

Gutachten:

Orientierender Vergleich
möglicher Auswirkungen von Gefahrguttransporten
Bestandstrasse durch die Stadt Oldenburg
vs.
Autobahn parallele Trasse entlang der A 29

Klaus Kümmerer

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dipl. Chem.
Professor für Nachhaltige Chemie und Stoffliche Ressourcen
Sachverständiger für Umweltchemie und Umwelthygiene
Direktor des Instituts für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie
an der Leuphana Universität Lüneburg

Martin Luther Straße 1
79341 Kenzingen

16. 6. 2013

Inhaltsverzeichnis

1. ANLASS	5
2. FRAGESTELLUNG	7
3. AUSGANGSSITUATION	8
4. GEFAHRGUT	12
4.1. DEFINITION UND KLASSIFIZIERUNG	12
4.2. TRANSPORT VON GEFAHRGUT AUF DER SCHIENE.....	13
5. ZIEL UND VORGEHENSWEISE	15
5.1. ZIEL.....	15
5.2. VORGEHENSWEISE	15
5.3. EXEMPLARISCH BETRACHTETE STOFFE.....	16
5.4. CHARAKTERISTIKA DER AUSGEWÄHLTEN STOFFE	19
5.4.1. <i>Benzin</i>	19
5.4.2. <i>Acetylen (Ethin)</i>	19
5.4.3. <i>Acrolein (Propenal, Acrylaldehyd)</i>	20
5.4.4. <i>Alkalichlorat</i>	21
5.4.5. <i>Ammoniak</i>	22
5.4.6. <i>Ammoniumnitrat</i>	22
5.4.7. <i>Brom</i>	23
5.4.8. <i>Brommethan</i>	23
5.4.9. <i>Chlor</i>	24
5.4.10. <i>Chlorwasserstoff</i>	25
5.4.11. <i>Cyanwasserstoff</i>	26
5.4.12. <i>Diphenylmethandiisocyanat</i>	26
5.4.13. <i>Ethylenoxid</i>	27
5.4.14. <i>Formaldehyd/Paraformaldehyd</i>	28
5.4.15. <i>Phosgen</i>	29
5.4.16. <i>Phosphin (Phosphan, Phosphorwasserstoff)</i>	30
5.4.17. <i>Propan</i>	30
5.4.18. <i>Propylenoxid</i>	30
5.4.19. <i>Sauerstoff</i>	31
5.4.20. <i>Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffdisulfid)</i>	31
5.4.21. <i>Schwefeltrioxid</i>	31
5.4.22. <i>Schwefelsäure</i>	32
5.4.23. <i>Tetraethylblei</i>	33

5.4.24.	<i>Tetramethylblei</i>	33
5.4.25.	<i>Toluoldiisocyanate (TDI)</i>	34
5.4.26.	<i>Vinylchlorid</i>	35
5.5.	ABSCHÄTZUNG EINER SICHEREN ENTFERNUNG IM FALLE EINES UNFALLS UNTER GEFÄHRSTOFFFREISETZUNG	
	36	
5.6.	VORGENOMMENE EINSCHRÄNKUNGEN.....	36
5.7.	ZUGRUNDE GELEGTE TOXIZITÄTSSCHWELLEN.....	38
5.7.1.	<i>Einsatztoleranzwert (ETW-Wert)</i>	39
5.7.2.	<i>IDLH-Wert</i>	39
5.7.3.	<i>AGW, MAK- und MIK-Werte</i>	40
5.7.4.	<i>Ergänzende Betrachtungen</i>	42
6.	ERGEBNISSE	42
6.1.	DATENLAGE.....	42
6.2.	SICHERE ABSTÄNDE ZUR TRASSE.....	42
6.3.	ANZAHL UND ART MÖGLICHER BETROFFENER PERSONEN UND EINRICHTUNGEN.....	47
6.3.1.	<i>Bestandsstrecke</i>	47
6.3.2.	<i>Umfahrung der Stadt Oldenburg Alternativtrasse entlang der A 29</i>	49
6.3.3.	<i>Beiden Trassen gemeinsame Bereiche</i>	49
6.3.4.	<i>Generell möglicherweise betroffene Einwohner</i>	49
6.3.5.	<i>Im Fall eines konkreten Gefahrgutunfalls möglicherweise betroffene Einwohner</i>	50
6.3.6.	<i>Vergleich der Anzahl der Gebäude</i>	51
6.3.7.	<i>Rettungsreinrichtungen</i>	52
6.3.8.	<i>Kinderkrippen, Kindergärten, Kindertagesstätten</i>	54
6.3.9.	<i>Altenheime und Pflegeheime</i>	56
6.3.10.	<i>Bildungseinrichtungen</i>	57
6.3.11.	<i>Sonstige Orte mit hoher Anzahl von Menschen</i>	59
6.3.12.	<i>Trasse: Hochlage, Lärmschutzwände, Zugänglichkeit</i>	61
6.3.13.	<i>Anzahl Weichen</i>	61
6.3.14.	<i>Sonstige baulichen Aspekte</i>	62
6.3.15.	<i>Verfügbarkeit von Löschmitteln</i>	62
6.3.16.	<i>Dichte der gasförmigen Stoffe</i>	62
6.3.17.	<i>Wasserschutzgebiete</i>	64
6.3.1.	<i>Verkehr auf der Autobahn</i>	64
6.4.	ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER TRASSEN.....	64
6.5.	BEDEUTUNG GEMACHTER ANNAHMEN.....	67
7.	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	69

8. EMPFEHLUNGEN..... 71

1. Anlass

Im Jahr 2010 sind über die Schiene insgesamt 60 Mio. Tonnen der Seetransportmenge abgewickelt worden was etwa einem Fünftel der Gesamtmenge entspricht. Nicht zuletzt aufgrund der zu erwartenden deutlichen Zunahmen des Seehafenhinterlandverkehrs gelangen die Kapazitäten der derzeit verfügbaren Verkehrsnetze zunehmend an ihre Grenzen. Einige Häfen möchten nicht zuletzt deshalb den Anteil der über die Schiene transportiert wird, erhöhen. Daher hat die Deutsche Bahn AG im Jahr 2007 zusammen mit den Seehäfen einen Masterplan Schiene Seehafen-Hinterland-Verkehr erarbeitet.¹ Neben dem Aus- und Neubau wird auch die Erhöhung der Zugauslastung und der Zuglängen geplant. Entsprechend setzt der Masterplan Güterverkehr und Logistik der Bundesregierung auch auf eine weitere Verkehrsverlagerung auf die Schiene. Für die Häfen Hamburg, Bremen/Bremerhaven und Wilhelmshaven wird bis 2015 ein jährliches Transportvolumen auf der Schiene von bis zu 6 Mio. TEU und ein Gesamtaufkommen von bis zu 1.800 Zügen pro Woche erwartet². Für den Jade-Weser-Port werden Wettbewerbsvorteile durch die tideunabhängige Fahrt für Schiffe bis 16,5 m Tiefgang erwartet, ebenso aus seiner Lage als östlichster Tiefwasserhafen in Nordeuropa. Sollten sich die derzeit beim Bundesverwaltungsgericht angefochtenen Vertiefungen von Elbe und Weser nicht realisieren lassen, würde sich die Wettbewerbslage des Jade-Weser-Ports gegenüber den Häfen Bremen und Hamburg deutlich verbessern. Auch wenn sich in Zukunft Containerschiffe mit noch größerem Tiefgang als wirtschaftlich interessant erweisen, könnten weitere Vorteile für den Jade-Weser-Port resultieren, mit weiter steigendem Aufkommen an Containertransporthinterlandverkehr. Der Jade-Weser-Port verfügt nicht über einen Anschluss an das Binnenwasserstraßennetz. Insbesondere die Transporte über längere Distanzen werden wohl über die Schiene abgewickelt werden. Auf dem Gelände des Jade-Weser-Ports befinden sich derzeit 16 Gleise (Vorstellgruppe), die Platz für mehrere Güterzüge bieten. Der Containertransporthinterlandverkehr³ für den Jade-Weser-Port soll lt. Planfeststellungsbeschluss Rastede (PFA2) 20% Straße, 20% Schiene, 60% Feederschiffe betragen. Das im

¹ http://www.deutschebahn.com/site/shared/de/dateianhaenge/publikationen__broschueren/ub__transport__logistik/seehafen__hinterlandverkehr__flyer__dachbroschuere.pdf, zuletzt abgerufen am 1.6.2013

² <http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/29554/publicationFile/10743/seeverkehrsprognose-endbericht-teil-3.pdf>, zuletzt abgerufen am 1.6.2013

³ Seehafenhinterlandverkehr bezeichnet die Beförderung von Exportgütern zu den Seehäfen und den Abtransport der Importgüter in die umgekehrte Richtung mit den Verkehrsträgern Straße, Schiene, Binnen- und Küstenseeschifffahrt. Hier analog, bezogen auf Containertransport: Containertransporthinterlandverkehr

PFA 2 genannte Zugmengengerüst soll 1:1 umgesetzt werden für die Strecke Jade-Weser-Port - Oldenburg.



Abbildung 1: Die Gleisanlagen der Vorstellgruppe⁴

Es wird daher schon in naher Zukunft eine deutliche Zunahme des Eisenbahnverkehrs von acht auf 44 bis 80 Güterzüge zwischen Wilhelmshaven und Oldenburg erwartet.⁵ Um diesen und die zusätzlich erwarteten Verkehre aufnehmen zu können, wurde die Bahnstrecke Wilhelmshaven–Oldenburg bis Ende 2012 zweigleisig ausgebaut (PFA2 und PFA3).⁶ Das bereits vorhandene eingleisige Industriestammgleis zum Voslapper Groden wurde für Geschwindigkeiten bis 100 km/h ausgebaut und erhielt bei dem Bahnhof Accum kurz hinter dem Abzweig von der Strecke Esens–Sande eine 1000 Meter lange Ausweichstrecke⁷.

⁴ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:JWP_Vorstellgruppe.JPG

⁵ Engpässe an Schnittstellen Straße/Schiene. In: Wilhelmshavener Zeitung vom 5. Dezember 2009

⁶ Täglicher Hafenbericht vom 13. Dezember 2012, S. 3

⁷ Wilhelmshavener Zeitung vom 9. Juli 2010

2. Fragestellung

Im Fall des Jade-Weser-Ports führt die bestehende Trasse, die einen Großteil des Containertransporthinterlandverkehrs über die Schiene aufnehmen soll, durch die Stadt Oldenburg. U.a. wegen der Problematik der Gefahrguttransporte wird als Alternative eine Trasse entlang der Autobahn A 29 diskutiert und von der Stadt Oldenburg eingefordert (Abbildung 2).

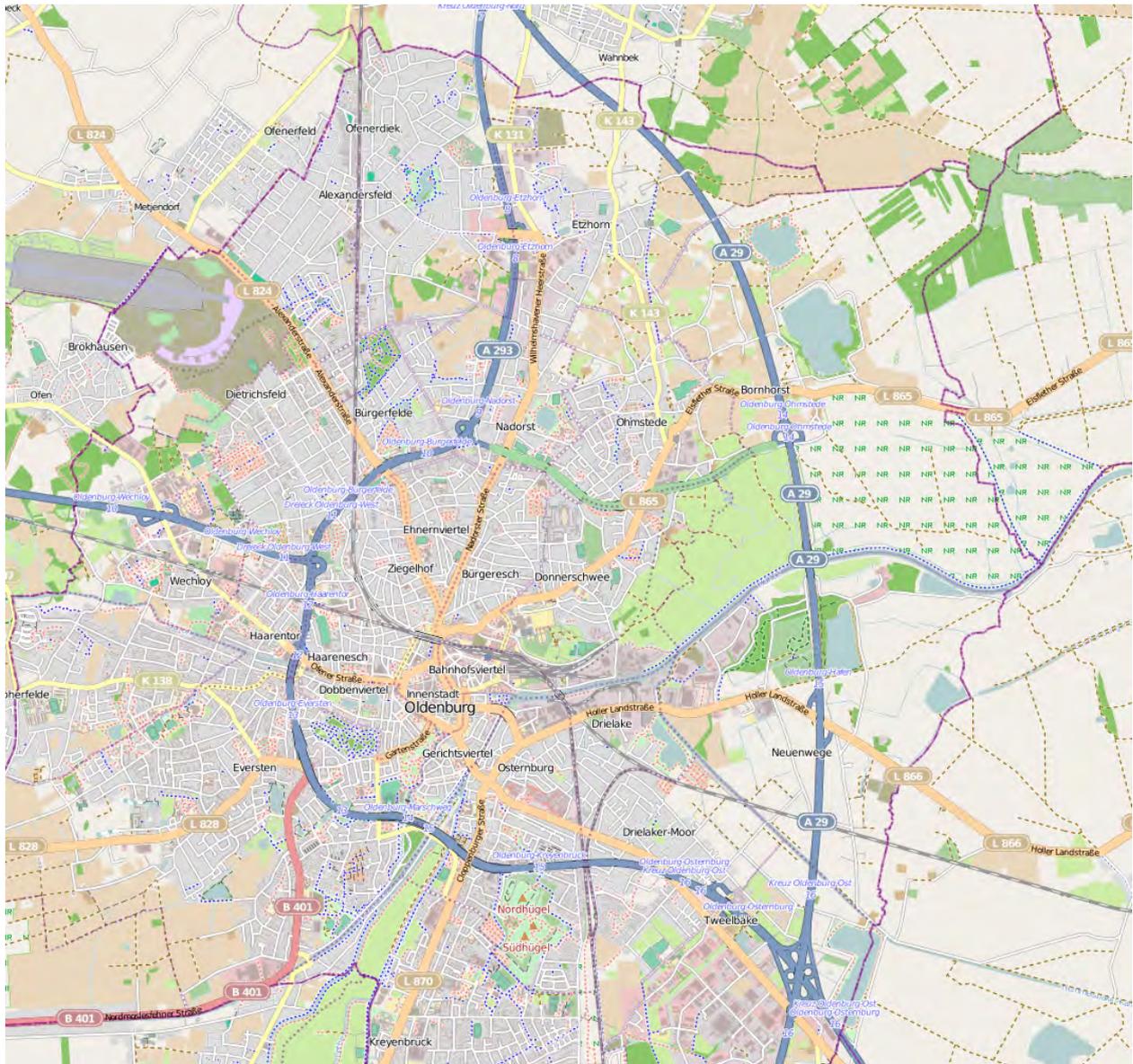


Abbildung 2: Übersicht Verkehrswege im Stadtgebiet von Oldenburg (Jade-Weser-Port: Richtung Norden); © OpenStreetMap-Mitwirkende

Dies nahm die Bürgerinitiative IBO in Oldenburg zum Anlass, EDC zu beauftragen, die vorhandene Trasse und eine mögliche Alternativtrasse entlang der A 29 unter dem Aspekt möglicher Auswirkungen von Gefahrgutunfällen auf die Anwohner vergleichend zu

untersuchen. Für eine Beurteilung der Risiken, die aus dem Transport gefährlicher Güter resultieren, ist die Angabe der Gesamtmenge des transportierten Gefahrguts eine zu pauschale Angabe. Vielmehr bedarf es stoffbezogener und streckenspezifischer Angaben, da z.B. die Anzahl der Weichen, der Abstand zur (Wohn)bebauung eine nicht unerhebliche Rolle für die Unfallwahrscheinlichkeit und das mögliche Schadenausmaß spielt und mögliche Schäden vor allem durch Art und Menge der transportierten Gefahrstoffe bestimmt werden.

Nach einer kurzen Beschreibung der Ausgangssituation und der zentralen Begriffe Gefahrstoff und Gefahrgut werden die Vorgehensweise und Ergebnisse dieser orientierenden Untersuchung daran anschließend dargestellt und bewertet.

3. Ausgangssituation

Durch die deutliche Zunahme des Güterverkehrs auf der Strecke Wilhelmshaven-Oldenburg sowie von Oldenburg nach Bremen und Osnabrück, eventuell später auch nach Leer, erhöht sich auch das Sicherheitsrisiko für die Bevölkerung, wenn entsprechend mehr/häufiger Gefahrgüter transportiert werden. Gefahrguttransporte weisen aufgrund des sehr hohen möglichen Schadenspotenzials ein großes Risiko auf⁸. Die hohen Risiken werden sich zwar eher selten realisieren, aber wenn es der Fall ist, mit erheblichen Schäden, die auch Tote und Verletzte beinhalten können (s. dazu in jüngster Vergangenheit z.B. bei Gent in Belgien am 4. Mai 2013, Explosion von 3 Kesselwagen mit Acrylnitril, 1 Toter, 17 Verletzte; die Behörden ordneten die Räumung aller Häuser und Wohnungen in einem Umkreis von 500 Metern an; 2 ähnliche Unglücke in Belgien im Jahr 2012, die beinahe Katastrophe in Müllheim (Baden), Räumung bis 100 m Entfernung, u.a.). Daher ist eine Abschätzung möglicher Risiken von großer Bedeutung. Die möglichen Folgen der Auswirkungen eines unsachgemäßen Umgangs oder von Unfällen mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern werden maßgeblich vom Abstand der betroffenen Personen und der Umwelt zur Unfallstelle bestimmt. Eine genauere Betrachtung in Abhängigkeit der jeweiligen Transportvariante zur Beurteilung ihrer jeweiligen Risiken ist daher notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es erklärtes politisches Ziel ist, generell Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern und daher in der Zukunft von einem erhöhten Aufkommen an Gefahrguttransporten auszugehen ist. „Der Transport gefährlicher Güter ist in einer industrialisierten und arbeitsteilig organisierten Wirtschaft unvermeidlich. Die Verkehrspolitik hat

⁸ <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/17981/>

die Aufgabe, die Gefahren solcher Transporte durch geeignete Rahmenbedingungen zu minimieren“⁹.

2010 wurden insgesamt 307 Millionen Tonnen Gefahrgüter transportiert (Straße, Schiene und Wasser), womit ca. 8% aller transportierten Güter Gefahrgüter waren. Zwar sank die transportierte Gefahrgutmenge insgesamt im Jahr 2010 im Vergleich zu den Vorjahren (-2,9%). Dies dürfte jedoch nur vorübergehend der Fall sein, da aufgrund der europäischen Wirtschaftskrise weniger Kraftstoffe im Jahr 2010 wie auch in den vorhergehenden Jahren benötigt wurden und eine große Raffinerie in Wilhelmshaven geschlossen wurde⁹. Bei den übrigen Gefahrgütern war eine solche Abnahme nicht beobachtbar. Generell dürfte also mit einer Zunahme von Gefahrguttransporten auf der Schiene im Allgemeinen zu rechnen sein (Abbildung 3).

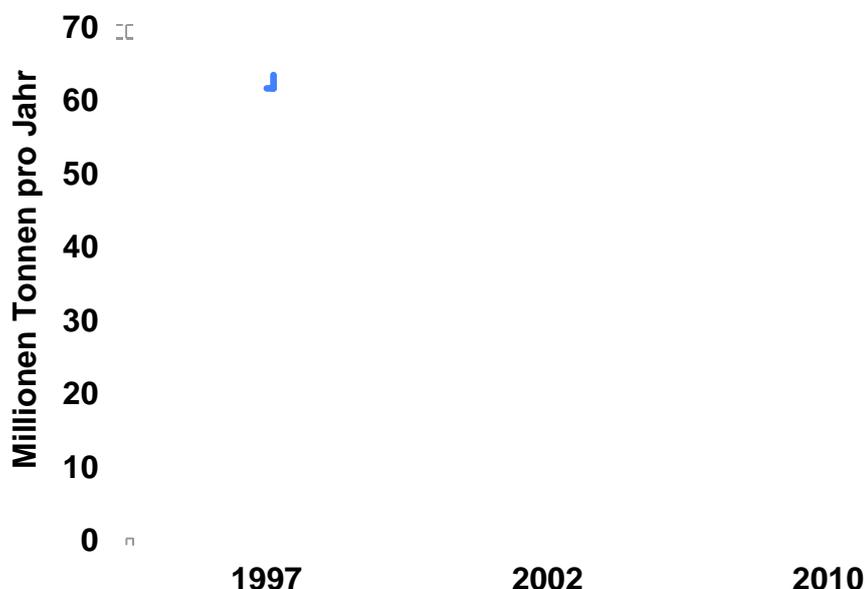


Abbildung 3: Entwicklung der auf der Schiene transportierten Gefahrstoffmengen in Deutschland^{9,10}

Jede fünfte Tonne Transportgut auf der Schiene war im Jahr 2010 Gefahrgut⁹. Im Jahr 2010 betrug die gesamte Menge von mit der Eisenbahn transportierten Gefahrstoffen 63,156 Mill. Tonnen. Dies spiegelt sich auch in den Zahlen des Statistischen Bundesamtes wider¹¹: Gestiegen sind 2008 im Vergleich zu 2007 die Gefahrguttransporte mit der Eisenbahn (+ 2,7 %) und auf der Straße (+ 1,4 %), der Transport auf dem Wasser (Binnenschiff-

⁹ Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 1.4, Verkehr, Gefahrguttransporte 2010, Wiesbaden 2012

¹⁰ <http://www.bag.bund.de/cae/servlet/contentblob/11860/publicationFile/765/LagebildGefahrgut05.pdf>

¹¹ Statistisches Bundesamt: Gefahrguttransporte, Fachserie 8 Reihe 1.4 – 2008, Angaben zum Gefahrguttransport nach der Beförderungsmenge und der Beförderungsleistung für die Verkehrsträger Eisenbahnverkehr, Binnenschifffahrt, Seeverkehr und Straßenverkehr. Wiesbaden 2010

fahrt) hat dagegen abgenommen (-3,5 %). Ähnliche Zahlen ergeben sich für 2010 im Vergleich zu 2009⁹: Zunahme der mit der Eisenbahn transportierten Mengen um 3,5% (Zunahme der Tonnenkilometer sogar um +16,7). Bei „Ätzenden Stoffen“ (+ 17,3 %) und „Gasen“ (+ 10,5 %) war die Zunahme der transportierten Mengen besonders deutlich, wohingegen die Zunahme bei den entzündbaren flüssigen Stoffen (z.B. Erdöl und Kraftstoffe) nur gering war.

„Im Jahr 2010 ereigneten sich im Schienengüterverkehr beim Transport gefährlicher Güter elf Unfälle, die einen schweren Sachschaden oder Personenschaden zur Folge hatten. Bei vier Unfällen kamen Personen zu Schaden, bei den restlichen blieb es bei einem Sachschaden. Bei vier der elf Unfälle trat Gefahrgut aus.“⁹ Insgesamt waren etwa 0,7 % aller Schienenverkehrsunfälle mit Personenschaden Gefahrguttransporte.⁹ Im Jahr 2011 kam es insgesamt zu 2 274 gefährlichen Ereignissen im Schienenverkehr, davon gehörten 11 zur Kategorie A („schwerer Unfall“: Ein schwerer Unfall ist eine Zugkollision oder Zugentgleisung mit mindestens einem Todesopfer oder mindestens fünf schwer Verletzten oder mit beträchtlichem Schaden für die Fahrzeuge, Infrastruktur oder Umwelt sowie sonstige vergleichbare Unfälle mit offensichtlichen Auswirkungen auf die Regelung der Eisenbahnsicherheit oder das Sicherheitsmanagement), 111 zur Kategorie B und der Rest zur Kategorie C.¹² Bei den Unfällen der Kategorie A handelte es sich in 6 Fällen um Entgleisungen, in 3 um Kollisionen, einen Fahrzeugbrand; bei denen der Kategorie B waren es u.a. 6 Fahrzeugbrände, 14 Entgleisungen und 12 Kollisionen. In Kategorie C waren 295 Kollisionen registriert, sowie 266 Entgleisungen und 57 Fahrzeugbrände. Für 2011 liegen noch nicht alle Untersuchungsberichte vor. Allerdings sind mindestens 2 größere Ereignisse mit Gefahrstoffen dokumentiert (Bleicherode Ost, Müllheim). 2006-2011 kam es im Durchschnitt mindestens einmal pro Jahr zu Gefahrgutfreisetzen¹³. Vorkommnisse in Oldenburg bzw. Norddeutschland waren u.a. ein Lokomotivbrand (bei Rastede, 28.11.2011), Entgleisung in Osterburg (20.7.2009), Entgleisung im Oldenburger Hauptbahnhof (11.11.2012), Entgleisung im Bremer Hauptbahnhof (17.2.2013, beschädigte Strommasten fielen u.a. auf die Waggonen)¹⁴.

Zu Unfällen mit Gefahrgut, das auf der Schiene transportiert wird, liegen zum Teil öffentlich zugängliche Berichte vor (Basis: Dokumentation lt. Eisenbahnuntersuchungsstelle des

¹² http://www.eisenbahnunfalluntersuchung.de/cln_030/SharedDocs/Publikationen/EUB/DE/Jahresberichte/Jahresbericht__2011,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/Jahresbericht_2011.pdf

¹³ <http://www.gefahrgut.de/gundi/recherche.de.asp>

¹⁴ Quelle: Lokale Zeitungsberichte

Bundes (EUB), Liste der Untersuchungsberichte).¹⁵ Typische Gefahrgutunfälle waren beispielsweise (in Klammern Ort und Datum des Gefahrgutunfalls):

- Benzin, 80.000 Liter ausgetreten; Dimethylformamid, 200 Liter ausgetreten (Bleicherode Ost, 21.9.2011)
- Ferrosilizium-Granulat, kann unter Wasserzutritt u.a. hochgiftiges Arsin und Phosphin entwickeln (Müllheim (Baden), 19. 5.2011)
- Aceton (Gelsenkirchen-Horst Nord, 7.4.2010)
- Methanol, Wasserstoffperoxid (Bahnhof Herlasgrün, 5.3.2010)
- Ätzender Stoff (Nürnberg-Stein, 7.8.2009)
- Chloressigsäure, > 22 000 Liter ausgetreten (Elmshorn, 23.1.2007)
- Fluorwasserstoff, Natriumhydroxid, Schwefelsäure, Propylenoxid, Natriumhydrogensulfid, brennbares Kohlenwasserstoffgas (Gremberg Köln Kalk Nord, 15.3.2006)
- Epichlorhydrin (Bad Münster, 9.9.2002)

Dementsprechend können „Risiken durch Unfälle im Bahnbetrieb mit gefährlichen Gütern ... nicht definitiv ausgeschlossen werden ...“¹⁶ Bei größeren Unfällen ist teilweise ein komplexes Unfallgeschehen möglich, das zu Verzögerungen beim Einleiten der notwendigen Maßnahmen führt, so wird vom Unglück in Müllheim berichtet: „Eine Stoffidentifikation der im Zugverband mitgeführten Ladungen einschließlich des Gefahrgutes konnte zunächst nicht vorgenommen werden, da die herum liegenden Gefahrgutcontainer von den zugehörigen Fahrgestellen abgerissen und auch die zugehörige Beschriftung sowie die Gefahrgutkennzeichnung wegen der Schräglage nicht erkennbar gewesen seien. Zum Verbleib bzw. Entnahme der Frachtpapiere vom Triebfahrzeug liegen widersprüchliche Informationen vor. Wann und durch wen die Papiere vom Triebfahrzeug in Verwahrung genommen wurden, konnte nicht abschließend geklärt werden.“¹⁷ Von der ersten Informa-

¹⁵ http://www.eisenbahnunfalluntersuchung.de/cln_032/nn_316888/EUB/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/___Function/untersuchungsberichte_tabelle.html; abgerufen am 1.6.2013, letztes dokumentiertes Ereignis: Bleicherode Ost Unfall vom 21.9.2011

¹⁶ Planfeststellungsbeschluss gemäß § 18 AEG für das Vorhaben "ABS Oldenburg- Wilhelmshaven: Ausbaustufe 111, PFA 2 Rastede-Hahn", Bahn-km 9, 722 - 21 ,236 der Strecke 1522 Oldenburg Hbf.- Wilhelmshaven Hbf, vom 2.8.2011, Kapitel B 3.2.1

¹⁷ Untersuchungsbericht Zugentgleisung, 20.05.2011, Müllheim (Baden) http://www.eisenbahnunfalluntersuchung.de/cln_032/nn_316888/SharedDocs/Publikationen/EUB/DE/Untersuchungsberichte/2011/036___Muellheim,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/036_Muellheim.pdf vom 25.2.2013, abgerufen am

tion der Feuerwehr bis zum Eintreffen des Notfallmanagers der DB vergingen 38 Minuten, bis zur Spannungsfreischaltung der Speiseleitung nochmals eine Stunde (Erdung der Oberleitung der ca. 1 Stunde nach Alarmierung der Feuerwehr).¹⁷

4. Gefahrgut

4.1. Definition und Klassifizierung

Gefahrstoffe sind Substanzen, die ein chemisches Gefährdungspotential aufweisen (Reinstoffe oder daraus hergestellte Zubereitungen (Stoffgemische)). Werden Gefahrstoffe transportiert, werden sie als Gefahrgut bezeichnet. Entsprechend dieser Bezeichnung haben Gefahrstoffe und Gefahrgüter intrinsische Eigenschaften, die bei unsachgemäßem Umgang, aber auch bei unbeabsichtigter Freisetzung z.B. infolge eines Unfalls, zu einer Gefährdung von Mensch und Umwelt, auch mit Todesfolge, führen können.

Gefahrgut sind Stoffe (einschließlich Zubereitungen, d.h. Gemische, Gemenge, Lösungen) und Gegenstände, von denen aufgrund 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.¹⁸ Sie müssen daher gemäß einschlägiger Rechtsvorschriften als gefährliche Güter eingestuft und entsprechend gekennzeichnet werden. In den Regelungen und Abkommen zum Gefahrguttransport sind Vorschriften hinsichtlich Verpackung, Ladungssicherung, Kennzeichnung und Transport festgelegt, um eine sichere Abwicklung der Gefahrguttransporte (Unfallvermeidung) sowie im Falle eines Unfalls genaue und schnelle Information, richtige Reaktion und das Ergreifen der richtigen Maßnahmen der Rettungskräfte zu ermöglichen.

Die beiden Begriffe Gefahrstoff und Gefahrgut und die entsprechenden Kennzeichnungen sind nicht identisch und nicht alle Stoffe unterliegen jeweils beiden Bestimmungen:

- Gefahrstoffkennzeichnung: Information über Gefahren beim Umgang mit den Stoffen

1.6.2013

¹⁸ Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBefG) vom 6. August 1975 in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. Juli 2009 (BGBl. I S. 1774, 3975), § 2 Absatz 1

(insbesondere bei Herstellung, Weiterverarbeitung und Verwendung)

- Gefahrgutkennzeichnung: Information über die Gefahren beim Transport (u.a. Informationen für die Feuerwehr). Im Gegensatz zu den Gefahrstoffen beinhaltet der Begriff Gefahrgut neben Substanzen auch Produkte (z.B. Munition, Geräte, Bauteile und Ähnliches).

Gefahrgüter werden in folgende Klassen eingeteilt:

Klasse 1: Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff

Klasse 2: Gasförmige Stoffe (nicht brennbar, nicht giftig, brennbar, giftig)

Klasse 3: Entzündbare flüssige Stoffe

Klasse 4

4.1: Brennbare feste Stoffe

4.2: Selbstentzündliche Stoffe

4.3: Stoffe, die bei Kontakt mit Wasser entzündbare Gase bilden

Klasse 5: Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe, einschließlich organisches Peroxid

Klasse 6: Giftige Stoffe

6.1: Giftig

6.2: Ansteckungsgefährlich

Klasse 7: Radioaktive Substanzen

Klasse 8: Ätzende Stoffe

Klasse 9: verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände, die nicht zu den Klassen 1-8 gehören

4.2. Transport von Gefahrgut auf der Schiene

Mit Gefahrguttransporten geht ein Gefährdungspotential einher. Ein solches besteht grundsätzlich immer, wenn Gefahrgüter transportiert werden. Es kann lediglich verringert, aber nie gänzlich ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für den Transport auf der Schiene. Die im Jahr 2010 in Deutschland auf der Schiene beförderten Gefahrgutmengen sind

in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Gefahrguttransporte im Jahr 2010 mit der Eisenbahn⁹

Gefahrgutklasse	Tonnen
1: Explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff	87 000
2: Gasförmige Stoffe (nicht brennbar, nicht giftig, brennbar, giftig)*	6 664 000
3: Entzündbare flüssige Stoffe ¹⁹	39 212 000
4.1 Entzündbare feste Stoffe	1 874 000
4.2 Selbstentzündliche Stoffe	1 257 000
4.3 Stoffe, die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln	304 000
5.1 Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe	800 000
5.2 Organische Peroxide	20 000
6.1 Giftige Stoffe	2 953 000
6.2 Ansteckungsgefährliche Stoffe	-
7 Radioaktive Stoffe	22 000
8 Ätzende Stoffe	5 255 000
9 Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände	4 727 000
Gesamt	63 156 000

* Gase: besonders hoher Anteil (10,8%) an den Gefahrguttransporten im Eisenbahnverkehr

Gemäß 2.2.3.1.2 ADR sind die Stoffe und Gegenstände der Klasse 3 wie folgt unterteilt:

- F Entzündbare flüssige Stoffe ohne Nebengefahr
- F1 Entzündbare flüssige Stoffe, Flammpunkt von höchstens 60°C
- F2 Entzündbare flüssige Stoffe mit einem Flammpunkt über 60 °C, die auf oder über ihren Flammpunkt erwärmt zur Beförderung aufgegeben oder befördert werden (erwärmte Stoffe)

¹⁹ Den größten Anteil in dieser Gruppe haben Kraftstoffe und Erdöl. Zu der Gefahrgutklasse 3 gehören auch desensibilisierte, explosive, flüssige Stoffe, die in Wasser oder anderen Flüssigkeiten gelöst oder suspendiert sind, um zur Unterdrückung ihrer explosiven Eigenschaften ein homogenes flüssiges Gemisch zu bilden. In Kapitel 3.2 Tabelle A ADR sind dies die Eintragungen der UN-Nummern: 1204 Nitroglycerol, Lösung in Alkohol mit höchstens 1% Nitroglycerol, 2059 Nitrocellulose, Lösung, entzündbar, mit höchstens 12,6% Stickstoff in der Trockenmasse und höchstens 55% Nitrocellulose (Dampfdruck bei 50 °C größer als 110 kPa, aber höchstens 175 kPa), 3064 Nitroglycerol, Lösung in Alkohol mit mehr als 1%, aber höchstens 5% Nitroglycerol, 3343 Nitroglycerol, Gemisch, desensibilisiert, flüssig, entzündbar, n.a.g., mit höchstens 30 Masse-% Nitroglycerol, 3357 Nitroglycerol, Gemisch, desensibilisiert, flüssig, n.a.g., mit höchstens 30 Masse-% Nitroglycerol

- FT Entzündbare flüssige Stoffe, giftig
- FT1 Entzündbare flüssige Stoffe, giftig
- FT2 Mittel zur Schädlingsbekämpfung (Pestizide)
- FC Entzündbare flüssige Stoffe, ätzend
- FTC Entzündbare flüssige Stoffe, giftig, ätzend
- D Desensibilisierte explosive flüssige Stoffe

Überwiegend handelte es sich um entzündbare, flüssige Stoffe wie Rohöl, Benzin, Dieselmotorkraftstoff und Heizöl, sowie die Gefahrklassen ätzende Stoffe (Gefahrklasse 8) und Gase (Gefahrklasse 2). An den Gefahrguttransporten hat die Eisenbahn einen Anteil von 21%, wohingegen sie am Gesamttransportaufkommen nur einen Anteil von 9% aufweist⁹. Betrachtet man den Anteil an der Gefahrklasse 3 (insbesondere Mineralöl und Mineralölerzeugnisse) insgesamt 69% an den Gefahrguttransporten, so war er mit 62% bei der Bahn am geringsten, d.h. es werden relativ mehr und gefährlichere Stoffe mit der Bahn als mit den anderen Verkehrsmitteln transportiert. Den relativ höchsten Anteil hat der Schienentransport bei Gefahrstoffen, die zur Gefahrklasse 2 (Gase) und anderer, also Stoffe der Gefahrklasse 2 und 8 gehören. Auch bei der Gefahrklasse 8 (ätzende Stoffe) hat die Bahn einen relativ hohen Anteil. Insgesamt ist seit 2010 die Eisenbahn das zweitwichtigste Transportmittel für Gefahrgüter, wobei der innerdeutsche Verkehr überwiegt, der grenzüberschreitende Empfang jedoch stark zunahm (+ 14,2%).⁹

5. Ziel und Vorgehensweise

5.1. Ziel

Im Folgenden werden die bestehende Trasse durch die Stadt Oldenburg und eine alternative Trassenführung parallel zur Autobahn A 29 („Trassenvariante“) unter Aspekten der aus der möglichen Freisetzung von Gefahrstoffen resultierenden Gefährdung der Bevölkerung orientierend untersucht und verglichen.

5.2. Vorgehensweise

Der hier vorgenommene Vergleich zwischen der zur Autobahn parallelen Trasse und der bestehenden durch die Stadt Oldenburg bezieht sich ausschließlich auf die Folgen der Freisetzung von Gefahrstoffen infolge von Gefahrgutunfällen. Die verwendeten ortsspezifischen Daten entstammen öffentlich zugänglichen Quellen und Erhebungen des Auftraggebers. Das Geschehen bei Gefahrgutunfällen kann äußerst komplex sein und kann von

den lokalen klimatischen Bedingungen und der aktuellen Wetterlage abhängen. Die Gefahrstoffe unterscheiden sich in ihren Eigenschaften zum Teil erheblich. Daher wird hier von vereinfachten Annahmen ausgegangen, die allerdings geeignet sind, die wesentlichen Unterschiede der beiden Trassenführungen hinsichtlich einer Gefährdung der Bevölkerung entlang der jeweiligen Trassen durch freigesetzte Gefahrstoffe darzulegen. Folgen von Bränden oder Explosionsfolgen aufgrund der entstehenden Druckwellen u.ä. werden nicht explizit betrachtet.

5.3. Exemplarisch betrachtete Stoffe

Konkrete Daten über den aktuellen Umschlag bzw. künftig zu erwartenden Umschlag waren nicht öffentlich zugänglich. Aus den infolge der Antragstellung seinerzeit öffentlich einsehbaren Unterlagen des Antrags auf Genehmigung eines Gefahrstofflagers im Jade-Weser-Port beim Gewerbeaufsichtsamt Oldenburg konnten neben den vorgesehenen Lagerkapazitäten insbesondere die Stoffe entnommen werden, die möglicherweise auf den betrachteten Schienenwegen transportiert werden (s. Tabelle 2)²⁰. Nachfolgend werden die relevanten Eigenschaften der oben genannten Gefahrstoffe kurz dargestellt. Chemisch eindeutig identifizierbar sind Stoffe über die CAS-Nr. (CAS-Registriernummer), die ein internationaler Bezeichnungsstandard ist. Die UN-Nummer (Stoffnummer) ist eine für alle gefährlichen Stoffe und Güter (Gefahrgut) festgelegte Nummer, die die Zusammensetzung und Art des Transportgutes beschreibt.

Die hier referierten Lagerkapazitäten lassen keine Rückschlüsse auf die Häufigkeit entsprechender Gefahrguttransporte zu, da es keine Daten gibt, die Auskunft darüber geben, welcher Anteil über die Schiene und welcher per Lkw transportiert werden wird. Auch sind keine Umschlagszahlen bzw. Lagerzeiten bekannt – es kann aber aus betriebstechnischen und ökonomischen Erwägungen heraus angenommen werden, dass ein Vielfaches der maximal lagerfähigen Mengen an- und abtransportiert werden. Weiterhin ist unklar, in welchem Umfang ein Direktumschlag, d.h. Weitertransport ohne Zwischenlagerung, stattfinden wird. Auch ganz generell ist von einer Zunahme des Anteils der mit der Bahn transportierten Gefahrstoffe auszugehen.

²⁰ „Die Firma Eurogate Container-Terminal Wilhelmshaven GmbH & Co. KG hat beim staatlichen Gewerbeaufsichtsamt Oldenburg einen Antrag auf Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz gestellt. Beabsichtigt ist die dezentrale Lagerung von Gefahrgut auf dem Gelände des Containerterminals Wilhelmshaven (Jade-Weser-Port). Die Antragsunterlagen zu dem Vorhaben sollen in der Zeit vom 4. Januar 2011 bis einschließlich 3. Februar 2011 außer bei der Genehmigungsbehörde in Oldenburg auch bei der Stadt Wilhelmshaven für die Öffentlichkeit zur Einsichtnahme ausgelegt werden. Die öffentliche Bekanntmachung erfolgte am 21. Dezember.“ http://www.wilhelmshaven.de/portal/info/Veroeffentlichung_12.11.pdf, abgerufen am 23.5.2013

Tabelle 2: Für das Gefahrstofflager im Jade-Weser-Port vorgesehene Stoffe und deren Lagerkapazität gemäß den Antragsunterlagen²⁰ (Angaben in Tonnen)

Art des Gefahrstoffs	UN-Nr. ²¹	CAS-Nr.	Gefahrstoffklasse	Beantragte Lagerkapazität in Tonnen
Acetylen (Ethin)	3374	74-86-2	2	100
Acrolein/ stabilisiert	2374/ 1092	107-02-8	3	150
Alkalichlorat (Natrium)	1495	7775-09-9	5.1	5.000
Ammoniak	1005	7664-41-7	2	19
Ammoniumnitrat	1942	6484-52-2	5.1	2.000
Brennbare Flüssigkeiten in Behältern	-	-	3	5.500
Brennbare Gase in Behältern	-	-	2	1.000
Brom	1744	7726-95-6	8	100
Brommethan	1887	74-83-9	6.1	100
Chlorwasserstoff	1879	7647-01-0	8	20
Diphenylmethandiisocyanat (MDI) technisch: Isomerengemisch aus Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat, Diphenylmethan-2,4'-diisocyanat und Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	-	26447-40-5 2536-05-2 5873-54-1 101-68-8	-	30
Ethylenoxid	1040	75-21-8	2	30
Formaldehyd/Paraformaldehyd	2273	50-00-0/ 123-63-7	3	600
Phosgen	1076	75-44-5	2	1
Propylenoxid	1260	75-56-9	3	10
Sauerstoff	1073	7782-44-7	2	200
Schwefelkohlenstoff	1131	75-15-0	3	190
Schwefeltrioxid	1829	7446-11-9	8	20
Sehr giftige Stoffe und Zubereitungen	-	-	9?	80
Sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen*	-	-	9?	12.600
Tetraethylblei/ Tetramethylblei	1649/ 3483	78-00-2/ 75-74-1	6.1	200
Toluylendiisocyanat, technisch: Isomerengemisch aus - Toluol-2,4-diisocyanat/ - Toluol-2,6-diisocyanat	2078	584-84-9 91-08-7	6.1	3.000

?: da in den Antragsunterlagen nur der Sammelbegriff genannt wird, ist keine eindeutige Zuordnung möglich

Abbildung 4 zeigt den Vergleich der Anteile der einzelnen Klassen wie sie im Jade-Weser-

²¹ Zum Teil gibt es für die Stoffe unterschiedliche UN-Nummern, je nachdem, ob sie z.B. gelöst oder lösungsmittelfrei sind oder besonders stabilisiert oder nicht. Es wurde hier die UN-Nr. und Gefahrgutklassifizierung für den reinen Stoff angegeben,

Port gelagert bzw. umgeschlagen werden können und den bundesweiten Zahlen zum Gefahrstofftransport. Es werden vor allem Stoffe der Klasse 3 (allerdings keine Mineralölzeugnisse und Erdöl) und der Klasse 5.1 gelagert bzw. umgeschlagen, d.h. ggf. auch per Bahn abtransportiert.

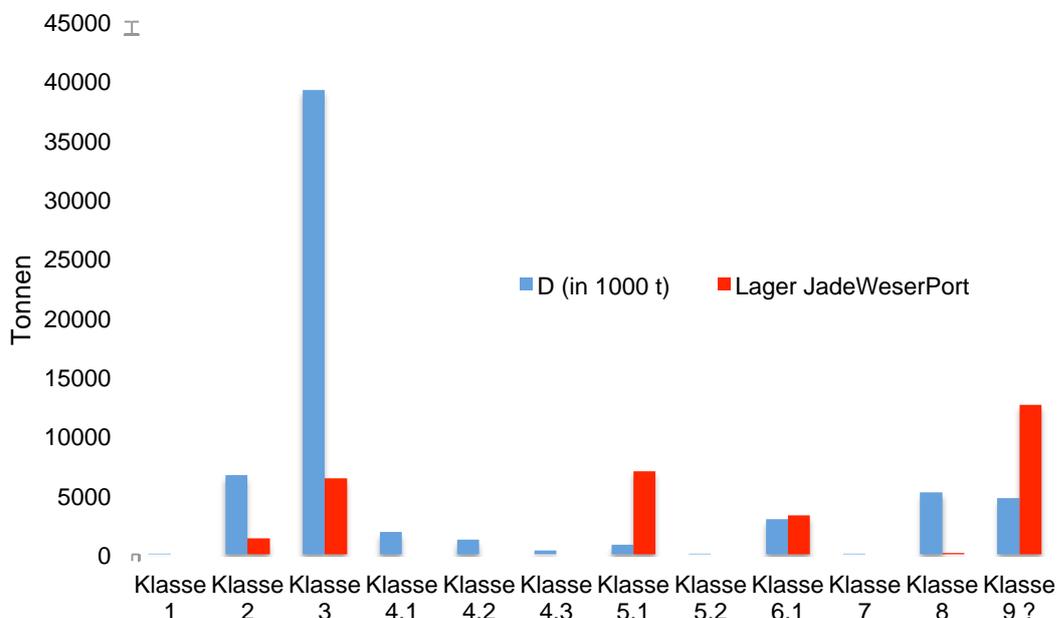


Abbildung 4: Vergleich der zu unterschiedlichen Gefahrgutklassen gehörenden Stoffe: Lagerkapazität im Jade-Weser-Port (absolut) und Transportaufkommen in Deutschland (pro Jahr)(?: Zuordnung unsicher)^{9,22}

Hinter den Bezeichnungen „Sehr giftige Stoffe und Zubereitungen“ sowie „Sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen“ können sich viele verschiedene Stoffe verbergen. Aufgrund fehlender genauerer Angaben wurden sie hier vorläufig in die Klasse 9 eingeordnet.

Zusätzlich zu den in Tabelle 2 genannten Stoffen werden auch Chlor (CAS-Nr. 7782-50-5) und Vinylchlorid (CAS-Nr. 75-01-4) betrachtet, die ebenfalls auf der Bestandsstrasse transportiert (Chlor ca. 600t/Jahr,²³ Vinylchlorid ca. 20.000 t/Jahr)²⁴. Für Chlor liegt zudem eine ausführliche Arbeit zur Freisetzung und zur Ausbreitung nach einem Gefahrgutunfall auf

²² Laut Protokoll Verkehrsausschuss der Stadt Oldenburg, Sitzung vom 16.5.2011 zu Punkt 10.5 wird ausgeführt, „dass sie (die Stadtverwaltung, Anmerkung des Verfassers) eine solche technische Ausrüstung vorhält, um einen eventuellen Schadensfall, der durch mit Mineralölprodukten gefüllten Kesselwagen verursacht wird, zu beherrschen.“ Die Datenlage insgesamt weist darauf hin, dass zu erwarten ist, dass im Gegensatz zur bisherigen Situation mit einer sehr viel größeren Vielfalt von Gefahrgütern auf den hier betrachteten Strecken zu rechnen ist. Daher wird angeregt zu prüfen, ob die vorhandene Ausrüstung der Rettungskräfte dafür ausreichend ist.

²³ Lt. Herrn Bremer, Leiter der Berufsfeuerwehr Oldenburg (Vortrag am 10.4.2013, Oldenburg, pers. Mitteilung Auftraggeber

²⁴ Antwort des Oberbürgermeisters der Stadt Oldenburg vom 4.5.2011 auf die Anfrage der Fraktion FW /BFO vom 4.4. 2011

der Schiene in einem Wohngebiet vor²⁵. Stellvertretend für Mineralölprodukte, deren Transportmenge nach Schließung der Raffinerie in Wilhelmshaven sicher zurückgegangen sein dürfte, die aber dennoch von Bedeutung sind, kann Benzin (CAS-Nr. 6290-81-5) betrachtet werden. Als typisches Kohlenwasserstoffgas kann Propan (CAS-Nr. 74-98-6, „Flüssiggas“) betrachtet werden. Phosphin (CAS-Nr. 7803-51-2) ist ein Beispiel für einen hoch toxischen Stoff, der als Begleitstoff in einem vergleichsweise wenig toxischen Produkt (Ethin) von Bedeutung ist. Als Beispiel für ein mögliches Folgeprodukt bei Kontakt eines Gefahrstoffes mit (Lösch)wasser wurde Schwefelsäure (CAS-Nr. 7664-93-9), das durch Hydrolyse von Schwefeltrioxid entsteht. Cyanwasserstoff ist ein giftiges Gas, das bei der Zersetzung von Toluol-2,4-diisocyanat und Toluol-2,6-diisocyanatals entsteht.

Unspezifische Bezeichnungen oder Stoffgemische (s. Tabelle 2) können aufgrund mangelnder Kenntnisse über die konkrete Zusammensetzung nicht betrachtet werden. Jedoch ist zu beachten, dass die größte Lagerkapazität (12 000 t) für sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen vorgehalten wird. Insofern müssen die in diesem orientierenden Vergleich durchgeführten Abschätzungen unvollständig bleiben in dem Sinne, dass nicht noch giftigere Stoffe zu betrachten sind.

5.4. Charakteristika der ausgewählten Stoffe

Im folgenden werden exemplarisch die vorstehend namentlich benannten Stoffe kurz beschrieben hinsichtlich ihrer Eigenschaften, die maßgeblich und typisch für ihre Schadwirkung sind. Es werden also vor allem die bei Normalbedingungen gasförmigen Gefahrstoffe bzw. solche einbezogen, die einen hohen Dampfdruck und eine hohe Flüchtigkeit oder Giftigkeit aufweisen.

5.4.1. Benzin

Benzin ist ein Kohlenwasserstoffgemisch mit einem Siedebereich von 25-220 C. Ähnlich wie Methanol ist es leicht brennbar. Es ist vergleichsweise wenig akut toxisch (LD₅₀ oral Ratte: 92 000 mg/kg), weshalb es nicht weiter betrachtet wird.

5.4.2. Acetylen (Ethin)

Ethin ist bei 20°C gasförmig. Es hat eine geringere Dichte als Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 0,9066), seine Dichte beträgt un-

²⁵ Pöttsch, M. (2004): Risikobewertung des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein unter besonderer Beachtung des Gefahrgutrechts. Dissertation im Fachbereich Sicherheitstechnik Bergische Universität Wuppertal

ter Normalbedingungen (15 °C, 1013 mbar²⁶) 1,0996 kg/m³. Technisches Ethin weist einen knoblauchartigen, in reiner Form schwach etherischen Geruch auf, der bei geringen Konzentrationen jedoch nur eine geringe Warnwirkung hat und von enthaltenen Verunreinigungen (u.a. Phosphorwasserstoff und Arsenwasserstoff sowie Schwefelwasserstoff, Selenwasserstoff, Ammoniak, u.a.) herrührt. In Wasser ist es nur mäßig löslich (bei 25 °C 1,2 g Ethin/l). Ethin ist extrem leicht entzündbar und bildet mit Luft explosive Gemische. Bei Erhitzung (unter Normaldruck ab 160 Grad C), durch UV-Strahlung und Druckstöße kann explosiver Zerfall in die Elemente. Explosionsgefahr besteht auch bei Kontakt mit Oxidationsmitteln wie z.B. Sauerstoff oder Salpetersäure, Halogenen wie Brom) und Metallen.

Der Hauptaufnahmeweg in den menschlichen Organismus ist der Atemtrakt. Die Aufnahme erfolgt rein physikalisch (gemäß dem. Henryschen Gesetz) in das Blut, ist also ein rein physikalischer Vorgang. Die Löslichkeit von Ethin im Blut entspricht etwa seiner Löslichkeit in Wasser. Akut ist Ethin in Konzentrationen bis 2,5 Vol.-% (gleichzeitig untere Explosionsgrenze mit Luft) ungiftig, in höheren Konzentrationen sind Wirkungen auf das Zentralnervensystems (ab 20 Vol.-%) sowie erstickende Wirkung (ab 35 Vol.-%) durch Sauerstoffmangel bei extrem hohen Konzentrationen bekannt. Auch noch höhere Konzentrationen dürften keine permanente Gesundheitsschädigung zur Folge haben, da für Narkosezwecke ein Gasgemisch aus 60 Vol.-% A. und 40 Vol.-% Sauerstoff zu Beginn des 20. Jahrhunderts benutzt wurde. Aufgrund der enthaltenen Verunreinigungen technischen Ethins wurde vorgeschlagen, den Arbeitsplatzgrenzwert für Ethin für Arbeitsbereiche auf seinen üblichen Phosphingehalt (ca.95 ppm) zu beziehen. Dies entspricht einem Anteil von ca. 74 kg in einem Kesselwagen. Da Phosphin ein hoch toxischer Stoff ist, wird er in die Betrachtungen mit einbezogen (s.u.).

5.4.3. Acrolein (*Propenal, Acrylaldehyd*)

Acrolein ist eine leicht entzündbare Flüssigkeit (Siedepunkt 52°C bei Normalbedingungen, Dichte 0,84 g/cm³ bei Raumtemperatur) mit hoher Flüchtigkeit (Dampfdruck 295 mbar bei 20 °C, 927 mbar bei 50 °C). Die Dämpfe haben eine höhere Dichte als Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck (1,94), auch das Dampf-Luft-Gemisch hat eine höhere Dichte als Luft (Dichtverhältnis 1,27 bei 20 °C und Normaldruck). Seine Dämpfe bilden mit Luft explosive Gemische (untere Explosionsgrenze

²⁶ 1.013,25 hPa_{normal} (Hektopascal, gesetzliche SI-Einheit) = 1.013,25 mbar (Millibar) = 760 Torr (Millimeter Quecksilbersäule) = 1 atm (Physikalische Atmosphäre).

ze:2,8 Vol.-%). Acrolein ist gut in Wasser löslich (270 g/l bei 20 °C). Acrolein ist instabil und neigt zur Selbstpolymerisation (auslösbar u.a. durch Wärme, Licht, Kohlendioxid), die zu Explosionen führen kann. Explosionsgefahr besteht auch im Kontakt mit Ammoniak und anderen Basen sowie Säuren und Oxidationsmitteln. Acrolein ist ein starker Wasser- und Meeresschadstoff (s. z.B. LC₅₀ Fische: 0,045 mg/l).

Hauptaufnahmewege sind die Atemwege und die Haut. Ab 0,07 wird der Geruch von Acrolein wahrgenommen. Akut führen Dämpfe von Acrolein zu starken Reizungen (ab 0,35 mg/m³ über 5 – 10 Minuten augen- und nasenreizend; ab ca. 2,5 mg/m³ stark tränenreizend, Sehnervenstörungen, nach 4 - 5 Minuten Exposition nicht mehr erträglich) und ggf. Verätzungen von Haut und Schleimhäuten. Eine Schädigung der Lungen durch Dämpfe ist möglich. Acrolein gilt als krebserzeugend (Kategorie 3B: Stoffe mit erwiesener/möglicher krebserzeugender Wirkung).

5.4.4. Alkalichlorat²⁷:

Natriumchlorat (NaClO₃) und Kaliumchlorat (KClO₃) bilden farblose, wasserlösliche, kubische Kristalle. Natriumchlorat wird hauptsächlich als Bleichmittel in der Papierindustrie verwendet (Elementarchlor freie Bleiche). Zurzeit werden etwa 90 % der Weltproduktion zu Chlordioxid weiterverarbeitet. Natriumchlorat ist in chemischen Sauerstoffgeneratoren enthalten, wie sie sich in Passagierflugzeugen befinden²⁸. Es disproportioniert bei erhöhter Temperatur (> 300 °C) zunächst in Natriumperchlorat und Natriumchlorid, wobei Natriumperchlorat bei stärkerem Erhitzen weiter in Natriumchlorid und Sauerstoff zerfällt. Daher ist Natriumchlorat für toxikologische Betrachtungen hier nicht von Interesse. Gleichwohl dürfen seine Brand fördernden Eigenschaften durch die Freisetzung von Sauerstoff nicht übersehen werden. Beide Stoffe brennen selbst nicht, reagieren aber sehr heftig mit brennbaren Stoffen, z.T. sogar ohne extra Zündquelle. Sehr brisant sind Mischungen z.B. von Kaliumchlorat mit oxidierbaren Stoffen wie beispielsweise Schwefel, Phosphor, Iod und Kohlenstoff, die schon durch Reibung, Stoß oder Schlag explodieren können. Die brisantesten Mischungen sind mit rotem Phosphor und gelten bei feinsten Vermischungen als dynamitähnlich (Armstrongsche Mischung). Beide Stoffe sind als gewässergefährdend eingestuft.

²⁷ Bei Alkalichloraten ist das Anion jeweils Chlorat. Die unterschiedlichen Kationen der Alkalimetalle spielen für die hier anzustellenden Betrachtungen keine entscheidende Rolle. Es wird daher hier exemplarisch Kaliumchlorat betrachtet.

²⁸ <http://www.mp.haw-hamburg.de/pers/Scholz/arbeiten/TextKoehler.pdf>, <http://www.mp.haw-hamburg.de/pers/Scholz/arbeiten/TextMahnken.pdf>

5.4.5. Ammoniak

Ammoniak ist unter Normalbedingungen ein farbloses, schwer brennbares Gas (Siedepunkt: -33,4 °C, Dampfdruck 8,5737 bar bei 20 °C) von stechendem Geruch. Seine Dichte ist geringer als die von Luft (0,7198 kg/m³ bei 15 °C und 1013 mbar). Oft liegt es verflüssigt vor. Dann bilden sich beim Ausströmen der Flüssigkeit oder beim Entweichen großer Gasmengen kalte Nebel, die sich am Boden ausbreiten. Die untere Explosionsgrenze in Luft liegt bei 15,4 Vol.-%. Gefährliche chemische Reaktionen, z.T. mit Explosionsgefahr sind möglich mit starken Oxidationsmitteln, organischen Lösungsmitteln und Kohlenwasserstoffen, Halogenen (u.a. Brom). Ammoniak ist gewässergefährdend (Wässergefährdungsklasse 2).

Der Hauptaufnahmeweg in den menschlichen Organismus ist der Atemtrakt. Ammoniak wird aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit bevorzugt im oberen Atemtrakt resorbiert. In den ersten Minuten wird nahezu die gesamte inhalede Dosis in den Schleimhäuten (hauptsächlich an den Nasenschleimhäuten) zurückgehalten. Danach sinkt dieser Anteil schnell so dass je nur ein geringerer Anteil (20-30%) zurückgehalten wird. Eine Resorption über die Haut wird angenommen, scheint aber toxikologisch nur von geringer Bedeutung zu sein.

Akut wirkt Ammoniak stark reizend auf die Schleimhäute der Augen und (obere) Atemwege (Tränenreiz, Brennen/ stechender Schmerz, Konjunktivitis schon bei geringen Konzentrationen) mit der Gefahr schwerer z.T. bleibender Gewebsschädigungen bei höheren Konzentrationen. Bei erstmaliger Exposition können bereits 20 - 30 ppm Ammoniak zu leichten Reizungen führen. In seltenen Fällen wurden verzögert Asthma ähnliche Symptome mit anhaltender bronchialer Hyperreaktivität beobachtet. Bei Inhalation von Konzentrationen ab 1700 ppm besteht akute Lebensgefahr durch Schäden im Atemtrakt.

5.4.6. Ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat wird vor allem als mineralisches Düngemittel eingesetzt. Es kann daraus unter basischen Bedingungen Ammoniak freigesetzt werden. Ammoniumnitrat ist ein anorganisches Salz und liegt demnach als Feststoff vor und ist von geringer Flüchtigkeit sowie guter Wasserlöslichkeit (1877 g/l bei 20°C). Aufgrund der geringen Flüchtigkeit wird es hier nicht weiter betrachtet. Es hat eine hohe Oxidationskraft. Es brennt selbst nicht, erhöht jedoch die Feuergefahr bei Kontakt mit brennbaren Stoffen. Es ist stark brandfördernd. Explosionsgefahr besteht im Kontakt mit einer Vielzahl von organischen und anor-

ganischen Stoffen. Es zersetzt sich oberhalb 170 °C u.a. zu Stickoxiden²⁹.

5.4.7. Brom

Brom ist eine nicht brennbare, leicht flüchtige (Dampfdruck: 220 mbar bei 20 °C), rotbraune Flüssigkeit (Siedepunkt: 59,47 °C bei Normalbedingungen) von stechendem Geruch (Geruchsschwellenwert < 0,01 ppm). Seine Dichte (3,1023 kg/m³ bei 25 °C) ist größer als die von Wasser. Die Dichte der Dämpfe ist sehr viel höher als die von Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 5,52). Gefährliche chemische Reaktionen und z.T. Explosionsgefahr treten auf bei Kontakt mit oxidierbaren organischen Stoffen (z.B. Kohlenwasserstoffe, Acrylnitril, Acetylen), aber auch Ammoniak. Brom ist in Wasser gut löslich (42 g/l bei 20 °C). Es ist gewässergefährdend (Wassergefährdungsklasse 2).

Brom wird hauptsächlich über den Atemtrakt aufgenommen. Es wird eine hohe Aufnahme rate vermutet. Bei direktem Flüssigkeitskontakt kann auch eine Aufnahme über die Haut erfolgen. Brom übt eine starke Reiz- und Ätzwirkung auf Schleimhäute (Augen, Atemwege) und Haut aus, wodurch es zu Schäden am Atemtrakt kommt. Bereits ab 0,006 ppm wurden Reizungen empfunden, ab 0,2 ppm deutliche Reizung der Atemwege, ab 0,1 ppm systemische Wirkungen (Kopfschmerz). Für unterschiedlich schwere inhalative Vergiftungen wurden folgende Symptomenkomplexe beschrieben³⁰: „... bei geringen Bromdampfkonzentrationen: Husten, starke Schleimhautsekretion, Nasenbluten, ZNS-Störungen; später Magen-Darm-Beschwerden und (schnell reversibler) Hautausschlag bei höheren Konzentrationen: Braunfärbung und starke Sekretion der Schleimhäute, charakteristischer Geruch der Exhalationsluft, Husten, Erstickungsgefühl, Heiserkeit, Bronchitis, "Bronchialasthma"; später evtl. "schwerere Symptome". Sofort bzw. innerhalb 30 - 60 min sollen 550 bzw. 35 ppm tödlich wirken, 6 - 9 ppm über 30 - 60 min sind lebensgefährlich.

5.4.8. Brommethan

Brommethan ist ein farbloses und geruchloses Gas (Siedepunkt: 4°C bei Normalbedingungen), das in hohen Konzentrationen süßlich riecht. Es wird u.a. hauptsächlich zur Schädlingsbekämpfung, besonders zur Begasung von Containern (z.B. aus dem Übersee-transport), zur Bekämpfung tierischer Holzschädlinge z. B. im Bauwesen, sowie zur Entwesung von Boden eingesetzt. Vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittel-

²⁹ s. z.B. Explosion in der Düngemittelfabrik in West (US-Bundesstaat Texas) am 8.04.2013 mit Toten

³⁰ <http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu>; Brom, abgerufen am 1.6.2013

sicherheit (BVL) wurde Verwendung von Brommethan als Begasungsmittel in Deutschland mit Wirkung ab 1. September 2006 verboten und ist demgemäß nicht mehr im amtlichen Verzeichnis der zugelassenen Wirkstoffe enthalten³¹ wie es auch zur Begasung von Paletten in vielen Ländern schon seit längerem verboten ist.³² Zur Bekämpfung von Schädlingen in Reis wird Brommethan in den Reis-produzierenden Ländern weiterhin eingesetzt, vor allem zum Transport- und Vorratsschutz.³³ Es ist schwerer als Luft ($3,9739 \text{ kg/m}^3$ bei $0 \text{ }^\circ\text{C}$, 1013 mbar , Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck $3,36$) und brennt nur schwer. Es bildet zwar mit Luft explosionsfähiges Gemisch kann aber nur durch Zündquellen sehr hoher Energie entzündet werden. Es ist mäßig gut löslich in Wasser ($17,5 \text{ g/l}$). Brommethan ist gewässergefährdend und hoch giftig gegenüber Fischen (LC_{50} : $0,008 \text{ mg/L}$).

Brommethan wird hauptsächlich über die Atemwege und die Haut aufgenommen. In hohen Konzentrationen wirkt es reizend und ruft lokale und systemische Effekte meist erst nach Stunden hervor. Eine Warnwirkung auch bei hohen Konzentrationen ist daher nicht vorhanden. Frühe Symptome bei letalen Vergiftungen sind typischerweise u.a. Kopfschmerzen, Sehstörungen, Übelkeit, Erbrechen, Augenbrennen, Hautjucken, Schwindelgefühl, Krämpfe und Fieber. Der Tod kann durch ein Hirnödem (Atemlähmung) oder ein Lungenödem eintreten. An Ratten wurde ein 8 h LC_{50} -Wert von 302 ppm (1193 mg/m^3) bestimmt. Bei nicht tödlichen Vergiftungen treten Funktionsstörungen des Nervensystems und im geringeren Umfang der Atemfunktionen sowie evtl. Nierenschäden auf. Brommethan gilt als gentoxisch und steht im begründeten Verdacht kanzerogen zu sein (krebserzeugend: Kategorie 3B, Stoffe mit erwiesener/möglicher krebserzeugender Wirkung).

5.4.9. Chlor

Chlor ist ein nicht brennbares Gas (Siedepunkt: $-34,0 \text{ }^\circ\text{C}$ bei Normalbedingungen), das in Wasser kaum löslich ist. Der Dampfdruck beträgt $0,48 \text{ mbar}$ bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 1013 mbar . Sein Siedepunkt beträgt $-34,04 \text{ }^\circ\text{C}$. Chlor ist sehr viel schwerer als Luft (Dichte $3,00 \text{ kg/m}^3$ bei 15°C) und wird sich daher nicht in die höheren Luftschichten verflüchtigen und sich statt dessen am Boden sammeln. Chlor ist ein sehr reaktionsfähiges chemisches Element, das mit sehr vielen Stoffen heftig und unter starker Wärmeentwicklung reagiert. Explosionsgefahr besteht bei Kontakt von Chlor mit Benzin und anderen organischen Stoffen

³¹ http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_verz_5.pdf?__blob=p ubli-
cation File&v=6

³² <http://www.holzpackmittel.de/vorschriften.html>

³³ Zeitschrift Test der Stiftung Warentest 8/2010, S. 20–27

(z.B. Alkohole wie Methanol) aber auch mit Ammoniak und anderen Stoffen. Chlor ist in Wasser löslich (7,3 g/l bei 20 °C) Chlor ist Wasser gefährdend (LC₅₀ Fisch: 0,16 mg/l).

Chlor wird, da es bei Normalbedingungen gasförmig ist, vor allem über die Atemwege aufgenommen. Bei direktem Hautkontakt erfolgt auch eine Aufnahme über die Haut. 1,5 mg/m³ wird als NOAEL (no adverse effect level) für Reizwirkungen im Atemtrakt angegeben. Die Geruchsschwelle von Chlor liegt bei 0,18 - 0,6 mg/m³, ab etwa 3 mg/m³ kommt es zur Beeinflussung der Lungenfunktion und zur Reizung von Augen und Atemwegen. Luft mit einem Chlorgehalt von 0,5-1% ist akut toxisch, bei längerem Einatmen wirken auch 0,01% (= 300 mg/m³) tödlich. Personen mit Disposition (z.B. Asthmatiker) zeigen eine Hyperreaktivität gegenüber Chlor.

5.4.10. Chlorwasserstoff

Chlorwasserstoff ist ein farbloses, nicht brennbares Gas (Siedepunkt: -85,1 °C) von stechendem Geruch. Seine Dichte ist höher als die von Luft (1,534 kg/m³ bei 15 °C, 1013 mbar, Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 1,27). Chlorwasserstoff ist leicht löslich in Wasser, seine wässrige Lösung ist als Salzsäure bekannt. Er kann in gefährlicher Weise u.a. mit Ammoniak reagieren, aber auch mit Ethylenoxid u.a. Stoffen.

Der Hauptaufnahmeweg für Chlorwasserstoff ist der Atemtrakt über den Atemtrakt. Chlorwasserstoffgas bildet bereits an feuchter Luft innerhalb von Sekunden mit Wasserdampf Salzsäure, die als feines Aerosol (Nebel aus Salzsäuretröpfchen) inhaliert wird. Es wird hauptsächlich an den Schleimhäuten der oberen Atemwege abgefangen und dort partiell neutralisiert. Dennoch erreicht ein Teil, insbesondere bei höherer Atemfrequenz, auch den tieferen Atemtrakt. Die akuten Hauptwirkungen sind demnach Reizungen und Ätzungen der Atemwege und der Augen. „Es besteht die Gefahr schwerer Lungenschäden. Schwere Schädigungen der Augen und der Haut sind hauptsächlich zu befürchten, wenn Chlorwasserstoff (der in Druckgefäßen transportiert wird) als tiefkaltes verflüssigtes oder sich entspannendes Gas einwirkt. In diesen Fällen sind an den Kontaktstellen Erfrierungen und Verätzungen zu erwarten; bei Augenkontakt besteht die Gefahr irreversibler Schädigungen (Erblindungsgefahr). Unter den üblichen beruflichen Bedingungen reizt Chlorwasserstoff als Gas bzw. wässriges Aerosol so stark die oberen Atemwege, dass der Aufenthalt in einer Atmosphäre, die Augenschäden verursachen könnte, durch Fluchreflexe vermieden

wird.³⁴ Die Reizwirkung im Atemtrakt setzt schon bei sehr geringen Konzentrationen ein. Unter experimentellen Bedingungen waren an Testpersonen (darunter Asthmatiker) bei 0,8 und 1,8 ppm noch keine Reizeffekte oder Affektion der Lungen nachweisbar. Ab 50 ppm ist mit akuten Schädigungen im Atemtrakt zu rechnen. Durch hohe Konzentrationen können Nasenschleimhäute, Nebenhöhlen, Bronchien, Bronchiolen und Alveolen stark geschädigt werden. Es besteht die Gefahr lebensbedrohlicher Reizreaktionen oder schwerer Lungenschäden. Tödliche Konzentrationen (LC₅₀-Werte) ergaben sich in Tierversuchen zu ca. 80- 240 g/m³ innerhalb von 5 Minuten, und 16-28 g/m³ über 30 Minuten mit Ratten und Mäusen als Versuchstiere. Beim Menschen soll die kurzfristige Einatmung von 2 g/m³ - 8 g/m³ Atem- und Herzstillstand auslösen können.

5.4.11. Cyanwasserstoff

Bei der Zersetzung von TDI (s.u.) wird u.a. Cyanwasserstoff freigesetzt. Für Cyanwasserstoff ist eine Flüssigkeit (Siedepunkt 26 °C bei Normalbedingungen) von enormer Flüchtigkeit (Dampfdruck 817 mbar bei 20 °C), die nach Bittermandel riecht. Entsprechend ist der Hauptaufnahmeweg der Atemtrakt. Je nach Bedingungen ist aber auch eine Aufnahme über die Haut möglich. Eine einprozentige Cyanwasserstoffbelastung löste bei (mit Atemschutz gesicherten Probanden schon nach kurzer Zeit (Minuten) Symptome einer Hauttoxizität aus (Hitzegefühl am ganzen Körper, Herzklopfen, beschleunigter Puls u.a.). Als tödliche Konzentrationen gelten: sofort: ca. 300 mg/m³; ca. 200 mg/m³ nach 10 Minuten; 150 nach ca. 30 Minuten. 1 mg/m³. Nach schweren Vergiftungen bleiben oft schwere neurologische Schäden zurück.

Der MAK-Wert ist 2,1 mg/m³ bei 1013 mbar und 20 °C. Der Spitzenwert bei 4,2 mg/m³. Die LC₅₀-Werte für den Menschen (Inhalation) betragen ca. 1500 mg/m³ nach 10 min und ca. 980 mg/m³ nach 30 min. Eine besondere Gefahr ist dadurch gegeben, dass viele Menschen auch hohe Cyanwasserstoffkonzentrationen nicht riechen können.

5.4.12. Diphenylmethandiisocyanat

Die Bezeichnung „nicht Isomeren spezifisches Diphenylmethandiisocyanat bzw. Methylendiphenyldiisocyanat“ (MDI), wird i.a. für technische Gemische gebraucht, die drei Isomere 4,4'-MDI, 2,4'-MDI und 2,2'-MDI in Abhängigkeit von den Herstellungsbedingungen in sehr unterschiedlichen Anteilen enthalten können. Meist hat 4,4'-MDI den überwiegenden

³⁴ <http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu>, Chlorwasserstoff, abgerufen am 1.6.2013

Anteil. Als reines Isomer ist vor allem 4,4'-MDI von Bedeutung. Es handelt sich um einen brennbaren Feststoff mit stechendem Geruch, der sich in Wasser zersetzt (eine teilweise Umsetzung zu komplexen Polyharnstoffgemischen). Bei Normaltemperatur ist der Dampfdruck niedrig, mit steigender Konzentration werden Aerosole gebildet (typische Partikeldurchmesser MDI-Aerosole 0,5 - 1,5 µm). MDI wird hier aufgrund der äußerst niedrigen sicherheitsrelevanten Werte (s. Tabelle 4) betrachtet.

Von 4,4' liegen die meisten toxikologischen Daten vor. Bei Kontakt mit MDI erfolgt eine Reizwirkung der Augen (schwach) und der Haut (stark) und es kann zu einer Sensibilisierung der Haut kommen. Die hauptsächliche Aufnahme erfolgt über den Atemtrakt. Aufgrund der hohen Reaktivität erfolgt bereits im Atemtrakt eine Umsetzung mit z.B. mit Glutathion zu Konjugaten. Die Konjugate werden in den menschlichen Organismus aufgenommen. Der polymerisierte Anteil gelangt direkt in den Verdauungstrakt und wird ausgeschieden. In Tierversuchen wurde festgestellt, dass MDI, das oligomere Anteile enthielt, in Konzentrationen ab 0,7 mg/m³ bei Nagern erste akute reversible Atemwegsreizungen auslösen kann. Beim können Überempfindlichkeitsreaktionen der Atemwege (Asthma) allerdings schon durch sehr geringe Expositionen ausgelöst werden. Spezifische Überempfindlichkeit kann ab 0,2 mg/m³ und/oder intensivem Hautkontakt auftreten. Bei bereits vorhandener Sensibilisierung lösen geringere Konzentrationen die allergischen Reaktionen aus („Isocyanat-Asthma“ z.B. bei 0,05 mg/m³ über 4 Minuten). Einzelne Studien fanden für Ratten, dass bei 9 mg 4,4'-MDI/m³ leichte embryotoxische Effekte bei gleichzeitiger Toxizität gegenüber den Muttertieren auftreten können. Es besteht der begründete Verdacht auf ein kanzerogenes Potential (Kategorie 3, Stoffe mit möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen).

5.4.13. Ethylenoxid

Ethylenoxid ist ein farbloses, extrem entzündliches Gas (Siedepunkt: 10,5 °C, Dampfdruck: 1,442 bar bei 20 °C), das eine deutlich höhere Dichte hat als Luft (1,925 kg/m³ bei 15 °C, 1013 mbar, Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 1,56). Es hat einen süßlichen Geruch und bildet mit Luft (untere Explosionsgrenze: 2,6 Vol.-%) wie auch anderen Gasen explosive Gemische. Ist es unter Druck verflüssigt, kühlt es sich beim Verdampfen sehr stark ab und die gebildeten kalten Nebel breiten sich am Boden aus. Ethylenoxid neigt u.a. zur spontanen Polymerisation, die infolge der frei werdenden Wärme zur Explosion führen kann. Viele Stoffe reagieren unter starke Wärmefreisetzung mit Ethylenoxid, neben Wasser u.a. Oxidationsmittel, Ammoniak, Säure-

ren, Basen und Sauerstoff. Es ist in Wasser leicht löslich.

Hauptsächlich erfolgt die Aufnahme in den menschlichen Körper über den Atemtrakt und die Haut. Ethylenoxid übt akut eine Reizwirkung auf Haut und Schleimhäute aus und kann zu Funktionsstörungen des zentralen Nervensystems führen (Hauptsymptome: Kopfschmerzen, Schwindel, anhaltendes periodisches Erbrechen, starke Erregung und Bewusstlosigkeit, dazu auch Atembeschwerden Herzrhythmusstörungen. Bei Einwirkung auf die Haut wurden nach einer Latenzzeit von einigen Stunden Rötung und Blasenbildung beobachtet. Eine erhöhte Rate an Spontanaborten sowie eine erhöhte Häufigkeit von Komplikationen während der Schwangerschaft wurden an exponierten Frauen beobachtet. Es kann angenommen werden, dass die Exposition eines Menschen gegenüber Ethylenoxid zu vererbaren Schäden führen kann. Eine gentoxische Wirkung wurde bei Personen gefunden, die im Rahmen ihrer Arbeitstätigkeit Ethylenoxid eingeatmet haben (unterschiedliche Effekte ab etwa 1 mg/m^3). Ethylenoxid wird daher als kanzerogen für den Menschen angesehen (Krebserzeugend: Kategorie 2, Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen anzusehen sind und Ergebnisse aus Tierversuchen darauf hinweisen, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko darstellen

5.4.14. *Formaldehyd/Paraformaldehyd*

Paraformaldehyd ist ein Polymeres (und damit ein Feststoff) der Formaldehyds, aus dem unter geeigneten Bedingungen (Säure, Raumtemperatur) Formaldehyd freigesetzt werden kann. Im Folgenden wird daher nur Formaldehyd behandelt. Formaldehyd ist ein farbloses Gas (Siedepunkt: -19 °C) mit stechendem Geruch (Geruchschwelle unter $0,1 \text{ mg/m}^3$) und hoher Flüchtigkeit. Seine Dichte ist ähnlich der von Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck: 1,037). Es ist sehr leicht entzündbar und bildet mit Luft explosive Gemische. Handelsüblich ist eine wässrige Lösung („Formalin“), die bei Raumtemperatur einen merklichen Formaldehyd-Dampfdruck hat, was leicht am Geruch erkennbar ist. Formaldehyd ist in die Wassergefährdungsklasse 2 eingestuft.

Der Hauptaufnahmeweg für Formaldehyd ist der Atemtrakt, wo der größte Anteil im oberen Teil (Nase, Mund) zurückgehalten, aber auch vom menschlichen Körper aufgenommen wird. und resorbiert, beim Menschen wahrscheinlich primär an der Nasen- und der Mundschleimhaut, zu gewissen Anteilen aber auch in der Luftröhre und den Bronchien. Akut führt Formaldehyd je zu Reizungen (Haut, Augen und Atemwege, Schwellenkonzentration bei ca. $1,25 \text{ mg/m}^3$, ab 5 mg/m^3 Tränenreiz. Es hat eine sensibilisierende Wirkung.

Bei bereits gegenüber Formaldehyd sensibilisierten Personen sind bei Konzentrationen ab 0,5% allergische Reaktionen auslösbar (Haut), wohingegen akute allergische Reaktionen vor allem über den Luftweg induziert werden, eine Expositionen gegenüber 60 - 125 mg/m³ über 5 - 10 min kann die Lunge schädigen. In direkt exponierten Geweben wurden für Formaldehyd genotoxische Effekte festgestellt der bei niedrigen Expositionen schwach ausgeprägt ist. Es besteht der begründete Verdacht auf kanzerogenes Potential (Kategorie 4, Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, genotoxische Effekte spielen keine oder nur eine untergeordnete Rolle). Expertengremien einigten sich auf 0,125 mg/m³ als "safe level" für die Allgemeinbevölkerung und für die berufliche Expositionen auf etwa 3 mg/m³. Ein Momentanwert von 1,25 mg/m³) sollte nicht überschritten werden.

5.4.15. Phosgen

Phosgen hat einen Siedepunkt von 7,4 °C, sein Dampfdruck beträgt 1,6 bar bei 20 °C und 1013 mbar und seine Dichte als Gas 4,5 kg/m³ (bei 0 °C). Damit ist das Gas spezifisch mehr als 3,5-mal schwerer als trockene Luft unter gleichen Bedingungen. Es ist nicht brennbar. Tritt es in größeren Mengen aus Behältnissen aus, in denen es unter Druck verflüssigt vorliegt, breitet es sich als kalter Nebel am Boden aus. Kommt es zur Zersetzung (Wärme, UV-Strahlung, Stoß), wird u.a. Chlor freigesetzt. Es reagiert in gefährlicher Weise u.a. mit Wasser, Ammoniak und Sauerstoff. Phosgen wurde wie Chlor wegen seiner hohen Giftigkeit als chemischer Kampfstoffeingesetzt.

Hauptaufnahmeweg sind die Atemwege. Wegen seiner hohen Giftigkeit werden leicht toxische Mengen inhaliert. Wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit gelangen Phosgendämpfe trotz ihrer Hydrolyseempfindlichkeit in die Alveolen. Ab 1,6 mg/m³ ist gasförmiges Phosgen riechbar und ab 6 mg/m³ wird es als nach frisch gemähtem Gras riechend wahrgenommen. Die Geruchswahrnehmung wird aber aufgrund schneller Gewöhnung schnell wieder verloren, worin ein zusätzliches Gefahrenmoment steckt. Phosgen wurde wie Chlor im ersten Weltkrieg als chemischer Kampfstoff eingesetzt. Phosgen reizt als Gas die Atemwege ab 3-4 ppm, es können aber Lungenschäden schon bei wesentlich geringeren Konzentrationen auftreten, worin erneut ein weiteres Gefahrenmoment steckt. Im Konzentrationsbereich zwischen etwa 8 und 8000 mg/m³ ist vor allem die Dosis (mg/m³*Minute) für die toxischen Wirkungen wichtig. Gewebsschädigungen an den Atemwegen bzw. an den Bronchiolen/ Alveolen sind ab 120 mg/m³*min (Konzentration ab 0,6 mg/m³) möglich. Lungenödeme sind ab 600 mg/m³*Minute möglich.

5.4.16. *Phosphin (Phosphan, Phosphorwasserstoff)*

Phosphin hat einen Siedepunkt von $-87,7\text{ °C}$, sein Dampfdruck beträgt $34,88\text{ bar}$. bei 20 °C und 1013 mbar beträgt seine Dichte $1,43\text{ kg/m}^3$. Damit ist das Gas schwerer als Luft. Es ist extrem entzündbar, an der Luft selbstentzündlich, es bildet mit Luft explosive Gemische (untere Explosionsgrenze: $1,6\text{ Vol.-%} = 23\text{ g/m}^3$). Explosionsgefahr besteht auch bei Kontakt mit Wasser, in dem Phosphin kaum löslich ist.

Wirkung: Phosphin wirkt stark systemisch toxisch und schädigt die Lunge. Es besitzt fast keinen Geruch, weshalb auch eine Warnwirkung (wie z.B. bei Schwefelwasserstoff) nicht vorhanden ist. Phosphin hat u.a. infolge einer Freisetzung aus Ferrosilicium zu zahlreichen akuten und subakuten Vergiftungen geführt. Tödlich waren Konzentrationen von 1000 ppm über 5 min , bei einer halbstündigen Exposition gelten Konzentrationen ab 290 ppm (400 mg/m^3) als lebensgefährlich oder tödlich. Bei der Ratte beträgt die LC_{50} nach vierstündiger Exposition $10,6\text{ ml/m}^3$.

5.4.17. *Propan*

Stellvertretend für Flüssiggase kann Propan betrachtet werden. Propan ist ein brennbares Kohlenwasserstoffgas, das verflüssigt (d.h. unter Druck stehend) transportiert und gelagert wird. Es wird u.a. zu Heizzwecken verwendet („Flüssiggas“). Sein Siedepunkt beträgt bei Normalbedingungen $-42,1\text{ °C}$, sein Dampfdruck $8,327\text{ bar}$ und seine Dichte $1,84\text{ kg/m}^3$. Die untere Explosionsgrenze mit Luft ist bei $1,7\text{ Vol.-%}$. Explosionsgefahr besteht bei Kontakt mit Wasserstoffperoxid. Gasförmiges Propan ruft in Konzentrationen bis 10 Vol.-% an Haut und Schleimhäuten der Augen und des oberen Atemtraktes keine merklichen Reizungen hervor. Bei Propan steht also vor allem die Explosionsgefahr im Vordergrund, weshalb es im folgenden nicht weiter betrachtet wird.

5.4.18. *Propylenoxid*

Propylenoxid ist bei Raumtemperatur eine Flüssigkeit. Der Dampfdruck von Propylenoxid beträgt 588 hPa bei 20 °C . Propylenoxid ist damit ein flüchtiger Stoff, sein Siedepunkt liegt bei 34 °C . Gasförmiges Propylenoxid hat eine höhere Dichte als trockene Luft. Es handelt sich um eine extrem leicht entzündbare Flüssigkeit, deren Dämpfe mit Luft explosive Gemische bilden. Die untere Explosionsgrenze mit Luft beträgt $1,3\text{ Vol.-%}$. Bei Kontakt mit Sauerstoff besteht ebenfalls Explosionsgefahr. Propylenoxid ist eine äußerst reaktive Verbindung, die daher auch zur spontanen Selbstpolymerisation neigt, die sehr heftig verlaufen kann.

Propylenoxid weist eine hohe Hautresorptionsrate auf und penetriert die Haut effektiv. Es wirkt in vergleichsweise geringer Konzentration inhalativ aufgenommen tödlich, wie Daten aus Tierversuchen zeigen (LC₅₀ inhalativ Ratte: 9,5 mg/l/4h). Es ist ein nachgewiesenes genotoxisches Kanzerogen beim Menschen, für das keine unbedenkliche Belastung abschätzbar ist. Daher muss auch bei geringen perkutan resorbierten Mengen davon ausgegangen werden, dass das kanzerogene Risiko erhöht wird.

5.4.19. Sauerstoff

Sauerstoff ist ein nicht giftiges, nicht brennbares, aber brandförderndes, oxidierendes Gas, das bei Kontakt mit organischen Stoffen explosionsartig reagieren kann. Nahezu alle Stoffe (außer Edelmetallen oder Metalloxiden) sind in Sauerstoff brennbar, auch wenn sie sonst nicht entzündbar sind. Sicherheitstechnische Kenndaten wie z.B. Explosionsgrenzen von Stoffen können sich bei erhöhter Sauerstoffkonzentration verändern. Sauerstoff ist nicht toxisch und wird daher nicht weiter betrachtet.

5.4.20. Schwefelkohlenstoff (Kohlenstoffdisulfid)

Schwefelkohlenstoff ist eine farblose, leicht entzündbare Flüssigkeit (Siedepunkt: 46 °C), unter anderem durch schwache Druckwellen. Die Flüssigkeit hat eine höhere Dichte als Wasser (1,26 g/cm³ bei Raumtemperatur) und ist sehr leicht flüchtig (Dampfdruck 395 mbar bei 20 °C, 2365 mbar bei 65 °C). Die Dämpfe haben eine höhere Dichte als die von Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 2,64) und bilden mit Luft explosive Gemische (untere Explosionsgrenze 0,6 Vol.-% (19 g/m³)). Schwefelkohlenstofflösungen laden sich leicht elektrostatisch auf. Die Wasserlöslichkeit beträgt 2,9 g/l. Die akute Fischgiftigkeit liegt bei 4 mg/l.

Die Hauptaufnahme in den menschlichen Organismus sind der Atemtrakt und die Haut. Akut reizt Schwefelkohlenstoff Augen (durch Verunreinigungen?) und Haut und hat neurotoxische Wirkung (ab ca. 600 mg/m³ 4,75 h). 1-stündige Exposition gegenüber ca. 6 g/m³ zeigt sich u.a. an schon nach kurzer Zeit beginnender geistiger Lähmung.

5.4.21. Schwefeltrioxid

Schwefeltrioxid liegt je nach Modifikation bei Raumtemperatur als ein Feststoff vor (alpha, beta) oder als eine rauchende Flüssigkeit (gamma; Schmelzpunkte 16,8-40°C, Dichte 1,922 g/cm³), jeweils mit hoher Flüchtigkeit. Es ist nicht brennbar, mit Wasser erfolgt eine

heftige Reaktion unter Bildung von Schwefelsäure³⁵.

Erhitzen von alpha-Schwefeltrioxid auf seinen Schmelzpunkt führt zu einer plötzlichen Dampfdruckerhöhung, die unter Bildung von Schwefeldioxid zu Explosionen führen kann ("alpha-Explosion"). Explosionen können u.a. auch beim Kontakt mit Chloraten und anderen anorganischen und organischen Stoffen auftreten. Schwefeltrioxid und seine Hydrolyseprodukte (als Schwefelsäureaerosol) werden hauptsächlich über den Atemtrakt aufgenommen. Als akute Wirkungen werden folgerichtig (Schwefelsäure) ätzende Wirkung auf Augen, Atemwege und Haut berichtet. Auch eine Schädigung der Lunge ist möglich. Schwefeltrioxidkonzentrationen von 5 mg/m³ über 5 min führen nicht zu bleibenden Schädigungen verursachen. Wie bei durch konzentrierte Schwefelsäure bewirkten Verätzungen resultieren schwer heilbare Wunden. Schon nach kurzer Exposition sind lang andauernde Schäden der oberen Atemwege und der Lunge möglich, bereits in Konzentrationen ab ca. 0,4 mg/m³ können die Schwefelsäureaerosole Atemwegsreizungen (Husten) auslösen, Asthmatiker sind zum teil deutlich empfindlicher (Lungenfunktionsstörungen schon ab 0,04 mg/m³).

5.4.22. Schwefelsäure

Schwefelsäure ist ein wichtiger anorganischer Grundstoff und eine sehr starke Säure. Sie ist bei Normalbedingungen flüssig (Schmelzpunkt 3 °C). Schwefelsäure reagiert explosionsartig bei Kontakt mit brennbaren Stoffen, organischen Stoffen allgemein, aber auch mit Wasser, Wasserstoffperoxid, Flusssäure und anderen.

Die akute Toxizität von Schwefelsäure ist vergleichsweise niedrig, LD₅₀ oral Ratte: 2140 mg/kg Körpergewicht). Für Wirkungen auf den Menschen liegen Ergebnisse aus mehreren Probandenstudien (Expositionsdauer 1 - 4 h) vor: Demnach kommt es bei gesunden Testpersonen ab 0,3 mg/m³ zu Veränderungen der Lungenclearance, ab 0,38 mg/m³ wurde bei tieferer Inhalation unter starker körperlicher Belastung Husten berichtet. Ab ca. 0,45 mg/m³ traten Rachenreizungen auf. Bis zu Konzentrationen von 2 mg/m³ waren aber keine weiteren Einflüsse auf die Lungenfunktion zu beobachten. Ab 3 mg/m³ wurden Verengung der Bronchien und Rasselgeräusche in der Lunge registriert. Asthmatiker reagierten demgegenüber schon bei geringeren Konzentrationen mit Lungenfunktionsveränderungen (Jugendliche ab 0,035 mg/m³, Erwachsene ab 0,35mg/m³). Reizungen traten im gleichen Konzentrationsbereich auf wie bei gesunden Probanden. Allgemein sollen Konzentratio-

³⁵ Daher wird Schwefelsäure hier ebenfalls kurz besprochen.

nen ab ca. 7 - 10 mg/m³ belästigend wirken und 40 - 80 mg/m³ wurden als unerträglich eingestuft.

5.4.23. *Tetraethylblei*

Es handelt sich um eine bei Raumtemperatur farblose, wenig flüchtige (Dampfdruck: 3 mbar bei 50 °C), schwer entzündliche Flüssigkeit (Dichte 1,65 g/cm³ bei 20 °C). Die Dämpfe haben eine sehr viel höhere Dichte als Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 11,1; Flammpunkt 60 bis 93 °C). Bei rascher Erwärmung explosionsartiger Zerfall möglich, auch können die Dämpfe mit Luft explosive Gemische bilden (untere Explosionsgrenze 1,8 Vol.-%). Tetraethylblei hat einen charakteristischen obstartig süßlichen Geruch, die Geruchschwelle ist aber zu hoch, um zu vor gefährlichen Konzentrationen zu warnen. Die Flüssigkeit ist kaum polar und daher kaum in Wasser löslich (0,15 mg/l bei 20 °C). Ihre Dichte ist größer als die von Wasser. Sie ist hochfischtoxisch gegenüber Wasserorganismen (akute Toxizität LC₅₀ Fisch, 96 Stunden 0,23 mg/l, LC₅₀ Krustentiere, 48 Stunden 0,085 mg/l). Entsprechend ist Tetraethylblei als stark Wasser gefährdend eingestuft.

Tetraethylblei wird über den Atemtrakt (aufgrund seiner geringen Polarität schnelle Resorption in der Lunge) und über die Haut aufgenommen. Akute Wirkung zeigt sich in einer Störung und ggf. Schädigung des zentralen Nervensystems. Tetraethylblei gilt als stark toxische Substanz aus, dabei erstreckt sich die Latenzzeit zwischen akuter Exposition und ersten Symptomen (u.a. Appetitlosigkeit, Übelkeit und Erbrechen, Schlaflosigkeit, Kopfschmerzen, Depression, Reizbarkeit, Tremor, gesteigerte, Muskelschwäche) von wenigen Stunden, bei schweren Fällen bis zu etwa 10 Tagen. Konzentrationen ab 40 mg/m³ (bezogen auf Blei) gelten als lebensbedrohlich. Ein Risiko der Fruchtschädigung kann auch bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht ausgeschlossen werden

5.4.24. *Tetramethylblei*

Es handelt sich um eine bei Raumtemperatur farblose, flüchtige (Dampfdruck: 32 mbar bei 20 °C), schwer entzündliche, Flüssigkeit (Siedepunkt 110 °C, Dichte 2,00 g/cm³ bei 20 °C). Die Dämpfe haben eine sehr viel höhere Dichte als Luft (Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck 9,2; Flammpunkt 60 bis 93 °C). Bei rascher Erwärmung explosionsartiger Zerfall möglich, auch können die Dämpfe mit Luft explosive Gemische bilden (untere Explosionsgrenze 1,8 Vol.-%). Tetramethylblei kann in gefährlicher Weise u.a. mit Brom reagieren. Die Dämpfe von Tetramethylblei ha-

ben keine Warnwirkung, um zu vor gefährlichen Konzentrationen zu warnen. Die Flüssigkeit ist wenig polar und kaum in Wasser löslich (300 mg/l bei 20 °C). Ihre Dichte ist größer als die von Wasser. Sie ist hochfischtoxisch gegenüber Wasserorganismen (akute Toxizität LC₅₀ Fisch, 96 Stunden 13,5 mg/l, LC₅₀ Krustentiere, 48 Stunden 0,25 mg/l). Entsprechend ist Tetramethylblei als stark Wasser gefährdend eingestuft.

Tetramethylblei wird über den Atemtrakt und über die Haut aufgenommen. Akute Wirkung zeigt sich in einer Störung und ggf. Schädigung des zentralen Nervensystems. Tetramethylblei gilt als stark toxische Substanz aus, dabei erstreckt sich die Latenzzeit zwischen akuter Exposition und ersten Symptomen (u.a. Appetitlosigkeit, Übelkeit und Erbrechen, Schlaflosigkeit, Kopfschmerzen, Depression, Reizbarkeit, Tremor, gesteigerte, Muskelschwäche) von wenigen Stunden bis zu mehreren Tagen. Konzentrationen ab 40 mg/m³ (berechnet als Blei) gelten als lebensbedrohlich. Die Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit oder/und Fruchtschädigung) gilt als sicher nachgewiesen. Ein Risiko der Fruchtschädigung kann auch bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes nicht ausgeschlossen werden.

5.4.25. *Toluoldiisocyanate (TDI)*

Es werden hauptsächlich drei verschiedene Isomerengemische am Markt angeboten. Das Gemisch aus 80 % Toluol-2,4-diisocyanat und 20 % Toluol-2,6-diisocyanat hat den größten Anteil. Ein Gemisch aus 65 % Toluol-2,4-diisocyanat und 35 % Toluol-2,6-diisocyanat stellt die zweite Gruppe und eines aus 100 % Toluol-2,4-diisocyanat die dritte. Der größte Teil wird außerhalb Europas produziert, jedoch finden sich Produktionsstätten auch in Leerkusen und Antwerpen. Toluoldiisocyanate polymerisieren bei Kontakt mit Basen heftig und können in gefährlicher Weise mit organischen Verbindungen wie z.B. Alkoholen (u.a. Methanol, Ethylenglycol), Oxidationsmitteln und auch Säuren reagieren. Toluoldiisocyanate sind ein wichtiges Zwischenprodukt der Kunststoffindustrie und dementsprechend gehören sie zu den mengenmäßig bedeutendsten Bulk-Chemicals.

2,4-Toluoldiisocyanat ist unter Normalbedingungen flüssig (Schmelzpunkt 21 °C) ebenso 2,6-TDI (Schmelzpunkt: 18,3 °C) und siedet bei etwa 250 °C (2,6-TDI bei etwa 130 °C). Die Flüssigkeiten sind brennbar. Der Dampfdruck beträgt für 2,4-TDI bei 20 °C 0,01 mbar, bei 30 °C 0,03 mbar, bei 50 °C 0,19 mbar, für 2,4-TDI und analog 0,02 mbar für 2,6-TDI bei 20 °C. Die Dichte der Flüssigkeit beträgt 1,22 g/cm³ und ist damit höher als die von Wasser. Die Dichte des Gases ist unter gleichen Bedingen etwa sechsmal so hoch wie die

von Luft. Die untere Explosionsgrenze in Luft beträgt 0,9 Vol.-% (64 g/m³). Die Verbindungen reagieren mit Wasser unter relativ langsamer Zersetzung. Dabei werden u.a. nitrose Gase und Cyanwasserstoff (Blausäure) gebildet. In Wasser erfolgt rasche Hydrolyse, Zersetzungsprodukte sind u.a. Cyanwasserstoff und nitrose Gase. Bei Kontakt mit Basen erfolgt heftige Polymerisation. Gefährliche Reaktionen sind u.a. auch bei Kontakt mit Säuren und Oxidationsmitteln möglich. Die TDI sind als Wasser gefährdend eingestuft.

Toxikologisch unterscheiden sich 2,4- und 2,6-TDI nur marginal. Die Aufnahme von Toluoldiisocyanaten erfolgt vorwiegend über die Atemwege (Dämpfe, Aerosole). Es handelt sich um hochgiftige Flüssigkeiten und Dämpfe. Die Dämpfe reizen Augen und Atemwege sehr stark (schon ab ca. 0,350 mg/m³) bei einer Disposition auch schon darunter. Es handelt sich um die Atemwege sensibilisierende Stoffe. Ergebnisse von Tierversuchen legen nahe, dass schon eine Exposition über 10 Minuten bei höheren Konzentrationen zu Hornhautschäden führen. Nach dauerhafter Einatmung der Dämpfe ist ein [Lungenödem](#) möglich, das verzögert auftreten kann. Toluoldiisocyanate sind als krebserzeugend: eingestuft (Kategorie 3A, Stoffe mit krebserzeugender Wirkung).

5.4.26. *Vinylchlorid*

Vinylchlorid ist unter Normalbedingung ein extrem leicht entzündliches Gas (Siedepunkt -13,4 °C), das mit Luft explosive Gemische bildet. Seine Dichte ist höher als die von Luft (2,67 kg/m³ bei 15 °C, 1013 mbar, Dichteverhältnis zu trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck: 2,16). Es wird wie viele andere Gase unter Druck verflüssigt transportiert. Beim Austreten des Gases aus Transportbehältern entspannt es sich unter starker Abkühlung. Es bilden sich kalte Nebel, die sich am Boden ausbreiten und ggf. wie alle Gase, die eine höhere Dichte als Luft haben, in Senken wie z.B. Kellerräumen sammeln. Seine Löslichkeit in Wasser ist mit 1,1 g/l relativ gering. Bei seiner Zersetzung entstehen u.a. Phosgen und Chlorwasserstoff. Es neigt zur spontanen Polymerisation (Auslöser: Licht, Luft, Wärme) und reagiert heftig u.a. mit Oxidationsmitteln.

Als Gas wird Vinylchlorid vor allem über die Atemwege aufgenommen. Bei hohen Konzentrationen komme es zu trockenen Schleimhäuten sowie Störungen des zentralen Nervensystems und der Herzfunktionen. Vinylchlorid gilt als genotoxisch und kanzerogen für den Menschen (MAK-Kommission, Kategorie 1, Stoffe erzeugen beim Menschen Krebs und tragen nennenswert Beitrag zum Krebsrisiko bei).

5.5. Abschätzung einer sicheren Entfernung im Falle eines Unfalls unter Gefahrstofffreisetzung

Im Sinne einer orientierenden Abschätzung wurde vereinfachend angenommen, dass einerseits der gesamte Inhalt eines Kesselwagens (57 t) innerhalb einer kurzen Zeit (10-30 Minuten, s. dazu auch Pöttsch 2004 sowie IDLH-Werte) freigesetzt wird, ohne dass es durch Wind oder Niederschlag zu einer Verdünnung in der Gasphase kommt, und dass sich andererseits das ergebende Gasvolumen des Gefahrstoffs in einem halbkugelförmigen Volumen gleichmäßig um die Unglücksstelle verteilt und kein Transport einer ggf. höher konzentrierten Gaswolke stattfindet³⁶. Gewichtet wurde dieses Volumen durch die in der Literatur dokumentierte Konzentration des gasförmigen Stoffes, ab dem mit Gesundheitsgefährdungen zu rechnen ist (s.u., Tabelle 4). Ausgehend von diesen Toxizitätsschwellen (s. Tabelle 4) wurde das Volumen einer Halbkugel berechnet, das notwendig ist, um den Toxizitätsschwellenwert (s.u.) zu unterschreiten. Aus der sich ergebenden Fläche, die die Halbkugel zur Erdoberfläche hin begrenzt, wird deren Radius errechnet. Dieser Radius ist dann der Abstand von der Trasse (dem Ort des Gefahrgutunfalls), bei dessen Unterschreitung beiderseits der Trasse die genannten Gefahren vorliegen. Auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen zu Einwohnerzahlen entlang der jeweiligen Trassen mit Abstandsangabe wird die Anzahl der möglicherweise von der Freisetzung von Gefahrstoffen betroffenen Bürger abgeschätzt. Da diese Daten nicht in genügend hoher räumlicher Auflösung vorhanden sind, handelt es sich dabei um eine grobe Abschätzung, die jedoch eine ausreichende Differenzierung zwischen den beiden Trassen erlaubt.

5.6. Vorgenommene Einschränkungen

Außer den bereits erwähnten Annahmen und Einschränkungen sind folgende Punkte zu beachten:

- Weitere mögliche Gefahren z.B. durch Brand und Explosion werden lediglich ergänzend in Abhängigkeit von den Eigenschaften der jeweiligen Stoffe erwähnt (s. Kapitel 4.1), ohne genauer betrachtet zu werden.
- Es wird für einen Stoff jeweils nur die Freisetzung des Inhalts eines Kesselwagens betrachtet, nicht des Inhalts von mehreren Kesselwagen gleichzeitig.
- Bei Gasen, deren Dichte größer ist als die von Luft, kann es zu einer höheren Kon-

³⁶ Dies stellt zwar ein worst case-Szenario dar, wie die Gefahrgutunfälle (s. Kapitel 3) belegen, jedoch keineswegs eines, das nicht auftreten kann.

zentration in Bodennähe, d.h. den ersten Höhenmetern, kommen und/oder es kann eine größere als die sich aus obiger Halbkugelbetrachtung ergebenden Fläche resultieren, was jedoch im Sinne einer orientierenden Abschätzung nicht berücksichtigt wird. Darüber hinaus sammeln sich Gase und Dämpfe, die eine höhere spezifische Dichte haben als Luft in Bodensenken, Unterführungen, Kellern und Tiefgaragen. Je nach Gas kann dies auch zu einer erhöhten Explosions- und/oder Vergiftungsgefahr führen. Dies ist generell zu beachten, insbesondere bei Trassen durch bebaute Gebiete. Die lokalen Gegebenheiten und der Abstand vom Unfallort sind dabei von zentraler Bedeutung.

- Umgekehrt können sich Gase, deren Dichte geringer ist, als die von Luft, leicht in die höheren Luftschichten verflüchtigen, woraus eine geringere Fläche bzw. ein geringerer Abstand der Gefahrenzone zur Trasse resultieren würde als bei einer streng homogenen Verteilung.
- Es wird nicht berücksichtigt, dass sich eine solche Gefahrstoffwolke durch Wind ggf. ohne wesentliche Verdünnung transportiert werden kann. Dies kann je nach Einwohnerdichte zu einer höheren oder geringeren Anzahl an betroffenen Einwohnern führen, je nach verfügbaren Luftkorridoren oder Behinderung der Ausbreitung durch Gebäude. Solche Situationen werden hier im Sinne einer orientierenden Abschätzung nicht weiter berücksichtigt, nicht zuletzt, da dafür aufwändige Ausbreitungsrechnungen zum Beispiel nach der Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) notwendig wären.
- Es wird explizit nur die akute Toxizität eingeschlossen in die Rechnungen, keine möglicherweise in der Folge auftretenden chronischen körperlichen oder psychischen Schäden, ebenso wenig wird die ggf. höhere Empfindlichkeit besonderer Risikogruppen wie z.B. Asthmatiker, ältere oder Menschen mit anderen Vorerkrankungen sowie Kleinkindern systematisch berücksichtigt.
- Nicht explizit berücksichtigt wurden außerdem die Häufigkeit von Gefahrgutunfällen z.B. pro Jahr bzw. pro Gefahrgutkilometer sowie mögliche Auswirkungen auf die Umwelt (Tiere, Pflanzen etc.), ebenso wenig eine Gefährdung des Grund- und Trinkwassers durch Versickerung von Gefahrstoffen in den Untergrund.
- Durch Zersetzung in der Hitze kann es zur Bildung weiterer Gefahrstoffe kommen wie auch bei Zutritt von Feuchtigkeit (Niederschläge, Nebel, Löschwasser). Mögli-

che Reaktionen von gleichzeitig freigesetzten Stoffen miteinander (s.o.) wurden nicht systematisch berücksichtigt, sondern nur Beispiele erwähnt, obwohl es bei vielen Unfällen als Folge einer Verkettung von ungünstigen Zufällen und Umständen zu weit größeren Auswirkungen kommen kann, die so vorher nicht für möglich gehalten wurden.

- Die Wirkung der Gefahrstoffe, die in die folgenden Betrachtungen einbezogen werden, beruhen ausschließlich auf der Betrachtung von Einzelstoffen. Möglicherweise auftretende verstärkte Wirkungen durch die gleichzeitige Anwesenheit verschiedener Stoffe wurden nicht betrachtet.

5.7. Zugrunde gelegte Toxizitätsschwellen

Für die hier notwendige Abschätzung einer möglichen Gefahr durch bei einem Gefahrgutunfall austretende Stoffe sind Daten zur akuten Toxizität beim Menschen notwendig. Für viele Stoffe stehen solche Daten nicht zur Verfügung. Die Situation wird dadurch komplizierter, dass im Fall der hier vorzunehmenden Betrachtung vor allem Daten zur inhalativen und ggf. dermalen Aufnahme von Bedeutung sind. Es werden daher Surrogatwerte verwendet.

Zum Schutz vor Gefahrstoffen bzw. ihren Auswirkungen werden in verschiedenen Kontexten, wie z.B. dem Arbeitsschutz, ausgehend von bekannten Daten zur Wirkung z.B. im Tierversuch erhaltene Toxizitäten nach unterschiedlichen wissenschaftlichen Verfahren Werte von Expertenkommissionen abgeschätzt, deren Einhaltung, d.h. Unterschreitung, Gesundheitsgefahren ausschließt. Die wohl bekanntesten Werte dieser Art sind die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) (früher: maximale Arbeitsplatzkonzentration, MAK-Werte). Die hier zu betrachtende Situation unterscheidet sich jedoch deutlich vom Umgang mit Gefahrstoffen am Arbeitsplatz. Weiter ist zu beachten, dass für bestimmte Wirkungen einzelner Stoffe (Tumor initiierende Stoffe) keine Grenzwerte angegeben werden können, bei deren Einhaltung Gesundheitsgefahren ausgeschlossen sind. Da nicht für alle der hier betrachteten Stoffe die jeweils der Situation exakt angepassten Werte zur Wirkung (mögliche Expositionszeit, Konservativität der Toxizitätsschwellenabschätzung u.a.) verfügbar sind, werden die im Folgenden erläuterten Arten von Grenz- und Richt-, bzw. Orientierungswerten verwendet, die von Expertenkommissionen abgeleitet wurden. Ihre gleichzeitige Verwendung erlaubt darüber hinaus eine verbesserte Abschätzung der Abstände zu den Trassen, ab denen eine Gefährdung unter normalen Umständen auszuschließen sein dürfte.

5.7.1. Einsatztoleranzwert (ETW-Wert)

Zur Abschätzung der Gefahren durch das Einatmen giftiger Gase und Dämpfe wurden, auf die Belange der Feuerwehr zugeschnitten, sogenannte Einsatztoleranzwerte (ETW) ermittelt. Die ETW sind toxikologisch so festgesetzt worden, dass unterhalb dieser Werte die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Einsatzkräften ohne Atemschutz bei etwa 4-stündiger Exposition während eines Einsatzes und in der Folgezeit nicht beeinträchtigt wird. ETW wurden für Stoffe festgesetzt, soweit diese als Gase oder Dämpfe einsatztaktisch relevant und mit einfachen Mitteln sofort nachweisbar sind³⁷. So lange keine besonderen Bewertungen und Weisungen z.B. von der Umwelt- oder Gesundheitsbehörde vorliegen, kann der ETW auch zur Beurteilung der Gefahrenlage für die Bevölkerung herangezogen werden. Unterhalb der ETW ist im Allgemeinen keine Gesundheitsgefährdung zu befürchten (Ausnahme: extrem empfindliche Personen).

Da aus verschiedenen Gefahrgutunfällen auf der Schiene bekannt ist, dass zuweilen mehrere Stunden vergehen können, bis einerseits die über die ausgetretenen Gefahrstoffe notwendigen Angaben sowie andererseits die Spannungsfreischaltung der Oberleitung erfolgt ist, erscheint der ETW-Wert neben den andere herangezogenen Werten als eine angemessene Grundlage.

5.7.2. IDLH-Wert

Es sind nicht für alle Gefahrstoffe ETW-Werte vorhanden. Außerdem kann ggf. die Bevölkerung unabhängig von der Art des ausgetretenen Gefahrstoffs auf jeden Fall gewarnt, informiert und aufgefordert werden in der Wohnung zu bleiben und Fenster und Türen zu schließen. In diesem Kontext werden oft 10-30 Minuten als notwendige Zeit angenommen. Die US-amerikanische Arbeitsschutzbehörde (OSHA) und das U.S. Arbeitsschutzinstitut (NIOSH) entwickelten Mitte der 1970er Jahre ein Konzept von Störfallreferenzwerten.³⁸ Ziel ist, sicherzustellen, dass sich die Einsatzkräfte auch bei Ausfall des Atemschutzgerätes noch in Sicherheit bringen können und Schadstoffbelastungen von bis zu 30 Minuten nicht zu lebensbedrohlichen oder sonstigen schweren Gesundheitseffekten führen. „Entsprechende Immediately Dangerous to Life and Health-Werte (IDLH-Werte) wurden ursprünglich für 336 Stoffe berechnet. Unter Berücksichtigung externer Kritik wurden die Werte überarbeitet, woraus 1994 eine korrigierte Liste mit 85 IDLH-Werten resultierte. „Problembereiche sind u.a., dass die Definition des Schutzziels nur ungenaue Kennzeich-

³⁷ <http://www.vfdb-10.de/etws.0.html>, zuletzt abgerufen am 1.6.2013

³⁸ <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>, zuletzt abgerufen am 1.6.2013

nungen des Schweregrads von tolerierten Effekten umfasst.“... Zudem ist das Vorgehen bei der Zeitextrapolation auf 30 Minuten vergleichsweise schematisch. Als dritter Punkt ist zu beachten, dass eine Auswertung der Daten nur auf der Ebene von Sekundärliteratur erfolgte und die Begründungen der Werte entsprechend ungenau sind.“³⁹ Dennoch können IDLH-Werte im Rahmen einer orientierenden Abschätzung gut verwendet werden.

5.7.3. AGW⁴⁰, MAK- und MIK-Werte

Der MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentration)-Wert war in § 3 der alten Gefahrstoffverordnung definiert als die höchstzulässige Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im Allgemeinen die Gesundheit des Arbeitnehmers auch bei wiederholter und langfristiger (in der Regel 8-stündiger) Exposition und einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden nicht beeinträchtigt wird. In Deutschland wurde der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) am 1. Januar 2005 mit der Neufassung der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) eingeführt. Er ersetzt den MAK-Wert und die Technische Richtkonzentration (TRK), die für bestimmte krebserzeugende Stoffe galt und für die daher keine sicheren toxikologisch begründeten Grenzwerte und damit MAK-Werte angegeben werden konnten. Bis der AGW in die Technischen Regeln eingearbeitet ist, können die bisherigen MAK-Werte und TRK-Werte für die Beurteilung der Gefährdung am Arbeitsplatz weiterhin herangezogen werden. Entsprechend werden sie auch hier (s. Tabelle 4) in Einzelfällen verwendet, wenn kein AGW vorhanden ist.

In der Arbeitssituation kann es ggf. kurzzeitig zu höheren Konzentrationen an Gefahrstoffen kommen (Spitzenwerte), als dem 8h-Durchschnittswert des AGW bzw. MAK-Wert entspricht. Für diese Situation sind erlaubte Kurzzeitüberschreitungen (Höhe der Überschreitung, Anzahl der Überschreitungen und Pausen während einer Arbeitsschicht) angegeben. „Kurzzeitwerte ergänzen die Arbeitsplatzgrenzwerte, indem sie die Konzentrationschwankungen um den Schichtmittelwert nach oben hin sowie in ihrer Dauer und Häufigkeit beschränken. Die maximale Höhe der kurzzeitigen Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes hat sich an den sehr unterschiedlichen Wirkungseigenschaften der einzelnen Stoffe zu orientieren. Eine pauschale Festlegung der Kurzzeitwertparameter ist daher nicht möglich. Die Kurzzeitwertkonzentration ergibt sich aus dem Produkt von Arbeitsplatzgrenzwert und Überschreitungsfaktor. Der maximale Überschreitungsfaktor beträgt 8. Bei

³⁹ http://www.umweltbundesamt.de/nachhaltigeproduktionanlagensicherheit/anlagen/AEGLWEB/Pages/Pages-De/Extra/Seite_5_1.html

⁴⁰ IFA-Report 1/2011: Grenzwerteliste 2011, Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), www.dguv.de/publikationen

8facher Überschreitung des Arbeitsplatzgrenzwertes 4-mal pro Schicht über 15 Minuten darf in einer Schicht keine weitere Exposition mehr erfolgen, da sonst das Produkt aus Schichtlänge und Arbeitsplatzgrenzwert überschritten wird. Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration oberhalb des Arbeitsplatzgrenzwertes (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig.⁴¹ In begründeten Fällen kann auch ein Momentanwert festgelegt werden, der zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. Bei der Verwendung von AGW und MAK-Werten im hier vorliegenden Kontext ist zu beachten, dass die Werte für den Arbeitsplatz für eine Exposition von 8 Stunden gelten, die im vorliegenden Kontext nicht erreicht werden dürfte. Dennoch sind natürlich die Kurzzeitwerte und die Momentanwerte hier auf jeden Fall relevant, da sie ja gerade die Situation der einer Expositionszeit von weniger als 8h beschreiben. Die Bedingungen am Arbeitsplatz bzgl. der Exposition sind im Vergleich zu einem Gefahrgutunfall deutlich günstiger: Personen, die am Arbeitsplatz mit Gefahrstoffen umgehen, werden regelmäßig hinsichtlich der Gefahren und dem richtigen Verhalten bei bzw. nach einer Gefahrstofffreisetzung und/oder Exposition geschult, weiterhin gibt es aktive und passive Schutzmaßnahmen wie z.B. eine persönliche Schutzausrüstung, Maßnahmen zur Abhilfe sind bei einem Gefahrgutunfalls schnell verfügbar.

Ein weiterer Wert ist die Maximale Immissionskonzentration (MIK) für die Außenluft. Die MIK-Werte sind Empfehlungen für Konzentrationswerte, für die Luftverunreinigungen bodennah im Freien außerhalb der Emissionsquelle für Mensch und Tier oder Pflanze bei dauernder Einwirkung (24h) als unbedenklich erachtet werden. Meist wird die MIK als 1/20 des MAK-Wertes (bzw. jetzt AGW) angesetzt. In dem niedrigeren Faktor 1/20 entgegen dem rein über die Expositionszeit zu erwartenden Faktor 1/3 kommt zum Ausdruck, dass die Arbeitssituation eine andere ist als eine Belastung durch die Außenluft (s.o.). Da die Expositionszeit in Folge kontaminierter Außenluft in Folge eines Gefahrgutunfalls einerseits sicher kürzer sein wird, andererseits aber Kenntnisse und Schutzmöglichkeiten fehlen, sowie Abschätzungen nur für Einzelstoffe möglich sind und Emissionen toxischer Stoffe durch ggf. gleichzeitig auftretende Brände ebenfalls nicht berücksichtigt werden, erscheint die Verwendung von AGW bzw. MAK-Werten und eine Gewichtung mit dem Faktor 10 (d.h. 10-facher AGW bzw. MAK-Wert als Toxizitätsschwellenwert) angemessen. Für einige wenige Stoffe wie z.B. Stickstoffdioxid oder Schwefelwasserstoff sind spezifische

⁴¹ TRGS 900, Ausgabe: Januar 2006 zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2013 S. 363-364 v. 4.4.2013, abgerufen am 1.6.2013

MIK-Werte festgesetzt und finden sich in der einschlägigen Literatur.

5.7.4. Ergänzende Betrachtungen

Ergänzend zu den hier durchgeführten Rechnungen wird auf das von Pöttsch für einen Unfall mit Chlorgas beim Schienentransport durch die Stadt Kenzingen detaillierter ausgearbeitete Szenario verwiesen (Pöttsch 2004).

6. Ergebnisse

6.1. Datenlage

Das Beispiel der Diisocyanatoluole, die ebenfalls von sehr hoher Giftigkeit sind, demonstriert einerseits wie wichtig es ist, zu allen transportierten Stoffen die oben genannten Informationen zu haben. Deutlich wird die Bedeutung des Mangels an aussagekräftigen Daten insbesondere für die krebserregenden und hochtoxischen Stoffe (z.B. Propylenoxid, Acrolein). Solange keine vollständige Stoffliste vorliegt, können die im Folgenden referierten Ergebnisse nur vorläufigen Charakter haben, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass giftigere als die hier betrachteten Stoffe transportiert werden und somit größere Abstände von der Trasse als die hier errechneten von Bedeutung sein können (s. Tabelle 2, Angabe „Sehr giftige Stoffe und Zubereitungen“, „Sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen“, letztere mit 12.600 t Lagerkapazität angegebene, als die mit Abstand größte Menge; Angabe „Brennbare Gase“, „Brennbare Flüssigkeiten“. Trotz dieser Einschränkungen kann die wesentliche Fragestellung nach der im Falle einer Gefahrstofffreisetzung betroffenen Anzahl von Anwohnern hinsichtlich der beiden Trassen klar beantwortet werden.

6.2. Sichere Abstände zur Trasse

Die Bedeutung von möglichst großen Abständen zum Ort eines Unfalls liegt einerseits in der sich draus ergebende größeren Vorwarnzeit und der Zeit, die für eine ggf. notwendige Evakuierung zur Verfügung steht. Gleichzeitig besteht ein höheres Potential, dass sich die Schadstoffwolke verdünnt. Daher ist bei größeren Abständen zum Unfallgeschehen allgemein mit weniger betroffenen Anwohnern zu rechnen, was insbesondere im Falle eines Unfalls mit Stoffen mit hohem Schadenspotential (z.B. Chlor, Chlorwasserstoff u.a., s. a. Tabelle 2) auch zu möglicherweise sehr viel weniger Soforttoten führt. Die Abstände in Tabelle 3 sind der Mindestabstand zur Trasse, der im Falle eines Gefahrgutunfalls resultiert, wenn keine akuten Gesundheitsgefahren für die Bevölkerung entstehen sollen. Dabei sind

die in Kapitel 5.3.4 beschriebenen Einschränkungen zu beachten.

Wie aus Tabelle 3 zu entnehmen ist, ist zur Vermeidung einer tödlichen Wirkung innerhalb von bis zu 30 Minuten unter den hier angenommenen Bedingungen und soweit toxikologische Daten vorliegen (s. Kapitel 4) ein Abstand zwischen 49 m (Phosphin) und 1967 m notwendig (Acrolein).

Die auf den IDLH- bzw. die EEGL 1h-Werten beruhenden Sicherheitsabstände erreichen Beträge bis zu 5 810 m (Acrolein). Acrolein ist zwar eine Flüssigkeit unter Normalbedingungen, weist aber eine sehr hohe Flüchtigkeit auf, so dass der hier errechnete Abstand zwar in der Realität geringer sein dürfte. Aber selbst wenn er um den Faktor 4 geringer ist, würde immer noch ein Abstand von über 1000 m resultieren. Phosgen weist einen Wert von 1406 m auf, die meisten anderen Stoffe liegen im Bereich von 500 bis um 1000 m, einige wie z.B. Vinylchlorid (445 m) darunter. Für Asthmatiker als besondere Risikogruppe liegen nur für Schwefelsäure entsprechende Daten vor. Reizungen der Atemwege bei Asthmatiker z.B. durch Schwefelsäure, die aus dem Kontakt von Schwefeltrioxid mit Wasser resultiert, können demnach auftreten. Da einerseits erst die Hydrolyse des Schwefeltrioxid erfolgen muss, dies aber sehr schnell verläuft, ist es schwierig einen genaueren Wert anzugeben. Aber selbst wenn man nur ein Zehntel des Wertes annimmt sind Asthmatiker in diesem Fall in einem Abstand bis 200 m immer noch besonders betroffen.

Für Schäden z.B. durch krebserzeugende oder allergisierende Stoffe (hier nicht spezifisch betrachtet), die aus dieser Expositionszeit resultieren können, sind keine weiteren Aussagen möglich, außer dass mit abnehmender Expositionszeit und zunehmendem Abstand von der Trasse das Risiko generell sinkt. Für die Bleialkyle ist zu beachten, dass auch bei Unterschreiten der sich aus den Spitzengbegrenzungen bzw. des 10 fachen des AGW-Wertes ein Risiko der Fruchtschädigung nicht völlig auszuschließen ist. Ammoniak als ein äußerst geruchsintensives Gas führt zu Belästigungen noch in einer Entfernung von 8.300 m, jedoch besteht bei diesem Abstand keine Gesundheitsgefahr mehr. Bei Stoffen, für die keine der oben genannten Werte vorliegen, resultieren unter Zugrundelegung des 10-fachen MAK-Wertes bzw. des 10-fachen AGW keine größeren Werte als die sich aus den ETW oder IDLH ergebenden. Ein Vergleich mit Stoffen, für die beide Werte (10-facher AGW/MAK-Wert und ETW bzw. IDLH) vorhanden sind, zeigt, dass sich in der Größenordnung vergleichbare Werte ergeben, wenn auch zum Teil im Einzelfall deutliche Abweichungen vorhanden sein können

Tabelle 3: Mindestsicherheitsabstände zur Trasse (ETW: Einsatztoleranzwert; IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health; AGW: Arbeitsplatzgrenzwert, MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration, EEGL: emergency exposure guidelines level)

Toxizitäts- schwelle mg/m3	Abstand Trasse m	Fläche km2	Regelung	zusätzliche Erläuterungen
Acetylen				
-			ETW	
-			IDLH	
28,0	934	2,98	AGW	Spitzenbegrenzung
140,0	546	1,02	10 facher AGW	
Acrolein				
0,23	4611	72,59	ETW	
0,12	5810	115,24	IDLH	EEGL 1 h, 10 min: 0,2
0,40	3851	50,63	AGW	Spitzenbegrenzung
2,0	2250	17,28	10 facher AGW	
18,0	1967	13,21		LC50 inhalativ Ratte 18 mg/m3/4 h
Ammoniak				
-			ETW	
70,8	686	1,61	IDLH	EEGL 1 h
36,0	859	2,52	AGW	Kurzzeitwert
28,0	742	1,88		Spitzenbegrenzung
140,0	546	1,02	10 facher AGW	
Brom				
-			ETW	
19,9	1047	3,74	IDLH	
0,70	3196	34,87	AGW	Spitzenbegrenzung
7,0	1483	7,51	10 facher AGW	
232,4	462	0,73		30-60 min: 35ppm tödlich 30-60 min: 6-9 ppm lebensgefährlich
Brommethan				
-			ETW	
987,5	285	0,28	IDLH	EEGL 1h
7,8	1431	6,99	AGW	Spitzenbegrenzung
39,0	837	2,39	10 facher AGW	
1192,9	258	0,23		Ratten: 8 h LC50-Wert: 302 ppm
Chlor				
3,0	1967	13,21	ETW	
30,0	913	2,85	IDLH	EEGL 1h
1,5	2479	20,98	AGW	Spitzenbegrenzung
			10 facher	
15,0	1151	4,52	AGW	
100,0	611	1,27		letal Mensch

Fortsetzung Tabelle 3: Mindestsicherheitsabstände zur Trasse (ETW: Einsatztoleranzwert; IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health; AGW: Arbeitsplatzgrenzwert, MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration, EEGL: emergency exposure guidelines level)

Toxizitäts- schwelle mg/m ³	Abstand Trasse m	Fläche km ²	Regelung	zusätzliche Erläuterungen
Chlorwasserstoff				
16,7	1110	4,21	ETW	
30,4	909	2,82	IDLH	EEGL 1h
6,0	1562	8,33	AGW	Spitzenbegrenzung
30,0	913	2,85	10 facher AGW	
Diphenylmethandiisocyanat (MDI, technisches Isomergemisch)				
-			ETW	
75,0	672	1,54	IDLH	
0,05	7702	202,52	AGW	Spitzenbegrenzung Momentanwert: 2 facher Grenzwert nicht überschreiten
1,00	2838	27,50	AGW	
5,0	1659	9,40	10 facher AGW	
Ethylenoxid				
25,6	963	3,17	ETW	
36,6	855	2,50	IDLH	EEGL 1h
-			AGW	kein Wert
Formaldehyd				
1,3	2634	23,69	ETW	
25,0	970	3,21	IDLH	
1,2	2670	24,34	AGW	Momentanwert 10 facher
3,7	1835	11,50	AGW	
Phosgen				
0,33	4111	57,70	ETW	
8,22	1406	6,75	IDLH	EEGL 1h
0,82	3032	31,38	AGW	Spitzenbegrenzung
4,1	1773	10,73	10 facher AGW	
Phosphin				
0,70	359	0,44	ETW	
70,50	77	0,02	IDLH	
0,28	488	0,81	AGW	Spitzenbegrenzung
1,4	285	0,28	10 facher AGW	
282,0	49	0,01		letal 30 min
Propylenoxid				
-			nicht in ETW-Liste	
964,0	287	0,28	IDLH	
-			kein AGW	
9500,0	134	0,06	Lethal 50% 4 h, LC50 Ratte inhalativ	

Fortsetzung Tabelle 3: Mindestsicherheitsabstände zur Trasse (ETW: Einsatztoleranzwert; IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health; AGW: Arbeitsplatzgrenzwert, MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration, EEGL: emergency exposure guidelines level)

Toxizitäts- schwelle mg/m ³	Abstand Trasse m	Fläche km ²	Regelung	zusätzliche Erläuterungen
Schwefelkohlenstoff				
317,0	416	0,59	ETW	
158,5	524	0,94	IDLH	EEGL 1h
60,0	725	1,79	AGW	Spitzenbegrenzung
300,0	423	0,61	10 facher AGW	
Schwefelsäure				
-			ETW	
15,0	1150	4,52	IDLH	
0,10	6113	127,58	AGW	
1,00	2837	27,48	10 facher AGW	
3,00	1967	13,21	Asthmatiker, starke Reizungen, Beeinträchtigung Lungenfunktion	
Schwefeltrioxid				
-			ETW	
75,0	673	1,55	IDLH	
-			kein AGW	
Tetraethylblei				
-			ETW	
26,6	951	3,09	IDLH	
0,10	6113	127,58	AGW	Spitzenbegrenzung
0,50	3575	43,63	10 facher AGW	
Risiko der Fruchtschädigung auch bei Einhaltung des AGW nicht ausschließbar				
Tetramethylblei				
-			ETW	
31,0	903	2,78	IDLH	
0,10	6113	127,58	AGW	Spitzenbegrenzung
0,50	3575	43,63	10 facher AGW	
Risiko der Fruchtschädigung auch bei Einhaltung des AGW nicht ausschließbar				
Toluidiisocyanat (Diisocyanatolulol)				
0,15	5316	96,48	ETW	
18,1	1081	3,99	IDLH	
0,04	8675	256,92	AGW (verschiedene Isomere)	
0,14	5465	101,96	Momentanwert, der nicht überschritten werden sollte	
0,35	4026	55,34	10 facher AGW	
Vinylchlorid				
260,00	445	0,68	ETW	
-			IDLH	
7,77	1433	7,01	AGW (EU), MAK keiner, da kanzerogen	
77,00	667	1,52	10 facher AGW	

Insgesamt legen die Daten nahe, dass es für die weiteren Betrachtungen zielführend ist, die Verhältnisse in 100 m, 500 m und 1500 m Abstand von den Trassen zu betrachten.

6.3. Anzahl und Art möglicher betroffener Personen und Einrichtungen

Die Abbildung 5 zeigt die bestehende Trassenführung (Bestandsstrecke) durch Oldenburg einschließlich Einmündung bzw. Abzweigungen (pinkfarbene Markierung) und eine alternative Trasse entlang der A29 (orangefarbene Markierung).

6.3.1. Bestandsstrecke

Die bestehende Trasse durch Oldenburg und seine Vororte führt durch Wohngebiete. Neben Wohnbebauung finden sich entlang der Trasse Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser, Rettungsleitstellen und Einrichtungen der Feuerwehr, zum Teil mit Tiefgaragen in unmittelbarer Trassennähe. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Strecke verläuft auf einem Hochdamm (einschließlich Brücken), sowie durch den Personen- und Güterbahnhof mit einer erheblichen Zahl an Weichen. Zum Teil sind entlang der Trasse Lärmschutzwände bzw. -wälle angebracht und weitere vorgesehen (z.B. Bereich Pferdemarktbrücke). Die Strecke führt einerseits vom Hauptbahnhof Oldenburg (OL) in Richtung Wilhelmshaven (WHV) zusammen mit der Strecke Richtung Leer/Emden über ca. 600 m auf der nur zweigleisigen Pferdemarktbrücke in etwa 6 m Höhe.

Am westlichen Brückenende zweigt die Strecke in Richtung Wilhelmshaven nach Norden zweigleisig ab, die Strecke nach Leer/Emden verläuft eingleisig weiter in Richtung Westen auf einem Damm in zunächst etwa 5 bis 6 m Höhe. Die Strecke nach Wilhelmshaven biegt zweigleisig in Richtung Norden ab und verläuft zunächst auch auf einem ca. 5 m hohen Damm anschließend u.a. über zwei Stahlbrücken (Ziegelhofstr. und Saarstr.) sowie über eine Betonbrücke (Melkbrink) in etwa 3 m Höhe über Niveau (die querende Straße ist in diesem Bereich in Tieflage) und eine Betonunterführung für Fußgänger und Radfahrer (Nedderend). Bis zur Unterquerung der A 293 hat die Strecke ebenerdiges Höhenniveau erreicht, das sie bis zur nördlichen Stadtgrenze beibehält. Ein derzeit diskutierter Ausbau der Bestandsstrecke würde nach der Unterquerung der A 293 mit einem Damm beginnen, der an der Alexanderstraße etwa 5 m über Niveau verlief, um den hier vorhandenen erdgleichen Bahnübergang zu beseitigen, und danach in etwa bis zum Bahnübergang Bürgerbuschweg wieder ebenerdiges Niveau zu erreichen.

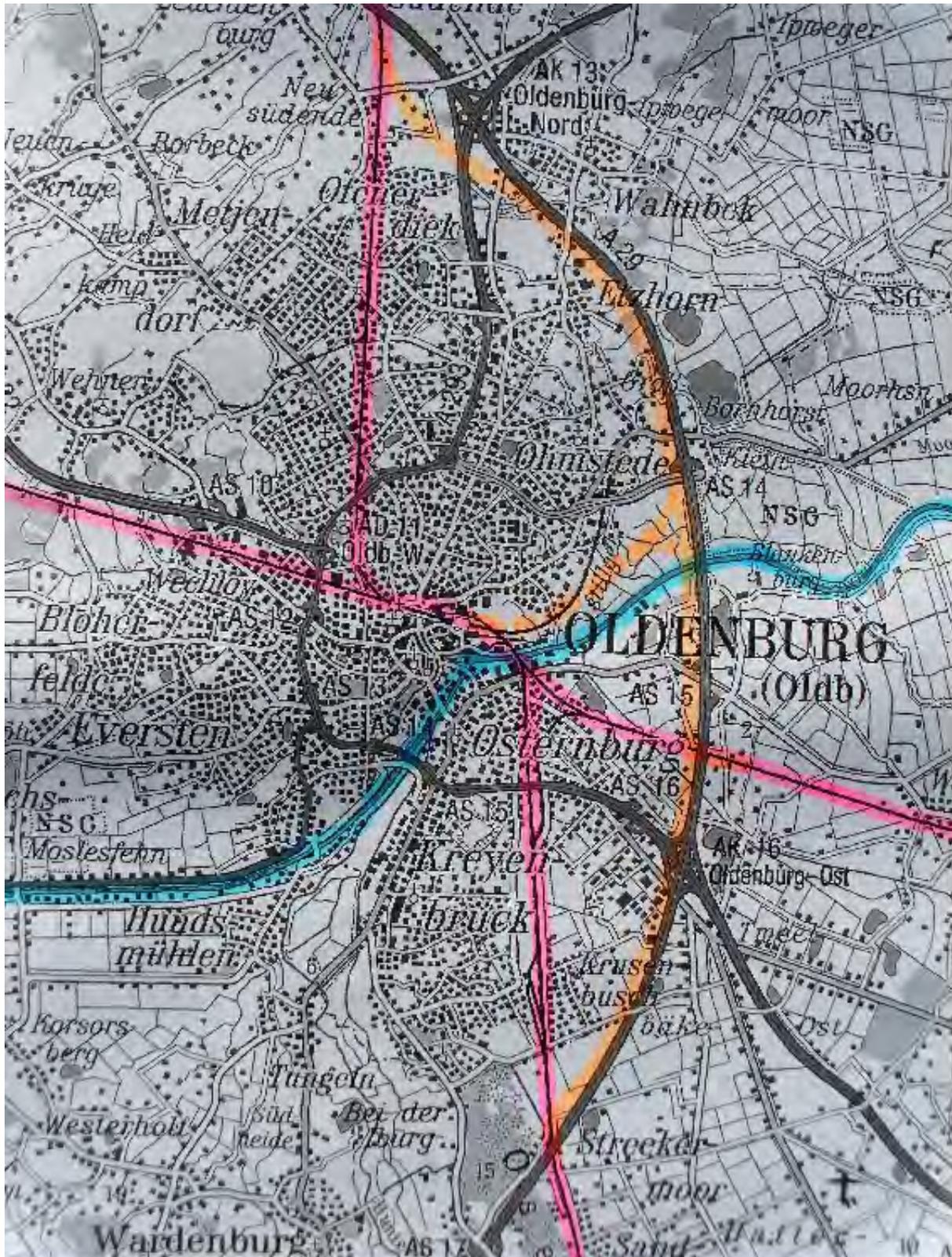


Abbildung 5: Übersicht über die zu vergleichenden Trassen (pinkfarben markiert: bestehende Trasse durch das Stadtzentrum von Oldenburg, orangefarben markiert: Alternative Trasse einschließlich Anbindung an den Güterbahnhof). Quelle: Auftraggeber

6.3.2. Umfahrung der Stadt Oldenburg Alternativtrasse entlang der A 29

Die Trasse zur Umfahrung der Stadt Oldenburg würde in etwa bei der Unterquerung der A 29 im Norden von Oldenburg an diese herangeführt werden können und bis kurz vor der Überquerung der Hunte am Fuß oder im Dammbereich der A 29 in Richtung Süden verlaufen. Für die Huntequerung ist eine binnenschiffahrtstaugliche Brücke, wahrscheinlich als Drehbrücke ausgebildet, in ca. 8m Höhe vorgesehen. Im weiteren Verlauf bis zur Annäherung an die Bahnstrecke Oldenburg-Bremen (OL-HB) würde sie wieder im Böschungsbereich der A 29 sein. Im Falle der Weiterführung der Umfahrung bis an die Kreuzung der A 29 mit der eingleisigen Bahnlinie nach Osnabrück würde die Strecke ebenso im Dammbereich der A 29 verlaufen.

Der Kartenausschnitt zeigt deutlich, dass die alternative Trasse entlang der A 29 überwiegend durch freie Landschaft mit vereinzelter bzw. lockerer Bebauung führt. Die geschlossenen Bebauungsgebiete haben einen Mindestabstand von ca. 550 m in Etzhorn, Bereich Kornstraße, der durchschnittliche Abstand ist jedoch deutlich größer.

6.3.3. Beiden Trassen gemeinsame Bereiche

Für die Bereiche Osternburg/BAB-Ausfahrt Oldenburg-Ost (Siedlungsbereiche 9c, 9d) sowie Oldenburg-Nord/Neusüdende ergeben sich aufgrund der Trassenführungen nur geringe Unterscheide bezogen auf die jeweiligen Trassenführungen. Beide Trassen haben eine Länge von ca. 12 km.

6.3.4. Generell möglicherweise betroffene Einwohner

In einem Korridor von jeweils 100 m links und rechts der jeweiligen Trasse (ca. 2,4 km²) wohnen entlang der Trasse durch die Stadt bei durchschnittlich 3000 Einwohner/km² 7 200 Einwohner, innerhalb 500 m Abstand ca. 36 000 Einwohner und bei 1 500 m Abstand ca. 108 000 Einwohner, die in einem Bereich wohnen, der von einem Gefahrgutunfall prinzipiell betroffen sein kann. Letzteres entspricht ca. 2/3 der Einwohnerzahl von Oldenburg.

Im Fall der Autobahn parallelen Trasse ergeben sich (Durchschnitt 75 Einwohner/km²) analog ca. 170 Einwohner in 100 m Entfernung von der Trasse, 850 Einwohner und 2 550 Einwohner.

6.3.5. *Im Fall eines konkreten Gefahrgutunfalls möglicherweise betroffene Einwohner*

Im Falle eines Gefahrgutunfalls im Sinne der hier gemachten Angaben wären dies konkret basierend auf der Annahme einer kreisförmigen Ausbreitung des freigesetzten Schadstoffs am Unfallort bei 1500 m Abstand eine Fläche von ca. 7 km² betroffen, bei einem Radius von 500 m 0,8 km² und bei 100 m eine Fläche von 0,03 km² (3 ha). Damit ergeben sich im Durchschnitt über die Einwohnerdichte für die Anzahl der dann betroffenen bzw. zu evakuierende Einwohner ca. 21 000, ca. 2 400 und ca. 90 Einwohnern im Fall der Trasse durch die Stadt sowie analog ca. 700, 80 und 3 Einwohner. Die Ergebnisse dieser Betrachtung sind als Übersicht in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Maximalwerte (4 670 Einwohner/km² im Siedlungsbereich 2b der Stadt, 1284 Einwohner/km² im Bezirk 9d) betragen analog ca. 33 000 und 8 900 Einwohner. Im Falle eines Unfalls mit Acrolein wären die Radien der möglicherweise betroffenen Fläche deutlich höher und damit auch die Anzahl der davon Betroffenen bzw. zu evakuierenden Einwohner (Radius 4 000 m als konservative Annahme, s. Tabelle 3).

In einer spezifischen Betrachtung ergaben sich für den Fall eines Gefahrgutunfalls mit Chlor im Bahnhof der südbadischen Kleinstadt Kenzingen aufgrund der Untersuchungen von Pötzsch (2004) folgende Daten, die auch für andere Kommunen, an deren Wohngebieten bzw. durch deren Wohngebiete eine Eisenbahntrasse mit Güterverkehr verläuft, sinngemäß zutreffen können: Ist der überwiegende Teil der ca. 60 t Chlor eines großen Kesselwagens nach 10 Minuten ausgeströmt und hat sich über eine Fläche von 13 ha verteilt (resultierende Konzentration > 1.000 Vol. ppm: sofort tödlich wirkend), ist mit 60 Soforttoten (im Falle einer mittleren Siedlungsdichte von 625 E/km²) zu rechnen, entsprechend bei vierfacher Siedlungsdichte mit ca. 500 Soforttoten. Gemäß Tabelle 3 wird der Grenzwert einer nach 30 Minuten tödlichen Chlorkonzentration erst nach einer Verteilung auf eine Fläche von ca. 80 ha erreicht. Man geht zwar allgemein davon aus, dass eine Freisetzung von Chlor wenig wahrscheinlich ist, da für Chlortransporte doppelwandige Kesselwagen benutzt werden. Dennoch besteht auch hier ein offensichtlich nicht unerhebliches Restrisiko: Chlor gilt wie Schwefeldioxid als ein Stoff mit hohem Schadenspotential. Dies geht nicht zuletzt aus die Bemühungen aller Hersteller von Chlor hervor, Chlortransporte soweit wie möglich zu vermeiden. Aus dem gleichen Grund haben verschiedene Staaten (z.B. Schweiz, Niederlande) für den Transport von Chlor und anderen Stoffe mit hohem Schadenspotential besondere Maßnahmen ergriffen (z.B. Geschwindigkeitsbe-

grenzung), um die damit verbundenen Risiken weiter zu minimieren.⁴²

Tabelle 4: Vergleich zwischen Trasse durch die Stadt und Autobahn paralleler Trasse in Bezug auf die im Fall eines Gefahrgutunfalls betroffenen Einwohner in unterschiedlichen Abständen

Trassenvariante	100 m Abstand	500 m Abstand	1500 m Abstand
Durch die Stadt Oldenburg	90	2 400	21 000
Autobahn parallel	3	80	700
Anzahl der bei beantragter Trasse zusätzlich betroffenen Einwohner	87	2 320	20 300

Unter dem Aspekt der von einem Gefahrgutunfall möglicherweise betroffenen Einwohnerzahlen ist die Autobahn parallele Trasse die klar vorzugswürdigere.

6.3.6. Vergleich der Anzahl der Gebäude

Neben der Anzahl möglicherweise betroffener Einwohner ist die Anzahl vorhandener Gebäude von Bedeutung. Einerseits wird die Zugänglichkeit der Trasse für Lösch- und Rettungseinsätze bei einer dichten Bebauung schwieriger werden, da insbesondere bebaute Grundstücke einen Zugang zur Trasse erschweren.

Tabelle 5: Gebäudezahlen entlang der bestehenden Bahntrasse durch Oldenburg in Richtung Norden, erhoben durch manuelle Auszählung anhand von Kartenmaterial.

Entfernung	100 m	500 m	1500 m
Westlich der Trasse	604	3386	9249
Östlich der Trasse	612	4334	13202

Andererseits ist der mögliche Sachschaden bei höherer Gebäudedichte größer und es wird die Ausbreitung einer Schadstoffwolke und insbesondere ihre Verdünnung dadurch meist mehr Zeit in Anspruch nehmen, als wenn die Luftbewegung ungehindert stattfinden kann. Eine Zählung von Gebäuden anhand von Kartenmaterial⁴³ ergab die in Tabelle 5

⁴² Der Europäische Verband der Chlorhersteller („Eurochlor“) empfiehlt Chlortransporte möglichst vermeiden. Der Verband der Chemischen Industrie in Deutschland stellt fest: In Deutschland keine größeren schwerwiegenden Unfälle beim Transport von Flüssigchlor gegeben. Die Industrie ist dennoch im Sinne von Responsible Care bestrebt, Chlortransporte möglichst zu vermeiden.“ Quelle: Chemietechnik, Heft 5, 2008

⁴³ Basis: Karte von Oldenburg, CD herausgegeben vom Katasteramt Oldenburg, T=P 50, Niedersach-

und 6 aufgelisteten Daten für die beiden alternativen Trassen. In allen drei Entfernungskategorien sind die Gebäudezahlen entlang der zur Autobahn parallelen Trasse geringer. Daher ist Trasse entlang der Autobahn eindeutig als die Vorzugswürdige anzusehen.

Tabelle 6: Exemplarisch erhobene Gebäudezahlen entlang der alternativen Trasse entlang der A29 (Zählung der Gebäude (Wohngebäude) vom Autobahnkreuz OL Nord entlang der A29 bis zur Stadtgrenze in Neuenwege, Richtung Bremen)²². Die östlichen und westlichen Teile von Wahnbek wurden mitgezählt.

Entfernung	100 m	500 m	1500 m
Westlich der Trasse	14	84	1945
Östlich der Trasse	14	474	1367

6.3.7. Rettungsreinrichtungen

Neben der Anzahl von Gebäuden spielt auch die Art ihrer Nutzung eine Rolle. Können von Gefahrgutunfällen Einrichtungen betroffen sein können, die von großer Bedeutung für Alarmierung und Koordinierung der Maßnahmen sowie der Versorgung Betroffener sind, ergibt sich ein weiteres Risikopotential. Die Tabellen 7 und 8 zeigen die für beide Trassenvarianten zu berücksichtigenden Einrichtungen dieser Art.

Entlang der Trasse durch die Stadt können im Fall eines Gefahrgutunfalls alle Arten von Einrichtungen betroffen sein, die für eine erfolgreiche Bewältigung eines solchen außergewöhnlichen Ereignisses von großer Bedeutung sind. Im Fall der Autobahn parallelen Trasse ist die nur für die Freiwillige Feuerwehr in Ohmstede gegeben, deren Ausfall oder Behinderung vergleichsweise leicht durch entsprechende Kräfte aus der unmittelbaren Nachbarschaft kompensiert werden kann.

Die Daten zeigen wiederum, dass sowohl hinsichtlich Anzahl als auch Entfernung der Einrichtungen von der jeweiligen Trassenvariante die Trasse entlang der Autobahn eindeutig als die Vorzugswürdige ist anzusehen ist.

Tabelle 7: Einrichtungen entlang der Bestandsstrecke durch die Stadt, die u.a, im Fall eines Gefahrgutunfalls wie er hier betrachtet wird, für die Alarmierung, Rettung und Versorgung der Einwohner wie auch die Koordination der Rettungskräfte von Bedeutung sind (Po= Polizei, FW: Feuerwehr, RD: Rettungsdienst, BF: Berufsfeuerwehr, FFW: freiwillige Feuerwehr, THW: Technisches Hilfswerk, KH: Krankenhaus) und ihrer Entfernung von der Bahntrasse

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
Po/FW/RD	Großleitstelle: Städte Oldenburg und Delmenhorst sowie der LK Ammerland, Cloppenburg, Oldenburg und Wesermarsch (rund 730 000 Einwohner); koordiniert Notrufe und Hilfersuchen in den Bereichen Brandschutz/Rettungsdienst/ Krankentransport und Polizei	Friedhofsweg 30	60
Po	Polizeiinspektion OL-WST	Friedhofsweg 30	30
BF/FFW	Feuerwache I /FFW Stadtmitte	Ibo-Koch-Str. 6	400
BF/FFW	Feuer- und Rettungswache II / FFW Osternburg (mit Sanitätszug)	Schützenhofstr.14	1300
FFW	Freiw. Feuerwehr Ofenerdiek	Langenweg 150	620
FFW	Freiw. Feuerwehr Haarentor (ABC-Zug)	Artillerieweg 59	880
RD	Rettungswache JUH	Industriestr. 1	350
RD	Rettungswache MHD	Nadorster Str. 133	1300
THW	Ortsverband Oldenburg	Artillerieweg 59	860
KH	Ev. Krankenhaus	Steinweg 13	440
KH	Pius Hospital	Georgstr. 12	200

Tabelle 8: Einrichtungen entlang der alternativen Trasse an der A 29, die u.a, im Fall eines Gefahrgutunfalls wie er hier betrachtet wird, für die Alarmierung, Rettung und Versorgung der Einwohner wie auch die Koordination der Rettungskräfte von Bedeutung sind (FW: Feuerwehr, FFW: freiwillige Feuerwehr, und ihrer Entfernung von der Bahntrasse

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
FW	FFW Ohmstede	Elsflether Str. 2	1200

6.3.8. Kinderkrippen, Kindergärten, Kindertagesstätten

In Kinderbetreuungseinrichtungen befinden sich oft viele Personen, die im Falle von Evakuierungsmaßnahmen oder im Fall einer Betroffenheit besonderer Aufmerksamkeit, Anleitung und Hilfe benötigen. Dies gilt insbesondere für Kinder. Zum Teil sind sie auch gegenüber Gefahrstoffen empfindlicher als andere Teile der Bevölkerung. Die jeweiligen Zahlen sind in den Tabellen 9 und 10 vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 9: Krippen, Kindergärten und Kindertagesstätten entlang der Bestandsstrecke durch die Stadt (KiTa: Kindertagesstätte, KiGa: Kindergarten)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
KiGa	Farbklexx	Würzburger Str. 17	20
KiTa	Dietrichsfeld	Alexanderstr.300	25
KiGa	Naturkindergarten	Hemmelsbäker Kanalweg 48	50
KiGa	Ev, Kindergarten Arche	Steenkenweg 7	130
KiGa	Ev. Kindergarten	Blumenstr. 6	140
Krippe	Krippe Bürgerfelder Str.	Bürgerfelder Str.55	190
KiTa	Ziegelhof Außenstelle	Ziegelhofstr. 54	190
KiTa	AWO Kindertagesstätte	Schulstr.21a	230
KiGa	Westerdiek	Westerdiek 6	245
KiTa	Ziegelhof	Weskampstr. 31	370
KiTa	Ev. Kindertagesstätte	Schinkelstr.60	385
Hort	Schülerinnentreff	Alexanderstr.388	425
KiTa	Philosophenweg	Philosophenweg 23	460
KiTa	DRK-Kindertagesstätte	Lagerstrasse 59	490
Krippe	Krippe Schiebenkamp	Schiebenkamp 32a	490
KiTa	Langenweg	Langenweg 165	540
Krippe	Krippe Dietrichsweg	Dietrichsweg 37	545
KiGa	Ev. Kindergarten	Eupener Str.2	550
KiTa	Picolina-Kinderbetreuung	Scheideweg 160 b	550
KiTa	Ev. Kindergarten	Von-Berger-Str.12	560

Fortsetzung Tabelle 9: Krippen, Kindergärten und Kindertagesstätten entlang der Bestandsstrecke durch die Stadt (KiTa: Kindertagesstätte, KiGa: Kindergarten)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
Krippe	Schneckenhaus	Friedlandstr.14	560
Krippe	Postkrümel e.V.	Am Festungsgraben 49	580
KiGa	Morgenstern	Metzer Str. 4	600
KiGa	KiGa im Engelland	Im Engelland 5	650
Krippe	Weidenkörbchen	Ofener Str. 12	650
KiGa	Kath.Kindergarten	Brookweg 30	680
KiGa	Schulweg	Schulweg 42	690
KiTa	AWO-Jan-Koopmann	Halsbeker Str. 3	740
KiTa	Kath.Kiga Heiligengeist	Dedestr.5	770
KiGa	Elternselbsthilfe Ellernbrok	Ellernbrok 7	830
KiGa	Ev. Kindergarten	Schützenweg 40	780
Krippe	Krippe Hermannstr.	Hermannstr. 54	890
KiGa	Waldorfkindergarten	Schützenweg 25	890
KiGa	Lindenallee	Lindenallee 45	930
Krippe	Krippe Sternenwiege	Alteneschstr. 3	960
KiTa	Freunde	Schulweg 80	1000
KiTa	KiTa St. Marien	Friesenstr. 33	1100
KiGa	Waldorfkinderg. Michael	Bremer Heerstr.15	1200
KiTa	KiTa Uhlhornsweg	Uhlhornsweg 49-55	1500
KiTa	Eltern Selbsthilfe e.V.	Wienstr. 4	1500

Die Daten zeigen wiederum, dass sowohl hinsichtlich Anzahl als auch Entfernung der Einrichtungen von der jeweiligen Trassenvariante die Trasse entlang der Autobahn eindeutig als die Vorzugswürdige anzusehen ist

Tabelle 10: Krippen, Kindergärten und Kindertagesstätten Bildungseinrichtungen entlang der alternativen Trasse entlang der A 29 (KiTa: Kindertagesstätte, KiGa: Kindergarten)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
KiGa	KiGa Drachenburg	Kornstr.40	560
KiTa	KiTa Ernst-Löwenstein Str.	Ernst-Löwenstein Str. 100	923
KiGa	Ev. KiGa Dietr. Brinkmann.Str.	Dietrich-Brinkmann-Str. 7	1240
KiGa	Schimmelweg	Schimmelweg 1	1280

6.3.9. Altenheime und Pflegeheime

In Alten- und Pflegeheimen befinden sich oft viele Personen, die im Falle von Evakuierungsmaßnahmen oder im Fall einer Betroffenheit besonderer Aufmerksamkeit, Anleitung und Hilfe benötigen.

Tabelle 11: Altenheime entlang der Bestandsstrecke durch die Stadt

Name der Einrichtung (Plätze)	Lage	Entfernung (ca.) in m
Seniorenwohnstift Ofenerdiek (105)	Langenweg 152	750
Altenpflegeheim FASENIHA Nord (22)	Rankenstrasse 31	980
Lambertistift (72)	Alexanderstr.62	690
Seniorenzentrum Haarentor (105)	Schützenweg 34	720
Stiftung Gertrudenheim (31)	Friesenstr.27	1160
Elisabethstift (42)	Philosophenweg 25	500
Friedas-Frieden-Stift (117)	Philosophenweg 17	510
Büsingstift (80)	Am Wallgraben 3	230
Domocil (106)	Drögen –Hasen-Weg 1	1430
Seniorenzentrum am Küstenkanal (103)	Kanalstr. 15	700

Dies gilt insbesondere für ältere und alte Menschen, die zum Teil auch wenig bewegungsfähig und/oder orientierungslos sind. Im Gegensatz zu anderen Einrichtungen befinden sich in diesen Einrichtungen wie auch in Krankenhäusern die Menschen nicht nur zu bestimmten Tageszeiten, sondern 24h am Tag. Zum Teil sind sie auch gegenüber Gefahrstoffen empfindlicher als andere Teile der Bevölkerung. Die jeweiligen Zahlen sind in den Tabellen sind in den Tabellen 11 und 12 vergleichend gegenübergestellt. Die Daten zei-

gen wiederum, dass sowohl hinsichtlich Anzahl als auch Entfernung der Einrichtungen von der jeweiligen Trassenvariante die Trasse entlang der Autobahn eindeutig als die Vorzugswürdige ist anzusehen ist.

Tabelle 12: Altenheime (bis 2000 m) entlang der alternativen Trasse entlang der A 29

Name der Einrichtung	Lage	Entfernung (ca.) in m
Altenpflegeheim Amarita (93 Pflegepl.)	Clausewitzstr. 5	1700

6.3.10. Bildungseinrichtungen

Neben den Betreuungseinrichtungen befinden sich auch in Bildungseinrichtungen vergleichsweise viele junge Menschen an einem Ort, ähnlich wie bei den Einrichtungen zur Betreuung von Kindern während der Tagstunden, in der Volkshochschule können Kurse auch am Abend stattfinden (Tabellen 13 und 14). Die Daten zeigen wiederum, dass sowohl hinsichtlich Anzahl als auch Entfernung der Einrichtungen von der jeweiligen Trassenvariante die Trasse entlang der Autobahn eindeutig als die Vorzugswürdige ist anzusehen ist.

Tabelle 13: Bildungseinrichtungen entlang der Bestandsstrecke durch die Stadt (WS: Werkstätten, VHS: Volkshochschule, HS: Hauptschule, RS: Realschule, GS: Grundschule, BBS: Berufsbildende Schule, GY: Gymnasium, OS Oberschule, FH: Fachhochschule, BFE, FWS: freie Waldorfschule, UNI: Universität)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
WS	Gemeinnützige Werkstätten	Baumschulenweg 9	50
VHS	Volkshochschule	Karlstr.	150
HS/RS	Paulusschule	Magaretenstr.46	220
GS	Drielake	Schulstr.	240
GS	Babenend	Babenend 15-18	250
BBS	BBS III Milchstr,	Milchstr.23	260
BBS	BBZ Tech.u.Gest.	Steißburger Str.2	280
GS	GS Wallschule	Georgstr. 1	330
GS	GS Ofenerdiek	Lagerstr.32	370

Fortsetzung Tabelle 13: Bildungseinrichtungen entlang der Bestandsstrecke (WS: Werkstätten, VHS: Volkshochschule, HS: Hauptschule, RS: Realschule, GS: Grundschule, BBS: Berufsbildende Schule, GY: Gymnasium, OS Oberschule, FH: Fachhochschule, BFE, FWS: freie Waldorfschule, UNI: Universität)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
GS	GS Röwekamp	Getrudenstr.27	370
GY	Liebfrauenschule	Auguststr.31	370
BBS	BBS III Willerstr.	Willerstr.9	380
OS	Oberschule Ofenerdiek	Lagerstr.32	425
GS	Diedrichsfeld	Liegnitzer Str.37	450
FH	Jade-Hochschule	Ofener Str.16-19	540
GY	Cäcilienchule	Haarenufer 11	660
GY	Herbartgymnasium	Herbartstr.4	690
FS	Fröbelschule	Eßkamp 126	715
Bfe	Bundestechnologiezentrum für Elektro- und Informationstechnik	Donnerschweer Str.184	720
GY	Neues Gymnasium	IAlexanderstr.90	735
GS	GS Auf der Wunderburg	Eckardstr.29	1370
OS	Oberschule Osternburg	Sophie- Schütte –Str. 10	1450
OS	Oberschule Alexanderstr.	Alexanderstr.90	760
GS	Heiligengeisttor	Ehnerstr.8	620
BBS	BBZ Tech.u.Gest.	Ehnerstr.132	830
GY	Altes Gymnasium	Theaterwall 11	840
GS	Bürgeresch	Junkerstr.17	880
GS	GS Haarentor	Schützenweg 25	925
GS	Kath.GS Harlingerstr.	Harlingerstr.14	930
FWS	Janusz-Korczak-Schule	Stedinger Str. 20-22	980
BBS	BBS Haarentor	Ammerländer Heerstr. 33/39	1000
FWS	Freie Waldorfschule	Blumenhof 9	1100
GS	Paul-Maar-Schule	Bremer-Herrstr. 250	1100

Fortsetzung Tabelle 13: Bildungseinrichtungen entlang der Bestandsstrecke (WS: Werkstätten, VHS: Volkshochschule, HS: Hauptschule, RS: Realschule, GS: Grundschule, BBS: Berufsbildende Schule, GY: Gymnasium, OS Oberschule, FH: Fachhochschule, BFE, FWS: freie Waldorfschule, UNI: Universität)

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
UNI	C. von. Ossietzky Universität	Ammerländer Heerstr.	ab 1200
GY	Graf-Anton-Günther-Schule	Schleusenstr. 4	1280
GS	Alexanderfeld	Alexanderstr.501	1350
GS	Nadorst	Donnerschweer Str.262	1400

Tabelle 14 Bildungseinrichtungen an der alternativen Trasse der A 29

Art der Einrichtung	Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
GS	GS Etzhorn	Butjadinger Str. 355	750
	Gemeinnützige Werkstätten	Rennplatzstr. 203	1100
GS	GS Ohmstede	Rennplatzstr, 182	1300

6.3.11. Sonstige Orte mit hoher Anzahl von Menschen

Je nach Tages- und Jahreszeit gibt es weitere Ort, die zu bestimmten Zeiten von vielen Menschen bevölkert sind, so z.B. Bahnhöfe und Busbahnhöfe, Einkaufszentren und -märkte, Veranstaltungszentren, Behörden etc. wie generell die Innenstadt.

Naturgemäß finden sich solche Einrichtungen vor allem in der Stadt und insbesondere der Innenstadt. Die Trasse durch die Stadt führt durch den Hauptbahnhof und nahe am Busbahnhof vorbei. Eine detailliertere Aufstellung findet sich in den Tabellen 15 und 16.

Auch unter diesem Kriterium ergeben sich zwischen den beiden Trassen erheblich Unterschiede, was Art und Anzahl der zu betrachtenden Orte angeht. Es wäre genauer zu prüfen, wie viele Menschen jeweils betroffen bzw. evakuiert werden müssten und wie gut dies möglich wäre. Hinsichtlich des Chemiewerks wäre zu klären, ob hier ein zusätzliches Risikopotential liegt in Abhängigkeit von der Art der dort gelagerten Stoffe. Allerdings sind die Abstände zur Trasse nahezu durchgehend deutlich größer als im Fall der Trasse durch die Stadt, in der die Abstände zum Teil deutlich unter 50 m sind. Insofern ist auch hier die Trasse entlang der Autobahn die eindeutig Vorzugswürdige.

Tabelle 15: Orte entlang der Bestandsstrecke, die zu bestimmten Tageszeiten von vielen Menschen bevölkert sind

Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
Edeka Markt	Am Stadtrand 19	100
Drogeriemarkt	Alexanderstr. (ehem. Pekol)	30
ALDI Markt	Alexanderstr. (ehem. Pekol)	30
Netto Markt	Alexanderstr. 316	150
Landwirtschaftskammer	Im Dreieck 12	100
Polizeiinspektion OL	Friedhofsweg 30	30
KDO (Rechenzentrum)	Elsässerstr.66	30
LUFA Nord-West, Institut für Futtermittel	Jägerstr. 23-27	ab 230
Edeka Markt	Ziegelhofstr. 105	70
Technologiezentrum, diverse Firmen, Institut der UNI, BTC Business Technologie Consulting ..., OFFIS	Industriestr.; Fritz-Book-Str.; Escherweg	120 - 350
Technisches Rathaus	Industriestr.1	ab 230
Finanzamt, Stadtverwaltung	im Bereich Pferdemarkt.	50 -150
Wochenmarkt	im Bereich Pferdemarkt.	50 -150
EWE-Netzzentrale für Strom & Gas	Donnerschweer Str. 20	250
Bürogebäude EWE; LzO, GSG ...	nördl. Hbf	unter 250
gesamte Innenstadt mit Fußgängerzone	div. Verwaltungsgebäude, Ämter, Museen, Geschäfte, Kaufhäuser, Einkaufszentrum, Banken, Gastronomie, Hotels, Theater, Kulturzentrum, Großkino ...	20 bis 1000
CinemaxX Oldenburg	Stau 79-85	240
EWE-Arena, Weser-Ems-Halle	nördl. Hbf.	200 - 400
Agentur für Arbeit	Stau 70	250

Tabelle 16: Orte entlang der Alternativstrecke, die zu bestimmten Tageszeiten von vielen Menschen bevölkert sind

Bezeichnung	Lage	Entfernung (ca.) in m
Kleiner Bornhorster See	wird im Sommer als Badesee genutzt	ab 140
Gewerbegebiet Donnerschwee	mehrere Betriebe, Modegroßhandel, Baustoffe, Chemiewerk mit Verwaltung	ab 1000
Gewerbegebiet Osthafen	mehrere Betriebe, u.a. Betonwerk, Lager für Steine / Kies, Kranfirma, Busdepot	ab 600 - 1250
OBI	Werrastr.3	ab 1000
Ikea	Holler Landstr. 89	ab 1350
Bäko „Bäcker- Einkauf“	Holler Landstr. 250-256	475

6.3.12. Trasse: Hochlage, Lärmschutzwände, Zugänglichkeit

Der Damm, auf dem die Autobahn verläuft, kann im Falle der Trasse entlang der Autobahn als zusätzlicher „Riegel“ für die Ausbreitung freigesetzter Gefahrstoffe dienen. Das Ausmaß Funktion und ihre Bedeutung hängt u.a. von der Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie den freigesetzten Gefahrstoffen und ihrer spezifischen Dichte ab. In welchem Umfang dadurch die Ausbreitung einer Gefahrstoffwolke verzögert oder gar verhindert wird und wie groß der Unterschied im Vergleich zur Trasse auf dem Hochdamm durch die Stadt Oldenburg sein kann, kann hier nicht quantifiziert werden, da es dafür einer detaillierten Betrachtung einschließlich einschlägiger Ausbreitungsrechnungen bedarf.

Aufgrund der an der Trasse entlang der A 29 praktisch nicht vorhandenen Bebauung und nicht notwendiger (was noch zu prüfen wäre) oder wahrscheinlich niedriger Einrichtungen zur Lärmreduktion würde ein Vorteil in der leichteren Zugänglichkeit bestehen⁴⁴, insbesondere, wenn entlang der Trasse zu diesem Zweck ein Fahrweg für die Rettungskräfte angelegt würde. Letzteres dürfte aus verschiedenen Gründen entlang der Trasse durch die Stadt kaum zu realisieren sein.

6.3.13. Anzahl Weichen

Auch wenn aufgrund fehlender Daten zu Transportkilometern keine Unfallwahrscheinlich-

⁴⁴ Laut Protokoll Verkehrsausschuss der Stadt Oldenburg, Sitzung vom 16.5.2011 zu Punkt 10.5 wird ausgeführt, dass „... die vorgesehenen Lärmschutzwände allerdings ein Hindernis für die Feuerwehr darstellen“. (s. dazu auch Aussage von Herrn Bremer anlässlich seines Vortrags am 10.4.2013, die dies bestätigt).

keiten abgeschätzt werden konnten, so belegen doch die dokumentierten Einbahnunfälle mit und ohne Gefahrgut, dass Weichen und enge Kurven dieses Risiko aus verschiedenen Gründen deutlich erhöhen. Die Anzahl der bei beiden Trassenvarianten in etwa notwendigen Weichen findet sich in Tabelle 17.

Tabelle 17: Anzahl der bei den jeweiligen Trassenvarianten von einem Gefahrguttransport in etwa zu passierende Weichen

	Bestandstrasse durch die Stadt OL	Trasse entlang der A 29
Anzahl Weichen	≈ 17	≈ 5

Auch hinsichtlich der Anzahl der Weichen ist die Alternativtrasse entlang der Autobahn die eindeutig vorzugswürdigere, nicht nur hinsichtlich ihrer Anzahl, sondern auch ihrer Lage (außerhalb von dicht besiedelten Gebieten).

6.3.14. Sonstige baulichen Aspekte

Die Trasse durch die Stadt Oldenburg weist höhengleiche Bahnübergänge, ältere Brücken und Kurven mit geringen Radien auf, die eine Unfallwahrscheinlichkeit erhöhen. An besonders relevanten Brücken sind die Pferdemarktbrücke und die Brücke über die Hunte zu nennen.

6.3.15. Verfügbarkeit von Löschmitteln

Ein wichtiger Punkt ist die Verfügbarkeit von Löschmitteln. Hinsichtlich nicht wässriger Löschmittel dürften hier keine oder nur unwesentliche Unterschiede zwischen den beiden Trassen bestehen. Die Verfügbarkeit von Wasser über Hydranten ist in der Stadt als besser einzuschätzen. Allerdings könnte diesem Mangel an der Trasse entlang der Autobahn Abhilfe geschaffen werden, indem im Rahmen des hier erfolgenden Neubaus der Strecke entsprechende Löschwasserzapfstellen, die hinsichtlich Anzahl und Kapazität ausreichend sind, vorgesehen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass lt. der mir berichteten Aussage des Leiters der Berufsfeuerwehr in Oldenburg, je nach Unfallort Wasser aus den Hydranten in Bornhorst, aus der Hunte und den Bornhorster Seen entnommen werden könne und eine Zuleitung bis 2000 m möglich sei, unklar sei aber, ob die Kapazität ausreiche.

6.3.16. Dichte der gasförmigen Stoffe

Stoffe mit einer geringeren Dichte als Luft verflüchtigen sich ggf. in die Atmosphäre. Die Geschwindigkeit hängt jedoch neben dem Dichteunterschied von vielen Faktoren (Tempe-

ratur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Feuchtigkeit u.a.). Für spezifisch leichtere gasförmige Gefahrstoffe kann die Autobahn bei der dortigen Trassenführung aufgrund ihrer etwas höheren Lage je nach Wetterlage in einer Richtung sogar als Riegel für diese Gefahrstoffe fungieren und damit die mögliche Ausbreitung einer Gefahrstoffwolke verringern. Gleiches gilt auch für den Fall einer Explosion und einer damit ggf. verbundenen Feuerwalze.

Stoffe mit einer höheren Dichte als Luft sammeln sich am Boden und insbesondere in Senken und Vertiefungen und werden dabei kaum oder gar nicht verdünnt, vielmehr ist mit einer Aufkonzentrierung zu rechnen. Neben der Toxizität ist dies auch für das Erreichen von Explosionsgrenzen von Bedeutung. Die Geschwindigkeit einer solchen Anreicherung hängt neben dem Dichteunterschied von vielen Faktoren ab (Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Feuchtigkeit u.a.). Eine Ausbreitung und Anreicherung in Vertiefungen etc. findet jedoch in jedem Fall, also auch bei Windstille statt. Von besonderer Bedeutung im hier betrachteten Kontext ist die dadurch erfolgende Anreicherung in Kellern und Parkhäusern, wenn diese von den Gasen und Dämpfen erreicht werden können, je näher der Unfallort an solchen Baulichkeiten liegt, desto höher die Gefahr einer solchen Anreicherung. Dies gilt auch für die unmittelbaren Bereiche unterhalb von Trassenhochlagen, insbesondere, wenn durch Gebäude ein weiteres Abfließen der Dämpfe und Gase nicht oder nur schwer möglich ist. Die Bedeutung dieses Faktors, der vor allem für die Trasse durch die Stadt von Bedeutung ist, mögen folgende Überlegungen illustrieren: Der Inhalt eines Kesselwagens mit 52t Brom führt bei dessen vollständiger Verdampfung 9.244 m³ reinen Bromdampf bei Normalbedingungen. Ein typischer Keller hat ein Volumen von 24m³, eine kleinere Tiefgarage im Kontext einer Wohnbebauung eingeschossig ca. 3 000 m³). Selbst wenn nur 1/3 der gesamten Brommenge austritt und verdampft, könnte sich damit diese Tiefgarage vollständig füllen. Bei einer Verdünnung mit Luft (z.B. 1:100, was immer noch einer innerhalb kurzer Zeit tödlichen Konzentration entspricht (siehe Tabelle 3, 35 ppm (232 mg/m³), Dichte Bromdampf 3,1 kg/m³) können sich auch größere Tiefgaragen mit Bromdämpfen in tödlicher Konzentration füllen. Erst bei einem austretenden Anteil von weniger als einem 13000stel (oder einer entsprechenden Verdünnung des gesamten Broms um einen Faktor von etwa 1:13 000 wäre dies nicht sofort tödlich).

Gase und Dämpfe, die spezifisch schwerer sind als Luft (höhere Dichte), können dort, wo sie sich sammeln, auch Stoffgemische bilden. Neben einer ggf. erhöhten Toxizität erschwert dies auch den Einsatz der Rettungskräfte aus verschiedenen Gründen (Giftigkeit,

früheres Erreichen der Explosionsgrenzen in Luft). Hinzu kommt, dass solche Örtlichkeiten i.a. elektrisch nicht explosionsgeschützt ausgerüstet sind, d.h. schon die Betätigung eines Lichtschalters kann eine Explosion auslösen. Im Falle der Tiefgarage bei der Pferdemarktbrücke, ist dies von ganz besonderer Bedeutung, da sich eine Tiefgarage unter dem Krankenhaus in der Nahe der Brücke befindet. Gase mit einer höheren Dichte als Luft sind beispielsweise Bromdämpfe, Chlor und Phosgen. Chlor und Phosgen wurden im ersten Weltkrieg als chemische Kampfstoffe eingesetzt, allerdings nur mit geringem Erfolg, da der Wind die Gaswolken zum Teil den eigenen Reihen zutrieb. Dies zeigt u.a., dass sich Gaswolken über eine gewisse Strecke ohne wesentliche Verdünnung unkontrolliert mit dem Wind ausbreiten können, was vermutlich einer der Gründe war, dass sie im zweiten Weltkrieg nicht eingesetzt wurden.

6.3.17. Wasserschutzgebiete

Insbesondere austretende Flüssigkeiten mit hoher Dichte und Löschwasser, das Schadstoffe enthält, können in Oberflächengewässer gelangen, in den Boden eindringen und ggf. ins Grundwasser gelangen. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Trinkwasser gewonnen wird. Ggf. ist daher eine genauere Betrachtung der von den jeweiligen Trassen betroffenen Wasserschutzgebiete anzuraten. Insbesondere sollte das Wassereinzugsgebiet „Fliegerhorst“, das in großer Länge bis direkt an die Bestandsstrecke heranreicht, überprüft werden.

6.3.1. Verkehr auf der Autobahn

Ggf. betroffene Autofahrer auf der Autobahn wurden für die Betrachtungen hier vernachlässigt, da diese sich aller Wahrscheinlichkeit nach deutlich geringere Personenzahlen beinhalten, die Eisenbahntrasse in weiten Bereichen sehr weit unterhalb der Fahrbahn verläuft und sich die Insassen vom Gefahrenort relativ schnell entfernen bzw. ferngehalten werden können (leichtere Information über Autoradio, das sehr häufig angeschaltet sein dürfte), ohne dass eine Spannungsfreischaltung der Oberleitung notwendig wäre. Die Fahrgastzelle kann zumindest für einige Zeit geschlossen gehalten werden, nachfolgender Verkehr kann gestoppt werden, ggf. stehender Verkehr kann in Fahrtrichtung abfließen, sofern es nicht z.B. infolge Rauchentwicklung zu Unfällen gekommen ist. Allerdings sollten zu diesem Punkt detailliertere Betrachtungen angestellt werden.

6.4. Zusammenfassender Vergleich der Trassen

Die aus den Berechnungen resultierenden Zahlen der möglicherweise von Gefahrgutunfäl-

len betroffenen Anzahl an Einwohnern sind zum Vergleich der beiden Trassen in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18: Vorzugswürdigkeit der Trassenvarianten unter verschiedenen Gesichtspunkten

Kriterium/ Trasse	durch die Stadt OL	parallel Autobahn A 29
Anzahl möglicher betroffener Einwohner insgesamt	---	+++
Anzahl der in einem konkreten Unfall möglicherweise betroffenen Einwohner	---	+++
Anzahl „Rettungs“einrichtungen	---	+++
Art der Rettungseinrichtungen	---	++
Insbesondere Krankenhäuser	---	+++
Rettungsleitstellen	---	+++
Anzahl Kinderbetreuungseinrichtungen	---	++
Anzahl Alten- und Pflegeheime	---	++
Zugänglichkeit der Trasse für Lösch- und rettungsarbeiten	---	+++
Bebauung	--	+++
Lärmschutz	--	+
Hochlage	--	
Anzahl Weichen	---	+++
Art und Anzahl Brückenbauwerke	--	-
Sonstiges wie z.B. Sammlung von Gefahrstoffen in Kellern, Tiefgaragen	---	+++
insgesamt	---	++

Für einen Vergleich der Trassen ergibt sich, dass bei Realisierung der Alternativtrasse entlang der A29 zur Umfahrung von Oldenburg bei allen der hier betrachteten Aspekte diese Trasse klar vorzugswürdig ist.

- Insbesondere sind im Falle eines Gefahrgutunfalls aus mehreren Gründen im Fall der Trasse parallel der A 29 deutlich weniger Einwohner betroffen. Aufgrund der großen Bedeutung der Vorwarnzeiten spielen die Abstände von Wohnbebauung zur Trasse dabei eine herausragende Rolle. Es müssen bei einem Gefahrgutunfall auf der alternativen zur Autobahn parallelen Trasse deutlich weniger Einwohner evakuiert werden bzw. steht dazu deutlich mehr Zeit zur Verfügung und ist ggf. nur eine

geringere Zahl an Einsatzkräften notwendig, sie ist also leichter und schneller zu bewältigen.

- Bei der zur Autobahn parallelen Trasse ist davon auszugehen, dass durch die parallel verlaufende Autobahn der gesamte Streckenabschnitt für die Rettungskräfte sehr viel besser zugänglich sind dürfte. Ggf. kann hier durch einen parallel zur Trasse verlaufenden Fahrweg die Zugänglichkeit weiter verbessert werden.
- Dies erleichtert es auch, notwendige Geräte an den Unfallort zu bringen, insbesondere, wenn dafür über Zufahrtswege Vorsorge getroffen wird, was im Fall der Trasse durch die Stadt infolge der baulichen Gegebenheiten und der Eigentumsverhältnisse nicht möglich ist.
- Alle Rettungsmaßnahmen können sich im Fall der zur Autobahn parallelen Trasse auf vergleichsweise wenige sofort betroffene Einwohner konzentrieren und dadurch deutlich an Effizienz gewinnen. Die Zahl der möglicherweise betroffenen Einwohner ist bei der Autobahn parallelen Trasse sehr viel geringer.
- Viele der Gase, die transportiert werden oder durch Zersetzung von transportierten chemischen Stoffen entstehen, sind spezifisch schwerer als Luft. Damit erlangen möglicherweise auch geringere Konzentrationen/freigesetzte Mengen eine hohe Relevanz (z.B. Chlor, Acrolein, Kohlendioxid, Phosgen). Nach ihrer Freisetzung sammeln sich diese Gase zunächst (bei Windstille) in der Tieflage, ohne in viele Gebäude einzudringen oder die Fahrbahn der Autobahn schnell zu erreichen.
- Es ist sehr gut dokumentiert, dass insbesondere Weichen Ursache für Unfälle im Schienenverkehr sind. Im Fall der Autobahn parallelen Trasse sind sehr viel weniger Weichen notwendig, so dass sich die Wahrscheinlichkeit eines Gefahrgutunfalls deutlich reduziert. Dies ist von besonderer Bedeutung, da gerade im Bahnhofsbereich von Oldenburg wie auch auf der gesamten Trasse durch die Stadt eine deutliche Zahl von Weichen passiert werden muss.
- Zwar wurde hier nicht explizit auf mögliche Schäden durch Explosionen und Verpuffungen eingegangen, jedoch ist offensichtlich, dass insbesondere im Fall von Explosionen und Feuer mit Gesundheitsschäden und ggf. Toten durch Hitze- und Druckwellen, Feuer und umherfliegende Wrackteile sowie Inhaltsstoffe der Kesselwagen zu rechnen ist, wenn die Trasse unmittelbar an Wohngebieten vorbei oder durch diese hindurchführt. Verbrennen die Inhaltsstoffe der Kesselwagen (und wei-

terer ggf. transportierter (Gefahr)güter) ist mit der Entstehung und Freisetzung weiterer Schadstoffe zu rechnen, die ebenfalls Gesundheitsschäden verursachen können. Im Falle des Nichtverbrennens werden durch sie sehr schnelle und umfangreiche Gefahrstofffreisetzungen, in kleinerem Abstand höhere Schadstoffkonzentrationen als die in der vorliegenden Abschätzung dokumentierten zu besorgen sein. Ebenso ist mit einer massiven Beeinträchtigung der Umwelt zu rechnen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass unter dem Aspekt Gefahrstoffe die Risiken und Schadenspotentiale im Fall der an der Autobahn verlaufenden Trasse deutlich geringer sein dürften als bei der Trasse durch die Stadt Oldenburg. Insoweit ist die Alternativtrasse eindeutig vorzugswürdig.

6.5. Bedeutung gemachter Annahmen

Die hier vorgelegten Daten und Überlegungen stellen eine vereinfachte, orientierende Abschätzung dar, da zum Teil nicht alle benötigten Daten in ausreichendem Detaillierungsgrad vorliegen (z.B. eine genaue Aufstellung aller geplanten Gefahrguttransporte hinsichtlich Art, Menge und Häufigkeit) oder detaillierte Rechnungen (z.B. Ausbreitungsrechnungen für die Schadstoffwolken bei unterschiedlichen Wetterlagen und Geländeprofilen) sehr aufwändig sind. Dennoch erlauben die Ergebnisse, die Unterschiede der beiden Trassen aufzuzeigen. Folgende Punkte sind besonders zu beachten:

- Es wurden nur die direkten und sofortigen Folgen einer vollständigen Gefahrstofffreisetzung betrachtet.
- Es wurde lediglich die Freisetzung des Inhalts eines Kesselwagens betrachtet, nicht die des Inhalts mehrerer Kesselwagen gleichzeitig. Sollte ein solcher Fall auftreten, unterschätzen die hier dargelegten Ergebnisse die möglichen Folgen eines solchen Gefahrgutunfalls durch Einzelstoffe da die Mengen unterschätzt werden und damit die sicheren Abstände zum Unfallort.
- Kombinationswirkungen von Stoffen (gleichzeitige Freisetzung unterschiedlicher Stoffe durch Unfall, Bildung von Reaktionsprodukten und eine Kombination aus beidem) wurden weder hinsichtlich ihrer Wirkung noch hinsichtlich möglicher Folgereaktionen (Zersetzung, Reaktion mit Wasser, Reaktionen unterschiedlicher Stoffe miteinander nicht weiter betrachtet, s. auch Kapitel 4.2).
- Besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Kleinkinder, ältere Menschen oder Menschen mit Vorerkrankungen, insbesondere der Atemwege, wie z.B. Asth-

matiker, wurden bei den errechneten Sicherheitsabständen nicht berücksichtigt. Dies liegt u.a. daran, dass kaum toxikologische Daten und verfügbar sind, die eine seriöse Abschätzung erlaubten.

- Langfristige Gesundheitsfolgen wie z.B. die Sensibilisierung für Allergien oder der Möglichkeit des Auslösens von Krebs infolge des Kontaktes mit freigesetzten Schadstoffen wurden ebenfalls nicht näher betrachtet, ebenso nicht die möglichen Folgen einer Inhalation von durch einen Gefahrgutunfall gebildeten zum Teil hochgiftigen und krebserregenden Reaktionsprodukte (z.B. halogenierte Dioxinen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) oder Stäube.
- Weiterhin wurde nicht betrachtet, dass sich die infolge eines Gefahrgutunfalls gebildete Schadstoffwolke zunächst auch ohne wesentliche Konzentrationsverringerung ausbreiten kann, was ggf. insbesondere im Fall der Trasse durch die Stadt Oldenburg zu weit mehr gefährdeten Anwohnern führen würde. Umgekehrt könnte die Schadstoffwolke insbesondere bei Stoffen mit geringerer Dichte als der von Luft durch günstige Wetterbedingungen schneller verdünnt werden.
- Die ausgewählten Stoffe beruhen im Wesentlichen auf der Auswertung der Unterlagen zur Genehmigung des Gefahrgutlagers im Jade-Weser-Port.²⁰ Insbesondere in der Kategorie „Sehr giftige Stoffe und Zubereitungen“ und „Sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen“ handelt es sich um Sammelbegriffe (s. Tabelle 2). Dadurch fehlen die Namen der einzelnen Stoffe, die zu diesen Kategorien gehören. Daher konnten nicht alle möglicherweise relevanten Stoffe in den Vergleich einbezogen werden. Inwieweit dadurch ein mögliches Risiko unterschätzt wurde, lässt sich nicht feststellen.
- Im Jade-Weser-Port ist auch ein Direktumschlag von Gefahrgütern möglich. Hierzu standen keine Zahlen zur Verfügung (Art und Menge der Stoffe). Daher konnten nicht alle möglicherweise relevanten in den Vergleich einbezogen werden. Inwieweit dadurch ein mögliches Risiko unterschätzt wurde, lässt sich nicht feststellen.
- Nicht zuletzt aus den zuvor genannten Gründen konnten keine Aussagen zur absoluten Anzahl der möglichen Kesselwagen, die auf der Strecke pro Tag, Woche, Monat oder Jahr bewegt werden sollen und zu erwartenden Gefahrguttonnenkilometern getroffen werden. Auf Unfallwahrscheinlichkeiten basierte Abschätzungen konnten daher nicht vorgenommen werden.

- Gasförmige Stoffe mit einer höheren Dichte als Luft werden nach ihrer Freisetzung das angenommene halbkugelförmige Volumen nicht vollständig ausfüllen, sondern sich vor allem in Bodennähe gemäß dem Dichteunterschied zur Luft in entsprechend höheren Konzentrationen ansammeln. Daher können die für solche Stoffe abgeschätzten sicheren Abstände zur Tasse im Falle einer Gefahrstofffreisetzung höher sein als hier berechnet, d.h. ggf. könnten mehr Menschen und z.B. Rettungsreinrichtungen betroffen sein.
- Die mögliche Gefährdung der Umwelt, z.B. durch Eintrag von Gefahrstoffen in Böden, Oberflächengewässer oder Grundwasser wurde nicht betrachtet. Jedoch sind sie im Falle eines Unfalls eher wahrscheinlich, indem Flüssigkeiten (z.B. Benzin, Diesel, Diisocyanattoluole) direkt in den Boden und Oberflächengewässer gelangen können andere Stoffe mit dem Löschwasser. Gleiches gilt für Grundwasser.
- Auswirkungen von Explosionen, Verpuffungen und Bränden wurden nicht betrachtet.

7. Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Auch wenn für die hier betrachtete Art von Gefahrgutunfällen von einer geringen Wahrscheinlichkeit auszugehen ist, ereignen sie sich, wie nicht zuletzt die Unfallstatistiken und konkrete Ereignisse bei Gefahrguttransporten auf der Schiene der letzten Jahre belegen, immer wieder. Solche Unfälle mit entsprechenden Auswirkungen können also nachweislich nicht ausgeschlossen werden. Es bleibt in jedem Fall ein statistisch gut belegbares und relevantes Restrisiko.

Hinzu kommt, dass solche Ereignisse, wenn sie sich denn ereignen, mit entsprechend großen Folgen, bis hin zu Todesopfern, einhergehen können. D.h. das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe ist höher als es auf den ersten Blick aufgrund der vergleichsweise niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeit erscheinen mag. Dabei ist zu beachten, dass generell, aber auch speziell in der hier betrachteten Region, das Aufkommen von Gefahrguttransporten auf der Schiene aus verschiedenen Gründen in der Zukunft deutlich zunehmen wird.

Die Folgen der Manifestation eines Risikos sind dabei je nach örtlichen und zeitlichen Gegebenheiten sehr unterschiedlich⁴⁵. Generell kann festgehalten werden, dass die Expositi-

⁴⁵ „Berücksichtigt man die in der Richtlinie ebenfalls festgelegte Bestimmung des Begriffes „Risiko“ (risk) als

onskonzentrationen und die Expositionszeiten von Bedeutung sind, die naturgemäß mit zunehmendem Abstand von der Trasse sinken und damit das Risiko einer (Gesundheits)gefährdung entsprechend abnimmt. Dies konnte für den hier vorgenommenen Vergleich der beantragten Trasse mit der zur Autobahn parallel verlaufenden Trasse klar gezeigt werden.

Es mussten aus verschiedenen Gründen zwar vereinfachte Annahmen gemacht werden, die insgesamt betrachtet jedoch einen tragfähigen Vergleich der beiden Trassen erlauben. Die zur Abschätzung der möglicherweise von einem Gefahrgutunfall betroffenen Einwohner herangezogenen Abstände reichen aus, um hinsichtlich der Risiken eine Abwägung zwischen den beiden Trassen vorzunehmen. Sie lassen jedoch keine Aussagen im Detail zu, z.B. zur Frage, wie viele Einwohner von welchem Gefahrstoff in einer bestimmten Ansiedlung jeweils genau betroffen sein könnten. Dazu müsste für jeden Ort eine eigene Berechnung durchgeführt werden in Abhängigkeit von der betroffenen Fläche, ihrer Siedlungsdichte und ihrer Siedlungsstruktur.

Durch den Mangel an aussagekräftigen Daten zu Art, Menge und Häufigkeit der transportierten Stoffe müssen Aussagen insbesondere für die krebserregenden Stoffe und die im Unfallgeschehen möglicherweise gebildeten hochgiftigen Zersetzungsprodukte offenbleiben. Sie können in ihrer Bedeutung letztlich nicht auch nicht hinsichtlich möglicher Langzeitfolgen abschließend abgeschätzt werden. Das Beispiel der Diisocyanatoluole zeigt zudem, dass u.U. noch größere als die für die aus der Liste der Gefahrgutunfälle⁹ ausgewählten Stoffe (und ihrer Zersetzungsprodukte) errechneten Sicherheitsabstände zu berücksichtigen sind.

Eine Freisetzung geringerer Mengen als der hier betrachteten führt lediglich zu einer geringeren Anzahl Betroffener, ändert den grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Trassen insbesondere hinsichtlich eines möglichen Risikos nicht, reduziert jedoch aufgrund der Siedlungsstruktur die Anzahl der insgesamt möglicherweise betroffenen Einwohner vor allem im Fall der Autobahn parallelen Trasse, da dort keine Einwohner unmittelbar an der Trasse wohnen und somit die Freisetzung geringer Gefahrstoffmengen ei-

die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb einer bestimmten Zeitspanne oder unter bestimmten Umständen (probability, frequency) eine bestimmte Wirkung (consequence, severity) eintritt, dann wird klar, dass der risikobasierte Ansatz bei der zukünftigen, europäischen und damit auch der deutschen "Störfallvorsorge" immer mehr an Bedeutung gewinnt." Quelle: Forschungsbericht 269: Abschlussbericht des F+E-Vorhabens Risikoabschätzung Chlorklagerung/Chlortransportunter Einbeziehung der Seveso II-Richtlinie und der Störfallverordnung (2000). Herausgeber: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin 2005

nerseits oder die Bildung hochtoxischer Zersetzungsprodukte andererseits ohne gravierende Folgen bleiben dürfte.

Bzgl. Explosionen, Verpuffungen und den damit einhergehenden unmittelbaren Folgen wie z.B. Feuer(walzen) sowie Eintrag von freigesetzten festen und flüssigen Gefahrstoffen in Oberflächengewässer sowie Grundwasservorräten wurden hier keine weitergehenden Betrachtungen angestellt. Jedoch liegt es für erstere auf der Hand, dass auch hier die Autobahn parallel Trasse Vorteile aufweisen dürfte.

Grundsatz eines jeden Risikomanagements ist es, zuallererst die Risiken soweit wie möglich zu vermeiden. Erst dann sollten Maßnahmen zu ihrer Verminderung bzw. im Falle des Eintretens der Folgen zu ihrer Beseitigung ergriffen werden. Die Risiken sinken mit zunehmendem Abstand von der Trasse. Dies gilt nicht zuletzt aufgrund der sehr viel längeren Vorwarnzeiten und der sehr viel geringeren Anzahl möglicherweise betroffener Einwohner und der möglicherweise zu beklagenden Soforttoten. Mit steigendem Abstand steigen im Falle eines Unfalls, wie auch immer der konkret aussieht, die Chancen eines erfolgreichen Managements bzw. die Erfolgswahrscheinlichkeit der ergriffenen Maßnahmen.

Trotz des orientierenden Charakters und der genannten Einschränkungen kann für die wesentliche Fragestellung, nämlich nach dem Unterschied der im Falle einer Gefahrstofffreisetzung betroffenen Anzahl von Anwohnern hinsichtlich der beiden Trassen, der klare Schluss gezogen werden, dass die zur Autobahn parallele Trasse unter dem Blickwinkel der Gefahrstoffproblematik eindeutig die mit den geringeren zu erwartenden Risiken und dem niedrigeren Schadenspotential und daher die eindeutig Vorzugswürdige ist.

8. Empfehlungen

Es wird empfohlen, folgende Punkte genauer zu betrachten:

- Detaillierte Daten zu Art, Menge und Häufigkeit der transportierten Stoffe: Die hier getroffenen Aussagen beruhen im Wesentlichen auf der Auswertung der Unterlagen zur Genehmigung des Gefahrgutlagers im Jade-Weser-Port. Es sollte daher geklärt werden, welche Stoffe und zugehörige Mengen sich hinter den Sammelbezeichnungen „Giftige Stoffe und Zubereitungen“ und „Sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Zubereitungen“ verbergen, wie die Umschlagzahlen im Gefahrstofflager sind und inwieweit durch deren Nichtberück-

sichtigung ein mögliches Risiko unterschätzt wurde. Das gleiche gilt für die Gefahrgüter im Direktumschlag.

- Die Europäische Kommission legt bei den von ihr kontrollierten Umweltverträglichkeitsprüfungen zu Eisenbahnvorhaben auf Aussagen zur Unfallwahrscheinlichkeit und zu Unfallfolgen großen Wert⁴⁶. Daten und Abschätzungen zur Unfallwahrscheinlichkeit gemäß den Anforderungen der EU-Kommission sollten daher erhoben werden.
- Daten zum Transport von Stoffen wie Chlor⁴⁷, Schwefeltrioxid, Phosgen und anderen mit hohem Schadenspotential sollten möglichst detailliert erhoben werden, um mögliche Risikominderungspotentiale identifizieren zu können.^{48, 49}
- Es sollte geprüft werden, wie mit den Risiken raum-ordnungspolitisch „... in praktischer und zweckmäßiger Form umgegangen werden kann ..., da es sich im Falle eines Unfalles um Konsequenzen handelt, die die Welt außerhalb der Bahn zu tragen hat“.⁵⁰
- Es sollte geprüft werden, ob gemäß den Empfehlungen bzw. der Praxis in anderen Ländern wie z.B. der Schweiz oder den Niederlanden Beförderungseinschränkungen und Geschwindigkeitsbegrenzungen zu erlassen sind, um Risiken möglichst gering zu halten. Dies würde die im Falle der Autobahn parallelen Trasse noch vorhandenen kleineren Risiken deutlich weiter reduzieren. Z.B. gilt in den Niederlanden und der Schweiz für den Transport von Gefahrstoffen mit hohem Schadenspotential wie z.B. Chlor eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h, was zu einer Reduktion des Risikos um den Faktor 25 führt.^{51,52} Hauptsächlich ist hier die Reduktion

⁴⁶ Umwelt-Leitfaden des Eisenbahn-Bundesamtes, Teil III, Anhänge Seite 17/18 von Juni 2005

⁴⁷ Der Europäische Verband der Chlorhersteller („Eurochlor“) empfiehlt Chlortransporte möglichst vermeiden. Der Verband der Chemischen Industrie in Deutschland stellt fest: In Deutschland keine größeren schwerwiegenden Unfälle beim Transport von Flüssigchlor gegeben. Die Industrie ist dennoch im Sinne von Responsible Care bestrebt, Chlortransporte möglichst zu vermeiden.“ Quelle: Chemietechnik, Heft 5, 2008

⁴⁸ „Große Mengen des verflüssigten Chlors werden derzeit in Kesselwagen per Schienenverkehr zu den Abnehmern gebracht. Ein Risiko, das europäische Länder wie die Niederlande oder die Schweiz nicht mehr eingehen wollen und deshalb verboten bzw. eingeschränkt haben.“ Quelle: Chemietechnik, 5, 2008

⁴⁹ Gemeinsame Erklärung der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI) und der Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB AG) sowie des Eidgenössischen Departementes für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) über die Reduktion der Risiken beim Transport gefährlicher Güter mit sehr großem Schadenspotenzial wie Chlor und Schwefeldioxid.

⁵⁰ Zwischenstaatliche Organisation für den Internationalen Eisenbahnverkehr AG Kapitel 1.9, Beförderungsbeschränkungen durch die zuständigen Behörden, Sitzung am 23./24. Juni 2003

⁵¹ Zwischenstaatliche Organisation für den Internationalen Eisenbahnverkehr INF D2, TOP 3 b, Geschwindigkeitsabsenkung von Gefahrgutzügen, AG Tank und Fahrzeugtechnik, Sitzung am 6./7. April 2006

⁵² „Danach sollen untragbare Risiken beim Gefahrguttransport auf der Schiene zwischen 2003 und 2010

der Unfallwahrscheinlichkeit und der Unfallfolgen von Vorteil. Zum gleichen Ergebnis kommt eine von der Deutschen Bahn in Auftrag gegebene Studie von Basler und Partner (1994): Reduzierung des Risikos bei vertretbarem Kostenaufwand. „Durch Schaffung eines kontinuierlichen Verkehrsflusses auf der Schiene könnte trotz deutlicher Geschwindigkeitsabsenkung eine Verbesserung der Transportzeiten stattfinden. Es ergeben sich Vorteile für die Betriebssicherheit und die Wirtschaftlichkeit“ (zitiert in:⁴⁵).

- Betrachtungen zur unfallbedingten Umweltgefährdung (z.B. Oberflächen- und Grundwasser) sollten gem. der Europäischen Kommission angestellt werden.⁵³
- Ggf. sollten zu den möglicherweise betroffenen Insassen von Fahrzeugen auf der Autobahn detailliertere Betrachtungen angestellt werden, z.B. im Rahmen einer Ausbreitungsrechnung, um die Rolle des Autobahndamms als „Schutzwall“ für die Nutzer der Autobahn, aber auch die Siedlungsgebiete besser einschätzen zu können.

Ende des Dokuments

schrittweise eliminiert werden. Die Vereinbarung enthält sowohl freiwillige Vorkehrungen seitens der Chemiebranche und SBB wie auch gesetzliche Anpassungen zur Erhöhung der Sicherheit. ... Die von den toxischen Gasen Chlor und Schwefeldioxid ausgehenden Risiken sollen etappenweise eingedämmt werden. Mit Beginn 2006 dürfen diese Gefahrenstoffe nur noch unter verschärften Bedingungen (Sonderfahrten, spezielle Kesselwagen) befördert werden. Vier Jahre danach wird der Einsatz solcher Wagen obligatorisch. Während der Übergangsfrist gilt eine Höchstgeschwindigkeit von 60km/h sowie die Auflage, wo immer möglichen Nachtsprung zu nutzen“. Quelle: Seifert W. (2003). Mehr Sicherheit. In Cargo Nr. 3, 2003, 16ff

⁵³ Schrift des Eisenbahnbundesamtes, Hinweise zur ökologischen Wirkungsprognose in UVS, LBP und FFH-Verträglichkeitsprüfungen bei Aus- und Neubaumaßnahmen von Eisenbahnen des Bundes, Stand März 2004 S.14