartet anlaufen kann, wird die Stellung der Verkleidung mit entsprechendem Positionsschaltern und nachgeschalteten Steuereinrichtungen (c) überwacht.

Exzenterpresse

- c) Zweihandschaltung (ZHS)
- d) Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS)
- c) Stellungsüberwachung für zu öffnende Verkleidung

**Risikograph zur Risikoabschätzung**



Schwere der Verletzung

S1=leichte Verletzung

S2=schwere Verletzung

Häufigkeit/Aufenthaltsdauer

F1=selten bis öfters

F2=häufig bis dauernd

Möglichkeit der Gefährdungsvermeidung

P1=Vermeidung möglich

P2=Vermeidung kaum möglich

**Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

**Zu bewertendes Risiko:**

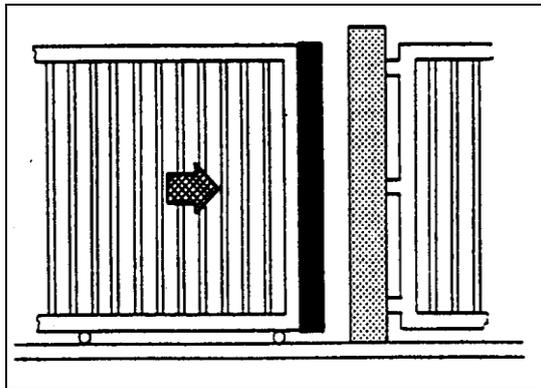
**„Kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore“**

**Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Risikograph durch. Ordnen Sie dem Ergebnis den entsprechenden Risikorang zu.

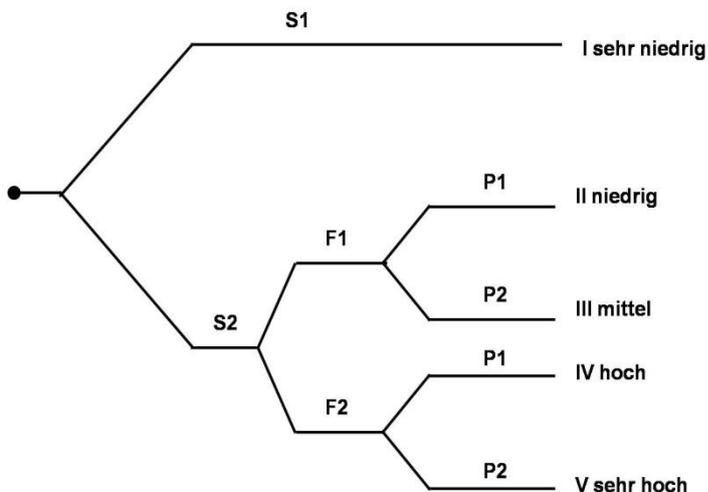
**Hinweis**

Mit der Bewegung kraftbetätigter Fenster-, Tür- und Torflügel von der Offen- in die Schließstellung ist in der Regel die Bildung von Quetsch- und Scherstellen verbunden. Verletzungen an einer derartigen Gefahrstelle lassen sich z. B. durch eine Schließkantensicherung vermeiden. Die Schließkantensicherung, z. B. eine Schalteleiste, wird auf die Hauptschließkante der Flügel aufgesetzt.



Sich schließendes Tor, mit einer Schließkantensicherung auf der Hauptschließkante ausgestattet.

**Risikograph zur Risikoabschätzung**



Schwere der Verletzung

S1=leichte Verletzung

S2=schwere Verletzung

Häufigkeit/Aufenthaltsdauer

F1=selten bis öfters

F2=häufig bis dauernd

Möglichkeit der Gefährdungsvermeidung

P1=Vermeidung möglich

P2=Vermeidung kaum möglich

**Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

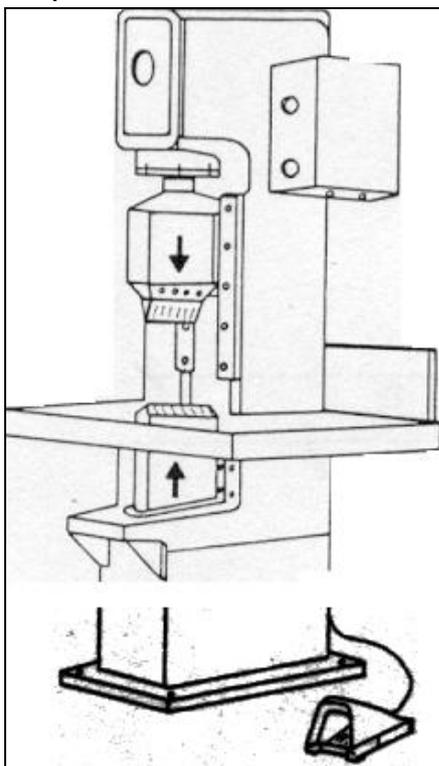
**Zu bewertendes Risiko:**

**„Steinspaltmaschine“**

**Arbeitsaufgabe:**

Führen Sie für die o. g. Maschine eine Risikobewertung nach Risikograph durch. Ordnen Sie dem Ergebnis den entsprechenden Risikorang zu.

**Hinweis**

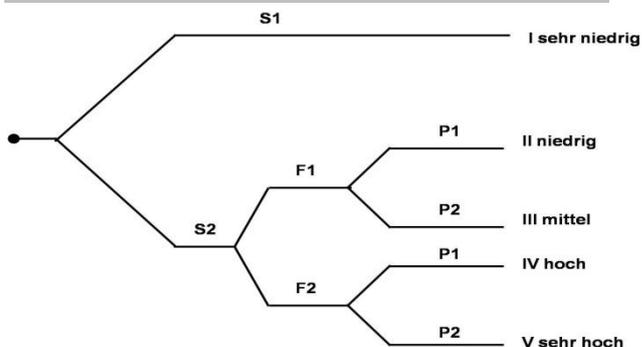


Steinspaltmaschinen werden zum Spalten von Natur- und Betonsteinen, z.B. zur Pflastersteinherstellung, benutzt.

Die Maschine hat zum Spalten zwei bewegliche Spaltmeißel, von denen sich der eine bei Stillstand der Maschine in der unteren und der andere in der oberen Stellung befindet.

Zum Spalten fahren beide Meißel zusammen, wobei der untere ca. 20 mm aus seiner Ruhelage herausfährt. Während des Spaltens wird der Stein per Hand auf den Arbeitstisch zwischen die sich schließenden Spaltmeißel gehalten. Der Spaltmeißel selbst wird über einen Fußschalter im Tippbetrieb mit Bewegungsumkehr ausgelöst. Die Presskraft der Maschine ist abhängig vom Druckaufbau während des Spaltens. Nach dem Arbeitshub wird automatisch der Rückhub eingeleitet. Ohne Werkstück können bei ausgelöstem Arbeitshub die Meißel nur bis auf einen Sicherheitsabstand von ca. 30 mm schließen.

**Risikograph zur Risikoabschätzung**



Schwere der Verletzung

S1=leichte Verletzung

S2=schwere Verletzung

Häufigkeit/Aufenthaltsdauer

F1=selten bis öfters

F2=häufig bis dauernd

Möglichkeit der Gefährdungsvermeidung

P1=Vermeidung möglich

P2=Vermeidung kaum möglich

**Dokumentieren Sie Ihre Ergebnisse der Risikobewertung in den beigefügten Auswertungsbogen!**

## **Auswertungsbogen zur Risikobewertung**

**Datum:**

- Kennzeichnen Sie bitte, nach welcher Bewertungsmethode Sie das Risiko ermittelt haben, ob in Einzel- oder Gruppenarbeit! (Geben Sie bei der Gruppenbewertung die Anzahl der Gruppenteilnehmer an)

<b>Bewertungsmethode</b>			
<input type="checkbox"/> <b>Risikograph</b>		<input type="checkbox"/> <b>Bewertungstabellen</b>	
<input type="checkbox"/> <b>Einzelbewertung</b>	<input type="checkbox"/> <b>Gruppenbewertung</b> Anz. Gr.-mitgl.:	<input type="checkbox"/> <b>Einzelbewertung</b>	<input type="checkbox"/> <b>Gruppenbewertung</b> Anz. Gr.-mitgl.:
<b>Bemerkungen zur Risikobewertung:</b>		<b>Bemerkungen zur Risikobewertung:</b>	
<b>Ermittelter Risikorang:</b> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"><span style="border: 2px solid orange; display: inline-block; width: 60px; height: 60px;"></span></div>		<b>Ermittelte Risikoprioritätszahl:</b> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"><span style="border: 2px solid orange; display: inline-block; width: 60px; height: 60px;"></span></div>	

**Anhang IV - Bewertungstabellen**

**BEWERTUNGSTABELLE 1**  
**„Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit**  
**im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition – A “**

<b>Bewertungs- punkte</b>	<b>FMEA - Leitbegriffe</b>	<b>Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition</b>
<b>10</b>	<b>sehr hoch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Sicherheitskonzept vorhanden</li> <li>• Keine Schutzeinrichtungen</li> <li>• Mindestens 5 Störungsbeseitigungen pro Schicht</li> <li>• Wartung/Instandhaltung nur bei gespeicherten Energien</li> <li>• Permanente Prozessbeobachtung notwendig</li> <li>• Bekannte Unfälle an ähnlichen Maschinen/Anlagen</li> <li>• Materialzufuhr bei laufender Maschine, Zuführung &gt; 10 x pro Schicht, Verwendung von nicht sicherem Werkzeug, Eingriff in den Gefahrenbereich nötig, Einfädelarbeiten nötig, Zuführgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine innerhalb und außerhalb des Gefahrenbereiches mehrmals pro Schicht Verwendung von nicht sicheren Hilfswerkzeugen und Einsatz von als Gefahrstoff gekennzeichneten Reinigungsmitteln</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und generell notwendigen Eingriff in den Gefahrenbereich</li> </ul>
<b>9</b>	<b>sehr hoch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Sicherheitskonzept vorhanden</li> <li>• Keine Schutzeinrichtungen</li> <li>• Wartung/Instandhaltung nur bei gespeicherten Energien</li> <li>• Mindestens 3 Störungsbeseitigungen pro Schicht</li> <li>• Prozessbeobachtung bis vier Stunden pro Schicht notwendig</li> <li>• Bekannte Unfälle an ähnlichen Maschinen/Anlagen</li> <li>• Materialzufuhr bei laufender Maschine, Zuführung &gt; 10x pro Schicht bei manuelle Zuführung, Eingriff in den Gefahrenbereich notwendig, Einfädelarbeiten nötig, Zuführgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine innerhalb und außerhalb des Gefahrenbereiches 1x pro Schicht, Verwendung von nicht sicheren Hilfswerkzeugen und Einsatz von als Gefahrstoff gekennzeichneten Reinigungsmitteln</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und &gt; 1x pro Schicht notwendigen Eingriff in den Gefahrenbereich</li> </ul>
<b>8</b>	<b>hoch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept nicht erprobt</li> <li>• Wartung/Instandhaltung nur bei gespeicherten Energien</li> <li>• Schutzeinrichtungen nicht stellungsüberwacht</li> <li>• Mindestens 1 Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Prozessbeobachtung bis vier Stunden pro Schicht notwendig</li> <li>• Ungeschützte bewegte Maschinenteile</li> <li>• Bekannte Unfälle an ähnlichen Maschinen/Anlagen</li> <li>• Materialzufuhr bei laufender Maschine, Zuführung &gt; 10 x pro Schicht, Verwendung von nicht sicherem Werkzeug, Eingriff in den Gefahrenbereich nötig, Einfädelarbeiten zugelassen, Zuführgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine innerhalb und außerhalb des Gefahrenbereiches 1x pro Arbeitstag, Verwendung von nicht sicheren Hilfswerkzeugen und Einsatz von als Gefahrstoff gekennzeichneten Reinigungsmitteln</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und 1x pro Schicht notwendigen Eingriff in den Gefahrenbereich</li> </ul>

**BEWERTUNGSTABELLE 1**  
**„Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit**  
**im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition – A “**

<b>7</b>	<b>hoch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept nicht erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen nicht stellungsüberwacht</li> <li>• Mindestens 1 Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Wartung nur bei gespeicherten Energien</li> <li>• Prozessbeobachtung bis zwei Stunden pro Schicht notwendig</li> <li>• Manipulation mit einfachem Werkzeug möglich</li> <li>• Kein konsequentes Tragen von geeigneter PSA</li> <li>• Ein Unfall und Beinaheunfälle bekannt</li> <li>• Materialzufuhr bei laufender Maschine, Zuführung &gt; 10 x pro Schicht, Verwendung von nicht sicherem Werkzeug, Eingriff in den Gefahrenbereich nötig, keine Einfädelarbeiten, Zuführungsgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine innerhalb und außerhalb des Gefahrenbereiches, Verwendung von nicht sicheren Hilfswerkzeugen und kein Einsatz von Gefahrstoff als Reinigungsmitteln</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und 1x pro Arbeitstag notwendigen Eingriff in den Gefahrenbereich</li> </ul>
<b>6</b>	<b>mäßig</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</li> <li>• Prozessbeobachtung bis eine Stunde pro Schicht notwendig</li> <li>• Wartung/Instandhaltung ohne gespeicherte Energien</li> <li>• Manipulation mit einfachem Werkzeug möglich</li> <li>• Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Beinaheunfälle bekannt</li> <li>• Materialzufuhr bei laufender Maschine bis 10x pro Schicht, Einlegearbeiten unter Verwendung von Hilfswerkzeugen, Eingreifen in den Gefahrenbereich möglich, keine Einfädelarbeiten, Zuführungsgeschwindigkeit &gt; 2m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine 3 x pro Schicht mittels Hilfswerkzeugen bzw. keinen Einsatz von Gefahrstoffen als Reinigungsmittel; Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und Eingriff in den Gefahrenbereich selten notwendig</li> </ul>
<b>5</b>	<b>mäßig</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</li> <li>• Wartung/Instandhaltung ohne gespeicherte Energien</li> <li>• Manipulation mit einfachem Werkzeug nicht möglich</li> <li>• Prozessbeobachtung einmal pro Schicht notwendig</li> <li>• Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Kein Beinaheunfall bekannt</li> <li>• Materialzuführung bei laufender Maschine bis 10x pro Schicht, Einlegearbeiten unter Verwendung von Hilfswerkzeugen, Eingreifen in den Gefahrenbereich ist nicht nötig, keine Einfädelarbeiten, Zuführungsgeschwindigkeit &gt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine 3 x pro Schicht mittels Hilfswerkzeugen bzw. keinen Einsatz von Gefahrstoffen als Reinigungsmittel; kein Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</li> </ul>

**BEWERTUNGSTABELLE 1**  
**„Auftrittswahrscheinlichkeit; Eintrittswahrscheinlichkeit**  
**im Verhältnis zur Dauer und Art der Exposition – A “**

<b>4</b>	<b>mäßig</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</li> <li>• Wartung ohne gespeicherte Energien</li> <li>• Manipulation mit einfachem Werkzeug nicht möglich</li> <li>• Prozessbeobachtung eine Stunden pro Schicht notwendig</li> <li>• Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Kein Beinaheunfall bekannt</li> <li>• Kein Einsatz zugelassener Arbeitsmittel (z.B. ex-geschützt)</li> <li>• Materialzuführung bei laufender Maschine bis 3 x pro Schicht, Einle-gearbeiten ohne sicheres Werkzeug, kein Eingreifen in den Gefah-renbereich, keine Einfädelarbeiten, Zuführungsgeschwindigkeit &lt; 2 m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine 1 x pro Schicht mittels Hilfswerkzeugen bzw. keinen Einsatz von Gefahrstoffen als Reini-gungsmittel; kein Eingriff in den Gefahrenbereich möglich</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine und Eingriff in den Gefah-renbereich bedingt möglich</li> </ul>
<b>3</b>	<b>gering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</li> <li>• Manipulation nicht möglich</li> <li>• Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Keine Prozessbeobachtung</li> <li>• Wartung/Instandhaltung bei Stillstand</li> <li>• Kein Beinaheunfall bekannt</li> <li>• Materialzuführung bei laufender Maschine bis 3 x pro Schicht, Einle-gearbeit mittels sicherem Werkzeug, kein Eingreifen in den Gefah-renbereich möglich, keine Einfädelarbeiten, Zuführungsgeschwindigkeit &lt; 2m/s</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei laufender Maschine 1 x pro Schicht mittels sicheren Reinigungswerkzeugen bzw. keinen Einsatz von Gefahrstof-fen als Reinigungsmittel; kein Eingriff in den Gefahrenbereich mög-lich</li> <li>• Qualitätsprüfung bei laufender Maschine, Eingriff in den Gefahrenbe-reich nicht notwendig</li> </ul>
<b>2</b>	<b>gering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitskonzept bei ähnlicher Maschine erprobt</li> <li>• Schutzeinrichtungen stellungsüberwacht, nicht notwendig</li> <li>• Manipulation nicht möglich</li> <li>• Wartung/Instandhaltung bei Stillstand</li> <li>• Keine Störungsbeseitigung pro Schicht</li> <li>• Keine Prozessbeobachtung</li> <li>• Materialzufuhr bei Stillstand der Maschine oder automatischer Zufüh-rung</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei Stillstand der Maschine oder außerhalb des Maschinenraumes ohne Eingriff in Gefahrenbereiche</li> <li>• Qualitätsprüfung bei Stillstand der Maschine oder außerhalb des Ma-schinenraumes ohne Eingriff in den Gefahrenbereich</li> </ul>
<b>1</b>	<b>sehr gering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Aufenthalt im Gefahrenbereich nötig</li> <li>• Verwendung von geschlossenen Systemen</li> <li>• Kein Kontakt mit Gefahrstoffen möglich</li> <li>• Materialzufuhr bei Stillstand der Maschine</li> <li>• Reinigungsarbeiten bei Stillstand der Maschine</li> <li>• Qualitätsprüfung bei Stillstand der Maschine</li> </ul>

## BEWERTUNGSTABELLE 2

### „Entdeckungswahrscheinlichkeit / Ausweichmöglichkeit – E “

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Entdeckungswahrscheinlichkeit; Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens
10	sehr gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine akust. und optische Warnhinweise</li> <li>• Einsatz von nicht geschultem und unterwiesenem Personal im Umgang mit Arbeitsmitteln sowie Gefahrstoffen oder Hilfspersonal</li> <li>• Keine Wartung, ausschließlich Reparatur</li> <li>• Nichteinhaltung von wiederkehrenden Prüfungen und Prüfintervallen</li> <li>• Bediener kann sich bei Ereigniseintritt nicht entfernen</li> <li>• Keine Auditierung</li> <li>• Keine arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung liegt vor</li> <li>• Fehlende Sicherheitsstandards (Betriebsanweisungen)</li> </ul>
9	sehr gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine akust. und optische Warnhinweise</li> <li>• Einsatz von nicht geschultem und unterwiesenem Personal im Umgang mit Arbeitsmitteln sowie Gefahrstoffen oder Hilfspersonal</li> <li>• Keine Wartung, ausschließlich Reparatur</li> <li>• Bediener kann sich bei Ereigniseintritt nicht entfernen</li> <li>• Nichteinhaltung von wiederkehrenden Prüfungen und Prüfintervallen</li> <li>• Keine Auditierung</li> <li>• Keine arbeitsplatz- oder tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung liegt vor</li> <li>• Fehlende Sicherheitsstandards (Betriebsanweisungen)</li> </ul>
8	gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine akust. oder optische Warnhinweise</li> <li>• Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung und Klima</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen</li> <li>• Keine regelmäßige Auditierung</li> <li>• Keine durchgängige sowie aktuelle Gefährdungsbeurteilung (nur allgemein, keine Trennung nach Arbeitsplatz bzw. Tätigkeit sowie Umgang mit Gefahrstoffen)</li> <li>• Unregelmäßige Auditierung</li> <li>• Keine Sicherheitsunterweisungen zum Umgang mit Gefahrstoffen</li> </ul>
7	gering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine akust. oder optische Warnhinweise</li> <li>• Keine durchgängige Gefährdungsbeurteilung (nur arbeitsplatzbezogen)</li> <li>• Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung und Klima</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt sicher entfernen</li> <li>• Keine Regelmäßige Auditierung</li> <li>• Keine Checklisten zur regelmäßigen Funktionsprüfung von Sicherheitseinrichtungen (NOT-AUS, Augenduschen etc.)</li> <li>• Wartung und Instandhaltung 1 x jährlich</li> </ul>
6	mäßig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. oder optische Warnhinweise angezeigt</li> <li>• Jährliche Auditierung</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen</li> <li>• Keine durchgängige Gefährdungsbeurteilung (nur arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogen)</li> <li>• Nicht ausreichender Einsatz von Fachpersonal</li> <li>• Fehlende Gefahrenkennzeichnung</li> <li>• Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima</li> </ul>

## BEWERTUNGSTABELLE 2

### „Entdeckungswahrscheinlichkeit / Ausweichmöglichkeit – E “

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Entdeckungswahrscheinlichkeit; Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens
5	mäßig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. oder optische Warnhinweise angezeigt</li> <li>• Jährliche Auditierung</li> <li>• Ausgebildetes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen</li> <li>• Nicht Einhaltung von Prüffristen</li> <li>• Umfang der Unterweisungen ist nicht ausreichend (fehlende Unterweisungsthemen wie z.B. Verwendung von PSA, Umgang mit Kühlschmierstoffen etc.)</li> <li>• Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen</li> <li>• Sicherheitsstandards in Form von Betriebsanweisungen sind nicht durchgängig definiert</li> </ul>
4	mäßig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jährliche Auditierung</li> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. oder optische Warnhinweise angezeigt</li> <li>• Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung einmal jährlich</li> <li>• Sicherheitsstandards in Form von Betriebsanweisungen sind nicht durchgängig definiert</li> <li>• Störende Umgebungsbedingungen durch Lärm oder Beleuchtung oder Klima</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt entfernen</li> <li>• Ausgebildetes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen</li> <li>• regelmäßige Instandhaltung und Wartung</li> </ul>
3	hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. oder optische Warnhinweise sicher erkannt</li> <li>• Fehlbedienung führt zu Stillstand</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt sicher entfernen</li> <li>• Keine störenden Umgebungsbedingungen (Lärm/Beleuchtung/Klima)</li> <li>• Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung entsprechend Anlässen (neue Stoffe, neue oder veränderte Verfahren, Einsatz neuer Mitarbeiter) sowie einmal jährlich</li> <li>• Ausgebildetes und geschultes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen</li> <li>• Vierteljährliche Auditierung</li> <li>• Vorbeugende Instandhaltung und Wartung</li> </ul>

## BEWERTUNGSTABELLE 2

### „Entdeckungswahrscheinlichkeit / Ausweichmöglichkeit – E “

Bewertungs- punkte	FMEA - Leitbegriffe	Entdeckungswahrscheinlichkeit; Möglichkeit der gefährdeten Person zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens
2	hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. und optische Warnhinweise sicher erkannt</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt sicher entfernen</li> <li>• Fehlbedienung führt zu Stillstand</li> <li>• Vorbeugende Instandhaltung und Wartung</li> <li>• Ausgebildetes und geschultes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen</li> <li>• Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung entsprechend Anlässen (neue Stoffe, neue oder veränderte Verfahren, Einsatz neuer Mitarbeiter) sowie einmal jährlich</li> <li>• Vierteljährliche Auditierung</li> <li>• Keine störenden Umgebungsbedingungen (Lärm/Beleuchtung/Klima)</li> <li>• Bestellung von „befähigten Personen“ zur Prüfung von Arbeitsmitteln</li> </ul>
1	sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Gefährdung durch akust. und optische Warnhinweise sicher erkannt</li> <li>• Bediener kann sich vor Ereigniseintritt sicher entfernen</li> <li>• Ausgebildetes und geschultes Fachpersonal und regelmäßige Unterweisungen im sicheren Umgang und Einsatz von Arbeitsmitteln und Gefahrstoffen</li> <li>• Fehlbedienung führt zu Stillstand</li> <li>• Vorbeugende Instandhaltung und Wartung</li> <li>• Regelmäßige Prüfungen durch unabhängige Institutionen</li> <li>• monatliche Auditierung</li> <li>• Monatliche Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung (nach Betriebs-sicherheitsverordnung und Gefahrstoffverordnung)</li> <li>• Keine störenden Umgebungsbedingungen (Lärm/Beleuchtung/Klima)</li> </ul>

**BEWERTUNGSTABELLE 3**  
**„Gesundheitsschaden Bedeutung – B “**

Bewertungs- punkte	Gesundheitsschaden	Beispiele zur Zuordnung
<b>10</b>	<b>Tod</b>	
<b>9</b>	<b>lebensbedrohlicher Gesundheitsschaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verätzungen</li> <li>• Verbrennungen Stufe 3</li> <li>• Vergiftungen</li> <li>• Schockzustände</li> <li>• Elektrischer Stromschlag</li> <li>• Schädelfraktur / lebensbedrohliche Frakturen</li> <li>• Verletzung lebensnotwendiger Organe</li> </ul>
<b>8</b>	<b>äußerst schwerwiegender Gesundheitsschaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlust von Körperteilen</li> <li>• Chronische Erkrankungen</li> <li>• Lähmungen</li> <li>• MdE &gt; 50 %</li> </ul>
<b>7</b>	<b>schwerwiegender Gesundheits- schaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkrankung der Lenden- und Halswirbelsäule (Band- scheibenvorfall)</li> <li>• Erfrierungen</li> <li>• MdE 20 – 50 %</li> </ul>
<b>6</b>	<b>schwerer Gesundheitsschaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lärmschwerhörigkeit</li> <li>• Eindringung von Fremdkörpern</li> <li>• MdE 5 – 20 %</li> </ul>
<b>5</b>	<b>mittelschwerer Gesundheits- schaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virusinfektion bzw. bakterielle Erkrankungen</li> <li>• Muskelverspannungen (Hexenschuss)</li> <li>• Burn out</li> <li>• Ausfallzeit &gt; 3 Tage</li> </ul>
<b>4</b>	<b>geringer Gesundheitsschaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leichte Verletzungen, Prellungen, Schürfwunden, Schnittwunden, Verrenkungen</li> <li>• Muskelverspannungen</li> <li>• Ausfallzeit 1- 3 Tage</li> </ul>
<b>3</b>	<b>sehr geringer Gesundheitsschaden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leichte Quetschung, Hautabschürfungen ohne Blutung und ohne Verbrennung</li> <li>• Versorgung durch Ersthelfer ausreichend</li> <li>• Ausfallzeit 1 Tag</li> </ul>
<b>2</b>	<b>Gesundheitsschaden unwahrscheinlich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurzzeitiger Aufenthalt im Lärmbereich</li> <li>• Kurzfristige Über- bzw. Unterforderung</li> <li>• Einmaliges Einatmen von gesundheitsschädigenden Stoffen (Schweißbrauche)</li> <li>• Kurzzeitiges Arbeiten unter Vibration</li> </ul>
<b>1</b>	<b>kein Gesundheitsschaden</b>	

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

### 1. Tag

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN finden Einstieg in die Seminarsituation</li> <li>• TN erhalten Informationen zu Dozenten, Haus und organisatorischen Regeln</li> <li>• TN und Dozenten lernen sich kennen</li> </ul>	<b>01 Begrüßung und Vorstellung, Seminareinführung</b>			<b>1 LE</b>
	Begrüßung, Vorstellung Seminarleiter & Co-Referent <sup>i</sup>			
	Organisatorisches <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brandschutzvideo</li> <li>• Seminarzeiten</li> <li>• Infos zum Haus</li> <li>• Seminarregeln (Handys, Pausen, Pünktlichkeit, Vertraulichkeit)</li> </ul>	Vortrag	Video Flipchart Seminarzeiten (02)	15 min
	Vorstellung der Teilnehmer im Plenum <ul style="list-style-type: none"> <li>• Name</li> <li>• Betrieb (Ort, Größe)</li> <li>• Produkte, Dienstleistung</li> <li>• Funktion (TZ-Sifa, VZ-SiFa, intern, extern, sonstige Aufgaben, Konstrukteur, AMB, UMB, QMB)</li> <li>• Erfahrungen mit FMEA und Gefährdungsbeurteilung</li> </ul>		Flip mit Fragen zur Vorstellung oder ppt Vorstellung	25 min
	Roter Faden	Vortrag	Folie 01 oder ppt	5 min
<b>Mittagessen</b>				
Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis unter den TN</li> <li>• TN kennen die Geschichte der FMEA</li> </ul>	<b>02 Grundlagen FMEA</b>			<b>2. + 3. LE</b>
	Geschichte der FMEA	Vortrag	ppt Grundlagen	10 min
	Beispiel Beleuchtung eines Fahrrades	Vortrag	ppt Beisp.Fahrrad QM	25 min
	Einstieg: „Welche Europäischen Gesetze kennen Sie?“	Lehrgespräch	Tafel	10 min

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kenne die Vorgehensweise anhand eines Beispiels</li> <li>• TN kennen die rechtlichen Grundlagen</li> <li>• TN kennen den Unterschied zwischen Gefährdungsbeurteilung und Risikobeurteilung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begriffserklärungen EU-Verordnung, EU-Richtlinie               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Artikel 95 und MRL / 9.GPSGV</li> <li>- Artikel 137 und ArbSchG</li> </ul> </li> <li>• New approach mit Normenhierarchie</li> </ul>		Entwurf eines Tafelbildes als ppt Rechtsgrundlagen	
	Gefährdungsbeurteilung nach <ul style="list-style-type: none"> <li>• § 5 ArbSchG</li> <li>• § 3 BetrSichV</li> <li>• § 7 GefStoffV</li> </ul>	Präsentation	ppt Gefährdungsbeurteilung	15 min
	Risikobeurteilung GPSG 9.te VO zu GPSG			
	Vorstellung der Folie zu DIN EN ISO 14121			5 min
	Zusammenfassung der Unterschiede zwischen Gefährdungsbeurteilung und Risikobeurteilung	Lehrgespräch	Flip; Tafel; Visualizer ppt Vergleich GB - RB	15 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kennen die Vorgehensweise und Unterschiede bei der Gefährdungsbeurteilung und Risikobeurteilung</li> </ul>	Zu welchem Zeitpunkt des Prozesses wird die Risikobeurteilung und wann die Gefährdungsbeurteilung erstellt	Lehrgespräch	Plenum; Flip	10 min
<b>Kaffeepause</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN können Arbeitssystem definieren</li> <li>• TN erkennen den Zusammenhang zwischen Arbeitssystem</li> </ul>	<b>03 System und Subsystem</b>			<b>4. LE</b>
	Definition des Arbeitssystems, Subsystem, Systemelement Abläufe und Beteiligungen im System	Vortrag, Aufdeckung	Flip; Blatt mit Definitionen	15 min

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
und den Anforderungen aus ArbSchG und MRL • TN keinen WW der einzelnen System-Elemente	Frage: Wie werden die Grenzen einer Maschine bestimmt? • räumliche Grenzen • zeitliche Grenzen • Verwendung Wie werden die Grenzen bei Arbeitsplätzen bestimmt? • räumliche Grenzen • zeitliche Grenzen • Anzahl von Personen • Vorhandene Arbeitsmittel Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen den einzelnen Elementen Gruppeneinteilung für unterschiedliche Arbeitssituationen	Lehrgespräch  Am Beispiel eines Fahrrads  Am Beispiel Bildungsstätte  Film	Flip; Musterlösung zu Grenzen der Maschine  FILM „Behälterbau“ von Firma Wolf Film „Gildemeister“ Pinwand Gruppeneinteilung	30 min
<b>Ende des ersten Tages; Abschluss des Tages</b>				
Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
• TN vertiefen ihre Kenntnisse	<b>03 System und Subsystem</b>			<b>5. LE</b>
	• Nennen der Grenzen des betrachteten Arbeitssystems • Nennen der Systemelemente	Gruppenarbeit	ARB Film.doc	25 min
	• Präsentation der AG-Ergebnisse	Plenum	Lösungsblatt	20 min
<b>Ende des ersten Tages; Abschluss des Tages</b>				

## 2. Tag

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
	<b>04 Erklärungsmodell</b>			<b>6. + 7.LE</b>
Ergebnissicherung vom Vortag	Was ist eine FMEA? Unterschied Risikobeurteilung - Gefährdungsbeurteilung Arbeitssystem, Subsystem, Systemelement Systemgrenzen	Zuruffrage	Flip; Tafel vom Vortag	10 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kennen Unfallenstehung und Krankwertungsmodell</li> <li>• TN kennen die Definitionen der Erklärungsmodells,</li> <li>• TN können Gesundheitsschäden eingruppiieren.</li> <li>• TN wissen, dass der Mensch ebenfalls eine Gefahrenquelle sein kann.</li> <li>• TN wenden die Definitionen an</li> <li>• TN kennen das Formblatt</li> </ul>	Zum Einstieg werden die Definitionen von Gefahrquelle, G-faktor und gefahrbringende Bedingung gegeben Unfallentstehungsmodell, Krankwertungsmodell wird erklärt Vorstellung der Gefährdungsfaktoren Nennen unterschiedliche Gesundheitsschäden	Vortrag  Vortrag Zurufabfrage	Flip  ppt Unfall-entstehungsmodell  Flip	35 min
	Unfallanzeige (Fräsmaschine / Pumpe) Nennen von Gefahrenquelle, Gefährdungsfaktor und gefahrbringender Bedingung	Partnerarbeit	ARB Gefahrenquelle	15 min
	Präsentation der Ergebnisse	Abfrage im Raum	Visualiser; Arbeitsblatt	10 min
	<b>05 FMEA</b>			
	Vorstellung der unterschiedlichsten FMEA-Arten Unterschiede FMEA-Arten Vorstellung des Formblattes	Vortrag	ppt Vorstellung Formblatt	20 min
<b>Kaffeepause</b>				

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
				<b>8.LE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>TN kennen die Methoden der FMEA sowie das Formblatt</li> </ul>	<p>Welche FMEA-Methoden kennen Sie? Wann werden diese Methoden eingesetzt? Welche Fehler werden untersucht?</p>	Lehrgespräch	Anschreiben auf Flip oder Visualiser	15 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>TN wenden das Formblatt für eine Gefährdungsbeurteilung an</li> <li>TN erkennen den Zusammenhang zw. Fehler, Fehlerursache, Fehlerart und Fehlerfolge und dem Entstehungsmodell von Unfällen</li> </ul>	<p>Wiederholung des Formblattes an einem Beispiel Qualitätssicherung (Fahrrad) Zuordnen des Fehlerbegriffes zu Definition Denkmodell</p>	<p>Vortrag Lehrgespräch</p>	<p>ppt Zuordnung Denkmodell Formblatt  Karten; Pinwand</p>	20 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>TN leisten den Transfer von klassischer FMEA zu Gefährdungsbeurteilung / Risikobeurteilung</li> </ul>	<p>Vorstellung eines ausgefüllten Formblattes am Beispiel Reparatur Fahrradkette</p>	Vortrag	ppt Beispiel Fahrrad AS	10 min
				<b>9. LE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwenden der Formblattes für die Gefährdungsbeurteilung / Risikobeurteilung</li> </ul>	<p>Anhand des Filmes wird das Beispiel vom Vortrag aufgenommen und die TN füllen das Formblatt aus, dabei werden alle Gefährdungsfaktoren, gefahrbedingte Bedingungen erfasst. Anschließend mit Gruberleitfaden (Seite 42) und Reudenbach (Seite 117 ff.) vergleichen, ob alle Gefährdungsfaktoren berücksichtigt sind. Dazu werden die Grenzen mit den Verantwortlichkeiten aus dem Kopfteil angepasst.</p>	GA	<p>Film Gruber Leitfaden C-Norm für Fräsmaschinen, Laserschneidanlagen Layout des Formblattes</p>	45 min
<b>Mittagspause</b>				

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN vertiefen ihre Kenntnisse</li> </ul>				<b>10.LE</b>
	Präsentation der Ergebnisse und Rückmeldung	Vortrag + Lehrgespräch	Aufgabenblatt	45 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kennen die unterschiedlichsten Beurteilungsmöglichkeiten</li> <li>• TN sind sensibilisiert bezüglich der unklaren Bewertungsbegriffe</li> </ul>	<b>06 Risikobewertung</b>			<b>11.LE</b>
	<p>Nohl, Risikograph (DIN EN 954)</p> <p>Jeder TN wenden Nohl und Risikograph am Beispiel Fahrradreparatur als Einzelarbeit an.</p> <p>Die Auswertung erfolgt anschließend gemeinsam im Plenum durch Nennung des Ergebnisses</p> <p>Frage: Welche Schwierigkeiten ergeben sich durch die Begriffe hoch, mäßig, gering</p> <p>Welche Vorteile bringt eine genauere (differenzierte) Unterteilung?</p>	Vortrag Einzelarbeit	ppt Nohl-Risikograph Arbeitsblatt	25 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN erkennen den Zusammenhang zwischen Bewertung bisher und FMEA Formblatt</li> </ul>	Gegenüberstellung der Bewertung bisher mit den Bewertungen nach FMEA	Lehrgespräch	Flip, PIN-Wand	10 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kennen Bewertungstabelle der FMEA</li> <li>• TN kenne die Bedeutung Entdeckungswahrscheinlichkeit, Auftrittswahrscheinlichkeit und Bedeutung</li> </ul>	Zuordnung der Bewertungstabelle zum Denkmodell Erklärung der Bewertung durch die Begriffe der FMEA-Tabelle	Lehrgespräch	Formblatt, ppt-Bewertungsziffern	10 min
<b>Kaffeepause</b>				

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>TN kennen die modifizierten Bewertungstabellen</li> </ul>				<b>12.+13.LE</b>
	Die Bewertungstabellen werden vorgestellt <ul style="list-style-type: none"> <li>Inhalt</li> <li>Abstufung</li> <li>Gesundheitsschäden</li> <li>Auftretenswahrscheinlichkeiten</li> </ul>	Vortrag	ppt Bewertungstabelle	15 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>TN können eigenständig modifizierte Tabellen erstellen</li> </ul>	TN erhalten vorbereitete Tabellen und ergänzen diese. Gruppensprecher präsentieren die Gruppenergebnisse und erhalten eine Rückmeldung	GA	Arbeitsblatt	45 min
				30 min
<b>Ende 2. Tag</b>				

### 3. Tag

	Inhalt	Methode	Material	Zeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN erkennen den Zusammenhang zwischen dem Formblatt, der Gefährdungsbeurteilung und Risikobeurteilung</li> </ul>				<b>14.+15.LE</b>
	Rückblick und Zusammenfassung der beiden Vortage Definitionen, Bewertungstabellen und Formblatt werden kurz erklärt	Lehrgespräch		10 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN kennen die Maßnahmenhierarchie</li> <li>• TN können die Risikoprioritätszahl berechnen und der Maßnahmenhierarchie zuordnen</li> </ul>	Einführung der RPZ Maßnahmen müssen anhand der Risikoprioritätszahl entwickelt werden Maßnahmenhierarchie erklären Zuordnung RPZ zur Maßnahmenhierarchie	Lehrgespräch	Tafel	20 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN können wenden die Maßnahmenhierarchie anwenden</li> <li>• TN erkennen durch die Iteration, dass FMEA eine Verbesserung darstellt</li> </ul>	TN rechnen die RPZ für ihr Beispiel aus TN legen entsprechende Maßnahmen fest Erneute Bewertung und Berechnung der RPZ	GA	Arbeitsblatt	60 min
<b>Kaffeepause</b>				

## Anhang V - Seminarkonzept GRFMEA

Ziele	Inhalt	Methode	Material	Zeit
				<b>16.LE</b>
	TN präsentieren ihre Maßnahmen Rückmeldung	Lehrgespräch		25 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN erkennen, dass FMEA modifizierbar ist</li> <li>• TN erkennen, dass durch das ausgefüllte Formblatt die gesetzliche Vorgabe zur Doku bezüglich ArbSchG erfüllt sind</li> <li>• TN kennen die notwendigen Doku zum Inverkehrbringen von Maschinen</li> </ul>	Frage: welche Vorgaben gibt es laut ArbSchG und BGVA1 an die Doku Frage: welche Vorgabe bezüglich der Dokumentation gibt es nach Maschinenrichtlinie	Lehrgespräch	BGV A1, ArbSchG, MRL,	20 min
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TN reflektieren Erkenntnisgewinn und Praxistransfer</li> </ul>	<b>Zusammenfassung und Abschluss</b>			<b>17.LE</b>
	Sinn der FMEA noch einmal thematisieren → Appell an TN: mit Augenmaß vorgehen und auf die betrieblichen Gegebenheiten anpassen			45 min
<b>Seminarende</b>				

<sup>i</sup> Das gesamte Seminar wird im Team-Teaching durchgeführt, d.h. beide Referenten sind die ganze Zeit anwesend