TEXTE
62/2020

Klimawandel und Anlagensicherheit: Empfehlungen aus dem UN/OECD-Natech-Projekt

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 62/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 59 3070
FB000107/ANH

Klimawandel und Anlagensicherheit: Empfehlungen aus dem UN/OECD-Natech-Projekt

von

Maro Luisa Schulte, Lisa Maria Eckart
adelphi research gGmbH, Berlin

Prof. Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke
Ingenieurbüro Prof. Dr. Köppke GmbH, Bad Oeynhausen

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
/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:
adelphi research gGmbH
Alt Moabit 91
10559 Berlin

Abschlussdatum:
April 2019

Redaktion:
Fachgebiet III 2.3 Anlagensicherheit
Roland Fendler

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2020

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

Kurzbeschreibung: Klimawandel und Anlagensicherheit: Empfehlungen aus dem UN/OECD-Natech-Projekt

In dieser Expertise werden die Gefahren für Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind[1], durch klimawandelbeeinflusste Naturgefahren beschrieben und Vorschläge abgeleitet, um den Stand der Sicherheitstechnik und Technik zur Verhinderung und Begrenzung von Schadstofffreisetzungen, Bränden und Explosionen, ausgelöst durch diese Naturgefahren, zu verbessern. Wie Klimaprojektionen zeigen, ist für einige Naturgefahren mit einer Zunahme der Häufigkeit und/oder Intensität zu rechnen. Hochwasser, Starkregen, Sturzfluten, Stürme usw. sind Naturgefahren, die Anpassungsstrategien erfordern, die bislang nicht oder nur selten im Rahmen des Risikomanagements von Anlagenbetreibern betrachtet werden.

Fukushima und Sendai stehen für bekannte Ereignisse, bei denen die Gewalt von Naturgefahren industrielle Katastrophen auslöste. Vor diesem Hintergrund wurden auf nationaler und internationaler Ebene zahlreiche Aktivitäten gestartet, um die Risiken von industriellen Unfällen, ausgelöst durch Naturgefahren, stärker in den Fokus der Sicherheitsdiskussion zu rücken. In zwei Workshops wurden Empfehlungen für geeignete Risikoanalysen, ein verbessertes Risiko-management, geeignete Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sowie für die Notfallplanung entwickelt. Darüber hinaus wurde die Notwendigkeit der grenzüberschreitenden und internationalen Zusammenarbeit, der Kommunikation zwischen den Verantwortlichen sowie das legislative Regierungshandeln gegenüber durch Naturgefahren ausgelösten technischen (hier chemischen) Unfällen (Natechs: Natural Hazard Triggered Technological Accidents) herausgestellt. Die wichtigsten Empfehlungen werden in dieser Expertise zusammenfassend dargestellt.

Abstract: Climate Change and Safety of Installations: Recommendations from the UN and OECD Natural Hazard Triggered Technological Accidents (Natech) Project

In this expertise, the threats from climate change-influenced natural hazards to installations where hazardous substances are present are described and proposals are derived to improve the state of art of safety technology against pollutant releases, fires and explosions due to the impact of these natural hazards. As climate projections show, some natural hazards can be expected to increase in frequency and / or intensity. Floods, heavy precipitation, flash floods, storms, etc. are natural hazards that require adaptation strategies that are not or rarely considered in the risk management of plant operators so far.

Fukushima and Sendai stand for well-known events in which the violence of natural hazards triggered industrial accidents. Against this background, numerous activities have been started at national and international level in order to place the risks of industrial accidents caused by natural hazards more in the focus of the safety discussion. Recommendations for more precise risk analysis, improved risk management, suitable measures for adaptation to climate change and emergency planning were developed in two workshops. In addition, the need for cross-border and international cooperation, communication between those responsible as well as legislative government actions against Natechs has been highlighted. The most important recommendations are summarized in this expertise.

[1] Gemeint sind der Störfall-Verordnung unterliegende Betriebsbereiche und immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden (entsprechend § 3 Absatz 5a Bundes-Immissionsschutzgesetz).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 7

Tabellenverzeichnis 7

Abkürzungsverzeichnis 8

1 Ausgangssituation 9

2 Einflüsse des Klimawandels auf natürliche Gefahrenquellen 11

2.1 Hochtemperaturperioden 12

2.2 Trockenperioden 12

2.3 Niederschläge / Starkniederschläge 12

2.4 „Sturzfluten“ 13

2.5 Flusshochwasser 13

2.6 Anstieg des Meeresspiegels 14

2.7 Zyklonen und (Winter-)Stürme 15

2.8 Gewitter 15

2.9 Blitze 16

2.10 Hagel 16

2.11 Tornados 17

3 Handlungsbedarf 20

3.1 Berücksichtigung natürlicher Gefahrenquellen und des Klimawandels 20

3.2 Informationen für die Gefahrenquellenanalyse 20

3.3 Instrumente für die Gefahrenquellenanalyse 23

3.4 Methoden zur Analyse der Gefahren und Gefährdungen sowie Entwicklung von Schutzkonzepten 24

3.5 Einrichtung von Frühwarnsystemen 26

3.6 Integration von internen und externen Alarm- und Gefahrenabwehrplanungen 28

3.7 Umsetzung der einschlägigen Anforderungen der Störfall-Verordnung 28

3.8 Anwendung des Verursacherprinzips 29

3.9 Stärkung der grenzüberschreitenden und internationalen Zusammenarbeit 30

4 Empfehlungen 31

A Literaturverzeichnis 33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Illustration möglicher Naturgefahren, die auf Betriebsbereiche wirken können 10
Abbildung 2: Verteilung aller in Europa registrierten Tornados 17
Abbildung 3: Dichte aller registrierten starken bis verheerenden Tornados (F2 bis F5) pro 10.000 km^2 bis 2017 18
Abbildung 4: Ermittlung von Gefahrenquellen und Maßnahmen (Köppke 2013) 26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflüsse des Klimawandels auf natürliche Gefahrenquellen in Deutschland 11
Tabelle 2: Klassifizierung der Tornado-Stärke nach Fujita 18

Abkürzungsverzeichnis

BGBl	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
DWD	Deutscher Wetterdienst
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change ("Weltklimarat")
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
Natech	„Natech" steht für „Natural Hazard Triggered Technical Accidents", gemeint sind hier durch Naturgefahren (in der Störfall-Verordnung: „umgebungsbedingte Gefahrenquellen") verursachte Unfälle von Anlagen durch Freisetzung, Brand oder Explosion gefährlicher Stoffe

1 Ausgangssituation

Naturkatastrophen hat es in der Geschichte schon immer gegeben und in vielen Fällen beeinflussten sie die Entwicklung ganzer Regionen. Mit zunehmender Industrialisierung und dem rasanten Bevölkerungswachstum im letzten Jahrhundert, hat die Vulnerabilität gegenüber Naturereignissen deutlich zugenommen. Wie die Entwicklungen der Schadensbilanzen der Versicherer verdeutlichen, sind die Schadenssummen und die Folgeschäden durch Naturkatastrophen deutlich angestiegen, da auch die Nutzungen immer hochwertiger werden (Munich Re 2012). Verstärkt wurde dieser Trend durch zahlreiche Ereignisse, wie z.B. die Hochwässer 1993 und 1995 am Rhein, 1997 und 2013 an der Donau sowie die Hochwasser an der Elbe 2002, 2006 und 2013. Das Hochwasser im Elbeeinzugsgebiet im Jahre 2002 führte zu einer Rekordschadenssumme von rund vier Milliarden Euro (GDV 2018). Darüber hinaus verwüsteten in den letzten 20 Jahren zahlreiche Orkane mit enormen Windgeschwindigkeiten große Gebiete in Deutschland, wie z. B Lothar 1999 (Spitzengeschwindigkeit 272 km/h) oder Kyrill 2007 (Spitzengeschwindigkeit 225 km/h), der einen Schaden von über drei Milliarden Euro in Deutschland verursachte.

Allein aufgrund der Anzahl der Ereignisse in den letzten Dekaden kann vermutet werden, dass klimatische Veränderungen zu dieser Häufigkeit und Intensität von extremen Naturereignissen beigetragen haben. Klimaforschern zufolge wird sich die mittlere globale Lufttemperatur durch den Treibhauseffekt in den nächsten 100 Jahren um 1,4 bis 5,8 ºC erhöhen, wodurch der Trend zu weiter steigenden Extremniederschlägen und -hochwässern bestärkt wird (IPCC 2013).

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) weist vor diesem Hintergrund darauf hin, dass die bisherigen Sicherheitsanforderungen und das Sicherheitsmanagement entsprechend des wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts und der Betreiberpflichten gemäß Störfall-Verordnung zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen sind. Dies gilt bei Betriebsbereichen[2], „in denen gefährliche Stoffe in höheren Mengen sind und bei Extremereignissen freigesetzt werden könnten“ (Krätzig 2016, S. 37).

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass Störfälle nicht nur durch extreme, sondern auch durch weniger intensive Naturereignisse verursacht werden können, wie z.B. Anlagenschäden durch windverursachte Schwingungen.

Welche Auswirkungen Extremereignisse auf Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind[3], haben können, wurde einer breiten Öffentlichkeit durch die Ereignisse in Japan im Jahre 2011 bekannt. Fukushima und Sendai sind Industriestandorte, bei denen durch ein Erdbeben mit nachfolgendem Tsunami Störfälle in den Anlagen ausgelöst wurden, bei denen gefährliche (und im Falle von Fukushima auch radioaktive) Stoffe freigesetzt wurden.

Vor diesem Hintergrund wurden auf nationaler und internationaler Ebene zahlreiche Aktivitäten gestartet, um die Risiken von Stofffreisetzungen, Bränden oder Explosionen durch umgebungsbedingte Gefahrenquellen aus und in Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, stärker in den Fokus der Sicherheitsdiskussion zu rücken.

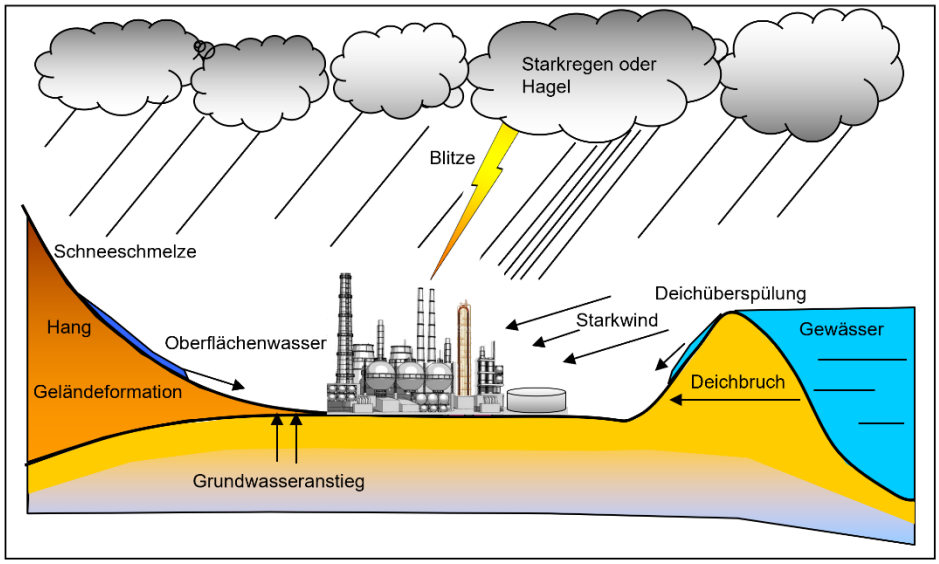
In Deutschland wurden die Technischen Regeln für Anlagensicherheit (TRAS) 310 und 320 verabschiedet. Die TRAS 310 gilt für Niederschläge und Hochwasser, die TRAS 320 für Wind,

[2] Bereich unter der Aufsicht eines Betreibers mit ein oder mehreren Anlagen, in denen bestimmte Mengen bestimmter gefährlicher Stoffe vorhanden sind, und auf den deshalb die Störfall-Verordnung anwendbar ist. (Definition siehe § 3 Absatz 5a des Bundes-Immissionsschutzgesetzes).

[3] Gemeint sind der Störfall-Verordnung unterliegende Betriebsbereiche und immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden (entsprechend § 3 Absatz 5a Bundes-Immissionsschutzgesetz).

Schnee- und Eislasten. In beiden Regeln wird eine methodische Vorgehensweise zur Identifikation, Analyse und Bewertung von umgebungsbedingten Gefahrenquellen vorgestellt, um darauf basierend Maßnahmen für Schutzkonzepte zu entwickeln. Erstmals wurde in der TRAS 310 ein „Klimaanpassungsfaktor" eingeführt, um die Maßnahmen gegenüber zukünftigen klimaänderungsbedingten Hochwasser- und Niederschlagsintensitäten anzupassen.

Abbildung 1: Illustration möglicher Naturgefahren, die auf Betriebsbereiche wirken können



Erstellt von Prof. Dr. Köppke, adelphi research gGmbH

International werden technische (hier chemische) Unfälle, die durch Naturgefahren ausgelöst werden, als Natechs („**Na**tural Hazard Triggered **Tech**nical Accidents") bezeichnet. Es befassen sich UN-Organisationen, die OECD und Forschungseinrichtungen der EU Kommission mit den Risiken von Natechs. UN, EU und OECD haben, in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, zwei Workshops zum Thema Natech-Risikomanagement veranstaltet. Auf deren Grundlage wurden hierzu spezielle Empfehlungen von der OECD herausgegeben (OECD 2015). Diese betreffen die Gefahren- und Risikoanalyse, das Risikomanagement, die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, die Notfallplanung, die grenzüberschreitende und internationale Zusammenarbeit sowie die Kommunikation von- und das legislative Regierungshandeln gegenüber Natech-Risiken. Die Workshops haben gezeigt, dass trotz der Fortschritte bei der Verhinderung von Störfällen, die durch umgebungsbedingte Gefahrenquellen verursacht werden, nach wie vor ein großer Handlungsbedarf besteht. Dieser betrifft:

a) auf der wissenschaftlichen Ebene u.a. die Verbesserung der Aussagekraft von Klimaprojektionen bzgl. der Veränderungen der Intensitäten von Extremereignissen sowie die Entwicklung von Risikoanalyseverfahren für Natechs,

b) auf der exekutiven Ebene v.a. die Bereitstellung von Informationen über relevante Gefahrenquellen, die Berücksichtigung von Natechs im Sicherheitsmanagement, die rechtliche Festlegung von Sicherheitszielen, die Berücksichtigung von Extremereignissen in Normen und Standards, in Risikoanalysen sowie in der Bauleitplanung.

Wenngleich in Deutschland schon beachtliche Fortschritte bei der Weiterentwicklung des Standes der Sicherheitstechnik zu verzeichnen sind, besteht bei kritischer Prüfung der Umsetzung der OECD-Empfehlungen nach wie vor Handlungsbedarf, der nachfolgend näher erläutert wird.

2 Einflüsse des Klimawandels auf natürliche Gefahrenquellen

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind folgende Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland auf Gefahrenquellen zu erwarten bzw. möglich:

Tabelle 1: Einflüsse des Klimawandels auf natürliche Gefahrenquellen in Deutschland

Mögliche Gefahrenquelle	mögliche Wirkungen auf Betriebsbereiche	Veränderung aufgrund des Klimawandels[4]				
		Intensi-täten	Häufig-keiten	Dauer	erwar-tet	mög lich
Hochtemperaturperioden (Heiße Tage und Tropennächte)	Erhöhung der Temperatur von Anlagenteilen und Stoffen	⇧	⇧	⇧	✓	
Trockenperioden	Wald- und Vegetationsbrände im oder in der Nähe von Betriebsbereichen, Zündquelle, Erwärmung von Anlagenteilen und Stoffen	⇔	⇧	⇔	✓	
Starkniederschläge / „Sturzfluten“	Überflutungen und Abfluss, Feuchtigkeit, Auftrieb, Strömungskräfte und Treibgut wirken auf Anlagenteile	⇧	⇧	⇔	✓	
Flusshochwasser	Überflutungen und Abfluss, Feuchtigkeit, Auftrieb, Strömungskräfte und Treibgut wirken auf Anlagenteile	⇧	⇧	⇧	✓	
Anstieg des Meeresspiegels (Höheres Auflaufen von Sturmfluten)	Überflutungen, Wellenschlag, Feuchtigkeit, Auftrieb, Strömungskräfte und Treibgut wirken auf Anlagenteile	⇧	?	⇧	✓	
Winterstürme	Windlasten auf Anlagenteile (Druck, Sog, Schwingungen, Verformung), Trümmerflug	?	?	?		✓
Konvektive Ereignisse/Gewitter		⇧	⇧	?	✓	
Blitze	Zündquelle, elektromagnetische Strahlung, Funkenflug		⇧			✓
Hagel	Einwirkung auf Anlagenteile, „Schneelast“ auf Anlagenteilen	?	⇧	?	✓	
Tornados	Druck und Sogkräfte, Einwirkung durch Trümmerflug	⇧	?	?		✓

[4] ⇧ Zunahme; ⇔ keine Veränderung erwartet; ? Kenntnisse für eine Aussage nicht ausreichend; ✓ Einordnung des Kenntnisstandes

2.1 Hochtemperaturperioden

Nach Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ist seit den 1950er-Jahren die Anzahl heißer Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C), gemittelt über das ganze Bundesgebiet, auf im Durchschnitt neun Tage im Jahr, von ursprünglich drei Tagen im Jahr, angestiegen. Im gleichen Zeitraum nahm die mittlere Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur < 0 °C) von 28 Tagen auf 19 Tage ab (DWD 2017).

Weiter stellt der DWD fest, dass ein weiterer Anstieg der mittleren Jahrestemperatur sowie der Zahl heißer Tage in Deutschland zu erwarten ist. Dies zeigt die hohe Übereinstimmung der Ergebnisse (Klimaprojektionen) der unterschiedlichen regionalen Klimamodelle. Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021–2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,0 bis 1,3 °C, bezogen auf den Referenzzeitraum 1971 – 2000, wobei die Erwärmung in Süddeutschland etwas stärker ausfällt. Längerfristige Projektionen bis zum Jahr 2100 zeigen, je nach Klimaszenarien, größere Unterschiede. Gleichwohl ist mit einer weiteren Erhöhung der Temperatur zu rechnen.

Ob Hochtemperaturperioden in Deutschland Auswirkungen auf die Sicherheit von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe (z.B. thermisch instabile Stoffe) vorhanden sind, haben können, ist bislang nicht systematisch untersucht. Einzelfälle legen dies nahe [5].

2.2 Trockenperioden

Trockenperioden sind gekennzeichnet durch ein hohes Wasserdefizit im Boden und ein Absinken des Grundwasserstandes sowie der Pegelstände von Oberflächengewässern. Ob mit einer Zunahme von heißen Tagen künftig auch mit längeren Trockenperioden zu rechnen ist, ist nicht eindeutig zu beantworten, weil nach den Aufzeichnungen des DWD die bislang vorliegenden Daten, aufgrund der großen Schwankungsbreiten, keinen eindeutigen Trend seit den 1950er-Jahren erkennen lassen.

Für den Fall längerer Trockenperioden, wie im Sommer 2018, muss mit einer erhöhten Waldbrandgefahr sowie mit einer verminderten Grundwasserreserve für Löschzwecke gerechnet werden.

Brände und verminderte Wasserreserven können die Sicherheit von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, bedrohen. Dies könnte insbesondere Anlagen treffen, die sich mit Löschwasser selbst versorgen müssen, wie beispielsweise Biogasanlagen im Außenbereich. Darüber hinaus muss mit einer durch Waldbrände eingeschränkten Zugänglichkeit von Anlagen gerechnet werden. Auch Gefahren durch Brandgase, die mit der Luft für Produktionsprozesse angesaugt werden, sind möglich.

2.3 Niederschläge / Starkniederschläge

In den vergangenen 139 Jahren ist, nach den Ergebnissen des DWD, die jährliche Niederschlagsmenge in Deutschland um 9 % angestiegen. Erwartet wird bis 2050 ein weiterer Anstieg um 5 %, bis 2100 sogar um 9 %. Dies ist die Folge aus dem Anstieg der Lufttemperatur und damit einer erhöhten Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf. Aus Sicht der Anlagensicherheit ist allerdings nicht der Anstieg der jährlichen Niederschlagsmengen von Bedeutung, sondern die Veränderung der Niederschlagsextremereignisse.

[5] https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index/26837.html
https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index/28591.html ; Temperatur am 08.08.2017 um 16:00 Uhr im Bereich der Anlage 29°C

Die Projektionen für Extremereignisse hängen vom gewählten Szenarium sowie vom Klimamodell ab. Hierbei fallen die Unterschiede in den Projektionen für die Wintermonate deutlich geringer aus als für die Sommermonate (Becker et al. 2016). Für die meisten Regionen ist mit einer Zunahme der Häufigkeit von Niederschlagsereignissen (Dauerstufe 24 Stunden) um ca. 10% bis 50% zu rechnen, wobei der Norden deutlich stärker von der Zunahme betroffen ist als der Süden. Weil die Klimamodelle und Szenarien für die Sommermonate zu stark unterschiedlichen und z. T. widersprüchlichen Ergebnissen kommen, lassen sich derzeit für diese noch keine belastbaren Schlussfolgerungen ableiten.

Gleichwohl muss aufgrund des Temperaturanstiegs mit einer Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen gerechnet werden. Dabei können die Niederschläge auch aus Hagel bestehen und/oder von schweren Gewittern begleitet werden. Extremniederschläge führen insbesondere dort zu Überflutungen, wo der Boden versiegelt ist und Kanalisationen die Wassermassen nicht ableiten können. Dies betrifft Wohn- und Industriegebiete gleichermaßen.

2.4 „Sturzfluten“

Sturzfluten entstehen vor allem in den Mittelgebirgen und den Alpen immer dann, wenn das Wasser von Starkregenereignissen, durch die Geländeformation meist in stark anschwellenden kleinen Gewässern in einer Welle, rasch zu Tal fließt. Sturzfluten zeichnen sich durch folgende vier Gefährdungsmerkmale aus:

1) Vorwarnzeit kürzer als sechs Stunden,
2) Hohe Fließgeschwindigkeit des Wassers,
3) Mitreißen von Treibgut und Sediment,
4) Veränderung der Bewegungsrichtung(en) der Wassermassen durch verstopfte Abflüsse.

Welche Kräfte Sturzfluten entfesseln können, zeigte sich 2002 an den Nebenflüssen der Elbe, wie z.B. der Weißen Elster oder der Müglitz, die aus dem Erzgebirge kommend, erhebliche Schäden an Gebäuden und Industrieanlagen verursachten.

„Sturzfluten“ können Anlagen durch Auftrieb, Strömungskräfte, Unterspülung und Aufprall von Treibgut gefährden. Treibgut kann zudem bei Brücken und Unterführungen abflussbehindernd wirken, so dass sich die Gefahr einer lokalen Überflutung erheblich verschärfen kann.

2.5 Flusshochwasser

Verantwortlich für Hochwasserereignisse sind Starkniederschlagsereignisse oder lang anhaltende Niederschläge, ggf. in Verbindung mit Schneeschmelze. Besonders bei gefrorenen oder wassergesättigten Böden gelangen diese Niederschlagsmengen sehr schnell in das Gewässersystem, wo es dann zu Überlastungen kommen kann. Die dadurch entstehenden Hochwässer können durch anthropogene Eingriffe in ein Gewässer bzw. Gewässersystem verstärkt, aber auch reduziert werden (Mehlig et al. 2002).

Trotz der hier kurz skizzierten grundsätzlichen Voraussetzungen, sind die Ursachen von Flusshochwassern, z.B. Rhein- und Elbehochwasser, sehr unterschiedlich. Am Mittel- und Niederrhein hängt die Höhe der Abflusswelle entscheidend von der Wasserführung des Oberrheins und seiner Nebenflüsse ab. Wenn die Abflussspitzen dieser Nebenflüsse zeitlich mit dem Hochwasser des Rheins zusammenfallen, ist die Abflusswelle am höchsten (Warm et al. 2007). Demgegenüber entstanden die Hochwasser an Oder (1997), Elbe (2002), und Elbe/Donau (2013) durch

die sogenannte V_b-Wetterlage. Diese wird durch Tiefdruckgebiete verursacht, die in den Mittelmeerraum gelangen und sich dort im Bereich von Genua durch das warme Mittelmeer mit Wasserdampf auffüllen. Ihre Zugbahnen führen anschließend in einem Bogen um die östlichen Alpen nach Norden. Dort treffen die Tiefdruckgebiete auf kalte, von Norden kommende Luftschichten, wodurch vor allem im Sommer ungeheure Wassermengen freigesetzt werden können.

Flusshochwässer können Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, durch Auftrieb, Strömungskräfte, Unterspülung und Aufprall von Treibgut gefährden.

Der Gesetzgeber hat in § 74 Wasserhaushaltsgesetz die Anforderungen zur Festsetzung von (Flusshochwasser-)Gefahrenkarten und Risikokarten festgelegt. Damit wurden u.a. die Grundlagen für die Gefahrenquellenanalyse gegenüber Flusshochwasser für Betriebsbereiche geschaffen.

Beispiel guter Praxis: TRAS 310 „Niederschläge und Hochwasser“

Mit der Technischen Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310 wurden im Jahr 2012 die Anforderungen an Betriebsbereiche zur Berücksichtigung von Starkniederschlägen und Hochwasser konkretisiert. Hierbei wurde ein „Klimaänderungsfaktor“ eingeführt, der die zukünftige Entwicklung von Hochwässern und „Starkniederschlägen“ berücksichtigen soll. Er basiert u.a. auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „KLIWA“.[6] Hierbei handelt es sich um eine länder- und fachübergreifende Zusammenarbeit der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz mit dem Deutschen Wetterdienst, um die bereits erfolgten und zukünftigen Veränderungen im Wasserhaushalt durch den Klimawandel zu untersuchen.

Derzeit befinden sich die Anforderungen der TRAS 310 in der turnusmäßigen Überprüfung.

2.6 Anstieg des Meeresspiegels

Der Anstieg des Meeresspiegels wird überwiegend durch folgende zwei Faktoren beeinflusst:

1. Volumenzunahme durch Erwärmung des Wassers (Antonov et al. 2005)
2. Zunahme des Wasservolumens durch Abschmelzen des Inlandeises, insbesondere in Grönland und der Antarktis

Grönland und die Antarktis sollen nach Schätzungen von Klimawissenschaftlern zusammen seit 1992 rund 208 Kubikkilometer Eis pro Jahr verloren haben. Jährlich entspräche das knapp 200 Milliarden Tonnen Eis (Folger 2013). Neuste Erkenntnisse zeigen, dass sich der Anstieg des Meeresspiegels in den letzten Jahren beschleunigt hat (Nerema et al. 2018). Im 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats von 2013 wird der mittlere Anstieg des Meeresspiegels mit 0,98 m bis 2100 bezogen auf die Referenzperiode 1986 – 2005 angegeben. Bislang sei laut dem Weltklimarat nur unzulänglich berücksichtigt worden, dass die Eisschilde vor Grönland und der Antarktis einen stärkeren Beitrag zum Eisverlust leisten könnten, was zu einem beschleunigten Anstieg des Meeresspiegels (Folger 2013) führt.

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass sich der mittlere Meeresspiegelanstieg in den Küstenregionen nicht überall in gleicher Weise bemerkbar macht (DWD 2017). Regionale Meeresspiegeländerungen weichen zum Teil erheblich von einem globalen Mittelwert ab. Ursache sind dynamische Meeresreaktionen und Strömungen, statische Gravitationseffekte durch Glet-

[6] www.kliwa.de

scher- und Landeismassenänderungen, Änderungen der terrestrischen Wasserspeicherung sowie eiszeitliche isostatische Anpassungen (Carson et al. 2015). Die Schwankungsbreiten gegenüber dem mittleren Anstieg des Meeresspiegels werden mit +20 cm quantifiziert.

Projektionen des relativen Meeresspiegelanstiegs im 21. Jahrhundert, für den nordeuropäischen Raum, zeigen einen Anstieg in der Nähe von London und Hamburg um 0,8 m sowie einen relativen Meeresspiegelabfall von 0,1 m im Bottnischen Meerbusen (in der Nähe von Oulu, Finnland). Sowohl im Meeresspiegelhaushalt, als auch in der regionalen Ausprägung des Meeresspiegelanstiegs, bestehen jedoch weiterhin erhebliche Unsicherheiten. Die größten Unsicherheiten sind mit dem antarktischen Eisverlust verbunden (Grinsted et al. 2015).

Andere Untersuchungen zeigen jedoch auch, dass der bislang im Zeitraum von 1900 bis 2011 festgestellte Meeresspiegelanstieg in der Nordsee rund 1,6 mm/Jahr und in der Deutschen Bucht etwa zwei mm/Jahr betragen hat. Bis zu einem Drittel kann der Anstieg vermutlich lokalen Landsenkungen zugeordnet werden. Hervorzuheben ist, dass der Tidenhub in der Nordsee seit Mitte des 20 Jahrhunderts stärker angestiegen ist als der mittlere Meeresspiegel (Jensen et al. 2014).

Der Meeresspiegelanstieg, in Verbindung mit höher auflaufenden Sturmfluten, erfordert eine Verbesserung des Küstenschutzes, insbesondere im Bereich der Deutschen Bucht. Dies gilt auch für zahlreiche küstennahe Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind. Auch die Tankläger in den Überseehäfen müssen für zukünftige Sturmflutereignisse bei gestiegenem Meeresspiegel geschützt werden.

2.7 Zyklonen und (Winter-)Stürme

Bezüglich (starker) Windereignisse betrachten Wissenschaftler das Auftreten und die projizierten Veränderungen der Routen von Zyklonen durch den Klimawandel (Reyers et al. 2017). Als eine mögliche Veränderung nennen sie eine Verschiebung der sogenannten storm tracks, also Gebiete in denen sich Zyklone entwickeln, gen Osten. Eine solche Verschiebung ging bereits in der Vergangenheit mit veränderten Zugbahnen von Zyklonen Richtung Europa einher, was sich u.a. auf die bodennahen Winde über Deutschland auswirkte. Ferner nehmen die Autoren an, dass Zyklone in einer wärmeren Atmosphäre besser wachsen könnten, was Stürme potenziell verstärken würde. Dies spiegelt sich in unterschiedlichen Studien wider, die eine Erhöhung der Sturmaktivitäten über Mitteleuropa (in Deutschland besonders in Nordwestdeutschland) und der Nordsee bis zum Ende des 21. Jahrhunderts projizieren.

Winterstürme sind eine maßgebliche Belastung für die Standsicherheit von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, da sie mit Druck und Sog sowie Anregungen zu Schwingungen einwirken. Auch die Ablösung von Anlagenteilen[7] und das Auftreffen von Trümmern kann zu Betriebsstörungen führen. Um den Stand der Sicherheitstechnik für Betriebsbereiche, die der Störfall-Verordnung unterliegen, an die Veränderungen der Windlasten anzupassen, wurde die TRAS 320 im Jahr 2015 verabschiedet. Derzeit befinden sich die Anforderungen der TRAS 320 in der turnusmäßigen Überprüfung.

2.8 Gewitter

Gewitter sind häufig mit einer Reihe von Extremereignissen verbunden, wie Blitzschlag, Hagel, Starkniederschlag und heftige Windböen, die am Boden beträchtlichen Schaden und Störungen verschiedener Art verursachen können. Gewitter sind räumlich sehr begrenzt und in der Regel

[7] z.B. https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index/28853.html

von kurzer Dauer. Gewitter können auf unterschiedliche Weise entstehen, wobei die Voraussetzungen jedoch identisch sind (Möhrlein et al. 2018). Hierzu zählen große vertikale Temperaturunterschiede, ausreichende Feuchte sowie ein Auslöser, der für die Freisetzung der in der Atmosphäre gespeicherten Energie sorgt. Die Häufigkeit von Gewittern hängt, außer von den regionalen Effekten, auch von der Jahreszeit ab. So kommt es über Landmassen deutlich seltener im Herbst und Winter zur Gewitterentstehung, als im Frühling und Sommer, da in diesen Jahreszeiten feuchtwarme Luftmassen die Gewitterbildung begünstigen (Kolendowicz et al. 2017).

Aufgrund der Erderwärmung steht die Erforschung von Gewittern bzgl. ihrer Intensität und Häufigkeit sowie deren Vorhersage vor großen Herausforderungen. Mittlerweile sind Blitzortungssysteme verfügbar, die die elektromagnetische Strahlung, welche von Blitzen ausgeht, messen und orten können (Schmidt 2007). Hierzu wurden weltweit Netze von Sensoren aufgebaut. Mittlerweile sind präzise Vorhersagen von Gewittern mit einer Vorwarnzeit von zwei Stunden möglich.[8]

Bislang lässt sich jedoch noch kein eindeutiger Trend über die zukünftig zu erwartenden Häufigkeiten und Intensitäten von Gewittern erkennen, weil die Blitzortungssysteme erst seit ein paar Jahren in Betrieb sind und vergleichbare und flächendeckende Daten über lange Zeiträume noch nicht vorliegen. An Berghängen führt die direkte Sonneneinstrahlung zu einer schnelleren Bodenerwärmung und damit zu stärkeren Aufwinden. Der Süden Deutschlands ist daher tendenziell stärker von regelmäßiger Gewitteraktivität betroffen, da die Alpen somit die Gewitterbildung fördern.

2.9 Blitze

Mit der erwarteten Zunahme der Anzahl von Gewittern ist eine mindestens entsprechende Zunahme von Blitzen zu vermuten. Blitze oder durch sie verursachter Funkenflug können zur Zündquelle werden. Ihre elektromagnetische Strahlung kann Anlagenteile stören[9]. Auch können sie nach Trockenperioden Waldbrände auslösen, durch die Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, bedroht werden können.

2.10 Hagel

Hagel entsteht in Gewitterwolken, wobei die sich bildenden Eiskristalle durch Aufwinde länger in der Atmosphäre bleiben und langsam zu Hagelkörnern wachsen. Werden diese zu schwer, fallen sie zu Boden. Ein Hagelkorn mit einem Durchmesser von vier cm erreicht beim Aufprall eine Geschwindigkeit von ca. 100 km/h, ein Hagelkorn mit einem Durchmesser von zehn cm sogar eine Geschwindigkeit von 150 km/h. Etwa 52 % der Hagel-Zugbahnen haben eine Länge von 20 – 40 km (Faust, Rädler 2018).

Hagelereignisse, die meistens in Begleitung mit Gewitterstürmen vorkommen und oft große Schäden anrichten, haben in Deutschland und Europa in den letzten 30 Jahren deutlich zugenommen und werden wahrscheinlich auch zukünftig häufiger auftreten. Hierbei ist der Süden Deutschlands stärker betroffen als der Norden.

Derzeit wird versucht, die Untersuchungsergebnisse mit den verschiedenen Klimasimulationen zu verknüpfen, um Aussagen über Veränderungen künftiger Ereignisse zu erhalten. Darüber hin-

[8] Nowcast Präzisere Gewitterwarnungen weltweit durch neue Technologie aus München, Nov. 2017 http://www.loerke-pr.com/lib/files/pressetext-praezisere-gewitterwarnungen-weltweit-durch-neue-technologie-von-nowcast-aus-muenchen-mit-rtnt-praesentiert-das-deutsche-unternehmen-die-zukunft-der-kuerzestfristvorhersagen-auf-der-meteorological-technology-world-expo-2017.pdf

[9] z.B. https://www.infosis.uba.de/index.php/de/site/12981/zema/index/29079.html

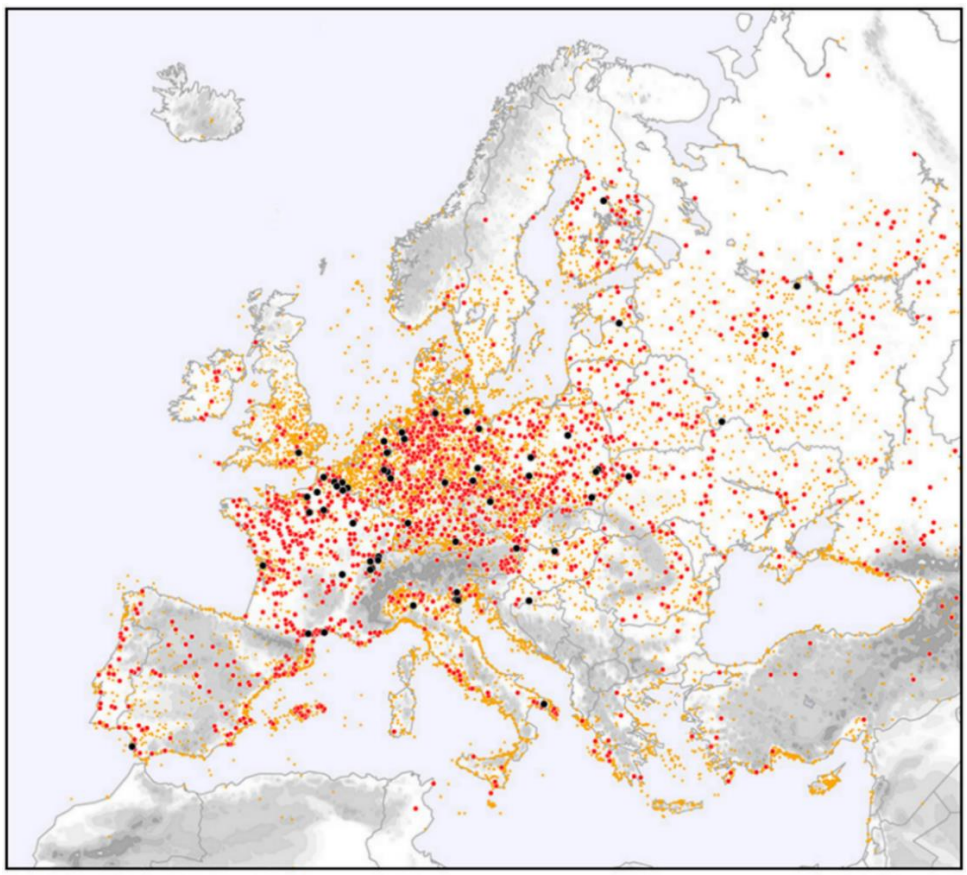
aus sollen die Untersuchungen in der Zukunft noch auf Nordamerika ausgeweitet werden. Anlass ist eine Studie, in der Schadendaten und meteorologischen Daten statistisch ausgewertet wurden, wobei die Jahresschäden verursacht durch Schwergewitter auf das Niveau heutiger zerstörbarer Werte normalisiert wurden. Die Untersuchungen ergaben, dass die Zunahme der Jahresschäden vor allem durch klimatische Veränderungen verursacht wurde (Sander et al. 2013).

Ob Hagelschlag zu einer sicherheitsbedeutsamen Störung von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, führen kann, ist umstritten. Beobachtete Hagelschäden an Gebäuden lassen dies vermuten.

2.11 Tornados

Die schwierig zu erfassenden Tornados sind durch ihre Zerstörungsgewalt vor allem aus den USA bekannt, kommen aber auch in Europa vor. Weil Tornados oftmals nur kurzzeitig auftreten, gibt es keine genauen Angaben über die tatsächliche, jährliche Anzahl von Tornados in Deutschland. In den USA werden in der Regel über 1.000 Tornados pro Jahr beobachtet. Die Zahl der Tornados in Europa wird auf 500 – 600 pro Jahr geschätzt, wovon nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ca. 30 bis 60 registrierte Tornados pro Jahr in Deutschland gezählt werden. Die räumliche Verteilung aller in Europa gemeldeten Tornados ist in Abbildung 2 zu sehen (Lozán et al. 2018).

Abbildung 2: Verteilung aller in Europa registrierten Tornados



Orange Punkte sind schwach und unbestätigte (F0, F1), rote Punkte starke (F2, F3) und schwarze Punkte verheerende (F4, F5) Tornados.

Quelle: mit Erlaubnis des European Severe Storms Laboratory

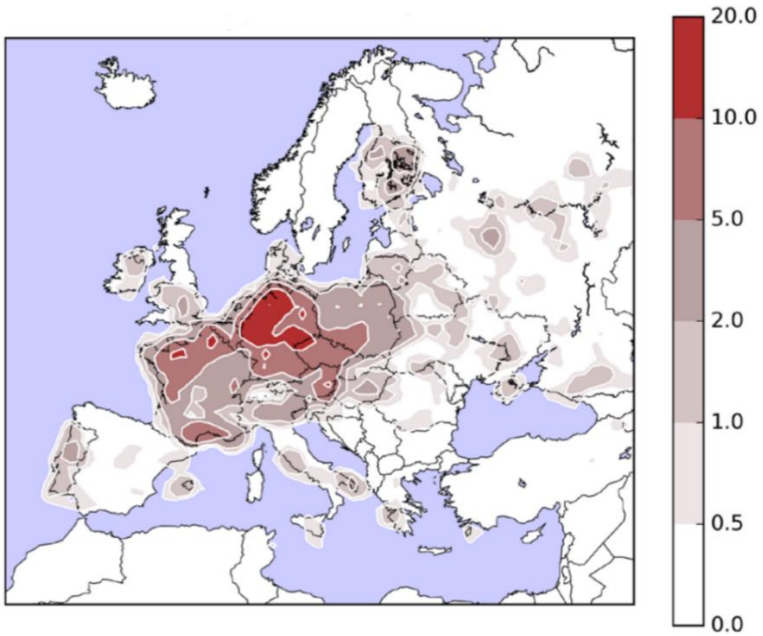
Weil die Windgeschwindigkeiten von Tornados in der Regel nicht gemessen werden können, wird deren Intensität durch die Schwere der Schäden bestimmt (vgl. Tabelle 2) und daraus ein Bereich der möglichen Tangentialgeschwindigkeit der Luft im Tornado abgeleitet.

Tabelle 2: Klassifizierung der Tornado-Stärke nach Fujita

Stärke	Kategorie	Wind [km/h]	Charakterisierung der Schäden
F0	sehr schwach	63 - 117	leichte Schäden: Äste von Bäumen abgebrochen, Dachziegel bewegt
F1	Schwach	118 - 180	mäßige Schäden: gebrochene Bäume, Dächer teils abgedeckt, Anhänger umgekippt
F2	Stark	181 - 253	beträchtliche Schäden: Gruppen von Bäumen umgestürzt, Dächer komplett abgedeckt
F3	sehr stark	254 – 332	schwere Schäden: erste Häuser beschädigt, Fahrzeuge umgekippt
F4	Verheerend	333 - 418	verheerende Schäden: Totalschaden, Baumentrindung
F5	sehr verheerend	> 419	unglaubliche Schäden: völlige Zerstörung

Obwohl die meisten Tornados in Deutschland der Kategorie „schwach" zuzuordnen sind, treten auch hier verheerende Tornados auf, die jedoch sehr selten sind. Am bekanntesten ist der F4 Tornado über Pforzheim am 10. Juli 1968. In Abbildung 3 ist die Dichte aller F2 bis F5 Tornados pro 10.000 m^3 bis 2017 dargestellt.

Abbildung 3: Dichte aller registrierten starken bis verheerenden Tornados (F2 bis F5) pro 10.000 km^2 bis 2017



Quelle: mit Erlaubnis des European Severe Storms Laboratory (Lozán et al. 2018).

Aufgrund der geringen Ausdehnung sowie der kurzen Dauer sind Tornados auch mit Wettersatelliten und Wetterradar nur sehr schwer zu beobachten. Obwohl der DWD über 17 Wetterradarstationen betreibt, bleiben viele Tornados unentdeckt. Seit 2006 verfügt der DWD über eine in Kanada entwickelte Computersoftware, mit der die mögliche Bildung von rotierenden konvektiven Zellen in der Atmosphäre aufgrund der herrschenden Bedingungen berechnet und potenzielle Tornado-hot-spots identifiziert werden können. Darüber hinaus besteht zwischen DWD

und Skywarn Deutschland eine Kooperation zur Identifizierung und Beobachtung von Tornados. Der DWD liefert die Informationen der identifizierten Hot-Spots sowie Radarbilder mit Hochauflösung der potenziell gefährdeten Gebiete. Ausgebildete „Wetter-Spotter" von Skywarn, die über Meldekriterien verfügen, können dann vor Ort die Beobachtung übernehmen. Auch Polizei und Feuerwehr sind in dieses Beobachtungsnetz eingebunden. Durch den Austausch von Informationen kann ermittelt werden, wohin eine Tornado-Zelle zieht. Damit kann der DWD entsprechende Warnungen bis zu 20 Minuten vor Eintritt des Ereignisses für die betroffenen Landkreise und Gemeinden herausgeben.

Dass eine Zunahme der Anzahl oder Stärke von Tornados in den letzten Jahren effektiv eingetreten ist, kann nicht mit Sicherheit bestätigt werden. Die Sensibilisierung der Bevölkerung, die größere Zahl installierter Radare sowie die Nutzung von Social Media haben zu einem Anstieg der Tornadomeldungen beigetragen. Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung von Tornadoaktivitäten kann derzeit allenfalls nur indirekt erfolgen. Als Folge der Erderwärmung kann von einer Zunahme heißer Tage und Nächte ausgegangen werden (Púcik et al. 2017). Ist damit auch eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit in Bodennähe verbunden, steigt die Eintrittswahrscheinlichkeit der Tornadobildung.

Andererseits sagen die verschiedenen Klimaprojektionen für Deutschland bis 2050 zunehmend längere Hitzeperioden voraus. Sind damit längere Trockenperioden verbunden, vermindert sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von Tornados eher.

Die Einwirkungen von Tornados auf Anlagen in Betriebsbereichen sind durch die Auslegung gegen Wind gemäß TRAS 320 bis in den Bereich F2 abgedeckt.

Die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS 320) „Wind, Schnee- und Eislasten" fordert bei der Störfall-Verordnung unterliegenden Betriebsbereichen darüber hinausgehend eine Berücksichtigung von Tornados bei der Festlegung der störfallauswirkungsbegrenzenden Maßnahmen sowie – soweit gefordert – bei der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.

3 Handlungsbedarf

Nachfolgend soll Handlungsbedarf aufgezeigt werden, der sich auf der Grundlage der Empfehlungen der OECD in ihren Leitprinzipien für die Verhinderung, Bereitschaft für den Fall und Bekämpfung von Chemieunfällen (Guiding Principles on Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response) (OECD 2003), einschließlich „Natech[10]-Addendum" (OECD 2015) und der Erkenntnisse im UN/OECD Workshop 2018 zum Natech-Risikomanagement feststellen lässt.

3.1 Berücksichtigung natürlicher Gefahrenquellen und des Klimawandels

Zur Berücksichtigung des Klimawandels durch den Betreiber von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind,[11] macht die OECD relativ weitreichende Empfehlungen.

18.b.3. Management should be aware, and take account, of the fact that climate change may increase natural hazards. For example, climate change might affect the intensity, frequency and geography of natural hazards. Therefore, management should consider: assessing regional climate change projections; developing an adaptation strategy; implementing enhanced safety measures; and updating assessment and measures as further information becomes available.

Diese sollten umgesetzt werden:

1. **Betreiber** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen natürliche Gefahrenquellen, die Natechs verursachen können und die erwarteten Einflüsse des Klimawandels auf deren Intensität, Häufigkeit und örtliche Verteilung berücksichtigen. Hierzu sollen sie Projektionen des Klimawandels berücksichtigen, Anpassungsstrategien an den Klimawandel entwickeln, weitergehende Sicherheitsmaßnahmen treffen sowie Bewertungen und Maßnahmen bei weitergehendem Kenntnisstand aktualisieren.

3.2 Informationen für die Gefahrenquellenanalyse

Die OECD (OECD 2003) nennen u.a. die folgenden Punkte, die für eine Gefahrenquellenanalyse von großer Bedeutung sind:

18.a.1 Public authorities should collect data related to natural hazards …, and use this to develop natural hazard maps. Hazard maps should include all hazards in the relevant region that could trigger or worsen chemical accidents. Public authorities should disseminate the natural hazard maps to industries and communities … and make the maps publicly available.

18.a.3 Further efforts should be undertaken to improve the methodologies and tools for preparing hazard maps and for Natech risk analysis.

18.b.3. Management should be aware, and take account, of the fact that climate change may increase natural hazards. For example, climate change might affect the intensity, frequency and geography of natural hazards. Therefore, management should consider: assessing regional climate change projections; developing an adaptation strategy; implementing enhanced safety measures; and updating assessment and measures as further information becomes available.

18.b.5 *Management should maintain a dialogue with the public authorities with regard to the status of natural hazard assessments such as seismic zone maps and flood risk maps.*

[10] „Natech" steht für („**Na**tural Hazard Triggered **Tech**nical Accidents", gemeint sind hier durch Naturgefahren (in der Störfall-Verordnung: „umgebungsbedingte Gefahrenquellen") verursachte Unfälle von Anlagen durch Freisetzung, Brand oder Explosion gefährlicher Stoffe

[11] Für Deutschland: der Störfall-Verordnung unterliegende Betriebsbereiche und immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden (entsprechend § 3 Absatz 5a Bundes-Immissionsschutzgesetz).

Zu den Empfehlungen 18.a.1 und 18.a.3 der OECD kann festgestellt werden, dass in Deutschland in den vergangenen Jahren eine Reihe von Gefahrenkarten erstellt wurden, die eine wichtige Grundlage für die Gefahrenquellenanalyse darstellen. Im Einzelnen existieren bundesweit Gefahrenkarten für folgende Naturgefahren:

- (Fluss-)Hochwasser (Karten von Überschwemmungsgebieten, Hochwassergefahrenkarten)
- Niederschläge (Kostra-Atlas für Niederschläge bis zu einer Jährlichkeit von 100 Jahren)
- Wind (Jährlichkeit: 50 Jahre, extrapolierbar auf 100 Jahre, 500 Jahre und 1.000 Jahre)
- Böengeschwindigkeit (Jährlichkeit: 50 Jahre, extrapolierbar auf 100 Jahre, 50 0 Jahre und 1.000 Jahre)
- Schneezonen (Jährlichkeit: 50 Jahre)
- Eiszonen
- Erdbeben

Daneben gibt es weitere regionale Gefahrenkarten, wie für Überflutungen durch Niederschläge, Bergsenkung und Lawinen.

Grundsätzlich sieht die OECD die Staaten bzw. Behörden in der Verantwortung Daten über Naturgefahren zu erheben und geeignet zu kommunizieren. Dabei sollen alle Arten von Gefahren abgedeckt werden, die für die Verursachung von Natechs relevant sind.

Die Gefahrenkarten sollen von Behörden aktiv und passiv kommuniziert werden.

Alle Gefahrenkarten bilden eine wichtige Grundlage für die Gefahrenquellenanalyse, z.B. entsprechend den Technischen Regeln für Anlagensicherheit (TRAS) 310 und 320. In beiden TRAS konnten bestimmte Naturgefahren nicht weiter betrachtet werden, weil zum Zeitpunkt der Verabschiedung hierzu die Grundlagen nicht vorhanden waren. Dies betrifft im Fall der TRAS 310 den Hagel als Niederschlagsereignis sowie bzgl. der TRAS 320 den Tornado als Extremwind.

Mittlerweile ist die statistische Erfassung und Auswertung dieser Naturgefahren vorangeschritten. Im Falle der Gefahrenquelle Hagel wurden die Untersuchungen u.a. durch die Versicherungswirtschaft gefördert, so dass eine Risikokarte erstellt werden konnte. Allerdings fehlt nach wie vor eine amtlich erstellte Gefahrenkarte für Hagel.

Ähnliches gilt auch für Tornados. Eine erste, für Europa erstellt grobe Gefahrenkarte wurde vom European Severe Storms Laboratory e.V. erstellt (siehe Kapitel 2.11). Wünschenswert wäre eine höher aufgelöste amtliche Gefahrenkarte für Deutschland.

Eine amtliche Gefahrenkarte, die die überschwemmungsgefährdeten Küstengebiete in Abhängigkeit vom Anstieg des Meerwasserspiegels in Kombination mit Orkanen ausweist, erscheint vor dem Hintergrund der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse dringend geboten. Hierfür wären jedoch Fragen des regional oder lokal realisierten Schutzniveaus zu klären.

Darüber hinaus ist auch eine Verbesserung der zentralen Verfügbarkeit von Gefahrenkarten für die verschiedenen Nutzer sinnvoll. Ein diesbezügliches Beispiel guter Praxis existiert in der Schweiz:

Beispiel guter Praxis: Gefahrenkarten Schweiz

In der Schweiz wurde ein Internetportal vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eingerichtet, dass eine große Anzahl von Naturgefahren berücksichtigt, wie zum Beispiel Überschwemmungen, Erdbeben, Wind usw. Die Gefahrenkarten für Überschwemmungen können für Ereignisse, die statistisch einmal in 50, 100, 250 und 500 Jahren auftreten, abgerufen werden. Ebenso können die Böengeschwindigkeiten, der Winddruck und andere Naturgefahren in diesem Internetportal abgerufen werden, wobei hierbei die Karten übereinandergelegt werden können (layer). Das Besondere an der Schweizer Herangehensweise ist, dass darüber hinaus auch alle Anlagen verzeichnet sind, die der Schweizer Störfall-Verordnung unterliegen. Auf diese Weise kann jeder Betreiber erkennen, welche Naturgefahren für die Sicherheit seines Betriebs berücksichtigt werden müssen. Mithilfe eines solchen interaktiven Systems können Industriebetriebe bei der Gefahrenquellenanalyse entscheidend unterstützt werden.

https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren.html

Darüber hinaus wurde ein Link eingerichtet, der auf das Naturgefahrenportal (www.naturgefahren.ch) führt. Hierbei handelt es sich um ein Informationssystem, das über die aktuelle Naturgefahrensituation informiert und - falls erforderlich - Warnungen herausgibt.

Damit erleichtert das BAFU nicht nur den Zugriff auf Gefahrenkarten für die verschiedenen Naturgefahren, sondern auch die Informationsbeschaffung über aktuelle Gefahren.

Ein vergleichbares zentrales Internetportal, das sowohl mittels Gefahrenkarten über eine Vielzahl von natürlichen Gefahrenquellen informiert, als auch Warnungen vor akuten Naturgefahren ausgibt, wäre im Sinne besserer Nutzerfreundlichkeit auch in Deutschland anzustreben.

In der OECD-Empfehlung *18.b.3.* wird angesprochen,

- dass das **Management** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, auch die Folgen des Klimawandels berücksichtigen soll,
- dass die Methoden für die Erstellung von Gefahrenkarten weiterentwickelt werden sollen.

Für die Umsetzung dieser Empfehlung sind jedoch erst die Voraussetzungen zu schaffen, um das Management von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, in die Lage zu versetzen, sicherheitstechnische Maßnahmen zu ergreifen. In den Gefahrenkarten sind in der Regel die durch den Klimawandel verursachten oder zu erwartenden Veränderungen von Naturereignissen nicht abgebildet.

Die OECD Empfehlungen sehen in *18.b.5* aber auch das **Management** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, in der Pflicht, sich um eine Beteiligung bei der Erstellung von Gefahrenkarten zu bemühen. Wie auch die Auswertung einer Befragung von OECD- und Nicht-OECD Ländern zum Stand des Natech Risikomanagements[12] für den UN/OECD Natech Workshop in 2018 gezeigt hat, ist eine Beteiligung der Betreiber von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, bei der Erstellung von Gefahrenkarten eher die Ausnahme als die Regel.

Zusammengefasst ergibt sich folgendes Verbesserungspotenzial:

2. Für alle relevanten natürlichen Gefahrenquellen sollen von **Behörden** Gefahrenkarten erstellt werden.

[12] Siehe Kapitel 2 des Abschlussberichts: „Natech Risk Management - Contributions to the UN/OECD Natech Project" UBA FKZ 3717 59 307 0, Dessau-Roßlau 2019.

3. Die Gefahrenkarten sollen von den zuständigen **Behörden** an die betroffenen Kommunen, Bürger und Betreiber von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, aktiv und über zentrale Portale im Internet passiv kommuniziert werden.
4. Soweit belastbare wissenschaftliche Erkenntnisse über die zukünftige Entwicklung von Naturgefahren, insbesondere aufgrund des Klimawandels, vorliegen, sollen diese von den zuständigen **Behörden** den jeweiligen Gefahrenkarten beigefügt werden.
5. **Betreiber** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen – davon unabhängig - von sich aus Informationen über relevante Naturgefahren und deren erwartete Änderung - auch aufgrund des Klimawandels - am jeweiligen Standort sammeln und berücksichtigen.
6. Sowohl **Betreiber** als auch **Behörden** sollen bei der Erstellung und Fortschreibung von Gefahrenkarten aktiv die Kommunikation miteinander suchen.

3.3 Instrumente für die Gefahrenquellenanalyse

Für die Analyse der möglichen Gefahren bzw. Gefährdungen ist zuvor eine Analyse von zumindest Häufigkeit, Intensität und Dauer der natürlichen Einwirkungen erforderlich. Insbesondere ist zu klären, unter welchen Bedingungen eine natürliche Einwirkung einen Natech verursachen kann.

Die OECD Leitprinzipien empfehlen Folgendes:

18.b.1 … Management should be aware of the full spectrum of natural hazards that can affect their installation.

18.b.2 Management should use a clear methodology for identification and assessment of Natech risks. In so doing, management should consider:

- *analysis, characterisation and probability of relevant natural hazards; the potential impact[s] on their processes and facilities*

Im Gegensatz zu der Erstellung und Kommunikation der Gefahrenkarten, sehen die OECD Leitprinzipien die Verantwortung für die Analyse der Informationsquellen über natürliche Einwirkungen im Hinblick auf die Wirkung auf Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, beim Anlagenbetreiber. Dies entspricht auch den Betreiberpflichten nach § 3 Absatz 2 Störfall-Verordnung sowie den nach Anhang II Absatz II Nummer 1 Störfall-Verordnung in Sicherheitsberichten vorzulegenden Angaben.

Anhang II Absatz III Nummer 1 der Störfall-Verordnung fordert in Sicherheitsberichten eine Beschreibung der Gefahrenquellen, die zu Störfällen führen könnten. Dies gilt auch für die relevanten natürlichen Gefahrenquellen. Es erscheint daher sinnvoll, dass auf der Basis dieser Verpflichtung (aus der Störfall-Verordnung, die für Anlagen in Betriebsbereichen[13] der „oberen Klasse“ gilt[14]) Methoden zur Analyse natürlicher Gefahrenquellen ausgearbeitet werden. Diese sollten die Auswertung von Szenarien und Informationen zum Einfluss des erwarteten Klimawandels umfassen. Zu empfehlen ist daher:

7. Beim Vollzug der Störfall-Verordnung (bei Betriebsbereichen der oberen Klasse) sollen Betreiber und Behörden auf ein methodisches Vorgehen für die Gefahrenquellenanalyse – entsprechend Anhang II Absatz III Nummer 1 Störfall-Verordnung - achten, die – soweit sinnvoll – auch erwartete Veränderungen aufgrund des Klimawandels berücksichtigt.

[13] Bereich unter der Aufsicht eines Betreibers mit ein oder mehreren Anlagen, in denen bestimmte Mengen bestimmter gefährlicher Stoffe vorhanden sind, und auf die deshalb die Störfall-Verordnung anwendbar ist. (Definition siehe § 3 Absatz 5a BImSchG)

[14] Betriebsbereiche, in denen erhöhte Mengen bestimmter gefährlicher Stoffe vorhanden sein können.

Die Pflicht zur Störfallverhinderung gegenüber umgebungsbedingten Gefahrenquellen stellt die Anlagenbetreiber bisweilen vor eine große Herausforderung, wie auch die Befragungen von 2009 und 2017 (Frage vier d bis h) für die Vorbereitung der Workshops ergeben haben. Tendenziell sind die Anforderungen eher größer geworden. Zu den Schwierigkeiten dürfte hier die anspruchsvolle interdisziplinäre Zusammenarbeit (Spezialisten für natürliche Gefahrenquellen / Spezialisten für die Sicherheit von Anlagen / Tragwerksplanern) gehören.

Gleichwohl bietet die Wissenschaft zunehmend Möglichkeiten, mit Hilfe von Simulationssystemen eine fundierte Gefahrenquellenanalyse durchzuführen.

Beispiel guter Praxis: Simulation der Gefahrenquelle Sturzflut

Im Bereich des Wasserbaus wurden Modelle entwickelt, um die Folgen von Hochwasser in Flussregionen zu simulieren. Zweidimensionale Simulationen bilden die Grundlage für die Erarbeitung von Gefahrenkarten. Dreidimensionale Simulationen können gebäudescharf die Situation vor Ort darstellen.

Darüber hinaus gibt es auch Simulationssysteme für urbane Sturzfluten, um die Überflutungssicherheit in Stadtgebieten durch eine Oberflächenabflussmodellierung zu prüfen (Roland 2016). Wünschenswert wäre die Entwicklung von Abflussmodellen für Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen. Derartige Anlagen liegen auch im Mittelgebirgsraum und insbesondere diese sind im Fall von Sturzfluten potenziell gefährdet. Strömungsgeschwindigkeiten und Staudrücke sind wichtige Daten zur Entwicklung von Schutzkonzepten. Mit Hilfe dieser Simulationssysteme könnten auch die Veränderungen durch den Klimawandel berücksichtigt werden.

Hieraus lässt sich folgende Empfehlung ableiten:

8. **Betreiber, Behörden und Wissenschaft** sollen Simulationssysteme für Sturzfluten im Bereich von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, entwickeln, um wichtige Erkenntnisse zur Auswahl und Bemessung von Maßnahmen zur Störfallverhinderung und Gefahrenabwehr zu erhalten.

3.4 Methoden zur Analyse der Gefahren und Gefährdungen sowie Entwicklung von Schutzkonzepten

Die OECD gibt folgende Empfehlungen zur Durchführung einer Gefahrenanalyse:

18.b.1 When undertaking risk assessments related to hazardous installations, management of should take account of Natech risks.

18.b.2 Management should use a clear methodology for identification and assessment of Natech risks. In so doing, management should consider:

- *the location of hazardous substances in the enterprise and identification of parts the enterprise that might by affected by natural hazards;*
- *the types of accidents that might be triggered by natural hazards/disasters (including the worst case and most likely cases);*
- *the possibility of a hazard affecting several parts of an installation at the same time, and the possibility of cascading impacts;*
- *the fact that multiple hazards may appear at one time (e.g., high winds and rain) and that one natural hazard can trigger another (e.g., an earthquake followed by a tsunami);*

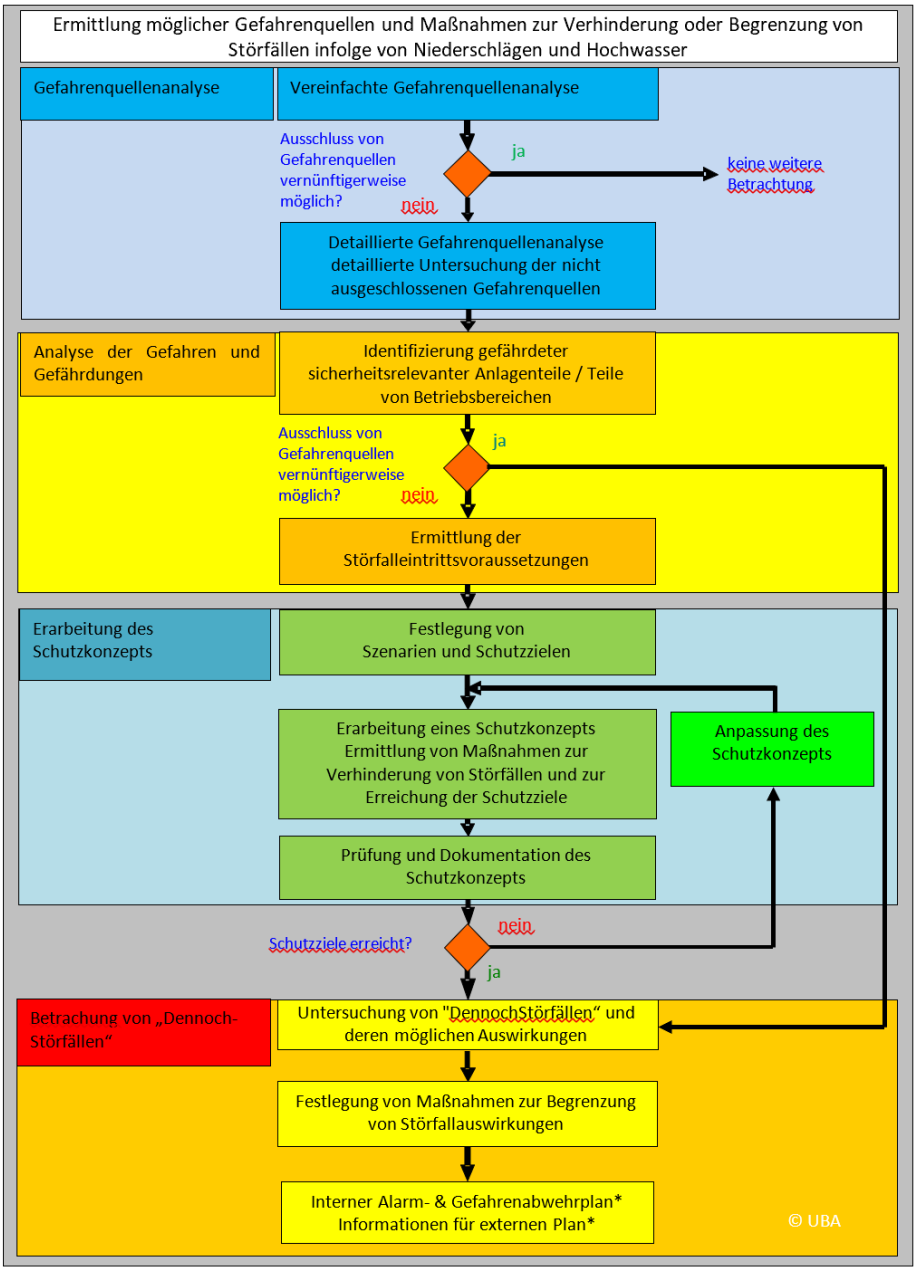
Für die Analyse von Art und Ausmaß der möglichen Gefahren, Bestimmung der Schutzziele sowie der Maßnahmen zur Gefahrenabwehr soll nach den Empfehlungen der OECD eine klar erkennbare Methodik eingesetzt werden. Hierbei sollen die Spezifika von Natechs berücksichtigt werden, wie z. B. dass eine natürliche Gefahrenquelle gleichzeitig mehrere Anlagen oder Anlagenteile treffen kann oder dass mehrere Gefahrenquellen gleichzeitig oder nacheinander ein wirken können.

Die Befragung 2017 zeigte (Frage 4 h), dass die etablierten Methoden zur Gefahrenanalyse und zur Entwicklung von Schutzkonzepten nur zu 25 % als für Natechs geeignet angesehen werden. Bei der Befragung in 2009 waren es noch über 40 % gewesen. Offensichtlich wurde hier durch fortschreitenden Kenntnisstand die Eignung etablierter Methoden, die für andere Zwecke entwickelt wurden, zunehmend kritischer gesehen. Ein Beispiel guter Praxis für derartige Methoden zur Gefahrenanalyse ist die methodische Vorgehensweise, wie sie in den TRAS 310 und 320 eingeführt wurde (Abbildung 2). Aufgrund der geringen Zahl praxisnaher Methoden zur Gefahrenanalyse und zum Risikomanagement sollten entsprechend der OECD Empfehlung 18.a.3 (s.o.) methodische Vorgehensweisen und Simulationsrechnungen weiterentwickelt werden:

9. Zur Analyse von Natech Risiken sollen **Betreiber** und **Wissenschaft** Methoden zur Gefahrenanalyse (wie Rapid-N des EC Joint Research Centers) weiterentwickeln.

Für die Analyse von Gefahren durch natürliche Gefahrenquellen bei der Störfall-Verordnung unterliegenden Anlagen wurde erstmals in der TRAS 310 eine methodische Vorgehensweise entwickelt, die in Abbildung 4 dargestellt ist:

Abbildung 4: Ermittlung von Gefahrenquellen und Maßnahmen (Köppke 2013)



Erstellt von Prof. Dr. Köppke für die TRAS 310 / * Soweit nach § 10 Störfall-Verordnung gefordert.

Diese Elemente wurden auch in der TRAS 320 übernommen. Detailliert wird diese methodische Vorgehensweise in den jeweiligen Hinweisen und Erläuterungen einschließlich Beispieluntersuchungen dargestellt.

3.5 Einrichtung von Frühwarnsystemen

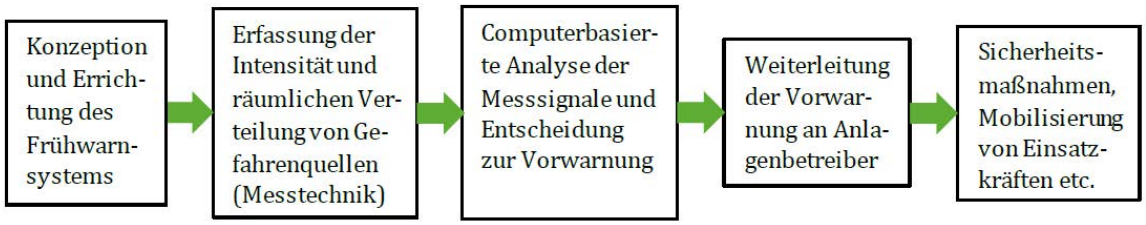
Unter 18.f.2 empfiehlt die OECD den Aufbau und Unterhalt von Warnsystemen auch für Naturgefahren:

18.f.2 Natural hazard warning systems should be regularly tested, maintained, and updated to inform companies and communities of impending natural hazards or disasters, to the extent practicable.

Systeme zur Warnung vor dem Eintreten von Naturgefahren können der Verhinderung von Störfällen dienen oder zur Begrenzung von Störfallauswirkungen beitragen. Entscheidend dafür, ob beides oder nur Letzteres möglich ist, ist der Zeitraum zwischen dem Erkennen bis zum Wirksamwerden der Gefahrenquelle. Hier gibt es erhebliche Unterschiede:

- (Fluss-)Hochwasserereignisse am Niederrhein haben in der Regel eine Vorwarnzeit von mehreren Tagen.
- Gewitter, Sturzfluten oder Tornados haben hingegen Vorwarnzeiten von Stunden bis Minuten.
- Bei Blitzen ist eine Vorwarnung vor dem einzelnen Blitz praktisch nicht möglich. Es kann nur vor Gewittern und damit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Blitzen gewarnt werden.

Frühwarnsysteme basieren auf den folgenden Elementen:



Grundlage aller Frühwarnsysteme ist eine Konzeption (Simulationsmodel), in dem die Eingangssignale der zu beobachtenden Naturgefahren festgelegt werden, woraus anschließend die weitere Entwicklung der Naturgefahr abgeschätzt wird. Darauf aufbauend wird eine geeignete Messtechnik der physikalischen Größen, die Auslöser von Naturgefahren sind, eingerichtet. Weil z. B. Sturzfluten und Hagelschläge in der Regel von starken Gewittern begleitet werden, können Blitzortungssysteme dazu beitragen, diese Gefahrenquellen zu orten und deren Zugbahnen vorherzusagen (vgl. Kapitel 2.8). Ein wichtiges Element von Frühwarnsystemen ist die rasche Auswertung der Daten, um zu entscheiden, ob eine Warnung herausgegeben werden soll. Fehlalarme sollen so weit wie möglich vermieden werden. Im Fall einer Warnmeldung muss diese an die betreffenden Stellen weitergleitet werden. Neben den Zivilschutzbehörden sind dies insbesondere Betreiber von Betriebsbereichen.

Im Rahmen der Befragung 2017 wurden zahlreiche Beispiele guter Praxis bei Warnsystemen ermittelt. Auch wenn die verfügbaren Systeme (z.B. MoWaS, Warn-App Nina des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) noch optimiert werden können, erscheint im Zusammenhang mit Natechs die Weiterentwicklung der Schnittstelle zwischen Warnsystem und Betreiber von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, von zentraler Bedeutung zu sein. Hieraus leitet sich folgende Empfehlung ab:

10. Systeme zur Warnung vor Naturgefahren müssen von den **Betreibern** für ihre Alarm- und Gefahrenabwehrplanung genutzt werden. Im Rahmen einer Fortschreibung der einschlägigen Technischen Regeln (TRAS 310 und 320) soll daher auf diese Warnsysteme hingewiesen und ihre Nutzung verbindlich gemacht werden.

Nicht für alle Gefahrenquellen wird eine für die Störfallverhinderung oder Störfallauswirkungsbegrenzung ausreichende Vorwarnzeit erreichbar sein. Dies gilt z.B. für Blitze oder Tornados. Bei Tornados bleibt nur die Identifizierung von potenziellen Tornado-hot-spots durch den DWD und das European Severe Storms Laboratory e.V. (ESSL). Selbst wenn eine genaue Ortung von Tornados noch nicht möglich ist, stellt die Lokalisierung potenziell gefährdeter Gebiete einen Fortschritt bei der Erkennung von Tornadogefahren dar (vgl. Kapitel 2.11).

3.6 Integration von internen und externen Alarm- und Gefahrenabwehrplanungen

Die OECD empfiehlt:

18.f.1 Existing emergency plans should be reviewed to be sure they address the possible consequences of … natural hazards that might trigger Natechs.

18.f.3 Response personnel should be provided with available information to be most effective in addressing Natechs.

§ 6 Satz 3 Störfall-Verordnung regelt den Informationsaustausch zwischen Betreibern von Betriebsbereichen und den Behörden, die für externe Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zuständig sind. Ziel ist es, die betrieblichen (internen) Alarm- und Gefahrenabwehrpläne mit den externen zu koordinieren. Obwohl diese Forderung schon seit langem besteht, hat die Praxis gezeigt, dass es immer wieder zu Defiziten kommen kann. So wurde beispielsweise während des Elbehochwassers im Jahre 2002 um einen Chemiebetrieb eine mobile Hochwasserschutzwand zum Schutz der Bevölkerung errichtet. Damit war jedoch die vorgesehene Auslagerung gefährlicher Chemikalien aus dem gefährdeten Betriebsgelände nicht mehr möglich (Warm, Köppke 2007).

Die OECD empfiehlt, die Notfallpläne (die internen von Betreibern und die externen von Behörden) an die neusten Erkenntnisse anzupassen und sicher zu stellen, dass sie Naturgefahren / Natech-Risiken berücksichtigen. Hierzu gehören auch solche über die Auswirkung des Klimawandels auf Naturgefahren. In diesem Zusammenhang sind auch die Beschäftigten in Betriebsbereichen über die Gefahren durch Naturereignisse und Natechs zu unterrichten. Zusammengefasst ergibt sich somit folgende Empfehlung:

11. Naturgefahren, die Auswirkungen des Klimawandels auf diese und Natech-Risiken sollen bei der Fortschreibung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen von **Betreibern und Behörden** berücksichtigt werden. Ergebnisse der Aktualisierung sollen zwischen Betreibern und Behörden abgestimmt werden. Die Beschäftigten in Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen über die Gefahren durch Naturereignisse und Natechs sowie das von ihnen im Falle einer Naturgefahr erwartete Verhalten unterrichtet werden.

3.7 Umsetzung der einschlägigen Anforderungen der Störfall-Verordnung

Betriebsbereiche, die unter der Aufsicht eines Betreibers stehen und in denen in einer oder mehreren Anlagen bestimmte gefährliche Stoffe in bestimmten Mengen vorhanden sind, unterliegen der Störfall-Verordnung (12. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz)[15]. Schon seit deren erster Fassung im Jahre 1980 fordert deren § 3, dass bei der Bestimmung der erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen natürliche umgebungsbedingte Gefahrenquellen zu berücksichtigen sind. Soweit ein Sicherheitsbericht – früher „Sicherheitsanalyse" – zu erstellen ist, müssen die Gefahren von Störfällen und mögliche Störfallszenarien auch durch natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen ermittelt werden. Auf dieser Basis kann dann festgestellt werden, welche Sicherheitsvorkehrungen – wie in § 3 Störfall-Verordnung gefordert – „erforderlich" sind.

Davon unabhängig, fordert die Störfall-Verordnung Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkung von (dennoch) eintretenden Störfällen so gering wie möglich zu halten. Soweit für den Betriebsbereich interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne zu erstellen sind, sind darin auch die Szenarien von Störfällen durch natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen zu berücksichtigen.

Weiter fordert die Störfall-Verordnung, dass die Vorkehrungen und Maßnahmen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen müssen.

[15] Genau Definition siehe § 3 Absatz 5a BImSchG

Zur Konkretisierung der Anforderungen der Störfall-Verordnung wurden die Technischen Regeln für Anlagensicherheit 310 „Niederschläge und Hochwasser“ und 320 „Wind, Schnee- und Eislasten“ vom BMU bekannt gemacht. Die Berücksichtigung der natürlichen, umgebungsbedingten Gefahrenquellen in Sicherheitsberichten wird durch eine Vollzughilfe zur Störfall-Verordnung des BMU konkretisiert (BMU 2004).

In den Befragungen der OECD (2017 Frage 4d) zur Vorbereitung des zweiten Natech-Workshops waren 50 % und mehr der Befragten der Meinung, dass Natech-Risiken in Gesetzen und Verordnungen genügend berücksichtigt seien. Etwas differenzierter sind die Empfehlungen der OECD formuliert:

18.e.1 In developing and reviewing regulations and guidance concerning chemical accident prevention, preparedness and response, public authorities should take into account risks associated with Natechs.

Tatsächlich zeigt die OECD Befragung 2017, dass

- Beispiele guter Praxis für die Berücksichtigung von Natech-Risiken bei Vorschriften, Gefahrenkarten, Warnsystemen und Sicherheitsmanagementsystemen benannt werden;
- hingegen bei der Berücksichtigung von Natech-Risiken bei Auslegung und Konstruktion von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, bei speziellen Betriebsvorschriften für den Fall von Einwirkungen natürlicher Gefahrenquellen, in Sicherheitsberichten, in (internen) Notfallplänen, in Genehmigungen, bei Inspektionen und bei der Ausbildung keine oder nur sehr wenige Beispiele guter Praxis benannt werden.

Zu Letztgenanntem gibt es jedoch entsprechende Pflichten gemäß der Störfall-Verordnung (bzw. der entsprechenden europäischen Seveso-Richtlinie). Gleichwohl gibt es noch folgenden Verbesserungsbedarf:

12. In der Umsetzung der Störfall-Verordnung und im untergesetzlichen Regelwerk sollen natürliche Gefahrenquellen stärker und detaillierter berücksichtigt werden.
13. Bei der Aus- und Fortbildung von **Behördenmitarbeiter*innen und Betreiber*innen** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen Natech-Risiken berücksichtigt werden.

3.8 Anwendung des Verursacherprinzips

§ 4 des Umwelthaftungsgesetzes „Ausschluss der Haftung“ bestimmt: „Die Ersatzpflicht besteht nicht, soweit der Schaden durch höhere Gewalt verursacht wurde.“ § 3 des Umweltschadensgesetzes „Anwendungsbereich“ bestimmt in Absatz 3: „Dieses Gesetz findet keine Anwendung auf Umweltschäden oder die unmittelbare Gefahr solcher Schäden, wenn sie durch (Nummer) 2. „ein außergewöhnliches, unabwendbares und nicht beeinflussbares Naturereignis, verursacht wurden.“

Ob ein Betreiber einer Anlage, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, für Schäden im Falle eines Natechs haften muss, ist den Gesetzestexten nicht eindeutig entnehmbar.

Ein „Schaden durch höhere Gewalt“ ist ein Natech streng genommen nicht. Bei Natechs wird der Schaden zwar durch eine natürliche Gefahrenquelle ausgelöst; verursacht wird der Schaden jedoch tatsächlich durch die gefährlichen Stoffe, die in der Anlage oder dem Betriebsbereich in der Verantwortung eines Betreibers vorhanden sind. Gleiches gilt für Schäden durch „außergewöhnliche, unabwendbare und nicht beeinflussbare Naturereignisse“, die einen Natech zwar auslösen können, aber nicht direkt den Umweltschaden durch gefährliche Stoffe in Anlagen oder Betriebsbereichen verursachen.

Gegen Naturereignisse, die gewöhnlich, abwendbar oder beeinflussbar sind, hat der Betreiber derartiger Anlagen oder Betriebsbereiche Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Für die Haftung von Schäden, ausgelöst durch „außergewöhnliche, unabwendbare und nicht beeinflussbare Naturereignisse", sollen Betreiber derartiger Anlagen bzw. Betriebsbereiche ausreichende Vorsorge durch Versicherungen treffen.

Nicht sinnvoll ist, dass Schäden durch Natechs aus Steuern kompensiert werden. Wenn Häufigkeiten und Intensitäten von Naturgefahren aufgrund des Klimawandels zunehmen, so können auch Schäden durch Natechs zunehmen. Dies sollte nicht zu Lasten der öffentlichen Haushalte gehen, sondern derer, die Anlagen mit gefährlichen Stoffen oder Betriebsbereiche betreiben und deshalb ggf. für Natechs verantwortlich sind.

Die OECD empfiehlt daher eine Überprüfung, wie das Verursacherprinzip im Falle von Natechs bzw. Natech-Risiken angewandt werden kann:

18.h.1 Countries should consider how to apply the Polluter Pays Principle in the context of chemical accidents triggered, or made worse, by natural hazards.

Entsprechend sollte eine Klarstellung der Ausnahmeregelungen im Umweltschadensgesetz und Umwelthaftungsgesetz in Bezug auf Schäden durch Natechs erfolgen.

14. Im **Umweltschadensgesetz** und **Umwelthaftungsgesetz** soll in Bezug auf Schäden durch Natechs klargestellt werden, dass der **Betreiber** der Anlage oder des Betriebsbereichs, in der bzw. in dem die den Schaden verursachenden Stoffe vorhanden waren, haften muss.

3.9 Stärkung der grenzüberschreitenden und internationalen Zusammenarbeit

Naturgefahren und daraus resultierende Natechs können potenziell grenzüberschreitend sein. Daher dürfen sich Bemühungen um ein erfolgreiches Natech-Risikomanagement in seinen diversen Facetten nicht auf innerstaatliche Aktivitäten beschränken. Um Regierungen, Behörden und Anlagenbetreiber bei der Implementierung eines effektiven Natech Risikomanagements zu unterstützen, sollte daher die internationale Kooperation erweitert und gestärkt werden. Die OECD empfiehlt entsprechend, dass Nachbarstaaten in den Bereichen Natech-Vorbeugung, -Vorsorge und –Bewältigung kooperieren sollten (18.g.1) und dass Staaten sich hierzu, einschließlich der Bereiche Identifizierung von Naturgefahren, Gefahrenkarten und Naturkatastrophenschutz/-management, Erfahrungen und Beispiele guter Praxis austauschen (18.g.2):

18.g.1 Neighbouring countries should cooperate in Natech prevention, preparedness and response.

18.g.2 Countries should exchange experience concerning good practices for Natech prevention, preparedness and response including natural hazard identification, hazard mapping and natural disaster management.

Die OECD Empfehlungen enthalten damit zwei Ansätze:

15. **Staaten**, die durch **eine** Naturgefahr getroffen werden können, sollen beim Natech-Risikomanagement eng zusammenarbeiten. Das Gleiche sollte für Betreiber in verschiedenen Staaten gelten, deren Anlagen durch eine Naturgefahr getroffen werden können.
16. **Staaten**, **Betreiber** und **Behörden** sollen Erfahrungen mit guter Praxis im Natech-Risikomanagement austauschen.

Für letztgenannten Austausch kann das innerhalb des Natech-Projektes erstellte Verzeichnis guter Praxis im Natech-Risikomanagement genutzt werden.

4 Empfehlungen

Aufgrund von zwei UN/OECD-Workshops zum Natech-Risikomanagement sowie der Wirkung des Klimawandels auf Naturgefahren ergeben sich folgende Empfehlungen:

1. **Betreiber** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen natürliche Gefahrenquellen, die Natechs verursachen können und die erwarteten Einflüsse des Klimawandels auf deren Intensität, Häufigkeit und örtliche Verteilung berücksichtigen. Hierzu sollen sie Projektionen des Klimawandels berücksichtigen, Anpassungsstrategien an den Klimawandel entwickeln, weitergehende Sicherheitsmaßnahmen treffen sowie Bewertungen und Maßnahmen bei weitergehendem Kenntnisstand aktualisieren.
2. Für alle relevanten natürlichen Gefahrenquellen sollen von **Behörden** Gefahrenkarten erstellt werden.
3. Die Gefahrenkarten sollen von den zuständigen **Behörden** an die betroffenen Kommunen, Bürger und Betreiber von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, aktiv und über zentrale Portale im Internet passiv kommuniziert werden.
4. Soweit belastbare wissenschaftliche Erkenntnisse über die zukünftige Entwicklung von Naturgefahren, insbesondere aufgrund des Klimawandels, vorliegen, sollen diese von den zuständigen **Behörden** den jeweiligen Gefahrenkarten beigefügt werden.
5. **Betreiber** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen – davon unabhängig - von sich aus Informationen über relevante Naturgefahren und deren erwartete Änderung - auch aufgrund des Klimawandels - am jeweiligen Standort sammeln und berücksichtigen.
6. Sowohl **Betreiber** als auch **Behörden** sollen bei der Erstellung und Fortschreibung von Gefahrenkarten aktiv die Kommunikation miteinander suchen.
7. Beim Vollzug der Störfall-Verordnung (bei Betriebsbereichen der oberen Klasse) sollen **Betreiber und Behörden** auf ein methodisches Vorgehen für die Gefahrenquellenanalyse – entsprechend Anhang II Absatz III Nummer 1 Störfall-Verordnung - achten, die – soweit sinnvoll – auch erwartete Veränderungen aufgrund des Klimawandels berücksichtigt.
8. **Betreiber, Behörden und Wissenschaft** sollen Simulationssysteme für Sturzfluten im Bereich von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, entwickeln, um wichtige Erkenntnisse zur Auswahl und Bemessung von Maßnahmen zur Störfallverhinderung und Gefahrenabwehr zu erhalten.
9. Zur Analyse von Natech Risiken sollen **Betreiber** und **Wissenschaft** Methoden zur Gefahrenanalyse (wie Rapid-N des EC Joint Research Centers) weiterentwickeln.
10. Systeme zur Warnung vor Naturgefahren müssen von den **Betreibern** für ihre Alarm- und Gefahrenabwehrplanung genutzt werden. Im Rahmen einer Fortschreibung der einschlägigen Technischen Regeln (TRAS 310 und 320) soll daher auf diese Warnsysteme hingewiesen und ihre Nutzung verbindlich gemacht werden.
11. Naturgefahren, die Auswirkungen des Klimawandels auf diese und Natech-Risiken sollen bei der Fortschreibung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen von **Betreibern und Behörden** berücksichtigt werden. Ergebnisse der Aktualisierung sollen zwischen Betreibern und Behörden abgestimmt werden. Die Beschäftigten in Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen über die Gefahren durch Naturereignisse und Natechs sowie das von ihnen im Falle einer Naturgefahr erwartete Verhalten unterrichtet werden.
12. In der Umsetzung der Störfall-Verordnung und im untergesetzlichen Regelwerk sollen natürliche Gefahrenquellen stärker und detaillierter berücksichtigt werden.
13. Bei der Aus- und Fortbildung von **Behördenmitarbeiter*innen und Betreiber*innen** von Anlagen, in denen gefährliche Stoffe vorhanden sind, sollen Natech-Risiken berücksichtigt werden.

14. Im **Umweltschadensgesetz** und **Umwelthaftungsgesetz** soll in Bezug auf Schäden durch Natechs klargestellt werden, dass der **Betreiber** der Anlage oder des Betriebsbereichs, in der bzw. in dem die den Schaden verursachenden Stoffe vorhanden waren, haften muss.
15. **Staaten**, die durch **eine** Naturgefahr getroffen werden können, sollen beim Natech-Risikomanagement eng zusammenarbeiten. Das Gleiche sollte für Betreiber in verschiedenen Staaten gelten, deren Anlagen durch eine Naturgefahr getroffen werden können.
16. **Staaten**, **Betreiber** und **Behörden** sollen Erfahrungen mit guter Praxis im Natech-Risikomanagement austauschen.

A Literaturverzeichnis

Antonov, J.I., Levitus, S. und Boyer, T.P (2005): Thermosteric sea level rise, 1955-2003. In: Geophysical Research Letters, 2005, 32(12), John Wiley & Sons, Washington D.C., L12602

Becker, P., Becker, A., Dalelane, C., Deutschländer, T., Junghänel, T. und Walter, A. (2016): Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland - Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) [Hrsg.] (2004): Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, Bonn

Carson, M., Köhl, A., Stammer, D.A., Slangen, AnB., Katsman, C.A., van de Wal, R.S.W., Church, J. und White, N. (2015): Coastal Sea Level Changes, Observed and Projected during the 20th and 21st Century. In: Climatic Change, 2016, 134(1), Springer, Dordrecht, S. 269-281

Deutscher Wetterdienst (DWD) [Hrsg.] (2017): Nationaler Klimareport. 3. korrigierte Auflage, Offenbach am Main

Faust, E. und Rädler, A. (2018): Hagel – eine unterschätzte, zunehmende Gefahr. Munich Re, https://www.munichre.com/topics-online/de/climate-change-and-natural-disasters/climate-change/hail.html (23.10.2018)

Folger, T. (2013): Meeresspiegel-Anstieg: Vor uns die Sintflut? In: National Geographic, 2013(9), S. 38-74

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. [Hrsg.] (2018): Naturgefahrenreport 2018, Berlin

Grinsted, A., Jevrejeva, S., Riva, R.E.M. und Dahl-Jensen, D. (2015): Sea level rise projections for northern Europe under RCP8.5. In: Climate Research, 2015, 64, Inter-Research Science Center, Oldendorf/Luhe, S. 15-23

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013): AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge University Press

Jensen, J., Dangendorf, S., Wahl, Th. und Steffen, H. (2014): Meeresspiegeländerungen in der Nordsee: Vergangene Entwicklungen und zukünftige Herausforderungen mit einem Fokus auf die Deutsche Bucht. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 2014, 58 (6), Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 304 - 323

Köppke, K.-E. und Sterger, O. (2013): Grundlage für die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310. Umweltbundesamt-Texte 17/13, Dessau-Roßlau

Kolendowicz, L. Taszarek, M. und Czernecki, B. (2017): Atmospheric circulation and sounding-derived parameters associated with thunderstorm occurrence in Central Europe. In: Atmospheric Research, 2017, 191, Elsevier Science, S. 101-114

Krätzig, W.B., Andres, M., Niemann, H.-J. und Köppke, K.-E. (2016): Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten - Technische Regel für Anlagensicherheit 320 (TRAS 320). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Lozán, J.L., Friedrich, A., Groenemeijer, P. und Sävert, T. (2018): Naturgewalt Tornado: Eine kurze Übersicht. In: Lozán et al.(2018): Warnsignal Klima – Extremereignisse, Universität Hamburg, Hamburg, S.243-249

Mehlig B., Brinkmann, M., Ezilius, G., Lotter, R., Oermann, K., Richter, P. Stoffels, H. (2002): Nachhaltiger Hochwasserschutz in Nordrhein-Westfalen. In: Jahresbericht 2002, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, S. 31-46

Möhrlein, M., Pörtge, V. und Betz, H.-D. (2018): Sonstige Extremereignisse, Kapitel 6.1: In: Lozán et al. (2018): Warnsignal Klima – Extremereignisse. Universität Hamburg, Hamburg, S.228-235

Munich Re (2012): NATCATSERVICE Naturkatastrophen in Deutschland 1970 – 2011. Münchner Rückversicherungsgesellschaft, München

Nerema, R.S., Beckley, B.D., Fasullo, J.T., Hamlington, B.D., Masters, D., und Mitchum, G.T. (2018): Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. In: Proceedings of the National Academy of Science of the United Nations of America, 2018, 115(9), Washington D.C., S. 2022–2025

OECD (2003): Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response, OECD: Series on Chemical Accidents, No. 10, 2nd Ed., Paris

OECD (2015): Addendum Number 2 to the OECD Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response to Address Natural Hazards Tiggering Technological Accidents (Natechs), OECD: Series on Chemical Accidents No., 27, Paris

Púcik, T., Groenemeijer, P., Rädler, A.T. und Tijssen, L. (2017): Future Changes in European severe convection environments in a regional climate model ensemble. In: Journal of Climate, 2017, 30, New York, Washington D.C., S.6771-6794Reyers, M., Pinto, J. G., Brasseur, G., Jacob, D. und Schuck-Zöller, S. [Hrsg.] (2017): Klimawandel in Deutschland – Entwicklungen, Folgen, Risiken und Perspektiven. 1.Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg

Roland, A. (2016): Hochauflösende Simulation von urbanen Sturzfluten. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2016, (62) Nummer 3, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V. Hennef, S. 215 – 224

Sander, J., Eichner, J.F., Faust, E. und Steuer, M. (2013): Rising Variability in Thunderstorm-Related U.S. Losses as a Reflection of Changes in Large-Scale Thunderstorm Forcing. In: Weather, Climate and, Society, 2013, 5, American Meteorological Society, Massachusetts, S.317–331

Schmidt, K. (2007): Ortung und Analyse von Blitzentladungen mittels Registrierung von VLF-Atmospherics innerhalb eines Messnetzes. Ludwig-Maximilians-Universität München, München

Warm, H.-J. und Köppke, K.-E. (2007): Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen). Umweltbundesamt, Texte 42/07, Dessau-Roßlau