

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG
FAKULTÄT LIFE SCIENCES**

**Methodik zur Auswahl
relevanter Stoffe und Stoffgruppen
für Einsätze messender Feuerwehr Einheiten**

Bachelorthesis

im Studiengang
Gefahrenabwehr

vorgelegt von

Thomas Luttermann

Mtr.-Nr.: XXXXXXXXXX

Hamburg, den 05. Februar 2024

Gutachter:

Prof. Dr. Udo van Stevendaal, HAW Hamburg

Dipl.-Ing. Matthias Freudenberg, Feuerwehr Hamburg

Abstract

In Deutschland werden jährlich große Mengen an Gefahrgütern transportiert [1]. Auf den Transporten kommt es immer wieder zu Unfällen. Im Jahr 2018 sind bei 83 dieser Unfälle Gefahrgüter ausgetreten [2]. Unfälle mit austretenden Gefahrstoffen führen in der Regel zu Einsätzen der Feuerwehr, die in ihrem Zuständigkeitsbereich des Umweltschutzes, sowie dem Schutz der betroffenen Personen tätig wird. Zum Schutz der Einsatzkräfte werden bei Gefahrguteinsätzen Messungen durchgeführt, die Aufschluss darüber geben, welche Gefahrstoffe in welchen Konzentrationen in der Umgebungsluft vorhanden sind. Diese Messungen dienen in erster Linie zur Beurteilung des vorhandenen Risikos und dem Schutz der Einsatzkräfte. Damit die Messungen anhand einer standardisierten Auswahl von Gefahrstoffen erfolgen können, hat das Bundesamt für Zivilschutz (heute Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) in den Jahren 1995 bis 1996 die Technische Universität München damit beauftragt, eine Liste mit Gefahrstoffen für diesen Anwendungsfall zu definieren. In dieser Ausarbeitung wird überprüft, ob die hieraus entstandene Einsatztoleranzwert-Liste den aktuellen Anforderungen entspricht. Weiterhin wird untersucht, ob ein rechnerischer Ansatz der NATO beziehungsweise der International Task Force-25 mit einer hieraus resultierenden Gefahrstoff-Liste zur Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste genutzt werden kann und welche Auswirkungen dies auf die verwendete Messtechnik hätte. Die Untersuchungen wurden anhand von Unfallberichten, zivil-militärischen Vereinbarungen und der aktuellen Verfügbarkeit von Messtechnik durchgeführt. Diese Ausarbeitung kommt zu dem Ergebnis, dass die aktuelle Einsatztoleranzwert-Liste durch die Substanzen, die sich auf der Liste der NATO beziehungsweise der International Task Force-25 befinden, ergänzt werden sollte. Dies hat zur Folge, dass die Beladung der CBRN-Erkundungskraftwagen, sowie das Produktportfolio der Firma Dräger im Bereich der Messtechnik für chemische Substanzen entsprechend erweitert werden müsste.

Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen und mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. Udo van Stevendaal von der HAW-Hamburg, der meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Dipl.-Ing. Matthias Freudenberg von der Feuerwehr Hamburg. Er hat als Zweitgutachter und Ansprechpartner bei Fragen zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Ein besonderer Dank gilt Dr.-Ing. Ulrich Klenk und Nicolai Gaeding von der Firma Drägerwerk AG & Co. KGaA ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrer Betreuung, sowie der Informationsbereitschaft und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Thomas Luttermann

Hamburg, den 05. Februar 2024

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis | I |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Ausgangssituation | 2 |
| 2.1 Transport von Gefahrgütern in Deutschland | 2 |
| 2.2 Unfälle beim Transport von Gefahrgütern in Deutschland | 3 |
| 2.3 Aktueller Stand der Einsatztoleranzwert-Liste | 4 |
| 3 Ansatz der NATO | 6 |
| 3.1 Ursprung des Ansatzes | 6 |
| 3.2 Berechnung des Gefahrenindex | 9 |
| 3.3 Einordnung der Gefahrstoffe anhand des Gefahrenindex | 11 |
| 4 Vergleich des NATO-Ansatzes mit der Einsatztoleranzwert-Liste | 15 |
| 4.1 Differenzen zwischen dem NATO-Ansatz und der ETW-Liste | 15 |
| 4.2 Anwendbarkeit des NATO-Ansatzes für die BOS in Deutschland | 18 |
| 5 Empfehlungen zur Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste | 26 |
| 6 Auswirkungen auf die Dräger Messstrategie für die BOS | 27 |
| 6.1 Übersicht der aktuell verwendeten Messtechnik | 27 |
| 6.2 Zusätzlich für CBRN-ErkW des Bundes benötigte Messtechnik | 29 |
| 6.3 Zusätzlich benötigte Messtechnik | 30 |
| 7 Diskussion | 31 |
| 7.1 Anwendbarkeit des NATO-Ansatzes zur Aktualisierung der ETW-Liste | 31 |
| 7.2 Auswirkungen auf die Messtechnik in der Dräger Messstrategie für die BOS | 32 |
| 8 Fazit | 33 |
| Literatur | 34 |
| Erklärung | 40 |
| Anhang: Aktuelle Version der ETW-Liste | 41 |

Abkürzungsverzeichnis

| | | |
|-------------------|---|---|
| BOS | - | Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben |
| CAS | - | Chemical Abstract Service |
| CBRN | - | chemisch, biologisch, radiologisch, nuklear |
| CBRN-ErkW | - | CBRN-Erkundungskraftwagen |
| CIMIC | - | civil-military cooperation |
| ETW | - | Einsatztoleranzwert |
| ETW-1 | - | Einsatztoleranzwert für eine Einsatzdauer von bis zu einer Stunde |
| ETW-4 | - | Einsatztoleranzwert für eine Einsatzdauer von bis zu vier Stunden |
| IDLH | - | Immediately Dangerous to Life and Health |
| ITF-25 | - | International Task Force-25 |
| LC _{t50} | - | Letales Konzentrations-Zeit-Produkt für 50 % der Betroffenen |
| ppm | - | parts per million |
| vfdb | - | Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes |
| UEG | - | Untere Explosionsgrenze |
| ZMZ | - | Zivil-Militärische Zusammenarbeit |

1 Einleitung

In dieser Ausarbeitung wird untersucht, ob ein rechnerischer Ansatz der NATO als Methode zur Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben in Deutschland genutzt werden kann. Hierzu wird der Fokus auf die messenden Einheiten der Feuerwehren gelegt. Repräsentativ für deren Ausstattung werden die messtechnischen Möglichkeiten des CBRN-Erkundungskraftwagens entsprechend der Anforderungen beurteilt. Dieses Fahrzeug wird vom Bund zur Verfügung gestellt und durch örtliche Feuerwehreinheiten besetzt. Die Anforderungen werden in die aktuell geltenden Substanzen gemäß der Einsatztoleranzwert-Liste und die Substanzen gemäß einer Aktualisierung nach dieser Ausarbeitung unterteilt. Eine Aktualisierung der Anforderungen durch eine Veränderung, der zu messenden chemischen Substanzen, kann eine Veränderung der benötigten Messtechnik mit sich bringen. Inwieweit hier eine Veränderung erforderlich ist, wird im zweiten Abschnitt dieser Arbeit untersucht. Veränderungen in der Anforderung der Beladung des CBRN-Erkundungskraftwagens können auch neue Anforderungen an am Markt verfügbare Messtechnik bedeuten, wenn dieser Bedarf bisher noch nicht existent war. Inwieweit dies zutrifft, wird anhand der von der Firma Dräger vertriebenen Messtechnik untersucht.

2 Ausgangssituation

2.1 Transport von Gefahrgütern in Deutschland

Von 2016 bis 2021 wurden in Deutschland im Durchschnitt jährlich rund 4,57 Milliarden Tonnen Güter befördert, wobei die Statistik die Beförderungsarten Eisenbahnverkehr, Straßenverkehr, Binnenschifffahrt, Seeverkehr, und Luftverkehr kumuliert [1]. Die Menge der beförderten Gefahrgüter auf Straße, Schiene, dem Wasser oder in der Luft lag im Jahr 2010 bei rund 307 Millionen Tonnen [2] und im Jahr 2018 bei rund 312 Millionen Tonnen [3]. Dies entspricht einem Anteil von rund 7 % an der durchschnittlichen Gesamtbeförderungsmenge. Gefahrgüter bzw. gefährliche Güter sind „[...] Stoffe und Gegenstände, von denen auf Grund ihrer Natur, ihrer Eigenschaften oder ihres Zustandes im Zusammenhang mit der Beförderung Gefahren für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere für die Allgemeinheit, für wichtige Gemeingüter, für Leben und Gesundheit von Menschen sowie für Tiere und Sachen ausgehen können“ [4]. Im Jahr 2018 wurde der größte Anteil der Gefahrgüter mit rund 150 Millionen Tonnen auf der Straße transportiert. Hierfür wurden alle Transporte in Transportfahrzeugen mit einer Nutzlast ab 3,5 Tonnen erfasst. Der Durchgangsverkehr blieb unberücksichtigt [3]. Zum Durchgangsverkehr gehören Verkehrsteilnehmende, die die Bundesrepublik Deutschland passieren, jedoch innerhalb Deutschlands keine Güter be- oder entladen. Tabelle 1 zeigt, wie sich die transportierten Gefahrgüter in die entsprechenden Gefahrklassen verteilen. Der größte Anteil hierbei liegt in Gefahrklasse 3 Endzündbare flüssige Stoffe. Hierzu gehören beispielsweise Benzin oder Diesel. Die Gefahrklasse 7 beinhaltet radioaktive Stoffe, die in dieser Ausarbeitung und in Tabelle 1 nicht weiter betrachtet werden.

Tabelle 1 - Gefahrguttransportmenge 2018 nach Gefahrklassen [3]

| Gefahrgut | Insgesamt ¹ | Seeverkehr ² | Binnenschifffahrt ² | Eisenbahnverkehr ⁴ | Straße ^{2,3} |
|--|------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | 1 000 Tonnen | | | | |
| Insgesamt | 312 486 | 43 084 | 42 380 | 78 036 | 148 986 |
| darunter: | | | | | |
| 1 Explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff | 1 436 | 163 | 41 | 77 | 1 155 |
| 2 Gase | 25 831 | 1 385 | 3 162 | 8 001 | 13 282 |
| 3 Entzündbare flüssige Stoffe | 213 710 | 36 239 | 31 075 | 48 586 | 97 810 |
| 4.1 Entzündbare feste Stoffe | 8 807 | 376 | 135 | 1 332 | 6 965 |
| 4.2 Selbstentzündliche Stoffe | 9 869 | 918 | 911 | 3 893 | 4 148 |
| 6.1 Giftige Stoffe | 10 299 | 988 | 977 | 2 803 | 5 531 |
| 8 Ätzende Stoffe | 23 944 | 1 320 | 3 437 | 5 973 | 13 215 |
| 9 Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände | 16 039 | 1 536 | 2 589 | 6 471 | 5 442 |

1 Die Gesamtzahl ist mit Einschränkung unter den jeweiligen Angaben der Verkehrsträger zu sehen.

2 Ohne Gefahrklasse 7.

3 Deutsche und ausländische Fahrzeuge ab 3,5 t Nutzlast, ohne Durchgangsverkehr.

4 Erhobene Zahlen auf Basis der Jahresstatistik "Betriebsdaten des Schienenverkehrs".

Weitere Informationen siehe Methodik. Diese Statistik wird nicht bei allen Unternehmen, sondern nur bei Unternehmen, die auch Bestandteil der Jahresstatistik sind, durchgeführt.

2.2 Unfälle beim Transport von Gefahrgütern in Deutschland

Die Einsatzkräfte der Feuerwehren kommen in der Regel nach Unfallgeschehen zum Einsatz. Deswegen wird für die weitere Betrachtung das Unfallgeschehen beim Transport von Gefahrgütern analysiert. Im Jahr 2020 gab es in Deutschland 31.151 Unfälle im Güterkraftverkehr. Hiervon waren in 303 Fällen Gefahrguttransporte beteiligt. Bei 83 Unfällen sind Gefahrgüter freigesetzt wurden. Dies waren größtenteils Gase, entzündbare flüssige Stoffe oder ätzende Stoffe. [5]

2.3 Aktueller Stand der Einsatztoleranzwert-Liste

Das Bundesamt für Zivilschutz (heute Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) hat in den Jahren 1995 bis 1996 die Technische Universität München damit beauftragt, eine Liste mit Gefahrstoffen zu definieren, deren Gase oder Dämpfe die folgenden drei Eigenschaften besitzen [6]:

1. einsatztaktisch relevant
2. mit einfachen Mitteln sofort nachweisbar
3. toxikologische und/oder sicherheitstechnische Bewertungen (zu den Stoffen) liegen vor

Die daraus entstandene Einsatztoleranzwert-Liste (ETW-Liste) gilt für Einsätze und die hierbei erforderlichen Tätigkeiten von Einsatzkräften mit einem Zeitraum von maximal vier Stunden [6]. Wichtig ist jedoch, dass unabhängig von dem betrachteten Gefahrstoff ausreichend Luftsauerstoff vorhanden ist. In der Feuerwehrdienstvorschrift 7 wird hierfür eine Grenze von mindestens 17 Vol. % festgelegt [7]. Diese Mindestanforderung an die Umgebungsbedingung muss erfüllt werden, damit bei filtrierendem, Umluft abhängigem Atemschutz ausreichend Sauerstoff zum Atmen vorhanden ist. Hierfür werden in der Regel Atemschutzmasken mit Filtern verwendet.

In der ursprünglichen Version wurden Einsatztoleranzwerte für 44 Stoffe aufgelistet. Für die Stoffe wurden, sofern verfügbar, folgende Eigenschaften erfasst [6]:

- CAS-Nr.
- Stoff-(UN-) Nummer
- Einsatztoleranzwert für einen Einsatzzeitraum von bis zu vier Stunden in ppm
- Untere Explosionsgrenze (100 % UEG)
- Gefahr der „Gewöhnung des Geruchssinnes“ besteht ja/nein
- hautresorptiver Gefahrstoff ja/nein
- messbar mit Normbeladung eines CBRN-Erkundungswagen ja/nein

Die aktuelle Fassung der ETW-Liste wurde in der Richtlinie 10/01 der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdB) im März 2022 veröffentlicht. Vergleicht man die älteste verfügbare Version aus der Veröffentlichung im Jahr 2005 mit der aktuellen, so kommt man zu dem Ergebnis, dass die Auswahl der Substanzen identisch geblieben ist. Bei einigen Substanzen wurden jedoch die Grenzwerte angepasst. Außerdem wurde bei einigen Substanzen ein zusätzlicher Einsatztoleranzwert für Einsätze mit einer Einsatzdauer von bis zu einer Stunde (ETW-1) eingefügt. Bei 11 der insgesamt 44 Substanzen wurde dieser ETW-1 allerdings nicht festgelegt.

Weiterhin wurde in der ETW-Liste aktualisiert, welche der 44 angegebenen Substanzen mit der Normbeladung eines CBRN-Erkundungswagens (CBRN-ErkW) erfassbar sind. Mit der aktuellen Ausstattung dieser Fahrzeuge sind 39 der 44 Substanzen messbar. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der ursprünglichen ETW-Liste hingegen waren es nur 26 von 44 Substanzen. [6, 8] Die aktuelle Version der ETW-Liste befindet sich im Anhang dieser Ausarbeitung.

3 Ansatz der NATO

3.1 Ursprung des Ansatzes

Bereits im ersten und zweiten Weltkrieg wurden chemische Kampfstoffe verwendet, um große Anzahlen von Menschen zu töten. So wurden beispielsweise im ersten Weltkrieg tausende alliierte Soldaten durch die Verwendung von Chlorgas getötet. Außerdem wurden die Chemikalien Phosgen, Cyanwasserstoff und Chlorcyan als chemische Waffen verwendet. Im zweiten Weltkrieg töteten die Nationalsozialisten Millionen von Menschen durch den Einsatz von Cyanwasserstoff in den Gaskammern der Konzentrationslager. Auch in nachfolgenden Kriegen kamen immer wieder Industriechemikalien als Kampfmittel zum Einsatz. Der Grund hierfür ist die weite Verbreitung der industriell genutzten Chemikalien und die damit verbundene hohe Verfügbarkeit. Ein weiterer Grund für die Nutzung ist die hohe Effektivität, so wurden bei dem Terroranschlag auf das World Trade Center am 11. September 2001 über 2.500 Menschen getötet. Am 03. Dezember 1984 hingegen, wurden in Bhopal (Indien) durch die Freisetzung von Methyl Isocyanat 3.800 Menschen getötet und über 11.000 Menschen verletzt. Auch wenn diese Freisetzung ein Unfall war, könnte genau ein solches Szenario mit Schäden des gleichen Ausmaßes durch einen Anschlag oder als Folge eines militärischen Konflikts entstehen. Anhand der genannten Beispiele wird deutlich, welche Auswirkungen möglich sind, wenn Chemikalien aus dem industriellen Bereich als chemische Kampfstoffe beziehungsweise chemische Waffen verwendet werden. [9]

Um besser auf die Gefährdung durch chemische Kampfstoffe vorbereitet zu sein, wurde im März 1994 die Internationale Task Force-25 (ITF-25) der NATO gegründet. Diese hat sich damit beschäftigt, wie die Nutzung von chemischen Kampfstoffen die verschiedenen Missionen der NATO beziehungsweise deren Truppen beeinflussen und schädigen kann. In Abb. 1 sind die verschiedenen Missionen dargestellt. Das Initialereignis für die Gründung der ITF-25 war der bosnische Bürgerkrieg Anfang der 1990er Jahre. Hier haben die Kämpfer erklärt, dass sie die Möglichkeit in Betracht ziehen, Chlorgas als Waffe einzusetzen. Die NATO hat es daher als notwendig erachtet die Industriechemikalien, von denen durch Missbrauch als Waffe eine Gefahr ausgehen könnte, im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential zu bewerten. [10]

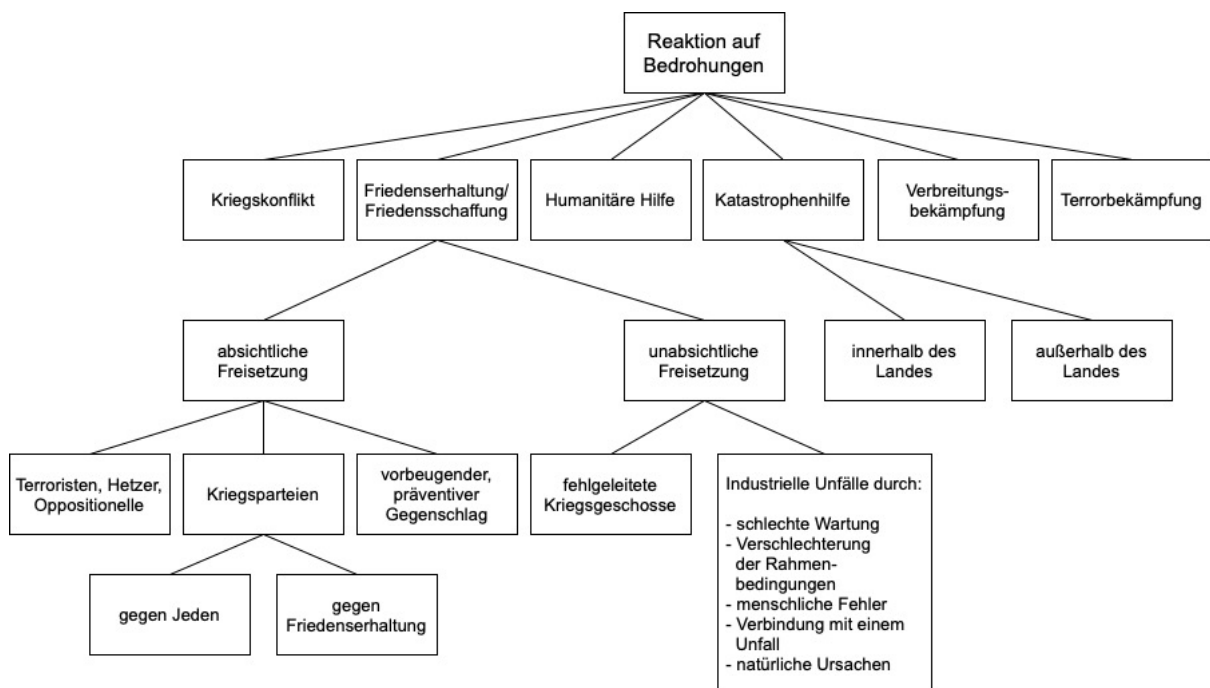


Abb. 1 - Übersicht der NATO Missionen [10]

Als konkrete Kriterien für die Auswahl der betrachteten toxischen und in der Industrie verwendeten Chemikalien, hat die NATO folgende festgelegt:

Produktionsmenge:

Die Substanz muss in einer einzigen Anlage mindestens in einer Menge von 30 Tonnen pro Jahr hergestellt werden. Dies ist dadurch begründet, dass eine große Menge der Substanz an einem Standort verfügbar sein muss, damit das Schadensausmaß entsprechend hoch eingestuft werden kann.

Toxizität:

Die Substanz muss einen LC₅₀-Wert von weniger als 100.000 mg·min/m³ beim Einatmen einer beliebigen Säugetierart haben. Der LC₅₀-Wert gibt an, wie hoch die maximale letale (tödliche) Dosis einer Substanz beim Einatmen innerhalb einer Minute in einem Kubikmeter Luft sein darf, damit nicht mehr als 50 % der Betroffenen getötet werden.

Nachfolgend wird der Prozess beschrieben, in dem die ITF-25 die Liste der entsprechenden Substanzen erstellt hat.

Bei einer ersten Zusammenkunft der Task Force, vom 16. bis 18. Mai 1994, wurden 17 Chemikalien erfasst. Mindestens sechs davon wurden im ersten Weltkrieg als chemische Kampfstoffe verwendet. Die übrigen elf Substanzen haben in Amerika eine entscheidende Rolle bei großen Unfällen von Chemiebetrieben gespielt.

Als nächster Schritt wurde bei diesem Treffen vereinbart, dass alle teilnehmenden Staaten verfügbare Datenbanken analysieren und Stoffe auflisten, die dem oben genannten Toxizitäts-Kriterium entsprechen. Allein anhand dieses Kriteriums hat sich eine gemeinsam erstellte Liste mit 1.164 Substanzen ergeben.

Diese Anzahl wurde reduziert, indem nur noch feste, flüssige oder gasförmige Substanzen berücksichtigt wurden, die bei 20 °C einen nennenswerten Dampfdruck besitzen oder im „U.S Department of Transportation Emergency Response Guide“ gelistet sind. Wird jedoch zusätzlich zu diesem Kriterium die Produktionsmenge berücksichtigt, reduziert sich die Anzahl der Substanzen auf 98 toxische und in der Industrie verwendete Chemikalien. [10]

3.2 Berechnung des Gefahrenindex

Der von der NATO entwickelte Gefahrenindex ist ein stoffspezifischer, mathematisch berechneter Wert, der die folgenden Parameter des jeweiligen Stoffes berücksichtigt. Als erstes wird die Verbreitung beziehungsweise das Vorhandensein der jeweiligen Substanz bezogen auf die Anzahl der Kontinente, auf denen der Stoff vorhanden ist, eingestuft. Außerdem wird die absolute Anzahl der Produzenten der Substanz berücksichtigt. Der dritte Faktor bezieht sich auf die Toxizität. Dieser wird anhand des Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH) Wertes festgelegt. Dieser Wert gibt eine Maximalkonzentration einer Substanz in der Umgebungsluft an, bei der man bei einer Expositionszeit von maximal 30 Minuten keine schweren oder bleibenden Schäden davonträgt. Der IDLH-Wert wurde geschaffen, um abzuschätzen, ob bei Ausfall des Atemschutzes noch eine Flucht möglich ist. Für die Fluchtdauer wurden 30 Minuten angenommen. [11] Der vierte und letzte Faktor berücksichtigt den Aggregatzustand des jeweiligen Stoffes, wobei hier ausschließlich flüssige und gasförmige Substanzen betrachtet werden. Hierfür wird der Dampfdruck (eng. vapour pressure) bei einer Temperatur von 20 °C herangezogen. Der Dampfdruck gibt an, welchen Druck ein Dampf in einem geschlossenen Gefäß auf die umliegenden Wände ausübt, wenn der Dampf mit dem dazugehörigen Stoff (fest oder flüssig) im Gleichgewicht steht [12]. In Tabelle 2 wird die Kategorisierung der vier Faktoren, sowie die Skalierung der jeweiligen Zahlenwerte dargestellt.

Tabelle 2 Gefahrenindex Parameter (in Anlehnung an Referenz [10])*

| Verbreitung | | Anzahl der Produzenten (P) | | Toxizität (IDLH in ppm) | | Aggregatzustand (Dampfdruck p in torr) | |
|---------------------|---|----------------------------|---|---------------------------------|---|--|---|
| Kontinente ≥ 5 | 5 | $P \geq 100$ | 5 | IDLH < 1 | 5 | gasförmig | 5 |
| Kontinente = 4 | 4 | $50 \leq P \leq 99$ | 4 | $1 \leq \text{IDLH} \leq 10$ | 4 | flüssig: $p \geq 400$ | 4 |
| Kontinente = 3 | 3 | $25 \leq P \leq 49$ | 3 | $11 \leq \text{IDLH} \leq 100$ | 3 | flüssig: $100 \leq p \leq 399$ | 3 |
| Kontinente = 2 | 2 | $5 \leq P \leq 24$ | 2 | $101 \leq \text{IDLH} \leq 500$ | 2 | flüssig: $10 \leq p \leq 99$ | 2 |
| Kontinente = 1 | 1 | $P < 5$ | 1 | IDLH > 500 | 1 | flüssig: $p < 10$ | 1 |

*Hinweis: In Tabelle 2 wurden geringfügige Korrekturen in der mathematischen Zeichensetzung vorgenommen. Die Referenz enthielt formelle Fehler. Durch diese Änderung wurden Zahlenwerte ebenfalls geringfügig verändert.

Um nun den Gefahrenindex zu berechnen, werden die vier Faktoren miteinander multipliziert:

Gefahrenindex = (Verbreitung) · (Anzahl der Produzenten) · (Toxizität) · (Aggregatzustand)

Für eine Substanz mit jeweils dem maximalen Faktor 5, würde sich somit ein höchstmöglicher Gefahrenindex von $5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 625$ ergeben [10]. Der maximale in der Praxis vorkommende Gefahrenindex gehört zu der chemischen Substanz Chlor (chemische Summenformel: Cl_2) und beträgt 500 [13]. Es folgt ein Beispiel zur Ermittlung der benötigten Faktoren und der anschließenden Berechnung für Chlor.

Ermittlung der benötigten Eigenschaften/Faktoren:

Chlor hat einen Dampfdruck von 6,8 bar (bei 20 °C) [14] und einen IDLH-Wert von 10 ppm [15]. Die globale Chlorindustrie ist groß. So wird die weltweite Produktionsmenge im Jahr 2021 auf 90,35 Millionen Tonnen geschätzt. Es gibt 488 aktive Chlor Produzenten, weitere sind in Planung [16]. Es folgt eine exemplarische Auswahl von Produktionsstandorten auf fünf Kontinenten:

Europa, Deutschland, Ludwigshafen (BASF) [17]

Asien, China, Caojing (Huntsman & Chlor-Alkali Chemical Co.) [18]

Australien, Litton, (Coogee Chemicals) [19]

Nordamerika, Illinois, Northbrook (Brenntag) [20]

Südamerika, Brasilien, Cubatão (Unipar) [21]

Berechnung:

Verbreitung auf mindestens 5 Kontinenten

→ Faktor Verbreitung = 5

Anzahl Produzenten = 488 > 100

→ Faktor Produzenten = 5

IDLH-Wert = 10 ppm

→ Faktor Toxizität = 4

Dampfdruck = 6,8 bar (bei 20 °C) = 5100,42 torr (gasförmig)

→ Faktor Aggregatzustand = 5

Gefahrenindex von $5 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5 = 500$

Anhand des Beispiels wird deutlich, dass der Ansatz der NATO, durch die Anwendung einer recht einfachen mathematischen Methodik sehr schnell zu der Ermittlung eines einheitlichen Gefahrenindex führt. Vorausgesetzt ist hierfür jedoch, dass die jeweiligen stoffspezifischen Daten zur Ermittlung der vier Faktoren für die Berechnung vorliegen.

3.3 Einordnung der Gefahrstoffe anhand des Gefahrenindex

Die 98 von der ITF-25 identifizierten Substanzen wurden anhand des berechneten Gefahrenindex, siehe Abschnitt 3.2, in die drei Kategorien „Hohe Gefahr“ „mittlere Gefahr“ und „niedrige Gefahr“ eingeteilt:

Hohe Gefahr: Gefahrenindex ≥ 81

Mittlere Gefahr: $36 \leq$ Gefahrenindex ≤ 80

Niedrige Gefahr: Gefahrenindex ≤ 35

In Tabelle 3 ist die Gefahrstoff-Liste der ITF-25 mit der entsprechenden Kategorisierung dargestellt. Eine hohe Gefahr besteht bei Substanzen, die weit verbreitet, hoch toxisch und leicht zu verdampfen sind. Stoffe, denen eine mittlere Gefahr zugeordnet wird, besitzen in einigen Bewertungskriterien hohe Faktoren, in anderen jedoch niedrigere. So kann eine Substanz beispielsweise sehr toxisch und leicht zu verdampfen sein, wird aber in die Kategorie „Mittlere Gefahr“ eingeordnet, weil sie in nur sehr geringen Mengen produziert wird und deshalb nicht weit verbreitet ist. Für die Einstufung in die Kategorie „Niedrige Gefahr“ müssen alle Bewertungskriterien mit niedrigen Faktoren bewertet werden. Die insgesamt 98 identifizierten Substanzen teilen sich in 21 Substanzen der Kategorie „hohe Gefahr“, 41 Substanzen der Kategorie „mittlere Gefahr“ und 36 Substanzen der Kategorie „niedrige Gefahr“ auf.

Die folgenden Beispiele sollen verdeutlichen, welche Gefahrenpotentiale in den jeweiligen Kategorien vorliegen können:

Für die Kategorie „hohe Gefahr“ wird die Substanz Chlor (chemische Summenformel: Cl_2) näher betrachtet. Für Chlor wurde der höchste Gefahrenindex der Liste berechnet. Er entspricht einem Wert von 500.

Wie gefährlich Chlor ist, zeigen zwei Unfälle in jüngerer Vergangenheit: Im Juni 2022 sind bei einem Unfall in einem Hafen in der jordanischen Stadt Akaba durch den Austritt von Chlorgas aus einem Container mindestens 13 Menschen getötet und mindestens 250 Menschen verletzt worden [22]. Bei einem weiteren Unfall im März 2005 wurden in China mindestens 27 Personen getötet und mindestens 285 Personen verletzt.

Hier war ein mit Chlorgas beladener LKW verunfallt. Es sind schätzungsweise 20 Tonnen Chlor ausgetreten. 10.000 Menschen mussten evakuiert werden. [23] Auch in Deutschland gibt es immer wieder kleinere Unfälle im Zusammenhang mit Chlorgas, beispielsweise in Schwimmbädern. Hier wird das Chlor zur Desinfektion des Wassers genutzt, um eine möglichst hygienische Umgebung für die Besuchenden zu gewährleisten.

Repräsentativ für die Kategorie „mittlere Gefahr“ wird die Substanz Phosphor (chemische Summenformel: P) untersucht. Phosphor wurde im zweiten Weltkrieg als Bestandteil von Bomben genutzt. Unter anderem aufgrund von detonationsfreien Einschlägen der Bomben im Ostseeraum, sind immer noch Bestandteile des chemischen Elements an den Stränden zu finden. Das Gefahrenpotential besteht darin, dass der Phosphor optisch sehr ähnlich zum Bernstein ist, der gern von Touristen gesammelt wird. Die Verwechslungsgefahr führt immer wieder zu Unfällen. Solange sich der Phosphor im Meerwasser befindet, wenig Sauerstoff bekommt und durch die relativ niedrigen Wassertemperaturen kühl gehalten wird, geht keine größere Gefahr von der Substanz aus. Sobald er jedoch an die Strände gespült wird und trocknet, kann er sich durch den Kontakt mit Luftsauerstoff bereits ab einer Temperatur von circa 34 °C selbst entzünden. Nicht nur die bei der Verbrennung freigesetzten Gase, sondern auch fester Phosphor ist hochgiftig. So können Inhalation, Inkorporation und dermaler Kontakt zu schwerwiegenden Verletzungen führen. Weiterhin entsteht durch das Selbstentzündungs- und Brandrisiko im erwähnten niedrigen Temperaturbereich die Gefahr des Entzündens in Taschen, nachdem der Phosphor vermeintlich als Bernstein identifiziert und eingesammelt wurde. Hier gibt es regelmäßig Unfälle mit schwerwiegenden Verletzungen. [24] Wenn Phosphor verbrennt und diese Verbrennung in der Gegenwart von Wasser (zum Beispiel durch Regen oder hohe Luftfeuchtigkeit) abläuft, reagiert das entstandene Gas mit Wasser zu Phosphorsäure. Diese ist ebenfalls hoch toxisch und zusätzlich ätzend. Auch durch industrielle Verwendung kommt es zu Unfällen im Zusammenhang mit Phosphor. So sind im Juli 2007 in der Ukraine 164 Menschen verletzt wurden, nachdem ein mit 750 Tonnen Phosphor beladener Güterzug entgleist ist. Durch den Unfall ist der Phosphor teilweise in Brand geraten. Die hierbei entstandenen Gase haben eine Giftwolke mit einem Ausmaß von 90 Quadratkilometern gebildet. [25] Die Betroffenen sind mit Vergiftungserscheinungen in Krankenhäusern behandelt worden. In der Industrie wird Phosphor unter anderem zur Herstellung von Düngemitteln für die Landwirtschaft genutzt.

Für die dritte und am wenigsten gefährliche Kategorie „niedrige Gefahr“ wird der Stoff Brom (chemische Summenformel: Br₂) betrachtet. In elementarer Form ist Brom, neben Quecksilber, das einzige chemische Element, welches bei Raumtemperatur flüssig ist [26]. Brom kommt jedoch auf der Erde nicht in natürlicher, elementarer Form vor, sondern muss aus Verbindungen (in diesem Fall Salzsolen) gewonnen werden. Brom wurde in der Verbindung Bromchloridfluormethan oder Bromtrifluormethan lange als Löschmittel verwendet.

Durch das Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht sollen bromierte und chlorierte Halone jedoch in allen Bereichen substituiert werden [27]. Heute wird Brom in seiner elementaren Form nur noch wenig, beispielsweise in der Brom-Zink Batterie eingesetzt. In chemischen Verbindungen hingegen, gibt es viele Einsatzzwecke. Beispiele hierfür wären Pflanzenschutzmittel, Narkosemittel oder die ungiftige Verwendungsform im schleimlösenden Hustenmittel Ambroxol. [28] Unfälle im Zusammenhang mit Brom sind in der Regel von kleinerem Ausmaß. Beispiele hierfür sind Unfälle bei Experimenten im Chemie-Unterricht mit kleinsten Mengen. Brom ist hoch giftig, das Schadensausmaß durch die Verwendung in kleinstmengen jedoch überschaubar. So wurden im September 2013 an einer Schule in Harsefeld (Deutschland) 24 Schüler*innen im Krankenhaus untersucht, nachdem eine Lehrerin eine Flasche mit Brom fallen ließ, und diese zerbarst. Die Betroffenen klagten über Vergiftungssymptome wie Übelkeit und Augenreizungen, sind aber durch schnelle Evakuierung nicht weiter verletzt wurden. [29] Einer der wenigen bekannten Unfälle größeren Ausmaßes hat im September 2011 in der russischen Stadt Tscheljabinsk stattgefunden. Bei einem Transport von mehr als 2000 Behältern mit einem Fassungsvermögen von je einem Liter flüssigem, elementarem Brom, waren Schätzungen zu Folge acht bis zehn dieser Behälter zerborsten. Ausgehend von dem Güterwaggon, entwickelte sich daraufhin eine giftige Brom-Wolke, die dazu geführt hat, dass sich mehr als 100 Menschen über vergiftungstypische Symptome wie Atemwegs- und Augenreizungen, sowie Übelkeit, beklagten. [30]

Tabelle 3 - Von der ITF-25 identifizierte Substanzen sortiert nach Gefahrenindex [10]

| Hohe Gefahr | Mittlere Gefahr | Niedrige Gefahr |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Ammoniak | Acetoncyanohydrin | Allylthiocyanat |
| Arsen | Acrolein | Arsenrichlorid |
| Blausäure | Acrylnitril | Brom |
| Bor-Trichlorid | Allyl-Alkohol | Brom-Chlorid |
| Bor-Trifluorid | Allylamin | Brom-Pentafluorid |
| Bromwasserstoff | Allylchlorcarbonat | Brom-Trifluorid |
| Chlor | Bor-Tribromid | Carbonylfluorid |
| Chlorwasserstoff | n-Butylisocyanat | Chloracetaldehyd |
| Diboran | Carbonylsulfid | Chloracetalchlorid |
| Ethylenoxid | Chloraceton (Chloressigsäure) | Chlorameisensäureethylester |
| Fluor | Chloracetonitril | Chlorameisensäureisobutylester |
| Fluorwasserstoff | Chlorameisensäuremethylester | Chlorameisensäureisopropylester |
| Formaldehyd | Chlorosulfonsäure | Chlorameisensäure-n-Butylester |
| Kohlenstoffdisulfid | Crotonaldehyd | Chlorameisensäure-n-propylester |
| Phosgen | Diketen | Chlor-Pentafluorid |
| Phosphortrichlorid | 1,2-Dimethylhydrazin | Chlor-Trifluorid |
| Salpetersäure | Dimethylsulfat | Chlorthioameisensäureethylester |
| Schwefeldioxid | Eisenpentacarbonyl | Cyan |
| Schwefelsäure | Ethylendibromid | Diphenylmethan-4'-Diisocyanat |
| Schwefelwasserstoff | Kohlenstoffmonoxid | Ethylenimin |
| Wolframhexafluorid | Methansulfonsäurechlorid | Ethylphosphonothioic Dichlorid |
| | Methylbromid | Ethylphosphondichlorid |
| | Methylchlorsilan | Hexachlorcyclopentadien |
| | Methylhydrazin | Iodwasserstoff |
| | Methylisocyanat | Isopropylisocyanat |
| | Methylmercaptan | Parathion |
| | Phosphor | Perchlormethylmercaptan |
| | Phosphoroxichlorid | sec-Butylchlorameisensäureester |
| | Phosphorpentachlorid | Stickstoffmonoxid |
| | Schwefeltrioxid | Sulfurylfluorid |
| | Selenhexafluorid | tert-Butylisocyanat |
| | Selenwasserstoff | Tetraethylblei |
| | Siliciumtetrafluorid | Tetraethylpyrophosphat |
| | Stiban | Tetramethylblei |
| | Stickstoffdioxid | Toluol 2,4-diisocyanat |
| | Sulfurylchlorid | Toluol 2,6-diisocyanat |
| | Tert-Octyl-Mercaptan | |
| | Tellurhexafluorid | |
| | Titantetrachlorid | |
| | Trichloressigsäure | |
| | Trifluoressigsäure | |

4 Vergleich des NATO-Ansatzes mit der Einsatztoleranzwert-Liste

4.1 Differenzen zwischen dem NATO-Ansatz und der ETW-Liste

Wird die Gefahrstoff-Liste der NATO beziehungsweise der ITF-25 mit der Einsatztoleranzwert-Liste verglichen, so können folgende Gemeinsamkeiten und Unterschiede festgestellt werden. Als erstes fällt ein Unterschied in der absoluten Anzahl der Substanzen auf: die ITF-25 hat in ihrer Gefahrstoff-Liste insgesamt 98 Substanzen aufgelistet (siehe Tabelle 3), auf der ETW-Liste hingegen befinden sich 44 Substanzen (siehe Anhang). Wenn die Auswahl der Substanzen genauer betrachtet wird, kann festgestellt werden, dass es 19 Substanzen gibt, die auf beiden Listen wiederzufinden sind (siehe Tabelle 4). Diese wurden somit von den Autoren beider Listen als entsprechend relevanter Gefahrstoff eingestuft.

Tabelle 4 - Substanzen, die sich sowohl auf der ETW-Liste als auch auf der Liste der ITF-25 befinden

Acrolein
Acrylnitril
Ammoniak
Blausäure
Chlor
Chlorwasserstoff (Salzsäure)
Ethylenoxid
Fluor
Fluorwasserstoff
Formaldehyd
Kohlenstoffdisulfid
Kohlenstoffmonoxid
Methylmercaptan
Phosgen
Salpetersäure
Schwefeldioxid
Schwefelwasserstoff
Stickstoffdioxid
Toluol(-2,4)diisocyanat

Für die spätere Analyse und die Beantwortung der Fragestellung, ob der NATO-Ansatz für die BOS in Deutschland anwendbar ist, ist unter anderem entscheidend, ob es Substanzen gibt, die sich ausschließlich auf der ETW-Liste, jedoch nicht auf der Liste der ITF-25 befinden. Eine Auflistung der entsprechenden Stoffe ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 - Substanzen, die sich ausschließlich auf der ETW-Liste befinden

Aceton
Anilin
Arsenwasserstoff
Benzol
Chlorbenzol
Chlorcyan
Chloroform
Cyclohexylamin
Epichlorhydrin
Essigsäure
Ethanol
Ethylendiamin
n-Hexan
Hydrazin
Kohlenstoffdioxid
Methanol
Phosphorwasserstoff
Styrol
Tetrachlorethen
Tetrachlorkohlenstoff
Toluol
1,1,1-Trichlorethan
1,1,2-Trichlorethan
Trichlorethen
Vinylchlorid

Weiterhin muss beurteilt werden, ob Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der ITF-25 befinden, relevant für Einsatzkräfte innerhalb Deutschlands sind. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über diese Substanzen:

Tabelle 6 - Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der NATO/ITF-25 befinden

| Hohe Gefahr | Mittlere Gefahr | Niedrige Gefahr |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Arsen | Acetoncyanohydrin | Allylthiocyanat |
| Bor-Trichlorid | Allyl-Alkohol | Arsenrichlorid |
| Bor-Trifluorid | Allylamin | Brom |
| Bromwasserstoff | Allylchlorcarbonat | Brom-Chlorid |
| Diboran | Bor-Tribromid | Brom-Pentafluorid |
| Phosphortrichlorid | n-Butylisocyanat | Brom-Trifluorid |
| Schwefelsäure | Carbonylsulfid | Carbonylfluorid |
| Wolframhexafluorid | Chloraceton (Chloressigsäure) | Chloracetaldehyd |
| | Chloracetonitril | Chloracetalchlorid |
| | Chlorameisensäuremethylester | (Chloressigsäurechlorid) |
| | Chlorosulfonsäure | Chlorameisensäureethylester |
| | (Chloroschwefelsäure) | Chlorameisensäureisobutylester |
| | Crotonaldehyd | Chlorameisensäureisopropylester |
| | Diketen | Chlorameisensäure-n-Butylester |
| | 1,2-Dimethylhydrazin | Chlorameisensäure-n-propylester |
| | Dimethylsulfat | Chlor-Pentafluorid |
| | Eisenpentacarbonyl | Chlor-Trifluorid |
| | Ethylendibromid | Chlorthioameisensäureethylester |
| | Methansulfonsäurechlorid | Cyan |
| | Methylbromid | Diphenylmethan-4'-Diisocyanat |
| | Methylchlorsilan | Ethylenimin |
| | Methylhydrazin | Ethylphosphonothioic Dichlorid |
| | Methylisocyanat | Ethylphosphondichlorid |
| | Phosphor | Hexachlorcyclopentadien |
| | Phosphoroxichlorid | Iodwasserstoff |
| | Phosphorpentachlorid | Isopropylisocyanat |
| | Schwefeltrioxid | Parathion |
| | Selenhexafluorid | Perchlormethylmercaptan |
| | Selenwasserstoff | sec-Butylchlorameisensäureester |
| | Siliciumtetrafluorid | Stickstoffmonoxid |
| | Stiban | Sulfurylfluorid |
| | Sulfurylchlorid | tert-Butylisocyanat |
| | Tert-Octyl-Mercaptan | Tetraethylblei |
| | Tellurhexafluorid | Tetraethylpyrophosphat |
| | Titantetrachlorid | Tetramethylblei |
| | Trichloressigsäure | |
| | Trifluoressigsäure | |

4.2 Anwendbarkeit des NATO-Ansatzes für die BOS in Deutschland

Um die Anwendbarkeit des NATO-Ansatzes entsprechend der Gefahrstoff-Liste der ITF-25 für die BOS in Deutschland zu prüfen, müssen zwei grundlegende Fragen beantwortet werden:

Grundsatzfrage 1:

Sind die Substanzen, die sich ausschließlich auf der ETW-Liste (siehe Tabelle 5) befinden, weiterhin relevant für die Einsatzkräfte deutscher BOS?

Grundsatzfrage 2:

Sind die Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der ITF-25/NATO befinden, relevant für die Einsatzkräfte deutscher BOS?

Nach der Beantwortung dieser beiden Grundsatzfragen kann beurteilt werden, ob die Gefahrstoff-Liste der NATO als vollständiger Ersatz für die ETW-Liste dienen kann, oder ob eine Kombination aus beiden Listen nötig ist.

Antwort zur Grundsatzfrage 1:

Um die Grundsatzfrage 1 zu beantworten, wird zuerst das Unfallgeschehen mit Beteiligung der entsprechenden Stoffe seit dem Jahr 2000 in Deutschland beurteilt. Sobald es Unfälle mit entsprechenden Einsätzen der BOS gab, wird der Stoff als relevant eingestuft. Wenn es keine entsprechenden Unfälle gab, werden die Verbreitung des jeweiligen Stoffes und die Zugänglichkeit zu diesem untersucht.

Aceton: bei einem Verkehrsunfall im Januar 2022 in Bördeland ist ein mit Aceton beladener Tanklastzug umgekippt. Die Feuerwehr kam zum Einsatz. [31] Bei einem weiteren Unfall im August 2016 ist in Hartenholm ein LKW mit 23 Tonnen Aceton an Bord verunfallt [32].

Anilin: im Oktober 2013 führte ein geplatzter Reifen an einem LKW auf Fehmarn dazu, dass Anilin freigesetzt wurde und für einen Großeinsatz der Feuerwehren sorgte [33].

Arsenwasserstoff: im Januar 2012 ereignete sich in der Technischen Universität Dresden ein Unfall in einem Chemielabor. Nach einem mutmaßlichen Austritt einer Arsenwasserstoff-Verbindung mussten 97 Menschen mit leichten Vergiftungssymptomen in ein Krankenhaus eingeliefert werden. [34]

Benzol: bei einem Arbeitsunfall im Februar 2015 kam ein Kapitän eines Tankschiffes ums Leben. Der 54-jährige Mann, wurde leblos in einem Tank aufgefunden, der vorher mit Benzol gefüllt war. Als Todesursache wird die Vergiftung durch noch vorhandene Benzoldämpfe vermutet. [35] Im Februar 2023 führte ein Leck in einem Güterwaggon zum Austritt von Benzol und damit zu mehreren Einsätzen der Feuerwehren [36].

Chlorbenzol: im April 2021 kam es aufgrund eines Störfalls an einem Standort der BASF in Ludwigshafen zum Austritt von 300 kg Chlorbenzol, die durch einen Fehler im Kühlkreislauf in den Rhein strömten. Durch das Risiko der Umweltgefährdung waren auch hier die Behörden involviert. [37]

Chlorcyan: im ersten Weltkrieg wurde Chlorcyan als chemischer Kampfstoff verwendet, weil es eine schnelle tödliche Wirkung durch Ersticken hatte [38]. Heutzutage wird der Stoff beispielsweise in dem Unternehmen Evonik Industries AG verwendet und vom TÜV Nord als sehr giftig eingestuft. Außerdem wurde auf Grundlage dessen für den Evonik Standort ein angemessener Abstand von 1150 Metern für einen Störfall, mit einem Leck in der Anlage, festgelegt. Es befinden sich ca. 200 kg der Substanz in der Anlage. Das Gefahrenpotential ist ausreichend, um die Relevanz für die BOS zu begründen. [39] Unfälle seit 2010 sind nach eigenen Recherchen nicht bekannt.

Chloroform: immer wieder kommt es zu Tötungsdelikten oder anderen Kriminalverbrechen, bei denen die Opfer mit Chloroform tödlich vergiftet oder betäubt werden. So beispielsweise bei einem Vorfall im Januar 2016 in einer Potsdamer S-Bahn [40]. Ein weiteres Beispiel ist die Tötung eines 15-jährigen Mädchens durch einen Deutschen im August 2002 auf Mallorca [41]. Diese beiden Fälle führten nicht zu Einsätzen der BOS im unmittelbaren Zusammenhang mit der toxischen Gefahr des Chloroforms. Sie zeigen jedoch, dass die Substanz für Privatpersonen zugänglich ist und deren toxische Wirkung für kriminelle Tätigkeiten missbraucht wird. In der Industrie wird Chloroform unter anderem als Lösungsmittel verwendet [42]. In Deutschland existieren mindestens 14 Betriebe, bei denen Chloroform produziert oder innerhalb der Lieferketten verwendet wird [43]. Betrachtet man diese beiden Umstände wird deutlich, dass ein Gefahrenpotential vorliegt und der Stoff weiterhin relevant ist.

Cyclohexylamin: es ist nicht über Unfälle mit Cyclohexylamin (auch Aminocyclohexan) berichtet worden. Jedoch wird die Substanz in Deutschland von mindestens vier Unternehmen verwendet, produziert oder verkauft [44]. Cyclohexylamin ist giftig bei Verschlucken oder Hautkontakt und hat eine vermutlich beeinträchtigende Wirkung auf die Fruchtbarkeit und das Kind im Mutterleib [45]. Aufgrund der weiterhin bestehenden Verbreitung und der toxischen Wirkung wird Cyclohexylamin als weiterhin relevant eingestuft.

Epichlorhydrin: bei einem Zugunfall im September 2002 in Bad Münde kam es zu dem bisher größten Epichlorhydrin-Unfall in Deutschland. Infolge eines Zusammenstoßes zweier Güterzüge und der damit verbundenen Freisetzung von Epichlorhydrin und dessen Zersetzungsprodukten Salzsäure und Chlorgas mussten 371 Einwohner*innen aus der Nähe der Unfallstelle aufgrund von Vergiftungserscheinungen ärztliche Hilfe aufsuchen. Weil Spätfolgen nicht ausgeschlossen werden können, wurden zusätzlichen 400 Feuerwehrleuten und Sanitäter*innen Blutproben entnommen, die zur Beweissicherung aufgehoben werden. [46, 47]

Essigsäure: im November 2023 kam es aufgrund eines LKW-Unfalls auf einem Parkplatz an der A8 zu einem Großeinsatz der Feuerwehr. Aus einem mit 24 Tonnen Essigsäure beladenen Tanklastzug lief die Flüssigkeit aus. [48]

Ethanol: neben zahlreichen, teilweise tödlichen, Unfällen mit der Folge von Verbrennungen an Ethanol-Kaminen, aufgrund der Gasbildung ab bereits 21 °C und der damit verbundenen Explosionsgefahr, kommt es auch bei dieser Substanz zu Transportunfällen [49]. So zum Beispiel im September 2017. Hier war auf der A61 in Rheinland-Pfalz ein mit 30.000 Litern Ethanol beladener LKW von der Fahrbahn abgekommen und umgestürzt. Anschließend geriet der LKW samt Ladung in Brand und es bestand Explosionsgefahr. Der Großeinsatz der Feuerwehr dauerte mehrere Stunden an. [50]

Ethylendiamin: Im November 2022 kam es am Ludwigshafener Standort der BASF zu einem Austritt von Ethylendiamin. Ein Mitarbeiter, der dermalen Kontakt mit der Substanz hatte, musste in ein Krankenhaus eingeliefert werden. Die Werkfeuerwehr der BASF und die Berufsfeuerwehr Mannheim führten Kontrollmessungen auf dem Werksgelände und im Umkreis durch. [51]

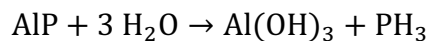
n-Hexan: im November 2022 wurde die Feuerwehr zu einem Waldstück in Frankfurt-Schwanheim alarmiert. Hier wurden mehrere Behälter mit nicht definierbarem Inhalt aufgefunden. Bei späteren Messungen stellte sich heraus, dass es sich bei der Substanz um n-Hexan handelte. [52]

Hydrazin: bei einem Giftunfall im Bereich eines Rangierbahnhofs in Seddin (Brandenburg) sind im Juli 2013 20 Mitarbeitende der Bahn verletzt worden. Ursache hierfür war ein Leck in einem von 16 Kesselwagen, die mit insgesamt 25 Tonnen Hydrazin beladen waren. In einem Großeinsatz von Feuerwehr und Polizei wurde ein 300 m weiter Absperrradius gezogen. Hydrazin wird unter anderem für die Produktion von Raketentreibstoff verwendet und ist toxisch und ätzend. [53]

Kohlenstoffdioxid: die gefährliche Eigenschaft an dem Gas Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist neben der Verdrängung von Sauerstoff die Toxizität, welche unter anderem zu Atemwegslähmungen führen kann. So kommt es immer wieder zu tödlichen Arbeitsunfällen, bei denen Mitarbeitende in Tanks einsteigen, ohne diese vorher mit einem Messgerät auf eine ausreichend hohe Sauerstoff- und eine ausreichend niedrige Kohlenstoffdioxidkonzentration zu überprüfen. Diese Messungen bezeichnet man auch als Freimessen. In einer Brauerei sind innerhalb von zehn Monaten zwei Mitarbeiter durch unvorsichtiges Vorgehen beziehungsweise fehlendes Freimessen tödlich verunglückt [54]. Feuerwehren, die zu solchen Rettungseinsätzen alarmiert werden, müssen also in der Lage sein eine solche Messung durchzuführen, damit sie sich nicht selbst in Gefahr bringen. Im August 2008 sind aus einer Lackierfabrik in Mönchengladbach große Mengen Kohlenstoffdioxid ausgetreten. Dies führte zu einem Großeinsatz von Feuerwehren und Rettungsdienst, sowie mindestens 104 Verletzten. [55]

Methanol: Methanol ist eine der am weitest-verbreiteten Chemikalien. Die Flüssigkeit ist leicht entzündlich. Durch die hohe Verbreitung kommt es regelmäßig zu leichten bis schweren Unfällen, bei denen zum Teil auch Methanol austritt und für Brand- und Explosionsgefahr sorgt. Ein Beispiel hierfür ist ein LKW, der 2014 auf der A3 aufgrund einer Undichtigkeit Methanol verloren hat. [56]

Phosphorwasserstoff: Phosphorwasserstoff kommt als Reinstoff sehr selten vor. Das Risiko bei dieser Substanz besteht größtenteils in chemischen Reaktionen, die hochtoxischen Phosphorwasserstoff bilden. So gab es im Dezember 2017 einen Zwischenfall in Hamburg, bei dem während des Verladens, Fässer mit hochgiftigem Aluminiumphosphid beschädigt wurden. Dieses Aluminiumphosphid, welches unter anderem als Rattengift eingesetzt wird, reagierte mit der Feuchte aus der Umgebung zu Phosphorwasserstoff. Nachfolgend die Reaktionsgleichung:



Die Feuerwehr war auch hier im Großeinsatz, um die defekten Fässer zu sichern und die chemische Reaktion und die damit verbundene Produktion des Phosphorwasserstoffs einzudämmen. [57]

Styrol: bei einem Chemie-Unfall in einer Fabrik in Hesepe (Niedersachsen) ist Styrol aus einem Tanklastzug ausgelaufen und musste von der Feuerwehr gesichert werden [58]. Ein Unfall in einer Chemie-Anlage in Indien verdeutlicht das Gefahrenpotential der Substanz. Hier sind durch die Ausbreitung einer giftigen Styrol-Wolke im Mai 2020 über 1000 Menschen verletzt und mindestens 13 Menschen getötet wurden. [59]

Tetrachlorethen: Das Lösungsmittel Tetrachlorethen (umgangssprachlich auch Perchlorethen) wird weit verbreitet in der Industrie und in Reinigungsunternehmen verwendet. So kommt es auch hier immer wieder zur Freisetzung der Substanz – meist beim Transport. In Oelde (Nordrhein-Westfalen) kam es im Januar 2014 zu einem Leck in einer Produktionsmaschine. Hierdurch waren circa 800 Liter Tetrachlorethen ausgelaufen. Die Feuerwehr war mit rund 100 Einsatzkräften inklusive verschiedener Gefahrguteinheiten vor Ort, um das Leck abzudichten. Auch das Umweltamt des Kreises, sowie das Dezernat für Arbeitsschutz wurden alarmiert. [60]

Tetrachlorkohlenstoff: (wird auch als Tetrachlormethan bezeichnet), darf aufgrund der toxischen, kanzerogenen und Ozonschicht schädigenden Wirkung, nicht mehr verwendet werden. Die Verordnung zum Verbot von bestimmten, die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen ist am 06. Mai 1991 veröffentlicht wurden und im März 1991 in Kraft getreten.

Somit sind diese Stoffe innerhalb Deutschlands verboten und werden nicht mehr produziert. Es kann zu einigen kleineren Altbestandsmengen in zum Beispiel Feuerlöschern kommen. Diese waren in der Vergangenheit aufgrund der guten Löschwirkung unter anderem mit Tetrachlorkohlenstoff befüllt worden. [27] Aufgrund des zum Zeitpunkt dieser Ausarbeitung bereits über 30 Jahre bestehenden Verbots ist die Notwendigkeit, Tetrachlorkohlenstoff weiterhin auf der ETW-Liste gelistet zu haben, in Frage zu stellen. Da die Verordnung jedoch unter anderem nicht für Wasserfahrzeuge mit ausländischem Heimathafen oder Luftfahrzeuge mit ausländischer Registrierung gilt, besteht ausgehend von den eben genannten Transportmitteln weiterhin ein Risiko, dass bei einem Unfall zum Einsatz der Feuerwehren führen kann [27].

Toluol: von Toluol geht eine besondere Gefahr aus, da es durch elektrostatische Aufladung sehr leicht entflammbar ist [61]. So gab es 2014 einen Großbrand in einer Raffinerie in Köln, bei dem ein Tank mit 400.000 Litern Toluol in Brand geraten ist und bis zu 20 m hohe Stichflammen erzeugte. Die Toluol Konzentration innerhalb der Rauchwolke über dem Stadtgebiet lag unterhalb der gesundheitsrelevanten Messwerte. [62] Jedoch zeigt dieses Beispiel mit einer Menge von 400.000 Litern des Gefahrstoffs allein innerhalb dieses einen Tanks, dass das Gefahrenpotential schon aufgrund der vorgehaltenen Menge gegeben ist. Ein weiterer Unfall mit Toluol ereignete sich im Februar 2002 bei der BASF in Ludwigshafen. Hier war ein Kessel, der 200 Liter Toluol beinhaltete explodiert. Es gab Verletzte mit leichten Vergiftungssymptomen und Verbrennungen. [63]

1,1,1-Trichlorethan: für 1,1,1-Trichlorethan gelten die gleichen Bedingungen, wie für Tetrachlorkohlenstoff [27]. Es besteht somit weiterhin ein Restrisiko für Unfälle mit der Substanz 1,1,1-Trichlorethan.

1,1,2-Trichlorethan: 1,1,2-Trichlorethan hat eine toxische Wirkung bei Inhalation und vermutlich ebenfalls eine kanzerogene Wirkung [64]. Am 27. Juli 2021 kam es zu einer Explosion mit anschließender Brandausbreitung in einem Entsorgungszentrum in Leverkusen-Bürrig. Es kamen sieben Menschen ums Leben. 31 Menschen sind verletzt wurden. In einem der durch den Brand zerstörten Tanks, befand sich als Hauptbestandteil der aktuellen Füllmenge von 107 m³ (entspricht einem Füllstand von 53 %) 1,1,2-Trichlorethan. Durch schnelles Eingreifen der Feuerwehreinheiten und entsprechende Sicherheitsvorkehrungen konnte eine flächendeckende Ausbreitung der Substanz verhindert werden. Kontrollmessungen in der Umgebung haben zu dem Ergebnis geführt, dass kein erhöhtes Gesundheitsrisiko nachgewiesen werden konnte. [65]

Trichlorethen: ein Vorfall in Speicher/Beilingen (Rheinland-Pfalz) zeigt die Relevanz, den Stoff Trichlorethen weiterhin auf der Liste der für die Feuerwehren zu messenden Substanzen zu belassen. 2013 wurden bei Messungen in einer Tiefe von 54 m rund um den Flugplatz Werte von 2,340 mg Trichlorethen pro Liter Grundwasser ermittelt. Es ist unklar, woher diese hohe Konzentration stammt, wie sie sich in Zukunft entwickeln wird und wie diese Entwicklung das Trinkwasser beeinflussen könnte. [66]

Vinylchlorid: der letzte bekannte Unfall im Zusammenhang mit Vinylchlorid in Deutschland ereignete sich am 01. Juni 1996 und genügt damit nicht dem geforderten Kriterium eines Unfalls ab dem Jahr 2000. Jedoch war das Zugunglück, welches sich in Schönebeck bei Magdeburg ereignete, einer der schwerwiegendsten Chemieunfälle im deutschen Bahnbereich. Einer der 18 mit Vinylchlorid beladenen Waggons war entgleist. Ein Leck in Kombination mit der Berührung einer Stromleitung führten schließlich zur Explosion. Durch den relativ weit abgelegenen und dünn besiedelten Unfallort waren die Auswirkungen für die Bevölkerung verhältnismäßig gering. Aufgrund dieser Relevanz in Verbindung mit der weiterhin stetig hohen Produktionsmenge von Vinylchlorid in Deutschland, ist die Substanz durchaus relevant für Einsatzkräfte der Feuerwehren. [67] Welche Auswirkungen ein Unfall mit der Freisetzung von Vinylchlorid haben kann, zeigt ein ebenfalls im Bahnbereich geschehenes Unglück im Februar 2023 in Ohio/USA. Nachdem 50 Güterwaggons entgleisten von denen 14 mit Vinylchlorid beladen waren, kam es zu einem großen Brand mit entsprechend großer Freisetzung von Rauchgasen und giftigen Vinylchlorid Dämpfen. Es mussten bis zu 2000 Personen evakuiert werden. Wie viele Personen tatsächlich von den giftigen Gasen betroffen sind, ist nicht abschließend geklärt. [68]

Antwort zur Grundsatzfrage 2:

Um die Grundsatzfrage 2 zu beantworten, wird die Zivil-Militärische Zusammenarbeit (ZMZ) innerhalb Deutschlands im Hinblick auf potenzielle Gefahrstoffeinsätze betrachtet. Im internationalen Gebrauch, wie auch in der NATO, wird für die ZMZ die englischsprachige Übersetzung civil-military cooperation mit der entsprechenden Abkürzung CIMIC verwendet.

Aufgrund der Terroranschläge am 11. September 2001 in den USA und des Sommerhochwassers 2002 in Mitteleuropa wurde von Bund und Ländern eine „Neue Strategie zum Schutz der Bevölkerung“ entwickelt. Dies geschah durch eine Einigung im Rahmen der Ständigen Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder im Jahr 2002. Daraufhin wurde die „Konzeption Zivile Verteidigung“ als konzeptionelles Basisdokument zur „[...] ressortabgestimmten Aufgabenerfüllung im Bereich der Zivilen Verteidigung und zivilen Notfallvorsorge des Bundes“ veröffentlicht. Innerhalb dieser Konzeption werden sowohl einige Pflichten Deutschlands im Rahmen der NATO gemäß Nordatlantikvertrag vom 04. April 1949 als auch die hieraus resultierenden Aufgaben für die ZMZ innerhalb Deutschlands dargestellt. Für diese Ausarbeitung und die Beantwortung der Grundsatzfrage 2 ist die Abschätzung der Risiken und Bedrohungen in der Konzeption besonders relevant. Hier wird gemäß dem „Weißbuch 2016 zur Sicherheitspolitik und zur Zukunft der Bundeswehr“ unter anderem der Einsatz chemischer, biologischer, radiologischer und nuklearer Wirkstoffe (CBRN-Gefahren) als mögliches Risiko beziehungsweise als eine mögliche Bedrohung für Deutschland oder einen NATO-Partner eingeordnet. Daraus resultierend wurde das strategische Schutzziel „Schutz vor den Auswirkungen chemischer, biologischer, radiologischer und nuklearer Ereignisse (CBRN-Schutz)“ definiert. Ein Großteil des nationalen Hilfeleistungssystems wird hierbei durch ehrenamtliche BOS gestützt, welche von hauptamtlichen BOS unterstützt werden. Der CBRN-Schutz wird in friedensmäßigen Schadenslagen durch die Länder getragen. Im Hinblick auf den Zivilschutz werden diese Maßnahmen durch den Bund ergänzt. Eine Teilfähigkeit des CBRN-Schutzes ist die CBRN-Detektion mit unter anderem einer standardisierten Probenahme für chemische Substanzen. [69]

Aufgrund der unmittelbaren Partnerschaft zwischen der NATO und der Bundesrepublik Deutschland mit den entsprechenden Aufgaben des Zivilschutzes sollten alle von der NATO beziehungsweise der ITF-25 als Gefahrstoff eingestuft chemischen Substanzen (siehe Tabelle 3) auch als relevant für die deutschen BOS bewertet werden.

5 Empfehlungen zur Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste

In Anbetracht der Beantwortung der beiden Grundsatzfragen in Abschnitt 4.2 wird festgestellt, dass sowohl die Substanzen, die sich ausschließlich auf der aktuellen Einsatztoleranzwert-Liste befinden, als auch die Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der NATO beziehungsweise ITF-25 befinden, relevant für die BOS in Deutschland sind. Jene Chemikalien, die bereits auf beiden Listen vertreten sind (siehe Tabelle 4), werden ebenfalls als weiterhin relevant eingeordnet. Dies begründet sich dadurch, dass sie sowohl beim Erstellen der ETW-Liste als auch durch den Ansatz der ITF-25 entsprechend eingeordnet wurden. Außerdem gilt auch hier die Begründung aus Abschnitt 4.2 mit dem Ergebnis: von der NATO beziehungsweise ITF-25 als Gefahrstoff eingestufte chemische Substanzen, sollten auch als relevant für die deutschen BOS bewertet werden. Diese Begründung gilt somit für die gesamte Gefahrstoff-Liste der NATO (siehe Tabelle 3).

Aus diesen Feststellungen resultiert das folgende Ergebnis: **Die aktuelle Einsatztoleranzwert-Liste aus März 2022 (veröffentlicht in der vfdb-Richtlinie 10/01) sollte durch die Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der ITF-25 befinden (siehe Tabelle 6) ergänzt werden.** Hierbei handelt es sich um insgesamt 78 Substanzen: Acht aus der Kategorie „hohe Gefahr“, 36 aus der Kategorie „mittlere Gefahr“ und 34 aus der Kategorie „niedrige Gefahr“.

6 Auswirkungen auf die Dräger Messstrategie für die BOS

In den folgenden Abschnitten wird ausschließlich auf die Messtechnik der messenden Feuerwehr Einheiten eingegangen. Diese sind, mit einer Eintreffzeit von maximal 15 bis 30 Minuten ab Alarmierung, deutlich vor den analytischen Einheiten (beispielsweise der Analytischen Task Force mit einer Eintreffzeit von bis zu 120 Minuten ab Alarmierung) am Einsatzort [70]. Repräsentativ hierfür sind die CBRN-Erkundungskraftwagen (CBRN-ErkW), welche der Bund für den flächendeckenden Katastrophenschutz zur Verfügung stellt. Aktuell existieren in Deutschland 323 CBRN-ErkW zum „Spüren, Messen und Melden radioaktiver Quellen und chemischer Gefahren sowie dem Kennzeichnen und Überwachen kontaminierter Bereiche“ [71].

6.1 Übersicht der aktuell verwendeten Messtechnik

Die Normbeladung des CBRN-ErkW wurde in den Zeiträumen 2009/2010 und mit dem „Upgrade II“ von 2017 bis 2019 den fortschreitenden Anforderungen angepasst und technisch aktualisiert. Trotzdem sind nicht alle Substanzen, die sich auf der Einsatztoleranzwert-Liste befinden, mit der aktuell verlasteten Ausstattung detektierbar. Insgesamt 39 der 44 Chemikalien von der aktuellen ETW-Liste sind messbar. Nicht messbar sind demnach die fünf Substanzen in Tabelle 7 [6]:

*Tabelle 7 - Substanzen der aktuellen ETW-Liste,
die nicht mit der Messtechnik des aktuellen CBRN-ErkW messbar sind*

Acrylnitril
Kohlenstoffdioxid
Methanol
Salpetersäure
Tetrachlorkohlenstoff

Im nächsten Schritt wird überprüft, welche der Substanzen, die sich ausschließlich auf der Liste der NATO befinden (siehe Tabelle 6) und bei einer Aktualisierung der ETW-Liste ergänzt werden sollten, bereits mit der aktuell verlasteten Messtechnik detektierbar sind.

Von den insgesamt 78 zu ergänzenden Substanzen, sind mit der aktuellen Beladung des CBRN-ErkW 22 Substanzen messbar. Die übrigen 56 nicht messbaren Substanzen finden sich in Tabelle 8.

Tabelle 8 - Substanzen, die in der ETW-Liste ergänzt werden sollten und mit der aktuellen Beladung des CBRN-ErkW nicht messbar sind.

| | |
|---|---------------------------------|
| Acetoncyanohydrin | Parathion |
| Allylamin | Perchlormethylmercaptan |
| Allylchlorcarbonat | Phosphor |
| Allylisothiocyanat | Phosphoroxichlorid |
| Arsen | Phosphorpentachlorid |
| Arsenrichlorid | Phosphorrichlorid |
| Bor-Tribromid | Schwefelsäure |
| Bor-Trichlorid | Schwefeltrioxid |
| Bor-Trifluorid | sec-Butylchlorameisensäureester |
| Brom-Chlorid | Selenhexafluorid |
| Brom-Pentafluorid | Siliciumtetrafluorid |
| Brom-Trifluorid | Sulfurylchlorid |
| Bromwasserstoff | Sulfurylfluorid |
| Carbonylsulfid | Tert-Octyl-Mercaptan |
| Carbonylfluorid | Tetraethylblei |
| Chloracetalchlorid (Chloressigsäurechlorid) | Tetraethylpyrophosphat |
| Chloracetonitril | Tetramethylblei |
| Chlorameisensäureisobutylester | Tellurhexafluorid |
| Chlorameisensäure-n-propylester | Titantetrachlorid |
| Chlorameisensäuremethylester | Trichloressigsäure |
| Chlorosulfonsäure (Chloroschwefelsäure) | Trifluoressigsäure |
| Chlor-Pentafluorid | Wolframhexafluorid |
| Chlor-Trifluorid | |
| Chlorthioameisensäureethylester | |
| Cyan | |
| Diboran | |
| Dimethylsulfat | |
| Diphenylmethan-4'-Diisocyanat | |
| Ethylphosphonothioic Dichlorid | |
| Ethylphosphondichlorid | |
| Hexachlorcyclopentadien | |
| Isopropylisocyanat | |
| Methansulfonsäurechlorid | |
| Methylchlorsilan | |

6.2 Zusätzlich für CBRN-ErkW des Bundes benötigte Messtechnik

Nachfolgend wird überprüft, welche Messtechnik nicht auf den aktuellen CBRN-ErkW des Bundes verlastet ist, jedoch zum aktuellen Zeitpunkt unter anderem über die Firma Dräger verfügbar wäre. In Tabelle 9 sind die entsprechenden Substanzen mit den dazugehörigen Prüfröhrchen oder Messgeräten aufgelistet [72]:

Tabelle 9 - Messtechnik, die aktuell unter anderem über die Firma Dräger verfügbar, jedoch nicht auf dem CBRN-ErkW des Bundes verlastet ist [72]

| Stoffname | Bsp. Prüfröhrchen / Messgerät (Fa. Dräger) | Dräger Röhrchen Sachnummer |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| Acrylnitril | Röhrchen Acrylnitril 0,2/a | 8103701 |
| Kohlenstoffdioxid | Röhrchen Kohlenstoffdioxid 0,5%/a | CH31401 |
| Methanol | Röhrchen Methanol 20/a | 8103801 |
| Salpetersäure | Röhrchen Salpetersäure 1/a | 6728311 |
| Tetrachlorkohlenstoff | Röhrchen Tetrachlorkohlenstoff 1/a | 8101021 |
| Allylamin | Röhrchen Ammoniak 5/a | CH20501 |
| Bromwasserstoff | Röhrchen Salzsäure 1/a | CH29501 |
| Carbonsulfid | Röhrchen Kohlenstoffmonoxid 2/a | 6733051 |
| Chlorameisensäuremethylester | Röhrchen Chlorameisensäureester 0,2/b | 6718601 |
| Diboran | X-am 5000; X-am 5600; Pac 8000 | |
| Dimethylsulfat | Röhrchen Dimethylsulfat 0,005/c | 6718701 |
| Diphenylmethan-4'-Diisocyanat | Röhrchen Isocyanate-Sampling Set | 6400131 |
| Schwefelsäure | Röhrchen Schwefelsäure 1/a | 6728781 |
| Schwefeltrioxid | Röhrchen Schwefelsäure 1/a | 6728781 |
| Sulfurylchlorid | Röhrchen Schwefeldioxid 0,5/a | 6728491 |
| Sulfurylfluorid | Röhrchen Sulfuryl Fluoride 1/a | 8103471 |

Die in Tabelle 9 aufgelisteten Produkte sind aktuell verfügbar. Die Beladung des CBRN-ErkW könnte entsprechend bis zu diesem Grad erweitert werden. Dies würde im ersten Schritt dazu führen, dass alle Substanzen der ETW-Liste durch die Erweiterung des Prüfröhrchen Bestands messbar wären. Ein Vorteil hierbei ist, dass sich bereits in der aktuellen Beladung Prüfröhrchen befinden und der Umgang mit dieser Messtechnik beziehungsweise -methode für die Besatzung gewohnt ist und nicht extra trainiert werden müsste. Ein weiterer Vorteil wäre der geringe zusätzliche Platzbedarf im Fahrzeug. Für die aufgelisteten Röhrchen genügt maximal ein kleiner Koffer, der ohne umfangreiche Umbaumaßnahmen verlastet werden können sollte.

6.3 Zusätzlich benötigte Messtechnik

Für alle Substanzen, die aktuell weder mit der verlasteten noch mit der unter anderem bei Dräger verfügbaren Messtechnik detektierbar sind, muss geprüft werden, wie eine einfache und durch BOS schnell anwendbare Detektion in Abhängigkeit des Aggregatzustandes erfolgen kann. Auch ist es denkbar, Querempfindlichkeiten bereits aufgeführter Messtechnik zu nutzen. Dies erlaubt dann jedoch keine stoffspezifische Aussage mehr. Es handelt sich hierbei um die 45 in Tabelle 10 aufgeführten Substanzen:

Tabelle 10 - Substanzen, die mit der aktuellen Beladung des CBRN-ErkW und dem Produktportfolio von Dräger nicht messbar sind

| | |
|---|---------------------------------|
| Acetoncyanohydrin | Hexachlorcyclopentadien |
| Allylchlorcarbonat | Isopropylisocyanat |
| Allylisothiocyanat | Methansulfonsäurechlorid |
| Arsen | Methylchlorsilan |
| Arsenrichlorid | Parathion |
| Bor-Tribromid | Perchlormethylmercaptan |
| Bor-Trichlorid | Phosphor |
| Bor-Trifluorid | Phosphoroxichlorid |
| Brom-Chlorid | Phosphorpentachlorid |
| Brom-Pentafluorid | Phosphortrichlorid |
| Brom-Trifluorid | sec-Butylchlorameisensäureester |
| Carbonylfluorid | Selenhexafluorid |
| Chloracetalchlorid (Chloressigsäurechlorid) | Siliciumtetrafluorid |
| Chloracetonitril | Tert-Octyl-Mercaptan |
| Chlorameisensäureisobutylester | Tetraethylblei |
| Chlorameisensäure-n-propylester | Tetraethylpyrophosphat |
| Chlorosulfonsäure (Chloroschwefelsäure) | Tetramethylblei |
| Chlor-Pentafluorid | Tellurhexafluorid |
| Chlor-Trifluorid | Titantetrachlorid |
| Chlorthioameisensäureethylester | Trichloressigsäure |
| Cyan | Trifluoressigsäure |
| Ethylphosphonothioic Dichlorid | Wolframhexafluorid |
| Ethylphosphondichlorid | |

7 Diskussion

7.1 Anwendbarkeit des NATO-Ansatzes zur Aktualisierung der ETW-Liste

Das erste Teilziel dieser Ausarbeitung bestand darin zu prüfen, inwiefern die Gefahrstoff-Liste der NATO beziehungsweise der International Task Force-25 zur Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste für die BOS in Deutschland anwendbar ist. Die Ergebnisse in Abschnitt 5 zeigen, dass eine Ergänzung der aktuellen ETW-Liste mit allen Substanzen, die sich aktuell ausschließlich auf der Liste der ITF-25 befinden, zu empfehlen ist. Die Substanzen, die sich bereits auf der ETW-Liste befinden, sollten weiterhin als relevant eingestuft und vorhanden bleiben. Die Tatsache, dass mit der aktuellen Beladung eines CBRN-ErkW 17 Jahre nach Veröffentlichung der ältesten Version der ETW-Liste vier Substanzen noch nicht messbar sind zeigt, dass der Prozess der Optimierung dieser Liste mit den entsprechenden technischen Weiterentwicklungen langwierig ist [6, 8]. Ob bei der Überarbeitung der ETW-Liste zur aktuellen Fassung lediglich die Grenzwerte der Substanzen, oder auch deren Auswahl geprüft und aktualisiert worden, ließ sich im Rahmen der Recherche nicht ermitteln. Diese Ausarbeitung kann als Ausgangspunkt für eine Prüfung und die fortlaufende Weiterentwicklung genutzt werden. Limitationen im Rahmen der Recherche bestanden größtenteils darin, dass keine aussagekräftigen internationalen oder bundesweiten Statistiken zur Produktion, dem Transport oder der Verwendung der hier untersuchten Gefahrstoffe verfügbar sind. So musste zur Beurteilung der Relevanz in Abschnitt 4.2 das Unfallgeschehen anhand von Presse Artikeln beurteilt werden. Hier wäre eine validierte Statistik aussagekräftiger. In weiteren Forschungen sollte abgewogen werden, ob das hier gewählte Kriterium des Unfallgeschehens mit bereits einem Unfall oder alleinig die Verbreitung eines Gefahrstoffs zur Einstufung als relevant für deutsche BOS hinreichend ist, oder ob ein größeres Restrisiko tragbar wäre und weniger toxische Substanzen mit geringen Unfallzahlen oder kleinerer Verbreitung tolerabel sein könnten. Dies kann zur Folge haben, dass Substanzen von der ETW-Liste entfernt werden können.

7.2 Auswirkungen auf die Messtechnik in der Dräger Messstrategie für die BOS

Das zweite Teilziel dieser Ausarbeitung war zu untersuchen, welche Auswirkungen eine Aktualisierung der entsprechenden Substanzen der Einsatztoleranzwert-Liste auf die Messtechnik von der Firma Dräger hat. Wie in den Abschnitten 6.2 und 6.3 beschrieben ist, hat die oben dargestellte Aktualisierung der Einsatztoleranzwert-Liste Auswirkungen auf die verwendete Messtechnik. Diese müsste entsprechend erweitert beziehungsweise technisch weiterentwickelt werden. Im ersten Schritt ist die Beladung des CBRN-ErkW mit der bereits unter anderem bei Dräger verfügbaren Messtechnik in Form von entsprechenden Prüfröhrchen und Messgeräten gemäß Tabelle 9 nachzurüsten. Dies wäre mit wenig Aufwand, wenig Platzbedarf und einem verhältnismäßig geringen Kostenaufwand möglich. Der zweite Schritt, für den diese Ausarbeitung als Grundlage genutzt werden kann, wäre eine technische Weiterentwicklung des Dräger Produktportfolios an entsprechender Messtechnik gemäß Tabelle 10. Hierbei ist jedoch zu prüfen, ob diese entsprechende technische Umsetzung realisierbar wäre, ob gegebenenfalls Marktbegleiter bereits entsprechende Technik anbieten und ob eine Aktualisierung der ETW-Liste zustande kommt, sodass überhaupt ein Bedarf an entsprechender Messtechnik vorhanden ist. Dies würde jedoch über den Umfang dieser Ausarbeitung hinausgehen. Wenn diese Schritte durchlaufen worden sind, könnten Einheiten der NATO als zusätzlicher Kundenstamm gewonnen werden, da nun deutlich mehr Substanzen, die auf der Gefahrstoff-Liste der ITF-25 gelistet sind, mit Dräger Messtechnik detektierbar wären. Der von Dräger veröffentlichte Leitfaden „Dräger Messstrategie“ [73] müsste nach einer Weiterentwicklung der Messtechnik durch entsprechend hinzugekommene Prüfröhrchen, Messgeräte und Vorgehensweisen erweitert werden, damit die Dokumentation vollständig ist und die aktualisierte Technik gemäß dieser Dokumentation angewendet werden kann.

8 Fazit

In dieser Bachelorarbeit wurde untersucht, inwieweit die Auswahl der Gefahrstoffe der Einsatztoleranzwert-Liste für Feuerwehren in Deutschland durch Anwendung eines rechnerischen Ansatzes der NATO und der hieraus resultierenden Gefahrstoff-Liste der International Task Force-25 ergänzt und aktualisiert werden kann. Des Weiteren wurden die Auswirkungen analysiert, welche auf die auf dem CBRN-ErkW verlasteten, sowie bei der Firma Dräger verfügbaren Messtechnik durch diese Aktualisierung entstehen würden. Die Ergebnisse zeigen, dass die ETW-Liste durch Substanzen, die ausschließlich auf der ITF-25 Liste aufgeführt sind, ergänzt werden sollte. Die, sich aktuell auf der ETW-Liste befindenden, Substanzen sollten weiterhin gelistet bleiben. Sie wurden durch ein vorhandenes Unfallrisiko mit dem dazugehörigen Schadensausmaß oder eine entsprechende Ausbreitung als relevant für die BOS in Deutschland eingestuft. Die Bewertung des Unfallrisikos und der Verbreitung wurde größtenteils anhand von Presse Meldungen durchgeführt. Für weitere Forschungen ist eine zusätzliche Bewertung, ggfs. mittels nicht veröffentlichter Statistiken, in Erwägung zu ziehen.

Der zweite Teil der Ausarbeitung hat zu dem Ergebnis geführt, dass eine entsprechende Aktualisierung der Beladung CBRN-ErkW neue Anforderungen an die Messtechnik mit sich bringt. Teilweise können die neuen Anforderungen mit bereits zur Verfügung stehenden Prüfröhrchen und Messgeräten von unter anderem Dräger gedeckt werden (siehe Tabelle 9). Für die übrigen 45 Substanzen, die mit aktuell verfügbaren Mitteln (siehe Tabelle 10) nicht messbar sind, bedarf es einer Weiterentwicklung des Produktportfolios. Hierzu ist eine umfangreiche Marktanalyse unerlässlich. Eine Weiterentwicklung gemäß dieser neuen Anforderungen würde im letzten Schritt eine Aktualisierung des Dräger Leitfadens „Dräger Messstrategie“ [73] mit sich bringen. In diesem Leitfaden für die Feuerwehren und andere BOS sind systematische Vorgehensweise im Gefahrgut Messeinsatz aufgeführt. Diese können mit der entsprechenden Dräger Messtechnik umgesetzt werden.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt. Güterverkehr: Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern; 2023. [Stand: 16.10.2023]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html>.
- [2] Andrea Hütter. Gefahrguttransporte 2010: Ergebnisse der Gefahrgutschätzung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt; 2012.
- [3] Statistisches Bundesamt. Verkehr: Gefahrguttransporte - Ergebnisse der Gefahrgutschätzung. Wiesbaden; 22.12.2021. Fachserie 8.
- [4] Gefahrgutbeförderungsgesetz: GGBefG; 1975 [Stand: 16.10.2023]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/gefahrgutg/GGBefG.pdf>.
- [5] Statistisches Bundesamt. Verkehrsunfälle: Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr 2020. Wiesbaden; 7.1.2022.
- [6] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. Richtlinie zur Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz. Altenberge; März 2022.
- [7] Landesfeuerwehrverband Schleswig-Holstein Feuerwehr-Dienstvorschrift 7; 2005.
- [8] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. Richtlinie zur Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz. Altenberge; Juli 2005.
- [9] Bennett M. TICs, TIMs, and Terrorists: Commodity chemicals take on a sinister role as potential terrorist tools. Today's Chemist at Work; 2003.
- [10] Steumpfle AK, Armour SJ, Howells DJ, Boulet CA. Final Report of International Task Force-25: Hazard from toxic industrial chemicals: NATO International Task Force-25; 18.3.1996.
- [11] Umweltbundesamt. AEGL - Störfallbeurteilungswerte: Die Werte: Welche Störfall-Konzentrationsleitwerte sollen verwendet werden?; 2014. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/aegl-stoerfallbeurteilungswerte-die-werte.
- [12] BG BAU Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft. Dampfdruck; 2023. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/aegl-stoerfallbeurteilungswerte-die-werte.
- [13] Toxic Industrial Chemicals. Journal of the Royal Army Med Corps 2002; (148):371–381.
- [14] Sauerstoffwerk Friedrichshafen GmbH. Sicherheitsdatenblatt Chlor; 2021. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.swffn.de/static/gase/sicherheit/chlor_7782-50-5_2021jan12_de.pdf.
- [15] National Institute for Occupational Safety and Health. Chlorine: Immediately dangerous to life or health concentrations (IDLH); 1994. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.cdc.gov/niosh/idlh/7782505.html.
- [16] GlobalData plc. Chlorine Industry Overview; 2022. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.globaldata.com/store/report/chlorine-marketanalysis/#:~:text=Chlorine%20Industry%20Overview,of%20the%20total%20chlorine%20capacity.

- [17] Scheumann A. BASF modernisiert Chlorformiate- und Säurechlorid-Produktion; 2022. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.chemietechnik.de/anlagenbau/basf-modernisiert-chlorformiate-und-saeurechlorid-produktion-912.html.
- [18] Meischen K, Chapman G. BASF, Huntsman, Shanghai Hua Yi, Shanghai Chlor-Alkali Chemical Co. Ltd. und Sinopec Shanghai Gaoqiao Petrochemical Co. Ltd. separieren gemeinsame MDI-Produktion in Caojing, China [Gemeinsame Presseinformation]; 2023. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2023/07/p-23-269.html>.
- [19] Lanxess Deutschland GmbH. Case study about chlor-alkali brine purification at Coogee Chemicals in Lytton, Australia; 2021. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.lanxess.com/media/Project/Lanxess/Corporate-Internet/Products-and-Solutions/Brands/Lewatit/Service-Center-Product-Literature/CaseStudy_Chloralkali_Coogee-Chemicals_EN.pdf.
- [20] Vogel Communications Group. Brenntag baut Präsenz in Nordamerika aus: Übernahme von OWI Chlor Alkali; 2023. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.process.vogel.de/brenntag-baut-praesenz-in-nordamerika-aus-uebernahme-von-owi-chlor-alkali-a9849e0b7a77da7411ec0b895ca07fd2f/.
- [21] Thyssenkrupp Nucera AG & Co. KGaA. Unipar modernisiert Chlor-Alkali-Anlage in Brasilien; 2023. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.chemanager-online.com/news/unipar-modernisiert-chlor-alkali-anlage-brasilien.
- [22] Frankfurter Allgemeine Zeitung. Mindestens 13 Tote und 250 Verletzte bei Chlorgas-Unglück; 2022. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.faz.net/aktuell/gesellschaft/ungluecke/akaba-mindestens-13-tote-und-250-verletzte-bei-chlorgas-unglueck-18133663.html.
- [23] Der Spiegel. Mindestens 27 Tote durch Chlorgas; 2005. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.spiegel.de/panorama/chemie-unfall-mindestens-27-tote-durch-chlorgas-a-348890.html.
- [24] Norddeutscher Rundfunk. Phosphor statt Bernstein: Gefahr am Strand; 2019. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.ndr.de/ratgeber/gesundheit/Phosphor-statt-Bernstein-Gefahr-am-Strand,phosphor126.html.
- [25] Der Spiegel. Mehr als 160 Menschen bei Phosphorunglück verletzt; 2007. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.spiegel.de/panorama/ukraine-mehr-als-160-menschen-bei-phosphorunglueck-verletzt-a-495733.html.
- [26] Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. Brom Br; 2019. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.gdch.de/service-information/jahr-des-pse/periodensystem-im-ueberblick/elemente-der-gruppe-17/brom.html.
- [27] Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen: FCKW-Halon-Verbots-Verordnung; 1991.
- [28] Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. Brom, eines von zwei flüssigen Elementen; 2021. [Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.faszinationchemie.de/wissen-und-fakten/news/brom-eines-von-zwei-fluessigen-elementen/.

- [29] Dammann J. Schwerer Chemie-Unfall am Harsefelder Gymnasium: Wochenblatt-Verlag Schrader; 2013.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.kreiszeitung-wochenblatt.de/harsefeld/c-blaulich/schwerer-chemie-unfall-am-harsefelder-gymnasium_a21672.
- [30] Axel Springer Verlag Deutschland. Giftige Brom-Wolke vernebelt russische Stadt am Ural; 2011.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.welt.de/vermishtes/weltgeschehen/article13578724/Giftige-Brom-Wolke-vernebelt-russische-Stadt-am-Ural.html.
- [31] Süddeutsche Zeitung. Tanklastzug umgekippt: Möglicher Austritt von Aceton; 2022.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.sueddeutsche.de/panorama/unfaelle-boerdeland-tanklastzug-umgekippt-moeglicher-austritt-von-aceton-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-220125-99-842457.
- [32] Klietz W. Sattelzug mit explosivem Aceton verunglückt: FUNKE Medien Hamburg GmbH; 2016.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.abendblatt.de/region/norderstedt/article208045307/Sattelzug-mit-explosivem-Aceton-verunglueckt.html.
- [33] Burg-Verlag. Giftiges Anilin löste Großeinsatz aus; 2013.
Verfügbar unter: www.fehmarn24.de/fehmarn/giftiges-anilin-loeste-grosseinsatz-3159379.html.
- [34] Der Spiegel. Uni Dresden nach Chemieunfall gesperrt; 2012.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.spiegel.de/panorama/grosseinsatz-uni-dresden-nach-chemieunfall-gesperrt-a-810247.html.
- [35] Focus Magazin Verlag. Tödliche Benzol-Dämpfe: Tankschiff-Kapitän stirbt bei Arbeitsunfall; 2015.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.focus.de/regional/koeln/unfaelle-toedliche-benzol-daempfe-tankschiff-kapitaen-stirbt-bei-arbeitsunfall_id_4447275.html.
- [36] Hannoversche Allgemeine Zeitung. Benzol ausgelaufen: Inhalt aus Kesselwagen wird am Mittwoch abgepumpt; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.haz.de/lokales/umland/lehrte/lehrte-leck-in-tankwagen-auf-megahub-sorgt-fuer-abc-feuerwehreinsatz-NQTC7YR2EJHDFMNZFO3H6ZH2CU.html.
- [37] Koch S. Produktaustritt bei BASF: Gefahr für den Rhein – 300 Kilo Chlorbenzol strömen in den Fluss: Headline24 GmbH & Co. KG; 2021.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.ludwigshafen24.de/region/basf-unfall-ludwigshafen-produktaustritt-rhein-fluss-ausgelaufen-gefahr-umwelt-chlorbenzol-90465297.html.
- [38] k-digital Medien. Giftgas: Wie es auf den Körper wirkt und wann es zum Einsatz kam; 2017.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.kurier.at/wissen/giftgas-wie-es-auf-den-koerper-wirkt-und-wann-es-zum-einsatz-kam/256.532.845.
- [39] Farsbotter J, Mayer S. Gutachten zur Verträglichkeit von Störfall-Betriebsbereichen im Stadtgebiet Wesseling: unter dem Gesichtspunkt des § 50 BImSchG bzw. der Seveso-II-Richtlinie (Artikel 12). Hamburg: TÜV Nord; März 2015.
- [40] Polizei Brandenburg. Zeugen nach Vorfall in S- Bahn gesucht; 2016.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: polizei.brandenburg.de/fahndung/zeugen-nach-vorfall-in-s-bahn-gesucht/141673.

- [41] Focus Magazin Verlag. Haft für tödlichen Chloroform-Angriff; 2013.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.focus.de/panorama/welt/haft-fuer-toedlichen-chloroform-angriff-mallorca_id_2793943.html.
- [42] Lumitos AG. Chloroform; 2024.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.chemie.de/lexikon/Chloroform.html#Verwendung.
- [43] ZAZA, Inc. 14 Hersteller von Chloroform im Jahr 2023; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://de.metoree.com/categories/6907/>.
- [44] ZAZA, Inc. 4 Hersteller von Cyclohexylamin im Jahr 2023; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://de.metoree.com/categories/6277/>.
- [45] Merck KGaA. Sicherheitsdatenblatt Cyclohexylamin zur Synthese. Darmstadt; 19.11.2023.
- [46] Frankfurter Allgemeine Zeitung. Bad Münster: Immer mehr Menschen vergiftet; 2002.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.faz.net/aktuell/gesellschaft/bad-muender-immer-mehr-menschen-vergiftet-173897.html.
- [47] Niedersächsisches Ministerium für Inneres und Sport. Bahnunfall in Bad Münster am 09.09.2002; 2007.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.mi.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/-61977.html>.
- [48] Striebel J. 122 Feuerwehrleute bei Gefahrguteinsatz an der A8: Südwest Presse; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.swp.de/lokales/ulm/glaette-unfall-bei-merklingen-122-feuerwehrleute-bei-gefahr-guteinsatz-an-der-a8-72356791.html.
- [49] Westdeutscher Rundfunk Köln. Tödliche Stichflamme bei Familienfeier in Höxter; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www1.wdr.de/nachrichten/westfalen-lippe/feuerunfall-hoexter-verpuffung-feuersaeule-ethanol-100.html.
- [50] Stuttgarter Nachrichten. A61 nach Unfall mit Gefahrgut-Lkw voll gesperrt; 2017.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.explosionsgefahr-a61-nach-unfall-mit-gefahr-gut-lkw-voll-gesperrt.bc6186da-2b3f-49e4-8a47-48c2ce07eb0c.html.
- [51] Glöckner J. Produktaustritt bei BASF: Toxisches Ethylendiamin gelangt in Luft: SÜWE Vertriebs- und Dienstleistungsgesellschaft mbH & Co.KG; 2022.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.wochenblatt-reporter.de/ludwigshafen/c-lokales/produktaustritt-bei-basf-toxisches-ethylendiamin-gelangt-in-luft_a425813.
- [52] Buchholz A. Feuerwehr untersucht abgestellte Fässer in Frankfurt: Hessenschau; 2022.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.hessenschau.de/morgenticker/-unfall-auf-a67--g7-treffen-sorgt-staus-in-wiesbaden--hessen-am-morgen-die-nachrichten-im-ticker,hessen-am-morgen-freitag100.html.
- [53] Der Spiegel. 20 Bahnmitarbeiter bei Giftunfall verletzt; 2013.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.spiegel.de/panorama/raketentreibstoff-hydrazin-austritt-verletzt-20-bahnmitarbeiter-a-909746.html.
- [54] Carl-Mattarocci K. Stoppt den Tod im Tank: Aktion zur Sensibilisierung für die Gefährlichkeit von Kohlendioxid (CO₂): BGN Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe; 2012. Jahrbuch Prävention 2013/2014.

- [55] Frankfurter Allgemeine Zeitung. Schwerer Gas-Unfall mit über hundert Verletzten; 2008.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/ungluecke/moenchengladbach-schwerer-gas-unfall-mit-ueber-hundert-verletzten-1681131.html>.
- [56] Rheinische Post. Behälter undicht: Lkw verliert Methanol auf der A 3; 2014.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.rp-online.de/nrw/staedte/langenfeld/behaelter-undicht-lkw-verliert-methanol-auf-der-a-3_aid-16640677.
- [57] Rheinische Post. Polizei sperrt Autobahn wegen Phosphorwasserstoff; 2017.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.rp-online.de/panorama/deutschland/hamburg-polizei-sperrt-autobahn-nach-unfall-mit-giftfaessern_aid-20702453.
- [58] Dieckmann B. Chemieunfall in Hesepe: Einsatz beendet: Neue Osnabrücker Zeitung; 2018.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.noz.de/lokales/bramsche/artikel/-23056981>.
- [59] Hein C. Mehr als 1000 Verletzte bei schwerem Chemie-Unfall in Indien: Frankfurter Allgemeine Zeitung; 2020.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/mehr-als-1000-verletzte-bei-schwerem-chemie-unfall-in-indien-16758554.html.
- [60] E. Holterdorf GmbH & Co. KG. Großeinsatz: Unfall mit Gefahrstoff in Oelde; 2014.
Verfügbar unter: www.amp.die-glocke.de/artikel/826918e2-8199-4c0e-be81-8ea092b90a36.
- [61] Lüttgens G, Lüttgens S. Toluol – eine oft unterschätzte Brandgefahr: Vogel Communications Group GmbH & Co. KG; 2019.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: <https://www.process.vogel.de/toluol-gefahr-brandgefahr-explosion-a-6432fd191562c84a11eeff6722b7b344/>.
- [62] Hüser T. Explosion und Brand in Shell-Raffinerie in Köln-Godorf: Vogel Communications Group GmbH & Co. KG; 2014.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.process.vogel.de/explosion-und-brand-in-shell-raffinerie-in-koeln-godorf-a-429518/.
- [63] Der Spiegel. Explosion bei BASF verletzt elf Menschen; 2002.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.spiegel.de/panorama/chemie-unfall-explosion-bei-basf-verletzt-elf-menschen-a-181052.html.
- [64] Drägerwerk AG & Co. KGaA. Dräger VOICE Datenbank - 1,1,2-Trichlorethan; 2024
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: https://www.draeger.com/de_de/Substances/414.
- [65] Currenta GmbH & Co. OHG. Unfallbericht zur Explosion mit anschließendem Brand im Entsorgungszentrum in Leverkusen-Bürrig. Verfügbar unter: <https://www.currenta-info-buerrig.de/das-ereignis/#tanks>.

- [66] Fritzen M. Flugplatz Spangdahlem: Gefahr für Trinkwasserbrunnen - Krebserregender Stoff in extrem hohem Anteil nachgewiesen: Trierischer Volksfreund Medienhaus GmbH; 2014.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.volksfreund.de/region/bitburg-pruem/flugplatz-spangdahlem-gefahr-fuer-trinkwasserbrunnen-krebserregender-stoff-in-extrem-hohem-anteil-nachgewiesen_aid-5694637.
- [67] taz Verlags- und Vertriebs GmbH. Zug mit BASF-Gift entgleist; 1996.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.taz.de/Zug-mit-BASF-Gift-entgleist/!1454383/.
- [68] The Associated Press. 50-car train derailment causes big fire, evacuations in Ohio; 2023.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.apnews.com/article/pennsylvania-ohio-evacuations-fires-5d399dc745f51ef746e22828083d8591.
- [69] Konzeption Zivile Verteidigung: KZV; 2016.
- [70] Bundesministerium für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Analytische Task Force [Stand: 04.01.2024].
- [71] Bundesministerium für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. Messtechnik CBRN Erkunder.
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.bbk.bund.de/DE/Themen/CBRN-Schutz/CBRN-Faehigkeiten/Mess-Nachweistechnik/mess-nachweistechnik_node.html.
- [72] Drägerwerk AG & Co. KGaA. Dräger VOICE Gefahrstoffdatenbank
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: https://www.draeger.com/de_de/Substances.
- [73] Drägerwerk AG & Co. KGaA. Dräger Messstrategie
[Stand: 04.01.2024]. Verfügbar unter: www.draeger.com/messstrategie.

Erklärung

Ich, Thomas Luttermann erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Ausarbeitung selbstständig und ausschließlich unter Benutzung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Thomas Luttermann

Hamburg, den 05. Februar 2024

Anhang: Aktuelle Version der ETW-Liste

Anlage 1 der vfdb-Richtlinie 10/01 (Stand März 2022)

Einsatztoleranzwerte 1 bzw. bis 4h von Stoffen, die mit gängiger Feuerwehmesstechnik messbar sind:

An Einsatzstellen ist aufgrund der verfügbaren Messtechnik der ermittelte Wert im Vergleich zum ETW für die Beurteilung ggf. sinnvoll zu runden (siehe vfdb-Richtlinie 10/05 ABC-Gefahrstoffnachweis).

| Stoffname | CAS-Nr. | Stoff-(UN-) Nummer | ETW-1 bis 1h | ETW-4 bis 4h | Ex 100 % UEG | G | H | CRBN-ErkW |
|---------------------------------|-----------|---------------------|--------------|--------------|--------------|---|---|-----------|
| Aceton | 67-64-1 | 1090 | n.f. | 500 ppm | 2,5 Vol.-% | | | * |
| Acrolein | 107-02-8 | 1092 | 0,1 ppm | 0,1 ppm | 2,8 Vol.-% | | | * |
| Acrylnitril | 107-13-1 | 1093 | 1,7 ppm | 0,48 ppm | 2,8 Vol.-% | | * | |
| Ammoniak | 7664-41-7 | 1005 | 160 ppm | 110 ppm | 15,4 Vol.-% | | | * |
| Anilin | 62-53-3 | 1547 | 12 ppm | 3 ppm | 1,2 Vol.-% | | * | * |
| Arsenwasserstoff | 7784-42-1 | 2188 | 0,17 ppm | 0,04 ppm | 3,9 Vol.-% | | | * |
| Benzol | 71-43-2 | 1114 | n.f. | 20 ppm | 1,2 Vol.-% | | * | * |
| Carbonylchlorid (Phosgen) | 75-44-5 | 1076 | 0,30 ppm | 0,08 ppm | n.b. | | | * |
| Chlor | 7782-50-5 | 1017 | 2 ppm | 1 ppm | n.b. | | | * |
| Chlorbenzol | 108-90-7 | 1134 | 150 ppm | 150 ppm | 1,3 Vol.-% | | | * |
| Chlorcyan | 506-77-4 | 1589 | n.f. | 0,3 ppm | n.b. | | | * |
| Chloroform | 67-66-3 | 1888 | 64 ppm | 40 ppm | n.b. | | * | * |
| Chlorwasserstoff (Salzsäure) | 7647-01-0 | 1050 (1789) | 22 ppm | 11 ppm | n.b. | | | * |
| Cyanwasserstoff (Blausäure) | 74-90-8 | 1051, 1614(1613) | 7,1 ppm | 3,5 ppm | 5,4 Vol.-% | * | * | * |

| Stoffname | CAS-Nr. | Stoff- (UN-) Nummer | ETW-1 bis 1h | ETW-4 bis 4h | Ex 100 % UEG | G | H | CBRN - ErKW |
|---------------------|-----------|---------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---|---|----------------|
| Cyclohexylamin | 108-91-8 | 2357 | 8,6 ppm | 5,4 ppm | 1,6 Vol.-% | | * | * |
| Epichlorhydrin | 106-89-8 | 2023 | 24 ppm | 14 ppm | 2,3 Vol.-% | | * | * |
| Essigsäure | 64-19-7 | 2789 | n.f. | 20 ppm | 4,0 Vol.-% | | | * |
| Ethanol | 64-17-5 | 1170 | n.f. | 3 000 ppm | 3,1 Vol.-% | | | * |
| Ethylendiamin | 107-15-3 | 1604 | 9,7 ppm | 6,1 ppm | 2,7 Vol.-% | | | * |
| Ethylenoxid | 75-21-8 | 1040 | 45 ppm | 14 ppm | 2,6 Vol.-% | | * | * |
| Fluor | 7782-41-4 | 1045 | 5 ppm | 2,3 ppm | n.b. | | * | * |
| Fluorwasserstoff | 7664-39-3 | 1052, | 24 ppm | 12 ppm | n.b. | | * | * |
| Formaldehyd | 50-00-0 | 1198, 2209 | n.f. | 1 ppm | 7,0 Vol.-% | | | * |
| n-Hexan | 110-54-3 | 1208 | 2900 ppm | 2900 ppm | 1,0 Vol.-% | | | * |
| Hydrazin | 302-01-2 | 2029 | 13 ppm | 3,1 ppm | 4,7 Vol.-% | | * | * |
| Kohlenstoffdioxid | 124-38-9 | 1013 | n.f. | 10 000 ppm | n.b. | | | |
| Kohlenstoffdisulfid | 75-15-0 | 1131 | 160 ppm | 100 ppm | 0,6 Vol.-% | | * | * |
| Kohlenstoffmonoxid | 630-08-0 | 1016 | 83 ppm | 33 ppm | 11,3 Vol.-% | | | * |
| Methanol | 67-56-1 | 1230 | n.f. | 720 ppm | 6,0 Vol.-% | | * | |
| Methylmercaptan | 74-93-1 | 1064 | 23 ppm | 14 ppm | 4,1 Vol.-% | | | * |
| Phosphorwasserstoff | 7803-51-2 | 2199 | 2 ppm | 0,5 ppm | 1,0 Vol.-% | | | * |

| Stoffname | CAS-Nr. | Stoff- (UN-) Nummer | ETW-1 bis 1h | ETW-4 bis 4h | Ex 100 % UEG | G | H | CBRN - ErKW |
|-----------------------|-----------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|---|----------------|
| Salpetersäure | 7697-37-2 | 2031 | 24 ppm | 6 ppm | n.b. | | | |
| Schwefeldioxid | 7446-09-5 | 1079 | 0,75 ppm | 0,75 ppm | n.b. | | | * |
| Schwefelwasserstoff | 7783-06-4 | 1053 | 27 ppm | 20 ppm | 4,3 Vol.-% | • | | * |
| Stickstoffdioxid | 10102-44- | 1067 | 12 ppm | 8,2 ppm | n.b. | | | * |
| Styrol | 100-42-5 | 2055 | n.f. | 40 ppm | 0,97 Vol.-% | • | | * |
| Tetrachlorethen | 127-18-4 | 1897 | 230 ppm | 120 ppm | n.b. | | • | * |
| Tetrachlorkohlenstoff | 56-23-5 | 1846 | 13 ppm | 7,6 ppm | n.b. | | • | |
| Toluol | 108-88-3 | 1294 | 560 ppm | 310 ppm | 1,1 Vol.-% | | | * |
| Toluoldiisocyanat | 91-08-7 | 2078 | 0,083 ppm | 0,021 ppm | 0,9 Vol.-% | | | * |
| 1, 1, 1-Trichlorethan | 71-55-6 | 2831 | 600 ppm | 380 ppm | 8,0 Vol.-% | | • | * |
| 1, 1, 2-Trichlorethan | 79-00-5 | 3082 | n.f. | 25 ppm | n.b. | | • | * |
| Trichlorethen | 79-01-6 | 1710 | n.f. | 100 ppm | 7,9 Vol.-% | | • | * |
| Vinylchlorid | 75-01-4 | 1086 | 1200 ppm | 820 ppm | 3,8 Vol.-% | • | • | * |

- Ex = Gefahr explosibler Gas/Dampf-Luft-Gemische
 UEG = Untere Explosionsgrenze in Vol.-% (1Vol.-% entspricht 10 000 ppm)
 Quelle: BGIA, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
 GESTIS-Stoffdatenbank www.hvbq.de/d/bia/fac/stoffdb/index.html
 n.b. = nicht brennbar
 n.f. = nicht festgelegt
 G = Gefahr der „Gewöhnung des Geruchssinnes“
 H = hautresortiver Gefahrstoff
 xxx = ETW entspricht dem AEGL-Wert-2 für 4 Stunden bzw. 1Stunde Exposition
 (•) = nur unter besonderen Bedingungen
 * = mit der Ausstattung des CBRN-Erkundungswagens (CBRN-ErKW) erfassbar