

Umfassende systematische Auswertung von Störfällen und sonstigen Ereignissen in industriellen Anlagen, insbesondere mit Auswirkungen auf die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft

Abschlussbericht

TEXTE 52/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 59 303 0
FB000458

Umfassende systematische Auswertung von Störfällen und sonstigen Ereignissen in industriellen Anlagen, insbesondere mit Auswirkungen auf die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft

Abschlussbericht

von

Dr. Babette Fahlbruch
TÜV NORD EnSys GmbH & Co.KG, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co.KG
Unter den Linden 17
10117 Berlin

Abschlussdatum:

August 2020

Redaktion:

Fachgebiet III 2.3
Anlagensicherheit Michael
Kleiber

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Mitarbeiter am Projekt

Das Projekt wurde unter Mitarbeit der folgenden Personen durchgeführt:

- ▶ Dr. Oliver Braaß, TÜV NORD EnSys
- ▶ Dr. Inga Meyer, TÜV NORD EnSys
- ▶ Dr. Michael Zacher, TÜV NORD EnSys
- ▶ Erika Moch, TÜV NORD Systems
- ▶ Thomas Andreas Stephan, TÜV NORD Systems
- ▶ Damien Fabre, INERIS
- ▶ Chabane Mazri, INERIS

Kurzbeschreibung: Umfassende systematische Auswertung von Störfällen und sonstigen Ereignissen in industriellen Anlagen, insbesondere mit Auswirkungen auf die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft

Die Ziele dieses Vorhabens sind die Verbesserung der Anlagensicherheit und die Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik durch kontinuierliches Lernen aus Ereignissen und Beinahe-Ereignissen in industriellen Anlagen. Hierdurch sollen Ereignisse verhindert bzw. ihre Auswirkungen begrenzt werden.

In diesem Sinne wurden in diesem Vorhaben geeignete und relevante Ereignisse aus nationalen und internationalen Ereignisdatenbanken ausgewählt. 14 dieser ausgewählten Ereignisse wurden ganzheitlich und vertieft analysiert unter Berücksichtigung der Ergebnisse des UBA-Forschungsvorhabens „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1). Insgesamt wurden 166 beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert, die sieben Schwerpunkte zugeordnet werden konnten: betriebliche Regeln, systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen, Anlagenänderungen (Design), verstärkte Aufsicht/Sanktionen, direkte Unterweisungen von Fremdfirmen, Verantwortung des Betreibers und Alterungsmanagement/Nachrüstung. Diese Schwerpunkte konnten anhand der Ergebnisse aus der ZEMA-Datenbank an den nicht vertieft analysierten Ereignissen validiert werden. Für diese Schwerpunkte wurden vier generelle Maßnahmenvorschläge, die weiter spezifiziert wurden, zu den folgenden Themen abgeleitet: Regelwerksergänzungen zu diversen Themen, unzureichende Umsetzung von Regelwerksanforderungen, systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen und Implementierung eines industrieweiten Lernens aus Betriebserfahrungen.

Alle Zwischen- und Endergebnisse wurden mit dem UBA und dem KAS AS-ER diskutiert und abgestimmt.

Abstract: Comprehensive systematic analysis of accidents and other events in industrial plants, particularly with an impact on the general public or the neighborhood

The objective of this project is to improve plant safety and to update the state of the (safety) technology through continuous learning from events and near-events in industrial plants. It is intended to prevent events or limit their effects.

With this in mind, suitable and relevant events were selected from national and international event databases. 14 of these selected events were analysed holistically and in depth, taking into account the results of the UBA research project "Event analysis to update the state of the art" (FKZ 3713 43 313 1). A total of 166 contributing factors/causes were identified, which could be assigned to seven priorities: operational rules, systematic and structured risk/hazard analyses, plant changes (design), increased supervision/sanctions, direct instruction of contractors, responsibility of the operator and aging management/retrofit. These priorities could be validated based on the results of the ZEMA database by the events that were not analysed in detail. Four general measures, which were further specified, were derived for these priorities on the following topics: extensions to rules on various topics, inadequate implementation of requirements, systematic and structured risk/hazard analyses and implementation of industry-wide learning from operating experience.

All interim and final results were discussed and coordinated with the UBA and the KAS AS-ER.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	12
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	15
Zusammenfassung.....	18
Summary	27
1 Einleitung	35
2 Ereignisauswahl.....	36
2.1 Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse.....	36
2.1.1 Kriterienkatalog für die Auswahl von Ereignissen aus den Datenbanken	36
2.2 Auswahl und Festlegung der zu verwendenden Datenbanken	37
2.2.1 Screening anhand der Kategorien	38
2.2.2 Eigentliche Auswahl der Ereignisse	41
3 Analyse der Ereignisse.....	43
3.1 Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion.....	43
3.1.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA Datenbank.....	43
3.1.2 Analyseergebnis	45
3.1.2.1 Informationssammlung.....	45
3.1.2.2 Ereignisablauf.....	47
3.1.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen.....	58
3.1.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen ...	60
3.1.3 Schlussfolgerungen	61
3.2 Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	61
3.2.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	61
3.2.2 Analyseergebnis.....	62
3.2.2.1 Informationssammlung.....	62
3.2.2.2 Ereignisablauf.....	62
3.2.2.3 Identifikation beitragender Faktoren.....	73
3.2.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen ...	75
3.2.3 Schlussfolgerungen	76
3.3 Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel.....	76
3.3.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	76
3.3.2 Analyseergebnis	77
3.3.2.1 Informationssammlung.....	77

3.3.2.2	Ereignisablauf.....	77
3.3.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen.....	81
3.3.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen ...	82
3.3.3	Schlussfolgerungen	83
3.4	Explosion in einem Kaltbandwerk	83
3.4.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	83
3.4.2	Analyseergebnis	84
3.4.2.1	Informationssammlung.....	84
3.4.2.2	Ereignisablauf.....	84
3.4.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen.....	90
3.4.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen ...	91
3.4.3	Schlussfolgerungen	92
3.5	Brand in einem Galvanikbetrieb.....	92
3.5.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	92
3.5.2	Analyseergebnis	93
3.5.2.1	Informationssammlung.....	93
3.5.2.2	Ereignisablauf.....	93
3.5.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen.....	96
3.5.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen ...	97
3.5.3	Schlussfolgerungen	98
3.6	Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage	98
3.6.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	98
3.6.2	Analyseergebnis	99
3.6.2.1	Informationssammlung.....	99
3.6.2.2	Ereignisablauf.....	100
3.6.2.3	Identifikation beitragender Faktoren.....	106
3.6.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen .	106
3.6.3	Schlussfolgerungen	107
3.7	Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie ..	107
3.7.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	107
3.7.2	Analyseergebnis	108
3.7.2.1	Informationssammlung.....	108
3.7.2.2	Ereignisablauf.....	108
3.7.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen.....	115

3.7.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen	116
3.7.3	Schlussfolgerungen	116
3.8	Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb	117
3.8.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	117
3.8.2	Analyseergebnis	118
3.8.2.1	Informationssammlung	118
3.8.2.2	Ereignisablauf	118
3.8.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen	128
3.8.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen	131
3.8.3	Schlussfolgerungen	131
3.9	Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager	132
3.9.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	132
3.9.2	Analyseergebnis	132
3.9.2.1	Informationssammlung	132
3.9.2.2	Ereignisablauf	133
3.9.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen	136
3.9.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen	137
3.9.3	Schlussfolgerungen	137
3.10	Explosion in einem Rohöl-Tanklager	138
3.10.1	Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank	138
3.10.2	Analyseergebnis	138
3.10.2.1	Informationssammlung	138
3.10.2.2	Ereignisablauf	139
3.10.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen	145
3.10.2.4	Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen	146
3.10.3	Schlussfolgerungen	146
3.11	Zerknall eines Stickstoffbehälters	147
3.11.1	Ereignisbeschreibung	147
3.11.2	Analyseergebnis	147
3.11.2.1	Informationssammlung	147
3.11.2.2	Ereignisablauf	147
3.11.2.3	Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen	159
3.11.3	Schlussfolgerungen	160
3.12	Phosgene release in a foam and paint production plant	161

3.12.1	Event description from Aria database	161
3.12.2	Results of the analysis	163
3.12.2.1	Information collection	163
3.12.2.2	Course of the event	163
3.12.2.3	Identification of contributing factors/causes	169
3.12.3	Conclusions	170
3.13	Series of events regarding a hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant	170
3.13.1	Event description from Aria database	170
3.13.2	Results of the analysis	173
3.13.2.1	Information collection	173
3.13.3	Course of the event	173
3.13.3.1	Identification of contributing factors/causes	177
3.13.4	Conclusions	179
3.14	Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant	179
3.14.1	Event description from Aria database	179
3.14.2	Results of the analysis	185
3.14.2.1	Information collection	185
3.14.2.2	Course of the event	185
3.14.2.3	Identification of contributing factors/causes	192
3.14.3	Vergleichbare Ereignisse:	193
3.14.4	Conclusions	193
3.15	Erstes Fazit nach den vertieften Analysen	193
4	Vorschläge zur Verbesserung der Anlagensicherheit	196
4.1	Beantwortung der Projektfragen	196
4.2	Ergebnisdarstellung und Diskussion	197
5	Integration konkreter Beispiele in generalisierte Erkenntnisse	199
5.1	Betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit)	199
5.2	Systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen (Auslegungs-prinzipien, Entscheidungsfindung)	200
5.3	Anlagenänderungen (Design), Management of Change	202
5.4	Verstärkte Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach)	203
5.5	Direkte Unterweisungen von Fremdfirmen	203
5.6	Verantwortung des Betreibers	203
5.7	Alterungsmanagement/Nachrüstung	205

6	Schlussfolgerungen und Maßnahmenvorschläge	225
7	Quellenverzeichnis	227

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ursachen der Ereignisse aus nationalen Datenbanken (N=234)	39
Abbildung 2:	Anlagenarten aus nationalen Datenbanken (N=234)	39
Abbildung 3:	Anlagenarten aus internationalen Datenbanken (N=136)	40
Abbildung 4:	Personenschäden nach Anlagenart aus nationalen Datenbanken (N=234)	40
Abbildung 5:	Anzahl der Umweltschäden nach Anlagenart aus nationalen Datenbanken (N=234)	41
Abbildung 6:	Zeit-Akteur-Diagramm im Überblick - Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion	56
Abbildung 7:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion	59
Abbildung 8:	Zeit-Akteur-Diagramm - Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	71
Abbildung 9:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen für Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	74
Abbildung 10:	Zeit-Akteur Diagramm – Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel	80
Abbildung 11:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel	81
Abbildung 12:	Zeit-Akteur Diagramm – Explosion in einem Kaltbandwerk	87
Abbildung 13:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion in einem Kaltbandwerk	90
Abbildung 14:	Zeit-Akteur Diagramm – Brand in einem Galvanikbetrieb	94
Abbildung 15:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Brand in einem Galvanikbetrieb	96
Abbildung 16:	Zeit-Akteur-Diagramm im Überblick - Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage	103
Abbildung 17:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage	104
Abbildung 18:	Zeit-Akteur-Diagramm im Überblick - Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie	111
Abbildung 19:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie	114
Abbildung 20:	Zeit-Akteur Diagramm – Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb	124

Abbildung 21:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb.....	127
Abbildung 22:	Zeit-Akteur Diagramm – Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager	133
Abbildung 23:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager	135
Abbildung 24:	Zeit-Akteur Diagramm – Explosion in einem Rohöl-Tanklager	141
Abbildung 25:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion in einem Rohöl-Tanklager.....	144
Abbildung 26:	Zeit-Akteur Diagramm – Zerknall eines Stickstoffbehälters ..	154
Abbildung 27:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Zerknall eines Stickstoffbehälters	157
Abbildung 28:	Time-actor-diagram - phosgene release in a foam and paint production plant	165
Abbildung 29:	Identified contributing factors/causes - phosgene release in a foam and paint production plant	168
Abbildung 30:	Time-actor diagram with contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant	174
Abbildung 31:	Identified contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant.....	176
Abbildung 32:	Time-actor diagram with contributing factors/causes - Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant ...	188
Abbildung 33:	Identified contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant.....	190
Abbildung 34:	Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen über alle analysierten Ereignisse	192
Abbildung 35:	Ursachen für Brände in Galvaniken.....	214
Abbildung 36:	Ursachen bei Ereignissen in Biogasanlagen.....	217

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion	48
Tabelle 2:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren - Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	64
Tabelle 3:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel.....	78
Tabelle 4:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion in einem Kaltbandwerk.....	84

Tabelle 5:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Brand in einem Galvanikbetrieb 93
Tabelle 6:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Chlorgasfreisetzung in einer Chemieranlage 100
Tabelle 7:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie 108
Tabelle 8:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb 118
Tabelle 9:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager 132
Tabelle 10:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion in einem Rohöl-Tanklager 138
Tabelle 11:	Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Zerknall eines Stickstoffbehälters 146
Tabelle 12:	Event schedule with contributing factor-/causes – phosgene release in a foam and paint production plant 162
Tabelle 13:	Event schedule with contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant 172
Tabelle 14:	Event schedule with contributing factor-/causes - Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant 184
Tabelle 15:	Ereignisse mit Faktor/Ursache Betriebliche Regeln 204
Tabelle 16:	Ereignisse mit Faktor/Ursache Risiko-/Gefahrenanalysen 205
Tabelle 17:	Ereignisse mit Faktor/Ursache Anlagenänderung (Design), Management of Change 209
Tabelle 18:	Ereignisse mit Faktor/Ursache Alterungsmanagement, Nachrüstung, Instandsetzung 210
Tabelle 19:	Brandereignisse in Galvaniken 215
Tabelle 20:	Ereignisse in Biogasanlagen 218

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AISV	Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
ARIA	Analysis, Research and Information on Accidents
AS-ER	Ausschuss Ereignisauswertung
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
BA	Betriebsanweisung
BAGAP	Betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan
BARPI	Bureau for Analysis of Industrial Risks and Pollutions
Bem.	Bemerkung
Beschr.	Beschreibung
BetrSichV	Betriebssicherheits-Verordnung
BG	Berufsgenossenschaft
BG RCI	Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ClO₂	Chlordioxid
CRO	Control room operator
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Nennweite
EMR	Elektrotechnik, Messtechnik und Regeltechnik
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
Ereig.	Ereignis
evtl.	eventuell
Fa.	Firma
FKZ	Forschungskennzahl
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
Gew.	Gewichtung

gem.	gemäß
ggf.	gegebenenfalls
H₂S	Schwefelwasserstoff
Handl.	Handlung
HAZOP	Hazard and Operability
HEL	Heizöl
HSE	Health-Safety-Environment
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
KKS	Kathodischer Korrosionsschutz
KW	Kalenderwoche
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
LKS	Lokaler Korrosionsschutz
LOTOTO	Log out/tag out/try out
MA	Mitarbeiter
MAHB	Major Accidents Hazards Bureau
MMI	Man-machine-interface
MOC	Manager on call
MSR	Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NB	Nota bene
o.ä.	oder ähnliche
Org.	Organisation
PF	Partnerfirma
PFA	Perfluoralkoxy-Polymere
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PLS	Prozessleitsystem
PLT	Prozessleittechnik
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU	Polyurethane
Ref.	Referenz
RISCAD	Relational Information System for Chemical Accidents Database
R&I-Fließbild	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild
SEL	Standorteinsatzleiter
SMS	Short Message Service
SOL	Sicherheit durch Organisationales Lernen
StörfallV	Störfallverordnung

TDI	Toluylendiisocyanat
TOP	Tagesordnungspunkt
TRAS	Technische Regel für Anlagensicherheit
TRBS	Technische Regel für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UEG	Untere Explosionsgrenze
VC	Vinylchlorid
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
z.B.	zum Beispiel
ZDDP	Zinc dialkyldithiophosphates
ZEMA	Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen
z. T.	zum Teil

Zusammenfassung

Die Ziele dieses Vorhabens sind die Verbesserung der Anlagensicherheit und die Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik durch kontinuierliches Lernen aus Ereignissen und Beinahe-Ereignissen in industriellen Anlagen. Hierdurch sollen Ereignisse verhindert bzw. ihre Auswirkungen begrenzt werden.

In diesem Sinne wurden in dem Vorhaben aus der Analyse ausgewählter Ereignisse Hinweise auf Möglichkeiten zur Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik und damit der Anlagensicherheit aufgezeigt.

Die in diesem Vorhaben bearbeiteten Aufgaben können grob in die Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse aus nationalen und internationalen Ereignisdatenbanken sowie die ganzheitliche und vertiefte Analyse eines Teils der ausgewählten Ereignisse unter Berücksichtigung der Arbeitshilfen, die der Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge“ (AISV) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) auf seiner 137. Sitzung (vom 05. bis 07. Juli 2016 in Kiel) verabschiedet hat und die auf den Ergebnissen des UBA-Forschungsvorhabens „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1) (Fahlbruch & Meyer, 2017) basieren, unterteilt werden. Im Anschluss an die Analysen sollen Vorschläge zur Verbesserung der Ereignisuntersuchung und -analyse und der Anlagensicherheit entwickelt werden. Zusätzlich wurden die Ergebnisse der ganzheitlichen und vertieften Analysen anhand der ZEMA-Daten validiert.

Auswahl geeigneter Ereignisse und Datenbanken

In der ersten Projektphase wurden Datenbanken über Ereignisse ausgewertet und darüber Ereignisse identifiziert, die z. B. wegen Ereignishäufungen im Hinblick auf Art der Anlage, Art der Abläufe und Ursachen, wegen der Höhe der potenziellen Auswirkungen und/oder wegen ihrer potenziellen Übertragbarkeit auf andere Anlagen für die Vermeidung von Störfällen¹ oder Begrenzung der Auswirkungen besonders relevant sind. In dieser Projektphase wurden:

- ▶ ein Kriterienkatalog zur Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse² entwickelt,
- ▶ die im Projekt zu verwendenden Datenbanken ausgewählt und festgelegt und
- ▶ 10 bis 15 Ereignisse für die vertiefte Analyse vorgeschlagen.

Alle Schritte erfolgten in Abstimmung mit dem UBA und dem AS-ER.

Aus den Ergebnissen des Screenings wurden beispielhafte Ereignisse herausgefiltert. Es wurden Ereignisse ausgewählt, die entweder drei Ursachenkategorien hatten oder bei denen es mehr als zehn Verletzte gab oder die Bevölkerung betroffen war oder Umweltschäden resultierten. Diese Herangehensweise führte zu der folgenden Vorauswahl:

- ▶ ZEMA: 25 Ereignisse
- ▶ ProcessNet: 21 Ereignisse

¹ In der Leistungsbeschreibung wird die Vermeidung von Störfällen benannt, allerdings sollte es besser die Vermeidung von (Betriebs-)Störungen heißen, um keine Vorauswahl zutreffen. Die wenigsten Störungen sind Störfälle.

² Ereignis wird hier als Oberbegriff verstanden und bezieht Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs und Störfälle mit ein.

- ▶ AS-ER: 1 Ereignis
- ▶ ARIA: 101 Ereignisse
- ▶ RISCAD: 75 Ereignisse
- ▶ StepChange: 2 Ereignisse
- ▶ E-mars: 16 Ereignisse

Als Ergebnis sollten maximal 15 Ereignisse resultieren, die Beispielcharakter haben und aus denen Lehren für die Entwicklung der Anlagensicherheit gezogen werden können. Daher wurde die Auswahl weiter reduziert, indem Ereignisse mit ähnlichen Ursachen wie beispielsweise Verwechselung von Anschlüssen, ausgeschlossen wurden. Es resultierte eine Liste von 33 Ereignissen, die nach einer Diskussion mit dem UBA weiter reduziert wurde. Auf diese Weise konnte die Auswahl auf die folgenden 21 Ereignisse eingeschränkt werden:

1. Brand in einem Tanklager für Heizöl und Benzin
2. Explosion in einem Kaltbandwerk
3. Explosion in einem Rohöl-Tanklager
4. Verpuffung mit anschließendem Brand in einer Anlage zur Herstellung von Basiskunststoffen
5. Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager
6. Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb
7. Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie
8. Brand in einem Galvanikbetrieb
9. Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage
10. Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage
11. Entzündung pyrophorer Katalysator-Reste bei Apparatebefahrung
12. Säureaustritt bei Inbetriebnahme
13. Durchgehareaktion wegen Umgebung einer PLT-Schutzeinrichtung
14. Verunreinigungen aus dem Abgassystem starten Polymerisation
15. Hydrogen explosion in hydrochloric acid tank
16. Explosion and fire in petrochemical establishment
17. Explosion of tank truck with chemical waste
18. Phosgene leak on a valve of relaxation
19. Chlorine leak in an aluminum plant
20. Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant
21. Leakage of hydrochloric acid on a chemical platform

Diese 21 Ereignisse wurden dem AS-ER auf seiner 28.Sitzung am 21.03.2018 vorgestellt und diskutiert.

Es wurde beschlossen, zunächst alle 21 Ereignisse in der Auswahl zu belassen und erst zu prüfen, ob man zu diesen Ereignissen genügend Informationen für eine vertiefte Auswertung erhalten kann. Sobald dies für 10 Ereignisse möglich ist, sollte die Recherche zu den übrigen Ereignissen eingestellt werden. Für maximal drei Ereignisse außerhalb Deutschlands und mindestens ein Ereignis mit Außenwirkung auf Personen bzw. die Umwelt sollte eine vertiefte Analyse durchgeführt werden.

Da in der Auswahl der 21 Ereignisse keines aus Deutschland mit Außenwirkung auf Personen enthalten war, wurde die Liste anschließend um die folgenden Ereignisse mit Personenschäden ergänzt, die zu den 33 ursprünglich ausgewählten gehörten:

22. Stofffreisetzung, Brand und Explosion in einem Tanklager
23. Freisetzung von Salzsäure in einer Chlorsilananlage
24. Freisetzung von Chlorwasserstoff an einem Reaktorkessel
25. Freisetzung von Toluyldiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion

Die so ausgewählten Ereignisse wurden als Basis für die vertieften ganzheitlichen Analysen in der zweiten Projektphase verwendet.

Analyse der Ereignisse

In der zweiten Projektphase wurden dreizehn der ausgewählten 25 Ereignisse umfassend und systematisch analysiert, um den Kenntnisstand über Abläufe und das Verständnis der Ursachen dieser Ereignisse zu vertiefen und generalisierte Hinweise auf Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik und damit zur Verbesserung der Anlagensicherheit zu erarbeiten. In der 29. Sitzung des AS-ER am 26.09.2018 wurde der Zwischenstand präsentiert und nach möglichen weiteren Ereignissen mit Lernpotenzial gefragt. Es wurde ein weiteres Ereignis vorgeschlagen, das von der zuständigen Behörde zur Verfügung gestellt wurde. Weil es ein verhältnismäßig komplexes Ereignis mit hohem Sachschaden war, wurde es in die Analysen einbezogen.

Da die Informationen in den Datenquellen für eine umfassende und systematische Ereignisanalyse nicht ausreichten, wurde versucht, ergänzende Informationen bei Behörden zu erhalten. Die jeweiligen Behörden sollten möglichst in die systematische Auswertung der betreffenden Ereignisse einbezogen werden. Daher wurden in einem Schreiben die jeweiligen Aufsichtsbehörden der Länder um Mithilfe gebeten. Es wurde ein kurzer Überblick über das Projekt gegeben und um die Kontaktdaten der bearbeitenden Behördenmitarbeiter gebeten. Alle angeschriebenen Behörden reagierten positiv, so dass Gespräche mit den jeweiligen Bearbeitern geführt und weitere Informationen erlangt werden konnten.

Die Durchführung der Ereignisanalysen orientierte sich methodisch an den Arbeitshilfen, die der Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge“ (AISV) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) auf seiner 137. Sitzung (vom 05. bis 07. Juli 2016 in Kiel) verabschiedet hat und die auf den Ergebnissen des UBA-Forschungsvorhaben „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1) basieren (Fahlbruch & Meyer, 2017).

Alle Ereignisse wurden mit SOL 3.0 analysiert. Die Ereignisabläufe wurden graphisch dargestellt, entsprechend der Vorgaben aus den Verfahren aus dem UBA-Forschungsvorhaben „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1). Die Analysen aus den deutschen Datenbanken wurden vom TÜV NORD, die drei aus den internationalen Datenbanken von INERIS durchgeführt. Folgende Ereignisse wurden analysiert und dokumentiert:

1. Freisetzung von Toluyldiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion
2. Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage
3. Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel
4. Explosion in einem Kaltbandwerk
5. Brand in einem Galvanikbetrieb
6. Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage
7. Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie
8. Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb
9. Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager
10. Explosion in einem Rohöl-Tanklager
11. Zerknall eines Stickstoffbehälters

12. Phosgene release in a foam and paint production plant
13. Series of events regarding a hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant
14. Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant

In einem Teil der Ereignisse kristallisiert sich eine erhöhte Kontrolle durch Aufsichtsbehörden über Einhaltung von Anforderungen aus TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV als Verbesserungspotenzial heraus.

Bei allen Ereignissen zeichnet sich ein Regelungsdefizit ab, dass sowohl die innerbetrieblichen Anweisungen und Unterlagen betrifft als auch eindeutige Festlegung der Verantwortlichkeiten für Kontrollen von der Umsetzung von Auflagen, offenen Punkten, Empfehlungen, etc.

Bei einem Großteil der Ereignisse zeigen sich Defizite in der systematischen Risiko- oder Gefahrenanalyse, die sich sowohl im Faktor Entscheidungsfindung als auch im Faktor Auslegungsprinzipien widerspiegeln.

Häufig ist auch der Umgang mit Fremdfirmen unsystematisch, nicht ausreichend reguliert und diese werden nicht ausreichend kontrolliert.

Bei einem Teil der Ereignisse ist die Auslegung der Anlagen oder einzelner Systeme unzureichend.

Betrachtet man die identifizierten beitragenden Faktoren/Ursachen über alle Ereignisse so ergibt sich folgendes Bild:

Insgesamt wurden 166 beitragende Faktoren aus 18 Kategorien identifiziert (Rangreihe nach der Auftretenshäufigkeit):

1. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen
2. Entscheidungsfindung
3. Auslegungsprinzipien (Design)
4. Abweichung von Vorgaben
5. Organisation und Management
6. Qualifikation und Training
7. Kontrolle
8. Kommunikation
9. Arbeitsausführung
10. Arbeitsbedingungen
11. Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung
12. Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur
13. Verantwortlichkeit und Zuständigkeit
14. Gutachter und Behörden
15. Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement
16. Technische Komponenten
17. Einwirkung von außen
18. Ergonomische Aspekte der Informationsgestaltung

Die Faktoren/Ursachen konnten sieben Schwerpunkten zugeordnet werden:

- betriebliche Regeln,

- ▶ systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen³,
- ▶ Anlagenänderungen (Design),
- ▶ verstärkte Aufsicht/Sanktionen,
- ▶ direkte Unterweisungen von Fremdfirmen,
- ▶ Verantwortung des Betreibers und
- ▶ Alterungsmanagement/Nachrüstung.

Beantwortung der Projektfragen

Bei den 14 vertieft analysierten Ereignissen lagen ausreichende Informationen aus der Ereignisuntersuchung sowie für die Ereignisanalyse vor. Allerdings war die Datenlage nicht bei allen 26 vorausgewählten Ereignissen gegeben, so dass ausreichende Information letztendlich auch zu einem der Auswahlkriterien wurde.

Die am häufigsten identifizierten beitragenden Faktoren/Ursachen waren „Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen“, Entscheidungsfindung (fehlende Risiko-/Gefahrenanalyse)“ und „Auslegungsprinzipien (Design)“.

Zu der Frage der räumlichen Ausdehnung von Auswirkungen ergaben die Analysen keine eindeutige Antwort, in der Mehrzahl der untersuchten Ereignisse beschränkten sich die Auswirkungen allerdings auf das Betriebsgelände und die unmittelbare Nachbarschaft.

In den Ereignisanalysen ließen sich keine Best Practice erkennen, sondern nur das Fehlen solcher, da der Betrachtungsrahmen und die Datenbasis nicht für die Erkennung von Best Practice ausgelegt waren.

Es konnten übertragbare bzw. verallgemeinerbare Erkenntnisse zur Entstehung oder Verhinderung von Ereignissen sowie deren Folgen abgeleitet werden, die im Folgenden dargestellt werden.

Gleiches gilt für generelle Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Ereignisauswertung in Deutschland, zur Vermeidung von Ereignissen sowie zur Verbesserung der Anlagensicherheit und zur Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik, die ebenfalls im Folgenden dargestellt werden. Im Hinblick auf die Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik wurden insbesondere auch die Möglichkeiten verbesserter technischer Maßnahmen (einschließlich geänderter Prozesstechnik) betrachtet, sofern es Hinweise in den Ereignisanalysen gab.

Als Ergebnisse aus den Ereignisanalysen wurde weiterhin festgestellt, dass:

- ▶ sich bei allen Ereignissen ein Regelungsdefizit abzeichnete, das sowohl die innerbetrieblichen Anweisungen und Unterlagen betrifft als auch die eindeutige Festlegung der Verantwortlichkeiten für Kontrollen von der Umsetzung von Auflagen, offenen Punkten, Empfehlungen etc.;

³ Im Folgenden wird der Begriff Gefahrenanalyse verwendet, wenn es um die Anlage geht, der Begriff Gefährdungsbeurteilung wird verwendet, wenn es um Arbeitsschutzbelange gibt, die bei einem Ereignis jedoch auch die Anlagensicherheit tangieren können.

- ▶ sich bei einem Großteil der Ereignisse Defizite in der systematischen Risiko- oder Gefahrenanalyse zeigten, die sich sowohl im Faktor Entscheidungsfindung als auch im Faktor Auslegungsprinzipien widerspiegeln;
- ▶ häufig auch der Umgang mit Fremdfirmen unsystematisch, nicht ausreichend reguliert war und diese nicht ausreichend kontrolliert wurden;
- ▶ bei einem Teil der Ereignisse die Auslegung der Anlagen oder einzelner Systeme unzureichend war;
- ▶ sich in einem Teil der Ereignisse eine erhöhte Kontrolle durch Aufsichtsbehörden über Einhaltung von Anforderungen aus TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV als Verbesserungspotenzial herauskristallisierte.

Daher wurden die ersten Verbesserungsvorschläge abgeleitet:

- ▶ Betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit)
- ▶ Systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen (Auslegungsprinzipien, Entscheidungsfindung)
- ▶ Anlagenänderungen (Design), Management of Change
- ▶ Verstärkte Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach)
- ▶ Direkte Unterweisungen von Fremdfirmen
- ▶ Verantwortung des Betreibers fokussieren/festschreiben
- ▶ Alterungsmanagement/Nachrüstung

Die Ergebnisse der Ereignisanalysen sowie die identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten wurden auf der 30. Sitzung des AS-ER am 20.03.2019 vorgestellt und diskutiert, insbesondere die Problematik der Verantwortlichkeiten bei der Einbindung von Fremdfirmen. Das BMU regte an, Erkenntnisse mit anlagenübergreifender Bedeutung aus Ereignissen anhand konkreter Beispiele darzustellen. Diese Anregung des BMU wurde aufgegriffen und für jede identifizierte Verbesserungsmöglichkeit wurden die in den Ereignissen identifizierten korrespondierenden Faktoren/Ursachen benannt.

Validierung der Ergebnisse

Um die Generalisierbarkeit der identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten zu validieren, wurden über die Anforderungen in der Leistungsbeschreibung hinausgehend alle Ereignisse aus der ZEMA-Datenbank der letzten 10 Jahre im Hinblick auf die genannten Verbesserungsmöglichkeiten untersucht. Wenn Ursachen oder Faktoren benannt wurden, die den in diesem Vorhaben identifizierten entsprachen oder wenn Abhilfemaßnahmen und Vorkehrung gegen Vermeidung, die den identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten ähnelten, wurden die jeweiligen Ereignisse ausgewählt. Es zeigte sich, dass die identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten durch weitere Ereignisse belegt werden konnten, wie im Folgenden dargestellt ist.

Für den Verbesserungsvorschlag bezüglich betrieblicher Regeln fanden sich neun weitere Ereignisse in der ZEMA-Datenbank. Für die Verbesserungsmöglichkeit „Risiko- und

Gefahrenanalysen“ konnten in der ZEMA-Datenbank 22 weitere Ereignisse identifiziert werden. Für die identifizierte Verbesserungsmöglichkeit „Anlagenänderung (Design), Management of Change konnten acht weitere Ereignisse in der ZEMA-Datenbank gefunden werden. Für die Verbesserungsmöglichkeit „Verantwortung des Betreibers“ konnten in der ZEMA-Datenbank keine Beispiele gefunden werden. Dies ist auch damit zu begründen, dass die fehlende Verantwortungsübernahme eines Betreibers nur aus vertieften Analysen herauskristallisiert werden kann, nicht aus einfachen Ereignisberichten. Für das identifizierte Feld „Alterungsmanagement, Nachrüstung, Instandsetzung“ konnten 22 Beispielsfälle in der ZEMA-Datenbank gefunden werden.

Sowohl bei den vertieften Analysen als auch bei der Analyse der ZEMA-Datenbank fiel auf, dass es neben den oben genannten Schwachstellen bzw. Verbesserungsmöglichkeit eine Reihe von Ereignissen gab, die vergleichbare Ursachen hatten. Aus diesen Ereignissen wurde offensichtlich nicht gelernt, so dass eine weitere Verbesserungsmöglichkeit nämlich Erfahrungsrückfluss identifiziert wurde. Dies wird an zwei Beispielen verdeutlicht: Brände in Galvaniken und Ereignisse in Biogasanlagen. 75% der Ursachen von Bränden in Galvaniken sind technische Defekte an elektrischen Einrichtungen.

Nicht ganz so deutlich zeigt sich der fehlende Erfahrungsrückfluss bei den Biogasanlagen. Hier fallen besonders zwei Kategorien auf: Sturmschäden, die in der Regel zum Reißen der Folie/des Dachs führen und Reparaturmaßnahmen, die nicht sachgerecht durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse der zusätzlichen Analysen wurden auf der 31. Sitzung des AS-ER am 18.09.2019 vorgestellt. In der Diskussion mit dem AS-ER wurden deutlich, dass die zusätzlichen Analysen weitere Erkenntnisse geliefert haben.

Es wurden besonders die folgenden Punkte diskutiert:

- ▶ Regelwerksergänzungen,
- ▶ Umsetzung des Regelwerks,
- ▶ Aufsicht und
- ▶ Lernen aus Betriebserfahrung.

Zu den Regelwerksergänzungen wurde vor allem angemerkt, dass neben notwendigen Ergänzungen wie beispielsweise beim Alterungsmanagement vor allem eine bessere Strukturierung und konsequente Umsetzung der Regelwerksanforderungen notwendig wären. Es wurde auch diskutiert, ob es einen Unterschied zwischen großen, mittleren und kleinen Unternehmen hinsichtlich der Umsetzung von Regelwerksanforderungen gibt. Allerdings kann diese Untersuchung nicht nur anhand der ZEMA-Daten durchgeführt werden, da es dort keine Angaben zur Unternehmensgröße gibt. Zusätzlich war diese Art der Untersuchungen nicht im Rahmen/Umfang des vorliegenden Forschungsvorhabens enthalten. Gegebenenfalls wäre dies ein Thema für ein nachfolgendes Projekt, das auch mit der möglichen Umsetzungsproblematik verbunden werden könnte. Warum werden Regelwerksanforderungen nicht konsequent umgesetzt, gibt es Unterschiede bezüglich der Unternehmensgröße oder Branche und wie kann die Umsetzung gefördert werden?

Zur Aufsicht (graded approach) wurde über das dreistufige Prüfsystem berichtet, bei dem Mängel in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Gefährliche Mängel, die sofort abgestellt werden müssen,

2. Schwere Mängel, die eine Nachprüfung erfordern,
3. Mängel, die bis zur nächsten Prüfung zu beheben sind.

Es wäre zu prüfen, ob ein vergleichbarer dreistufiger Ansatz für die Aufsicht übertragen werden kann.

Für das industrieweite Lernen aus Betriebserfahrung wurde um eine Skizze oder ein Konzept gebeten. In Anlehnung an die Weiterleitungsnachrichten in der Kerntechnik wurde ein mögliches Vorgehen vom Forschungsnehmer skizziert.

Aufgrund der Diskussion im AS-ER wurden die Vorschläge nochmals umstrukturiert.

Maßnahmenvorschläge

Insgesamt hat das vorliegende Vorhaben aufgezeigt, dass bei der systematischen und vertieften Analyse der Ereignisse grundsätzliche Schwachstellen identifiziert werden konnten. Die zusätzlichen Analysen haben die Ergebnisse des Vorhabens validiert. Generalisierbare Schwachstellen sind vor allem:

- ▶ Unzureichende betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit),
- ▶ Unzureichende systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen,
- ▶ Fehler bei Anlagenänderungen (Design), Management of Change,
- ▶ Nicht ausreichende verstärkte Aufsicht und fehlende Sanktionen bei Abweichungen (graded approach),
- ▶ Lücken bei der direkten Einweisung/Unterweisungen von Fremdfirmen,
- ▶ Unzureichende Verantwortungsübernahme des Betreibers für Erfüllung der Regelwerksanforderungen,
- ▶ Unzureichendes Alterungsmanagement/fehlende Nachrüstungen und
- ▶ Unzureichendes industrieweites Lernen aus Betriebserfahrungen.

Daher werden die folgenden Maßnahmenvorschläge zu Erhöhung der Anlagensicherheit abgeleitet:

1. Es sollten Regelwerksergänzungen zu den folgenden Themen geprüft und umgesetzt werden:
 - a. Wie kann die Aufsicht verstärkt werden, gibt es Möglichkeiten der Übertragung eines dreistufigen Prüfkonzpts für die Aufsicht und wie können Regelwerksabweichungen konsequent und zeitnah sanktioniert werden?
 - b. Das Regelwerk sollte Anforderungen zu Einweisungen/Unterweisungen von Fremdfirmen mit Angaben zu notwendiger Tiefe und Breite der Einweisung (Gefährdungen, betriebliches Regelwerk) sowie Teilnahmepflichten (Einweisung aller Fremdfirmenmitarbeiter, nicht nur der Vorarbeiter) enthalten.
 - c. Strukturierte Darstellung im Regelwerk zur Verantwortung des Betreibers und Folgen für die fehlende Verantwortungsübernahme
 - d. Alterungsmanagement und notwendige Nachrüstungen, bei denen Anforderungen an Prüfumfänge, -intervalle und Anpassungen an den Stand der (Sicherheits)Technik vorgehen werden

- e. Der Mindestumfang des notwendigen betrieblichen Regelwerks mit Zeiträumen der notwendigen Revision, mit Anforderungen an Prüfpflicht oder Zustimmungspflicht sollte benannt werden.
2. Zur notwendigen Umsetzung von Regelwerksanforderungen sollte ggf. in einem aufzulegenden Vorhaben geprüft werden, warum Regelwerksanforderungen nicht konsequent umgesetzt werden, ob es Unterschiede bezüglich der Unternehmensgröße oder Branche gibt und wie die Umsetzung gefördert werden kann?
3. Die Forderung von systematischen und strukturierten Risiko-/Gefahrenanalysen nicht nur bei Genehmigungen von Anlagen, sondern auch bei Anlagenänderungen (auch bei Änderungen ohne Genehmigungspflicht) oder Änderungen des Betriebsablaufs sollte konsequenter umgesetzt und überprüft werden.
4. Ein industrieweites Lernen aus Betriebserfahrungen sollte beispielsweise in Anlehnung an die Weiterleitungsnachrichten der Kerntechnik eingeführt werden, das die folgenden Elemente/Bausteine enthält:
 - a. Prüfung der gemeldeten Ereignisse auf Lernpotenziale durch eine neutrale Stelle (z.B. Universität, Gutachterorganisation, Ausschuss der KAS)
 - b. Analyse von 2-3 Ereignissen im Jahr mit Lernpotenzial durch die neutrale Stelle
 - c. Aufarbeitung der Ereignisse und Formulierung von Empfehlungen durch die neutrale Stelle
 - d. Versendung an die Aufsichtsbehörden, die diese Ereignisaufbereitung inklusive der Empfehlungen an die Betreiber weiterleiten
 - e. Stellungnahme der Betreiber zu den Empfehlungen hinsichtlich Übertragbarkeit und Umsetzung von Maßnahmen
 - f. Prüfen der Betreiberstellungnahmen durch die zuständige Aufsichtsbehörde und gegebenenfalls Anordnung von Maßnahmen

Durch die Umsetzung der Maßnahmenvorschläge kann eine Verbesserung der Anlagensicherheit in Deutschland erreicht werden.

Summary

The objective of this project is to improve plant safety and to update the state of the (safety) technology through continuous learning from events and near-events in industrial plants. It is intended to prevent events or limit their effects.

In this sense, in the project, the analysis of selected events provided information on ways to improve the state of the (safety) technology and thus the process safety.

The tasks dealt with in this project can be roughly structured into the selection of suitable and relevant events from national and international event databases, as well as the holistic and in-depth analysis of some of the selected events. For the analysis the work aids were taken into account that the committee “Plant-related immission control/accident prevention” (AISV) of the federal/state working group on pollution control (LAI) decided at its 137th meeting in Kiel), based on the results of the UBA research project “Event analysis to update the state of the art” (FKZ 3713 43 313 1). Following the analyses, suggestions for improving event investigation and analysis and plant safety are to be developed. In addition, the results of the comprehensive and in-depth analyses were validated using the ZEMA data.

Selection of suitable events and databases

In the first project phase, databases of events were evaluated. By this events were identified for example because of the frequency of events with regard to the type of plant, type of processes and causes, the level of the potential effects and/or because of their potential transferability to other plants for the prevention of accidents or limitation of the effects that are particularly relevant. In this project phase:

- ▶ a catalog of criteria for the selection of suitable and relevant events was developed,
- ▶ the databases to be used in the project were selected and defined and
- ▶ 10 to 15 events were suggested for in-depth analysis.

All steps were carried out in coordination and discussion with the UBA and the AS-ER.

Exemplary events were filtered out as a result of the screening. Events were selected that either had three categories of causes, or had more than ten injuries, or affected the surrounding population or resulted in environmental damage. This approach led to the following pre-selection:

- ▶ ZEMA: 25 events
- ▶ ProcessNet: 21 events
- ▶ AS-ER: 1 event
- ▶ ARIA: 101 events
- ▶ RISCAD: 75 events
- ▶ StepChange: 2 events
- ▶ E-mars: 16 events

A maximum of 15 events should result, which are exemplary and from which lessons learned can be withdrawn for the development of plant safety. For this reason, the selection was further

reduced by excluding events with similar causes, such as interchanging of connections. A list of 33 events resulted, which was further reduced after a discussion with the UBA. In this way, the selection could be limited to the following 21 events:

1. Fire in a tank farm for heating oil and petrol
2. Explosion in a cold strip mill
3. Explosion in a crude oil tank farm
4. Deflagration with subsequent fire in a plant for the production of basic plastics
5. Release of a hydrocarbon mixture at a tank farm
6. Explosion and release of substances in an organic chemical plant
7. Release of acid water and naphtha with subsequent firing in a mineral oil refinery
8. Fire in an electroplating shop
9. Chlorine gas release in a chemical plant
10. Deflagration with subsequent fire in a fermentation product warehouse in a biogas plant
11. Inflammation of pyrophoric catalyst residues when running on apparatus
12. Acid leakage during commissioning
13. Runaway reaction due to the environment of a PCT protective device
14. Contaminants from the exhaust system start polymerization
15. Hydrogen explosion in hydrochloric acid tank
16. Explosion and fire in petrochemical establishment
17. Explosion of tank truck with chemical waste
18. Phosgene leak on a valve of relaxation
19. Chlorine leak in an aluminum plant
20. Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant
21. Leakage of hydrochloric acid on a chemical platform

These 21 events were presented and discussed to the AS-ER at its 28th meeting on March 21, 2018.

It was decided to initially leave all 21 events in the selection and first to check whether enough information about these events can be obtained for an in-depth evaluation. As soon as this is possible for 10 events, research on the other events should be stopped. For a maximum of three events outside of Germany and at least one event with external impact on the population outside the plant, an in-depth analysis should be carried out.

Since the selection of the 21 events did not include any from Germany with external effects on the population outside the plant, the list was subsequently supplemented by the following events with personal injury, which were among the 33 originally selected events:

22. Substance release, fire and explosion in a tank farm
23. Release of hydrochloric acid in a chlorosilane plant
24. Release of hydrogen chloride in a reactor boiler
25. Release of toluene diisocyanate (TDI) in a foam production plant

The events selected in this way were used as the basis for the in-depth, holistic analyses in the second project phase.

Analysis of events

At the second project phase, thirteen of the selected 25 events were analysed comprehensively and systematically in order to deepen the level of knowledge about processes and the understanding of the causes of these events and generalized information on possibilities and necessities to improve the state of the (security) technology and thus to develop the plant safety. In the 29th meeting of the AS-ER on September 26, 2018, the interim status was presented and

questioned according possible further events with learning potential. Another event was proposed and made available by the competent authority. Because of its relatively complexity and its high property damage, this event was included in the analyses.

As the information in the data sources were not sufficient for a comprehensive and systematic event analysis, attempts were made to obtain additional information from the authorities. The respective authorities should be included in the systematic evaluation of the relevant events if possible. The respective supervisory authorities of the federal states were therefore asked to attend the evaluation. In written form a brief overview of the project was given and the contact details of the processing authorities were requested. All of the authorities contacted responded positively, so that discussions with the respective processors could be engaged and further information could be obtained.

The conduction of the event analyses was methodically based on the work aids that the Committee "Plant-related Immission Protection/Accident Prevention" (AISV) of the Federation/Länder Working Group on Immission Protection (LAI) adopted at its 137th meeting (from July 5 to 7, 2016) in Kiel) based on the results of the UBA research project "Event analysis to update the state of the art" (FKZ 3713 43 313 1).

All events were analysed using SOL 3.0. The event sequences were shown graphically, in accordance with the specifications of the procedures from the UBA research project "Event analysis to update the state of the art" (FKZ 3713 43 313 1). The analyses from the German databases were carried out by TÜV NORD, the three from international databases by INERIS. The following events were analysed and documented:

1. Release of tolylene diisocyanate (TDI) in a foam production plant
2. Deflagration with subsequent fire in a fermentation product warehouse in a biogas plant
3. Fire in a tank farm for heating oil and diesel
4. Explosion in a cold strip mill
5. Fire in an electroplating shop
6. Chlorine gas release in a chemical plant
7. Release of acid water and naphtha with subsequent firing in a mineral oil refinery
8. Explosion and release of substances in an organic chemical plant
9. Release of a hydrocarbon mixture at a tank farm
10. Explosion in a crude oil tank farm
11. Slamming of a nitrogen canister
12. Phosgene release in a foam and paint production plant
13. Series of events regarding a hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant
14. Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant

In some of the events, increased control by supervisory authorities regarding compliance with the requirements of TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV emphasizes as potential for improvement.

In all events, there were found deficits in regulations (internal instructions and documents as well as clear definition of the responsibilities for controls of the implementation of requirements, open points, recommendations, etc.)

In most of the events, deficits are evident in the systematic risk or hazard analysis, which are reflected in both the decision-making factor and the design principles factor.

Dealing with external companies is often unsystematic, under-regulated and they are not adequately controlled.

For some of the events, the design of the plants or individual systems is insufficient.

Looking at the identified contributing factors/causes across all events, the following picture emerges:

A total of 166 contributing factors were identified (ranked according to frequency of occurrence):

1. Rules, procedures and documents
2. Decision making
3. Design
4. Non-compliance with rules
5. Organization and management
6. Qualification and training
7. Control and supervision
8. Communication
9. Execution of work
10. Working conditions
11. Operation scheduling and work preparation
12. Influences from team and organizational culture
13. Accountability and responsibility
14. Regulatory and consulting bodies
15. Quality assurance and quality management
16. Technical component
17. Environmental influence
18. Ergonomic aspects of information design

The factors/causes could be assigned to seven priorities:

- ▶ operational rules,
- ▶ systematic and structured risk/hazard analyses,
- ▶ changes of systems (design),
- ▶ increased supervision/sanctions,
- ▶ direct instruction of contractors,
- ▶ responsibility of the operator and
- ▶ Aging management/retrofitting.

Answering the project questions

The 14 events analysed in depth provided sufficient information from the event investigation and for the event analysis. However, the data situation was not available for all 26 pre-selected events, so that sufficient information ultimately became one of the selection criteria.

The most frequently identified contributing factors/causes were "rules, procedures and documents", decision-making (lack of risk/hazard analysis)" and "design".

According to the question on the local expansion of impacts the answer is not in an unambiguous. In the majority of the events investigated the impacts were limited to the plant and the immediate vicinity.

No best practice could be identified in the event analyses, only the absence of best practice, since the framework and the database were not designed for the recognition of best practice.

It was possible to derive transferable or generalizable findings on the occurrence or prevention of events and their consequences, which are presented below.

The same applies to general conclusions and recommendations for event evaluation in Germany, for preventing events and for improving the state of the (safety) technology, which are also presented below. With regard to the improvement of the state of the (safety) technology, the possibilities of improved technical measures (including changed process technology) were considered in particular, provided there were indications in the event analyses.

The results of the event analyses also indicated that:

- ▶ a deficit in regulations emerged for all events, which affects both the internal instructions and documents as well as the clear definition of the responsibilities for controls on the implementation of requirements, open points, recommendations, etc.;
- ▶ deficits in the systematic risk or hazard analysis were evident in most of the events, which are reflected both in the “decision-making” factor and in the factor “design”;
- ▶ often dealing with external companies was unsystematic, under-regulated and they were not adequately controlled;
- ▶ the design of the plants or single systems was insufficient for some of the events;

In some of the events, increased control by supervisory authorities to ensure compliance with requirements from TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV emerged as improvement potential.

Therefore, the first suggestions for improvement were derived:

- ▶ Operational rules (completeness, timeliness, correctness)
- ▶ Systematic and structured risk/hazard analyses (design principles, decision-making)
- ▶ Plant changes (design), management of change
- ▶ Increased supervision/sanctions in the event of deviations (graded approach)
- ▶ Direct instruction from external companies
- ▶ Focus/fix the responsibility of the operator
- ▶ Aging management/retrofitting

The results of the event analyses as well as the identified improvement opportunities were presented and discussed at the 30th meeting of the AS-ER on March 20, 2019, in particular the problem of responsibilities in the integration of external companies. The BMU suggested to present the generic results (across all event) with specific examples from single events. This suggestion from the BMU was taken up and for each identified improvement opportunity the corresponding factors/causes identified in the events were added.

Validation of the results

In addition to the requirements in the service description and in order to validate the generalizability of the identified improvement possibilities, all events from the ZEMA database of the past 10 years were investigated with regard to these improvement possibilities. If causes or factors that correspond to those identified in this project or if remedial measures and precautions

against reoccurrence that were similar to the identified improvement possibilities were identified, the respective events were selected. It was shown that the identified opportunities for improvement could be proven by further events, as shown below.

There were nine further events in the ZEMA database for the suggestion for improvement regarding operational rules. 22 additional events were identified in the ZEMA database for the improvement option "risk and hazard analysis". For the identified improvement option "plant change (design)/management of change, eight further events could be found in the ZEMA database. No examples could be identified in the ZEMA database for the improvement option "responsibility of the operator". This is due to the fact that an operator's lack of responsibility can only be crystallized from in-depth analyses, not from simple event reports. For the identified field "aging management, retrofitting, repair", 22 example cases were found in the ZEMA database.

From the in-depth analyses as well as from the analysis of the ZEMA database, it was noticed that there were a number of events in addition to the above-mentioned weak points or opportunities for improvement, which had comparable causes. Obviously, no lessons were learned from these events, so that a further improvement option, namely feedback from experience, was identified. This is illustrated by two examples: fires in electroplating facilities and events in biogas plants. 75% of the causes of fires in electroplating facilities were caused by technical defects in electrical equipment.

The lack of experience in the biogas plants is less clear. Two categories are particularly noticeable here: storm damage, which generally leads to tearing of the roof, and repair measures that were not carried out properly.

The results of the additional analyses were presented at the 31st meeting of the AS-ER on September 18, 2019. In the discussion with the AS-ER it became clear that the additional analyses have provided further insights that are also in accordance with the experience reports of the §29a experts.

The following points were discussed in particular:

- ▶ additions to regulations,
- ▶ implementation of the regulations,
- ▶ supervision and
- ▶ learning from operational experience.

Regarding the amendments to the regulations, it was noted that in addition to the necessary additions, such as aging management, a better structuring and consistent implementation of the requirements of the regulations would be necessary. It was also discussed whether there is a difference between large, medium-sized and small companies with regard to the implementation of regulatory requirements. However, this investigation cannot only be carried out using the ZEMA data, since there is no information on the size of the company. In addition, this type of investigation was not included in the scope of the present research project. If necessary, this would be a topic for a subsequent project, which could also be focused on the possible implementation problems. Why are regulations not implemented consistently, are there differences in company size or industry and how can the implementation be promoted?

For the supervision (graded approach), the three-level test system was reported, in which defects are classified into three categories:

1. Dangerous defects that must be remedied immediately
2. Serious defects that require review
3. Defects that must be remedied by the next inspection.

It should be examined whether a comparable three-level approach to supervision can be transferred.

A sketch or a concept was requested for industry-wide learning from operational experience. Based on the learning system in the German nuclear sector, a possible procedure was outlined by the researcher.

Due to the discussion in the AS-ER, the proposals were restructured again.

Proposed measures

Overall, the present project has shown that fundamental weaknesses could be identified in the systematic and in-depth analysis of the events. The additional analyses have validated the results of the project. The main weaknesses that can be generalized are:

- ▶ inadequate operational rules (completeness, timeliness, correctness),
- ▶ inadequate systematic and structured risk/hazard analyses,
- ▶ failures in system changes (design), management of change,
- ▶ inadequate increased supervision and lack of sanctions in the event of deviations (graded approach),
- ▶ gaps in direct instruction/instruction of contractors,
- ▶ inadequate assumption of responsibility by the operator for fulfilling the regulatory requirements,
- ▶ inadequate aging management/lack of retrofitting and
- ▶ inadequate industry-wide learning from operational experience.

The following proposed measures to increase plant safety are therefore derived:

1. Supplements to the rules on the following topics should be checked and implemented:
 - a. How can supervision be strengthened, are there options for transferring a three-stage inspection concept for supervision, and how can deviations from the regulations be sanctioned consistently and promptly?
 - b. The rules and regulations should contain requirements for instructions/instructions of contractors with information on the necessary depth and breadth of instructions (hazards, company regulations) as well as obligations to participate (instructions of all external company employees, not only the preparatory work).
 - c. Structured representation in the regulations on the responsibility of the operator and consequences for the lack of responsibility
 - d. Aging management and necessary retrofitting, in which requirements for inspection scopes, intervals and adjustments to the state of the art are provided
 - e. The minimum scope of the necessary operational rules with periods of the necessary revision, with requirements for inspection or approval requirements should be specified.
2. For the necessary implementation of regulatory requirements, it should be investigated in a project why regulatory requirements are not consistently implemented, whether

there are differences in company size or industry and how the implementation can be promoted.

3. The required systematic and structured risk/hazard analyses not only when approving plants, but also when changing plants or changing operational processes should be implemented and checked more consistently.
4. Industry-wide learning from operating experience should be introduced, for example, based on the learning system of nuclear technology, which contains the following elements/building blocks:
 - a. Examination of the reported events for learning potential by a neutral body (e.g. university, expert organization, KAS committee)
 - b. Analysis of 2-3 events per year with learning potential by a neutral body
 - c. Processing of the events and formulation of recommendations by the neutral body
 - d. Distribution to the supervisory authorities, who forward this event investigations including the recommendations to the operator
 - e. Response of the operators on the recommendations regarding transferability and implementation of measures
 - f. Checking of the operator's statements by the responsible supervisory authority and, if necessary, ordering measures.

By implementing the proposed measures, plant safety can be improved in Germany.

1 Einleitung

Die Ziele dieses Vorhabens sind die Verbesserung der Anlagensicherheit und die Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik durch kontinuierliches Lernen aus Ereignissen und Beinahe-Ereignissen in industriellen Anlagen. Hierdurch sollen Ereignisse verhindert bzw. ihre Auswirkungen begrenzt werden.

In diesem Sinne sollen in dem Vorhaben aus der Analyse ausgewählter Ereignisse Hinweise auf Möglichkeiten zur Fortschreibung des Standes der (Sicherheits-)Technik und damit der Anlagensicherheit aufgezeigt werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens und die daraus abgeleiteten Empfehlungen sollen zudem zur Verbesserung der Qualität der Informationen für den Ausschuss "Ereignisauswertung" (AS-ER) der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) und die Zentralen Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA) des Umweltbundesamtes (UBA) dienen. Damit wird auch eine Verbesserung der Qualität bei der Erfüllung von Verpflichtungen nach Art. 18 Seveso-III-Richtlinie und § 19 Abs. 3 StörfallV angestrebt.

Die in diesem Vorhaben zu bearbeitenden Aufgaben können grob unterteilt werden in die Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse aus nationalen und internationalen Ereignisdatenbanken sowie die ganzheitliche und vertiefte Analyse eines Teils der ausgewählten Ereignisse unter Berücksichtigung der Arbeitshilfen, die der Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge“ (AISV) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) auf seiner 137. Sitzung (vom 05. bis 07. Juli 2016 in Kiel) verabschiedet hat und die auf den Ergebnissen des UBA-Forschungsvorhabens „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1) (Fahlbruch & Meyer, 2017) basieren. Im Anschluss an die Analysen sollen Vorschläge zur Verbesserung der Ereignisuntersuchung und -analyse und der Anlagensicherheit entwickelt werden.

In der wissenschaftlichen Auseinandersetzung besteht Konsens darüber, dass Analyseverfahren für Ereignisse und Beinahe-Ereignisse nach Stand der Technik ganzheitlich sein sollten (Fahlbruch & Carroll, 2011). Eine ganzheitliche Ereignisanalyse hat das Ziel, bei einem zu analysierenden Unfall unter Verwendung einer systematischen Vorgehensweise zu ermitteln, was passierte und warum es passierte. Dadurch ist es möglich, aus dem Unfall zu lernen und sicherheitsgerichtete Verbesserungen und Maßnahmen abzuleiten, die eine Wiederholung oder das Auftreten eines ähnlichen Ereignisses verhindern sollen. Als ganzheitlich wird eine Analyse bezeichnet, wenn sie Ursachen aus den Bereichen Technik, Organisation und Mensch sowie deren Wechselwirkungen zueinander berücksichtigt (Fahlbruch & Meyer, 2013).

2 Ereignisauswahl

In der ersten Projektphase sollten Quellen mit Informationen über Ereignisse ausgewertet und darüber ca. 15 Ereignisse identifiziert werden, die z. B. wegen Ereignishäufungen im Hinblick auf Art der Anlage, Art der Abläufe und Ursachen, wegen der Höhe der potenziellen Auswirkungen und/oder wegen ihrer potenziellen Übertragbarkeit auf andere Anlagen für die Vermeidung von Störfällen oder Begrenzung der Auswirkungen besonders relevant sind. In dieser Projektphase sollten folgende Schritte durchgeführt werden:

1. Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse
2. Beurteilung der Eignung der vorgeschlagenen Datenbanken als Quelle für zu betrachtende Ereignisse, Identifikation zusätzlicher Datenbanken, neben den in der Leistungsbeschreibung genannten, sowie Auswahl und Festlegung der im Projekt zu verwendenden Datenbanken
3. Auswahl und Vorschlag von ca. 15 Ereignissen
4. Abstimmung mit dem UBA und dem KAS-AS-ER
5. Erstellung des ersten Zwischenberichts

2.1 Entwicklung eines Kriterienkatalogs zur Auswahl geeigneter und relevanter Ereignisse

Zunächst wurde in Zusammenarbeit mit den Unterauftragnehmern INERIS in zwei Workshops (am 17.10.2017 und 23.10.2017) ein Kriterienkatalog für die Auswahl von Ereignissen, die typisch für besonders wichtige Ereignisgruppen sind, erarbeitet. Mögliche Kriterien für diese Auswahl können entsprechend der Leistungsbeschreibung beispielsweise sein:

- ▶ Ereignishäufungen im Hinblick auf Art der Anlage, Art der Abläufe und Ursachen.
- ▶ Ausmaß der potenziellen Auswirkungen.
- ▶ Bedeutung für die Weiterentwicklung des Standes der Sicherheitstechnik zur Vermeidung von Störfällen oder Begrenzung der Auswirkungen.
- ▶ Potenzial für die Übertragbarkeit von Erkenntnissen auf andere Anlagen in Deutschland.

Die ursprüngliche Liste der Kriterien wurde um weitere Kriterien ergänzt, so dass ein Entwurf des Kriterienkatalogs resultierte. Dieser wurde dann an die Teilnehmer der beiden Workshops versandt, um weitere Ergänzungen sowie eine Priorisierung vorzunehmen. Ziel war ein Katalog, der nicht zu detailliert sein sollte, aber dennoch die wichtigsten Kriterien für die Auswahl von Ereignissen enthält.

Dieser Kriterienkatalog wurde am 08. November 2017 mit Vertretern des UBA, des BUMB und des KAS-AS-ER diskutiert und abgestimmt.

Anschließend sollen anhand der abgestimmten Kriterien die Datenbanken, die in der Leistungsbeschreibung des Vorhabens genannt sind, nach relevanten Ereignissen durchsucht werden.

2.1.1 Kriterienkatalog für die Auswahl von Ereignissen aus den Datenbanken

I Ursachenkategorien/root causes

1. Unzureichende Risikoanalysen – nicht beachtete Risiken:
 - a. Zusammenwirken mit anderen Systemen/Anlagen/Betriebsbereichen etc. nicht betrachtet,

- b. „Unerwartete“ Risiken durch nicht gefährliche Stoffe (nach Anhang I StörfallV) (Lebensmittel, Holzverarbeitung, brennbare Stäube, brennbare Gase, Nanomaterialien) – Staubexplosionen, Baustoffe für Anlagen, Unkenntnis bezüglich Stoffeigenschaften,
- c. Energie- oder Medienausfall,
- d. Extremwetter (Starkregen, Überflutung, Schneefall, Wind/Böen etc.),
- e. Kein oder unzureichendes „Land-Use-Planning“/keine oder zu geringe Sicherheitsabstände zu Schutzobjekten.
- 2. Organisatorische Faktoren
 - a. Unzureichende Kompetenz bei Auslegung, Errichtung oder Betrieb,
 - b. kein Lernen aus externer Betriebserfahrung,
 - c. falsche Indikationen oder Boni/Anreize,
 - d. unzureichende Personalressourcen, ungeeignete Arbeitsvorbereitung/-planung,
 - e. ökonomischer Druck,
 - f. Verantwortungsverschiebung,
 - g. Betreiberwechsel,
 - h. betriebliches Regelwerk.
- 3. Anlagenänderungen
 - a. Auslegung,
 - b. Änderungen der Betriebsweise,
 - c. Sonderfahrweisen, An- und Abfahren,
 - d. Betreiberwechsel.
- 4. Fremdeinwirkung/Eingriffe Unbefugter/Einfluss von außen (Innen- und Außentäter)
 - a. Anschläge, Diebstahl,
 - b. gefälschte Materialien, Qualitätsmängel,
 - c. unzureichende Überwachung durch Aufsichtsbehörden und Sachverständige,
 - d. ökonomischer Druck.
- 5. inter-organisationale Aspekte
 - a. Wechselwirkungen/Interaktionen mit anderen Anlagen/Betrieben,
 - b. Fremdfirmen.
- 6. Schadensmechanismen wie Alterung, Verkrustungen/Verstopfungen/Druckaufbau
- 7. Unvollständige Reinigung/Kontamination/unerkannter Stoffübertritt
- 8. Menschliche Fehler/Bedienerfehler

II. Industrien/Anlagenarten

- 1. Biogas,
- 2. Galvaniken,
- 3. Abfallbehandlung,
- 4. Metallverarbeitung,
- 5. Energieerzeugung,
- 6. Sammelgenehmigungen, Mehrzweckanlagen, Vielstoffanlagen, auch Läger.

III. Auswirkungen auf Personen, Anlagen und Umwelt, Konsequenzen

- 1. Dominoeffekte
- 2. Reale und potenzielle Schäden (Personen, Anlagen, Umwelt)
- 3. Reale und potenzielle Freisetzungen

2.2 Auswahl und Festlegung der zu verwendenden Datenbanken

Die Eignung der vorgeschlagenen Datenbanken wurde zunächst beurteilt, indem anhand des Kriterienkatalogs diverse Suchen durchgeführt wurden. Der Hintergrund für dieses Vorgehen,

war die Annahme, dass eine Datenbank dann geeignet ist, wenn eine ausreichende Anzahl von Ereignissen mit Hilfe der Kriterien identifiziert werden kann. Die folgenden Datenbanken wurden in diesem Schritt durchsucht:

- ▶ eMARS-Datenbank des Major Accident Hazards Bureau (MAHB)
- ▶ ZEMA-Datenbank des UBA
- ▶ Ereignisdatenbank des KAS AS-ER
- ▶ ProcessNet-Ereignisdatenbank der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA) und Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)
- ▶ ARIA-Datenbank des Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI)
- ▶ RISCAD-Datenbank des National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
- ▶ Step Change in Safety-Datenbank UK Oil and GAS Industry Trade Association

In allen Datenbanken wurden ausreichend Ereignisse identifiziert. Auf Grund der Fülle der identifizierten Ereignisse wurde darauf verzichtet, weitere Datenbanken hinzuzuziehen.

Um geeignete Ereignisse für die umfassende und systematische Analyse auszuwählen, wurde in zwei Schritten vorgegangen, die im Folgenden weiter erläutert werden:

1. Screening anhand der Kategorien
2. Eigentliche Auswahl basierend auf den Screening-Ergebnissen

2.2.1 Screening anhand der Kategorien

Das erste Screening oder die Vorauswahl diente der Erhebung von Häufigkeiten und dem Erlangen eines Gesamtbildes hinsichtlich der Randbedingungen der aufgetretenen Ereignisse. Das Screening wurde für jede Datenbank getrennt hinsichtlich der Kategorien Ursachen, Auswirkungen und Anlagenart vorgenommen. Zusätzlich wurde noch die Kategorie Maßnahmen auf die Datenbanken angewendet. Die im Kriterienkatalog genannten Punkte dienten nicht als Suchworte, sondern als Umschreibung der Kategorie. Da jede Datenbank einen eigenen Satz von Deskriptoren aufweist, wurden die Suchworte datenbankspezifisch verwendet, d.h. die Suche wurde mit den Deskriptoren der jeweiligen Datenbank durchgeführt, die am besten inhaltlich den Auswahlkriterien entsprachen.

Aufgrund der sehr großen Anzahl der Ereignisse in der ARIA-Datenbank (6.136 für die Jahre 2012 bis 2016) wurde in diesem Fall darauf verzichtet, noch ältere Ereignisse auszuwählen. Ansonsten wurden die Jahre 2008 bis 2017 einbezogen.

Ergebnisse des Screenings

Im Folgenden werden die ermittelten Häufigkeiten für Ursachenkategorien (Abb. 1) und Anlagenart für die nationalen und internationalen Datenbanken (Abb. 2 und Abb. 3) dargestellt sowie die berichteten Personenschäden (Abb. 4) und Umweltschäden (Abb. 5) nach Anlagenart für die vorausgewählten Ereignisse aus den nationalen Datenbanken:

Abbildung 1: Ursachen der Ereignisse aus nationalen Datenbanken (N=234)

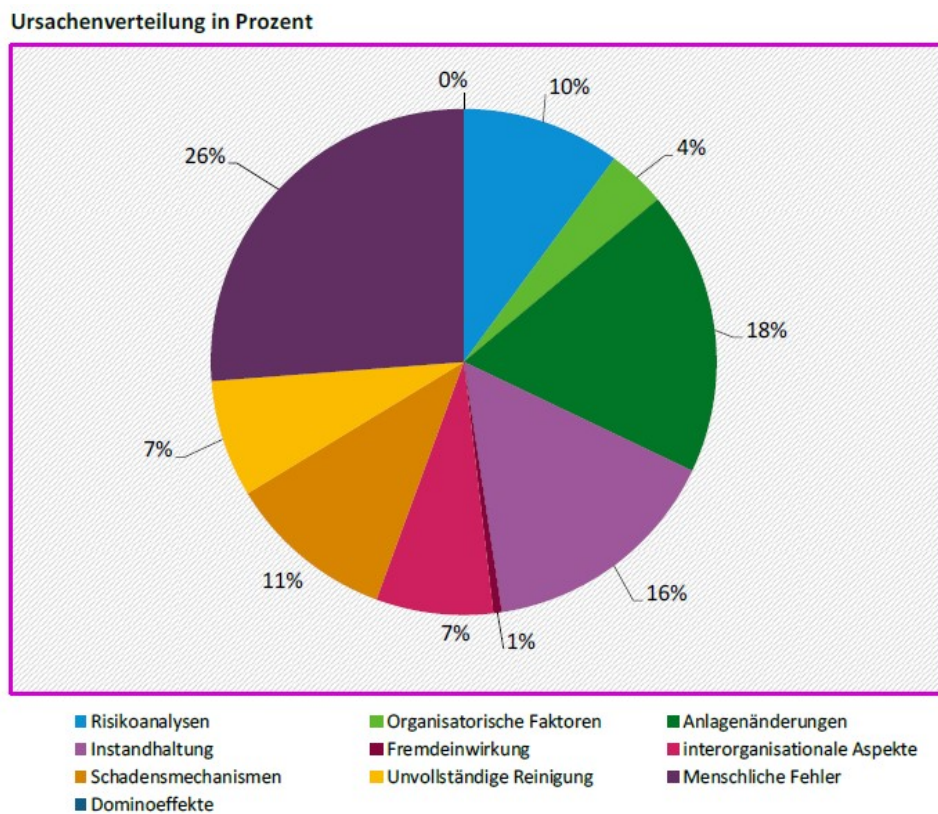


Abbildung 2: Anlagenarten aus nationalen Datenbanken (N=234)

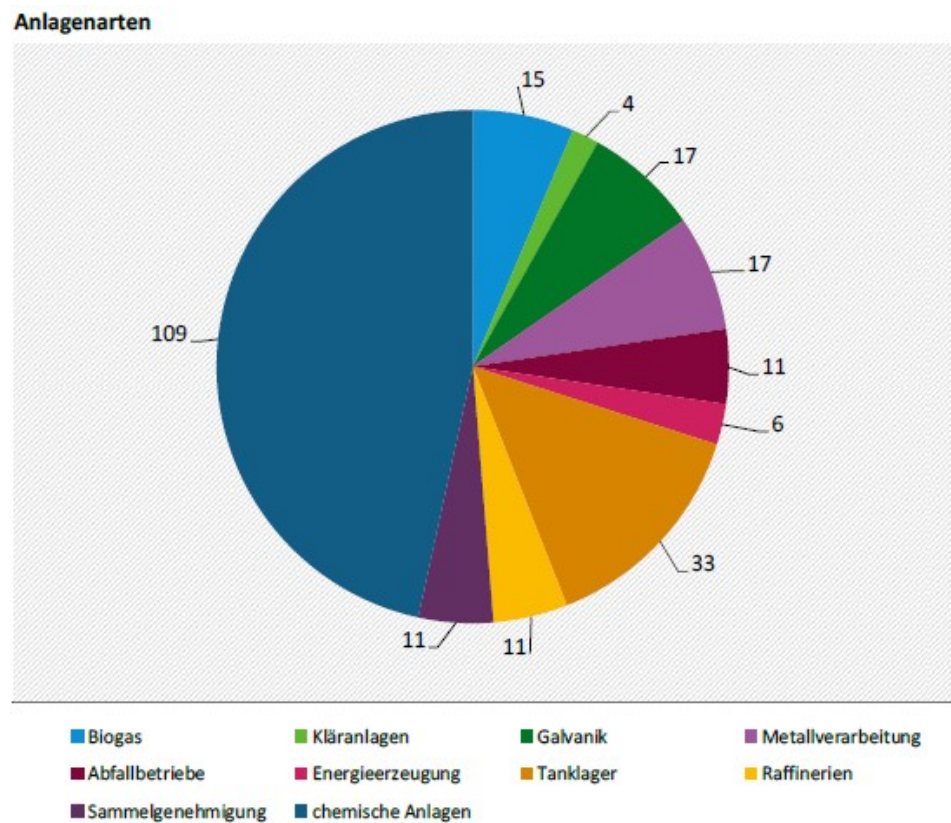


Abbildung 3: Anlagenarten aus internationalen Datenbanken (N=136)

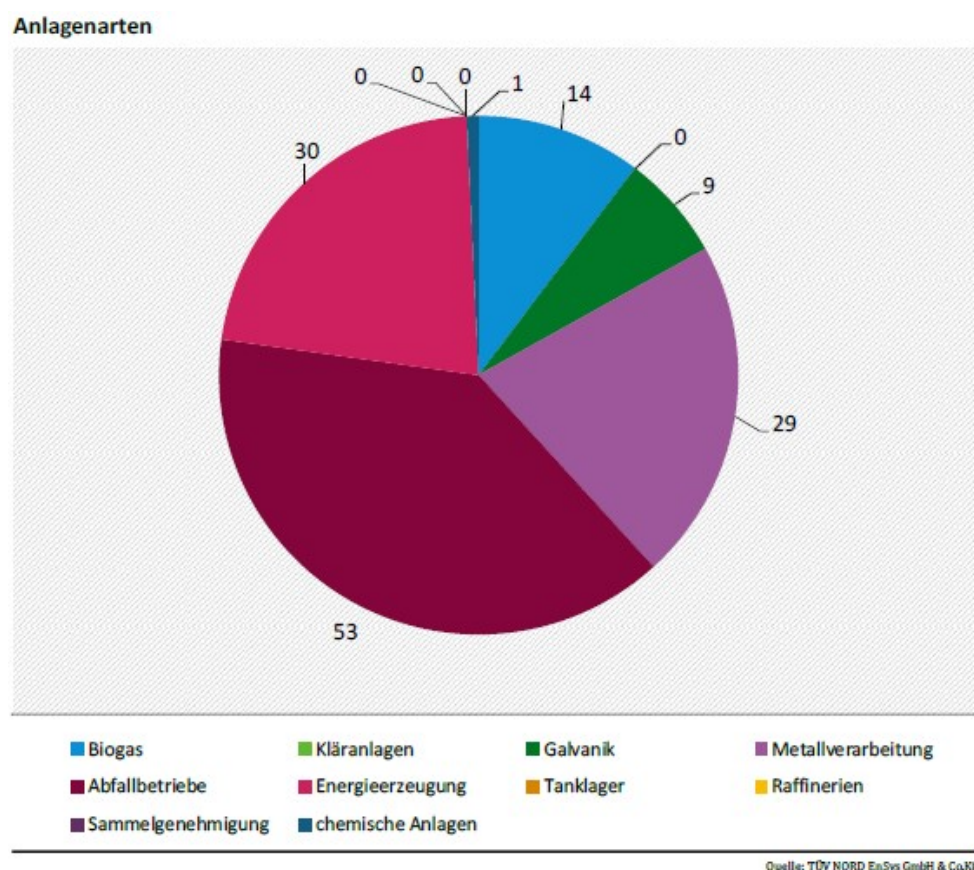


Abbildung 4: Personenschäden nach Anlagenart aus nationalen Datenbanken (N=234)

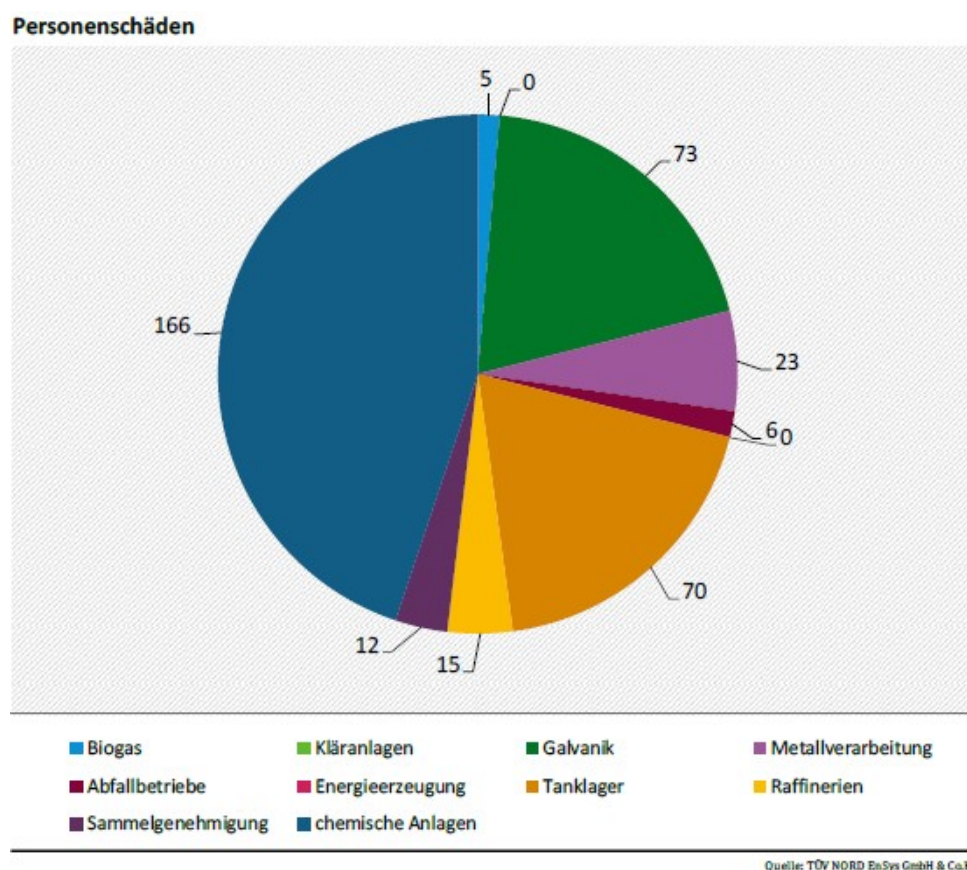
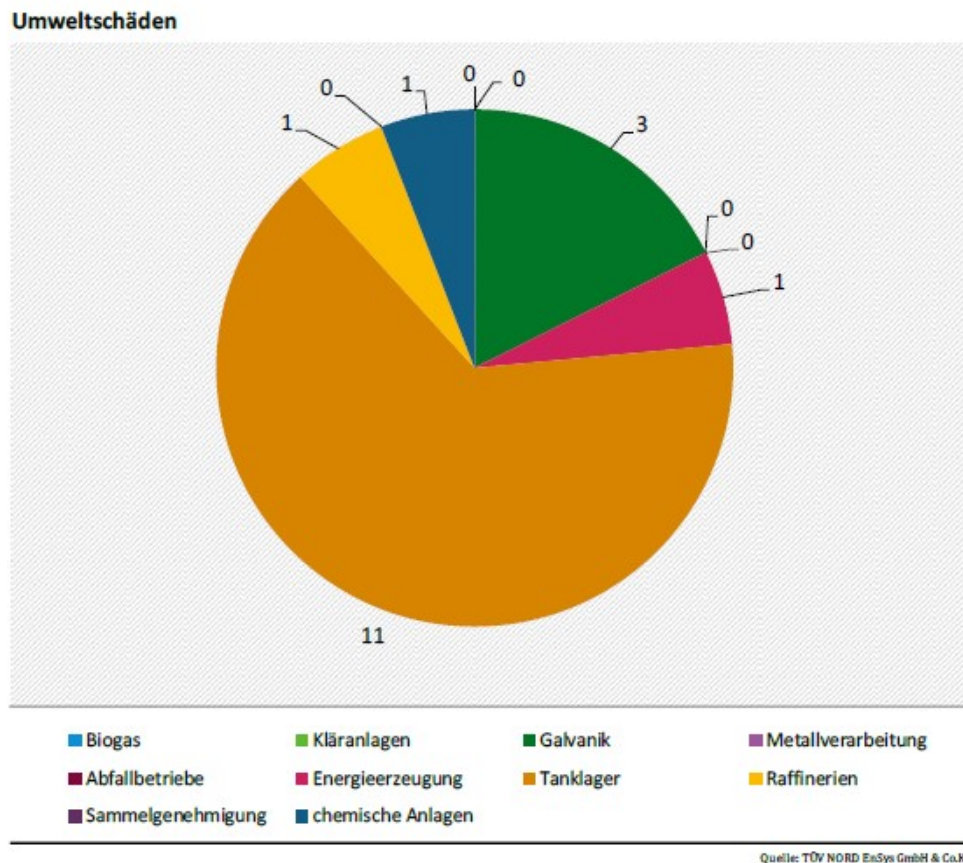


Abbildung 5: Anzahl der Umweltschäden nach Anlagenart aus nationalen Datenbanken (N=234)



2.2.2 Eigentliche Auswahl der Ereignisse

Aus den Ergebnissen des Screenings wurden beispielhafte Ereignisse herausgefiltert. Es wurden Ereignisse ausgewählt, die entweder drei Ursachenkategorien hatten oder bei denen es mehr als zehn Verletzte gab oder die Bevölkerung betroffen war oder Umweltschäden resultierten. Diese Herangehensweise führte zu der folgenden Vorauswahl:

- ▶ ZEMA: 25 Ereignisse
- ▶ ProcessNet: 21 Ereignisse
- ▶ AS-ER: 1 Ereignis
- ▶ ARIA: 101 Ereignisse
- ▶ RISCAD: 75 Ereignisse
- ▶ StepChange: 2 Ereignisse
- ▶ E-mars: 16 Ereignisse

Als Ergebnis sollten max. 15 Ereignisse resultieren, die Beispielcharakter haben und aus denen Lehren für die Entwicklung der Anlagensicherheit gezogen werden können. Daher wurde die Auswahl weiter reduziert, indem Ereignisse mit ähnlichen Ursachen wie beispielsweise Verwechselung von Anschlüssen, ausgeschlossen wurden. Es resultierte eine Liste von 33 Ereignissen, die nach einer Diskussion mit dem UBA weiter reduziert wurde. Auf diese Weise konnte die Auswahl auf die folgenden 21 Ereignisse eingeschränkt werden:

1. Brand in einem Tanklager für Heizöl und Benzin
2. Explosion in einem Kaltbandwerk
3. Explosion in einem Rohöl-Tanklager
4. Verpuffung mit anschließendem Brand in einer Anlage zur Herstellung von Basiskunststoffen
5. Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager
6. Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb
7. Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie
8. Brand in einem Galvanikbetrieb
9. Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage
10. Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage
11. Entzündung pyrophorer Katalysator-Reste bei Apparatebefahrung
12. Säureaustritt bei Inbetriebnahme
13. Durchgehareaktion wegen Umgebung einer PLT-Schutzeinrichtung
14. Verunreinigungen aus dem Abgassystem starten Polymerisation
15. Hydrogen explosion in hydrochloric acid tank
16. Explosion and fire in petrochemical establishment
17. Explosion of tank truck with chemical waste
18. Phosgene leak on a valve of relaxation
19. Chlorine leak in an aluminum plant
20. Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant
21. Leakage of hydrochloric acid on a chemical platform

Diese 21 Ereignisse wurden dem AS-ER auf seiner 28.Sitzung am 21.03.2018 unter TOP 7 vorgestellt und diskutiert.

Es wurde beschlossen, zunächst alle 21 Ereignisse in der Auswahl zu belassen und erst zu prüfen, ob man zu diesen Ereignissen genügend Informationen für eine vertiefte Auswertung erhalten kann. Sobald dies für 10 Ereignisse möglich ist, kann die Recherche zu den übrigen Ereignissen eingestellt werden. Für maximal drei Ereignisse außerhalb Deutschlands und mindestens ein Ereignis mit Außenwirkung auf Personen bzw. die Umwelt soll eine vertiefte Analyse durchgeführt werden.

Da in der Auswahl der 21 Ereignisse keines aus Deutschland mit Außenwirkung auf Personen enthalten war, wurde die Liste anschließend um die folgenden Ereignisse mit Personenschäden ergänzt, die zu den 33 ursprünglich ausgewählten gehörten:

22. Stofffreisetzung, Brand und Explosion in einem Tanklager
23. Freisetzung von Salzsäure in einer Chlorsilananlage
24. Freisetzung von Chlorwasserstoff an einem Reaktorkessel
25. Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion

Die so ausgewählten Ereignisse wurden als Basis für die vertieften ganzheitlichen Analysen in der zweiten Projektphase verwendet.

3 Analyse der Ereignisse

In der zweiten Projektphase wurden dreizehn der ausgewählten 25 Ereignisse umfassend und systematisch analysiert, um den Kenntnisstand über Abläufe und das Verständnis der Ursachen dieser Ereignisse zu vertiefen und generalisierte Hinweise auf Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur Verbesserung des Standes der (Sicherheits-)Technik und damit der Anlagensicherheit zu erarbeiten.

Da die Informationen in den Datenquellen für eine umfassende und systematische Ereignisanalyse nicht ausreichten, wurde versucht, ergänzende Informationen bei Behörden zu erhalten. Die jeweiligen Behörden sollten möglichst in die systematische Auswertung der betreffenden Ereignisse einbezogen werden. Daher wurden in einem Schreiben die jeweiligen Aufsichtsbehörden der Länder um Mithilfe gebeten. Es wurde ein kurzer Überblick über das Projekt gegeben und um die Kontaktdaten der bearbeitenden Behördenmitarbeiter gebeten. Alle angeschriebenen Behörden reagierten positiv, so dass Gespräche mit den jeweiligen Bearbeitern geführt und weitere Informationen erlangt werden konnten.

Die Durchführung der Ereignisanalysen orientierte sich methodisch an den Arbeitshilfen, die der Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge“ (AISV) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) auf seiner 137. Sitzung (vom 05. bis 07. Juli 2016 in Kiel) verabschiedet hat und die auf den Ergebnissen des UBA-Forschungsvorhaben „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1) basieren (Fahlbruch & Meyer, 2017).

Bei der Analyse der Ursachen und möglicher Vermeidungsmaßnahmen wurden insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt:

- a) Klarheit von Regelwerken
- b) Beachtung von Regelwerken
- c) Menschlicher Einfluss auf das Ereignis (Fehlerkorrektur, Fehlerverstärkung)
- d) Technische Fehlererkennung, Vermeidung, Korrektur
- e) Verbesserung der Anlage, des Regelwerks und der Schulung von Mitarbeitern nach dem Ereignis

Die Ereignisabläufe wurden graphisch dargestellt, entsprechend der Vorgaben aus den Verfahren aus dem UBA-Forschungsvorhaben „Ereignisanalyse zur Fortschreibung des Standes der Technik“ (FKZ 3713 43 313 1) wie beispielsweise SOL 3.0 oder Storybuilder, die für die umfassenden und systematischen Analysen im genannten UBA-Forschungsvorhaben verwendet wurden. Die Analysen aus den deutschen Datenbanken wurden vom TÜV NORD, die drei aus den internationalen Datenbanken von INERIS durchgeführt.

3.1 Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion

3.1.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA Datenbank

Zum Ereigniszeitraum war aufgrund von Wartungs- und Umbaumaßnahmen kein Normalbetrieb des gestörten Anlagenteils möglich. Vorher wurde ein neues TDI-Kühlwassersystem (Wärmetauscher, Vorlaufverteiler, Rücklaufsammler sowie die Verrohrung des Kühlwasserkreislaufes) von einer Fachfirma installiert.

Im Bereich der Schaumstoffproduktion wurde am 13.08.2012 um ca. 7:00 Uhr (innerhalb des Kühlsystems) eine TDI-Rohrleitung zu einem Wärmetauscher (Plattenwärmetauscher) geöffnet und das TDI im Kreislauf gefahren. Nachdem ca. 15 min im Kreislauf gefahren wurde, sprach ein Überdruckventil des Kühlwasserkreislaufes an und es wurde Flüssigkeit (Kühlwasser) abgelassen. Die TDI-Kreislauf-Pumpe wurde abgestellt und die TDI-Leitungen zum Wärmetauscher geschlossen. Die erste Fehlersuche durch Mitarbeiter wurde ab ca. 08:30 Uhr durch die Fachfirma unterstützt, die mit der Installation beauftragt war. Als Fehlerursache wurde die Verwechslung von Rohrleitungen festgestellt. Bei der Montage des Wärmetauschers wurde der Produkteingang (TDI) und der Kühlwasserausgang des Wärmetauschers verwechselt. Dadurch wurde ein Kurzschluss zwischen dem Kühlmedium (Ethylenglykol/Wasser) und dem Produkt (TDI) geschaffen. Zu diesem Zeitpunkt war nicht ersichtlich, dass das Kühlmedium bis in den TDI-Tank gelangt war. Die späteren Auswirkungen konnten nicht vorhergesehen werden.

Um ca. 11:30 Uhr bemerkte die Betriebsmannschaft, dass Dampf aus dem Tanklager entweicht. Das Tanklager wurde daraufhin durch die Betriebsmannschaft überprüft. Hierbei wurde festgestellt, dass der Dampf aus einem TDI-Tank entweicht und dieser eine erhöhte Erwärmung aufweist. Inzwischen verstärkte sich die Dampfbildung im Tankbereich der Lagerhalle, Temperatur und Druck stiegen im Inneren des Behälters weiter an. Zusätzlich war augenscheinlich erkennbar, dass Flüssigkeit, Schaum und Dampf aus dem Tank freigesetzt wurden. Da ein Gasaustritt außerhalb des Tanklagergebäudes nicht mehr ausgeschlossen werden konnte, wurde der Notruf um ca. 12:43 Uhr durch die Betriebsmannschaft an die öffentliche Feuerwehr abgegeben bzw. diese alarmiert.

Gegen ca. 13.00 Uhr trafen die ersten Einsatzkräfte der öffentlichen Feuerwehr, Polizei und Rettungskräfte zur Schadensbekämpfung vor Ort auf dem Werksgelände ein. Der Einsatz der öffentlichen Feuerwehr wurde zusätzlich durch zwei Werksfeuerwehren vor Ort unterstützt. Gegen ca. 13:15 Uhr wurden auch die zuständigen Behörden und der extern beauftragte Störfallbeauftragte durch die Geschäftsleitung informiert. Parallel zu den an der Unglücksstelle vorhandenen Einsatzkräften wurde zur internen Gefahrenabwehr bzw. für das Notfallmanagement ab dem 13.08.2012 ein Einsatz- bzw. Krisenstab im Verwaltungsgebäude gebildet, welcher sich aus den Betriebsverantwortlichen, dem Störfallbeauftragten, externen Einsatzkräften und Behördenvertretern zusammensetzte.

Da der TDI-Inhalt des beschädigten Tanks weiterhin eine exotherme Reaktion bzw. eine thermische Instabilität aufzeigte, wurden zur Wärmeabfuhr der Reaktion der Tank und das komplette TDI-Tanklagergebäude permanent mit einem Wasserschleier zu Kühlzwecken durch die Einsatzkräfte berieselt. Der Reaktionsverlauf des beschädigten Tanks konnte durch die inzwischen erfolgte Zusatzinstallation diverser Temperaturmessungen im inneren und an der Außenwand des Tanks kontinuierlich aus einem gesicherten Bereich durch die Einsatzkräfte kontrolliert und überwacht werden.

Nach der vorübergehenden Entwarnung am 16.08.2012 kam es am 17.08.2012 zu einem erneuten signifikanten Temperaturanstieg, der ggf. durch eine reduzierte Berieselung verursacht wurde. Erst ab 18./19.08.2012 wurde durch die stetige Abkühlung eine sichere Lage erreicht. Aus Sicherheitsgründen wurde die Kühlung bzw. die Berieselung (Wasserschleier) durch die Einsatzkräfte der öffentlichen Gefahrenabwehr solange fortgesetzt, bis anhand der Temperaturmessung erkennbar war, dass die Reaktion zum Stillstand gekommen war. Anschließend konnten die Untersuchungs- und Aufräumarbeiten beginnen. Eine Begutachtung des beschädigten TDI-

Behälters wurde mit speziell ausgebildeten Feuerwehrfachleuten und weiteren Fachexperten Ende August 2012 durchgeführt.

Die folgenden Maßnahmen wurden als Vorkehrungen zur Vermeidung einer Wiederholung des Ereignisses geplant bzw. umgesetzt:

- a) MSR-Einrichtungen: Um die Gefährdung von Mitarbeitern bei einem Störfall auszuschließen wurden redundant, diversitäre MSR-Einrichtungen installiert, z. B. Drucküberwachungen, Temperaturüberwachungen, Überfüllsicherungen, Füllstandsüberwachungen, Wasserwächter, TDI-Sensoren usw.
- b) Kennzeichnung der TDI-Rohrleitungen und Lagertanks: Alle TDI-Rohrleitungen und Lagertanks wurden farbig gekennzeichnet. An TDI-Pumpen wurde die Saug- und Druckleitung entsprechend farbig gekennzeichnet. Zusätzlich wurden Schilder mit der Stoffkennzeichnung und der Durchflussrichtung angebracht.
- c) Installation eines TDI-Monitors, der bei Überschreitung eines Grenzwertes von 0,5 ppb vor Ort akustisch und optisch am Gerät alarmiert.
- d) Reduzierung der TDI-Lagerkapazität.
- e) Austausch des herkömmlichen Plattenwärmetauschers und Einbau eines Einbau eines Doppelwand-Plattenwärmetauschers mit unverwechselbaren Anschlüssen für Produkt- und Kühlmedium. Damit wird sicher verhindert, dass Kühlmedium mit TDI in Kontakt kommt oder in den TDI-Kreislauf eindringt bzw. TDI in den Kühlkreislauf eindringt.
- f) Einrichtung eines Bereitschaftsdienstes (Alarmierungssystem versendet SMS auf das Mobiltelefon).
- g) Überarbeitung des Betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplan (BAGAP) und Einführung eines Standorteinsatzleiters (SEL).
- h) Überarbeitung von Betriebsanweisungen (BA), wie z. B. Verhalten bei Alarmierung im TDI-Anlagenteil, BA für die Organisation des Bereitschaftsdienstes, BA Wareneingangsprüfung und Entladung von TDI-Tankzügen, BA TDI-Monitor, Unterweisung von Fremdfirmen.
- i) Überarbeitung und Schulungen zum Arbeitserlaubnisschein-Verfahren: Bei Arbeiten mit besonderen Gefahren, wie z. B. Arbeiten in Höhen, Arbeiten mit Gefahrenstoffen etc. muss ein Arbeitserlaubnisschein ausgestellt und alle erforderlichen Daten dokumentiert werden.
- j) Überarbeitung des Prüf- und Wartungskonzeptes: Erstellung eines Prüfkatasters mit allen wiederkehrenden Prüfungen.

3.1.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.1.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurden mehrere telefonische Gespräche mit der verantwortlichen Behördenvertreterin geführt sowie folgende Unterlagen berücksichtigt (aufgrund der

vereinbarten Anonymität der Ergebnisse werden keine Namen genannt und Titel z.T. verkürzt wiedergegeben):

1. ZEMA – Detailansicht
2. Prüfrahen für detaillierte sicherheitstechnische Vollprüfung
3. Prüfbescheinigung nach VAwS (Verordnung für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen) vom 19.09./09.10.2012
4. Brandschutzkonzept nach dem Bauvorlagenerlass für die Tankbereiche und Schäumerei vom 14.12.2012
5. Störungsbetrachtung T65-Lager einschließlich Entladung der Tankzüge vom 07.12.2012
6. Störungsbetrachtung T80-Lager einschließlich Entladung der Tankzüge vom 07.12.2012
7. Erstmeldung nach § 19 StörfallV für das Ereignis am 13.08.2012
8. Schreiben der Behörde zur Erstmitteilung nach § 19 StörfallV vom 21.08.2012
9. Gefährdungsbeurteilung gemäß Gefahrstoffverordnung vom 23.02.2011
10. Gutachten auf der Grundlage von § 52 BImSchG – Sicherheitstechnische Vollprüfung vom 14.12.2012
11. Gutachten auf der Grundlage von § 52 BImSchG – Sicherheitstechnische Vollprüfung 2. Teil vom 21.03.2013
12. Messbericht nach TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ Ausgabe Januar 2010; Arbeitsplatzmessungen bei der Herstellung von PU-Weichblockschaum bezüglich 2,4 Diisocyanatoluol und 2,6 Diisocyanatoluol (2,4-TDI und 2,6-TDI) im Arbeitsbereich Schäumerei vom 23.02.2011
13. Messbericht nach TRGS 402 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition“ Ausgabe Januar 2010; Arbeitsplatzmessungen bei der Herstellung von PU-Weichblockschaum bezüglich 2,4 Diisocyanatoluol und 2,6 Diisocyanatoluol (2,4-TDI und 2,6-TDI) im Arbeitsbereich Schäumerei vom 16.03.2012
14. Diverse Betriebsanweisungen vom 21.01.2013
15. Vollzug des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Anordnung gemäß § 17 Abs. 1 S. 1 vom 21.01.2013
16. Anzeigeverfahren nach § 15 Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Anzeige vom 17.01.2013, Bescheid vom 25.01.2013
17. Vollzug des Bundes-Immissionsschutzgesetzes; Anordnung gemäß § 17 Abs. 1 S. 1 vom 18.06.2013
18. Anzeigeverfahren nach § 15 Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Anzeige vom 01.09.2011, mit Ergänzung vom 12.09.2011, Bescheid vom 05.10.2011
19. Anzeigeverfahren nach § 15 Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Anzeige vom 20.12.2012, Nachreichung von Unterlagen vom 08.01. und 14.01.2013, Bescheid vom 18.01.2013
20. Anzeigeverfahren nach § 15 Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Anzeige vom 24.05.2013, vollständig am 24.06.2013, Bescheid vom 25.06.2013
21. Ausbreitungsrechnung für die Freisetzung von TDI beim Ansprechen eines Überdruckventils auf einem Tank vom 19.11.2012
22. Ausbreitungsrechnung für die Freisetzung von TDI beim Ansprechen eines Überdruckventils auf einem Tank, Revision 1: Zusätzliche Ausbreitungsrechnungen für die Freisetzung von TDI über Dach vom 06.12.2012
23. Gefahrenabwehrkonzept - Demontage havarierte TDI-Rohrleitung vom 29.10.2012
24. Handbuch zum Betrieblichen Alarmierungs-Gefahrenabwehr-Plan vom 19.10.2012
25. Anhang E zum Sicherheitsbericht R+I-Fließbilder von 2002
26. Gutachten zum Störfall am 13.08.2012 vom 13.09.2012

3.1.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden 35 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen. In Tabelle 1 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für die Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion dargestellt.

Tabelle 1: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
1	2012-07 -	Fa. K beauftragt Fa. P mit der Installation eines neuen Kühlwassersystems.	Kühlkreislauf für Rohstoffkühlung sowie das dazugehörige Kälteaggregat waren veraltet. Das neue Kälteaggregat wurde selbst gekauft. Fa. P sollte Wärmetauscher, Vorlaufverteiler, Rücklaufsammler und Verrohrung installieren sowie Elektroinstallation und Integration in Steuerung und Regelung, sowie Planung Engineering und Inbetriebnahme durchführen, vorgesehen für 29-31 KW (16.07.-05.08.).	5: Entscheidungsfindung ⁴ Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse oder Risikoanalyse für Anlage, Mensch und Umwelt, fehlende Betrachtung der Instandhaltung im Sicherheitsbericht. Die mögliche Vermischung von TDI80 und Wasser aus dem Kühlmedium wurde bei der Bestellung eines geschraubten Plattenwärmetauschers nicht betrachtet und damit mögliche Gegenmaßnahmen nicht getroffen. 7: Abweichung von Vorgaben Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung Kühlwassersystem wurde nicht bei der Behörde angezeigt. Nach §15 BImSchG wurde nur der 1:1 Austausch der TDI-Lagerbehälter angezeigt. 2: Auslegungsprinzipien (Design) Sicherheitsfunktionen fehlen Die doppelwandigen TDI-Lagerbehälter hatten keine Überfüllsicherung mehr, die Merkmal der vorherigen Behälter war.
2	2012-07-16	Fa. P Beginn der Arbeiten.	Projektleiter Herr H (Urlaub bis 13.08.), Vertretung Herr F (Obermonteur, nicht immer verfügbar), Vertreter Herr M.	15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit Für wichtige Aufgaben fehlte eindeutige Zuständigkeitsregelung Keine eindeutige Projekt-/Bauleitung bestimmt.
3	2012-07-16	Fa. K übermittelt Baustellen- und Fremdmonteur-Ordnung.	Unterschrift vom 16.07.2018 Einweisung über Umgang mit TDI erfolgte bei Besprechung vor Ort.	18: Qualifikation und Training Unzureichende Gefahrensensibilisierung Es gab keine schriftlich dokumentierte stoffspezifische (TDI) Einweisung der Mitarbeiter der Fa. P durch die Fa. K.

⁴ Der Faktor Entscheidungsfindung umschließt sowohl bewusste Entscheidungen als auch erfahrungs- und/oder heuristikenbasierte nicht bewusste Entscheidungen.

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
4	2012-07-18	Produktionsleiter Fa. K stellte Erlaubnisschein für feuergefährliche Arbeiten aus.	gilt vom 18.07 bis 29.07.2018	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind nicht aktualisiert Fehlende Verlängerung des Erlaubnisscheins für Arbeiten in KW 31 und 32.
5	2012-08-05-	Fa. P installiert neues TDI-Kühlwassersystem.	Verwechselt Rohrleitungen (Produkteingang TDI 80 und Kühlwasserausgang des Wärmetauschers vertauscht). Dadurch Kurzschluss zwischen Kühlmedium (Ethylenglykol/Wasser) und Produkt (TDI 80) geschaffen. Allerdings war der Wärmetauscher auf der Produktseite über Ventile vom Produktstrom getrennt (Umfahrung), so dass es nicht direkt zur Kontamination kam.	7: Abweichung von Vorgaben Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufe, mündliche Vorgaben) abweicht Arbeiten wurden nicht gemäß Anschlussplan des Wärmetauschers ausgeführt. 10: Kontrolle Unzureichende Eigenkontrolle der Anschlüsse Fehlende Kontrolle der Anschlüsse. 10: Kontrolle: Fehlende Überprüfung der Arbeitsergebnisse durch Vorgesetzte oder Mitarbeiter Weder Obermonteur noch Mitarbeiter der Fa. K kontrollierten Anschlüsse. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet). Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Übergabe und Inbetriebnahme von Neuanlagen, Instandsetzungen und Reparaturen. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind nicht aktualisiert. R&I-Fließbilder sind nicht aktualisiert, Stand 2002.

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
6	2012-08-06+	Fa. P setzt Installationsarbeiten in KW 32 fort.	Verzögerung bei der Anlieferung der Anlagenteile für das Kühlsystem (Wärmetauscher W05 und W06.)	
7	2012-08-09-	Fa. P sukzessive Inbetriebnahme der Kälteanlage.	Dichtheitsprüfungen der Verrohrung des Kühlkreislaufes.	
8	2012-08-09	Fa. P Befüllung des Kühlkreislaufes.	Gemäß mündlicher Absprache zwischen Fa. K und Fa. P.	
9	2012-08-09	Monteur Fa. P öffnet alle Handventile.	Zur Entlüftung des Kühlkreislaufes der Wärmetauscher. Automatische Steuerung war defekt, deshalb wurden per Handeingabe die Regelventile in den Kühlkreisläufen von TDI80 und TDI65 geöffnet. Aufgrund der vertauschten Anschlüsse am TDI80-Wärmetauscher wurde zu diesem Zeitpunkt dann auch die TDI80-Produktleitung bis zu den Produktventilen gefüllt. Die Kühlwasserventile am Wärmetauscher waren nach dem Ereignis offen.	6: Arbeitsausführung: Arbeiten ohne benötigte Arbeitsunterlagen (Betriebsvorschriften, Anweisungen, Zeichnungen oder andere Referenzen) Für die Befüllung des Kühlkreislaufes gab es keine schriftliche Freigabe, allerdings wohl eine mündliche für die Befüllung mit Kühlmittel. 10: Kontrolle Fehlende Überprüfung der Arbeiten durch Fa. K Es gab kein Abnahmeprotokoll o.ä.
10	2012-08-10	Fa. P tauscht defekten Prozessregler im Kühlkreislauf des TDI80-Wärmetauscher.	Anschließend Test des Regelventils, unklar, ob es danach geschlossen wurde.	
11	2012-08-13, 7:00	Fa. K befüllt TDI80-Wärmetauscher mit Produkt über Vordruckpumpe aus dem Tank 1		8: Kommunikation zwischen Anlage und Externen Freigabe der Anlage zur Befüllung von Fa. P nicht gegeben, aber Fa. K interpretiert Aussage von Obermonteur in diese Richtung.

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
				12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung Unzureichende Aufgabenbesprechungen (Briefing/Debriefing) Keine schriftliche Freigabe oder Abnahme geplant. 10: Kontrolle Fehlende Prüfung vor Inbetriebnahme Nach BetrSichV § 10 (1) und StörfallV § 6 (1) hätte der TDI80-Wärmetauscher vor Inbetriebnahme geprüft werden müssen. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Prüfung vor Inbetriebnahme (s. Sicherheitsbericht 2011).
12	2012-08-13, 7:00+	Fa. K fährt TDI80 im Kreis wieder zurück zum Tank 1,	um Wärmetauscher auf Produktseite zu entlüften. Die Produktventile zum Wärmetauscher wurden geöffnet.	
13	2012-08-13, 7:30	Mitarbeiter Fa. K meldet Produktionsleiter, dass Flüssigkeit aus dem Sicherheitsventil des neu installierten Kälteaggregats austritt.	Ansprechdruck des Sicherheitsventils 3 bar.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung Fehlende Analyse des unzulässigen Druckanstiegs im Kälteaggregat.
14	2012-08-13, 7:30 +	Produktionsleiter Fa. K kontrolliert Manometer am Kälteaggregat.	Zeigt 4 bar. Die Pumpe am Kälteaggregat war nicht im Betrieb. Nach Abstellen der TDI80 Vordruckpumpe stoppte der Flüssigkeitsaustritt am Kälteaggregat. Zu diesem Zeitpunkt stand die Produktseite (TDI80) in direkter Verbindung mit der Kühlmittelseite (Ethylenglykol/Wasser) - Übertrag von Kühlmedium in TDI80-Tank 1.	1: Technische Komponenten Unerwünschte Interaktionen oder fehlende Kompatibilität Kontamination des Kühlkreislaufes mit TDI80 bzw. des TDI80-Lagertanks mit dem Kühlmedium, führt zu einer unkontrollierten exothermen Reaktion (Polyaddition).

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
15	2012-08-13, 7:30 +	Produktionsleiter Fa. K informiert Geschäftsführer Fa. K.	Hielt sich im Ausland auf.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung Fehlende Berücksichtigung der Möglichkeit, dass Kühlmittel in den TDI80-Lagertank eingedrungen sein könnte.
16	2012-08-13, 7:30	Fa. P treffen ein und tauschen Anschlüsse.	Nachdem sie informiert wurden. Wollten Kühlmedium tauschen bzw. reinigen. Bis dahin noch kein Austritt von TDI bzw. Polymer festgestellt.	6: Arbeitsausführung Arbeiten ohne benötigte Schutzausrüstung Arbeiten ohne PSA, weder Projektleiter der Fa. P noch die der Fa. K. wiesen die Mitarbeiter diesbezüglich an. 2: Auslegungsprinzipien (Design) Fehlende konstruktive Vorkehrungen gegen Fehlbedienung TDI80 Arbeiten bei laufendem Betrieb, Absperrung nur durch eine ungesicherte Handarmatur.
17	2012-08-13, 08:00 bis 12:00	Fa. K nimmt Produktion wieder auf.	Ohne TDI80-Wärmetauscher, das TDI80 wurde im Bypass an dem Wärmetauscher vorbeigefahren. Danach wurde die Dosierpumpe außer Betrieb genommen. Ob die Vordruckpumpe ebenfalls außer Betrieb genommen wurde ist unklar, u. U. lief sie bis nach 17:00 h.	16: Organisation und Management Zu hohe Leistungsvorgaben des Managements Teilweise Inbetriebnahme der Anlage wegen anstehender Produktion. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt Fehlende Betrachtung der Störung (Vermischung TDI und Wasser) im Sicherheitsbericht.
18	2012-08-13, 10:40 bis 12:30	Fahrer Tankwagen Fa. B nimmt starken TDI Geruch wahr und informiert MA Entladung.	Füllung des Lagertanks 2 mit TDI80 Arbeitet mit Gasmaske weiter. Füllung wird trotzdem beendet.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung Trotz des Geruchs wird die Befüllung nicht abgebrochen. Es wird kein Zusammenhang mit den vertauschten Produktanschlüssen hergestellt, es werden keine Maßnahmen initiiert.

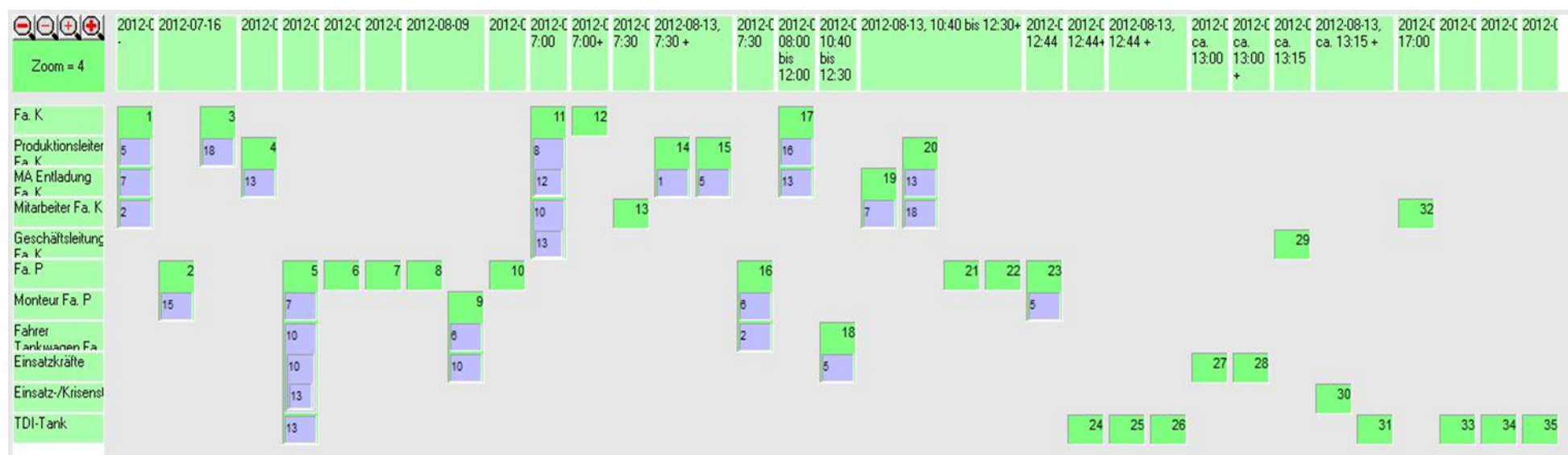
Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
19	2012-08-13, 10:40 bis 12:30+	MA Entladung Fa. K informiert Produktionsleiter über Geruch.		7: Abweichung von Vorgaben Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen Fehlende Information der Werksfeuerwehr, Verzug bei der Alarmierung.
20	2012-08-13, 10:40 bis 12:30+	Produktionsleiter Fa. K versucht interne und externe Ansprechpartner zu kontaktieren,	um Hilfestellung zu erhalten. Informiert nicht Feuerwehr.	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt Alarmierungsregeln und Gefahrenabwehrplan werden nicht verwendet bzw. sind zu kompliziert. 16: Qualifikation und Training Zu wenig Erfahrung der Mitarbeiter (mangelnde Praxis) Produktionsleiter war erst 6 Monate in der Position, versuchte sich abzusichern, scheute, alleine die Entscheidung zu treffen.
21	2012-08-13, 10:40 bis 12:30+	Fa. P lassen Kühlmedium ab und reinigen Vorlaufverteiler und Rücklaufsammler.	Anschließend Abnahme und Freigabe durch Produktionsleiter Fa. K.	
22	2012-08-13, 10:40 bis 12:30+	Fa. P mussten weitere Arbeiten abbrechen.	Gasaustritt aus TDI80-Lagertank wurde zu stark. Werkzeug wurde z. T. nicht weggeräumt und nicht alle Schrauben der Flansche waren wieder montiert.	
23	2012-08-13, 12:44	Fa. P Alarmierung der Feuerwehr,	nachdem aus dem TDI80-Lagertank sichtbar Dämpfe austraten.	5: Entscheidungsfindung Wichtige Entscheidungen werden zu spät getroffen. Feuerwehr wurde zu spät alarmiert.
24	2012-08-13, 12:44+	TDI-Tank Temperatur und Druck steigen weiter, stärkere Dampfbildung.	Flüssigkeit und Schaum (Material) und Gas tritt aus (doppelwandige Ausführung).	

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
25	2012-08-13, 12:44 +	TDI-Tank wird mit zusätzlichen Temperaturmessstellen innen und außen ausgestattet	Ermöglicht kontinuierliche Kontrolle im gesicherten Bereich.	
26	2012-08-13, 12:44 +	TDI-Tank mittels Holzkeil wird Mannlochdeckel offengehalten,	um unkontrollierten Druckaufbau und Beschädigung des Lagertanks zu vermeiden. Ob Berstscheibe (100 mbar Ansprechdruck) angesprochen hatte, konnte nicht mehr festgestellt werden.	
27	2012-08-13, ca. 13:00	Einsatzkräfte treffen ein.	Feuerwehr, Polizei, Rettungskräfte. Aus dem TDI80-Lagertank und dem Gebäude 2154 trat eine sichtbare Gaswolke aus, die sich anfänglich auch über die Werksgrenzen hinaus ausbreitete. Die genaue chemische Zusammensetzung wurde nicht ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass sich auch TDI-Dämpfe über die Werksgrenzen hinaus ausbreiteten. Messung der Feuerwehr an der Nordseite der Halle mittels Prüfrohr wies TDI-Konzentration von 8 ppm aus.	
28	2012-08-13, ca. 13:00 +	Einsatzkräfte berieseln TDI Tank und Tanklagergebäude mit Wasser zur Kühlung.	Unterstützt durch Werkfeuerwehr.	
29	2012-08-13, ca. 13:15	Geschäftsleitung Fa. K informiert Behörden und externen Störfallbeauftragten.		
30	2012-08-13, ca. 13:15 +	Einsatz-/Krisenstab wird einberufen.	Im Verwaltungsgebäude. Betriebsverantwortliche, Störfallbeauftragter, externe Einsatzkräfte und Behördenvertreter. 26 Verletzte davon 16 Schwerverletzte (Fremdfirmen, Mitarbeiter, Anwohner, Feuerwehr).	

Nr.	Zeit	Akteur und Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
31	2012-08-13, ca. 13:15 +	TDI-Tank Schaumaustritt.	Auch am Kälteaggregat, an der Dosierpumpe.	
32	2012-08-13, 17:00	Mitarbeiter Fa. K hörte lauten Plopp und sah Austritt eines weißen Produkts im Bereich der Dosierpumpe.	In der Schäumerei. Vermutlich platzte eine Dichtung der Dosierpumpe (außer Betrieb).	
33	2012-08-16	TDI-Tank vorübergehende Entwarnung.		
34	2012-08-17	TDI-Tank signifikanter Temperaturanstieg.	Wegen reduzierter Berieselung	
35	2012-08-19	TDI-Tank sichere Lage.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 6) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 6: Zeit-Akteur-Diagramm⁵ im Überblick - Freisetzung von Toluylendiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion



⁵ Das Zeit-Akteur-Diagramm zeigt in der Überblicksdarstellung in der obersten Zeile in grün die verschiedenen Zeitpunkte der Ereignisbausteine. In der linken Spalte ebenfalls in grün sind die verschiedenen Akteure aufgezeigt. Die grünen nummerierten Kästchen sind die Ereignisbausteine und die blauen die beitragenden Faktoren. Dies gilt auch für alle folgenden Zeit-Akteur-Diagramme.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 1 und Abbildung 1.

	2012-07 -	2012-07-16
	1	
Fa. K	Zeit: 2012-07 - Ort: Akteur: Fa. K Handl.: beauftragte Fa. P mit der Installation eines neuen Kühlwassersystems Bem.: Kühlkreislauf für Rohstoffkühlung sowie das dazugehörige Kälteaggregat waren veraltet. Das neue Kälteaggregat wurde selbst gekauft. Fa. P sollte Wärmetauscher, Vorlaufverteiler, Rücklaufsammler und Verrohrung installieren sowie Elektroinstallation und Integration in Steuerung und Regelung, sowie Planung Engineering und Inbetriebnahme durchführen, vorgesehen für 29-31 KW (16.07.-05.08.) Ref.:	
Produktionsleiter Fa. K		
MA Entladung Fa. K		
Mitarbeiter Fa. K		
Geschäftsleitung Fa. K	5: Entscheidungsfindung Titel: Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: Die mögliche Vermischung von TDI80 und Wasser aus dem Kühlmedium wurde bei der Bestellung eines geschraubten Plattenwärmetauschers nicht betrachtet und damit mögliche Gegenmaßnahmen nicht getroffen	

Fa. P	7: Abweichung von Vorgaben Titel: Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Umbau des Kühlwassersystems wurde nicht bei der Behörde angezeigt. Nach § 15 wurde nur der 1:1 Austausch der TDI-Lagerbehälter angezeigt.	Zeit: 2012-07-16 Ort: Akteur: Fa. P Handl.: Beginn der Arbeiten Bem.: Projektleiter Herr H. (Urlaub bis 13.08.), Vertretung Herr F (Obermonteur, nicht immer verfügbar), Vertreter Herr M. Ref.:
Monteur Fa. P		
Fahrer Tankwagen Fa. B	2: Auslegungsprinzipien (Design) Titel: Sicherheitsfunktionen fehlen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Die doppelwandigen TDI-Lagerbehälter hatten keine Überfüllsicherung mehr, die Merkmal der vorherigen Behälter war.	15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit Titel: Für wichtige Aufgaben fehlte eindeutige Zuständigkeitsregelung Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Keine eindeutige Projekt-/Bauleitung bestimmt.
Einsatzkräfte		
Einsatz-/Krisenstab		
TDI-Tank		

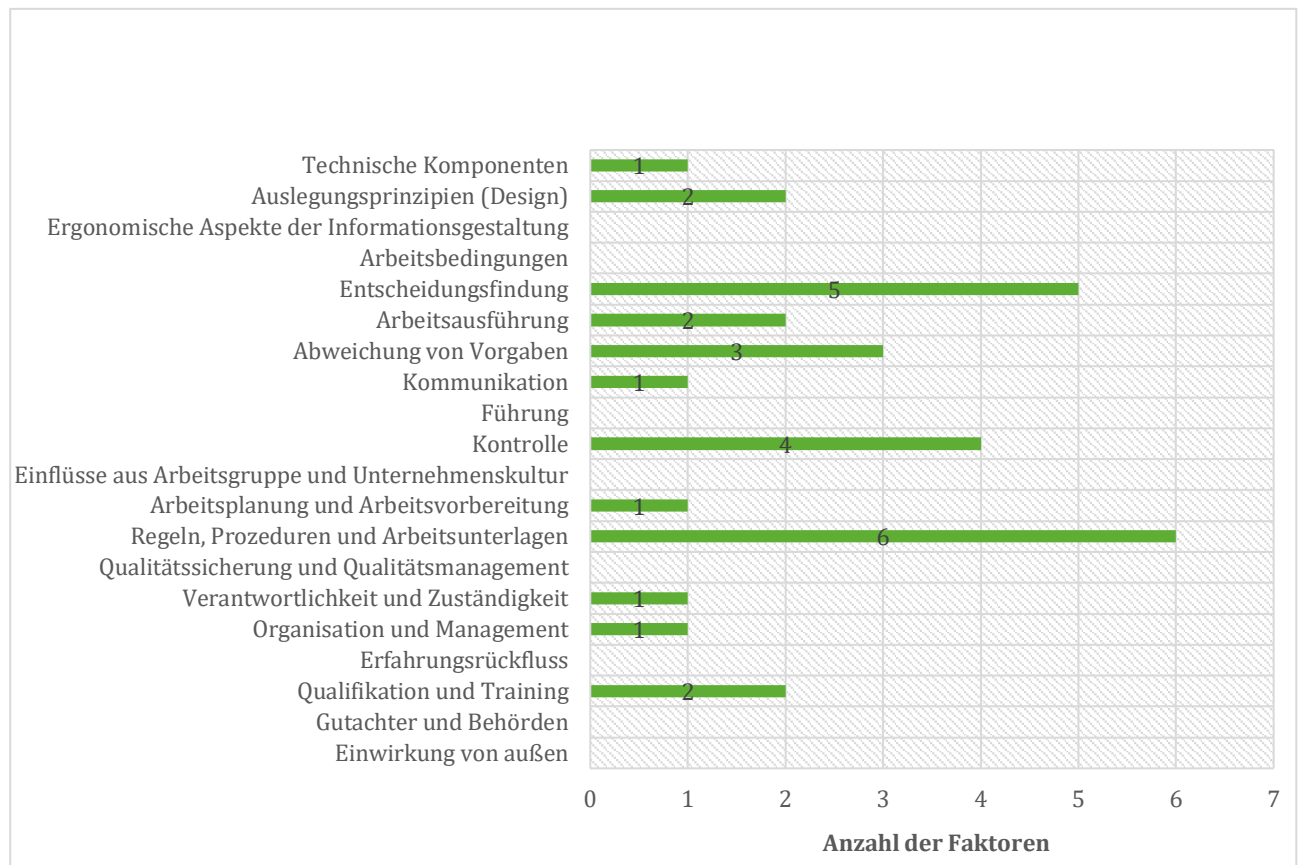
3.1.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die

Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Entscheidungsfindung“ und einem konkreten Titel wie „Wichtige Entscheidungen werden zu spät getroffen“ und der spezifischen Beurteilung wie „Feuerwehr wurde zu spät alarmiert“.

Für das Ereignis konnten insgesamt 29 beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 7 dargestellt sind.

Abbildung 7: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Toluyldiisocyanat (TDI) in einer Anlage zur Schaumstoffproduktion



Am häufigsten wird hier der Faktor Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen identifiziert:

- Fehlende Verlängerung des Erlaubnisscheins für Arbeiten in KW 31 und 32.
- Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Übergabe und Inbetriebnahme von Neuanlagen, Instandsetzungen und Reparaturen.
- R&I-Fließbilder sind nicht aktualisiert, Stand 2002.
- Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Prüfung vor Inbetriebnahme (s. Sicherheitsbericht 2011).
- Fehlende Betrachtung der Störung (Vermischung TDI und Wasser) im Sicherheitsbericht.
- Alarmierungsregeln und Gefahrenabwehrplan werden nicht verwendet bzw. sind zu kompliziert.

Entscheidungsfindung wurde fünfmal identifiziert:

- ▶ Die mögliche Vermischung von TDI80 und Wasser aus dem Kühlmedium wurde bei der Bestellung eines geschraubten Plattenwärmetauschers nicht betrachtet und damit mögliche Gegenmaßnahmen nicht getroffen.
- ▶ Fehlende Analyse des unzulässigen Druckanstiegs im Kälteaggregat.
- ▶ Fehlende Berücksichtigung der Möglichkeit, dass Kühlmittel in den TDI80-Lagertank eingedrungen sein könnte.
- ▶ Trotz des Geruchs wird die Befüllung nicht abgebrochen. Es wird kein Zusammenhang mit den vertauschten Produktanschlüssen hergestellt, es werden keine Maßnahmen initiiert.
- ▶ Feuerwehr wurde zu spät alarmiert.

Kontrolle wurde viermal identifiziert:

- ▶ Unzureichende Eigenkontrolle der Anschlüsse.
- ▶ Weder Obermonteur noch Mitarbeiter der Fa. K kontrollierten Anschlüsse.
- ▶ Es gab kein Abnahmeprotokoll o. ä.
- ▶ Nach BetrSichV § 10 (1) und StörfallV § 6 (1) hätte der TDI80-Wärmetauscher vor Inbetriebnahme geprüft werden müssen.

In Verbindung mit den beiden Faktoren Auslegungsprinzipien (Design) - die doppelwandigen TDI-Lagerbehälter hatten keine Überfüllsicherung mehr, die Merkmal der vorherigen Behälter war; TDI80 Arbeiten bei laufendem Betrieb, Absperrung nur durch eine ungesicherte Handarmatur - ergibt dies ein Bild der systematischen Fehleinschätzung von Risiken und damit auch der unzureichenden technischen und administrativen Vorsorge bzw. sicherheitstechnischer Investitionen/Aufmerksamkeit. Die Anlage wurde nicht entsprechend ihres Gefährdungspotenzials geplant und betrieben.

3.1.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Nach dem Ereignis wurde im Auftrag der Staatsanwaltschaft ein Gutachten zum Störfall selbst erstellt, dass neun Maßnahmenempfehlungen zur Verhinderung eines derartigen Ereignisses bei Wiederinbetriebnahme der Anlage enthielt:

1. Vollständige Demontage des Lagertanks und Reinigung der kontaminierten Anlagenteile.
2. Aktualisierung des R&I-Fließbildes.
3. Abschluss der Prüfung des Sicherheitsberichtes und der Störungsbetrachtung durch die Aufsichtsbehörde und ggf. Anpassung und Ergänzung des Sicherheitskonzepts und des Sicherheitsmanagements.
4. Erstellung von Vorgaben für die verbindliche, geordnete und dokumentierte Übergabe und Inbetriebnahme von Neuanlagen, Instandsetzungen bzw. Reparaturen. Diese Maßnahmen sind umzusetzen. Die Umsetzung ist durch die Geschäftsführung zu kontrollieren. Diese Empfehlung gilt für beide beteiligte Firmen.
5. Erstellung von Vorgaben für die verbindliche, geordnete und dokumentierte Prüfung vor Inbetriebnahme, wie dies bereits im Sicherheitsbericht (2011) dargelegt wurde. Diese

Maßnahmen sind umzusetzen. Die Umsetzung ist durch die Geschäftsführung zu kontrollieren.

6. Schulung und Unterweisung von Fremdfirmenmitarbeitern auch hinsichtlich der stofflichen Aspekte bezüglich der gehandhabten Stoffe, insbesondere der Störfallstoffe. Die Unterweisung ist zu dokumentieren.
7. Trotz abgelaufenen Erlaubnisscheins für feuergefährliche Arbeiten wurden solche durchgeführt. Entsprechende Dokumente sollen aktuell gehalten bzw. nachgeführt werden.
8. Schulung und Unterweisung der Mitarbeiter und Verantwortlichen beider Firmen hinsichtlich des Umgangs mit Gefahrstoffen und des Tragens von PSA. Die Schulung ist zu dokumentieren.
9. Implementierung und Umsetzung eines Freigabeverfahrens für Arbeiten an sicherheitsrelevanten Anlagenteilen.

Diese Empfehlungen betreffen Maßnahmen technischer Natur (eine Maßnahme), auf individueller Ebene (zwei Maßnahmen) und auf der Ebene der betrieblichen Regelungen (sechs Maßnahmen). Die Aufsichtsbehörde hat dann auf der Basis eines Gutachtens zur Vermeidung von Bränden und Explosionen innerhalb der Anlagen 69 Maßnahmen (von den 42 das Sicherheitskonzept, 17 das betriebliche Regelwerk, acht die Technik und zwei die Organisation betreffen) angeordnet.

Von der Aufsichtsbehörde wurde eine sicherheitstechnische Vollprüfung in Auftrag gegeben. Aus dieser resultierten über 100 Empfehlungen, zu denen die Aufsichtsbehörde eine Anordnung mit 124 Maßnahmen (67 technische, 21 betriebliche Regeln betreffend, 34 organisatorische, acht den Sicherheitsbericht betreffend und acht Schulungen betreffend - einige Maßnahmen betrafen mehr als einen Aspekt) erließ.

Inzwischen wurde der Betrieb eingestellt.

3.1.3 Schlussfolgerungen

1. Mängel bei der Umsetzung von Regelungen und Regeln (z. B. Berücksichtigung von Instandhaltung im Sicherheitsbericht).
2. Mängel in betrieblichen Regelungen (Aktualität, Vollständigkeit).
3. Mängel beim Zusammenwirken von Regelungen und Regeln von Arbeitsschutz und Immissionsschutz (z. B. Zuständigkeiten, Einweisung und Unterweisung).
4. Anforderungen an die Kompetenzen von Verantwortlichen für die Instandhaltung (intern/extern) fehlen.
5. Mängel in der Gefahrenbewertung.
6. Mängel bei der Kontrolle (Eigenkontrolle, Kontrolle durch Vorgesetzten, externe Kontrolle).

3.2 Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage

3.2.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Vermutlich grob fahrlässiges Verhalten der mit der Wartung betreuten sachkundigen Fremdfirma. Vermutlich Schweißarbeit in der Ex-Zone, kein Gaswarngerät, kein geeignetes Spezialwerkzeug nach Aussage des Gutachters. Dadurch Auslösung einer Verpuffung und Abbrennen des im Gärproduktlager enthaltenen Biogases.

Die Vor-Ort-Besichtigung und Unfalluntersuchung ergab, dass die Ursache für den Störfall offensichtlich auf falsches Verhalten der Arbeitnehmer einer Fremdfirma und auf die Wahl nicht geeigneter Arbeitsmittel zurückzuführen ist. Vermutlich Verletzung der Verfahrensregeln in der Ex-Zone durch Fremdfirma.

Folgende Maßnahmen wurden als Vorkehrung zur Vermeidung geplant/umgesetzt:

- a) Überwachung der Fachfirmen auf geeignete Arbeitsmittel und Arbeitspläne.
- b) Kontrolle der Zertifizierungen.
- c) Der Betreiber der Biogasanlage hat aufgrund des Vorfalls seine Dokumentation (u. a. Freigabeverfahren für best. Tätigkeiten, Gefährdungsbeurteilungen, Betriebsanweisungen) überarbeitet

3.2.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf menschliche und organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.2.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurden mehrere telefonische Gespräche mit der verantwortlichen Behördenvertreterin geführt sowie folgende Unterlagen berücksichtigt (aufgrund der vereinbarten Anonymität der Ergebnisse werden keine Namen genannt und Titel z.T. verkürzt wiedergegeben):

- 1. ZEMA – Detailansicht für Störfall vom 07.06.2016
- 2. Aufsichtsbehörde - Genehmigungsbescheid vom 16.05.2011
- 3. Aufsichtsbehörde - Abschlussbericht gem. § 19 StörfallV zum Ereignis am 07.06.2016
- 4. Alarm- und Gefahrenabwehrplan vom 14.06.2016
- 5. Prüfbericht WHG §9, VAwS vom 31.10.2012
- 6. Prüfbericht über die Einhaltung wasserrechtlicher Anforderungen beim Umgang mit Na-waRo (nachwachsende Rohstoffe), Gülle und Silagesickersäften vom 22.04.2013
- 7. Prüfbericht über die sicherheitstechnische Prüfung vor Inbetriebnahme gem., § 29a BIm-SchG vom 22.04.2013
- 8. Prüfbericht über die Prüfung vor Inbetriebnahme dem. § 14 (3) 1, sowie Anhang 4, A, 3.8 BetrSichV vom 22.04.2013
- 9. Gutachterliche Stellungnahme zur Unfallursache der am 07.06.2016 erfolgten Verpuffung vom 09.11.2016

3.2.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet.

Insgesamt wurden 13 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

In Tabelle 2 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für die Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage dargestellt.

Tabelle 2: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren - Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
1	2013-04-22	Prüffirma ⁶ Prüfung vor Inbetriebnahme gem. §14 (3) 1, sowie Anhang 4, A, BetrSichV.	Ordnungsmängel des Prüfberichts nach § 29a BImSchG: 1. Auf Grundlage der BetrSichV und der erfolgten Gefährdungsbeurteilung sind die Arbeitsmittel zu erfassen, Prüf Fristen festzulegen und befähigte Personen mit der Durchführung der Prüfung zu beauftragen. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. 2. Es fehlen Prüfprotokolle zur ordnungsgemäßen Errichtung der Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung (TRBS 2153) und dem Blitzschutz/Potenzialausgleich. 3. Für die Flanschverbindung Gasrohrleitung und BHKW-Motor ist vom Hersteller eine Erklärung bzgl. der dauerhaften Dichtigkeit der Ausführung (4-Loch-Flansch auf 8-Loch-Flansch) zu erbringen. Technische Mängel: 1. Alle Gasrohrleitungen sind gem. DIN2403 entsprechend dem Durchflusstoff und der Fließrichtung zu kennzeichnen. 2. Am Pumpensumpf beim Feststoffdosierer ist eine Absturzsicherung nachzurüsten. 3. Es fehlt der Potenzialausgleich am Treppenaufgang und dem Geländer auf dem Pumpenraumdach zwischen Fermenter 1 und 2. Empfehlungen: 1. Auf der Grundlage des Explosionsschutzdokumentes sind die Mitarbeiter, alle Fremdfirmen und Besucher, die in der Nähe von Ex-Zonen tätig werden, nachweislich zu schulen. 2. Die Anlage sollte regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, durch eine befähigte Person geprüft werden. 3. Die Wartung, Prüfung und Instandsetzung sicherheitstechnisch und anlagentechnisch relevanter Komponenten sollte auf der Grundlage von Wartungsverträgen erfolgen. 4. Bei Tätigkeiten von Fremdbetrieben wo z. B. Explosionsgefährdungen, Gesundheitsgefährdungen oder Umweltgefährdungen nicht ausgeschlossen	10.: Kontrolle Fehlende Überprüfung/Kontrolle Behebung der Mängel wurde nicht nachgewiesen/nicht kontrolliert. 13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt Im Explosionsschutzdokument fehlen Angaben über Reparatur und Wartung.

⁶ Bei diesem Ereignis wird der Begriff Prüffirma zur Anonymisierung verwendet, auch wenn Prüfungen nach § 29a durch einzelne Sachverständige und, Prüfungen nach BetrSichV zum Teil durch Zugelassene Stellen durchgeführt werden.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
			werden können, ist vor Aufnahme der Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen festzulegen und in einem Freigabeschein zu dokumentieren.	
2	2013-04-22	Prüffirma sicherheitstechnische Prüfung vor Inbetriebnahme gem. § 29a BImSchG.	Ordnungsmängel des Prüfberichts nach § 29a BImSchG: 1. Es fehlen Prüfprotokolle zur ordnungsgemäßen Errichtung der Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung (TRBS 2153) und dem Blitzschutz/Potenzialausgleich. 2. Es fehlt eine Betriebsanweisung über die Auslösung des Alarms bei Überfüllung des Vorlagebehälters (siehe NB 53, S. 13 im Genehmigungsbescheid). 3. Für die Biogasanlage ist ein betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erstellen (siehe NB 43, S. 12 Genehmigungsbescheid). 4. Für die Silowände sind Hersteller- und Materialbescheinigungen zu beschaffen. 5. Auf Grundlage der BetrSichV und der erfolgten Gefährdungsbeurteilung sind die Arbeitsmittel zu erfassen, Prüf Fristen festzulegen und befähigte Personen mit der Durchführung der Prüfung zu beauftragen. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. 6. Für die Flanschverbindung Gasrohrleitung und BHKW-Motor ist vom Hersteller eine Erklärung bzgl. der dauerhaften Dichtigkeit der Ausführung (4-Loch-Flansch auf 8-Loch-Flansch) zu erbringen. 7. Es ist der Nachweis über die ausreichende Rückhaltekapazität der	13 Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Alarm und Gefahrenabwehrplan fehlt Der vorliegende Plan hat ein Datum nach dem Unfall. War eine Genehmigungsaufgabe der Behörde.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
			Umwallung dem Sachverständigen vorzulegen. Technische Mängel: 1. Alle Gasrohrleitungen sind gem. DIN2403 entsprechend dem Durchflussstoff und der Fließrichtung zu kennzeichnen. 2. Die Absturzsicherung am Pumpensumpf beim Feststoffdosierer ist nachzurüsten. 3. Es fehlt der Potenzialausgleich am Treppenaufgang und dem Geländer auf dem Pumpenraumdach zwischen Fermenter 1 und 2. Empfehlungen: 1. Die Anlage sollte regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, durch eine befähigte Person geprüft werden. 2. Der mittels Gefährdungsbeurteilung erstellte Prüfplan ist weiterzuführen und zu dokumentieren. 3. Bei Tätigkeiten von Fremdbetrieben wo z. B. Explosionsgefährdungen, Gesundheitsgefährdungen oder Umweltgefährdungen nicht ausgeschlossen werden können, sind vor Aufnahme der Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen festzulegen und in einem Freigabeschein zu dokumentieren. 4. Die Wartung, Prüfung und Instandsetzung sicherheitstechnisch und anlagentechnisch relevanter Komponenten sollte auf der Grundlage von Wartungsverträgen erfolgen.	
3	2013-04-22	Prüffirma Prüfbericht über die Einhaltung wasserrechtlicher Anforderungen beim Umgang mit NawaRo, Gülle und Silagesickersäften.	Ordnungsmängel des Prüfberichts nach § 29a BImSchG: 1. Es ist der Nachweis über die ausreichende Rückhaltekapazität der Umwallung dem Sachverständigen vorzulegen. 2. Für die Silowände sind Hersteller- und Materialbescheinigungen zu beschaffen. 3. Es fehlt eine Betriebsanweisung über die Auslösung des Alarms bei Überfüllung des Vorlagebehälters (siehe NB 53, S. 13 im Genehmigungsbescheid). Empfehlungen: 1. Leckagen von Substrat und Öl sind unverzüglich aufzunehmen. Im BHKW-Gebäude ist ein Ölbindemittel vorzuhalten. 2. Alle wasserrechtlich relevanten Anlagen sind in einem Prüfplan zu erfassen und in festzulegenden Abständen durch befähigte Personen zu prüfen.	

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
			Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. 3. Das Betriebspersonal ist regelmäßig, mindestens jedoch einmal im Jahr, nachweislich über die besonderen Bedingungen beim Umgang mit NawaRo, Gülle und wassergefährdenden Stoffen zu schulen.	
4	2016-03	Aufsichtsbehörde Erstbesichtigung.	Abnahme: nicht gebaut, wie beantragt. Forderung: Alarm- und Gefahrenabwehrplan, TRGS 529 Qualifikationsnachweis.	19.: Gutachter und Behörden verteilte Zuständigkeiten Explosionsschutz bei Reparatur und Wartung sowie Betreiberschulungen: Zuständigkeit B.G 19.: Gutachter und Behörden späte Erstbesichtigung 3 Jahre nach Inbetriebsetzung, trotz div. Mängel aus Prüfberichten (fehlende Ressourcen).
5	2016-04	Anlagenbetreiber Termin für Prüfung nach § 15 BetrSichV (Alt) wird nicht eingehalten.		16 Organisation und Management Unzureichende Festlegung von Maßnahmen aus Reviews, Kontrollen, Bewertungen Prüftermin wird nicht verfolgt.
6	2016-06-07; 13:30 -	Mitarbeiter 1 schaltet Rührwerke stromlos.		
7	2016-06-07; 13:30 -	Mitarbeiter 1 schließt Gasklappe zwischen Nachgärer und dem Gärrestelager und betreibt Blockheizkraftwerk weiter,	bis BHKW aus Gasmangel über den Unterdruckwächter bestimmungsgemäß abgeschaltet wird	
8	2016-06-07; 13:30	Monteure Fremdfirma betreten Anlagengebäude.		18 Qualifikation und Training Fehlende Einweisung der Fremdfirma Aufgrund der Beauftragung der Fremdfirma durch den Hersteller ging der Verantwortliche

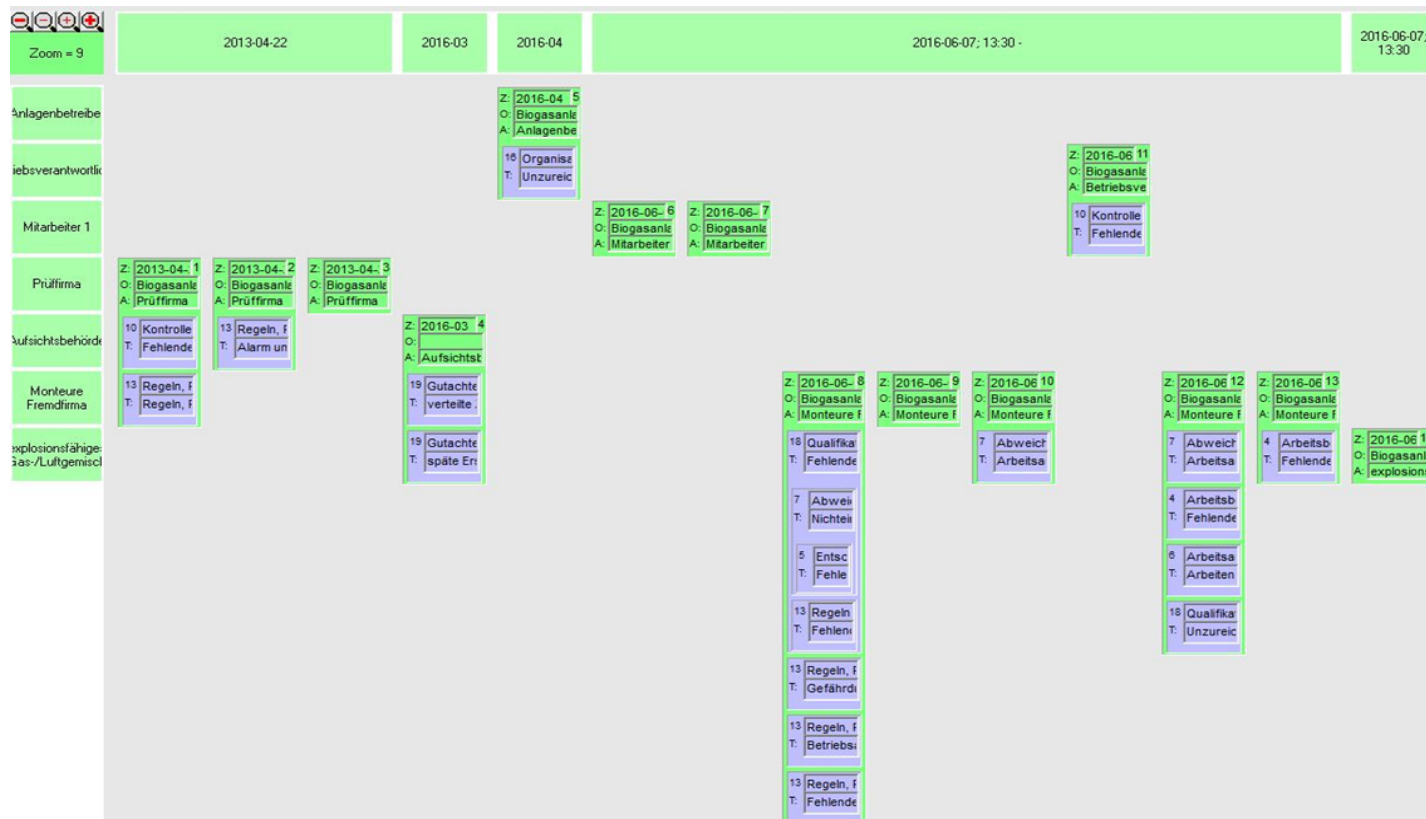
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
	-			davon aus, dass ausreichend Fachkenntnisse über die Gefahren vorhanden waren. 7 Abweichung von Vorgaben Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen Der Verantwortliche hätte einweisen müssen. 5 Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt Der Verantwortliche unterschätzte das Risiko durch unqualifizierte Fremdfirmenmitarbeiter. 13 Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Fehlende Unterweisung von Angestellten Angestellte sind erstmalig vor der Aufnahme der Tätigkeiten und anschließend wiederkehrend über die Gefahren auf Anlagen zu unterweisen. Arbeitgeberpflichten wurden am 01.10.2011 auf Verantwortlichen (Angestellter) übertragen. Keine Unterweisungen in Folgejahren (bis zum Unfall). 13 Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Gefährdungsbeurteilungen fehlen Nach § 6 der GefStoffV und TRGS 529 hätten Gefährdungsbeurteilungen erstellt werden müssen. Ebenso nach TRBS 1112 Explosionsgefährdungen bei und durch Instandsetzungsarbeiten - Beurteilung von Schutzmaßnahmen. Alle vorgelegten Gefährdungsbeurteilungen hatten ein Datum nach dem Unfall. 13 Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Betriebsanweisungen wurden nicht ausgehän-

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
				digt/geschult Betriebsanweisungen zu: Belüftung der Räume, Vermeidung von Zündquelle. Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen nur nach Freimessen, Feuerarbeiten nur mit schriftlicher Erlaubnis. 13 Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Fehlende Freigaberegulierung Arbeiten hätten freigegeben werden müssen.
9	2016-06-07; 13:30 -	Monteure Fremdfirma begeben sich zum Einsatzort.		
10	2016-06-07; 13:30 -	Monteure Fremdfirma öffnen Dachhaut.	Im Bereich der Bühne auf Länge von 7-8 m.	7 Abweichung von Vorgaben Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufen, mündlichen Vorgaben) abweicht. Laut Betriebsanweisung hätte das Dach an mehreren Stellen geöffnet oder komplett abgenommen werden müssen. Ggf. hätte eine zusätzliche technische Lüftung eingesetzt werden müssen.
11	2016-06-07; 13:30 -	Betriebsverantwortlicher entfernt sich und beaufsichtigt Arbeiten nicht weiter.		10 Kontrolle Fehlende Überprüfung der Arbeiten durch Vorgesetzte oder Mitarbeiter (Peer Check) Fehlende zumindest stichprobenartige Kontrolle der Arbeiten der Fremdfirma.
12	2016-06-07;	Monteure Fremdfirma messen nicht frei.	Gaswarngerät lag im Fahrzeug der Wartungsfirma, Originalzustand, das im Mai 2013 hätte geprüft werden müssen.	7 Abweichung von Vorgaben Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufen,

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor
	13:30 -			mündlichen Vorgaben) abweicht. Laut Betriebsanweisung hätte vor den Arbeiten freigemessen werden müssen. 4 Arbeitsbedingungen Fehlende geprüfte Arbeitsmittel Prüfung des Gaswarngeräts war 3 Jahre überfällig. 6 Arbeitsausführung Arbeiten ohne benötigte Arbeitsmittel Gaswarngerät wurde nicht eingesetzt. 18 Qualifikation und Training Gaswarngerät wurde nicht eingesetzt Monteure gingen davon aus, dass das Gärrestelager gasfrei war.
13	2016-06-07; 13:30 -	Monteure Fremdfirma beginnen Instandsetzungsarbeiten am Tauchmotorrührwerk.	Ließ sich nicht verstellen, schlagende Geräusche, verwenden ungeeignetes Werkzeug (Eimer, Kabeltrommel, Strahler)	4 Arbeitsbedingungen Fehlende, unzureichende oder nichtergonomische Arbeits- und Hilfsmittel für die Tätigkeit Werkzeug war nicht für den Einsatz in gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre geeignet.
14	2016-06-07; 13:30	explosionsfähiges Gas-/Luftgemisch zündet/verpufft	Ursache: Verwendung von nicht funkenfreiem Werkzeug oder Einsatz eines Schweißgerätes oder Einsatz weiterer nicht explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel. Nach Aussagen Monteur Explosion bei Wiederinbetriebnahme. Allerdings waren keine Schweißarbeiten erforderlich.	

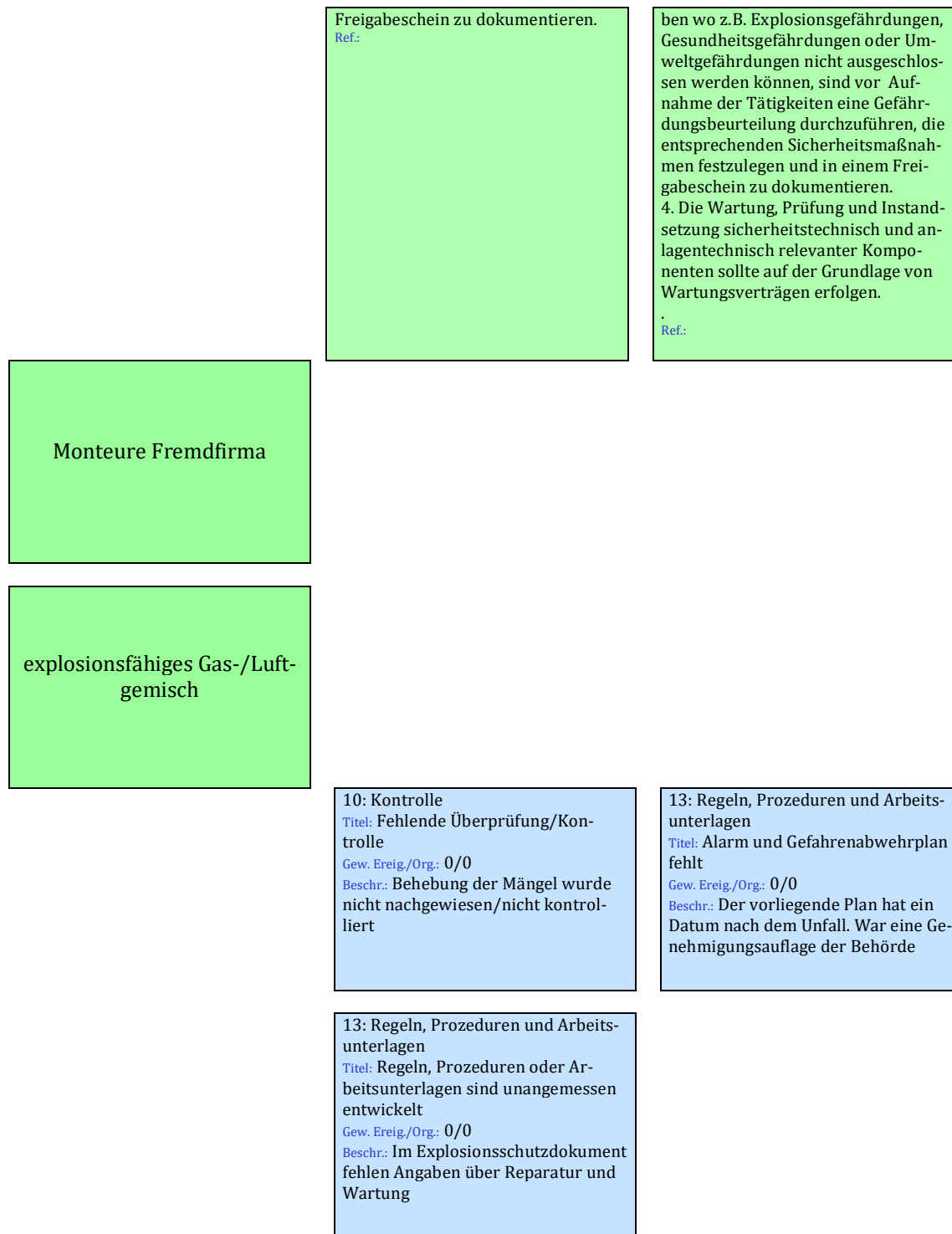
Im Zeitakteur-Diagramm (8) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 8: Zeit-Akteur-Diagramm - Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage



Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 2 und Abbildung 8.

	2012-07 -	2012-07-16
Prüffirma	Zeit: 2013-04-22 Ort: Biogasanlage Akteur: Prüffirma Handl.: Prüfung vor Inbetriebnahme gem. §14 (3) 1, sowie Anhang 4, A, BetrSichV Bem.: Ordnungsmängel des Prüfberichts nach § 29a BImSchG: 1. Auf Grundlage der BetrSichV und der erfolgten Gefährdungsbeurteilung sind die Arbeitsmittel zu erfassen, Prüffristen festzulegen und befähigte Personen mit der Durchführung der Prüfung zu beauftragen. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. 2. Es fehlen Prüfprotokolle zur ordnungsgemäßen Errichtung der Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung (TRBS 2153) und dem Blitzschutz/Potenzialausgleich 3. Für die Flanschverbindung Gasrohrleitung und BHKW-Motor ist vom Hersteller eine Erklärung bzgl. der dauerhaften Dichtigkeit der Ausführung (4-Loch-Flansch auf 8-Loch-Flansch) zu erbringen. Technische Mängel: 1. Alle Gasrohrleitungen sind gem. DIN2403 entsprechend dem Durchflusstoff und der Fließrichtung zu kennzeichnen. 2. Am Pumpensumpf beim Feststoffdosierer ist eine Absturzsicherung nachzurüsten. 3. Es fehlt der Potenzialausgleich am Treppenaufgang und dem Geländer auf dem Pumpenraumdach zwischen Fermenter 1 und 2. Empfehlungen: 1. Auf der Grundlage des Explosionsschutzdokumentes sind die Mitarbeiter, alle Fremdfirmen und Besucher, die in der Nähe von Ex-Zonen tätig werden, nachweislich zu schulen. 2. Die Anlage sollte regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, durch eine befähigte Person geprüft werden. 3. Die Wartung, Prüfung und Instandsetzung sicherheitstechnisch und anlagentechnisch relevanter Komponenten sollte auf der Grundlage von Wartungsverträgen erfolgen. 4. Bei Tätigkeiten von Fremdbetrieben wo z.B. Explosionsgefährdungen, Gesundheitsgefährdungen oder Umweltgefährdungen nicht ausgeschlossen werden können, sind vor Aufnahme der Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen festzulegen und in einem	Zeit: 2013-04-22 Ort: Biogasanlage Akteur: Prüffirma Handl.: sicherheitstechnische Prüfung vor Inbetriebnahme gem §29a BImSchG Bem.: Ordnungsmängel des Prüfberichts nach § 29a BImSchG: 1. Es fehlen Prüfprotokolle zur ordnungsgemäßen Errichtung der Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung (TRBS 2153) und dem Blitzschutz/Potenzialausgleich. 2. Es fehlt eine Betriebsanweisung über die Auslösung des Alarms bei Überfüllung des Vorlagebehälters (siehe NB 53, S. 13 im Genehmigungsbescheid). 3. Für die Biogasanlage ist ein betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan zu erstellen (siehe NB 43, S. 12 Genehmigungsbescheid). 4. Für die Silowände sind Hersteller- und Materialbescheinigungen zu beschaffen. 5. Auf Grundlage der BetrSichV und der erfolgten Gefährdungsbeurteilung sind die Arbeitsmittel zu erfassen, Prüffristen festzulegen und befähigte Personen mit der Durchführung der Prüfung zu beauftragen. Die Prüfergebnisse sind zu dokumentieren. 6. Für die Flanschverbindung Gasrohrleitung und BHKW-Motor ist vom Hersteller eine Erklärung bzgl. der dauerhaften Dichtigkeit der Ausführung (4-Loch-Flansch auf 8-Loch-Flansch) zu erbringen. 7. Es ist der Nachweis über die ausreichende Rückhaltekapazität der Umwallung dem Sachverständigen vorzulegen. Technische Mängel: 1. Alle Gasrohrleitungen sind gem. DIN2403 entsprechend dem Durchflusstoff und der Fließrichtung zu kennzeichnen, 2. Die Absturzsicherung am Pumpensumpf beim Feststoffdosierer ist nachzurüsten. 3. Es fehlt der Potenzialausgleich am Treppenaufgang und dem Geländer auf dem Pumpenraumdach zwischen Fermenter 1 und 2. Empfehlungen: 1. Die Anlage sollte regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, durch eine befähigte Person geprüft werden. 2. Der mittels Gefährdungsbeurteilung erstellte Prüfplan ist weiterzuführen und zu dokumentieren. 3. Bei Tätigkeiten von Fremdbetrie-
Aufsichtsbehörde		

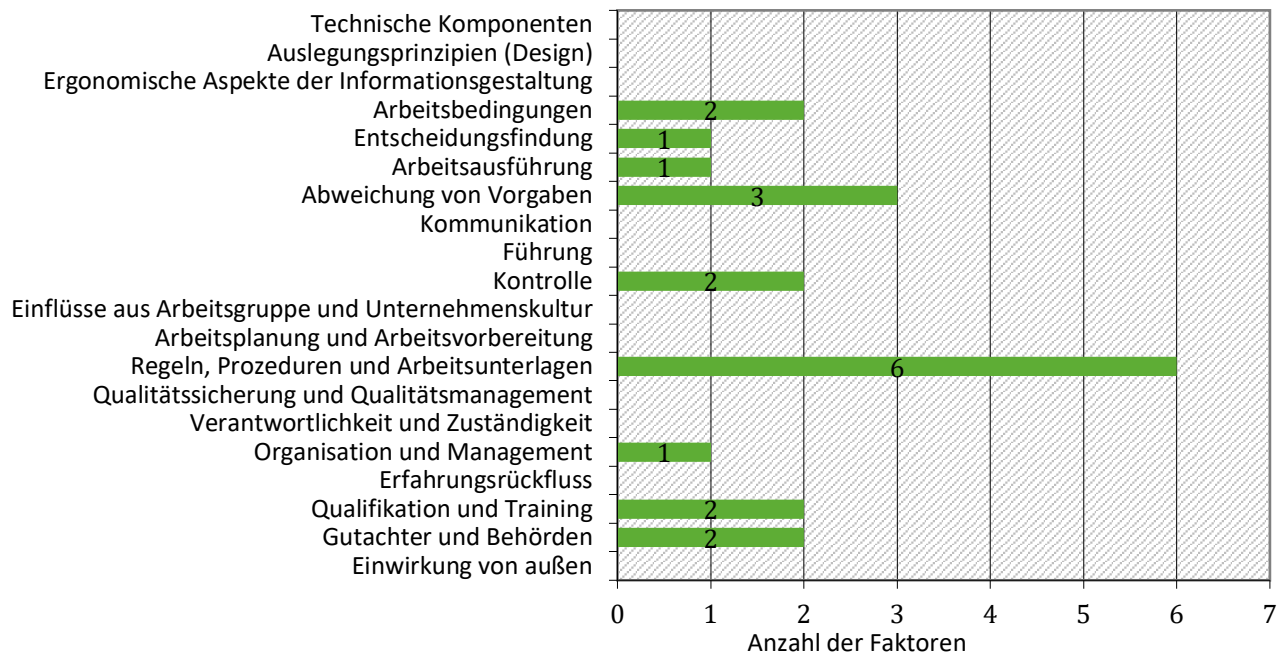


3.2.2.3 Identifikation beitragender Faktoren

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen“ und einem konkreten Titel wie „Alarm und Gefahrenabwehrplan fehlt“ und der spezifischen Beurteilung wie „Der vorliegende Plan hat ein Datum nach dem Unfall. War eine Genehmigungsaufgabe der Behörde“.

Für das Ereignis konnten insgesamt 20 beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 9 dargestellt sind.

Abbildung 9: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen für Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage



Am häufigsten wird hier der Faktor Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen (sechsmal) identifiziert:

- Im Explosionsschutzdokument fehlen Angaben über Reparatur und Wartung.
- Alarm und Gefahrenabwehrplan fehlt: Der vorliegende Plan hat ein Datum nach dem Unfall. War eine Genehmigungsaufgabe der Behörde.
- Fehlende Unterweisung von Angestellten: Angestellte sind erstmalig vor der Aufnahme der Tätigkeiten und anschließend wiederkehrend über die Gefahren auf Anlagen zu unterweisen. Unternehmerpflichten wurden am 01.10.2011 auf Verantwortlichen (Angestellter) übertragen. Keine Unterweisungen in Folgejahren (bis zum Unfall).
- Gefährdungsbeurteilungen fehlen: Nach § 6 der GefStoffV und TRGS 529 hätten Gefährdungsbeurteilungen erstellt werden müssen. Ebenso nach TRBS 1112 Explosionsgefährdungen bei und durch Instandsetzungsarbeiten - Beurteilung von Schutzmaßnahmen. Alle vorgelegten Gefährdungsbeurteilungen hatten ein Datum nach dem Unfall.
- Betriebsanweisungen wurden nicht ausgehändigt/geschult: Betriebsanweisungen zu Belüftung der Räume, Vermeidung von Zündquelle, Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen nur nach Freimessen und Feuerarbeiten nur mit schriftlicher Erlaubnis.

- Fehlende Freigaberegulierung: Arbeiten hätten freigegeben werden müssen.

Der Faktor „Abweichung von Vorgaben“ wurde dreimal identifiziert:

- Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Der Verantwortliche hätte unterweisen müssen.
- Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufen, mündlichen Vorgaben) abweicht: Laut Betriebsanweisung hätte das Dach an mehreren Stellen geöffnet oder komplett abgenommen werden müssen. Ggf. hätte eine zusätzliche technische Lüftung eingesetzt werden müssen.
- Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufen, mündlichen Vorgaben) abweicht: Laut Betriebsanweisung hätte vor den Arbeiten freigesemsen werden müssen.

Je zweimal wurden die Faktoren Arbeitsbedingungen und Qualifikation und Training sowie Behörden und Gutachter identifiziert:

- Fehlende geprüfte Arbeitsmittel: Prüfung des Gaswarngeräts war 3 Jahre überfällig.
- Fehlende, unzureichende oder nichtergonomische Arbeits- und Hilfsmittel für die Tätigkeit: Werkzeug war nicht für den Einsatz in gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre geeignet.
- Fehlende Einweisung der Fremdfirma: Aufgrund der Beauftragung der Fremdfirma durch den Hersteller ging der Verantwortliche davon aus, dass ausreichend Fachkenntnisse über die Gefahren vorhanden waren.
- Gaswarngerät wurde nicht eingesetzt: Monteure gingen davon aus, dass das Gärrestelager gasfrei war.
- Explosionsschutz bei Reparatur und Wartung sowie Betreiberschulungen: Zuständigkeit BG.
- Späte Erstbesichtigung: Drei Jahre nach Inbetriebsetzung, trotz diverser Mängel aus Prüfberichten (fehlende Ressourcen).

Auch in diesem Fall gab es eine unzureichende technische und administrative Vorsorge. Die Anlage wurde nicht entsprechend ihres Gefährdungspotenzials betrieben, indem notwendige schriftliche Unterlagen fehlten und die vorhandenen bei den Instandsetzungsarbeiten nicht verwendet wurden.

3.2.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Der Betreiber der Anlage hat seine Dokumentation (u.a. Freigabeverfahren für bestimmte Tätigkeiten, Gefährdungsbeurteilungen, Betriebsanweisungen) überarbeitet. Im ZEMA-Bericht wird ferner genannt, dass Fremdfirmen auf geeignete Arbeitsmittel und Arbeitspläne überwacht werden sollen und dass Zertifizierungen kontrolliert werden sollen.

Hier sind also regelbezogene Maßnahmen genannt. Aus unserer Ansicht fehlen hier Maßnahmen, die das Betreiberverhalten (Abweichung von Vorgaben) selbst adressieren sowie die notwendigen Schulungen/Unterweisungen für Eigen- und Fremdpersonal.

3.2.3 Schlussfolgerungen

1. Mängel bei der Umsetzung von Regelungen und Regeln (Berücksichtigung von Instandhaltung im Sicherheitsbericht).
2. Mängel in betrieblichen Regelungen (Aktualität, Vollständigkeit).
3. Mängel beim Zusammenwirken von Regelungen und Regeln von Arbeitsschutz und Immissionsschutz (z.B. Einweisung und Unterweisung).
4. Anforderungen an die Kompetenzen von Verantwortlichen für die Instandhaltung (intern/extern) fehlen.
5. Mängel in der Gefahrenbewertung.
6. Mängel in der Umsetzung von Empfehlungen/Forderungen.

3.3 Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel

3.3.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Bei Schweißarbeiten (durch eine externe Firma) kam es zu einem Brand im Tanklager. Ein Sicherheitsventil sollte erneuert und ausbaubar durch Absperrung mit Kugelhähnen werden. Dazu wurde die Rohrleitung nach Absperrern der Schieber entleert.

Begonnen wurde mit den Schweißarbeiten auf der Druckseite der Pumpe. Stickstoff wurde über einen Manometerstutzen auf der Druckseite in die Rohrleitung gedrückt. Der Stutzen mit Flansch wurde abgetrennt und ein neuer angeschweißt. Dann erfolgten die Schweißarbeiten auf der Saugseite. Stickstoff wurde in die Rohrleitung über den Manometerstutzen, der sich in ca. 15 cm Abstand zum Schweißpunkt befand, gedrückt. Der Stutzen der Rohrleitung wurde abgetrennt und ein neuer Stutzen mit Flansch aufgeschweißt.

Mit der Pumpe 6 kann Heizöl (HEL) von mehreren Tanks über eine Leitung zu einer Tankwagenverladung gepumpt werden. Es ist aber auch möglich HEL über eine zweite Rohrleitung, die mit einem Schieber abgetrennt werden kann, über die Pumpen 4 und 5 von den Tanks zu den Verladestellen zu pumpen.

Die Wurzelnaht war fertig. Die Decknaht auf der Saugseite wurde erstellt. Während die Decknaht erstellt wurde, kam Heizöl saug- und druckseitig auf die Pumpe 6.

Der Motorschieber an einem Tank wurde von der Messwarte aus versehentlich auf Grund mehrerer unterschiedlicher Einlagerungen geöffnet. Dadurch trat Heizöl in die Rohrleitung zur Pumpe 6 ein. Das Heizöl hat sich an beiden Seiten entzündet, erst an der heißen Saugseite und dann auf der Druckseite.

Das Freigabeverfahren für Heißenarbeiten hat versagt. Für die Durchführung der Arbeiten wurde keine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt.

Als Vorkehrung zur Vermeidung wurden die folgenden Maßnahmen geplant/umgesetzt.

- a) Absprache mit dem Einkauf, dass in den Standardvertrag die Vorgabe eingearbeitet wird, dass die Auftragnehmer Gefährdungsbeurteilungen für die durchzuführenden Arbeiten, Betriebsanweisungen für Arbeitsmittel und Gefahrstoffe sowie Sicherheitsdatenblätter von den Stoffen, die die Auftragnehmer mitbringen, dem Tanklagerleiter vorlegen müssen.
- b) Gefährliche Arbeiten müssen in einer Anlaufberatung bearbeitet werden, in der in Zusammenarbeit von Tanklagerleiter, Techniker, evtl. Mitarbeiter Technische Sicherheit, evtl. HSE geplant wird, welche Sicherheitsmaßnahmen zur Erstellung der

Ausschreibungsunterlagen notwendig sind und welche Maßnahmen wann und mit welchen Verantwortlichkeiten durchzuführen sind.

- c) Das Gefahrenpotential, bei Instandhaltungs- oder Bauleistungen, insbesondere bei Heißarbeiten ist in einer zentralen Schulungsmaßnahme zu erläutern.
- d) Die Ausfüllung der Freigabebescheinung und deren Sicherheitsaufgabe werden in den Tanklagern noch einmal gesondert unterwiesen.
- e) Überprüfung und Erarbeitung eines aktuellen R&I für das Tanklager.
- f) Falls Fremdfirmen im Tanklager sind, muss dies und deren Arbeiten mit den Mitarbeitern in der täglichen Morgenbesprechung abgesprochen werden und im Schichtbuch dokumentiert werden.
- g) Die Arbeiten im Tanklager dürfen erst wieder begonnen werden, wenn das Reparaturverfahren mit dem Auftragnehmer, dem Techniker und Lagerleiter diskutiert wurde und die Sicherheit der Arbeiten durch die diskutierte Gefährdungsbeurteilung und Risikoabschätzung gewährleistet ist.

3.3.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf menschliche und organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.3.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung präsentierte der verantwortlichen Behördenvertreter das Ereignis und es wurden Fragen zum Ablauf und zu den Ursachen beantwortet. Berücksichtigt wurde ferner die ZEMA - Detailansicht für Störfall

3.3.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden elf Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

In Tabelle 3 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für den Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel dargestellt.

Tabelle 3: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2008-01-31, 11:05--	Mitarbeiter sperrt Rohrleitung ab (Druckseite der Pumpe).		12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung Abhängigkeiten und Auswirkungen nicht berücksichtigt: Absperrung war nicht gegen Fehlbedienung gesichert/verschlossen (LOTOTO-Prinzip). 7: Abweichung von Vorgaben Abweichungen von konzernweiten Regelungen: Arbeiten an gefahrstoffgefüllter Leitung. 11: Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur: Standort weigert sich konzernweite Regelungen anzuerkennen. 16: Organisation und Management Werte und Ziele des Unternehmens nicht immer ernst genommen oder glaubwürdig vertreten: Konzern lässt Standortvorgehen zu.
2	2008-01-31, 11:05--	Mitarbeiter entleert Rohrleitung.		
3	2008-01-31, 11:05--	Mitarbeiter drückt Stickstoff über Manometerstutzen auf der Druckseite in die Rohrleitung.		
4	2008-01-31, 11:05-	Fremdfirmenmitarbeiter schweißt auf Saugseite.	Erneuerung eines Sicherheitsventils	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen: Freigabeverfahren für Heißenarbeiten hat versagt. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen: Keine Gefährdungsbeurteilung für die Durchführung der Arbeit.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
5	2008-01-31, 11:05-	Fremdfirmenmitarbeiter trennt Stutzen mit Flansch ab und schweißt neuen an.		
6	2008-01-31, 11:05	Mitarbeiter drückt Stickstoff saugseitig in die Rohrleitung.	Manometerstutzen hatte ca. 15 cm Abstand zum Schweißpunkt.	
7	2008-01-31, 11:05	Fremdfirmenmitarbeiter trennt Stutzen der Rohrleitung ab und schweißt neuen Stutzen mit Flansch an.		
8	2008-01-31, 11:05	Fremdfirmenmitarbeiter erstellt Decknaht auf der Saugseite	Wurzelnaht war bereits fertig gestellt.	
9	2008-01-31, 11:05	Messwarte öffnet Motorschieber an einem Tank.	Versehentlich wegen unterschiedlicher Einlagerungen.	6: Arbeitsausführung Verwechslung der Leitungen: Abgelenkt wegen Zollkontrolle. 18: Qualifikation und Training Unzureichende Ausbildung der Mitarbeiter: Verständnis für System fehlte 19: Gutachter und Behörden Störung des Betriebsablaufs durch Betriebskontrollen: Zoll war vor Ort, um Treibstofflieferung zu kontrollieren.
10	2008-01-31, 11:05	Heizöl kam druck- und saugseitig auf Pumpe 6.		
11	2008-01-31, 11:05	Heizöl entzündet sich druck- und saugseitig.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 10) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

	2008-01-31, 11:05--	2008-01-31, 11:05--
	1	2
Mitarbeiter	Zeit: 2008-01-31, 11:05-- Ort: Akteur: Mitarbeiter Handl.: sperrt Rohrleitung ab (Druckseite der Pumpe) Bem.: Ref.:	Zeit: 2008-01-31, 11:05-- Ort: Akteur: Mitarbeiter Handl.: entleert Rohrleitung Bem.: Ref.:
Fremdfirmenmitarbeiter	7: Abweichung von Vorgaben Titel: Abweichungen von konzernweiten Regelungen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Arbeiten an gefahrstoffgefüllter Leitung	
Heizöl	11: Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur Titel: Standort weigert sich konzernweite Regelungen anzuerkennen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.:	
Messwarte	16: Organisation und Management Titel: Werte und Ziele des Unternehmens nicht immer ernst genommen oder glaubwürdig vertreten Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Konzern lässt Standortvorgehen zu	
	12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung Titel: Abhängigkeiten und Auswirkungen nicht berücksichtigt Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Absperrung war nicht gegen Fehlbedienung gesichert/verschlossen (LOTOTO-Prinzip)	

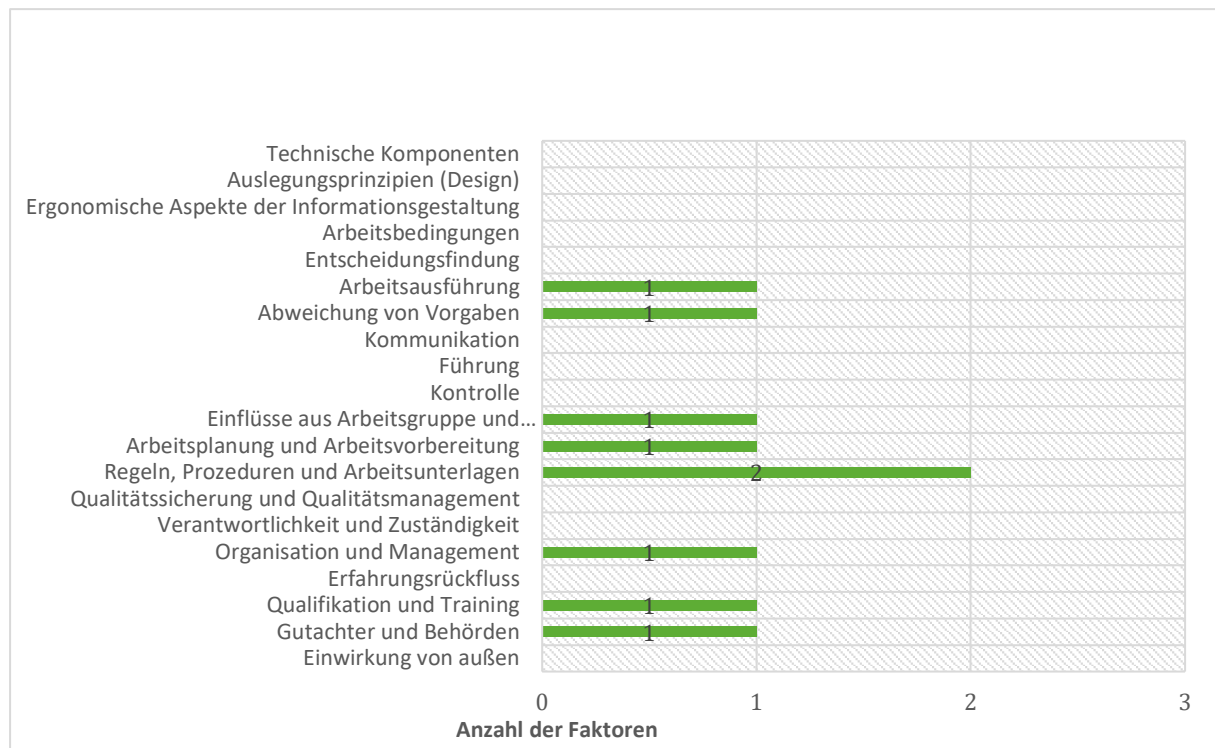
3.3.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Auslegungsprinzipien (Design)“ und einem konkreten Titel wie „Fehlende

konstruktive Vorkehrungen gegen Fehlbedienung“ und der spezifischen Beurteilung wie „Absperrung war nicht gegen Fehlbedienung gesichert/verschlossen“.

Für das Ereignis konnten insgesamt neun beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 11 dargestellt sind.

Abbildung 11: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel



Nur ein Faktor wird zweimal identifiziert, der Faktor Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen:

- Freigabeverfahren für Heißarbeiten hat versagt.
- Keine Gefährdungsbeurteilung für die Durchführung der Arbeit.

Auch in diesem Fall gab es eine unzureichende technische und administrative Vorsorge. Die Anlage wurde nicht entsprechend ihres Gefährdungspotenzials betrieben, indem notwendige schriftliche Unterlagen fehlten und die vorhandenen bei den Instandsetzungsarbeiten nicht verwendet wurden.

3.3.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind die folgenden Vorkehrungen gegen Vermeidung genannt:

1. Absprache mit dem Einkauf, dass in den Standardvertrag die Vorgabe eingearbeitet wird, dass die Auftragnehmer Gefährdungsbeurteilungen für die durchzuführenden Arbeiten, Betriebsanweisungen für Arbeitsmittel und Gefahrstoffe sowie Sicherheitsdatenblätter von den Stoffen, die die Auftragnehmer mitbringen, dem Tanklagerleiter vorlegen müssen.
2. Gefährliche Arbeiten müssen in einer Anlaufberatung bearbeitet werden, in der in Zusammenarbeit von Tanklagerleiter, Techniker, evtl. Mitarbeiter Technische Sicherheit, evtl. HSE geplant wird, welche Sicherheitsmaßnahmen zur Erstellung der

Ausschreibungsunterlagen notwendig sind und welche Maßnahmen wann und mit welchen Verantwortlichkeiten durchzuführen sind.

3. Das Gefahrenpotential, bei Instandhaltungs- oder Bauleistungen, insbesondere bei Heißenarbeiten ist in einer zentralen Schulungsmaßnahme zu erläutern.
4. Die Ausfüllung der Freigabescheine und deren Sicherheitsaufgabe werden in den Tanklagern noch einmal gesondert unterwiesen.
5. Überprüfung und Erarbeitung eines aktuellen R&I für das Tanklager.
6. Falls Fremdfirmen im Tanklager sind, muss dies und deren Arbeiten mit den Mitarbeitern in der täglichen Morgenbesprechung abgesprochen werden und im Schichtbuch dokumentiert werden.
7. Die Arbeiten im Tanklager dürfen erst wieder begonnen werden, wenn das Reparaturverfahren mit dem Auftragnehmer, dem Techniker und Lagerleiter diskutiert wurde und die Sicherheit der Arbeiten durch die diskutierten Gefährdungsbeurteilungen und Risikoabschätzung gewährleistet ist.

Die Maßnahme sind personeller Natur (Schulung/Unterweisung), regelbezogen (Standardvertrag) und organisatorisch (Zusammenarbeit) und korrespondieren mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

3.3.3 Schlussfolgerungen

1. Fehlende Vorsorge gegen Fehlbedienung (Verriegelungen).
2. Freigabeverfahren und -scheine müssen alle erreichen, die bei der Instandhaltung Zugriff auf ein Anlagenteil haben.
3. Schwächen in der Sicherheitskultur.

3.4 Explosion in einem Kaltbandwerk

3.4.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Behälter war entleert, ungereinigt mit Restmengen und von den Befüll- und Entlüftungsleitungen getrennt.

Zur Vorbereitung einer Sachverständigenprüfung eines Lagerbehälters für Flusssäure waren drei externe Mitarbeiter damit beschäftigt, den Verschlussdeckel des Mannlochs (DN 600) durch Entfernen der Schrauben zu öffnen. Hierzu wurde neben den entsprechenden Schraubenschlüsseln auch eine Winkelschleifmaschine verwendet. Dabei kam es zu einer Gasexplosion.

Zwei Mitarbeiter wurden durch den Explosionsdruck und den hochgeschleuderten Deckel (ca. 90 kg) getroffen und tödlich verletzt. Beim Eintreffen der Werkfeuerwehr lag ein Betroffener auf dem Boden vor der Lageranlage, der zweite lag auf der angrenzenden Bühne in ca. 10 Meter Höhe neben dem Lagertank. Der hochgeschleuderte Deckel durchschlug das Dach einer ca. 50 bis 60 m entfernten angrenzenden Produktionshalle, was bis auf den geringen Sachschaden zum Glück ohne Folgen blieb.

Im Verlauf von Reinigungsarbeiten am Flusssäurelagerbehälter wurde der im Behälter verbliebene Rest an konzentrierter Flusssäure mit Wasser verdünnt und mit Natriumhydroxid nicht vollständig neutralisiert. Anschließend wurde der Behälter verschlossen. Danach wurden die Reinigungsarbeiten nach Auskunft des Betreibers für mindestens 2 Tage unterbrochen. In dieser Zeit entstand infolge der Reaktion der verdünnten Flusssäure mit dem Eisenwerkstoff des Behälters Wasserstoff, so dass sich eine explosionsfähige Atmosphäre ausbildete. Bei der Wiederaufnahme der Reinigungsarbeiten, vermutlich bei funkenschlagenden Arbeiten mit einer Winkelschleifmaschine, wurde das explosionsfähige Gemisch gezündet.

3.4.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf menschliche und organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.4.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurden mehrere telefonische Gespräche mit dem Behördenvertreter geführt sowie folgende Unterlagen berücksichtigt (aufgrund der vereinbarten Anonymität der Ergebnisse werden keine Namen genannt und Titel z.T. verkürzt wiedergegeben):

1. ZEMA – Detailansicht für Störfall vom 05.05.2010
2. Gutachten zum Unfall am Flusssäurelagerbehälter im Innenhof des Kaltwalzwerkes vom 20.01.2011

3.4.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden acht Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

In Tabelle 4 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für die Explosion in einem Kaltbandwerk dargestellt.

Tabelle 4: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion in einem Kaltbandwerk

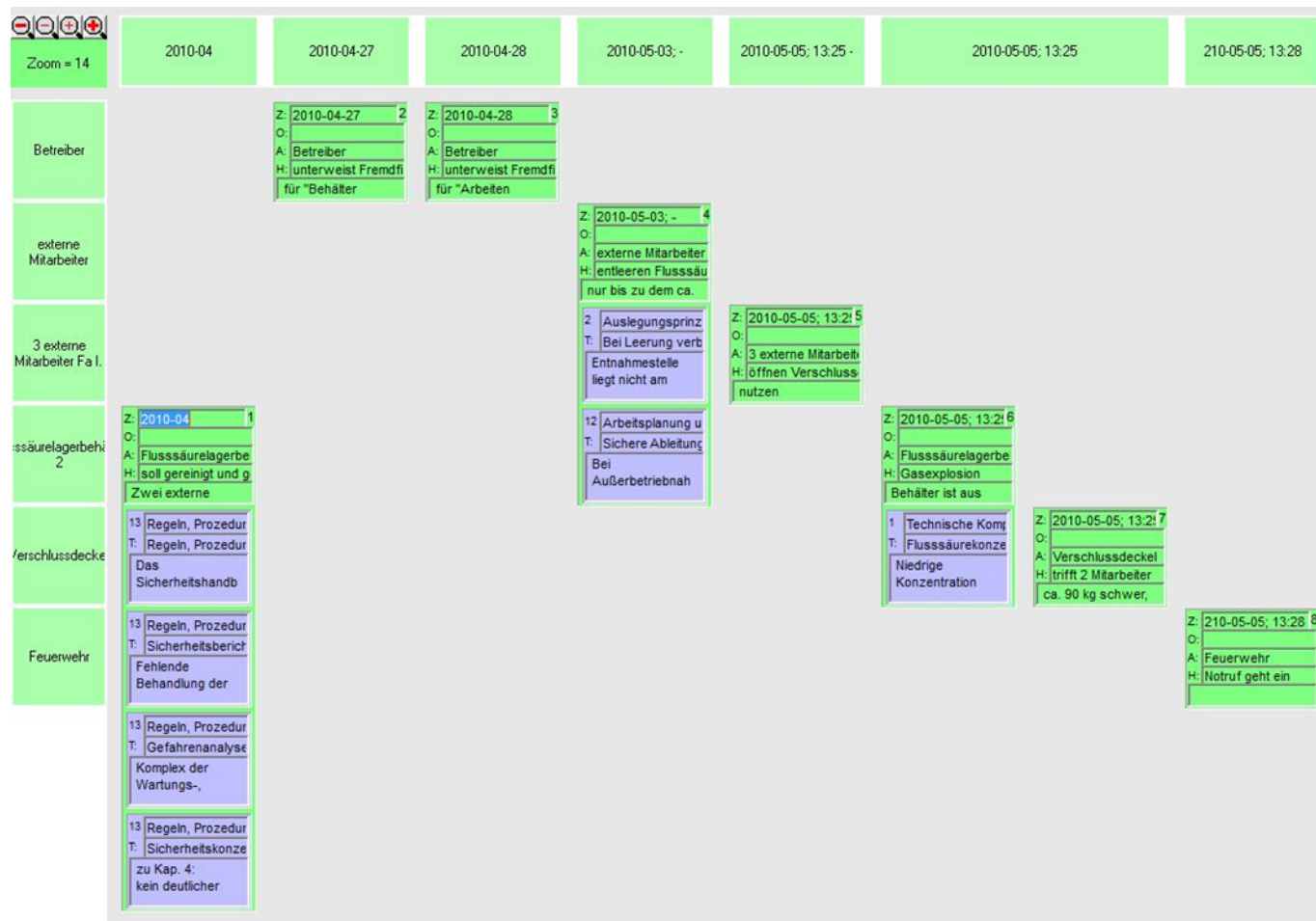
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2010-04	Flusssäurelagerbehälter 2 soll gereinigt und gewartet werden	Zwei externe Fachfirmen: Firma I "Flusssäurebehälter reinigen TÜV Prüfung", Firma II "Flusssäurebehälter 2 reinigen" Behälter entleeren, von Betriebsleitungen trennen, Mannlochdeckel öffnen. Zur Behälterreinigung müssen sämtliche Leitungen demontiert werden. Die Restentleerung erfolgt über das manuell zu bedienende Bodenventil, kann zu längeren Standzeiten führen	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen. Das Sicherheitshandbuch enthält keine Arbeitsabläufe für das Stillsetzen, Reinigen und Prüfen von Anlagenteilen der Flusssäurelagerung, keine Arbeitsanweisungen. Sicherheitshandbuch ist Basis zur Einweisung und Unterweisung von Fremdfirmen. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Sicherheitsbericht Abschnitt III Fehlende Behandlung der Bildung von Wasserstoff im Falle der Konzentrationsunterschreitung. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Gefahrenanalyse im Sicherheitsbericht Komplex der Wartungs-, Inspektions-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten wird nicht explizit beschrieben, keine Betriebs- und Arbeitsanweisungen. Verdünnung von Flusssäure wird nicht betrachtet, Entstehung von Wasserstoff unter 60% Konzentration wird nicht erwähnt. 13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Sicherheitskonzept und Sicherheitsmanagement zu Kap. 4: kein deutlicher Verweis auf Arbeitsanweisungen, auf Freigaberegulungen und darüber, wie die Kenntnis über das Vorliegen von Gefahren zu dem Freigabeerteilenden gelangt.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
2	2010-04-27	Betreiber weist Fremdfirma II ein.	für «Behälter abklemmen an Säurestapelanlage»	
3	2010-04-28	Betreiber unterweist Fremdfirma I.	für «Arbeiten Flusssäurebehälter reinigen an Arbeitsstelle Säurestapelanlage» (kein Hinweis auf Explosionsgefährdung). Erlaubnisschein für Mitarbeiter M. der Firma I. für Trennschleifen an der Säurestapelanlage (kein Hinweis auf Explosionsgefahr).	
4	2010-05-03; -	externe Mitarbeiter entleeren Flusssäurelagerbehälter 2.	Nur bis zu dem ca. 27 cm in den Behälter ragenden Stutzen, die im Behälter verbleibende Restmenge an 71%-iger Flusssäure wurde mit Brunnenwasser zu 30%-iger verdünnt und nur zum geringen Teil mit Natronlauge neutralisiert.	2: Auslegungsprinzipien (Design) Bei Leerung verbleibt Rest von ca. 27 cm Entnahmestelle liegt nicht am tiefsten Punkt, so dass bei Reinigung immer Restflüssigkeit entfernt werden muss. 12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung Sichere Ableitung entstehender Gase fehlt Bei Ausserbetriebnahme sollte vorhandener Gaswäscher angeschlossen bleiben.
5	2010-05-05; 13:25 -	3 externe Mitarbeiter Fa. I. öffnen Verschlussdeckel des Mannlochs des Flusssäurelagerbehälters 2.	Nutzen Schraubenschlüssel und Winkelschleifmaschine, kein funkenarmes Werkzeug.	
6	2010-05-05; 13:25	Flusssäurelagerbehälter 2 Gasexplosion.	Behälter ist aus Stahl gefertigt, 2 untenliegende Stutzen (DN80) für Entnahme- und Entleerleitung, jeder mit einer Handarmatur (direkt am Behälterstutzen angeflanscht), am Behälterkopf Mannloch sowie 3 Stutzen für Befüll-, Überlauf- und Belüftungsleitung. SPS führt Förderung durch Ventilstellung in tiefer gelegene Tagesbehälter aus. Es wird solange Flusssäure entnommen, bis ein Behälter den Inhalt eines Kesselwagens aufnehmen kann. Zur Befüllung eines Behälters wird die Anlage so geschaltet, dass der nicht zur Befüllung anstehende	1: Technische Komponenten Flusssäurekonzentration nur noch 30,5% statt 71%-75% Niedrige Konzentration führt zu Reaktion mit Behälterwerkstoff und es entsteht Wasserstoff.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
			Behälter die Versorgung der Produktionslinien sicherstellt. Während dieser Zeit kann der entleerte Behälter, befüllt, gewartet oder geprüft werden.	
7	2010-05-05; 13:25	Verschlussdeckel trifft 2 Mitarbeiter.	Ca. 90 kg schwer. Mitarbeiter werden tödlich verletzt (ein Mitarbeiter lag auf der Bühne neben dem Tank in ca. 10m Höhe, der andere auf dem Boden vor der Anlage). Verschlussdeckel durchschlägt Dach einer ca. 50m entfernten Produktionshalle.	
8	210-05-05; 13:28	Feuerwehr Notruf geht ein.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 12) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 12: Zeit-Akteur Diagramm – Explosion in einem Kaltbandwerk



Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 4 und Abbildung 12.

	2012-07 -	2012-07-16
		2
Betreiber		Zeit: 2010-04-27 Ort: Akteur: Betreiber Handl.: unterweist Fremdfirma Z Bem.: für "Behälter abklemmen an Säurestapelanlage" Ref.:
externe Mitarbeiter		
3 externe Mitarbeiter Fa. I.		
	1	
Flusssäurelagerbehälter 2		Zeit: 2010-04 Ort: Akteur: Flusssäurelagerbehälter 2 Handl.: soll gereinigt und gewartet werden Bem.: Zwei externe Fachfirmen Firma I "Flusssäurebehälter reinigen TÜV Prüfung", Firma Z "Flusssäurebehälter 2 reinigen" Behälter entleeren, von Betriebsleitungen trennen, Mannlochdeckel öffnen Zur Behälterreinigung müssen sämtliche Leitungen demontiert werden. Die Restentleerung erfolgt über das manuell zu bedienende Bodenventil, kann zu längeren Standzeiten führen Ref.:
Verschlussdeckel		
Feuerwehr		

13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen
Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen
Gew. Ereig./Org.: 0/0
Beschr.: Das Sicherheitshandbuch enthält keine Arbeitsabläufe für das Stillsetzen, Reinigen und Prüfen von Anlagenteilen der Flusssäurelagerung, keine Arbeitsanweisungen. Sicherheitshandbuch ist Basis zur Unterweisung von Fremdfirmen

13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen
Titel: Sicherheitsbericht Abschnitt III
Gew. Ereig./Org.: 0/0
Beschr.: Fehlende Behandlung der Bildung von Wasserstoff im Falle der Konzentrationsunterschreitung

13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen
Titel: Gefahrenanalyse im Sicherheitsbericht
Gew. Ereig./Org.: 0/0
Beschr.: Komplex der Wartungs-, Inspektions-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten wird nicht explizit beschrieben, keine Betriebs- und Arbeitsanweisungen. Verdünnung von Flusssäure wird nicht betrachtet, Entstehung von Wasserstoff unter 60% Konzentration wird nicht erwähnt.

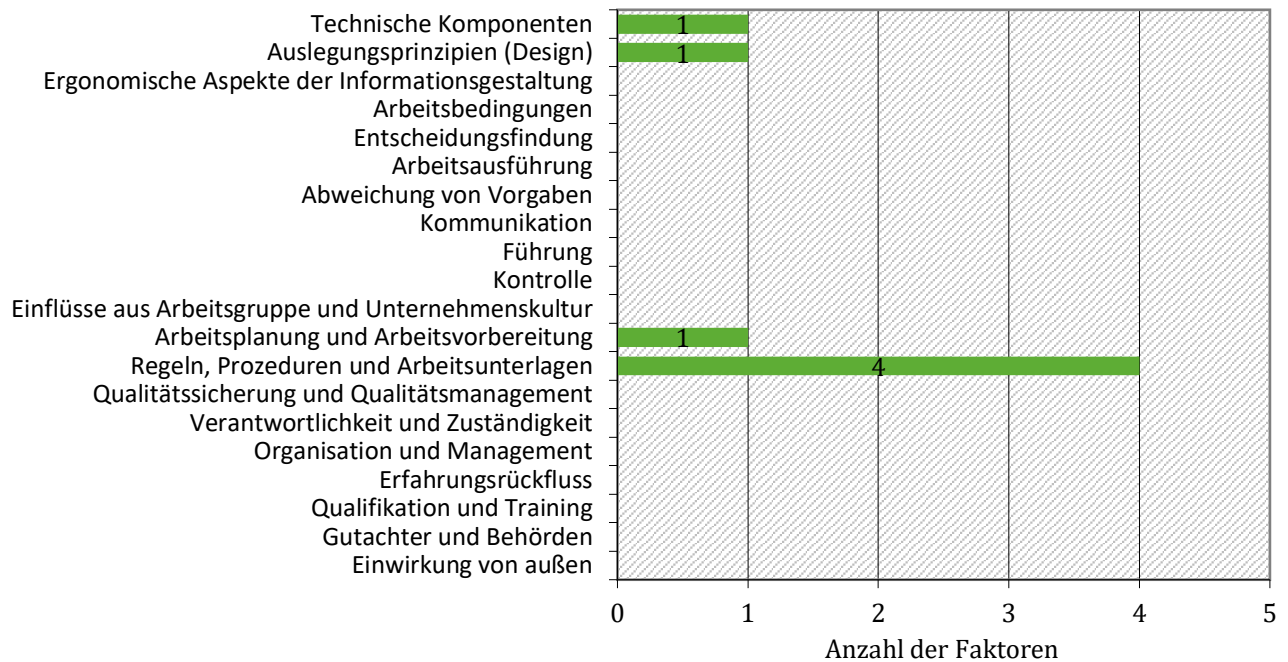
13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen
Titel: Sicherheitskonzept und Sicherheitsmanagement
Gew. Ereig./Org.: 0/0
Beschr.: zu Kap. 4:
kein deutlicher Verweis auf Arbeitsanweisungen, auf Freigaberegulungen und darüber, wie die Kenntnis über das Vorliegen von Gefahren zu dem Freigabeurteilenden gelangt.

3.4.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Technische Komponenten“ und einem konkreten Titel wie „Flusssäurekonzentration nur noch 30,5% statt 71%-75%“ und der spezifischen Beurteilung wie „Niedrige Konzentration führt zu Reaktion mit Behälterwerkstoff und es entsteht Wasserstoff“.

Für das Ereignis konnten insgesamt sieben beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung dargestellt sind.

Abbildung 13: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion in einem Kaltbandwerk



Nur ein Faktor wird viermal identifiziert, der Faktor Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen:

- Das Sicherheitshandbuch enthält keine Arbeitsabläufe für das Stillsetzen, Reinigen und Prüfen von Anlagenteilen der Flusssäurelagerung, keine Arbeitsanweisungen; Sicherheitshandbuch ist Basis zur Unterweisung von Fremdfirmen.
- Fehlende Behandlung der Bildung von Wasserstoff im Falle der Konzentrationsunterschreitung.
- Komplex der Wartungs-, Inspektions-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten wird nicht explizit beschrieben, keine Betriebs- und Arbeitsanweisungen. Verdünnung von Flusssäure wird nicht betrachtet, Entstehung von Wasserstoff unter 60 % Konzentration wird nicht erwähnt.
- In Kap. 4 kein deutlicher Verweis auf Arbeitsanweisungen, auf Freigaberegulungen und darüber, wie die Kenntnis über das Vorliegen von Gefahren zu dem Freigabeerteilenden gelangt.

Auch in diesem Fall gab es unzureichende administrative Vorsorge. Die Anlage wurde nicht entsprechend ihres Gefährdungspotenzials betrieben, indem notwendige schriftliche Unterlagen fehlten bzw. unvollständig waren.

3.4.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind keine Vorkehrungen gegen Vermeidung genannt. Zumindest regel-bezogene Maßnahmen wären hier notwendig.

3.4.3 Schlussfolgerungen

1. Fehlerhafte Gefahrenanalyse“ (Bildung von Wasserstoff)
2. Mängel bei der Umsetzung von Regelungen und Regeln (Berücksichtigung von Instandhaltung im Sicherheitsbericht).
3. Mängel im betrieblichen Regelwerk (Vollständigkeit, Aktualität, Konsistenz).
4. Mängel beim Zusammenwirken von Regelungen und Regeln von Arbeitsschutz und Immissionsschutz (z. B. Einweisung und Unterweisung.)
5. Anforderungen an die Kompetenzen von Verantwortlichen für die Instandhaltung (intern/extern) fehlen.

3.5 Brand in einem Galvanikbetrieb

3.5.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Die Anlagen waren nicht in Betrieb (Wochenende). Ein Verteilerkasten an einem der Galvanoautomaten geriet wahrscheinlich in Folge eines fehlerhaften elektrischen Kontakts in Brand. Das Feuer griff auf die benachbarten Kunststoffgegenstände über.

Nachdem eine Druckluftleitung aus Kunststoff durchschmolz, begann eine nicht mehr zu kontrollierende Ausbreitung des Brandes. Diese führte zum kompletten Abbrand des Gebäudes mit sieben Galvanikautomaten und einen Sachschaden von ca. 18 Millionen EUR. Zum Zeitpunkt des Brandausbruchs befanden sich keine Personen im Gebäude (Wochenende).

Als Ursache für den Brandausbruch wird ein Brand innerhalb eines elektrischen Verteilerkastens vermutet. Eine Videosequenz einer Überwachungskamera zeigt, wie ein Brand im unmittelbaren Umfeld des Kastens entsteht und auf Kunststoffteile übergreift.

Als ein Schlauch des Druckluftsystems durch die Befuerung platzt, wird brennendes Material in der Umgebung des Galvanikautomats weiterverteilt und es kommt zu einer raschen Brandausweitung.

Automatische Meldung an die Feuerwehr (Brandmeldeanlage) und Brandbekämpfung durch die Feuerwehren aus der Umgebung.

Als Vorkehrungen zur Vermeidung wurden die folgenden Maßnahmen geplant/umgesetzt:

- a) Alle drei verbleibenden Galvanoautomaten wurden komplett neu verkabelt. Dabei wurden die Trassenführung und die Verlegung der Kabel optimiert (Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit - EMV-Richtlinie).
- b) Eine Wärmebildkamera wurde beschafft. Es wurde ein Prüfplan für die regelmäßige Überprüfung aller Anlagen mit der Wärmebildkamera aufgestellt. Es werden regelmäßig Wärmebilder gemacht und mit früheren Aufnahmen verglichen, um Veränderungen festzustellen und ggf. Maßnahmen einzuleiten.

Die wesentlichen Lehren und Erkenntnisse aus diesem Ereignis sind:

1. Die elektrische Stromversorgung stellt eine wesentliche Gefahrenquelle für Galvanikbetriebe dar. Deshalb ist es erforderlich, die elektrische Stromversorgung entsprechend den aktuellen Regeln der Technik zu planen und durchzuführen. Änderungen an der Stromversorgung sind einem Änderungsmanagement zu unterwerfen, um entstehende Instabilitäten oder Überlastungen zu verhindern.
2. Die Prüfung, Wartung und Instandhaltung der elektrischen Anlagen und Versorgungsleitungen sind regelmäßig durchzuführen und zu dokumentieren. Thermografische

Messungen, z. B. mit einer Wärmebildkamera, erlauben die regelmäßige Überwachung von potenziellen Quellen einer Wärmeentwicklung.

3. Die Dokumentation der Anlage sowie die Prüfung, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sind an einem sicheren Ort aufzubewahren. (Der Betreiber war nicht in der Lage entsprechende Dokumentationen über die elektrische Stromverteilung oder regelmäßige Prüfung, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten der elektrischen Anlagen und deren Versorgungsleitungen vorzulegen. Sämtliche diese betreffenden Unterlagen sind laut Aussage des Betreibers beim Brand verloren gegangen.)

3.5.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.5.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung präsentierte der verantwortlichen Behördenvertreter das Ereignis und es wurden Fragen zum Ablauf und zu den Ursachen beantwortet. Ferner wurde die ZEMA – Detailansicht für Störfall vom 20.03.2016 berücksichtigt.

3.5.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden fünf Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

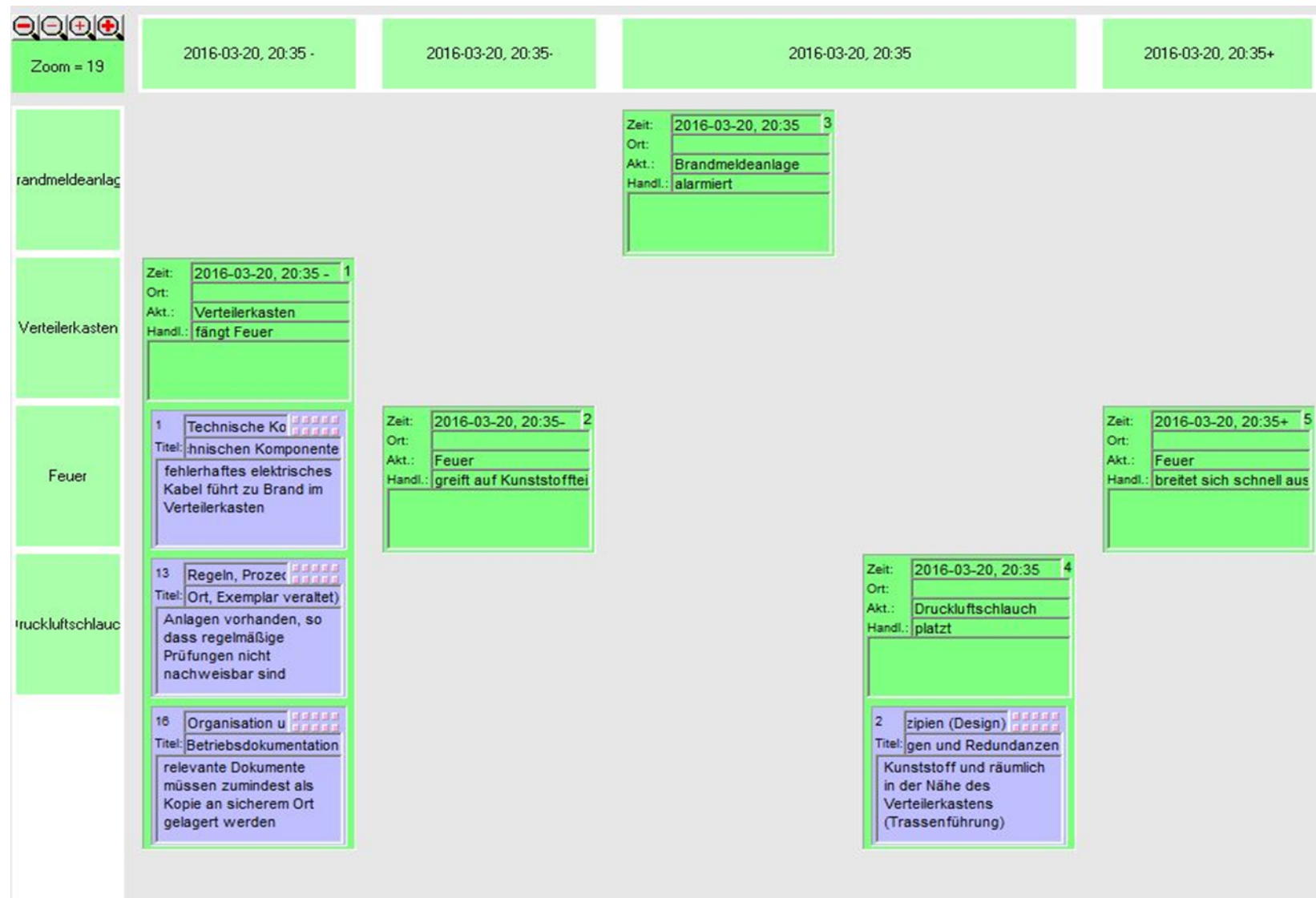
Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein. In Tabelle 5 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für den Brand in einem Galvanikbetrieb dargestellt.

Tabelle 5: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Brand in einem Galvanikbetrieb

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2016-03-20, 20:35 -	Verteilerkasten fängt Feuer.		1.: Technische Komponenten Verschleiß/Korrosion/Defekt einer technischen Komponente: fehlerhaftes elektrisches Kabel führt zu Brand im Verteilerkasten. 13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind verbrannt: Keine Unterlagen zur Prüfung der elektrischen Anlagen vorhanden, so dass regelmäßige Prüfungen nicht nachweisbar sind. 16.: Organisation und Management Keine Auslagerung der Betriebsdokumentation: relevante Dokumente müssen zumindest als Kopie an sicherem Ort gelagert werden.
2	2016-03-20, 20:35-	Feuer greift auf Kunststoffteile über.		
3	2016-03-20, 20:35	Brandmeldeanlage alarmiert..		
4	2016-03-20, 20:35	Druckluftschlauch platzt		2.: Auslegungsprinzipien (Design) Mangelhafte räumliche Trennung oder fehlender baulicher Schutz von Sicherheitseinrichtungen und Redundanzen Druckluftleitung war aus Kunststoff und räumlich in der Nähe des Verteilerkastens (Trassenführung).
5	2016-03-20, 20:35+	Feuer breitet sich schnell aus.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 14) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 14: Zeit-Akteur Diagramm – Brand in einem Galvanikbetrieb



Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist im Folgenden die erste Seite vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 5 und Abbildung 14.

	2012-07 -	2012-07-16
Brandmeldeanlage		
	1	
Verteilerkasten	Zeit: 2016-03-20, 20:35 - Ort: Akteur: Verteilerkasten Handl.: fängt Feuer Bem.: Ref.:	
	2	
Feuer	1: Technische Komponenten Titel: Verschleiß/Korrosion/Defekt einer technischen Komponente Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: fehlerhaftes elektrisches Kabel führt zu Brand im Verteilerkasten	Zeit: 2016-03-20, 20:35- Ort: Akteur: Feuer Handl.: greift auf Kunststoffteile über Bem.: Ref.:
Druckluftschlauch	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet) Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Keine Unterlagen zur Prüfung der elektrischen Anlagen vorhanden, so dass regelmäßige Prüfungen nicht nachweisbar sind	
	16: Organisation und Management Titel: Keine Auslagerung der Betriebsdokumentation Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: relevante Dokumente müssen zumindest als Kopie an sicherem Ort gelagert werden	

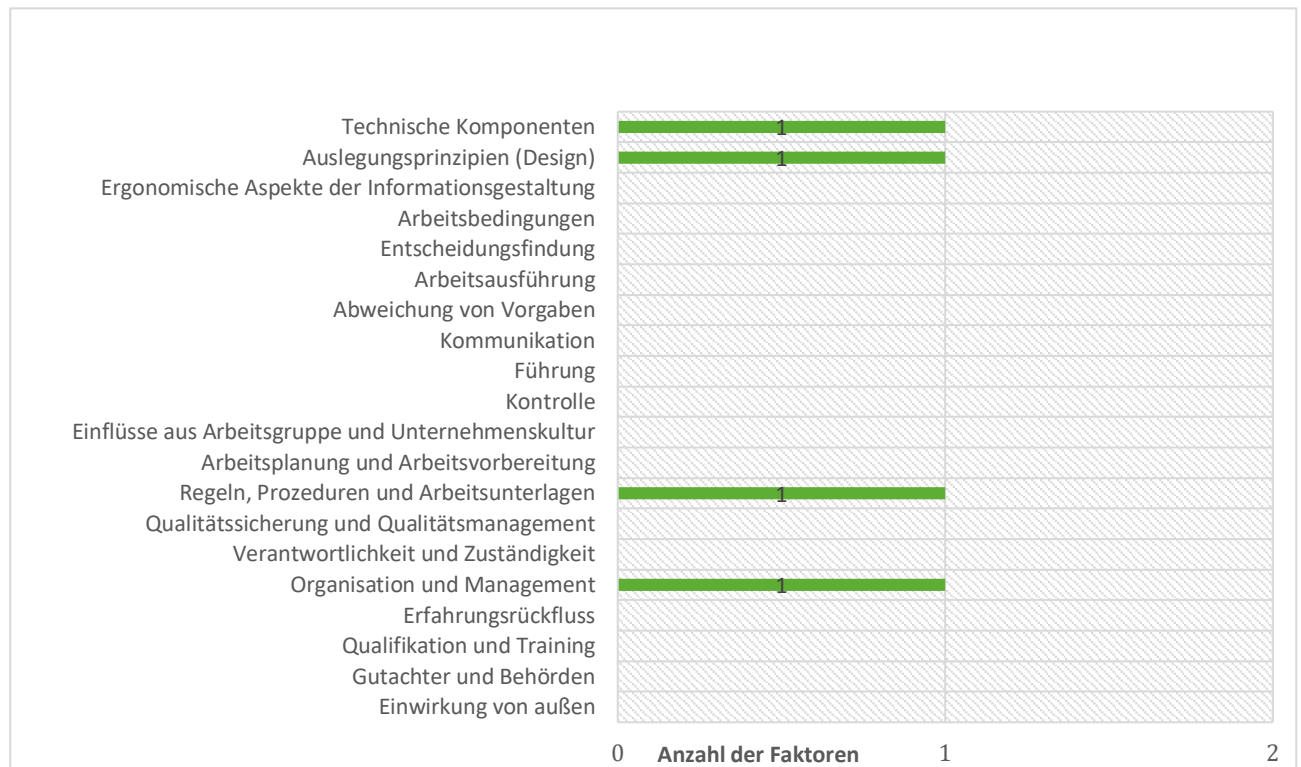
3.5.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die

Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Auslegungsprinzipien (Design)“ und einem konkreten Titel wie „Mangelhafte räumliche Trennung oder fehlender baulicher Schutz von Sicherheitseinrichtungen und Redundanzen“ und der spezifischen Beurteilung wie „Druckluftleitung war aus Kunststoff und räumlich in der Nähe des Verteilerkastens (Trassenführung)“.

Für das Ereignis konnten insgesamt vier beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 15 dargestellt sind.

Abbildung 15: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Brand in einem Galvanikbetrieb



Kein Faktor wurde mehrmals identifiziert.

Auch in diesem Fall wurde das mögliche Gefahrenpotenzial unterschätzt und die Anlage nicht entsprechend ausgelegt.

3.5.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind die folgenden Vorkehrungen gegen Vermeidung genannt:

1. Alle drei verbleibenden Galvanoautomaten wurden komplett neu verkabelt. Dabei wurden die Trassenführung und die Verlegung der Kabel optimiert (Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit - EMV-Richtlinie).
2. Eine Wärmebildkamera wurde beschafft. Es wurde ein Prüfplan für die regelmäßige Überprüfung aller Anlagen mit der Wärmebildkamera aufgestellt. Es werden regelmäßig Wärmebilder gemacht und mit früheren Aufnahmen verglichen, um Veränderungen festzustellen und ggf. Maßnahmen einzuleiten.

Die wesentlichen Lehren und Erkenntnisse aus diesem Ereignis sind:

1. Die elektrische Stromversorgung stellt eine wesentliche Gefahrenquelle für Galvanikbetriebe dar. Deshalb ist es erforderlich, die elektrische Stromversorgung entsprechend den aktuellen Regeln der Technik zu planen und durchzuführen.
2. Änderungen an der Stromversorgung sind einem Änderungsmanagement zu unterwerfen, um entstehende Instabilitäten oder Überlastungen zu verhindern.
3. Die Prüfung, Wartung und Instandhaltung der elektrischen Anlagen und Versorgungsleitungen sind regelmäßig durchzuführen und zu dokumentieren.
4. Thermografische Messungen, z. B. mit einer Wärmebildkamera erlauben die regelmäßige Überwachung von potenziellen Quellen einer Wärmeentwicklung.
5. Die Dokumentation der Anlage sowie die Prüfung, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sind an einem sicheren Ort aufzubewahren. (Der Betreiber war nicht in der Lage entsprechende Dokumentationen über die elektrische Stromverteilung oder regelmäßige Prüfung, Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten der elektrischen Anlagen und deren Versorgungsleitungen vorzulegen. Sämtliche diese betreffenden Unterlagen sind laut Aussage des Betreibers beim Brand verloren gegangen.)

Es wurden ausschließlich technische Maßnahmen getroffen, obwohl aus unserer Sicht auch administrative Maßnahmen notwendig wären.

3.5.3 Schlussfolgerungen

1. Die Umsetzung des Sicherheitsmanagements nach StörfallV ist nicht ausgewogen/nach allen Gefährdungen ausgerichtet.
2. Sind die Regelungen zu wiederkehrenden Prüfungen von elektrischen Anlagenteilen nach Betriebssicherheitsverordnung, DGUV und VDI/VDE-Regeln ausreichend und werden sie geeignet umgesetzt?
3. Hier hat kein Lernen aus Betriebserfahrung anderer Anlagen stattgefunden.

3.6 Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage

3.6.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

In einem Zeitraum von 10 Minuten wurde der Notwäscher für Chlorgas durch eine zu hohe Chlormenge überlastet.

Im Prozessleitsystem (PLS) der Anlage kam es zu einem Speicherüberlauf. Dadurch wurde ungeplant eine Kalibrierfunktion ausgelöst, die in der Folge zu dem Ereignis führte.

Während dieser Zeit lag folgende Situation vor:

- Die beiden Chlorhaupteingangsventile waren in Stellung „offen“ geblieben.
- Die fünf Entspannungsarmaturen vom Chlorsystem zum Wäscher wurden über NOT-AUS-Funktion geöffnet.

Damit ging in kurzer Zeit eine so hohe Chlormenge in den Notwäscher, dass er gesättigt war und ca. 750 kg Chlor über die Emissionsstelle austrat. Die Temperatur im Notwäscher stieg auf 109° C an und die Wäscherpumpen fielen 10 Minuten nach dem Start des Ereignisses aus. Das Zustromventil zum Wäscher schloss daraufhin automatisch und unterbrach so den weiteren Chlorzufluss zum Wäscher und damit einen weiteren Chloraustritt.

Während des Austritts haben diverse Chlorsensoren in der Folge des Gasaustrittes angesprochen. Zudem wurde der Chlor-NOT-AUS gedrückt. Diese Maßnahmen führten aber nicht zu einem Schließen der beiden Chlorhaupteingangsventile.

Während der Prüfung und Kalibrierung von wichtigen Druckmessungen im Chlorsystem werden die angesteuerten Eingangsarmaturen in geöffneter Stellung gehalten. Diese Prüfung und Kalibrierung wird durch einen streng kontrollierten Zugang mit Kennwortschutz ausschließlich von den EMR-Spezialisten über das Prozessleitsystem angestoßen, in der sicherheitsgerichteten Steuerung ausgeführt und ist an weitere Bedingungen gekoppelt (z. B. geschlossenes Handventil am Gebäudeeingang).

Bei dem Ereignis erfolgte diese Aufforderung zur Prüfung und Kalibrierung fehlerhaft, d. h. ohne dass dieser Schritt manuell mit Kennworteingabe ausgelöst wurde (Fehler des PLS-Systems). Durch ein zweites fehlerhaftes Signal vom Prozessleitsystem an die sicherheits-gerichtete Steuerung wurde der Chlor NOT-AUS ausgelöst. Dabei öffneten die Notentspannungsventile folgerichtig. Die angesteuerten Eingangsarmaturen wurden jedoch aufgrund der Anforderungen zur Prüfung und Kalibrierung nicht geschlossen. Somit wurde der Notwäscher überlastet, was zum Austritt des Chlorgases in die Atmosphäre führte.

Folgende Schutzmaßnahmen wurden ergriffen:

- a) Alarmierung der Werkfeuerwehr und Räumung des Gebäudes durch den Betrieb 5 Minuten nach Ereignisstart.
- b) Warnung der Mitarbeiter durch Beschallung betroffener Lautsprecherkreise im Werk nach weiteren 2 Minuten.
- c) Niederschlagen der Gaswolke durch die Werkfeuerwehr.
- d) Versorgung und Untersuchung der Verletzten durch den werksärztlichen Dienst.
- e) Alarmierung des Messfahrzeugs und Durchführung von Messungen innerhalb und außerhalb des Werksgeländes mit dem Ergebnis „keine erhöhten Messwerte festgestellt“.
- f) Versand einer D1-Ereignismeldung.
- g) Nach Stoppen des Chloraustrittes: gezieltes Belüften des Gebäudes durch die Werkfeuerwehr und Niederschlagen des austretenden Chlorgases.
- h) Versand einer Pressemitteilung.

Die Vegetationsschäden werden als reversibel eingeschätzt. Eine Reihe von Pflanzen (z. B. Holunder) zeigt bereits wenige Tage nach der Schädigung neue Triebe.

Vorkehrungen zur Vermeidung: Die bestehende Prüfmethode für Druckmessungen wurde außer Betrieb genommen. Vor Wiederinbetriebnahme wurde die Prüfmethode dahingehend geändert, dass in keiner Phase der Überprüfung mehr ein Eingriff in die Sicherheitssteuerung nötig ist. Damit werden keinerlei Armaturen mehr in „offen“ Stellung gehalten. Ein NOT-AUS-Kriterium schaltet somit immer in den sicheren Anlagenzustand. Die Erkenntnisse wurden zudem an alle EMR-Spezialisten im Unternehmen weitergegeben, so dass ein ähnliches Ereignis sicher vermieden wird.

3.6.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.6.2.1 Informationssammlung

Die Informationssammlung basiert auf dem ZEMA-Bericht, mehreren Telefongesprächen mit dem Behördenvertreter und einer Präsentation des Betreibers.

3.6.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden 14 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein.

In Tabelle 6 ist der Ablauf für die Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage dargestellt.

Tabelle 6: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage

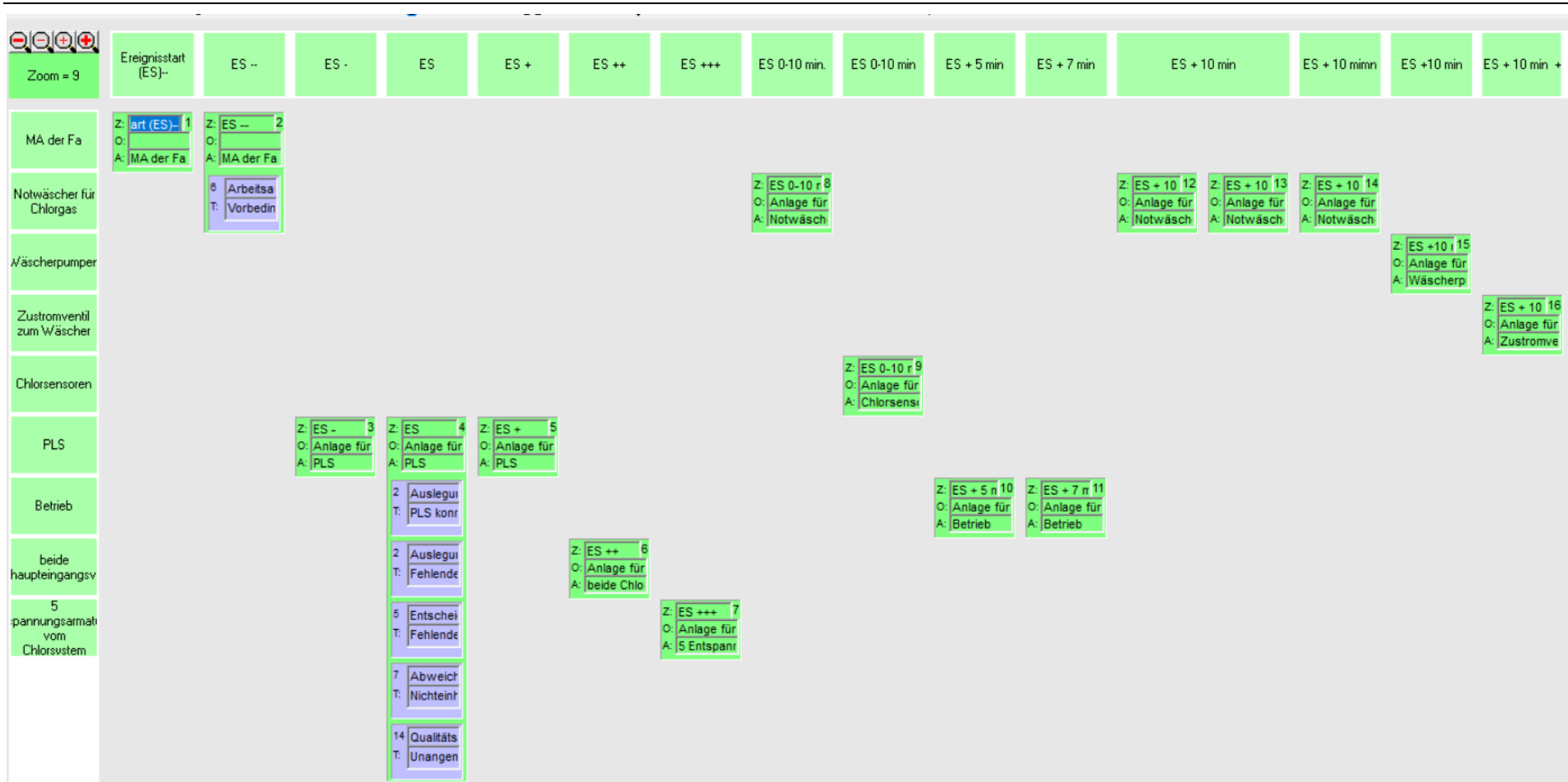
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	Ereignisstart (ES)--	MA der Fa. spielt neu programmierte Funktionen auf einen PLS-Rechner ein.		
2	ES --	MA der Fa. missachtet Meldung zur benötigten Speicherkapazität.		6: Arbeitsausführung Vorbedingungen für Arbeitsausführung nicht überprüft Es wird nicht geprüft, ob genügend freier Speicher zum Einspielen vorhanden ist.
3	ES -	PLS Speicherüberlauf.		
4	ES	PLS löst ungeplant Kalibrierfunktion aus.	Prüfung und Kalibrierung mit geöffneten Eingangsarmaturen kann normalerweise nur durch streng kontrollierten Zugang mit Kennwortschutz ausschließlich von den EMR-Spezialisten über PLS angestoßen werden und ist an geschlossenes Handventil am Gebäudeeingang gekoppelt. Durch Fehler wurde das Signal zum Überbrücken einer Schutzfunktion an die fehlersichere Steuerung gesendet. Die Kalibrierfunktion war im PLS angelegt, um unter definierten Bedingungen entsprechende Kalibrierungen vorzunehmen. Dieser Prüfschritt findet nicht unter normalen Prozessbedingungen statt. Die Kalibrierfunktion hatte eine hohe Zugriffsberechtigung im PLS und setzte einige Sicherungsschaltungen außer Kraft.	2: Auslegungsprinzipien (Design) PLS konnte Sicherheitsfunktion außer Kraft setzen Unabhängigkeit PLS/PLT-Schutzeinrichtungen beim Kalibriermodus nicht gegeben. 2: Auslegungsprinzipien (Design) Fehlendes sicherheitsgerichtetes Ausfallverhalten Kopplung hält Armaturen in OFFEN-Stellung, NOT-AUS-Funktion funktioniert daraufhin nicht ordnungsgemäß. 5: Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahren-/Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt Kopplung wurde nicht erkannt, nicht normenkonforme Konzeption und Programmierung.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
				7: Abweichung von Vorgaben Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen Abhängigkeit von PLS/PLT-Schutzeinrichtungen verletzte eigene Werksnorm (Umsetzung EN 61511). 14: Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement Unangemessene Qualitätskontrolle bzw. unangemessenes Qualitätssicherungsprogramm Nicht normenkonforme Programmierung wurde bei Prüfung vor Inbetriebnahme durch Partnerfirma nicht erkannt.
5	ES +	PLS fehlerhaftes Signal an sicherheitsgerichtete Steuerung löst Chlor-NOT-AUS aus.	Führte zur Öffnung der Notentspannungsventile.	
6	ES ++	beide Chlorhaupteingangsventile bleiben in Stellung OFFEN.		
7	ES +++	5 Entspannungsarmaturen vom Chlorsystem zum Wäscher werden geöffnet.		
8	ES 0-10 min	Notwäscher für Chlorgas wird durch zu hohe Chlormenge überlastet.	Ein Teil des Chlorgas wird ausgewaschen.	
9	ES 0-10 min	Chlorsensoren sprechen an.		
10	ES + 5 min	Betrieb Alarmierung Werkfeuerwehr und Räumung des Gebäudes.		

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
11	ES + 7 min	Betrieb Warnung der Mitarbeiter auf dem Betriebs- gelände durch Lautsprecher.		
12	ES + 10 min	Notwäscher für Chlorgas 750kg Chlor wird über Emissionsstelle freige- setzt.		
13	ES + 10 min	Notwäscher für Chlorgas ist gesättigt, kein Auswaschen von Chlorgas mehr möglich.		
14	ES + 10 min	Notwäscher für Chlorgas Temperaturanstieg auf 109 °C.		
15	ES + 10 min	Wäscherpumpen fallen aus.		
16	ES + 10 min +	Zustromventil zum Wäscher schließt automatisch. Chlorgasaustritt ge- stoppt.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 16) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 16: Zeit-Akteur-Diagramm im Überblick - Chlorgasfreisetzung in einer Chemieanlage



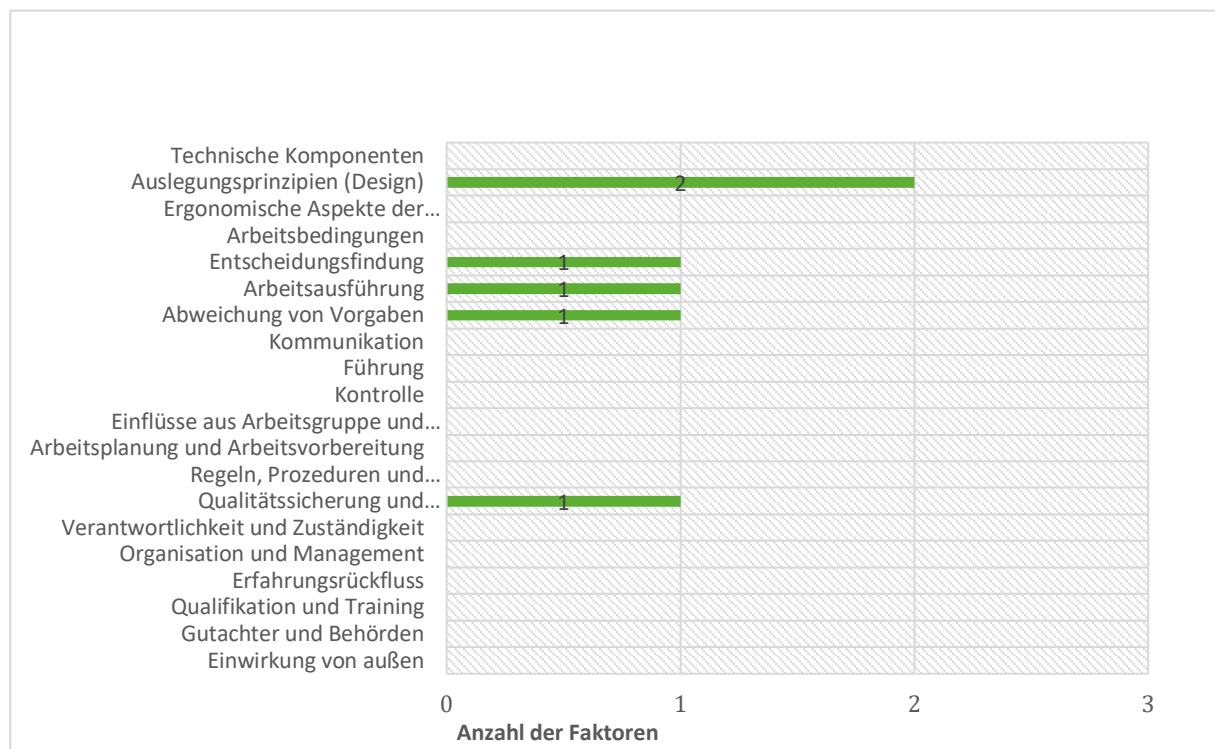
Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist im Folgenden die erste Seite vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 6 und Abbildung 16.

	Ereignisstart (ES)--	ES --
	1	2
MA der Fa	Zeit: Ereignisstart (ES)-- Ort: Akteur: MA der Fa Handl.: spielt neu programmierte Funktionen auf einen PLS-Rechner ein Bem.: Ref.:	Zeit: ES -- Ort: Akteur: MA der Fa Handl.: missachtet Meldung zur benötigten Speicherkapazität Bem.: Ref.:
Notwäscher für Chlorgas		6: Arbeitsausführung Titel: Vorbedingungen für Arbeitsausführung nicht überprüft Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: es wird nicht geprüft, ob genügend freier Speicher zum Einspielen vorhanden ist
Wäscherpumpen		
Zustromventil zum Wäscher		
Chlorsensoren		
PLS		

3.6.2.3 Identifikation beitragender Faktoren

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Auslegungsprinzipien (Design)“ und einem konkreten Titel wie „PLS konnte Sicherheitsfunktion außer Kraft setzen“ und der spezifischen Beurteilung wie „Unabhängigkeit PLS/PLT-Schutzeinrichtungen beim Kalibriermodus nicht gegeben“.

Abbildung 17: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen - Chlorgasfreisetzung in einer Chemeanlage



Für das Ereignis konnten insgesamt sechs beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 17 dargestellt sind.

Auslegungsprinzipien (Design) wurde zweimal identifiziert, obwohl diese auch als zwei Aspekte eines Fehlers gesehen werden können:

- PLS konnte Sicherheitsfunktion außer Kraft setzen: Unabhängigkeit PLS/PLT-Schutzeinrichtungen beim Kalibriermodus nicht gegeben
- Fehlendes sicherheitsgerichtetes Ausfallverhalten: Kopplung hält Armaturen in OFFEN-Stellung, NOT-AUS funktioniert nicht ordnungsgemäß.

3.6.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Als Vorkehrung zur Vermeidung wurde die bestehende Prüfmethode für Druckmessungen außer Betrieb genommen. Vor Wiederinbetriebnahme wurde eine neue Prüfmethode implementiert, die in keiner Phase der Überprüfung einen Eingriff in die Sicherheitssteuerung nötig macht. Ferner wurde an allen Standorten des Unternehmens überprüft, ob die Unabhängigkeit von PLS/PLT-Schutzeinrichtungen gegeben ist.

3.6.3 Schlussfolgerungen

1. Bei der Planung von Anlagen ist zu berücksichtigen, dass PLT-Schutzeinrichtungen von PLT-Betriebseinrichtungen insoweit unabhängig sein müssen, dass bei Ausfällen von PLT-Betriebseinrichtungen die Funktion der PLT-Schutzeinrichtungen erhalten bleibt. Dies ist gleichermaßen auf Prozessleitsysteme und sicherheitsgerichtete Steuerungen anzuwenden.
2. Sicherheitsrelevante Funktionen, die auf sicherheitsgerichteten speicherprogrammierbaren Steuerungen ablaufen, dürfen nicht durch Signale beeinflusst werden, die von nicht sicherheitsgerichteten Geräten eingespeist werden.

3.7 Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralö Raffinerie

3.7.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Am 03.07.2015 kam es bei Reinigungsarbeiten an einem Saugsieb einer Sauerwasserpumpe zu einer Freisetzung von ca. 5 m³ Crackbenzin und nach Zündung dessen zum Brand. Das Feuer verursachte Schäden in Höhe von über 5 Mio. EUR. Es gab bei einem Mitarbeiter einen Erste-Hilfe-Fall infolge einer Produktbenetzung mit Sauerwasser im Gesicht und drei weitere Erste-Hilfe-Fälle durch Kreislaufprobleme bei Feuerwehrleuten. Die lokalen Auswirkungen auf die Umgebung durch die Rauchentwicklung waren gering.

Die Anlage befand sich im Normalbetrieb, die Pumpe an der die Freisetzung stattfand war zu Wartungsarbeiten (Reinigung des Saugsiebs) außer Betrieb. Vor 09.00 Uhr bereitete ein Produktionsmitarbeiter die Sauerwasserpumpe zur Saugsiebreinigung vor, da das Sieb offensichtlich verschmutzt war. Entsprechend der Prozedur blockte der Produktionsmitarbeiter die Pumpe zunächst druck- und dann saugseitig ein. Anschließend entleerte er ihren Inhalt über den Entleerungsschieber zum ölhaltigen Siel (Slop).

Als kein Sauerwasser mehr auslief, wurden zur zusätzlichen Dichtheitsprüfung der beiden Pumpenschieber der Entleerungsschieber noch einmal geschlossen und das an der Pumpe installierte Manometer auf einen Druckanstieg als Zeichen für eine Undichtigkeit kontrolliert. Danach wurde der Entleerungsschieber wieder geöffnet.

In Anwesenheit des Produktionsmitarbeiters begannen zwei Partnerfirmen (PF)-Mitarbeiter den Saugsiebdeckel zu öffnen. Dazu wurde zunächst jede zweite der insgesamt acht Schrauben des Deckels entfernt. Nach Kontrolle, dass weiterhin kein Produkt austrat, wurden die restlichen vier Schrauben gelöst. Durch den entstehenden Spalt wurde ersichtlich, dass auf dem Sieb sehr viel Schmutz lag. Drei der vier letzten Schrauben wurden vollständig entfernt. Jetzt wurde eine Blasenbildung erkannt, die auf ein undichtes System hinwies. Der Produktionsmitarbeiter versuchte, den Saugschieber nachzuziehen. Da dies keinen Erfolg brachte, wurde beschlossen, das System wieder zu schließen.

Als die PF-Mitarbeiter deshalb bereits begonnen hatten, die entfernten Schrauben wieder zu montieren, spritzten Schmutz und Sauerwasser fächerförmig aus dem Flansch mit dem lose hängenden Deckel. Die persönlichen H₂S-Warngeräte sprachen an, und die drei beteiligten Mitarbeiter flüchteten. Der Produktionsmitarbeiter alarmierte dabei die Messwarte zur Auslösung von Gasalarm (09.02 Uhr). Nach ca. einer Minute nachfließendes Crackbenzin veranlasste ihn einen stationären Feuerlöschmonitor in Betrieb zu nehmen. Gleichzeitig - ca. 5 min nach Alarmierung - traf die Werkfeuerwehr ein, als plötzlich das freigesetzte Benzin zündete.

42 min nach Auslösung des Alarms konnte unter Einsatz eines Teams mit Hitzeschutzanzug eine vorgeschaltete Armatur geschlossen, die Benzinnachspeisung damit unterbrochen und das Feuer gelöscht werden.

Folgende Erkenntnisse wurden abgeleitet:

1. Die Identifikation von Risiken ist die Voraussetzung für die Einleitung von geeigneten und robusten Minderungsmaßnahmen, z.B. Design, Prozeduren usw.
2. Gefahren durch Freisetzen sind ggf. nicht auf das primär enthaltene Medium beschränkt.
3. Systemöffnung mit nur einfacher Absperrung zum Prozess (single block) ist ein Risiko, das eine besondere Betrachtung erfordert und gegen das auf der Arbeitsgenehmigung geeignete Maßnahmen festzulegen sind.
4. Ein hohes Maß an Risikobewusstsein - auch bei Routinearbeiten und der damit verbundenen Gefahr der Risikonormalisierung - ist erforderlich.
5. Bei gefahrgeneigten Tätigkeiten muss stets der Dennoch-Fall (Notfallszenario) bedacht werden.
6. Auch Details, die in Schichtprotokollen festgehalten werden, können zum frühzeitigen Erkennen von Risiken beitragen.
7. Das Nachziehen einer Absperrarmatur am offenen System kann zur spontanen Vergrößerung einer Leckage führen.
8. Kontrollschritte nach Schulungen sind notwendig, um die Anwendung von Schulungsinhalten im Feld zu unterstützen.

Die folgenden Maßnahmen wurden geplant/umgesetzt:

1. Programme zur Risk-Awareness mit Schwerpunkt auf Single-Block-Systeme, Dennoch-Fall-Denken, Überprüfung von gefahrgeneigten Tätigkeiten vor Ort, Sensibilisierung gegen Risikonormalisierung und der Kommunikation und Diskussion der Erkenntnisse aus diesem Vorfall.
2. Verbesserungen in Organisation und Prozeduren: Vorgabe von Kriterien vertiefter Risikobeurteilung im Rahmen des Arbeitsgenehmigungsprozesses, verbesserte Kommunikation bei der Schichtübergabe, Erfolgskontrolle für Trainings und die Überarbeitung von betroffenen Prozeduren.
3. Technik: verbesserte Rohrleitungsführung und Installation eines Doppelblocks an diesen Pumpen, Prüfung weiterer technischer Maßnahmen und Erarbeitung von Kriterien zur nachfolgenden Überprüfung technisch ähnlicher Systeme.

3.7.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.7.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung präsentierte der verantwortlichen Behördenvertreter das Ereignis und es wurden Fragen zum Ablauf und zu den Ursachen beantwortet und es wurde der ZEMA-Bericht herangezogen.

3.7.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder

Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden 18 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein.

In Tabelle 7 ist der Ablauf für die Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie dargestellt.

Tabelle 7: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie

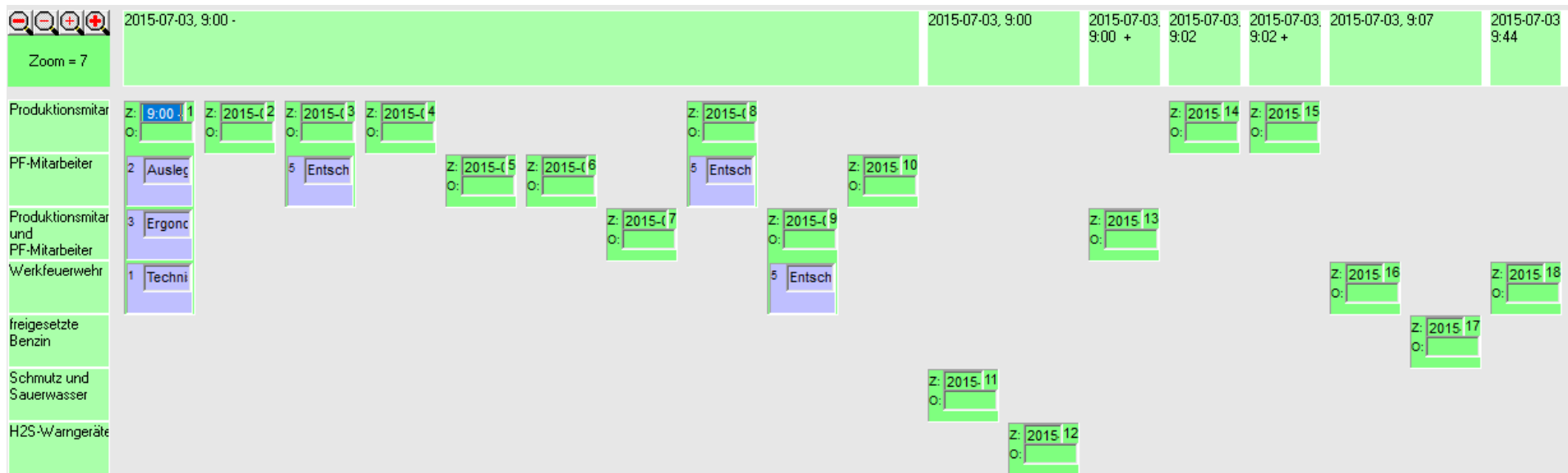
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
1	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter bereitet Pumpe zur Saugsiebreinigung vor.	Blockt Pumpe zunächst druck- dann saugseitig ein, anschließend entleert er Inhalt über den Entleerungsschieber zum ölhaltigen Siel.	2: Auslegungsprinzipien (Design) Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: nur einfache Absperrung zum Prozess (single block). 3: Ergonomische Aspekte der Informationsgestaltung Wichtige Informationen für die Bearbeitung der Aufgabe sind in den Arbeitspapieren oder an der Mensch-Maschine-Schnittstelle nicht dargeboten (z. B. Anlagenkennzeichnungen fehlen) Von außen ist nicht erkennbar, ob Schieber geschlossen ist, z.B. durch Markierung an Spindel o.ä. 1: Technische Komponenten Feste Ablagerungen am Sitz des Saugschiebers Ablagerungen waren praktisch flüssigkeitsdicht.
2	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter schließt Entleerungsschieber wieder.	Zur zusätzlichen Dichtheitsprüfung der beiden Pumpenschieber.	
3	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter kontrolliert Manometer auf Druckanstieg.	Zeichen für Undichtigkeit, kein Druckanstieg bemerkt.	5: Entscheidungsfindung Erfahrungsbasiertes Handeln Geht von dichtem Schieber aus.
4	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter öffnet Entleerungsschieber wieder.		

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
5	2015-07-03, 9:00 -	PF-Mitarbeiter entfernen jede zweite der acht Deckelschrauben.	Weiterhin trat kein Produkt aus.	
6	2015-07-03, 9:00 -	PF-Mitarbeiter lösen restliche vier Schrauben.	Durch den Spalt wurde Verschmutzung sichtbar.	
7	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter und PF-Mitarbeiter erkennen Blasenbildung.	Hinweis auf undichtes System.	
8	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter versuchte Saugschieber nachzuziehen.		5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung Das Nachziehen einer Absperrarmatur am offenen System kann zu einer Vergrößerung der Leckage führen.
9	2015-07-03, 9:00 -	Produktionsmitarbeiter und PF-Mitarbeiter entscheiden, System wieder zu schließen.		5: Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt Fehlende Betrachtung, dass auch anderes Medium entweichen kann.
10	2015-07-03, 9:00 -	PF-Mitarbeiter montieren entfernte Schrauben.		
11	2015-07-03, 9:00	Schmutz und Sauerwasser spritzen fächerförmig aus dem Flansch.		
12	2015-07-03, 9:00	H ₂ S-Warngeräte sprechen an.		
13	2015-07-03, 9:00 +	Produktionsmitarbeiter und PF-Mitarbeiter flüchten.		

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragender Faktor/Ursache
14	2015-07-03, 9:02	Produktionsmitarbeiter alarmiert Messwarte	Zur Auslösung Gasalarm.	
15	2015-07-03, 9:02 +	Produktionsmitarbeiter nahm stationären Feuerlöschmonitor in Betrieb.		
16	2015-07-03, 9:07	Werkfeuerwehr trifft ein.		
17	2015-07-03, 9:07	freigesetzte Benzin zündet..		
18	2015-07-03, 9:44	Werkfeuerwehr schließt die Armatur	Mit Hitzeschutzanzug, Unterbrechung der Benzinnachspeisung, Feuer gelöscht.	

Im Zeit-Akteur-Diagramm (Abbildung 18) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 18: Zeit-Akteur-Diagramm im Überblick - Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie



Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 7 und Abbildung 18.

	2012-07 -	2012-07-16
	1	2
Produktionsmitarbeiter	Zeit: 2015-07-03, 9:00 - Ort: Akteur: Produktionsmitarbeiter Handl.: bereitet Pumpe zur Saugsieb- reinigung vor Bem.: Blockt Pumpe zunächst druck- dann saugseitig ein, anschließend entleert er Inhalt über den Entlee- rungsschieber zum ölhaltigen Siel Ref.:	Zeit: 2015-07-03, 9:00 - Ort: Akteur: Produktionsmitarbeiter Handl.: schließt Entleerungsschieber wieder Bem.: zur zusätzlichen Dichtheitsprü- fung der beiden Pumpenschieber Ref.:
PF-Mitarbeiter		
Produktionsmitarbeiter und PF-Mitarbeiter	2: Auslegungsprinzipien (Design) Titel: Warnanlagen und Sicherheits- funktionen fehlen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: nur einfache Absperrung zum Prozess (single block)	
Werkfeuerwehr	3: Ergonomische Aspekte der Infor- mationsgestaltung Titel: Wichtige Informationen für die Bearbeitung der Aufgabe sind in den Arbeitspapieren oder an der Mensch- Maschine-Schnittstelle nicht darge- boten (z. B. Anzeigen für Druck oder Anlagenkennzeichnungen fehlen) Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Von außen ist nicht erkennbar, ob Schieber geschlossen ist, z.B. durch Markierung an Spindel o.ä.	
freigesetzte Benzin		
Schmutz und Sauerwasser	1: Technische Komponenten Titel: Feste Ablagerungen am Sitz des Saugschiebers Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Ablagerungen waren praktisch flüssigkeitsdicht	

H2S-Warngeräte

3.7.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

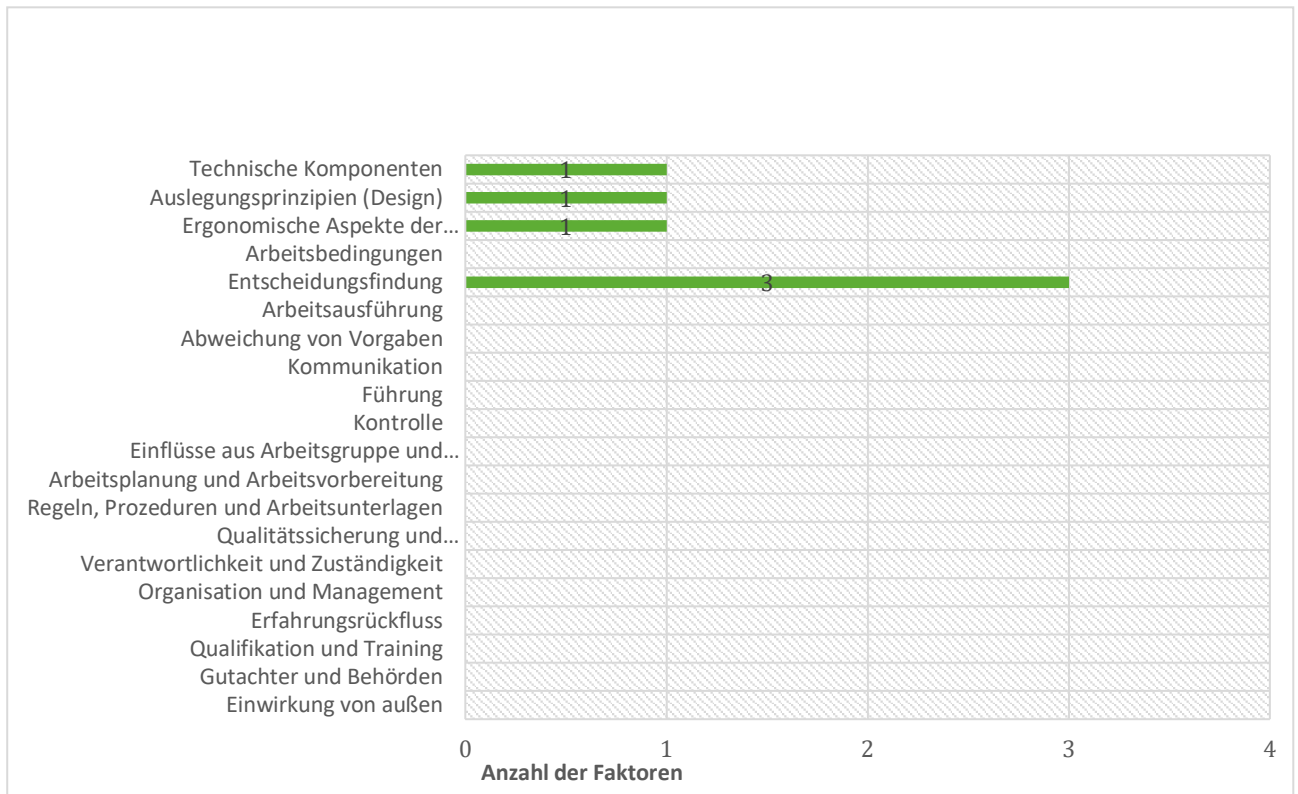
Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Entscheidungsfindung“ und einem konkreten Titel wie „Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung“ und der spezifischen Beurteilung wie „Das Nachziehen einer Absperrarmatur am offenen System kann zu einer Vergrößerung der Leckage führen“.

Für das Ereignis konnten insgesamt sechs beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 19 dargestellt sind.

Dreimal wurde der Faktor „Entscheidungsfindung“ identifiziert:

- ▶ Erfahrungsbasiertes Handeln: Geht von dichtem Schieber aus.
- ▶ Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Das Nachziehen einer Absperrarmatur am offenen System kann zu einer Vergrößerung der Leckage führen.
- ▶ Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Fehlende Betrachtung, dass auch anderes Medium entweichen kann.

Abbildung 19: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Freisetzung von Sauerwasser und Naphtha mit Folgebrand in einer Mineralölraffinerie



Bei diesem Ereignis zeigt sich bei allen Beteiligten ein fehlendes Bewusstsein für Gefahren.

3.7.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind die folgenden Vorkehrungen gegen Vermeidung genannt:

1. Programme zur Risk-Awareness mit Schwerpunkt auf Single-Block-Systeme, Dennoch-Fall-Denken, Überprüfung von gefahrgeneigten Tätigkeiten vor Ort, Sensibilisierung gegen Risikonormalisierung und der Kommunikation und Diskussion der Erkenntnisse aus diesem Vorfall.
2. Verbesserungen in Organisation und Prozeduren: Vorgabe von Kriterien vertiefter Risikobeurteilung im Rahmen des Arbeitsgenehmigungsprozesses, verbesserte Kommunikation bei der Schichtübergabe, Erfolgskontrolle für Trainings und die Überarbeitung von betroffenen Prozeduren.
3. Technik: verbesserte Rohrleitungsführung und Installation eines Doppelblocks an diesen Pumpen, Prüfung weiterer technischer Maßnahmen und Erarbeitung von Kriterien zur nachfolgenden Überprüfung technisch ähnlicher Systeme.

Es wurden sowohl technische als auch administrative Maßnahmen getroffen.

3.7.3 Schlussfolgerungen

1. Risikobeurteilungen für Arbeiten an offenen Systemen, Arbeitsfreigaben und Gefährdungsbeurteilungen sind notwendig und waren hier nicht ausreichend.
2. Verfahren zur Überwachung/Kontrolle vor Ort waren wirksam (H_2S -Detektoren), keine Verletzten.

3.8 Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb

3.8.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

In einem organisch-chemischen Betrieb kam es am 11.09.2014 zu einer exothermen chemischen Reaktion, die außer Kontrolle geraten ist. Dies führte zum Verlust des Behälterinhaltes und erheblichen Schäden an der Anlage.

Zum Zeitpunkt des Ereignisses waren entsprechend Vorschrift 670 kg Ameisensäure vorgelegt, mit 144 kg Wasserstoffperoxid 35 % untergerührt und 30 Minuten auf 30 °C temperiert worden. Danach wurde auf 40 °C erwärmt und 12 kg von 120 kg 1-Octen unter Rühren dosiert. Die Dosierung wurde gestoppt, weil die Innentemperatur 50 °C erreicht hatte.

Im Reaktor stieg die Temperatur weiter an. Ein Mitarbeiter versuchte durch Umstellung von Kühlwasser auf Kühlsole, den Temperaturanstieg zu verhindern. Nachdem er eine starke Gasentwicklung feststellte, hat er das Brüdenabsperrventil, das ganz geöffnet war, eingedrosselt, um einen Druckstoß in die angeschlossene Glasapparatur zu verhindern.

Bei der unmittelbar anschließenden Kontrolle des Reaktors war der Reaktordruck bei 6 bar (weiter ansteigend) und eine Temperatur von 123 °C abzulesen. Daraufhin erfolgte ein Druckstoß, der so heftig war, dass die Dichtung zwischen Domdeckel und Reaktionsbehälterunterteil herausgedrückt und teilweise zerstört wurde. Dadurch versprühte sich das größtenteils gasförmige Reaktionsgemisch in den Produktionsraum im Obergeschoss, obwohl die Sicherheitseinrichtungen angesprochen haben (im Havariebehälter wurden ca. 40 kg Gemisch aufgefangen).

Das im Brüdenrohr befindliche Glassicherheitsventil (0,3 bar) hatte höchstwahrscheinlich auch angesprochen, ein in der Zuleitung befindlicher Glasbogen war geplatzt, durch den ebenfalls Produkt in den Arbeitsbereich ausgetreten war.

Eine Woche zuvor wurde die gleiche Reaktion bereits durchgeführt, ohne dass es zu einem Ereignis gekommen war. Die Wärmeentwicklung war bekannt, die Gasentwicklung war wie erwartet (zu erkennen an einer sehr schwachen Schaumkrone nahe der Rührtrombe). Dies entsprach den bisherigen Laborversuchen.

Aus der Rekonstruktion des Ereignisses und der Situationsanalyse wurde das thermische Durchgehen des Reaktors infolge des Zerfalls von Perameisensäure als wahrscheinliche Ursache der Explosion ermittelt.

Des Weiteren konnte man aus den Ursachenuntersuchungen ersehen, dass eine Vielzahl von Umständen zum Ereignis beigetragen hat. Unter anderen sind hierbei folgende Defizite erkennbar:

- a) Fehlende reaktionskinetische Kenndaten zu der vorgesehenen Reaktion.
- b) Fehlende Kenntnisse hinsichtlich der Wärme- bzw. Kühlleistung der jeweiligen Reaktoren.
- c) Keine systematische Gefahrenanalyse bzw. "Scale-up"-Betrachtung.
- d) Unzureichende Kühlleistung aufgrund eines Teilausfalls des Kühlsystems.
- e) Auswahl eines ungeeigneten Reaktors für die Durchführung dieser Reaktion.
- f) Erhebliche Defizite im SMS und der betrieblichen Organisation.

Der mehrfache Betreiberwechsel und der Übergang als Teil eines Großkonzerns mit zentralen Sicherheitsfunktionen zu einer Auftragsmanufaktur haben sicherlich dazu beigetragen, dass das SMS nicht die erforderliche Leistungsfähigkeit besaß.

Als Vorkehrungen zur Vermeidung wurden folgende Maßnahmen geplant/umgesetzt:

- a) Verzicht auf die Fabrikation von 1,2-Octandiol nach der bisherigen Fabrikationsvorschrift.
- b) Generelle Ermittlung der sicherheitstechnischen Kenngrößen und eine Gefahrenanalyse im Vorfeld der Fabrikation. Beachtung des Merkblatts R 005 der BG RCI: „Übertragung chemischer Synthesen vom Labor bis in den Betrieb“, 4/2012.
- c) Beachtung der TRAS 410 „Erkennen und Beherrschen exothermer chemischer Reaktionen“, Fassung 10/2012 bei Fabrikationen mit exothermen Reaktionen.
- d) Das Kaltwassersystem resp. die Kühlwasserversorgung muss als sicherheitstechnisch bedeutsames Anlagenteil besser gemanagt, überwacht und abgesichert werden. Hierzu zählen eine tagesaktuelle Kühlleistungs-Bedarfsplanung, Vorhalten ausreichender Kühlreserve, sicherheitsgerichtete Alarme und Schalthandlungen, effektives Notkühlsystem am Reaktor.
- e) Organisatorisch ist sicherzustellen, dass bei Abweichungen von den Sollwerten eine Alarmierung erfolgt und die Ursache geprüft wird.
- f) Alle Messwerte sollen sowohl vor Ort angezeigt werden als auch an zentraler Stelle angezeigt und aufgezeichnet werden. Die Datenspeicherung soll eine nachträgliche Auswertung erlauben.

Der Umfang der Schäden und die Maßnahme zur Herstellung eines Betriebs nach dem Stand der Sicherheitstechnik sowie der Ausfall durch die Betriebsunterbrechung waren so groß, dass der Betreiber Insolvenz anmeldete. Der Standort wurde stillgelegt.

3.8.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.8.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung präsentierte der verantwortlichen Behördenvertreter das Ereignis und es wurden Fragen zum Ablauf und zu den Ursachen beantwortet. Folgende Unterlagen wurden zusätzlich herangezogen:

1. ZEMA – Detailansicht für Störfall vom 11.09.2014
2. 29a-Sachverständigengutachten Schadensereignis am Reaktor K20 – Ursachenermittlung und Maßnahmen mit Anlagen

3.8.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet.

Insgesamt wurden 28 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein.

In Tabelle 8 ist der Ablauf für die Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb dargestellt.

Tabelle 8: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2012-09-05	Unternehmen erste Laborversuche.		
2	2013-09-17	Unternehmen abschließender Laborversuch.		
3	2014-03	Unternehmen beschließt Probefabrikation.	Ziel: Herstellung technischer Muster für div. Kundenanfragen.	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Keine geeigneten Vorgaben für Scale-Up. 16: Organisation und Management Defizite im Sicherheitsmanagement: in Ausrichtung und Ausführung. 5: Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahren-/Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Gefahren der Reaktion nicht erkannt. 5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Kalorimetrie/Kinetik der Reaktion nicht bekannt.
4	2014-07	Unternehmen Rohstoffbeschaffung abgeschlossen.		
5	2014-08-21	Unternehmen erstellt Produktionsvorschrift.	Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Laborversuchen.	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt:

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
6	2014-08-21	Unternehmen diskutiert Anlagenbereitstellung durch Technik.		Produktionsvorschrift ist nicht geeignet. 14: Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement Keine geeigneten Vorgaben/Verfahren zum Erstellen von Produktionsvorschriften. 2: Auslegungsprinzipien (Design) Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: keine geeigneten Verfahren zur Festlegung der notwendigen MSR-/PLT-Einrichtungen. 16: Organisation und Management Nicht adäquate Bedeutungszuschreibung von Sicherheits- und Gesundheitsmanagement (HSE) Kein Bewusstsein für die Änderungen im Unternehmen und keine entsprechende Anpassung des SMS, vorher nur "einfache" chemische Tätigkeiten. 15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit Keine klare Verantwortungsfestlegung und -übernahme: Kompetenzen für die Aufgaben im Unternehmen nicht klar.
7	2014-08-22	Unternehmen gibt Produktionsvorschrift an Betriebsmeister.	Bereitstellung der Anlage K20 durch Technik in KW 34.	
8	2014-08-27	Unternehmen erstellt Betriebsanweisung 1-Octen und Ameisensäure.		
9	2014-09-02	Führungskraft	Über die Herstellung von 1,2-Octandiol.	

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
		Unterweisung mit Dokumentation der Mitarbeiter.		
10	2014-09-02	Unternehmen startet 1. Produktionsansatz.	Umsatz unvollständig, Ansatz enthält noch 1-Octen (Ausgangsmaterial) und ist dunkler gefärbt. Es wird davon ausgegangen, dass das Wasserstoffperoxid durch metallische Bauteile der Anlage zu schnell abgebaut wurde. Ansatz zeigte keine Probleme. Temperatur konnte durch Dosierkontrolle von 1-Octen gehalten werden. Gasentwicklung, Wärmeentwicklung und Verfärbung am Anfang waren so wie anhand der Laborversuche erwartet.	7: Abweichung von Vorgaben Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung: durchgeführte Reaktion außerhalb des angezeigten Umfangs.
11	2014-09-05	Unternehmen Auftrag an Technik.	Metallische Anlagenteile zu kontrollieren und ggf. durch Kunststoff oder kunststoffbeschichtete Teile zu ersetzen.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: kein Hinterfragen, ob Verfärbung andere Ursachen hatte.
12	2014-09-08	Technik Umbau K20-Anlage.	Rückmeldung: metallische Teile nicht durch Ameisensäure angegriffen. Trotzdem einige Ventile und die Brüdenklappe ausgetauscht.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: spätestens jetzt hätte Verfärbung hinterfragt werden müssen.
13	2014-09-09 -	Kältemaschinen Überdruckventil im Kältemittelkreislauf löst aus.		
14	2014-09-09	Kundendienst Kältemaschinen gleicht massiven Kältemittelverlust aus.		2.: Technische Komponenten Rücklauftemperatur zu hoch.
15	2014-09-10	Kundendienst Kältemaschinen kommt wegen Störungen.		

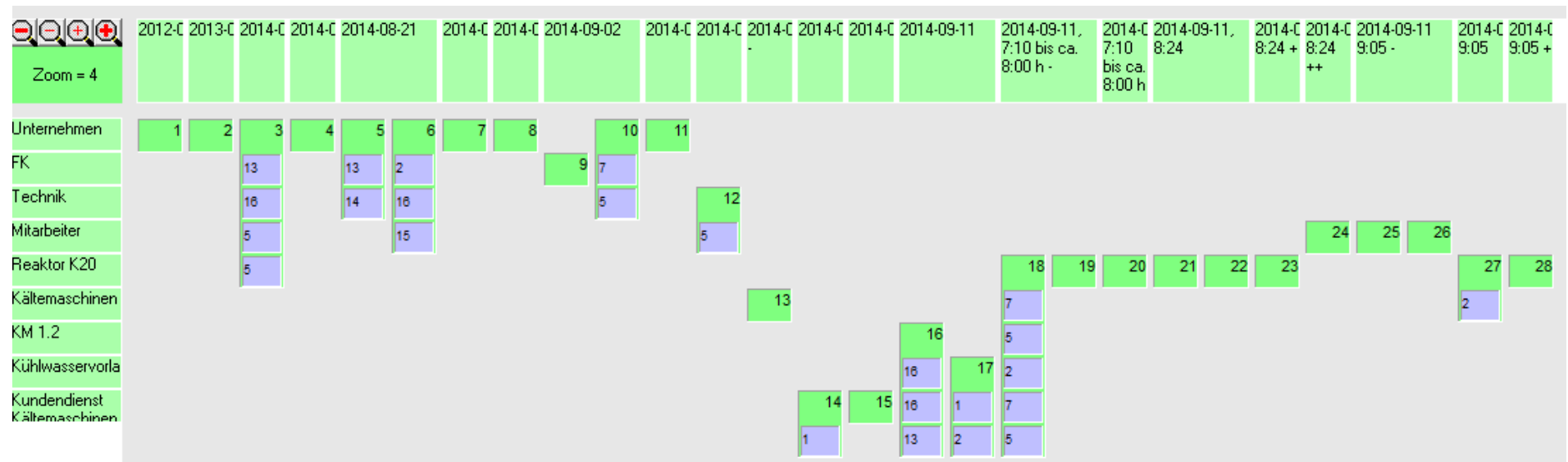
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
16	2014-09-11	KM 1.2 geht in Störung.	Keine Störungsanzeige im OG OC-Betrieb wegen defekter Störleuchte	16.: Organisation und Management Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Fehlende Überprüfung der Störleuchten. 16.: Organisation und Management Ungeeignete Instandhaltungsstrategie: Für die Kühlwasserversorgung fehlen Überwachung und Absicherung sowie tagesaktuelle Bedarfsplanung, Reserven, sicherheitsgerichtete Alarme und ein Notkühlsystem. 13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Vorgaben für eine Alarmierung und Ursachen-suche bei Abweichungen von Soll-Werten fehlen.
17	2014-09-11	Kühlwasservorlauftemperatur beträgt etwa 20 ° C.	Soll ist 10 °-12° C	1.: Technische Komponenten Versagen eines technischen Bauteils/einer technischen Komponente: Wahrscheinlich Überlastung des Kühlsystems, da nur 50% Leistung zur Verfügung, aber 4 Verbraucher angeschlossen. 2.: Auslegungsprinzipien (Design) Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Keine Anzeige von Messwerten vor Ort und zentral, keine Aufzeichnung der Daten.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
18	2014-09-11, 7:10 bis ca. 8:00 h -	Reaktor K20 wird befüllt.	670 kg Ameisensäure, 144 kg Wasserstoffper- oxid 35% verrührt. Scale-up.	7.: Abweichung von Vorgaben Betriebsbedingungen entsprechen nicht der Auslegung: Erhöhter Kühlwassertemperatur wird keine Be- deutung beigemessen. 5.: Entscheidungsfindung Unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen für die Arbeitsausführung z. B. Verlegung von Arbeiten in andere Anlagen-/Systemzustände: Sole-Kühlung wird nicht zugeschaltet, obwohl Kühltemperatur 10° C über Soll. 2.: Auslegungsprinzipien (Design) Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen feh- len: Kein ohne Verzögerung wirkendes Notkühlsys- tem. 7.: Abweichung von Vorgaben Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Laborermittlungen wurden nicht ausreichend mit sicherheitstechnischen Kenngrößen ergänzt (TRAS 410) 5. Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Keine systematische Gefahrenanalyse.
19	2014-09-11, 7:10 bis ca. 8:00 h -	Reaktor K20 wird auf 40 ° C erwärmt.		

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
20	2014-09-11, 7:10 bis ca. 8:00 h	Reaktor K20 Dosierung von 12 kg 1-Okten unter Rühren.		
21	2014-09-11, 8:24	Reaktor K20 Temperatur steigt auf 50 °C.		
22	2014-09-11, 8:24	Reaktor K20 Dosierung 1-Okten wird gestoppt.		
23	2014-09-11, 8:24 +	Reaktor K20 Temperatur steigt weiter.	Sich selbst verstärkende Wärme produzierende Reaktionen (thermisches Durchgehen)	
24	2014-09-11, 8:24 ++	Mitarbeiter stellt von Kühlwasser auf Kühlsole um.		
25	2014-09-11 9:05 -	Mitarbeiter stellt Gasentwicklung fest.		
26	2014-09-11 9:05 -	Mitarbeiter drosselt Bründenventil.	Um Druckstoß in die angeschlossene Glasarmatur zu verhindern.	
27	2014-09-11 9:05	Reaktor K20 Reaktordruck 6 bar (weiter steigend), Temperatur 123° C.		2: Auslegungsprinzipien (Design) Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Sicherheitsventil von K20 nicht ausreichend dimensioniert.
28	2014-09-11 9:05 +	Reaktor K20 heftiger Druckstoß.	Dichtung zwischen Domdeckel und Reaktionsbehälterunterteil wurde herausgedrückt und zum Teil zerstört. Reaktionsgemisch (gasförmig) versprühte sich im Produktionsraum. Glasbogen in Zuleitung platzt. 40 kg Produkt in den Blowdown-Behälter.	

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 20) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 20: Zeit-Akteur Diagramm – Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb



Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist im Folgenden die erste Seite vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 8 und Abbildung 20.

	2012-09-05	2013-09-17
	1	2
Unternehmen	Zeit: 2012-09-05 Ort: Akteur: Unternehmen Handl.: erste Laborversuche Bem.: Ref.:	Zeit: 2013-09-17 Ort: Akteur: Unternehmen Handl.: abschließender Laborversuch Bem.: Ref.:
FK		
Technik		
Mitarbeiter		
Reaktor K20		
Kältemaschinen		

KM 1.2

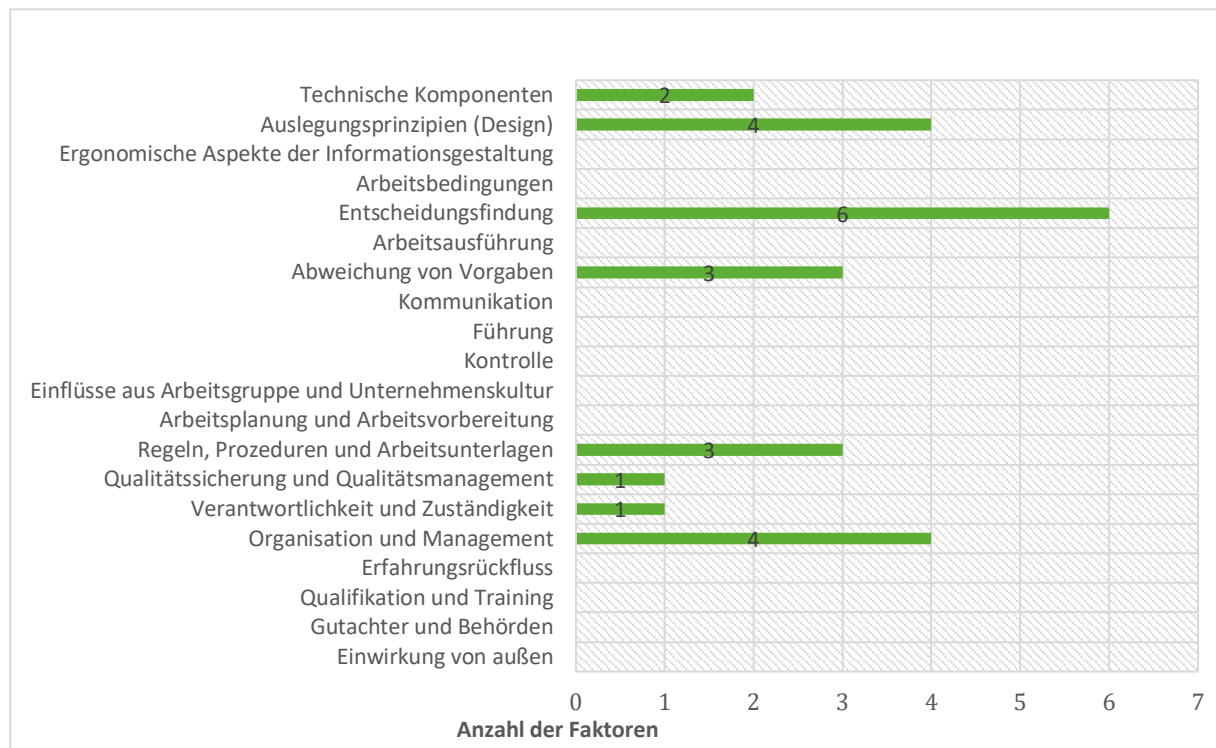
Kühlwasservorlauftemperatur

Kundendienst Kältemaschinen

3.8.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Organisation und Management“ und einem konkreten Titel wie „Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement“ und der spezifischen Beurteilung wie „Für die Kühlwasserversorgung fehlen Überwachung und Absicherung sowie tagesaktuelle Bedarfsplanung, Reserven, sicherheitsgerichtete Alarmer und ein Notkühlsystem“.

Abbildung 21: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion und Stofffreisetzung in einem organisch-chemischen Betrieb



Für das Ereignis konnten insgesamt 24 beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 21 dargestellt sind.

Sechsmal wurde der Faktor „Entscheidungsfindung“ identifiziert:

- ▶ Fehlende oder unzureichende Gefahren-/Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Gefahren der Reaktion nicht erkannt.
- ▶ Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Kalorimetrie/Kinetik der Reaktion nicht bekannt.
- ▶ Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: kein Hinterfragen, ob Verfärbung andere Ursachen hatte.
- ▶ Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: spätestens jetzt hätte Verfärbung hinterfragt werden müssen.
- ▶ Unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen für die Arbeitsausführung z. B. Verlegung von Arbeiten in andere Anlagen-/Systemzustände: Sole-Kühlung wird nicht zugeschaltet, obwohl Kühltemperatur 10° C über Soll.
- ▶ Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Keine systematische Gefahrenanalyse.

Viermal wurde der Faktor „Auslegungsprinzipien“ identifiziert:

- ▶ Keine Sicherheitsauslegung der Reaktionsführung und des Produktionssystems beim Scale-Up (Steigerung der Reaktion vom Labor- in den Produktionsmaßstab) obwohl als exotherme Reaktion bekannt.
- ▶ Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Keine Anzeige von Messwerten vor Ort und zentral, keine Aufzeichnung der Daten.
- ▶ Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Kein ohne Verzögerung wirkendes Notkühl-system.
- ▶ Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Sicherheitsventil von K20 nicht ausreichend dimensioniert.

Ebenfalls viermal wurde der Faktor „Organisation und Management identifiziert:

- ▶ Defizite im Sicherheitsmanagement in Ausrichtung und Ausführung.
- ▶ Nicht adäquate Bedeutungszuschreibung von Sicherheits- und Gesundheitsmanagement (HSE): Kein Bewusstsein für die Änderungen im Unternehmen und keine entsprechende Anpassung des SMS, vorher nur "einfache" chemische Tätigkeiten.
- ▶ Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Fehlende Überprüfung der Störleuchten.
- ▶ Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Für die Kühlwasserversorgung fehlen Überwachung und Absicherung sowie tagesaktuelle Bedarfsplanung, Reserven, sicherheitsgerichtete Alarme und ein Notkühlsystem.

Dreimal wurde der Faktor „Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen identifiziert:

- ▶ Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Keine geeigneten Vorgaben für Scale-Up.
- ▶ Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt: Produktionsvorschrift ist nicht geeignet.
- ▶ Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Vorgaben für eine Alarmierung und Ursachensuche bei Abweichungen von Soll-Werten fehlen.

Ebenfalls dreimal wurde der Faktor „Abweichung von Vorgaben“ identifiziert:

- ▶ Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung: durchgeführte Reaktion außerhalb des angezeigten Umfangs.
- ▶ Betriebsbedingungen entsprechen nicht der Auslegung: Erhöhter Kühlwassertemperatur wird keine Bedeutung beigemessen.
- ▶ Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Laborermittlungen wurden nicht ausreichend mit sicherheitstechnischen Kenngrößen ergänzt (TRAS 410).

Zweimal wurde der Faktor „Technische Komponenten identifiziert:

- ▶ Rücklauftemperatur zu hoch.
- ▶ Versagen eines technischen Bauteils/einer technischen Komponente: wahrscheinlich Überlastung des Kühlsystems, da nur 50 % Leistung zur Verfügung, aber 4 Verbraucher angeschlossen.

Bei diesem Ereignis waren fehlendes Risikobewusstsein, die unzureichende Auslegung und Defizite im SMS entscheidend.

3.8.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind die folgenden Vorkehrungen zur Vermeidung genannt:

1. Verzicht auf die Fabrikation von 1,2-Octandiol nach der bisherigen Fabrikationsvorschrift.
2. Generelle Ermittlung der sicherheitstechnischen Kenngrößen und eine Gefahrenanalyse im Vorfeld der Fabrikation. Beachtung des Merkblatts R 005 der BG RCI: „Übertragung chemischer Synthesen vom Labor bis in den Betrieb“, 4/2012.
3. Beachtung der TRAS 410 „Erkennen und Beherrschen exothermer chemischer Reaktionen“, Fassung 10/2012 bei Fabrikationen mit exothermen Reaktionen.
4. Das Kaltwassersystem resp. die Kühlwasserversorgung muss als sicherheitstechnisch bedeutsames Anlagenteil besser gemanagt, überwacht und abgesichert werden. Hierzu zählen eine tagesaktuelle Kühlleistungs-Bedarfsplanung, Vorhalten ausreichender Kühlreserve, sicherheitsgerichtete Alarmer und Schalthandlungen, effektives Notkühlsystem am Reaktor.
5. Organisatorisch ist sicherzustellen, dass bei Abweichungen von den Sollwerten eine Alarmierung erfolgt und die Ursache geprüft wird.
6. Alle Messwerte sollen sowohl vor Ort angezeigt werden als auch an zentraler Stelle angezeigt und aufgezeichnet werden. Die Datenspeicherung soll eine nachträgliche Auswertung erlauben.

Der Umfang der Schäden und die Maßnahme zur Herstellung eines Betriebs nach dem Stand der Sicherheitstechnik sowie der Ausfall durch die Betriebsunterbrechung waren so groß, dass der Betreiber Insolvenz anmeldete. Der Standort wurde stillgelegt.

3.8.3 Schlussfolgerungen

1. Es gibt erhebliche Unterschiede in der Qualität des Sicherheitsmanagements von Betriebsbereichen (hier bei der Auslegung von Prozessen und Anlagen), insbesondere bei KMU.
2. Auch 40 Jahre nach Seveso wird bei diesem Ereignis das Thema exotherme Reaktionen nicht ausreichend beherrscht; entsprechende Regel und Leitfäden zeigen keine ausreichende Wirkung.
3. Die Auslegung entsprach nicht dem Stand der Sicherheitstechnik für das vorhandene Gefahrenpotenzial (§ 3, Abs. 4 StörfallV).
4. Mängel in der Sicherheitskultur des Betreibers.
5. Anforderungen nach § 4 StörfallV (MSR-Technik) wurden unzureichend umgesetzt.

3.9 Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager

3.9.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Gegen 03.00 Uhr morgens wurde aufgrund einer betriebsinternen Geruchsmeldung umgehend mit der Suche nach einer Leckagestelle begonnen.

Um 04.15 Uhr wurde die Werksfeuerwehr zum Ausleuchten eines Rohrgrabens angefordert. Das Leck wurde gegen 05.05 Uhr lokalisiert und ein Schaumteppich gelegt. Gegen 05.30 Uhr wurde die Leitung eingeblockt.

Die Rohrleitung (DN 250) dient als Versorgungsleitung von einem Tank zu einer Sulfolan-Extraktions-Anlage und wird mit einem Betriebsdruck von 10 bar betrieben. Die Leitung ist einwandig und Teil eines Leitungsbündels welches oberirdisch in einem teilweise befestigten Rohrgraben liegt.

Die ins Erdreich freigesetzte Leckage verursachte eine nicht unerhebliche Bodenverunreinigung. Feuerwehreinsatz, Messungen (Kohlenwasserstoffe, Benzol sowie UEG) im Zeitraum von 4.50 Uhr bis 5.35 Uhr an der Austrittsstelle im Rohrgraben bzw. auf einer parallel zum Rohrgraben verlaufenden Straße nahe der Austrittsstelle.

Als Ursache konnte festgestellt werden, dass eine temporäre Leckabdichtung undicht geworden war, begünstigt durch Reibung in einem Loslager. Diese Abdichtung war 2006 infolge eines Lecks durch Außenkorrosion angebracht worden.

Folgeschaden verursacht durch eine zur Leitungsreparatur verwendete, nicht medienbeständige Dichtmatte und allmähliche Auflösung des Mattenwerkstoffs.

Kombination aus betriebsbedingten Ursachen (Bewegungsbehinderung im Loslager durch fehlende Gleitplatten und zu langer Betrieb der Rohrleitung mit temporärer Leckabdichtung), umgebungsbedingten Ursachen (anstehende Nässe im Lagerbereich) und menschlicher Fehler (Verwendung einer nicht medienbeständigen Dichtmatte).

Als Vorkehrungen zur Vermeidung wurden nachfolgende Maßnahmen geplant/umgesetzt:

- a) Mögliche weitere Rohrabdichtungen (Schellen) an anderen Leitungen werden überprüft und durch Leitungsreparatur ersetzt.
- b) Lagerstellen der Rohrleitungen werden hinsichtlich der Möglichkeit von stauender Nässe untersucht und ggf. entsprechende Maßnahmen eingeleitet (z. B. visuelle Untersuchung auf Außenkorrosion, Wandstärkenmessung).
- c) Loslagerstellen werden hinsichtlich des Einbaus geeigneter Gleitplatten überprüft und ggfs. entsprechend nachgerüstet.

Aus der Ereignisuntersuchung wurden Lernpunkte identifiziert, die zur Verbesserung des Sicherheitsmanagements geführt haben.

3.9.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.9.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurde der ZEMA-Bericht ausgewertet.

3.9.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden sechs Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein.

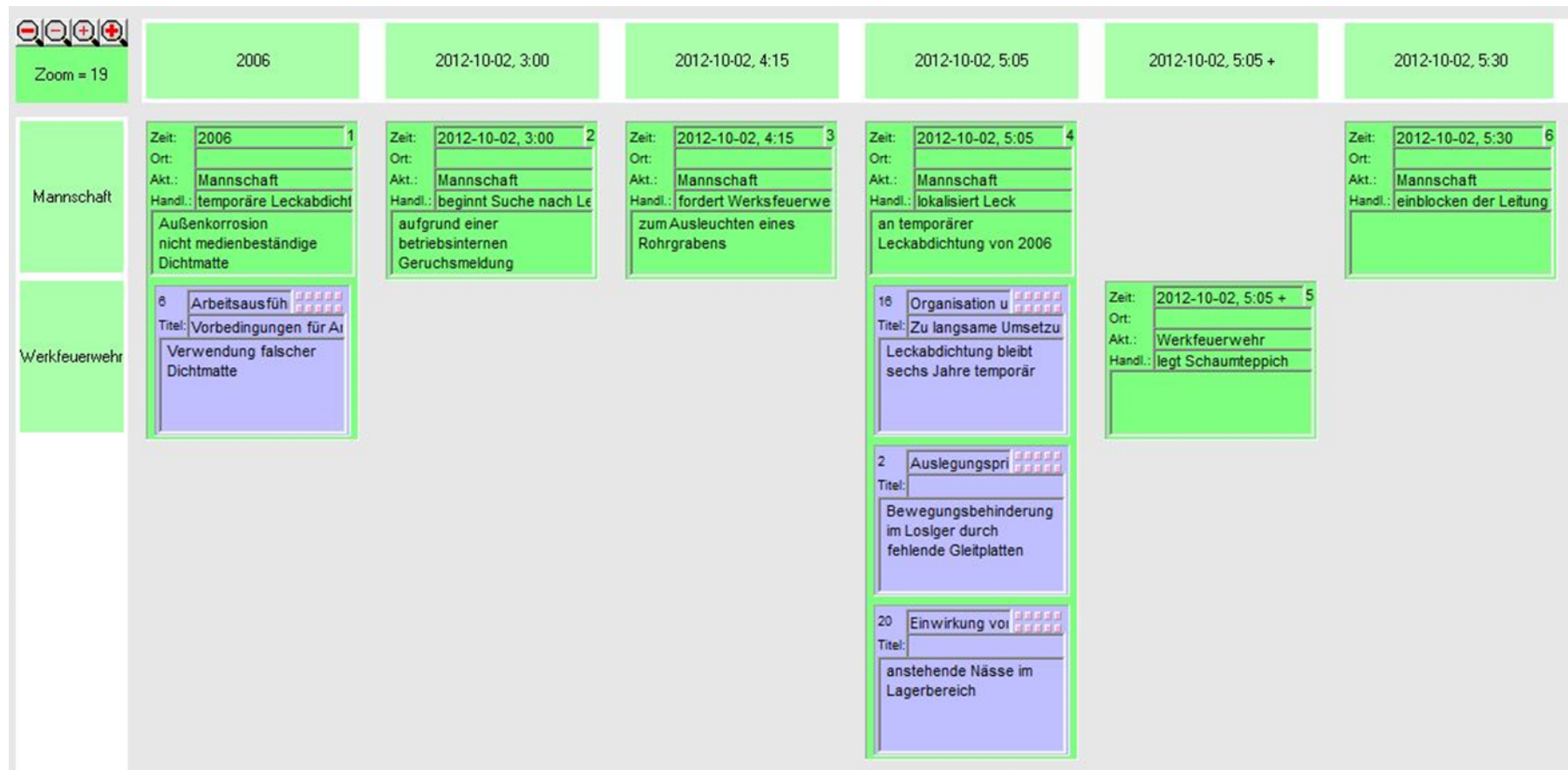
In Tabelle 9 ist der Ablauf für die Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager dargestellt.

Tabelle 9: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2006	Mannschaft temporäre Leckabdichtung.	Außenkorrosion nicht medienbeständige Dichtmatte.	2: Auslegungsprinzipien (Design) Bewegungsbehinderung im Loslager durch fehlende Gleitplatten. 6. Arbeitsausführung Vorbedingungen für Arbeitsausführung nicht überprüft: Verwendung falscher Dichtmatte.
	2006 bis 2012	Keine Veranlassung der Instandsetzung aufgrund von Prüfungen nach BetrSichV und VAWS.	Art und Zeitpunkt von Prüfungen und Umsetzung von Prüfungsergebnissen unklar.	
	2006 bis 2012	Keine Instandsetzung zur Wiederherstellung des bestimmungsgemäßen Zustands (Reparatur der Leitung).		16: Organisation und Management Zu langsame Umsetzung von erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen: Leckabdichtung bleibt sechs Jahre temporär. 20: Einwirkung von außen: anstehende Nässe im Lagerbereich.
2	2012-10-02, 3:00	Mannschaft beginnt Suche nach Leckstelle.	Aufgrund einer betriebsinternen Geruchsmeldung.	
3	2012-10-02, 4:15	Mannschaft fordert Werksfeuerwehr an.	Zum Ausleuchten eines Rohrgrabens.	
4	2012-10-02, 5:05	Mannschaft lokalisiert Leck.	An temporärer Leckabdichtung von 2006.	
5	2012-10-02, 5:05 +	Werkfeuerwehr legt Schaumteppich.		
6	2012-10-02, 5:30	Mannschaft einblocken der Leitung		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 22) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 22: Zeit-Akteur Diagramm – Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager



Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist im Folgenden die erste Seite vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 9 und Abbildung 22.

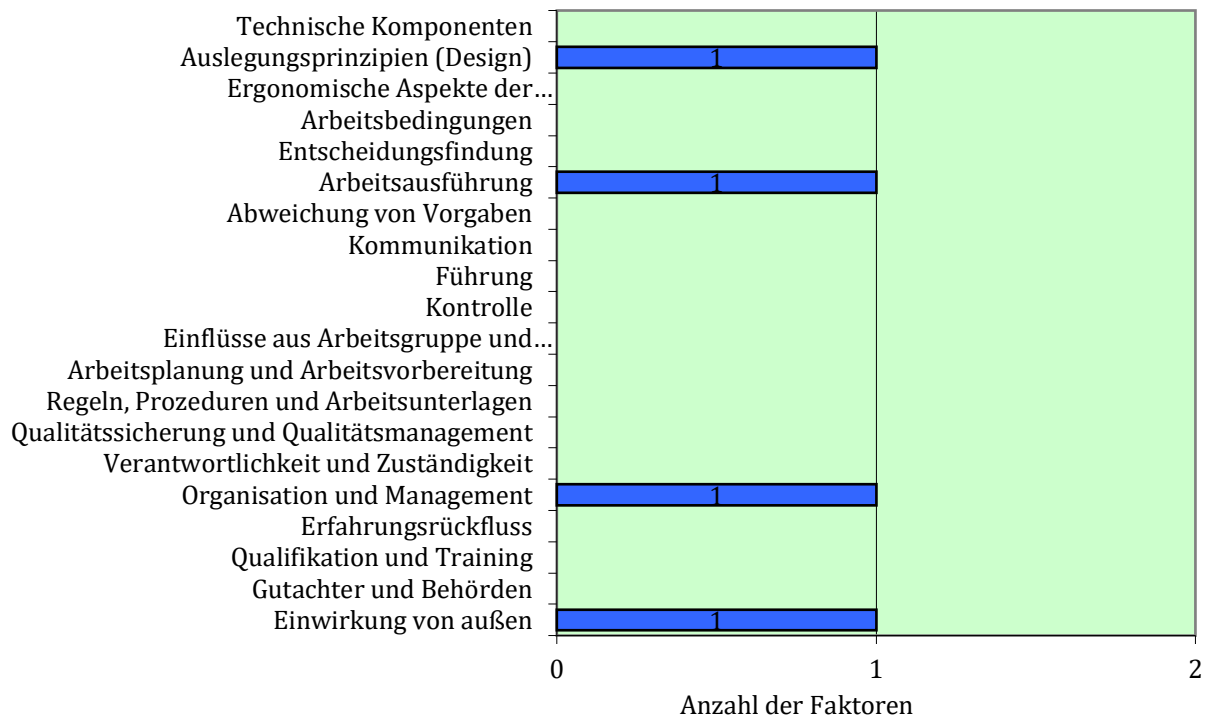
	2006	2012-10-02, 3:00
	1	2
Mannschaft	Zeit: 2006 Ort: Akteur: Mannschaft Handl.: temporäre Leckabdichtung Bem.: Außenkorrosion nicht medienbeständige Dichtmatte Ref.:	Zeit: 2012-10-02, 3:00 Ort: Akteur: Mannschaft Handl.: beginnt Suche nach Leckstelle Bem.: aufgrund einer betriebsinternen Geruchsmeldung Ref.:
Werkfeuerwehr	6: Arbeitsausführung Titel: Vorbedingungen für Arbeitsausführung nicht überprüft Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Verwendung falscher Dichtmatte	

3.9.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Arbeitsausführung“ und einem konkreten Titel wie „Vorbedingungen für Arbeitsausführung nicht überprüft“ und der spezifischen Beurteilung wie „Verwendung falscher Dichtmatte“.

Für das Ereignis konnten insgesamt vier beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 23 dargestellt sind.

Abbildung 23: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Freisetzung eines Kohlenwasserstoffgemisches an einem Tanklager



Maßgeblich ist hier die temporäre Abdichtung, die sechs Jahre nicht geändert wurde.

3.9.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht sind die folgenden Vorkehrungen zur Vermeidung genannt:

1. Mögliche weitere Rohrabdichtungen (Schellen) an anderen Leitungen werden überprüft und durch Leitungsreparatur ersetzt.
2. Lagerstellen der Rohrleitungen werden hinsichtlich der Möglichkeit von stauender Nässe untersucht und ggfs. Entsprechende Maßnahmen eingeleitet (z. B. visuelle Untersuchung auf Außenkorrosion, Wandstärkenmessung).
3. Loslagerstellen werden hinsichtlich des Einbaus geeigneter Gleitplatten überprüft und ggf. entsprechend nachgerüstet.

3.9.3 Schlussfolgerungen

1. Das Sicherheitsmanagement muss ein Alterungsmanagement beinhalten.
2. Instandhaltungsmaßnahmen müssen bis zum Erreichen des bestimmungsgemäßen Betriebs ausgeführt werden.
3. Prüfungen müssen so durchgeführt werden, dass nicht bestimmungsgemäße Zustände erkannt werden. Die Prüfungen müssen einen bestimmungsgemäßen Betrieb bis zur Durchführung der nächsten wiederkehrenden Prüfung gewährleisten.
4. Ergebnisse von Prüfungen müssen bei Mängeln zu Maßnahmen des Betreibers führen; wenn nicht anders möglich durch Anordnungen der zuständigen Behörde.

3.10 Explosion in einem Rohöl-Tanklager

3.10.1 Ereignisbeschreibung aus der ZEMA-Datenbank

Der Tank war gereinigt und inspiziert, zum Zeitpunkt des Ereignisses wurden Reparaturarbeiten an der Schwimmdecke durchgeführt. Am 07.06.2010, gegen 10.15 Uhr, kam es bei Reparaturarbeiten an einem Tankdach zu einer Entzündung von Gasen, in deren Folge eine der Kassetten des Tankdaches barst und zwei externe Mitarbeiter verletzt wurden.

Zum Zeitpunkt des Ereignisses befanden sich insgesamt drei externe Mitarbeiter im Tank. Ein Mitarbeiter arbeitete auf dem Schwimmdach, während ein Schweißer und ein Sicherheitsposten sich im Tank unterhalb des Tankdaches befanden.

Der Schweißer wollte eine Schweißnaht einer Dachkassette ausbessern. Er stand auf einer Leiter unter der Dachkassette und schweißte über Kopf. Dabei kam es zu einer Verpuffung, bei der er von der Leiter geschleudert und schwer verletzt wurde, insbesondere im Augenbereich (dabei sind Splitter der Scheiben der Schweißerhaube für die Verletzungen ursächlich). Der Sicherheitsposten, der sich nach eigenen Aussagen ca. 5 m seitlich des Schweißers befand, wurde durch die Druckwelle gleichfalls umgerissen, blieb aber handlungsfähig.

Der Sicherheitsposten und der Mitarbeiter bargen den Verletzten noch vor Eintreffen der Rettungskräfte aus dem Tank. Die ersten Kräfte der Feuerwehr trafen etwa 15 Minuten nach dem Ereignis ein und begannen unverzüglich mit der Erstversorgung. Die Alarmierung der Rettungskräfte erfolgte über die externe Firma.

Die Ursache der Verpuffung ist auf die Schweißarbeiten an einer nicht gereinigten Kassette zurückzuführen. Der Schweißer hatte keinen Auftrag an der betreffenden Dachkassette zu schweißen.

Als Maßnahme zur Vorkehrung zur Vermeidung wurde die Aktualisierung der Betriebsvorschriften geplant.

3.10.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf menschliche und organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.10.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurden mehrere telefonische Gespräche mit dem Behördenvertreter geführt sowie folgende Unterlagen berücksichtigt (aufgrund der vereinbarten Anonymität der Ergebnisse werden keine Namen genannt und Titel z. T. verkürzt wiedergegeben):

1. ZEMA – Detailansicht für Störfall vom 07.06.2010
2. Diverse Schreiben des staatlichen Amtes
3. Diverse Schreiben des Betreibers
4. Schreiben der Fremdfirma
5. Unfallbericht des Betreibers
6. Unfalluntersuchungsbericht des Landesamtes
7. Arbeitsschutzbelehrung für gewerbliche Arbeitnehmer
8. Gefährdungsbeurteilung: Reparatur von undicht gewordenen Schwimmdachkassetten in Tanks
9. Betriebsanweisung Tankreinigung

10. Sicherheitsvorgaben für die Durchführung von Tankreinigungsarbeiten
11. Verhaltensanforderung Freigaben
12. Verhaltensanforderung Feuerarbeiten
13. Gesprächsprotokoll staatliches Amt und Betreiber
14. Feuer-Erlaubnisschein
15. Freigabe-, Arbeitserlaubnis,- Befahr- und Übergabeschein

3.10.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden zehn Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird. Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

In Tabelle 10 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für die Explosion in einem Rohöl-Tank dargestellt.

Tabelle 10: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Explosion in einem Rohöl-Tanklager

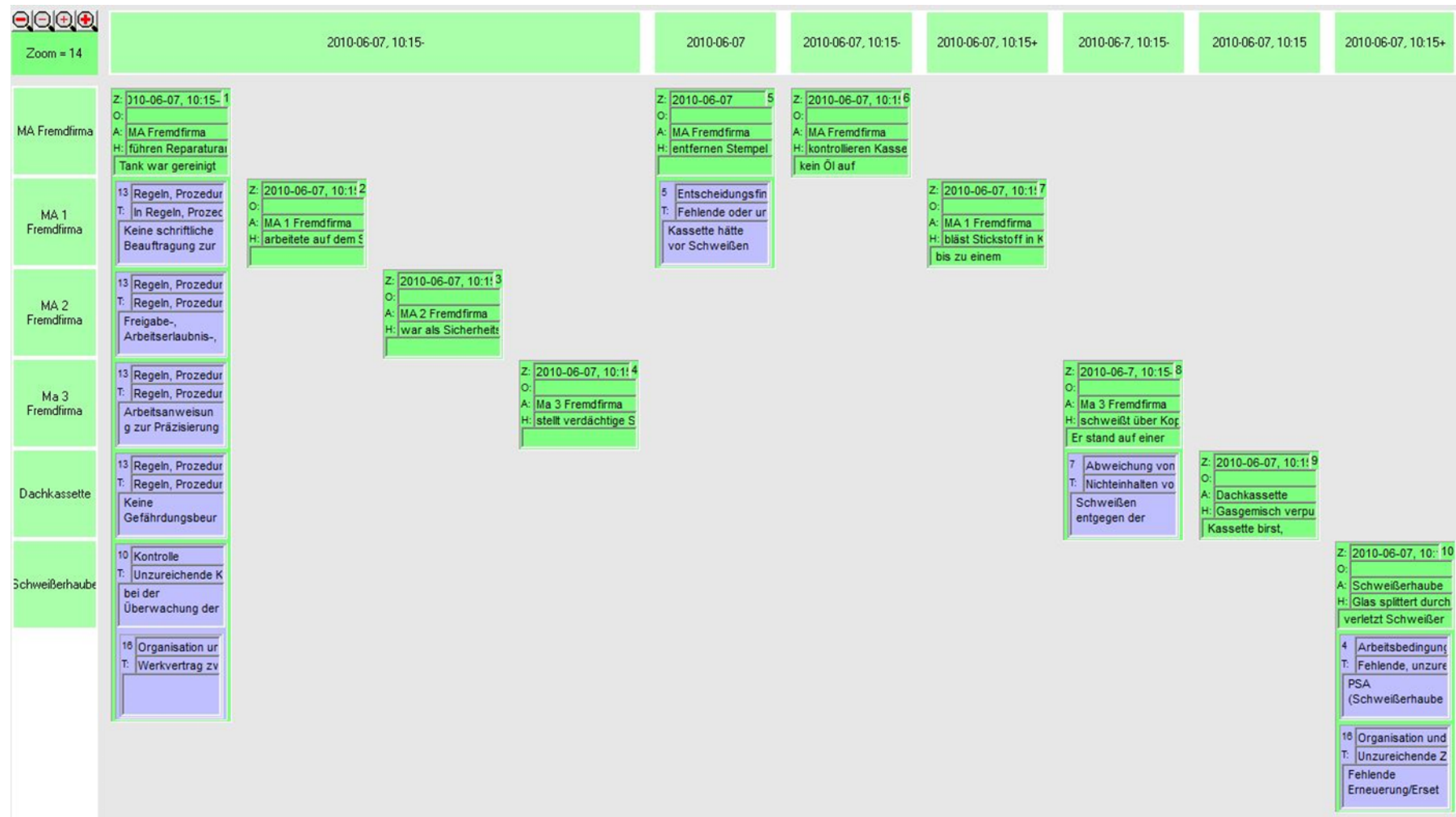
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2010-06-07, 10:15-	MA Fremdfirma führen Reparaturarbeiten an einem Tankdach durch.	Tank war gereinigt und inspiziert, Restarbeiten an zwei geöffneten Kassetten.	13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen In Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen wichtige Zusatzinformationen: Keine schriftliche Beauftragung zur Arbeit an einzelnen Kassetten. 13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind missverständlich Freigabe-, Arbeitserlaubnis-, Befahr- und Übergabeschein ist nicht eindeutig: Freigabeobjekt ist Tank 2; auszuführende Arbeiten: Reparatur Tankdachkassetten; das Freigabeobjekt ist gereinigt, ist entleert; Schutzmaßnahmen: funkenfreie und explosionsgeschützte Arbeitsmittel, zuge-lassen für Ex-Zone; Freigabe vom 18.05.2010. 13. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen fehlen: Arbeitsanweisung zur Präzisierung der sicherheitsrelevanten Arbeitsabläufe lag nicht vor. 13.: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen fehlen: Keine Gefährdungsbeurteilung für Lichtbogenschweißen. 10.: Kontrolle Unzureichende Kontrollschritte bei Fa. P. bei der Überwachung der Sicherheitsmaßnahmen auf Wirksamkeit. 16.: Organisation und Management Werkvertrag zw. Fa. P. und Fremdfirma von 1995 ist für Tank 1.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
2	2010-06-07, 10:15-	MA 1 Fremdfirma arbeitete auf dem Schwimmdach.		
3	2010-06-07, 10:15-	MA 2 Fremdfirma war als Sicherheitsposten im Tank.		
4	2010-06-07, 10:15-	Ma 3 Fremdfirma stellt verdächtige Schweißnaht fest.		
5	2010-06-07	MA Fremdfirma entfernen Stempel der Kassette mit der verdächtigen Schweißnaht.		5.: Entscheidungsfindung Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Kassette hätte vor Schweißen geöffnet werden müssen.
6	2010-06-07, 10:15-	MA Fremdfirma kontrollieren Kassette.	Kein Öl auf Kassettenboden, erscheint sauber.	
7	2010-06-07, 10:15+	MA 1 Fremdfirma bläst Stickstoff in Kassette ein.	Bis zu einem Absolutdruck von 1,1 bar. Schweißer wollte Schweißnaht mit Lecksuchspray auf Dichtheit testen.	
8	2010-06-7, 10:15-	Ma 3 Fremdfirma schweißt über Kopf an Dachkassette.	Er stand auf einer Leiter. Er hatte keinen Auftrag diese Kassette zu schweißen.	7.: Abweichung von Vorgaben Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Schweißen entgegen der Vorgaben zum Leeren und Freimessen von Kassetten.
9	2010-06-07, 10:15	Dachkassette Gasgemisch verpufft.	Kassette birst, dadurch wird Schweißer von der Leiter geschleudert, Sicherheitsposten wird ebenfalls umgerissen	
10	2010-06-07, 10:15+	Schweißerhaube Glas splittert durch Explosion.	Verletzt Schweißer im Augenbereich.	4.: Arbeitsbedingungen Fehlende, unzureichende oder nichtergonomische Arbeits- und Hilfsmittel für die Tätigkeit: PSA (Schweißerhaube) war mangelhaft. 16: Organisation und Management

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
				Unzureichende Zuteilung von Ressourcen (Personal, Geld, Zeit etc.) für die Erreichung der Ziele und für notwendige Verbesserungen Fehlende Erneuerung/Ersetzen von PSA.

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 24) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus:

Abbildung 24: Zeit-Akteur Diagramm – Explosion in einem Rohöl-Tanklager



Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 10 und Abbildung 24.

	2010-06-07, 10:15-	2010-06-07, 10:15-
	1	
MA Fremdfirma	Zeit: 2010-06-07, 10:15- Ort: Akteur: MA Fremdfirma Handl.: führen Reparaturarbeiten an einem Tankdach durch Bem.: Tank war gereinigt und inspi- ziert, Restarbeiten an zwei geöffneten Kassetten Ref.:	
MA 1 Fremdfirma		
		2
MA 1 Fremdfirma	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: In Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen wichtige Zusatzinformationen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Keine schriftliche Beauftragung zur Arbeit an einzelnen Kassetten	Zeit: 2010-06-07, 10:15- Ort: Akteur: MA 1 Fremdfirma Handl.: arbeitete auf dem Schwimmdach Bem.: Ref.:
MA 2 Fremdfirma		
Ma 3 Fremdfirma	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind missverständlich Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Freigabe-, Arbeitserlaubnis-, Befahr- und Übergabeschein ist nicht eindeutig: Freigabeobjekt ist Tank 2, Auszuführende Arbeiten: Reparatur Tankdachkassetten, das Freigabeobjekt ist gereinigt, ist entleert, Schutzmaßnahmen: funkenfreie und explosionsgeschützte Arbeitsmittel, zugelassen für Ex-Zone Freigabe vom 18.05.2010	
Dachkassette		

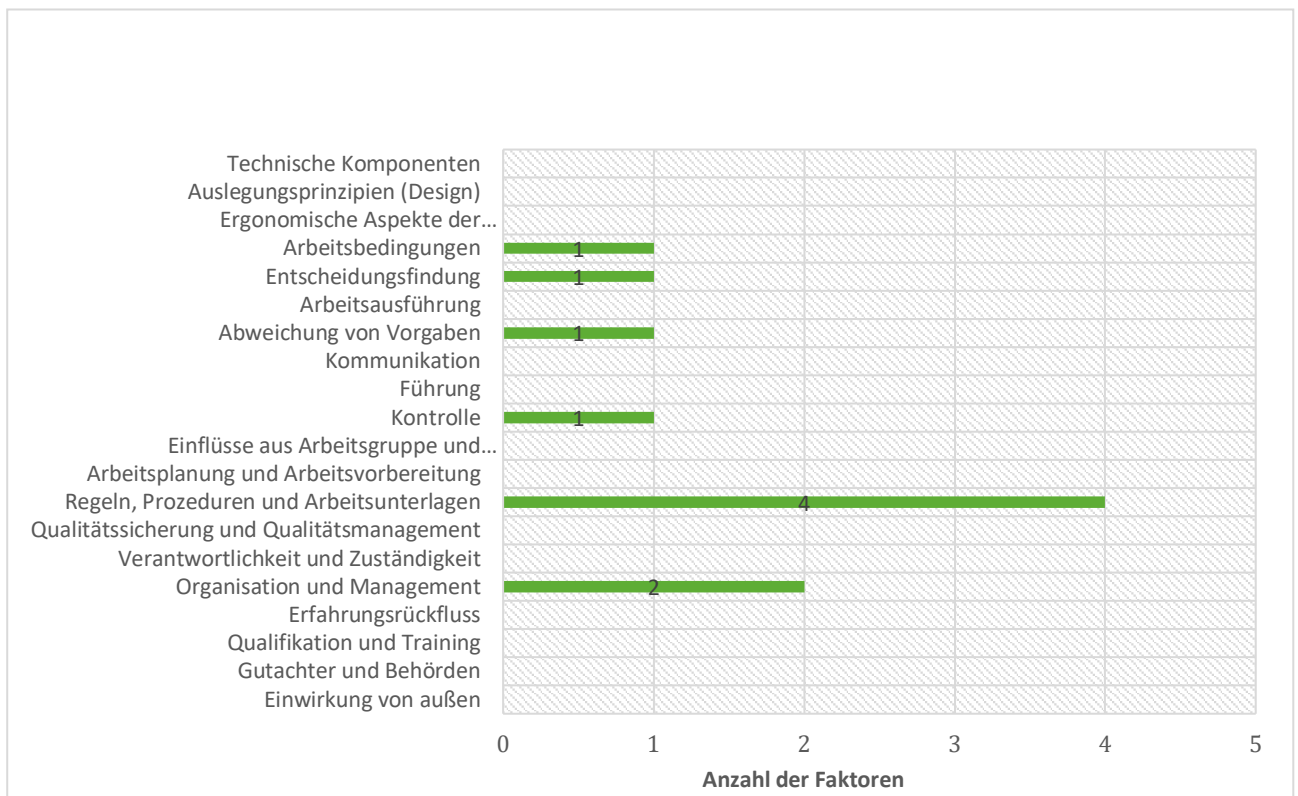
Schweißerhaube	
	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet) Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Arbeitsanweisung zur Präzisierung der sicherheitsrelevanten Arbeitsabläufe lag nicht vor,
	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet) Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Keine Gefährdungsbeurteilung Lichtbogenschweißen
	10: Kontrolle Titel: Unzureichende Kontrollschritte bei Fa. P. Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: bei der Überwachung der Sicherheitsmaßnahmen auf Wirksamkeit

3.10.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Kontrolle“ und einem konkreten Titel wie „Unzureichende Kontrollschritte bei Fa. P.“ und der spezifischen Beurteilung wie „bei der Überwachung der Sicherheitsmaßnahmen auf Wirksamkeit“.

Für das Ereignis konnten insgesamt zehn beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 25 dargestellt sind.

Abbildung 25: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Explosion in einem Rohöl-Tanklager



Nur ein Faktor wird viermal identifiziert, der Faktor Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen:

- ▶ Keine schriftliche Beauftragung zur Arbeit an einzelnen Kassetten.
- ▶ Freigabe-, Arbeitserlaubnis-, Befahr- und Übergabeschein ist nicht eindeutig: Freigabeobjekt ist Tank 2, auszuführende Arbeiten: Reparatur Tankdachkassetten, das Freigabeobjekt ist gereinigt, ist entleert, Schutzmaßnahmen: funkenfreie und explosionsgeschützte Arbeitsmittel, zugelassen für Ex-Zone; Freigabe vom 18.05.2010.
- ▶ Arbeitsanweisung zur Präzisierung der sicherheitsrelevanten Arbeitsabläufe lag nicht vor.
- ▶ Keine Gefährdungsbeurteilung für Lichtbogenschweißen.

Auch in diesem Fall gab es unzureichende administrative Vorsorge. Die Anlage wurde nicht entsprechend ihres Gefährdungspotenzials betrieben, indem notwendige schriftliche Unterlagen fehlten bzw. unvollständig waren.

3.10.2.4 Abgleich von beitragenden Faktoren/Ursachen mit den abgeleiteten Maßnahmen

Im ZEMA-Bericht ist als Vorkehrung zur Vermeidung die Aktualisierung der Betriebsvorschriften genannt.

3.10.3 Schlussfolgerungen

1. Der erforderliche Detaillierungsgrad der Kommunikation im Rahmen von Planung und Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen muss im Rahmen des Sicherheitsmanagements geprüft, festgelegt und während der Durchführung überprüft werden.

3.11 Zerknall eines Stickstoffbehälters

Das letzte analysierte deutsche Ereignis stammt nicht aus der ZEMA-Datenbank, sondern wurde von der zuständigen Behörde zur Verfügung gestellt. Weil es ein verhältnismäßig komplexes Ereignis mit hohem Sachschaden war, wurde es in die Analysen einbezogen.

3.11.1 Ereignisbeschreibung

Der Behälterzerknall ereignete sich am 05.08.2015 in einem Innenhof zwischen den Gebäuden N306 und N207 auf dem Gelände eines Chemie Parks. Von dem Zerknall waren 12 Gebäude und ein Bürocontainer betroffen. Der Stickstofftank wurde ursprünglich im Jahr 1988 auf der Basis eines Standarddesigns hergestellt, es konnte sowohl flüssiger als gasförmiger Stickstoff entnommen werden. Die Dokumentation zum Behälter ist unvollständig, zur Wartung und Instandhaltung existieren Unterlagen. Im September 2015 sollte der Stickstoffbehälter außer Betrieb genommen werden, da die Verbrauchsrate zu niedrig war. Bei der Firma wurde er nur noch vom Labor genutzt. Bis 2010 war er für die Prozesskühlung eingesetzt worden. Der Behälter war geleast und wurde durch das Leasingunternehmen, gewartet, geprüft und befüllt.

Die letzte Befüllung war am 17.06.2015, die letzte Entnahme von ca. 50 l durch das Labor am 23./24.07.2015. Am 05.08.2015 um 13:54 Uhr kam es zum Zerknall des Behälters, die letzte Füllstandanzeige am 05.08.2015 um 13:53:58 Uhr zeigte 70,316 %.

3.11.2 Analyseergebnis

Das Ereignis wurde mit dem Verfahren SOL 3.0 analysiert, weil es ausreichend Hinweise auf organisationale Faktoren gab. In SOL 3.0 gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte: Informationssammlung, Ereignisbeschreibung und Identifikation beitragender Faktoren.

3.11.2.1 Informationssammlung

In der Informationssammlung wurden telefonische Gespräche mit dem verantwortlichen Behördenvertreter geführt sowie die folgende Unterlage berücksichtigt (aufgrund der vereinbarten Anonymität der Ergebnisse werden keine Namen genannt und Titel z.T. verkürzt wiedergegeben):

1. Gutachten zur Untersuchung des Behälterzerknalls vom 29.02.2016

3.11.2.2 Ereignisablauf

Im Verfahren SOL 3.0 wird der Ereignisablauf durch Ereignisbausteine beschrieben. Ereignisbausteine bilden Handlungen von Personen oder Aktionen von technischen Komponenten oder Stoffen ab. Jeder Ereignisbaustein hat einen Akteur (Person, technische Komponente, Stoff) und eine Aktion (Handlung, Aktion, Reaktion). Ferner werden die Zeit und weitere Informationen im Feld Bemerkungen in ihm dokumentiert. Alle Ereignisbausteine werden in einem Zeit-Akteur-Diagramm nach Akteuren und Zeitpunkten dargestellt und bilden somit den Ereignisablauf. In einem späteren Schritt werden für die einzelnen Ereignisbausteine beitragende Faktoren bzw. Ursachen identifiziert. Diese werden im Zeit-Akteur-Diagramm den Bausteinen zugeordnet. Insgesamt wurden 27 Ereignisbausteine erstellt, mit denen der Ablauf des Ereignisses dargestellt wird.

Außer mit dem Zeit-Akteur-Diagramm kann das Ereignis auch in Tabellenform dargestellt werden. Jede Zeile repräsentiert dann einen Ereignisbaustein mit den beitragenden Faktoren/Ursachen.

In Tabelle 11 ist der Ablauf mit den beitragenden Faktoren/Ursachen für den Behälterzerknall dargestellt.

Tabelle 11: Ereignisablauf mit beitragenden Faktoren/Ursachen - Zerknall eines Stickstoffbehälters

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
1	2007	Fa. H least Stickstoffbehälter bei Fa. P.	Baujahr 1988, unvollständige Dokumente, gute Aufzeichnungen zur Wartung und Instandhaltung. Für Versorgung mit flüssigem Stickstoff, Betriebsdruck von 5 bar. Neu-/Einzelanfertigung, da Druckregulierung bei geringen Verbrauchsmengen geändert werden musste, kein Original P&ID für diese Betriebsart. Vier Entlastungsventile statt der zwei üblichen, zwei Hochdruck- und zwei Niederdruckventile, da entgegen der Betriebsanweisung der Druckentlastungsregler bei Überdruck nicht öffnen konnte, um Gas zu den Verbrauchern abführen zu lassen, weil kein Gasverbraucher angeschlossen war. Niederdruckentlastungsventilsatz: Herose-Ventil auf 6,0 bar und ein MG 84-Ventil auf 7,5 bar eingestellt. Hochdruckventilsatz: MG-84S 17 bar und MG-95 8,9 bar. Fa. P wartet, prüft und befüllt Behälter. Füllstand wird mit Hilfe Fernüberwachungssystem überwacht (Aufzeichnung alle 6 Std.), am Behälter Manometer, auch im Leitsystem per Differenzdruck. Behälter wird nur noch vom Labor genutzt. Behälter war nicht mit dem restlichen System verbunden und damit vom Werk isoliert. Behälter war doppelwandig, Zwischenraum war mit Perlit gefüllt und es lag ein Vakuum vor. Das Vakuum wurde nicht geprüft	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Behälterunterlagen fehlen, kein aktuelles P&ID.
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Abweichung von ursprünglicher Auslegung: Keine Verbindungsleitung zur Produktion, entgegen der Betriebsanweisung konnte der Druckentlastungsregler bei Überdruck nicht öffnen, um Gas zu den Verbrauchern abführen zu lassen, weil kein Gasverbraucher angeschlossen war.
				15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit: komplette Verantwortung für Behälter wurde auf Fa. P übertragen.
				16: Organisation und Management Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Vakuum und Druck wurden nicht geprüft.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
				14: Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement Fehlende Verantwortung für die Kontrolle der Arbeiten von Fremdfirmen/Herstellern/Unterauftragnehmern: Arbeiten der Fa. P. wurden nicht geprüft/kontrolliert.
2	2010	Fa. H nutzt Behälter nicht mehr zur Prozesskühlung.	Entnahme von ca. 50 l flüssigem Stickstoff alle 1-2 Wochen durch das Labor.	16: Organisation und Management Zu langsame Umsetzung von Veränderungen/Verbesserungen (Bürokratisierung): Erst 2015 soll Behälter abgeschafft werden.
3	2014-12-22	Fa. P befüllt Behälter.		
4	2014-12-22 +	Schichtmeister 3 Fa. H nahm gegen 5 h morgens Geräusch wie Membranpumpe wahr.	Nach Schichtende suchte er Geräuschquelle, hörte 30-40 Minuten das Geräusch ständig, stellte fest, dass das Geräusch vom Ventilbereich unter dem Tank kam. Informierte mündlich den Tagesschichtmeister und den Schichtmeister. Machte später die gleichen Beobachtungen, informierte erneut die nächste Schicht mündlich. Produktion fühlte sich nicht mehr für Behälter verantwortlich, da dieser nur noch vom Labor genutzt wurde.	8: Kommunikation Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Nur mündliche Information, keine Störmeldung oder MAXIMO (Programm zur Instandhaltung). 15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit Verantwortungsdiffusion (eine Aufgabe wird trotz ausreichender Zahl und Aufmerksamkeit dafür geeigneter Personen/Stellen nicht angenommen resp. ausgeführt): Produktion fühlt sich nicht mehr für Behälter zuständig, da der nur vom Labor genutzt wird.
5	2014-12-22 +	Schichtmeister 4 Fa. H hörte während Nachtschicht das Abblasen.	Ging mit Kollegen zu Tank und sah, dass das rechte Ventil abblies, nach 15-30 Minuten stoppte das Abblasen, an Ventil war Eis. Nadel der Druckanzeige stand etwa auf 13:00 Uhr des Zifferblatts, er wunderte sich, warum das Ventil abblies, wenn der Druck nicht hoch und keinesfalls in der Nähe des roten Bereichs war	8: Kommunikation Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Schichtmeister wunderte sich, nahm das aber nicht zum Anlass, ein MAXIMO zu erstellen o.ä.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
				5: Entscheidungsfindung Unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen/Anlagen-/Systemzustände: Suchte weder nach Ursachen noch informierte er über seine Verwunderung (Abblasen trotz geringem Druck)
6	2015-04-15	Fa. P prüft Behälter.		
7	2015-04-19	Fa. H teilt Fa. P telefonisch mit, dass Sicherheitsventil abblies		
8	2015-04-19 +	Schichtmeister 4 Fa. H hört erneut das Ventil.	Langanhaltendes stetiges und kontinuierliches Abblasen.	8: Kommunikation Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Schichtmeister wunderte sich, nahm das aber nicht zum Anlass, ein MAXIMO zu erstellen o.ä.
				5: Entscheidungsfindung Unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen/Anlagen-/Systemzustände: Suchte weder nach Ursachen noch informierte er über seine Verwunderung (Abblasen trotz geringem Druck).
9	2015-04-19 +	Betriebsingenieurin erfährt, dass es ein Problem mit dem Abblasen des Ventils gibt.	Sie sah und hörte, dass eines der Ventile am Behälter stetig drei bis fünf Minuten abblies, hielt das Abblasen für normal, da sich dadurch kein Druck im Behälter aufbauen kann. (MAXIMO erstmals im April) Mitarbeiter beschwerten sich über Lärm. Eine Woche später sah sie Mitarbeiter der Fa. P zwecks Inspektion vor Ort, sie ging davon aus, dass es sich um die jährlich im Mai stattfindenden	11: Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur Unangemessenes Vertrauen (zu viel oder zu wenig Vertrauen in Fähigkeiten, Arbeitsverhalten von Kollegen): Betriebsingenieurin glaubt, dass Fa. P etwas tut, ohne MAXIMO und ohne sich zu überzeugen und

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
			Prüfungen des Tanks handelte. War verärgert, weil die Arbeiten nicht angekündigt waren und sie zuerst eine MAXIMO-Eintragung vornehmen musste. Fa. P vermerkte keine Auffälligkeit, Fa. P sagte im Gespräch, dass das Abblasen in Ordnung ist, da es den Druck im Tank steuere.	verweist auch nicht auf Probleme mit Sicherheitsventil.
10	2015-04-19 + +	Schichtmeister 4 Fa. H rief bei Fa. P an.	Laut Mitarbeiter Fa. P sollte er sich keine Sorgen machen, da aus diesem Grund zwei Sicherheitsventile vorhanden sind. Mitarbeiter Fa. P sagte ihm, dass das Schließen des Ventils okay ist, weil es genau für diesen Fall ein zweites gibt.	5: Entscheidungsfindung Fehlende hinterfragende Grundhaltung: Aussage von Fa. P wird ungeprüft geglaubt.
11	2015-05-29 - -	Schichtmeister 2 Fa. H hört erstmals von den anderen vom Abblasen des Tanks.		
12	2015-05-29 -	Schichtmeister 2 Fa. H sieht 3-4 Mal, dass das Ventil abbläst.	Ventil blies etwa 30 Sekunden ab, hörte 30 Sekunden auf und blies wieder ab. Sehr lautes Geräusch, Eis auf Ventil, unklar auf welchem.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Abblasen von Sicherheitsventilen mit Vereisungen sollten hinterfragt werden.
13	2015-05-29 -	Schichtmeister 2 Fa. H macht Eintrag im MAXIMO.	Beschreibt Ventil als undicht, dass der Gasstrom beinahe flüssig war. Kein Eintrag vorhanden im Mai.	
14	2015-05-29	Schichtmeister 4 Fa. H schließt das Ventil.	Zögert kurz vor dem Schließen und bricht das Bleisiegel, kann sich später nicht an das Metallband erinnern, welches die Griffe miteinander verband. Abblasen stoppt, am zweiten Ventil kein Abblasen. Informierte Tagesschichtmeister und Schichtmeister über Telefonat mit Fa. P und Schließen des Ventils. Veranlasste Ventil mit rot-weißem Plastikband zu markieren, Band war Woche darauf noch am Ventil.	8: Kommunikation Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Schließen des Ventils wurde nicht an Fa. H kommuniziert.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
			Informierte Fa. P, dass er das Ventil geschlossen hatte, Antwort: nicht schlimm, es gibt zweites, nächste Woche kommt F. P ins Werk. (Fa. P bestätigt dies nicht). Verfolgte das Thema nicht weiter, weil er hörte, dass der Behälter entfernt werden sollte.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Schließen von Sicherheitsventilen ist nicht okay, Barriere wurde ausgehebelt.
15	2015-06-17	Fa. P befüllt Behälter.	Anfangsdruck 18 bar Überdruck, Enddruck 7 bar Überdruck, angezeigter Füllstand 84,52 %.	5: Entscheidungsfindung Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Beide Drücke liegen oberhalb der Sicherheitsventile (Niedrigdruck) und 18 bar über Hochdrucksicherheitsventil. 7: Abweichung von Vorgaben: Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung
16	2015-07-23	Fa. H. entnimmt ca. 50 l für/durch Labor.	Angezeigter Füllstand ca. 80 %.	
17	2015	Tagesschichtmeister 1 Fa. H hört Abblasen des Sicherheitsventils.	Kann sich nicht erinnern, wann. Abblasen dauerte mindestens 15 Minuten, sah Eis an dem Ventil und den Rohrleitungen. Er weiß, dass es mind. zweimal zum Abblasen gekommen sein muss, da es zwei MAXIMO-Einträge gibt. Diese werden ihm angezeigt, da er sich um die Organisation von Reparaturen am Behälter kümmern muss. Die Meldungen zum Abblasen gab er an eine Betriebsingenieurin weiter, die mit Fa. P Kontakt aufnehmen sollte.	7: Abweichung von Vorgaben Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufe, mündliche Vorgaben) abweicht: Hätte erneuten MAXIMO-Eintrag erstellen müssen.

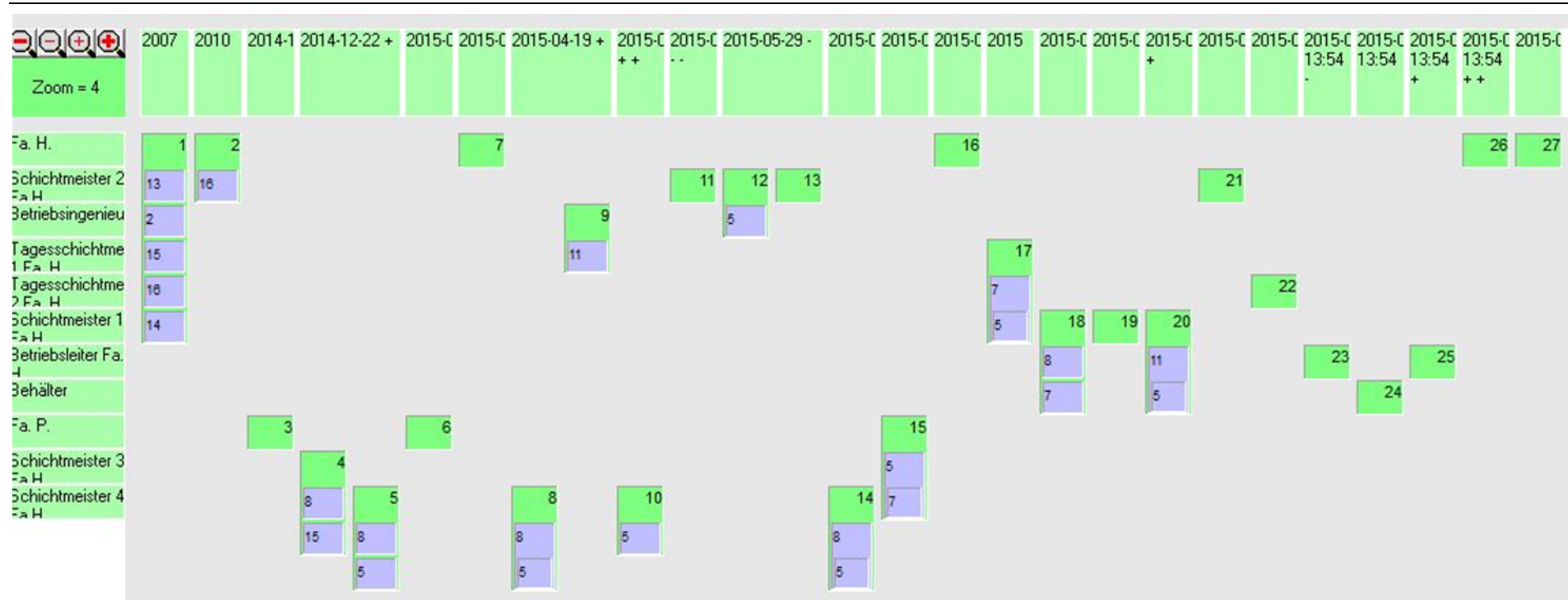
Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
			Glaubt, dass die Fa. P nach dem zweiten Abblasen vor Ort war.	5: Entscheidungsfindung Fehlende hinterfragende Grundhaltung: Überzeugt sich nicht von seinen Annahmen, war MAXIMO abgearbeitet, war Fa. P vor Ort.
18	2015-05/06	Schichtmeister 1 Fa. H beobachtet in der Nachtschicht, das Abblasen des Ventils.	Wurde von einem Staplerfahrer geholt, traf am Tank ein und konnte kontinuierliches Abblasen für 5 Minuten beobachten, Füllstandanzeige 13.000l von 20.000l. Tank war regelmäßig vereist, als er noch für Produktion genutzt wurde.	8: Kommunikation Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Kommuniziert dies nicht in Fa. H.
				7: Abweichung von Vorgaben Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufe, mündliche Vorgaben) abweicht: Erstellt keinen MAXIMO-Eintrag.
19	2015-06	Schichtmeister 1 Fa. H beobachtet Abblasen des Ventils.	Ventil bläst 5 Minuten kontinuierlich ab, auf dem Ventil war Eis.	
20	2015-06 +	Schichtmeister 1 Fa. H informiert Fa. P telefonisch über Abblasen.	Sagt, dass es zum kontinuierlichen Abblasen kommt, dass es nicht normal ist, da es vorher nicht geschehen sei. Mitarbeiter Fa. P erklärt ihm, dass die jetzt verwendete Menge an Gas viel geringer als in der Vergangenheit sei. Daher baut sich Druck auf und das Abblasen sei Teil des normalen Betriebs des Tanks, also Folge der gesunkenen Mengen an Stickstoff, die im Betrieb ursprünglich entnommen wurden.	11: Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur Falsche oder unzureichende gemeinsame mentale Modelle (Tendenz zu vereinfachenden Erklärungen): Telefonische Kommunikation mit Fa. P ist unzureichend.

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
			Schichtmeister verfasst handschriftlichen Vermerk, aber keine Eintragung in MAXIMO.	5: Entscheidungsfindung Fehlende hinterfragende Grundhaltung: Überzeugt sich nicht von seinen Annahmen, waren alle Punkte aus MAXIMO abgearbeitet? War Fa. P vor Ort?
21	2015-07	Schichtmeister 2 Fa. H wird durch Gabelstaplerfahrer auf Abblasegeräusch aufmerksam gemacht.	Erklärt, dass dies ein bekanntes Problem ist und von Fa. H nichts dagegen gemacht werden kann.	
22	2015-07-29	Tagesschichtmeister 2 Fa. H kam am Behälter vorbei.	Konnte nichts Ungewöhnliches feststellen. Hörte von Zeit zu Zeit ein Geräusch wie eine laufende Hydraulikpumpe, er sprach mit den anderen und schaute im Bereich des Behälters nach, um Geräuschquelle herauszufinden. Seit letztem Sommer hat er das Geräusch alle paar Tage (1-2 Mal die Woche) gehört.	
23	2015-08-05, 13:54 -	Betriebsleiter Fa. H Teammeeting für Spätschicht.	Vorbereitung für nächsten Arbeitstag.	
24	2015-08-05, 13:54	Behälter Zerknallt.	Letzte 13:53:58, Füllstand ca. 70 % Füllstand hat sich um ca. 2000 l-3000 l (10 %) verringert in 13 Tagen. Beide Niederdruckventile und ein Hochdruckventil (17.0) bar waren geschlossen, Explosion aufgrund des Überdrucks im Behälter. Vollständig mit flüssigem Stickstoff gefüllter Tank, der infolge des Wärmeintrags und der damit verbundenen Ausdehnung des Stickstoffs führte nach dem Verschluss des Systems zum Druckanstieg über Berstdruck des Innenbehälters führte.	

Nr.	Zeit	Aktion	Bemerkung	Beitragende Faktoren/Ursachen
25	2015-08-05, 13:54 +	Betriebsleiter Fa. H verließ Gebäude über Fenster.	Notausgänge waren mit Steinen versperrt.	
26	2015-08-05, 13:54 +	Fa. H fährt Produktionsanlage kontrolliert herunter.	In der Nähe des Ereignisortes waren beschädigte Rohrleitungen (Druckluft, Trinkwasser, Dampf, Schwefelsäure). Der gesamte Gefahrenbereich wurde evakuiert.	
27	2015-09	Fa. H will Behälter außer Betrieb nehmen.		

Im Zeitakteur-Diagramm (Abbildung 26) sieht das Bild (Überblick) folgendermaßen aus

Abbildung 26: Zeit-Akteur Diagramm – Zerknall eines Stickstoffbehälters



Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind im Folgenden die ersten beiden Seiten vergrößert dargestellt. Die Informationen entsprechen denen in der Tabelle 11 und Abbildung 26.

	2007	2010
	1	2
Fa. H.	Zeit: 2007 Ort: Akteur: Fa. H Handl.: least Stickstoffbehälter bei Fa. P Bem.: Baujahr 1988, unvollständige Dokumente gute Aufzeichnungen zur Wartung und Instandhaltung für Versorgung mit flüssigem Stickstoff, Betriebsdruck von 5 bar Neu-/Einzelanfertigung, da Druckregulierung bei geringen Verbrauchsmengen geändert werden musste, kein Original P&ID für diese Betriebsart Vier Entlastungsventile statt der zwei üblichen, zwei Hochdruck- und zwei Niederdruckventilen, da entgegen der Betriebsanweisung der Druckentlastungsregler bei Überdruck nicht öffnen konnte, um Gas zu den Verbrauchern abführen zu lassen, weil kein Gasverbraucher angeschlossen war. Niederdruckentlastungsventilsatz: Herose-Ventil auf 6,0 bar und ein MG 84-Ventil auf 7,5 bar eingestellt. Hochdruckventilsatz: MG-84S 17 bar und MG-95 8,9 bar Fa. P wartet, prüft und befüllt Behälter, Füllstand mit Hilfe Fernüberwachungssystem überwacht (Aufzeichnung alle 6 Std.), am Behälter Manometer, auch im Leitsystem per Differenzdruck. Behälter wird nur noch vom Labor genutzt. Behälter war nicht mit dem restlichen System verbunden und damit vom Werk isoliert. Behälter war doppelwandig, Zwischenraum war mit Perlit gefüllt und es lag ein Vakuum vor. Das Vakuum wurde nicht geprüft Ref.:	Zeit: 2010 Ort: Akteur: Fa. H Handl.: nutzt Behälter nicht mehr zur Prozesskühlung Bem.: Entnahme von ca. 50 l flüssigem Stickstoff alle 1-2 Wochen durch das Labor Ref.:
Schichtmeister 2 Fa. H.		
Betriebsingenieurin		16: Organisation und Management Titel: Zu langsame Umsetzung von Veränderungen/Verbesserungen (Bürokratisierung) Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: erst 2015 soll Behälter abgeschafft werden
Tagesschichtmeister 1 Fa. H.		
Tagesschichtmeister 2 Fa. H.		

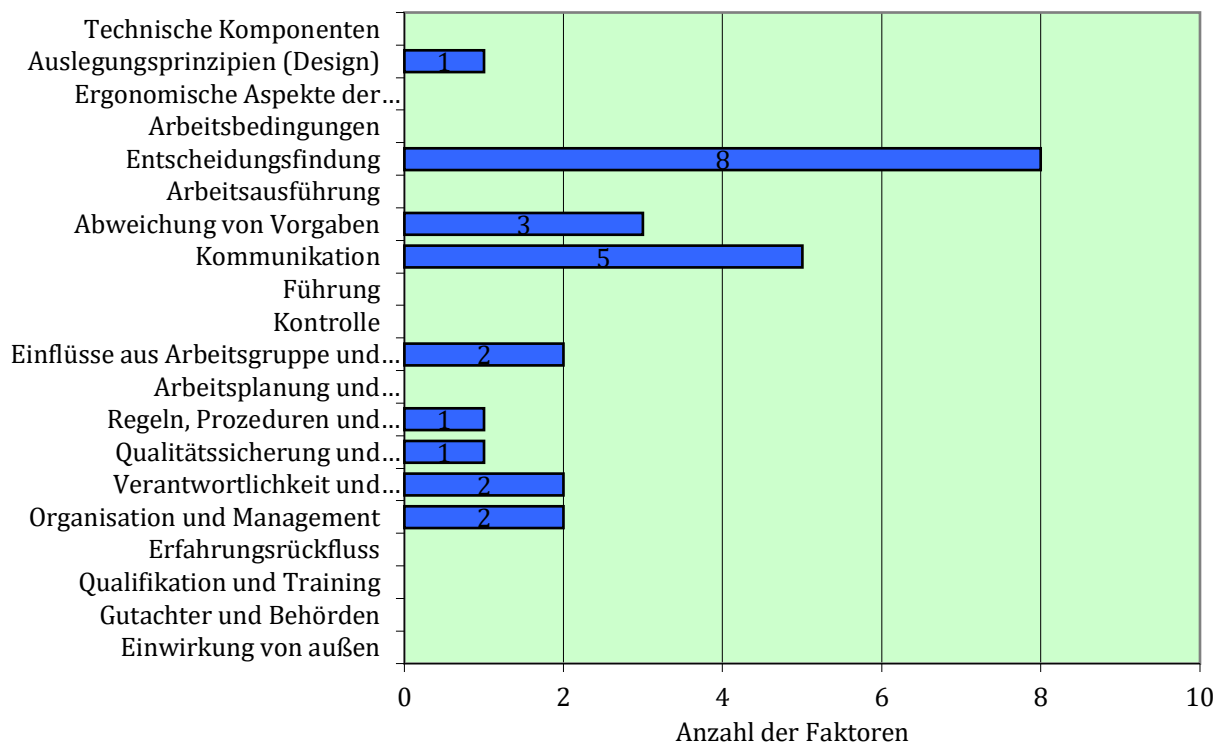
Schichtmeister 1 Fa. H.	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Titel: Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet) Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Behälterunterlagen fehlen, kein aktuelles P&ID
Betriebsleiter Fa. H.	
Behälter	2: Auslegungsprinzipien (Design) Titel: Abweichung von ursprünglicher Auslegung Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Keine Verbindungsleitung zur Produktion, entgegen der Betriebsanweisung konnte der Druckentlastungsregler bei Überdruck nicht öffnen, um Gas zu den Verbrauchern abführen zu lassen, weil kein Gasverbraucher angeschlossen war.
Fa. P.	15: Verantwortlichkeit und Zuständigkeit Titel: komplette Verantwortung für Behälter wurde auf Fa. P. übertragen Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.:
Schichtmeister 3 Fa. H.	
Schichtmeister 4 Fa. H.	16: Organisation und Management Titel: Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Vakuum und Druck wurden nicht geprüft
	14: Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement Titel: Fehlende Verantwortung für die Kontrolle der Arbeiten von Fremdfirmen/Herstellern/Unterauftragnehmer Gew. Ereig./Org.: 0/0 Beschr.: Arbeiten der Fa. P. wurden nicht geprüft/kontrolliert

3.11.2.3 Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen

Bei der Identifikation von beitragenden Faktoren/Ursachen wird im Verfahren SOL 3.0 für jeden Ereignisbaustein getrennt gesucht, indem entweder „Warum-Fragen“ gestellt werden oder die Fragen aus der Identifikationshilfe beantwortet werden. Dargestellt werden die beitragenden Faktoren/Ursachen mit einer Nummer (aus der Identifikationshilfe) einem generellen Titel wie beispielsweise „Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur“ und einem konkreten Titel wie „Falsche oder unzureichende gemeinsame mentale Modelle (Tendenz zu vereinfachenden Erklärungen)“ und der spezifischen Beurteilung wie „Telefonische Kommunikation mit Fa. P. ist unzureichend“.

Für das Ereignis konnten insgesamt 25 beitragende Faktoren/Ursachen identifiziert werden, die in Abbildung 27 dargestellt sind.

Abbildung 27: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen – Zerknall eines Stickstoffbehälters



Am häufigsten wird hier der Faktor Entscheidungsfindung (achtmal) identifiziert:

- Zweimal unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen/Anlagen-/Systemzustände: suchte weder nach Ursachen noch informierte er über seine Verwunderung (Abblasen trotz geringem Druck).
- Fehlende hinterfragende Grundhaltung: Aussage von Fa. P. wird ungeprüft geglaubt.
- Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Abblasen von Sicherheitsventilen mit Vereisungen sollten hinterfragt werden.
- Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Schließen von Sicherheitsventilen ist nicht okay, Barriere wurde ausgehebelt.

- ▶ Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Beide Drücke liegen oberhalb der Sicherheitsventile (Niedrigdruck) und 18 bar über Hochdrucksicherheitsventil.
- ▶ Zweimal fehlende hinterfragende Grundhaltung: Überzeugt sich nicht von seinen Annahmen, war MAXIMO abgearbeitet, war Fa. P vor Ort.

Kommunikation wurde fünfmal identifiziert:

- ▶ Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Nur mündliche Information, keine Störmeldung oder MAXIMO.
- ▶ Zweimal wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Schichtmeister wunderte sich, nahm das aber nicht zum Anlass, ein MAXIMO zu erstellen o. ä.
- ▶ Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Schließen des Ventils wurde nicht an Fa. H kommuniziert.
- ▶ Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Kommuniziert dies nicht in Fa. H.

Abweichung von Vorgaben wurde dreimal identifiziert:

- ▶ Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung.
- ▶ Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufen, mündliche Vorgaben) abweicht: Hätte erneuten MAXIMO-Eintrag erstellen müssen.
- ▶ Arbeitsausführung, die von Vorgaben (Vorschriften, Arbeitsanweisungen, Prozessabläufe, mündliche Vorgaben) abweicht: Erstellt keinen MAXIMO-Eintrag Unzureichende Eigenkontrolle der Anschlüsse.

In Verbindung mit den Faktoren Verantwortung und Zuständigkeit sowie Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur ergibt dies ein Bild von fehlender hinterfragender Grundhaltung und Verantwortungsdiffusion, die dazu führen, dass der Behälter trotz etlicher Warnsignale nicht im Fokus der Aufmerksamkeit steht.

Aus der vorhandenen Datenbasis sind keine abgeleiteten Maßnahmen bekannt.

3.11.3 Schlussfolgerungen

1. Bei diesem Ereignis zeigen sich deutliche Schwächen in der Sicherheitskultur.
2. Auch wird erkennbar, dass die komplette Übergabe der Verantwortung von Systemen an andere Unternehmen zu einem Sicherheitsrisiko werden kann.
3. Unklar bleibt, wieso Sicherheitsventile geschlossen wurden, fehlte hier die nötige Qualifikation/Kompetenz?

Neben den Ereignissen aus Deutschland wurden vom Unterauftragnehmer INERIS noch drei Ereignisse aus internationalen Datenbanken analysiert.

3.12 Phosgene release in a foam and paint production plant

3.12.1 Event description from Aria database

The plant operator is part of a chemical complex, an industrial park that includes several firms with close ties due to their respective manufacturing activities. The site is in a densely urbanised environment on the outskirts of the Grenoble metropolitan area. Park activities are based on producing chlorine and phosgene for subsequent use in the synthesis of isocyanates (intermediate compounds for polyurethane foams and paints) and several products intended for crop protection.

The event occurred during the night while the isocyanate production unit was in operation.

The process implemented consisted of generating a reaction from a phosgene solution on an amine compound under conditions of high temperature and pressure. The number one hazard during workshop operations is the accidental release of a phosgene cloud. Phosgene gas, which is heavier than air and highly toxic, was notably used as a combat weapon during World War I with a threshold for significant lethal effects after a 30-min exposure = 3 ppm.

Given the hazard potential associated with the substances employed, this reaction was carried out within a confined enclosure held in a low-pressure state and featuring a safety column (for soda absorption), which served to dissipate the phosgene cloud emitted during an accidental situation. This enclosure housed two tubular heat exchangers, one of which became the source of this accident.

To proceed with isocyanate synthesis, the two tubular exchangers warm the phosgene solution prior to its reaction. This solution circulates inside the tubes, with the caloric contribution being generated at the level of the tubular shell by overheated steam. Pressure rising to several tens of bar around the dissolved phosgene by far exceeds the vapour pressure introduced. Drains at the base of exchangers collect the condensates, which are then channelled to a soda tank located outside the enclosure. The gaseous phase is directed to a chimney via the safety column.

During normal operations, phosgene and water are never in contact with one another. However, in the event of an exchanger tube leak, the phosgene solution spills into the steam circuit. Pressure increases in the circuit, and a portion of the phosgene reacts with the water vapour in forming hydrochloric acid. Both the phosgene and hydrochloric acid are then discharged through the condensate circuit to the soda tank on the safety column outside the confinement zone.

The event occurred on May 14, 2012

22:14: On the control room screens, the safety conductivity meter indicates an acid pollution in the condensate circuit.

22:38: The acid concentration exceeds the safety limit. A visual and sound alarm is triggered in the control room. As expected, the programmable safety controller automatically isolates the condensate circuit and shuts down the phosgene solution supply pump.

22:40: The control room operator shuts down the arrival of the raw materials to put the production unit into safety. He observes that the other conductivity meter (which is a process meter) shows normal values. He did not know that the conductivity meter had been taken down for maintenance several weeks prior to the event. He then asks an operator to take a sample on the condensate circuit and send it to the lab for analysis to get a better assessment of the situation. Meanwhile the process operator contacts by phone the manager on call at that time. The results of the lab sample analysis take more time than usual to come back.

23:00: The manager on call enters the control room. He asks questions to the operators to try to establish his own diagnostic. Despite the manual bleeding of the condensate circuit, the safety conductivity meter still shows high values.

23:12: The manager after consultation with the operators decides to restart the production without waiting for the lab's results by bypassing the safety conductivity meter. The phosgene release then continues within the steam circuit. The ensuing hydrochloric acid very quickly corrodes the steel composing the tubes, given the favourable temperature and pressure conditions. The quantity of phosgene is increased in both the condensate circuit and the soda tank outside the enclosure.

Due to this considerable inflow of phosgene, the pressure drop created in the tank becomes inadequate to route all the gas to the safety column.

23:30: Some phosgene escapes into the atmosphere via the poorly sealed tank buffer, thereby causing the external analysers to rise until reaching a state of saturation. Several sensors located outside the enclosure detect phosgene and trigger several alarms inside the control room.

23:52: The corrosion at the level of the tube where the leak was initiated is such that the tube's residual thickness is no longer sufficient to resist the pressure. The tube rips open abruptly, with a large quantity of phosgene instantaneously flowing into the steam circuit, whose pressure then suddenly jumps. The pressure sensors inside the enclosure are triggered and new alarms relayed to the control room. The safety controller isolates the condensate circuit and turns off again the phosgene solution supply pump. The pressure surge coupled to the sudden valve closure generates a water hammer phenomenon, which breaks the bleed valves at the base of the exchanger. The released quantity of phosgene immediately flows into the confinement enclosure, causing a loss of depressurisation in the enclosure and subsequent closure of its check valves.

23:55: operators outside who inhaled phosgene rush to the control room. The control room operator then launches the gas alert.

01:00: The situation is under control.

Causes:

There was residual water in the heat exchanger despite the completion of drying procedure.

The operators did not know one of the conductivity sensors had been taken off and was undergoing maintenance. It also seems they did not know the sensor that was still operational was the safety device.

The manager on call decided to resume production without waiting for the lab results.

Emergency measures

According to the company's procedures, this situation did not require the activation of its contingency plan. However, the company decided to inform the authority about this event. This accident gave rise to a joint inspection by the Classified Facilities inspector and the staff member assigned to monitor the "Pressurised equipment" activity.

Technical measures

- a) evaluation of condensate circuits for those exchangers exhibiting the same problem in the event of perforation (other workshop instruments and other isocyanate workshops);
- b) repositioning of the soda tank buffer into its proper place and verification of its seal;

- c) repair of the defective conductivity meter, increased calibration frequency (quarterly instead of semi-annually);

Organisational measures

- a) modification of the exchanger cleaning procedure and establishment of criteria for evaluating the quality of exchanger drying;
- b) change in the soda tank pumping operations procedure to avoid opening the tank buffer;
- c) availability of basic instruction sheets to formalise appropriate workstation practices and decision-making regarding technical safety barriers, supplemented by detailed information provided by individual teams;
- d) revision of the safety "bypass" procedure: standardisation across workshops, specification of roles, bypass conditions, etc.;
- e) feedback from the incident and enhanced awareness by all production staff of the safety bypass procedure: plant technicians, shift foremen, workshop managers, etc.;
- f) awareness building training dedicated to the bypass procedure also offered to on-call personnel, followed by a formalised commitment by this personnel category to strictly comply with the revised procedure;
- g) modification of the technician certification training programme, with an additional process safety module;
- h) disciplinary actions taken against onsite employees present on the day of the accident.

3.12.2 Results of the analysis

3.12.2.1 Information collection

The following sources were used for the collection of information:

1. Aria's accident report
2. Aria's movie about the accident
3. Barpi's presentation at Impel seminar
4. Ineris' presentation of the accident
5. Industrial operator's accident analysis (root cause analysis) and presentation of the analysis
6. Interviews carried out with the HSE team during the critical review of the operator's events

3.12.2.2 Course of the event

Table 12 displays the course of the event including contributing factors/causes.

Tabelle 12: Event schedule with contributing factor-/causes – phosgene release in a foam and paint production plant

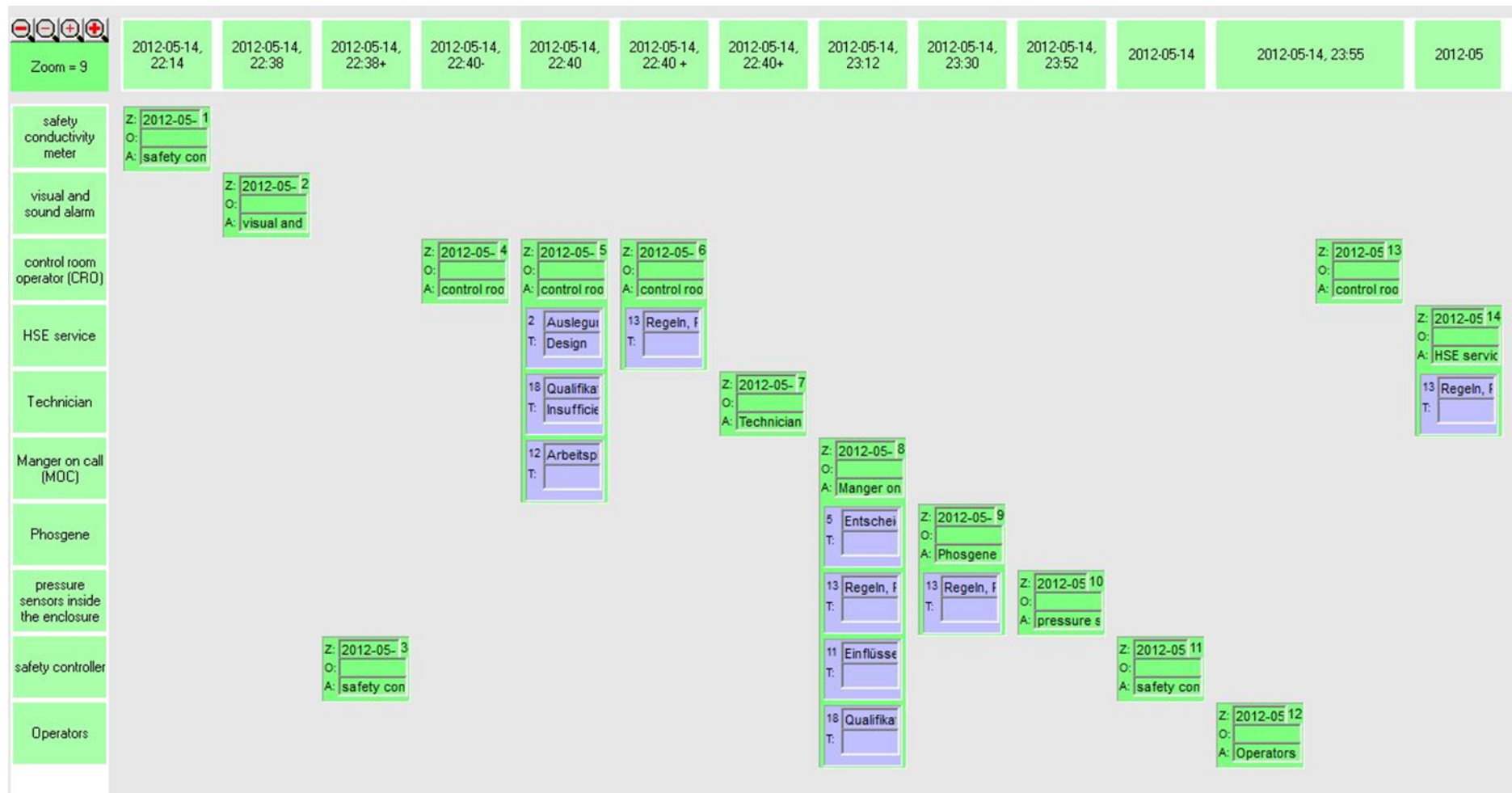
No	Time	Actor and action	Comments	Contributing factors/causes
1	2012-05-14, 22:14	safety conductivity meter indicates an acid pollution in the condensate circuit	on the control room screens	
2	2012-05-14, 22:38	visual and sound alarm is triggered in the control room	Acid concentration exceeds the safety limit	
3	2012-05-14, 22:38+	safety controller isolates the condensate circuit and shuts down the phosgene solution supply pump		
4	2012-05-14, 22:40-	control room operator (CRO) shuts down the arrival of the raw material to put the production unit into safety		
5	2012-05-14, 22:40	control room operator (CRO) observes that the process conductivity meter shows normal values	He does not know that the sampling device of the conductivity meter had been taken down for maintenance and that the one displaying the correct value is the safety meter.	2: Auslegungsprinzipien (Design) MMI does not differentiate the meter used for process and the one used for safety. MMI doesn't show the process meter is under maintenance
				18: Qualifikation und Training Insufficient training The operators are not sufficiently trained regarding process safety
				12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung The maintenance service in charge of the sensors didn't know the device had been taken down 8 weeks prior to the event and had scheduled maintenance later in the month

No	Time	Actor and action	Comments	Contributing factors/causes
6	2012-05-14, 22:40 +	control room operator (CRO) ask an operator to take a sample for lab analysis	The sample is not processed as quickly as usual	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen A validation was lacking for the analysis to be performed.
7	2012-05-14, 22:40+	Technician calls manager on call		
8	2012-05-14, 23:12	Manger on call (MOC) after consultation with the operators decides to restart the production	without waiting for the lab's results by bypassing the safety conductivity meter. The ensuing hydrochloric acid very quickly corrodes the steel composing the tubes, given the favourable temperature and pressure conditions. The quantity of phosgene is increased in both the condensate circuit and the soda tank outside the enclosure. Due to this considerable inflow of phosgene, the pressure drop created in the tank becomes inadequate to route all the gas to the safety column.	5: Entscheidungsfindung According to the rules, the unit shouldn't have been restarted. The decision is taken without waiting for the lab results
				13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen The bypassing procedure wasn't clearly detailed regarding the role and responsibility of each actor.
				11: Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur No one puts into question the decision taken by the MOC
				18: Qualifikation und Training The MOC doesn't know which meter is used for process and safety
9	2012-05-14, 23:30	Phosgene escapes into the atmosphere via the poorly sealed tank buffer	thereby causing the external analysers to rise until reaching a state of saturation. Several sensors located outside the enclosure detect phosgene and trigger several alarms inside the control room. This was caused by a maintenance operation prior to the event	13: Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen Buffer was not sealed after a pumping intervention (performed 6 times per year)

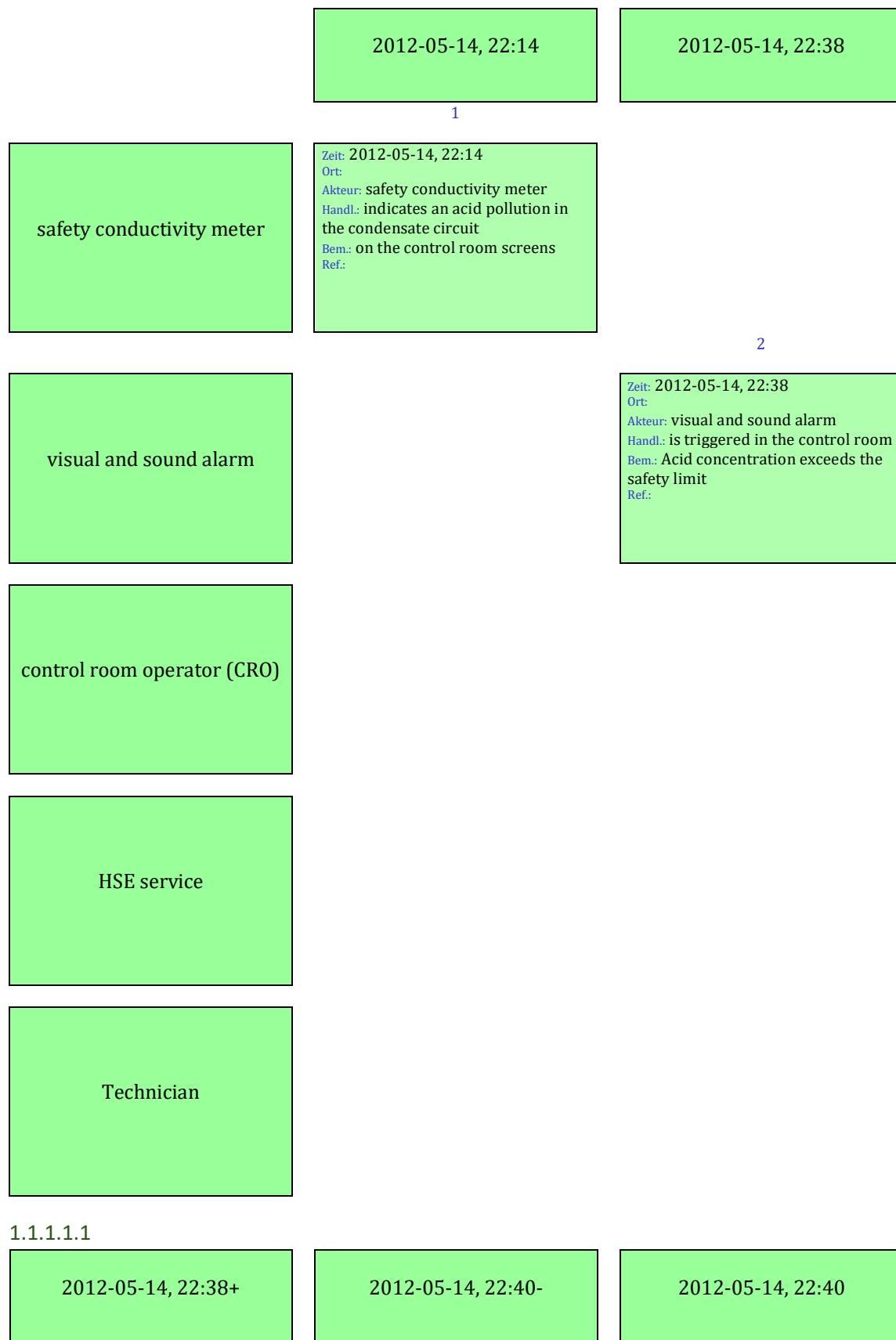
No	Time	Actor and action	Comments	Contributing factors/causes
10	2012-05-14, 23:52	pressure sensors inside the enclosure are triggered and new alarms relayed to the control room		
11	2012-05-14	safety controller isolates the condensate circuit and turns off again	The pressure surge coupled to the sudden valve closure generates a water hammer phenomenon, which breaks the bleed valves at the base of the exchanger. The released quantity of phosgene immediately flows into the confinement enclosure, causing a loss of depressurisation in the enclosure and subsequent closure of its check valves. The corrosion at the level of the tube where the leak was initiated is such that the tube's residual thickness is no longer sufficient to resist the pressure. The tube rips open abruptly, with a large quantity of phosgene instantaneously flowing into the steam circuit, whose pressure then suddenly jumps.	
12	2012-05-14, 23:55	Operators rush into the control room	inhaled phosgene outside	
13	2012-05-14, 23:55	control room operator (CRO) launches the gas alert		
14	2012-05	HSE service identified, that residual water remained in the heat exchanger	despite the completion of drying procedure	

The time-actor-diagram (overview) is shown in figure 28.

Abbildung 28: Time-actor-diagram - phosgene release in a foam and paint production plant



For better understanding, the first two pages are displayed in the following. The information is the same as in table 12 and figure 28.



4

5

Zeit: 2012-05-14, 22:40-
 Ort:
 Akteur: control room operator (CRO)
 Handl.: shuts down the arrival of the raw material to put the production unit into safety
 Bem.:
 Ref.:

Zeit: 2012-05-14, 22:40
 Ort:
 Akteur: control room operator (CRO)
 Handl.: observes that the process conductivity meter shows normal values
 Bem.: He doesn't know that the sampling device of the conductivity meter had been taken down for maintenance and that the one displaying the correct value is the safety meter.
 Ref.:

2: Auslegungsprinzipien (Design)
 Titel: Design
 Gew. Ereig./Org.: 0/0
 Beschr.: MMI doesn't differentiates the meter used for process and the one used for safety.
 MMI doesn't show the process meter is under maintenance

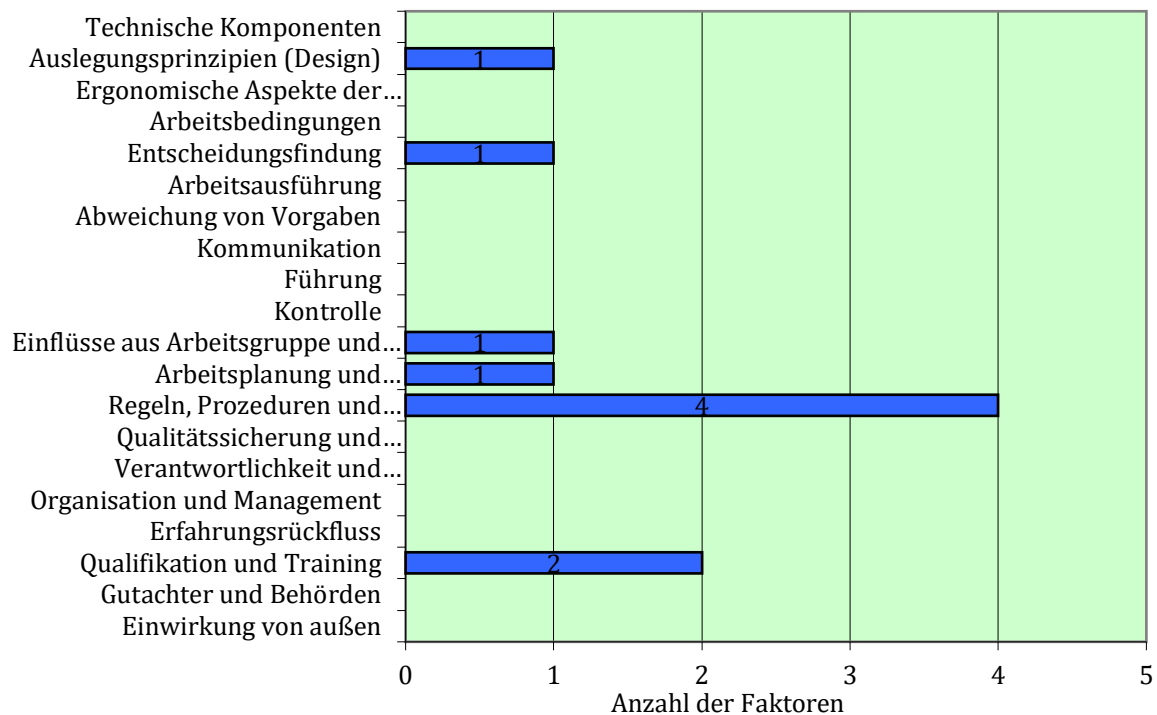
18: Qualifikation und Training
 Titel: Insufficient training
 Gew. Ereig./Org.: 0/0
 Beschr.: The operators are not sufficiently trained regarding process safety

12: Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung
 Titel:
 Gew. Ereig./Org.: 0/0
 Beschr.: The maintenance service in charge of the sensors didn't know the device had been taken down 8 weeks prior to the event and had scheduled maintenance later in the month

3.12.2.3 Identification of contributing factors/causes

Altogether ten contributing factors/causes were identified as shown in figure 29.

Abbildung 29: Identified contributing factors/causes - phosgene release in a foam and paint production plant



Only one factor was four times identified “rules, procedures and working documents”:

- A validation was lacking for the analysis to be performed.
- The bypassing procedure wasn’t clearly detailed regarding the role and responsibility of each actor.
- Buffer was not sealed after a pumping intervention (performed 6 times per year).
- The procedure was insufficient to ensure a complete drying of the heat exchanger.

Follow up measures

The French administration had the operator to revise the triggering conditions of its contingency plan to add this type of event to these conditions.

3.12.3 Conclusions

1. Insufficient Safety Culture: Obligation to evaluate regularly the development of the safety climate of enterprises and their parts?

3.13 Series of events regarding a hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant

3.13.1 Event description from Aria database

Conditions:

The plant operator is part of a chemical complex, an industrial park that includes several firms with close ties due to their respective manufacturing activities. The site is in a densely urbanised

environment on the outskirts of the Grenoble metropolitan area. Park activities are based on producing chlorine and phosgene for subsequent use in the synthesis of isocyanates (intermediate compounds for polyurethane foams and paints) and several products intended for crop protection.

This series of events concerns a HCl distillation column that was built to be used 3 to 4 times a year when other units were stopped for maintenance to provide a continuous supply of HCl for the operator (Company A).

This distillation unit was the result of a partnership and was funded by another company (Company B) operating on the same premises. The industrial operator was then supposed to operate the column to fit its needs of HCl. Both industrial operators chose together the company, which would build this installation. The special feature of this column was that it was meant to be operated at a high pressure (6,5 bars). This is quite unusual since other installations are more commonly operated at atmospheric pressure. This also meant higher process temperatures. Only one of the tenders from companies who responded met the technical specifications. The construction materials were then chosen by the contractor who was a specialist in this domain. A HAZOP study was led by a consultant with each of the above-mentioned actors plus another consultant in charge of handling the interface between the skid and the rest of the process. All propositions for modification or addition were accepted collectively. Finally, all equipment under pressure was checked in accordance with regulation.

Trigger:

The first event of this series occurred on July 29, 2016.

During the first start-up with product, the installation triggers an automatic stop because of a safety poorly set (pressure rise at 5 bars). The product is then drained along the path planned in this case but a check valve on the circuit imprisons product running in an exchanger. This imprisonment generates a thermal expansion of acid, leading to an overpressure and in turn to the rupture and leakage of a bellow.

Causes

The conditions of choice and validation of the check valve are unknown since they were not written down and the persons involved in the project at the time of its design were no longer part of the company. It may be the case that the issue with the check valve has not been detected since it was at the interface between the skid and the rest of the installation.

Measures

After a thorough check of the installation, the check valve was removed. Company A then realised there were several inconsistencies in the choice of some equipment. Indeed, the bellows were supporting a pressure inferior to the maximum service pressure allowed for the piping. After contacting the contractor, it was decided to remove as much bellows as possible on the installation. Feedback from operators also raised issues of accessibility and circulation within the skid. Finally, another action taken was to install protections against possible acid sprays at central points of the skid.

Trigger

The second event occurred on September 3. It happened on the first start-up since the previous event, after 2 days of operation.

This event was an acid-fed leak at the level of an instrumentation quilting; leak at a membrane pressure sensor with a solid buffer (hole 1 cm in diameter, 11 kg of gas measured, 45 min leakage).

After dismantling the pressure sensor (at the bottom of the column, at the interface between gas and liquid), Company A inspection department observed that the tantalum membrane had almost disappeared and that the stainless steel had been attacked. Tantalum is very resistant to hydrochloric acid. The operator also noted after removal of the sensor that the valve just upstream of the sensor had a crack of its PFA coating thus allowing acid attack of the constituent metal elements of the valve.

Causes

The investigation showed that the tantalum membrane had been poorly mounted by the contractor on its premises. No such defects had been previously mentioned by the contractor.

Measures

Following this incident, it was decided to strengthen the treatment of leaks by installing a water curtain for the dynamic containment of HCl vapours.

These incidents showed that on an acid-fed leakage, there was no other possibility of action than to wait for the column to empty or depressurise. Thus, an emergency decompression procedure was developed.

A cracking of the PFA coating of the sensor upstream valve was highlighted. The valve supplier realized that a parameter had deviated during the manufacture of the coating causing its weakening (the contractor did not seem to be aware of this value that was out of tolerance or didn't report it). The other valves having followed the same manufacturing method (DN less than or equal to 50 mm) were also changed.

Trigger

The installation is restarted on Friday 9 and a new incident occurs on Sunday 11. A leak appears on a level detector with vibrating blades (in the liquid phase): the volume of the leak is evaluated at 323 kg of HCl at 100 %. The low-level detector is a pump safety equipment.

Causes

Corrosion of the detector: this equipment immersed in liquid HCl is coated with enamel. The enamel does not hold with HCl under the conditions of temperature and pressure of the process: 0.8 to 1mm loss of thickness by corrosion of the enamel was measured. Under the enamel is Alloy C4 with a corrosion rate of 512 mm per year. In all cases, the enamel would not have held more than 2 years.

A material/process compatibility review had been performed, but it was incomplete and had not been formalized.

All the equivalent connections were checked. Company A disassembled the temperature sensor underneath which was in tantalum and had not moved. The level sensor was replaced by a PTFE coated buffer; after investigation, it appeared this level sensor was not necessary. Company A believes that there was probably poor communication of requirements between the contractor and its sensor supplier.

Measures:

Company B commissioned an external expert to review all the materials used on the installation and check the corrosion resistance in partnership with Company A and no other concerns were

identified. Sensors have been incorporated into the facility's inspection program, going beyond regulatory requirements.

3.13.2 Results of the analysis

3.13.2.1 Information collection

The following sources were used for the collection of information:

1. Aria's accident reports
2. Industrial operator's accident analysis (root cause analysis) and presentation of the analysis
3. Interviews carried out with the HSE team and the team from the unit concerned by the events during the critical review of the operator's events

3.13.3 Course of the event

Table 13 shows the course of the event and the contributing factors/causes.

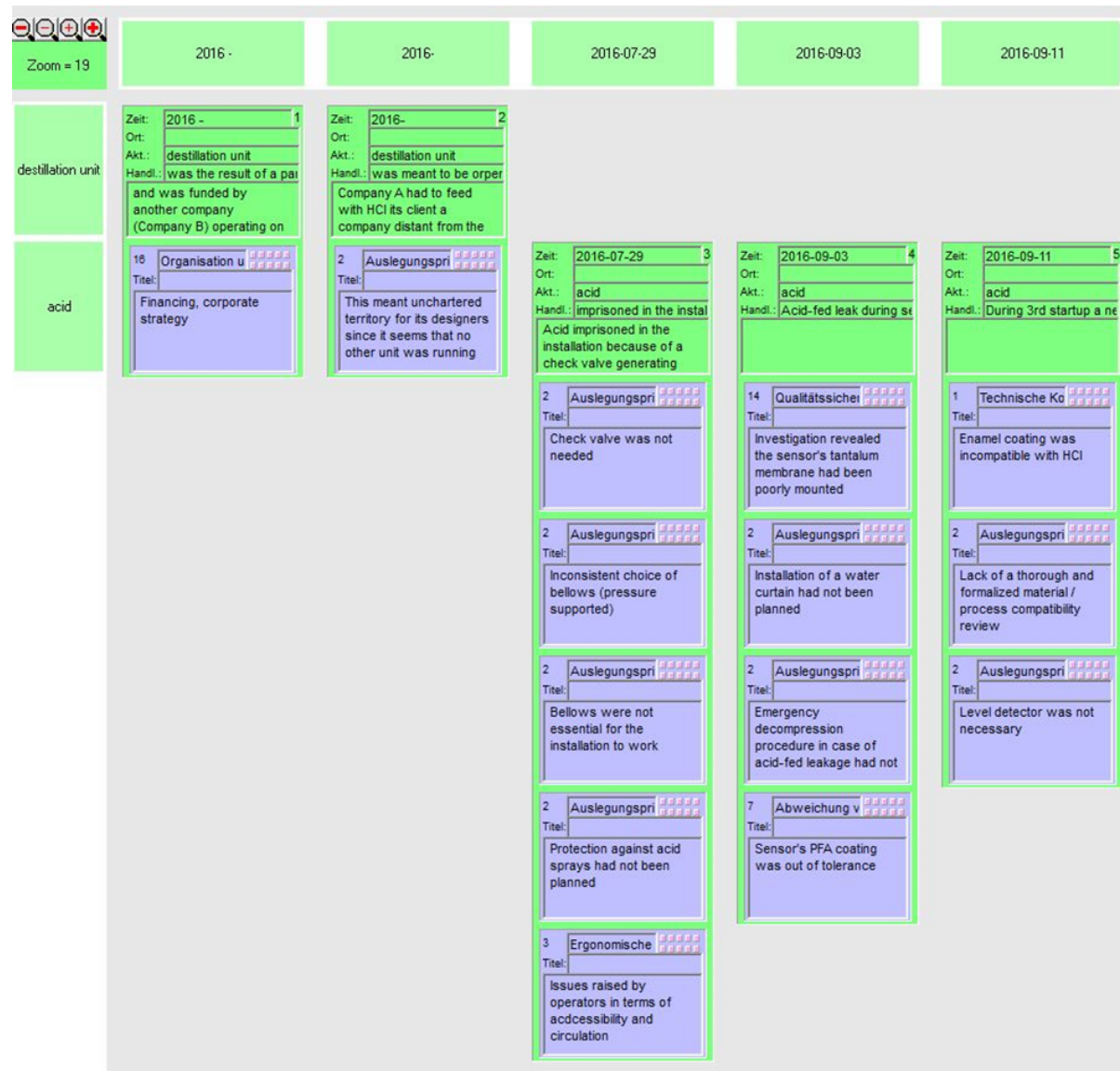
Tabelle 13: Event schedule with contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant

No	Time	Actor and action	Comment	Contributing factors/causes
1	2016 -	distillation unit was the result of a partnership	and was funded by another company (Company B) operating on the same premises. The industrial operator (Company A) was then supposed to operate the column to fit its needs of HCl. The financial structure of the project was unusual and complexified the interactions between company A, B and the contractor.	16: Organisation und Management Financing, corporate strategy
2	2016-	distillation unit was meant to be operated at a high pressure 6,5 bars	Company A had to feed with HCl its client a company distant from the industrial complex	2: Auslegungsprinzipien (Design) This meant uncharted territory for its designers since it seems that no other unit was running under the same operating conditions.
3	2016-07-29	Acid imprisoned in the installation	Acid imprisoned in the installation because of a check valve generating thermal expansion, overpressure then rupture and leakage of a bellow	2: Auslegungsprinzipien (Design) Check valve was not needed
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Inconsistent choice of bellows (pressure supported)
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Bellows were not essential for the installation to work
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Protection against acid sprays had not been planned
				3: Ergonomische Aspekte der Informationsgestaltung Issues raised by operators in terms of accessibility and circulation

No	Time	Actor and action	Comment	Contributing factors/causes
4	2016-09-03	Acid Acid-fed leak during second startup at the level of an instrumentation quilting		14: Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement Investigation revealed the sensor's tantalum membrane had been poorly mounted
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Installation of a water curtain had not been planned
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Emergency decompression procedure in case of acid-fed leakage had not been planned
				7: Abweichung von Vorgaben Sensor's PFA coating was out of tolerance
5	2016-09-11	Acid During 3rd startup a new leak appears on a level detector with vibrating blades		1: Technische Komponenten Enamel coating was incompatible with HCl
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Lack of a thorough and formalized material/process compatibility review
				2: Auslegungsprinzipien (Design) Level detector was not necessary

The time-actor-diagram (overview) is shown in figure 30.

Abbildung 30: Time-actor diagram with contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant



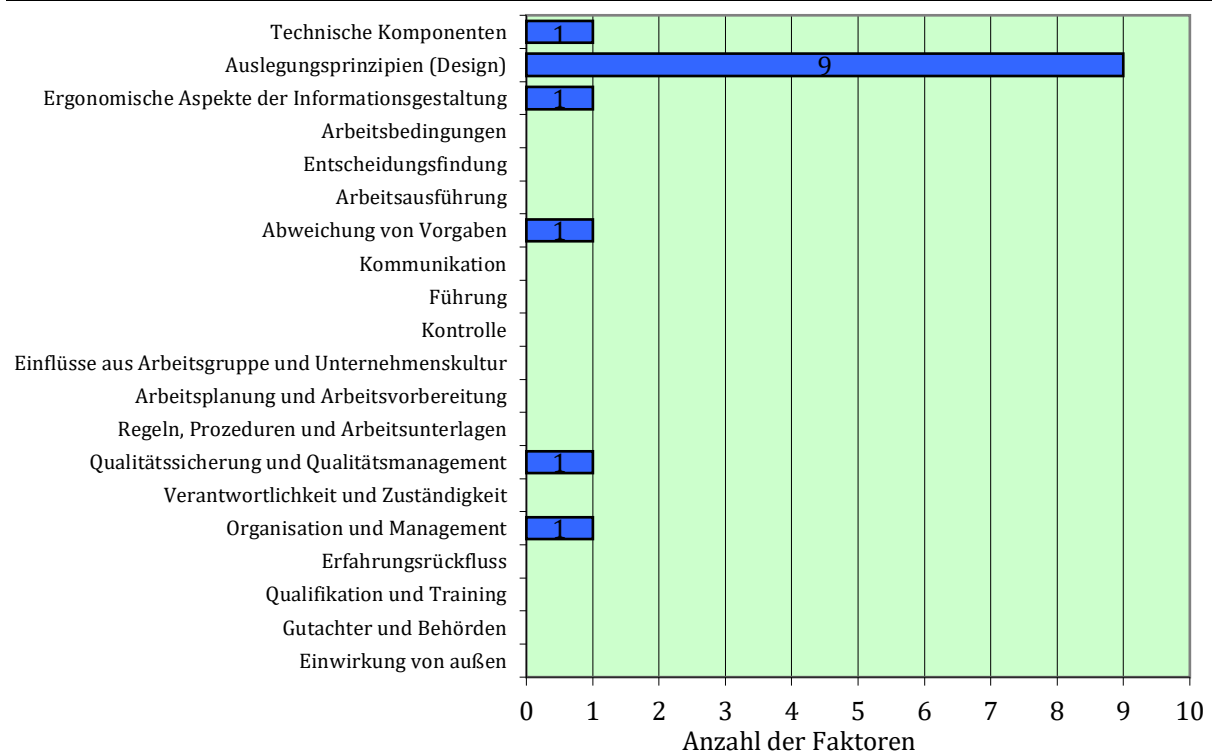
For better understanding, the first page is displayed in the following. The information is the same as in table 13 and figure 30.

	2016 - 1	2016- 2
destillation unit	Zeit: 2016 - Ort: Akteur: destillation unit Handl.: was the result of a partnership Bem.: and was funded by another company (Company B) operating on the same premises. The industrial operator (Company A) was then supposed to operate the column to fit its needs of HCl. The financial structure of the project was unusual and complexified the interactions between company A, B and the contractor. Ref.:	Zeit: 2016- Ort: Akteur: destillation unit Handl.: was meant to be operated at a high pressure 6,5 bars Bem.: Company A had to feed with HCl its client a company distant from the industrial complex Ref.:
acid		
	16: Organisation und Management Titel: Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: Financing, corporate strategy	2: Auslegungsprinzipien (Design) Titel: Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: This meant uncharted territory for its designers since it seems that no other unit was running under the same operating conditions.

3.13.3.1 Identification of contributing factors/causes

Altogether 14 contributing factors were identified as shown in figure 24.

Abbildung 31: Identified contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant



Only one factor was nine times identified: “design”:

- This meant uncharted territory for its designers since it seems that no other unit was running under the same operating conditions.
- Check valve was not needed.
- Inconsistent choice of bellows (pressure supported).
- Bellows were not essential for the installation to work.
- Protection against acid sprays had not been planned.
- Installation of a water curtain had not been planned.
- Emergency decompression procedure in case of acid-fed leakage had not been planned.
- Lack of a thorough and formalized material/process compatibility review.
- Level detector was not necessary.

Follow up measures

The consequences on the integrity of the equipment under the particular operating conditions (high pressure and temperature) of this distillation column seem to have been underestimated. A working group (between Companies A & B) has been set up on the subject to make improvements: lowering of the temperature and pressure of the process, addition of material. Beyond this lack of anticipation, it seems that both companies relied too much on the contractor's reputation who is recognized in the field and certified quality (e.g. choice of bellows, defective PFA

valves). In this case, this has not been sufficient, and it may be necessary to consider setting up a reception policy for new installations.

Ultimately, this lack of anticipations also raises the question of the division of roles and responsibilities between companies A & B in terms of process risk management on this project.

3.13.4 Conclusions

1. Competence requirements for planning and lay out of installations required.

3.14 Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant

3.14.1 Event description from Aria database

Conditions:

Since 1954, this plant has been producing additives for motor oils and other transport-related fluids, industrial lubricants, and fuels for automobiles (running on either gasoline or diesel engines). The unit involved in this accident was dedicated to the batch synthesis of zinc dialkyl dithiophosphates (ZDDP) using dithiophosphoric acid fed from an adjacent unit. This zinc salt has thus become one of the primary additives, with a content of between 3% and 12%, in lubricating mineral oils for engines.

ZDDP is synthesised by means of a double decomposition reaction:

1. Synthesis of the dithiophosphoric acid by introducing phosphorus pentasulphide and a hydroxylated compound (secondary alcohol) in an inert atmosphere at a 100°C temperature:
2. Reaction of dithiophosphoric acid on zinc oxide:

The complex compound obtained is then dissolved in a hydrocarbon, separated from the aqueous phase by stripping and filtered before altering its composition by adding hydrocarbons.

This adjustment step is carried out in the 30-m³ capacity tank equipped with a product recirculation line that contains a manual pump and sampling device. Reaction stability of the sample is controlled on-site by the technician responsible for extraction. The product's commercial compliance is then verified in the plant's laboratory. In case of noncompliant specifications, the product is once again pumped into the filtration process for a repeated filtration. The compliant product is fed to a unit storage tank prior to commercial distribution.

All storage and mixing equipment vents are connected to a gas collect system (extraction flow rate: 500 m³/h), which channels gases to a gaseous effluent treatment unit, where 3 columns wash the gases with soda water either on its own or mixed with liquid bleach. One of these columns also served to inject chlorine dioxide (ClO₂) to neutralise, by means of oxidation-reduction, the traces of mercaptan released in the event of decomposition at the time of the synthesis step. The unit is fitted with an exhaust stack connected to a continuous analyser (gaseous phase chromatograph along with a sulphur compound detector) used to measure traces of hydrogen sulphide (H₂S, a highly toxic and foul-smelling gas) and mercaptan (a foul-smelling and toxic gas when present in high concentrations) at the release point in addition to detecting any eventual excess of authorised contents for these compounds. Occasional measurements using colorimetric (Draeger type) tubes may be conducted.

So-called "olfactory" employees trained to identify odours are asked to patrol the vicinity to evaluate with greater precision the olfactory nuisance. Stationary H₂S detectors installed around the production units trigger an alarm in the event certain airborne concentration thresholds are

exceeded (5 and 10 ppm). Moreover, portable detectors are available in the control room to complete the deployed protection system.

Trigger:

Friday 18 January: While the T76 adjustment tank was being filled with a batch of product after completing a filtration step, the unit's automated control system detected a very high level inside one of the ZDDP storage tanks and shut down the recirculation pump around 2 pm. Activating this instrumented safety feature served to avoid any accidental overfilling of storage tanks, given that the transfer circuit between these tanks and the adjustment tank had only been equipped with a set of manual valves, thus preventing the use of remote controls. The recirculation pump could no longer be activated from the control room, but solely in manual mode via a control board housed inside one of the unit's utility rooms. In seeking to restart the pump at 4:44 pm to filter the solution once again, a technician mistakenly started up the stirrer on tank T76. Upon returning to the control room, he observed that the pump was still off and went back to turn it on locally. Declared compliant around 10:30 pm, the newly filtered batch was ultimately transferred into a storage tank using this same pump, while the stirrer continued to operate in the empty tank.

The weekend of 19 and 20 January: Tank T76 was filled by another 33-tonne batch of product at 1:53 am. The pump was turned on twice for the sampling operation; the product was stable and compliant, though market demand was weak and the batch remained in the heat-insulated adjustment tank. Visual inspections during rounds conducted within the unit did not detect any anomaly.

Monday 21 January: During the night, the treatment unit's analyser recorded a gradual rise in H₂S emissions and mercaptan¹ at the stack outlet (less than 4.5 ppm). Around 8 am, odours inside the unit building were noticed by a technician performing a sampling at the time of pump start-up. The high temperature alarm in the tank was triggered shortly thereafter in the control room: the pump was turned off and the temperature once again dropped. Analysis of the sample showed an undergoing decomposition in tank T76, leading the technician to give the alarm.

An initial inerting procedure was undertaken by means of adding an aqueous zinc oxide solution in the tank; furthermore, chlorine dioxide was injected into a washing column on the gaseous effluent treatment system. An electric short-circuit, followed by difficulties encountered when hooking up the device for mixing neutralising solution, wound up slowing the operation. Zinc oxide was injected a second time as this inerting procedure was ongoing, yet the tank temperature still exceeded 100°C. Around 11:15 am, the temperature began to drop, although the analyser at the stack outlet posted an error reading, indicating incomplete removal of the mercaptan. As of 10 am, strong smells had begun permeating the plant. Around 11:30 am, the operator activated the Internal Emergency Plan and notified the Environmental Agency. During the afternoon, a test intended to lower temperature by adding 5 tonnes of oil failed, as did a neutralisation test calling for the gradual introduction of 3 tonnes of calcium sulphonate into the tank.

Tuesday 22 and Wednesday 23 January: The local administration (prefecture) activated the External Emergency Plan at 10:35 am on Tuesday the 22. A revised product treatment protocol was designed and then validated by the Prefect. On Wednesday the 23 around 6 am, another neutralisation operation was launched with a low injection rate to better control the exothermic reaction, while limiting the risks of a runaway reaction and release of toxic gases above 75°C. The tank used for this purpose needed to be constantly cooled. The contents of tank T76 were injected in small quantities into a neutralising solution (composed of soda water and bleach) prepared in one of the unit's storage tanks (T35). A 30-min interval was respected between each transfer step to: homogenise the mix, limit heating (exothermic reaction), and monitor the

reaction. All vapour released during transfers was still being routed into gas washing columns (the plant's stationary installations for tanks T76 and T35, mobile installations for the vents on road tankers handling the neutralised product).

Thursday 24 and Friday 25 January: Early in the morning, 12 tonnes of the mix were treated and dispatched by truck to a hazardous waste disposal centre. Two subsequent neutralisation operations on 12-tonne mix batches had been completed by Fri-day evening after draining tank T35 and hauling its contents offsite.

Friday 25 to Saturday 26 January: During the night, 5 tonnes of oil were poured into tank T76 to dissolve the unstable products remaining on the bottom. Tank contents were then drained into tank T35, which contained a new batch of neutralising solution, prior to a road transfer scheduled around 6 am. Once the drainage step had been completed, a pasty residue could be observed on both the tank walls and stirrer shaft.

Saturday 26 to Sunday 27 January: Since this pasty residue was still causing considerable gaseous emissions in tank T76, the tank was filled with 25 tonnes of oil while the stirrer was kept running to gradually dissolve the remaining residue. At the same time, the Prefect authorised a resumption of packaging/shipment activities for finished products rolling off the lines in other units.

Monday 28 and Tuesday 29 January: Another solvent (ethylhexanol) was introduced to better dissolve the solid residue left in tank T76 and on the stirrer. Several instances of a clogged recirculation filter attested to solvent efficiency.

Wednesday 30 January to Sunday 3 February: The residue dissolution protocol continued, in conjunction with drainage immediately upon saturation of the cleaning mix.

Monday 4 through Wednesday 6 February: Tank T76 was emptied of the cleaning mix. An endoscopic inspection of its bottom revealed a chunk that had not been removed from a recess. Pure solvent was once again injected. Another endoscopic control performed at 11 pm on Monday confirmed product dissolution following drainage of the mix using a soda water/bleach solution. The final cleaning phase with soda water was completed Wednesday morning around 9. The tank was opened at noon, deodorised and rinsed with water. At 12:30 pm, the Prefecture's crisis management unit was disbanded, and the External Emergency Plan lifted. The Prefect authorised all site activity to resume, except for the specific workshop concerned, where operations remained suspended in compliance with an emergency order enacted on 21 January.

Causes

The ZDDP decomposition generated several toxic or flammable by-products in the adjustment tank. Since this tank's vents were connected to the gas treatment system, all or some of these by-products wound up being treated by the washing columns integrated into the plant's treatment system.

The performance of this system was not adequate to eliminate the mercaptan. These compounds, with an extremely low olfactory detection threshold (due to an organic decomposition type smell) and toxic at high concentrations, can cause temporary bouts of nausea, digestive disorders, headaches, eye and throat irritations even at low doses.

The mercaptan released was of the C3RSH and C6RSH varieties (mainly isopropanethiol and 4-methyl-2-pentanethiol). Their oxidation in the presence of olefins resulting from decomposition also gave rise to the formation of sulphide compounds (sulphides and disulphides).

The starting point of the sequence that led to this accident consisted of human error. On Friday 18 January, the technician on duty mistakenly turned on the adjustment tank stirrer instead of

the recirculation pump on the control board, despite a different labelling and triggering mode (pushbutton for the stirrer and a handle for the pump. He then failed to turn off the stirrer when returning to the unit to start up the pump after noticing its idle status on the control room display. This stirrer did not draw any special attention from technical staff due to the fact it had, in theory, been decommissioned for several years.

Subsequently, a "collective error" stemming from the failure to detect the temperature rise in time to prevent the accident from occurring can be cited. During the ensuing weekend, the technicians assigned to monitor the installation failed to notice that the stirrer was operational, despite the indicator light being lit on the control board and the visibility they had of the stirrer shaft rotating at the top of the tank. On Sunday 20 January, the technicians on duty in the control room also showed a lack of concern for an eventual gradual temperature rise in the tank. Since Friday, the tank's recirculation pump had been shut down and temperature detection in the recirculation loop was no longer indicating the actual temperature existing inside the tank.

This sequence, as part of the production context (with the product remaining in the adjustment tank due to reduced market demand and arriving at a normal temperature of 94°C) and unit configuration (heat-insulated tank, continuous operation of the stirrer, causing the product to heat by 1°C/hr 9 as of Saturday night), initiated a slow ZDDP decomposition reaction, with temperature in the tank surpassing 110°C by 8 am Monday morning.

Moreover, two elements contributed to exacerbate this accident:

1. a delay in preparing the 1st neutralising solution on Monday morning subsequent to difficulties encountered in starting up the mobile mixer (due to a missing drive), logically resulting in a poorly mixed solution;
2. performance of the gas treatment system that, despite being well designed to treat the H₂S released quickly became saturated once mercaptan emissions rose to high levels.

Beyond these direct causes, the accident analysis exposed several deep-rooted organisational type causes:

1. An insufficient process risk analysis: The risk of ZDDP decomposition when stored for several days around 100°C had not been identified, even though the site's safety report had anticipated such a risk for shorter exposures at temperatures of around 120° to 130°C. A greater recognition of the significance of measuring temperature for process safety would have led the plant operator to set up several temperature measurement points instead of just a single one on the tank recirculation line (solely available during pump operations). Given the absence of such features, technicians were only able to notice a temperature rise in the tank on Monday morning at 7:50 am, when the pump was turned on after detecting suspicious odours in the unit, and a mere 3 minutes before the high temperature alarm on the adjustment tank was tripped. Moreover, taking account of the heating risk inside the adjustment tank, especially given the presence of a stirrer, would have resulted in the removal of its heat insulation, which was useless for the process.
2. Focused on the risk of toxic H₂S emissions, the unit's analysis also paid insufficient attention to the risk of a massive mercaptan release. The gas treatment system had only been designed for low mercaptan emissions, and the emission measurement chain at the stack outlet had only been calibrated to measure trace amounts of mercaptan.
3. Poor management of change: Unlike the pump, the stirrer had no use in the process and furthermore its operating status was not relayed to the control room. The unit's technical staff had not been given specific instructions on the stirrer's condition or its manual activation. The adjustment tank, used previously in another process, had been transferred to

the ZDDP unit in 1997 without any prior "management of change" type of analysis that could have revealed the need to eliminate the stirrer or, at the very least, allowed technicians to learn of its operating status. In addition, technicians had not been made aware of the potential consequences of a rotating stirrer for process safety. During their rounds, technicians were thus concentrating on a visual inspection of other indicators and equipment inside the building, even though the indicator was lit and the stirrer shaft was visibly rotating at the top of the tank.

Consequences

These mercaptans were dispersed into the atmosphere at a rate depending on the wind force and intensity, both of which changed several times on the day of the accident and the day after. The plume covered a wide geographic zone extending from the south of England to the Paris Metropolitan Area, adversely affecting tens of thousands of individuals and, in some instances, responsible for headaches, nausea and temporary vomiting. The InVS Institute's health monitoring of population living near the plant indicated that the accident only had minor repercussions on the activity of health emergency services in the city: fewer than 20 medical visits on 21 and 22 January, including two house calls (one of which was an asthma attack requiring hospital treatment).

The neutralisation phases generated 270 tonnes of liquid effluent with a basic pH, containing 2.5% sulphur for the neutralised solution and more limited rinsing solution contents (this ZDDP batch initially contained 15%); the corresponding transport to a disposal centre and incineration required 17 road tanker trips and produced emissions equivalent to 192 tonnes of CO₂. No other environmental impact was recorded.

Measures

Monday 21 January: The operator received the initial complaints from neighbours around 10 am, at which point it activated the site's Internal Emergency Plan and informed municipalities in the vicinity, the Prefecture and the DREAL Environmental Agency. The Prefecture issued two press releases around 1 pm and 2:30 pm and gave statements to the local media (France Bleu, France 3 stations). At the same time, the GALA8 system notified the 33 town halls of municipalities potentially lying downwind of the plant. Around 3 pm, the wind direction changed and the odour spread in and around the city of Rouen; information began to circulate on social media as well. From 5 pm until midnight, calls from concerned individuals began to flood switchboards of the fire department, police and Rouen main hospital. The fire department switchboard, which received over 2,900 incoming calls, reported being temporarily saturated. A Prefecture press release was issued at 7 pm. The plant received 70 direct calls from nearby residents.

Tuesday 22 January: During the night, the wind changed directions several times. The smell of mercaptan first reached the Paris metropolitan area, then southern England. The switchboard of Paris' fire department received over 10,000 calls during the morning hours. The French Ministry of the Interior disseminated an initial press release around 5 am. At the Rouen Prefecture, the county operations centre was up and running at 7 am and the population information unit by 10 am. As a preventive measure, the Prefect also activated the External Emergency Plan at 10:35 am. The Prefecture released an announcement to the press at 11:30 in the morning.

The crisis became a national event and the crisis management units of the Ministries of the Interior, Sustainable Development and Health were alerted as of 2 pm. A national football match scheduled during the evening had to be postponed. The Prefecture held a press conference at 3:30 pm. At 4:40 pm, the Ministries' first press releases were uploaded to the Internet, as was

the plant operator's. The Prefecture held another press conference at 5 pm. The Minister of Ecology, Sustainable Development and Energy conducted a site inspection at 7 pm.

Wednesday 23 January: Employees at neighbouring industrial sites were authorised to return to work. The Prefect held two press conferences at 7 am and 5 pm. The plant updated its press releases on the company website.

Thursday 24 January: The Prefect reviewed the situation during two press conferences at 11 am and 5:30 pm.

From Friday 25 through Wednesday 30 January: A daily press bulletin published by the Prefecture indicated the state of progress in cleaning the neutralisation tank and disposing of the residue.

Wednesday 6 February: A press release announced the completion of neutralisation operations and lifting of the External Emergency Plan.

The DREAL Environmental Agency, alerted midday on 21 January, visited the site the same day and proposed an order consisting of emergency measures prescribing shutdown of the ZDDP manufacturing facility, in imposing that it only be restarted upon implementation of a series of remedial actions derived from the analysis of event causes and identification of equipment on which a similar event could recur.

Given the operator's inability to resolve this problem according to the outlined set of procedures, causing among other things pre-emptive activation of the External Emergency Plan on the morning of Tuesday 22 January, six inspectors worked in shifts on-site around the clock (in addition to a continuous presence for 10 straight days in the Prefecture's crisis management unit and a permanent correspondent at the DREAL office for the first two days) until completion of the response on 6 February. Each step of these neutralisation operations was formalised by the operator into protocols, evaluated with assistance from the INERIS Institute and validated by the Prefect (compliance was controlled on-site by the Inspectorate). The DREAL Agency also assigned INERIS agents to oversee emissions measurements taken in the field as of the evening of 22nd January following saturation of the continuous measurement devices set up on-site.

After this crisis, actions adopted by the competent authorities were primarily intended to:

- ▶ consolidate the environmental impact, mainly with the aim of validating the emission evaluation hypotheses through conducting a dispersion study with the location distribution of all complaints recorded during the crisis;
- ▶ provide exhaustive information, as known by administrative authorities, to all pertinent local actors and joint feedback, in collaboration with the various institutional players (at the national level, spearheaded by air quality monitoring associations, INERIS and the Ministry of Sustainable Development) so as to improve response steps specific to such events, as well as with the local level (namely Prefecture offices, DREAL Environmental Agency, Health and Air Quality monitoring agencies to streamline communication procedures during accidental situations).

Technical measures

Technical lessons leading primarily to:

1. removing the adjustment tank heat insulation and procuring cooling systems for 15-minute availability on those unit tanks and exchangers not equipped with such cooling devices;
2. maintaining the adjustment tank stirrer for homogenising the product mix with a neutralising solution in the event of decomposition. Stirrer activation either locally or remotely will only be possible via an automated system activated by authorised personnel and solely in the event of ZDDP decomposition;
3. after the feasibility study, modernising the control system and separating it from the automated system dedicated to safety, by means of creating displays and hierarchical alarms dedicated to preventing the decomposition risk, with continuous monitoring of H₂S and mercaptan concentrations at the level of production equipment and at the stack outlet;
4. enhancing reliability of the mobile mixer's electrical supply and improving the devices used to feed the neutralising mix;
5. redesigning the unit's gas treatment system based on a conservative scenario of accidental emissions, to be capable of treating 100 % of the mercaptans and alkenes released according to this scenario, while raising online analyser performance: extended measurement range, measurement of total sulphur content, etc.

Organisational measures

1. modify the unit's operational procedures based on feedback drawn from the accident, especially for process monitoring should manufacturing be interrupted, as well as for degraded operating modes and emergency procedures;
2. adapt the neutralisation procedure to suit decomposition characteristics;
3. strengthen personnel training and raise awareness of both the risks associated with ZDDP decomposition and emergency procedures, with a recycling component held every three years;
4. improve the evaluation of ZDDP decomposition risks present in the management of change process and analyse the decomposition-related risks on equipment reallocated to the ZDDP unit in 1997: filter press, plus filtration and adjustment tanks;
5. bolster the reliability of safety systems by means of upgrading control and test procedures and supervising alarm bypass and shunt conditions tied to the set of instrumented devices.

3.14.2 Results of the analysis

3.14.2.1 Information collection

The following sources were used for the collection of information:

1. Aria's accident report, Barpi's movie about the event
2. Impel seminar report
3. Company's accident report
4. INERIS Ethnographical inquiry during several weeks spent with technicians, managers observation and interviews
5. Edge project on crisis management led by IRSN institute

3.14.2.2 Course of the event

Table 14 shows the course of the event and the contributing factors/causes.

Tabelle 14: Event schedule with contributing factor-/causes - Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant

No	Time	Actor and action	Comment	Contributing factors/causes
1	2013-01-18, 14:00	unit's automated control system detects a very high level inside one of the ZDDP storage tank and shut down the recirculation pump	While the T76 adjustment tank was being filled. Activating this instrumented safety feature served to avoid any accidental overfilling of storage tanks, given that the transfer circuit between these tanks and the adjustment tank had only been equipped with a set of manual valves, thus preventing the use of remote controls. The recirculation pump could no longer be activated from the control room, but solely in manual mode via a control board housed inside one of the unit's utility rooms.	
2	2013-01-18, 04:44	Technician mistakenly starts up the stirrer on tank T76 instead of the recirculating pump	in seeking to restart the pump to filter the solution once again (observes when he is back to the control room the pump is still off and goes back to actually start the pump but fails to notice he switched on the stirrer instead) The recirculation pump could no longer be activated from the control room, but solely in manual mode via a control board housed inside one of the unit's utility rooms. This error is made despite the different labelling and triggering modes of the 2 devices (pushbutton for the stirrer and a handle for the pump). The operator didn't have any feedback on the stirrer which was supposed to have been decommissioned for years.	16: Organisation und Management organisation failed to decommission the stirrer and to realise it during several years 4: Arbeitsbedingungen The mistake was made very early in the morning
3	2013-01-18, 22:30	newly filtered batch is ultimately transferred into a storage tank using the same pump	The stirrer continues to operate in the empty tank.	
4	2013-01-19, 01:53	tank T76	The pump is turned on twice for the sampling operation. The product is stable and compliant.	20: Einwirkung von außen

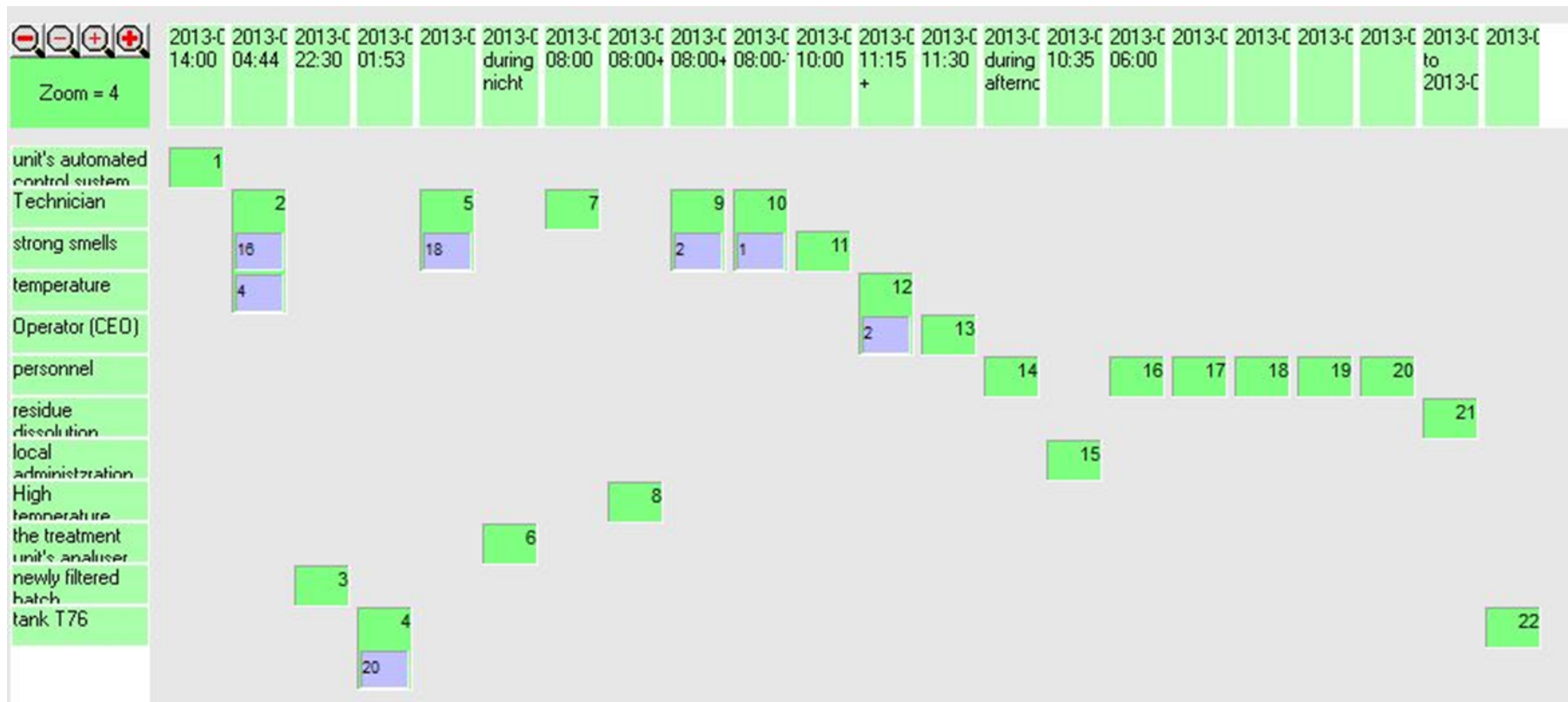
		is filled with another 33-ton batch of the product	Since market demand is weak, the batch remains in the heat-insulated tank during the weekend.	Due to the reduced market demand, the product stayed longer than usual in the tank
5	2013-01-19-20	Technician Visual inspections during rounds conducted within the unit did not detect any anomaly	The operators didn't notice that the stirrer was operational (there was an indicator light being lit on the control board in one of the unit's utility room, and the stirrer shaft rotating at the top of the tank was visible).	18: Qualifikation und Training Technicians in the control room failed to diagnose the causes of the temperature rise and the fact that the stirrer was operational.
6	2013-01-21 during night	the treatment unit's analyser recorder a gradual rise H ₂ S emissions and mercaptan at the stack outlet (less than 4,5 ppm>)		
7	2013-01-21, 08:00	Technician notices odours inside the unit building while performing a sampling at the time of start-up.		
8	2013-01-21, 08:00+	High temperature alarm of the tank is triggered in the control room.	The pump is turned off and the temperature drops	
9	2013-01-21, 08:00++	Technician gives the alarm	Analysis of sample in tank T76 shows an undergoing decomposition in tank.	2: Auslegungsprinzipien (Design) An insufficient process risk analysis: The risk of ZDDP decomposition when stored for several days around 100°C had not been identified The unit's analysis also paid insufficient attention to the risk of a massive mercaptan release

10	2013-01-21. 08:00-11:15	Technician an initial inerting procedure is undertaken	by means of adding an aqueous zinc oxide solution in the tank. Chlorine dioxide is injected into a washing column on the gaseous effluent treatment system. Zinc oxide is injected a second time as the inerting procedure is ongoing, yet temperature still exceeds 100°C An electric short-circuit, followed by difficulties encountered when hooking up the device for mixing neutralising solution, wound up slowing the operation	1: Technische Komponenten Delay in preparing the first neutralising solution was due to a missing drive
11	2013-01-21, 10:00	strong smells begin to permeate the plant		
12	2013-01-21, 11:15 +	Temperature begins to drop, although the analyser at stack outlet posts an error reading	indicating incomplete removal of the mercaptan	2: Auslegungsprinzipien (Design) performance of the scrubber system was inadequate to eliminate the mercaptan
13	2013-01-21, 11:30	Operator (CEO) activates its internal emergency plan	and notifies the Environmental Agency	
14	2013-01-21, during afternoon	personnel test to lower temperature	by adding 5 tons of oil - failed, as did a neutralisation test calling for the gradual introduction of 3 tons of calcium suphonate into the tank	
15	2013-01-22, 10:35	local administration (prefecture) activates the external emergency plan	A revised product treatment protocol was designed and then validated by the prefecture	
16	2013-01-23, 06:00	personnel launches another neutralisation operation	with a low injection rate to better control the exothermic reaction. The contents of tank T76 is injected in small quantities into a neutralising solution. All vapour released during transfers is still being routed into washing columns	
17	2013-01-24- 25	personnel completes subsequent neutralisation operations	on 12-tonne mix batches had been completed by Friday evening after draining tank T35 and hauling its contents offsite 12 tons of mix are treated and dispatched by truck to a hazardous waste disposal centre	

18	2013-01-25-26	personnel pours 5 tons of oil into tank T76 to dissolve the unstable products remain- ing on the bottom	during night. Tank contents were then drained into tank T35, which contained a new batch of neutralising solution, prior to a road transfer scheduled around 6 am. Once the drainage step had been completed, a pasty residue ² could be observed on both the tank walls and stirrer shaft.	
19	2013-01-26-27	personnel fills 25 tons of oil into the tank while the stirrer is kept running to gradually dissolve the remaining res- idue	since this pasty residue is still causing considerable gaseous emissions in tank T76. At the same time, the Prefect authorizes a resumption of packaging/ shipment activities for finished products rolling off the lines in other units.	
20	2013-01-28-29	personnel introduces another solvent	to better dissolve the solid residue left in tank T76 and on the stirrer. Several instances of a clogged recirculation filter attest to solvent efficiency.	
21	2013-01-30 to 2013-02-03	residue dissolution proto- col continues	in conjunction with drainage immediately upon saturation of the cleaning mix	
22	2013-02-04-06	tank T76 is emptied of the cleaning mix	An endoscopic inspection of its bottom reveals a chunk that had not been removed from a recess. Pure solvent was once again injected. Another endoscopic control performed at 11 pm on Monday confirmed product dissolution following drainage of the mix using a soda water/bleach solution. The final cleaning phase with soda water was completed Wednesday morning around 9. The tank is opened at noon, deodorised and rinsed with water. At 12:30 pm, the Prefecture's crisis management unit is disbanded, and the External Emergency Plan lifted. The Prefect authorises all site activity to resume, except for the specific workshop concerned, where operations remains suspended in compliance with an emergency order enacted on 21 January.	

The time-actor-diagram (overview) is shown in figure 32.

Abbildung 32: Time-actor diagram with contributing factors/causes - Prolonged rejection of mercaptans from a chemical plant



For better understanding, the first page is displayed in the following. The information is the same as in table 14 and figure 32.

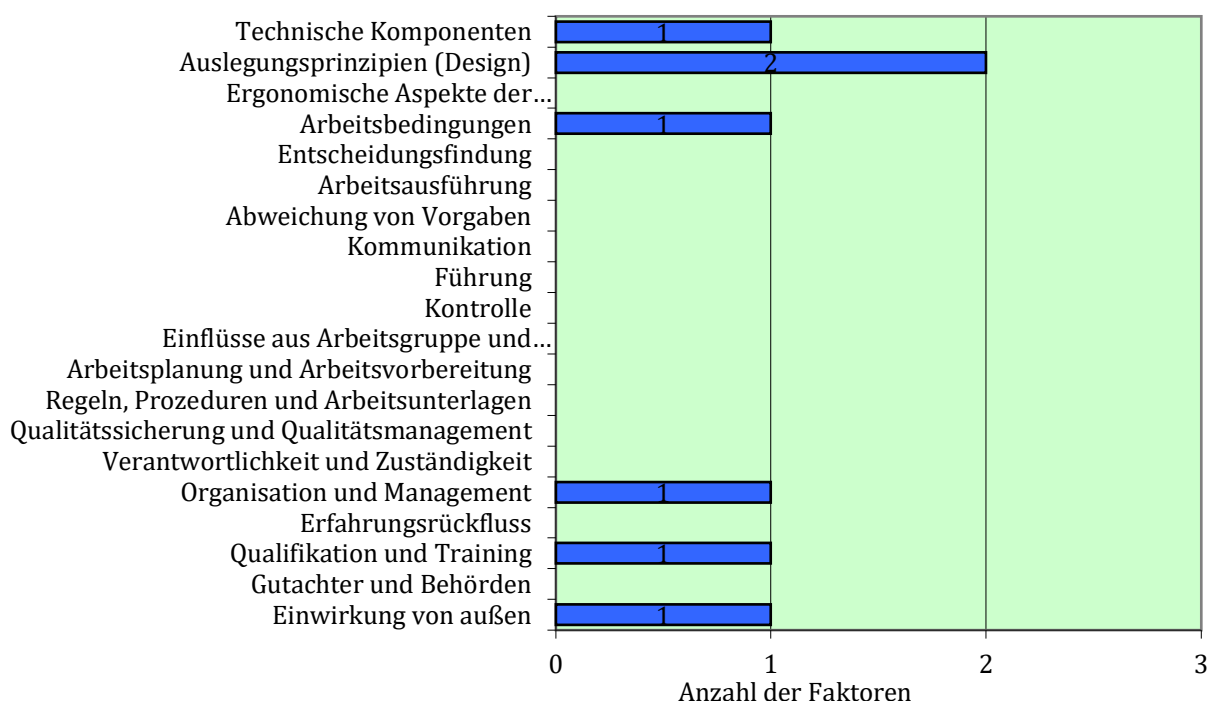
	2013-01-18, 14:00	2013-01-18, 04:44
	1	
unit's automated control system	Zeit: 2013-01-18, 14:00 Ort: Akteur: unit's automated control system Handl.: detects a very high level inside one of the ZDDP storage tank and shut down the recirculation pump Bem.: While the T76 adjustment tank was being filled. Activating this instrumented safety feature served to avoid any accidental overfilling of storage tanks, given that the transfer circuit between these tanks and the adjustment tank had only been equipped with a set of manual valves, thus preventing the use of remote controls. The recirculation pump could no longer be activated from the control room, but solely in manual mode via a control board housed inside one of the unit's utility rooms. Ref.:	2
Technician		Zeit: 2013-01-18, 04:44 Ort: Akteur: Technician Handl.: mistakenly starts up the stirrer on tank T76 instead of the recirculating pump Bem.: in seeking to restart the pump to filter the solution once again (observes when he is back to the control room the pump is still off and goes back to actually start the pump but fails to notice he switched on the stirrer instead) The recirculation pump could no longer be activated from the control room, but solely in manual mode via a control board housed inside one of the unit's utility rooms. This error is made despite the different labelling and triggering modes of the 2 devices (pushbutton for the stirrer and a handle for the pump). The operator didn't have any feedback on the stirrer which was supposed to have been decommissioned for years. Ref.:
strong smells		
temperature		
Operator (CEO)		
personnel		
		16: Organisation und Management Titel: poor management of change Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: organisation failed to decommission the stirrer and to realise it during several years

residue dissolution protocol	4: Arbeitsbedingungen Titel: Gew. Ereign./Org.: 0/0 Beschr.: The mistake was made very early in the morning
------------------------------	--

3.14.2.3 Identification of contributing factors/causes

Altogether seven contributing factors were identified as shown in figure 33.

Abbildung 33: Identified contributing factors/causes - hydrochloric acid distillation column in a paint and foam production plant



Only one factor was twice identified: “design”:

- An insufficient process risk analysis: The risk of ZDDP decomposition when stored for several days around 100°C had not been identified. The unit's analysis also paid insufficient attention to the risk of a massive mercaptan release.
- <performance of the scrubber system was inadequate to eliminate the mercaptan.

Follow-up measures

Although this event did not have important consequences in terms of health, material and environment, it generated a huge media crisis and focused a lot of attention.

In conjunction with remedial actions implemented by the plant operator, the Ministry of Sustainable Development sought to draw lessons regarding the way in which this accident response was managed. In April 2013, the Ministry announced the enactment of some 20 measures intended to strengthen safety around Seveso-rated industrial sites within the scope of a

"mobilisation plan for preventing technological risks". This plan stipulates the creation of a rapid intervention force capable of both quickly deploying experts along with resources from other industrial sites and engaging independent laboratories and associations to measure without delay the level of accidental releases. The plan also specifies an accelerated implementation of Technological Risk Prevention Plans, plus additional financial assistance for the protective works imposed by these plans on local authorities and neighbouring communities.

3.14.3 Vergleichbare Ereignisse:

<https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index/3129.html>

3.14.4 Conclusions

1. Approach of the Seveso-Directive: The actual Annex I Part 2 of the directive does not include mercaptans. The Annex II of the StörfallV from 1988 included mercaptans (No. 191) due to their incommoding smell. Should the annex I of the directive consider irritating and incommoding effects as well?
2. Approaches of the legislation (here: Seveso-directive) can influence the plant design. Here the design of the scrubber considered H₂S (acute toxic Kat. 2) but not a major amount of mercaptans. The plant design should base on a hazard analysis considering other effects then acute toxicity if they can be relevant.

3.15 Erstes Fazit nach den vertieften Analysen

In einem Teil der Ereignisse kristallisiert sich eine erhöhte Kontrolle durch Aufsichtsbehörden über Einhaltung von Anforderungen aus TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV als Verbesserungspotenzial heraus.

Bei allen Ereignissen zeichnet sich ein Regelungsdefizit⁷ ab, dass sowohl die innerbetrieblichen Anweisungen und Unterlagen betrifft als auch eindeutige Festlegung der Verantwortlichkeiten für Kontrollen von der Umsetzung von Auflagen, offenen Punkten Empfehlungen etc.

Bei einem Großteil der Ereignisse zeigen sich Defizite in der systematischen Risiko- oder Gefahrenanalyse, die sich sowohl im Faktor Entscheidungsfindung als auch im Faktor Auslegungsprinzipien widerspiegeln.

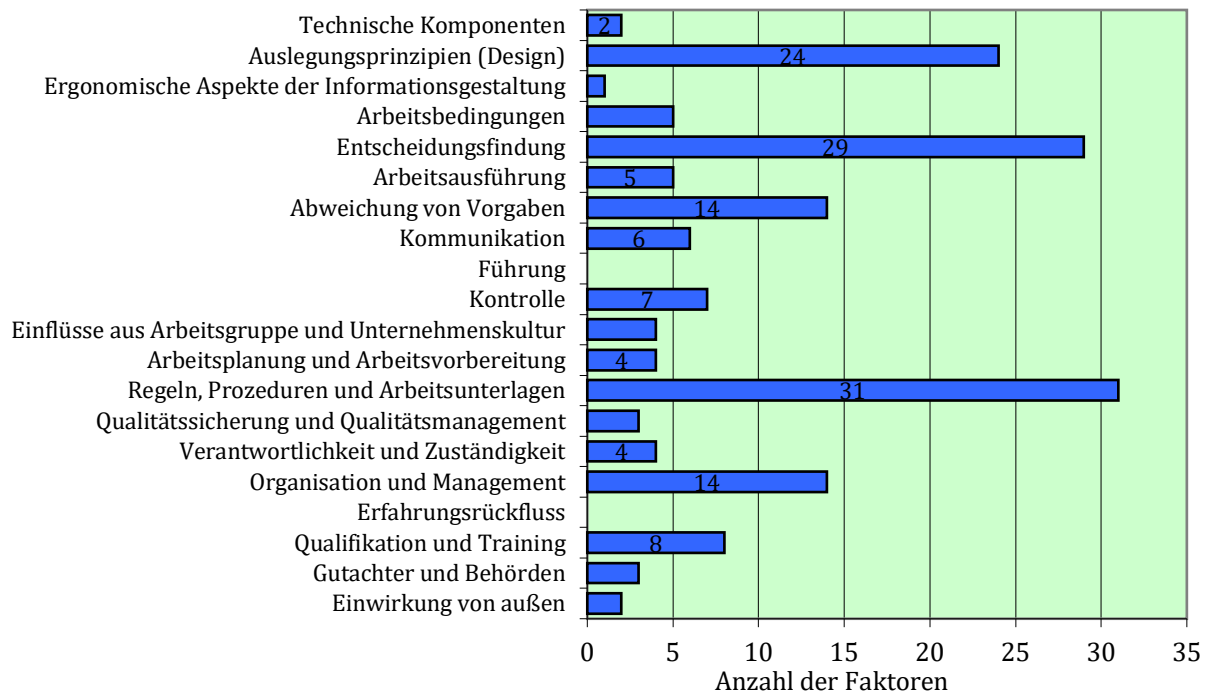
Häufig ist auch der Umgang mit Fremdfirmen unsystematisch, nicht ausreichend reguliert und diese werden nicht ausreichend kontrolliert.

Bei einem Teil der Ereignisse ist die Auslegung der Anlagen oder einzelner Systeme unzureichend.

Betrachtet man die Faktoren über alle Ereignisse so ergibt sich folgende Häufigkeitsverteilung:

⁷ In der 32. Sitzung des AS-ER konnte über diesen Punkt keine Einigkeit erzielt werden, da dies von einigen Mitgliedern als Umsetzungsproblem angesehen wurde.

Abbildung 34: Identifizierte beitragende Faktoren/Ursachen über alle analysierten Ereignisse



Insgesamt wurden 166 beitragende Faktoren identifiziert (Rangreihe nach der Auftretenshäufigkeit):

1. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen (31)
2. Entscheidungsfindung (29)
3. Auslegungsprinzipien (Design) (24)
4. Abweichung von Vorgaben (14)
5. Organisation und Management (14)
6. Qualifikation und Training (8)
7. Kontrolle (7)
8. Kommunikation (6)
9. Arbeitsausführung (5)
10. Arbeitsbedingungen (5)
11. Arbeitsplanung und Arbeitsvorbereitung (4)
12. Einflüsse aus Arbeitsgruppe und Unternehmenskultur (4)
13. Verantwortlichkeit und Zuständigkeit (4)
14. Gutachter und Behörden (3)
15. Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement (3)
16. Technische Komponenten (2)
17. Einwirkung von außen (2)
18. Ergonomische Aspekte der Informationsgestaltung (1)

Zusammengefasst ergeben sich also mindestens die folgenden Verbesserungsmöglichkeiten aus allen analysierten Ereignissen:

- Betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit)
- Systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen (Auslegungsprinzipien, Entscheidungsfindung)

- ▶ Anlagenänderungen (Design), Management of Change
- ▶ Verstärkte Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach)
- ▶ Direkte Unterweisungen von Fremdfirmen
- ▶ Verantwortung des Betreibers fokussieren/festschreiben
- ▶ Alterungsmanagement/Nachrüstung

4 Vorschläge zur Verbesserung der Anlagensicherheit

In der dritten Projektphase wurden Vorschläge zur Verbesserung der Ereignisuntersuchung und -analyse sowie der Anlagensicherheit, die sich aus der zweiten Projektphase ergeben haben, aufbereitet. Die dritte Projektphase gliederte sich in die Arbeitsschritte:

1. Beantwortung der Projektfragen
2. Vorstellen der Ergebnisse

4.1 Beantwortung der Projektfragen

In diesem Arbeitsschritt sollten nach Abstimmung mit dem UBA insbesondere folgende Fragen entsprechend der Leistungsbeschreibung für das Forschungsvorhaben bearbeitet werden:

- ▶ Lagen in den betrachteten Fällen ausreichende Informationen aus der Ereignisuntersuchung sowie für die Ereignisanalyse vor?
- ▶ Welche Umstände, Maßnahmen haben maßgeblich zur Entstehung von Ereignissen beigetragen?
- ▶ In welcher räumlichen Ausdehnung konnten Auswirkungen beobachtet bzw. keine mehr beobachtet werden?
- ▶ Welche Umstände, Maßnahmen haben maßgeblich zur Verhinderung von Ereignissen/Störfällen bzw. zur Reduzierung der Auswirkungen beigetragen (Best Practice)?
- ▶ Welche übertragbaren bzw. verallgemeinerbaren Erkenntnisse können aufgrund der Ereignisanalysen in den betrachteten Fällen zur Entstehung oder Verhinderung von Ereignissen sowie deren Folgen abgeleitet werden?
- ▶ Welche generellen Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Ereignisauswertung in Deutschland, zur Vermeidung von Ereignissen sowie zur Verbesserung des Standes der (Sicherheits-)Technik lassen sich aus den analysierten Ereignissen ableiten? Im Hinblick auf die Verbesserung des Standes der (Sicherheits-)Technik sollen insbesondere auch die Möglichkeiten verbesserter technischer Maßnahmen (einschließlich geänderter Prozesstechnik) betrachtet werden.

Da sich die genauen Fragestellungen erst aus den Ergebnissen der Ereignisanalysen ableiten ließen, fand zunächst eine Abstimmung mit dem UBA über die Ergebnisse der Analysen statt. Dann wurde ein Workshop mit dem UBA und dem Unterauftragnehmer INERIS zur Entwicklung von Optimierungsvorschlägen am 25.02.2019 in Berlin durchgeführt. Als Ergebnis wurde Folgendes bezüglich der Fragen festgestellt:

- ▶ Bei den 14 vertieft analysierten Ereignissen lagen ausreichende Informationen aus der Ereignisuntersuchung sowie für die Ereignisanalyse vor. Allerdings war die Datenlage nicht bei allen 26 vorausgewählten Ereignissen gegeben, so dass ausreichende Information letztendlich auch zu einem der Auswahlkriterien wurde.

- ▶ Die am häufigsten identifizierten beitragenden Faktoren/Ursachen waren „Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen“, Entscheidungsfindung (fehlende Risiko-/Gefahrenanalyse)“ und „Auslegungsprinzipien (Design)“, siehe auch Abbildung 34.
- ▶ Zu der Frage der räumlichen Ausdehnung von Auswirkungen ergaben die Analysen keine eindeutige Antwort, in der Mehrzahl der untersuchten Ereignisse beschränkten sich die Auswirkungen allerdings auf das Betriebsgelände und die unmittelbare Nachbarschaft.
- ▶ In den Ereignisanalysen ließen sich keine Best Practice erkennen, sondern nur das Fehlen solcher, da der Betrachtungsrahmen und die Datenbasis nicht für die Erkennung von Best Practice ausgelegt waren.
- ▶ Es konnten übertragbare bzw. verallgemeinerbare Erkenntnisse zur Entstehung oder Verhinderung von Ereignissen sowie deren Folgen abgeleitet werden, die im Folgenden dargestellt werden.
- ▶ Gleiches gilt für generelle Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Ereignisauswertung in Deutschland, zur Vermeidung von Ereignissen sowie zur Verbesserung des Standes der (Sicherheits-)Technik, die ebenfalls im Folgenden dargestellt werden. Im Hinblick auf die Verbesserung des Standes der (Sicherheits)-Technik wurden insbesondere auch die Möglichkeiten verbesserter technischer Maßnahmen (einschließlich geänderter Prozesstechnik) betrachtet, sofern es Hinweise in den Ereignisanalysen gab.

Als Ergebnisse aus den Ereignisanalysen wurde weiterhin festgestellt, dass:

- ▶ sich bei allen Ereignissen ein Regelungsdefizit abzeichnete, das sowohl die innerbetrieblichen Anweisungen und Unterlagen betrifft als auch die eindeutige Festlegung der Verantwortlichkeiten für Kontrollen von der Umsetzung von Auflagen, offenen Punkten, Empfehlungen etc.;
- ▶ sich bei einem Großteil der Ereignisse Defizite in der systematischen Risiko- oder Gefahrenanalyse zeigten, die sich sowohl im Faktor Entscheidungsfindung als auch im Faktor Auslegungsprinzipien widerspiegeln;
- ▶ häufig auch der Umgang mit Fremdfirmen unsystematisch, nicht ausreichend reguliert war und diese nicht ausreichend kontrolliert wurden;
- ▶ bei einem Teil der Ereignisse die Auslegung der Anlagen oder einzelner Systeme unzureichend war;
- ▶ sich in einem Teil der Ereignisse eine erhöhte Kontrolle durch Aufsichtsbehörden über Einhaltung von Anforderungen aus TRBS, TRGS, GefStoffV, BetrSichV als Verbesserungspotenzial herauskristallisierte.

4.2 Ergebnisdarstellung und Diskussion

Im Workshop wurden die folgenden Verbesserungsmöglichkeiten aus allen analysierten Ereignissen bestimmt:

- ▶ Betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit),
- ▶ Systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen (Auslegungsprinzipien, Entscheidungsfindung),
- ▶ Anlagenänderungen (Design), Management of Change,
- ▶ Verstärkte Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach),
- ▶ Direkte Unterweisungen von Fremdfirmen,
- ▶ Verantwortung des Betreibers fokussieren/festschreiben,
- ▶ Alterungsmanagement/Nachrüstung.

Die Ergebnisse der Ereignisanalysen sowie die identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten wurden auf der 30. Sitzung des AS-ER am 20.03.2019 vorgestellt und diskutiert, insbesondere die Problematik der Verantwortlichkeiten bei der Einbindung von Fremdfirmen. Das BMU regte an, Erkenntnisse mit anlagenübergreifender Bedeutung aus Ereignissen anhand konkreter Beispiele darzustellen.

Diese Anregung des BMU wurde aufgegriffen und für jede identifizierte Verbesserungsmöglichkeit wurden die in den Ereignissen identifizierten korrespondierenden Faktoren/Ursachen benannt, wie im folgenden Kapitel dargestellt ist.

5 Integration konkreter Beispiele in generalisierte Erkenntnisse

Auf Anregung des BMU bei der 30. Sitzung des AS-ER wurden den sieben Feldern für Verbesserungsmöglichkeiten die identifizierten beitragenden Faktoren/Ursachen aus den Ereignisanalysen zugeordnet.

5.1 Betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit)

Ereignis 1

1. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind nicht aktualisiert: Fehlende Verlängerung des Erlaubnisscheins für Arbeiten in KW 31 und 32.
2. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, Regel nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Übergabe und Inbetriebnahme von Neuanlagen, Instandsetzungen und Reparaturen.
3. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind nicht aktualisiert: R&I-Fließbilder sind nicht aktualisiert, Stand 2000.
4. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt: Es fehlen Vorgaben für die verbindliche und dokumentierte Prüfung vor Inbetriebnahme (s. Sicherheitsbericht 2011).

Ereignis 2

5. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt: Im Explosionsschutzdokument fehlen Angaben über Reparatur und Wartung.
6. Alarm und Gefahrenabwehrplan fehlt: Der vorliegende Plan hat ein Datum nach dem Unfall (war eine Genehmigungsaufgabe der Behörde).
7. Gefährdungsbeurteilungen fehlen: Nach § 6 der GefStoffV und TRGS 529 hätten Gefährdungsbeurteilungen erstellt werden müssen. Ebenso hätte nach TRBS 1112 «Explosionsgefährdungen bei und durch Instandsetzungsarbeiten» eine Beurteilung der Schutzmaßnahmen erfolgen müssen. Alle vorgelegten Gefährdungsbeurteilungen hatten ein Datum nach dem Unfall.
8. Betriebsanweisungen wurden nicht ausgehändigt/geschult.
9. Fehlende Freigaberegung: Arbeiten hätten freigegeben werden müssen.

Ereignis 3

10. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen: Freigabeverfahren für Heißarbeiten hat versagt.
11. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen: Keine Gefährdungsbeurteilung für die Durchführung der Arbeit.

Ereignis 4

12. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen: Das Sicherheitshandbuch enthält keine Arbeitsabläufe für das Stillsetzen, Reinigen und Prüfen von Anlagenteilen der Flusssäurelagerung, keine Arbeitsanweisungen. Sicherheitshandbuch ist Basis zur Einweisung und Unterweisung von Fremdfirmen.
13. Sicherheitsbericht Abschnitt III: Fehlende Behandlung der Bildung von Wasserstoff im Falle der Konzentrationsunterschreitung.

14. Sicherheitskonzept und Sicherheitsmanagement zu Kap. 4: kein deutlicher Verweis auf Arbeitsanweisungen, auf Freigaberegungen und darüber, wie die Kenntnis über das Vorliegen von Gefahren zu dem Freigabeerteilenden gelangt.

Ereignis 5

15. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind verbrannt: Keine Unterlagen zur Prüfung der elektrischen Anlagen vorhanden, so dass regelmäßige Prüfungen nicht nachweisbar sind.

Ereignis 8

16. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Keine geeigneten Vorgaben für Scale-Up.
17. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind unangemessen entwickelt: Produktionsvorschrift ist nicht geeignet
18. Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement: Keine geeigneten Vorgaben/Verfahren zum Erstellen von Produktionsvorschriften
19. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, Regel nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Vorgaben für eine Alarmierung und Ursachensuche bei Abweichungen von Soll-Werten fehlen.

Ereignis 10

20. In Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen wichtige Zusatzinformationen: Keine schriftliche Beauftragung zur Arbeit an einzelnen Kassetten.
21. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen sind missverständlich: Freigabe-, Arbeitserlaubnis-, Befahr- und Übergabeschein ist nicht eindeutig: Freigabeobjekt ist Tank 2; auszuführende Arbeiten: Reparatur Tankdachkassetten; das Freigabeobjekt ist gereinigt, ist entleert; Schutzmaßnahmen: funkenfreie und explosionsgeschützte Arbeitsmittel, zugelassen für Ex-Zone; Freigabe vom 18.05.2010.
22. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen fehlen: Arbeitsanweisung zur Präzisierung der sicherheitsrelevanten Arbeitsabläufe lag nicht vor.

Ereignis 11

23. Regeln, Prozeduren oder Arbeitsunterlagen fehlen (keine Regel, nicht vor Ort, Exemplar veraltet): Behälterunterlagen fehlen, kein aktuelles P&ID.
24. Wichtige Informationen wurden zu spät oder nicht verbreitet: Nur mündliche Information, keine Störmeldung oder MAXIMO-Eintrag.

Ereignis 12

25. A validation was lacking for the analysis to be performed.
26. The bypassing procedure wasn't clearly detailed regarding the role and responsibility of each actor.

5.2 Systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen (Auslegungsprinzipien, Entscheidungsfindung)

Ereignis 1

1. Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse oder Risikoanalyse für Anlage, Mensch und Umwelt, fehlende Betrachtung der Instandhaltung im Sicherheitsbericht - die mögliche Vermischung von TDI80 und Wasser aus dem Kühlmedium wurde bei der Bestellung

eines geschraubten Plattenwärmetauschers nicht betrachtet und damit mögliche Gegenmaßnahmen nicht getroffen.

2. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Fehlende Analyse des unzulässigen Druckanstiegs im Kälteaggregat.
3. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Fehlende Berücksichtigung der Möglichkeit, dass Kühlmittel in den TDI80-Lagertank eingedrungen sein könnte.

Ereignis 2

4. Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Der Verantwortliche unterschätzte das Risiko durch unqualifizierte Fremdfirmenmitarbeiter.

Ereignis 3

5. Abhängigkeiten und Auswirkungen nicht berücksichtigt: Absperrung war nicht gegen Fehlbedienung gesichert/verschlossen (LOTOTO-Prinzip).

Ereignis 4

6. Gefahrenanalyse im Sicherheitsbericht: Komplex der Wartungs-, Inspektions-, Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten wird nicht explizit beschrieben, keine Betriebs- und Arbeitsanweisungen. Verdünnung von Flusssäure wird nicht betrachtet, Entstehung von Wasserstoff unter 60% Konzentration wird nicht erwähnt.

Ereignis 6

7. Fehlende oder unzureichende Gefahren-/Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Kopplung wurde nicht erkannt, nicht normenkonforme Konzeption und Programmierung.

Ereignis 7

8. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Das Nachziehen einer Absperrarmatur am offenen System kann zu einer Vergrößerung der Leckage führen.
9. Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Fehlende Betrachtung, dass auch anderes Medium entweichen kann.

Ereignis 8

10. Fehlende oder unzureichende Gefahren-/Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Gefahren der Reaktion nicht erkannt.
11. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Kalorimetrie/Kinetik der Reaktion nicht bekannt.
12. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: kein Hinterfragen, ob Verfärbung andere Ursachen hatte.
13. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: spätestens jetzt hätte Verfärbung hinterfragt werden müssen.
14. Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Keine systematische Gefahrenanalyse.

Ereignis 10

15. Regeln, Prozeduren und Arbeitsunterlagen fehlen: Keine Gefährdungsbeurteilung für Lichtbogenschweißen.

16. Fehlende oder unzureichende Gefahrenanalyse und Risikoabschätzung für Anlage, Mensch und Umwelt: Kassette hätte vor Schweißen geöffnet werden müssen.

Ereignis 11

17. Unzureichendes Hinterfragen der Bedingungen/Anlagen-/Systemzustände: Suchte weder nach Ursachen noch informierte er über seine Verwunderung (Abblasen trotz geringem Druck).
18. Unzureichende sicherheitstechnische Bewertung: Abblasen von Sicherheitsventilen mit Vereisungen sollten hinterfragt werden.

Ereignis 13

19. Lack of a thorough and formalized material/process compatibility review.

Ereignis 14

20. An insufficient process risk analysis: The risk of ZDDP decomposition when stored for several days around 100°C had not been identified. The unit's analysis also paid insufficient attention to the risk of a massive mercaptan release.

5.3 Anlagenänderungen (Design), Management of Change

Ereignis 1

1. Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung: Kühlwassersystem wurde nicht bei der Behörde angezeigt. Nach §15 BImSchG wurde nur der 1:1 Austausch der TDI-Lagerbehälter angezeigt.
2. Sicherheitsfunktionen fehlen: Die doppelwandigen TDI-Lagerbehälter hatten keine Überfüllsicherung mehr, die Merkmal der vorherigen Behälter war.

Ereignis 8

3. Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: keine geeigneten Verfahren zur Festlegung der notwendigen MSR-/PLT-Einrichtungen.
4. Betriebsbedingungen entsprechen nicht der Auslegung: Erhöhter Kühlwassertemperatur wird keine Bedeutung beigemessen.
5. Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Sicherheitsventil von K20 nicht ausreichend dimensioniert.

Ereignis 11

6. Abweichung von ursprünglicher Auslegung: Keine Verbindungsleitung zur Produktion, entgegen der Betriebsanweisung konnte der Druckentlastungsregler bei Überdruck nicht öffnen, um Gas zu den Verbrauchern abführen zu lassen, weil kein Gasverbraucher angeschlossen war.
7. Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung.

Ereignis 14

8. organisation failed to decommission the stirrer and to realise it during several years.

5.4 Verstärkte Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach)

Ereignis 2

1. Fehlende Überprüfung/Kontrolle: Behebung der Mängel wurde nicht nachgewiesen/nicht kontrolliert.
2. verteilte Zuständigkeiten: Explosionsschutz bei Reparatur und Wartung sowie Betreiber-schulungen: Zuständigkeit BG.
3. späte Erstbesichtigung: 3 Jahre nach Inbetriebsetzung, trotz div. Mängel aus Prüfberich-ten (fehlende Ressourcen).

5.5 Direkte Unterweisungen von Fremdfirmen

Ereignis 1

1. Unzureichende Gefahrensensibilisierung: Es gab keine schriftlich dokumentierte stoffspe-zifische (TDI) Einweisung der Mitarbeiter der Fa. P durch die Fa. K.

Ereignis 2

2. Fehlende Unterweisung der Fremdfirma: Aufgrund der Beauftragung der Fremdfirma durch den Hersteller ging der Verantwortliche davon aus, dass ausreichend Fachkennt-nisse über die Gefahren vorhanden waren.

5.6 Verantwortung des Betreibers

Ereignis 1

1. Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung: Kühlwassersystem wurde nicht bei der Behörde angezeigt. Nach §15 BImSchG wurde nur der 1:1 Austausch der TDI-Lagerbehälter angezeigt.
2. Für wichtige Aufgaben fehlte eindeutige Zuständigkeitsregelung: Keine eindeutige Pro-jekt-/Bauleitung bestimmt.
3. Fehlende Überprüfung der Arbeitsergebnisse durch Vorgesetzte oder Mitarbeiter: Weder Obermonteur noch Mitarbeiter der Fa. K kontrollierten Anschlüsse.
4. Fehlende Überprüfung der Arbeiten durch Fa. K: Es gab kein Abnahmeprotokoll o.ä.
5. Fehlende Prüfung vor Inbetriebnahme: Nach BetrSichV § 10 (1) und StörfallV § 6 (1) hätte der TDI80-Wärmetauscher vor Inbetriebnahme geprüft werden müssen.
6. Zu wenig Erfahrung der Mitarbeiter (mangelnde Praxis): Produktionsleiter war erst 6 Monate in der Position, versuchte sich abzusichern, scheute, alleine die Entscheidung zu treffen.

Ereignis 2

7. Unzureichende Festlegung von Maßnahmen aus Reviews, Kontrollen, Bewertungen: Prüf-termin wird nicht verfolgt.
8. Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Der Verantwortliche hätte einweisen müs-sen.
9. Fehlende Überprüfung der Arbeiten durch Vorgesetzte oder Mitarbeiter (Peer Check): Fehlende zumindest stichprobenartige Kontrolle der Arbeiten der Fremdfirma.

Ereignis 3

10. Unzureichende Ausbildung der Mitarbeiter: Verständnis für System fehlte
11. Abweichungen von konzernweiten Regelungen: Arbeiten an gefahrstoffgefüllter Leitung.

12. Werte und Ziele des Unternehmens nicht immer ernst genommen oder glaubwürdig vertreten, Konzern lässt Standortvorgehen zu.

Ereignis 5

13. Keine Auslagerung der Betriebsdokumentation: relevante Dokumente müssen zumindest als Kopie an sicherem Ort gelagert werden.

Ereignis 7

14. Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: nur einfache Absperrung zum Prozess (single block).

Ereignis 8

15. Defizite im Sicherheitsmanagement: in Ausrichtung und Ausführung.
16. Nicht adäquate Bedeutungszuschreibung von Sicherheits- und Gesundheitsmanagement (HSE): Kein Bewusstsein für die Änderungen im Unternehmen und keine entsprechende Anpassung des SMS, vorher nur "einfache" chemische Tätigkeiten.
17. Keine klare Verantwortungsfestlegung und -übernahme: Kompetenzen für die Aufgaben im Unternehmen nicht klar.
18. Abweichung der Auslegung von Planung und Genehmigung: durchgeführte Reaktion außerhalb des angezeigten Umfangs.
19. Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Fehlende Überprüfung der Störleuchten.
20. Ungeeignete Instandhaltungsstrategie: Für die Kühlwasserversorgung fehlen Überwachung und Absicherung sowie tagesaktuelle Bedarfsplanung, Reserven, sicherheitsgerichtete Alarmer und ein Notkühlsystem.
21. Warnanlagen und Sicherheitsfunktionen fehlen: Keine Anzeige von Messwerten vor Ort und zentral, keine Aufzeichnung der Daten.
22. Nichteinhalten von Sicherheitsbestimmungen: Laborermittlungen wurden nicht ausreichend mit sicherheitstechnischen Kenngrößen ergänzt (TRAS 410).

Ereignis 10

23. Unzureichende Kontrollschritte bei Fa. P. bei der Überwachung der Sicherheitsmaßnahmen auf Wirksamkeit.
24. Unzureichende Zuteilung von Ressourcen (Personal, Geld, Zeit etc.) für die Erreichung der Ziele und für notwendige Verbesserungen: Fehlende Erneuerung/Ersetzen von PSA.

Ereignis 11

25. komplette Verantwortung für Behälter wurde auf Fa. P. übertragen.
26. Ungeeignete Instandhaltungsstrategie oder inadäquates Prüfmanagement: Vakuum und Druck wurden nicht geprüft.
27. Fehlende Verantwortung für die Kontrolle der Arbeiten von Fremdfirmen/Herstellern/Unterauftragnehmern: Arbeiten der Fa. P. wurden nicht geprüft/kontrolliert.
28. Zu langsame Umsetzung von Veränderungen/Verbesserungen (Bürokratisierung): erst 2015 soll Behälter abgeschafft werden.

Ereignis 12

29. Insufficient training: The operators are not sufficiently trained regarding process safety.

Ereignis 13

- 30. Protection against acid sprays had not been planned.
- 31. Installation of a water curtain had not been planned.
- 32. Emergency decompression procedure in case of acid-fed leakage had not been planned.

5.7 Alterungsmanagement/Nachrüstung

Ereignis 8

- 1. Versagen eines technischen Bauteils/einer technischen Komponente: Wahrscheinlich Überlastung des Kühlsystems, da nur 50% Leistung zur Verfügung, aber 4 Verbraucher angeschlossen.

Ereignis 9

- 2. Zu langsame Umsetzung von erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen: Leckabdichtung bleibt sechs Jahre temporär.

Um die Generalisierbarkeit der identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten zu validieren, wurden über die Anforderungen in der Leistungsbeschreibung hinausgehend alle Ereignisse aus der ZEMA-Datenbank der letzten 10 Jahre im Hinblick auf die genannten Verbesserungsmöglichkeiten untersucht. Wenn Ursachen oder Faktoren benannt wurden, die den in diesem Vorhaben identifizierten entsprachen oder wenn Abhilfemaßnahmen und Vorkehrung gegen Vermeidung, die den identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten ähnelten, wurden die jeweiligen Ereignisse ausgewählt. Es zeigte sich, dass die identifizierten Verbesserungsmöglichkeiten durch weitere Ereignisse belegt werden konnten, wie im Folgenden dargestellt ist.

Für den Verbesserungsvorschlag bezüglich betrieblicher Regeln fanden sich zehn weitere Ereignisse in der ZEMA-Datenbank, wie in Tabelle 15 dargestellt ist.

Tabelle 15: Ereignisse mit Faktor/Ursache Betriebliche Regeln

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	23.08.2018	Freisetzung eines Produktionsgemisches aus einem Reaktor in einem Chemieunternehmen	Schlierenbildung und lokaler Boil-over, Dosiergeschwindigkeit im Rezept nicht eindeutig	Sachschaden	
2	31.01.2008	Brand in einem Tanklager für Heizöl und Diesel	Kein aktuelles R&I	Sachschaden, ein Verletzter	
3	11.06.2009	Freisetzung von Schwefelwasserstoff in einem Tanklager	Verstopfung Pendelgasleitung, ungeeignete/fehlende Arbeitsanweisungen	Ein Verletzter	
4	17.07.2010	Freisetzung von C5-C6 n-Paraffin in einem Tanklager einer Raffinerie	Wasserschlag, betriebliche Regelungen		
5	19.03.2008	Bildung von Stickoxiden in einem Galvanikbetrieb	Schadhafte Pumpe (Wartung), Abstellen von verzinkten Gitterboxen in der Säuretaße	49 Mitarbeiter wurden beeinträchtigt und mussten 24 h im Krankenhaus wegen nitroser Gase beobachtet werden	Auch Risiko-/Gefahrenanalysen und Instandsetzung/Altenungsmanagement
6	05.11.2013	Explosion, Folgebrand und Stofffreisetzung an einem Abwassersammelbehälter in einem Tanklager	Heißarbeiten an einer Rohrbegleitheizung der Zuleitung zu einem unterirdischen Abwassersammelbehälter	2 verletzte Kontraktoren	organisatorische Regelungen zur Koordination und Kontrolle der Heißarbeiten wurden angepasst
7	16.04.2015	Freisetzung von Schwefeldioxid in einem Viskosehüllenbetrieb	Wasserzugabe in der nicht vollständig gereinigten Dosierstation	15 verletzte Mitarbeiter	Verfahrensablauf, Einhausung, Atemmasken

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
8	04.08.2015	Brand in einer Chemieanlage	Unsachgemäßes Umfüllen, fehlende Betriebs-/Arbeitsanweisung	Totalverlust	Bautechnischer Brandschutz, Umgang mit brennenden Gebinden
9	16.09.2015	Freisetzung von Vinylchlorid-Monomer (VCM) aus einem Rundown-Behälter einer VC;-Anlage	Unsachgemäße Rücksetzung einer Überbrückung, fehlende eindeutige und klare Regelungen		Training
10	23.20.2015	Verpuffung in einer Aluminothermie	Schmelzrezeptur, Schmelzanweisungen		

Für die Verbesserungsmöglichkeit „Risiko- und Gefahrenanalysen“ konnten in der ZEMA-Datenbank 22 weitere Ereignisse identifiziert werden, die in der Tabelle 16 aufgeführt werden.

Tabelle 16: Ereignisse mit Faktor/Ursache Risiko-/Gefahrenanalysen

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	30.11.2017	Verpuffung, Folgebrand und Stofffreisetzung an einem Fermenter einer Biogasanlage	Unsachgemäße Reparaturarbeiten, fehlende Gefährdungsbeurteilung, Einweisung,	ein Verletzter	
2	16.03.2018	Freisetzung von Klärgas in einem Klärwerk	Ansprechpunkt für Notfackel und Überdrucksicherung lagen zu dicht beieinander		
3	21.08.2018	Freisetzung von Schwefelwasserstoff und Cyanwasserstoff ⁸ in einem Sonderabfallzwischenlager	Havariertes Fass, keine Gaswarngeräte	2 Tote, 2 Verletzte, 15 verletzte Rettungskräfte	

⁸ Nach einem neu veröffentlichten Bericht ist kein Cyanwasserstoff freigesetzt worden: https://sgdsued.rlp.de/fileadmin/sgdsued/News_Dokumente-Bilder/Hessheim_Sachstandsbericht_04-05-2020.pdf

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
4	24.01.2019	Brand und Verpuffung von Pro- pen in einem Gasabfüllraum einer Mineralölraffinerie	Gefährdungspotenzial der Tätigkeit unterschätzt	3 Verletzte/Sachschaden	
5	10.08.2017	Explosion, Brand und Stofffrei- setzung an einer Laugenwäsche einer Acetylenanlage	Schlagenergie beim Öffnen des Rück- haltebeckels der Kolonnenschüttung	Sachschaden	Reinigungsprozess wird abgesi- chert durch Erhöhung der Lau- genkonzentration, Stickstoff bis zum Ausräumen der Füllkörper, Dämpfen der Kolonne mit Nie- derdruckdampf und Fluten mit Wasser für mind. 2 Tage
6	25.08.2016	Freisetzung von Chlorwasserstoff in einem Technikum	Rückhaltesystem war nicht ausrei- chend dimensioniert		
7	16.01.2008	Freisetzung von Kerosin in einem Tanklager	Überlaufen der Auffangwanne und Rückstau in Leitung wegen unzu- reichender HAZOP	Sach- und Umweltschäden	
8	17.03.2008	Stofffreisetzung, Brand und Ex- plosion in einem Tanklager	Prüfung, Gefahrenanalyse,	Sachschaden, Umweltscha- den, drei Verletzte (Bevölke- rung)	
9	24.04.2008	Freisetzung von Propylen an einer Gasreinigung einer chemischen Anlage	Defektes Handventil, einfache Ab- sperrarmaturen	Sachschaden	
10	25.08.2008	Freisetzung von leichtentzündli- chen Flüssigkeiten in einer Kunst- harzanlage	Überdruck, fehlendes Schutzkonzept Ausrüstung Druckbehälter	Ein Verletzter, 9 verletzte Ein- satzkräfte, 45 verletzte Bevöl- kerung, Sachschaden	
11	19.03.2010	Freisetzung von Dibenzyltoluol aus einer Kunstharzanlage	Korrosion der Wärmetauscher durch Chloridgehalt im Kühlwasser, Risiko- analyse	Sachschaden	Ähnlicher Fall in 2005

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
12	03.09.2010	Freisetzung von nitrosen Gasen in einer Edelstahl-Beisanlage	Bedienfehler, fehlende Begrenzung der Zugabemenge, Überarbeitung der HAZOP	Sachschaden	
13	16.11.2010	Verpuffung mit Folgebrand in einer chemischen Anlage	Neues Verfahren, geringe Kenntnis der Stoff-/Gemischeigenschaften	Sachschaden	
14	04.04.2016	Freisetzung von Propan in einem Flüssiggaslager	Unsachgemäße Montage, fehlende Sicherheitseinrichtungen, gleichzeitige Entleerung von 3 Behältern		Auch betriebliche Regeln
15	20.06.2013	Brand von Labor-Rückstellmuster in einem Lager	Selbstentzündung aufgrund von ungeeigneten Rückstellprobenbehältern (nicht dicht) und ungeeignetem Lagerort (oberste Regalreihe, Hitzestau unter dem Dach)		
16	30.10.2013	Freisetzung von Kerosin aus einem Tank in einem Tanklager	Loch im einwandigen Tankboden	Boden-/Grundwasser-verunreinigung	Ab 30.10.2013 Hinweise auf Produktverlust aus Tank, Reinigung des Tanks am 11.11.2013
17	06.04.2014	Freisetzung von n-Pentan an einem Kesselwagen in einer Verladestelle	Losfahren der unbewachten Lok und Verschieben der Kesselwagen, Schlauchabriss	Umweltschäden	Fehlende Sicherheitseinrichtungen (Nottrennkupplung) Fernbedienung ohne Wachsamkeitskontrolle, organisatorisch-technische Maßnahmen zur Risikominimierung
18	02.03.2015	Stofffreisetzung an einer Vakuumgasölhydrierung einer Raffinerie	Leckage einer Rohrleitung aufgrund von Korrosion	Sachschäden, Umweltverschmutzung	Neubewertung des Rohrleitungsdesigns, Durchführung einer Strömungsanalyse, Neubewertung früherer Schadensbilder, Training zum Thema Korrosionsmechanismen in Raffinerien

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
19	30.03.2015	Verpuffung in einem Rohbenzin-Tank eines Tanklagers	Unzureichende Betrachtung der Risiken bei der Außerbetriebnahme des Tanks	Sachschäden	Auch betriebliche Regeln
20	10.05.2015	Brand und Stofffreisetzung in einer Olefinanlage	Leckage am Wärmetauscher	Umweltschäden	Aktualisierung der Sicherheitsbetrachtung und Erweiterung der Gefahrenanalyse auf Quenchöl- und Prozessdampfsystem
21	12.05.2015	Verpuffung in der Unterfeuerung einer Koksofenbatterie in einem Hüttenwerk	Bruch eines Gestänges, Gefahrenanalyse	Sachschäden	
22	21.07.2015	Verpuffung in einem Dünnsäuresammelbehälter in einer Chemieanlage	Verschleppung von Wasserstoff wegen Umfahrung einer Kolonne	Sachschaden	Überarbeitung Verrohrung, Wasserstoffmessung, Optimierung der Stickstoffdurchflussmessung, Behälteranstrich (UV-Schutz), Schulung, Überarbeitung Betriebshandbuch, Überprüfung HAZOP

Für die identifizierte Verbesserungsmöglichkeit „Anlagenänderung (Design), Management of Change konnten acht weitere Ereignisse in der ZEMA-Datenbank gefunden werden, die in Tabelle 17 gezeigt werden.

Tabelle 17: Ereignisse mit Faktor/Ursache Anlagenänderung (Design), Management of Change

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	08.03.2019	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch Überlaufen eines Gärrestlagers in eine Gasleitung	Demontage Schwanenhals nach Beschädigung bei Reparaturarbeiten (Anlagenänderung)	Sachschaden/ungewollte Außerbetriebnahme Überfüllsicherung	Schaltschwelle Überfüllsicherung lag oberhalb des demonitierten Schwanenhalses
2	14.06.2016	Freisetzung von Biogas an einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	Fehlerhafte Anlagenkomponenten: Kalibrierung des Gasfüllstandsensors, Über-/Unterdrucksicherung, elektrische Sensoren für Gasdruck	Sachschaden	Mängel aus §29a Prüfung wurden nicht beseitigt, Anlagenänderung nach Prüfung, Arbeiten von Fremdfirmen
3	29.06.2017	Freisetzung von Methan nach Stromausfall in einem Gaswerk	Kurzschluss ausgelöst durch Nagetier, Notstromversorgung funktionierte nach Anlagenänderung nicht einwandfrei		
4	23.07.2010	Chlorfreisetzung in einem Chemiehandelsunternehmen	Pumpentausch, mobile Pumpe ,mit geringerer Leistung	Sachschaden	
5	01.12.2014	Explosion und Stofffreisetzung in den Produktionsanlagen einer Chemiefabrik	Durchgehen einer chemischen Reaktion, verursacht durch Fehlhandlungen	1 Toter, 4 verletzte Mitarbeiter, Umweltschäden, Sachschäden in der Umgebung	Anpassung betrieblicher Regelungen, Laborversuch wurde ohne ausreichende Gefahrenanalyse auf Produktion übertragen
6	18.11.2015	Freisetzung von Rohöl an einer Umpumpleitung in einem Tanklager	Innenkorrosion eines toten Rohrleitungssastes, an den ein zweiter Tank angebaut werden sollte, was nicht geschehen ist.	Umweltschäden	
7	06.03.2012	Freisetzung eines umweltgefährlichen Stoffes in einen Fluss aus	Durch Programmänderung des PLS wurde Kugelhahn in OFFEN-Stellung gehalten	4 Verletzte, Umweltschäden	

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
8	01.02.2012	Freisetzung von Kerosin an einem Lagertank	Unterschiedliche Korrosionsschutzsysteme (KKS und LKS) führten zu Leckagen	Umweltschäden	

Für die Verbesserungsmöglichkeit „Verantwortung des Betreibers“ konnten in der ZEMA-Datenbank keine Beispiele gefunden werden. Dies ist auch damit zu begründen, dass die fehlende Verantwortungsübernahme eines Betreibers nur aus vertieften Analysen herauskristallisiert werden kann, nicht aus einfachen Ereignisberichten.

Für das identifizierte Feld „Alterungsmanagement, Nachrüstung, Instandsetzung“ konnten 22 Beispielsfälle in der ZEMA-Datenbank gefunden werden. Diese sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Ereignisse mit Faktor/Ursache Alterungsmanagement, Nachrüstung, Instandsetzung

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	01.07.2019	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch eine Windböe	Riss in der Wetterschutzmembran des Glasdachs am 12.06. nach Sturm, Verfangen einer Windböe in Riss (vor Reparatur)	Sachschaden	
2	30.11.2017	Verpuffung, Folgebrand und Stofffreisetzung an einem Fermenter einer Biogasanlage	Unsachgemäße Reparaturarbeiten, fehlende Gefährdungsbeurteilung, Einweisung,	ein Verletzter	
3	18.07.2017	Brand an einem Nachgärer einer Biogasanlage	Unsachgemäße Reparaturarbeiten	Sachschaden	
4	20.06.2017	Freisetzung von Methan an einem Gärrestlager einer Biogasanlage	Druckanstieg von 0,5 auf 3,9 bar, weil produziertes Gas nicht ausgeschleust werden konnte wegen Arbeiten an der Stromversorgung	Sachschaden	Analoges Ereignis am 24.02.2017

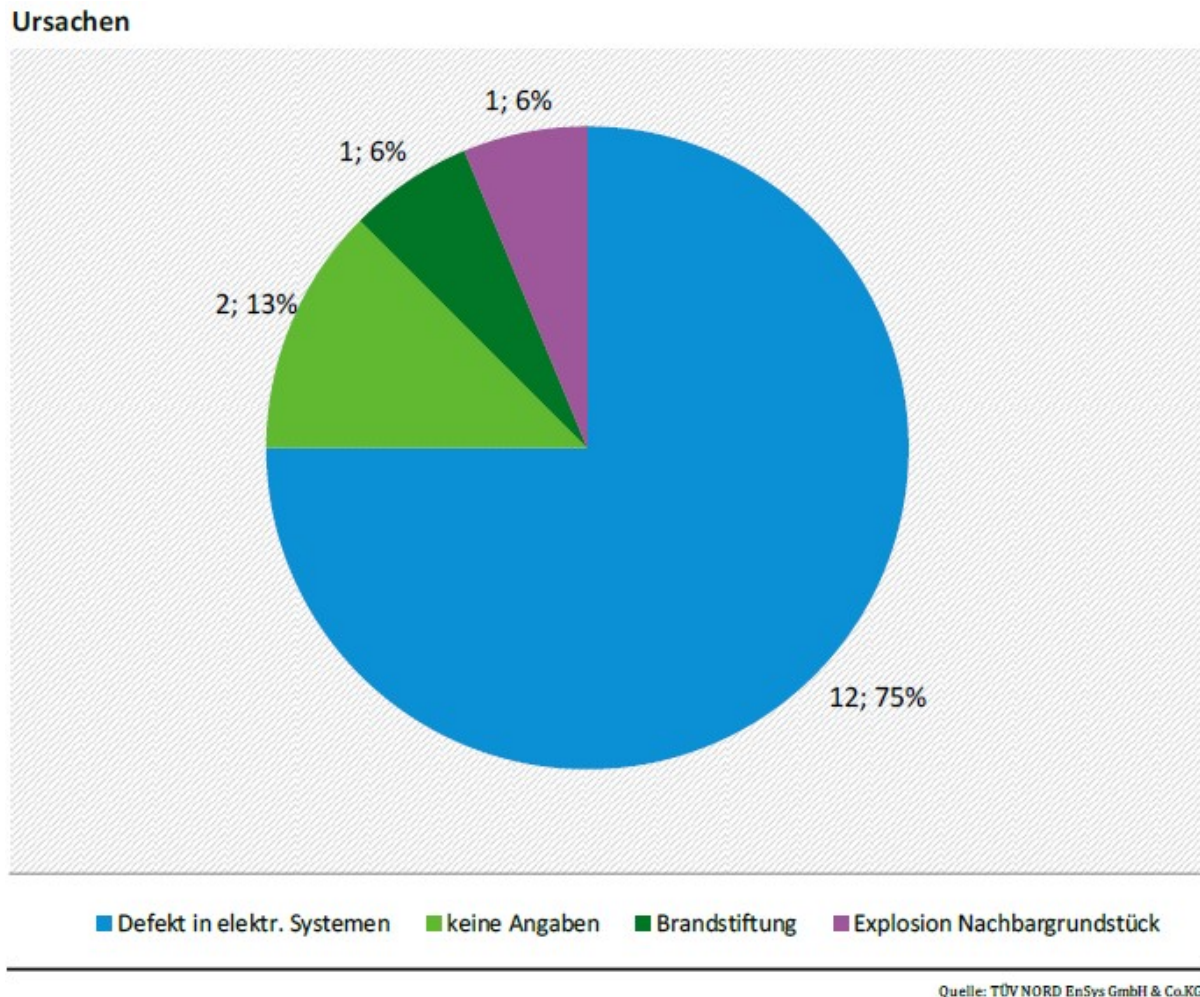
Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
5	10.08.2018	Freisetzung von Restgas an einer Restgasleitung in einer Anlage zur Herstellung von Ruß	Korrosion	Sachschaden	
6	07.06.2016	Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	Fremdfirmenarbeiten, nicht geeignete Arbeitsmittel in Ex-Zone	Sachschäden/zwei Verletzte	
7	22.08.208	Freisetzung von Schwefelverbindungen an einem Reaktionsofen einer Schwefelkohlenstoff-Anlage	Korrosion durch Sulfidierung, Messverfahren für Wanddickenmessung führt zu Fehlinterpretationen	Sachschaden/Geruchsbelästigung	1993 ähnliches Ereignis
8	25.09.2018	Brand in einer Rohöldestillation einer Raffinerie	Wartungsarbeiten an einer Pumpe	Sachschaden	
9	14.03.2019	Freisetzung von Wasserstoff und Folgebrand an einer Entlastungsleitung einer Wasserstoffkompression	Undichte Armatur, Revisionszeitraum Ventile		
10	16.05.2019	Freisetzung einer Zinksulfat-Rohlösung in einem Zinksulfat-Betrieb	Nicht vollständig schließendes Handventil am Behälter, Paletten auf Kanaleinlauf abgestellt	Sachschäden, zinkbelastetes Abwasser in Kanalisation	
11	13.06.2017	Stromausfall in einer Kraftwerksanlage eines Chemieunternehmens	Unvollständiger Rückbau ließ Stromwandlerkreise offen, so dass Prüfsignal Schutzeinrichtungen auslöste		
12	09.08.2016	Freisetzung von Schwefeldioxid in einer Anlage zur Erzeugung und Herstellung von Zellstoff und Papier	Nicht vollständig geschlossenes Entleerungsventil nach Instandsetzungsarbeiten		

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
13	12.08.2008	Oleumaustritt in einer Schwefelsäureanlage	Rohrleitungsleckage wegen seltenem Betrieb, Beschädigung Isoliermaterial	Sachschaden ein Verletzter	
14	27.02.2013	Freisetzung von Oleum an einem Wärmetauscher in einem Säuretanklager	Korrosion wegen zu kleiner Prallplatte und Bildung von Schwefelsäure (unlegierter Stahl)		Wichtig für Auslegung und Design von Wärmetauschern mit gefährlichen Inhaltsstoffen
15	24.04.2013	Freisetzung von Ortho-Dichlorbenzol (ODB) in einer Anlage zur Herstellung von Toluylendiisocyanat	Versagen von Befestigungsschrauben und Abriss einer Deckelplatte einer Handarmatur wegen Korrosion		
16	03.05.2013	Brand in einer Feststoffhalle einer Abfallentsorgungsanlage	Löschwasser konnte nicht in Kanalisation der Anlage und Löschwasserbecken fließen, da Kanalisation zugesetzt war	Umweltschäden	Regelmäßige Reinigung der Rinnen und Bodenabläufe notwendig
17	09.01.2014	Brand eines Toluoltanks in einem Tanklager	Falsche Beschilderung am Löschwasserverteiler (Vertauschung bei früheren Instandhaltungsarbeiten), unbeabsichtigte Auslösung des Löschsystems im Toluoltank bei Funktionstest	Ca. 2 Mio. Umweltschäden, Sachschäden in der Umgebung	Schlauchentfaltung (nicht leitendes Kunststoffgewebe) im Tankführte zu elektrostatischer Aufladung und Zündung, Information des Herstellers des Semi-Subsurface-Löschsystems
18	21.05.2014	Freisetzung von Rohöl an einer Rohrleitung in einem Tanklager	Korrosion an stillgelegter druckloser Leitung außerhalb Tanktasse	Kontamination eines Ablaufgrabens und der Uferböschung (ca. 1000l Rohöl)	Rückbau nicht genutzter Rohrleitungen, Automatisierung Havarieschieber
19	30.01.2015	Freisetzung von Chlorwasserstoff in einer Anlage zur Herstellung von Vinylchlorid	Menschlicher Fehler, undichter Flansch		Änderung des Arbeitserlaubnisverfahrens (Qualifikation, Arbeitsbeschreibung, Markierung der Eingreifstelle)

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
20	12.05.2015	Freisetzung von Acetonitril aus einer Chemiewasser-Kanalisation einer Chemieanlage	Lochbildung begünstigt durch fehlende Inspektion aufgrund Betreiberwechsel und nicht eindeutigen Inspektionsmaßnahmen	Kontamination des Grundwassers	
21	29.07.2015	Kerosinfreisetzung in einem Tanklager	Leckage aufgrund Beschädigungen der Dichtfläche der Konstantöler-Verschraubung und lockerer Verschraubung	Umweltschäden	Aufnahme Verschraubung in Wartungsplan, Unterweisung Werkstattmitarbeiter
22	14.10.2014	Freisetzung von Wasserstoff an einer Hydrierung	Wartungsfehler		

Sowohl bei den vertieften Analysen als auch bei der Analyse der ZEMA-Datenbank fiel auf, dass es neben den oben genannten Schwachstellen bzw. Verbesserungsmöglichkeit eine Reihe von Ereignissen gab, die vergleichbare Ursachen hatten. Aus diesen Ereignissen wurde offensichtlich nicht gelernt, so dass eine weitere Verbesserungsmöglichkeit nämlich Erfahrungsrückfluss identifiziert wurde. Dies wird an zwei Beispielen verdeutlicht: Brände in Galvaniken und Ereignisse in Biogasanlagen. In Abbildung 35 werden die Ursachen für Brände in Galvaniken dargestellt.

Abbildung 35: Ursachen für Brände in Galvaniken



Wie Abbildung 35 zeigt, sind 75% der Ursachen technische Defekte an elektrischen Einrichtungen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden die Ereignisse ebenfalls in Tabellenform gelistet. Dies ist in der Tabelle 19 dargestellt.

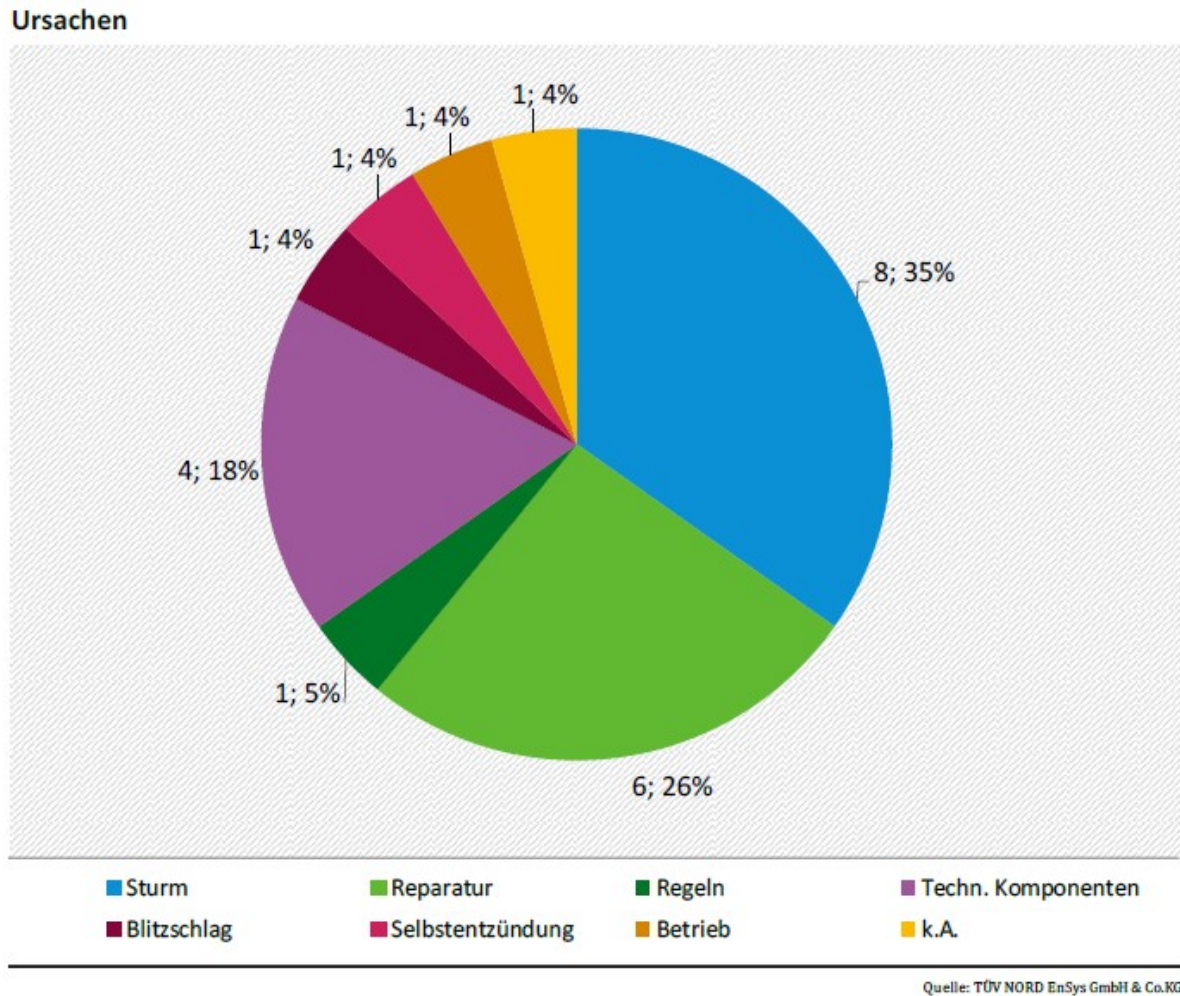
Tabelle 19: Brandereignisse in Galvaniken

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	03.10.2018	Brand in einem Galvanikbetrieb	Umwälzpumpe gerät in Brand	Sachschäden	
2	23.09.2018	Brand in einem Galvanikbetrieb	Nicht eindeutig zu ermitteln	Sachschäden/18 verletzte Einsatzkräfte	Komplettzerstörung, Evakuierung wg. Rauchgasen
3	11.08.2018	Brand in einer Anlage zur Oberflächenbehandlung	k. A.	Sachschaden (Totalschaden), Stofffreisetzung in Gewässer	
4	03.11.2017	Brand in einem Galvanikbetrieb	Technischer Defekt	Sachschaden	Thermisch bedingte Abschaltung zu spät
5	08.06.2017	Brand in einer Anlage zur Oberflächenbehandlung	Defekt in einer Steckdose	Sachschaden	Neuinstallierte Brandmeldeanlage befand sich im Revisionsbetrieb, detektierte Brand aber meldete ihn nicht, bereits 2016 Brand in Schaltschrank wegen Blitzeinschlag
6	20.03.2016	Brand in einem Galvanikbetrieb	Verteilerkasten geriet wg. fehlerhaften Kontakt in Brand	Sachschäden	405m ³ Löschwasser in Kanalisation (Sammlung in Regenüberlaufbecken)
7	09.07.2015	Brand und Stofffreisetzung in einer Galvanikanlage	Mechanischer oder technischer Defekt bei Abluftwäscher, Dachkonstruktion und Hallenverkleidung brannte	Sachschäden, Boden- und Grundwasserkontamination	Überfüllung durch Löschwasser
8	13.04.2015	Brand in einer Anlage zur Oberflächenbehandlung	Fahrlässige Brandstiftung	Sachschaden (Totalschaden), Umweltschäden durch kontaminiertes Löschwasser	
9	25.11.2014	Brand in einer Galvanik	Techn. Defekt einer elektrischen Beheizung	Sachschaden	

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
10	19.08.2012	Brand und Elektrolytfreisetzung in einer Galvanik	Vermutlich Kabelbrand oder Überhitzung der Kontakte am Bad	Sachschaden	
11	22.07.2009	Brand in einer Galvanik	Explosion auf dem Nachbargelände	Sachschaden, teilweises Auslaufen der Bäder, Kontamination Löschwasser, Boden	
12	11.07.2009	Stofffreisetzung und Brand in einer Galvanik	Heißgelaufene Pumpe entzündete PVC-Abdeckung	Sachschaden	
13	12.05.2009	Brand in einer Galvanik	Wärmestau durch Erhitzung eines Starkstromkabels in schlecht belüfteten Kabelkanal	Sachschaden	
14	28.03.2008	Brand in einem Galvanikbetrieb	Techn. Defekt	Sachschaden	
15	06.11.2008	Brand eines Niederspannungsschalt-schranks im Betriebsbereich einer Galvanik	Techn. Defekt in einem Niederspannungsschalt-schranks	Sachschaden	
16	12.02.2003	Brand in einer Galvanikanlage	Kurzschluss einer Elektrolysezelle	Sachschaden	

Nicht ganz so deutlich zeigt sich der fehlende Erfahrungsrückfluss bei den Biogasanlagen. Hier wurden die Ereignisse aus der ZEMA-Datenbank ebenfalls nach Ursachen kategorisiert, wie in Abbildung 36 dargestellt ist.

Abbildung 36: Ursachen bei Ereignissen in Biogasanlagen



Hier fallen besonders zwei Kategorien auf: Sturmschäden, die in der Regel zum Reißen der Folie/des Dachs führen und Reparaturmaßnahmen, die nicht sachgerecht durchgeführt wurden. In der Tabelle 20 werden zur Nachvollziehbarkeit die einzelnen Ereignisse zusammengefasst.

Tabelle 20: Ereignisse in Biogasanlagen

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
1	14.01.2019	Freisetzung von Methan an einem Gärrestelager einer Biogasanlage	Sturm und Wasseransammlungen am Folienrand	Sachschaden	
2	08.03.2019	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch Überlaufen eines Gärrestlagers in eine Gasleitung	Demontage Schwanenhals nach Beschädigung bei Reparaturarbeiten (Anlagenänderung)	Sachschaden/ungewollte Außerbetriebnahme Überfüllsicherung	Schaltschwelle Überfüllsicherung lag oberhalb des demontierten Schwanenhalses
3	03.04.2019	Freisetzung von Schwefelwasserstoff aus einer Biogasanlage	Dickschlammanreicherung, fehlende techn. Vorkehrungen, Betriebsanweisungen	Ein Verletzter	Scheinbar fehlt eine Gefährdungsbeurteilung für die Abfüllung
4	01.07.2019	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch eine Windböe	Riss in der Wetterschutzmembran des Glasdachs am 12.06. nach Sturm, Verfangen einer Windböe in Riss (vor Reparatur)	Sachschaden	
5	15.07.2018	Brand an einem Fermenter einer Biogasanlage durch Blitzschlag	Blitzeinschlag	Sachschaden	
6	18.01.2018	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch Sturmböen	Sturm zerriss das Foliendach	Sachschaden	
7	30.11.2017	Verpuffung, Folgebrand und Stofffreisetzung an einem Fermenter einer Biogasanlage	Unsachgemäße Reparaturarbeiten, fehlende Gefährdungsbeurteilung, Einweisung,	ein Verletzter	
8	29.10.2017	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage durch starke Orkanböen	Ablösen des kompletten Dachs durch Orkanböen	Sachschaden	
9	05.10.2017	Freisetzung von Biogas in einer Biogasanlage	Zerreißen von zwei Tragluftdächern und Gasmembran bei Orkanböen	Sachschaden	
10	18.07.2017	Brand an einem Nachgärer einer Biogasanlage	Unsachgemäße Reparaturarbeiten	Sachschaden	

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
11	20.06.2017	Freisetzung von Methan an einem Gärrestlager einer Biogasanlage	Druckanstieg von 0,5 auf 3,9 bar, weil produziertes Gas nicht ausgeschleust werden konnte wegen Arbeiten an der Stromversorgung	Sachschaden	Analoges Ereignis am 24.02.2017
12	24.02.2017	Freisetzung von Biogas an einem Gärrestlager einer Biogasanlage	Reißen des Dachs aufgrund von Sturm wegen geringen Gasdrucks	Sachschaden	
13	31.07.2016	Brand in einer Düngermittelhalle einer Biogasanlage	Selbstentzündung der Gärreste	Sachschaden	
14	14.06.2016	Freisetzung von Biogas an einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	Fehlerhafte Anlagenkomponenten: Kalibrierung des Gasfüllstandsensors, Über-/Unterdrucksicherung, elektrische Sensoren für Gasdruck	Sachschaden	Mängel aus §29a Prüfung wurden nicht beseitigt, Anlagenänderung nach Prüfung, Arbeiten von Fremdfirmen
15	10.06.2016	Freisetzung von Biogas und Gärsubstrat in einer Biogasanlage	Starke Schaumbildung und Druckanstieg führten zu Reißen der Folienabdeckung wegen fehlerhaftem Betreiben der Anlage	Sach- und Umweltschäden	
16	07.06.2016	Verpuffung mit Folgebrand in einem Gärproduktlager einer Biogasanlage	Fremdfirmenarbeiten, nicht geeignete Arbeitsmittel in Ex-Zone	Sachschäden/zwei Verletzte	
17	19.03.2015	Verpuffung an einem Fermenter einer Biogasanlage	Elektrostatische Aufladung des Wetterdachs (Reparaturarbeiten)	Sachschaden/ein Verletzter	
18	16.09.2014	Brand an einer Biogasanlage	Techn. Defekt im Schaltschrank	Sachschaden	
19	29.11.2013	Freisetzung eines Silagesickersaft-Wasser-Gemisches an einer Drainageleitung einer Biogasanlage	Nicht angegeben	Umweltschaden	

Nr.	Ereignisdatum	Titel	Ursache	Folgen	Bemerkungen
20	14.11.2013	Freisetzung eines Silagesickersaft-Wasser-Gemisches aus einem Sickersaftbehälter einer Biogasanlage	Ausfall der Sickersaftpumpe, Überlaufen des unterirdischen Behälters	Umweltschäden	
21	30.06.2012	Beschädigung einer Wetterschutzfolie an einer Biogasanlage	Wegen Sturm riss Wetterschutzfolie	Sachschaden	
22	07.02.2012	Freisetzung von Biogas an einem Fermenter in einer Biogasanlage	Abreißen des Klemmschlauchs	Sachschaden	
23	10.03.2019	Freisetzung von Schwachgas in einer Biogasanlage durch einen Sturm	Sturm beschädigte Membransysteme der Behälterabdeckung	Sachschaden	

Die Ergebnisse der zusätzlichen Analysen wurden auf der 31. Sitzung des AS-ER am 18.09.2019 vorgestellt. Die Liste der Verbesserungsmöglichkeiten wurde um Erfahrungsrückfluss ergänzt und neu strukturiert:

- ▶ Regelwerksergänzungen:
 - Ggf. Ergänzungen im Regelwerk zu verstärkter Aufsicht/Sanktionen bei Abweichungen (graded approach)
 - Ergänzungen im Regelwerk zu Einweisungen/Unterweisungen von Fremdfirmen
 - Ggf. stärkere Betonung im Regelwerk zu Verantwortung des Betreibers
 - Ggf. Ergänzungen im Regelwerk zum Alterungsmanagement/Nachrüstung
- ▶ Forderung von systematischen und strukturierten Risiko-/Gefahrenanalysen
- ▶ Anlagenänderungen (Design), Management of Change (Berücksichtigung AS-ER-Leitfaden)
- ▶ Vorgaben zu Betrieblichen Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit)
- ▶ Implementieren eines Systems zum Lernen aus Betriebserfahrung

In der Diskussion mit dem AS-ER wurden deutlich, dass die zusätzlichen Analysen weitere Erkenntnisse geliefert haben, die auch in Übereinstimmung mit den Erfahrungsberichten der §29a Sachverständigen stehen.

Es wurden besonders die folgenden Punkte diskutiert:

- ▶ Regelwerksergänzungen,
- ▶ Umsetzung des Regelwerks,
- ▶ Aufsicht und
- ▶ Lernen aus Betriebserfahrung.

Zu den Regelwerksergänzungen wurde vor allem angemerkt, dass neben notwendigen Ergänzungen wie beispielsweise beim Alterungsmanagement vor allem eine bessere Strukturierung und konsequente Umsetzung der Regelwerksanforderungen notwendig wären. Es wurde auch diskutiert, ob es einen Unterschied zwischen großen, mittleren und kleinen Unternehmen hinsichtlich der Umsetzung von Regelwerksanforderungen gibt. Allerdings kann diese Untersuchung nicht nur anhand der ZEMA-Daten durchgeführt werden, da es dort keine Angaben zur Unternehmensgröße gibt. Zusätzlich war diese Art der Untersuchungen nicht im Rahmen/Umfang des vorliegenden Forschungsvorhabens enthalten. Gegebenenfalls wäre dies ein Thema für ein nachfolgendes Projekt, das auch mit der möglichen Umsetzungsproblematik verbunden werden könnte. Warum werden Regelwerksanforderungen nicht konsequent umgesetzt, gibt es Unterschiede bezüglich der Unternehmensgröße oder Branche und wie kann die Umsetzung gefördert werden?

Zur Aufsicht (graded approach) wurde über das dreistufige Prüfsystem berichtet, bei dem Mängel in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Gefährliche Mängel, die sofort abgestellt werden müssen,

2. Schwere Mängel, die eine Nachprüfung erfordern,
3. Mängel, die bis zur nächsten Prüfung zu beheben sind.

Es wäre zu prüfen, ob ein vergleichbarer dreistufiger Ansatz für die Aufsicht übertragen werden kann.

Für das industrieweite Lernen aus Betriebserfahrung wurde um eine Skizze oder ein Konzept gebeten. In Anlehnung an die Weiterleitungsnachrichten in der Kerntechnik wurde ein mögliches Vorgehen vom Forschungsnehmer skizziert.

Aufgrund der Diskussion im AS-ER wurden die Maßnahmenvorschläge nochmals umstrukturiert und werden im nächsten Kapitel beschrieben.

6 Schlussfolgerungen und Maßnahmenvorschläge

Insgesamt hat das vorliegende Vorhaben aufgezeigt, dass bei der systematischen und vertieften Analyse der Ereignisse grundsätzliche Schwachstellen identifiziert werden konnten. Die zusätzlichen Analysen haben die Ergebnisse des Vorhabens validiert. Generalisierbare Schwachstellen sind vor allem:

- ▶ Unzureichende betriebliche Regeln (Vollständigkeit, Aktualität, Korrektheit),
- ▶ Unzureichende systematische und strukturierte Risiko-/Gefahrenanalysen,
- ▶ Fehler bei Anlagenänderungen (Design), Management of Change,
- ▶ Nicht ausreichend verstärkte Aufsicht und fehlende Sanktionen bei Abweichungen (graded approach),
- ▶ Lücken bei der direkten Einweisung/Unterweisungen von Fremdfirmen,
- ▶ Unzureichende Verantwortungsübernahme des Betreibers für Erfüllung der Regelwerksanforderungen,
- ▶ Unzureichendes Alterungsmanagement/fehlende Nachrüstungen und
- ▶ Unzureichendes industrieweites Lernen aus Betriebserfahrungen.

Daher werden die folgenden Maßnahmenvorschläge zu Erhöhung der Anlagensicherheit abgeleitet:

1. Es sollten Regelwerksergänzungen zu den folgenden Themen geprüft und umgesetzt werden:
 - a. Wie kann die Aufsicht verstärkt werden, gibt es Möglichkeiten der Übertragung eines dreistufigen Prüfkonzpts für die Aufsicht und wie können Regelwerks-abweichungen konsequent und zeitnah sanktioniert werden?
 - b. Das Regelwerk sollte Anforderungen zu Einweisungen/Unterweisungen von Fremdfirmen mit Angaben zu notwendiger Tiefe und Breite der Einweisung (Gefährdungen, betriebliches Regelwerk) sowie Teilnahmepflichten (Einweisung aller Fremdfirmenmitarbeiter, nicht nur der Vorarbeitende) enthalten.⁹
 - c. Strukturierte Darstellung im Regelwerk zur Verantwortung des Betreibers und Folgen für die fehlende Verantwortungsübernahme
 - d. Alterungsmanagement und notwendige Nachrüstungen, bei denen Anforderungen an Prüfumfänge, -intervalle und Anpassungen an den Stand der Technik vorgesehen werden
 - e. Der Mindestumfang des notwendigen betrieblichen Regelwerks mit Zeiträumen der notwendigen Revision, mit Anforderungen an Prüfpflicht oder Zustimmungspflicht sollte benannt werden.
2. Zur notwendigen Umsetzung von Regelwerksanforderungen sollte ggf. in einem aufzulegenden Vorhaben geprüft werden, warum Regelwerksanforderungen nicht konsequent umgesetzt werden, ob es Unterschiede bezüglich der Unternehmensgröße oder Branche gibt und wie die Umsetzung gefördert werden kann?

⁹ In der 32. Sitzung des AS-ER konnte über diesen Punkt keine Einigkeit erzielt werden, da dies von einigen Mitgliedern als Umsetzungsproblem angesehen wurde.

3. Die Forderung von systematischen und strukturierten Risiko-/Gefahrenanalysen nicht nur bei Genehmigungen von Anlagen, sondern auch bei Anlagenänderungen oder Änderungen des Betriebsablaufs sollte konsequenter umgesetzt und überprüft werden.
4. Ein industrieweites Lernen aus Betriebserfahrungen sollte beispielsweise in Anlehnung an die Weiterleitungsnachrichten der Kerntechnik eingeführt werden, das die folgenden Elemente/Bausteine enthält:
 - a. Prüfung der gemeldeten Ereignisse auf Lernpotenziale durch eine neutrale Stelle (z.B. Universität, Gutachterorganisation, Ausschuss der KAS)
 - b. Analyse von 2-3 Ereignissen im Jahr mit Lernpotenzial durch die neutrale Stelle
 - c. Aufarbeitung der Ereignisse und Formulierung von Empfehlungen durch die neutrale Stelle
 - d. Versendung an die Aufsichtsbehörden, die diese Ereignisaufbereitung inklusive der Empfehlungen an die Betreiber weiterleiten
 - e. Stellungnahme der Betreiber zu den Empfehlungen hinsichtlich Übertragbarkeit und Umsetzung von Maßnahmen
 - f. Prüfen der Betreiberstellungnahmen durch die zuständige Aufsichtsbehörde und gegebenenfalls Anordnung von Maßnahmen

Durch die Umsetzung der Maßnahmenvorschläge kann eine Verbesserung der Anlagensicherheit in Deutschland erreicht werden.

7 Quellenverzeichnis

Monografien:

Fahlbruch, B. & Meyer, I. (2017). Ausarbeitung von Arbeitshilfen zur methodischen Ereignisanalyse und Ergebnisauswertung zur Fortschreibung des Standes der Technik (FKZ 3713433131). Umweltbundesamt Texte 14/2017.

Fahlbruch, B. & Meyer, I. (2013). Ganzheitliche Unfallanalyse. Leitfaden zur Ermittlung grundlegender Ursachen von Arbeitsunfällen in kleinen und mittleren Unternehmen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Zeitschrift

Fahlbruch, B. & Carroll, J. (2011) (Eds.). The gift of failure: new approaches to analyzing and learning from events and near-misses. Special Issue of safety Science. Safety Science, 49 (1).

Richtlinien/Gesetze/Normen

Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (Seveso-III-Richtlinie), Amtsblatt der Europäischen Union L 197/1 vom 24.07.2012

Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV); Fassung vom 08. Juni 2005 (BGBl. I S. 1598), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3230) geändert worden ist

Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV); Fassung der Bekanntmachung vom 15. März 2017 (BGBl. I S. 483), die zuletzt durch Artikel 1a der Verordnung vom 8. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3882) geändert worden ist

Ausschuss „Anlagenbezogener Immissionsschutz/Störfallvorsorge“ (AISV) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) 137. Sitzung (vom 05. bis 07. Juli 2016 in Kiel)