

Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen zu Notwendigkeit, Art und Umfang sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlage)

Barth, Christof; Hamacher, Werner; Janssen, Kevin; Riebe, Sebastian

Abschlussbericht / final report

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Barth, C., Hamacher, W., Janssen, K., & Riebe, S. (2011). *Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen zu Notwendigkeit, Art und Umfang sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlage)*. (Forschungsbericht / Bundesministerium für Arbeit und Soziales, F410). Köln: systemkonzept - Gesellschaft für Systemforschung und Konzeptentwicklung mbH. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-334343>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Forschungsvorhaben

**Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen
zu Notwendigkeit, Art und Umfang
sicherheitstechnischer Prüfungen
von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlagen)**

Abschlussbericht

April 2011

Abschlussbericht

Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen zu Notwendigkeit, Art und Umfang sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlagen)

Ein Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales.

Durchführung:



www.systemkonzept.de
Aachener Straße 68 50674 Köln
Tel: 02 21 / 56 908-0 Fax: 02 21 / 56 908-10
E-Mail: info@systemkonzept.de

Konzeption und Ausarbeitung:
Christof Barth

In Zusammenarbeit mit:
Werner Hamacher
Kevin Janssen
Sebastian Riebe

April 2011

Betreuendes Referat im Bundesministerium für Arbeit und Soziales:

Referat IIIb3

Herr Dr. Klein, Herr Jerusalem, Herr Raths

Projektbetreuung in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin:

Frau Kittelmann (Gruppe 2.4), Frau Lafrenz (Gruppe 2.3)

Das Forschungsprojekt wurde von einem externen Beraterkreis begleitet, dem folgende Personen angehörten:

Professor Dr. Jochum

Herr Karsten	Ministerium für Gesundheit und Soziales des Landes Sachsen-Anhalt
Herr Klosowski	TÜV NORD AG
Herr Kolbinger	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung – DGUV
Professor Dr. Pieper	Bergische Universität Wuppertal
Herr Dr. Schalau	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Herr Dr. Schmelzer	Bayer HealthCare AG
Herr Dr. Schuler	BASF - The Chemical Company
Herr Wink	Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen

Die Durchführung der Untersuchungen sowie die Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen sind von der Auftragnehmerin in eigener wissenschaftlicher Verantwortung vorgenommen worden. Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales übernimmt insbesondere keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Untersuchungen.

Vorwort

Nach der Betriebssicherheitsverordnung von 2002 obliegt dem Arbeitgeber der Schutz der Beschäftigten bei der Benutzung von Arbeitsmitteln und beim Betrieb von Anlagen. Für einige als besonders gefährlich geltende Anlagen, die enumerativ als sogenannte überwachungsbedürftige Anlagen im Geräte- und Produktsicherheitsgesetz aufgelistet werden, sind Erlaubnisvorbehalte, Anzeigepflichten und Prüfungen durch externe Sachverständigenorganisationen vorgesehen (Vier-Augen-Prinzip). Die Liste der überwachungsbedürftigen Anlagen ist seit Jahrzehnten unverändert und entspricht nur teilweise den tatsächlichen Gefährdungen in den Unternehmen. In der Gefährdung vergleichbare andere Anlagen werden nicht oder nur unzureichend erfasst. Es gibt keine objektiven und nachvollziehbaren Kriterien, anhand derer über die Notwendigkeit von Sachverständigenprüfungen bei bestimmten Anlagen und Arbeitsmitteln und von entsprechenden Festlegungen in Rechtsvorschriften entschieden werden könnte.

Vor diesem Hintergrund und im Vorfeld der geplanten Neufassung der Betriebssicherheitsverordnung hat das Bundesministerium für Arbeit und Soziales Ende 2009 das Forschungsvorhaben „Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen zu Notwendigkeit, Art und Umfang sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlagen)“ vergeben, dessen Ergebnisse in diesem Bericht dargestellt sind. Ergänzend hierzu wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales ein zweites Forschungsprojekt durchgeführt, in dem ein Rechtsvergleich zur Umsetzung von Artikel 4a der Richtlinie 89/655/EWG (nach Kodifizierung jetzt Artikel 5 in der Richtlinie 2009/104/EG) ins nationale Rechtssystem ausgewählter EU-Mitgliedstaaten vorgenommen wurde. Die Forschungsprojekte haben verstärkt zu Diskussionen und Reaktionen in der Fachwelt geführt. So wurde während der Projektlaufzeit beispielsweise ein zur Thematik passendes TÜV-Forschungsvorhaben durchgeführt.

Das im vorliegenden Abschlussbericht darstellte Forschungsvorhaben wurde begleitet von einem Beraterkreis, gebildet aus Fachexperten der Industrie einschließlich zugelassener Überwachungsstellen, der Forschung, der Unfallversicherung und der Länderbehörden. Der Beraterkreis hat durch konstruktive Diskussionen und Anregungen einen wichtigen Beitrag zum Ergebnis des Forschungsprojektes geleistet. Hier sei insbesondere auch auf die Nennung von Fachleuten für konkrete Fallbeispiele zwecks Befragung durch die Forschungsnehmerin verwiesen, ohne die die beispielhafte Erprobung der entwickelten Methodik zur Ermittlung besonders prüfbedürftiger Arbeitsmittel und Anlagen nicht möglich gewesen wäre.

Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales

Bonn, im April 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	9
Kurzfassung	14
Abstract	16
1 Ausgangslage	18
2 Projektziele	23
3 Methodisches Vorgehen	25
3.1 Projektbegleitender Beraterkreis	25
3.2 Recherchen	26
3.3 Entwicklung der Methodik	27
3.3.1 Vorgehen für die Auswahl zu überprüfender Arbeitsmittel und Anlage	28
3.3.2 Methodik für die Risikobeurteilung	28
3.3.3 Vorgehen für die Ermittlung von Prüfungsbedarf	29
3.4 Erprobung	29
3.5 Leitfaden	30
3.6 Berichterstattung	30
4 Vorscreening und Vorstrukturierung der Arbeitsmittel und Anlagen	32
5 Gesamtkonzept	34
5.1 Entwicklung des Gesamtkonzeptes	34
5.1.1 Modell zur Risikobeurteilung	36
5.1.1.1 Risiko	36
5.1.1.2 Systemszenario	41
5.1.1.3 Ereignisse und Verlaufsszenarien	41
5.1.1.4 Beurteilung der Verlaufsszenarien (Risikobeurteilung)	42
5.1.1.5 Ermittlung der relevanten Kriterien für das Risiko	43

5.1.2	Prüfsystematik	43
5.1.3	Bonus-Konzept	45
5.1.4	Zusammenfassung	47
5.2	Operationalisierung der Kriterien des Gesamtkonzeptes	49
5.2.1	System szenario	49
5.2.2	Ereignisse und Verlaufsszenarien	49
5.2.2.1	Skalierung der Schadensschwere	50
5.2.2.2	Vorschlag für die mögliche Schadensschwere des Grenzzrisikos	51
5.2.2.3	Beeinflussbarkeit durch besondere Expertenprüfungen	51
5.2.2.4	Verlaufsszenarien und Gefährdungen	52
5.2.3	Eintrittswahrscheinlichkeit	53
5.2.4	Vorschlag für einen Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit des Grenzzrisikos	60
5.2.5	Prüfsystematik	64
5.2.6	Bonus-Konzept	64
5.3	Vorgehen bei der Anwendung der Methodik	67
5.4	Leitfaden	71
6	Erprobung	72
6.1	Aufzüge	72
6.1.1	Anlagenspektrum (Schritt 2)	72
6.1.2	Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zur Überwachung	74
6.1.3	Erkenntnisse über Mängel und Unfälle	75
6.1.4	Risikobeurteilung (Anwendung der Methodik)	76
6.1.4.1	Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)	76
6.1.4.2	Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)	76
6.1.4.3	Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)	79
6.1.4.4	Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)	85
6.1.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	85
6.2	Tankstellen	86
6.2.1	Anlagenspektrum	86
6.2.2	Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen	87

6.2.3	Erkenntnisse über Mängel und Unfälle	89
6.2.4	Risikobeurteilung	89
6.2.4.1	Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)	89
6.2.4.2	Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)	91
6.2.4.3	Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)	93
6.2.4.4	Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)	97
6.2.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	97
6.3	Krane	98
6.3.1	Anlagenspektrum (Schritt 2)	98
6.3.2	Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfung	100
6.3.3	Erkenntnisse über Mängel und Unfälle	102
6.3.4	Risikobeurteilung (Anwendung der Methodik)	102
6.3.4.1	Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)	102
6.3.4.2	Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)	102
6.3.4.3	Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)	105
6.3.4.4	Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)	108
6.3.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	108
6.4	Biogasanlagen	109
6.4.1	Anlagenspektrum (Schritt 2)	109
6.4.2	Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen	111
6.4.3	Erkenntnisse über Mängel und Unfälle	114
6.4.4	Risikobeurteilung	115
6.4.4.1	Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)	115
6.4.4.2	Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)	115
6.4.4.3	Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)	116
6.4.4.4	Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)	120
6.4.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	121
6.5	Druckbehälter	122
6.5.1	Anlagenspektrum (Schritt 2)	122
6.5.2	Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen	124

6.5.3	Erkenntnisse über Mängel und Unfälle	126
6.5.4	Risikobeurteilung	126
6.5.4.1	Mögliche Ereignisse und Verlaufsszenarien bei Druckbehältern	126
6.5.4.2	Ansätze für Boni	127
6.5.5	Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen	128
7	Erkenntnisse aus der Erprobung der Methodik	129
	Literaturverzeichnis	136
	Anhang: Vereinfachte Übersicht zu Prüfpflichten der Betriebssicherheitsverordnung (ohne spezielle Ausnahmen und Sonderregelungen)	146

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Prüfungen nach derzeitiger Betriebssicherheitsverordnung	19
Abbildung 2:	Übersicht zur rechtlichen Verankerung der Überwachung von Anlagen	20
Abbildung 3:	Projektdesign	25
Abbildung 4:	Ansätze zur Ableitung des Bedarfs an Prüfungen/ Prüfvorschriften	35
Abbildung 5:	Modell zur Risikobeurteilung	40
Abbildung 6:	Gesamtkonzept im Überblick	47
Abbildung 7:	Kennwerte für die Eintrittswahrscheinlichkeit	53
Abbildung 8:	Verschleiß- / Ermüdungskennlinien (Faktor E2)	57
Abbildung 9:	Grenzrisiken nach dem Ampelmodell für krebserzeugende Gefahrstoffe als zusätzliches statistisches Risiko einer Krebserkrankung im Laufe des Arbeitslebens (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2010)	62
Abbildung 10:	Vorgeschlagener Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit	63
Abbildung 11:	Flussdiagramm zur Vorgehensweise bei der Anwendung der Methodik	68
Abbildung 12:	Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Aufzug“	72
Abbildung 13:	Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Tankstellen“	87
Abbildung 14:	Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Krane“	99
Abbildung 15:	Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Biogasanlagen“	110
Abbildung 16:	Prinzipskizze für Biogasanlagen (vgl. Postel u. a. 2008)	111
Abbildung 17:	Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Druckbehälter“	123
Abbildung 18:	Morphologischer Kasten für Ereignisse mit potenziell tödlichen Folgen bei Druckbehältern	127
Tabelle 1:	Systematik für die Prüfung von Arbeitsmitteln und Anlagen	44
Tabelle 2:	Skala für die Schadensschwere	50
Tabelle 3:	Erwartete Versagenswahrscheinlichkeit sicherheitsrelevanter Bauteilen (Faktor E1)	55

Tabelle 4:	Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit orientiert an der Zoneneinteilung gemäß BetrSichV und Zündquellenkategorie nach TRBS 2152-3	56
Tabelle 5:	Menschliche Zuverlässigkeit gemäß VDI 4006 Blatt 2 (E3)	58
Tabelle 6:	Wahrscheinlichkeit des Erkennens der Gefahr und der Vermeidung des Schadens (Faktor E4)	59
Tabelle 7:	Expositionsanteile (Faktor E5)	60
Tabelle 8:	Todesrisiko durch verschiedene Ereignistypen	61
Tabelle 9:	Risikoeinstufungen nach RAPEX-Verfahren (EU-Kommission, 2009)	62
Tabelle 10:	Bonus zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit mit Kennwert C6	66
Tabelle 11:	Mängelstatistik 2009 des Arbeitskreises 2 der zugelassenen Stellen (vgl. VdTÜV, 2010)	76
Tabelle 12:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	77
Tabelle 13:	Die ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	78
Tabelle 14:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	80
Tabelle 15:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	81
Tabelle 16:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Absturz der Kabine (nach unten)“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	82
Tabelle 17:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Eingeschlossen werden in der Kabine“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	83
Tabelle 18:	Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	84
Tabelle 19:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“	91
Tabelle 20:	Die ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“	92

Tabelle 21:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils“ Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“	93
Tabelle 22:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule“ Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“	94
Tabelle 23:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen“ Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“	95
Tabelle 24:	Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“	96
Tabelle 25:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“	103
Tabelle 26:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“	104
Tabelle 27:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion“; Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“	105
Tabelle 28:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung“; Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“	106
Tabelle 29:	Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“	107
Tabelle 30:	Zusammensetzung von Roh-Biogas (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2007)	109
Tabelle 31:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	115
Tabelle 32:	Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	116
Tabelle 33:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum“; Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	117
Tabelle 34:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion infolge Einströmen von Luft“ ;Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	118

Tabelle 35:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	119
Tabelle 36:	Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“	120
Tabelle 37:	Zusammenfassende Ergebnisse der Erprobung	134

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausschuss für Betriebssicherheit
AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGG	Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz
BGR	Berufsgenossenschaftliche Regel
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
C1	Credit und Kennwert für das Kriterium „Versagenswahrscheinlichkeit relevanter Bauteile oder Sicherheitseinrichtungen“ der EWS mit Credit
C2	Credit und Kennwert für das Kriterium „Verschleiß und Ermüdung“ der EWS mit Credit
C3	Credit und Kennwert für das Kriterium „Menschliche Zuverlässigkeit“ der EWS mit Credit
C4	Credit und Kennwert für das Kriterium „Gefahr erkennen und beseitigen bzw. vermeiden“ der EWS mit Credit
C5	Credit und Kennwert für das Kriterium „Exposition“ der EWS mit Credit
C6	Credit und Kennwert für das Kriterium „Aufrechterhaltung der Sicherheit“
DIN	Deutsche Industrie Norm
E1	Kriterium „Versagenswahrscheinlichkeit relevanter Bauteile oder Sicherheitseinrichtungen“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E2	Kriterium „Verschleiß und Ermüdung“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E3	Kriterium „Menschliche Zuverlässigkeit“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E4	Kriterium „Gefahr erkennen und beseitigen bzw. vermeiden“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E5	Kriterium „Exposition“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
EG	Europäische Gemeinschaft

EK ZÜS	Erfahrungsaustauschkreis der zugelassenen Überwachungsstellen
EU	Europäische Union
EWS	Eintrittswahrscheinlichkeit
EWS _{grenz}	Schwellenwert der Eintrittswahrscheinlichkeit zum Grenzkrisiko (als Kennwert)
EWS _{grenz,P}	Schwellenwert der Eintrittswahrscheinlichkeit zum Grenzkrisiko (als statistischer Wahrscheinlichkeitswert)
GG	Grundgesetz
GPSG	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz
HVBG	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
MW	Megawatt
OrtsDruckV	Verordnung über ortsbewegliche Druckgeräte
RGB	Regalbediengeräte
TRbF	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TS-Gehalt	Trockensubstanzgehalt
Ü-Anlagen	Überwachungsbedürftige Anlagen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VdTÜV	Verband der Technischen Überwachungsvereine
ZÜS	Zugelassene Überwachungsstellen

Kurzfassung

Gefährliche Arbeitsmittel und Anlagen erfordern besondere Maßnahmen zur nachhaltigen Gewährleistung der Systemsicherheit. Hierzu gehören Prüfungen. Die Betriebssicherheitsverordnung schreibt besondere Prüfungen durch befähigte Personen bzw. Prüfstellen (zugelassene Überwachungsstellen) vor. Für welche Arbeitsmittel und Anlagen solche besonderen Prüfungen gefordert werden können, legt das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz in einem abschließenden Katalog sogenannter überwachungsbedürftiger Anlagen (Ü-Anlagen) fest. Dieser Katalog ist seit Jahrzehnten unverändert geblieben. Die Dynamik der technischen Entwicklung verlangt eine Überprüfung und Aktualisierung des Katalogs und der Prüfungsanforderungen. Zu diesem Zweck ist eine Methodik zu entwickeln und zu erproben, mit deren Hilfe der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen kann, welche Arbeitsmittel und Anlagen besonders prüfbedürftig sind und welche Anforderungen an solche Prüfungen zu stellen sind.

In Expertengesprächen und Literaturrecherchen wurden die bisherigen Regelungen, aktuelle Entwicklungen und verfügbare Verfahren auch angrenzender Gebiete (wie z. B. im Umweltschutz) im Hinblick auf die Eignung für die zu entwickelnde Methodik untersucht. Auf dieser Basis erfolgte die Entwicklung eines Ansatzes und eines Gesamtkonzepts für die Methodik einschließlich der Ermittlung der relevanten Kriterien. Für die Kriterien wurden Operationalisierungen vorgenommen und Instrumente zur Einstufung der Kriterien erarbeitet. Für die Anwendung der Methodik wurde ein Leitfaden erstellt, der handlungsleitend die Vorgehensschritte beschreibt sowie die Instrumente und Formulare zur übersichtlichen Dokumentation der Ergebnisse bereitstellt. Methodik und Leitfaden wurden mit Expertenunterstützung an fünf vorgegebenen Arbeitsmittel- und Anlagentypen erprobt und aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Ein vom Auftraggeber eingesetzter Beraterkreis aus Experten und Vertretern der betroffenen Kreise hat das Projekt begleitet.

Die Recherchen und Expertengespräche ergaben, dass eine Risikobetrachtung unvermeidlich ist. Auch der bisherige Ü-Anlagen-Katalog beruht im Ansatz im Wesentlichen auf einer impliziten Risikobeurteilung. Mit einer transparenten Risikobeurteilung zur Festlegung der besonders prüfbedürftigen Arbeitsmittel und Anlagen wird dennoch Neuland betreten. Dies erfordert eine breite Risikokommunikation. Ein weiteres Kriterium ist die Beeinflussbarkeit des Risikos durch Expertenprüfungen. Der hohe Aufwand von Prüfungen durch unabhängige Experten ist nur zu rechtfertigen, wenn von dem Arbeitsmittel bzw. der Anlage ein hohes Risiko ausgeht und dieses durch solche Prüfungen wirksam reduzierbar ist. Das große Spektrum von Arbeitsmitteln und Anlagen und die Vielzahl möglicher Einsatz- und Betriebsbedingungen sowie von Gefährdungen und möglichen Ereignisverläufen erfordern die Eingrenzung der Anwendung der Methodik auf wenige relevante Konstellationen durch gezielte Auswahl sowie realtypische Szenarien. Als Maßstab für die Risikobeurteilung war die Festlegung eines Grenzniveaus erforderlich. Als Schwellen für das Grenzniveau wurden orientiert an Vergleichswerten aus angrenzenden Gebieten und anderen Staaten für die Schadensschwere der Tod eines Beschäftigten oder mehrerer Beschäftigter und für die Eintrittswahrscheinlichkeit 10^{-5} vorgeschlagen. Diese Schwellenwerte kamen bei der Erprobung zum Einsatz, sind aber vom Ausschuss für Betriebssicherheit zu ü-

berprüfen und ggf. modifiziert zu vereinbaren. Die Erprobung ergab, dass die Methodik für die gewünschte Fragestellung effizient und problemadäquat anzuwenden ist und zu plausiblen, reliablen und validen Ergebnissen kommt. Sie liefert eine übersichtliche Ergebnisdarstellung, die geeignet erscheint, den Ausschuss für Betriebssicherheit bei der sachorientierten Konsensfindung und fachgerechten Festlegung von Prüfungsanforderungen zu unterstützen. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist aber von der verfügbaren Datenbasis und dem Expertenwissen zu technischen Mängeln und Risiken der betrachteten Szenarien abhängig. Für die Anwendung der Methodik sind spezifische Kenntnisse erforderlich.

Die Anwendung der Methodik auf die zu erprobenden Arbeitsmittel- und Anlagentypen ergab, dass für Aufzüge, Krane, Biogasanlagen und Druckbehälter grundsätzlich Prüfungen durch unabhängige Experten (Prüfstellen) notwendig sind. Bei diesen Arbeitsmittel- und Anlagentypen bestehen aber auch Möglichkeiten, bei Nachweis der dauerhaften Umsetzung festgelegter präventiver Maßnahmen bestimmte Prüfungsanforderungen zu reduzieren. Bei Benzin- und Diesel-Tankstellen sind über den Explosionsschutz hinausgehende Prüfungen nicht erforderlich.

Die entwickelte Methodik wird nun im Ausschuss für Betriebssicherheit, insbesondere in der speziell für die Überprüfung des Ü-Anlagen-Katalogs eingerichtete Projektgruppe „Besonders prüfbedürftige Arbeitsmittel“ zu diskutieren sein. Auf der Grundlage getroffener Vereinbarungen kann dann die Methodik für solche Arbeitsmittel- und Anlagentypen angewendet werden, für die überprüft werden soll, ob diese in einen zukünftigen Katalog für besonders prüfbedürftige Arbeitsmittel und Anlagen aufzunehmen oder nicht aufzunehmen sind. Die Ergebnisse der Anwendung der Methodik liefern zudem Merkmale für die Festlegung der Prüfungsanforderungen sowie für die Festlegung solcher präventiver Maßnahmen, bei deren Nachweis ebenfalls festzulegende reduzierte Prüfungsanforderungen gelten können.

Abstract

Dangerous work equipment and installations require special measures for the sustainable assurance of system safety. This includes inspections. The Plant Safety Ordinance (*Betriebs-sicherheitsverordnung*) lays down special inspections by qualified individuals or inspection bodies (authorised inspection bodies). The Equipment and Product Safety Act maintains a conclusive catalogue of so-called installations in need of inspection (in German: *Ü-Anlagen*) fixing the work equipment and installations for which such special inspections can be demanded. This catalogue has remained unchanged for decades. The dynamic of technical development necessitates a review and update of the catalogue and the inspection requirements. For this purpose a method must be developed and tested which can be used by the Committee for Plant Safety to check what work equipment and installations are in special need of inspection and what requirements have to be set for such inspections.

In expert discussions and literature searches the previous regulations, current developments and procedures available in adjacent areas as well (such as environmental protection) have been considered with a view to their suitability for the method to be developed. On this basis an approach and an overall concept has been developed for the method, including determination of the relevant criteria. For the criteria operationalisations were carried out and instruments were created for classifying the criteria. A guide was drawn up for application of the method, describing in the form of practical instructions the procedural steps and providing the instruments and forms for a clear documentation of the results. The method and guide have been tested with expert support on five specified types of work equipment and installation, and they have been developed further on the basis of the knowledge thus gained. An advisory group assigned by the employer and consisting of experts and representatives of the groups affected has accompanied the project.

The searches and expert discussions have revealed that a consideration of risk is inevitable. The approach of the catalogue of *Ü-Anlagen* installations is based essentially on an implicit risk assessment. A transparent risk assessment to establish the work equipment and installations in special need of inspection is new territory. This demands a broad risk communication. A further criterion is the extent to which risk can be influenced by expert inspections. The great effort and expense involved in inspections by independent experts is only justifiable if the work equipment or installations involve a high risk and this can be effectively reduced by such inspections. The wide range of work equipment and installations, the large number of possible conditions of use and operation, as well as the many hazards and possible incident developments require that the method be restricted to a few relevant constellations. This should be done by making a targeted selection and using scenarios which are typical of reality. As a measure for the risk assessment it was necessary to establish a limit risk. Taking as an orientation reference values from adjacent areas and other states, the thresholds proposed for the limit risk were the death of a worker or a number of workers and for the occurrence probability 10^{-5} . These threshold values were used in the trials, but they must be reviewed by the Committee for Plant Safety and agreed in modified form where relevant. The trials revealed that the method can be applied efficiently and

in a manner adequate to the problem for the question concerned. It also yields plausible, reliable and valid results. It provides a clear presentation of results, which appears to be a suitable means of assisting the Committee for Plant Safety in the establishment of an objective consensus and the expert formulation of inspection requirements. The reliability of the results depends, however, on the database available and the expertise relating to technical defects and risks of the scenarios considered. Specific knowledge is required to apply the method.

Application of the method to the types of work equipment and installation being tested revealed that for lifts, cranes, biogas installations and pressure vessels inspections by independent experts (inspection bodies) are invariably necessary. With these types of work equipment and installation, however, there are also possibilities for cutting back certain inspection requirements if there is verification of the permanent implementation of preventive measures laid down. For petrol and diesel filling stations inspections are not required beyond explosion safety.

The method developed must now be discussed in the Committee for Plant Safety, and in particular in the project group on "Work Equipment in Special Need of Inspection" specifically set up to review the catalogue of work equipment and installations in need of inspection (*Ü-Anlagen*). On the basis of agreements concluded the method may be applied to such types of work equipment and installation for which a check is to be made as to whether they should be included or not in a future catalogue of work equipment and installations where there is a special need for inspection. The results from the application of the method also reveal features which can be used to establish inspection requirements. They also reveal features for the establishment of preventive measures whose verification may mean that the applicable inspection requirements can be reduced.

1 Ausgangslage

Von Arbeitsmitteln und Anlagen können verschiedene Risiken¹ ausgehen. Sie können z. B.

- Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten (und Dritter) gefährden,
- versagen oder ausfallen und stehen dann nicht mehr für den gewünschten Zweck zur Verfügung – nicht selten mit weitreichenden Folgewirkungen,
- die Umwelt belasten, in dem z. B. Stoffe unkontrolliert austreten,
- durch nicht optimale Betriebsweise erhöhten Ressourcenverbrauch hervorrufen und
- auf diesen Wegen erhöhte Kosten, Imageverlust und verringerte Marktchancen verursachen.

Arbeitgeber und Anlagenbetreiber ergreifen Maßnahmen der Instandhaltung, um Arbeitsmittel oder Anlagen während deren Lebenszyklus in einem sicheren, funktionstüchtigen und optimalen Zustand zu erhalten bzw. sie in diesen Zustand zurückzuführen. Dies tun sie u. a. durch Wartung, Inspektion, Überwachung, Störungsbeseitigung, Instandsetzung und Erprobung (TRBS 1112).

Um dem nach dem Grundgesetz geforderten Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit (Art. 2 Abs. 2 GG) Ausdruck zu verleihen, wird der Arbeitgeber im Arbeitsschutzgesetz verpflichtet, die erforderlichen Maßnahmen des Schutzes der Beschäftigten zu ergreifen (§ 3 Abs. 1 ArbSchG). Er hat durch eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen zu ermitteln, welche Maßnahmen erforderlich sind (§ 5 ArbSchG).

Zu solchen Maßnahmen gehören u. a. die in der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) genannten Prüfungen von Arbeitsmitteln, die der Sache nach meist speziell auf Sicherheitsaspekte orientierte Inspektionen sind. Im Rahmen der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber auch festzulegen, welche Prüfungen nach Art und Umfang in welchen Fristen erforderlich sind (§ 3 Abs. 3 BetrSichV).

Betreiber von Anlagen haben erforderliche Prüffristen auf der Grundlage einer sicherheitstechnischen Bewertung festzulegen, soweit eine solche nicht schon bei der Gefährdungsbeurteilung erfolgt (§ 15 Abs. 1 BetrSichV). Dies gilt insbesondere für Anlagen, für die keine Gefährdungsbeurteilung erforderlich ist, da sie keine Arbeitsmittel sind. Orientierungshilfe hierzu finden Arbeitgeber und Anlagenbetreiber in den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), die auf Vorschlag des Ausschusses für Betriebssicherheit vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) veröffentlicht werden.

Bei der Festlegung der Prüfungen sind Arbeitgeber und Anlagenbetreiber nicht völlig frei. Die Betriebssicherheitsverordnung legt auf der Grundlage des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes unterschiedliche Prüfpflichten im Sinne von Mindestanforderungen fest. Dabei lassen

¹ Zur Klärung des Begriffes siehe Kapitel 5.1.1.1.

sich grob vier Stufen erkennen: Je höher das von den Arbeitsmitteln oder Anlagen ausgehende Risiko² für Leben und Gesundheit von Menschen ist, desto umfangreicher sind die Prüfpflichten³ (vgl. Abbildung 1).

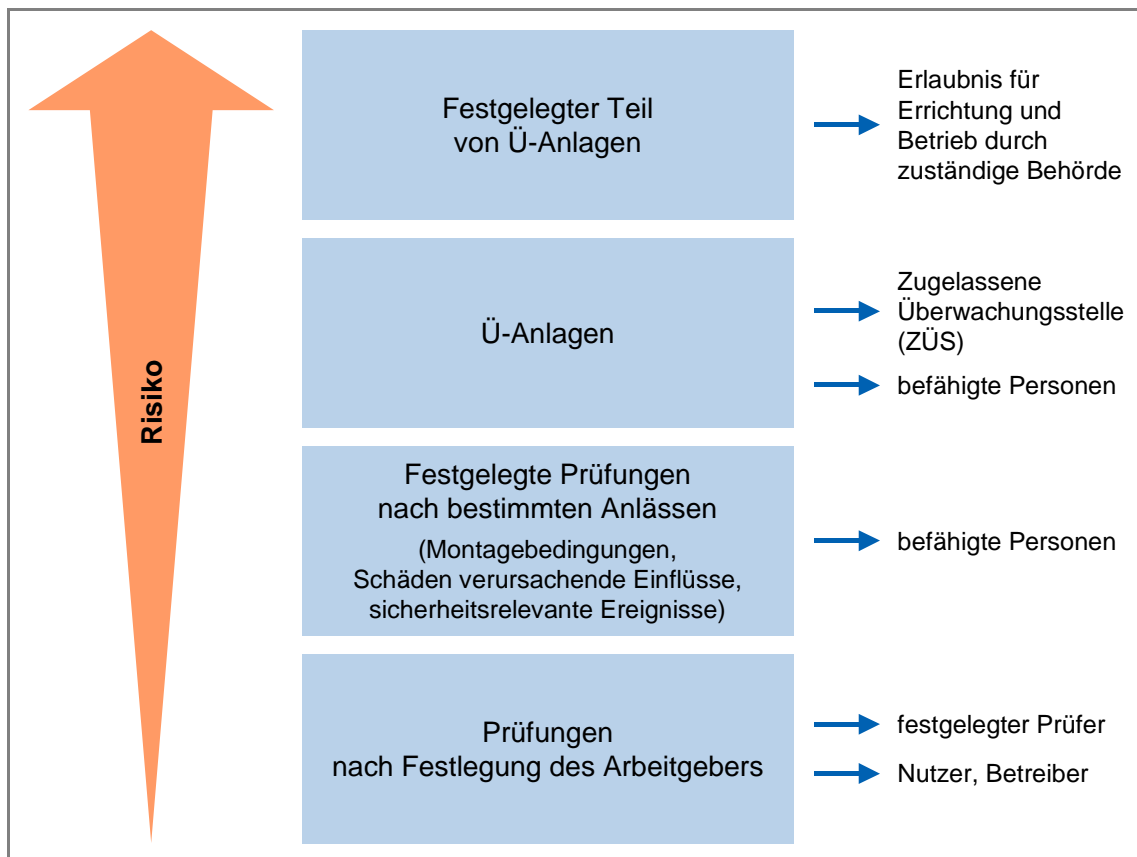


Abbildung 1: Prüfungen nach derzeitiger Betriebssicherheitsverordnung

- Alle Arbeitsmittel sind vor und während der Benutzung auf offensichtliche Mängel zu überprüfen (Anhang 2 Nr. 2.4 BetrSichV), meist durch den Benutzer oder den unmittelbaren Vorgesetzten. Nähere Festlegungen trifft der Arbeitgeber aufgrund der Gefährdungsbeurteilung orientiert am Stand der Technik und den Empfehlungen des Herstellers.
- Ist die Sicherheit von den Montagebedingungen abhängig oder unterliegen Arbeitsmittel Schäden verursachenden Einflüssen, die zu gefährlichen Situationen führen können, oder haben außergewöhnliche sicherheitsrelevante Ereignisse (u. a. Unfälle, Veränderungen, Änderungs- oder Instandhaltungsarbeiten an Arbeitsmitteln, Naturereignisse) stattgefunden, werden darüber hinaus Prüfungen durch hierzu befähigte Personen gefordert (§ 10 BetrSichV).
- Für sogenannte überwachungsbedürftige Anlagen (kurz Ü-Anlagen), von denen erhöhtes Risiko ausgeht, d. h. im Schadensfall in der Regel eine sehr hohe Schadensschwere ein-

² Im Folgenden ist mit Risiko stets das Risiko für das Leben und Gesundheit von Beschäftigten und ggf. Dritter gemeint (vgl. auch Abschnitt 5.1.1.1).

³ Eine Übersicht zu den Prüfpflichten der Betriebssicherheitsverordnung, die die zahlreichen Sonderregelungen und Ausnahmen außer acht lässt, befindet sich im Anhang.

tritt, sind nach Abschnitt 3 der BetrSichV festgelegte Prüfungen durch zugelassene Überwachungsstellen (kurz: ZÜS) vorgeschrieben. Nur unter bestimmten Bedingungen mit reduziertem Risiko ist die Prüfung durch befähigte Personen erlaubt (§ 14 und 15 BetrSichV).

- Für einen festgelegten Teil überwachungsbedürftiger Anlagen greift verschärfend der Erlaubnisorbehalt, d. h. u. a. die Prüfung der gutachterlichen Äußerung der zugelassenen Überwachungsstelle und Betriebserlaubnis durch die zuständige Behörde (§ 13 BetrSichV).

Während die beiden ersten Stufen die Mindestanforderungen des Artikels 5 der EU-Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (Richtlinie 2009/104/EG, vor dem 23.10.2009: 89/655/EWG) weitgehend unverändert in nationales Recht umsetzen, finden die beiden weiteren Stufen (Regelungen zu überwachungsbedürftigen Anlagen) keine Entsprechung im EU-Recht und sind damit weitergehende nationale Vorschriften, wie es sie auch in anderen Staaten gibt (vgl. Fischer, 2010). Die Regelungen für überwachungsbedürftige Anlagen dienen auch dem Schutz Dritter.

Welche Anlagen zu den Ü-Anlagen zählen, ist zunächst in § 2 Abs. 7 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) in einem abgeschlossenen Katalog festgelegt (vgl. Abbildung 2). Für eine Teilmenge⁴ dieses Ü-Anlagenkatalogs nach GPSG legt die Betriebssicherheitsverordnung die in Abbildung 1, dritte und vierte Stufe angesprochenen besonderen Prüfpflichten fest.

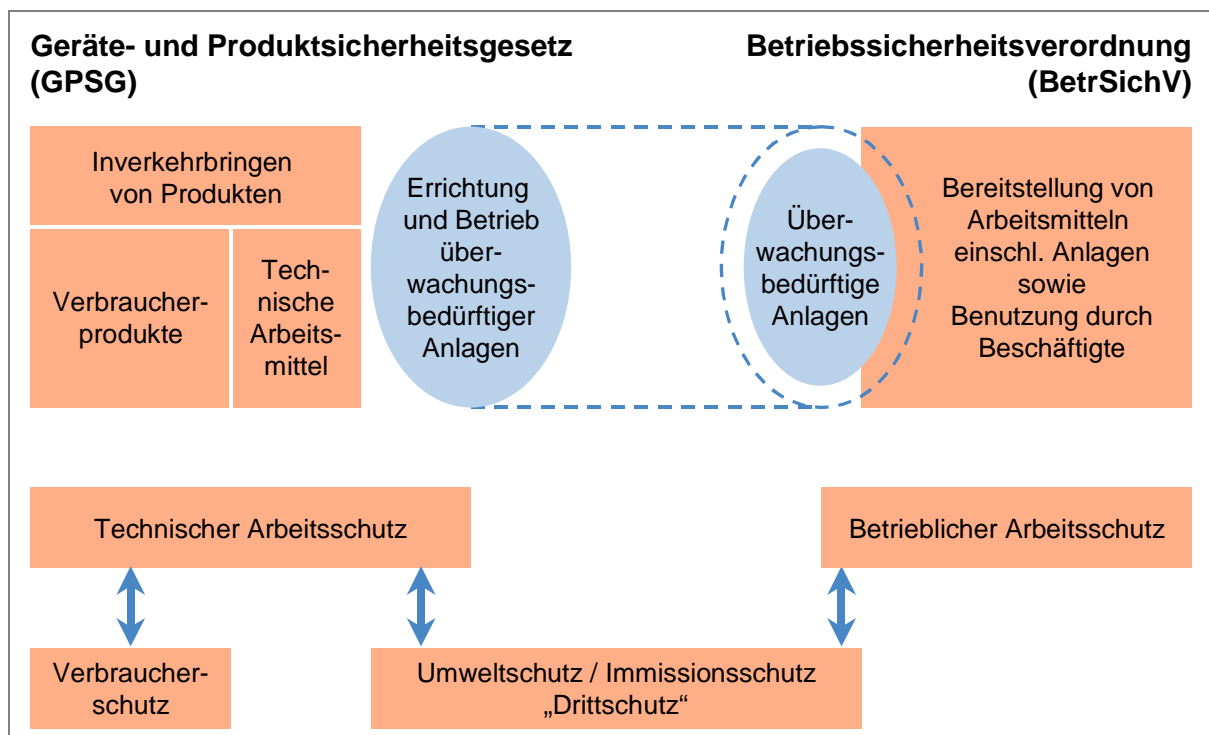


Abbildung 2: Übersicht zur rechtlichen Verankerung der Überwachung von Anlagen

⁴ In der Betriebssicherheitsverordnung nicht berücksichtigt sind Ü-Anlagen, die inzwischen kaum noch betrieben (z. B. Calciumcarbidlager oder Acetylanlagen) oder als nicht mehr so gefährlich eingestuft werden (z. B. Getränkeschankanlagen).

Abbildung 2 lässt erkennen, dass es zwischen Arbeitsmitteln und Ü-Anlagen Überschneidungen gibt, d. h. es gibt

- Arbeitsmittel, die keine Ü-Anlagen sind (z. B. Krane),
- Arbeitsmittel, die gleichzeitig auch Ü-Anlagen sind (z. B. Baustellenaufzüge),
- Ü-Anlagen, die keine Arbeitsmittel sind, also mit denen Beschäftigte nicht umgehen (z. B. Aufzüge in reinen Wohngebäuden) und insbesondere dem Schutz Dritter dienen.

Der geschlossene Ü-Anlagen-Katalog des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes besteht seit Jahrzehnten weitgehend unverändert. Er berücksichtigt nicht die dynamischen Entwicklungen der Technik und damit verändertes Risiko der dort genannten Anlagen und auch nicht Anlagen, von denen aufgrund technischer Entwicklungen erhöhtes Risiko ausgeht, die aber im genannten Katalog nicht aufgeführt sind. Diese starren Festlegungen stehen im Widerspruch zur Forderung des Arbeitsschutzgesetzes und bereits älterer Forderungen für überwachungsbedürftige Anlagen, den Stand der Technik, also die dynamische technische Entwicklung, als Beurteilungsmaßstab zu beachten.

Die Vorschriften in der Betriebssicherheitsverordnung fokussieren einseitig auf Prüfungen. Andere Ansätze der präventiven und nachhaltigen Sicherstellung von Sicherheit und Gesundheitsschutz von Benutzern und Bedienern von Arbeitsmitteln und Anlagen aus dem Bereich der Instandhaltung (Wartung, vorbeugende Instandhaltung) werden kaum beachtet, obwohl die EU-Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (Richtlinie 2009/104/EG) in Art. 4 Abs. 2 verlangt, dass die Arbeitsmittel durch geeignete Instandhaltung („by means of adequate maintenance“) während der gesamten Zeit der Benutzung die Mindestanforderungen des Anhangs 1 der Richtlinie einhalten. Die ausdifferenzierten Vorschriften zu Prüfungen insbesondere durch zugelassene Überwachungsstellen fördert die Abkopplung der Prüfungen von der Instandhaltung, die zumindest teilweise als Inspektionen eigentlich Bestandteil der Instandhaltung sind.

Hinzu kommt, dass die Prüfungsvorschriften der Betriebssicherheitsverordnung teilweise sehr unübersichtlich und für die betrieblichen Praktiker schwer lesbar sind. Dies fördert die Abhängigkeit von Experten und führt in der Praxis auch dazu, dass notwendige Prüfungen unterbleiben.

Zu beachten sind in diesem Zusammenhang auch die Entwicklungen der Deregulierung der Arbeitsschutzvorschriften, durch die zahlreiche Unfallverhütungsvorschriften mit detaillierten Prüfungsvorschriften für zahlreiche Arbeitsmittel und Anlagen weggefallen sind. Die früher in verbindlichen Unfallverhütungsvorschriften vorgeschriebenen Prüfungen sind in nur noch über den Stand der Technik verbindlichen berufsgenossenschaftliche Regeln (insbesondere BGR 500) überführt worden. Teilweise gelten einzelne Unfallverhütungsvorschriften für Arbeitsmittel noch fort, z. B. die Unfallverhütungsvorschrift „Krane“ (BGV D 6). Hinweise aus der Praxis deuten aber auf Probleme der Unfallversicherungsträger bei der Durchsetzung der Prüfungsvorschriften hin, insbesondere auf Baustellen.

Vor diesem Hintergrund besteht Handlungsbedarf, der folgende Fragen aufwirft:

- Wie kann auf der Basis der Erfahrungen und des erreichten Stands die Sicherheit von Arbeitsmitteln und Anlagen weiterentwickelt werden?
- Wie können die Vorschriften insbesondere zu Prüfungen aktuell aber auch in Zukunft flexibler an den Stand der Technik und der Erkenntnisse angepasst werden?
- Welche Arbeitsmittel und Anlagen bedürfen zum aktuellen Stand der Technik besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten?
- Inwieweit können durch andere präventive Maßnahmen (z. B. der vorbeugenden Instandhaltung) Sicherheit besser erreicht und besondere Expertenprüfungen reduziert werden?

Dabei sind sowohl die derzeitigen Ü-Anlagen zu überprüfen als auch andere Arbeitsmittel und Anlagen, von denen ein hohes Risiko ausgeht (z. B. Biogasanlagen) und die teilweise in anderen Staaten besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten unterliegen.

Diese Überlegungen stehen im Zusammenhang mit der geplanten Novellierung der Betriebssicherheitsverordnung, die u. a. auf folgende Eckpunkte ausgerichtet ist:

- Beurteilung der Arbeitsbedingungen als zentrales Instrument zur umfassenden Festlegung der erforderlichen Maßnahmen
- Stärkung der Instandhaltung als Umsetzung von Art. 4 Abs. 2 der EU-Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (Richtlinie 2009/104/EG) und stärkere Anbindung der Prüfungen an die Instandhaltung
- Qualitätsgesicherte Instandhaltung durch spezifische Anforderungen an den Prüfer
- Zusätzlich für Arbeitsmittel und Anlagen mit hohem Risiko: Kontrolle nach dem 4-Augen-Prinzip, d. h. besondere Prüfungen durch unabhängige Experten
- Fokus auf den Schutz der Beschäftigten (gleicher Schutz für Dritte)
- Vollzugsüberwachung durch zuständige staatliche Stellen (klare Dokumentationsvorgaben)

2 Projektziele

Durch das vorgelegte Forschungsvorhaben „Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen zu Notwendigkeit, Art und Umfang sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlagen)“ soll eine Methodik entwickelt werden, anhand der die in § 2 Abs. 7 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) bzw. der derzeit gültigen Betriebssicherheitsverordnung aufgeführten überwachungsbedürftigen Anlagen sowie weitere gefährliche Arbeitsmittel darauf hin überprüft werden können, inwieweit entsprechend dem aktuellen Stand der Technik und Erkenntnisse besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind.

Die Methodik soll

- die Ermittlung der relevanten Ereignisse ermöglichen, mit denen kritischen Gefährdungen für Beschäftigte verbunden sind,
- die fundierte Beurteilung der Gefahren für Beschäftigte einschließlich der Feststellung des Bedarfs besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten erlauben,
- die Ableitung konkreter Prüfungsanforderungen unterstützen,
- Möglichkeiten aufzeigen, ob und inwieweit durch andere präventive Maßnahmen (z. B. der vorbeugenden Instandhaltung) Sicherheit besser erreicht und Erleichterungen bei besonderen Expertenprüfungen ermöglicht werden können (Bonusprinzip),
- der Komplexität der Arbeitsmittel und Anlagen in ihren typischen Betriebsweisen angemessen gerecht werden und für verschiedene Arbeitsmittel und Anlagen anzuwenden sein, andererseits aber auch ein zielgerichtetes, effizientes Vorgehen ermöglichen,
- Transparenz und Übersichtlichkeit zur Sachlage herstellen und für eine fundierte Debatte und Entscheidungsfindung im Ausschuss für Betriebssicherheit bereitstellen.

Die Methodik soll sich dabei auf den Schutz der Beschäftigten ausrichten.

Als Ergebnis soll ein Leitfaden zum Risikomanagement und die Ableitung von Prüfungsbedarf für den Ausschuss für Betriebssicherheit zur Verfügung stehen.

Die entwickelte Methodik soll an fünf Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen⁵ erprobt werden:

- Aufzüge
- Biogasanlagen
- Druckbehälter
- Krane
- Tankstellen

⁵ Als Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp wird eine Gruppe von Arbeitsmitteln bzw. Anlagen bezeichnet, die mit einem ähnlichen Verfahren einem ähnlichen Zweck dienen, z. B. Krane: Umschlagen von Lasten durch Anschlag an einen Seilzug.

Hieraus sind sowohl Aussagen zur Anwendbarkeit der Methodik sowie erste Tendenzen bezüglich des aktuellen Bedarfs an besonderen Expertenprüfungen zu treffen, die dann durch den Ausschuss für Betriebssicherheit überprüft und konkretisiert werden können.

Die Methodik soll den Ausschuss für Betriebssicherheit und den Verordnungsgeber dabei unterstützen, die bisherigen Regelungen zu überdenken und die Betriebssicherheitsverordnung sowie das zugehörige Regelwerk weiterzuentwickeln.

3 Methodisches Vorgehen

Das für das Projekt vorgesehene Projektdesign ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgte jedoch nicht diskret chronologisch, sondern bedarfsgerecht kombiniert bzw. angepasst an den jeweils erreichten Erkenntnisstand.

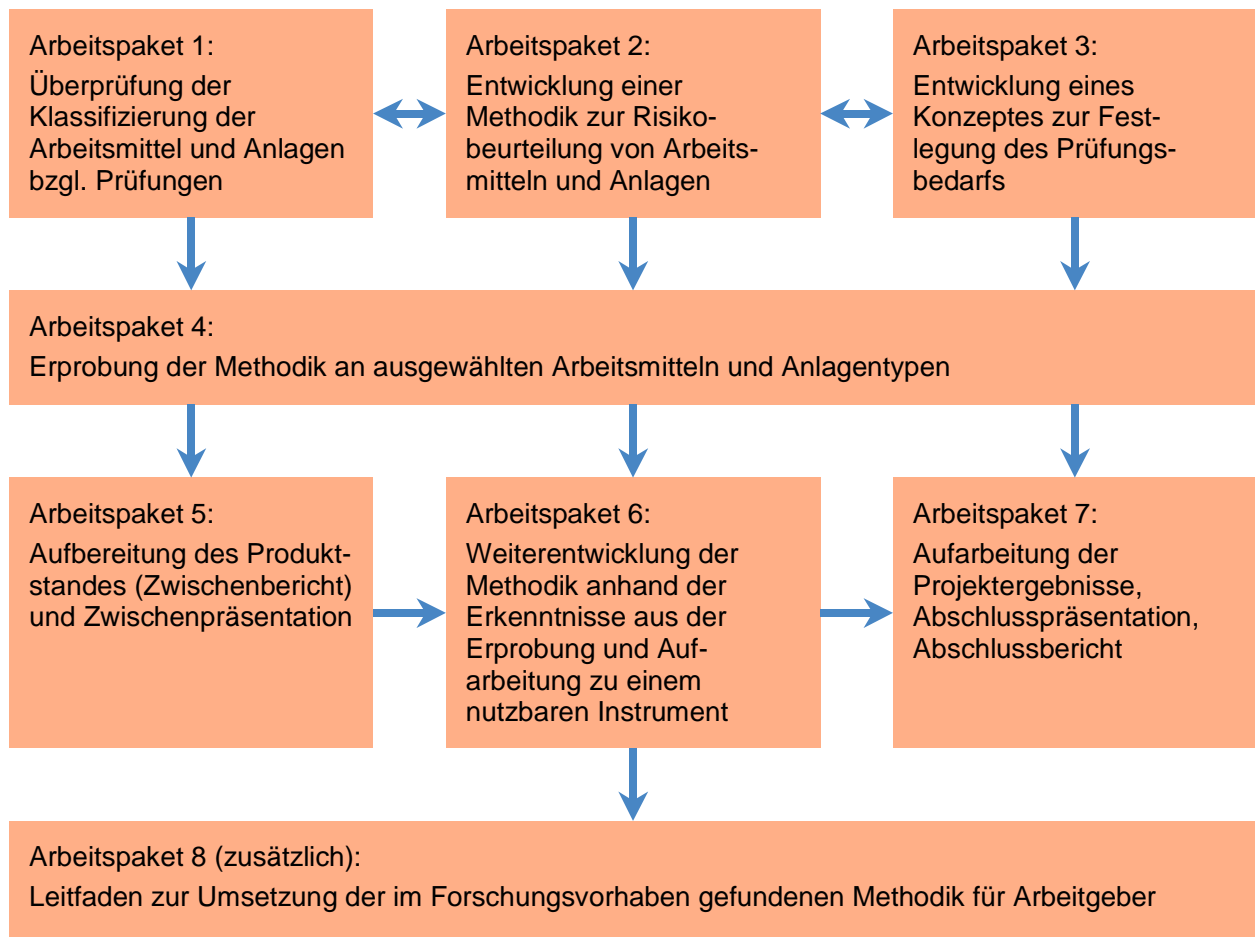


Abbildung 3: Projektdesign

3.1 Projektbegleitender Beraterkreis

Für die Laufzeit des Projektes hat das BMAS einen begleitenden Beraterkreis eingerichtet. Eingeladen waren Experten aus Institutionen, die mit Anlagensicherheit und insbesondere unabhängigen Expertenprüfungen befasst oder von den entsprechenden Regelungen betroffen sind, u. a. Vertreter von Bund und Ländern, der Unfallversicherung, der Kommission für Anlagensicherheit, von zugelassenen Überwachungsstellen, von Unternehmen, die überwachungsbedürftige Anlagen und teilweise auch Prüfstellen von Unternehmen gemäß § 21 Abs. 3 BetrSichV betreiben.

In den vier Sitzungen des Beraterkreises ging es darum,

- den jeweils erreichten Projektstand vorzustellen und zu diskutieren (meist auf der Basis eines im Vorfeld der Sitzung versandten Entwurfs des Zwischen- oder Abschlussberichts bzw. des Leitfadens),
- für die Erprobung Experten der ausgewählten Arbeitsmittel- und Anlagentypen zu benennen,
- die Schlüssigkeit der Methodik und des Leitfadens sowie die Relevanz der Kriterien zu überprüfen,
- Probleme und Vorschläge zu deren Lösung zu diskutieren,
- das Vorgehen zur Einbeziehung weitere Interessengruppen und für die Umsetzung im Ausschuss für Betriebssicherheit abzustimmen,
- den Auftraggeber bei der Abnahme der Projektergebnisse und Berichte zu unterstützen.

3.2 Recherchen

Zu Beginn des Projektes erfolgten Recherchen zu den Arbeitspaketen 1 bis 3 unter Berücksichtigung der für die in Arbeitspaket 4 vorgesehenen Erprobung. Die Recherchen umfassten ein umfangreiches Literaturstudium (insbesondere von Fachbeiträgen, Vorschriften, Regeln und Normen) und zahlreiche Fachgespräche mit Experten.

Arbeitspaket 1

(Überprüfung der Klassifizierung der Arbeitsmittel und Anlagen bezüglich Prüfungen)

In diesem Arbeitspaket wurde das Spektrum der derzeit überwachungsbedürftigen Anlagen ermittelt und strukturiert. Zur Vorbereitung der Erprobung erfolgte für jeden für die Erprobung vorgesehenen Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp die Darstellung des Spektrums mit wesentlichen strukturbildenden Merkmalen in morphologischen Kästen.

Arbeitspaket 2

(Entwicklung einer Methodik zur Risikobeurteilung von Arbeitsmitteln und Anlagen)

Zahlreiche Methoden und Verfahren zur Risikobeurteilung wurden für dieses Arbeitspaket daraufhin überprüft, ob deren Ansätze für den konkreten Anwendungsfall des Projekts zu nutzen und welche Kriterien zu berücksichtigen sind. Dabei erstreckte sich die Suche über die Sicherheitstechnik hinaus in angrenzende Gebiete wie z. B. Umweltschutz oder Materialprüfung sowie probabilistische (sowohl qualitative als auch quantitative) Ansätze. Untersucht wurden u. a. Fachbeiträge und Normen. Teilweise erfolgte zudem Gespräche mit Experten verschiedener Institutionen. In die Recherchen einbezogen waren Experten und Materialien von:

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)
- Kommission für Anlagensicherheit (KAS)
- Risikokommission
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
- Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS)
- Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)
- Institutionen im Ausland (z. B. Niederlande, Kanada)

Unter Ausschluss detaillierter, weil zu komplexer und aufwendiger Sicherheitsanalysen lag vor diesem Hintergrund der Schwerpunkt der Suche auf quantitativen und halb-quantitativen Verfahren wie:

- Ereignisablaufanalyse (DIN 25419)
- LOPA-Methode (Layer of Protection Analysis) (Bridges et al., 2001)
- Sicherheits-Integritätslevel (SIL) / Performance Level (PL) (DIN EN 61508)
- RAPEX-Verfahren (EU-Kommission, 2009)

Arbeitspaket 3

(Entwicklung eines Konzepts zur Festlegung des Prüfungsbedarfs)

Dieses Arbeitspaket befasste sich mit der Ermittlung und Strukturierung des derzeit gültigen Prüfungskonzeptes sowie mit der Aufnahme von Ansätzen zu dessen Weiterentwicklung. Zur Vorbereitung der Erprobung wurden für die vorgesehenen Anlagentypen die derzeit gültigen Prüfungsvorschriften ermittelt und strukturiert zusammengestellt.

Insbesondere auf der von Expertengesprächen wurde ein Prüfkonzept und ein Bonus-Konzept entwickelt.

3.3 Entwicklung der Methodik

Aus den Erkenntnissen der Recherchen erfolgte die Entwicklung folgender Methoden:

- Vorgehen für die Auswahl der zu überprüfenden Arbeitsmittel und Anlagen
- Methodik für die Risikobeurteilung
- Vorgehen für die Ermittlung von Prüfungsbedarf, orientiert an einem neuen für die Novellierung der Betriebssicherheitsverordnung vorgesehenen Prüfungskonzept

3.3.1 Vorgehen für die Auswahl zu überprüfender Arbeitsmittel und Anlage

Die Recherchen zeigten, dass die Zahl der Arbeitsmittel und Anlagen, bei denen Bedarf an besonderen Expertenprüfungen potenziell möglich erscheint, so groß ist, dass ein Vorscreening erforderlich ist, für welche Arbeitsmittel- und Anlagentypen anhand der Methodik zu ermitteln ist, ob besondere Expertenprüfungen notwendig sind und welche Boni möglich sind. Ein solches Vorscreening muss im Ausschuss für Betriebssicherheit erfolgen.

Zur Unterstützung wurde eine Vorgehensweise entwickelt und Kriterien diskutiert und festgelegt. Zudem wird ein Vorschlag für das Vorscreening unterbreitet, welche Arbeitsmittel- und Anlagentypen mithilfe der Methodik zur Risikobeurteilung untersucht werden sollen.

3.3.2 Methodik für die Risikobeurteilung

Bei der Suche nach einer geeigneten Methodik zur Risikobeurteilung und deren Weiterentwicklung für den Anwendungsfall bestand die Schwierigkeit darin,

- der Komplexität des Gegenstands gerecht zu werden (u. a. Spektrum der Arbeitsmittel und Anlagen, Einsatzbedingungen, Ereignisse und Verlaufsszenarien, Einflussfaktoren auf das Risiko),
- mit begrenztem Aufwand zuverlässige und für alle beteiligten Kreise nachvollziehbare Ergebnisse zu erzielen,
- eine praktikable Umsetzung der Ergebnisse in Anforderungen für Prüfungen oder Boni zu ermöglichen.

Auf der Grundlage der erfolgten Recherchen wurden

- ein Risikomodell und ein Modell zur Risikobeurteilung für die vorgesehene Anwendung entwickelt,
- alle relevanten Einflussgrößen auf das von Arbeitsmitteln und Anlagen ausgehende Risiko für Beschäftigte, insbesondere auf die Eintrittswahrscheinlichkeit, zusammengestellt,
- eine Vorgehensweise für die Anwendung der Methodik entwickelt.

Der Prozess der Eingrenzung auf wenige relevante Kriterien und deren Operationalisierung erstreckte sich auch über die Erprobung hinweg.

Für die Anwendung der Methodik war es erforderlich, eine Schwelle festzulegen, bei deren Überschreitung besondere Expertenprüfungen notwendig sind. Ein solcher Schwellenwert lag nicht vor. Orientiert an zahlreichen Vergleichen mit Schwellenwerten aus anderen Ländern und angrenzenden Sachgebieten (vor allem Produktsicherheit, Umwelt, Gefahrstoffe, Gesundheit) wurde ein Schwellenwert vorgeschlagen. Dies kann als Grundlage für die Diskussion und Konsensfindung in den betroffenen Kreisen dienen.

3.3.3 Vorgehen für die Ermittlung von Prüfungsbedarf

Konkreter Prüfungsbedarf ist von zahlreichen Aspekten abhängig:

- Arbeitsmittel- und Anlagentypen und den ggf. zu unterscheidenden Einsatzbedingungen
- Konkrete Gefährdungen und unfallauslösende Faktoren
- Ergebnisse der Risikobeurteilung
- Abgestuftes Prüfkonzept

Ein zu entwickelndes Vorgehen zur Ableitung des konkreten Prüfungsbedarfs musste sich daher an diesen Rahmenbedingungen orientieren. Einige Aspekte konkretisierten sich erst im Laufe des Projektverlaufs, andere sind von der künftigen Arbeit im Ausschuss für Betriebssicherheit abhängig.

Zu einem Prüfkonzept oder dessen Teilaspekte erfolgten zahlreiche Gespräche mit Auftraggeber, Beraterkreis und Experten. Insbesondere ging es um die Möglichkeiten und Grenzen von Boni, mit denen Sicherheit besser zu gewährleisten ist als durch besondere Expertenprüfungen.

3.4 Erprobung

Die Erprobung der Methodik diente der Bewertung der Merkmale, der Kriterien und des Vorgehens bzgl. Anwendbarkeit und Validität der Methodik sowie Plausibilität und Reliabilität der Ergebnisse.

Die fünf Arbeitsmittel- und Anlagentypen, mit denen die Methodik zu überprüfen war, waren vom Auftrag vorgegeben. Es handelte sich um:

- Aufzüge und Tankstellen, bei denen der Bedarf besonderer Expertenprüfungen nach den derzeitigen Vorschriften in den Fachkreisen kontrovers diskutiert wird,
- Krane und Biogasanlagen, bei denen besondere Expertenprüfungen in der Betriebssicherheitsverordnung bisher nicht vorgeschrieben sind, aber in den Fachkreisen ein solcher Bedarf diskutiert wird,
- Druckbehälter als sehr komplexer Gegenstand, der bezüglich des Bedarfs besonderer Expertenprüfungen in den Fachkreisen unstrittig ist (von daher wurde hier nur die Frage möglicher Boni untersucht).

Zur Vorbereitung der Erprobung erfolgten die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Recherchen.

Zur Erprobung der Methodik fanden für jeden Arbeitsmittel- und Anlagentyp mehrere Einzel- und Gruppengespräche mit den vom Beraterkreis vorgeschlagenen Experten statt. Nach der Vorstellung des Projektes wurde zunächst eine Überprüfung der Recherchen zur Struktur des betrachteten Arbeitsmittel- und Anlagentyps und zu den derzeitigen Prüfungsvorschriften vorgenommen. Anschließend erfolgte die Auswahl eines Systemszenarios (Arbeitsmittel- bzw. An-

lagenart⁶ mit typischen Einsatzbedingungen), auf das dann die Methodik angewendet wurde. Den Abschluss bildete eine Diskussion zur Bewertung der Methodik und über Probleme und Verbesserungsmöglichkeiten der Methodik.

Die Erkenntnisse aus der Erprobung führten zur Weiterentwicklung der Methodik.

3.5 Leitfaden

In Arbeitspaket 8 (vgl. Abbildung 3) war die Entwicklung eines Leitfadens zur Umsetzung der im Forschungsvorhaben gefundenen Methodik für Arbeitgeber vorgesehen. Die Entwicklungen zur Novellierung der Betriebssicherheitsverordnung und der Methodik ließen aber zwischenzeitlich erkennen, dass ein solcher Leitfaden für Arbeitgeber deutlich verfrüht wäre, da entsprechende verbindliche Regelungen noch nicht bestehen. Andererseits wurde bei der Entwicklung und Erprobung der Methodik deutlich, dass deren Anwendung durch den Ausschuss für Betriebssicherheit einer detaillierten Handlungsanleitung bedarf. In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgte eine Modifikation des Arbeitspakets 8 dahingehend, dass statt eines Arbeitgeberleitfadens eine Handlungsanleitung für den Ausschuss für Betriebssicherheit zu entwickeln war.

Da der Leitfaden sowohl für die Erprobung als auch zur Darstellung und Diskussion der Methodik besonders geeignet erschien, wurde ein Entwurf des Leitfadens frühzeitig erstellt und im Projektverlauf an die Weiterentwicklung der Methodik angepasst.

3.6 Berichterstattung

Über den Projektfortschritt erfolgte eine stetige Berichterstattung im projektbegleitenden Beraterkreis sowie in zwei Zwischenberichten und einem Statusbericht.

Projekt und Methodik wurden darüber hinaus bei folgenden Anlässen vor- und zur Diskussion gestellt:

- Konstituierende Sitzung des Ausschusses für Betriebssicherheit
- Länderarbeitsgruppe „Anlagensicherheit“ des Länderausschusses für Arbeitssicherheit
- Neu eingerichtete Projektgruppe „Besonders prüfbedürftige Arbeitsmittel“ des Ausschusses für Betriebssicherheit

⁶ Als Arbeitsmittelart wird eine eng umrissene Teilmenge eines Arbeitsmitteltyps mit spezifischem Verfahren und Zweck bezeichnet. So lässt sich der Arbeitsmitteltyp „Krane“ in die Arbeitsmittelarten „fest installierte Portalkrane“, „Turmdrehkrane“, „Fahrzeugkrane“ usw. unterteilen. Kombiniert mit weiteren Systemmerkmalen werden hieraus realtypische Systemszenarien gebildet, z. B. „fest installierte Portalkrane in Hallen“, „Turmdrehkrane auf Baustellen“.

Vorgesehen sind neben diesem Abschlussbericht weiterhin eine Veröffentlichung zum Forschungsvorhaben und zur Methodik in der Fachzeitschrift „Sicher ist sicher“ sowie die Vorstellung der Methodik im Sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium der Universität Wuppertal.

4 Vorscreening und Vorstrukturierung der Arbeitsmittel und Anlagen

Die Methodik ist nur für Arbeitsmittel- und Anlagentypen anzuwenden, für die der Ausschuss für Betriebssicherheit aufgrund eines vermutlich erhöhten Risikos besondere Prüfungen durch unabhängige Experten für potenziell notwendig hält.

Die für die Anwendung der Methodik in Betracht kommenden Arbeitsmittel- und Anlagentypen lassen sich in drei Gruppen strukturieren:

- Gruppe 1 Anlagen, die im Katalog überwachungsbedürftiger Anlagen im Geräte- und Produktsicherheitsgesetz bzw. in der Betriebssicherheitsverordnung verzeichnet sind und für die der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob die Anforderungen verändert werden können oder sollten (Verringerung oder Verschärfung der Anforderungen) oder ob der Anlagentyp aus dem Katalog für besondere Prüfungen durch unabhängige Experten gestrichen werden kann
- Gruppe 2 Arbeitsmittel- und Anlagentypen, die in anderen Ländern besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten unterzogen werden und für die der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp in den Katalog für besondere Prüfungen durch unabhängige Experten aufgenommen werden muss
- Gruppe 3 Arbeitsmittel- und Anlagentypen, die aufgrund der aktuellen Fachdiskussion aufgrund neuer Erkenntnisse als so gefährlich eingestuft werden, dass der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp in den Katalog für besondere Prüfungen durch unabhängige Experten aufgenommen werden muss

Für die Begründung der Vorauswahl und Prioritätensetzung werden dieselben Kriterien herangezogen wie für die Methodik selbst, die überschlägig im Sinne einer zu überprüfenden Hypothese eingeschätzt werden, insbesondere (vgl. Abschnitt 5.1.1.5):

- Kritische Schadensschwere (Tod) erscheint realistisch
- Erwartete Eintrittswahrscheinlichkeit über dem festgelegten Schwellenwert aufgrund
 - erhöhter Schadenshäufigkeit
 - erhöhtem Verschleiß / erhöhter Ermüdung
 - erhöhter Komplexität des Arbeitsmitteltyps unter typischen Einsatzbedingungen
 - schwer erkennbarer und schwer zu beseitigender Gefahren

Als Ausgangsbasis für die Abstimmung im Ausschuss für Betriebssicherheit kann folgender Vorschlag dienen (vgl. auch Fischer, 2010):

Gruppe 1 Potenzielle Änderungs- kandidaten aus dem derzeitigen Katalog überwachungs- bedürftiger Anlagen	Gruppe 2 Arbeitsmittel, die in anderen Län- dern einer besonderen Prüfung durch unabhängige Experten unter- zogen werden	Gruppe 3 Arbeitsmittel, die aufgrund aktueller Fachdiskussion als besonders gefährlich eingestuft werden
<ul style="list-style-type: none"> • Aufzüge: Können für bestimmte Aufzüge in bestimmten Einsatzbereichen (in Büro- und Wohngebäuden) die Anforderungen reduziert werden? • Tankstellen: Können bei Benzin- und Diesel-Tankstellen mit unterirdischen Tanks besondere Expertenprüfungen entfallen? • Ü-Anlagen gem. GPSG, die in der derzeitigen BetrSichV nicht berücksichtigt sind 	<ul style="list-style-type: none"> • Krane: Sollen Krane insbesondere auf Baustellen besonderen Expertenprüfungen unterzogen werden? • Gerüste: Sind für Gerüste besondere Expertenprüfungen erforderlich (wie in Frankreich)? • Pressen: Sind für bestimmte Pressen besondere Expertenprüfungen erforderlich (wie in Dänemark)? 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogasanlagen: Sollen in der Landwirtschaft eingesetzte Biogasanlagen besonderen Expertenprüfungen unterzogen werden?

5 Gesamtkonzept

5.1 Entwicklung des Gesamtkonzeptes

In diesem Abschnitt erfolgt die Herleitung des Gesamtkonzeptes für die Methodik. Es umfasst das Modell zur Risikobeurteilung, das Prüfkonzept, das Bonus-Konzept. Im nachfolgenden Abschnitt 5.2 folgt die Operationalisierung des Gesamtkonzeptes.

Für eine Methodik zur Risikobeurteilung und für die Ableitung des Bedarfs besonderer Expertenprüfungen sind drei verschiedene Ansätze denkbar (vgl. Abbildung 4).

- 1) Beim retrospektiven Ansatz (vgl. hierzu z. B. Bürger, 2003) erfolgt die Auswahl der Arbeitsmittel und Anlagen, die eine besondere Expertenprüfung erfordern, auf der Basis vorliegender Erkenntnisse zu Schadensereignissen wie Unfällen, Störfällen, Katastrophen und deren Häufigkeit. Unter der Annahme, dass solche Ereignisse in ähnlicher oder zunehmender Häufigkeit auch in der Zukunft eintreten, wird überprüft, ob dieser Zustand als noch akzeptabel anzusehen ist. Ergibt diese Bewertung, dass der Zustand nicht akzeptabel ist, besteht Handlungsbedarf. Auf einen entsprechend begründeten Vorschlag hin diskutieren die zuständigen Gremien mögliche Maßnahmen bis zur Konsensfindung. Diesem Vorgehen liegt im Ansatz bereits ein implizites Risikoverständnis zugrunde: Die Häufigkeit schwerer Unfälle wird mit einer noch akzeptablen Grenze verglichen. Treten solche Ereignisse „zu häufig“ auf, wird Handlungsbedarf gesehen. Welche Kriterien dabei mit welcher Gewichtung berücksichtigt werden, ist nicht immer transparent und kann unterschiedlich sein. Die Stärke dieses Ansatzes, der seine Leistungsfähigkeit bewiesen hat, ist gleichzeitig seine Schwäche: Es müssen erst ausreichend Ereignisse eingetreten sein, bevor Maßnahmen wie z. B. Prüfvorschriften getroffen werden können.

Als Alternative zum retrospektiven Ansatz sind zwei prospektive Ansätze denkbar.

- 2) Zum Einen ist ein am „Gefährdungspotenzial“ orientierter Ansatz in der Diskussion – z. B. bei einer in Stilllegung befindlichen kerntechnischen Anlage (Schütz u. a., 2004). Dazu wird das „Gefährdungspotenzial“ anhand der potenziell freigesetzten Energiemenge (Energieinhalt) als Maß für die mögliche Schadensschwere ermittelt. Bei Überschreiten eines festzulegenden Schwellenwerts wird das „Gefährdungspotenzial“ als so hoch angesehen, dass besondere Expertenprüfungen erforderlich sind. Dieser Ansatz ermöglicht eine präventive Vorgehensweise: Energieinhalte können errechnet werden. Es muss nicht erst ein Unfall eintreten, bevor Handlungsbedarf besteht. Bei diesem Ansatz bestehen aber grundlegende methodische Probleme. Zum einen ist der Begriff „Gefährdungspotenzial“ ungenau und wird unterschiedlich verwendet (Ulbig, Hertel, Böhl, 2009). Genau genommen ist er ein Widerspruch in sich. Denn „Gefährdung“ ist die prinzipielle Möglichkeit, dass ein Schadensereignis eintreten kann und entzieht sich daher einer Skalierung. Meist wird darunter die Gefährdung in Kombination mit der möglichen Schadensschwere verstanden. Eine Fokussierung auf dieses Kriterium führt zu teilweise unsinnigen Ergebnissen, wenn z. B. bei Maschinen mit sehr hohem Energieinhalt (etwa Wasserkraftturbinen) praktisch keine Schadensereignisse eintreten oder es bei eher geringen Energieinhalten (wie z. B. Aufzügen)

dennoch zu schwerwiegenden Ereignissen kommt. Ohne Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit ist dieser Ansatz nicht tragfähig.

- 3) Zum Anderen ist ein Risikoansatz⁷ in der Diskussion, der die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schadensschwere berücksichtigt (z. B. nomografisches Verfahren, Matrixverfahren, RAPEX-Verfahren)⁸. Hier ist zu unterscheiden zwischen dem
- qualitativen Risikoansatz, auf Grundlage einer qualitativen Beschreibung der möglichen Schadensschwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit
 - quantitativen Risikoansatz, auf Grundlage von statistischen (quantifizierbaren) Wahrscheinlichkeiten zur Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensschwere

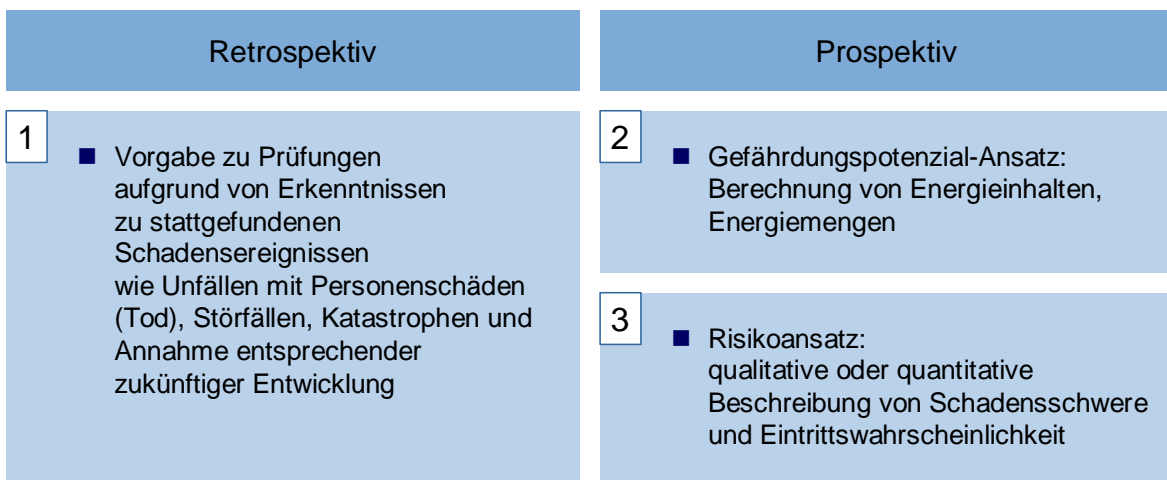


Abbildung 4: Ansätze zur Ableitung des Bedarfs an Prüfungen/ Prüfvorschriften

Allen Ansätzen gemeinsam ist ein Soll-Ist-Vergleich, orientiert an einer als noch akzeptabel angesehenen Grenze. Wenngleich die Art dieser Grenze vom methodischen Ansatz abhängig ist, bleibt doch die Festlegung dieser Grenze einem Konsensbildungsprozess der jeweils beteiligten Kreise überlassen.

Die genannten Ansätze zeigen, dass eine Risikobetrachtung vernünftigerweise unvermeidlich ist. Es wird daher in diesem Projekt ein risikoorientierter Ansatz verfolgt.

⁷ Zum Begriff des Risikos siehe Abschnitt 5.1.1.1.

⁸ Amtsblatt der Europäischen Kommission, 2010, S. 34.

5.1.1 Modell zur Risikobeurteilung

5.1.1.1 Risiko

Der Begriff des Risikos wird in den wissenschaftlichen Disziplinen unterschiedlich diskutiert und definiert. Es existiert eine Vielzahl von Risikobegriffen, die sich zum Teil auf andere Konstrukte beziehen. In den Sozialwissenschaften wurden die Ansätze von Beck (1986) und Luhmann (1991) über die Grenzen der Wissenschaft hinaus populär und prägten den Begriff der Risikogesellschaft nachhaltig. Für Beck ist die Risikogesellschaft dadurch gekennzeichnet, dass Risiken als „Modernisierungsrisiken“ Folge des technischen Fortschritts sind (Beck, 1986, S. 29ff.). Neue Risiken, die aus der Nutzung der Kernkraft oder der Gentechnik entstehen, werden trotz ihrer unkontrollierbaren Folgen akzeptiert. Luhmann erweiterte den von Beck eingeführten Begriff der Risikogesellschaft um die Facette der Zunahme der Risiken durch die Wissenserweiterung und das Wissen über neue Risiken. Die Ursachen von Risiken liegen in den Entscheidungen von Individuen und Organisationen (Risiko als Selbstzuschreibung). Anzugebende soziale Faktoren steuern hierbei die Selektion von Risiken (Luhmann, 1991, S.11 f.) und demnach auch die Begriffsdefinition. Risiko ist hier ein Konstrukt⁹, das in dem jeweiligen gesellschaftlichen Kontext entsteht. Letztlich birgt jede Entscheidung ein Risiko. Ein risikofreies Verhalten gibt es folglich nicht, denn auch eine Nichtentscheidung ist eine Entscheidung (Ebenda, S. 37). Auch ein Versprechen von null Risiko ist nicht realistisch (Albrecht, 2010). In den Wirtschaftswissenschaften findet sich der Risikobegriff z. B. im unternehmerischen Risiko, Risiko-Controlling (Burger, Buchhart, 2001) sowie im Bereich der Entscheidungstheorie (Laux, 2005; Wöhe, 2002). In den Umwelt- und Gesundheitswissenschaften werden z. B. natürliche Gefahren wie Erdbeben oder der Klimawandel dann zum Risiko, „wenn sie auf etwas wirken können, indem z. B. der Mensch [...] dem Erdbeben ausgesetzt ist“ (Kremer, 2004, S. 8). Risiko meint hier also die Möglichkeit eines Schadens oder Verlustes als Folge eines Ereignisses oder einer Handlung (Ebenda).¹⁰

Die Verwendung und Diskussion des Risikobegriffs in den unterschiedlichen Disziplinen hat zu einer Vielfalt an Risikodefinitionen geführt. So ist in einer rechtlichen Definition ein Risiko dann gegeben, wenn ein Schaden möglich oder nicht auszuschließen ist (SRU, 1999). Die soziologische Erklärung versteht Risiko als einen „Begriff, der auf Entscheidungssituationen mit fehlender oder unvollkommener Information angewandt wird“ (Hillmann, 2007, S. 754). Diese Begriffsvielfalt mit ihren semantischen Unbestimmtheiten führt unweigerlich zu Problemen in Risikowahrnehmung, Risikoakzeptanz und Risikokommunikation unter den verschiedenen Akteuren – sowohl bei Laien als auch bei Experten (Scheer u. a., 2010, S. 28). Neben der Vielfalt an Risikodefinitionen werden die Begriffe „Risiko“ („risk“) und „Gefahr“ („danger“) bzw. „Gefährdung“ („hazard“) im Sprachgebrauch von Institutionen, Verbänden, Behörden und der Öffentlichkeit häufig gleichbedeutend verwendet und nicht voneinander abgegrenzt (Luhmann, 1991, S. 31;

⁹ In diesem Zusammenhang ist auch vom „Risiko-Konstruktivismus“ (Günther, 1998, S. 150) die Rede.

¹⁰ Weitere Bezüge zum Risikobegriff finden sich u. a. in Rechtswissenschaft, Kriminologie, medizinischer Wissenschaft oder Mathematik (Stochastik).

Scheer u. a., 2010, S. 28). Folgende definitorische Abgrenzung soll an dieser Stelle vorgenommen werden:

- **Risiko**¹¹ – als wissenschaftlich-objektiver Begriff – ist definiert als mögliche Schwere eines Schadens und Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden dieser Schwere eintritt (technisches Risiko). Risiko bezeichnet ganz allgemein die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Handlung eine unerwünschte Folge (= Schaden) eintritt.
- **Gefahr**¹² ist ein Zustand oder ein Ereignis, bei dem ein nicht akzeptables (unvertretbares) Risiko eines Schadenseintritts besteht. Die Gefahr geht von einer bestimmten Gefahrenquelle (z. B. eines Stoffes oder einer Anlage) aus. Die Freiheit von nicht akzeptablem (unvertretbarem) Risiko wird als Sicherheit bezeichnet.¹³

Grenzrisiko: Die Begriffe „Gefahr“ und „Sicherheit“ sind Kategorien der Risikobewertung. Das höchste akzeptable Risiko – das Grenzrisiko – bildet die Grenzlinie zwischen den zwei Zuständen und wird z. B. in Gesetzen und Vorschriften über definierte Grenzwerte festgelegt. Dieses Grenzrisiko wird für die spezifische Anwendung der zu entwickelnden Methodik definiert als Schwellenwert, bei dessen Überschreitung besondere Expertenprüfungen als notwendig anzusehen sind.

Das Adjektiv zu Gefahr ist „gefährlich“. Gefährlich ist also ein Zustand oder ein Gegenstand, wenn Gefahr besteht, das von dem Zustand oder Gegenstand ausgehende Risiko also höher ist als das Grenzrisiko.

- **Gefährdung** (nach DIN EN ISO 12100) ist ein Zustand oder eine Situation, in der die Möglichkeit des Eintritts eines Gesundheitsschadens besteht. Die Gefährdung entsteht durch ein mögliches räumlich-zeitliches Zusammentreffen einer Gefahrenquelle mit Personen, bei dem eine schädigende Wirkung der Personen eintreffen kann.

Die Prämisse, dass das Risiko das entscheidende Auslösekriterium für die Notwendigkeit unabhängiger Expertenprüfungen von Arbeitsmitteln (einschließlich Anlagen) sein soll, hat weitreichende Konsequenzen:

- Der Risikobegriff beinhaltet, dass es hundertprozentige Sicherheit nicht gibt. Sicherheit als Kategorie der Risikobewertung ist ein relativer Begriff, der sich am festgelegten Grenzrisiko orientiert. Die Einhaltung des Grenzrisiko bedeutet nicht, dass kein Restrisiko mit im Einzel-

¹¹ Nach DIN EN ISO 12100 setzt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit u. a. auch aus der Häufigkeit und Dauer der Exposition sowie der Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung oder Begrenzung des Schadens zusammen. Die früher übliche von der Eintrittswahrscheinlichkeit getrennte Berücksichtigung solcher Faktoren ist nicht mehr Stand der Technik.

¹² „Unter einer Gefahr ist im Bereich des Arbeitsschutzes eine Sachlage zu verstehen, die bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens zu einem Schaden führt.“ (BAG, Urteil vom 12. August 2008, 9 AZR 1117/06)

¹³ Das Risiko ist nicht größer als das Grenzrisiko (höchstes akzeptables Risiko). Sicherheit ist dann gegeben, wenn die verbleibenden Risiken bei einer Risikobeurteilung als zu vernachlässigend gering beurteilt wurden. (vgl. BAU 1994)

fall gravierenden Folgen eintreten könnte. Eine Risikobetrachtung erkennt die Realität an, dass schwere Unfälle trotz aller Maßnahmen (einschließlich ausgeklügelter Expertenprüfungen) eintreten können, ja über kurz oder lang eintreten werden. Das Risiko muss nur ausreichend wenig wahrscheinlich, d. h. entsprechende Ereignisse ausreichend selten sein. Null Risiko (absolute Sicherheit) ist nur möglich, wenn ein Arbeitsmittel bzw. eine Anlage nicht betrieben wird. Ein ausreichend geringes Risiko wird akzeptiert, d. h., eine ausreichend geringe Anzahl schwerer Unfälle auch in der Betriebssicherheit, weil der mit dem Arbeitsmittel bzw. der Anlage verbundene Nutzen gewollt und dieser nur bei einem begrenzten Sicherheitsaufwand realisierbar ist, wie es in vielen anderen Bereichen selbstverständlich ist (z. B. im Straßenverkehr). Das mag trivial erscheinen, wird aber in der Anlagensicherheit und in der auch politisch geprägten Debatte bisher nicht immer beachtet. Das bedeutet nicht, Sicherheit aufzugeben bzw. ein bisheriges Sicherheitsniveau zu relativieren. Auch die heutigen Regelungen der Betriebssicherheitsverordnung können ein gewisses Unfallgeschehen nicht verhindern. Die Entwicklung eines sachgerechten Risikoverständnisses und umfassende Risikokommunikation bei allen beteiligten Kreisen sind daher Voraussetzungen für die Akzeptanz dieses Ansatzes. Wie die Grenzen zu setzen sind, bleibt ein gesellschaftlicher Konsensbildungsprozess, eine im Abwägen von Chancen und Risiken zu gewinnende Konvention, ohne dass ein Grenzkrisiko wissenschaftlich herleitbar wäre.

- Insbesondere die Eintrittswahrscheinlichkeit ist von zahlreichen Faktoren abhängig, die arbeitsmittel- bzw. anlagenspezifisch, aber auch betriebsspezifisch sind. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird auch von den konkreten Einsatzbedingungen des Arbeitsmittels bzw. der Anlage bestimmt. Dies bedeutet, dass Risikobeurteilungen am besten am konkreten Einzelfall vorgenommen werden können. Ob unter den gegebenen konkreten Einsatzbedingungen von einem Arbeitsmittel bzw. einer Anlage hohe Risiken ausgehen, kann letztlich nur betriebsspezifisch festgestellt werden. Diesem Ansatz folgt die Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach dem Arbeitsschutzgesetz, wonach der Arbeitgeber die Arbeitsbedingungen konkreter Tätigkeiten beurteilen muss. Der Arbeitgeber benötigt dazu handhabbare und klare Vorgaben, mit denen er feststellen kann, ob er Arbeitsmittel oder Anlagen mit hohem Risiko betreibt.
- Eine Risikobetrachtung, auf deren Basis der Bedarf unabhängiger Expertenprüfungen festzulegen ist, kann jedoch die konkreten Betriebsbedingungen wegen der beliebig großen Zahl möglicher Varianten von Einsatzbedingungen nicht berücksichtigen. Um diesem Problem der betriebsspezifischen Einflussgrößen zu entgehen, bezieht sich die Methodik auf die bestimmungsgemäße Betriebsweise und nimmt bezüglich betrieblicher Einflussgrößen Typisierungen durch die Bildung von Szenarien vor.
- Eine weitere Fragestellung ist, ob Schutzeinrichtungen¹⁴, Schutz- und Instandhaltungsmaßnahmen bei der Risikobeurteilung berücksichtigt werden („Nettorisiko“) oder nicht

¹⁴ Herstellerseitige Schutzeinrichtungen sind in der Regel Bestandteil des Arbeitsmittels bzw. der Anlage und müssen von daher grundsätzlich mit berücksichtigt werden. Das gilt sicher in besonderem Maße, wenn Schutzeinrichtungen versagen oder beseitigt werden können.

(„Bruttoisiko“). Ein realistisches Bild des von einem Arbeitsmittel oder einer Anlage ausgehenden Risikos zeigt demzufolge nur das Nettoisiko. Dann ist allerdings das Risiko von der Wirksamkeit dieser Maßnahmen abhängig. Dies kann die Komplexität der Risikobeurteilung beträchtlich erhöhen.

- Der Beschäftigte ist nicht nur Schutzobjekt, sondern auch Bestandteil des Arbeitssystems. Damit beeinflusst er durch sein Handeln das Risiko nicht unwesentlich mit. Sein Handeln ist von zahlreichen, häufig schwer greif- und messbaren Faktoren abhängig wie Qualifikation, Leistungsvoraussetzungen oder Motivation. Zudem ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Menschen Fehler machen.

Eine weitere Konsequenz des Risikoansatzes besteht darin, dass für die Risikobewertung ein Grenzkrisiko erforderlich ist, das für den Ist-Soll-Vergleich mit einem ermittelten Risiko als Maßstab dienen kann. Ein spezielles Grenzkrisiko, bei dessen Überschreitung die Notwendigkeit unabhängiger Expertenprüfungen angezeigt wird, steht bisher in Deutschland nicht zur Verfügung. Als Voraussetzung für die Durchführung einer Risikobewertung ist es daher erforderlich, ein allgemein akzeptables Grenzkrisiko für diesen Anwendungsfall herzuleiten und vorzuschlagen. Dieser Vorschlag muss durch breite Risikokommunikation der betroffenen Kreise diskutiert und ggf. modifiziert vereinbart werden.

Das Erreichen einer allgemeinen Akzeptanz für dieses Sicherheitsniveau geht über dieses Forschungsvorhaben hinaus. Die Akzeptanz kann aber durch Orientierung an Vergleichswerten aus anderen angrenzenden Sachgebieten wie Gefahrstoffe, Immissionsschutz oder anderen Staaten erhöht werden. Es wäre nicht vermittelbar, wenn das Grenzkrisiko in der Anlagensicherheit deutlich von festgelegten Grenzkrisiken anderer Sachgebiete und anderer Länder abweichen würde. Anzustreben ist aber ein anspruchsvolles Grenzkrisiko, das dem traditionell hohen Sicherheitsniveau der Anlagensicherheit in Deutschland entspricht und zu weiteren Verbesserungen anstrebt.

Da sich das Risiko definitionsgemäß aus der möglichen Schadensschwere und Wahrscheinlichkeit des Eintritts dieser Schadensschwere zusammensetzt, lässt sich das Grenzkrisiko als Funktion dieser Faktoren beschreiben:

Grenzkrisiko = Funktion

(möglicher Schadensschwere, Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Schadensschwere)

Die Funktion wird häufig über das Produkt klassifizierter Werte für die mögliche Schadensschwere und die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Schadensschwere oder durch grafische Funktionsbeziehungen (z. B. Risikograf; Risikomatrix; vgl. Abschnitt 5.1) beschrieben.

Im vorliegenden Anwendungsfall bietet sich aber ein einfacherer Weg an. Es besteht allgemein die Auffassung, dass besondere Expertenprüfungen nur erforderlich sind, wenn definierte schwere Folgen eintreten. Die mögliche Schadensschwere für das Grenzkrisiko ist also unabhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit fixierbar.

Wenn das Risiko eine Funktion aus möglicher Schadensschwere und Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Schadensschwere ist und der Faktor „mögliche Schadensschwere“ fix ist, muss unter der Annahme, dass das Grenzkrisiko ein fester Risikowert ist, auch die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Schadensschwere ein fixer Wert sein. Beide Faktoren des Grenzkrisikos für den hier vorliegenden Anwendungsfall sind also unabhängig voneinander als fixe Werte zu beschreiben.

Diese Überlegungen führen zu dem folgenden Modell zur Risikobeurteilung (vgl. Abbildung 5).

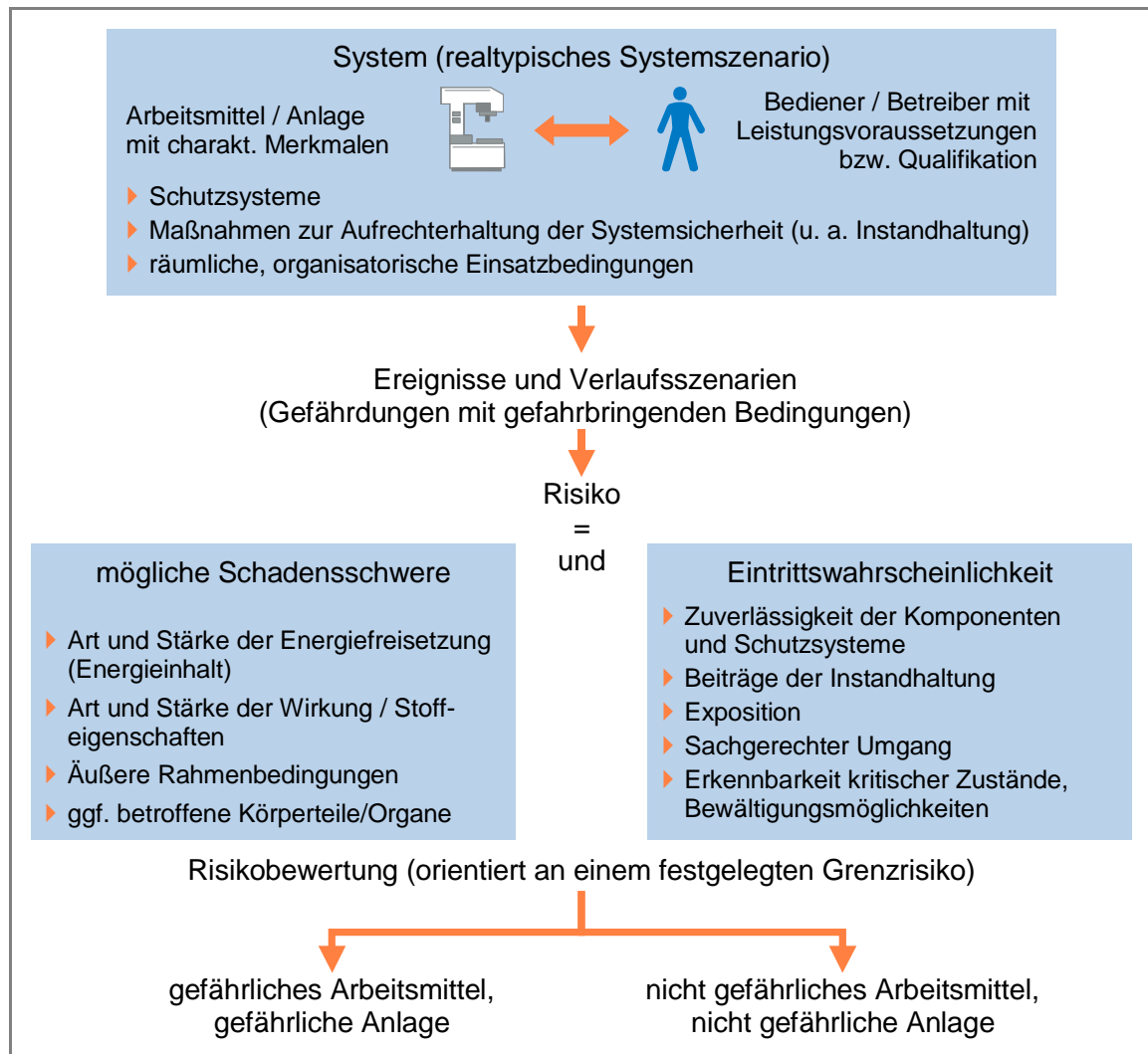


Abbildung 5: Modell zur Risikobeurteilung

Das Modell zur Risikobeurteilung beinhaltet folgende Eckpunkte zur Ableitung eines besonderen Prüfungsbedarfs:

- Systemszenario (siehe Abschnitt 5.1.1.2)
- Ereignisse und Verlaufsszenaren (siehe Kapitel 5.1.1.3)
- Risikobeurteilung der Verlaufsszenarien (siehe Abschnitt 5.1.1.4)

5.1.1.2 Systemszenario

Gegenstand der Risikobeurteilung ist das „realtypische Systemszenario“. Das Systemszenario stellt einen Zustand dar. Szenario wird hier definiert als Entwurf einer Ausgangssituation mit den entsprechenden charakteristischen Umständen und Gegebenheiten. Es zeigt die Wechselwirkungen der vielfältigen Einflusskräfte komplexer Systemzusammenhänge auf (Hillmann, 2007, S. 881).

In den Sozialwissenschaften wird der Typenbegriff verwendet, um beobachtete Merkmale von Gegenständen / Vorgängen festzustellen, zu klassifizieren und typische Eigenschaftskombinationen herzuleiten (Realtypen). Diese werden dann von den Idealtypen unterschieden, die als konstruiertes Bild aus willkürlich zusammengefügt Elementen bestehen (Ebenda, S. 910). Doch während Weber bei den Abläufen sozialen Handelns den Idealtypus als konstruierten rein zweckrationalen Verlauf von „*alle[n] irrationalen, affektiv bedingten, Sinnzusammenhänge[n] des Sichverhaltens, die das Handeln beeinflussen [...]*“ (Weber, 2008 [1922], S. 5) abgrenzt, sollen bei dem realtypischen Systemszenario (im Folgenden kurz Systemszenario genannt) die typischen Konstellationen weniger wesentlicher Systemmerkmale beschrieben werden, die auch mit einer bestimmten Regelmäßigkeit in der Realität vorzufinden sind (Wienhold, 1994, S. 544). Dies ermöglicht die Berücksichtigung typischer betrieblicher Bedingungen, ohne auf die große Zahl möglicher konkreter Varianten im betrieblichen Einzelfall eingehen zu müssen.

Mit den Systemszenarien sind Gefährdungen, die vom Arbeitsmittel bzw. von den Anlagen ausgehen (wie „Getroffen werden“ oder „Vergiftet werden“), sowie gefahrbringende Bedingungen verbunden, z. B. Verschleiß und Ermüdung durch die Art der Nutzung oder äußere Bedingungen wie Witterung, Verschmutzung, mechanische Einwirkungen.

5.1.1.3 Ereignisse und Verlaufsszenarien

Ausgehend vom Systemszenario sind relevante Ereignisse zu ermitteln. Ein Ereignis ist hier – semantisch neutral – definiert als zu beobachtender Vorgang oder Gegebenheit.

Relevant sind für die zu entwickelnde Methodik nur Ereignisse,

- bei denen eine kritische Schadensschwere (orientiert am festzulegenden Grenfrisiko) vernünftigerweise denkbar erreicht wird und gleichzeitig
- die durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten wirksam beeinflussbar sind.

Nur solche Ereignisse rechtfertigen die Notwendigkeit und den Aufwand besonderer Expertenprüfungen.

Die relevanten Ereignisse sind als Verlaufsszenarien zu beschreiben. Sie beschreiben auf der Grundlage des entsprechenden Ereignisses die Abläufe, wie sie auftreten können. Es handelt sich um Zukunftsbilder, wie ausgehend von einem auslösenden Faktor ein Ereignis bis zu den Folgen der kritischen Schadensschwere ablaufen kann (vgl. DIN 25419; EU-Kommission, 2009;

VDI 4006 Blatt 3). Bezüglich der zu entwickelnden Methodik durchlaufen die Verlaufsszenarien in der Regel fünf Phasen¹⁵:

- 1) Ein oder mehrere auslösende Faktoren werden wirksam (z. B. Überschreitung eines zulässigen Überdrucks).
- 2) Eine sicherheitsrelevante Komponente des Arbeitsmittels versagt: Energie oder Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften werden unkontrolliert frei.
- 3) Ggf. vorhandene Schutzsysteme versagen: Energie oder Stoffe werden nicht (vollständig) aufgehalten.
- 4) Die unkontrollierte Energie oder die Stoffe wirken auf Beschäftigte ein; damit wird eine Gefährdung wirksam.
- 5) Energie oder Stoffe verursachen Folgen in Höhe der kritischen Schadensschwere.

Die Verlaufsszenarien beinhalten damit auch die vom Arbeitsmittel bzw. der Anlage ausgehende Gefährdung und teilweise auch gefahrbringende Bedingungen.

Auch bei den konkreten Ereignisabläufen ist die Variantenzahl beliebig groß. Auch hier ist eine an der Realität ausgerichtete Typenbildung erforderlich, die eine Bündelung in realtypische Verlaufsszenarien ermöglicht. In Betracht kommen nur Verlaufsszenarien, die in der Praxis auftreten können oder bereits (häufiger) aufgetreten sind.

5.1.1.4 Beurteilung der Verlaufsszenarien (Risikobeurteilung)

Zur Ermittlung des Risikos wird die Methodik der Risikobeurteilung (nach DIN EN ISO 14121-1) herangezogen. Auf der Basis einer Gefährdungsermittlung (s. o.) erfolgt zunächst eine Risikoabschätzung und anschließend eine Risikobewertung.

Die Risikoabschätzung ist ein Vorgang, der für die identifizierten Gefährdungen das Risiko qualitativ oder quantitativ bezüglich der möglichen Schadensschwere und der Eintrittswahrscheinlichkeit einer solchen Schadensschwere beschreibt.

Die Risikoabschätzung bereitet die in der Risikobewertung zu treffende Entscheidung vor, ob das vorhandene Risiko akzeptabel ist oder nicht, d. h. das Arbeitsmittel bzw. die Anlage gefährlich ist oder nicht (vgl. Abbildung 5). Diese Entscheidung erfolgt in einem Soll-Ist-Vergleich orientiert am festzulegenden Grenzkrisiko.

¹⁵ Die Phasen 2 und 3 können auch in umgekehrter Reihung auftreten.

5.1.1.5 Ermittlung der relevanten Kriterien für das Risiko

Die mögliche Schadensschwere ist insbesondere abhängig von folgenden Kriterien:

- Art und Stärke der Energiefreisetzung (Energieinhalt)
- Art und Stärke der Wirkung
- ggf. betroffene Körperteile / Organe

Als relevante Kriterien für die Eintrittswahrscheinlichkeit wurden ermittelt:

- Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen oder Sicherheitseinrichtungen (darin enthalten sind Kriterien wie Komplexität des Arbeitsmittels, Zuverlässigkeit und Redundanz von Sicherheitssystemen)
- Verschleiß und Ermüdung (zeitliche Entwicklung der Versagenswahrscheinlichkeit durch Verschleiß und/oder Ermüdung)
- Menschliche Zuverlässigkeit, wenn im Verlaufsszenario das Handeln von Beschäftigten relevant ist
- Gefahr erkennen und beseitigen oder ihr ausweichen (Wahrscheinlichkeit, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und durch gezieltes Handeln beseitigen oder ihr ausweichen können – orientiert an Kriterien wie Überschaubarkeit und Qualifikation der Beschäftigten)
- Exposition, d. h. Aufenthalt von Beschäftigten im Gefahrenbereich und die Wahrscheinlichkeit, dass ein kritischer Schaden tatsächlich eintritt

Je nach Verlaufsszenario ist ggf. nur ein Teil dieser Kriterien für die Eintrittswahrscheinlichkeit relevant. Beispielsweise ist das Kriterium „menschliche Zuverlässigkeit“ nur dann relevant, wenn das Schadensereignis durch das Handeln von Beschäftigten ausgelöst oder im Verlauf beeinflusst wird.

5.1.2 Prüfsystematik

Das Ergebnis der Risikobeurteilung ist die Feststellung, ob das Risiko so hoch ist, dass das Arbeitsmittel bzw. die Anlagen als gefährlich anzusehen ist und daher Expertenprüfungen notwendig sind oder nicht. Dies impliziert, dass erforderliche niederschwelligere Prüfungen unabhängig von diesen besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten erfolgen, insbesondere:

- Tägliche Kontrolle auf offensichtliche Mängel und Funktion vor und während der Benutzung durch den unterwiesenen Bediener gemäß Anhang 2 Nr. 2.4 BetrSichV
- Ordnungs- und Funktionsprüfung durch befähigte und für die Durchführung der Prüfung beauftragte Personen zu Anlässen und Fristen auf der Grundlage der sicherheitstechnischen Bewertung bzw. Gefährdungsbeurteilung durch den Betreiber unter Berücksichtigung vorgeschriebener Anlässe gemäß Art. 5 der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie 2009/104/EG

Für Prüfungen durch unabhängige Experten sind entsprechend der geltenden Rechtslage zwei Varianten zu unterscheiden:

- Handelt es sich um eine Ü-Anlage nach GPSG, erfolgt die Expertenprüfung in der Regel durch eine Prüfstelle (zugelassene Überwachungsstelle gemäß § 17 Abs. 5 GPSG) zu vorgeschriebenen Anlässen und unter Einhaltung vorgeschriebener maximaler Fristen. Schwerpunkt ist eine technische Prüfung sowie eine Systemprüfung¹⁶, die teilweise Ordnungs- und Funktionsprüfungen beinhalten bzw. erfordern.
- Arbeitsmittel und Anlagen, die nicht zu den Ü-Anlagen nach GPSG gehören, können auch durch Sachverständige geprüft werden, wie sie u. a. in den Unfallverhütungsvorschriften der Unfallversicherungsträger vorgeschrieben sind (z. B. Unfallverhütungsvorschrift Krane – BGV D6). Auch hier sind Anlässe und maximale Fristen vorgegeben. Die Prüfung umfasst auch hier eine technische Prüfung sowie eine Systemprüfung, die teilweise Ordnungs- und Funktionsprüfungen beinhalten bzw. erforderlich machen.

Zusammenfassend ist in Tabelle 1 auf der Basis der derzeit geltenden Regelungen unter Berücksichtigung der Prüfungsanforderungen der BetrSichV und der Vorschriften und Regeln der Unfallversicherung eine vierstufige Prüfsystematik dargestellt. Die Stufen 0 und 1 sind dabei ausschließlich innerbetrieblich zu regeln. Die Stufen 2 und 3 sind notwendig, wenn das Ergebnis der Risikobeurteilung nach dem unter Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Modell die Notwendigkeit besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten anzeigt.

Tabelle 1: Systematik für die Prüfung von Arbeitsmitteln und Anlagen

Stufe	Prüfer (Anforderungen)	Anlässe/Fristen	Inhalte
0	Bediener (unterwiesen)	täglich vor und während Benutzung	Kontrolle auf offensichtliche Mängel und Funktion
1	befähigte und beauftragte Person (intern; für Prüfung erforderliche Kenntnisse; fachlich weisungsfrei)	Vorgeschriebene Anlässe; Festlegung durch Betreiber aufgrund sicherheitstechnischer Bewertung / Gefährdungsbeurteilung	Ordnungs- und Funktionsprüfung
2	Sachverständiger (intern / extern; unabhängig, Fachkunde; Ausstattung; Akkreditierung oder Zertifizierung)	vorgeschriebene Anlässe und maximale Fristen	Technische Prüfung; Systemprüfung; (Ordnungs- und Funktionsprüfung)
3	Prüfstelle (zugelassene Überwachungsstelle) (extern; Sonderfall: Prüfer von Unternehmen); unabhängig, Fachkunde; Ausstattung; Akkreditierung oder Zertifizierung)	vorgeschriebene Anlässe und maximale Fristen	Technische Prüfung; Systemprüfung; (Ordnungs- und Funktionsprüfung)

¹⁶ Unter einer Systemprüfung ist hier die Überprüfung der betrieblichen Regelungen zu Prüfungen und deren entsprechender Umsetzung zu verstehen.

Welche konkreten Anforderungen an Prüfer zu stellen sind, welche Anlässe und maximale Fristen sowie welcher inhaltliche Umfang vorgeschrieben werden, hängt insbesondere von den Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen und ggf. den Einsatzbedingungen ab. Die Anwendung der hier zu entwickelnden Methodik liefert auch hierzu Ansatzpunkte für die Festlegungen im Ausschuss für Betriebssicherheit. Festzulegen ist auf der Grundlage der Anwendung der Methodik,

- ob für den Arbeitsmitteltyp grundsätzlich (besondere) Prüfungen durch unabhängige Experten notwendig sind,
- auf welcher Stufe Prüfungen erfolgen sollen (bei gefährlichen Arbeitsmitteln und Anlagen: Stufe 2 oder 3),
- welche Anforderungen an den Prüfer zu stellen sind,
- für welche Anlässe und mit welchen maximalen Fristen Prüfungen mit welchen Prüfinhalten erforderlich sind.

5.1.3 Bonus-Konzept

Technische Prüfungen sind mit korrektiven Maßnahmen verbunden: der Prüfer ermittelt den Ist-Zustand, nimmt unter Berücksichtigung der kommenden Nutzungsperiode eine Prognose der Entwicklung des Ist-Zustands vor und vergleicht diesen zukünftigen Ist-Zustand mit dem sicherheitsgerechten Soll-Zustand. Erreicht der prognostizierte Ist-Zustand den Soll-Zustand nicht, so muss der Betreiber entweder korrektive Maßnahmen an der Anlage ergreifen (Instandsetzung, Austausch von Ersatzteilen oder Ersatz der Anlage) oder die Anlage in einer vom Prüfer festgelegten Frist stilllegen.

Ergreift der Betreiber aber bereits unabhängig von solchen vorgeschriebenen Prüfungen vorbeugende Maßnahmen, die das Sicherheitsniveau zuverlässig so weit erhöhen, dass das festgelegte Grenzkrisiko dauerhaft eingehalten wird, so können die Anforderungen an besondere Prüfungen durch unabhängige Experten ggf. reduziert werden oder bestimmte Prüfinhalte ggf. entfallen.

Solche Maßnahmen verändern das Systemszenario grundlegend. Sie liefern einen Beitrag zur Pflicht des Arbeitsschutzgesetzes an den Arbeitgeber, bei der Festlegung, Durchführung, Überprüfung und Anpassung erforderlicher Maßnahmen dynamisch „eine Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten anzustreben“ (§ 3 Abs. 1 ArbSchG). Damit wird die bisher eher starre Prüfsystematik durchlässiger für die dynamischen Entwicklungen des Stands der Technik. In der Anlagensicherheit wird nicht nur ein festgelegter Mindeststand gehalten, sondern durch eine dynamische Erhöhung des Sicherheitsniveaus die Zahl der zu erwartenden Unfälle weiter reduziert. Da gestalterische Maßnahmen ein breiteres Wirkungsspektrum erreichen können als von Prüfungen ausgelöste Instandsetzungen, kann zudem mit einem Mitnahmeeffekt bzgl. anderer Risiken auftreten.

Solche systemischen Maßnahmen gehen über den Mindeststand hinaus und können von daher in der Regel nicht einfach verordnet werden. Aufgrund der beschriebenen Vorteile macht es aber Sinn, Anreize zu schaffen und auf Vorteile hinzuweisen, um Betreiber zu motivieren, solche Maßnahmen zu ergreifen.

Als solche Anreize (Boni) bieten sich vor allem Erleichterungen bei vorgeschriebenen Prüfungen an, die aufgrund der Erhöhung des Sicherheitsniveaus durch die Maßnahmen vertretbar sind und einen gewissen Ausgleich für den mit solchen Maßnahmen verbundenen Aufwand bringen. Das können vor allem sein (vgl. Tabelle 1):

- Ersatz der vorgeschriebenen Prüfungen durch Prüfungen auf einer niedrigeren Prüfstufe (entspricht einer Reduzierung der Anforderungen an den Prüfer, sodass die Prüfungen z. B. auch durch Hersteller im Rahmen von Wartungsverträgen, betriebsinterne Experten oder ggf. besonders befähigte Personen erfolgen können)
- Verlängerung von Prüffristen
- Wegfall von Prüfanlässen für Expertenprüfungen
- Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Ordnungs- oder Systemprüfung statt technischer Prüfung)

Zu berücksichtigen ist auch, dass Betreiber ggf. Eigeninteressen an solchen Maßnahmen bzw. an den angesprochenen Erleichterungen haben:

- Die Maßnahmen lassen sich teilweise leichter und effizienter in die betrieblichen Abläufe integrieren.
- Die Maßnahmen können teilweise leichter und effizienter mit Maßnahmen zu anderen Schutzgegenständen (z. B. Umweltschutz) verknüpft werden.
- Prüfungen auf niedrigerer Prüfstufe lassen sich teilweise leichter und effizienter mit anderen Prüfzielen (z. B. Umweltschutz, Verfügbarkeit, Qualität) verknüpfen.

Die Kombination aus solchen weitergehenden risikomindernden Maßnahmen, die der Arbeitgeber bzw. der Anlagenbetreiber ergreifen kann, und Erleichterungen bei besonderen Expertenprüfungen wird als Bonus bezeichnet. Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber können also ggf. wählen: Entweder lassen sie die regulär geforderten Expertenprüfungen durchführen oder sie ergreifen alternativ festgelegte Maßnahmen und erhalten bei entsprechendem Nachweis Erleichterungen (Boni) bei den Prüfanforderungen¹⁷.

¹⁷ Ähnliche Ansätze verfolgt auch das Modulsystem zu Konformitätsbewertungsverfahren in der Produktsicherheit gemäß Anhang II des Beschlusses Nr. 768/2008/EG des Europäischen Parlaments. Danach kann der Inverkehrbringer bestimmter (gefährlicher) Produkte zwischen unterschiedlichen Konformitätsbewertungsverfahren wählen.

5.1.4 Zusammenfassung

Abbildung 6 zeigt das Gesamtkonzept im Überblick. Danach erfolgt zunächst die Auswahl eines für die konkrete Fragestellung geeigneten Systemszenarios und die Eingrenzung auf relevante Verlaufsszenarien, die anschließend einer Risikobeurteilung unterzogen werden. Das Ergebnis der Risikobeurteilung ist zunächst die Feststellung, ob es sich um ein gefährliches Arbeitsmittel bzw. eine gefährliche Anlage handelt und von daher besonderer Prüfungsbedarf besteht oder nicht.

Besteht besonderer Prüfungsbedarf, kann der Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber das Basiskonzept oder ein Alternativkonzept wählen.

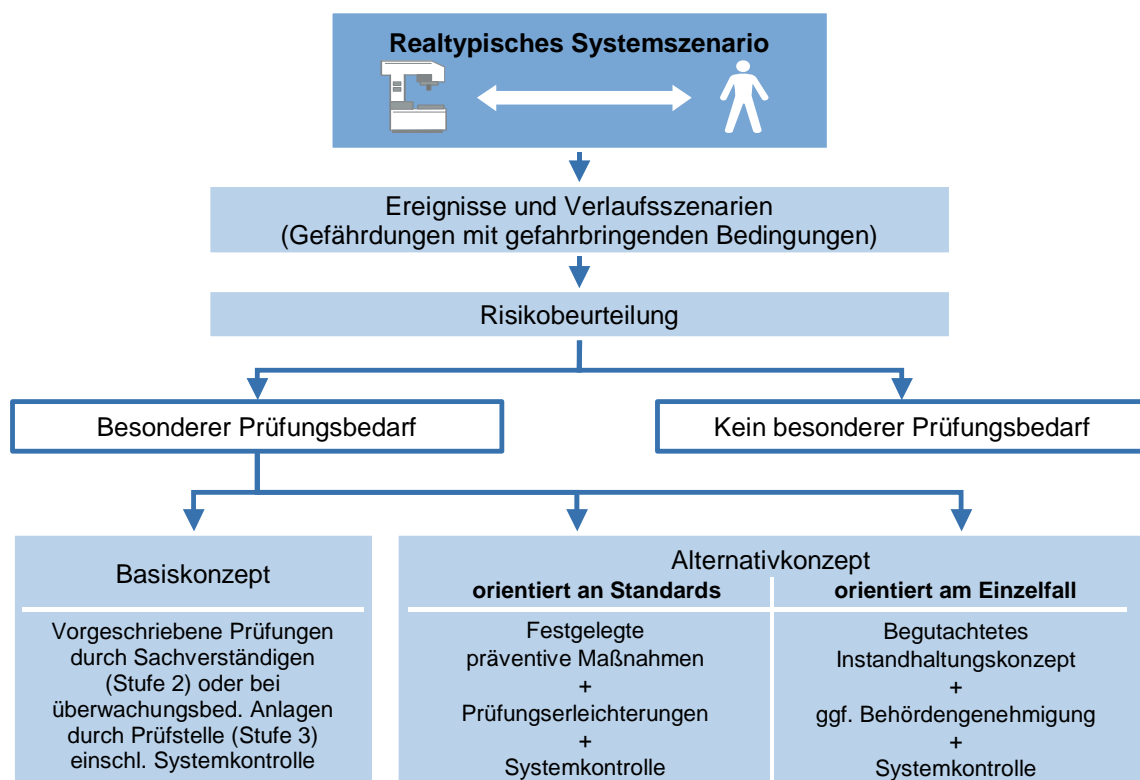


Abbildung 6: Gesamtkonzept im Überblick

Basiskonzept

Das Basiskonzept stellt den Standardfall dar: Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber haben die in der Betriebssicherheitsverordnung entsprechend der Prüfsystematik (vgl. Abschnitt 5.1.2) für das Arbeitsmittel bzw. die Anlage festgelegten Anforderungen an Prüfungen durch unabhängige Experten zu erfüllen. Festgelegt sind:

- Prüfstufe mit Anforderungen an den Prüfer
- Anlässe bzw. maximale Fristen der Prüfungen
- Inhalte der Prüfungen (einschließlich Systemkontrolle)

Alternativ-Konzept orientiert an festgelegten Standards (Bonus-Konzept)

Alternativ kann der Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber das Bonus-Konzept wählen. Er ergreift festgelegte Maßnahmen, die zu vorgegebenen gegenüber dem Basiskonzept verringerten Prüfungsanforderungen führen, falls er die Sicherstellung der Maßnahmen nachweist. Festlegungen nach dem Bonus-Konzept sind:

- Anforderungen an die Präventionsmaßnahmen, u. a. der vorbeugenden Instandhaltung
- Anforderungen zur Sicherstellung der Erfüllung der Anforderungen an die Präventionsmaßnahmen zur vorbeugenden Instandhaltung (Systemkontrolle mit Stichprobenaudits bzw. -prüfungen durch unabhängige Experten)
- Verringerte Anforderungen an besondere Prüfungen durch unabhängige Experten (vgl. Abschnitt 5.1.3).

Alternativ-Konzept orientiert am Einzelfall

Noch einen Schritt weiter geht das am Einzelfall orientierte Alternativ-Konzept. Es eröffnet dem Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber die Möglichkeit, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten auf andere Weise, z. B. angepasst an die betriebsbedingten Instandhaltungsbedarfe, durch geeignete Maßnahmen zu gewährleisten. Dieses Konzept knüpft an die Regelungen aus § 15 Abs. 4 und 17 BetrSichV an, die auf der Basis eines Gutachtens durch einen unabhängigen Experten eine Abweichung von den Regelungen des Basiskonzeptes ermöglichen.

Wählt der Arbeitgeber bzw. der Anlagenbetreiber dieses Alternativ-Konzept, muss er

- ein solches Instandhaltungskonzept entwickeln und darlegen, durch welche Maßnahmen (vornehmlich der vorbeugenden Instandhaltung) die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Beschäftigten gewährleistet ist,
- das Instandhaltungskonzept im Rahmen eines Gutachtens durch unabhängige Experten überprüfen lassen,
- ggf. das Instandhaltungskonzept und das Gutachten der zuständigen Behörde zur Genehmigung vorlegen,
- durch Systemprüfung einschließlich Stichprobenaudits / -prüfungen und ggf. Zertifizierung des Instandhaltungssystems durch unabhängige Experten nachweisen, dass die Erfüllung der Anforderungen sichergestellt ist.

Es muss jedoch sichergestellt sein, dass die Maßnahmen zuverlässig ergriffen werden und das angestrebte Sicherheitsniveau erreicht wird. Das kann z. B. durch Festlegung von Anforderungen an solche Maßnahmen und Systemkontrolle, d. h. geeignete Überprüfungen der Organisation sowie ggf. Stichprobenprüfungen durch unabhängige Experten erfolgen (vgl. das ASCA-

Erhebungsinstrumentarium des Hessischen Sozialministeriums (2005) sowie das Prüfinstrumentarium zur Systemprüfung (Moch, Stephan, Hermann, 2004)).

5.2 Operationalisierung der Kriterien des Gesamtkonzeptes

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Elemente des Basismodells sind zu operationalisieren, um eine effiziente Anwendung der Methodik auf die relevanten Fragestellungen zu erreichen. Das betrifft:

- Systemszenarien
- Ereignisse und Verlaufsszenarien (einschließlich eines Vorschlags für einen Schwellenwert für die mögliche Schadensschwere des Grenzrisikos)
- Eintrittswahrscheinlichkeit (einschließlich eines Vorschlags für einen Schwellenwert der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Grenzrisiko)
- Prüfsystematik
- Bonus-Konzept

5.2.1 Systemszenario

Relevante Merkmale des Systemszenarios sind insbesondere:

- Arbeitsmittel- oder Anlagenart
- Typische Einsatzbedingungen (Einsatzgebiete, räumliche Bedingungen, organisatorische Bedingungen)
- ggf. spezifische Schutzsysteme
- ggf. typische Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit (u. a. Instandhaltung einschl. Prüfungen wie System vorbeugender Instandhaltung, Herstellerwartung)
- ggf. typische Bediener-, Benutzer- oder Betreibergruppen mit bestimmtem Qualifikationsniveau

Als Beschreibung des Systemszenarios hat sich die Angabe der ausgewählten Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart mit spezifischen Einsatzgebieten in der Regel als ausreichend erwiesen. Die weiteren Merkmale sind häufig in typischer Weise mit diesen beiden Merkmalen verknüpft.

5.2.2 Ereignisse und Verlaufsszenarien

Für die Ermittlung der relevanten Ereignisse sind für die zu entwickelnde Methodik folgende Kriterien zu beachten:

- Wird die kritische Schadensschwere (orientiert am festzulegenden Grenzkrisiko) vernünftigerweise denkbar erreicht?
- Ist gleichzeitig das Ereignis durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten wirksam beeinflussbar?

5.2.2.1 Skalierung der Schadensschwere

Für die mögliche Schadensschwere wird eine zusammenfassende qualitative Skala verwendet, die die Kriterien der möglichen Schadensschwere umfasst. Wirksam werdende Gefährdungen können danach Schäden unterschiedlicher Schweregrade hervorrufen, die in Schadensstufen klassifizierbar sind. Entsprechend den Vorgaben beschränkt sich die Methodik auf Personenschäden von Beschäftigten. Sachschäden, Umweltschäden und Personenschäden Dritter werden nicht explizit berücksichtigt. Die Schweregrade beziehen sich daher auf die Schwere der Verletzungen (abgeleitet aus: EU-Kommission, 2009) (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Skala für die Schadensschwere

Schweregrad	Kurzbezeichnung	Merkmale	Definition / Erläuterung
1	geringer Schaden	<ul style="list-style-type: none"> • keine Ausfallzeiten • vollständig reversibel 	<p>Verletzung oder Folgeerscheinung, die nach der Durchführung von Sofortmaßnahmen (Erste Hilfe, in der Regel nicht durch einen Arzt) keine wesentliche Funktionsbeeinträchtigung bzw. keine großen Schmerzen verursacht</p> <p>In der Regel sind die Folgeerscheinungen vollkommen reversibel</p>
2	mittlerer Schaden	<ul style="list-style-type: none"> • mit Ausfallzeiten; ambulante Behandlung • maximal 6 Monate Funktionsbeeinträchtigung • weitgehend reversibel 	<p>Verletzung oder Folgeerscheinung, die eine ambulante, in der Regel jedoch keine stationäre Behandlung erforderlich macht</p> <p>Die Funktion kann über einen begrenzten Zeitraum (maximal 6 Monate) beeinträchtigt sein.</p> <p>Eine nahezu vollständige Wiederherstellung ist möglich.</p>
3	schwerer Schaden	<ul style="list-style-type: none"> • stationäre Behandlung erforderlich • mindestens 6 Monate Funktionsbeeinträchtigung • dauerhafter Funktionsverlust 	<p>Verletzung oder Folgeerscheinung, die in der Regel eine stationäre Behandlung erfordert und zu einer Funktionsbeeinträchtigung während mindestens sechs Monaten oder zu einem dauerhaften Funktionsverlust führt</p>
4	sehr schwerer Schaden	<ul style="list-style-type: none"> • Tod; reproduktionstoxische Folgen • schwerwiegender Funktionsverlust (Behinderung von mehr als ca. 10 %) 	<p>Verletzung oder Folgeerscheinung, die zum Tod führt oder führen könnte, einschließlich Hirntod</p> <p>reproduktionstoxische Folgen</p> <p>Verlust von Gliedmaßen oder schwerwiegende Funktionsbeeinträchtigung, der / die zu einer Behinderung von mehr als ca. 10 % führt.</p>
5	extrem schwerer Schaden	<ul style="list-style-type: none"> • mehrere Tote oder Schwerverletzte 	<p>wie Schweregrad 4</p>

Bei der Abschätzung der möglichen Schadensschwere kann auf Verfahren zur Ermittlung des Energieinhalts (vgl. z. B. Hauptmanns, Marx 2010) zurückgegriffen werden.

5.2.2.2 Vorschlag für die mögliche Schadensschwere des Grenzrisikos

Für die Ermittlung der relevanten Ereignisse bzw. die Risikobeurteilung ist ein Schwellenwert für die mögliche Schadensschwere des Grenzrisikos erforderlich, im Folgenden kritische Schadensschwere genannt. Um die Methodik erproben zu können, wird ein Vorschlag für die kritische Schadensschwere unterbreitet, der im Ausschuss für Betriebssicherheit überprüft und vereinbart werden muss.

Für die Festlegung des Grenzrisikos ist zunächst zu beachten, dass dabei um eine Schwelle geht, bei deren Überschreitung besondere Prüfungen gefordert werden. Unabhängig davon erfolgen bereits andere innerbetrieblich vorgesehenen und teilweise vorgeschriebenen Maßnahmen und Prüfungen zur Sicherstellung der Anlagensicherheit. Die besonderen Prüfungen führen zudem in der Regel externe Experten aus. Ein solcher Aufwand ist nur zu rechtfertigen, wenn damit einem erhöhten Risiko begegnet werden soll.

Für die kritische Schadensschwere, bei deren Erreichen näher untersucht werden soll, ob besondere Expertenprüfungen notwendig sind, wird der vierte Schweregrad aus Tabelle 2 vorgeschlagen.

Eine Differenzierung nach der Zahl der Betroffenen ist in der Anlagensicherheit (anders als beispielsweise bei Umweltkatastrophen) in aller Regel nicht erforderlich. Als Festlegung für die kritische Schadensschwere reicht es aus, wenn ein Beschäftigter betroffen ist. Das schließt ein, dass ggf. auch mehrere Beschäftigte betroffen sind.

Die Erprobung hat zudem methodisch nachvollziehbar bestätigt, dass in der Regel eine Differenzierung nach Tod, dauerhaftem schwerwiegendem Funktionsverlust oder reproduktionstoxischen Folgen nicht erforderlich ist. Geringere als tödliche Folgen sind in der Regel um etwa so viel wahrscheinlicher, dass hieraus ein Risiko resultiert, das dem Todesrisiko weitgehend entspricht.

Als kritische Schadensschwere wird daher vorgeschlagen:

möglicher Tod eines Beschäftigten (oder mehrerer Beschäftigter)

5.2.2.3 Beeinflussbarkeit durch besondere Expertenprüfungen

Bei der Ermittlung der relevanten Ereignisse wird von der bestimmungsgemäßen Betriebsweise der Arbeitsmittel bzw. Anlagen unter Berücksichtigung verbindlicher Beschaffenheitsanforderungen an den Hersteller ausgegangen. Betriebsstörungen, Vandalismus, extreme Umweltein-

flüsse und höhere Gewalt werden nur berücksichtigt, soweit sie **vor** einem solchen Ereignis¹⁸ durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten beeinflussbar sind. Die Sicherheit im Fall solcher Einflüsse muss durch konstruktive und konzeptionelle Maßnahmen sowie andere Schutzmaßnahmen gewährleistet werden. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen kann aber durchaus Gegenstand besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten sein, wenn ihr Versagen mit kritischer Wahrscheinlichkeit zu kritischen Schadensschweren führen kann.

5.2.2.4 *Verlaufsszenarien und Gefährdungen*

Verlaufsszenarien beschreiben die relevanten Ereignisse vom auslösenden Faktor bis zur tödlichen Folge. Sie beinhalten die Gefährdungen, bei deren Wirksamwerden die tödlichen Folgen eintreten können. Die Überprüfung des Katalogs der Gefährdungsfaktoren gemäß der Leitlinie Gefährdungsbeurteilung und Dokumentation (GDA 2008) bzw. des Ratgebers zur Gefährdungsbeurteilung (BAuA 2010) hat ergeben, dass folgende Gefährdungen bei relevanten Ereignissen auftreten können:

- Mechanische Gefährdungen:
 - Getroffen werden (z. B. berstender Druckbehälter, wegfliegende Teile, herabfallende Teile, unter hohem Druck austretende Fluide, kippende Masse)
 - Druckwelle (Explosion, berstender Druckbehälter)
 - Absturz
 - Einklemmt werden (zwischen schließenden, bewegten Teilen)
- Brand- und Explosionsgefährdung
- Gefahrstoffe
 - Ersticken (durch Verdrängung oder Verbrauch von Sauerstoff)
 - Toxische Einwirkung (z. B. Einatmen von austretenden Gefahrstoffen)
- Nicht-ionisierende Strahlung

Weitere Gefährdungen können von Arbeitsmitteln oder Anlagen ausgehen. Sie erreichen aber in den Systemszenarien nicht kritische Schadensschwere oder sind durch besondere Expertenprüfungen nicht wirksam beeinflussbar.

Zu relevanten Ereignissen kann es verschiedene realtypische Verlaufsszenarien geben. In ihrer Struktur ähnliche Verlaufsszenarien sind in einem Szenario zu bündeln. Andersartige Verlaufsszenarien sind getrennt voneinander zu beschreiben.

¹⁸ Erforderliche Prüfungen **nach** außergewöhnlichen Ereignissen (insbesondere Unfälle, Veränderungen an Arbeitsmitteln, längere Zeiträume der Nichtbenutzung oder Naturereignisse), die schädigende Auswirkungen auf die Sicherheit haben können, legen § 10 Abs. 2 BetrSichV und für den Einzelfall bei überwachungsbedürftigen Anlagen §§ 16 und 18 BetrSichV fest.

5.2.3 Eintrittswahrscheinlichkeit

Wahrscheinlichkeit ist nach Popper (1997, Seite 186) „relative Häufigkeit auf lange Sicht“. Es handelt sich um eine Einstufung von Aussagen und Urteilen nach dem Grad der Gewissheit (Sicherheit). Bei einmaligen oder seltenen Ereignissen kann deren Eintrittswahrscheinlichkeit nur mithilfe von Expertenwissen, Erfahrung und Intuition geschätzt werden. Daher spricht man von einer subjektivistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung. Diese ist zwangsläufig mit Unsicherheiten behaftet.

Im vorliegenden Anwendungsfall wird die Eintrittswahrscheinlichkeit definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines Jahres von einem Arbeitsmittel bzw. einer Anlage ein Ereignis mit kritischer Schadensschwere (d. h. hier tödlichem Ausgang) ausgeht.

Zur Operationalisierung der Kriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- Die Kriterien sind mithilfe qualitativer Skalen aufgrund von Erfahrungswerten einzustufen. Dann ist das Problem zu lösen, wie aus den eingestuften Kriterien nachvollziehbar ein Maß für die Eintrittswahrscheinlichkeit generiert werden kann.
- Ein Teil der Kriterien lässt sich direkt durch probabilistische Größen beschreiben, z. B. die Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen. Diese Möglichkeit besteht jedoch nicht bei allen relevanten Kriterien. Zudem ist häufig die erforderliche Datenbasis insbesondere bei vorausschauenden Betrachtungen nicht in ausreichendem Maße vorhanden, und es besteht die Gefahr, dass quantitative Wahrscheinlichkeitswerte eine nicht vorhandene Scheingenauigkeit suggerieren, die auch die Akzeptanz der Ergebnisse beeinträchtigen können.
- Ein pragmatischer Ausweg ist die Überführung qualitativer Einstufungen in Kennwerte, die durch Addition die Ermittlung eines Kennwertes für die Eintrittswahrscheinlichkeit ermöglichen (vgl. Abbildung 7).

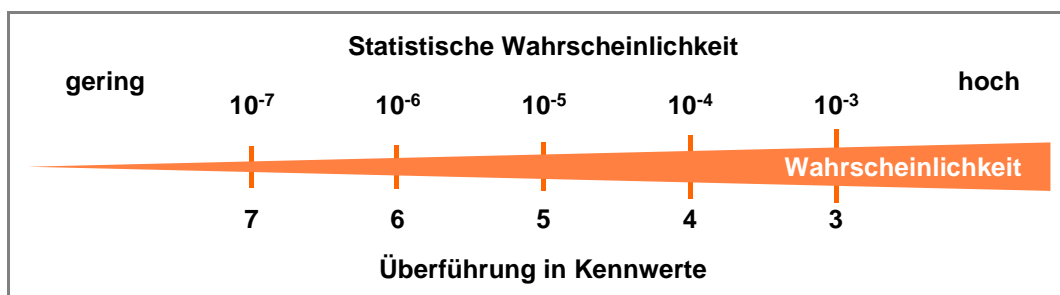


Abbildung 7: Kennwerte für die Eintrittswahrscheinlichkeit

Zur Operationalisierung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden die Kriterien mithilfe von Skalen oder Matrices in Kennwerte eingestuft:

- E1** Versagenswahrscheinlichkeit sicherheitsrelevanter Bauteile
- E2** Verschleiß und Ermüdung
- E3** Menschliche Zuverlässigkeit, wenn im Verlaufsszenario das Handeln von Beschäftigten relevant ist
- E4** Gefahr erkennen und beseitigen bzw. ihr ausweichen können (Wahrscheinlichkeit, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und durch gezieltes Handeln verhindern oder ihr ausweichen können)
- E5** Exposition, d. h. Aufenthalt von Beschäftigten im Gefahrenbereich und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden der kritischen Schadensschwere eintritt

Der Gesamtkennwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit EWS wird durch Addition der Einzelkennwerte der Kriterien gebildet:¹⁹

$$\mathbf{EWS = E1 + E2 + E3 + E4 + E5}$$

Ist bei einem Ereignis ein Kriterium nicht relevant, so ist der neutrale Kennwert „0“ einzusetzen.

E1 Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen

Bei Verlaufsszenarien, die durch Prüfungen in ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit beeinflussbar sind, versagt häufig ein sicherheitsrelevantes Bauteil oder eine Sicherheitseinrichtung. Die Versagenswahrscheinlichkeit E1 kann durch vorhandene Daten und Erfahrungswerte zur Versagenshäufigkeit entsprechender technischer Komponenten abgeleitet werden. Dabei kann ggf. auf die Expertise wissenschaftlich-technischer Institutionen wie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung oder bei Bedarf auch auf die Verfahren von Hauptmanns und Marx (2010) zurückgegriffen werden.

Bei der Einschätzung wird von der bestimmungsgemäßen Betriebsweise der Arbeitsmittel unter Berücksichtigung verbindlicher Beschaffenheitsanforderungen an den Hersteller ausgegangen.

Liegen entsprechende Daten nicht vor, kann zur Abschätzung auf die folgende Matrix zurückgegriffen werden (vgl. Tabelle 3):

¹⁹ Die Addition der Kennwerte entspricht im Wesentlichen der Multiplikation statistischer Einzelwahrscheinlichkeiten. Das gilt nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung streng genommen nur für voneinander unabhängige Ereignisse, wird aber als pragmatischer Ansatz auch für nicht vollständig voneinander unabhängige, aufeinander folgende Ereignisse verwendet (vgl. z. B. EU-RAPEX-Verfahren für gefährliche Produkte (EU-Kommission, 2009)).

Tabelle 3: Erwartete Versagenswahrscheinlichkeit sicherheitsrelevanter Bauteilen (Faktor E1)

Sicherheitsniveau (Redundanz der Sicherheitssysteme; Niveau / Zuverlässigkeit der verbindlichen Sicherheitsanforderungen an Hersteller)	Komplexität (Zahl der voneinander abhängigen sicherheitsrelevanten Elemente)		
	gering	mittel	hoch
sehr hoch	8	7	6
hoch	7	6	5
mittel	6	5	4
gering	5	4	3

- Die Komplexität wird durch die Zahl der voneinander abhängigen sicherheitsrelevanten Elemente bestimmt. Beispielsweise ist das Szenario, dass die Aufzugskabine sich nur bewegt, wenn alle Etagentüren und die Kabinentür geschlossen ist, von allen Türsensoren sowie der Steuerung abhängig. Ein defekter Türsensor, der fälschlicherweise das Signal „Tür geschlossen“ meldet, kann ausreichen, dass sich die Kabine in Bewegung bei geöffneter Tür setzt.
- Das Sicherheitsniveau wird vor allem durch die Redundanz von Sicherheitssystemen bestimmt. Danach führt das Versagen eines sicherheitsrelevanten Elements noch nicht zu einem Ereignis, da andere sicherheitsrelevante Elemente dies verhindern. Dieses wird auch von den Beschaffenheitsanforderungen an das Inverkehrbringen der Produkte beeinflusst.

Bei komplexen Arbeitsmitteln bzw. Anlagen kann eine Fehlerbaum- / Ereignisbaumanalyse (DIN 25424; DIN IEC 62502) erforderlich sein, um die Versagenswahrscheinlichkeit einstuft zu können.

Bei Explosionsgefährdung ist die Wahrscheinlichkeit einer Explosion von der Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre und der Wahrscheinlichkeit des zeitlich-räumlichen Zusammentreffens dieser explosionsfähigen Atmosphäre mit einer Zündquelle abhängig. Eine grobe Orientierung für die Abschätzung erlaubt die Zoneneinteilung entsprechend Explosionsschutzdokument gemäß Betriebssicherheitsverordnung und die Kategorisierung der Zündquellen (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit orientiert an der Zoneneinteilung gemäß BetrSichV und Zündquellenkategorie nach TRBS 2152-3

Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit	Mit einer zündfähigen Atmosphäre muss ...		
	... immer gerechnet werden (Zone 0, 20; $1 = 10^0$)	... gelegentlich gerechnet werden (Zone 1, 21; 10^{-1})	... nur selten und im Fehlerfall kurzzeitig gerechnet werden (Zone 2,22; 10^{-4})
Mit Zündquellen muss im Normalbetrieb immer gerechnet werden ($1 = 10^0$)	0	1	4
Zündquellen können im Normalbetrieb nur gelegentlich auftreten (Kat. 3; 10^{-2})	2	3	6
Zündquellen können selten (bei vorhersehbaren Fehlern) auftreten (Kat. 2; 10^{-4})	4	5	8
Zündquellen können nur sehr selten auftreten (Kat. 1; 10^{-6})	6	7	10

Falls das betrachtete Bauteil oder die Sicherheitseinrichtung bereits besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten unterliegt, sind in der abgeschätzten Versagenswahrscheinlichkeit ggf. bereits die aufgrund solcher Prüfungen veranlassten Maßnahmen mit enthalten. Da mit der Methodik ermittelt werden soll, ob solche Prüfungen (noch) erforderlich sind, muss in einem Szenario abgeschätzt werden, wie hoch die Versagenswahrscheinlichkeit ohne solche Prüfungen und daraus folgenden Maßnahmen wäre. Zu berücksichtigen sind aber nur besondere Prüfungen durch unabhängige Experten. Andere Prüfungen z. B. durch befähigte Personen werden nicht „herausgerechnet“.

Falls statistische Daten zu Mängelfeststellungen aus besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten vorliegen, können diese für die Abschätzung herangezogen werden. In diesem Fall ist es auch möglich, die Versagenswahrscheinlichkeit abzuschätzen, indem der Anteil der stattgefundenen Prüfungen durch unabhängige Experten ermittelt wird, bei dem bezüglich des Versagens des konkret betrachteten Bauteils kritische Mängel aufgetreten sind, die zu dem betrachteten Verlaufsszenario hätten führen können. Dieser Anteil ist mit der Wahrscheinlichkeit zu multiplizieren, dass aufgrund des technischen Mangels das Versagen des Bauteils eintritt.

E2 Entwicklung des Verschleißes bzw. der Ermüdung

Die Versagenswahrscheinlichkeit ist vielfach keine Konstante über die Lebenszeit der Arbeitsmittel hinweg. In den meisten Fällen nimmt die Versagenswahrscheinlichkeit abhängig von der Nutzungsintensität und den Verschleißbedingungen mit der Zeit natürlich-exponentiell zu.

Diese zeitliche Entwicklung wird mit dem Korrekturfaktor E2 abgeschätzt. Dabei werden verschiedene Verschleiß- / Ermüdungs-Kennlinien unterschieden, die eine qualitative Einschätzung erlauben (je nach Material und Nutzungsbedingungen sind auch andere Kennlinien-Charakteristika möglich – vgl. Abbildung 8):

- sehr hoch = EWS des Grenzrisikos wird schon nach relativ kurzer Nutzung überschritten.
- hoch = EWS des Grenzrisikos wird nach längerer Nutzungszeit innerhalb der Lebenszeit überschritten.
- mittel = EWS des Grenzrisikos wird nach langer Nutzungszeit noch innerhalb der Lebenszeit überschritten.
- gering = EWS des Grenzrisikos wird innerhalb der Lebenszeit nicht erreicht.
- sehr gering = EWS ändert sich über die gesamte Lebenszeit kaum, das Grenzrisiko wird deutlich unterschritten.

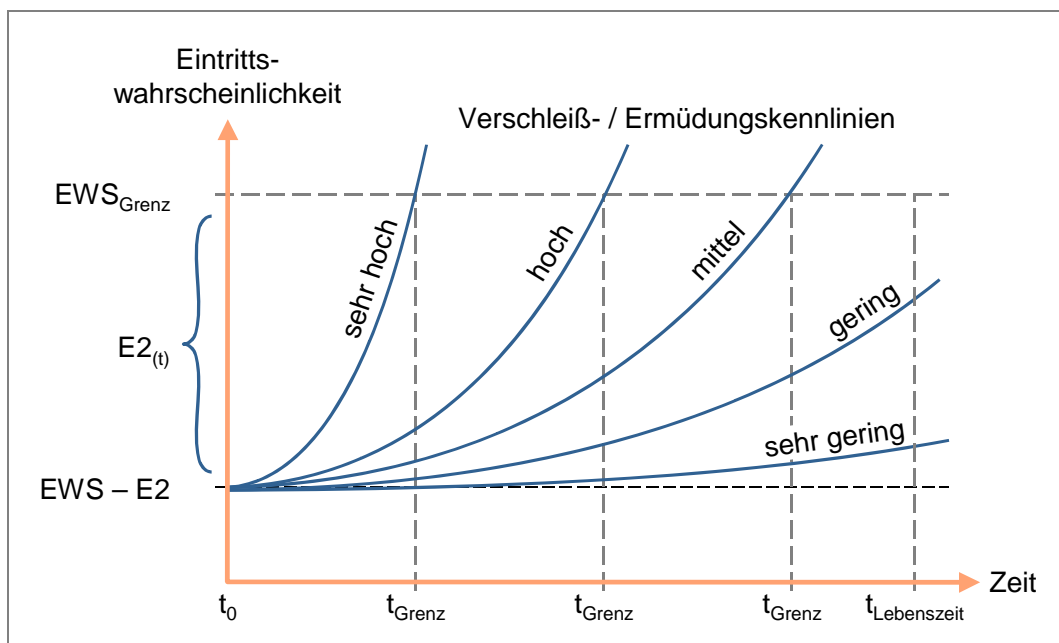


Abbildung 8: Verschleiß- / Ermüdungskennlinien (Faktor E2)

Die Kennlinien starten mit der ersten Inbetriebnahme (t_0) ohne Verschleiß bzw. Ermüdung. Je nach Verschleiß- / Ermüdungsresistenz (Verschleiß- / Ermüdungskennlinie) wird das Grenzrisiko schon nach kurzer Nutzungszeit, nach längerer Nutzungszeit innerhalb der Lebenszeit oder innerhalb der Lebenszeit nicht erreicht.

Ist über die gesamte Lebenszeit mit einem geringen Verschleiß bzw. einer geringen Ermüdung zu rechnen (Kennlinie „sehr gering“), wird der Kennwert = 0 festgelegt.

Bei höherem Verschleiß bzw. höherer Ermüdung (Kennlinien „gering“ bis „sehr hoch“) wird in erster Näherung die Nutzungszeit abgeschätzt, nach der die verschleiß- / ermüdungsbedingte Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 10 zunimmt (entspricht Kennwert -1). Die insgesamt

ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit EWS berücksichtigt dann die verschleiß- / ermüdungsbedingte Eintrittswahrscheinlichkeit nach der angegebenen Nutzungszeit.

Dieser Wert ist nach Durchlaufen der weiteren Kennwerte E3 bis E5 wie folgt zu überprüfen:

- Falls das Grenzkrisiko erreicht wird, sind differenzierte Verschleißbetrachtungen nicht mehr erforderlich.
- Wird das Grenzkrisiko nicht erreicht, muss überprüft werden, ob das Grenzkrisiko bei längerer Nutzungsdauer / höherer Nutzungsintensität erreicht wird und nach welcher weiteren Nutzungsdauer das Grenzkrisiko erreicht wird. Diese Informationen sind in den Erläuterungen anzugeben, da sie wichtige Hinweise für die Festlegung von Prüfungsintervallen liefern können.

E3 Menschliche Zuverlässigkeit

Ein weiterer optionaler Faktor ist die menschliche Zuverlässigkeit (vgl. Tabelle 5). Sie ist immer dann relevant, wenn menschliche Fehler das Verlaufsszenario auslösen oder in ihrem Verlauf willentlich beeinflussen können. Für eine Einstufung wird auf VDI 4006 Blatt 2 zurückgegriffen, deren statistische Fehlerwahrscheinlichkeiten in das eingeführte Kennzahlensystem überführt wurden.

Tabelle 5: Menschliche Zuverlässigkeit gemäß VDI 4006 Blatt 2 (E3)

Aufgabenbeschreibung in Abhängigkeit der situationsbedingten Anforderungen und der kognitiven Belastung	Fehlerwahrscheinlichkeit
Einfache und häufig durchgeführte Aufgaben bei geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit in gewohnten Situationen (z. B. ohne ablenkende oder störende zusätzliche Einflüsse, gute Rückmeldung)	3,0
Komplexe und häufig durchgeführte Aufgaben in gewohnten Situationen mit geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit, wobei eine gewisse Sorgfalt bei der Durchführung notwendig ist	2,0
Komplexe und häufig durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	1,0
Komplexe und selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	0,3
Hochkomplexe oder sehr selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei sehr hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	0,0

E4 Gefahr erkennen und beseitigen bzw. ihr ausweichen können

Mit dem Faktor E4 wird die Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und sie gezielt beseitigen oder den Schaden vermeiden können (vgl. EN ISO 14121-1, Abschnitt 4.2.3.4). Die Erkennbarkeit der Gefahr hängt u. a. von der Komplexität des Arbeitsmittels und der Qualifikation der Beschäftigten ab. Auch die wirkungsvolle Reaktion hängt von spezieller Qualifikation sowie von der Erfahrung bzw. dem Training der Beschäftigten ab.

Die Einstufung erfolgt mithilfe einer Matrix (vgl. Tabelle 6). Dabei sind drei Sonderfälle zu beachten:

- Ist die Gefahr leicht zu erkennen, aber nur mit besonderer Qualifikation zu beseitigen, gilt der angegebene Kennwert = 1 nur dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Beschäftigten entsprechende Qualifikation zur Beseitigung der Gefahr besitzen. Ansonsten gilt der Kennwert = 0.
- Ist die Gefahr nur mit besonderer Qualifikation zu erkennen, aber dann leicht zu beseitigen, gilt der angegebene Kennwert = 1 nur dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Beschäftigten entsprechende Qualifikation zum Erkennen der Gefahr besitzen. Ansonsten gilt der Kennwert = 0.
- Entsprechendes gilt, wenn die Gefahr nur mit besonderer Qualifikation zu erkennen und zu beseitigen bzw. ihr auszuweichen ist. Der Kennwert = 1 wird nur vergeben, wenn die Beschäftigten umfassende Qualifikation für das Erkennen und Beseitigen der Gefahr besitzen.

Tabelle 6: Wahrscheinlichkeit des Erkennens der Gefahr und der Vermeidung des Schadens (Faktor E4)

Erkennen der Gefahr (Komplexität / Überschaubarkeit der Anlage)	Gefahr beseitigen oder ausweichen können		
	leicht	nur mit spezifischer Qualifikation	kaum möglich
leicht erkennbar	2	1 ²⁰	0
nur mit spezifischer Qualifikation erkennbar	1 ²⁰	1 ²⁰	0
schwer bis gar nicht erkennbar	0	0	0

²⁰ Nur wenn die entsprechende Qualifikation zuverlässig vorhanden ist (Anforderungen benennen) – sonst Kennwert 0.

E5 Exposition

Mit dem Faktor E5 kann die ggf. eingeschränkte Exposition von Beschäftigten gegenüber einer vorhandenen Gefahr berücksichtigt werden. Ob dieser Faktor relevant ist, muss abhängig vom Verlaufsszenario festgestellt werden. Expositionsanteile sind nur zu berücksichtigen, wenn das Wirksamwerden der Gefährdung vom Handeln Beschäftigter unabhängig ist, Beschäftigte sich also nur kurzzeitig und zufällig zum Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Gefährdung im Gefahrenbereich aufhalten. Kann das Wirksamwerden der Gefährdung von Beschäftigten ausgelöst werden, ist für die Expositionsanteile der neutrale Kennwert = 0 anzusetzen.

Grundsätzlich gilt die Formel:

$$\text{Expositionsanteil} = \frac{\text{Expositionszeit von Beschäftigten im Gefahrenbereich:}}{\text{Gesamtdauer der Gefahr}}$$

Tabelle 7 schlägt eine vierstufige Skalierung vor. Weiterhin wird hier berücksichtigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit es im weiteren Verlauf tatsächlich zu einem Schaden in Höhe der kritischen Schadensschwere kommt. Denn nicht in jedem Fall des Wirksamwerdens der Gefährdung tritt auch ein Schaden der Höhe des Grenzzrisikos (hier Tod) ein. Ein Beispiel wäre die Wahrscheinlichkeit, dass ein wegfliegendes Teil tatsächlich Beschäftigte trifft und tödlich verletzt. Mit zunehmender Entfernung von der Gefahrenquelle nimmt diese Wahrscheinlichkeit ab. Eingeschätzt wird dies durch eine einfache dreistufige Skala (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Expositionsanteile (Faktor E5)

Expositionszeit (bei nur begrenzter Exposition der Beschäftigten gegenüber der Gefährdung)	Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts	Dass es beim Eintreten des Ereignisses zu einem Schaden in Höhe der kritischen Schadensschwere des Grenzzrisiko kommt, ist ...		
		... wahrscheinlich	... wenig wahrscheinlich	... eher unwahrscheinlich
weitgehend keine eingeschränkte Exposition	0	1	2	
maximal 10 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein	1	2	3	
maximal 1 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein	2	3	4	
maximal 0,1 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein	3	4	5	

5.2.4 Vorschlag für einen Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit des Grenzzrisikos

Die Ableitung eines Vorschlags für die Eintrittswahrscheinlichkeit des Grenzzrisikos zu der in Abschnitt 5.2.2.2 vorgeschlagenen kritischen Schadensschwere erfolgt orientiert an Vergleichswerten aus anderen Ländern und angrenzenden Sachgebieten.

Eine erste Orientierung liefern Eintrittswahrscheinlichkeiten für allgemein bekannte individuelle Todesrisiken des Lebens und bei der Arbeit (vgl. Tabelle 8; vgl. ISO/TR 14121-2). Beispielsweise beträgt das Todesrisiko in hoch sicheren Industriebereichen 10^{-5} , d. h., statistisch kommt einer von 100.000 Beschäftigten jährlich in solchen hoch sicheren Industriebereichen ums Leben.

Tabelle 8: Todesrisiko durch verschiedene Ereignistypen

Ereignis	Häufigkeit (pro Jahr)
Übliches Todesrisiko in Europa	1×10^{-2}
Todesrisiko in Hochrisikobereichen	1×10^{-3}
Todesrisiko durch Verkehrsunfall	1×10^{-4}
Todesrisiko in hoch sicheren Industriebereichen	1×10^{-5}
Todesrisiko durch Feuer und Gasexplosion	1×10^{-6}
Todesrisiko durch Blitzschlag	1×10^{-7}

Weitere Referenzwerte liefern im In- und Ausland festgelegte Grenzkrisikowerte für verschiedene Schutzgegenstände. Im Bereich des Immissionsschutzes werden in einigen Ländern Risikobewertungen insbesondere im Zusammenhang mit Standortgenehmigungen gefährlicher Anlagen durchgeführt. Bei diesen Verfahren sind auch Grenzkrisiken festgelegt (Arnold, Niehoff, 2005):

- In den Niederlanden wird das Grenzkrisiko für die zulässige statistische Todeshäufigkeit bei dauerhaftem Aufenthalt im Expositionsbereich gefährlicher Anlagen angegeben
 - für geplante besonders schutzwürdige Objekte (z. B. Krankenhaus): 10^{-6} ,
 - für bestehende und begrenzt schutzwürdige Objekte (z. B. Büro, Hotel): 10^{-5} .
- In Kanada wird die zulässige statistische Todeshäufigkeit angegeben
 - im Bereich von Industrieanlagen mit begrenzter Zahl von Menschen und bei guten Evakuierungsmöglichkeiten: 10^{-4} ,
 - im Bereich von Büros, Wohngebäuden in geringer Dichte und bei guten Evakuierungsmöglichkeiten: 10^{-5} ,
 - ansonsten: 10^{-6} .

Die EU-Kommission hat für die Beurteilung des von mangelhaften Produkten ausgehenden Risikos ein Verfahren festgelegt (RAPEX-Verfahren; vgl. EU-Kommission, 2009). Für das Risiko eines Todesfalls bzw. einer dauerhaften Behinderung > 10 % durch ein fehlerhaftes Produkt sind Grenzwerte festgelegt (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Risikoeinstufungen nach RAPEX-Verfahren (EU-Kommission, 2009)

Risikoeinstufung	Grenzwert	Vorgesehene Maßnahmen (ohne Automatismus)
Ernstes Risiko	$> 10^{-4}$	Rücknahme vom Markt und/oder Rückruf beim Verbraucher
Hohes Risiko	$> 10^{-5}$	Produkt mit Warnhinweisen versehen und/oder Anweisungen ändern Bei möglichen tödlichen Folgen: Rücknahme vom Markt und/oder Rückruf beim Verbraucher
Mittleres Risiko	$> 10^{-6}$	
Niedriges Risiko	$< 10^{-6}$	

In Deutschland hat sich der Ausschuss für Gefahrstoffe (2010) für krebserzeugende Gefahrstoffe nach intensiver Diskussion auf Grenzkrisiken nach dem Ampelmodell verständigt. Ein spezifisches Problem war hier die generell sehr hohe Krebserkrankungswahrscheinlichkeit in der Bevölkerung. (Jeder Vierte erkrankt im Laufe seines Lebens an Krebs; entspricht einem Todesfallrisiko von $2,5 \times 10^{-1}$ bzw. bezogen auf die mittlere Lebenserwartung 3×10^{-3} pro Jahr.) Vor diesem Hintergrund wurden als zusätzliches statistisches Risiko für eine Krebserkrankung im Laufe des Arbeitslebens die in Abbildung 9 genannten Grenzkrisiken vereinbart. Die Überschreitung der Grenzkrisiken löst festgelegte Maßnahmen aus.

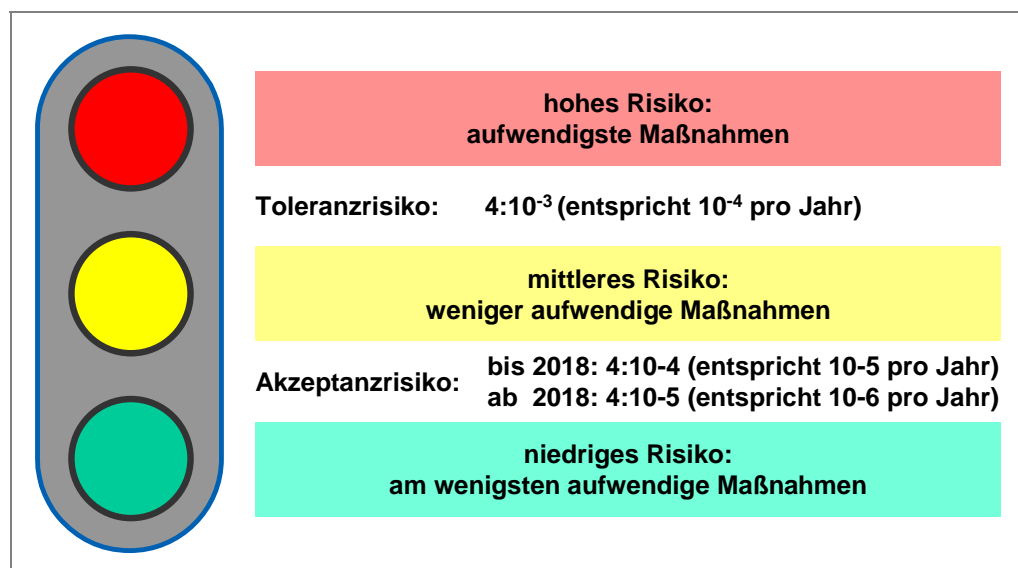


Abbildung 9: Grenzkrisiken nach dem Ampelmodell für krebserzeugende Gefahrstoffe als zusätzliches statistisches Risiko einer Krebserkrankung im Laufe des Arbeitslebens (Ausschuss für Gefahrstoffe, 2010)

Für die Eintrittswahrscheinlichkeit der unter Abschnitt 5.2.2.2 vorgeschlagenen kritischen Schadensschwere sollte ein vergleichbarer Wert auf hohem Niveau gelten, dessen Überschreitung ein hohes Risiko anzeigt und besondere Maßnahmen wie Expertenprüfungen auslöst.

Auf der Basis dieser Referenzdaten wird für die Eintrittswahrscheinlichkeit von tödlichen Ereignissen an Arbeitsmitteln und Anlagen als Schwellenwert für die Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen vorgeschlagen:

$$EWS_{\text{grenz,P}} = 10^{-5}$$

Dieser Vorschlag kennzeichnet ein anspruchsvolles Grenzkrisiko, das mit dem bis 2018 gültigen Akzeptanzrisiko für krebserzeugende Gefahrstoffe oder dem allgemeinen Todesrisiko in hoch sicheren Industriebereichen vergleichbar ist. Es wird ein hohes Sicherheitsniveau angestrebt, das an das gesellschaftlich als hoch wahrgenommene Niveau der Anlagensicherheit in Deutschland anknüpft.

Wird dieser Schwellenwert überschritten, zeigt dies die Notwendigkeit besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten, zusätzlich zu betriebsinternen Inspektionen durch befähigte Personen, im Rahmen der Instandhaltung an.

Übertragen auf das in Abschnitt 5.2.3 eingeführte Kennzahlensystem ergibt sich ein Schwellenwert (vgl. Abbildung 10):

$$EWS_{\text{grenz}} = 5$$

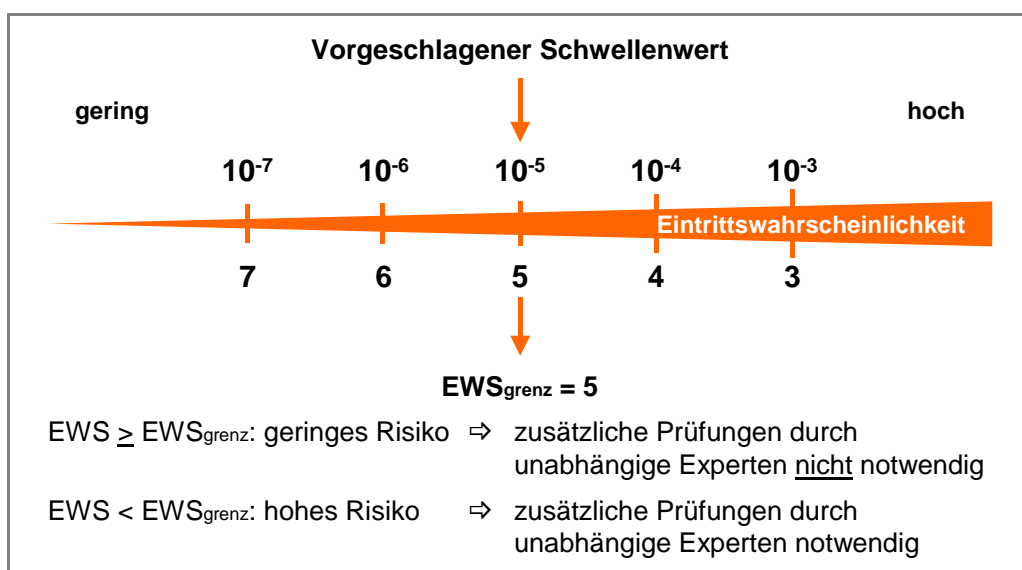


Abbildung 10: Vorgeschlagener Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit

Aufgrund der Vorzeichenumkehr beim Kennwert bedeutet dies:

- Erreicht oder überschreitet der Kennwert eines Verlaufsszenarios den Schwellenwert von EWS_{grenz} , besteht ein ausreichend geringes Risiko. Besondere Expertenprüfungen sind nicht notwendig.
- Wird der Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht erreicht, besteht ein so hohes Risiko, dass besondere Expertenprüfungen notwendig sind.

5.2.5 Prüfsystematik

Aufgrund der vielfältigen zu berücksichtigenden Aspekte sind einfache konkrete Zuordnungen von Auslösekriterien zu entsprechenden konkreten Prüfanforderungen nur eingeschränkt möglich und sinnvoll. Welche konkreten Anforderungen an Prüfer zu stellen sind, welche Anlässe und maximale Fristen sowie welcher inhaltliche Umfang vorgeschrieben werden, hängt insbesondere von den Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen und ggf. den Einsatzbedingungen ab. Es können aber folgende Anhaltspunkte gegeben werden:

- Wird für einen Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp bei einem Systemszenario oder einem relevanten Verlaufsszenario das Grenzkriterium überschritten (d. h. der Kennwert EWS_{grenz} nicht erreicht), so ist grundsätzlich angezeigt, dass der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp besonders prüfbedürftig auf den Stufen 2 oder 3 des Prüfkonzepts ist.
- Mit der Prüfstufe sind die grundlegenden Anforderungen an den Prüfer bereits festgelegt. Ggf. sind für bestimmte Arbeitsmittel- oder Anlagentypen/-arten spezifische Qualifikationsanforderungen zu stellen, die Eingang in das technische Regelwerk finden können. Besonders komplexe Arbeitsmittel und Anlagen, deren Prüfung besonders hohe Qualifikation des Prüfers verlangen, sollten eher den höheren Prüfstufen vorbehalten bleiben.
- Anlässe für geforderte Fristen hängen von den Einsatzbedingungen ab. Maximale Fristen für wiederkehrende Prüfungen sind insbesondere von den Verschleiß- und Ermüdungsbedingungen bestimmt.

5.2.6 Bonus-Konzept

Die Methodik unterstützt die Entwicklung von Boni, d. h. die Suche nach alternativen präventiv wirksamen Maßnahmen, die zu einer Erhöhung des Sicherheitsniveaus führen und so der vorgeschlagene Schwellenwert auch ohne besondere Expertenprüfungen eingehalten wird bzw. besondere Expertenprüfungen nicht mehr im gleichen Maße, wie ohne solche Maßnahmen notwendig sind.

Ansatzpunkte für solche alternativen Maßnahmen liefern zunächst die relevanten Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit E1 bis E5:

- C1** Verbesserung der Zuverlässigkeit von Bauteilen oder Sicherheitseinrichtungen (z. B. durch redundante Sicherheitssysteme)
- C2** Verringerung der Verschleiß- oder Ermüdungsanfälligkeit (z. B. durch veränderte Werkstoffe oder andere konstruktive Maßnahmen) oder Verringerung der Einwirkung von Verschleiß- oder Ermüdungsfaktoren (z. B. durch Abschirmung, Absaugung, Reinigung, Begrenzung der Belastung)
- C3** Erhöhung der menschlichen Zuverlässigkeit, wenn im Verlaufsszenario das Handeln von Beschäftigten relevant ist (z. B. durch Reduzierung von Stressfaktoren oder der Komplexität der erfüllenden Aufgaben sowie Qualifikation)

- C4** Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und durch gezieltes Handeln verhindern oder ihr ausweichen können (z. B. durch Verbesserung der Erkennbarkeit der Gefahr, Schaffen geeigneter Handlungsmöglichkeiten, Qualifizierung)
- C5** Verringerung der Expositionsanteile, d. h. des Aufenthalts von Beschäftigten im Gefahrenbereich; Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts

Maßnahmen aus solchen Ansatzpunkten können nur teilweise durch den Arbeitgeber oder Anlagenbetreiber ergriffen bzw. beeinflusst werden. Es handelt sich zum Teil um konstruktive Maßnahmen, die der Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber nur bei der Auswahl und Gestaltung des Gesamtsystems beeinflussen kann. Die Methodik liefert zunächst nur eine Bandbreite möglicher Maßnahmen. Inwieweit solche Maßnahmen realisierbar sind, ist bezogen auf den Anwendungsfall durch den Ausschuss für Betriebssicherheit bzw. den Arbeitgeber oder Anlagenbetreiber zu erörtern und festzulegen.

Weitere Maßnahmen können Arbeitgeber bzw. Anlagenbetreiber durch vorbeugende Instandhaltung ergreifen. Gemäß EU-Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (Richtlinie 2009/104/EG; bisher 89/655/EWG), Art. 4 (2) hat der Arbeitgeber die erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, damit die Arbeitsmittel während der gesamten Zeit der Benutzung durch entsprechende Instandhaltung²¹ („by means of adequate maintenance“) auf einem Niveau gehalten werden, das sicherstellt, dass sie den Anforderungen des Anhangs 1 der Richtlinie entsprechen. Auch durch vorbeugende Instandhaltung kann das Sicherheitsniveau von Arbeitsmittel und Anlagen ggf. über den vorgeschlagenen Schwellenwert angehoben werden.

Arbeitgeber und Anlagenbetreiber ergreifen Maßnahmen der Instandhaltung, nicht nur aus Gründen des Schutzes der Beschäftigten, sondern auch um die Verfügbarkeit für den gewünschten Zweck und die erforderliche Qualität zu erzielen, um Ressourcen und die Umwelt zu schonen sowie um Kosten zu sparen. Dies tun sie unter anderem durch (vgl. TRBS 1112):

- **Wartung**
Aufrechterhaltung des Soll-Zustandes z. B. durch Reinigung, Schmierung, Ergänzung oder Austausch von Arbeitsstoffen
- **Inspektion**
Ermittlung und Beurteilung des Ist-Zustandes, ggf. Bestimmung der Ursachen von Abweichungen oder Schädigungen und Ableitung der notwendigen Konsequenzen
- **Überwachung**
Spezielle Form der Inspektion, bei der relevante Zustandsparameter sensorisch erfasst und bei kritischen Zuständen eine planvolle Reaktion ausgelöst wird

²¹ In der deutschen Übersetzung der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie steht hier „Wartung“. Das gibt die Bandbreite an Maßnahmen, die mit „by means of adequate maintenance“ umfasst werden, nicht ausreichend wieder.

- **Störungsbeseitigung**
Durch korrektive Maßnahmen eingetretene Störung beseitigen, deren Ursachen ermitteln und durch präventive Maßnahmen das erneute Eintreten der Störung verhindern
- **Instandsetzung**
Rückführung in den Soll-Zustand z. B. durch Austausch defekter oder abgenutzter Teile
- **Erprobung**
Ingangsetzen zur Funktionsprüfung und für Einstellungsarbeiten

Da mit der Instandhaltung teilweise gleichgerichtete Ziele verfolgt werden, ist es sinnvoll, erforderliche Maßnahmen der Systemsicherheit eng mit der Instandhaltung zu verknüpfen. Prüfungen durch befähigte Personen oder unabhängige Experten können daher als Teil der Instandhaltung verstanden werden. Ein Konzept für die Festlegung von Prüfpflichten muss orientiert an der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie

- Festlegungen ermöglichen, die die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten gewährleisten,
- dem Arbeitgeber ermöglichen, diese Prüfpflichten möglichst effizient im Rahmen seines Instandhaltungskonzeptes zu realisieren.

Diese Überlegungen führten zur Aufnahme eines zusätzlichen Maßnahmenfeldes in die Methodik:

C6 Aufrechterhaltung der Systemsicherheit durch vorbeugende Instandhaltung

Für eine erste Näherung kann von der in Tabelle 10 dargestellten Wirkung ausgegangen werden.

Tabelle 10: Bonus zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit mit Kennwert C6

Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit	Kennwert für C6	Angenommene Wirkung
System vorbeugender Instandhaltung	1	Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 10 (entspricht 10^{-1})
kontinuierliche sensorische Überwachung kritischer Sicherheitsparameter	2	Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 100 (entspricht 10^{-2})

5.3 Vorgehen bei der Anwendung der Methodik

Die Anwendung der Methodik erfolgt in sieben Schritten (vgl. Abbildung 11):

- Schritt 1 Vorscreening und Vorauswahl der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen²², die der Anwendung der Methodik unterzogen werden sollen
- Schritt 2 Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps abgrenzen und beschreiben
- Schritt 3 Auswahl eines Systemszenarios (in der Regel eine Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart²³ unter typischen Einsatzbedingungen)
- Schritt 4 Ermittlung der relevanten Ereignisse und Beschreibung der zugehörigen Verlaufsszenarien
- Schritt 5 Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- Schritt 6 Ermittlung möglicher Boni
- Schritt 7 Überprüfung, ob bei anderen Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten unter anderen Einsatzbedingungen deutlich andere (höhere) Gefahren zu erwarten sind

Die Schritte 2 bis 7 sind für die im Vorscreening ausgewählten Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen zu durchlaufen, die Schritte 5 und 6 für jedes Verlaufsszenario.

Zur übersichtlichen Ergebnisdarstellung stehen folgende Hilfsmittel zur Verfügung:

- Morphologischer Kasten zur Darstellung des Arbeitsmittelspektrums (2. Schritt vgl. z. B. Abbildung 12)
- Formular „Risikobeurteilung“ (3. bis 6. Schritt, vgl. z. B. Tabelle 18)
- Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ (5. und 6. Schritt, vgl. z. B. Tabelle 14)

²² Als Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp wird eine Gruppe von Arbeitsmitteln bzw. Anlagen bezeichnet, die mit einem ähnlichen Verfahren einem ähnlichen Zweck dient, z. B. Krane: Umschlagen von Lasten durch Anschlag an einen Seilzug.

²³ Als Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart wird eine eng umrissene Gruppe von Arbeitsmitteln bzw. Anlagen mit spezifischem Verfahren und Zweck bezeichnet, z. B. fest installierte Portalkrane in Hallen; Turmdrehkran auf Baustellen.

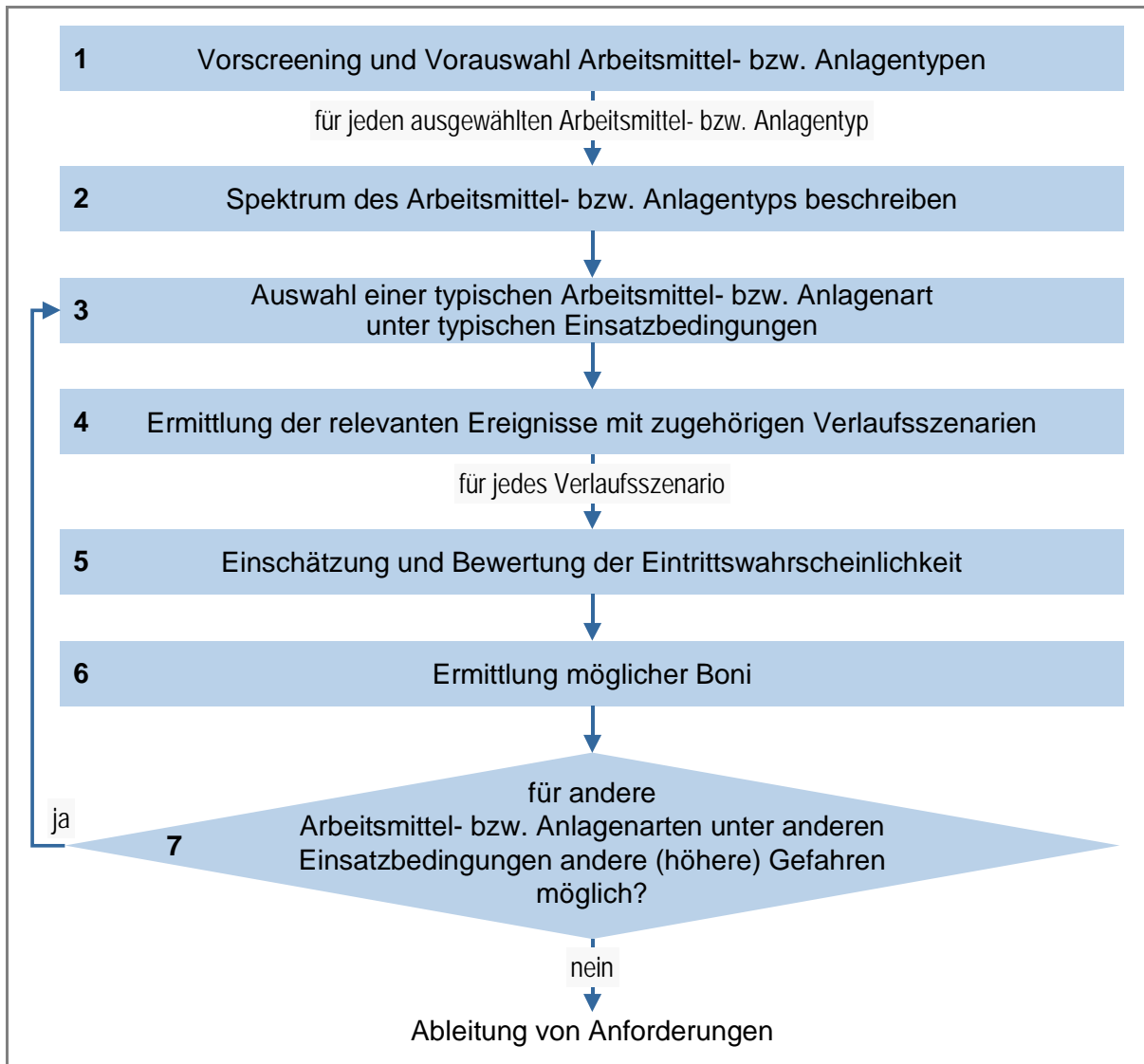


Abbildung 11: Flussdiagramm zur Vorgehensweise bei der Anwendung der Methodik

Schritt 1 *Vorscreening und Vorauswahl der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen, die der Anwendung der Methodik unterzogen werden sollen*

Das prinzipielle Vorgehen zu Vorscreening und Vorauswahl wurde bereits in Abschnitt 4 beschrieben. Bei der ersten Bestandsaufnahme, die eine Überprüfung des bisherigen Katalogs überwachungsbedürftiger Anlagen beinhaltet, ist eine schrittweise Abarbeitung entsprechend vereinbarter Prioritätensetzung erforderlich.

Zu einem späteren Zeitpunkt kann die Methodik bedarfsgerecht angewendet werden, wenn neue Erkenntnisse über Änderungsbedarf vorliegen.

Die folgenden Schritte beschreiben die Anwendung der Methodik für einen Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp.

Schritt 2 Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps abgrenzen und beschreiben

Durch eine übersichtliche Darstellung ist das Spektrum unterschiedlicher Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps aufzufächern und auch festzulegen, welche Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten zu dem Spektrum zählen und welche nicht.

Zur Ergebnisdarstellung eignet sich der morphologische Kasten (vgl. Beispiel in Abbildung 12). Im morphologischen Kasten werden in einer kompakten Übersicht grundlegende Kategorien mit ihren unterschiedlichen Merkmalsausprägungen zusammengestellt, die prinzipiell frei kombinierbar sind.

Wichtig ist, dass im morphologischen Kasten auch Kategorien enthalten sind, die das Spektrum typischer Einsatzbedingungen umreißt (z. B. Verwendungszweck, Einsatzgebiete, Einsatzorte, Einsatzbedingungen).

Schritt 3 Auswahl eines typischen Systemszenarios, d. h. einer Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart unter typischen Einsatzbedingungen

Mithilfe der Übersicht zum Arbeitsmittel- bzw. Anlagenspektrum im morphologischen Kasten ist eine typische Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart unter typischen Einsatzbedingungen für die Risikobeurteilung auszuwählen. Dabei sind folgende Kriterien zu beachten:

- Eine für das Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps typische Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart (keine exotische Variante)
- Typische Einsatzbedingungen (keine exotischen Einsatzvarianten)
- Vermutung eines relativ erhöhten oder eines relativ geringen Risikos im Vergleich zum Gesamtspektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps (je nachdem, ob die grundsätzliche Aufnahme in den Katalog gefährlicher Arbeitsmittel bzw. Anlagen oder mögliche Erleichterungen aufgrund verringertem Risiko für bestimmte Systemszenarien betrachtet werden sollen)

Schritt 4 Ermittlung der relevanten Ereignisse und Beschreibung der zugehörigen Verlaufsszenarien

Das ausgewählte Systemszenario ist in Schritt 4 auf die relevanten Ereignisse zu untersuchen. Als relevant gelten solche Ereignisse,

- bei denen die kritische Schadensschwere vernünftigerweise denkbar erreicht wird und die gleichzeitig
- durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten wirksam beeinflussbar sind.

Nur solche Ereignisse rechtfertigen das Erfordernis besonderer Expertenprüfungen.

Die relevanten Ereignisse sind mit ihren Verlaufsszenarien zu beschreiben. Die Verlaufsszenarien beinhalten die von den Arbeitsmitteln bzw. Anlagen ausgehenden Gefährdungen. Als relevante Gefährdungen kommen die in Abschnitt 5.2.2.4 genannten Gefährdungen in Frage. Zur übersichtlichen Dokumentation dient das Formular „Risikobeurteilung“.

Schritt 5 Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Schritt 5 umfasst den zweiten Teil der Risikobeurteilung und ist für jedes Verlaufsszenario eines relevanten Verlaufsszenarios durchzuführen. Dabei geht es um die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit, mit der die kritische Schadensschwelle für das betrachtete Verlaufsszenario eintritt und die Feststellung, ob der Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit erreicht wird.

Die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt mithilfe des in Abschnitt 5.2.3 beschriebenen Verfahrens durch Experteneinschätzung unter Verwendung verfügbarer Daten. Zu empfehlen ist hierzu die Bildung eines Teams aus zwei bis drei Experten, die sich in ihrer Perspektive und Expertise bezüglich des Systemszenarios ergänzen.

Für die übersichtliche Ergebnisdarstellung steht das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ zur Verfügung.

Schritt 6 Ermittlung möglicher Boni

In Schritt 6 geht es um die Suche nach Ansatzpunkten für Maßnahmen, durch die das Risiko so weit reduziert werden kann, dass unter festzulegenden Bedingungen eine Verringerung der Anforderungen an besondere Prüfungen durch unabhängige Experten möglich ist.

Das Vorgehen orientiert sich an dem in Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Bonus-Konzept. Dabei werden die relevanten Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit C1 bis C5 und das zusätzliche Maßnahmenfeld „Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Systemsicherheit durch vorbeugende Instandhaltung“ (C6) systematisch daraufhin untersucht, welche risikomindernden Ansatzpunkte bestehen und unter welchen Voraussetzungen entsprechende Maßnahmen welche Risikominderung erzielen können. Vor diesem Hintergrund erfolgt eine Neuabschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit. Kann durch die betrachteten Maßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit so weit reduziert werden, dass der Schwellenwert mindestens erreicht wird, sind die Voraussetzungen zur Einführung entsprechender Boni gegeben. Ob es tatsächlich zu einer Einführung der Boni kommt, ist durch Überprüfung der Realisierbarkeit der Boni und in einer Gesamtbeurteilung der Ergebnisse durch den Ausschuss für Arbeitsschutz abzuwägen.

Für die übersichtliche Ergebnisdarstellung steht das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ zur Verfügung.

Schritt 7 Überprüfung, ob bei anderen Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten unter anderen Einsatzbedingungen deutlich andere (höhere) Gefahren zu erwarten sind

Sind alle Verlaufsszenarien des betrachteten Systemszenarios einer Risikobeurteilung unterzogen, ist zu prüfen, ob ein weiteres Systemszenario einer solchen Risikobeurteilung zu unterziehen ist. Dies kann erforderlich sein, wenn erwartet wird, dass andere Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten unter anderen Einsatzbedingungen zu anderen Gefahrenlagen führen, die eine differenziertere Betrachtung bezüglich des Bedarfs besonderer Expertenprüfungen oder möglicher Boni erfordern bzw. ermöglichen.

In diesem Fall sind die Schritte 2 bis 6 für diese Konstellationen ebenfalls durchzuführen. Erst wenn dies verneint wird, sind aus den Ergebnissen der Anwendung der Methodik für jede Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart ggf. unter Berücksichtigung spezifischer Einsatzbedingungen Anforderungen an die Prüfungen und Boni festzulegen.

5.4 Leitfaden

Der „Leitfaden zur Anwendung der Methodik zur Ermittlung des Bedarfs besonderer Prüfungen von Arbeitsmitteln und Anlagen durch unabhängige Experten“ stellt die entwickelte Methodik für deren Anwendung handlungsleitend dar. Er folgt der in Abschnitt 5.3 beschriebenen Schrittfolge und stellt zu jedem Schritt die relevanten Hilfsmittel und Hinweise bereit. Zum Leitfaden gehören auch die Formulare, die im Word-Format zur Verwendung bereitgestellt werden.

Der Leitfaden ist diesem Bericht angefügt.

6 Erprobung

Die entwickelte Methodik wurde an Beispielen aus fünf Anlagenbereichen erprobt:

- Aufzüge
- Tankstellen
- Krane
- Biogasanlagen
- Druckbehälter

6.1 Aufzüge

6.1.1 Anlagenspektrum (Schritt 2)

In Deutschland gibt es mehrere 100.000 Aufzüge mit unterschiedlicher bisheriger Betriebsdauer. Da die „Lebenszeit“ eines Aufzugs 30 Jahre überschreiten kann, sind noch zahlreiche ältere Aufzüge mit z. T. gegenüber dem heutigen Stand der Technik deutlich abweichendem Sicherheitsniveau in Betrieb. Beispielsweise verfügen viele ältere Lastenaufzüge noch nicht über Fahrkorbabschlusstüren.

Einen Überblick zu Aufzugsarten, Kabinensystemen, Hauptbestandteilen und weiteren Merkmalen gibt Abbildung 12.

Verwendungszweck	Personenaufzug	Lastenaufzug (mit Personenbeförderung)		Fassadenbeförderungsanlage	Güteraufzug (ohne Personenbeförderung)		Autoaufzug	Baufzug	Schiffshebewerk
Einsatzgebiete	Produktionsstätten	Logistik	Baustellen	Bürogebäude		Öffentliches Gebäude		Wohngebäude	
Kabinensystem	Einkabinenaufzug	Doppelstockaufzug		Mehrkabinenaufzug		Umlaufaufzug	Fassadenaufzug		
Bewegungsrichtung	Senkrechtaufzug		Schrägaufzug		Sonderform Schmid-Peoplemover				
Antriebssysteme	Seilaufzug		Hydraulikaufzug		Zahnstangen- aufzug		(Vakuumaufzug)		Seilloser Aufzug
Hauptbestandteile	Kabine (Fahrkorb / Plattform)		Hebesystem	Antrieb	Steuerung	Sicherheits-einrichtungen		Türen (Schacht-, Fahrkorbabschlusstüren)	
Steuerkonzept	Handsteuerung		Sammelsteuerung		Druckknopfsteuerung			Zielauswahlsteuerung	
Benutzer	nur besonders eingewiesene / qualifizierte Beschäftigte (nur bei Lastenaufzug im Bestand)				Beschäftigte ohne spezielle Qualifizierung		Beschäftigte und sonstige Personen		in der Regel nur Nicht-Beschäftigte

Abbildung 12: Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Aufzug“

Lastenaufzüge sind für höhere Tragfähigkeiten ausgelegt und dürfen auch Personen transportieren, anders als Güteraufzüge, die nicht für die Personenbeförderung zugelassen sind. Eine Sonderform der Güteraufzüge ist der Kleingüteraufzug, wie er in Hotels und Restaurants eingesetzt wird (auch „Suppenaufzug“ genannt).

Bauaufzüge wachsen mit dem Baufortschritt. Es gibt sie als reine Lastenaufzüge und als kombinierte Lasten-Personen-Aufzüge. Nicht selten werden aber auch während der fortgeschrittenen Baumaßnahmen eingebaute Personenaufzüge für Baumaterialien verwendet.

Die häufigsten Kabinensysteme sind Einkabinenaufzug und in größeren Gebäuden Gruppenaufzüge, bei denen mehrere Kabinen nebeneinander in einem Schacht angeordnet sind und teilweise über eine gemeinsame Steuerung verfügen. Eine Sonderform ist der Umlaufaufzug („Paternoster“), der verboten war und nur in Altbeständen noch betrieben wird. Mit der Einführung der Betriebssicherheitsverordnung besteht das Verbot nicht mehr.

Das bei weitem häufigste Antriebssystem ist der Seilaufzug. Ältere Ausführungen haben meist den Maschinenraum über der obersten Etage. Standard ist aber inzwischen der maschinenraumlose Seilaufzug. Hydraulikaufzüge sind für begrenzte Hubhöhen wegen ihrer einfachen Technik und der Freiheiten bei der Aufstellung des Antriebsaggregats beliebt.

Immer häufiger eingesetzt werden auch Glasaufzüge mit Glasschacht und Glastüren oder Panoramaaufzüge ohne Schacht, die häufig als Fassadenaufzüge ausgeführt sind.

Personenaufzüge sind für den Fall des Steckenbleibens an Notrufzentralen oder vor Ort ständig besetzten Stellen wie Hotelrezeptionen oder Hausmeisterdiensten mit eingewiesenem Personal angeschlossen. Nach TRBS 2181 muss ein Notdiensttechniker innerhalb von 30 Minuten nach dem Notruf vor Ort sein. Die früheren Regelungen²⁴ zum Aufzugswärter wurden mit dem Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung weitgehend in die TRBS 3121 übernommen.

Da Aufzüge in der Regel nur in größeren Gebäuden mit mindestens vier Etagen mit zahlreichen Nutzungseinheiten eingebaut werden, werden 80 % der Aufzüge zumindest auch durch Beschäftigte (Hausmeister, Beschäftigte von Büros oder Praxen) benutzt. Nur 20 % der Aufzüge kommen ausschließlich in privat genutzten Wohngebäuden zum Einsatz. Die Nutzung erfolgt in der Regel unbeaufsichtigt durch Laien. Bei öffentlicher Nutzung muss von einem großen Nutzerspektrum ausgegangen werden (z. B. Kleinkinder, Alte, Gebrechliche, Behinderte, Sehbehinderte, Rollstuhlfahrer).

²⁴ Die früheren Technischen Regeln für Aufzüge (TRA) sind seit März 2011 vollständig aufgehoben, nachdem zahlreiche Regelungen in Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) und Normen überführt worden sind.

6.1.2 Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zur Überwachung

Die Beschaffenheitsanforderungen für Aufzüge sind in der Aufzugsverordnung²⁵ (Zwölfte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz als Umsetzung der EU-Aufzugsrichtlinie 95/16/EG in Verbindung mit der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG) und in der Maschinenverordnung (als Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz) geregelt. Die Maschinenverordnung gilt für Aufzüge mit Personenbeförderung bis zu 0,15 m/s maximaler Fahrgeschwindigkeit sowie für Aufzüge zum ausschließlichen Transport von Lasten und Gütern. Personenaufzüge unterfallen wegen ihrer höheren Fahrgeschwindigkeit von meist 0,63 bis 1 m/s der Aufzugsverordnung. Aufzüge sind inzwischen hoch standardisierte Anlagen. Regeln zur Beschaffenheit und zum Betrieb von Aufzügen sind in der harmonisierten Normenreihe DIN EN 81-1 ff. zusammengefasst.

Aufzüge nach Aufzugsverordnung müssen vor dem Inverkehrbringen ein festgelegtes Konformitätsbewertungsverfahren durchlaufen, wobei der Hersteller zwischen verschiedenen Alternativen wählen kann: Er kann die Prüfung entweder durch eine benannte Stelle durchführen lassen oder auf der Grundlage eines zertifizierten Managementsystems diese Prüfungen selbst durchführen. Nach einer wesentlichen Veränderung ist ein neues Konformitätsbewertungsverfahren erforderlich. In der Praxis wird hierauf wegen der hohen Kosten zugunsten eines neuen Aufzugs häufig verzichtet.

Bauaufzüge konnten früher in der Bauphase noch vor der Konformitätsbewertung als Bauaufzüge genutzt werden. Mit der Gültigkeit der neuen Maschinenrichtlinie seit Ende 2009 ist das nicht mehr zulässig.

Betreiber von Aufzügen müssen nach der Betriebssicherheitsverordnung unter Berücksichtigung von TRBS 3121 eine Gefährdungsbeurteilung bzw. bei nichtbetrieblichen Aufzügen eine sicherheitstechnische Bewertung durchführen. Dabei sind auch spezielle Betriebsbedingungen zu beachten (z. B. Überhitzung in Glasaufzügen). Auf der Basis dieser Beurteilung sind die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu ergreifen. Zu diesen Maßnahmen gehört die Ermittlung, welche Prüfungen in welchen Intervallen erforderlich sind und über welche Qualifikation der Prüfer verfügen muss. Die Prüffristen sind innerhalb der ersten sechs Monate nach Inbetriebnahme zu ermitteln. In der Praxis führt so mancher Betreiber allerdings eine Gefährdungsbeurteilung bzw. sicherheitstechnische Bewertung nicht oder nicht sachgerecht durch, weil er die Anforderungen nicht kennt oder ignoriert. Solche Defizite fallen dann erst bei der ersten Zwischenprüfung auf.

Aufzüge sind überwachungsbedürftige Anlagen nach der Betriebssicherheitsverordnung, die folgende Prüfungen fordert (vgl. TRBS 1201, Teil 4):

²⁵ Sie ist keine Neufassung der am 1. Januar 2003 außer Kraft getretenen „Verordnung über Aufzugsanlagen (Aufzugsverordnung – AufzV)“, die aufgrund des früheren § 24 der Gewerbeordnung erlassen worden war und deren Bestimmungen überwiegend durch die der BetrSichV ersetzt worden sind.

- Vor Inbetriebnahme ist eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle von Aufzügen nach Aufzugsverordnung nicht mehr erforderlich, da eine solche weitgehend identisch mit der Prüfung beim Inverkehrbringen wäre, allerdings ohne Berücksichtigung betrieblicher Belange.
- Nach § 15 BetrSichV sind wiederkehrende Prüfungen durch zugelassene Überwachungsstellen alle zwei Jahre, bei den langsameren Aufzügen nach Maschinenverordnung, bei Fassadenaufzügen und Bauaufzügen mit Personenbeförderung alle vier Jahre gefordert. Wegen des erhöhten Gefahrenpotenzials galt vor dem Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung in 2002 für Fassadenaufzüge und Bauaufzüge mit Personenbeförderung noch eine jährliche Prüfungsfrist.
- Zwischendurch sind nach § 15 Abs. 13 BetrSichV Zwischenprüfung durch zugelassene Überwachungsstellen auf ordnungsgemäßen Betrieb und ordnungsgemäßen Zustand der Tragmittel vorgeschrieben.
- Nach einer Änderung – soweit der Betrieb oder die Bauart des Aufzugs durch die Änderung beeinflusst wird – muss gemäß § 14 Abs. 2 BetrSichV vor Wiederinbetriebnahme eine Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs durch eine zugelassene Überwachungsstelle erfolgen.

Weitere Prüfpflichten sind im Baurecht der Länder geregelt. Danach sind Feuerwehraufzüge für die Nutzung im Brandfall alle vier Jahre zu überprüfen.

Aufzugsanlagen mit wassergefährdenden Stoffen (z. B. Hydraulikaufzüge mit großem Volumen und unterirdischen Zentralstempelanlagen) sind nach Wasserhaushaltsgesetz § 19ff. durch einen Fachbetrieb zu prüfen.

6.1.3 Erkenntnisse über Mängel und Unfälle

Der Arbeitskreis 2 des Erfahrungsaustauschkreises der zugelassenen Überwachungsstellen „Aufzugsanlagen“ (AK ZÜS 2) sammelt seit 2007 bei ZÜS-Prüfungen festgestellte Mängel und Aufzugsunfälle mit Personenschäden. Der VdTÜV (2010) stellt die Mängeldaten jährlich zu einer Mängelstatistik²⁶ zusammen (vgl. Tabelle 11). Danach traten 2009 bei knapp 1.200 Aufzügen gefährliche Mängel auf.

²⁶ Die Mängelstatistik enthält nur verbleibende Mängel bei Verlassen der Anlage (ab 2010 werden zusätzlich alle Mängel zu Beginn der Prüfung erfasst).

Tabelle 11: Mängelstatistik 2009 des Arbeitskreises 2 der zugelassenen Stellen (vgl. VdTÜV, 2010)

Anzahl im Jahr 2009 geprüfter Aufzugsanlagen	454.617
ohne Mängel	55,38 %
mit geringfügigen Mängeln	39,88 %
mit sicherheitserheblichen Mängeln	4,46 %
mit gefährlichen Mängeln (mitteilungspflichtig gem. §20 BetrSichV)	0,28 %

In Deutschland gibt es keine vollständige Erfassung von Aufzugsunfällen. Die zugelassenen Überwachungsstellen, der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau und der Deutsche Ausschuss für Aufzüge, in dem Hersteller, Betreiber, zugelassene Überwachungsstellen, Planer und Normensetzer, Berufsgenossenschaften und Länder mitarbeiten, erfassen alle Aufzugsunfälle, von denen sie Kenntnis erhalten. Bei den schweren und tödlichen Unfällen wird die Dunkelziffer nicht erfasster Unfälle sicher deutlich geringer sein, als bei den Unfällen mit geringeren Verletzungen. Eine Aussage über die zeitliche Entwicklung der Unfallzahlen (und damit über die Anlagensicherheit bei Aufzügen) kann wegen der geringen Anzahl und der unvollständigen Datenbasis nicht getroffen werden. Von 2005 bis 2008 wurden 187 Unfälle erfasst. Danach kommt es jährlich durchschnittlich zu sechs tödlichen Aufzugsunfällen. Bei zwei Unfällen sind Benutzer, bei vier Unfällen ist das Servicepersonal betroffen. Bei einer Gesamtzahl von mehreren 100.000 Aufzugsanlagen wird ein sehr hohes Niveau der Anlagensicherheit erreicht.

6.1.4 Risikobeurteilung (Anwendung der Methodik)

6.1.4.1 Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)

Aufzugsanlagen sind derzeit überwachungsbedürftige Anlagen. Bei der Risikobeurteilung für Aufzüge geht es um die Fragestellung, ob das Risiko nach wie vor für alle Aufzugsarten so hoch ist, dass besondere Expertenprüfungen weiterhin im bisherigen Umfang erforderlich sind. Es wird daher ein Systemszenario ausgewählt, bei dem mit eher geringem Risiko gerechnet wird: Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden.

6.1.4.2 Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)

Zu unterscheiden ist zunächst die Nutzung des Aufzugs von dessen Instandhaltung (Wartung, Inspektion, Prüfung, Instandsetzung). Der Schwerpunkt wird hier auf die Nutzung gelegt. Grundsätzlich sind bei der Nutzung in dem ausgewählten Systemszenario die in Tabelle 12 enthaltenen Ereignisse vorhanden.

Tabelle 12: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Ereignis		Verlaufsszenario
1	Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an	Türsensoren / Steuerung / Antrieb / Betriebsbremse versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert.
2	Scheren an schließenden Türen	Türsteuerung erkennt beim Schließen der Tür nicht, dass Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm, Fuß, Bein) eingeklemmt sind, Kabine fährt an und reißt Gliedmaßen ab.
3	Eingeklemmt werden zwischen schließenden Aufzugstüren	Aufzugstüren schließen, während sich ein Arm, Bein oder der Kopf einer Person im Türbereich befindet. Durch die Schließkraft der Türen werden Verletzungen verursacht.
4	Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür	Schachttür ist offen oder öffnet (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.
5	Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung	Kabine bleibt infolge Störung stecken, gewaltsames Öffnen der Kabinen- und Schachttüren und damit Schachtzugang beim Selbstbefreiungsversuch, Kontrollverlust beim Herausklettern und Absturz in den geöffneten Schacht. Verletzungen werden beim Aufschlag auf den Schachtboden verursacht.
6	Absturz der Kabine (nach oben)	Versagen von Bauteilen des Antriebs, keine Absturzsicherung nach oben vorhanden, Kabine fährt unkontrolliert hoch. Insassen werden verletzt. (betrifft nur ältere Anlagen mit Baujahr von 1999)
7	Absturz der Kabine (nach unten)	Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden verletzt.
8	Eingeschlossen werden in der Kabine	Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen ersticken oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasaufzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.

Die Überprüfung der beiden Kriterien für relevante Ereignisse (vgl. Abschnitt 5.1.1.3) ergibt, dass von den acht Ereignissen nur vier relevant sind (vgl. Tabelle 13): Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an (Verlaufsszenario 1), Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung (Verlaufsszenario 5), Absturz der Kabine aufgrund des Versagens von Tragmitteln (Verlaufsszenario 7) und Eingeschlossen werden in der Kabine (Verlaufsszenario 8).

Tabelle 13: Die ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
1	Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an	Türsensoren / Steuerung / Antrieb / Betriebsbremse versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert.	Scherkraft der fahrenden Kabine: Tod möglich	ja: Fehler in Steuerung, Antrieb oder Bremse
2	Scheren an schließenden Türen	Türsteuerung erkennt beim Schließen der Tür nicht, dass Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm, Fuß, Bein) eingeklemmt sind, Kabine fährt an und reißt Gliedmaßen ab.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschanke
3	Eingeklemmt werden zwischen schließenden Aufzugstüren	Aufzugstüren schließen, während sich ein Arm, Bein oder der Kopf einer Person im Türbereich befindet. Durch die Schließkraft der Türen werden Verletzungen verursacht.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschanke
4	Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür	Schachttür ist offen oder öffnet (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nur bei Verschleiß / Fehlfunktion von Schließmechanismus, Türverriegelung, Türschalter, usw.; kaum bei Vandalismus, Beschädigung
5	Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung	Kabine bleibt infolge Störung stecken, gewaltsames Öffnen der Kabinen- und Schachttüren und damit Schachtzugang beim Selbstbefreiungsversuch, Kontrollverlust beim Herausklettern und Absturz in den geöffneten Schacht. Verletzungen werden beim Aufschlag auf den Schachtboden verursacht.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nein: kaum durch Prüfungen beeinflussbar

Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
6	Absturz der Kabine (nach oben)	Versagen von Bauteilen des Antriebs, keine Absturzsicherung nach oben vorhanden, Kabine fährt unkontrolliert hoch. Insassen werden verletzt. (betrifft nur ältere Anlagen mit Baujahr von 1999)	Tödliche Verletzungen eher unwahrscheinlich	ja: durch Prüfungen des Antriebs beeinflussbar
7	Absturz der Kabine (nach unten)	Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden verletzt.	Tod möglich	ja: durch Prüfungen möglich
8	Eingeschlossen werden in der Kabine	Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen ersticken oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasaufzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.	Tod möglich bei längerem Aufenthalt oder Hitze	ja: defekte Steuerung, Notruf

6.1.4.3 *Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)*

Für die vier relevanten Ereignisse ist nun die Eintrittswahrscheinlichkeit einzuschätzen und zu bewerten, dass innerhalb eines Jahres an einer Aufzugsanlage des Systemszenarios ein tödliches Ereignis eintritt.

Tabelle 14 stellt das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“ dar. Der Schwellenwert 5 wird nicht erreicht. Das Risiko ist also so hoch, dass besondere Expertenprüfungen notwendig sind.

Ansätze für Boni bestehen, wenn mechanische Fehler in Antrieb und Bremse sowie elektrische Fehler in der Antriebssteuerung bei Nachregulierungsbewegungen technisch zuverlässiger gestaltet werden, sowie bei Wartungen und Inspektionen in kürzeren Fristen im Rahmen eines Systems vorbeugender Instandhaltung. Werden solche Boni zuverlässig umgesetzt, wird der Schwellenwert erreicht und das Grenzkrisiko eingehalten. Bei entsprechendem Nachweis sind dann besondere Expertenprüfungen nicht mehr notwendig.

Tabelle 14: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Verlaufsszenario		<i>Türsensoren / Steuerung versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert. Dies führt zu tödlichen Verletzungen.</i>					
EWS ohne Boni		4	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	6
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>Mittlere Komplexität wegen zahlreicher Türsensoren und Steuerung: mittlere Redundanz und Zuverlässigkeit</i>	C1	technisch zuverlässigere Gestaltung von Antrieb und Bremse sowie der Antriebssteuerung bei Nachregulierungsbewegungen		6
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Stark schwankend und abhängig von Nutzungsintensität, Beschädigung der Türen, Vandalismus; mittel bis sehr hoch (3 bis 24 Monate)</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr in der Regel nicht erkennbar; Aufzugsbenutzer rechnet nicht mit Fehlverhalten; wegen des Überraschungsmoments und Kontrollverlust kaum ausweichbar</i>	C4			0
Exposition	E5	0	<i>Keine nennenswert eingeschränkte Exposition: Aufzug setzt sich bei Ruf / Zielwahl in Bewegung; Nutzer geht davon aus, dass Aufzug erst anfährt, wenn Tür geschlossen ist; Schaden tritt nur ein, wenn Körperteil im Moment des Scherens aus der Kabine ragt; das ist nur beim Hochfahren möglich; es besteht noch eine kurze Reaktionszeit</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Bei Nachweis eines zertifizierten Systems vorbeugender Instandhaltung mit vorgegebenen Maßnahmen</i>		1

Das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür“ ist in Tabelle 16 dargestellt. Der Schwellenwert 5 wird nicht erreicht. Das Risiko ist also so hoch, dass besondere Expertenprüfungen notwendig sind.

Ansätze für Boni bestehen, wenn mechanische Fehler in Antrieb und Bremse sowie elektrische Fehler in der Antriebssteuerung bei Nachregulierungsbewegungen technisch zuverlässiger gestaltet werden, sowie bei Wartungen und Inspektionen in kürzeren Fristen im Rahmen eines Systems vorbeugender Instandhaltung. Werden solche Boni zuverlässig umgesetzt, wird der Schwellenwert erreicht und das Grenzzisiko eingehalten. Bei entsprechendem Nachweis können Fristen für besondere Expertenprüfungen verlängert werden.

Tabelle 15: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

EWS ohne Boni		4	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	6
Verlaufsszenario		<i>Schachttür ist offen oder öffnet (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.</i>					
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>mittleres Sicherheitsniveau, mittlere Komplexität</i>	C1	<i>Einsatz redundanter Türsensorensysteme; zuverlässiger bzw. sensorisch überwachter Schließmechanismus</i>		6
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Verschleiß oder Ermüdung sind mittel bis hoch (mechanische Bauteile mit elektrischen Steuerungen)</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr wegen Nicht-Erwartung nur schwer erkennbar (nur bei deutlicher Beschädigung) und nur reflexartig vermeidbar</i>	C4			0
Exposition	E5	0	<i>Keine nennenswert eingeschränkte Exposition: Versagen ist nur bei Benutzung zu erwarten; meist hohe Fallhöhe</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Bei regelmäßiger Wartung und Inspektion wird Verschleiß und Beschädigung minimiert bzw. frühzeitig erkannt</i>		1

Das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Absturz der Kabine (nach unten)“ ist in Tabelle 16 dargestellt. Der Schwellenwert ist mit deutlichen Sicherheitsabstand eingehalten. Besondere Expertenprüfungen sind nicht notwendig. Wartung und

Inspektion ist aber in größeren Fristen erforderlich, um Verschleißerscheinungen zu minimieren bzw. frühzeitig zu erkennen.

Tabelle 16: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Absturz der Kabine (nach unten)“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Verlaufsszenario		<i>Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden tödlich verletzt.</i>				
EWS ohne Boni	7	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	8
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	8	<i>Stark redundant ausgelegte Tragmittel mit verbindlichen Sicherheitsanforderungen an Hersteller; voneinander weitgehend unabhängige sicherheitsrelevante Elemente</i>	C1		8
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Verschleiß oder Ermüdung sind eher gering, allenfalls mittel</i>	C2		-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3		0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Nicht erkennbar und auch nicht vermeidbar</i>	C4		0
Exposition	E5	0	<i>Keine nennenswert eingeschränkte Exposition: Versagen ist nur bei Benutzung zu erwarten; bei geringer Fallhöhe</i>	C5		0
			Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit	C6	<i>Bei regelmäßiger Wartung und Inspektion wird Verschleiß minimiert bzw. frühzeitig erkannt</i>	1

Das Ereignis „Eingeschlossen werden in der Kabine“ ist bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines tödlichen Verlaufs und möglicher Boni in Tabelle 17 dokumentiert. Da der Schwellenwert erreicht wird, sind besondere Expertenprüfungen nicht notwendig. Durch die Inspektion bzw. Überwachung des Notrufsystems kann das Sicherheitsniveau weiter gesteigert werden.

Tabelle 17: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Eingeschlossen werden in der Kabine“; Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Verlaufsszenario		<i>Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen erstickten oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasauzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.</i>					
EWS ohne Boni	6	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	8	
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	4	<i>hohe Komplexität (große Zahl möglicher Störquellen); mittlere Redundanz durch vorhandenes Notfallsystem</i>	C1	<i>Bei Einsatz redundanter Türsensorensystemen</i>	4	
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>eher hoher Verschleiß, ggf. Zerstörung des Notrufs durch Vandalismus</i>	C2		-1	
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	2	<i>betrifft hier die Notrufverarbeitung; abhängig von der konkreten Ausgestaltung des Notrufsystems</i>	C3		2	
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>für Insassen leicht erkennbar, aber kaum beseitigbar; für Notrufpersonal nur bei spezieller Sensorik erkennbar, dann aber bei entsprechender Qualifikation gut zu beseitigen</i>	C4		0	
Exposition	E5	1	<i>keine nennenswert eingeschränkte Exposition: Versagen ist nur bei Benutzung zu erwarten; Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts wenig wahrscheinlich</i>	C5		1	
			Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit	C6	<i>Inspektion oder Überwachung des Notrufsystems verlängert Fristen</i>	1	

Tabelle 18 stellt das Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“ dar. Insgesamt besteht also wegen der Ereignisse „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“ und „Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür“ die Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen. Allerdings können Boni zur Erhöhung der Anlagensicherheit beitragen, sodass besondere Expertenprüfungen entfallen oder Fristen verlängert werden können.

Tabelle 18: Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Systemszenario: Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen (mögliche Boni)
1	Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an	Türsensoren / Steuerung / Antrieb / Betriebsbremse versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert.	Scherkraft der fahrenden Kabine: Tod möglich	ja: Fehler in Steuerung, Antrieb oder Bremse	4	Durch Boni kann Schwellenwert eingehalten werden
2	Scheren an schließenden Türen	Türsteuerung erkennt beim Schließen der Tür nicht, dass Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm, Fuß, Bein) eingeklemmt sind, Kabine fährt an und reißt Gliedmaßen ab.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschranke	–	
3	Eingeklemmt werden zwischen schließenden Aufzugstüren	Aufzugstüren schließen, während sich ein Arm, Bein oder der Kopf einer Person im Türbereich befindet. Durch die Schließkraft der Türen werden Verletzungen verursacht.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschranke	–	
4	Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür	Schachttür ist offen (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nur bei Verschleiß / Fehlfunktion von Schließmechanismus, Türverriegelung, Türschalter, usw.; kaum bei Vandalismus, Beschädigung	4	Durch Boni kann Schwellenwert eingehalten werden
5	Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung	Kabine bleibt infolge Störung stecken, gewaltsames Öffnen der Kabinen- und Schachttüren und damit Schachtzugang beim Selbstbefreiungsversuch, Kontrollverlust beim Herausklettern und Absturz in den geöffneten Schacht. Verletzungen werden beim Aufschlag auf den Schachtboden verursacht.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nein: kaum durch Prüfungen beeinflussbar	–	durch Anpassung an den Stand der Technik vermeidbar

System szenario: Personenaufzüge als Seilau fzüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen (mögliche Boni)
6	Absturz der Kabine (nach oben)	Versagen von Bauteilen des Antriebs, keine Absturzsicherung nach oben vorhanden, Kabine fährt unkontrolliert hoch. Insassen werden verletzt. (betrifft nur ältere Anlagen mit Baujahr von 1999)	Tödliche Verletzungen eher unwahrscheinlich	ja: durch Prüfungen des Antriebs beeinflussbar	–	
7	Absturz der Kabine (nach unten)	Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden verletzt.	Tod möglich	ja: durch Prüfungen möglich	7	
8	Eingeschlossen werden in der Kabine	Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen ersticken oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasau fzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.	Tod möglich bei längerem Aufenthalt oder Hitze	ja: defekte Steuerung, Notruf	6	

6.1.4.4 Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)

Mit höheren Risiken ist u. a. bei folgenden Systemszenarien zu rechnen:

- Lastenaufzüge im Flurförderbetrieb (Transport von Stapler oder Hubwagen)
- Bauaufzüge wegen des erhöhten Verschleißes durch Verschmutzung und Belastung sowie höhere Beschädigungsraten
- Fassadenbefahrungsanlagen
- Umlaufaufzüge in öffentlichen Gebäuden

Niedrigere Risiken treten bei Hydraulikaufzügen schon aufgrund der begrenzten Hubhöhen und der geringeren Fahrgeschwindigkeit auf.

6.1.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Anwendung der Methodik bestätigt grundsätzlich, dass von Aufzügen ein hohes Risiko ausgeht, das durch besondere Expertenprüfungen teilweise verringert werden kann. Hohe Risiken

gehen aber nur von einzelnen Ereignissen aus, insbesondere „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“ und „Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür“.

Die Erprobung erfolgte beispielhaft an einem Systemszenario (Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden). Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zum Anlagenspektrum „Aufzüge“ umfassende Schlussfolgerungen ableiten zu können. Zudem stehen die Ergebnisse der Methodenanwendung unter dem Vorbehalt der Erörterung und Zustimmung des Ausschusses für Betriebssicherheit. Vorbehaltlich dieser Einschränkungen wird aufgrund der Erprobungsergebnisse empfohlen:

- Aufzüge sollten weiterhin grundsätzlich zum Katalog besonders prüfbedürftiger Arbeitsmittel und Anlagen gehören.
- Die Prüfanforderungen sollten sich auf solche Sicherheitselemente konzentrieren, die kritische Ereignisse betreffen (z. B. Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an). Soweit möglich sind Prüfanforderungen auf der Basis einer differenzierten Analyse des Mängelaufkommens bei den bisherigen Expertenprüfungen festzulegen.
- Die Einführung von Boni ist bei Seil- und Hydraulikaufzügen in Büro- und Wohngebäuden möglich. Diese Möglichkeit kommt vor allem dann infrage, wenn nachweislich
 - redundante Türsensorsysteme,
 - technisch zuverlässiger gestaltete Antriebe, Bremsen und Antriebssteuerungen zur Nachregulierung,
 - zuverlässige bzw. sensorisch überwachte Schließmechanismen oder
 - ein System vorbeugender Instandhaltung eingesetzt werden, das insbesondere die kritischen Sicherheitselemente mit ausreichenden Fristen für Wartung und Inspektion durch für die Prüfungen befähigte Personen (Prüfstufe 1), Sachverständige (Prüfstufe 2) oder durch sensorische Überwachungssysteme umfasst.

Auf dieser Basis sind für bestimmte Systemszenarien wie Seil- und Hydraulik-Aufzüge in Büro- oder Wohngebäuden besondere Expertenprüfungen durch Prüfstellen (Prüfstufe 3) nicht mehr oder mit deutlich verlängerten Fristen zu verlangen.

6.2 Tankstellen

6.2.1 Anlagenspektrum

Tankstellen dienen insbesondere Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen zur Versorgung mit Kraftstoffen. In Deutschland gibt es gut 14.000 öffentliche Tankstellen (vgl. Mineralölwirtschaftsverband, 2010). Hinzu kommen Tankstellen auf dem Betriebs- und Werksgelände von Unternehmen und Institutionen, auf Flugplätzen und Flughäfen und in Häfen. Abbildung 13 gibt einen Überblick zu grundlegenden Merkmalen.

Kraftstoffe	Benzin (Normal u. Super)	Diesel- Kraftstoff, Biodiesel	Bio- Ethanol	Autogas (Flüssiggas)	Erdgas (Biogas)	Was- serstoff	Strom
Befüllte Ob- jekte	Landfahrzeuge	Wasserfahrzeuge		Luftfahrzeuge		Maschinen	
Standorte	Tankstellen im öffentlichen Raum		Tankstellen in Betriebsge- lände		Flugfeld (-betankungsanlagen)		
Betriebsarten	Selbstbedienung			Bedienung durch Fachpersonal			
Lagerung	unterirdische Tanks		oberirdische Tanks		oberirdische Erdgasspeicher / Druckbehälter		

Abbildung 13: Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Tankstellen“

Tankstellen im Sinne § 2 Abs. 14 BetrSichV sind ortsfeste Anlagen, die der Versorgung mit entzündlichen, leichtentzündlichen oder hochentzündlichen Flüssigkeiten (also Benzin, Bioethanol) dienen, einschließlich der meist unterirdischen Lager- und Vorratsbehälter. Anlagen zum Befüllen mit Druckgasen (Erdgas, Biogas, Autogas) werden als Füllanlagen bezeichnet (§ 2 Abs. 12 BetrSichV). Deren Vorratsbehälter sind oberirdisch aufgestellte, teilweise auch unterirdische Druckbehälter.

Wenn umgangssprachlich von Tankstellen die Rede ist, sind damit Anlagen gemeint, die in der Regel aus Tankstellen für entzündliche Flüssigkeiten mit meist mehreren Zapfstellen bestehen. Der gemeinsame Betrieb von Tankstellen und Gas-Füllstellen wird als Betankungsanlagen bezeichnet.

6.2.2 Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen

Betankungsanlagen beinhalten unterschiedliche überwachungsbedürftige Anlagen, die entsprechend geregelter besonderer Prüfungen bedürfen:

- Tankstellen im Sinne § 2 Abs. 14 BetrSichV (insbesondere für Benzin und Diesel)
Folgende Prüfungen dienen insbesondere dem Brandschutz (vgl. auch TRBS 1201, Teil 5):
 - Montage, Installation, Betrieb, Änderungen der Bauart oder der Betriebsweise sowie wesentliche Veränderungen von Tankstellen bedürfen gemäß § 13 BetrSichV der Erlaubnis der zuständigen Behörde. Dem schriftlichen Antrag sind alle für die Beurteilung notwendigen Unterlagen beizufügen. Eine gutachtliche Äußerung einer zugelassenen Überwachungsstelle ist nicht erforderlich.
 - Vor Inbetriebnahme ist gemäß § 14 Abs. 1 BetrSichV eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle erforderlich. Diese umfasst eine Ordnungsprüfung (z. B. der Erlaubnisbescheide, Bauartzulassungen, bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise) und eine technische Prüfung (z. B. ordnungsgemäßer Zustand hinsichtlich Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, sicherer Funktion nach dem Stand der Technik) (vgl. TRBS 1201, Teil 5).

- Nach einer Änderung ist gemäß § 14 Abs. 2 BetrSichV eine ZÜS-Prüfung der geänderten Teile auch bezüglich der Auswirkungen der Änderung auf die Sicherheit der Gesamtanlage erforderlich (vgl. auch die Beispiele zu Tankstellen in TRBS 1122).
 - Spätestens alle fünf Jahre müssen wiederkehrende Prüfungen nach § 15 Abs. 16 BetrSichV, durch eine zugelassene Überwachungsstelle erfolgen. Die Prüfung auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs umfasst äußere Prüfungen (mindestens Sichtprüfung der Anlagenteile und bei Einrichtungen für den sicheren Betrieb Feststellung der Funktionsfähigkeit), ggf. auch Dichtheitsprüfungen und innere Prüfungen.
- Füllanlagen von Druckgasen gemäß § 2 Abs. 12 BetrSichV
Die Prüfungen dienen insbesondere dem Schutz vor Druckgefährdungen (vgl. TRBS 1201, Teil 2). Die Prüfpflichten für Druckbehälter sind in Abschnitt 6.5.2 angegeben.
 - Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV
Da Tankstellen und Füllanlagen immer auch explosionsgefährdete Bereiche enthalten, sind diese Prüfungen, die insbesondere dem Explosionsschutz dienen (vgl. auch TRBS 1201, Teil 1), zusätzlich vorgeschrieben:
 - Eine Erlaubnis durch die zuständige Behörde ist für diese Anlagen nicht erforderlich.
 - Die Prüfungen vor der Inbetriebnahme und nach Änderungen sowie die wiederkehrenden Prüfungen entsprechen denen für Tankstellen (s. o.) mit dem Schwerpunkt „Explosionsschutz“ (vgl. TRBS 1201, Teil 1).
 - Zusätzlich muss vor der erstmaligen Nutzung gemäß Anhang 4 Nr. 3,8 BetrSichV durch eine befähigte Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz eine Überprüfung der Explosionssicherheit der Arbeitsplätze einschließlich der vorgesehenen Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung sowie der Maßnahmen zum Schutz von Dritten erfolgen.

Darüber hinaus sind Prüfungen nach anderen Rechtsbereichen vorgeschrieben:

- Prüfung des Gaspendelsystems gemäß 20. BImSchV und Gasrückführungssystem gemäß 21. BImSchV einschließlich der Prüfung der Rohrleitungen auf Dichtheit, der Wirksamkeit der Absaugung, der Verriegelung am Tankwagen, wenn der Gaspendelschlauch nicht angeschlossen ist sowie der automatischen Überwachungseinrichtung (AÜE) auf Funktion.
Für Tankstellen, die nach dem 1. April 2003 errichtet wurden, ist eine automatische Überwachungseinrichtung (AÜE) Pflicht. Für Tankstellen, die vor dem 1. April 2003 errichtet wurden, gilt eine bestimmte Übergangsregelung bezüglich deren Nachrüstung.
- Prüfungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz (z. B. auf Flächendichtigkeit)
Hier geht es um die dauerhafte Dichtheit der Anlage und das Vorhandensein eines Rückhaltevermögens bei Versagen der flüssigkeitsdichten Wandung.

- Vor der Inbetriebnahme einer Abscheideranlage und spätestens alle fünf Jahre ist eine umfassende Generalinspektion durch einen Fachkundigen erforderlich. Darüber hinaus sind halbjährliche Wartungen und monatliche Prüfungen des Ölabscheiders durch einen Sachkundigen gefordert (vgl. DIN 1999-100 Punkt 14.3 bis 14.7). Der Abscheider ist das wesentliche Element des oben genannten Rückhaltevermögens. Dementsprechend gibt es hier Überschneidungen.
- Sofern Kraftstoff verkauft werden soll, sind die Abgabeeinrichtungen eichpflichtig und durch die zuständige Eichbehörde abnehmen zu lassen.

6.2.3 Erkenntnisse über Mängel und Unfälle

Die zugelassenen Überwachungsstellen registrieren und klassifizieren bei ihren Prüfungen festgestellte Mängel nach den Kriterien geringfügig, erheblich, gefährlich. Der Arbeitskreis 3 des Erfahrungsaustauschkreises der zugelassenen Überwachungsstellen (AK ZÜS 3) für den Tätigkeitsbereich Ex-Anlagen und Anlagen für entzündliche, leichtentzündliche und hochentzündliche Flüssigkeiten fasst diese Mängel zusammen und führt regelmäßige Erfahrungsaustausche der zugelassenen Überwachungsstellen durch. Das gleiche gilt auch für den Erfahrungsaustausch Druckanlagen. Einen übergreifenden Erfahrungsaustausch gibt es allerdings nicht. Öffentlich zugängliche Mängelstatistiken, aus denen differenziert hervorgeht, welche konkreten Mängel bezogen auf die Zahl der untersuchten Anlagen auftreten, stehen derzeit aber nicht zur Verfügung.

Eine systematische Erfassung und Auswertung von Unfällen in Zusammenhang mit Tankstellen liegt derzeit nicht vor.

6.2.4 Risikobeurteilung

6.2.4.1 Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)

Tankstellen (und Füllanlagen) sind derzeit überwachungsbedürftige Anlagen. Bei der Anwendung der Methodik geht es um die Fragestellung, ob das Risiko nach wie vor für alle Tankstellen so hoch ist, dass besondere Expertenprüfungen weiterhin im bisherigen Umfang erforderlich sind.

Für die Erprobung erfolgt vor diesem Hintergrund zunächst eine Eingrenzung auf Tankstellen als der Teil von Betankungsanlagen, die der Versorgung mit entzündlichen, leichtentzündlichen oder hochentzündlichen Flüssigkeiten (also Benzin, Bioethanol) dienen. Da Benzin gegenüber Diesel der leichter entzündliche Stoff ist, der auch explosionsfähige Gemische bilden kann, fällt die Wahl auf das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“. Füllanlagen für Druckgase bleiben unberücksichtigt.

Zu solchen Tankstellen gehören insbesondere folgende Anlagenteile:

- Abgabeeinrichtungen (Zapfstelle mit Schlauch und Zapfventil einschließlich Zapfventilautomatik²⁷; Förderpumpen, Filter und Zähler sind Bestandteil der Zapfsäule)
- Gasrückförhpumpen und -überwachungssysteme
- Leckanzeigergeräte für Tanks und Rohrleitungen
- Überfüllsicherungen, Grenzwertgeber und Füllstandsmesseinrichtungen
- Abfüll-Schlauch-Sicherungen, zugehörige Produktcodierungen und Verriegelungseinrichtungen (Produktverwechslung wird derzeit nicht als Sicherheitseinrichtung angesehen)
- Gaspendeleinrichtungen
- Flüssigkeitsüberwachungssysteme, z. B. in Dom- und Fernfüllschächten oder Leichtflüssigkeitsabscheidern
- Tanks und zugehörige flüssigkeits- und dämpfeführenden Rohrleitungen
- Dom- und Fernfüllschächte, Fernfüllschränke, Schächte von Zapfsäulen, Rangierschächte für Elektrotechnik und Rohrleitungen

²⁷ Das Zapfventil selbst ist unterdrucküberwacht. Wird das Zapfventil durch Flüssigkeit verschlossen, gibt es diesen Unterdruck durch den Durchfluss nicht mehr und das Zapfventil schließt. Die Zapfsäulenautomatik gibt die Kraftstoffzufuhr erst frei, wenn das Zapfrohr nach unten gerichtet ist und stoppt diese augenblicklich, sobald Kraftstoff die Fühlerdüse am Rohrende bedeckt (also der Flüssigkeitsspiegel das Rohrende erreicht). Die noch bis Ende 2012 gültige TRbF 40 schreibt in Abschnitt 4.1.1.2 (3) zusätzlich vor, dass „die Fördereinrichtung drei Minuten nach ihrer Einschaltung oder nach einer Abgabemenge von 90 Litern selbsttätig abschaltet“.

6.2.4.2 Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)

Tabelle 19 enthält die wesentlichen Ereignisse und zugehörigen Verlaufsszenarien insbesondere im Bereich der Zapfsäule bei der Nutzung.

Tabelle 19: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“

Ereignis	Verlaufsszenario
1 Verpuffung / Brand; Zapfventil befindet sich beim Anfahren im Tankstutzen	Kunde fährt los, obwohl sich Zapfventil noch im Tankstutzen befindet; Zapfventil wird abgerissen oder herausgerissen; Kraftstoffaustritt auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird durch Verbrennungen verletzt.
2 Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils	Zapfventil fällt während Zapfvorgang aus dem Tankstutzen; Zapfventilautomatik versagt; Kraftstoffaustritt in größerer Menge auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung). Person wird durch Verbrennungen verletzt.
3 Verpuffung / Brand infolge des Abbrisses der Zapfsäule	Abreißen der Zapfsäule durch außer Kontrolle geratenes Fahrzeug; Kraftstoffmenge wird in der Zapfsäule freigesetzt; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.
4 Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule	Undichtigkeit in Zapfsäule infolge Korrosion oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.
5 Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen	Undichtigkeit in Rohrleitungen und Armaturen infolge nicht ordnungsgemäßer Montage und Installation oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in Räumen; Explosion / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen oder erleidet Verbrennungen.

Die Überprüfung der beiden Kriterien (vgl. Abschnitt 5.1.1.3) ergibt, dass von den fünf Ereignissen drei relevant sind (vgl. Tabelle 20): Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils (Verlaufsszenario 2), Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Zapfsäule (Verlaufsszenario 4) und Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen (Verlaufsszenario 5).

Tabelle 20: Die ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“

Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
1	Verpuffung / Brand; Zapfventil befindet sich beim Anfahren im Tankstutzen	Kunde fährt los, obwohl sich Zapfventil noch im Tankstutzen befindet; Zapfventil wird abgerissen oder herausgerissen; Kraftstoffaustritt auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird durch Verbrennungen verletzt.	Tod ggf. möglich (abhängig vom Abstand)	nein
2	Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils	Zapfventil fällt während Zapfvorgang aus dem Tankstutzen; Zapfventilautomatik versagt; Kraftstoffaustritt in größerer Menge auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung). Person wird durch Verbrennungen verletzt.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja, nur bzgl. der Funktion der Zapfventilautomatik
3	Verpuffung / Brand infolge des Abrisses der Zapfsäule	Abreißen der Zapfsäule durch außer Kontrolle geratenes Fahrzeug; Kraftstoffmenge wird in der Zapfsäule freigesetzt; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	nein
4	Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule	Undichtigkeit in Zapfsäule infolge Korrosion oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja: Prüfung auf Dichtigkeit und ordnungsgemäße Instandhaltung
5	Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen	Undichtigkeit in Rohrleitungen und Armaturen infolge nicht ordnungsgemäßer Montage und Installation oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in Räumen; Explosion / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen oder erleidet Verbrennungen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja: Prüfung auf Dichtigkeit, ordnungsgemäße Montage, Installation und Instandhaltung

6.2.4.3 Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)

Für die drei relevanten Ereignisse ist nun die Eintrittswahrscheinlichkeit einzuschätzen und zu bewerten.

Tabelle 21 stellt das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils“ dar. Der Schwellenwert 5 ist deutlich eingehalten. Das Risiko ist gering. Besondere Expertenprüfungen sind nicht notwendig. Ansätze für Boni bestehen bei regelmäßiger Inspektion (vorbeugende Instandhaltung) der Zapfventilautomatik.

Tabelle 21: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils“ Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“

Verlaufsszenario		<i>Zapfventil fällt während Zapfvorgang aus dem Tankstutzen; Zapfventilautomatik versagt; Kraftstoffaustritt in größerer Menge auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung). Person wird durch Verbrennungen verletzt.</i>					
EWS ohne Boni		7	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	8
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>Komplexität der Zapfventilautomatik ist allenfalls mittel; geringes Sicherheitsniveau: mittlere Versagenswahrscheinlichkeit (Wert = 4). Zündfähige Atmosphäre können gelegentlich auftreten; mit Zündquellen ist immer zu rechnen (Wert = 1).</i>	C1			5
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Verschleiß und Ermüdung sind allenfalls mittel.</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	1	<i>Gefahr ist ohne Qualifikation leicht zu erkennen (wenn sie im Blickfeld auftritt) und leicht zu beseitigen.</i>	C4			1
Exposition	E5	2	<i>Exposition im Gefahrenbereich ist eingeschränkt. Es ist wenig wahrscheinlich, dass tatsächlich tödliche Verbrennungen eintreten.</i>	C5			2
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Regelmäßige Inspektion der Zapfventilautomatik</i>		1

Das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule“ ist in Tabelle 22 dargestellt. Der Schwellenwert ist mit deutlichem Sicherheitsabstand eingehalten. Besondere Expertenprüfungen sind nicht notwendig. Eine regelmäßige Inspektion der Zapfsäule auf Dichtigkeit ist aber sinnvoll.

Tabelle 22: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule“
Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“

Verlaufsszenario		<i>Undichtigkeit in Zapfsäule infolge Korrosion oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.</i>					
EWS ohne Boni		8	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	9
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	8	<i>Mittlere Komplexität, mittleres Sicherheitsniveau (Wert = 5); gelegentlich explosionsfähigen Atmosphäre (Zone 1); Zündquellen gelegentlich (Wert = 3)</i>	C1			8
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Verschleiß allenfalls mittel</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Mit spezieller Qualifikation zu erkennen und zu beseitigen; vom Vorhandensein der Qualifikation kann nicht ausgegangen werden.</i>	C4			0
Exposition	E5	1	<i>Hohe Exposition, da wahrscheinlichste Zündquelle vom Menschen ausgeht; dennoch ist der Eintritt einer tödlichen Verletzung wenig wahrscheinlich.</i>	C5			1
			Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit	C6	<i>Regelmäßige Inspektion Zapfsäule auf Dichtigkeit</i>		1

Das Ereignis „Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen“ ist bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines tödlichen Verlaufs und möglicher Boni in Tabelle 23 dokumentiert. Da der Schwellenwert erreicht wird, sind besondere Expertenprüfungen nicht notwendig. Inspektion der Rohrleitungen und Armaturen bei der Montage und Installation durch Experten kann ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten.

Tabelle 23: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen“
 Systemszenario „Benzin-Tankstellen für PKW zur Selbstbedienung“

Verlaufsszenario		<i>Undichtigkeit in Rohrleitungen und Armaturen infolge nicht ordnungsgemäßer Montage und Installation oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in Räumen; Explosion / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen oder erleidet Verbrennungen.</i>					
EWS ohne Boni		6	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	7
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	7	<i>Mittlere Komplexität, mittleres Sicherheitsniveau (Wert = 5); hohe Wahrscheinlichkeit einer explosionsfähigen Atmosphäre; Zündquellen gelegentlich (Wert = 2)</i>	C1			7
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Verschleiß allenfalls mittel, da in der Regel nicht der Witterung ausgesetzt</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Mit spezieller Qualifikation zu erkennen und zu beseitigen; vom Vorhandensein der Qualifikation kann nicht ausgegangen werden.</i>	C4			0
Exposition	E5	0	<i>Mittlere Exposition, da Zündquelle auch vom Menschen ausgeht; Eintritt einer tödlichen Verletzung in Räumen wahrscheinlich</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Inspektion der Rohrleitungen und Armaturen bei Montage und Installation</i>		1

Tabelle 24 stellt das Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“ dar. Insgesamt besteht bei keinem Ereignis die Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen. Inspektion durch Experten nach der Montage und Installation und auch regelmäßige Wartung und Inspektion der Zapfventilautomatik auf Funktion sowie von Zapfsäule, Rohrleitungen und Armaturen auf Dichtigkeit können zur weiteren Erhöhung der Anlagensicherheit beitragen.

Tabelle 24: Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“

Systemszenario: Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen
1	Verpuffung / Brand; Zapfventil befindet sich beim Anfahren im Tankstutzen	Kunde fährt los, obwohl sich Zapfventil noch im Tankstutzen befindet; Zapfventil wird abgerissen oder herausgerissen; Kraftstoffaustritt auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird durch Verbrennungen verletzt.	Tod ggf. möglich (abhängig vom Abstand)	nein	-	
2	Verpuffung / Brand infolge des Herausfallens des Zapfventils	Zapfventil fällt während Zapfvorgang aus dem Tankstutzen; Zapfventilautomatik versagt; Kraftstoffaustritt in größerer Menge auf den Boden; explosionsfähige Atmosphäre (bei warmen Klimaverhältnissen ohne Wind); Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung). Person wird durch Verbrennungen verletzt.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja, nur bzgl. der Funktion der Zapfventilautomatik	7	<i>Weitere Verbesserungen bei regelmäßiger Inspektion der Zapfventilautomatik</i>
3	Verpuffung / Brand infolge des Abrisses der Zapfsäule	Abreißen der Zapfsäule durch außer Kontrolle geratenes Fahrzeug; Kraftstoffmenge wird in der Zapfsäule freigesetzt; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	nein	-	

System szenario: Personenaufzüge als Seilauflzüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen
4	Verpuffung / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in der Zapfsäule	Undichtigkeit in Zapfsäule infolge Korrosion oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in der Zapfsäule; Verpuffung / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja: Prüfung auf Dichtigkeit und ordnungsgemäße Instandhaltung	8	
5	Explosion / Brand durch Bildung einer Ex-Atmosphäre in Räumen	Undichtigkeit in Rohrleitungen und Armaturen infolge nicht ordnungsgemäßer Montage und Installation oder Beschädigung; explosionsfähige Atmosphäre in Räumen; Explosion / Brand durch Zündquelle (elektrisches Gerät, elektrostatische Entladung); Person wird von wegfliegenden Teilen der Zapfsäule getroffen oder erleidet Verbrennungen.	Tod möglich (abhängig vom Abstand)	ja: Prüfung auf Dichtigkeit, ordnungsgemäße Montage, Installation und Instandhaltung	6	<i>Verbesserungen bei Inspektion der Rohrleitungen und Armaturen bei Montage und Installation</i>

6.2.4.4 Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)

Bei Diesel-Tankstellen ist von deutlich geringeren Risiken auszugehen als bei dem betrachteten Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“.

Mit höheren Risiken ist bei folgenden Vorgängen zu rechnen:

- Kraftstoffanlieferung mit Tankwagen
- Oberirdische Lagerung
- Flüssiggaslagerung und Abgabe
- Druckgaslagerung und Abgabe
- Umrüstung einer Tankstelle

6.2.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Anwendung der Methodik verdeutlicht, dass von Diesel- und Benzin-Tankstellen ein so geringes Risiko ausgeht, dass besondere Expertenprüfungen nicht erforderlich sind.

Die Erprobung erfolgte beispielhaft an dem Systemszenario „Benzin-Tankstellen für Pkw zur Selbstbedienung“. Für Betankungsanlagen, die (ggf. neben Tankstellen auch) Füllanlagen für Gase umfassen, ist mit ggf. höheren Risiken durch Druck, Brand und Explosion zurechnen.

Die Ergebnisse der Methoden Anwendung stehen unter dem Vorbehalt der Erörterung und Zustimmung des Ausschusses für Betriebssicherheit. Vorbehaltlich dieser Einschränkungen wird aufgrund der Erprobungsergebnisse empfohlen:

- Tankstellen für die Abgabe von Benzin oder Diesel müssen aufgrund des geringen von ihnen ausgehenden Risikos nicht zu den besonders prüfbedürftigen Anlagen gehören. Sie können aus dem entsprechenden Katalog gestrichen werden. Bei diesen Prüfungen von Füllanlagen sind mögliche Wechselwirkungen bei ebenfalls zur Betankungsanlage gehörigen Tankstellen mit zu berücksichtigen.
- Die Überprüfung der Explosionssicherheit der Arbeitsplätze einschließlich der vorgesehenen Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung sowie der Maßnahmen zum Schutz Dritter vor der erstmaligen Nutzung durch eine befähigte Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz, wie sie die derzeitige BetrSichV Anhang 4 Nr. 3,8 fordert, sollte die Gesamtanlage (Betankungsanlage) im Sinne der EU-Richtlinie 99/92/EG, Anhang 2 Nr. 2.8 („*the overhole safety of the plant*“) einbeziehen.
- Kraftstoff führende Teile von Tankstellen (ausgenommen unterirdische Speicherbehälter) sollten in kurzen Fristen (z. B. monatlich oder vierteljährlich) regelmäßigen Inspektionen auf Dichtigkeit und Beschädigung durch befähigte Personen unterzogen werden. Soweit möglich sind Prüfanforderungen auf der Basis einer differenzierten Analyse des Mängelaufkommens bei den bisherigen Expertenprüfungen festzulegen.
- Die Einführung von Boni ist über die angesprochenen regelmäßigen Inspektionen hinaus aufgrund der geringen Risiken nicht erforderlich.

6.3 Krane

6.3.1 Anlagenspektrum (Schritt 2)

Krane sind Hebezeuge, die Lasten mit einem Tragmittel heben und die sich zusätzlich in eine oder in mehrere Richtungen bewegen können (vgl. § 2 Abs. 1 BGV D6). Sie sind in Deutschland aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten weit verbreitet.

Es gibt viele verschiedene Krantypen bzw. Bauarten für die unterschiedlichsten Anwendungs- und Einsatzgebiete²⁸. Eine Zusammenfassung zu Krantypen, Einsatzgebieten und weiteren Merkmalen ist in Abbildung 14 dargestellt.

²⁸ Eine Einteilung der Krane nach ihrem Verwendungszweck, Aufstellungsort oder ihrer Bauart ist in der DIN 15001, Teile 1 und 2 angegeben.

Kran- typen	Turmdreh- kran	Säulen- schwenk- kran, Wand- schwenk- kran	Aus- leger- kran, Dreh- kran	Portal- kran, Brücken- kran	Verlade- brücken	Fahr- zeug- kran	Lkw-Lade- krane / -anbau- kran; Langholz- Ladekrane	Schwimm- kran	Kabel- kran	Der- rick- kran	Regal- bedien- geräte	
Einsatz- gebiete	in Hallen	in Häfen / Güterbahnhöfen			allerorts		auf Baustellen		an Arbeitsplätzen			
Montage	ortsfest			schienengebunden			ortsveränderlich (z. B. Fahrzeugkran)					
Antrieb	handbetrieben			teilkraftbetrieben				kraftbetrieben				
Energie- quelle	Strom			Hydraulik				Pneumatik				
Steuer- ung	Kabine oben	Führerstand (ortsfest)		beweglich kabel- gebunden		kabellose Steuerung (Funk, Laser, Infrarot, ...)		programmgesteuert (teilautomatisch, vollautomisch)				
Zugang	Steigleitern			Treppenaufgang				Kranführeraufzug				
Be- nutzer	nicht unterwiesene (unbefugte) Beschäftigte			unterwiesene Kranführer			ausgebildeter Kranführer					

Abbildung 14: Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Krane“

Die Lebensdauer eines Krans ist unter normalen Nutzungs- und Einsatzbedingungen relativ hoch, da häufig nur einzelne Komponenten (z. B. Antrieb, Hubwerk) ausgetauscht werden. Auch wenn sich die Bau- und Ausrüstungsbestimmungen für Krane durch europäische Richtlinien verändert haben, ist seit Mitte der sechziger Jahre der Stand der Technik überwiegend gleich geblieben. Wesentliche Veränderungen haben sich lediglich im Bereich der Antrieb- und Steuerungstechnik ergeben sowie beim zunehmenden Einsatz von Spezialseilen.

Brückenkrane, deren Grundaufbau aus der Brückenkonstruktion, dem Hubwerk und den Antrieben besteht, weisen ein dreidimensionales Arbeitsfeld auf. Der Brückenkran zählt u. a. zu den gebräuchlichsten Krantypen und gilt mit einem maximalen Transportgewicht von bis zu 400 t als sehr wartungsarm. Aufgrund der ähnlichen Bauart und Technik ist der Brückenkran dem Portal-kran ähnlich. Brückenkrane werden meist in Hallen eingesetzt und sind standsicher. Portalkrane weisen dagegen zudem wegen ihrer Schienenlaufbahn auf der Erde, meist großen Spannweiten und Hubhöhen zusätzliche Gefährdungen auf.

Kennzeichnungsmerkmal der Turmdreh-, Fahrzeug- und Lkw-Ladekrane ist die Bewegung des Auslegers als Dreh- oder Schwenkbewegung um ihre vertikale Achse. Diese Krantypen zeichnen sich wegen ihrer vielseitigen Anwendung unter häufig wechselnden Tätigkeiten und Einsatzbedingungen aus, z. B. auf Baustellen im Hochbau. Sie sind mit einem hohen Risiko verbunden, weil bei diesen Krantypen die Aufstellung und das Umrüsten eine wesentliche Rolle spielen. Die Standsicherheit von Turmdreh- und Fahrzeugkranen wird durch Gegengewichte gewährleistet. Die jeweiligen Antriebe werden durch Überlastsicherungen gegen zu hohe Lastmomente bei zu großer Last automatisch abgeschaltet. Insbesondere die Fahrzeugkrane gelten als sehr wartungsintensiv.

Für einen schnellen Güterumschlag, beispielsweise von Containern, werden Verladebrücken (auch Containerbrücken genannt) eingesetzt. Verladebrücken sind mit großen Tragfähigkeiten, Hubhöhen und Geschwindigkeiten ausgelegt.

Vergleichsweise selten kommen Schwimm-, Kabel- und Derrickkrane vor. Diese Sonderformen werden lediglich für spezielle Anwendungsgebiete eingesetzt, wie z. B. zur Bergung gesunkener Schiffe oder dienen als Abstützung.

Auch wenn Regalbediengeräte (RGB) weder unter die Unfallverhütungsvorschrift „Krane“ (BGV D6) noch die Unfallverhütungsvorschrift „Winden-, Hub- und Zuggeräte“ fällt, werden sie aufgrund des hohen Risikos und des häufigen Einsatzes im Anlagenspektrum der Krane mit berücksichtigt.

Das selbstständige Führen (Kranführer) oder Instandhalten eines Kranes ist nach § 29 Abs. 1 UVV Krane – BGV D6 nur von geeigneten (zuverlässigen), nachgewiesenen befähigten und beauftragten Beschäftigten ab 18 Jahre gestattet. Bei ortsveränderlichen Kranen ist eine schriftliche Beauftragung erforderlich (vgl. BGG 921).

6.3.2 Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfung

Krane sind Maschinen im Sinne der Maschinenverordnung (9. GPSGV). Damit müssen die Herstellerpflichten und Beschaffenheitsanforderungen des GPSG und der EU-Maschinen-Richtlinie 2006/42/EG erfüllt werden. Zur Umsetzung der Beschaffenheitsanforderungen kann der Hersteller auf zahlreiche harmonisierte Normen zurückgreifen (z. B. zu Standsicherheit, Tragwerk, Lastbegrenzung).

An den Betreiber richten sich nach der Betriebssicherheitsverordnung folgende Prüfpflichten:

- Nach § 10 Abs. 1 BetrSichV ist nach der Montage und vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort eine Prüfung durch eine befähigte Person²⁹ erforderlich.
- § 10 Abs. 2 BetrSichV fordert geeignete Prüffristen nach § 3 BetrSichV als Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung bei Arbeitsmitteln, die Schäden verursachenden Einflüssen unterliegen, die zu gefährlichen Situationen führen können. Diese Prüfung erfolgt durch eine befähigte Person.
- Nach Änderungs- oder Instandsetzungsarbeiten, welche die Sicherheit der Arbeitsmittel beeinträchtigen können, ist nach § 10 Abs. 3 BetrSichV eine Prüfung durch eine befähigte Person erforderlich.

²⁹ Die TRBS 1203 – Befähigte Personen regelt die Anforderungen, die eine befähigte Person nach § 2 Abs. 7 BetrSichV erfüllen muss.

Die Unfallverhütungsvorschrift Krane – BGV D6 konkretisiert die Prüfanforderungen für Krane einschließlich ihrer Tragkonstruktion und Ausrüstung:

- Vor der ersten Inbetriebnahme und nach wesentlichen Änderungen³⁰ vor der Wiederinbetriebnahme von kraftbetriebenen Kranen oder Kranen über 1.000 kg Tragfähigkeit ist eine Prüfung durch einen von der Berufsgenossenschaft ermächtigten Sachverständigen erforderlich (vgl. § 25 Abs. 1 UVV Krane – BGV D6). Die Prüfung vor der ersten Inbetriebnahme besteht aus Vorprüfung, Bauprüfung und Abnahmeprüfung. Vor- und Bauprüfung und bei betriebsbereit gelieferten Kranen auch die Abnahmeprüfung werden vom Hersteller im Rahmen der Konformitätsbewertung EG-Maschinenrichtlinie durchgeführt und durch eine EG-Konformitätserklärung bestätigt. Nach wesentlichen Änderungen besteht die Prüfung aus einer Vor- und Bauprüfung, d. h., dass beispielsweise nach der Durchführung von Schweißarbeiten eine Prüfung durch einen Schweißfachingenieur erfolgen muss.
- Wiederkehrende Prüfungen sind nach § 26 UVV Krane – BGV D6 gefordert:
 - Auf Basis der Gefährdungsbeurteilung und der Prüfhinweise des Herstellers in der Betriebsanleitung sind Krane unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen und betrieblichen Verhältnisse nach Bedarf, jedoch mindestens jährlich durch einen Sachkundigen zu prüfen.
 - Kraftbetriebene Turmdreh- und Fahrzeugkrane, ortsveränderliche kraftbetriebene Derrickkrane, Lkw-Anbaukrane sind alle vier Jahre durch Sachverständige (gilt nicht für ständig angebaute Lkw-Ladekrane) zu prüfen.
 - Turmdrehkrane sind nach jeder Aufstellung bzw. nach jeder Umrüstung durch Sachkundige zu prüfen.
 - Kraftbetriebene Turmdrehkrane sind im 14. und 16. Betriebsjahr und dann jährlich durch Sachverständige zu prüfen.
 - Kraftbetriebene Fahrzeugkrane sind im 13. Betriebsjahr und dann jährlich durch Sachverständige zu prüfen. Hiervon ausgenommen sind Lkw-Ladekrane mit einem Lastmoment von über 30 mt und/oder mehr als 15 m Ausladung.

Wie im Einzelnen die genannten Anforderungen des § 29 Abs. 1 UVV Krane – BGV D6 umgesetzt werden können, ist im BGG 921 beschrieben. Infolgedessen ist bei Turmdrehkranführern die zuständige Berufsgenossenschaft an der Prüfung zu beteiligen.

Im BG Grundsatz 905 „Prüfung von Kranen“ sind Angaben zu Art, Umfang und Durchführung der unterschiedlichen Prüfungen für den Hersteller und Betreiber aufgeführt. Der Umfang und die Inhalte der Prüfungen sind abgestuft nach dem Risiko, welches beim Führen des Krans vorhanden ist.

³⁰ Zu einer wesentlichen Änderung gemäß § 25 UVV Krane – BGV D6 zählen beispielsweise Schweißarbeiten an tragenden Teilen, Erhöhung der Tragfähigkeit oder das Auswechseln von Katzen und Auslegern. Eine wesentliche Änderung im Sinne der UVV Krane – BGV D6 ist nicht mit der wesentlichen Veränderung nach dem Geräteproduktsicherheitsgesetz zu vergleichen.

Zusätzlich kann der Betreiber auf VDI-Richtlinien und harmonisierte Normen zurückgreifen, z. B. zur Instandhaltung von Krananlagen, Abnahmeprüfung von ortsfesten und gleisgebunden Krananlagen bzw. von gleislosen Anlagen, zur Standsicherheit, Abspannseile, Schweißnähte.

Krane sind derzeit keine überwachungsbedürftigen Anlagen. Demnach ist eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle nach §§ 14 und 15 BetrSichV nicht erforderlich.

6.3.3 Erkenntnisse über Mängel und Unfälle

Eine systematische Erfassung und Auswertung von Kranunfällen und bei Sachverständigenprüfungen festgestellten Mängeln ist nicht vorhanden. Verfügbar sind nur punktuelle Statistiken.

Eine Auswertung aus dem Jahre 2005 ermittelt für die Jahre 2002 und 2003 5.785 bzw. 4.743 meldepflichtige Unfälle³¹, davon 23 bzw. 29 Todesfälle (vgl. HVBG, 2005). 80 % der tödlichen Unfälle erfolgten mit Brücken-, Turmdreh- und Mobilkränen. Der Anteil an Unfällen, die auf technisches Versagen zurückzuführen sind, ist nicht erkennbar.

6.3.4 Risikobeurteilung (Anwendung der Methodik)

6.3.4.1 *Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)*

Krane sind derzeit keine überwachungsbedürftigen Anlagen. Im Rahmen der Anwendung der Methodik geht es daher um die Frage, ob das Risiko bei der Nutzung von Kranen so hoch ist, dass besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind oder ob die derzeitigen Regelungen ausreichen. Zur Auswahl eines geeigneten Systemszenarios wird deshalb ein Krantyp gewählt, der ein relativ hohes Risiko aufweist, zu den gebräuchlichsten Kranen zählt und darüber hinaus mit ständig wechselnden Tätigkeiten und Einsatzbedingungen verbunden ist: Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen.

6.3.4.2 *Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)*

Tabelle 25 stellt die wesentlichen Ereignisse bei Turmdrehkränen auf Baustellen dar. Nicht berücksichtigt wurden Ereignisse, die auf höhere Gewalt oder Bedienungsfehler zurückzuführen sind oder die bei Montage- und Instandhaltungstätigkeiten auftreten, da sie grundsätzlich durch besondere Expertenprüfungen nicht beeinflussbar sind, wie z. B.:

³¹ Meldepflichtig sind Unfälle, bei denen Beschäftigte für mindestens drei Tage arbeitsunfähig waren.

- Sturm / Windböen
- Falsches Anschlagen, Schräg ziehen, Pendeln der Last
- Getroffen werden von herabfallender Last infolge Schlaffseil oder ungewollter Kranbewegungen (z. B. durch Wind, Böen, Fehler in der Steuerung, Bedienungsfehler)
- Absturz bei der Montage

Tabelle 25: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“

Ereignis		Verlaufsszenario
1	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion	Versagen der Tragkonstruktion (z. B. verursacht durch Korrosion, Materialverschleiß oder -ermüdung, Beschädigung; mangelhafte Instandsetzung, z. B. Schweißarbeiten); Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen
2	Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung	Fehler in der Steuerung oder Versagen von Sicherheitseinrichtungen; Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen
3	Kran kippt um infolge des nicht tragfähigen Untergrunds bzw. Fundaments	Nachgeben des Untergrunds oder des Fundaments; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen
4	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um aufgrund eines Montagefehlers	Montagefehler z. B. durch nicht ordnungsgemäß montierte Schraubverbindungen oder Bolzen; Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen
5	Kran kippt um	Manipulation von Sicherheitseinrichtungen führt zum Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit, Kran kippt um; es können sowohl Personen bzw. der Kranführer getroffen werden als auch der Kranführer in der Kabine kann abstürzen und wird tödlich verletzt.

Das Gefährdungsspektrum bei Turmdrehkränen auf Baustellen konzentriert sich darauf, dass Teile des Krans abstürzen bzw. der Kran umkippt. Dabei kann der Kranführer abstürzen oder Personen von Kranteilen oder abstürzenden Lasten getroffen werden.

Tabelle 26 gibt das Ergebnis der Einschätzung an, ob die kritische Schadensschwere erreicht wird und das jeweilige Verlaufsszenario durch besondere Expertenprüfungen wirksam beeinflussbar ist. Die mögliche Schadensschwere ist bei Kranunfällen in aller Regel sehr hoch.

Tabelle 26: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“

Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
1	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion	Versagen der Tragkonstruktion (z. B. verursacht durch Korrosion, Materialverschleiß oder -ermüdung, Beschädigung; mangelhafte Instandsetzung, z. B. Schweißarbeiten); Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung beeinflussbar
2	Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung	Fehler in der Steuerung oder Versagen von Sicherheitseinrichtungen; Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung beeinflussbar
3	Kran kippt um infolge des nicht tragfähigen Untergrunds bzw. Fundaments	Nachgeben des Untergrunds oder des Fundaments; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch geologisches Gutachten beeinflussbar
4	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um aufgrund eines Montagefehlers	Montagefehler z. B. durch nicht ordnungsgemäß montierte Schraubverbindungen oder Bolzen; Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung und Sichtprüfung nach der Montage beeinflussbar
5	Kran kippt um	Manipulation von Sicherheitseinrichtungen führt zum Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit, Kran kippt um; es können sowohl Personen bzw. der Kranführer getroffen werden als auch der Kranführer in der Kabine kann abstürzen und wird tödlich verletzt.	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	nein: durch Prüfung zwar feststellbar, aber nicht dauerhaft kontrollierbar

Vier der genannten Verlaufsszenarien sind sowohl mit einer kritischen Schadensschwere als auch durch Expertenprüfungen beeinflussbar. Zur Aufdeckung von Montagefehlern sind gemäß § 10 Abs. 1 BetrSichV bereits Prüfungen nach der Montage durch befähigte Personen vorgesehen. Die Tragfähigkeit des Untergrunds / Fundaments ist nur durch geologische Bodengutachten festzustellen. Der weiteren Risikobeurteilung werden daher die Ereignisse „Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion“ (Szenario 1) und „Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung“ (Szenario 2) unterzogen.

6.3.4.3 Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)

Das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion“ ist in Tabelle 27 dargestellt. Der Schwellenwert von 5 wird nicht erreicht. Besondere Expertenprüfungen sind demnach notwendig. Durch vorbeugende Instandhaltung, insbesondere regelmäßige Prüfungen und frühzeitige Instandsetzung kritischer Teile der Tragkonstruktion, kann das Risiko soweit reduziert werden, dass der Schwellenwert erreicht wird. Dann können die Anforderungen an besonderen Expertenprüfungen zurückgenommen werden.

Tabelle 27: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion“; Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“

Verlaufsszenario			<i>Versagen der Tragkonstruktion (z. B. verursacht durch Korrosion, Materialverschleiß oder -ermüdung, Beschädigung; mangelhafte Instandsetzung, z. B. Schweißarbeiten); Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen</i>				
EWS ohne Boni		4	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	5
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>mittlere Komplexität durch zahlreiche Elemente der Tragkonstruktion; mittleres Sicherheitsniveau</i>	C1			5
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>mittlerer Verschleiß durch Einsatzbedingungen (Witterung), Beschädigung (z. B. durch Fehlbedienung), (mechanischer Verschleiß eher gering)</i>	C2	<i>Qualifikation des Kranführers</i>		-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Korrosion und Beschädigung durch Kranführer (Qualifikation) schwer bis gar nicht erkennbar (nur offensichtliche Beschädigungen); Gefahr nur mit spezifischer Qualifikation zu beseitigen</i>	C4	<i>Qualifikation des Kranführers</i>		0
Exposition	E5	0	<i>Kranführer ist dauerhaft exponiert; Schadenseintritt ist aufgrund der Absturzhöhe sehr wahrscheinlich; andere Beschäftigte halten sich nicht dauerhaft im Gefahrenbereich auf; geringere Wahrscheinlichkeit getroffen zu werden</i>	C5	<i>Verwendung von Kranen ohne Kabine</i>		0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Vorbeugende Instandhaltung; regelmäßige Prüfung und frühzeitige Instandsetzung</i>		1

Das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung“ ist in Tabelle 28 dargestellt. Der Schwellenwert von 5 wird nicht erreicht. Besondere Expertenprüfungen sind demnach notwendig. Als Boni sind der Einsatz zusätzlicher oder zuverlässigerer Sensoren und Steuerungen sowie regelmäßige Funktionsüberprüfungen durch den Kranführer im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltung sinnvoll. Diese Maßnahmen können die erforderlichen Anforderungen an besondere Expertenprüfungen reduzieren.

Tabelle 28: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung“; Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“

Verlaufsszenario		<i>Fehler in der Steuerung oder Versagen von Sicherheitseinrichtungen; Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen</i>					
EWS ohne Boni		4	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	6
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	4	<i>mittlere Komplexität der Sensorik und Steuerung; Geringe Komplexität, geringe Redundanz und Zuverlässigkeit</i>	C1	<i>ggf. zusätzliche oder zuverlässigere Sensoren und Steuerung</i>		5
Verschleiß/ Ermüdung	E2	-1	<i>mittlerer Verschleiß durch Einsatzbedingungen (Witterung), hohe Nutzungsintensität</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern/ ausweichen	E4	1	<i>Fehler und Versagen nur spezifischer Qualifikation erkennbar und beseitigbar/vermeidbar</i>	C4			1
Exposition	E5	0	<i>Kranführer ist dauerhaft exponiert; Schadenseintritt ist aufgrund der Absturzhöhe sehr wahrscheinlich; andere Beschäftigte halten sich nicht dauerhaft im Gefahrenbereich auf; geringere Wahrscheinlichkeit getroffen zu werden</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Vorbeugende Instandhaltung durch regelmäßige Funktionsüberprüfungen</i>		1

Tabelle 29 stellt das Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“ dar. Für das Ereignis „Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion“ und „Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung“ besteht die Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen. Allerdings

können Boni zur Erhöhung der Anlagensicherheit beitragen, so dass besondere Expertenprüfungen entfallen oder Fristen verlängert werden können.

Tabelle 29: Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“

Systemszenario: Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen
1	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um infolge Versagen der Tragkonstruktion	Versagen der Tragkonstruktion (z. B. verursacht durch Korrosion, Materialverschleiß oder -ermüdung, Beschädigung; mangelhafte Instandsetzung, z. B. Schweißarbeiten); Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung beeinflussbar	4	Boni möglich
2	Kran kippt um infolge maximaler Traglastüberschreitung	Fehler in der Steuerung oder Versagen von Sicherheitseinrichtungen; Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung beeinflussbar	4	Boni möglich
3	Kran kippt um infolge des nicht tragfähigen Untergrunds bzw. Fundaments	Nachgeben des Untergrunds oder des Fundaments; Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch geologisches Gutachten beeinflussbar	-	
4	Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um aufgrund eines Montagefehlers	Montagefehler z. B. durch nicht ordnungsgemäß montierte Schraubverbindungen oder Bolzen; Ausleger stürzt ab bzw. Kran kippt um; Kranführer in Kabine stürzt ab bzw. Personen werden getroffen	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	ja: durch technische Prüfung und Sichtprüfung nach der Montage beeinflussbar	-	
5	Kran kippt um	Manipulation von Sicherheitseinrichtungen führt zum Überschreiten der maximalen Tragfähigkeit, Kran kippt um; es können sowohl Personen bzw. der Kranführer getroffen werden als auch der Kranführer in der Kabine kann abstürzen und wird tödlich verletzt.	hohe Energien bzw. hohe Absturzhöhe: Tod möglich	nein: durch Prüfung zwar feststellbar, aber nicht dauerhaft kontrollierbar	-	

6.3.4.4 Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)

Mit vergleichbaren oder höheren Risiken ist u. a. bei folgenden Systemszenarien zu rechnen:

- Einsatz von mehreren Turmdrehkränen, die sich in ihrem Wirkungsbereich überschneiden
- Fahrzeugkrane
- Ladekrane
- Regalbediengeräte

Mit folgenden Systemszenarien sind voraussichtlich geringere Risiken verbunden:

- (kleinere) Turmdrehkrane mit kabelloser Steuerung von unten
- Brückenkrane in Hallen
- Arbeitsplatzbezogene Hebehilfen

Zu beachten ist hier allerdings, dass bei den letztgenannten Systemszenarien in der Praxis häufig verschiedene Beschäftigte mit unterschiedlicher Qualifikation die Krane bedienen. Die Führer von Fahrzeugkranen weisen dagegen häufig eine hohe Qualifikation auf.

6.3.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Beim Versagen von Kranen können insbesondere Kranführer abstürzen oder getroffen werden. Die Anwendung der Methodik kommt zu dem Ergebnis, dass von Kranen (hier insbesondere von Turmdrehkränen auf Baustellen) ein hohes Risiko ausgeht, sodass besondere Expertenprüfungen notwendig sind.

Die Erprobung erfolgte exemplarisch an einem Systemszenario. Es sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich, damit das Anlagenspektrum „Krane“ umfassender in Augenschein genommen werden kann. Zudem stehen die Ergebnisse der Methodenanwendung unter dem Vorbehalt der Erörterung und Zustimmung des Ausschusses für Betriebssicherheit. Vorbehaltlich dieser Einschränkungen werden aufgrund der Erprobungsergebnisse lediglich Empfehlungen ausgesprochen:

- Für Krane sind derzeit Prüfungen durch Sachverständige erforderlich. Dieser Bedarf wird durch die Ergebnisse der Anwendung der Methodik bestätigt.
- Die Einführung von Boni ist bei dem untersuchten Systemszenario „Turmdrehkran mit hochgelegener Kabine auf Baustellen“ möglich. Beim Einsatz zuverlässiger Überlastsicherungen, die nur schwer außer Kraft gesetzt werden können, der Sicherstellung der Kranführung ausschließlich durch entsprechend ausgebildete Kranführer sowie bei Nachweis eines geeigneten Systems vorbeugender Instandhaltung, das die relevanten Ereignisse berücksichtigt, ist eine teilweise Reduzierung auf Prüfstufe 1 bzw. eine Verlängerung von Sachverständigenprüfungen (Prüfstufe 2) möglich.
- Von besonderer Bedeutung ist im Zusammenhang mit den genannten Boni aber auch generell die Einführung systematischer Systemkontrollen durch Sachverständige bzw. Prüfstellen. Durch Zertifizierung von Managementsystemen und Stichprobenaudits ist zu ge-

währleisten, dass Überlastsicherungen und ggf. weitere sicherheitsrelevante Steuerungselemente regelmäßig einer Funktionsprüfung durch den Kranführer unterzogen werden, die Qualifikation aller Kranführer den Anforderungen entspricht und die vorgesehenen Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung fach- und termingerecht umgesetzt werden. Dies kann auch der Tendenz entgegenwirken, vermehrt an Instandhaltung zu sparen und erhöhte Risiken in Kauf zu nehmen.

- Soweit möglich, sollten durch das technische Regelwerk auch Unklarheiten bezüglich des Bedarfs von Kranführern, der Qualifikationsanforderungen des Kranführers und der Prüfer beseitigt werden. Insbesondere nach Schweißarbeiten ist eine Prüfung der Instandsetzungsarbeiten durch einen Sachverständigen zu fordern. Die Qualifikationsanforderungen für den Kranführer sollten sich auch auf das Erkennen von Beschädigung, das Erkennen und Vermeidung von Gefahren sowie sachgerechte Funktionsprüfungen erstrecken.

6.4 Biogasanlagen

6.4.1 Anlagenspektrum (Schritt 2)

Biogas ist ein aus anaerobem Abbau organischer Stoffe (Substrate) entstehendes Gasgemisch. Roh-Biogas ist im Wesentlichen aus den in Tabelle 30 dargestellten Komponenten zusammengesetzt und riecht stark faulig. Die Anteile können aufgrund unterschiedlicher Substratzusammensetzung und Prozessbedingungen recht stark schwanken. Wasserdampf, Schwefelwasserstoff und Ammoniak werden durch Entschwefelung und Trocknung vor der Bereitstellung zur Verwendung weitgehend entfernt. Das aufbereitete Biogas ist fast geruchlos. Die Dichte wird fast nur von dem Verhältnis CH_4/CO_2 bestimmt. Es kann sowohl schwerer als auch leichter als Luft sein. Die Einzelkomponenten entmischen sich allein aufgrund der Schwerkraft nicht. Die Wirkungen der einzelnen Komponenten treten in Kombination auf. Über die Kombinationswirkung auf den Menschen liegen zurzeit keine detaillierten Erkenntnisse vor.

Tabelle 30: Zusammensetzung von Roh-Biogas (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2007)

Komponente	Anteil in Vol%	Eigenschaften / Bemerkungen
Methan (CH_4)	45–65	hochentzündlich, bildet mit Luft explosives Gemisch; erwünschte Komponente
Kohlendioxid (CO_2)	30-55	erstickend, schwerer als Luft (Sammlung am Boden)
Wasser(dampf) (H_2O)	bis 10	
Schwefelwasserstoff (H_2S)	0–2	hochentzündlich, bildet mit Luft explosives Gemisch, sehr giftig, starkes Atemgift, starker Geruch (nach faulen Eiern), in höheren Konzentrationen Vertaubung der Geruchsrezeptoren; stark korrosiv, schwerer als Luft (Sammlung am Boden)
Ammoniak (NH_3)	0–1	giftig, Atemgift; kann mit Luft explosive Gemische bilden; stark reizend; stechender Geruch; stark korrosiv; leichter als Luft

Biogasanlagen sind Anlagen, in denen Biogas entsteht und genutzt wird. Im Bereich der kommunalen Abwasser- und Abfallentsorgung sowie im industriellen Bereich gibt es sie schon seit Langem. Derzeit sind es bundesweit ca. 2000 Anlagen. Durch die politische Förderung regenerativer Energiebereitstellung hat die Zahl der Biogasanlagen in der Landwirtschaft in den letzten Jahren stark zugenommen. Ihre Zahl wird auf derzeit ca. 6000 Anlagen geschätzt.

Abbildung 15 gibt einen Überblick zu Spektrum und Einsatzgebieten von Biogasanlagen. Eine Prinzipskizze für Biogasanlagen mit ihren wesentlichen Komponenten ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Betrachtungsgrenze in der Abbildung grenzt das System „Biogasanlage“ ab.

Einsatzgebiete	Landwirtschaft		Kommunale Abfall- und Abwasserbehandlung	Industrie
Biogaserzeugung aus	Tierhaltung (Gülle, Mist)	Pflanzenanbau (Energiepflanzen)	Abfälle (Biotonne, Grünschnitt, Landschaftspflege) Deponien (Faulgas) Abwasser (Klärschlamm)	Abfälle aus Produktion, Markt, Gastronomie, Catering, Pharma
Nutzung	Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) mit Verbrennungsmotoren oder Turbinen		Wärmeerzeugung mit Gasbrenner	Aufbereitung als Treibstoff oder Einspeisung in Gasnetze
Anlagenbediener	Landwirte / Unternehmer	Beschäftigte in Betrieben / Kommunen	Fremdfirmen (Servicepersonal, Montage, Betriebsgesellschaft)	
Substratlagerung	Flüssigkeiten (Güllelager offen / geschlossen, Vorgruben offen / geschlossen, Vorlagenbehälter geschlossen)		Feststoffe (Annahmehalle, Abwurf-bunker, Flachbunker / Fahrsilo, Silo, Festmistlager)	
Beschickung	Kontinuierlich (Ein- und Austragen gleicher Substratmenge)		Batch-Betrieb (Komplettbefüllung und -entleerung)	
Fermenterform	Gärkanal (langgestreckt, eckig, Beton)	Liegender Tank (Stahlbehälter)	Vertikaler Rundbehälter (Silo aus Beton oder Stahl)	
Stufigkeit	Einstufig (alle Stufen gleichzeitig)	Zweistufig (Vorstufe Hydrolyse, dann Methanbildung)	Dreistufig (Vorstufen Hydrolyse, Säurebildung, dann Methanbildung)	
Substanzgehalt	Nassvergärung (bis ca. 15 % TS-Gehalt)		Trockenvergärung (von 25 – 35 % TS-Gehalt)	
Temperaturniveau	Psychophil bis 20 °C	Mesophil 30 – 42 °C	Thermophil >50 °C	
Durchmischung	Mechanisch (z. B. langsam, schnell laufendes Rührwerk)	Hydraulisch (z. B. externe Pumpe)	Pneumatisch (Einblasen von Biogas / Nutzung Gasdruck zum Erzeugen von hydraulischem Gefälle)	

Abbildung 15: Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Biogasanlagen“

Biogas wird hauptsächlich direkt an der Biogasanlage zur dezentralen gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) in Blockheizkraftwerken genutzt. In der Landwirtschaft sind meist kleinere Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung bis 0,5 MW im Einsatz. Das Investitionsvolumen einer solchen Anlage umfasst ca. 2 Mio. €. Daher wird in der Landwirtschaft häufiger auf preiswertere Technik zurückgegriffen (z. B. Doppelmembranbehälter) als im

kommunalen oder industriellen Bereich. Es ist umstritten, ob eine nachvollziehbare Möglichkeit der Dichtigkeitsprüfung für Doppelmembranen für die Belange des Explosionsschutzes besteht.

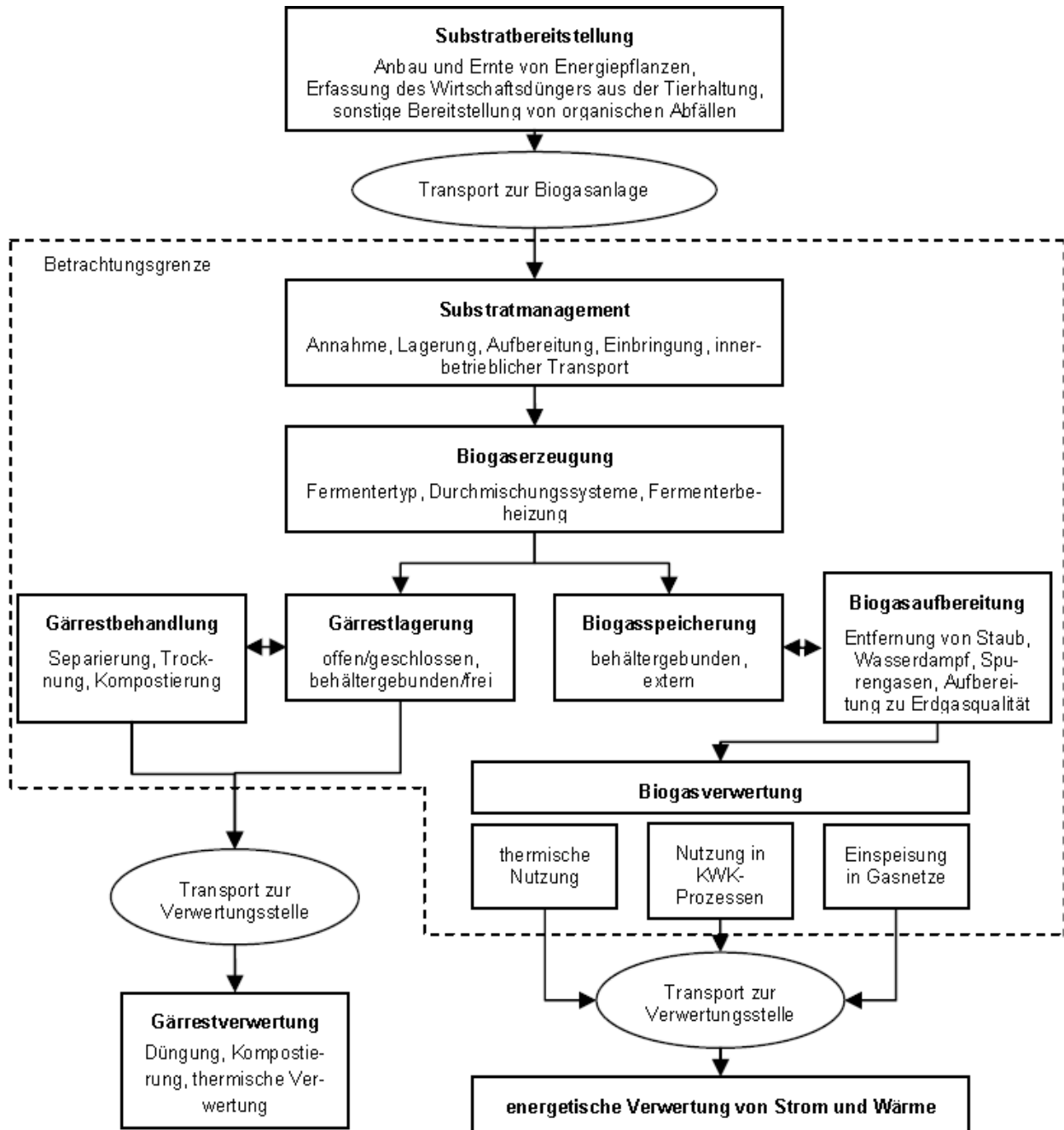


Abbildung 16: Prinzipiskezze für Biogasanlagen (vgl. Postel u. a. 2008)

6.4.2 Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen

Biogasanlagen müssen nach § 4 Abs. 2 GPSG als Gesamtanlagen sicher sein. Für Teile der Biogasanlage gelten weitere Beschaffenheitsanforderungen nach den Verordnungen des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes, insbesondere:

- 1. GPSGV Elektrische Betriebsmittel (Umsetzung der Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG)
- 11. GPSGV Explosionsschutz (Umsetzung der ATEX-Produktrichtlinie 94/9/EG)
- 9. GPSGV Maschinenverordnung (Umsetzung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG)

Ist neben der funktionalen und steuerungstechnischen auch eine sicherheitstechnische Verknüpfung der einzelnen Bestandteile der Anlage erforderlich, handelt es sich um eine „Gesamtheit von Maschinen“ (vgl. BMAS, 2006). Dann muss die Gesamtanlage den Beschaffenheitsanforderungen nach Maschinenverordnung genügen und die entsprechenden Herstellerpflichten sind zu erfüllen. Insbesondere ist dann ein Konformitätsbewertungsverfahren für die Gesamtanlage erforderlich. Eine Schwierigkeit bei der Konzeption von Biogasanlagen besteht darin, dass es kaum handelsfertige Produkte und Komponenten speziell für Biogasanlagen gibt. Planer greifen daher auf verfügbare Komponenten zurück und müssen deren Eignung selbst prüfen. Biogasanlagen werden ausschließlich von Fachplanern geplant und konzipiert, ohne dass spezielle Qualifikationsanforderungen an solche Fachplaner vorgeschrieben sind.

Eine umweltrechtliche Genehmigung für Bau und Betrieb von Biogasanlagen ist nach der 4. BImSchV bei Erreichen festgelegter Schwellenwerte (z. B. bei einer Feuerungswärmeleistung ab 1 MW) erforderlich. Der Genehmigungsbescheid kann die Auflage einer sicherheitstechnischen Prüfung durch Gutachter gemäß § 29a BImSchV enthalten. Anlagen, die die Schwellenwerte nicht erreichen, bedürfen in der Regel einer Genehmigung nach dem Baurecht (ggf. mit baurechtlichen Prüfungen z. B. zu Festigkeit, Brandschutz, Feuerung). Das umweltrechtliche Genehmigungsverfahren ist teilweise länderspezifisch geregelt und enthält in der Regel umfangreiche Anforderungen, die auch die Anlagensicherheit betreffen (vgl. z. B. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Mecklenburg-Vorpommern, 2009). So dürfen z. B. Biogasanlagen nur von sachkundigen Personen betrieben werden. Die Schulung ist der immissionsschutzrechtlichen Überwachungsbehörde nachzuweisen. Für jede Biogasanlage ist ein Betriebshandbuch zu erstellen, das u. a. die einschlägigen Technischen Regeln und Unfallverhütungsvorschriften, Richtlinien und Merkblätter der zuständigen Berufsgenossenschaft berücksichtigt. Das Genehmigungsverfahren umfasst auch Prüfungen:

- Grundsätzlich ist vor Inbetriebsetzung oder Funktionsprüfung sicherheitsrelevanter Betriebseinheiten oder Anlagenteile eine auf diese und davon beeinflusste Betriebseinheiten bezogene sicherheitstechnische Abnahme durch einen anerkannten Sachverständigen nach § 29a BImSchV erforderlich. Die Inbetriebnahmeanzeige und die behördliche Abnahme der Anlage hat vor Aufnahme des Probetriebes und auch nach jeder wesentlichen Änderung gemäß § 16 BImSchV zu erfolgen. Sie beinhaltet auch eine Prüfung der Sicherheitsfunktionen. Unter anderem ist die vom Betreiber vorzulegende Risikoabschätzung bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Abschätzung der Auswirkungen für Brand- und Explosionsszenarien, toxische und sonstige Risiken vom Sachverständigen auf Plausibilität zu prüfen.
- Vor Inbetriebnahme der Anlage hat eine Kalibrierung der Gaswarngeräte und eine Dichtigkeitsprüfung der gasführenden Anlagenteile zu erfolgen.

- Die sicherheitstechnische Überprüfung einschließlich der Prüfung der Sicherheitsfunktionen ist wiederkehrend alle drei Jahre durchzuführen. Bei Vorlage eines mit der Überwachungsbehörde abgestimmten Überwachungskonzeptes durch den Anlagenbetreiber (Eigenüberwachung), verbunden mit dem Nachweis mindestens jährlicher Schulungen der Mitarbeiter, kann die Überwachungsbehörde die Frist für die sicherheitstechnische Überprüfung auf höchstens fünf Jahre verlängern.
- Gashaltende Folien sind nach bestimmten Regeln durch den Hersteller, eine zugelassene Prüfstelle oder einen qualifizierten Sachverständigen zu prüfen. Dabei sind weitere Prüffristen sowie die Restlebenszeit zu bescheinigen. Die Prüfungen können bei sensorischer Überwachung der Dichtigkeit und ggf. bei Einsatz eines Gaswarngeräts entfallen.
- Darüber hinaus werden in Abstimmung mit einem Sachverständigen nach § 29a BImSchV tägliche, wöchentliche, monatliche, halbjährliche, jährliche, zwei- und fünfjährige Prüfungen festgelegt.

Vor der erstmaligen Nutzung muss gemäß Anhang 4, Nr. 3.8 BetrSichV durch eine befähigte Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz eine umfassende Überprüfung („*the overhole safety of the plant*“, EU-Richtlinie 1999/92/EG, Anhang 2, Nr. 2.8) der Explosionssicherheit der Arbeitsplätze einschließlich der vorgesehenen Arbeitsmittel und der Arbeitsumgebung sowie der Maßnahmen zum Schutz von Dritten erfolgen.

Der Betreiber muss vor Arbeitsaufnahme im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung bzw. sicherheitstechnischen Bewertung das Explosionsschutzdokument erstellen (§ 6 BetrSichV), die notwendigen Prüfungen festlegen und deren Durchführung sicherstellen (TRBS 1201). Hierzu gehören auch die Prüfungen gemäß § 10 Abs. 2 und 3 BetrSichV durch eine befähigte Person (intern, extern, Wartungsvertrag) in festzulegenden Fristen und bei besonderen Einflüssen.

Biogasanlagen sind als solche nicht als Ü-Anlagen gemäß GPSG eingestuft. In ihnen sind aber Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV vorhanden, die als solche zu den Ü-Anlagen zählen. Entsprechende Prüfungen sind nur für diese Explosionsschutzbauteile und -geräte³² (potenzielle Zündquellen mit entsprechenden Steuerungen) vorgeschrieben (vgl. auch TRBS 1201, Teil 1):

- Vor Inbetriebnahme³³ ist gemäß § 14 Abs. 1 und 3 BetrSichV eine Prüfung durch eine befähigte Person erforderlich. Diese umfasst eine Ordnungsprüfung (z. B. der Bauartzulassungen, bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise) und eine technische Prüfung (z. B. ordnungsgemäßer Zustand hinsichtlich Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen, sicherer Funktion nach dem Stand der Technik) (vgl. TRBS 1201, Teil 1).

³² Bauteil, von dem der Explosionsschutz abhängt und welches zu einem der Richtlinie 94/9/EG unterliegenden Gerät, Schutzsystem oder einer Sicherheits-, Kontroll- bzw. Regelvorrichtung gehört.

³³ Es besteht Unsicherheit, wann die Inbetriebnahme von Biogasanlagen beginnt: bei der Befüllung oder erst bei der Gasproduktion. Eine Inbetriebnahme gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG ist die erstmalige Nutzung einer Maschine oder Anlage durch den Betreiber. Nach BetrSichV beginnen die Pflichten des Betreibers mit der Inbetriebnahme.

- Nach einer Instandsetzung eines Geräts gemäß § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV muss vor der Wiederinbetriebnahme eine Prüfung mit Bescheinigung der Erfüllung der Anforderungen nach BetrSichV und Prüfzeichen durch eine zugelassene Überwachungsstelle, durch eine von der zuständigen Behörde anerkannte befähigte Person oder den Hersteller des Geräts erfolgen (§ 14 Abs. 6 BetrSichV).
- Nach einer Änderung, die den Betrieb oder die Bauart eines Geräts gemäß § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV betrifft, ist gemäß § 14 Abs. 2 und 3 BetrSichV vor der Wiederinbetriebnahme eine Prüfung der geänderten Teile auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs unter Berücksichtigung möglicher Auswirkungen der Änderung auf die Sicherheit der Gesamtanlage durch eine befähigte Person erforderlich (vgl. auch die Beispiele in TRBS 1122 „Änderungen und wesentliche Veränderungen von Anlagen nach § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 4 BetrSichV – Ermittlung der Prüf- und Erlaubnispflicht“).
- Spätestens alle drei Jahre müssen wiederkehrende Prüfungen nach § 15 Abs. 15 BetrSichV durch eine befähigte Person (vgl. Satz 4 mit Bezug auf § 14 Abs. 3) erfolgen. Die Prüfung umfasst eine technische Prüfung, eine Ordnungsprüfung sowie die Überprüfung der Prüffristen.

6.4.3 Erkenntnisse über Mängel und Unfälle

Die Ausschüsse Ereignisauswertung und Erfahrungsberichte der Kommission für Anlagensicherheit stellen in ihrem Merkblättern „Sicherheit in Biogasanlagen“ (Kommission für Anlagensicherheit 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2010) Havarien und Unfälle zusammen und analysieren deren Ursachen. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um z. T. grobe Verstöße geltender Vorschriften und Regeln bei der Konzeption, Errichtung / Montage oder Betrieb.

Zudem werten sie die Mängelfeststellungen von Sachverständigen nach § 29a BImSchV aus. Sie kommen zu dem Schluss, dass bei 80 % der geprüften Biogasanlagen bedeutsame Mängel festgestellt werden. Die häufigsten Schwachpunkte liegen im Bereich des Explosionsschutzes, in der Auslegung von Komponenten und bei der Gestaltung von Flucht- und Rettungswegen. Der überwiegende Teil der Mängelfeststellung ist der mangelhaften Konzeption und Errichtung der Anlage zuzurechnen (z. B. bei der Einhausung von Schaugläsern, sodass bei Undichtigkeit explosionsfähige Atmosphären entstehen können).

Bezüglich Prüfungen wird festgestellt, dass teilweise Prüfungen der Anlage in explosionsgefährdeten Bereichen und von Geräten vor Inbetriebnahme nach BetrSichV nicht erfolgt sind. Wenn diese Prüfpflichten nicht explizit im Genehmigungsbescheid gefordert sind, waren diese Prüfpflichten häufig nicht bekannt (vgl. Kommission für Anlagensicherheit 2009a).

Bei Biogasanlagen in Kläranlagen konnte das Unfallgeschehen durch Erhöhung des Qualitätsstandards der Anlagen und der Qualifikation der Betreiber stark verringert werden. Eine systematische Erfassung des Unfallgeschehens bei Biogasanlagen ist über die angegebenen Aktivitäten hinaus nicht verfügbar.

6.4.4 Risikobeurteilung

6.4.4.1 Auswahl eines Systemszenarios (Schritt 3)

Derzeit sind in Biogasanlagen nur für Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen besondere Expertenprüfungen gefordert. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Biogasanlagen in der Landwirtschaft und der Ereignis- und Mängelanalyse ist zu überprüfen, ob diese Prüfpflichten ausreichend sind. Es wird daher als Systemszenario für die Anwendung der Methodik die kleinere „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“ ausgewählt.

6.4.4.2 Ereignisse und Verlaufsszenarien (Schritt 4)

Tabelle 31 gibt die wesentlichen Ereignisse für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“ mit den zugehörigen Verlaufsszenarien wieder. Ereignisse, die durch nicht sachgerechte Betriebsweise, betriebsbedingte Wechselwirkungen von Einsatzstoffen in Biogasanlagen oder bei der Instandhaltung von Biogasanlagen auftreten können, sind nicht berücksichtigt. Die genannten Ereignisse sind im Wesentlichen auf Undichtigkeiten und damit verbundenen Gasaustritt zurückzuführen.

Tabelle 31: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Ereignis	Verlaufsszenario
1 Brand infolge Gasaustritt	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt; Zündquelle ³⁴ ; verbrennen; ersticken, vergiftet werden
2 Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt in einem Raum: explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle; Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen
3 Explosion infolge Einströmen von Luft	Undichtigkeit (Doppelmembranbehälter); Einströmen von Luft; explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle (elektrisches Gerät im Behälter); Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen
4 Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Ansammlung giftiger (besonders Schwefelwasserstoff) oder Sauerstoff verdrängender Gase in Räumen; Betreten des Raumes; Ersticken bzw. Vergiften

Die Einschätzung, ob die kritische Schadensschwelle erreicht wird und gleichzeitig besondere Expertenprüfungen das Risiko beeinflussen können, ergibt, dass drei Szenarien mit relevanten Ereignissen bestehen (vgl. Tabelle 32): „Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum“ (2), „Ex-

³⁴ Zündquellen bei Biogasanlagen können vor allem sein: Elektrisch erzeugte Funken durch Schaltvorgänge, Wackelkontakt, Ausgleichströme; mechanisch erzeugte Funken durch Reiben, Schlagen, Schleifen; elektrostatische Entladungen; Blitzschlag; heiße Oberflächen > 500 °C (Turbolader); offenes Feuer, Glut; exotherme Reaktion bei Selbstentzündung von Stäuben (vgl. Bundesverband der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften, 2008). Ausführliche Angaben zu Zündquellen sind in der DIN EN 1127-1 und der BGR 104 angegeben.

plosion infolge Einströmen von Luft“ (3) und „Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase“ (4). Beim Brandszenario (1) wird durch in der Regel günstige Entfernungsmöglichkeiten nicht mit tödlichen Folgen gerechnet. Entsprechende Unfälle sind auch nicht bekannt.

Tabelle 32: Auszug aus dem Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Ereignis	Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
1 Brand infolge Gasaustritt	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt; Zündquelle ; verbrennen; ersticken, vergiftet werden	Tod nicht zu erwarten	ja: Dichtigkeitsprüfungen
2 Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt in einem Raum: explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle ; Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen	Tod möglich	ja: Dichtigkeitsprüfungen
3 Explosion infolge Einströmen von Luft	Undichtigkeit (Doppelmembranbehälter); Einströmen von Luft; explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle (elektrisches Gerät im Behälter); Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen	Tod möglich	ja: Dichtigkeitsprüfungen
4 Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Ansammlung giftiger (besonders Schwefelwasserstoff) oder Sauerstoff verdrängender Gase in Räumen; Betreten des Raumes; Ersticken bzw. Vergiften	Tod möglich	ja, teilweise: Dichtigkeitsprüfungen

6.4.4.3 *Einschätzung und Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit (Schritt 5) und Ermittlung möglicher Boni (Schritt 6)*

Die Überprüfung der beiden Kriterien für relevante Ereignisse (vgl. Abschnitt 5.1.1.3) ergibt, dass für drei Ereignisse nun die Eintrittswahrscheinlichkeit einzuschätzen und zu bewerten ist.

Tabelle 33 stellt das Ergebnis der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum“ dar. Der Schwellenwert 5 wird erreicht. Besondere Expertenprüfungen sind demnach nicht notwendig. Zur Verbesserung der Anlagensicherheit

(Boni) können aber z. B. ortsfeste Gaswarneinrichtungen³⁵ in den gefährdeten Räumen eingesetzt und der Betreiber zum sachgerechten Handeln bei Gaswarnung qualifiziert werden. Ggf. sind auch weitergehende Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen möglich.

Tabelle 33: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum“; Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Verlaufsszenario		<i>Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt: explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle; Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen tödlich getroffen</i>					
EWS ohne Boni		5	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	7
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>Mit explosionsfähigen Atmosphären ist gelegentlich zu rechnen; Zündquellen können selten auftreten</i>	C1	<i>Weitergehende Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen</i>		6
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Mittlere Ermüdung und Verschleiß von Dichtungen und Folien</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr nicht zuverlässig und eher zufällig erkennbar; nur mit spezifischer Qualifikation zu beseitigen</i>	C4	<i>Einsatz von Gaswarngeräten in allen betroffenen Räumen; verpflichtende Qualifizierung zum sachgerechten Handeln bei Gaswarnung</i>		1
Exposition	E5	1	<i>Expositionszeit ist deutlich eingeschränkt; tödliche Folgen sind eher wenig wahrscheinlich</i>	C5			1
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6			0

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Explosion infolge Einströmen von Luft“ erreicht entsprechend Tabelle 34 den Kennwert 9 und damit den Schwellenwert 5. Besondere Expertenprüfungen sind demnach nicht notwendig. Aufgrund des großen Abstands zum Schwellenwert wird auf Boni verzichtet.

³⁵ Einrichtung, die aus einem Gaswarngerät, der zugehörigen Energieversorgung, einem Probenahmesystem und nachgeschalteten sicherheitstechnischen Betriebsmitteln bestehen kann.

Tabelle 34: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Explosion infolge Einströmen von Luft“ ;Systemscenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Verlaufsszenario		<i>Undichtigkeit (Doppelmembranbehälter); Einströmen von Luft; explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle (elektrisches Gerät im Behälter); Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen tödlich getroffen</i>					
EWS ohne Boni		9	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	9
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	7	<i>Mit explosionsfähigen Atmosphären ist gelegentlich zu rechnen; Zündquellen können sehr selten auftreten</i>	C1			7
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Mittlere Ermüdung und Verschleiß von Dichtungen und Folien</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr kaum erkennbar und nur mit spezifischer Qualifikation zu beseitigen</i>	C4			0
Exposition	E5	3	<i>Expositionszeit ist deutlich eingeschränkt; tödliche Folgen sind wenig wahrscheinlich</i>	C5			3
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6			0

Die Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das Ereignis „Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase“ ergibt, dass der Schwellenwert nicht erreicht wird und daher besondere Expertenprüfungen als notwendig anzusehen sind. Das Risiko sollte durch Maßnahmen, die eine Ansammlung von Gasen vermeiden (konstruktive Vermeidung von geschlossenen Räumen bzw. deren Belüftung) sowie den Einsatz von Gaswarneinrichtungen in den betroffenen Räumen verbunden mit entsprechender Qualifizierung des Betreibers vermindert werden (vgl. Tabelle 35). Dies kann verbindlich oder optional als Boni geschehen.

Tabelle 35: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für das Ereignis „Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase“ für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Verlaufsszenario		<i>Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Ansammlung giftiger (besonders Schwefelwasserstoff) oder Sauerstoff verdrängender Gase in Räume; Betreten des Raumes; Erstickten bzw. Vergiften</i>					
EWS ohne Boni		3	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	6
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	4	<i>je nach Konstruktion mittlere Komplexität; Sicherheitsniveau eher gering</i>	C1	<i>konstruktive Vermeidung, dass sich Gas ansammeln kann, z. B. durch Vermeidung von Räumen und deren Belüftung</i>		5
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>mittlere Ermüdung und Verschleiß von Dichtungen und Folien</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr nur teilweise am Geruch erkennbar; dann aber leicht ausweichbar (verlassen des Raums)</i>	C4	<i>Einsatz von Gaswarngeräten in allen betroffenen Räumen; verpflichtende Qualifizierung zum sachgerechten Handeln bei Gaswarnung</i>		2
Exposition	E5	0	<i>Expositionszeit wird als nicht eingeschränkt eingestuft (betreten des Raums); tödliche Folgen wahrscheinlich</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6			0

Tabelle 36 stellt das Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“ dar. Danach besteht wegen des Ereignisses „Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase“ die Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen. Allerdings können Boni zur Erhöhung der Anlagensicherheit beitragen, sodass besondere Expertenprüfungen entfallen oder Fristen verlängert werden können.

Tabelle 36: Gesamtergebnis der Risikobeurteilung für das Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“

Systemszenario: Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen
1	Brand infolge Gasaustritt	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt; Zündquelle ; verbrennen; ersticken, vergiftet werden	Tod nicht zu erwarten	ja: Dichtigkeitsprüfungen	-	keine Unfälle bekannt
2	Explosion infolge Gasaustritt in einem Raum	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Gasaustritt in einem Raum: explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle ; Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen	Tod möglich	ja: Dichtigkeitsprüfungen	5	keine Todesfälle bekannt
3	Explosion infolge Einströmen von Luft	Undichtigkeit (Doppelmembranbehälter); Einströmen von Luft; explosionsfähige Atmosphäre; Zündquelle (elektrisches Gerät im Behälter); Explosion; Beschäftigte werden von Druckwelle und wegfliegenden Teilen getroffen	Tod möglich	ja: Dichtigkeitsprüfungen	9	keine Todesfälle bekannt
4	Gasaustritt: Ansammlung giftiger oder Sauerstoff verdrängender Gase	Undichtigkeit (Rohre, Armaturen, Behälter); Ansammlung giftiger (besonders Schwefelwasserstoff) oder Sauerstoff verdrängender Gase in Räumen; Betreten des Raumes; Ersticken bzw. Vergiften	Tod möglich	ja, teilweise: Dichtigkeitsprüfungen	3	einzelne Todesfälle bekannt; Boni möglich

6.4.4.4 Übertragung auf andere Systemszenarien (Schritt 7)

Es ist davon auszugehen, dass von Biogasanlagen, die in der kommunalen Abfall- und Abwasserbehandlung sowie in der Industrie eingesetzt werden, geringere Risiken ausgehen. Zum einen hat sich in diesen Einsatzbereichen ein hoher Qualitätsstandard auf dem Stand der Technik entwickelt. Dieser betrifft sowohl die Anlagentechnik als auch die Qualifikation der Betreiber.

6.4.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Anwendung der Methodik lässt erkennen, dass von Biogasanlagen insbesondere in der Landwirtschaft teilweise hohe Risiken für die Beschäftigten und Betreiber ausgehen. Das ist vor allem dem Umstand geschuldet, dass von dem in großer Menge erzeugten Biogas vor allem Explosions- und Vergiftungsgefahren ausgehen.

Die Erprobung erfolgte beispielhaft mit dem Systemszenario „Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW elektrische Leistung“ als dem soweit erkennbar kritischen Systemszenario. Sie ist durch weitere Untersuchungen sowie Erörterung im Ausschuss für Betriebssicherheit zu überprüfen. Vorbehaltlich dieser Einschränkungen wird aufgrund der Erprobungsergebnisse empfohlen:

- Biogasanlagen sollten bezüglich bestimmter Aspekte (vor allem bzgl. des Austretens toxischer und explosionsfähiger Atmosphären bildender Gase) besondere Prüfungen durch unabhängige Experten unterzogen werden. Da Biogasanlagen nicht zum Katalog überwachungsbedürftiger Anlagen gemäß GPSG gehören, müssen diese Prüfungen nicht zwangsläufig durch zugelassene Überwachungsstellen (Prüfstufe 3), sondern können auch durch entsprechend Sachverständige erfolgen (Prüfstufe 2). Anforderungen an solche Prüfungen und Prüfer können im technischen Regelwerk konkretisiert werden.
- Die meisten bisher aufgetretenen Havarien und Unfälle sind auf konzeptionelle Defizite, nicht sachgerechten Betrieb aufgrund unzureichender Qualifikation der Betreiber sowie Defizite bei Instandhaltungsarbeiten zurückzuführen. Folgende Vorschläge können zur Verbesserung der Anlagensicherheit beitragen und in Abstimmung mit den umweltrechtlichen Bestimmungen umgesetzt werden:
 - Die in Anhang 4 Nr. 3.8 BetrSichV für Arbeitsplätze in explosionsfähigen Bereichen vor der erstmaligen Nutzung geforderte umfassende Überprüfung durch eine befähigte Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz sollte für Biogasanlagen auf die sicherheitstechnische Beurteilung der Konzeption der Gesamtanlage durch unabhängige Experten vor der Vergabe von Aufträgen (auch bei wesentlichen Änderungen) erweitert werden (im Sinne der EU-Richtlinie 99/92/EG, Anhang 2, Nr. 2.8: „*the overhaul safety of the plant*“). Sie sollte nicht nur den Explosionsschutz, sondern auch weitere spezifische Gefährdungen von Biogasanlagen umfassen (z. B. auch die auftretenden Gefahrstoffe entsprechend der Gefahrstoffverordnung). Sinnvoll erscheint es, die Prüfinhalte der fast ausschließlich per Auflage im Genehmigungsbescheid durch die Umweltfachbehörde geforderten sicherheitstechnischen Prüfung durch Gutachter nach § 29a BImSchV so zu definieren, dass die Inhalte der Prüfung des Anhangs 4 Teil A Punkt 3.8 mit erfasst und ggf. mit bescheinigt werden können (TRBS 1201/1 Nr. 5).
 - Die fachgerechte Umsetzung der Konzeption sollte in einer Abnahmeprüfung vor der Inbetriebnahme der Biogasanlage überprüft werden. Dies sollte in enger Abstimmung mit der Abnahmeprüfung durch einen anerkannten Sachverständigen nach § 29 a BImSchV erfolgen.

- Für Änderungs- und Instandsetzungsarbeiten sollte ähnlich wie beim Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan bzw. der Unterlage für spätere Arbeiten an der baulichen Anlage gemäß Baustellenverordnung ein Konzept gefordert werden, aus dem ersichtlich ist, wie die Anlagensicherheit während solcher Arbeiten gewährleistet werden soll.
- Die Qualifikationsanforderungen an den Betreiber bzgl. der Risiken der Beschäftigten und der Anlagensicherheit sollten konkreter definiert und Regelungen für die Schulung, Auffrischung und Prüfung festgelegt werden.
- Die umweltrechtlichen Regelungen sehen bereits Boni für Prüfungen vor, z. B. Wegfall regelmäßiger Prüfungen gashaltender Folien bei sensorischer Überwachung der Dichtigkeit oder Verlängerung der maximalen Fristen von 3 auf 5 Jahre für wiederkehrende sicherheitstechnische Überprüfungen einschließlich der Prüfung der Sicherheitsfunktionen, wenn mit der Überwachungsbehörde ein Überwachungskonzept durch den Anlagenbetreiber (Eigenüberwachung mit dem Nachweis mindestens jährlicher Schulungen der Mitarbeiter) abgestimmt wurde.
- Weitere Boni zur Anlagensicherheit können sich an den Standards aus kommunaler Abfall- und Abwasserbehandlung sowie in der Industrie orientieren und sollten sich unter anderem beziehen auf die konstruktive Vermeidung, dass sich Gas ansammeln kann, z. B. durch Vermeidung von geschlossenen Räumen bzw. deren Zwangsbelüftung sowie den Einsatz von Gaswarngeräten in allen betroffenen Räumen mit verpflichtender Qualifizierung zum Umgang mit Gaswarngeräten und zum sicherheitsgerechten Handeln bei Gaswarnung. Bei Nachweis solcher konzeptionellen Maßnahmen kann ggf. auf besondere Prüfungen über die umweltrechtlichen Regelungen hinaus verzichtet werden.

6.5 Druckbehälter

6.5.1 Anlagenspektrum (Schritt 2)

Unter dem Sammelbegriff „Druckbehälter“ sind Behälter, Leitungssysteme, Geräte und Anlagen zusammengefasst, die Fluide in verschiedenen Aggregatzuständen und Eigenschaften bei einem Überdruck von mehr als 0,5 bar lagern oder verarbeiten. Abbildung 17 gibt einen Überblick zum Anlagenspektrum.

Druckbereich	relativer innerer Überdruck von mehr als 0,5 bar							
Fluide	Gase	Dämpfe	Flüssigkeiten	deren Gemische (ggf. mit Feststoffanteilen)				
Fluidgruppe	Gruppe 1: Gefährliche Fluide (explosionsgefährlich, hochentzündlich, leichtentzündlich, entzündlich, sehr giftig, giftig, brandfördernd)				Gruppe 2: Nicht-gefährliche Fluide: nicht zu Gruppe 1 gehörende Fluide			
Funktion	Dampfkesselanlagen (Wasserdampf; Heißwasser)		Druckbehälteranlagen (außer Dampfkessel)		Füllanlagen	Rohrleitungen unter innerem Überdruck für gefährliche Fluide ³⁶		
Ort	Fester Aufstellungsort (oberirdisch)			unterirdisch		ortsbeweglich		
Druckbehälterarten nach Einsatzgebieten (Beispiele)	Flüssig- gas- lager- behälter	Druck- luft- behälter	Silos mit Druck- luft- beauf- schlagung	Druckspei- cherbehälter (Hydraulikspei- cher, Memb- ranausdeh- nungsbehälter, Windkessel)	Abschei- der, Samm- ler, Filter (Was- serab- scheider)	Wärme- übertrager (Konden- satoren, Verflüssi- ger)	Verfahren- technische Behälter und Apparate (Rührwerks- behälter, Kolonnen)	Feuer- löscher

Abbildung 17: Morphologischer Kasten zur Strukturierung des Anlagenspektrums „Druckbehälter“

Bei Druckbehältern wird insbesondere unterschieden zwischen einfachen Druckbehältern und Druckgeräten:

- Einfache Druckbehälter gemäß EU-Richtlinie 2009/105/EG sind serienmäßig hergestellte geschweißte, zylindrische Behälter aus unlegiertem Qualitätsstahl bzw. unlegiertem oder nicht aushärtbarem Aluminium zur Aufnahme von Luft oder Stickstoff bei maximal 30 bar Betriebsdruck im Temperaturbereich von -50°C bis 300°C (Stahl) bzw. 100°C (Aluminium). Sie dürfen keinen Flammen ausgesetzt sein. Das maximale Druckinhaltsprodukt ($PS \cdot V$) darf höchstens 10.000 bar*Liter betragen.
- Druckgeräte gemäß EU-Richtlinie 97/23/EG sind unbefeuerte Druckbehälter, Dampfkessel, Rohrleitungen, druckhaltende Ausrüstungsteile und Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion. Nicht in den Anwendungsbereich der Richtlinie fallen u. a. Druckgeräte, die aus einer flexiblen Umhüllung bestehen (z. B. Luftreifen, Luftkissen, Spielbälle, aufblasbare Boote), Flaschen und Dosen für Kohlensäurehaltige Getränke oder Heizkörper und Rohrleitungen in Warmwasserheizsystemen.

Druckgeräten sind entsprechend dem von ihnen ausgehenden Gesundheitsrisiko fünf Kategorien zugeordnet. Die Zuordnung richtet sich nach der Kompressibilität, Fluidgruppe und dem Druckinhaltsprodukt bzw. bei Rohrleitungen der Nennweite oder dem Nennweite-Druck-Produkt, für die das Druckgerät konzipiert ist. Von Druckgeräten der Kategorie 0 gehen geringe Risiken, von solchen der Kategorie IV die höchsten Risiken aus.

³⁶ Entzündliche, leichtentzündliche, hochentzündliche, ätzende, giftige oder sehr giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten.

6.5.2 Derzeit gültige Vorschriften und Regeln zu Prüfungen

Die Beschaffenheitsanforderungen an Druckbehälter ist EU-weit in mehreren Richtlinien geregelt und in nationales Recht umgesetzt worden, u. a.:

- Druckgeräteverordnung (14. GPSGV; Umsetzung der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG)
- Verordnung über das Inverkehrbringen von einfachen Druckbehältern (6. GPSGV; Umsetzung der Richtlinie 2009/105/EG)
- Verordnung über ortsbewegliche Druckgeräte (OrtsDruckV; Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/36/EG)

Einfache Druckbehälter ab einem Druckinhaltsprodukt von 50 bar x Liter müssen vor der Herstellung einer Angemessenheits- oder Baumusterprüfung durch eine benannte Stelle und vor dem Inverkehrbringen zusätzlich einer Bauartprüfung oder EG-Prüfung durch eine benannte Stelle unterzogen werden.

Druckgeräte, die in die Kategorien I bis IV fallen, müssen die Anforderungen des Anhangs I der Druckgeräterichtlinie erfüllen. Im Rahmen der internen Abnahme ist durch Sichtprüfung und Kontrolle der Unterlagen die Erfüllung der Anforderungen der Richtlinie zu überprüfen, eine Druckprüfung sowie eine Prüfung der Sicherheitseinrichtungen vorzunehmen. Bei der Konformitätsbewertung ist ab Kategorie II eine benannte Stelle einbezogen.

Der Betrieb von Druckbehältern, die Arbeitsmittel sind, unterliegt den Prüfvorschriften nach Abschnitt 2 BetrSichV. Nach § 3 Abs. 4 hat der Arbeitgeber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung insbesondere Art, Umfang und Fristen erforderlicher Prüfungen sowie die erforderliche Qualifikation des Prüfers zu ermitteln.

Druckbehälter, deren Sicherheit von den Montagebedingungen abhängig ist, sind nach der Montage und vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort einer Prüfung auf ordnungsgemäße Montage und sichere Funktion durch hierzu befähigte Personen zu unterziehen (§ 10 Abs. 1 BetrSichV).

Druckbehälter, die Schäden verursachenden Einflüssen unterliegen, die zu gefährlichen Situationen führen können, sind in den bei der Gefährdungsbeurteilung festzulegenden Fristen einer Überprüfung auf Schäden und Gewährleistung des sicheren Betriebs durch hierzu befähigte Personen zu unterziehen und erforderlichenfalls zu erproben (§ 10 Abs. 1 BetrSichV).

Ein Teil der Druckbehälter sind überwachungsbedürftige Anlagen gemäß BetrSichV, und zwar Dampfkesselanlagen, Druckbehälteranlagen, Füllstellen und Leitungen unter innerem Überdruck für entzündliche, leichtentzündliche, hochentzündliche, ätzende, giftige oder sehr giftige Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten, soweit sie unter die Kategorien I bis IV fallen oder bestimmte innerbetrieblich eingesetzte ortsbewegliche Druckgeräte oder einfache Druckbehälter mit einem Druckinhaltsprodukt von mehr als 50 bar x Liter sind. Hieraus ergeben sich folgende Prüfpflichten:

- Montage, Installation, Betrieb, wesentliche sicherheitsrelevante Veränderungen von bestimmten Dampfkesseln der Kategorie IV oder bestimmte Füllanlagen bedürfen gemäß § 13 BetrSichV der Erlaubnis der zuständigen Behörde. Dem schriftlichen Antrag sind alle für die Beurteilung notwendigen Unterlagen einschließlich eines Gutachtens über die Erfüllung der Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung einer zugelassenen Überwachungsstelle beizufügen.
- Vor der erstmaligen Inbetriebnahme und vor der Wiederinbetriebnahme nach Änderungen – soweit diese den Betrieb oder die Bauart beeinflussen – muss gemäß § 14 BetrSichV eine Prüfung durch eine zugelassene Stelle oder bei bestimmten Druckbehältern durch eine befähigte Person erfolgen. Die Prüfung vor der erstmaligen Inbetriebnahme umfasst eine Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich Montage, Installation, Aufstellbedingungen und die sichere Funktion unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise. Nach einer Änderung ist der ordnungsgemäße Zustand zu prüfen. Für bestimmte Druckbehälter, die an wechselnden Aufstellungsorten verwendet werden, ist eine Prüfung nach einem Wechsel des Aufstellungsorts nicht erforderlich.
- Wiederkehrende Prüfungen sind bei bestimmten Druckbehältern, die unter § 15 Abs. 5 BetrSichV fallen, als äußere und ggf. innere Prüfung sowie Festigkeitsprüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle vorgeschrieben. Die Prüffristen hat der Betreiber auf der Grundlage einer sicherheitstechnischen Bewertung unter Berücksichtigung der maximalen Fristen gemäß § 15 Abs. 5 bis 9 BetrSichV festzulegen, der zuständigen Behörde innerhalb von sechs Monaten nach Inbetriebnahme der Anlage unter Beifügung anlagenspezifischer Daten mitzuteilen und durch die zugelassene Überwachungsstelle überprüfen zu lassen.
- Rohrleitungen können gemäß § 15 Abs. 11 BetrSichV abweichend von einer befähigten Person geprüft werden, wenn der Betreiber ein von einer zugelassenen Überwachungsstelle auf Erfüllung der Betriebssicherheitsverordnung geprüftes Prüfprogramm schriftlich festlegt und sich eine zugelassene Überwachungsstelle durch stichprobenweise Überprüfungen von der Einhaltung der schriftlichen Festlegung überzeugt.
- Bei Druckbehältern, die nicht unter § 15 Abs. 5 BetrSichV fallen, können die wiederkehrenden Prüfungen durch eine befähigte Person vorgenommen werden. Die Prüffristen für äußere Prüfung, innere Prüfung und Festigkeitsprüfung sind aufgrund der Herstellerinformationen sowie der Erfahrung mit Betriebsweise und Beschickungsgut festzulegen.

Prüfungen von Druckbehälteranlagen können sehr aufwendig sein, wenn z. B. die Anlage für die Durchführung der Prüfung heruntergefahren werden muss. Mit § 15 BetrSichV besteht die Möglichkeit, mithilfe eines Gutachtens einer zugelassenen Stelle im Einzelfall Verlängerungen der maximalen Prüffristen bei der zuständigen Behörde zu erreichen, um die Prüfungen mit anderen Instandhaltungsmaßnahmen oder produktionsbedingten Maßnahmen zu koppeln (z. B. mit Produktwechseln oder Austausch von Verschleißteilen, Filtern). Die Technischen Regeln für Betriebssicherheit enthalten weitergehende Möglichkeiten zur Flexibilisierung, ohne dass die Betriebssicherheitsverordnung hierzu bereits eine klare rechtliche Grundlage liefert.

6.5.3 Erkenntnisse über Mängel und Unfälle

Die zugelassenen Überwachungsstellen registrieren und klassifizieren bei ihren Prüfungen von Druckbehältern festgestellte Mängel nach den Kriterien geringfügig, erheblich, gefährlich. Der Arbeitskreis 1 des Erfahrungsaustauschkreises der zugelassenen Überwachungsstellen (AK ZÜS 1) für den Tätigkeitsbereich Druckgeräte und einfache Druckbehälter fasst diese Mängel zusammen. Öffentlich zugängliche Mängelstatistiken, aus denen differenziert hervorgeht, welche konkreten Mängel bezogen auf die Zahl der untersuchten Druckbehälter auftreten, stehen derzeit aber nicht zur Verfügung.

Eine systematische Erfassung und Auswertung von Unfällen in Zusammenhang mit Druckbehältern liegt derzeit nicht vor.

6.5.4 Risikobeurteilung

Es ist in Fachkreisen unumstritten, dass von Druckbehältern so hohe Risiken ausgehen, dass besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind. Druckbehälter gehören von daher zurecht zum Ü-Anlagen-Katalog des GPSG.

Auf Vorschlag des Beraterkreises zu diesem Forschungsvorhaben und mit Zustimmung des Auftraggebers wird deshalb auf eine Erprobung der Methodik mit Unterstützung von Experten verzichtet.

Dennoch sollen im Folgenden grundlegende Überlegungen für optionale präventive Maßnahmen angestellt werden, die zu Erleichterungen bei Prüfanforderungen rechtfertigen (Boni).

6.5.4.1 Mögliche Ereignisse und Verlaufsszenarien bei Druckbehältern

Abbildung 18 gibt in einem morphologischen Kasten das Spektrum möglicher Verlaufsszenarien mit potenziell tödlichen Folgen bei Druckbehältern wieder.

Auslösender Faktor	Exotherme Reaktion	Mischen von Fluiden zu explosionsfähiger Atmosphäre	Ermüdung	Korrosion (innen / außen)	Herstellungs- oder Reparaturfehler (mangelh. Ausführung von Schweißverbindungen)	Fehler in der Druckregelung u. Nichtansprechen von Sicherheits- oder Überdruckventilen	Term. Einfluss (unzulässige Erwärmung durch Feuer/ Brand Schaden reduziert die Festigkeit des Werkstoffs des Behälters)	Äußerer Überdruck, falls dieser Betriebsfall in der Auslegung nicht berücksichtigt wurde (Implosion)	Tieftemperaturversprödung bei unzulässig tiefen Temperaturen
Technisches Versagen	Bersten des Behälters		Aufreißen drucktragender Verbindungen			Undichtigkeit	Explosion		
Energiefreisetzung	Druckwelle	wegfliegende Teile (Trümmer, Armaturen)	Wegfliegen des Behälters	Flüssigkeits- / Dampfstrahl	Austreten heißer, kalter, ätzender, giftiger, sauerstoffverdrängender, ... Fluide			Dampfschläge	Brand
Einwirkung auf den Menschen	getroffen werden		Verbrennen		Schädigung entsprechend Fluideigenschaften (z. B. Vergiften, Ersticken, Verätzen)				

Abbildung 18: Morphologischer Kasten für Ereignisse mit potenziell tödlichen Folgen bei Druckbehältern

6.5.4.2 Ansätze für Boni

Das mit Druckbehältern verbundene Risiko ist insbesondere abhängig von:

- der Kompressibilität des Fluids,
- Volumen des Behälters und dem Druck, unter dem das Fluid im Behälter gelagert wird (Druck-Volumen-Produkt),
- Chemische Eigenschaften des Fluids (giftig, brennbar, ...).

Ein grundlegender Ansatz für optionale Maßnahmen, die zur Risikominderung unter das Grenzniveau führen können, besteht darin, ein oder mehrere dieser Risikofaktoren zu reduzieren. Stellt der Betreiber sicher, dass ein Druckbehälter gegenüber der konstruktiven Auslegung

- ausschließlich mit einem nicht kompressiblen Fluid betrieben wird,
- ausschließlich mit einem nicht-gefährlichen Fluid der Gruppe 2 befüllt wird,
- mit einer begrenzten Fluidmenge befüllt wird,
- einen reduzierten Innendruck nicht überschreitet,
- mit einer begrenzten Anzahl von Lastwechseln beaufschlagt wird,

wird das Risiko ggf. soweit reduziert, dass bestimmte Prüfungen nicht mehr im allgemein vorgeschriebenen Maße notwendig sind.

Mögliche Prüfungserleichterungen können sein:

- Verlängerung von Prüffristen,
- Reduzierung von Prüfstufen von Stufe 3 auf Stufe 2 oder Stufe 1,
- Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Festigkeitsprüfung statt innere Prüfungen; äußere Prüfung)

Weitere Maßnahmen können z. B. sein:

- sensorische Überwachung (z. B. auf Dichtheit, Einhaltung eines vorgegebenen Maximaldrucks),
- weitere Ansätze zur Erhöhung der Verschleiß- und Ermüdungsfestigkeit (z. B. durch Korrosionsschutz)

6.5.5 Zusammenfassende Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Von Druckbehältern gehen so hohe Risiken aus, dass besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind. Druckbehälter gehören von daher zurecht zum Ü-Anlagen-Katalog des GPSG. Diese Feststellung gründet sich auf die allgemeine Auffassung der Experten, nicht auf die konkrete Anwendung der entwickelten Methodik.

Es ist davon auszugehen, dass sich die entwickelte Methodik auch zur Anwendung auf Druckbehälter eignet. Hinweise auf andersartige Probleme als bei den vier zuvor beschriebenen Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen sind nicht erkennbar.

Es gibt zahlreiche Ansatzpunkte für mögliche Boni, die sich insbesondere auf die zuverlässige Begrenzung und sensorische Überwachung spezifischer Betriebsparameter beziehen und ggf. Prüffristverlängerungen, die Reduzierung auf Prüfstufe 2 oder 1 oder die Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Festigkeitsprüfung statt innere Prüfungen; äußere Prüfung) erlauben.

7 Erkenntnisse aus der Erprobung der Methodik

Die Erprobung der Methodik an den fünf ausgewählten Arbeitsmittel- und Anlagentypen erbrachte zusammenfassend folgende Erkenntnisse.

Die entwickelte Methodik ist für die gewünschte Fragestellung effizient und problemadäquat anzuwenden.

Die Erprobung der Methodik diente der Bewertung der Merkmale, der Kriterien und des Vorgehens hinsichtlich ihrer effizienten und problemadäquaten Anwendbarkeit.

- Die Methodik erlaubt mithilfe des morphologischen Kastens eine sinnvolle Strukturierung des Spektrums eines Arbeitsmittel- oder Anlagentyps nach den für die weitere Anwendung relevanten Kriterien (insbesondere der Einsatzbereiche und -bedingungen).
- Eine an der konkreten Fragestellung ausgerichtete Auswahl und Beschreibung realtypischer Systemszenarien ist durch Angabe der Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart mit ausgewählten Einsatzgebieten auf einfache Weise möglich. Mit diesen beiden Merkmalen sind in der Regel weitere Merkmale wie z. B. Witterungseinflüsse oder Bedienerqualifikation ausreichend gekoppelt. Die Methodik liefert Antworten sowohl auf die Fragestellung, ob für einen Arbeitsmittel- oder Anlagentyp besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind, als auch auf die Fragestellung, ob und unter welchen Voraussetzungen auf solche Prüfungen verzichtet werden kann bzw. Anforderungen an diese reduziert werden können.
- Mit der Methodik ist es auf einfache Weise möglich, wenige relevante Ereignisse herauszufiltern und als Verlaufsszenarien zu beschreiben. Die Verlaufsszenarien unterstützen die nachfolgende Risikobeurteilung, da sie die relevanten Gefährdungen und gefahrbringenden Bedingungen explizit enthalten.
- Die Methodik ermöglicht eine nachvollziehbare Risikobeurteilung. Die ausgewählten Kriterien für die Risikobeurteilung haben sich als relevant erwiesen. Weitere Kriterien waren bei den erprobten Arbeitsmitteltypen bezüglich der Risikobeurteilung nicht relevant.
- Die Methodik unterstützt die systematische und zielgerichtete Suche möglicher Boni, der Ableitung von Anforderungen entsprechender Maßnahmen sowie der mit diesen gekoppelten Prüfungserleichterungen.

Die Methodik ist insgesamt geeignet, die Notwendigkeit besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten festzustellen und entsprechend Prüfungsanforderungen abzuleiten.

Die Methodik erweist sich in der Anwendung als robust und zuverlässig; die erzielten Ergebnisse sind plausibel, reliabel und valide.

Die Erprobung der Methodik diente auch der Überprüfung der Plausibilität, Reliabilität und Validität der erzielten Ergebnisse.

- Die beteiligten Experten bescheinigten der Methodik – soweit sie zum Zeitpunkt der jeweiligen Expertengespräche entwickelt war und angewendet werden konnte – plausible Ergebnisse sowohl bezüglich der Strukturierung und Eingrenzung der Szenarien als auch bezüglich der Risikobeurteilung. Soweit Daten über Mängel oder Unfälle verfügbar waren, bestätigen diese die Plausibilität der Ergebnisse der Methodik.
- Die Expertengespräche wurden sowohl als Einzelgespräche als auch als Gruppengespräche geführt. Die Einzelgespräche zeigten, dass unterschiedliche Experten bei Abweichungen im Detail dennoch zu den gleichen Ergebnissen kommen. Bei den Gruppengesprächen konnte meist eine sachorientierte Konsensfindung beobachtet werden, die durch gegenseitige Ergänzung der Expertise gekennzeichnet war. Die Methodik hat sich daher als recht robust gezeigt. Die Reliabilität der Ergebnisse wurde in der Erprobung bestätigt.
- Bezüglich der Feststellung der Notwendigkeit besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten zeigen die Ergebnisse der Methodik eine gute Trennschärfe. Das betrifft insbesondere die Risikobeurteilung orientiert an den vorgeschlagenen Schwellen für das Grenzurisiko. Die Erprobung bestätigt damit die Validität der Methodik.
- Die Methodik ist ausgerichtet auf den Schutz Beschäftigter, kann aber ohne Anpassungsbedarf auch auf den Schutz Dritter angewendet werden.

Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse der Anwendung der Methodik ist von der verfügbaren Datenbasis und dem Expertenwissen zu Mängeln und Risiken der betrachteten Systemszenarien abhängig.

- Eine grundlegende Schwierigkeit bleibt die teilweise wenig belastbare Datenbasis insbesondere bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit von sicherheitsrelevanten Bauteilen. Das erfordert prospektive Experteneinschätzungen für die Kriterien der Eintrittswahrscheinlichkeit, die – wie bei allen Risikoabschätzungen – eine gewisse Unsicherheit beinhalten. Das wurde von einigen Experten als spekulativ bezeichnet. Die Erprobung zeigte aber, dass auch bei mangelhafter Datenbasis plausible Ergebnisse erzielt werden. Je schlechter die verfügbare Datenbasis ist, desto mehr ist die Methodik auf die Erfahrungen und Erkenntnisse der Experten angewiesen und desto eher ist anzuraten, mehrere Experten in die Risikobeurteilung einzubeziehen.

- Liegen differenzierte Unfall- bzw. Mängelstatistiken (z. B. von Sachverständigen oder Prüfstellen) vor, können diese zur Ermittlung der relevanten Ereignisse, zur Beschreibung der Verlaufsszenarien sowie zur Risikobeurteilung herangezogen werden. Die Methodik ist auf solche Daten nicht zwingend angewiesen. Sie können aber die Anwendung unterstützen und die Unsicherheit begrenzen. Insbesondere bei Unfalldaten ist jedoch zu beachten, dass diese Unfälle mit und trotz ggf. durchgeführter Prüfungen eingetreten sind.
- Gezielte Auswertungen von Mängel- und Unfalldaten im Hinblick auf die Ergebnisse der Anwendung der Methodik (insbesondere der als relevant ausgewählten Ereignisse und der Risikobeurteilung) können die Unsicherheit der Ergebnisse verringern bzw. ggf. zur Präzisierung der Ergebnisse beitragen.

Für die Anwendung der Methodik sind spezifische Kenntnisse erforderlich. Der entwickelte Leitfaden unterstützt die Anwendung.

- Die Erprobung hat verdeutlicht, dass für die Anwendung der Methodik ein Grundverständnis für den Risikobegriff einschließlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Grundkenntnisse der Risikobeurteilung erforderlich ist.
- Für die Anwendung der Methodik müssen das Vorgehen sowie insbesondere die Kriterien der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Umgang mit den Hilfsmitteln zu deren Einstufung bekannt sein. Es muss ein Verständnis für die Abgrenzung der Kriterien der Eintrittswahrscheinlichkeit vorhanden sein. Zur Unterstützung steht ein Leitfaden zur Verfügung (vgl. Abschnitt 5.4). Ggf. ist es erforderlich, dass die Experten von einem Moderator begleitet werden, der über vertiefte Kenntnisse und Erfahrung bei der Anwendung der Methodik verfügt.
- Die Methodik stützt sich auf Experten der jeweils ausgewählten Arbeitsmittel- und Anlagentypen. Bei der Anwendung ist zu empfehlen, mehrere Experten einzubeziehen, die über unterschiedliche Perspektiven und unterschiedliches Expertenwissen verfügen (z. B. konstruktive und sicherheitstechnische Merkmale, Einsatzbedingungen in der Praxis, Erfahrungen aus der Prüfungstätigkeit, Kenntnisse über mögliche technische Mängel aus Untersuchungen sowie Mängel- und Unfallstatistiken).

Die Methodik liefert eine übersichtliche Ergebnisdarstellung, die geeignet ist, den Ausschuss für Betriebssicherheit bzw. entsprechende Arbeitsgruppen zur konstruktiven Konsensbildung und fachgerechten Festlegung von Prüfungsanforderungen effektiv zu unterstützen.

- Die Methodik unterstützt die Vorauswahl von Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen, für die grundlegend geklärt werden soll, ob besondere Prüfungen durch unabhängige Experten notwendig sind.
- Die Methodik erlaubt mithilfe des morphologischen Kastens eine übersichtliche Strukturierung des Spektrums eines Arbeitsmittel- oder Anlagentyps nach den für die weitere Anwendung relevanten Kriterien (insbesondere der Einsatzbereiche und -bedingungen).
- Die Erprobung der Methodik zeigt, dass mithilfe der entwickelten Formulare „Risikobeurteilung“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ eine transparent nachvollziehbare Übersicht zum komplexen Sachverhalt erzielt wird. Das Formular „Risikobeurteilung“ stellt die relevanten Ereignisse und Verlaufsszenarien einschließlich der Begründung der Relevanz sowie die Ergebnisse der Risikobeurteilung dar. Das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ gibt die Einstufung der Kriterien mit der Begründung für die Einstufung sowie mögliche Boni und die Einschätzung deren Wirkung auf die Eintrittswahrscheinlichkeit wieder.

Die Methodik schafft durch die übersichtliche und transparente Ergebnisdarstellung günstige Bedingungen für die Akzeptanz der Ergebnisse und die sachorientierte Konsensbildung im Ausschuss für Betriebssicherheit.

Die Erprobung liefert Ergebnisse bezüglich der Notwendigkeit besonderer Expertenprüfungen und bezüglich möglicher Boni.

Die Methodik ist für fünf Arbeitsmittel- und Anlagentypen mit unterschiedlichen Fragestellungen erprobt worden:

- Bei den zum Ü-Anlagen-Katalog nach dem GPSG gehörenden Anlagentypen „Aufzüge“ und „Tankstellen“ sollte durch die Anwendung der Methodik geklärt werden, ob und in wie weit besondere Expertenprüfungen nach den derzeitigen Vorschriften noch notwendig sind.
- Für Krane und Biogasanlagen, die nicht im Ü-Anlagen-Katalog nach GPSG verzeichnet sind, war zu klären, ob nicht auch hier Regelungsbedarf bezüglich besonderer Expertenprüfungen in der Betriebssicherheitsverordnung besteht.
- Bei den Druckbehältern als unumstrittene Ü-Anlagen nach GPSG ging es um die Fragestellung, ob und unter welchen Bedingungen Boni, also Erleichterungen bei besonderen Expertenprüfungen unter vorgegebenen Bedingungen, möglich sind. (In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgte hier keine Anwendung der Methodik für ein konkretes Systemszenario mit Expertenunterstützung.).

Die Ergebnisse der Anwendung der Methodik sind in Kapitel 6 detailliert dargestellt. Zusammenfassend hat die Erprobung folgende Ergebnisse ergeben (vgl. auch Tabelle 37):

- Für Aufzüge sind aufgrund der festgestellten Risiken besondere Prüfungen durch unabhängige Experten grundsätzlich notwendig. Die Ergebnisse der Erprobung bestätigen damit die Einstufung von Aufzügen als Ü-Anlagen nach GPSG. Für einzelne Systemszenarien wie z. B. Aufzüge in Büro- und Wohngebäuden kann das Risiko durch konstruktive Verbesserung der Türsensoren und Einführung eines zertifizierten Systems vorbeugender Instandhaltung das Risiko soweit reduziert werden, dass Erleichterungen bei den besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten möglich sind. Als Erleichterungen kann eine Reduzierung der Prüfstufe auf Stufe 2 in Erwägung gezogen werden. Sinnvoll ist auch die Verlängerung der Prüffristen von zwei bzw. vier Jahre auf z. B. fünf bis zehn Jahre bzw. am Alter des Aufzugs orientierte abgestufte Fristen mit anfangs langen und später kürzeren Fristen. Eine Modifizierung der Prüfinhalte von einer technischen Prüfung zu einer Systemprüfung ist in Erwägung zu ziehen.
- Von Tankstellen für Benzin und Diesel gehen nach den Ergebnissen der Methodenanwendung so geringe Risiken aus, dass besondere Prüfungen durch unabhängige Experten nicht notwendig sind – obwohl sie im Ü-Anlagen-Katalog des GPSG aufgeführt sind. Es reicht aus, dass Tankstellen nach den Regeln des Explosionsschutzes geprüft werden.
- Von Kranen können so hohe Risiken ausgehen, dass grundsätzlich besondere Prüfungen durch unabhängige Experten (Prüfstufe 2) erforderlich sind. Für Kranarten und Einsatzbedingungen mit geringen Risiken ist eine Reduzierung auf Prüfstufe 1 möglich. Boni wie Einsatz zuverlässiger Überlastsicherungen, Nachweis eines geeigneten Systems vorbeugender Instandhaltung und eines Systems zur Sicherstellung der Qualifikation und Beauftragung von Kranführern können ggf. eine Verlängerung von Sachverständigenprüfungen (Prüfstufe 2) oder eine teilweise Reduzierung auf Prüfstufe 1 ermöglichen. Von besonderer Bedeutung ist insbesondere beim Einsatz von Kränen auf Baustellen die Einführung systematischer Systemkontrollen mit Stichprobenaudits durch Sachverständige.
- Für Biogasanlagen sind aufgrund hoher Risiken besondere Maßnahmen erforderlich. Sie sollten bezüglich bestimmter Aspekte (vor allem bzgl. des Austretens toxischer und explosionsfähiger Atmosphären bildender Gase) besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten (Prüfstufe 2) unterzogen werden. Da meisten bisher aufgetretenen Havarien und Unfälle auf konzeptionelle Defizite, nicht sachgerechten Betrieb aufgrund unzureichender Qualifikation der Betreiber sowie Defizite bei Instandhaltungsarbeiten zurückzuführen sind, sollten sich Boni auf diese Bereiche beziehen. Eine Abstimmung mit den umfangreichen, auch den Schutz Beschäftigter betreffenden umweltrechtlichen Regelungen, die teilweise bereits Boni vorsehen, ist anzuraten. Weitere Boni zur Anlagensicherheit können sich an den Standards aus kommunaler Abfall- und Abwasserbehandlung sowie in der Industrie orientieren. Bei Nachweis konstruktiver Maßnahmen, die unerwünschtes Ansammeln von Gas vermeidet, kann ggf. auf besondere Prüfungen über die umweltrechtlichen Regelungen hinaus verzichtet werden.

- Druckbehälter wurden nicht differenziert nach konkreten Systemszenarien untersucht. Es ist unstrittig, dass sie aufgrund ihres teilweise hohen Risikos grundsätzlich besonderer Expertenprüfungen auf Prüfstufe 3 bedürfen. Es bestehen zahlreiche Ansatzpunkte für mögliche Boni, die sich insbesondere auf die zuverlässige Begrenzung und sensorische Überwachung spezifischer Betriebsparameter beziehen und ggf. Prüffristverlängerungen, die Reduzierung auf Prüfstufe 2 oder 1 oder die Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Festigkeitsprüfung statt innere Prüfungen; äußere Prüfung) erlauben.

Tabelle 37: Zusammenfassende Ergebnisse der Erprobung

Typ	Grundsätzliche Notwendigkeit von Prüfungen durch unabhängige Experten	Boni (bezogen auf die untersuchten Systemszenarien)	
		Optionale Maßnahmen, die zur Risikominderung unter das Grenzkrisiko führen	Mögliche Prüferleichterungen bei Nachweis der optionalen Maßnahmen
Aufzüge	ja	<p>Aufzüge in Büro- und Wohngebäuden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • konstruktiv verbesserte (redundante) Türsensoren • technisch zuverlässiger gestaltete Antriebe, Bremsen und Antriebssteuerungen zur Nachregulierung • zuverlässige bzw. sensorisch überwachte Schließmechanismen • zertifiziertes System vorbeugender Instandhaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung auf Prüfstufe 2 • Verlängerung der Prüffristen von zwei auf fünf bis zehn Jahre bzw. am Alter des Aufzugs orientierte abgestufte Fristen mit anfangs langen und später kürzeren Fristen • Modifizierung der Prüfinhalte von einer technischen Prüfung zu einer Systemprüfung
Tankstellen	nein, die Prüfungen aufgrund des Explosionsschutzes reichen aus		
Krane	ja (Prüfstufe 2)	<p>Turmdrehkrane auf Baustellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz zusätzlicher bzw. zuverlässiger Sensoren zur Überlastsicherung • nachgewiesene Qualifikation des Kranführers auch bzgl. Erkennen von Beschädigung; Erkennen und Vermeidung von Gefahren • zertifiziertes System vorbeugender Instandhaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Teilweise Reduzierung auf Prüfstufe 1 • Verlängerung der maximalen Fristen für Sachverständigenprüfungen (Prüfstufe 2) • Teilweise Modifizierung der Prüfinhalte von einer technischen Prüfung zu einer Systemprüfung

Typ	Grundsätzliche Notwendigkeit von Prüfungen durch unabhängige Experten	Boni (bezogen auf die untersuchten Systemszenarien)	
		Optionale Maßnahmen, die zur Risikominderung unter das Grenzkrisiko führen	Mögliche Prüferleichterungen bei Nachweis der optionalen Maßnahmen
Biogasanlagen	ja (Prüfstufe 2)	<p>Biogasanlage in der Landwirtschaft bis 0,5 MW el.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Nachweis umfassender konzeptioneller Vermeidung, dass sich Gas ansammeln kann (Vermeidung geschlossener Räume bzw. deren Zwangsbelüftung sowie den Einsatz von Gaswarngeräten) Berücksichtigung der umweltrechtlichen Boni (sensorische Überwachung von Folien auf Dichtigkeit; abgestimmtes Überwachungskonzept mit Nachweis mind. jährl. Mitarbeiterschulung) Orientierung an Standards aus kommunaler Abfall- und Abwasserbehandlung sowie in der Industrie 	<ul style="list-style-type: none"> Wegfall regelmäßiger Prüfungen gashaltender Folien bei sensorischer Überwachung der Dichtigkeit Verlängerung wiederkehrender Dichtigkeitsprüfungen von drei auf fünf Jahre (bei Überwachungskonzept) ggf. Verzicht auf besondere Prüfungen durch unabhängige Experten über die umweltrechtlichen Regelungen hinaus
Druckbehälter	ja (Prüfstufe 3)	<ul style="list-style-type: none"> ausschließlich nicht kompressible Fluide ausschließlich nicht-gefährlichen Fluid der Gruppe 2 Befüllung mit begrenzter Fluidmenge Begrenzung auf reduzierten Innendruck begrenzte Lastwechsel sensorische Überwachung (z. B. auf Dichtheit, Einhaltung eines vorgegebenen Maximaldrucks) Erhöhung der Verschleiß- und Ermüdungsfestigkeit (z. B. durch Korrosionsschutz) 	<ul style="list-style-type: none"> Verlängerung von Prüfungen Reduzierung von Prüfungen von Stufe 3 auf Stufe 2 oder 1 Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Festigkeitsprüfung statt innere Prüfungen; äußere Prüfung)

Literaturverzeichnis

- Aich, U.; Damberg, W.; Preuße, Chr.: Die Betriebssicherheitsverordnung. Handlungsinstrument des Arbeitsschutzausschusses. Hrsg. in Zusammenarbeit mit dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). Wiesbaden: Universum, 2004. (PraxisReihe Arbeit – Gesundheit – Umwelt). – ISBN 3-89869-100-4
- Albrecht, P.-A.: Der Weg in die Sicherheitsgesellschaft. Berliner Wissenschaftsverlag: Berlin, 2010.
- Arnold, J.; Niehoff, A. (DNV): Vergleichendes Gutachten: Praxis bei der Ermittlung von Betrieben nach der Seveso-II-Richtlinie in Europa und entsprechenden Betrieben in Nordamerika vom 14. Oktober 2005; www.kas-bmu.de/publikationen/andere/DNV_14102005.pdf
- Ausschuss für Betriebssicherheit; Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe; Ausschuss für Gefahrstoffe (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Biostoffverordnung (BioStoffV) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Stand: April 2009
- Ausschuss für Gefahrstoffe: Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (Bekanntmachung 910) Ausgabe: Juni 2008 mit Änderungen und Ergänzungen GMBI 2010 Nr. 7-11 S. 224-225 (vom 22.02.2010)
- Barth, Chr.; Hamacher, W.; Wienhold, L.; Höhn, K.; Lehder, G.: Anwendung des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes. Leitfaden für Hersteller, Importeure, Händler und Dienstleister. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2008. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fachbuchreihe: Sicherheit – Gesundheit – Wettbewerbsfähigkeit). – ISBN 978-3-86509-739-2
- Beck, U.: Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. Suhrkamp: Frankfurt am Main, 1986
- Berufsgenossenschaftliche Grundsätze, Prüfbücher und Prüfbescheinigungen – BG-Grundsatz – BGG 921: Auswahl, Unterweisung und Befähigungsnachweis von Kranführern. Ausgabe Oktober 1996. Aktualisierte Fassung Oktober 2004
- Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – BGR 104: Explosionsschutz-Regeln – Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung. Ausgabe Januar 2007
- Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – BGR 500: Betreiben von Arbeitsmitteln – Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Stand: April 2008
- Beschluss Nr. 768/2008/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. Juli 2008 über einen gemeinsamen Rechtsrahmen für die Vermarktung von Produkten und zur Aufhebung des Beschlusses 93/465/EWG des Rates (ABl. L 218/82)
- BGG 905: Prüfung von Kranen. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Fachausschuss „Maschinenbau, Hebezeuge, Hütten- und Walzwerkanlagen“ der BGZ. Oktober 1996. Aktualisiert: August 2004
- Bock, F.-J.; Haferkamp, K.; Mistele, J.; Shahvardian, A.: ROGA –Eine neue Methode der risikoorientierten Gefahrenanalyse zur Erfüllung der Anforderungen der Störfall-Verordnung. Teil 1. In: TÜ Bd. 47 (2006) Nr. 10

- Bock, F.-J.; Haferkamp, K.; Mistele, J.; Shahvardian, A.: ROGA –Eine neue Methode der risikoorientierten Gefahrenanalyse zur Erfüllung der Anforderungen der Störfall-Verordnung. Teil 2. In: TÜ Bd. 47 (2006) Nr. 11/12
- Bridges, W.G.; Dowell III, A.M., Gollin, M.; Greenfield, W.A.; Poulsen, J.M.; Turetzky, W.: Layer of Projection Analysis: Simplified Prozess Risc Assessment, Center for Chemical Process Safety, AIChE, New York, N. Y. 2001
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL (Schweiz) (Hrsg.): Methodikbeispiel für eine Risikoermittlung einer Flüssiggas-Tankanlage – Störfallverordnung. Stand Mai 1996. Bern, 1996
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL (Schweiz) (Hrsg.): Richtlinien Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung – StFV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. Bern, 1996
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL (Schweiz) (Hrsg.): Richtlinien Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung – StFV. Richtlinien für Verkehrswege. Bern, 2001
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BAU): Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Gefährdungen und Risiken, In: Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz 2/94, Dortmund 1994
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin – Ausschuss für Gefahrstoffe: Bekanntmachung 910. Bekanntmachung zu Gefahrstoffen. Risikowerte und Exposition-Risiko-Beziehungen für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen. Ausgabe Juni 2008. Mit Änderungen und Ergänzungen GMBI. 2010, Nr. 7–11, S. 224–225 (v. 22.2.2010)
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Bearbeiter: Lafrenz, B., Gruppe „Anlagen und Verfahren, optische Strahlung“): Fünf Jahre Betriebssicherheitsverordnung – Stand der Umsetzung. Tagungsdokumentation: Workshop vom 20. November 2007 in Dortmund. Dortmund / Berlin / Dresden, 2008
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung. Handbuch für Arbeitsschutzfachleute. 1. Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH 2010. ISBN: 978-3-88261-677-4
- Bundesarbeitsgericht (BAG): Urteil vom 12.8.2008, 9 AZR 1117/06
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales – BMAS: Interpretationspapier des BMAS und der Länder zum Thema „Gesamtheit von Maschinen“ Bek. des BMAS vom 10. März 2006 – IIIb6-39607-3
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Störfallkommission (SFK): Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung – SFK-GS-41. Arbeitskreis Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse. Bonn, 2004
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA): Technische Grundlage für die Beurteilung von Biogasanlagen 2007
- Bundesverband der Landwirtschaftlichen Berufgenossenschaften: Sicherheitsregeln für Biogasanlagen. Technische Information 4. 2008
- Burger, A.; Buchhart, A.: Risiko-Controlling. Oldenbourg: München, 2001
- Bürger, D.: Mit dem Dampfkessel fing alles an. In: Die Geschichte der Technischen Überwachung in Norddeutschland. TÜV Nord Gruppe: Norderstedt, 2003, S. 12-16

- Bush, S.H.: Statistics of Pressure Vessel and Piping Failures. In: Journal of Pressure Vessel Technology. (1988) Vol. 110, S. 225–233
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen – SRU: Sondergutachten „Umwelt und Gesundheit – Risiken richtig einschätzen“. Verlag Metzler-Poeschel: Stuttgart, 1999
- DIN 15001, Teil 1: Krane; Begriffe, Einteilung nach der Bauart. Ausgabe: 1973-11 , Deutsch
- DIN 15001, Teil 2: Krane; Begriffe, Einteilung nach der Verwendung. Ausgabe: 1975-07, Deutsch
- DIN 1999-100: Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten – Teil 100: Anforderungen für die Anwendung von Abscheideranlagen nach DIN EN 858-1 und DIN EN 858-2. Ausgabe: 2003-10, Deutsch
- DIN 25419: Ereignisablaufanalyse; Verfahren, graphische Symbole und Auswertung. Ausgabe: 1985-11
- DIN 25424-1: Fehlerbaumanalyse; Methoden und Bildzeichen. Ausgabe: 1981-09
- DIN 25424-2: Fehlerbaumanalyse; Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaumes. Ausgabe: 1990-04
- DIN IEC 62502: Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit – Ereignisbaumanalyse. Norm-Entwurf Ausgabe: 2008-08
- DIN EN 1127-1: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik; Deutsche Fassung EN 1127-1:2007. Ausgabe: 2008-02, Deutsch
- DIN EN 13015: Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen. Ausgabe: 2008-12
- DIN EN 60812: Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen – Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (IEC 60812:2006); Deutsche Fassung EN 60812:2006
- DIN EN 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme; (davon gibt es sieben Teile!)
- DIN EN 61508-1; VDE 0803-1:2011-02: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010); Deutsche Fassung EN 61508-1:2010. Ausgabe: 2011-02
- DIN EN 81: Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen
- DIN EN ISO 13849-1: Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2008
- DIN EN ISO 14121-1: Sicherheit von Maschinen – Riskobeurteilung – Teil 1: Leitsätze. Dezember 2007
- Directive 2009/104/EC of the European Parliament and of the Council of 16 September 2009 concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work (second individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) (codified version) (Text with EEA relevance)
- Elfte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzverordnung) – 11. GPSGV. Ausfertigungsdatum: 12.12.1996. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 18 G v. 6.1.2004 | 2

- Erste Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über das Inverkehrbringen elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen) – 1. GPSGV. Ausfertigungsdatum: 11.06.1979. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 3 V v. 18.6.2008 I 1060
- EU-Kommission: Entscheidung der Kommission vom 16. Dezember 2009 zur Festlegung von Leitlinien für die Verwaltung des gemeinschaftlichen Systems zum raschen Informationsaustausch „RAPEX“ gemäß Artikel 12 und des Meldeverfahrens gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2001/95/EG über die allgemeine Produktsicherheit. Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2009) 9843: 2010
- Fährlich; R.; Mattes, H.: Die Betriebssicherheitsverordnung. Praxiskommentar mit Anwendungshilfen für den betrieblichen Alltag. Berlin: Erich Schmidt, 2006. – ISBN-13: 978 3 503 09382 3
- Fischer, Ch.: Rechtsvergleich zur Umsetzung von Artikel 4a der Richtlinie 89/655/EWG ins nationale Rechtssystem repräsentativ ausgewählter EU-Mitgliedstaaten. Gutachten 2010 im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales
- Gay B. et al.: Handbuch I zur Störfallverordnung (StFV). Vollzugshilfe für Betriebe mit Stoffen, Zubereitungen oder Sonderabfällen. Umwelt-Vollzug Nr. 0818. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2008
- Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA): Leitlinie Gefährdungsbeurteilung und Dokumentation. Stand: Juni 2008
- Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG). Ausfertigungsdatum: 07.08.1996 (BGBl. I S. 1246). Stand: Zuletzt geändert durch Art. 15 Abs. 89 G v. 5.2.2009 I 160
- Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG) vom 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2 (219)), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 33 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)
- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). Ausfertigungsdatum: 15.03.1974. Vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830). Stand: Neugefasst durch Bek. v. 26.9.2002 I 3830; Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 26.11.2010 I 1728
- GFI Umwelt – Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH; Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie: Nutzung probabilistischer Methoden in der europäischen Genehmigungspraxis und deren Nutzbarkeit im deutschen Störfallrecht, insbesondere aus Sicht der Umweltverbände. Workshop Risikomanagement 30. September und 1. Oktober 2005. Bonn
- Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 21.7.2010 I 944
- Günther, A.: Vernunft, Moral und Ökologie. Einführung in die Risikoforschung. In: Günther, A. et al. (Hrsg.): Sozialwissenschaftliche Ökologie. Eine Einführung. Springer: Berlin, 1998, S. 135-217
- Günther, P.: Auswertung von Unfallmeldungen an Aufzügen. Vortragspräsentation bei den Heilbronner Aufzugstagen 2009, 3. März 2009
- Hablawetz, D.; Matalla, N.; Adam, G.: IEC 61511 in der Praxis – Erfahrungen eines Anlagenbetreibers. Atp 10.2007. www.atp-online.de

- Hauptmanns, U.: Probabilistische Methoden in der Anlagensicherheit und ihr Anwendungspotenzial. In: Chemie Ingenieur Technik. (81) 2009, No. 1–2, S. 63–71
- Hauptmanns, U.; Marx, M.: Kriterien für die Beurteilung von Gefährdungen durch technische Anlagen. Berlin 2010. (Schriftenreihe des VdTÜV, Recht & Technik: Band 18)
- Hellwing, D.; Köhler, B.; Przygodda, J.: Klassifizierung des Gefährdungspotenzials von Anlagen / technischen Arbeitsmitteln. Landesamt für Verbraucherschutz, Fachbereich 5 – Arbeitsschutz. Rosslau, 2009 (nicht veröffentlicht)
- Hessisches Sozialministerium: ASCA-Erhebungsinstrumentarium. <http://projekte.sozialnetz.de/ca/ud/sgd/> Stand: Juli 2005
- Hillmann, K.-H.: Wörterbuch der Soziologie. Alfred Kröner: Stuttgart, 2007
- ISO/TR 14121-2: Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung – Teil 2: Praktische Anleitung und Verfahrensbeispiele. Ausgabe: 2007-12, Englisch
- Jochum, Ch.; Lange, D.: Grundlagen für die Neukonzeption einer technischen Regel „Sicherheitstechnik“ Forschung. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung: F 2100). Dortmund, Berlin, Dresden, 2006
- Kalberlah, F.; Bloser, M.; Wachholz, C.: Toleranz und Akzeptanzschwelle für Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung: F 2010). Dortmund, Berlin, Dresden, 2005
- Kommission für Anlagensicherheit – KAS – beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht des Ausschusses. Erfahrungsbericht: Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen nach § 29a BImSchG im Jahr 2008 und Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch. KAS 17, im Juli 2010 von der KAS verabschiedet
- Kommission für Anlagensicherheit – KAS – beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Abschlussbericht des Arbeitskreises Tanklager Bewertung des Tanklagerbrands von Buncefield/GB vom 11.12.2005 und daraus für deutsche Großtanklager für Ottokraftstoff abgeleitete Empfehlungen. Erarb. vom Arbeitskreis Tanklager – AK-TL. KAS 13, im November 2009 (b) von der KAS verabschiedet
- Kommission für Anlagensicherheit – KAS – beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht des Ausschusses. Erfahrungsbericht: Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen nach § 29a BImSchG im Jahr 2007 und Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch. KAS 11, im Juni 2009 (a) von der KAS verabschiedet
- Kommission für Anlagensicherheit – KAS – beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht des Ausschusses. Erfahrungsbericht: Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen nach § 29a BImSchG im Jahr 2006 und Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch. KAS 9, im Oktober 2008 von der KAS verabschiedet
- Kommission für Anlagensicherheit – KAS – beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht des Ausschusses. Erfahrungsbericht: Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen nach § 29a BImSchG in den Jahren 2004 / 2005 und Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch. KAS 3, im November 2007 von der KAS verabschiedet

- Kremer, A.: Urbane Umwelt und Gesundheit: Exposition und Risikowahrnehmung vulnerabler Bevölkerungsgruppen in Pondicherry, Indien. Dissertation: Bonn, 2004
- Kuhn, I.: Erarbeitung einer Vorgehensweise für die Risikobewertung eines chemischen Entwicklungsstandortes gemäß EU-Seveso II Störfallgesetzgebung. 1. Aufl. Berlin: Wissenschaft und Technik, 2001. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2000. – ISBN 3-89685-363-5
- Küpper, F.: Prüfung von Arbeitsmitteln – kein Buch mit sieben Siegeln! In: die BG. 121 (2009), Nr. 11, S. 520–527
- Lafrenz, B.: Schadensfälle in verfahrenstechnischen Anlagen – erhoben und ausgewertet nach Arbeitsschutzkriterien. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2004. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung: FB 1022).
- Laux, H.: Entscheidungstheorie. Springer: Berlin, Heidelberg, 2005
- Little, Arthur D.: Vergleich des Prüf- und Sachverständigenwesens in Großbritannien, Frankreich und Deutschland am Beispiel der Druckgeräte. Studie im Auftrag des RWTÜV 1992
- Locquenghien, D. v.; Ostermann, H.-J.; Klindt, T.: Betriebssicherheitsverordnung. Text, Einführung, Begründung. 1. Aufl. Köln: Bundesanzeiger, 2002. – ISBN 3-89817-270-8
- Luhmann, N.: Soziologie des Risikos. Berlin, New York: de Gruyter, 1991
- Mineralölwirtschaftsverband http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=58. Stand: 17.02.2011
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; Ministerie van Verkeer en Waterstraat: Methods for the calculation of Physical Effects. Due to releases of hazardous materials (liquids and gases). VROM: Publicatireeks Gevaarlijke Stoffen 2. Yellow Book, 2005
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; Ministerie van Verkeer en Waterstraat: Guidelines for quantitative risk assessment. VROM: Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3). Purple Book, 2005
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; Ministerie van Verkeer en Waterstraat: Methods for determining and processing probabilities. VROM: Publication Series on Dangerous Substances 4 (PGS 4). Red Book, 2005
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Mecklenburg-Vorpommern: Hinweise zur Genehmigung und Überwachung von Biogasanlagen in Mecklenburg-Vorpommern. Anforderungen zur Vermeidung und Verminderung von Gerüchen, Lärm und sonstigen Emissionen, Vorsorge vor sonstigen Gefahren, Zuständigkeiten. Erlass vom 30.09.2009, geändert am 31.10.2009
- Moch, E.; Stephan, T.; Hermann, B.: Entwicklung von Prüfinstrumentarien zur Durchführung von Systemprüfungen. Leitfaden zur Anwendung des Prüfinstrumentariums, 2004
- Mock, R.: Moderne Methoden der Risikobewertung komplexer Systeme. In: ISSN: 0251-3625, Jg.: 37, Nr.144, 2001, S. 39–44
- Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) – 9. GPSGV. Ausfertigungsdatum: 12.05.1993. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 18.6.2008 I 1060
- Popper, Karl R.: Lesebuch: ausgewählte Texte zu Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie. Hrsg. von David Miller. 2. Aufl., Tübingen 1997

- Postel, J.; Jung, U.; Fischer, E.; Scholwin, F.: Stand der Technik bei Bau und Betrieb von Biogasanlagen – Bestandsaufnahme 2008. Herausgeber: Umweltbundesamt. Nur zum Download unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3873.pdf
- Renn, O.; Klinke, A.: Risikoevaluierung von Katastrophen. Discussion Paper P 987 – 304. Berlin: Wissenschaftszentrum, 1998. URL: <http://bibliothek.wz-berlin.de/pdf/1998/p98-304.pdf>
- Richtlinie 1999/36/EG des Rates vom 29. April 1999 über ortsbewegliche Druckgeräte (Amtsblatt EG Nr. L 138/20 vom 01.06.1999)
- Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) – EU-Richtlinie 1999/92/EG. Amtsblatt Nr. L 023 vom 28/01/2000 S. 0057 - 0064
- Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) – EU-Maschinenrichtlinie
- Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (kodifizierte Fassung)
- Richtlinie 2009/104/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung von Arbeitsmitteln durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Zweite Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) – EU-Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie vom 16. September 2009 (ABl. L 260, S. 5) in Kraft getreten am 23. Oktober 2009
- Richtlinie 2009/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. September 2009 über einfache Druckbehälter
- Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ABl. L 100 vom 19.4.1994, S. 1). Geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003 L 284 1 31.10.2003. Berichtigt durch: Berichtigung, ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 44 (94/9/EG); Berichtigung, ABl. L 21 vom 26.1.2000, S. 42 (94/9/EG)
- Richtlinie 95/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 1995 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Aufzüge (ABl. L 213 vom 7.9.1995, S. 1). Geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003. L 284 1 31.10.2003
- Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte (ABl. L 181 vom 9.7.1997, S. 1) Geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003 L 284 1 31.10.2003. Berichtigt durch: Berichtigung, ABl. L 265 vom 27.9.1997, S. 110 (97/23/EG)
- Risikokommission: ad hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“. Abschlussbericht der Risikokommission. Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit. Salzgitter, 2003

- Scheer, D. u. a.: Kommunikation von Risiko und Gefährdungspotenzial aus Sicht verschiedener Stakeholder. Abschlussbericht. Ulbig, E.; Hertel, R.F.; Bül, G.-F. (Hrsg.). Bundesinstitut für Risikobewertung: Berlin, 2010
- Schütz, H. u. a.: Vergleichende Risikobewertung. Konzepte, Probleme und Anwendungsmöglichkeiten. Abschlussbericht. BfS-Projekt. Forschungszentrum Jülich: Jülich, 2004
- Sechste Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über das Inverkehrbringen von einfachen Druckbehältern) – 6. GPSGV. Ausfertigungsdatum: 25.06.1992. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 6 Abs. 3 V v. 6.3.2007 I 261
- SKS Ingenieure AG: Rahmenbericht über die Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen. Revidierte Ausgabe 1997. Schweizerische Erdgaswirtschaft – Arbeitsgruppe Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen. Zürich
- Spangenberg, H.: Risikoanalysen – Theorie und Praxis der qualitativen und quantitativen Risikoanalyse, erläutert an Beispielen aus der Praxis. Beitrag zum sicherheitswissenschaftlichen Kolloquium Sommersemester 2010 der Universität Wuppertal am 06. Juli 2010
- Störfall-Kommission beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Leitfaden Anlagensicherheit, SFK-SK-06. Verabschiedet auf der 16. Sitzung der Störfall-Kommission am 12. September 1995.
- Störfall-Kommission beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung, SFK-GS-41. Bericht des Arbeitskreises Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse. Am 21.04.2004 von der SFK zustimmend zur Kenntnis genommen.
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1111: Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung. (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 15. September 2006; BAnz. 232a vom 9. Dezember 2006, S. 7)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1112: Instandhaltung. Ausgabe: Oktober 2010, GMBI. Nr. 60 vom 14. Oktober 2010, S. 1219
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1122: Änderungen und wesentliche Veränderungen von Anlagen nach § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 4 BetrSichV – Ermittlung der Prüf- und Erlaubnispflicht. Ausgabe: Mai 2010
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1201: Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen. (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 15. September 2006; BAnz. 232a vom 9. Dezember 2006, S. 11; letzte Änderung: GMBI. Nr. 25 vom 25. Juni 2009, S. 527)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1201, Teil 1: Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen (Bekanntmachung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales vom 15. September 2006; BAnz. 232a vom 9. Dezember 2006, S. 20)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1201, Teil 2: Prüfungen bei Gefährdungen durch Dampf und Druck (GMBI. Nr. 50, vom 20.10.08, S. 1042)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1201, Teil 4: Prüfungen von überwachungsbedürftigen Anlagen – Prüfung von Aufzugsanlagen (GMBI. Nr. 77 vom 20. November 2009, S. 1598)

- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1201, Teil 5: Prüfung von Lageranlagen, Füllstellen, Tankstellen und Flugfeldbetankungsanlagen, soweit entzündliche, leichtentzündliche oder hochentzündliche Flüssigkeiten gelagert oder abgefüllt werden, hinsichtlich Gefährdungen durch Brand und Explosion. Ausgabe: März 2010 GMBI. Nr. 29 vom 12. Mai 2010, S. 620
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 1203: Befähigte Personen. (März 2010), GMBI. Nr. 29 vom 20. November 2009, S. 1602
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 2181: Schutz vor Gefährdungen beim Eingeschlossensein in Personenaufnahmemitteln. (März 2007), GMBI. Nr. 15 vom 23. März 2007, S. 330)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit – TRBS 3121: Betrieb von Aufzugsanlagen. Ausgabe: März 2010, GMBI. Nr. 29 vom 12. Mai 2010, S. 627
- Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten – TRbF 40: Tankstellen vom 1. Februar 2002 (BarbBl. 3/2002, S. 72), zuletzt geändert am 15. Mai 2002 (BarbBl. 6/2002, S. 69)
- Teil 1: Elektrisch betriebene Personen- und Lastenaufzüge; Deutsche Fassung EN 81-1:1998+A3:2009. Ausgabe: 2010-06 , Deutsch
- Teil 28: Fern-Notruf für Personen- und Lastenaufzüge; Deutsche Fassung EN 81-28:2003 Ausgabe: 2003-11 , Deutsch
- Ulbig, E.; Hertel, R.F.; Böll, G.-F. (Hrsg.): Evaluierung der Kommunikation über die Unterschiede zwischen „risk“ und „hazard“. Abschlussbericht. Bundesinstitut für Risikobewertung: Berlin, 2009
- Umweltbundesamt (Hrsg.): Zur Sicherheit bei Biogasanlagen. Informationspapier. Stand: 2006: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3097.pdf
- Unfallverhütungsvorschrift Krane – BGV D6 vom 1. Dezember 1974 in der Fassung vom 1. April 2001 mit Durchführungsanweisungen vom April 2001
- VDI 4006 Blatt 2: Menschliche Zuverlässigkeit – Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit. Technische Regel. Ausgabe: 2003-02, Deutsch
- VDI 4006 Blatt 3: Menschliche Zuverlässigkeit – Methoden zur Ereignisanalyse Technische Regel, Entwurf. Ausgabe : 2010-08, Deutsch
- VDI 4068: Befähigte Personen – Qualitätsmerkmale für die Auswahl befähigter Personen und Weiterbildungsmaßnahmen. Juli 2008
- Verband der TÜV e.V. (VdTÜV): Anlagensicherheitsreport 2010
- Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 2 der Verordnung vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643) geändert worden ist
- Verordnung über ortsbewegliche Druckgeräte (OrtsDruckV) vom 17. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3711). Stand: Zuletzt geändert durch Art. 3 V v. 3.8.2010 I 1139
- Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (Baustellenverordnung - BaustellV) vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), die durch Artikel 15 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758) geändert worden ist

- 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 (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 27. September 2002 (BGBl. I S. 3777), die zuletzt durch Artikel 8 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768) geändert worden ist (I 2768)
- Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen – 21. BImSchV – vom 7. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1730), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 6. Mai 2002 (BGBl. I S. 1566) geändert worden ist. Stand: Geändert durch Art. 1 V v. 6.5.2002 I 1566
- Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Art. 1 d. V zur Neufassung und Änderung von Verordnungen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4 – 4. BImSchV. Ausfertigungsdatum: 24.07.1985. Stand: Neugefasst durch Bek. v. 14.3.1997 I 504; zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 2 V v. 26.11.2010 I 1643
- Vierzehnte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung) – 14. GPSGV. Ausfertigungsdatum: 27.09.2002. Stand: Geändert durch Art. 21 G v. 6.1.2004 I 2
- Weber, M.: Wirtschaft und Gesellschaft. Zweitausendundeins: Frankfurt am Main, 2008 [1922]
- Wienold, H.: Realtypus, Artikel in: Lexikon zur Soziologie. Hrsg.: Von Fuchs-Heinritz, W.; Lautmann, R.; Rammstedt, O.; Wienold, H.; Westdeutscher Verlag: Opladen, 1994
- Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Franz Vahlen: München, 2002
- Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen) – 20. BImSchV – vom 27. Mai 1998 (BGBl. I S. 1174), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2009 (BGBl. I S. 1043) geändert worden ist. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 4.5.2009 I 1043
- Zwölfte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Aufzugsverordnung) (12. GPSGV) vom 17. Juni 1998 (BGBl. I S. 1393), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Juni 2008 (BGBl. I S. 1060) geändert worden ist.

Anhang: Vereinfachte Übersicht zu Prüfpflichten der Betriebssicherheitsverordnung (ohne spezielle Ausnahmen und Sonderregelungen)

Gegenstand	Auslöser / Fristen	Art der Prüfung	Prüfer	Rechtsquelle
Alle Arbeitsmittel	vor und während der Benutzung	Überprüfung auf offensichtliche Mängel	unterwiesene Personen, in der Regel der Benutzer (gemäß Festlegung des Arbeitgebers)	Anlage 2 Nr. 2.4 BetrSichV
Arbeitsmittel, deren Sicherheit von den Montagebedingungen abhängig sind	nach der Montage und vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort	Prüfung auf ordnungsgemäße Montage und sichere Funktion	hierzu befähigte Personen	§ 10 Abs. 1 BetrSichV
Arbeitsmittel, die Schäden verursachenden Einflüssen unterliegen, die zu gefährlichen Situationen führen können	Fristen gemäß Festlegung in der Gefährdungsbeurteilung	Überprüfung auf Schäden und Gewährleistung des sicheren Betriebs; erforderlichenfalls Erprobung	hierzu befähigte Personen	§ 10 Abs. 2 BetrSichV
Alle Arbeitsmittel	Unverzüglich nach außergewöhnlichen Ereignissen (insbesondere Unfälle, Veränderungen an Arbeitsmitteln, längere Zeiträume der Nichtbenutzung oder Naturereignisse), die schädigende Auswirkungen auf die Sicherheit haben können	außerordentliche Überprüfung auf Schäden und Gewährleistung des sicheren Betriebs	hierzu befähigte Personen	§ 10 Abs. 2 BetrSichV
Alle Arbeitsmittel	nach Änderungs- oder Instandsetzungsarbeiten, welche die Sicherheit der Arbeitsmittel beeinträchtigen können	Prüfung auf sicheren Betrieb	hierzu befähigte Personen	§ 10 Abs. 3 BetrSichV
Überwachungsbedürftige Anlage gem. § 1 Abs. 2 BetrSichV	vor erstmaliger Inbetriebnahme und nach einer wesentlichen Veränderung	Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen und der sicheren Funktion	zugelassene Überwachungsstelle (oder hierzu befähigte Personen)	§ 14 Abs. 1 BetrSichV

Gegenstand	Auslöser / Fristen	Art der Prüfung	Prüfer	Rechtsquelle
Überwachungsbedürftige Anlage gemäß § 1 Abs. 2 BetrSichV (außer Entleerstellen mit einer Umschlagkapazität von mehr als 1.000 l/h)	vor Wiederinbetriebnahme nach einer Änderung, soweit der Betrieb oder die Bauart der Anlage durch die Änderung beeinflusst wird	Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs	zugelassene Überwachungsstelle (oder hierzu befähigte Personen)	§ 14 Abs. 2 BetrSichV
Geräte, Schutzsysteme oder Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG	nach Instandsetzung eines Teils, von dem der Explosionsschutz abhängt und vor Wiederinbetriebnahme	Prüfung auf Einhaltung der Explosionsschutzanforderungen der BetrSichV (mit Bescheinigung und Prüfzeichen)	zugelassene Überwachungsstelle oder hierzu befähigte von der zuständigen Behörde anerkannte Personen oder Hersteller	§ 14 Abs. 6 BetrSichV
Überwachungsbedürftige Anlage gemäß § 1 Abs. 2 BetrSichV und ihre Anlagenteile	wiederkehrend in Fristen, die vom Arbeitgeber in der Gefährdungsbeurteilung bzw. vom Anlagenbetreiber in der sicherheitstechnischen Bewertung unter Einhaltung vorgegebener Höchstfristen festzulegen sind	Technische Prüfung anhand Prüfregele und Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich des Betriebs (bei best. Druckbehältern äußere, innere und Festigkeitsprüfungen); Überprüfung der Prüffristen	zugelassene Überwachungsstelle (oder hierzu befähigte Personen)	§ 15 Abs. 1 BetrSichV
In Anhang 5 BetrSichV genannte Druckgeräte	wie in §§ 14 und 15	Prüfungen wie §§ 14 und 15 unter Beachtung von Anhang 5	in der Regel zugelassene Überwachungsstelle (oder hierzu befähigte Personen)	§ 17 BetrSichV in Verbindung mit Anhang 5 der Verordnung
Überwachungsbedürftige Anlage gemäß § 1, Abs. 2 BetrSichV	Auf Anordnung der zuständigen Behörde im Einzelfall bei Verdacht auf sicherheitstechnische Mängel	außerordentliche Prüfung	in der Regel zugelassene Überwachungsstelle (oder hierzu befähigte Personen)	§§ 16 und 18 BetrSichV
Bestimmte überwachungsbedürftige Anlagen (bestimmte Dampfkessel-, Füll-, Lager-, Flugfeldbetankungsanlagen sowie Füll- und Tankstellen)	vor Montage, Installation, Betrieb, wesentliche Veränderungen und Änderungen der Bauart oder der Betriebsweise, welche die Sicherheit der Anlage beeinflussen	Erlaubnisvorbehalt; Gutachten: Prüfung, dass Aufstellung, Bauart und Betriebsweise der Anlage den Anforderungen der BetrSichV entsprechen	zuständige Behörde in Verbindung mit zugelassener Stelle	§ 13 BetrSichV

**Leitfaden
zur Anwendung der Methodik
zur Ermittlung des Bedarfs besonderer
Prüfungen von Arbeitsmitteln und Anlagen
durch unabhängige Experten**

April 2011



www.systemkonzept.de

Aachener Straße 68 50674 Köln

Tel: 02 21 / 56 908-0 Fax: 02 21 / 56 908-10

E-Mail: info@systemkonzept.de

Konzeption und Ausarbeitung:
Christof Barth

In Zusammenarbeit mit:
Werner Hamacher
Kevin Janssen
Sebastian Riebe

Forschungsvorhaben

Ermittlung von Kriterien und Erkenntnissen
zu Notwendigkeit, Art und Umfang
sicherheitstechnischer Prüfungen von Arbeitsmitteln
(einschließlich Anlagen)

Leitfaden
zur Anwendung der Methodik zur Ermittlung des Bedarfs
besonderer Prüfungen von Arbeitsmitteln und Anlagen
durch unabhängige Experten

April 2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Zielsetzung	6
2 Grundlagen	6
3 Vorgehensweise	8
4 Ableitung von Anforderungen	29
5 Formulare	31

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgeschlagener Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit	7
Abbildung 2:	Flussdiagramm zur Vorgehensweise bei der Anwendung der Methodik	8
Abbildung 3:	Morphologischer Kasten am Beispiel des Anlagenspektrums „Aufzug“	11
Abbildung 4:	Verschleiß- / Ermüdungskennlinien (Faktor E2)	19
Tabelle 1:	Ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	15
Tabelle 2:	Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen (Faktor E1)	17
Tabelle 3:	Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit nach Zone gemäß BetrSichV und Zündquellenkategorie nach TRBS 2152-3	18
Tabelle 4:	Menschliche Zuverlässigkeit gemäß VDI-Richtlinie 4006 Blatt 2 (E3)	21
Tabelle 5:	Wahrscheinlichkeit des Erkennens der Gefahr und der Vermeidung des Schadens (Faktor E4)	22
Tabelle 6:	Expositionsanteile (Faktor E5)	23
Tabelle 7:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für die Hauptgefährdung „Abscheren von Körperteilen“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	24
Tabelle 8:	Kennwerte für Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit (C6)	26
Tabelle 9:	Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für die Hauptgefährdung „Abscheren von Körperteilen“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“ Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 10:	Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“	27
Tabelle 11:	Konzept zur Prüfung von Arbeitsmitteln und Anlagen	29

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Ausschuss für Betriebssicherheit
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
C1	Credit und Kennwert für das Kriterium „Versagenswahrscheinlichkeit relevanter Bauteile oder Sicherheitseinrichtungen“ der EWS mit Credit
C2	Credit und Kennwert für das Kriterium „Verschleiß und Ermüdung“ der EWS mit Credit
C3	Credit und Kennwert für das Kriterium „Menschliche Zuverlässigkeit“ der EWS mit Credit
C4	Credit und Kennwert für das Kriterium „Gefahr erkennen und beseitigen bzw. vermeiden“ der EWS mit Credit
C5	Credit und Kennwert für das Kriterium „Exposition“ der EWS mit Credit
C6	Credit und Kennwert für das Kriterium „Aufrechterhaltung der Sicherheit“
E1	Kriterium „Versagenswahrscheinlichkeit relevanter Bauteile oder Sicherheitseinrichtungen“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E2	Kriterium „Verschleiß und Ermüdung“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E3	Kriterium „Menschliche Zuverlässigkeit“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E4	Kriterium „Gefahr erkennen und beseitigen bzw. vermeiden“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
E5	Kriterium „Exposition“ der EWS bzw. entsprechender Kennwert
EU	Europäische Union
EWS	Eintrittswahrscheinlichkeit
EWS _{grenz}	Schwellenwert der Eintrittswahrscheinlichkeit zum Grenzkrisiko (als Kennwert)
EWS _{grenz,P}	Schwellenwert der Eintrittswahrscheinlichkeit zum Grenzkrisiko (als statistischer Wahrscheinlichkeitswert)
GPSG	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
Ü-Anlagen	Überwachungsbedürftige Anlagen
ZÜS	Zugelassene Überwachungsstellen

1 Zielsetzung

Diese Methodik dient dazu, das von Arbeitsmitteln ausgehende Risiko für Beschäftigte zu ermitteln und übersichtlich darzustellen, um den Ausschuss für Betriebssicherheit dabei zu unterstützen,

- festzustellen, ob von einem Arbeitsmitteltyp unter typischen Einsatzbedingungen ein so hohes Risiko für Beschäftigte ausgeht, dass es nicht ausreicht, wenn der Arbeitgeber bzw. der Anlagenbetreiber auf Basis der Gefährdungsbeurteilung (in der Regel mit fachkundiger Beratung durch Arbeitsschutzexperten) die erforderlichen Maßnahmen einschließlich der Instandhaltung selbstständig festlegt und ergreift, sondern besondere Prüfungen durch unabhängige Experten erforderlich sind,
- festzulegen, welche besondere Prüfungen durch unabhängige Experten¹ bei welchen Anlässen bzw. mit welchen Prüffristen mit welchen Anforderungen erforderlich sind,
- präventive Maßnahmen zu bestimmen, die der Arbeitgeber bzw. der Anlagenbetreiber ergreifen kann, um bei deren Nachweis eine Verringerung der Anforderungen besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten (z. B. längere Prüffristen) erreichen zu können (sogenannte „Boni“).

Die Methodik ist ein Hilfsmittel für eine sachorientierte Entscheidungsfindung im Ausschuss für Betriebssicherheit. Sie konzentriert sich entsprechend der Projektvorgabe des Auftraggebers auf den Arbeitsschutz der Beschäftigten einschließlich mitarbeitender Versicherter (z. B. mitarbeitende Familienangehörige in der Landwirtschaft). Dritt- und Umweltschutz sind nicht berücksichtigt.

2 Grundlagen

Dieser Leitfaden beschreibt die handlungsorientierte Vorgehensweise zur Anwendung der Methodik. Zu den methodischen Grundlagen und zur Entwicklung der Methodik wird auf den Abschlussbericht zum zugehörigen Forschungsprojekt verwiesen.

Die Methodik verfolgt einen risikoorientierten Ansatz. Sie stellt sich damit der Tatsache, dass von jeder Technikanwendung Gefährdungen mit einem Gesundheitsrisiko ausgehen. Das Risiko für Leben und Gesundheit der Betroffenen ist dabei abhängig von der Technik selbst und von den Einsatzbedingungen.

¹ Die erforderlichen Prüfungen durch befähigte Personen aufgrund der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (in § 10 der derzeitigen Betriebssicherheitsverordnung umgesetzt) werden vorausgesetzt. Die Anforderungen an die Unabhängigkeit müssen definiert werden. Experten müssen über die für die besondere Prüfung der jeweiligen Arbeitsmittel unter den gegebenen Einsatzbedingungen erforderliche Fachkunde verfügen.

Risiko ist in diesem Leitfaden definiert als Kombination aus der möglichen Schadensschwere, die bei der Einwirkung der von einem Arbeitsmittel ausgehenden und wirksam werdenden Gefährdung eintreten kann, und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Schaden dieser Schwere eintritt.

- Die mögliche Schadensschwere ist insbesondere von der freiwerdenden Energie (z. B. Masse, Geschwindigkeit, Fallhöhe, Druck, Volumen, Fluide), aber auch von anderen Aspekten wie z. B. Stoffeigenschaften von Fluiden abhängig.
- Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird bestimmt durch Faktoren, die von der Zuverlässigkeit der Komponenten des Arbeitsmittels und den Einsatzbedingungen beeinflusst werden.

Bei der Risikobeurteilung erfolgt zunächst eine Risikoabschätzung der Komponenten „mögliche Schadensschwere“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ durch qualitative Experteneinschätzung mithilfe von Skalen und Kennzahlen.

Auf dieser Basis wird in der Risikobewertung festgestellt, ob ein festzulegender Schwellenwert unterschritten ist und deshalb die Notwendigkeit besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten angezeigt ist. In diesem Leitfaden wird für die Risikobewertung von einer kritischen Schadensschwere „Tod“² ausgegangen. Für die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb eines Jahres von einem Arbeitsmittel oder einer Anlage ein Ereignis mit der kritischen Schadensschwere „Tod“ ausgeht, wird ein Schwellenwert der Kenngröße 5 vorgeschlagen: Wird dieser Schwellenwert nicht erreicht, ist das Risiko so hoch, dass besondere Prüfungen durch unabhängige Experten notwendig sind. Abbildung 1 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Kritische Schadensschwere und Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit müssen letztlich im Ausschuss für Betriebssicherheit vereinbart werden.

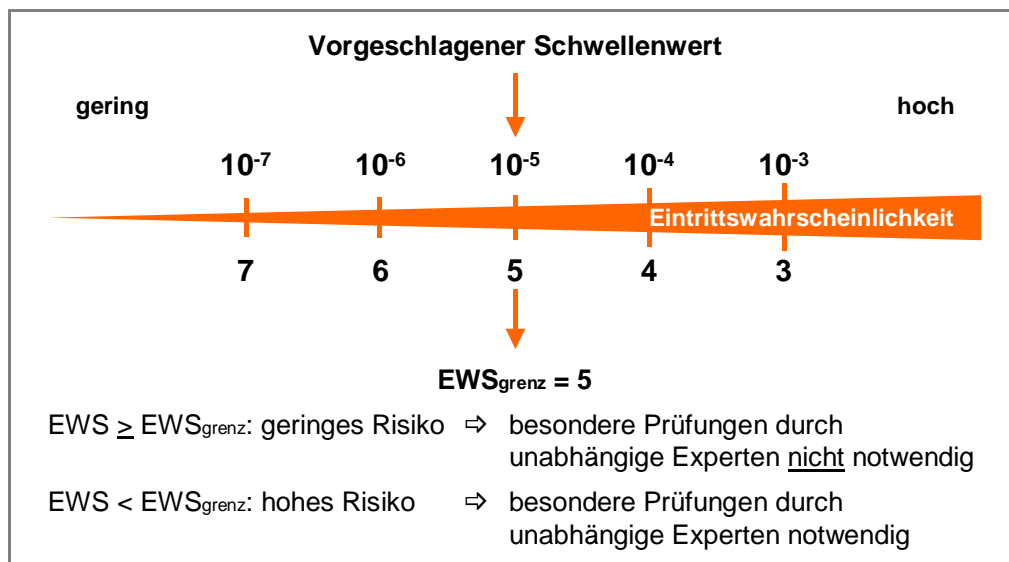


Abbildung 1: Vorgeschlagener Schwellenwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit

² Eine Differenzierung nach Anzahl der Betroffenen ist in der Anlagensicherheit nicht erforderlich. Es reicht aus, wenn eine Person betroffen ist. Erfahrungen mit der Methodik zeigen, dass andere Schweregrade wie z. B. „schwere irreversible Verletzungen“ für die gegebene Anwendung keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn bringen. Im Bedarfsfall kann hiervon abgewichen werden.

Die Methodik geht grundsätzlich von der bestimmungsgemäßen Betriebsweise der Arbeitsmittel aus. Betriebsstörungen, Vandalismus, extreme Umwelteinflüsse und höhere Gewalt werden nur berücksichtigt, soweit sie durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten wirksam beeinflussbar sind. Im Falle solcher Einflüsse ist die Sicherheit durch konstruktive und konzeptionelle Maßnahmen sowie andere Schutzmaßnahmen zu gewährleisten. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen kann aber durchaus Gegenstand besonderer Prüfungen durch unabhängige Experten sein, wenn ihr Versagen mit kritischer Wahrscheinlichkeit zu kritischen Schadensschweren führen kann.

3 Vorgehensweise

Die Anwendung der Methodik erfolgt in sieben Schritten (vgl. Abbildung 2).

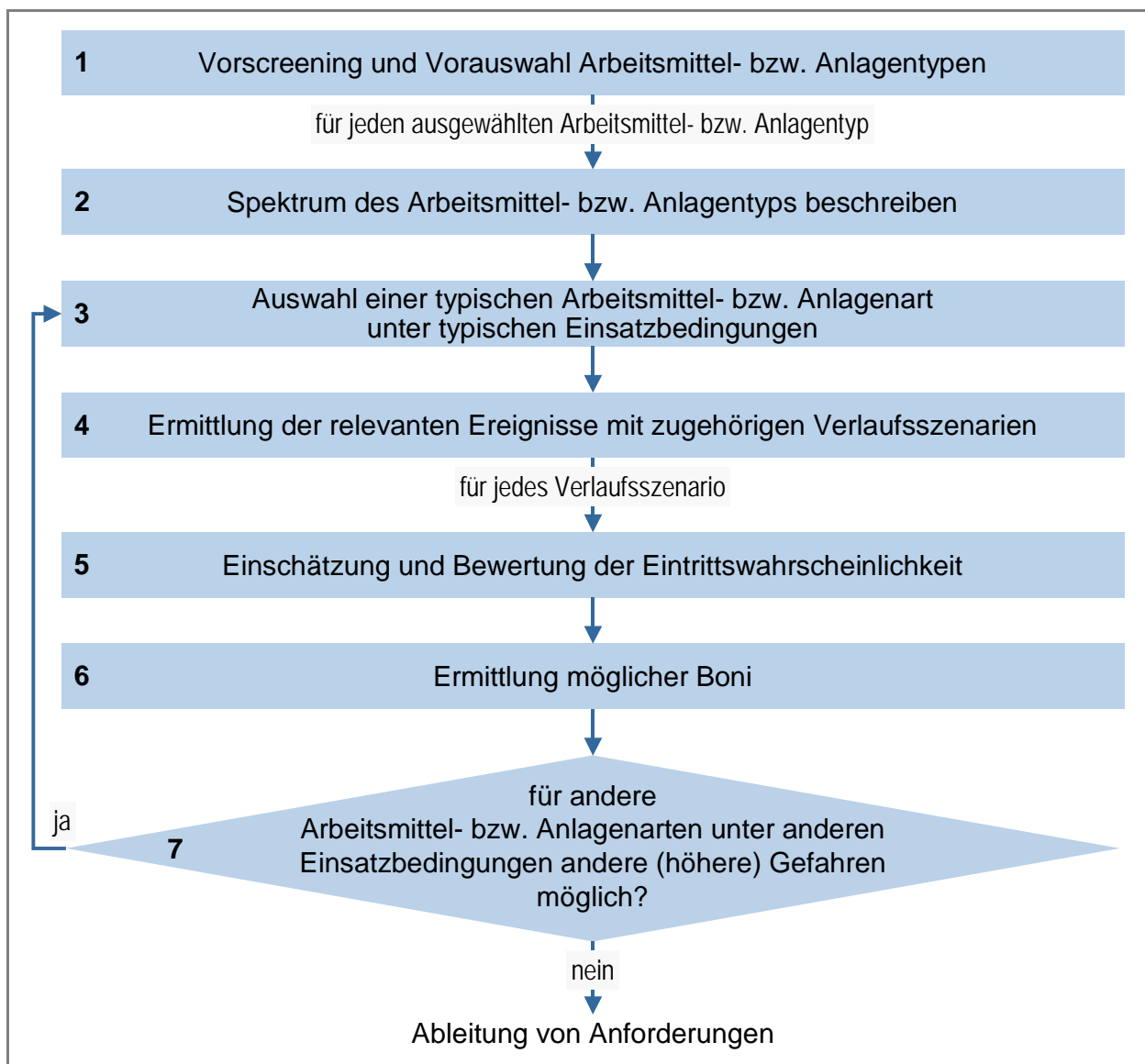


Abbildung 2: Flussdiagramm zur Vorgehensweise bei der Anwendung der Methodik

- Schritt 1 Vorscreening und Vorauswahl der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentypen³, die der Anwendung der Methodik unterzogen werden sollen
- Schritt 2 Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps abgrenzen und beschreiben
- Schritt 3 Auswahl eines Systemszenarios (in der Regel eine Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart⁴ unter typischen Einsatzbedingungen)
- Schritt 4 Ermittlung der relevanten Ereignisse und Beschreibung der zugehörigen Verlaufsszenarien
- Schritt 5 Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- Schritt 6 Ermittlung möglicher Boni
- Schritt 7 Überprüfung, ob bei anderen Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten unter anderen Einsatzbedingungen deutlich andere (höhere) Gefahren zu erwarten sind

Die Schritte 2 bis 7 sind für alle im Vorscreening ausgewählten Arbeitsmitteltypen zu durchlaufen. Die Schritte 5 und 6 sind für jedes Verlaufsszenario zu durchlaufen.

Sind alle Verlaufsszenarien beurteilt worden, ist in Schritt 7 einzuschätzen, ob für andere Szenarios, also Arbeitsmittelarten mit anderen typischen Einsatzbedingungen andere, insbesondere höhere Risiken zu erwarten sind. In diesem Fall sind die Schritte 2 bis 6 für diese Konstellationen ebenfalls durchzuführen. Erst wenn diese Einschätzung verneint wird, sind aus den Ergebnissen der Anwendung der Methodik für jeden Arbeitsmitteltyp Anforderungen an die Prüfungen und Boni festzulegen.

Zur übersichtlichen Ergebnisdarstellung stehen folgende Hilfsmittel zur Verfügung (vgl. Abschnitt 5):

- Morphologischer Kasten zur Darstellung des Arbeitsmittelspektrum (2. Schritt)
- Formular „Risikobeurteilung“ (3. bis 6. Schritt)
- Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ (5. und 6. Schritt)

³ Als Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp wird in diesem Leitfaden eine Gruppe von Arbeitsmitteln bzw. Anlagen bezeichnet, die mit einem ähnlichen Verfahren einem ähnlichen Zweck dient, z. B. Krane: Umschlagen von Lasten durch Anschlag an einen Seilzug.

⁴ Als Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart wird in diesem Leitfaden eine eng umrissene Gruppe von Arbeitsmitteln bzw. Anlagen mit spezifischem Verfahren und Zweck bezeichnet, z. B. fest installierte Portalkrane in Hallen; Turmdrehkran auf Baustellen.

Schritt 1 Vorauswahl der Arbeitsmittel und Anlagen, für die die Methodik angewendet werden soll (Vorscreening)

Die Methodik ist nur für Arbeitsmittel- und Anlagentypen anzuwenden, für die der Ausschuss für Betriebssicherheit aufgrund vermutlich erhöhtem Risiko besondere Prüfungen durch unabhängige Experten für potenziell erforderlich hält.

Für die Anwendung kommen aufgrund des Vorscreenings folgende drei Gruppen von Arbeitsmitteltypen in Betracht:

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Potenzielle Änderungskandidaten aus dem derzeitigen Katalog überwachungsbedürftiger Anlagen (z. B. Tankstellen, Aufzüge)	Arbeitsmittel, die in anderen Ländern einer besonderen Prüfung durch unabhängige Experten unterzogen werden (z. B. Krane)	Arbeitsmittel, die aufgrund aktueller Fachdiskussion als besonders gefährlich eingestuft werden (z. B. Biogasanlagen)

Gruppe 1 Anlagen, die im Katalog überwachungsbedürftiger Anlagen im Geräte- und Produktsicherheitsgesetz bzw. in der Betriebssicherheitsverordnung verzeichnet sind und für die der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob die Anforderungen verändert werden können oder sollten (Verringerung oder Verschärfung der Anforderungen) oder ob der Anlagentyp aus dem Katalog besonders prüfbedürftiger Arbeitsmittel und Anlagen gestrichen werden kann

Gruppe 2 Arbeitsmittel- und Anlagentypen, die in anderen Ländern besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten unterzogen werden und für die der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp in den Katalog besonders prüfbedürftiger Arbeitsmittel und Anlagen aufgenommen werden muss

Gruppe 3 Arbeitsmittel- und Anlagentypen, die aufgrund der aktuellen Fachdiskussion aufgrund neuer Erkenntnisse als so gefährlich eingestuft werden, dass der Ausschuss für Betriebssicherheit überprüfen möchte, ob der Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyp in den Katalog besonders prüfbedürftiger Arbeitsmittel und Anlagen aufgenommen werden muss

Für die Begründung der Vorauswahl und Prioritätensetzung werden die selben Kriterien herangezogen wie für die Methodik selbst, die überschlägig im Sinne einer zu überprüfenden Hypothese eingeschätzt werden:

- Kritische Schadensschwere (Tod) erscheint realistisch erreichbar
- Erwartete Eintrittswahrscheinlichkeit über dem Grenzwert aufgrund
 - erhöhter Schadenshäufigkeit
 - erhöhtem Verschleiß / erhöhter Ermüdung
 - erhöhter Komplexität des Arbeitsmitteltyps unter typischen Einsatzbedingungen
 - schwer erkennbarer und schwer zu beseitigender Gefahren

Schritt 2 Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps abgrenzen und beschreiben

Durch eine übersichtliche Darstellung ist das Spektrum unterschiedlicher Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps aufzufächern und auch festzulegen, welche Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten zu dem Spektrum zählen und welche nicht.

Zur Ergebnisdarstellung eignet sich der morphologische Kasten (vgl. Beispiel in Abbildung 3). Im morphologischen Kasten werden in einer kompakten Übersicht grundlegende Kategorien mit ihren unterschiedlichen Merkmalsausprägungen zusammengestellt. Die Merkmalsausprägungen sind dabei prinzipiell frei kombinierbar.

Verwendungszweck	Personenaufzug	Lastenaufzug (mit Personenbeförderung)	Fassadenbefahrungsanlage	Güteraufzug (ohne Personenbeförderung)	Autoaufzug	Baufzug	Schiffshebewerk
Einsatzgebiete	Produktionsstätten	Logistik	Baustellen	Bürogebäude	Öffentliches Gebäude	Wohngebäude	
Kabinensystem	Einkabinenaufzug	Doppelstockaufzug	Mehrkabinenaufzug	Umlaufaufzug	Fassadenaufzug		
Bewegungsrichtung	Senkrechtaufzug		Schrägaufzug	Sonderform Schmid-Peoplemover			
Antriebssysteme	Seilaufzug	Hydraulikaufzug	Zahnstangenaufzug	(Vakuumaufzug)	Seilloser Aufzug		
Hauptbestandteile	Kabine (Fahrkorb / Plattform)	Hebesystem	Antrieb	Steuerung	Sicherheitseinrichtungen	Türen (Schacht-, Fahrkorbabschlusstüren)	
Steuerkonzept	Handsteuerung	Sammelsteuerung		Druckknopfsteuerung		Zielauswahlsteuerung	
Benutzer	nur besonders eingewiesene / qualifizierte Beschäftigte (nur bei Lastenaufzug im Bestand)			Beschäftigte ohne spezielle Qualifizierung	Beschäftigte und sonstige Personen	in der Regel nur Nicht-Beschäftigte	

Abbildung 3: Morphologischer Kasten am Beispiel des Anlagenspektrums „Aufzug“

Wichtig ist, dass im morphologischen Kasten auch Kategorien enthalten sind, die das Spektrum typischer Einsatzbedingungen umreißt (z. B. Verwendungszweck, Einsatzgebiete, Einsatzorte).

Schritt 3 Auswahl eines typischen Systemszenarios, d. h. einer Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart unter typischen Einsatzbedingungen

Mithilfe der Übersicht zum Arbeitsmittel- bzw. Anlagenspektrum im morphologischen Kasten ist eine typische Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart unter typischen Einsatzbedingungen für die Risikobeurteilung auszuwählen. Dabei sind folgende Kriterien zu beachten:

- Eine für das Spektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps typische Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart (keine exotische Variante)
- Typische Einsatzbedingungen (keine exotischen Einsatzvarianten)

- Vermutung eines relativ erhöhten oder eines relativ geringen Risikos im Vergleich zum Gesamtspektrum des Arbeitsmittel- bzw. Anlagentyps (je nachdem, ob die grundsätzliche Aufnahme in den Katalog gefährlicher Arbeitsmittel bzw. Anlagen oder mögliche Erleichterungen aufgrund verringertem Risiko für bestimmte Systemszenarien betrachtet werden sollen)

Die ausgewählte Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart mit den gewählten Einsatzbedingungen kann dann in das Formular „Risikobeurteilung“ eingetragen werden, in dem auch die Ergebnisse weiterer Schritte dokumentiert werden.

Schritt 4 Ermittlung der relevanten Ereignisse und Beschreibung der zugehörigen Verlaufsszenarien

Das ausgewählte Systemszenario ist in Schritt 4 auf die relevanten Ereignisse zu untersuchen. Als relevant gelten solche Ereignisse,

- bei denen die kritische Schadensschwere (Tod eines Beschäftigten oder mehrerer Beschäftigter) vernünftigerweise denkbar erreicht wird und die gleichzeitig
- durch besondere Prüfungen durch unabhängige Experten wirksam beeinflussbar sind.

Nur solche Ereignisse rechtfertigen das Erfordernis besonderer Expertenprüfungen.

Die relevanten Ereignisse sind mit ihren Verlaufsszenarien zu beschreiben. Sie durchlaufen in der Regel fünf Phasen⁵:

- 1) Ein oder mehrere auslösende Faktoren werden wirksam (z. B. Überschreitung eines zulässigen Überdrucks).
- 2) Eine sicherheitsrelevante Komponente des Arbeitsmittels versagt: Energie oder Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften werden unkontrolliert frei.
- 3) Ggf. vorhandene Schutzsysteme versagen: Energie oder Stoffe werden nicht (vollständig) aufgehalten.
- 4) Die unkontrollierte Energie oder die Stoffe wirken auf Beschäftigte ein; damit wird eine Gefährdung wirksam.
- 5) Energie oder Stoffe verursachen Folgen in Höhe der kritischen Schadensschwere.

Die Variantenzahl der konkreten Ereignisabläufe ist beliebig groß. Auch hier ist eine an der Realität ausgerichtete Typenbildung erforderlich, die eine Bündelung in realtypische Verlaufsszenarien ermöglicht. In Betracht kommen nur Verlaufsszenarien, die in der Praxis auftreten können oder bereits (häufiger) aufgetreten sind.

⁵ Die Phasen 2 und 3 können auch in umgekehrter Reihung auftreten.

Die Verlaufsszenarien beinhalten die vom Arbeitsmittel bzw. der Anlage ausgehende Gefährdung und teilweise auch gefahrbringende Bedingungen.

Für die Verlaufsszenarien ist abzuschätzen, ob die kritische Schadensschwere (Tod) vernünftigerweise denkbar erreicht wird. Mit dieser Abschätzung wird die erste Komponente des Risikos ermittelt. Dabei wird ermittelt:

- Welche Faktoren bestimmen die Schadensschwere (z. B. die potenziell freiwerdende Energie, deren Wirkrichtung)?
- Mit welcher Intensität wirken die Faktoren auf welche Körperteile ein?
- Wie schwer können die Verletzungen aufgrund dieser Einwirkungen vernünftigerweise sein?

Des Weiteren ist festzustellen, ob besondere Prüfungen durch unabhängige Experten das betrachtete Verlaufsszenario wirksam beeinflussen, d. h. den Schadensverlauf verhindern kann. Denn solche Prüfungen sind nur dann sinnvoll, wenn das jeweilige Verlaufsszenario durch solche Prüfungen wirksam beeinflussbar ist. Einer Beeinflussbarkeit durch Expertenprüfungen entziehen sich z. B. weitgehend Umwelteinflüsse (Wind, Gewitter), Vandalismus, Bedienungsfehler, fehlerhaftes Handeln, Manipulation. Bei unzureichender Beeinflussbarkeit durch Expertenprüfungen erübrigt sich eine weitere Risikobeurteilung für dieses Verlaufsszenario. Das Risiko für dieses Verlaufsszenario muss ggf. durch andere Maßnahmen verringert werden (z. B. konstruktive oder konzeptionelle Maßnahmen).

Folgende Gefährdungen können bei relevanten Ereignissen auftreten:

- Mechanische Gefährdungen:
 - Getroffen werden (z. B. berstender Druckbehälter, wegfliegende Teile, herabfallende Teile, unter hohem Druck austretende Fluide, kippende Masse)
 - Druckwelle (Explosion, berstender Druckbehälter)
 - Absturz
 - Einklemmt werden (zwischen schließenden, bewegten Teilen)
- Brand- und Explosionsgefährdung
- Gefahrstoffe
 - Ersticken (durch Verdrängung oder Verbrauch von Sauerstoff)
 - Toxische Einwirkung (z. B. Einatmen von austretenden Gefahrstoffen)
- Nicht-ionisierende Strahlung

Weitere Gefährdungen können von Arbeitsmitteln oder Anlagen ausgehen. Sie erreichen aber in den Systemszenarien nicht kritische Schadensschwere oder sind durch besondere Expertenprüfungen nicht wirksam beeinflussbar.

Da zur Feststellung der Relevanz der Ereignisse i.d.R. die Verlaufsszenarien benötigt werden, müssen zur Ermittlung der relevanten Ereignisse

- 1) potenziell relevante Ereignisse erfasst,
- 2) ihre (ggf. verschiedenen) Verlaufsszenarien beschrieben,
- 3) jedes Verlaufsszenario auf das Erreichen der kritischen Schadensschwere überprüft und
- 4) jedes Verlaufsszenario auf wirksame Beeinflussbarkeit durch Expertenprüfungen überprüft werden.

Die Ergebnisse werden mit ihren Verlaufsszenarien in Stichworten im Formular „Risikobeurteilung“ dokumentiert. Tabelle 1 zeigt beispielhaft das Ergebnis für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- und Wohngebäuden“. Zur leichteren Erkennbarkeit sind die positiven Befunde hervorgehoben. Es wird deutlich, dass von ursprünglich acht Verlaufsszenarien nur vier dem zweiten Teil der Risikobeurteilung (Schritt 5) unterzogen werden müssen, um festzustellen, ob das Grenzzisiko überschritten wird.

Tabelle 1: Ersten fünf Spalten des Formulars „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?
1	Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an	Türsensoren / Steuerung / Antrieb / Betriebsbremse versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert.	Scherkraft der fahrenden Kabine: Tod möglich	ja: Fehler in Steuerung, Antrieb oder Bremse
2	Scheren an schließenden Türen	Türsteuerung erkennt beim Schließen der Tür nicht, dass Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm, Fuß, Bein) eingeklemmt sind, Kabine fährt an und reißt Gliedmaßen ab.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschanke
3	Eingeklemmt werden zwischen schließenden Aufzugstüren	Aufzugstüren schließen, während sich ein Arm, Bein oder der Kopf einer Person im Türbereich befindet. Durch die Schließkraft der Türen werden Verletzungen verursacht.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschanke
4	Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür	Schachttür ist offen oder öffnet (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nur bei Verschleiß / Fehlfunktion von Schließmechanismus, Türverriegelung, Türschalter, usw.; kaum bei Vandalismus, Beschädigung
5	Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung	Kabine bleibt infolge Störung stecken, gewaltsames Öffnen der Kabinen- und Schachttüren und damit Schachtzugang beim Selbstbefreiungsversuch, Kontrollverlust beim Herabklettern und Absturz in den geöffneten Schacht. Verletzungen werden beim Aufschlag auf den Schachtboden verursacht.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nein: kaum durch Prüfungen beeinflussbar
6	Absturz der Kabine (nach oben)	Versagen von Bauteilen des Antriebs, keine Absturzsicherung nach oben vorhanden, Kabine fährt unkontrolliert hoch. Insassen werden verletzt. (betrifft nur ältere Anlagen mit Baujahr von 1999)	Tödliche Verletzungen eher unwahrscheinlich	ja: durch Prüfungen des Antriebs beeinflussbar
7	Absturz der Kabine (nach unten)	Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden verletzt.	Tod möglich	ja: durch Prüfungen möglich
8	Eingeschlossen werden in der Kabine	Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen ersticken oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasaufzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.	Tod möglich bei längerem Aufenthalt oder Hitze	ja: defekte Steuerung, Notruf

Schritt 5 *Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit (EWS)*

Schritt 5 umfasst den zweiten Teil der Risikobeurteilung. Dabei geht es um die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit, mit der die kritische Schadensschwere für das betrachtete Verlaufsszenario erreicht wird und die Feststellung, ob der Grenzwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit überschritten wird.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ausgehend von einem Arbeitsmittel bzw. einer Anlage innerhalb eines Jahres ein im Verlaufsszenario beschriebenes Ereignis einschließlich der kritischen Schadensschwere eintritt, setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen. Diese orientieren sich an den Phasen des Verlaufsszenarios. Für den Anwendungsfall sind in den Regel fünf Faktoren relevant:

- E1** Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen oder Sicherheitseinrichtungen
- E2** Verschleiß und Ermüdung
- E3** Menschliche Zuverlässigkeit
- E4** Gefahr erkennen und verhindern oder ihr ausweichen
- E5** Exposition

Für jeden Faktor werden durch die qualitative Abschätzung mithilfe von Skalen Kennwerte ermittelt. Der Gesamtkennwert für die Eintrittswahrscheinlichkeit EWS wird durch Addition der Faktoren gebildet:

$$\mathbf{EWS = E1 + E2 + E3 + E4 + E5}$$

Welche dieser Faktoren relevant sind, hängt vom betrachteten Verlaufsszenario ab. Faktoren, die im konkreten Verlaufsszenario nicht relevant sind, erhalten den neutralen Kennwert 0.

Zur Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für das betrachtete Verlaufsszenario

- 1) ist festzustellen, welche Faktoren relevant sind,
- 2) sind die relevanten Faktoren mithilfe bereitgestellter Skalen abzuschätzen,
- 3) ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (EWS) durch Addition der Faktoren zu ermitteln.

Im Folgenden wird für jeden Faktor erläutert, welche Skalen zur Verfügung stehen und wie der Faktor abgeschätzt werden kann.

E1 Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen

Enthält das Verlaufsszenario das Versagen eines Bauteils oder einer Sicherheitseinrichtung, ist die statistisch erwartete Versagenshäufigkeit abzuschätzen (Faktor E1). Die Versagenswahrscheinlichkeit kann durch vorhandene Daten und Erfahrungswerte zur Versagenshäufigkeit der entsprechenden technischen Komponenten abgeleitet werden. Dabei kann ggf. Expertise wissenschaftlich-technischer Institutionen wie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung einbezogen werden.

Bei der Einschätzung wird von der bestimmungsgemäßen Betriebsweise der Arbeitsmittel unter Berücksichtigung verbindlicher Beschaffenheitsanforderungen an den Hersteller ausgegangen. Liegen entsprechende Daten nicht vor, kann bei der Abschätzung auf die Matrix der Tabelle 2 zurückgegriffen werden:

- Die Komplexität wird durch die Zahl der voneinander abhängigen sicherheitsrelevanten Elemente bestimmt. Beispielsweise ist das Szenario, dass die Aufzugskabine sich nur bewegt, wenn alle Etagentüren und die Kabinentür geschlossen sind, von allen Türsensoren sowie der Steuerung abhängig.
- Das Sicherheitsniveau wird vor allem durch die Redundanz von Sicherheitssystemen bestimmt. Damit sind im Beispiel Aufzug die Türsensoren gemeint, bei denen eine gewisse Redundanz besteht, wenn sowohl Schacht- als auch Kabinentüren mit Sensoren ausgestattet sind.

Tabelle 2: Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen (Faktor E1)

Sicherheitsniveau (Redundanz der Sicherheitssysteme; Niveau / Zuverlässigkeit der verbindlichen Sicherheitsanforderungen an Hersteller)	Komplexität (Zahl der voneinander abhängigen sicherheitsrelevanten Elemente)		
	gering	mittel	hoch
sehr hoch	8	7	6
hoch	7	6	5
mittel	6	5	4
gering	5	4	3

Bei Explosionsgefährdung ist die Wahrscheinlichkeit einer Explosion von der Wahrscheinlichkeit des zeitlich-räumlichen Zusammentreffens einer explosionsfähigen Atmosphäre und der Zündquelle abhängig. Eine grobe Orientierung für die Abschätzung kann die Zoneneinteilung entsprechend Explosionsschutzdokument gemäß Betriebssicherheitsverordnung und die Kategorisierung der Zündquellen bieten (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit orientiert an der Zoneneinteilung gemäß BetrSichV und Zündquellenkategorie nach TRBS 2152-3

Angenommene Explosionswahrscheinlichkeit	Mit einer zündfähigen Atmosphäre muss ...		
	... immer gerechnet werden (Zone 0, 20; $1 = 10^0$)	... gelegentlich gerechnet werden (Zone 1, 21; 10^{-1})	... nur selten und im Fehlerfall kurzzeitig gerechnet werden (Zone 2,22; 10^{-4})
Mit Zündquellen muss im Normalbetrieb immer gerechnet werden ($1 = 10^0$)	0	1	4
Zündquellen können im Normalbetrieb nur gelegentlich auftreten (Kat. 3; 10^{-2})	2	3	6
Zündquellen können selten (bei vorhersehbaren Fehlern) auftreten (Kat. 2; 10^{-4})	4	5	8
Zündquellen können nur sehr selten auftreten (Kat. 1; 10^{-6})	6	7	10

Falls das betrachtete Bauteil oder die Sicherheitseinrichtung bereits besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten unterliegt, sind in der abgeschätzten Versagenswahrscheinlichkeit ggf. bereits die aufgrund solcher Prüfungen veranlassten Maßnahmen mit enthalten. Da mit der Methodik ermittelt werden soll, ob solche Prüfungen (noch) erforderlich sind, muss in einem Szenario abgeschätzt werden, wie hoch die Versagenswahrscheinlichkeit ohne solche Prüfungen und daraus folgende Maßnahmen wäre. Zu berücksichtigen sind aber nur besondere Prüfungen durch unabhängige Experten. Andere Prüfungen z. B. durch befähigte Personen werden nicht „herausgerechnet“.

Falls statistische Daten zu Mängelfeststellungen aus besonderen Prüfungen durch unabhängige Experten vorliegen, können diese für die Abschätzung herangezogen werden. In diesem Fall ist es auch möglich, die Versagenswahrscheinlichkeit abzuschätzen, indem der Anteil der stattgefundenen Prüfungen durch unabhängige Experten ermittelt wird, bei dem bezüglich des Versagens des konkret betrachteten Bauteils kritische Mängel aufgetreten sind, die zu dem betrachteten Verlaufsszenario hätten führen können. Dieser Anteil ist mit der Wahrscheinlichkeit zu multiplizieren, dass aufgrund des technischen Mangels das Versagen des Bauteils eintritt.

E2 Verschleiß und Ermüdung

Die Versagenswahrscheinlichkeit ist in der Regel keine Konstante über die Lebenszeit der Arbeitsmittel hinweg. Sie nimmt abhängig von der Nutzungsintensität und den Verschleißbedingungen mit der Zeit natürlich-exponentiell zu.

Diese zeitliche Entwicklung wird mit dem Faktor E2 abgeschätzt. Dabei werden verschiedene Verschleiß- / Ermüdungs-Kennlinien unterschieden, die eine qualitative Einschätzung erlauben (je nach Material und Nutzungsbedingungen sind auch andere Kennlinien-Charakteristika möglich; vgl. Abbildung 4):

sehr hoch = EWS des Grenzzrisikos wird schon nach relativ kurzer Nutzung überschritten.

hoch = EWS des Grenzzrisikos wird nach längerer Nutzungszeit innerhalb der Lebenszeit überschritten.

mittel = EWS des Grenzzrisikos wird nach langer Nutzungszeit noch innerhalb der Lebenszeit überschritten.

gering = EWS des Grenzzrisikos wird innerhalb der Lebenszeit nicht erreicht.

sehr gering = EWS ändert sich über die gesamte Lebenszeit kaum, das Grenzzrisiko wird deutlich unterschritten.

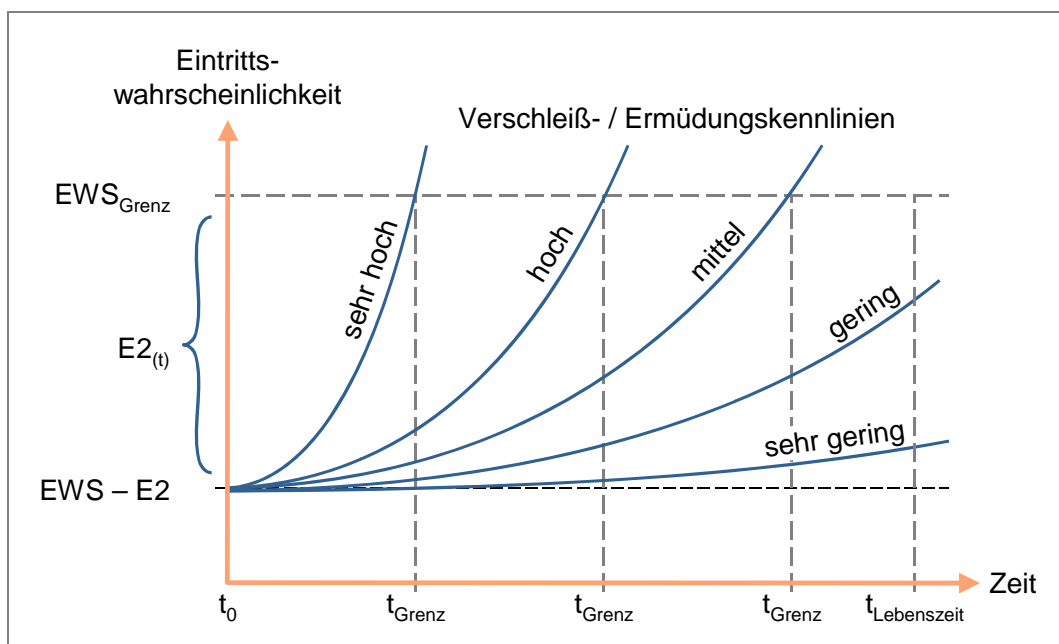


Abbildung 4: Verschleiß- / Ermüdungskennlinien (Faktor E2)

Die Kennlinien starten mit der ersten Inbetriebnahme (t_0) ohne Verschleiß / Ermüdung. Je nach Verschleiß- / Ermüdungsresistenz (Verschleiß- / Ermüdungskennlinie) wird das Grenzzrisiko schon nach kurzer Nutzungszeit, nach längerer Nutzungszeit innerhalb der Lebenszeit oder innerhalb der Lebenszeit nicht erreicht.

Ist über die gesamte Lebenszeit mit einem geringen Verschleiß bzw. einer geringen Ermüdung zu rechnen (Kennlinie „sehr gering“), wird der Kennwert = 0 festgelegt.

Bei höherem Verschleiß bzw. höherer Ermüdung (Kennlinien „gering“ bis „sehr hoch“) wird in erster Näherung die Nutzungszeit abgeschätzt, nach der die verschleiß- / ermüdungsbedingte Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 10 zunimmt (entspricht Kennwert -1). Die insgesamt ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit EWS berücksichtigt dann die verschleiß- / ermüdungsbedingte Eintrittswahrscheinlichkeit nach der angegebenen Nutzungszeit.

Dieser Wert ist nach Durchlaufen der weiteren Kennwerte E3 bis E5 wie folgt zu überprüfen:

- Falls das Grenzkriterium erreicht wird, sind differenzierte Verschleißbetrachtungen nicht mehr erforderlich.
- Wird das Grenzkriterium nicht erreicht, muss überprüft werden, ob das Grenzkriterium bei längerer Nutzungsdauer / höherer Nutzungsintensität und nach welcher weiteren Nutzungsdauer erreicht wird. Diese Informationen sind in den Erläuterungen anzugeben, da sie wichtige Hinweise für die Festlegung von Prüfungsintervallen liefern können.

E3 Menschliche Zuverlässigkeit

Ein weiterer optionaler Faktor ist die menschliche Zuverlässigkeit (vgl. Tabelle 4). Sie ist immer dann relevant, wenn menschliche Fehler das Verlaufsszenario auslösen oder in ihrem Verlauf willentlich beeinflussen können. Für eine Einstufung wird auf die VDI-Richtlinie 4006 Blatt 2 zurückgegriffen.

Tabelle 4: Menschliche Zuverlässigkeit gemäß VDI-Richtlinie 4006 Blatt 2 (E3)

Aufgabenbeschreibung in Abhängigkeit der situationsbedingten Anforderungen und der kognitiven Belastung	Fehlerwahrscheinlichkeit
Einfache und häufig durchgeführte Aufgaben bei geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit in gewohnten Situationen (z. B. ohne ablenkende oder störende zusätzliche Einflüsse, gute Rückmeldung)	3,0
Komplexe und häufig durchgeführte Aufgaben in gewohnten Situationen mit geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit, wobei eine gewisse Sorgfalt bei der Durchführung notwendig ist	2,0
Komplexe und häufig durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	1,0
Komplexe und selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	0,3
Hochkomplexe oder sehr selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei sehr hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	0,0

Im beschriebenen Fallbeispiel spielt dieser Faktor keine Rolle, da es keine Mechanismen gibt, mit denen die Beschäftigten durch fehlerhaftes Handeln den Verlauf beeinflussen können.

E4 Gefahr erkennen und verhindern oder ihr ausweichen können

Mit dem Faktor E4 wird die Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und diese gezielt beseitigen oder den Schaden vermeiden können. Die Erkennbarkeit der Gefahr hängt u. a. von der Komplexität des Arbeitsmittels und der Qualifikation der Beschäftigten ab. Auch die wirkungsvolle Reaktion hängt von spezieller Qualifikation sowie Erfahrung / Training der Beschäftigten ab.

Die Einstufung erfolgt mithilfe einer Matrix (vgl. Tabelle 5). Dabei sind drei Sonderfälle zu beachten:

- Ist die Gefahr leicht zu erkennen, aber nur mit besonderer Qualifikation zu beseitigen, gilt der angegebene Kennwert = 1 nur dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Beschäftigten entsprechende Qualifikation zur Beseitigung der Gefahr besitzen. Ansonsten gilt der Kennwert = 0.
- Ist die Gefahr nur mit besonderer Qualifikation zu erkennen, aber dann leicht zu beseitigen, gilt der angegebene Kennwert = 1 nur dann, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Beschäftigten entsprechende Qualifikation zum Erkennen der Gefahr besitzen. Ansonsten gilt der Kennwert = 0.
- Entsprechendes gilt, wenn die Gefahr nur mit besonderer Qualifikation zu erkennen und zu beseitigen bzw. ihr auszuweichen ist. Der Kennwert = 1 wird nur vergeben, wenn die Beschäftigten umfassende Qualifikation für das Erkennen und Beseitigen der Gefahr besitzen.

Tabelle 5: Wahrscheinlichkeit des Erkennens der Gefahr und der Vermeidung des Schadens (Faktor E4)

Erkennen der Gefahr (Komplexität / Überschaubarkeit der Anlage)	Gefahr beseitigen oder ausweichen können		
	leicht	nur mit spezifischer Qualifikation	kaum möglich
leicht erkennbar	2	1 ⁶	0
nur mit spezifischer Qualifikation erkennbar	1 ⁶	1 ⁶	0
schwer bis gar nicht erkennbar	0	0	0

Im beispielhaften Verlaufsszenario ist die Gefahr in der Regel nicht erkennbar. Der Benutzer des Aufzugs rechnet nicht mit dem Fehlverhalten des Aufzugs. Wegen des Überraschungseffekts und dem mit der plötzlichen Bewegung einhergehenden Kontrollverlust sind gezielte Handlungen kaum möglich. Außerdem fehlt eine wirksame Strategie zum Stoppen der Bewegung. Von besonderen Qualifikationen kann nicht ausgegangen werden.

⁶ Nur wenn die entsprechende Qualifikation zuverlässig vorhanden ist (Anforderungen benennen) – sonst Kennwert 0.

E5 Exposition

Mit dem Faktor E5 kann die ggf. eingeschränkte Exposition von Beschäftigten gegenüber einer vorhandenen Gefahr berücksichtigt werden. Ob dieser Faktor relevant ist, muss abhängig vom Verlaufsszenario festgestellt werden. Expositionsanteile sind nur zu berücksichtigen, wenn das Wirksamwerden der Gefährdung vom Handeln Beschäftigter unabhängig ist, Beschäftigte sich also zufällig zum Zeitpunkt des Wirksamwerdens der Gefährdung im Gefahrenbereich aufhalten. Kann das Wirksamwerden der Gefährdung von Beschäftigten ausgelöst werden, ist für die Expositionsanteile der Kennwert = 0 anzusetzen.

Grundsätzlich gilt die Formel:

$$\text{Expositionsanteil} = \frac{\text{Expositionszeit von Beschäftigten im Gefahrenbereich:}}{\text{Gesamtdauer der Gefahr}}$$

Tabelle 6 schlägt eine vierstufige Skalierung vor.

Tabelle 6: Expositionsanteile (Faktor E5)

Expositionszeit (bei nur begrenzter Exposition der Beschäftigten gegenüber der Gefährdung)	Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts	Dass es beim Eintreten des Ereignisses zu einem Schaden in Höhe der kritischen Schadensschwere des Grenzkrisiko kommt, ist ...		
		... wahrscheinlich	... wenig wahrscheinlich	... eher unwahrscheinlich
weitgehend keine eingeschränkte Exposition		0	1	2
maximal 10 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein		1	2	3
maximal 1 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein		2	3	4
maximal 0,1 % der Gefahrenzeit können Beschäftigte exponiert sein		3	4	5

Weiterhin wird hier berücksichtigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit es im weiteren Verlauf tatsächlich zu einem Schaden in der Höhe der kritischen Schadensschwere kommt. Denn nicht in jedem Fall des Wirksamwerdens der Gefährdung tritt auch ein Schaden der Höhe des Grenzkrisikos (hier Tod) ein. Ein Beispiel wäre die Wahrscheinlichkeit, dass ein wegfliegendes Teil tatsächlich Beschäftigte trifft und tödlich verletzt. Eingeschätzt wird dies durch eine einfache dreistufige Skala (vgl. Tabelle 6).

Der Schaden im eingeführten Beispiel tritt nur dann ein, wenn beim Hochfahren der Kabine bei geöffneter Tür größere Körperteile gequetscht oder abgeschert werden. Bis die Kabine den oberen Türtrand erreicht, besteht eine kurze Reaktionsmöglichkeit. Im vorliegenden Beispiel werden Expositionseinschränkungen nicht berücksichtigt, da die Gefährdung in aller Regel nur wirksam werden kann, wenn Beschäftigte entweder selbst einen Fahrwunsch eingeben (während ggf. weitere Personen noch die Kabine betreten) oder ein Dritter auf einer anderen Etage einen Fahrwunsch eingibt.

Für die Abschätzung der Kennzahlen und die Dokumentation der Eintrittswahrscheinlichkeit steht das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ zur Verfügung (vgl. Abschnitt 5). Tabelle 7 zeigt für das Verlaufsszenario „Abscheren von Körperteilen“ aus dem oben bereits eingeführte Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- und Wohngebäuden“ das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“. In Spalte 3 sind die abgeschätzten Kennzahlen angegeben. Die Erläuterungen in Spalte 4 geben Merkmale und Ausprägungen an, die für die Abschätzung herangezogen wurden.

Tabelle 7: Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ für die Hauptgefährdung „Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Verlaufsszenario		<i>Türsensoren / Steuerung versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgesichert. Dies führt zu tödlichen Verletzungen.</i>					
EWS ohne Boni		4	Erläuterungen	Boni	Anforderungen	EWS mit Boni	6
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1	5	<i>Mittlere Komplexität wegen zahlreicher Türsensoren und Steuerung; mittlere Redundanz und Zuverlässigkeit</i>	C1	technisch zuverlässigere Gestaltung von Antrieb und Bremse sowie der Antriebssteuerung bei Nachregulierungsbewegungen		6
Verschleiß / Ermüdung	E2	-1	<i>Stark schwankend und abhängig von Nutzungsintensität, Beschädigung der Türen, Vandalismus; mittel bis sehr hoch (3 bis 24 Monate)</i>	C2			-1
Menschliche Zuverlässigkeit	E3	0	<i>Hier nicht relevant</i>	C3			0
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4	0	<i>Gefahr in der Regel nicht erkennbar; Aufzugsbenutzer rechnet nicht mit Fehlverhalten; wegen des Überraschungsmoments und Kontrollverlust kaum ausweichbar</i>	C4			0
Exposition	E5	0	<i>Keine nennenswert eingeschränkte Exposition: Aufzug setzt sich bei Ruf / Zielwahl in Bewegung; Nutzer geht davon aus, dass Aufzug erst anfährt, wenn Tür geschlossen ist; Schaden tritt nur ein, wenn Körperteil im Moment des Scherens aus der Kabine ragt; das ist nur beim Hochfahren möglich; es besteht noch eine kurze Reaktionszeit</i>	C5			0
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit				C6	<i>Bei Nachweis eines zertifizierten Systems vorbeugender Instandhaltung mit vorgegebenen Maßnahmen</i>		1

Schritt 6 Ermittlung möglicher „Boni“

In Schritt 6 wird ermittelt, ob durch geeignete Maßnahmen das Gefahrenpotenzial soweit reduziert werden kann, dass das Grenzkrisiko unterschritten wird und von daher unter festzulegenden Bedingungen eine Verringerung der Anforderungen („Boni“) an besondere Prüfungen durch unabhängige Experten möglich ist. Erforderlich ist dies nur, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit des Grenzkrisikos überschritten wird.

Dazu werden die eingeschätzten Faktoren der Eintrittswahrscheinlichkeit und die zugehörigen Erläuterungen im Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ (vgl. Tabelle 7) daraufhin überprüft, ob es Möglichkeiten zur Verringerung des Faktors und damit der Eintrittswahrscheinlichkeit gibt. Zusätzlich wird untersucht, ob Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit (z. B. sensorische Überwachung) ausreichend risikomindernde Effekte haben.

- C1** Verbesserung der Zuverlässigkeit von Bauteilen oder Sicherheitseinrichtungen
- C2** Verringerung der Schädigungsanfälligkeit oder Verringerung der Einwirkung von Verschleiß- oder Ermüdungsfaktoren
- C3** Erhöhung der menschlichen Zuverlässigkeit, wenn im Verlaufsszenario das Handeln von Beschäftigten relevant ist
- C4** Verringerung der Expositionsanteile, d. h. des Aufenthalts von Beschäftigten im Gefahrenbereich
- C5** Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass Beschäftigte die Gefahr erkennen und durch gezieltes Handeln verhindern oder ihr ausweichen können (z. B. durch Qualifizierung, wo dies möglich ist)
- C6** Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit (wie z. B. vorbeugende Instandhaltung oder sensorische Überwachung)

C6 Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit

Als zusätzlichen Bonus werden Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit berücksichtigt, wie z. B. systematische Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung oder die kontinuierliche sensorische Überwachung kritischer Sicherheitsparameter. Bei der Abschätzung, ob solche Maßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit unter das Grenzkrisiko reduzieren können, müssen Fristen für solche Maßnahmen im Zusammenhang mit der verschleiß- / ermüdungsbedingten Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit (E2) gesehen werden.

Werden hier Prüfungen durch befähigte Personen berücksichtigt, ist mit abzuschätzen, mit welcher Zuverlässigkeit solche Prüfungen mit welcher Wirkung erfolgen.

Für eine erste Näherung kann von der in Tabelle 8 dargestellten Wirkung ausgegangen werden:

Tabelle 8: Kennwerte für Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit (C6)

Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit	Kennwert für C6	Angenommene Wirkung
System vorbeugender Instandhaltung	1	Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 10 (entspricht 10^{-1})
kontinuierliche sensorische Überwachung kritischer Sicherheitsparameter	2	Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit um den Faktor 100 (entspricht 10^{-2})

Es handelt sich zunächst um eine Art strukturiertes Brainstorming, d. h., die Ansätze werden noch nicht hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit oder der Erreichbarkeit des Adressaten bewertet.

Für gefundene Ansätze werden die Anforderungen in Stichworten in das Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ (Tabelle 7) eingetragen. Anschließend wird abgeschätzt, wie sich der jeweilige Faktor durch diese Maßnahme verändern würde.

Im Beispiel der Tabelle 7 werden zwei „Boni“ gefunden, von denen sich nur eine an den Arbeitgeber bzw. Betreiber richten kann. Beide „Boni“ reduzieren die Eintrittswahrscheinlichkeit so weit, dass das Grenzkrisiko nicht überschritten wird und damit auf besondere Prüfungen durch unabhängige Experten verzichtet werden kann oder andere Erleichterungen wie Verlängerung von Fristen solcher Prüfungen ermöglicht werden.

Die Schritte 5 und 6 sind für alle relevanten Verlaufsszenarien durchzuführen. Tabelle 9 gibt das Gesamtergebnis für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden“ in der Übersicht wieder. Von acht Verlaufsszenarien bleiben schließlich vier, die einer Risikobeurteilung unterzogen werden mussten und zwei Verlaufsszenarien, die über dem Grenzkrisiko liegen.

Tabelle 9: Formular „Risikobeurteilung“ für das Systemszenario „Personenaufzüge als Seilauflüge in Büro- oder Wohngebäuden“

Systemszenario: Personenaufzüge als Seilauflüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen (mögliche Boni)
1	Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an	Türsensoren / Steuerung / Antrieb / Betriebsbremse versagen, Kabine fährt bei geöffneten Türen plötzlich an, Person im Türbereich verliert Kontrolle, aus Türen ragende Körperteile werden abgeschert.	Scherkraft der fahrenden Kabine: Tod möglich	ja: Fehler in Steuerung, Antrieb oder Bremse	4	Durch Boni kann Schwellenwert eingehalten werden
2	Scheren an schließenden Türen	Türsteuerung erkennt beim Schließen der Tür nicht, dass Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm, Fuß, Bein) eingeklemmt sind, Kabine fährt an und reißt Gliedmaßen ab.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschranke	–	
3	Eingeklemmt werden zwischen schließenden Aufzugstüren	Aufzugstüren schließen, während sich ein Arm, Bein oder der Kopf einer Person im Türbereich befindet. Durch die Schließkraft der Türen werden Verletzungen verursacht.	Schließkraft: Tod kaum möglich	ja: Türsensoren, Lichtschranke	–	
4	Absturz in den Schacht durch offene / unverriegelte Schachttür	Schachttür ist offen (wegen defektem Schließmechanismus, wegen Anfahren der Kabine bei offenen Türen, wegen Beschädigung der Schachttür) oder unverriegelt zu öffnen (bei Drehtüren), ohne dass die Kabine auf der gleichen Ebene ist. Person tritt unbedarft ein, stürzt in den Schacht und zieht sich beim Aufschlag auf den Schachtboden Verletzungen zu.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nur bei Verschleiß / Fehlfunktion von Schließmechanismus, Türverriegelung, Türschalter, usw.; kaum bei Vandalismus, Beschädigung	4	Durch Boni kann Schwellenwert eingehalten werden
5	Absturz in den Schacht bei Selbstbefreiung	Kabine bleibt infolge Störung stecken, gewaltsames Öffnen der Kabinen- und Schachttüren und damit Schachtzugang beim Selbstbefreiungsversuch, Kontrollverlust beim Herausklettern und Absturz in den geöffneten Schacht. Verletzungen werden beim Aufschlag auf den Schachtboden verursacht.	Hohe Auftreffgeschwindigkeit: Tod möglich	nein: kaum durch Prüfungen beeinflussbar	–	durch Anpassung an den Stand der Technik vermeidbar

Systemszenario: Personenaufzüge als Seilaufzüge in Büro- oder Wohngebäuden						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen (mögliche Boni)
6	Absturz der Kabine (nach oben)	Versagen von Bauteilen des Antriebs, keine Absturzsicherung nach oben vorhanden, Kabine fährt unkontrolliert hoch. Insassen werden verletzt. (betrifft nur ältere Anlagen mit Baujahr von 1999)	Tödliche Verletzungen eher unwahrscheinlich	ja: durch Prüfungen des Antriebs beeinflussbar	–	
7	Absturz der Kabine (nach unten)	Ein Tragmittel versagt, die Fangeinrichtung versagt ebenfalls. Die Kabine stürzt ab und schlägt auf dem Schachtboden auf. Insassen werden verletzt.	Tod möglich	ja: durch Prüfungen möglich	7	
8	Eingeschlossen werden in der Kabine	Störung in Steuerung, Antrieb oder Sensorik: Kabine bleibt im Schacht stecken. Notruf funktioniert nicht. Insassen ersticken oder erleiden Hitzschlag (im Sommer, bei Glasaufzügen) oder verdursten bei längerem Aufenthalt.	Tod möglich bei längerem Aufenthalt oder Hitze	ja: defekte Steuerung, Notruf	6	

Schritt 7 Überprüfung anderer Arbeitsmittelarten unter anderen Einsatzbedingungen

Sind alle Verlaufsszenarien des betrachteten Systemszenarios einer Risikobeurteilung unterzogen, ist zu prüfen, ob ein weiteres Systemszenario einer solchen Risikobeurteilung zu unterziehen ist. Dies kann erforderlich sein, wenn erwartet wird, dass andere Arbeitsmittel- bzw. Anlagenarten unter anderen Einsatzbedingungen zu anderen Gefahrenlagen führen, die eine differenziertere Betrachtung bezüglich des Bedarfs an besonderen Expertenprüfungen oder möglicher Boni erfordern bzw. ermöglichen.

In diesem Fall sind die Schritte 2 bis 6 für diese Konstellationen ebenfalls durchzuführen. Erst wenn dies verneint wird, sind aus den Ergebnissen der Anwendung der Methodik für jede Arbeitsmittel- bzw. Anlagenart ggf. unter Berücksichtigung spezifischer Einsatzbedingungen Anforderungen an die Prüfungen und Boni festzulegen.

4 Ableitung von Anforderungen

Die Ergebnisdarstellung der Anwendung liefert hierfür eine differenzierte Übersicht zum Spektrum der Arbeitsmittel bzw. Anlagen und den mit ihnen unter bestimmten Einsatzbedingungen verbundenen Gefahren. Aus der Anwendung der Methodik können im Rahmen der Konsensfindung im Ausschuss für Betriebssicherheit Anforderungen an Expertenprüfungen abgeleitet werden.

Zunächst ist orientiert an einem Prüfkonzept (vgl. Tabelle 10) festzulegen, welche Prüfstufe erforderlich ist. Damit wird auch festgelegt, ob für einen Arbeitsmittel- oder Anlagentyp besonderen Expertenprüfungen (Stufe 2 oder 3) grundsätzlich erforderlich sind. Erforderlichenfalls sind weitere Anforderungen an die Prüfungen durch unabhängige Experten festzulegen (Prüfinhalte, Prüffristen, Qualifikation des Prüfers, ggf. Differenzierung nach Arbeitsmittelarten oder Einsatzbedingungen).

Tabelle 10: Konzept zur Prüfung von Arbeitsmitteln und Anlagen

Stufe	Prüfer (Anforderungen)	Anlässe/Fristen	Inhalte
0	Bediener (unterwiesen)	täglich vor und während Benutzung	Kontrolle auf offensichtliche Mängel und Funktion
1	befähigte und beauftragte Person (intern; für Prüfung erforderliche Kenntnisse; fachlich weisungsfrei)	Vorgeschriebene Anlässe; Festlegung durch Betreiber aufgrund sicherheitstechnischer Bewertung / Gefährdungsbeurteilung	Ordnungs- und Funktionsprüfung
2	Sachverständiger (intern / extern; unabhängig, Fachkunde; Ausstattung; Akkreditierung oder Zertifizierung)	vorgeschriebene Anlässe und maximale Fristen	Technische Prüfung; Systemprüfung; (Ordnungs- und Funktionsprüfung)
3	Prüfstelle (zugelassene Überwachungsstelle) (extern; Sonderfall: Prüfer von Unternehmen); unabhängig, Fachkunde; Ausstattung; Akkreditierung oder Zertifizierung)	vorgeschriebene Anlässe und maximale Fristen	Technische Prüfung; Systemprüfung; (Ordnungs- und Funktionsprüfung)

Weitere Festlegungen betreffen präventive Maßnahmen („Boni“), die eine Reduzierung der Anforderungen an besondere Prüfungen durch unabhängige Experten ermöglichen, sowie konkrete Anforderungen an diese Maßnahmen. Schließlich ist abzuwägen, welche Erleichterungen bei Nachweis dieser präventiven Maßnahmen gewährt werden können:

- Ersatz der vorgeschriebenen Prüfungen durch Prüfungen auf einer niedrigeren Prüfstufe (entspricht einer Reduzierung der Anforderungen an den Prüfer, sodass die Prüfungen z. B. auch durch Hersteller im Rahmen von Wartungsverträgen, betriebsinterne Experten oder ggf. besonders befähigte Personen erfolgen können)
- Verlängerung von Prüffristen
- Wegfall von Prüfanlässen für Expertenprüfungen

- Modifizierung von Prüfinhalten (z. B. Ordnungs- oder Systemprüfung statt technischer Prüfung)

5 Formulare

Formular „Risikobeurteilung“ (3. bis 6. Schritt)

Systemszenario:						
Ereignis		Verlaufsszenario	Kritische Schadensschwere erreicht?	Beeinflussbar durch Prüfung?	Eintrittswahrscheinlichkeit	Anmerkungen
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Formular „Eintrittswahrscheinlichkeit und Boni“ (5. und 6. Schritt)

Verlaufsszenario							
EWS ohne Boni		Erläuterungen			Boni	Anforderungen	EWS mit Boni
Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen	E1				C1		
Verschleiß / Ermüdung	E2				C2		
Menschliche Zuverlässigkeit	E3				C3		
Gefahr erkennen und verhindern / ausweichen	E4				C4		
Exposition	E5				C5		
Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Sicherheit					C6		