



Sicherheitsmanagement

Risikoanalysen

Umweltschutz

Ausfertigung: 1 von 2.

# Gutachten

**Nr.: STG\_0032\_06\_2019**

Überarbeitete Fassung entsprechend Schreiben des  
Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. vom 04.05.2020 (Az.: 54.1-2511/LÖ-  
007/01, 54.1-2511/LÖ-003/01) und vom 11.05.2020 (Az.: 54.1-8823.12/LÖ-  
007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01) und des Schreibens vom 10.08.2020 (Az.:  
(Az.: 54.1-8823.12/LÖ-007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01)

zur Ermittlung „angemessener Sicherheitsabstände“ im Sinne des  
Leitfadens KAS-18 und der Arbeitshilfe KAS-32 zur Umsetzung des  
§ 50 BImSchG.

Die „angemessenen Sicherheitsabstände“ beziehen sich auf den  
Betriebsbereich der

**DSM Nutritional Products GmbH in Grenzach.**

Erstellt im Auftrag der Gemeinde Grenzach-Wyhlen  
durch

**Dr. H. Spangenberger,  
Gesellschaft für Anlagen- und Betriebssicherheit mbH.**

**D-67098 Bad Dürkheim**

Bad Dürkheim, Oktober 2020

Az. STG\_0032\_06\_2020

**VERTRAULICHKEITSSTUFE: Öffentlich**



**Auftraggeber:** Gemeinde Grenzach-Whylen

**Gutachtennummer:** STG\_0032\_06\_2019

**Auftrag vom:** 19.12.2012

**Auftragsgegenstand:** Erstellung eines Standortgutachtens zur Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ im Sinne des Leitfadens KAS-18 und der Arbeitshilfe KAS-32 zur Umsetzung des § 50 BImSchG. Grundlage sind potenzielle Störfallszenarien ausgehend von Anlagen des Betreibers DSM Nutritional Products GmbH in Grenzach, Emil-Barell-Straße 3.

**Betreiber:** DSM Nutritional Products GmbH in Grenzach, Emil-Barell-Straße 3.

**Auftragnehmer:** Dr. H. Spangenberg, Gesellschaft für Anlagen- und Betriebssicherheit mbH.

**Verantwortlicher Sachverständiger:** Dipl. Phys. Dr. H. Spangenberg  
in Baden-Württemberg bekanntgegebener Sachverständiger nach §29a BImSchG.

**Verteiler:** Gemeinde Grenzach-Whylen, Herr Bürgermeister Dr. Benz,  
DSM Nutritional Products GmbH,



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	7
0 Hinweis, Kurzfassung des Prüfergebnisses und Fazit .....	11
1 Aufgabenstellung .....	17
1.1 Auftragsgrundlage .....	17
1.2 Beschreibung der Teilaufgaben.....	18
1.3 Verwendete Informationen und Unterlagen.....	19
2 Durchführung der Begutachtung.....	22
2.1 Ablauf der Begutachtung .....	22
2.2 Umfang der Begutachtung.....	22
2.3 Gegenstand der Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ .....	23
2.3.1 Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH.....	25
2.3.2 Ausbreitungsrelevante Standortfaktoren .....	38
3 Ergebnis der Einzelfallbetrachtungen .....	40
3.1 Bauleitplanung und Störfallrecht.....	40
3.2 Anwendung des Leitfadens KAS-18.....	41
3.2.1 Randbedingungen aus dem Leitfaden KAS-18 .....	41
3.2.2 Festlegung der Freisetzungsszenarien für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH.....	45
3.3 Berechnung der Szenarien .....	48
3.3.1 Berechnung des Freisetzungspotenzials nach den Vorgaben im Leitfaden KAS-18.....	48
3.3.2 Berechnung von Explosionsauswirkungen.....	56
3.3.3 Berechnung von Auswirkungen eines Lachen- oder Poolbrandes.....	61
3.3.4 Bewertung der Szenarien .....	65
3.4 Ergebnis der Berechnungen für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH .....	66
3.4.1 „Angemessene Sicherheitsabstände“, die sich aus der Anwendung der Beurteilungswerte und Konventionen nach dem Leitfaden KAS- 18 ergeben.....	67
4 Zusammenfassung .....	72
Anhang.....	76
Anhang 3: Stoffdaten .....	77



Anhang 4: Literatur.....86

## Abbildungsverzeichnis

**Abb. 2.3-1:** Achtungsabstand zur Beteiligung im Rahmen der Bauleitplanung [Quelle: Regierungspräsidium Freiburg/Brsg.] ..... 24

**Abb. 2.3-2:** Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH (Übersicht) [Bildquelle: Google]. ..... 26

**Abb. 2.3-3:** Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH [Bildquelle: Google]. ..... 27

**Abb. 2.3-4:** Örtliche Lage der für die Störfall-Szenarien zugrunde gelegten Freisetzungsorte [Bildquelle: Google]. ..... 28

**Abb. 2.3-5:** Geschwindigkeits- und Flusssohle-Profile bei Schupfen Staffelwald: Fließgeschwindigkeit über der Flussbreite bei Abflussmengen 300 und 500 m<sup>3</sup>/s [Quelle: BEHA-1998]..... 29

**Abb. 2.3-6:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während eines Jahres [Quelle: List-2002]. ..... 31

**Abb. 2.3-7:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während eines Jahres [Quelle: List-2002]. ..... 31

**Abb. 2.3-8:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse I [Quelle: List-2002]. ..... 33

**Abb. 2.3-9:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse I [Quelle: List-2002]. ..... 33

**Abb. 2.3-10:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse II [Quelle: List-2002]. ..... 34

**Abb. 2.3-11:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse II [Quelle: List-2002]. ..... 34

**Abb. 2.3-12:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/1 [Quelle: List-2002]..... 35



<b>Abb. 2.3-13:</b> Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/1 [Quelle: List-2002].....	35
<b>Abb. 2.3-14:</b> Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/2 [Quelle: List-2002].....	36
<b>Abb. 2.3-15:</b> Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/2 [Quelle: List-2002].....	36
<b>Abb. 2.3-16:</b> Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse IV [Quelle: List-2002]. .....	37
<b>Abb. 2.3-17:</b> Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse IV [Quelle: List-2002]. .....	37
<b>Abb. 3.3-1:</b> Berechnete Explosionsüberdrücke des Multi-Energy-Model [Bildquelle: van den Berg-1985]. .....	59
<b>Abb. 3.3-2:</b> Dauer der positiven Druckphase der Explosionsdruckwelle im Multi-Energy-Model [Bildquelle: van den Berg-1985]. .....	59
<b>Abb. 3.3-3:</b> Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme [Bildquelle: KAS-18, Anhang 3, Kap. 3.1]. .....	62
<b>Abb. 3.4-1:</b> „Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Freisetzungsszenarien bezogen auf die ERPG-2-Werte für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH mit Überschreitung der Grenzen des Betriebsbereichs nach Norden und Westen [Bildquelle: Google].....	69
<b>Abb. 3.4-2:</b> „Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Freisetzungs-, Brand- und Explosionsszenarien bezogen auf die ERPG-2-Werte bei toxischen Auswirkungen für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH mit Überschreitung der Grenzen des Betriebsbereichs nach Osten und Süden [Bildquelle: Google].....	70

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 2.3-1:</b> Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier (VDI 3782, Blatt 1). .....	32
<b>Tab. 2.3-2:</b> Ausbreitungsklassen und Windstatistik für den Raum Grenzach-Wyhlen [Quelle: List-2002]. .....	32



<b>Tab. 3.2-1:</b>	Konventionen zur Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände für Stoffe, die mit Wasser giftige Gase bilden [Quelle: Arbeitshilfe KAS-32-2015]. .....	43
<b>Tab. 3.3-1:</b>	Explosionsklassen im Multi-Energy-Model [Quelle: TNO-1996]. .....	60
<b>Tab. 3.3-2:</b>	Zulässige kritische Strahlungsintensitäten [Quelle: KAS-18]. .....	65
<b>Tab. 3.4-1:</b>	„Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Szenarien auf Basis der Beurteilungswerte und Konventionen des Leitfadens KAS-18 bzw. KAS-32 für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH. ....	68
<b>Tab. A3-1:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Ammoniak. ....	78
<b>Tab. A3-2:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Chlor. ....	79
<b>Tab. A3-3:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Chlor. ....	80
<b>Tab. A3-4:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Cyanwasserstoff. ....	81
<b>Tab. A3-5:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Ethylchlorformiat. ....	81
<b>Tab. A3-6:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Furan. ....	83
<b>Tab. A3-7:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Methylchlorformiat. ....	84
<b>Tab. A3-8:</b>	Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkenndaten für Schwefelkohlenstoff. ....	84
<b>Tab. A3-9:</b>	Zusammenstellung der ERPG- und AEGL- bzw. PAC-Werte in ppm und des Gefahrenindize „GI“ in bar/ppm für die relevanten Stoffe. ....	85



## Abkürzungsverzeichnis

„Achtungsabstand“	<p>Abstandsempfehlungen nach Kap. 3.1 Leitfaden KAS-18, bei dessen Unterschreitung der Planungsgrundsatz nach § 50 BImSchG „gefährdet sein kann“. Im Sinne des Leitfadens handelt es sich hierbei <u>nicht</u> um einen Schutzabstand, der nicht unterschritten werden darf.</p>
AEGL-Werte	<p><b>„acute exposure guideline levels“</b> Vom National Advisory Committee for Acute Guideline Levels for Hazardous Substances des National Research Council werden für ausgewählte Stoffe Kurzzeitwerte AEGL-Werte festgelegt. AEGL sind Spitzenkonzentrationswerte von Schadstoffen, die zur Abschätzung der Auswirkungen einer Exposition der Allgemeinbevölkerung gegen Chemikalien bei Störfällen aber auch als geeignete Referenzwerte für die Störfallplanung und Prävention dienen sollen. Die AEGL sollen sich auf die Allgemeinbevölkerung als Schutzgut beziehen und auch den Schutz von empfindlichen Personengruppen einschließen. Der Schutz extrem empfindlicher Einzelpersonen kann jedoch nicht sicher gewährleistet werden. AEGL beschreiben 3 bestimmte Schweregrade von Gesundheitseffekten nach Exposition für definierte Zeiträume. Die Werte sind für Expositionsdauern von 10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden und 8 Stunden abgeleitet. <b>AEGL-1</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration, ab der die allgemeine Bevölkerung spürbares Unwohlsein erleiden kann. Luftgetragene Stoff-Konzentrationen unterhalb des AEGL-1-Wertes repräsentieren Expositionsschwellen, die leichte Geruchs-, Geschmacks- oder andere sensorische Reizungen hervorrufen können. <b>AEGL-2</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration, ab der die allgemeine Bevölkerung irreversible oder andere schwerwiegende langandauernde Schädigungen oder eingeschränkte Fluchtmöglichkeiten erleiden kann. Konzentrationen unterhalb des AEGL-2-Wertes aber oberhalb des AEGL-1-Wertes repräsentieren Expositionsschwellen, die spürbares Unwohlsein hervorrufen können. <b>AEGL-3</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration, ab der die allgemeine Bevölkerung lebensbedrohende Schädigungen oder Tod erleiden kann. Konzentrationen unterhalb des AEGL-3-Wertes aber oberhalb des AEGL-2-Wertes repräsentieren Expositionsschwellen, die irreversible oder andere schwerwiegende langandauernde Schädigungen oder eingeschränkte Fluchtmöglichkeiten hervorrufen können.</p>
„Angemessener Sicherheitsabstand“	<p>Im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung ermittelter Abstand nach Kap. 3.2 Leitfaden KAS-18, bei dessen Unterschreitung der Planungsgrundsatz nach § 50 BImSchG „gefährdet sein kann“.</p>



Auswirkungsszenarien Szenarien wie Stofffreisetzung, Brände oder Explosionen, bei denen durch die toxische Wirkung der freigesetzten Stoffe, durch Wärmestrahlung oder Druckwellen Auswirkungen auf benachbarte Einrichtungen und oder Personen sowie die Umwelt eintreten können.

BlmSchG

Bundes-Immissionsschutz-Gesetz

BlmSchV

Verordnung zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz

BetrSichV

Betriebssicherheits-Verordnung

BKW

Bahnkesselwagen

CCPS

Center for Chemical Process Safety

CPD

Committee for the Prevention of Disasters

CFD

Computational Flow Dynamics

CPR

Commissie Preventie en Rampen door gevaarlijke stoffen

DIN

Deutsches Institut für Normung

Einwirkungsrisiko

Beschreibt das Risiko, dass an einem Ort, an dem sich Personen aufhalten, ein bestimmter Personenschaden mit einer bestimmten Häufigkeit eintritt (z. B. 1 Toter in 10 Jahren).

US-EPA

United States Environmental Protections Agency

**„emergency response planning guideline“**

Hierbei handelt es sich wie bei den AEGL-Werten um drei Gefahrenniveaus mit ähnlichen festgelegten Kriterien. Im Unterschied zu den AEGL-Werten werden sie jedoch nur für eine Expositionszeit von einer Stunde berechnet.

Die ERPG-Werte werden, sobald AEGL-Werte festgelegt sind, durch diese ersetzt.

**ERPG-1:** Schwelle zum spürbaren Unwohlsein:

Maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde exponiert werden könnten, ohne dass sie unter mehr als leichten, vorübergehend nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. ohne dass sie einen unangenehmen Geruch wahrnehmen.

ERPG-Werte

**ERPG-2:** Schwelle zu schwerwiegenden, andauernden, fluchtbehindernden Wirkungen:

Maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde exponiert werden könnten, ohne dass sie unter irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. solche entwickeln, die die Fähigkeiten einer Person beeinträchtigen könnten, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

**ERPG-3:** Schwelle zur tödlichen Wirkung:

Maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde exponiert werden könnten, ohne dass sie unter lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. solche entwickeln.



Freisetzungsszenarien	Szenarien, die mit der Freisetzung von Gefahrstoffen aus medienführenden Systemen oder beim Brand von Gefahrstoffen eintreten können.
GefStoffV	Gefahrstoff-Verordnung
GHS	Globales harmonisiertes System (“das neue Gefahrgutrecht”)
HAZOP	<b>Hazard and Operability</b>
IDLH	„ <b>immediately dangerous to life or health</b> “: Der IDLH-Wert ist ein Referenzwert für die Maximalkonzentration eines Stoffes in der Luft, bei dem man, wenn man innerhalb von 30 Minuten flüchtet, keine schweren oder bleibenden Schäden davon trägt ( <a href="http://www.cdc.gov/niosh/idlh/">http://www.cdc.gov/niosh/idlh/</a> ).
HID	Hazardous Installations Directorate
HSE	Health & Safety Executive
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
kPa	“Kilopascal”
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration
MAHB	Major Accident Hazards Bureau
NIST	National Institute of Standards and Technology
PAAG	<b>Prognose, Auffinden, Abschätzen, Gegenmaßnahmen</b>
PAC	<b>Protective Action Criteria</b> , Stand Feb. 2012. Es liegen für 3.387 Chemikalien PAC1, PAC-2 und PAC-3-Werte vor. Diese sind definiert durch die entsprechenden AEGL-Werte. Wenn diese nicht vorliegen, durch die entsprechenden ERPG-Werte und wenn diese nicht vorliegen, durch die entsprechenden TEEL-Werte ( <a href="https://energy.gov/ehss/protective-action-criteria-pac-aepls-erpgs-teels-rev-29-chemicals-concern-may-2016.html">https://energy.gov/ehss/protective-action-criteria-pac-aepls-erpgs-teels-rev-29-chemicals-concern-may-2016.html</a> , <a href="https://sp.eota.energy.gov/pac/teel/search.html">https://sp.eota.energy.gov/pac/teel/search.html</a> oder <a href="http://www.atlintl.com/DOE/teels/teel.html">www.atlintl.com/DOE/teels/teel.html</a> ].
ppm	Part per million (mg pro kg)
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
SFK	Störfallkommission
SRA	Sicherheitsrelevantes Anlagenteil
SRB	Sicherheitsrelevanter Teil des Betriebsbereichs
StörfallV	12. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz, Störfall-Verordnung
TAA	Technischer Ausschuss Anlagensicherheit
TKW	Tankkesselwagen
TNO	Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek



### “Temporary Emergency Exposure Limits”

In einem relativ ungenauen Verfahren werden zur Festlegung der TEEL-Werte andere Richt- und Grenzwerte z. B. STEL, IDHL aber auch Arbeitsplatzgrenzwerte zur Ableitung herangezogen. So wird das Fünffache des US-Arbeitsplatzgrenzwertes (TLV-TWA) als vorläufiger TEEL-2 und das Dreifache als TEEL-1 verwendet.

Es liegen ca. 680 TEEL-Werte vor. Ziel ist es, schnell Beurteilungswerte zur Verfügung zu haben.

TEEL

**TEEL-1** ist die luftgetragene Konzentration (ausgedrückt in ppm) oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  einer Substanz, oberhalb der davon ausgegangen wird, dass die allgemeine Bevölkerung, einschließlich empfindlicher Personen, wenn diese mehr als eine Stunde exponiert werden, spürbares Unwohlsein, Reizungen oder bestimmte nachteilige gesundheitliche Auswirkungen und nicht-sensorische Effekte erleiden können. Diese Effekte behindern nicht die Reaktionsfähigkeit und sind zeitlich beschränkt und reversibel nach Beendigung der Einwirkung.

**TEEL-2** ist die luftgetragene Konzentration (ausgedrückt in ppm) oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  einer Substanz, oberhalb der davon ausgegangen wird, dass die allgemeine Bevölkerung, einschließlich empfindlicher Personen, wenn diese mehr als eine Stunde exponiert werden, irreversible oder andere schwerwiegende, lang anhaltende nachteilige Gesundheitseffekte erleiden können oder die Fluchtmöglichkeit beeinträchtigen können.

### TEEL-3

ist die luftgetragene Konzentration (ausgedrückt in ppm) oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  einer Substanz, oberhalb der davon ausgegangen wird, dass die allgemeine Bevölkerung, einschließlich empfindlicher Personen, wenn diese mehr als eine Stunde exponiert werden, lebensbedrohende nachteilige Gesundheitseffekte oder den Tod erleiden können.

TEELS sind vorgesehen bis AEGL- oder ERPG-Werte für die Chemikalien verabschiedet sind.

UBA

Umweltbundesamt

VDI

Verein Deutscher Ingenieure

Vol.-%

Volumenprozent

Vorsorgeabstand

Abstand, innerhalb dem Wechselwirkungen zwischen Schutzobjekten im Sinne von §50 BImSchG und Anlagen, die der StörfallV unterliegen, im Rahmen der Bauleitplanung zu beachten sind (siehe auch „Achtungsabstand“ und „angemessener Abstand“).



## 0 Hinweis, Kurzfassung des Prüfergebnisses und Fazit

### Hinweis:

Bei den nach dem Leitfaden KAS-18 zu ermittelnden Abständen handelt es sich um „Achtungsabstände“, die bei Unterschreitung der Abstände aufzeigen, dass der Planungsgrundsatz nach § 50 BImSchG „gefährdet sein kann“. Die für die Raum- und Bauleitplanung zuständigen Stellen müssen in diesem Fall abwägen, welche Abstände „angemessen“ sind. Im Sinne des Leitfadens der Kommission für Anlagensicherheit, KAS-18, handelt es sich bei den Achtungsabständen somit um Vorsorgeabstände und nicht um Schutzabstände, die nicht unterschritten werden dürfen.

### Vorbemerkung 1:

Zur Begrenzung von Unfallfolgen für Mensch und Umwelt aufgrund schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen fordert Artikel 12 der Seveso-III-Richtlinie<sup>1)</sup>, „angemessene Sicherheitsabstände“ zwischen Betriebsbereichen und schutzbedürftigen Gebieten im Sinne der Richtlinie mit den Mitteln der Raum- und Flächenplanung langfristig sicherzustellen.

Die nationale Umsetzung erfolgt durch § 50 BImSchG. Gemäß § 50 BImSchG<sup>2)</sup> sind die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen innerhalb eines Bebauungsgebiets einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen und von schweren Unfällen im Sinne des Artikels 3 Nr. 13 der Richtlinie 2012/18/EU in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf schutzbedürftige Gebiete, öffentlich genutzte Gebäude etc. so weit wie möglich vermieden werden.

Das im Artikel 13, Satz 2 der Seveso-III-Richtlinie formulierte Abstandsgebot fordert, dass die Mitgliedstaaten dafür sorgen, dass „langfristig dem Erfordernis Rechnung getragen wird, dass zwischen den unter die Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und

- Wohngebieten,
- öffentlich genutzten Gebäuden und Gebieten,
- wichtigen Verkehrswegen (soweit möglich),
- Freizeitgebieten und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen bzw. besonders empfindlichen Gebieten andererseits

ein angemessener Abstand gewahrt bleibt und dass bei bestehenden Betrieben zusätzliche technische Maßnahmen nach Artikel 5 ergriffen werden, damit es zu keiner Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung kommt“.

<sup>1)</sup> Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen vom 04. Juli 2012 (Seveso-III-Richtlinie), ABI EU Nr. L 197/1 vom 24.07.2012.

<sup>2)</sup> BImSchG in der Fassung vom 25.06.2005, BGBl. I S. 1865.



Nach KAS-18<sup>3)</sup> zählen zu den Wohngebieten alle Wohn-, Dorf- und Mischgebiete, die dem dauerhaften Aufenthalt von Personen dienen. Hierzu gehören Schulen/Hochschulen, Kindergärten und Kindertagesstätten oder Kliniken aber auch Sondergebiete wie Campingplätze und Gebiete für großflächigen Einzelhandel, Messen.

Unter die „öffentlich genutzten Gebäude“ fallen Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche Zwecke sowie Anlagen mit Publikumsverkehr wie Einkaufszentren, Hotels, Parkanlagen sowie Verwaltungsgebäude.

Unter „wichtige Verkehrswege“ fallen z. B. Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen sowie häufig frequentierte Bahntrassen.

Diese „Achtungsabstände“ beziehen sich nur auf den Menschen bzw. dessen Leben und körperliche Unversehrtheit als zu schützende Rechtsgüter. Für andere nach § 50 BImSchG Satz 1 schutzbedürftige Gebiete, die z. B. der Flora-Fauna-Habitat Richtlinie (92/43/EWG), der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG) oder nationalen Landschaftsschutzgebietsregelungen unterliegen, wie auch Gewässer, die unter die Gewässerrahmenrichtlinie (2000/60/EG) fallen, sind gesonderte Betrachtungen, insbesondere nach diesen Vorschriften vorzunehmen.

#### Vorbemerkung 2:

Der Leitfaden KAS-18 sieht bei noch nicht realisierten Vorhaben auf bis dato nicht industriell genutzten Arealen („grüne Wiese“) eine standardisierte Ermittlung der „Vorsorgeabstände“ („Achtungsabstände“) entsprechend Bild 1 in Anhang 1 des Leitfadens KAS-18 vor.

Bei bestehenden Betriebsbereichen ist eine Einzelfallbetrachtung zur Ermittlung des „angemessenen Sicherheitsabstandes“ möglich. Die Ermittlung von „angemessenen Sicherheitsabständen“ basiert, im Gegensatz zu den „Achtungsabständen“, die ohne Detailkenntnisse ermittelt wurden, auf konkreten Daten zum Betriebsbereiche. Es handelt sich somit um Einzelfallbetrachtungen.

Im Rahmen dieser Einzelfallbetrachtungen können inhärent wirksame Schutzmaßnahmen, die zu einer Minimierung des Freisetzungspotenzials oder zu einer Minimierung der Auswirkungen führen, insoweit berücksichtigt werden, wie die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen nicht durch das angenommene Störfallszenario beeinträchtigt wird.

Ebenso können die freisetzungs- und ausbreitungsminimierenden Maßnahmen der lokalen Feuerwehr und der im Gefahrgutlager vorhandenen Löscheinrichtungen, entsprechend der Arbeitshilfe der Fachkommission Städtebau<sup>4)</sup> [Bauminkonf-2015], berücksichtigt werden.

<sup>3)</sup> Leitfaden KAS-18 der Kommission für Anlagensicherheit, 2. überarbeitete Fassung vom Nov. 2010.

<sup>4)</sup> Arbeitshilfe „Berücksichtigung des Art. 12 Seveso-II-Richtlinie im baurechtlichen Genehmigungsverfahren in der Umgebung von unter die Richtlinie fallenden Betriebe“, beschlossen am 11. März 2015.



#### Kurzfassung des Prüfergebnisses:

Für den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** in Grenzach liegen alle erforderlichen Angaben zu den Handhabungsbedingungen sowie den Orten der Handhabung der Gefahrstoffe vor. Daher kann eine begründete Stoffauswahl für die Ermittlung der Störfallszenarien vorgenommen werden.

Mit den untersuchten Szenarien sind alle für die Ermittlung des „angemessenen Sicherheitsabstandes“ relevanten Stoffe berücksichtigt. Die Orte der potenziellen Freisetzung wurden entsprechend den betrieblichen Realitäten festgelegt und sind repräsentativ für den Betriebsbereich.

Für die Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ wurden für den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** die folgenden Szenarien untersucht:

1. Freisetzung von unter Druck verflüssigtem Ammoniak an der NH<sub>3</sub>-EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86.  
Nach den Konventionen des KAS-18 wird eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s zugrunde gelegt. Bewertet werden die toxischen Auswirkungen.
2. Freisetzung von Ammoniak durch ein DN 25 Leck (KAS-18 Konvention) für eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s (KAS-18 Konvention) für die Verdampferstationen im Bau 86 und 88.<sup>5)</sup>
3. Freisetzung von Chlor im Chlorlager Bau 22 durch eine DN 25 Flanschleckage<sup>6)</sup> (Leckgröße nach TRB 801 Nr. 25) mit Bewertung der toxischen Wirkung unter der konservativen Annahme, dass bis zum Eingreifen des Personals die Verdampfung aus der Lache erst nach 1.800 s beendet wird.
4. Freisetzung von Chlor mit vollständiger Entleerung eines 1.000 kg Druckgasgebindes in den Chlor-Dosierstationen der Bauten 54 und 86 mit Freisetzung aus dem jeweiligen Verdampferraum ins Freie.
5. Freisetzung von Furan an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 54/77 mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
6. Freisetzung von Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) an der EKW-Entladestelle nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.

<sup>5)</sup> Die berechneten Radien werden nur für die Bauten 86 und 88 ausgewiesen, da hier zum einen Ammoniak in Freianlagen eingesetzt wird und zum anderen diese Bauten den kürzesten Abstand zur Werksgrenze aufweisen. Die restlichen NH<sub>3</sub>-Verdampferstationen sowie die NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen befinden sich alle in geschlossenen Räumen, die mit NH<sub>3</sub>-Gassensoren überwacht werden. Mit diesen Szenarien werden Leckagen an den NH<sub>3</sub>-Flussigphasenleitungen mit abgedeckt.

<sup>6)</sup> Diese Leckgröße entspricht nicht der Systematik des Leitfadens KAS-18. Da es sich allerdings um für den Gefahrguttransport zugelassene, Bauart geprüfte Behälter handelt, die Behälteranschlüsse gegen Beschädigung geschützt sind und bei derartigen Behältern bisher „nur“ Flanschleckagen aufgetreten sind, wird dieses Szenario für die Art der passiven Lagerung für angemessen eingestuft.



7. Freisetzung von Ethylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
8. Freisetzung von Methylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.



Als Fazit wird für die „angemessenen Sicherheitsabstände“, bezogen auf den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH aus gutachterlicher Sicht festgestellt:

Bei einem Szenario mit einer DN 25-Leckage an der Ammoniak-EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86, einer Freisetzungsdauer von 600 s und einer Verdunstungsdauer von 1.800 s ergibt sich ein „angemessener Sicherheitsabstand von 290 m. Dieser erreicht im Westen die Rheinallee und die Irgastrasse sowie die dazwischenliegende Wohnbebauung sowie das Gelände der Fa. Salubra. Im Norden wird die Emil-Barell-Straße, die S-Bahn-Haltestelle Grenzach sowie die bestehende Wohnbebauung hinter der Schefflerstraße und der Güterstraße und an der Jacob-Burkhardt-Straße erreicht. Das geplante Bebauungsgebiet „Neue Mitte Grenzach“ ist an der südöstlichen Ecke betroffen.

Für den Fall einer DN 25-Leckage an der DN 80-Flüssigphasenleitung an der NH<sub>3</sub>-Verdampferstation vor dem Bau 86 resultiert ein „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 290 m. Dieser erreicht im Westen die Rheinallee und die Irgastrasse sowie die dazwischenliegende Wohnbebauung sowie das Gelände der Fa. Salubra. Im Norden wird die Emil-Barell-Straße, die S-Bahn-Haltestelle Grenzach sowie die bestehende Wohnbebauung hinter der Schefflerstraße und der Güterstraße und an der Jacob-Burkhardt-Straße erreicht. Das geplante Bebauungsgebiet „Neue Mitte Grenzach“ wird im südöstlichen Bereich überdeckt.

Für den Fall einer DN 25-Leckage an der DN 80-Flüssigphasenleitung an der NH<sub>3</sub>-Verdampferstation Bau 88 resultiert ein „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 290 m. Dieser erreicht die Rheinallee im Süden und den Rhein.

Eine DN 10-Leckage im Cl<sub>2</sub>-Verdampferraum von Bau 86 ergibt einen „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 195 m. Betroffen ist der nördliche Teil der Rheinallee im Westen, die Emil-Barell-Straße, das Bahngelände und der Bereich der Scheffelstraße im Norden sowie das Gelände der Fa. Saubra.

Eine DN 10-Leckage im Cl<sub>2</sub>-Verdampferraum von Bau 54 ergibt einen „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 250 m. Betroffen ist der Bereich der Rheinallee in südlicher Richtung sowie das Gelände der Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH. Weiterhin wäre die Schiffsanlagestelle und das Rheinufer betroffen.

Die Freisetzung von Furan im Tanklager Bau 44/77 an einer DN 40 Leitung führt zu einem „angemessener Sicherheitsabstand“ von 240 m. Betroffen ist der Bereich des Geländes der Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH sowie der Bereich der Rheinallee und das Rheinufer. Ebenfalls betroffen ist die Schiffsanlagestelle.

Die aus den KAS-18 Szenarien resultierenden „angemessenen Sicherheitsabstände“ überschreiten bei der Freisetzung von Chlor, Ammoniak sowie Furan und Methylchlorformiat die Grenze des Betriebsbereichs.



Für Ammoniak ist der Bereich nördlich des Betriebsbereichs bis zur Scheffelstraße und zur Rheinallee betroffen.

Für Chlor ist der Bereich nördlich des Betriebsbereichs bis zur Scheffelstraße und zur Rheinallee sowie der südliche Bereich bis zur Rheinallee und zum Rhein betroffen.

Bei Furan ist der südliche Bereich bis zur Rheinallee und zum Rhein betroffen.

Die Berechnung für Schwefelkohlenstoff nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 führt zu keinem Abstand, der die Grenze des Betriebsbereichs überschreiten, daher ist für diesen Stoff kein „angemessener Sicherheitsabstand“ auszuweisen.

Die Berechnung für Ethylchlorformiat führt nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 zu keinem Abstand, der die Grenze des Betriebsbereichs überschreiten, daher ist für diesen Stoff kein „angemessener Sicherheitsabstand“ auszuweisen.

Die Berechnung für Methylchlorformiat führt nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 zu einem „angemessenen Sicherheitsabstand von 260 m. Der kürzeste Abstand nach Norden zum Werkszaun (Emil-Barell-Str.) beträgt ca. 340 m, der Abstand nach Westen zur Rheinallee beträgt ca. 460 m, der Abstand nach Süden zur Rheinallee beträgt ca. 180 m. Zur Werksgrenze im Osten beträgt der Abstand ca. 110 m. Somit ergibt sich aus diesem Szenario kein Abstandskonflikt zum Bbauungsprojekt „Neue Mitte Grenzach“. In Richtung Osten und Süden werden die Grenzen des Betriebsbereichs überschritten.

Auf Basis des derzeitigen Standes ist für den potenziellen Einwirkungsbereich im Bereich der Scheffelstraße, bezogen auf den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH**, eine Abwägung bzgl. der zukünftigen Errichtung von Schutzobjekten erforderlich, wenn diese im Bereich des Bahnhofs Grenzach und nördlich sowie östlich davon realisiert werden sollen. Gleiches gilt für Areale im Osten, Süden und Westen.

**Dr. Helmut Spangenberg,**  
**Gesellschaft für Anlagen- und Betriebssicherheit mbH**  
**Bad Dürkheim, 06.10.2020**

<b>Dr. H. Spangenberg,</b>		
<b>Gesellschaft für Anlagen</b>		
<b>und Betriebssicherheit mbH</b>		
Dr. rer. nat., Dipl. Phys., Dipl. Ing. (FH)		
Helmut A. Spangenberg		
Sachverständiger nach §29a BImSchG		
D-67098 Bad Dürkheim		
Bürgermeister-Gropp-Straße 26-28		
Geschäftsführer Dr. Helmut A. Spangenberg		Sicherheitsmanagement
Tel. 06322 948 904 Fax: 06322 948 929		Risikoanalysen
Mobil: 0176 61 24 56 04	Umweltschutz	

**Dr. H. Spangenberg**

In Baden-Württemberg bekanntgegebener Sachverständiger nach §29a BImSchG

**Erklärung:**

Das vorliegende Gutachten wurde eigenverantwortlich und frei von Vorgaben oder Einschränkungen erstellt.



## 1 Aufgabenstellung

Das Sachverständigenunternehmen **Dr. H. Spangenberg, Gesellschaft für Anlagen- und Betriebssicherheit mbH** wurde von der **Gemeinde Grenzach-Wyhlen** beauftragt, ein **Gutachten im Sinne des §29a BImSchG** zur Analyse und Bewertung von potenziellen Freisetzungs- und Auswirkungsszenarien zu erstellen, welche vom Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** ausgehen können.

Die Freisetzungs- und Auswirkungsszenarien dienen der Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ im Zusammenhang mit den Anforderungen des § 5r0 BImSchG.

Maßgeblich für die Vorgehensweise und die Beurteilung sind die Methoden, Konventionen und Randbedingungen, wie sie im Leitfaden KAS-18 der Kommission für Anlagensicherheit (2. überarbeitete Fassung, verabschiedet im November 2010) und in der Arbeitshilfe, „Szenarien spezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18“, Stand Nov. 2015“ (KAS-32, 2. überarbeitete Fassung) dokumentiert sind.

### 1.1 **Auftragsgrundlage**

Die Erstellung des Gutachtens erfolgt auf der Grundlage der von dem Betreiber, der DSM Nutritional Products GmbH zur Verfügung gestellten Unterlagen.

Zur Klärung konkreter Fragestellungen wurden ergänzend Anlagenbegehungen sowie eine Begehung des Umfeldes durchgeführt.

Auf dieser Grundlage wurden die potenziellen Störfallszenarien für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH ermittelt.

Weiterhin wurden die Hinweise des Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. und die Ergebnisse einer Besprechung beim LUBW (Karlsruhe) am 15.10.2018 sowie am 15.07.2019 beim Regierungspräsidium Freiburg/Brsg. und eine Besprechung am 31.07.2019 bei der DSM Nutritional Products GmbH berücksichtigt<sup>7)</sup>.

<sup>7)</sup> Bei den Besprechungsterminen beim LUBW in Karlsruhe und beim Regierungspräsidium Freiburg/Brsg. ging es im Detail um den Betriebsbereich der BASF Grenzach GmbH. Grundsätzlich Randbedingungen wurden auch bei der Überarbeitung des Standortgutachtens für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH berücksichtigt.



## 1.2 Beschreibung der Teilaufgaben

1. Abschluss einer Vertraulichkeitsvereinbarung mit dem Anlagenbetreiber, der DSM Nutritional Products GmbH.
2. Auswertung der vom Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellten Unterlagen wie
  - a. Aktuelle Sicherheitsberichte,
  - b. Aktuelle Stofflisten,
  - c. sonstige Unterlagen (Lagepläne, Gebäudepläne, RI-Fließbilder)zur Ermittlung der stofflichen Gefahrenpotenziale und Verfahrensbedingungen.
3. Klärung von Fragen, welche sich aus der Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen ergeben haben, im Rahmen eines Besprechungstermins bei den oben genannten Unternehmen im Zusammenhang mit der Anlagenbegehung.
4. Durchführung einer Anlagenbegehung zur Bewertung der örtlichen Randbedingungen bei der Handhabung und Lagerung der auswirkungsrelevanten Gefahrstoffe.
5. Durchführung einer Begehung des Umfelds zur Bewertung der lokalen Randbedingungen zur Beschreibung von Freisetzungs- und Ausbreitungsszenarien.
6. Abschließende Festlegung der für die Bestimmung von „angemessenen Sicherheitsabständen“ nach KAS-18 relevanten Stoffe und Verfahrensbedingungen, welche im Rahmen der Einzelfallbetrachtung zu berücksichtigen sind.
7. Durchführung der Einzelfallbetrachtung für die ermittelten Stoffe zur Festlegung der maßgeblichen „angemessenen Sicherheitsabstände“ auf Basis der unter Pos. 2 bis 6 identifizierten Stoffpotenziale und Verfahrensbedingungen.
8. Aktualisierung des Standortgutachtens aus dem Jahr 2015 soweit sich dieses auf den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH bezieht.
9. Termine zur Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Freiburg/Brsg..
10. Termin zur Diskussion der im Gutachten dargestellten Ergebnisse inkl. Präsentation der Ergebnisse inkl. Power-Point-Präsentation.
11. Übergabe des Abschlussgutachtens (öffentliche Fassung) in der vom Auftraggeber angeforderten Anzahl an den Auftraggeber für den gesamten Standort Grenzach-Wyhlen.
12. Übergabe des Abschlussgutachtens (vertrauliche Fassung) an den Anlagenbetreiber, jeweils bezogen auf den Betriebsbereich des Anlagenbetreibers.



### 1.3 Verwendete Informationen und Unterlagen

Das vorliegende Gutachten bezieht sich auf die folgenden Informationen und Unterlagen, die von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellt wurden:

#### DSM Nutritional Products GmbH:

- Sicherheitsbericht (Hauptband, „Produktion von Vitaminen und Feinchemikalien“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0) mit
  - Auflistung der gehandhabten Stoffe (Gefahrstoffkataster),
  - Sicherheitsdatenblätter,
  - Sicherheits- Gesundheits- und Umweltschutzrichtlinien für Mitarbeiter,
  - DSM Sicherheitsvorsorge am Standort Grenzach-Wyhlen,
  - BAGAP`s für die Anlagen,
  - Notfallorganisation,
  - Werksorganisation,
  - Werkslageplan.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Chlorklager B 22, Stand 12.03.2017, Rev. 01.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für Bau 40, Produktion von Phytantriol, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Tanklager Bau 52, „Lagerung von flüssigen Abfällen“, 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für Bau 54, „Produktion von Carotinodien“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Tanklager Bau 54/77, „Lagerung von Rohstoffen“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Tanklager 55/63, „Lagerung von Rohstoffen“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für die Ammoniak-Kälteanlage Bau 57, Stand 01.11.2016, Rev. 0.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Tanklager Bau 67, „Rheinallee, Lagerung von Rohstoffen“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für das Wasserstofflager Bau 73 und Umgebung, „Bereitstellung von Wasserstoff“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau 76, „Produktion von Ascorbin-Sonderformen“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau 77, „Produktion von Vitamin D3“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.



- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau 80, „Produktion von Vitamin B6“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau B 86, „Produktion des Vitamins B 1“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für die Ammoniak-Kälteanlage Bau 87, Stand 01.11.2016, Rev. 0.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau 88, „Produktion von Biotin, (Stufe 8)“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- Anlagenbeschreibung zum Sicherheitsbericht für den Bau 104, „Fass- und Feststofflager“, Stand 13.07.2017, Rev. 1.0.
- RI-Fließbilder für die Anlagen und Tankläger der Bauten 40, 52, 53, 54, TL 54/77, TL 55/63, 57, TL 67, 73, 76, 77, 80, 86, 87, 88, 109, Stand „verschiedene“.
- Gebäudepläne für die Anlagen und Tankläger der Bauten 40, 52, 53, 54, TL 54/77, TL 55/63, 57, TL 67, 73, 76, 77, 80, 86, 87, 88, 109, Stand „verschiedene“.
- Ex-Zonenpläne für das Betriebstanklager Bau 52, Stand 22.09.2006.
- Ex-Zonenpläne für das Betriebstanklager Bau 54/77, Stand 29.09.2015.
- Werksplan, Stand 09.10.2012.

Im Nachgang zu einer Besprechung zwischen dem Regierungspräsidium Freiburg/Brsg., dem Betreiber DSM Nutritional Products GmbH und dem Gutachter sowie dem Bürgermeister der Gemeinde Grenzach-Wyhlen, Dr. Benz wurden von der DSM Nutritional Products GmbH weitere Informationen zur Verfügung gestellt:

- Mail vom 31.07.2019 zu den aktuell gehandhabten Stoffen (Sicherheitsdatenblätter) und RI`s zu den  $Cl_2$ -Verdampferstationen in den Bauten Bau 54 und Bau 86.
- Mail vom 20.08.2019
  - zu der Klarstellung, dass die Güter der  $Cl_2$ -Überwachung der Raumluft in den  $Cl_2$ -Verdampferäumen nicht als „Schutzeinrichtungen“ klassifiziert sind und
  - Klarstellung, dass der im Gutachten aus dem Jahr 2015 angegebene Stoff Dimethylchlorformiat nicht gehandhabt wird, sondern Methylchlorformiat und dass dieser Stoff 2015 durch Ethylchlorformiat ersetzt wurde, und „der Prozess seit 2015 nicht mehr gefahren wird“.
- Mail vom 17.09.2019, dass Oleum mit 4,5 % freiem  $SO_3$  gehandhabt wird sowie RI`s zur Handhabung von Oleum.

Die darin enthaltenen Informationen wurden in dem vorliegenden Gutachten berücksichtigt.



Vom Auftraggeber, der Gemeinde Grenzach-Wyhlen, wurden zur Verfügung gestellt:

- Alarmplan, Grenzach-Wyhlen, Az.: 142.341, Stand 24.04.2012.
- Alarmplanung in Grenzach-Wyhlen.
- Lagepläne mit eingetragendem Beteiligungsradius (Achtungsabstand) zur Bauleitplanung für die Firmen BASF Grenzach GmbH, DSM Nutritional Products GmbH.
- Externer Notfallplan der Gemeinde Grenzach-Wyhlen und des Landratsamtes Lörrach für die Betriebe BASF Grenzach GmbH und DSM Nutritional Products GmbH, Stand 19.05.2011.
- Informationsbroschüre nach §§ 8a, § 11 StörfallV für die BASF Grenzach GmbH (Stand Dez. 2017).
- Informationsbroschüre nach §§ 8a, § 11 StörfallV für die DSM Nutritional Products GmbH (Stand April 2018).

Vom Regierungspräsidium Freiburg/Brsg. (Referat Immissionsschutz) wurde zur Verfügung gestellt:

- Standortgutachten für den Bereich Grenzach-Wyhlen zu den Themen Klima, Flora und Fauna, Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer, Siedlungs- und Infrastruktur sowie Verkehr, erstellt im Auftrag der Roche Vitamine GmbH Grenzach-Wyhlen durch Karl-Albrecht-List, Büro für Umwelt-Engineering ([List-2002]).

Weiterhin wurden die Hinweise und Ergänzungsforderungen aus den Schreiben des Regierungspräsidium Freiburg/Brsg. (Referat Immissionsschutz) berücksichtigt:

Schreiben vom 04.05.2020 (Az.: 54.1-2511/LÖ-007/01, 54.1-2511/LÖ-003/01).

Schreiben vom 11.05.2020 (Az.: 54.1-8823.12/LÖ-007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01).

Schreiben vom 10.08.2020 (Az.: 54.1-8823.12/LÖ-007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01).



## 2 Durchführung der Begutachtung

### 2.1 Ablauf der Begutachtung

Auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Unterlagen (siehe Kap. 1.3) wurden die beschriebenen Stoffe und Verfahrensabläufe bezüglich der folgenden Aspekte bewertet:

- Freisetzbarer Stoff.
- Freisetzungsart.
- Freisetzungsort.
- Verfahrenstechnische und stoffliche Randbedingungen einer Freisetzung.
- Freisetzungspotenzial (Stoffmenge pro Zeiteinheit und Freisetzungsdauer).
- Potenzieller Auswirkungsradius.
- Festlegung als Szenario zur Ermittlung von „angemessenen Sicherheitsabständen“ entsprechend dem Leitfaden KAS-18 und der Arbeitshilfe KAS-32.

In Verbindung mit Anlagenbegehungen wurden die Randbedingungen für die Festlegung der relevanten Szenarien geklärt.

### 2.2 Umfang der Begutachtung

Der Umfang der Prüfung ist vorgegeben durch die Bewertung<sup>8)</sup> der in den zur Verfügung gestellten Unterlagen beschriebenen Stoffen und Verfahren sowie den daraus abgeleiteten Szenarien.

Die Bewertung bezieht sich für das vorliegende Gutachten auf die Frage, welche Stoffe an welchen Handhabungsorten für die Ermittlung von „angemessenen Sicherheitsabständen“ relevant sind.

Bei den Stoffen, welche nicht explizit im Anhang 1 des KAS-18 genannt sind, aber bei den untersuchten Unternehmen gehandhabt werden, wurde mittels dem Gefahrenindize GI (Anhang 1- im Leitfaden KAS-18) die stoffliche Relevanz zur Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabständen“ (siehe Anhang 1) überprüft.

---

<sup>8)</sup> Die Bewertung bezieht sich auf die Analyse der vorhandenen Stoffe, den Handhabungsbedingungen (Druck, Temperatur, Konzentration, Gebindegröße etc.) und dem daraus resultierenden Freisetzungspotenzial.



## 2.3 Gegenstand der Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“

Der Gegenstand der Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ sind die auf dem Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** in Grenzach gehandhabten Stoffe nach Anhang I der StörfallV sowie die verfahrenstechnischen Handhabungs- und Reaktionsbedingungen.

Auf dem gemeinsam genutzten Werksgelände der **DSM Nutritional Products GmbH** in Grenzach-Wyhlen, Emil-Barell-Straße 3, befinden sich die DSM Nutritional Products GmbH, die Roche Pharma AG, die Bayer GP Grenzach Produktions GmbH und das KGW Kraftwerkgesellschaft Grenzach-Wyhlen GmbH.

Im Bereich der DSM Nutritional Products GmbH werden in Großanlagen die Vitamine B1, B2, B6, D3, D -Biotin, Carotinoide, Ascorbin-Sonderformen produziert.

Im Bereich der GP Grenzach Produktion GmbH werden pharmazeutische Spezialitäten produziert, abgepackt und zum Verkauf eingelagert.

Desweiteren befinden sich mehrere Büro- und Verwaltungsgebäude auf dem Gelände der Hoffmann La Roche AG.

Die Roche Deutschland Holding GmbH befindet sich ebenfalls im Gebäude 47 auf diesem Gelände. Es gibt getrennte Lager für Rohstoffe, Vitamine und Feinchemikalien, pharmazeutische Produkte und Packmittel sowie für Zwischenprodukte.

Die DSM Nutritional Products GmbH betreibt an verschiedenen Orten im Werk Lageranlagen. Je nach Art der eingelagerten Stoffe sind die Lager in Brandabschnitte oder in ober- und unterirdischer Bauweise unterteilt. Es gibt getrennte Lager für feste und flüssige Chemikalien. Die Packmittel werden gesondert aufbewahrt.

Alle Gebäude bzw. Produktionsbereiche, in denen mit brennbaren Flüssigkeiten umgegangen wird, sind Ex-geschützt installiert, mindestens für die Zündgruppe T3 oder im Einzelfall auch höher.

In den Lagern für Rohstoffe, Vitamine, Feinchemikalien, Spezialitäten und für Packmittel sind Rauchmelder installiert. In den oberirdischen Tanklagern mit brennbaren Flüssigkeiten sind Gasmelder vorhanden.

Das Werksgelände, die Gebäude und die technischen Einrichtungen der DSM Nutritional Products GmbH sind allseits von einem Werkszaun umschlossen. Dieser umschlossene Bereich definiert den Betriebsbereich im Sinne der StörfallV. Der Betriebsbereich unterliegt den Grund- und den erweiterten Pflichten der StörfallV. Der Betriebsbereich umfasst genehmigungsbedürftige Anlagen zur Herstellung von Zwischenprodukten und Produkten durch chemische Umwandlung sowie Anlagen zum Lagern von sehr giftigen, giftigen, brandfördernden oder explosionsgefährlichen Stoffen oder Zubereitungen.

Die folgende Abbildung zeigt den Achtungsabstand zur Beteiligung im Rahmen der Bauleitplanung:





### 2.3.1 Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH

Der Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH liegt in einem Industriegebiet der Gemeinde Grenzach-Wyhlen. Dieses wird im Norden von der Bahnlinie Basel-Konstanz und dem Gelände des Bahnhofs Grenzach, im Süden und Südwesten vom Rhein begrenzt. In der Strommitte verläuft die Staatsgrenze der Bundesrepublik Deutschland zur Schweiz. Jenseits des Rheins auf dem Schweizer Ufer befinden sich Hafeneinrichtungen und Tanklager für Raffinerieprodukte. Diese sind durch die ca. 250 m breite Wasserfläche des Rheins vom Betriebsbereich getrennt.

Die nächstgelegenen Wohngebiete befinden sich an der westlichen Ecke des Werksgeländes sowie nördlich der Bahnlinie im Ortsteil Grenzach.

Die nächstgelegenen Orte für größere Menschenansammlungen sind dort der Mehrzweckbau (Haus der Begegnung), die Sport-Schwimmhalle, die Grund- und Hauptschule sowie der Bahnhof.

In südwestlicher Richtung setzt sich das Industriegebiet fort. Dort befindet sich das Betriebsgelände der BASF Grenzach GmbH. In nördlicher Richtung befinden sich Einrichtungen der GP Grenzach Produktion GmbH der Bayer AG, der Roche Pharma AG und der Roche Deutschland Holding GmbH. Im Süden befinden sich die Anlagen der KGW, Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH. Zwischen die Chemieanlagenkomplexe der DSM Nutritional Products GmbH und der BASF Grenzach GmbH schiebt sich in südwestlicher Richtung ein Wohngebiet, bestehend aus Irgastrasse (Wohnungen für Werkfeuerwehr und Rettungsdienste sowie Handwerksbetriebe) und Rheinstraße.

Nachfolgend sind die Entfernungen zu öffentlich genutzten Objekten angegeben:

- Im Süden: ca. 1.690 m (Wohnbebauung auf Schweizer Seite),
- im Westen: ca. 50 m (Wohngebäude an der Irgastrasse -Werksgelände-,
- im Westen: ca. 1.760 m (Wohnbebauung auf Schweizer Seite),
- im Norden: ca. 200 m (Bahnhof Grenzach),
- im Norden: ca. 70 m (Grenzach).

Als Schutzobjekte sind die folgenden Einrichtungen zu nennen:

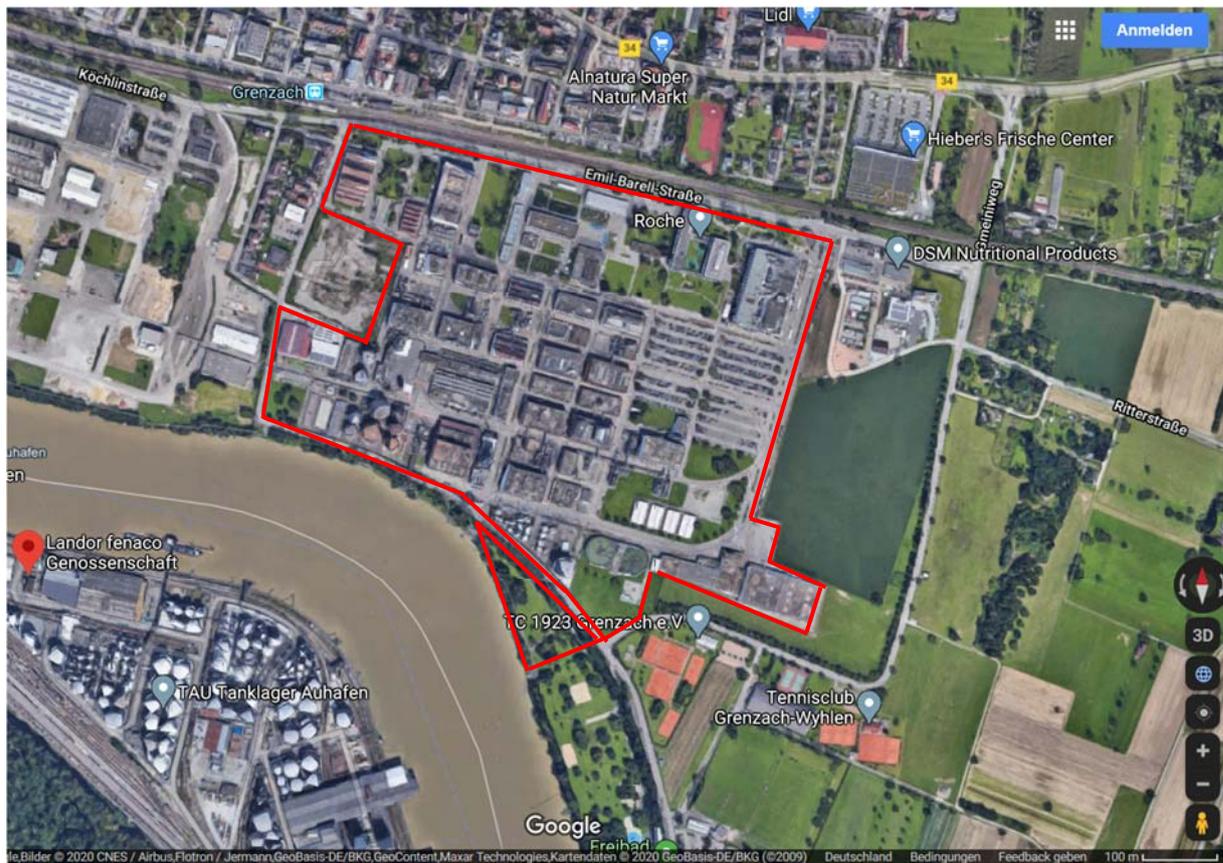
- Kindergärten,
  - im Süden: Kindergarten Sonnenmatt I + II (Schweiz Muttenz) 2.050 m,
  - im Westen: Kindergarten Sternenfels I + II (Schweiz Birsfelden) 2.150 m,
  - im Osten: Katholischer Kindergarten Villa Kunterbunt 890 m,
  - im Norden: Katholischer Kindergarten St. Michael 490 m.
- Schulen,
  - nach Süden: Schulzentrum Günden (Schweiz Muttenz) 2.080 m,
  - nach Westen: Primarschule (Schweiz Birsfelden) 2.750 m,
  - nach Nordosten: Realschule / Gymnasium 1.630 m,
  - nach Norden: Bärenfelsschule 240 m.



Die folgende Abbildung zeigt eine Aufnahme aus „Google-Map“. Eingezeichnet ist die Grenze des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH.

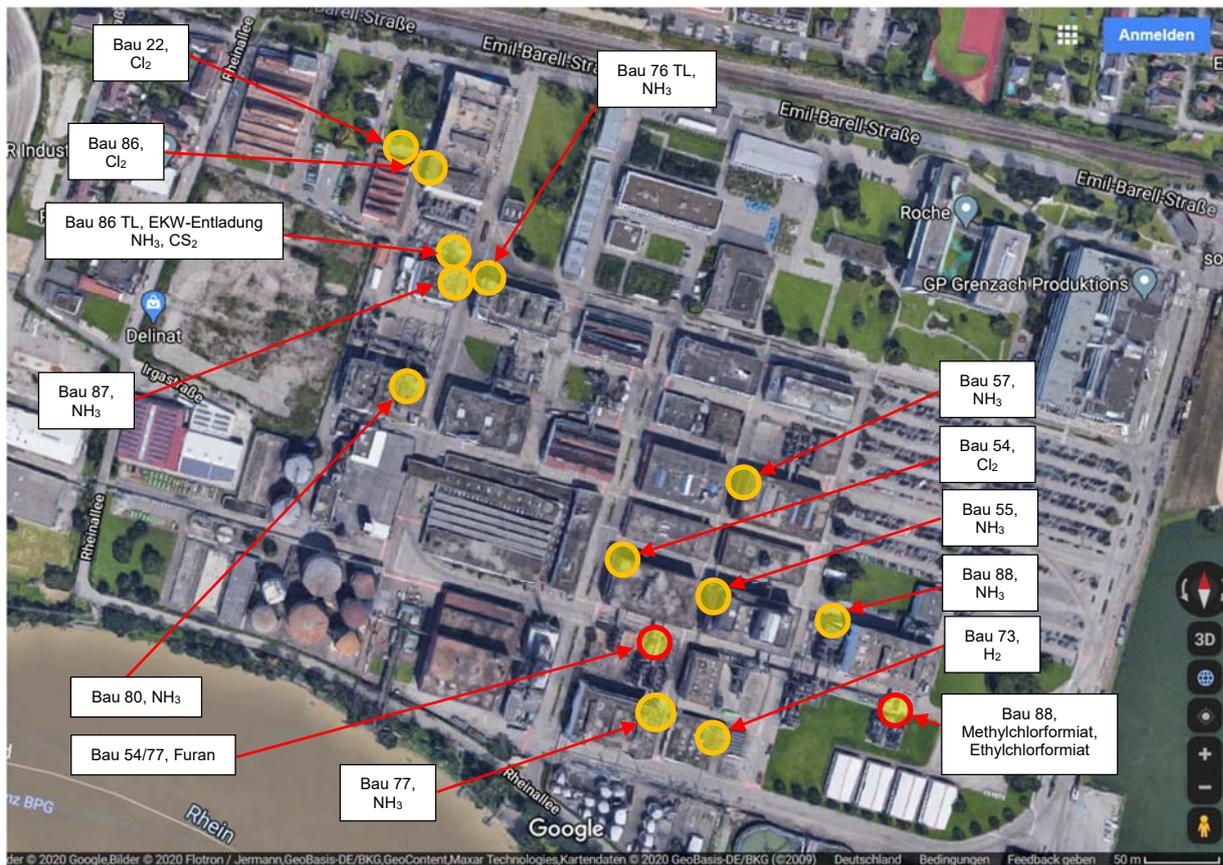


**Abb. 2.3-2:** Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH (Übersicht) [Bildquelle: Google].



**Abb. 2.3-3:** Örtliche Lage des Betriebsbereichs der DSM Nutritional Products GmbH [Bildquelle: Google].

In den folgenden Bildern sind die untersuchten potenziellen Freisetzungsorte mit gelben Kreisen gekennzeichnet. Die an diesen Orten gehandhabten Stoffe sind im Anhang beschrieben.



**Abb. 2.3-4:** Örtliche Lage der für die Störfall-Szenarien zugrunde gelegten Freisetzungsorte [Bildquelle: Google].

Das Anlagengelände der DSM Nutritional Products GmbH ist eben. Bezüglich der Schwergasausbreitung besteht aufgrund der Topographie somit keine Richtungspräferenz. Weiterhin bilden die geschlossenen Fabrikations- und Lagergebäude eine wirksame Barriere gegen die Freisetzung einer Schwergaswolke ins Freie. Die innerhalb der Gebäude vorhandenen Ableitflächen und Auffangrinnen bzw. Gruben dienen als Senke für Schwergase sowie ausgelaufene Flüssigkeiten. In Richtung Bahnlinie (nach Norden) wird eine bodennahe Ausbreitung durch Gebäude der DSM Nutritional Products GmbH behindert. In Richtung Süden stellt der Rhein eine Barriere für eine Ausbreitung von bodennahen Gaswolken dar. Der Rhein besitzt in diesem Bereich eine Breite von ca. 200 m. Bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 0,6 und 1,6 m/s (siehe Abbildung 2.3-9) wirkt der Rhein als eine weitere Barriere für die Ausbreitung von Schwergasen ([Quelle: BEHA-1998]): Gase, die zur Hydrolyse neigen, würden ebenfalls bei der „Überquerung“ des Rheins beeinflusst.

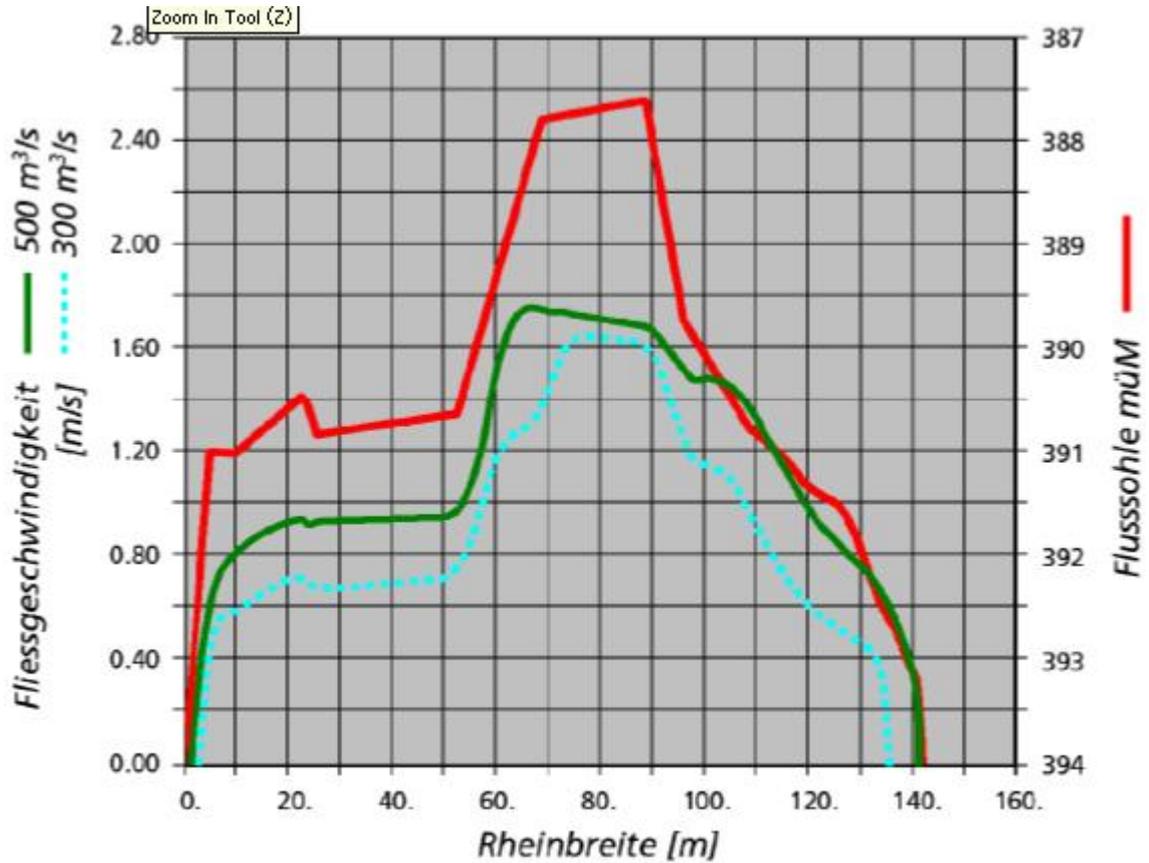


Abb. 2.3-5: Geschwindigkeits- und Flusssohle-Profile bei Schupfen Staffelwald: Fließgeschwindigkeit über der Flussbreite bei Abflussmengen 300 und 500 m³/s [Quelle: BEHA-1998].



Das Klima des Standortes wird durch die Binnenlage und die Topographie des Hochrheintales geprägt.

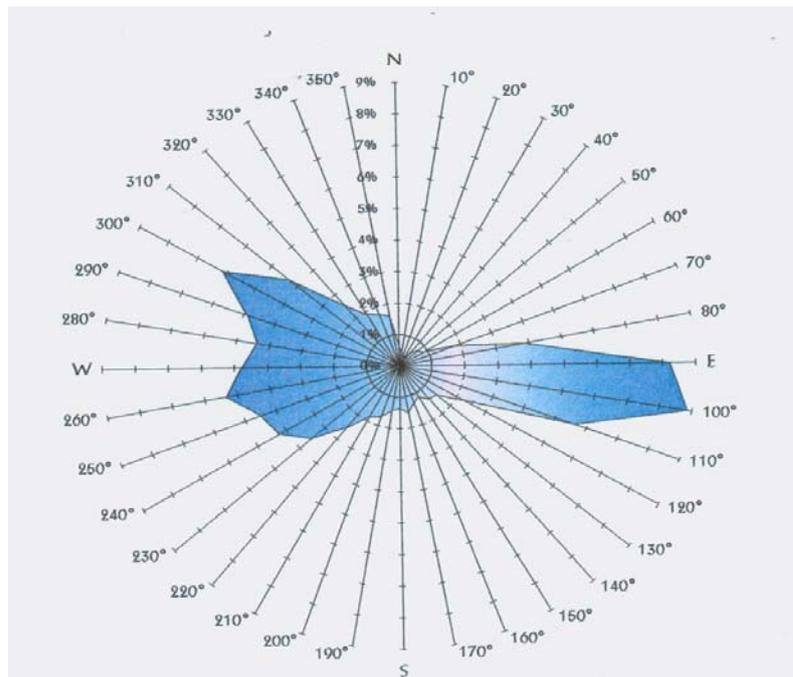
Durchgeführte Messungen der bodennahen Windrichtungsverteilung zeigen parallel zum Rhein zwei vergleichbar große, ausgeprägte Maxima in den Richtungen Ost-Südost (100°) und West-Nordwest (290°). Die relativen Windrichtungshäufigkeiten in den Richtungsachsen Nord-Nordost (20°) und Süd-Südwest (200°) liegen nahe Null.

Am Standort der BASF Grenzach GmbH sind an zwei Stellen des Werksgeländes in ca. 15 m Höhe (Gebäude 9038) sowie an der Hauptpforte (Gebäude 9053) Messeinrichtungen installiert. Weitere Daten werden auf dem Gelände von DSM registriert. Sie stehen dem werksübergreifend organisierten Messdienst zur Verfügung.

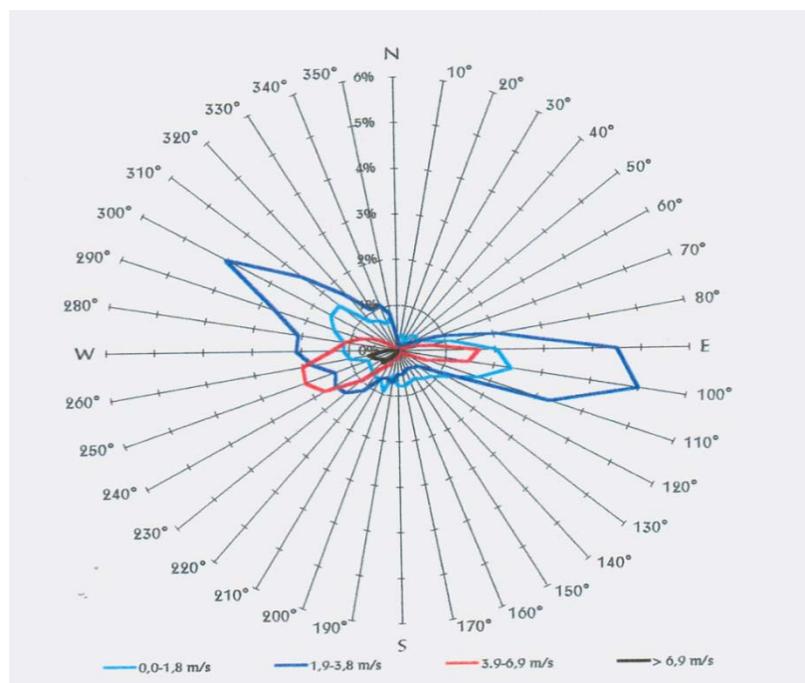
Im Standortgutachten für den Bereich Grenzach-Wyhlen zu den Themen Klima, Flora und Fauna, Boden, Grundwasser und Oberflächengewässern, Siedlungs- und Infrastruktur sowie Verkehr, erstellt im Auftrag der Roche Vitamine GmbH Grenzach-Wyhlen durch Karl-Albrecht-List, Büro für Umwelt-Engineering ([List-2002]), sind weitere Angaben zu den Wettersituationen, Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten enthalten.

Danach sind die Windgeschwindigkeit und Windhäufigkeit geprägt durch den Verlauf des Hochrheintals in Ost-West-Richtung und die Einmündung in das Oberrheintal. Die dominante Windrichtung aus Osten folgt dem Verlauf des Hochrheintals. Die Windrichtung aus Westen besitzt aufgrund der Öffnung des Hochrheintals zum Oberrheintal stärkere Anteile von Nordwest- sowie Südwest-Komponenten (siehe die folgenden Abbildungen 2.3-6, 2.3-7).

Die Windgeschwindigkeitsgruppe 1,9 bis 3,8 m/s mit vorherrschenden Windrichtungen aus Nordwest bzw. Ost-südost ist am häufigsten vertreten (47,9 %). Die Schwachwindphasen (0,0 bis 1,8 m/s) folgen der gleichen Windrichtungscharakteristik und sind mit einem Anteil von 31,8 % vertreten. Mittelstarke und Starkwinde (3,9 bis 5,9 m/s und > 6,9 m/s) sind mit 20,3 % vertreten und kommen überwiegend aus südwestlicher Richtung sowie mit geringerer Häufigkeit aus Osten.



**Abb. 2.3-6:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während eines Jahres [Quelle: List-2002].



**Abb. 2.3-7:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während eines Jahres [Quelle: List-2002].



Für die Schadgasausbreitung ist neben der Windgeschwindigkeit und -richtung auch die Verteilung der Ausbreitungsklassen zu beachten. Die verschiedenen atmosphärischen Wettersituationen werden nach der TA Luft in sechs Ausbreitungsklassen eingeteilt:

Ausbreitungs- klassen	Thermische Schichtung	Ausbreitungs- charakteristik	In der Regel auftretend bei
I	sehr stabil	Smogwetterlage, sehr geringer vertikaler Luftaustausch.	Nacht, windschwach, wenig Bewölkung.
II	stabil	Geringer vertikaler Luftaustausch.	Nacht, windschwach, bedeckt.
III/1	indifferent stabil	Deutlich ausgeprägter vertikaler Luftaustausch.	Tag und Nacht, höhere Windgeschwindigkeiten.
III/2	indifferent labil		Tag, mittlere Windgeschwindigkeiten, bedeckt.
IV	labil	Starker vertikaler Luftaustausch.	Tag, windschwach, wenig Bewölkung.
V	sehr labil	Sehr starker vertikaler Luftaustausch.	Tagen in den Sommermonaten, wolkenarm oder windschwach, nur um die Mittagszeit.

Tab. 2.3-1: Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier (VDI 3782, Blatt 1).

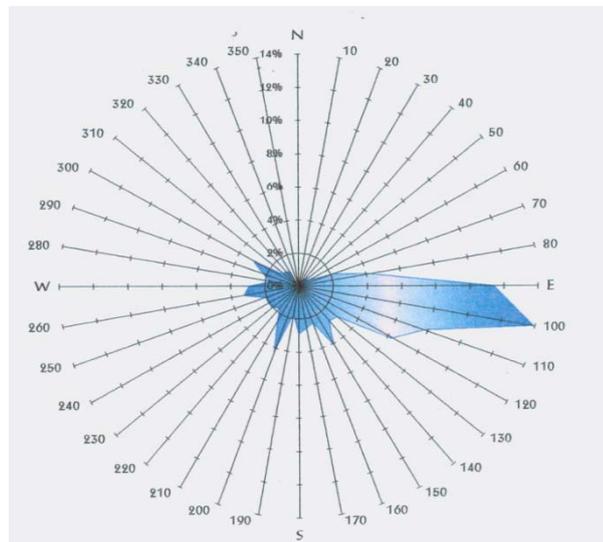
In der folgenden Tabelle ist die Verteilung der Ausbreitungsklassen dargestellt. Die häufigsten Ausbreitungsklassen sind die Klassen III/1 und III/2 mit einem Anteil von 54,2 % der Jahresstunden, die Ausbreitungsklassen I und II (sehr stabil und stabil) liegen zusammen bei 27,2 % der Jahresstunden. Es dominieren die Windstärken im Bereich 1,8 bis 3,8 < m/s.

Ausbreitungsklasse	Anteil insgesamt	Windgeschwindigkeitsgruppe in m/s			
		0 bis ≤ 1,8	> 1,8 bis ≤ 3,8	> 3,8 bis ≤ 6,9	> 6,9
AK I	8,9 %	7,0 %	1,9 %	0,0 %	0,0 %
AK II	18,3 %	10,7 %	7,6 %	0,0 %	0,0 %
AK III/1	27,1 %	0,0 %	13,8 %	10,9 %	2,4 %
AK III/2	27,1 %	4,0 %	16,8 %	6,1 %	0,2 %
AK IV	15,7 %	8,5 %	6,6 %	0,6 %	0,0 %
AK V	2,9 %	1,6 %	1,2 %	0,1 %	0,0 %
Summe	100 %	31,8 %	47,9 %	17,7 %	2,6 %

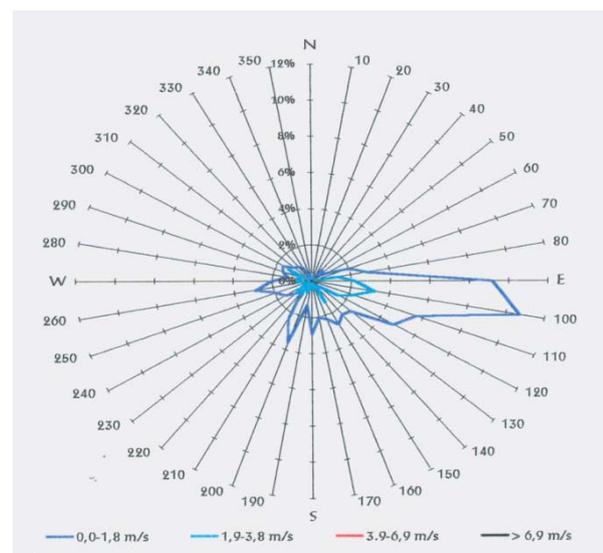
Tab. 2.3-2: Ausbreitungsklassen und Windstatistik für den Raum Grenzach-Wyhlen [Quelle: List-2002].



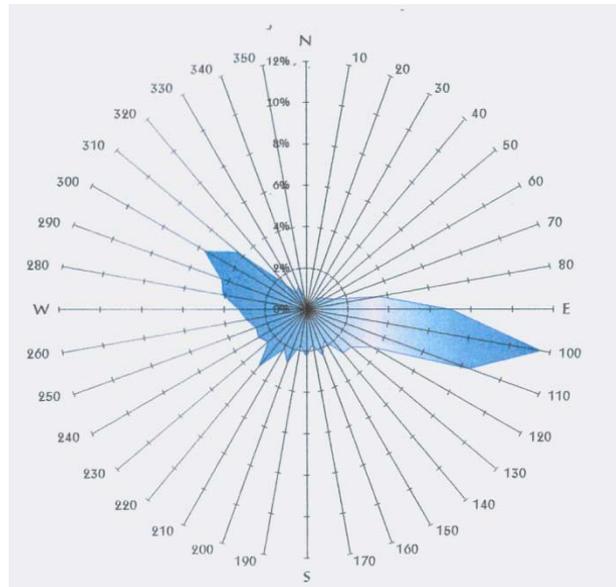
Aus dem Zusammenhang zwischen Ausbreitungsklassen und Häufigkeit der Windrichtung sowie Windgeschwindigkeit ergibt sich, dass bei Smogwetterlagen (AK I) die Winde vornehmlich aus Ost-südost kommen (siehe Abb. 2.3-8, 2.3-9). Bei der Ausbreitungsklasse II nimmt der Anteil der Winde aus westlicher Richtung leicht zu, wobei eine östwestliche Anströmung dominant ist (siehe Abb. 2.3-10, 2.3-11). Bei der Ausbreitungsklasse III/1 nimmt der Anteil der Winde aus westlicher Richtung stark zu, wobei eine südwestliche Anströmung mit Starkwinden dominant ist (siehe Abb. 2.3-12, 2.3-13). Bei der Ausbreitungsklasse III/2 herrschen mittlere Windgeschwindigkeiten aus west- und nordwestlicher Richtung vor (siehe Abb. 2.3-14, 2.3-15). Je stärker der vertikale Luftaustausch zunimmt, desto deutlicher überwiegen nordwestliche Winde (siehe Abb. 2.3-10, 2.3-10 sowie Abb. 2.3-15, 2.3-17).



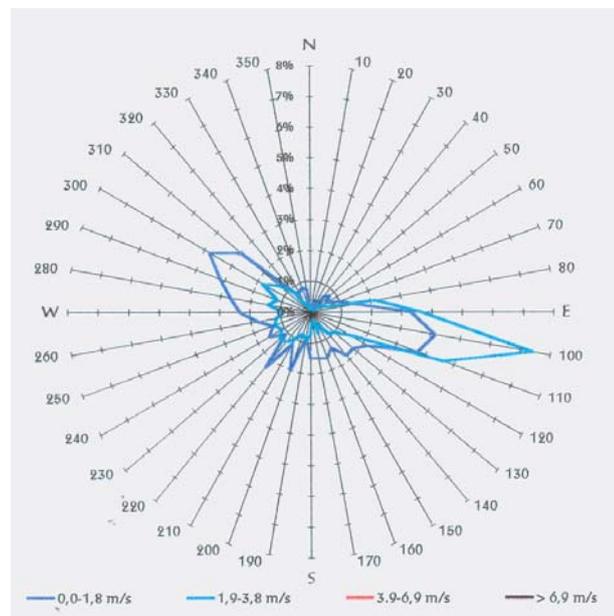
**Abb. 2.3-8:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse I [Quelle: List-2002].



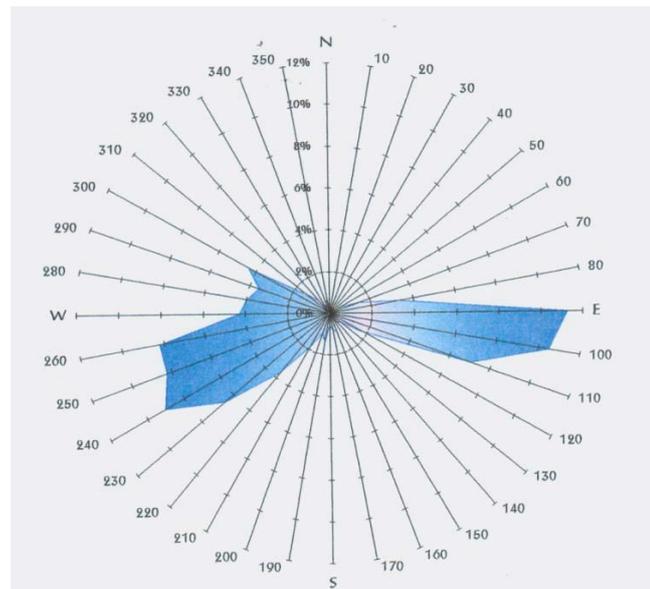
**Abb. 2.3-9:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse I [Quelle: List-2002].



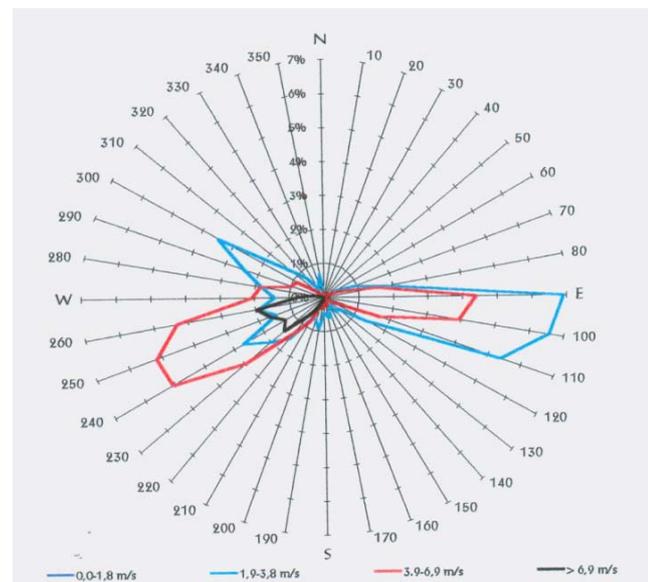
**Abb. 2.3-10:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse II [Quelle: List-2002].



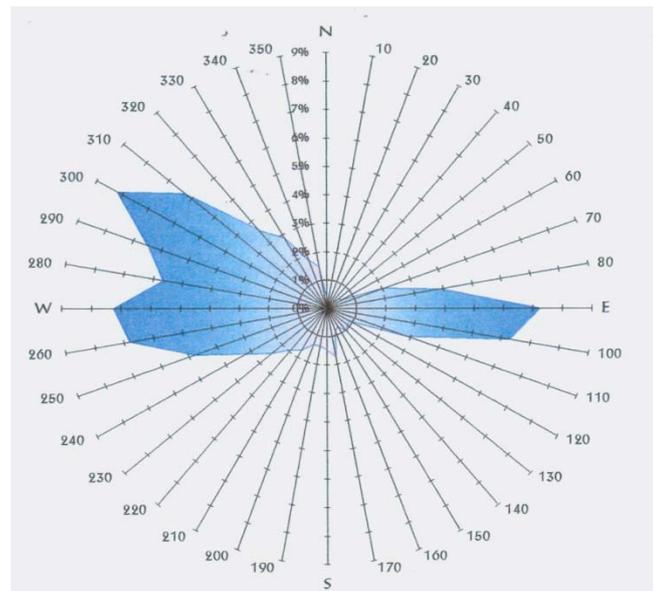
**Abb. 2.3-11:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse II [Quelle: List-2002].



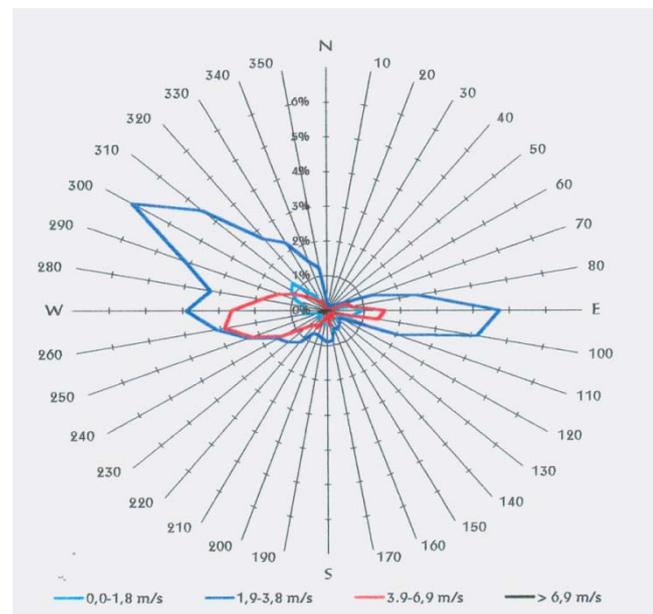
**Abb. 2.3-12:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/1 [Quelle: List-2002].



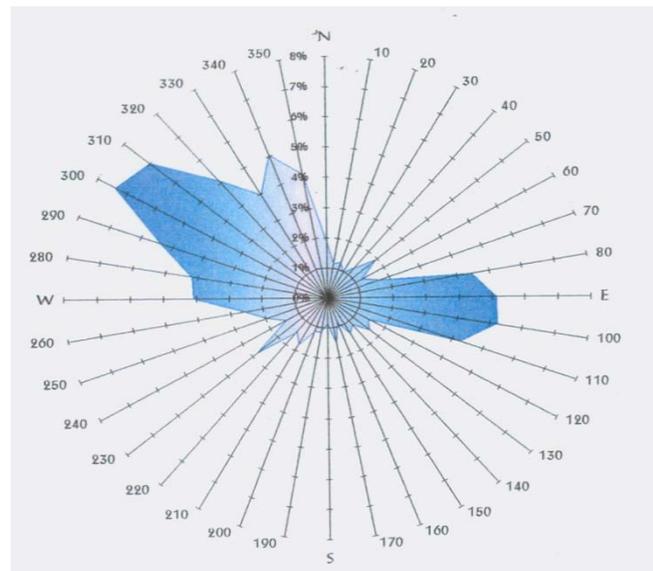
**Abb. 2.3-13:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/1 [Quelle: List-2002].



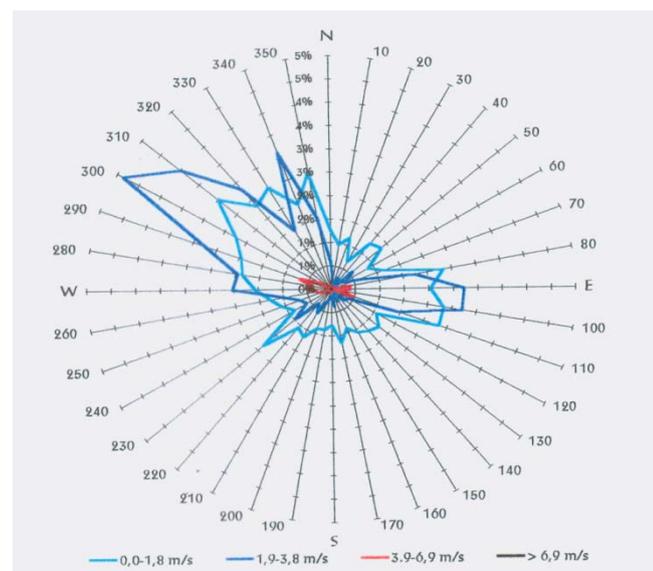
**Abb. 2.3-14:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/2 [Quelle: List-2002].



**Abb. 2.3-15:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse III/2 [Quelle: List-2002].



**Abb. 2.3-16:** Windverteilung und -häufigkeit (alle Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse IV [Quelle: List-2002].



**Abb. 2.3-17:** Windverteilung und -häufigkeit (nach Windgeschwindigkeitsgruppen) im Raum Grenzach-Wyhlen während der Ausbreitungsklasse IV [Quelle: List-2002].

Die Gemeinde Grenzach-Wyhlen liegt, bezogen auf die potenzielle Freisetzung gasförmiger Schadstoffe, nordwestlich bis nordöstlich von den untersuchten Betriebsbereichen. Dies bedeutet, dass Immissionen nur dann im Bereich der Gemeinde Grenzach-Wyhlen auftreten können, wenn der Wind aus Richtung Südwest bis Südost kommt. Diese Windrichtung tritt vergleichsweise selten auf und dann als mittelstarke bis starke Winde, welche die Schadgasdurchmischung fördern und im Vergleich zu Schwachwinden zu geringeren Immissionskonzentrationen führen. Für Standorte, die sich in östlicher oder westlicher Richtung vom Gelände der BASF Grenzach GmbH bzw. vom Gelände der DSM Nutritional Products GmbH befinden, erfolgt die Schadstoffausbreitung unter mittleren



Ausbreitungsbedingungen, d. h. bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3 m/s ohne Inversionswetterlagen.

### 2.3.2 Ausbreitungsrelevante Standortfaktoren

Zu den ausbreitungsrelevanten Standortfaktoren gehören alle lokalen Randbedingungen, welche das Ausbreitungsverhalten von freigesetzten Gefahrstoffen begünstigen oder behindern.

Faktoren, welche das Ausbreitungsverhalten begünstigen, d. h. zu größeren Einwirkungsradien führen, sind:

- Freisetzung auf freiem Gelände außerhalb von geschlossenen Produktions- oder Lagerräumen,
- unbebautes ebenes Gelände,
- strömungstechnisch „glattes“ Terrain,
- in Richtung von Schutzobjekten abfallendes Gelände, welches die Ausbreitung von gasförmigen Emissionen, die schwerer als Luft sind („Schwergas-Ausbreitung“), begünstigen,
- Gebäude- oder Geländestrukturen, welche für die Ausbreitung von gasförmigen Schadstoffen „wie ein Windkanal“ wirken,
- häufig anzutreffende Wettersituationen,
  - die zu Inversionswetterlagen führen,
  - mit Schwachwindphasen, die zu hohen Immissionskonzentrationen führen,
  - mit Windrichtungen, die die Ausbreitung von Schadgasen in Richtung zu Schutzobjekten begünstigen.

Dementsprechend sind Faktoren, welche das Ausbreitungsverhalten behindern, d. h. zu geringeren Einwirkungsradien führen:

- Freisetzung innerhalb geschlossener Gebäude,
- bebautes Gelände,
- strömungstechnisch „raues“ Terrain,
- in Richtung von Schutzobjekten ansteigendes Gelände oder Bodensenken, welche die Ausbreitung von gasförmigen Emissionen, die schwerer als Luft sind, behindern,
- Gebäude- oder Geländestrukturen, welche für die Ausbreitung von gasförmigen Schadstoffen als „Barriere“ oder „Senken“ wirken,
- häufig anzutreffende Wettersituationen,
  - die keine Inversionswetterlagen beinhalten,
  - mit höheren Windgeschwindigkeiten, die zu geringeren Immissionskonzentrationen bzw. bei kurzzeitigen Emissionen zu geringen Dosiswerten führen,
  - mit Windrichtungen, die die Ausbreitung von Schadgasen von Schutzobjekten wegführen.



Im vorliegenden Fall überwiegen die Faktoren, welche das Ausbreitungsverhalten behindern:

- Die potenziellen Freisetzungsorte bei der verfahrenstechnischen Handhabung befinden sich überwiegend innerhalb von Gebäuden.
- Bei bodennaher Freisetzung und Ausbreitung bilden die Gebäude eine wirksame Ausbreitungsbarriere. Dies gilt insbesondere für die Ausbreitung in Richtung Norden.
- Der Rhein bildet eine natürliche Barriere in Richtung Süden für den Fall einer bodennahen Ausbreitung.
- Die Gebäudestruktur in der Umgebung Richtung Norden kann als stark bebauter Gelände mit hoher Rauigkeitsklasse eingestuft werden.
- Die dominanten Windrichtungen liegen in der Ost-West-Achse und verlaufen parallel zum bebauten Bereich der Gemeinde Grenzach-Wyhlen.
- Die häufigsten Windgeschwindigkeiten liegen im Bereich 1,9 bis 3,8 m/s mit einer Tendenz zu Windgeschwindigkeiten größer 3 m/s. Die Ausbreitungsklassen III/2 und III/2, welche zu einem deutlich ausgeprägten vertikalen Luftaustausch führen, dominieren. Daher ist es gerechtfertigt, für die Ausbreitungsberechnungen von einer mittleren Ausbreitungssituation im Sinne der VDI 3783 auszugehen.

Weiterhin wirken bzgl. dem Freisetzungspotenzial minimierend:

- Die Ableit- und Auffangflächen sowie Auffanggruben innerhalb der Produktionsgebäude sowie innerhalb der Lagerräume reduzieren das Freisetzungspotenzial im Falle einer Freisetzung von Flüssigkeiten oder druckverflüssigten Gasen sowie von Stoffen, die mit Wasser toxische Gase bilden.
- Die Be- und Entladestellen an den Tanklagern für leichtentzündliche und/oder giftige Flüssigkeiten sind jeweils mit Ableitflächen und Sammelrinnen sowie Auffanggruben ausgerüstet. Hierdurch wird eine großflächige Lachenbildung im Falle einer Freisetzung wirksam verhindert.
- Die Räume, in denen Chlor verdampft wird, sind mit Gaswarnanlage und mit Sprühwasseranlagen über den Zugangstoren ausgerüstet.
- Die Räume, in denen Ammoniak flüssig oder gasförmig vorhanden ist, werden durch Gassensoren überwacht. Alle Gassensoren alarmieren an einer ständig besetzten Stelle (Pforte), von der aus die Einsatzkräfte (Werkfeuerwehr) alarmiert werden. Die Gassensoren in den Ammoniak-Verdichterräumen schalten zusätzlich die Lüftungsanlagen und die Verdichter im Falle einer Überschreitung von Grenzwerten.
- Die Lageranlagen für giftige, brennbare und leichtentzündliche sowie hochentzündliche Stoffe befinden sich überwiegend unter Erdgleiche in Auffangräumen. Dies begrenzt im Falle einer Leckage die Ausbreitung und minimiert wirksam die Ausbreitung von Stoffen, deren Gase schwerer als Luft sind.

Für die vorliegenden Berechnungen wurden die minimierenden Randbedingungen nur in den Szenarien berücksichtigt, wo dies im Rahmen der Einzelfallbetrachtung im Sinne des KAS-18/KAS-32 zulässig ist. Die konkrete Berücksichtigung ist bei den einzelnen Szenarien im vertraulichen Anhang 2 beschrieben.



### **3 Ergebnis der Einzelfallbetrachtungen**

#### **3.1 Bauleitplanung und Störfallrecht**

Der § 50 Satz 1 BImSchG hat zum Ziel, im Rahmen und mit den Mitteln der Raum- und Flächenplanung gebietsbezogene Vorsorge zu treffen, um schutzbedürftige Gebiete auch vor den Auswirkungen von schweren Unfällen so weit wie möglich und langfristig zu schützen.

Der § 3 Abs. 1 der StörfallV fordert, dass der Betreiber die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahr erforderlichen Vorkehrungen trifft, um Störfälle zu verhindern. Nach § 3 Abs. 2 der StörfallV sind hierbei alle Gefahrenquellen zu betrachten, die vernünftigerweise nicht auszuschließen sind. Damit eine Anlage die Genehmigungsvoraussetzungen nach dem BImSchG erfüllen kann, dürfen vernünftigerweise nicht auszuschließende Gefahrenquellen nur Szenarien zur Folge haben, die am nächst gelegenen Schutzobjekt nicht zu einer ersten Gefahr im Sinne der StörfallV führen.

Darüber hinaus muss der Betreiber nach § 3 Abs. 3 der StörfallV vorbeugende Maßnahmen treffen, um die Auswirkungen von vernünftigerweise auszuschließenden Gefahrenquellen so gering wie möglich zu halten. Grundlage dieser Maßnahmen sind Szenarien, deren Ursachen vernünftigerweise auszuschließen sind, die sogenannten „Dennoch-Szenarien“. Diese Szenarien beschreiben potenzielle Ereignisse, welche trotz aller getroffenen Maßnahmen, z. B. durch ein Versagen dieser Maßnahmen „dennoch“ eintreten können oder trotz der getroffenen Maßnahmen eingetreten sind. Im Extremfall können derartige Ereignisse bis zur vollständigen Freisetzung der „größten zusammenhängenden Masse“ führen (GZM). Ereignisse der letzteren Kategorie dienen vornehmlich als Grundlage für die Notfallplanung (siehe SFK-GS-45).

Zur Bestimmung von „angemessenen Sicherheitsabständen“ im Rahmen der Bauleitplanung sind daher mindestens die Abstände einzuhalten, die sich aus den vernünftigerweise nicht auszuschließenden Szenarien ergeben und zur Erfüllung der Genehmigungsvoraussetzung erforderlich sind.

Maximal wären die Abstände einzuhalten, welche sich bei den „Dennoch-Szenarien“ ergeben, wobei im Sinne des KAS-18 (vergl. Kap. 2.2.2) die Szenarien, welche für die Notfallplanung zu betrachten sind, nicht zu berücksichtigen sind (z. B. die Freisetzung der größten zusammenhängenden Masse).

Als Basis für die Festlegung von Störfallszenarien und die Ermittlung von Auswirkungsradien sowie der „angemessenen Sicherheitsabstände“ im Sinne des Leitfadens KAS-18 zum § 50 BImSchG werden die Methoden und Randbedingungen des Leitfadens KAS-18 sowie der Arbeitshilfe, „Szenarien spezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18“, Stand Nov. 2015“ (2. überarbeitete Fassung KAS-32) zugrunde gelegt.



## 3.2 Anwendung des Leitfadens KAS-18

### 3.2.1 Randbedingungen aus dem Leitfaden KAS-18

Für den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** in Grenzach-Wyhlen liegen alle erforderlichen Angaben zu den Handhabungsbedingungen sowie den Orten der Handhabung der Gefahrstoffe vor. Daher kann eine begründete Stoffauswahl vorgenommen und eine Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabständen“ im Sinne von Kap. 3.2 im Leitfaden KAS-18 durchgeführt werden.

Nach KAS-18, Kap. 3.2 gilt:

*„Werden die Achtungsabstände im Einzelfall nach Kap. 3.1 des KAS-18 unterschritten, ist, ausgehend von der konkreten Lage und Beschaffenheit des Betriebsbereichs systematisch zu beurteilen, welcher Abstand im konkreten Planungsfall angemessen ist. Dabei werden die getroffenen Vorkehrungen und Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen und zu deren Begrenzung berücksichtigt, so dass sich andere Szenarien für die Abstandsermittlung als unter Kap. 3.1 des Leitfadens KAS-18 ergeben.“*

Abweichend von Kap. 3.1 im Leitfaden KAS-18 werden in Kap. 3.2 für die Einzelfallbetrachtungen die folgenden Randbedingungen vorgegeben:

- *„Der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss sehr großer Rohrleitungen sind nicht zu berücksichtigen, da diese Szenarien bei Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik „zu unwahrscheinlich“ sind.“*
- *„Bei Lagerung in Transportgebinden und Lagerung von Druckgefäßen ist mit der Freisetzung des Inhaltes eines Transportgebundes oder eines Druckgefäßes (z. B. einer Gasflasche) zu rechnen. Dabei ist bei Druckgefäßen der Abriss des Ventils (Leckgröße 80 mm<sup>2</sup>) und bei Transportgebinden mit Flüssigkeit (Leckgröße 490 mm<sup>2</sup>) die völlige Entleerung mit anschließender Lachenverdunstung zu unterstellen.“*
- *Für Prozess- und Lageranlagen wird empfohlen, von Leckagen an Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auszugehen. „In einer Einzelfallbetrachtung sollte die Leckfläche unter Berücksichtigung der tatsächlichen vorhandenen Technik bestimmt werden, wobei eine minimale Leckfläche von 80 mm<sup>2</sup> nicht unterschritten werden sollte“. „Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen sind zu berücksichtigen, soweit sie durch die zugrunde gelegten Ereignisse nicht gestört sind.“*



Für die Leckage und Freisetzung werden die folgenden Randbedingungen im Leitfaden KAS-18 festgelegt:

- *Der Massenstrom ist entsprechend den Betriebsbedingungen und unter Voraussetzung eines scharfkantigen Lecks (Ausflussziffer 0,62)<sup>9)</sup> zu berechnen.*
- *Die Umgebungstemperatur ist mit 20°C anzusetzen.*
- *Es ist eine mittlere Wetterlage nach VDI 3783 mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion zu betrachten. Es ist für den Betriebsbereich die häufigste Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung zu ermitteln und für die Berechnung zu verwenden.*
- *Die Bebauungshöhe ist mit 10 m, die Rauigkeitsklasse mit 5 festzulegen.*
- *Für Schwergasausbreitung ist als Ausbreitungsgebiet „lockere Bebauung, Nr. 19“ zu verwenden.*
- *Als Beurteilungswerte sind die gleichen Werte heranzuziehen, die für die Herleitung der Achtungsabstände verwendet wurden (ERPG-2-Wert)<sup>10)</sup>.*
- *Der Ausbreitungsradius bis zum Beurteilungswert des abdeckenden Ereignisses entspricht dem angemessenen Abstand der Einzelfallbetrachtung.*
- *Existieren für den Anlagentyp aus anderen Rechtsvorschriften vorgeschriebene Mindestabstände, so sind diese zu berücksichtigen, wenn sie größer als die empfohlenen Achtungsabstände sind.*

Nach der Arbeitshilfe, „Szenarien spezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18“, Stand 23.11.2014“ (KAS-32) sind für Stoffe, die mit Wasser reagieren, im Abschnitt 2.2 der Arbeitshilfe die folgenden Randbedingungen zu beachten<sup>11)</sup>:

*Wesentlichen Einfluss auf die Menge der bei einer Reaktion mit Wasser gebildeten Gase und auf deren Ausbreitung haben insbesondere das Angebot an Wasser und die Mischbarkeit des jeweiligen Ausgangsstoffes (u.a. dessen Löslichkeit, Dichte und Aggregatzustand):*

- *Für eine Reaktion ist eine ausreichende Durchmischung notwendig.*
- *Für eine vollständige Umsetzung muss eine ausreichende Wassermenge vorliegen.*
- *Wasser darf, um eine vollständige Freisetzung der gebildeten Gase in die Atmosphäre zu ermöglichen, nicht in starkem Überschuss vorliegen. Denn in diesem Fall würde ein Teil der gebildeten, i.d.R. wasserlöslichen Schadgase gelöst in dem überschüssigen Wasser als entsprechende Säure verbleiben.*
- *Bei (stärkeren) Niederschlägen könnte zwar eine (annähernd) vollständige Umsetzung erzielt werden, jedoch würde ein mehr oder minder großer Anteil der gebildeten Gase durch den Regen in Form der entsprechenden Säuren ausgewaschen.*

<sup>9)</sup> Die Ausflusskennziffer 0,62 ist für den Fall eines Lecks oder eines Rohrleitungsabbrisses sehr konservativ, realistisch sind Werte kleiner-gleich 0,5 (Quelle: [Brötz-1979]).

<sup>10)</sup> Ergänzend werden im vorliegenden Gutachten die PAC-Werte berücksichtigt, die auch die AEGL- bzw. TEEL-Werte beinhalten können.

<sup>11)</sup> Siehe Abschnitt 2.2 und 2.4 in der Arbeitshilfe KAS-32.



- *Erfolgt eine Reaktion ausschließlich mit der Feuchtigkeit der Luft, ist diese durch die Geschwindigkeit des Stofftransports - in den meisten Fällen aus der flüssigen Phase in Form einer Lache - in die Gasphase der Luft durch Verdunstung begrenzt.*

*Die vorgenannten Faktoren sind nicht solide vorhersagbar, so dass die Festlegung von Konventionen zur Berechnung des „angemessenen Abstandes“ notwendig ist. Für die Betrachtung im Rahmen der Flächennutzungsplanung wird nicht unterstellt, dass sämtliche vorgenannte Faktoren gleichzeitig zutreffen und zu einer 100%igen Umsetzung zu den genannten Schadgasen führen.*

Für die Freisetzung und Reaktion von Flüssigkeiten werden in der Arbeitshilfe KAS-32 die folgenden Konventionen vorgeschlagen:

<b>Vorkehrungen gegen das Vorhandensein von Wasser im Umfeld der Anlagenteile.</b>	<b>Konvention.</b>	<b>Bemerkung.</b>
(1) Keine.	50%ige Umsetzung der Freisetzungsmenge <sup>12)</sup> zu den Reaktionsprodukten.	Die 50%ige Umsetzung <sup>13)</sup> berücksichtigt pauschal die unter 2.2. genannten Faktoren.
(2) Technische oder organisatorische Maßnahmen, so dass Wasser nur selten und dann nur kurzzeitig vorhanden ist.	Vollständige Umsetzung einer Stoffmenge <sup>5)</sup> , die im Zuge der Reaktion 50 Liter Wasser benötigt, zu den Reaktionsprodukten in der für die Freisetzung dieser Menge notwendigen Zeit <sup>6)</sup> .	Der Ansatz einer „Restwassermenge“ berücksichtigt, dass unter den in Spalte 1 genannten Bedingungen eine vollständige Wasserfreiheit kaum erzielbar ist (beispielsweise in einem Pumpensumpf verbleibende Menge).
(3) Technische und organisatorische Maßnahmen, so dass flüssiges Wasser vernünftigerweise auszuschließen ist.	Freisetzung, Verdunstung aus der sich ausbildenden Lache und Ausbreitung ausschließlich des Ausgangsstoffes analog Leitfaden KAS-18, Abschnitt 3.2 und Anhang 1.	-

**Tab. 3.2-1:** Konventionen zur Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände für Stoffe, die mit Wasser giftige Gase bilden [Quelle: Arbeitshilfe KAS-32-2015].

*Für das Ausbreitungsverhalten der Reaktionsprodukte wird aufgrund der Wärmetönung der Reaktion in der Regel Neutralgasverhalten anzusetzen sein.*

*Im Fall (1) sind zusätzlich die Fälle (2) und (3) und im Fall (2) ist zusätzlich der Fall (3) zu berechnen; der größte der ermittelten Abstandswerte bestimmt den angemessenen Abstand.*

*Bei Feststoffen ist eine Einzelfallbetrachtung hinsichtlich des Ausfluss- und Ausbreitungsverhaltens des Feststoffes seiner Reaktionsgeschwindigkeit mit Wasser und dessen Möglichkeiten des Kontakts mit Wasser notwendig.*

<sup>12)</sup> Menge, Mengenstrom und Freisetzungszeit nach Leitfaden KAS-18, Abschnitt 3.2 und Anhang 1.

<sup>13)</sup> Soweit belastbare weitergehende Informationen beispielsweise zur Umsatzrate oder-geschwindigkeit vorliegen, sind diese bevorzugt zugrunde zu legen.



Nach den oben beschriebenen Randbedingungen werden die Szenarien festgelegt, die die Anforderungen des Leitfadens KAS-18 erfüllen. Hierzu werden die im Sicherheitsbericht beschriebenen Stoffe und Verfahrensabläufe ausgewertet und entsprechend den Anforderungen des Leitfadens KAS-18 bewertet. Daraus ergeben sich die folgenden Stoffe, die in repräsentativen Szenarien zu berücksichtigen sind.



### 3.2.2 Festlegung der Freisetzungsszenarien für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH

Die folgenden Freisetzungsszenarien wurden für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH festgelegt:

3. Freisetzung von unter Druck verflüssigtem Ammoniak an der NH<sub>3</sub>-EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86.  
Nach den Konventionen des KAS-18 wird eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s zugrunde gelegt. Bewertet werden die toxischen Auswirkungen.
4. Freisetzung von Ammoniak durch ein DN 25 Leck (KAS-18 Konvention) für eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s (KAS-18 Konvention) für die Verdampferstationen im Bau 86 und 88.<sup>14)</sup>
5. Freisetzung von Chlor im Chlorklager Bau 22 durch eine DN 25 Flanschleckage<sup>15)</sup> (Leckgröße nach TRB 801 Nr. 25) mit Bewertung der toxischen Wirkung unter der konservativen Annahme, dass bis zum Eingreifen des Personals die Verdampfung aus der Lache erst nach 1.800 s beendet wird.
6. Freisetzung von Chlor mit vollständiger Entleerung eines 1.000 kg Druckgasgebindes in den Chlor-Dosierstationen der Bauten 54 und 86 mit Freisetzung aus dem jeweiligen Verdampferraum ins Freie mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
7. Freisetzung von Furan an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 54/77 mit Bewertung der toxischen Auswirkungen sowie den Auswirkungen durch Brand und Explosion.
8. Freisetzung von Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) an der EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
9. Freisetzung von Ethylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
10. Freisetzung von Methylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.

<sup>14)</sup> Die berechneten Radien werden nur für die Bauten 86 und 88 ausgewiesen, da hier zum einen Ammoniak in Freianlagen eingesetzt wird und zum anderen diese Bauten den kürzesten Abstand zur Werksgrenze aufweisen. Die restlichen NH<sub>3</sub>-Verdampferstationen sowie die NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen befinden sich alle in geschlossenen Räumen, die mit NH<sub>3</sub>-Gassensoren überwacht werden. Mit diesen Szenarien werden Leckagen an den NH<sub>3</sub>-Flussigphasenleitungen mit abgedeckt.

<sup>15)</sup> Diese Leckgröße entspricht nicht der Systematik des Leitfadens KAS-18. Da es sich allerdings um für den Gefahrguttransport zugelassene Bauart geprüfte Behälter handelt, die Behälteranschlüsse gegen Beschädigung geschützt sind und bei derartigen Behältern bisher „nur“ Flanschleckagen aufgetreten sind, wird dieses Szenario für die Art der passiven Lagerung für angemessen eingestuft.



Freisetzungsszenarien für die folgenden Stoffe werden aufgrund der spezifischen Randbedingungen nicht betrachtet:

- a) Die Freisetzung von Chlorwasserstoff wird nicht betrachtet, da Chlorwasserstoff im Betriebsbereich nicht unter Druck verflüssigt gehandhabt wird, sondern als Salzsäure (ca. 30 %) eingesetzt wird.
- b) Die Freisetzung von Cyanwasserstoff im Bau 80 in 11 m Höhe durch Versagen der Abgassammelleitung mit Freisetzung von 40 kg/s (11,11 g/s) für einen Zeitraum von 2 Minuten bis zum Stopp der Ableitung mit weiteren 5 Minuten bis zum Ende der Freisetzung wird nicht betrachtet, da aufgrund der geringen Konzentration und aufgrund der Freisetzungshöhe keine abstandsrelevanten Auswirkungen zu erwarten sind.
- c) Die Freisetzung und Hydrolyse von Oleum (4,5 Gew.-%) wird nicht betrachtet, da aufgrund der geringen Konzentration an Schwefeltrioxid keine abstandsrelevanten Auswirkungen zu erwarten sind.
- d) Die Freisetzung von Schwefelkohlenstoff wurde ursprünglich nicht betrachtet, da die Entleerung aus einem EKW und die Einlagerung in einen unter Erdgleiche aufgestellten Lagertank nur unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen (Werkfeuerwehr während der Austankung unmittelbar vor Ort mit bereitstehenden Wassersprüheinrichtungen) erfolgt.

Ein Versagen Schutzmaßnahmen kann aufgrund der ereignis-unabhängigen Einsatzbereitschaft der Werkfeuerwehr ausgeschlossen werden.<sup>16)</sup>

- e) Die Freisetzung und Zündung von Wasserstoff wird nicht betrachtet, da die Handhabungsmengen innerhalb der Produktionsanlage nur zu lokalen Brand- oder Explosionsereignissen führen können. In den Hochdruckspeicheranlagen sowie im Bau 73 (Verdichteranlage) führen Leckagen aufgrund des hohen Druckniveaus zu Freistrahlfammen, deren Auswirkungen lokal begrenzt sind. Die Bildung einer größeren zündfähigen Gaswolke mit nachfolgender Explosion kann in diesem Bereich vernünftigerweise ausgeschlossen werden.
- f) Das Gefahrenpotenzial von Aceton, Methanol, Isopropanol und THF wird sowohl bezüglich des Dampfdrucks als auch bezüglich der Toxizität sowie der potenziellen Brand- und Explosionsereignisse durch den betrachteten Stoff Furan mit abgedeckt.
- g) Die Hydrolyse von Methylchlorformiat (Zersetzung mit Wasser in Methanol, zu Salzsäure und Kohlendioxid) wird nicht betrachtet, da Methylchlorformiat nicht den H-Satz EUH014, EUH029 besitzt und nach Untersuchungen von Bayer, BASF (siehe [BG RCI-2005]) nur eine geringe (langsame) Hydrolyse aufweist (ca. 5 g/l bei 20 °C mit  $t_{1/2} = \text{ca. } 15 \text{ Minuten}$  [BASF-1992]. Die Hydrolysekonstante liegt bei  $14,1 \times 10^{-4}$  (35 °C) bzw.  $5,6 \times 10^{-4}$  (25 °C) [Wardenbach-1984].<sup>17)</sup> Auch Ethylchlorformiat (CAS-Nr.: 541-41-3) besitzt nicht den H-Satz EUH014, EUH029 und muss daher nicht bzgl. der Hydrolyse betrachtet werden. Nach [www.chemie.de](http://www.chemie.de) reagiert Ethylchlorformiat mit Wasser unter Bildung von Methanol, Salzsäure und Kohlendioxid. Nach

<sup>16)</sup> Auf Anforderung des Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. wurde ein KAS-18-Szenario für Schwefelkohlenstoff im vorliegenden Gutachten ergänzt (siehe Anhang A2, Szenario 6), da im Sinne eines „Dennoch-Szenarios“ nach KAS-18 ein Ereignis eintreten könnte. Der nach KAS-18 ermittelte Abstand von 125 m liegt innerhalb der Grenzen des Betriebsbereichs. Ein „angemessener Sicherheitsabstand“ muss daher für Schwefelkohlenstoff nicht ausgewiesen werden.

<sup>17)</sup> Auf Anforderung des Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. wurde ein KAS-18-Szenario für Methylchlorformiat im vorliegenden Gutachten ergänzt (siehe Anhang A2, Szenario 8). Der nach KAS-18 ermittelte „angemessener Sicherheitsabstand“ von 260 m überschreitet in Richtung Süden und Osten die Grenzen des Betriebsbereichs.



[www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com) handelt es sich um eine langsame Hydrolyse ( $t_{1/2} = 85$  Minuten bei 23-31 °C). Daher wurden entsprechend den Einstufungskriterien auch nicht die EUH-Sätze EUH014 bzw. EUH029 vergeben.

Nach den Angaben des Betreibers DSM Nutritional GmbH (Mail vom 20.08.2019) wird Methylchlorformiat seit 2015 nicht mehr eingesetzt. Der „Ersatzstoff“ Ethylchlorformiat wird ebenfalls nicht mehr eingesetzt, da der „Prozess seit 2015 nicht mehr gefahren wird“. Im, dem Gutachter vorliegenden Sicherheitsbericht (Hauptband, Kap. 3, Stand 13.07.2017), sind die Stoffe Methylchlorformiat und Ethylchlorformiat nicht mehr berücksichtigt. Aus diesen Gründen wurde ein Freisetzungsszenario nicht mehr betrachtet. Aufgrund des Handhabungsortes (Bau 88) und der getroffenen Maßnahmen bei Austanken aus einem BKW (präsenste Werkfeuerwehr) kann ein „abstandsbestimmendes“ Szenario ausgeschlossen werden.<sup>18)</sup>

- h) Im Besprechungsprotokoll vom Juli 2019 (Punkt 10) sowie in den Schreiben des Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. vom 04.05.2020 (Az.: 54.1-2511/LÖ-007/01, 54.1-2511/LÖ-003/01), vom 11.05.2020 (Az.: 54.1-8823.12/LÖ-007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01) und vom 10.08.2020 (Az.: 54.1-8823.12/LÖ-007/02.02, 54.1-2511/LÖ-007/01) wird die Betrachtung eines Szenarios mit Chloressigsäurederivat gefordert. Dieser Stoff wird nach den dem Gutachter vorliegenden Unterlagen (Sicherheitsbericht, Stoffkataster) bei DSM nicht gehandhabt. Daher kann das geforderte Szenario nicht berechnet werden.

<sup>18)</sup> Auf Anforderung des Regierungspräsidiums Freiburg/Brsg. wurde ein KAS-18-Szenario für Ethylchlorformiat im vorliegenden Gutachten ergänzt. Die Randbedingungen und Ergebnisse sind im Anhang A2, Szenario 7 ergänzt. Der nach KAS-18 ermittelte Abstand von 90 m liegt innerhalb der Grenzen des Betriebsbereichs. Ein „angemessener Sicherheitsabstand“ muss daher für Ethylchlorformiat nicht ausgewiesen werden.



### 3.3 Berechnung der Szenarien

#### 3.3.1 Berechnung des Freisetzungspotenzials nach den Vorgaben im Leitfaden KAS-18

Für das Abreißen von Rohrleitungen wird der geometrische Querschnitt verwendet:

$$A_{\text{Abriss}} = \frac{(DN)^2 \cdot \pi}{4}$$

Für eine Flanschleckage wird die Berechnungsgleichung nach TRB 801 Nr. 25 herangezogen:

$$A_{\text{Leck}} = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (DN)^{2,2}$$

Die Leckfläche  $A_{\text{Abriss}}$  bzw.  $A_{\text{Leck}}$  ergibt sich in  $\text{mm}^2$ , der Durchmesser (DN) wird in mm eingesetzt<sup>19)</sup>.

Wird Gas aus einem unter Druck stehenden Behälter oder einem eingesperrten Rohrleitungsabschnitt freigesetzt, dann kann der Freisetzungsmassenstrom aus der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\dot{m}(p_i) = A_{\text{Abriss}} \cdot \psi \cdot k_G \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_i^2}{R \cdot T_i \cdot z}}$$

Hierbei stehen  $p_i$  bzw.  $T_i$  für den Gasdruck und die Gastemperatur im Inneren des Behälters oder der eingesperrten Rohrleitung und  $k_G$  für die Ausflusskennziffer für Gase. Die spezifische Gaskonstante  $R$  besitzt die Einheit  $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ,  $z$  steht für den Realgasfaktor.

Für ein unterkritisches Druckverhältnis

$$\frac{p_a}{p_i} > \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

ist die Ausflussfunktion  $\psi$  durch

$$\psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot \sqrt{\left( \frac{p_a}{p_i} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{p_a}{p_i} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}}}$$

bestimmt und für überkritische Druckverhältnisse durch

$$\psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}} \cdot \left( \frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}$$

Bei einem abgeschlossenen System verringert sich der Betriebsüberdruck kontinuierlich durch die Freisetzung. Da der freigesetzte Massenstrom vom Betriebsüberdruck abhängig ist, verringert sich somit auch der Massenstrom mit der Zeit.

<sup>19)</sup> Im Folgenden wird  $A_{\text{Leck}}$  für die Flanschleckage oder den Abriss einer Leitung verwendet.



Bildet man die zeitliche Ableitung der realen Gasgleichung

$$m(p_i) = \frac{V \cdot p_i}{R \cdot T_i \cdot z},$$

wobei in erster Näherung die zeitlichen Änderungen der Temperatur im Behälter  $T_i$  und des Realgasfaktors  $z$  vernachlässigt werden, so erhält man eine Beziehung zwischen dem freigesetzten Massenstrom (Änderung der Masse im Behälter) und der Druckänderung im Behälter:

$$\dot{m} = \frac{V}{R \cdot T_i \cdot z} \frac{dp_i}{dt}.$$

Der Leckmassenstrom für die Freisetzung aus der Flüssigphase wird berechnet mit der Gleichung:

$$\dot{m}_{Leck} = k_F \cdot A_{Leck} \cdot \rho_{fl} \cdot \sqrt{2 \cdot \left( \frac{\Delta p}{\rho_{fl}} + g \cdot h \right)}.$$

Die Leckfläche  $A_{Leck}$  wird in  $m^2$  eingesetzt, die Differenz zwischen dem Druck in der Rohrleitung (Dampfdruck bei der Medientemperatur  $T$  plus ggf. Förderdruck) und dem Außendruck wird in Pa (Pascal,  $N/m^2$ ) eingesetzt und  $\rho_{fl}$  steht für die Flüssigkeitsdichte in  $kg/m^3$ . Sollte über dem Leck eine Flüssigkeitssäule der Höhe  $h$  (in m) bestehen, ist dies zu berücksichtigen<sup>20)</sup>. Die Erdbeschleunigung wird mit  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  eingesetzt.

Die Ausflusskennziffer  $k_F$  liegt im Bereich von 0,62 (scharfkantig) bis 0,92 (runde Düse). Bei Sicherheitsventilen ist die Ausflussziffer im Sicherheitsventil-Datenblatt des Herstellers angegeben.

Nach dem Leitfaden KAS-18 wird die Ausflusskennziffer definiert aus der Kontraktionszahl  $\mu$  und dem Verlustbeiwert  $\xi$  über

$$k_F = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \xi}}.$$

Der Reibungsbeiwert  $\xi$  berechnet sich nach KAS-18 aus der Ausflusskennziffer  $\mu$  zu

$$\xi = \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right)^2.$$

Für die Freisetzung bei Abriss eines Entnahmeschlauchs oder einer Rohrleitung ist entsprechend KAS-18 eine Ausflusskennziffer von  $\mu = 0,62$  zu wählen:

$$\dot{m}_{Leck} = 0,62 \cdot A_{Leck} \cdot \rho_{fl} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \left( \frac{\Delta p}{\rho_{fl}} + g \cdot h \right)}{(1 + \xi)}}.$$

<sup>20)</sup> In KAS-18, Anhang 3 wird keine Höhe berücksichtigt.



Wird ein unter Druck verflüssigtes Gas mit einer Temperatur oberhalb der Siedetemperatur freigesetzt, so findet eine spontane Verdampfung statt, bei der sowohl die Flüssigkeit als auch die Gasphase bis auf die Siedetemperatur abgekühlt werden. Unter der Annahme einer adiabaten Expansion kann der spontan verdampfende Flüssigkeitsanteil über die folgende Gleichung berechnet werden:

$$\dot{m}_{Flash} = \dot{m}_{fl} \cdot \left( 1 - \exp\left\{ \frac{c_p}{h_v} \cdot (T_s - T_{fl}) \right\} \right)$$

Die Siedetemperatur des freigesetzten Stoffes ist mit  $T_s$  angegeben (in K), die Freisetzungstemperatur der Flüssigphase mit  $T_{fl}$  (in K). Die Wärmekapazität  $c_p$  (in J/(kg K)) und die Verdampfungsenthalpie  $h_v$  (in J/kg) sind temperaturabhängig. Daher müssen entweder Mittelwerte für den Temperaturbereich zwischen  $T_{fl}$  und  $T_s$  verwendet werden oder es ist eine iterative Berechnung mit den temperaturabhängigen Stoffwerten durchzuführen, welche die adiabate Abkühlung des verflüssigten Gases beschreibt.

Bei der Berechnung der Flash-Verdampfung wird nur die in der Flüssigkeit zur Verfügung stehende Wärme berücksichtigt. Durch die Verdampfung im Flüssigkeitsstrahl kommt es zu einem Aufbrechen des Flüssigkeitsstrahls und damit zu einer Aerosolbildung. Durch die Einmischung von Luft und die Vergrößerung der Oberfläche durch die Tröpfchenbildung wird zusätzlich Wärme zugeführt bzw. der Dampfdruck in der Aerosolwolke verringert, so dass es zu einer Verdunstung/Verdampfung der Flüssigkeitstropfen mit einer weiteren Verringerung der Aerosoltemperatur kommt. In Abhängigkeit von der Höhe der Leckstelle über dem Boden, der Austrittsrichtung, dem Stoff und der Tropfengröße können Tropfen verdunsten, bevor sie auf dem Boden auftreffen. Dieser Vorgang wird in so genannten Spray-Modellen berücksichtigt.

Im Rahmen der Berechnungen nach dem Leitfaden KAS-18 wird dieser Effekt nicht berücksichtigt.

Der Anteil des Flüssigphasenstroms, welcher nicht spontan verdampft, bildet eine Flüssigkeitslache, aus der die Flüssigkeit verdunstet oder verdampft.

Liegt die Siedetemperatur der Flüssigkeit oberhalb der Umgebungstemperatur, so wird sich die Flüssigkeit durch Abgabe von Wärme an die Umgebung abkühlen und es tritt ein Verdunstungsprozess ein. Liegt dagegen die Siedetemperatur der Flüssigkeit unterhalb der Umgebungstemperatur, so wird es durch die Wärmezufuhr, vor allem durch den Boden, über eine gewisse Zeit bei gleich bleibender Flüssigkeitstemperatur zu einer Verdampfung kommen. Durch die Abkühlung des Bodens verringert sich in kurzer Zeit aber die Wärmezufuhr so stark, dass es zu einer Abkühlung der Flüssigkeit aufgrund der Verdunstung kommt.

Bei einer Verdunstung ist der Sättigungsdampfdruck über der Flüssigkeitsoberfläche geringer als der Umgebungsdruck und der daraus resultierende Massenstrom kleiner als bei einer Verdampfung. Die treibende Kraft für die Verdunstung ist im Wesentlichen das Dampfdruckgefälle zwischen dem Sättigungsdampfdruck an der Flüssigkeitsoberfläche und dem Partialdruck in der Umgebungsluft, während bei der Verdampfung nur die zugeführte Wärmemenge für den Massenstrom ausschlaggebend ist.



Aus der Energiebilanz zwischen zugeführter und abgeführter Wärme aus der Umgebung und der für die Verdunstung erforderlichen Energie ergibt sich die zeitliche Änderung der Flüssigkeitstemperatur, die eine Veränderung des Dampfdrucks und somit auch des verdunsteten Massenstroms zur Folge hat. Die Änderung der Flüssigkeitstemperatur lässt sich aus der Energiebilanz berechnen.

Maßgeblich für die „Steuerung“ des Verdunstungsprozesses ist die Energiebilanz unter Berücksichtigung der folgenden Komponenten:

- Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeitsoberfläche.
- Wärmeleitung zwischen dem Boden und der Flüssigkeitslache.
- Wärmeeinstrahlung zwischen der Umgebung und der Flüssigkeit<sup>21)</sup>.
- Wärmeeintrag durch den Leckagefluss.
- Wärmeverlust durch die Verdunstung, Verdampfung.

Als Gleichung ausgedrückt:

$$m_{Lache} \cdot c_{p,fl}(T_{Lache}) \cdot \frac{dT_{fl}}{dt} = \dot{Q}_{Boden}(t) + \dot{Q}_{Konv}(T_{fl},t) + \dot{Q}_{Str}(T_{fl},t) - \dot{Q}_{Verd}(T_{fl},t) + \dot{m}_0 \cdot c_{p,0} \cdot (T_0 - T_{fl}).$$

Auf der linken Seite steht die zeitliche Änderung der Wärmeenergie in der Flüssigkeitslache (in J/s) mit  $m_{Lache}$  als Masse der Flüssigkeitslache (in kg). Auf der rechten Seite stehen die der Flüssigkeit zugeführten Wärmeenergien aus dem Boden, der Konvektion und der Strahlung sowie die Wärme aus dem freigesetzten Flüssigkeitsmassenstrom  $\dot{m}_0$  abzüglich der durch Verdunstung entzogenen Wärme  $\dot{Q}_{Verd}$ . Die Temperatur der aus dem Leck freigesetzten Flüssigkeit wird mit  $T_0$  bezeichnet,  $T_{fl}$  steht für die Temperatur der Flüssigkeit in der Lache (jeweils in K). Analog steht  $c_{p,0}$  für die spezifische Wärme der freigesetzten Flüssigkeit,  $c_{p,fl}$  steht für die von der Lachentemperatur  $T_{fl}$  abhängigen spezifischen Wärme der Flüssigkeit in der Lache (jeweils in J/(kg K)).

$$\dot{Q}_{Verd}(T_{fl},t) = \dot{m}_{max}(t) \cdot h_v.$$

Der in die Gasphase übergehende Massenstrom  $\dot{m}_{max}$  bestimmt sich aus dem Verdunstungsmassenstrom,  $h_v$  steht für die spezifische Verdampfungsenthalpie in kJ/kg.

Die Berechnung des Verdunstungsmassenstroms erfolgt aus der Bilanz der zugeführten Wärmeenergien:

$$\dot{m}_{Verd}(t) = \frac{\dot{Q}_{Boden}(t) + \dot{Q}_{Konv}(T_{fl},t) + \dot{Q}_{Str}(T_{fl},t)}{h_v}.$$

Der konvektive Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeitsoberfläche berechnet sich aus dem Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  und der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Flüssigkeit.

<sup>21)</sup> Bei einer Lache im Freien ist hierbei die Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen und bei Freisetzung in Gebäuden ggf. die Einwirkung durch Wärmestrahler.



$$\dot{Q}_{Konv}(t) = \alpha(t) \cdot (T_{Luft} - T_{fl}(t)) \cdot A_{Lache}(t).$$

Da sich die Temperatur der Flüssigkeit mit der Zeit ändert und die Lachenfläche zum Beginn der Freisetzung anwächst und nach der vollständigen Freisetzung durch Verdunstung wieder kleiner wird, sind dies zeitabhängige Größen.

Der Wärmeübergangskoeffizient (in W/m<sup>2</sup>K) kann aus der mittleren Nusselt-Zahl (Nu) berechnet werden,

$$\alpha(t) = \frac{Nu(t) \cdot \lambda_{Luft}}{L(t)},$$

wobei  $\lambda_{Luft}$  für die Wärmeleitfähigkeit (in W/mK) der Luft steht und L für die Überströmlänge (in m), welche gleich dem Lachendurchmesser oder der Länge der Lache in Richtung der Windströmung gesetzt wird.

Die Nusselt-Zahl berechnet sich aus den laminaren und turbulenten Nusselt-Zahlen über die Gleichungen:

$$Nu(t) = \sqrt{Nu_{lam}(t)^2 + Nu_{turb}(t)^2},$$

$$Nu_{lam}(t) = 0,664 \cdot \sqrt{Re(t)} \cdot \sqrt[3]{Pr},$$

$$Nu_{turb}(t) = \frac{0,037 \cdot Re(t)^{0,8} \cdot Pr}{1 + 2,443 \cdot Re(t)^{-0,1} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}.$$

Pr steht für die Prandtl-Zahl und Re steht für die Reynolds-Zahl. Diese berechnen sich aus

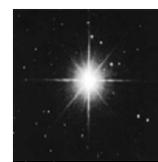
$$Re(t) = \frac{u_{wind} \cdot L(t)}{v_{Luft}}, \quad Pr = \frac{\eta_{Luft} \cdot c_{p,Luft}}{\lambda_{Luft}}.$$

Die dynamische Viskosität der Luft (in Pa s) wird mit  $\eta_{Luft}$  bezeichnet, die kinematische Viskosität (m<sup>2</sup>/s) der Luft mit  $v_{Luft}$ . Die Windgeschwindigkeit (in m/s) ist mit  $u_{wind}$  bezeichnet.

Der Wärmestrom aus dem Boden wird durch die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{Boden}$ , die Dichte  $\rho_{Boden}$  und die spez. Wärme  $c_{p,Boden}$  des Bodens sowie durch die Temperaturdifferenz zwischen Boden und Flüssigkeit bestimmt:

$$\dot{Q}_{Boden}(t) = \frac{\lambda_{Boden}}{\sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda_{Boden} \cdot t}{\rho_{Boden} \cdot c_{p,Boden}}}} \cdot (T_{Boden} - T_{fl}(t)) \cdot A_{Lache}(t).$$

Der Wärmeeintrag aus dem Boden ist zeitabhängig, da neben der sich verändernden Lachentemperatur und der Lachenfläche auch die Bodentemperatur horizontal und vertikal abnimmt.



Aufgrund der sich mit der Zeit ausbreitenden Flüssigkeitslache wird nicht jedes Bodenelement zur gleichen Zeit abgekühlt, daher muss der Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem ein bestimmtes Bodenelement mit der Flüssigkeit in Kontakt tritt. Im Anhang 3 des Leitfadens KAS-18 ist eine Methode beschrieben, welche eine kreisförmige Lachenausbreitung annimmt. Die Lachenfläche wird in Kreisringe (Außenradius  $r_i$ , Innenradius  $r_{i-1}$ ) unterteilt und es wird für jeden Kreisring die Zeitdauer ( $t - t_i^*$ ) seit dem „Eintreffen“ der Lachenflüssigkeit bestimmt. Aus der Summe über alle Kreisringe ergibt sich der Wärmestrom aus dem Boden als Funktion der Zeit.

$$\dot{Q}_{Bode}(t) = \frac{\lambda_{Boden}}{\sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda_{Boden}}{\rho_{Boden} \cdot c_{p,Boden}}}} \cdot (T_{Boden} - T_{fl}(t)) \cdot \sum_{i=2}^n \frac{\pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2)}{\sqrt{t - t_i^*}}$$

Solange die Lachenflüssigkeit nicht durch Aufkantungen begrenzt wird, breitet sich diese durch die Schwerkraft durch unterschiedliche Schichthöhen und gehemmt durch Oberflächenkräfte und Bodenreibung aus.

Nach einem Modell von Webber [Webber-1991] wird der Lachenradius aus der Lösung des gekoppelten Differenzialgleichungssystems

$$\frac{dr}{dt} = U \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot \sqrt{1 + \varepsilon_L} - 2}{\varepsilon_L} \right), \quad \frac{dU}{dt} = \frac{4 \cdot g \cdot H_L \cdot (1 - s_L)}{r} - F,$$

berechnet. Die Größe  $H_L$  steht für die mittlere Schichthöhe oberhalb der minimalen Schichtdicke  $h_{min}$  (jeweils in m).

$$H_L = \frac{m_{Lache}}{\rho_{fl} \cdot \pi \cdot r^2} - h_{min}$$

Die Parameter  $\varepsilon_L$  und  $s_L$  berechnen sich aus den folgenden Gleichungen:

$$s_L = \frac{h_{min} \cdot (\sqrt{1 + \varepsilon_L} - 1)}{2 \cdot H_L}, \quad \varepsilon_L = \frac{8 \cdot U^2}{g \cdot h_{min}},$$

$$F = \max(|F_L|; |F_T|) \quad \text{mit} \quad F_L = \frac{7,59 \cdot \eta_{fl} \cdot U}{\rho_{fl} \cdot H_L^2} \quad \text{und} \quad F_T = \frac{0,007184 \cdot U^2}{H_L}$$

Der Widerstandsterm wird mit F bezeichnet und berechnet sich als Maximum aus dem laminaren ( $F_L$ ) bzw. turbulenten ( $F_T$ ) Widerstandsterm. Der zeitabhängige Lachenradius (in m) ist mit r bezeichnet, U in m/s steht für die radiale Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache.

Die minimale Schichtdicke  $h_{min}$  hängt von der Bodenbeschaffenheit ab. Für Betonflächen wird ein Wert von 5 mm angesetzt.

Wenn die Lachenfläche durch Aufkantungen begrenzt ist, erfolgt die Berechnung der zeitlichen Zunahme der Lachenfläche bis zum vollständigen Benetzen der zur Verfügung stehenden Lachenfläche.



Wenn die Lache die maximale Ausdehnung bei der Schichtdicke  $h_{\min}$  erreicht hat ( $dr/dt = 0$ ), berechnet sich der Lachenradius aus der in der Lache vorhandenen Masse ( $m_{Lache}$ ), welche durch die Verdunstung mit der Zeit abnimmt, durch die folgende Gleichung:

$$r(t) = \sqrt{\frac{m_{Lache}}{\rho_{fl} \cdot \pi \cdot (H_L + h_{\min})}}$$

Die Berechnung der Wärmeeinstrahlung erfolgt nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz aus

$$\dot{Q}_{Str}(t) = (0,86 \cdot \dot{Q}_{Solar} - 0,9 \cdot \sigma \cdot T_{fl}^4 + 0,46 \cdot \sigma \cdot (T_{Luft}^4 - T_{fl}^4)) \cdot A_{Lache}(t)$$

Die Boltzmannkonstante  $\sigma$  besitzt den Wert  $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ . Im Anhang 3 des Leitfadens KAS-18 wird für  $\dot{Q}_{Solar}$  ein Wert von  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$  angesetzt. Wenn die Lache sich innerhalb eines Gebäudes befindet, entfällt  $\dot{Q}_{Solar}$  oder ist durch den Wert einer eventuell vorhandenen technischen Wärmequelle zu ersetzen.

Für die Berechnung des Verdunstungsmassenstroms kann der Ansatz nach Meurer [Meurer-1991] verwendet werden, der aus einer Kombination der Modelle von Clancey [Clancey-1974] und Lebuser, Schecker [Lebuser-1986] besteht:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{Verdunstung,1} &= 2,63 \cdot 10^{-4} \cdot u^{0,78} \cdot x^{0,89} \cdot y \cdot \frac{M \cdot p_A}{T_{fl}}, \\ \dot{m}_{Verdunstung,2} &= 8,0 \cdot 10^{-2} \cdot M \cdot u^{0,78} \cdot (x \cdot y)^{0,945} \cdot \ln\left(1 + \frac{p_A}{p_u - p_A}\right), \\ \dot{m}_{Verdunstung} &= \frac{1}{2} \cdot (\dot{m}_{Verdunstung,1} + \dot{m}_{Verdunstung,2}). \end{aligned}$$



Die Gleichung gilt ursprünglich für rechteckige Lachen mit:

- $\dot{m}_{\text{Verdunstung}}$  : Verdunstungsmassenstrom in g/s  
 M: Molmasse in g/mol  
 P<sub>A</sub>: Dampfdruck des Mediums über der Flüssigkeitslache in Pa  
 P<sub>u</sub>: Umgebungsdruck in Pa  
 T<sub>fl</sub>: Temperatur der Lachenflüssigkeit in K  
 u: Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 10 m  
 x: Lachenabmessung in Windrichtung in m  
 y: Lachenabmessung quer zur Windrichtung in m

Für kreisförmige Lachen wird angenommen, dass es sich um eine quadratische Lache mit gleicher Fläche handelt.

Im Anhang 3 des Leitfadens KAS-18 wird für die Berechnung der Verdunstung das Modell von Mackay/Matsugu [Deutsch-1995], [Lebuser-1989] angegeben:

$$\dot{m}(t) = \frac{k \cdot A_{\text{Lache}}(t) \cdot p_u}{R \cdot T_{fl}(t)} \cdot \ln \left[ \frac{p_u}{p_u - p_A^0} \right]$$

Der Stoffübergangskoeffizient k wird berechnet aus:

$$k = 0,0292 \cdot u_{\text{Wind}}^{0,78} \cdot L^{-0,11} \cdot \left( \frac{v_{\text{Luft}}}{D_{AB}} \right)^{-0,67}$$

Der Lachenradius (in m) wird mit L, der Diffusionskoeffizient (in m<sup>2</sup>/s) für den verdunstenden Stoff in der Luft ist mit D<sub>AB</sub> und die kinematische Viskosität (in m<sup>2</sup>/s) ist mit v<sub>Luft</sub> bezeichnet.

Der für die gasförmige Freisetzung relevante Gasmassenstrom ergibt sich aus der Verdunstung, Verdampfung aus der Flüssigkeitslache plus dem Flashmassenstrom:

$$\dot{m}_{\text{Emission}}(t) = \dot{m}(t)_{\text{Verdunstung}} + \dot{m}(t)_{\text{Verdampfung}} + \dot{m}(t)_{\text{Flash}}$$

Als Modell zur Berechnung der Konzentration innerhalb eines Gebäudes wurde das Modell der idealen Durchmischung verwendet. Dies bedeutet, dass die zeitliche Änderung dc/dt der Konzentration c(t) im Gebäude mit dem Volumen V proportional ist zur Differenz aus dem Schadgasmassenstrom  $\dot{m}_{\text{Schadgas-In}}(t)$  über die Zuluft bzw. das Leck oder die Lachenverdunstung und dem Abluftmassenstrom, welcher sich aus dem Produkt von Luftwechsellvolumenstrom  $\dot{V}$  und Raumkonzentration c(t) bestimmt.

$$V \cdot \frac{dc(t)}{dt} = \dot{m}_{\text{Schadgas-In}}(t) - \dot{V} \cdot c(t)$$

Der zeitliche Verlauf der Konzentration im Volumen V wird für einen zeitunabhängigen Schadgasmassenstrom durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$c(t) = \frac{\dot{m}_{\text{Schadgas-In}}}{\dot{V}} \cdot \left( 1 - \exp \left\{ -\frac{\dot{V}}{V} \cdot t \right\} \right)$$



Im Falle eines zeitabhängigen Schadgasmassenstromes muss die Differentialgleichung numerisch gelöst werden.

Zur Berechnung der Freisetzungsrates beim Ansprechen von Sicherheitsventilen wird das Programm „SAFIRE“ des „Design Institut for Emergency Relief Systems (DIERS) of the American Institute of Chemical Engineers“ herangezogen ([DIERS-1992]).

Das Programm berechnet unter anderem Zweiphasen-Druckentlastungs-Massenströme unter Berücksichtigung von äußerem Energieeintrag, spontaner Verdampfung beim Druckentlastungsvorgang und Zweiphasenströmung.

Da das Ausbreitungsprogramm keine Zweiphasenströmungen berücksichtigt, wird der Gas- und Flüssigkeitsmassenstrom aus der SAFIRE-Berechnung getrennt behandelt. Abhängig vom Austrittsimpuls erfolgt die Freisetzungsberechnung beim Ansprechen von Sicherheitsventilen als Freistrahlberechnung nach Prof. Schatzmann ([Schatzmann-1976, -1978, -1979, -1990]).

### 3.3.2 Berechnung von Explosionsauswirkungen

Für die Berechnung von Explosionsauswirkungen stehen verschiedene Modelle zur Verfügung ([TNO-1996], [UBA-2000], [ProNuSs]).

Entsprechend dem Leitfaden KAS-18 können das Modell von Wiekema ([Wiekema-1980]) oder das „Multi-Energy-Modell“ ([van den Berg-1985]) herangezogen werden.

Mit diesen Modellen können die auftretenden Spitzenüberdrücke in Abhängigkeit von der Entfernung zur gezündeten Gaswolke abgeschätzt werden. Hierbei wird berücksichtigt, dass bei einer abbrennenden Brenngaswolke eine deflagrative Flammenausbreitung vorausgesetzt werden kann. Nach dem Modell von Wiekema berechnet sich der maximale Explosionsüberdruck nach folgender Beziehung:

$$\frac{\Delta P_s}{p_u} = A \frac{L}{R}$$

Der Parameter A wird bestimmt durch die Flammengeschwindigkeit S:

$$S = 40 \frac{m}{s}: \quad A = 0.02,$$

$$S = 80 \frac{m}{s}: \quad A = 0.06,$$

$$S = 160 \frac{m}{s}: \quad A = 0.15.$$

Die „charakteristische Explosionslänge“ L bestimmt sich aus



$$L = \left( \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \frac{3,5 \cdot 10^6 [J/m^3]}{P_u} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Der Radius R wird vom Mittelpunkt der als Halbkugel idealisierten Gaswolke gemessen. Der Radius der Halbkugel beträgt  $r_0$  und wird aus der gesamten explosionsfähigen Masse und der unteren Explosionsgrenze berechnet. Einflussparameter auf die Ergebnisse dieses Modells ist in erster Linie die Verbrennungsenergie der Gaswolke und die dadurch beeinflusste Flammengeschwindigkeit S.

Die Verbrennungsenergie hängt im Wesentlichen vom Mischungsgrad zwischen Brenngas und Luft ab. Bei Giesbrecht ([Giesbrecht-1980, 1981]) wird der in der Praxis meist nicht vorliegende ideale stöchiometrische Mischungsgrad im Volumenvergrößerungsfaktor berücksichtigt, der im Idealfall 7 beträgt. Für Modellierungen von störfallbedingten und somit unbestimmten Mischungsverhältnissen wird in Übereinstimmung mit ([Giesbrecht-1980]) der Volumenvergrößerungsfaktor 3,5 angesetzt. Hierdurch wird die unvollständige Verbrennung bei der Deflagration von brennbaren Gasgemischwolken (ca. 30 % der Gesamtmenge) berücksichtigt. Die Berechnung der Flammengeschwindigkeit erfolgt nach Giesbrecht ([Giesbrecht-1981]) mit folgender Zahlenwertgleichung:

$$S = 0,7 \cdot v \cdot S_1 \cdot e_{DW}^{1/4} \cdot E_{Gas}^{1/6}$$

Die Beziehung für die Flammengeschwindigkeit wurde aus den Messungen der Deflagration einer Propylen/Luft-Wolke nach einem Behälterbersten ermittelt. Die Flammengeschwindigkeiten bei anderen Freisetzungarten (Freistrahler, Abdampfen von Lache usw.) weichen davon ab. Wegen des hohen Gehaltes an turbulenter Mischenergie wird die Flammengeschwindigkeit nach einem Behälterbersten jedoch als obere Abschätzung auch für andere Fälle betrachtet ([Giesbrecht-1981]).

Der positive Impuls der Explosion berechnet sich nach folgender Beziehung:

$$I = 0,228 \cdot \Delta P_s \cdot L \left( \frac{1}{S} - \frac{1}{a} \right) + \frac{3AL}{7a} \cdot \ln \left( \frac{1 + \frac{7R}{3AL}}{1 + \frac{3,192}{3A}} \right)$$

Die Formelzeichen bedeuten:

$\Delta P_s$	Maximaler Explosionsüberdruck [bar]
$P_u$	Umgebungsdruck [bar <sub>abs</sub> ]
$v$ [ ]	Volumenvergrößerungsfaktor = 3,5
S [m/s]	turbulente Flammengeschwindigkeit
$S_1$ [m/s]	laminare Flammengeschwindigkeit, ca. 0,5 m/s
a [m/s]	Schallgeschwindigkeit
$e_{DW}$ [kJ/kg]	an die Umgebung abgegebene physikalische Arbeit = 60 kJ/kg
$E_{Gas}$ [MJ]	verfügbare Verbrennungsenergie = unterer Heizwert* <i>Masse</i>
L [m]	charakteristische Explosionslänge

Der maximale Explosionsüberdruck einer Gaswolkenexplosion ist von vielen Parametern abhängig. Neben den Stoffeigenschaften ist dies



- die Art der Zündung,
- die Flammengeschwindigkeit, die durch die Turbulenz in der Gaswolke stark beeinflusst wird und
- die Verdämmung der Gaswolke z. B. durch Gebäude.

Im Multi-Energy-Model nach van den Berg ([van den Berg-1985]) wurde dies berücksichtigt, indem für den maximalen Explosionsüberdruck in der Nähe der Gaswolke 10 Klassen festgelegt werden. Die Klasse 1 hat einen geringen maximalen Explosionsüberdruck (Verpuffung), während die Klasse 10 eine starke Detonation beschreibt. In der folgenden Abbildung ist der normierte Explosionsüberdruck in Abhängigkeit von der normierten Entfernung dargestellt. Die normierten Größen sind hierbei wie folgt definiert:

$$\overline{\Delta P_s} = \frac{\Delta P_s}{P_u}$$
$$\overline{R} = r \cdot \sqrt[3]{\frac{P_u}{E}}$$

Die Zahlen 1 bis 10 an den einzelnen Kurven geben die Explosionsklasse an (vergl. folgende Tabelle Tab. 3.3-1).

Die Dauer  $t_p$  der positiven Druckphase der Explosionsdruckwelle kann aus der folgenden Abbildung entnommen werden, wobei die folgenden normierten Größen verwendet werden:

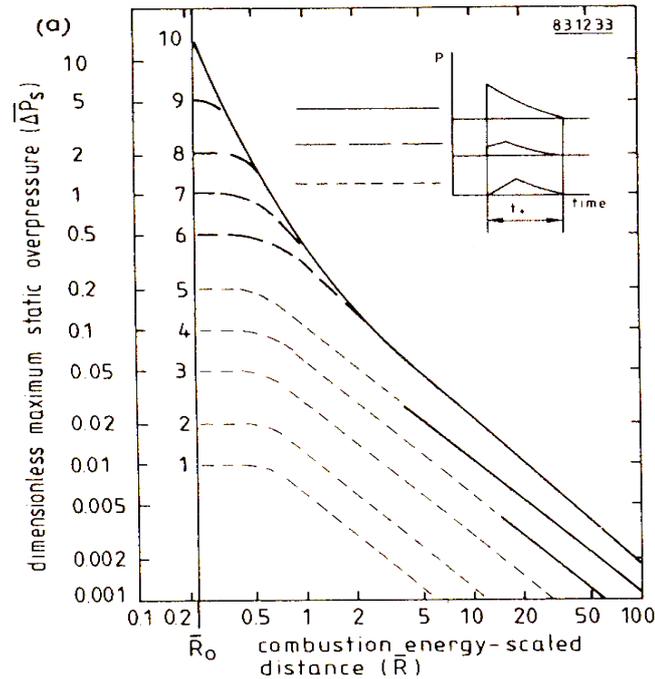
$$r' = \frac{r}{\left(\frac{E}{P_u}\right)^{\frac{1}{3}}}$$
$$t_p = \frac{t'_p}{a} \cdot \left(\frac{E}{P_u}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Der Impuls der Druckwelle berechnet sich dann nach

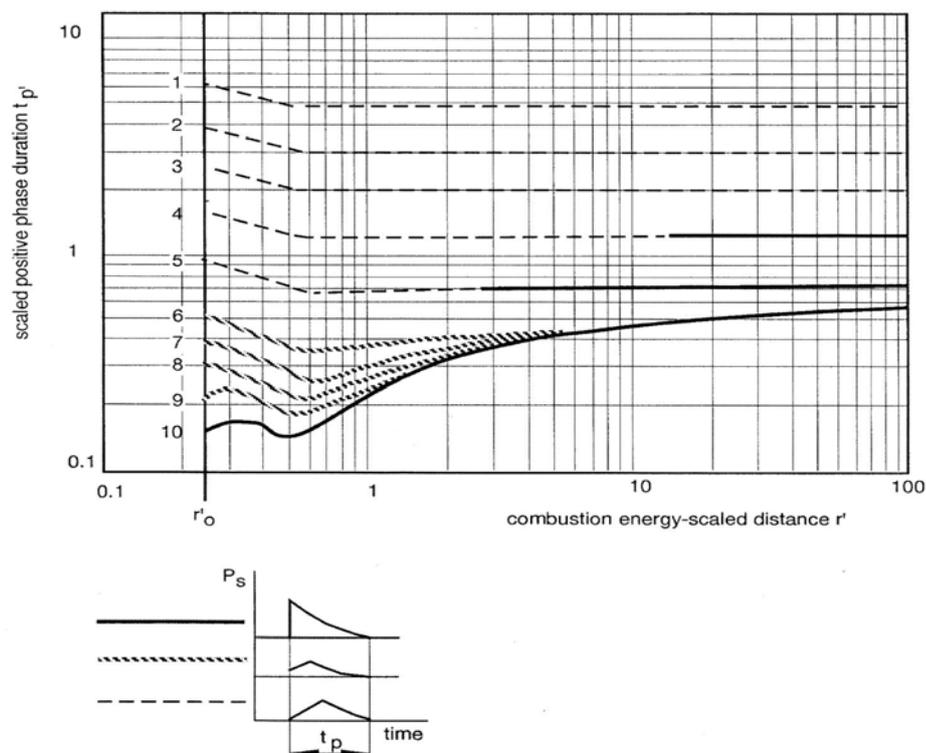
$$I = 0,5 \cdot \Delta P_s \cdot t_p$$

Die einzelnen Größen und Parameter sind wie folgt definiert:

$\Delta P_s$	Explosionsüberdruck [bar]
$P_u$	Umgebungsdruck [bar]
$r$	Entfernung vom Mittelpunkt der Gaswolke [m]
$a$	Schallgeschwindigkeit [m/s]
$t_p$	Dauer der positiven Druckwelle [s]
$E$	Verbrennungsenergie [kJ]
$I$	Impuls der Druckwelle [bar*s]



**Abb. 3.3-1:** Berechnete Explosionsüberdrücke des Multi-Energy-Model [Bildquelle: van den Berg-1985].



**Abb. 3.3-2:** Dauer der positiven Druckphase der Explosionsdruckwelle im Multi-Energy-Model [Bildquelle: van den Berg-1985].



Die wesentliche Fragestellung ist die Zuordnung der zu betrachtenden Situation zu den Klassen des Multi-Energy-Modells. Hierzu wird im „Yellow Book“ ([TNO-1996]) als Hilfestellung die von Kinsella ([Kinsella-1993]) entwickelte Matrix angegeben.

Zündungsenergie		Verblockung			Verdämmung		Klasse
hoch	gering	hoch	gering	keine	hoch	gering	
x		x			x		7-10
x		x				x	7-10
	x	x			x		5-7
x			x		x		5-7
x			x			x	4-6
x				x	x		4-6
	x	x				x	4-5
x				x		x	4-5
	x		x		x		3-5
	x		x			x	2-3
	x			x	x		1-2
	x			x		x	1

Tab. 3.3-1: Explosionsklassen im Multi-Energy-Model [Quelle: TNO-1996].

Gekennzeichnet ist (gelb, obere Zeile) eine Situation, wie sie bei einer Zündung innerhalb einer Anlage oder einem Tanklager auftreten kann. In der unteren Zeile (grün) ist eine Situation gekennzeichnet, wie sie bei einer Freistrahlzündung oder bei einer Zündung einer Lache auftreten kann.

Die drei Parameter Zündungsenergie, Verblockung und Verdämmung werden hierbei wie folgt beschrieben:

### Zündungsenergie

Hoch: Die Zündung der Gaswolke erfolgt durch eine sehr starke Zündquelle, wie z. B. eine Freistrahlezündung aus einem Gebäude heraus oder durch ein Behälterbersten infolge einer Primärexplosion.

Gering: Die Zündquelle ist ein Funken, eine Flamme, eine heiße Oberfläche usw..

### Verblockung

Hoch: In der Gaswolke befinden sich dicht gepackte Hindernisse (Rohrleitungen, Behälter). Das gesamte Volumen der Hindernisse beträgt mehr als 30 % des Volumens im betrachteten Bereich. Die Abstände zwischen den Hindernissen betragen weniger als 3 m.



Gering: In der Gaswolke befinden sich Hindernisse (Rohrleitungen, Behälter). Das gesamte Volumen der Hindernisse ist geringer als 30 % des Volumens im betrachteten Bereich. Die Abstände zwischen den Hindernissen sind größer als 3 m.

Keine: In der Gaswolke befinden sich keine oder nur wenige Hindernisse.

### Verdämmung

Hoch: Die Gaswolke wird durch den Boden und auf zwei oder drei Seiten durch Wände begrenzt.

Gering: Die Gaswolke wird durch den Boden begrenzt und kann bei der Explosion nach allen Seiten expandieren.

Für die im Rahmen dieser Begutachtung durchgeführten Explosionsberechnungen wurden die folgenden Voraussetzungen zugrunde gelegt:

- Als Zündquellen kommen nur niederenergetische Zündquellen in Frage. Explosionsstoffe als Zündquellen werden ausgeschlossen.
- Bei einer Zündung innerhalb eines Tanklagers wird durch benachbarte Wände, Behälter, Rohrleitungen und Rohrbrücken von einer hohen „Verblockung“ ausgegangen.
- Aufgrund der vorherrschenden Bebauungsstruktur und der Annahme, dass die betrachteten Zündungen im Freien auftreten, wird von einer geringen Verdämmung ausgegangen.

Unter diesen Randbedingungen (siehe obige Tabelle) wird für die Berechnungen mit dem Multi-Energy-Model die Explosionsklasse „5“ zugrunde gelegt.

Für den Fall einer Freisetzung und Zündung einer Freistrahlwolke, die oberhalb der Bebauung gezündet wird, kann davon ausgegangen werden, dass keine „Verblockung“ vorliegt und nur eine geringe „Verdämmung“ zu berücksichtigen ist. Für diesen Fall wird für die Berechnungen mit dem Multi-Energy-Model die Explosionsklasse „1“ zugrunde gelegt.

### 3.3.3 Berechnung von Auswirkungen eines Lachen- oder Poolbrandes

Die bei einem Brand freiwerdende Wärme hängt im Wesentlichen vom brennenden Medium und der Größe des Brandherdes ab. Die Wärmeübertragung auf ein benachbartes Objekt erfolgt konvektiv und durch Strahlung, wobei der Anteil der beiden Übertragungsarten an der Gesamtwärmeübertragung durch die räumliche Zuordnung des brennenden und des brandgefährdeten Objektes zueinander bestimmt wird. Mit zunehmendem Abstand vom Brandherd kann der konvektive Anteil immer mehr vernachlässigt werden.

Der durch Strahlung übertragene Wärmestrom  $Q_{str}$  berechnet sich nach



$$\dot{Q}_{str} = \varphi_{12} \cdot A_F \cdot \varepsilon_F \cdot \dot{Q}_0,$$

wobei  $\varphi_{12}$  die mittlere Einstrahlzahl,  $A_F$  die strahlende Fläche,  $\varepsilon_F$  das Emissionsverhältnis der bestrahlten Flächen und  $\dot{Q}_0$  die mittlere spezifische Ausstrahlung der Flamme ist.

Die mittlere Einstrahlzahl zwischen einer strahlenden und einer bestrahlten Fläche kann allgemein durch

$$\varphi_{F,E} = \frac{1}{\pi \cdot A_F} \iint \frac{\cos \beta_E \cdot \cos \beta_F}{s^2} dA_E \cdot dA_F$$

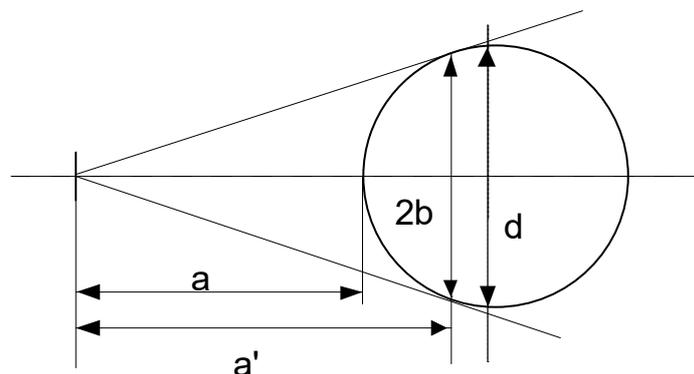
beschrieben werden.

Bei zylindrischen oder rechteckigen Flammen, z. B. bei einem Brand in einer Auffangwanne, kann die strahlende Fläche als eben angenommen werden und die mittlere Einstrahlzahl mit den im VDI-Wärmeatlas ([VDI-2002]) angegebenen Beziehungen berechnet werden.

Seeger ([Seeger-1987]) hat einen Ansatz entwickelt, um die zylindrische Flamme eines Lachen- oder Tankbrandes in eine ebene Strahlungsfläche umzuwandeln. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, verringert sich bei einer zylindrischen Flamme die sichtbare Flammenbreite in Abhängigkeit vom Abstand zur Flamme. Zur Berechnung der mittleren Einstrahlzahl mit den oben genannten Beziehungen für eine ebene Strahlungsfläche wird der Abstand  $a'$  und die Flammenbreite  $2b$  verwendet. Die beiden Längen berechnen sich nach den folgenden Formeln:

$$\frac{a'}{d} = \frac{2 \cdot \left[ \left( \frac{a}{d} \right)^2 + \frac{a}{d} \right]}{2 \frac{a}{d} + 1}$$

$$\frac{b}{d} = \frac{\sqrt{\left( \frac{a}{d} \right)^2 + \frac{a}{d}}}{2 \frac{a}{d} + 1}$$



**Abb. 3.3-3:** Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme [Bildquelle: KAS-18, Anhang 3, Kap. 3.1].



Für die im vorliegenden Gutachten durchgeführten Wärmestrahlungsberechnungen wurde die für zylindrische Flammen besser angepasste Methodik von Mudan ([Mudan-1987]) herangezogen.

Wie bei Brötz ([Brötz-1978]) und Schönbacher ([Schönbacher-1985]) diskutiert, ist durch die großen Temperaturschwankungsbreiten innerhalb der Flamme eines Kohlenwasserstoffbrandes und durch die schwierige Definition der Flammenfläche bei Experimenten eine mittlere Flammentemperatur nur mit großer Unsicherheit zu bestimmen. Beim Zylinderflammen-Strahlungsmodell ([Seeger-1979]) wird eine zylinderförmige, homogene Flamme mit einem Durchmesser  $d$  und mit einer konstanten, mittleren Flammentemperatur von ca.  $900^{\circ}\text{C}$  vorausgesetzt. Die mittlere spezifische Ausstrahlung der Flamme berechnet sich aus

$$\dot{Q}_0 = \varepsilon_F \cdot \sigma \cdot (T_F^4 - T_E^4).$$

Hierbei ist  $\varepsilon_F$  das Emissionsverhältnis der strahlenden Fläche,  $\sigma$  die Stefan-Boltzmann-Konstante und  $T_F$ ,  $T_E$  die Temperaturen der strahlenden bzw. bestrahlten Flächen. Beispiele für das Emissionsverhältnis einer bestrahlten Fläche können z. B. dem VDI-Wärmeatlas entnommen werden. Beim Zylinderflammen-Strahlungsmodell ergibt sich mit den dargestellten Parametern als konservativer Ansatz eine mittlere spezifische Ausstrahlung der Flamme von ca.  $100 \text{ kW/m}^2$  unabhängig vom Durchmesser der Flamme. Mit diesem Wert wurde im Rahmen des vorliegenden Gutachtens gerechnet.

Neben der Berechnung bzw. Festlegung der mittleren spezifischen Wärmestrahlung  $\dot{Q}_0$  wird die Flammenfläche benötigt, die sich aus dem Flammendurchmesser und der zeitlich gemittelten Flammenhöhe bestimmt. Entsprechend KAS-18 werden die Berechnungsmodelle von Thomas ([Thomas-1963]) und Moorhouse ([Moorhouse-1982]) zugrunde gelegt.

Der Flammendurchmesser entspricht dem Lachendurchmesser. Die Branddauer berechnet sich aus der Schichtdicke der Lache und der Abbrandgeschwindigkeit. Der Lachendurchmesser und die Schichtdicke resultieren aus der Freisetzungsrate in die Lache, der zeitabhängigen Verdunstungs- oder Verdampfungsrate sowie ggf. der baulichen Begrenzung der Lachenfläche (z. B. Größe der Auffangwanne).

Für viele Stoffe ist die Abbrandgeschwindigkeit bzw. die Abbrandrate aus Messungen bekannt. Liegen solche Messwerte nicht vor, so lässt sich die Abbrandgeschwindigkeit  $v_a$  in m/s aus der von Burgess [Burgess-1974] entwickelten empirischen Beziehung in Abhängigkeit vom Heizwert  $H_c$  und der Verdampfungsenthalpie  $h_v$  des Stoffes berechnen.

$$v_a = 1,27 \cdot 10^{-6} \frac{H_c}{h_v + \int_{T_0}^{T_s} c_p dt}.$$

Die Abbrandrate in  $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$  berechnet sich dann mit der Flüssigkeitsdichte des Stoffes:

$$\dot{m}' = v_a \rho_{fl}.$$



Viele empirische Beziehungen zur Berechnung der Flammenhöhe lassen sich in der folgenden allgemeinen Form darstellen ( $u$  steht für die Windgeschwindigkeit in m/s,  $d$  für den Flammendurchmesser in m,  $\rho_{\text{Luft}}$  für die Dichte der Luft in  $\text{kg/m}^3$  und  $g$  für die Gravitationsbeschleunigung,  $9,81 \text{ m/s}^2$ ):

$$\frac{H}{d} = a \left( \frac{\dot{m}'}{\rho_{\text{Luft}} \sqrt{g d}} \right)^b \left( \frac{u}{\sqrt[3]{\frac{g \dot{m}' d}{\rho_{\text{Luft}}}}} \right)^c$$

Für die Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  liegen mehrere Datensätze vor. Thomas ([Thomas-1963]) hat auf der Grundlage von Messungen an Holzfeuern folgende Parameter ermittelt:

Brand ohne Windeinfluss:  $a = 42$ ;  $b = 0,61$ ;  $c = 0$ .

Brand mit Windeinfluss:  $a = 55$ ;  $b = 0,67$ ;  $c = -0,21$ .

Moorhouse ([Moorhouse-1982]) hat Messungen an LNG-Feuern durchgeführt und kommt zu folgendem Datensatz:

Brand mit Windeinfluss:  $a = 6,2$ ;  $b = 0,254$ ;  $c = -0,044$ .

Für eine rechteckige Brandfläche wird ein äquivalenter Branddurchmesser verwendet:

$$d_{\text{äqu}} = \sqrt{\frac{4 \text{ Länge} \cdot \text{ Tiefe}}{\pi}}$$

Der Wind wirkt sich bei einem Lachen- oder Tankbrand in einer Neigung der Flamme, in der Flammenhöhe und einer Verschiebung der Flammenbasis in Windrichtung (ovale Flammenfläche) aus. Der Neigungswinkel  $\beta$  der Flamme berechnet sich aus der Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 10 m nach TNO ([TNO-2005]) über die Froude-Zahl  $Fr$  und die Reynolds-Zahl  $Re$  wie folgt:

$$Fr_{10} = \frac{u^2}{g d}$$
$$Re = \frac{u d}{\nu_{\text{Luft}}}$$
$$c = 0,666 Fr_{10}^{0,333} Re^{0,117}$$
$$\beta = \arcsin \left( \frac{\sqrt{4c^2 + 1} - 1}{2c} \right)$$

Für ein Objekt, das sich senkrecht zur Windrichtung befindet, vergrößert sich der Branddurchmesser auf den Wert  $d'$ , der sich nach ([TNO-2005]) und ([Moorhouse-1982]) ebenfalls aus der Froude-Zahl berechnen lässt:

$$\frac{d'}{d} = 1,5 Fr_{10}^{0,069}$$



Im vorliegenden Gutachten werden die oben beschriebenen Methoden zugrunde gelegt.

### 3.3.4 Bewertung der Szenarien

Nach den im vorausgegangenen Abschnitt beschriebenen Methoden wurden die im Anhang 2 im Detail beschriebenen Szenarien berechnet. Für die toxische Auswirkung wurden, soweit vorliegend, die jeweiligen Stoff bezogenen ERPG-2-Werte herangezogen<sup>22)</sup>.

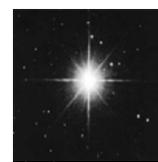
Bei der Auswirkung durch Brand wurde die im Leitfaden KAS-18 „für die Bauleitplanung“ vorgegebene Strahlungsintensität von 1,6 kW/m<sup>2</sup> zugrunde gelegt. Für die Darstellung der Strahlungsintensität als Funktion des Abstandes wurden zusätzlich die Werte von 2 und 8 kW/m<sup>2</sup> berücksichtigt. Die Einstufung dieser kritischen Schwellen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen (siehe auch Anhang 3, Kap. 4, Tabelle 8 im Leitfaden KAS-18):

Zu schützendes Objekt	Kritische Strahlungsintensität in kW/m <sup>2</sup>
Grenze für nachteilige Wirkungen.	1,6
„Empfindliche“ Gebäude: Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Wohnhäuser.	2,0
Öffentliche Straßen.	4,5
Grenze für wahrscheinliche Brandübertragung.	8,0
Ungekühlte Lagertanks.	10,0
Fabrikgebäude, Leitwarten, Werkstätten.	12,6
Gekühlte Lagertanks.	37,8

**Tab. 3.3-2:** Zulässige kritische Strahlungsintensitäten [Quelle: KAS-18].

Für die Beurteilung von Explosionsauswirkungen wurde der im Leitfaden KAS-18 (Anhang 4, Kap. 2) vorgegebene max. zulässige Explosionsüberdruck von 0,1 bar für die Ermittlung von Vorsorgeabständen herangezogen. Zusätzlich wurden in den Darstellungen des max. Explosionsüberdrucks als Funktion des Abstandes die Werte von 0,175 bar<sub>ü</sub> und 0,03 bar<sub>ü</sub> dargestellt, die die Grenze physischer Schäden („Trommelfellriss“) bzw. zu einer „spürbaren“ Explosion („lauter Knall“) beschreiben.

<sup>22)</sup> Der Leitfaden KAS-18 legt fest (siehe Kap. 3.2, Seite 13), dass vorrangig die ERPG-2-Werte heranzuziehen sind. Im vorliegenden Gutachten wurden ergänzend bzw. alternativ die PAC-Werte herangezogen, die aus den AEGL-, ERPG- oder TEEL-Werten bestimmt werden.



### 3.4 Ergebnis der Berechnungen für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH

Als repräsentative Szenarien wurden betrachtet:

1. Freisetzung von unter Druck verflüssigtem Ammoniak an der NH<sub>3</sub>-EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86.  
Nach den Konventionen des KAS-18 wird eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s zugrunde gelegt. Bewertet werden die toxischen Auswirkungen.
2. Freisetzung von Ammoniak durch ein DN 25 Leck (KAS-18 Konvention) für eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s (KAS-18 Konvention) für die Verdampferstationen im Bau 86 und 88.<sup>23)</sup>
3. Freisetzung von Chlor im Chlorklager Bau 22 durch eine DN 25 Flanschleckage<sup>24)</sup> (Leckgröße nach TRB 801 Nr. 25) mit Bewertung der toxischen Wirkung unter der konservativen Annahme, dass bis zum Eingreifen des Personals die Verdampfung aus der Lache erst nach 1.800 s beendet wird.
4. Freisetzung von Chlor mit vollständiger Entleerung eines 1.000 kg Druckgasgebindes in den Chlor-Dosierstationen der Bauten 54 und 86 mit Freisetzung aus dem jeweiligen Verdampferraum ins Freie mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
5. Freisetzung von Furan an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 54/77 mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
6. Freisetzung von Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) an der EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
7. Freisetzung von Ethylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
8. Freisetzung von Methylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.

<sup>23)</sup> Die berechneten Radien werden nur für die Bauten 86 und 88 ausgewiesen, da hier zum einen Ammoniak in Freianlagen eingesetzt wird und zum anderen diese Bauten den kürzesten Abstand zur Werksgrenze aufweisen. Die restlichen NH<sub>3</sub>-Verdampferstationen sowie die NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen befinden sich alle in geschlossenen Räumen, die mit NH<sub>3</sub>-Gassensoren überwacht werden. Mit diesen Szenarien werden Leckagen an den NH<sub>3</sub>-Flussigphasenleitungen mit abgedeckt.

<sup>24)</sup> Diese Leckgröße entspricht nicht der Systematik des Leitfadens KAS-18. Da es sich allerdings um für den Gefahrguttransport zugelassene Bauart geprüfte Behälter handelt, die Behälteranschlüsse gegen Beschädigung geschützt sind und bei derartigen Behältern bisher „nur“ Flanschleckagen aufgetreten sind, wird dieses Szenario für die Art der passiven Lagerung für angemessen eingestuft.



### 3.4.1 „Angemessene Sicherheitsabstände“, die sich aus der Anwendung der Beurteilungswerte und Konventionen nach dem Leitfaden KAS-18 ergeben

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle und Abbildung zusammengefasst:

Fall	Angemessener Sicherheitsabstand für		Bewertung
1	Toxische Wirkung, NH <sub>3</sub> -Entleerung TL-Bau 86 (ERPG-2-Wert)	290 m	Der „angemessene Sicherheitsabstand“ reicht bis zur Scheffelstraße (Bahnhof-Grenzach) und zur Güterstraße sowie zum Gelände der Fa. Salubra, der Rheinallee und der Irgastrasse im Westen.
2a	Toxische Wirkung, NH <sub>3</sub> -Verdampferstationen (Bau 86) (ERPG-2-Wert)	290 m	Für Bau 86 reicht der der „angemessene Sicherheitsabstand“ zur Emil-Barell-Straße, die dahinter verlaufenden Bahngleise und zur Scheffelstraße im Norden, zur Rheinallee sowie auf zum Gelände der Fa. Salubra im Westen.
2b	Toxische Wirkung, NH <sub>3</sub> -Verdampferstationen (Bau 88) (ERPG-2-Wert)	290 m	Für Bau 86 reicht der der „angemessene Sicherheitsabstand“ zur Rheinallee im Süden und zum Rhein.
3	Toxische Wirkung Cl <sub>2</sub> Bau 22 (ERPG-2-Wert)	30 m	Die Auswirkungen bleiben, bezogen auf den Beurteilungswert ERPG-2, auf den Betriebsbereich beschränkt. Aufgrund der Verwendung von gefahrgutrechtlich zugelassenen und geschützten Gebinden liegt kein Szenario nach KAS-18 vor.
4a	Toxische Wirkung Cl <sub>2</sub> -Verdampferstation Bau 86 (ERPG-2-Wert)	195 m	Der „angemessene Sicherheitsabstand“ überschreitet im Norden den Bereich der Emil-Barell-Straße sowie der parallel dazu verlaufenden Bahnlinie und die Scheffelstraße. Im Südwesten ist das Areal der Fa. Saubra und die Rheinallee betroffen.
4b	Toxische Wirkung Cl <sub>2</sub> -Verdampferstation Bau 54 (ERPG-2-Wert)	250 m	Der „angemessene Sicherheitsabstand“ überschreitet im Süden den Bereich der Rheinallee sowie das Areal der Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH und erreicht den Rhein mit der Schiffsanlage gestellt.
5	Toxische Wirkung Furan TL Bau 54/77 (PAC-2-Wert)	240 m	Der „angemessene Sicherheitsabstand“ überschreitet im Süden den Bereich der Rheinallee sowie das Areal der Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH und erreicht den Rhein mit der Schiffsanlage gestellt.
6	Toxische Wirkung Schwefelkohlenstoff EKW-Entleerestelle Bau 86 (ERPG-2-Wert)	125 m	Die Auswirkungen bleiben, bezogen auf den Beurteilungswert ERPG-2, auf den Betriebsbereich beschränkt.



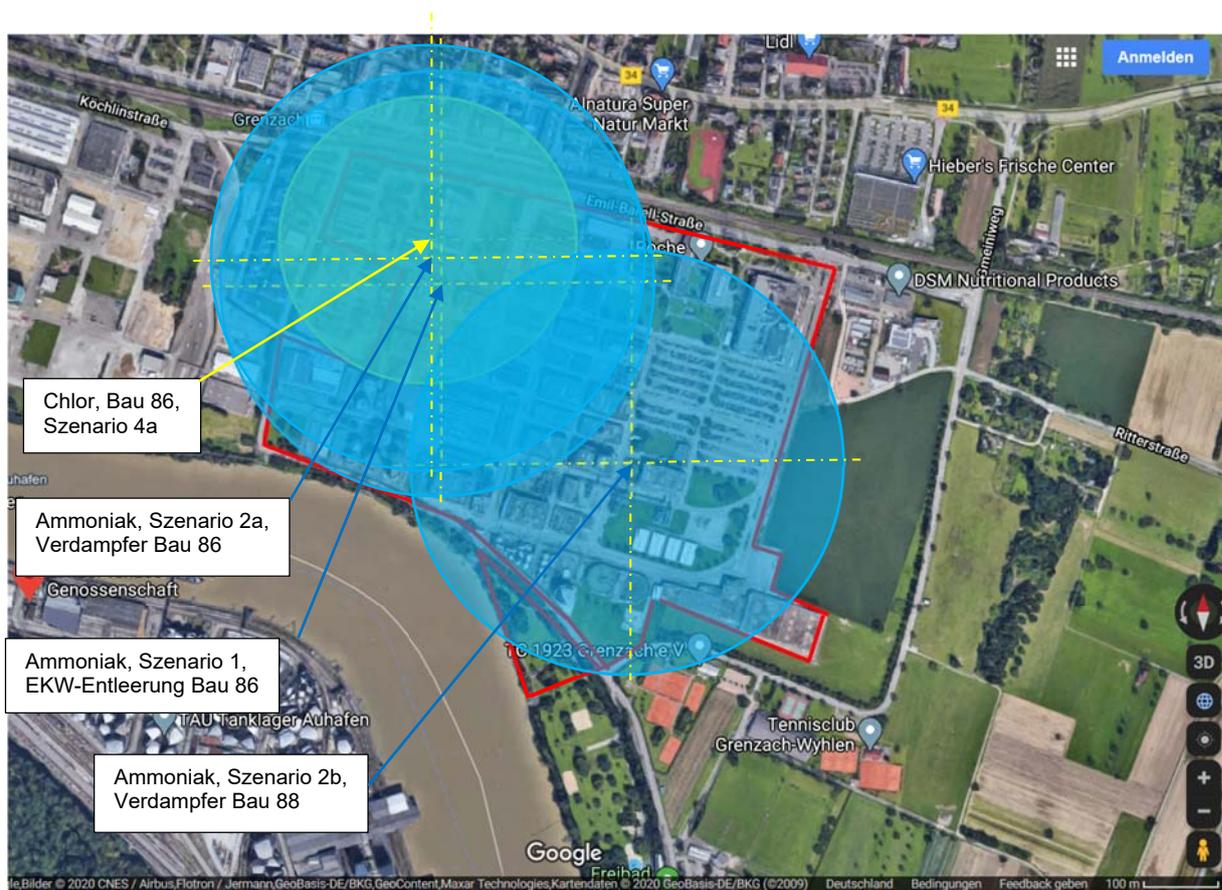
Fall	Angemessener Sicherheitsabstand für		Bewertung
7	Toxische Wirkung Ethylchlorformiat Bau 88 (ERPG-2-Wert)	90 m	Die Auswirkungen bleiben, bezogen auf den Beurteilungswert ERPG-2, auf den Betriebsbereich beschränkt.
8	Toxische Wirkung Methylchlorformiat Bau 88 (ERPG-2-Wert)	260 m	In Richtung Westen und Norden bleiben die Auswirkungen, bezogen auf den Beurteilungswert ERPG-2, auf den Betriebsbereich beschränkt. In Richtung Osten und Süden werden die Grenzen des Betriebsbereichs überschritten.

**Tab. 3.4-1:** „Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Szenarien auf Basis der Beurteilungswerte und Konventionen des Leitfadens KAS-18 bzw. KAS-32 für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH.

Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkungsradien für die untersuchten Szenarien auf Basis der Beurteilungswerte und Konventionen des Leitfadens KAS-18 bzw. KAS-3. Hierbei ist zu beachten, dass der „formale“ Radius (kreisförmige Fläche) nicht die abschirmende Wirkung durch die Gebäude berücksichtigt.

Die Abbildung 3.3-1 zeigt die „angemessenen Sicherheitsabstände“, bezogen auf die ERPG-2-Werte der untersuchten Stoffe. Dies entspricht der Konvention im Leitfaden KAS-18, nach der vorrangig die ERPG-2-Werte zur Ermittlung der Abstände heranzuziehen sind<sup>25)</sup>.

<sup>25)</sup> Dies gilt grundsätzlich auch für den häufig anzutreffenden Fall, dass der AEGL-2-Wert (für 60 Minuten) geringer ist als der ERPG-2-Wert, was zu größeren Abständen führen würde.

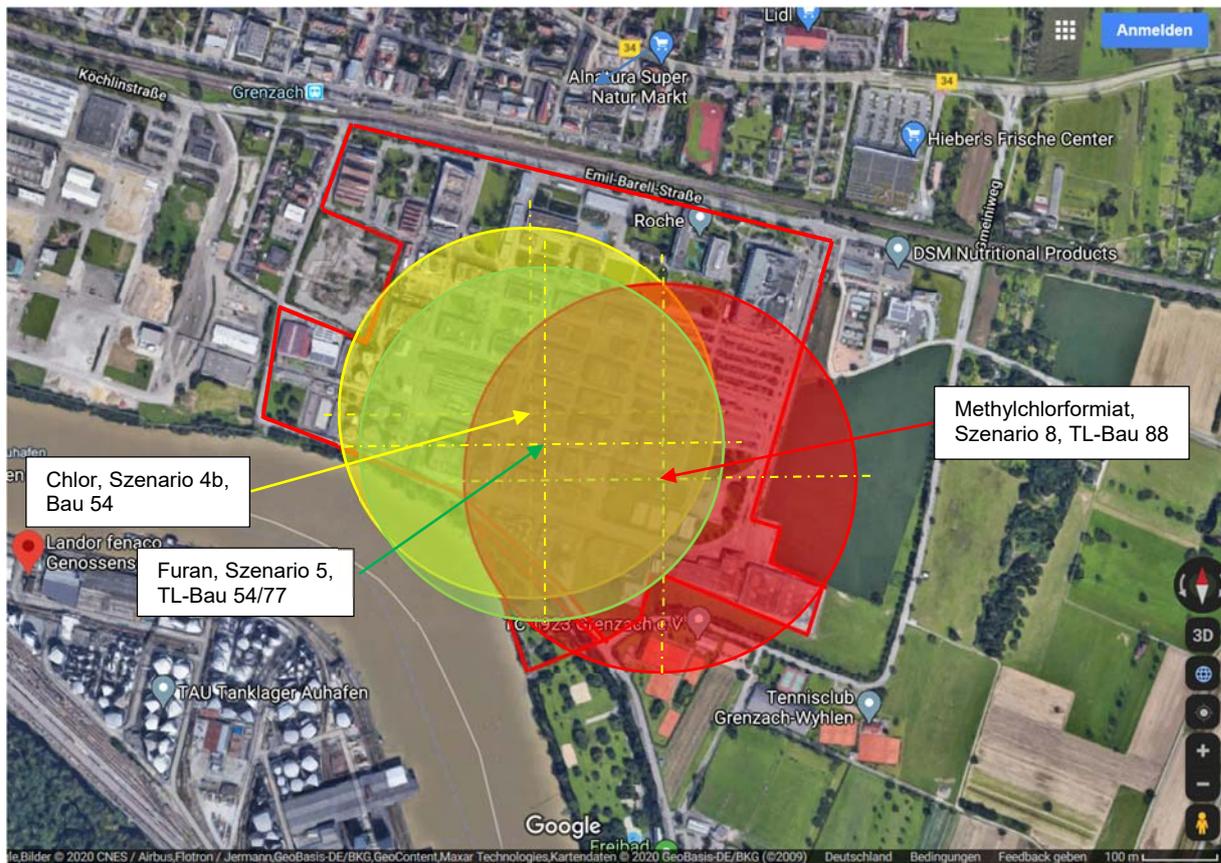


**Abb. 3.4-1:** „Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Freisetzungsszenarien bezogen auf die ERPG-2-Werte für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH mit Überschreitung der Grenzen des Betriebsbereichs nach Norden und Westen [Bildquelle: Google].

Der Radius für die Freisetzung von Chlor in der Verdampferstation im Bau 86 ist als gelber Kreis dargestellt. Die Freisetzung überschreitet die Grenze des Betriebsbereichs in Richtung Westen und Norden.

Die Radien für die Freisetzung von Ammoniak sind als blaue Kreise dargestellt. Die Freisetzung an der EKW-Entladestelle sowie an der  $\text{NH}_3$ -Verdampferstation vor dem Bau 86 überschreiten die Grenze des Betriebsbereichs in Richtung Westen und Norden.

Die Freisetzung an der  $\text{NH}_3$ -Verdampferstation vor dem Bau 88 überschreiten die Grenze des Betriebsbereichs in Richtung Süden.



**Abb. 3.4-2:** „Angemessene Sicherheitsabstände“ für die untersuchten Freisetzungs-, Brand- und Explosionsszenarien bezogen auf die ERPG-2-Werte bei toxischen Auswirkungen für den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH mit Überschreitung der Grenzen des Betriebsbereichs nach Osten und Süden [Bildquelle: Google].

Der Radius für die Freisetzung von Furan (grüner Kreis) überschreitet in Richtung Süden die Grenze des Betriebsbereichs.

Der Radius für die Freisetzung von Methylchlorformiat (roter Kreis) überschreitet in Richtung Süden und Osten die Grenze des Betriebsbereichs.

Die Radien für die Freisetzung von Ammoniak (Szenario 2b), für Schwefelkohlenstoff (Szenario 6) und Ethylchlorformiat (Szenario 7) sind nicht dargestellt, da die Radien innerhalb der Grenzen des Betriebsbereichs bleiben.

Bei allen oben dargestellten Ergebnissen muss darauf hingewiesen werden, dass die Berechnung nach der VDI-Richtlinie 3783 „nur“ eine konservative Berücksichtigung der Topographie und Windgeschwindigkeitsverteilung erlaubt. Realistische Beschreibungen der Ausbreitung in topographisch strukturiertem Gebiet erfordern strömungstechnische Berechnungsmethoden, wie sie durch entsprechende CFD-Programme (z. B. CFX) realisiert werden.



Weiterhin ist zu beachten, dass Abstände unter 100 m für die VDI-Richtlinie 3783, Blatt 1 (Neutralgasausbreitung) nicht abgesichert sind. Bei Schwergasen im Sinne der VDI Richtlinie 3783, Blatt 2, wurden die Radien mit der VDI Richtlinie 3783, Blatt 2 (Schwergasausbreitung), berechnet, die durch Freilandversuche auch für Abstände kleiner 100 m verifiziert ist.



## 4 Zusammenfassung

Für den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** in Grenzach liegen alle erforderlichen Angaben zu den Handhabungsbedingungen sowie den Orten der Handhabung der Gefahrstoffe vor. Daher kann eine begründete Stoffauswahl für die Ermittlung der Störfallszenarien vorgenommen werden.

Mit den untersuchten Szenarien sind alle für die Ermittlung des „angemessenen Sicherheitsabstandes“ relevanten Stoffe berücksichtigt. Die Orte der potenziellen Freisetzung wurden entsprechend den betrieblichen Realitäten festgelegt und sind repräsentativ für den Betriebsbereich.

Für die Ermittlung der „angemessenen Sicherheitsabstände“ wurden für den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH** die folgenden Szenarien untersucht:

1. Freisetzung von unter Druck verflüssigtem Ammoniak durch Bildung eines DN 25 Lecks mit einer Freisetzungsdauer von 600 s und einer Verdunstungsdauer von 1.800 s (KAS-18 Konvention).
2. Freisetzung von Ammoniak durch ein DN 25 Leck für eine Freisetzungsdauer von 600 s und eine Verdunstungsdauer von 1.800 s (KAS-18 Konvention) für die Verdampferstationen im Bau 86 und 88.<sup>26)</sup>
3. Freisetzung von Chlor im Chlorklager Bau 22 durch eine DN 25 Flanschleckage<sup>27)</sup> (Leckgröße nach TRB 801 Nr. 25) mit Bewertung der toxischen Wirkung unter der konservativen Annahme, dass bis zum Eingreifen des Personals die Verdampfung aus der Lache erst nach 1.800 s beendet wird.
4. Freisetzung von Chlor mit vollständiger Entleerung eines 1.000 kg Druckgasgebindes in den Chlor-Dosierstationen der Bauten 54 und 86 mit Freisetzung aus dem jeweiligen Verdampferraum ins Freie.
5. Freisetzung von Furan an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 54/77 mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
6. Freisetzung von Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) an der EKW-Entladestelle nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.

<sup>26)</sup> Die berechneten Radien werden nur für die Bauten 86 und 88 ausgewiesen, da hier zum einen Ammoniak in Freianlagen eingesetzt wird und zum anderen diese Bauten den kürzesten Abstand zur Werksgrenze aufweisen. Die restlichen NH<sub>3</sub>-Verdampferstationen sowie die NH<sub>3</sub>-Kälteanlagen befinden sich alle in geschlossenen Räumen, die mit NH<sub>3</sub>-Gassensoren überwacht werden. Mit diesen Szenarien werden Leckagen an den NH<sub>3</sub>-Flussigphasenleitungen mit abgedeckt.

<sup>27)</sup> Diese Leckgröße entspricht nicht der Systematik des Leitfadens KAS-18. Da es sich allerdings um für den Gefahrguttransport zugelassene, Bauart geprüfte Behälter handelt, die Behälteranschlüsse gegen Beschädigung geschützt sind und bei derartigen Behältern bisher „nur“ Flanschleckagen aufgetreten sind, wird dieses Szenario für die Art der passiven Lagerung für angemessen eingestuft.



7. Freisetzung von Ethylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.
8. Freisetzung von Methylchlorformiat an der EKW-Entladestelle am Tanklager Bau 88 nach den KAS-18 Konventionen mit DN 25 Leckgröße, Pumpendruck 2 bar, Freisetzungsdauer 600 s und 1.800 s Verdunstungsdauer mit Bewertung der toxischen Auswirkungen.

Als Fazit wird für die „angemessenen Sicherheitsabstände“, bezogen auf den Betriebsbereich der DSM Nutritional Products GmbH aus gutachterlicher Sicht festgestellt:

Bei einem Szenario mit einer DN 25-Leckage an der Ammoniak-EKW-Entladestelle vor dem Tanklager am Bau 86, einer Freisetzungsdauer von 600 s und einer Verdunstungsdauer von 1.800 s ergibt sich ein „angemessener Sicherheitsabstand von 290 m. Dieser erreicht im Westen die Rheinallee und die Irgastrasse sowie die dazwischenliegende Wohnbebauung sowie das Gelände der Fa. Salubra. Im Norden wird die Emil-Barell-Straße, die S-Bahn-Haltestelle Grenzach sowie die bestehende Wohnbebauung hinter der Schefflerstraße und der Güterstraße und an der Jacob-Burkhardt-Straße erreicht. Das geplante Bebauungsgebiet „Neue Mitte Grenzach“ ist an der südöstlichen Ecke betroffen.

Für den Fall einer DN 25-Leckage an der DN 80-Flüssigphasenleitung an der NH<sub>3</sub>-Verdampferstation vor dem Bau 86 resultiert ein „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 290 m. Dieser erreicht im Westen die Rheinallee und die Irgastrasse sowie die dazwischenliegende Wohnbebauung sowie das Gelände der Fa. Salubra. Im Norden wird die Emil-Barell-Straße, die S-Bahn-Haltestelle Grenzach sowie die bestehende Wohnbebauung hinter der Schefflerstraße und der Güterstraße und an der Jacob-Burkhardt-Straße erreicht. Das geplante Bebauungsgebiet „Neue Mitte Grenzach“ wird im südöstlichen Bereich überdeckt.

Für den Fall einer DN 25-Leckage an der DN 80-Flüssigphasenleitung an der NH<sub>3</sub>-Verdampferstation Bau 88 resultiert ein „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 290 m. Dieser erreicht die Rheinallee im Süden und den Rhein.

Eine DN 10-Leckage im Cl<sub>2</sub>-Verdampferraum von Bau 86 ergibt einen „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 195 m. Betroffen ist der nördliche Teil der Rheinallee im Westen, die Emil-Barell-Straße, das Bahngelände und der Bereich der Scheffelstraße im Norden sowie das Gelände der Fa. Saubra.

Eine DN 10-Leckage im Cl<sub>2</sub>-Verdampferraum von Bau 54 ergibt einen „angemessenen Sicherheitsabstand“ von 250 m. Betroffen ist der Bereich der Rheinallee in südlicher Richtung sowie das Gelände der Kraftwerk Grenzach-Wyhlen GmbH. Weiterhin wäre die Schiffsanlagestelle und das Rheinufer betroffen.

Die Freisetzung von Furan im Tanklager Bau 44/77 an einer DN 40 Leitung führt zu einem „angemessener Sicherheitsabstand“ von 240 m. Betroffen ist der Bereich des Geländes der Kraftwerk



Grenzach-Wyhlen GmbH sowie der Bereich der Rheinallee und das Rheinufer. Ebenfalls betroffen ist die Schiffsanlagestelle.

Die aus den KAS-18 Szenarien resultierenden „angemessenen Sicherheitsabstände“ überschreiten bei der Freisetzung von Chlor, Ammoniak sowie Furan und Methylchlorformiat die Grenze des Betriebsbereichs.

Für Ammoniak ist der Bereich nördlich des Betriebsbereichs bis zur Scheffelstraße und zur Rheinallee betroffen.

Für Chlor ist der Bereich nördlich des Betriebsbereichs bis zur Scheffelstraße und zur Rheinallee sowie der südliche Bereich bis zur Rheinallee und zum Rhein betroffen.

Bei Furan ist der südliche Bereich bis zur Rheinallee und zum Rhein betroffen.

Die Berechnung für Schwefelkohlenstoff nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 führt zu keinem Abstand, der die Grenze des Betriebsbereichs überschreitet, daher ist für diesen Stoff kein „angemessener Sicherheitsabstand“ auszuweisen.

Die Berechnung für Ethylchlorformiat führt nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 zu keinem Abstand, der die Grenze des Betriebsbereichs überschreitet, daher ist für diesen Stoff kein „angemessener Sicherheitsabstand“ auszuweisen.

Die Berechnung für Methylchlorformiat führt nach den Konventionen des Leitfadens KAS-18 zu einem „angemessenen Sicherheitsabstand von 260 m. Der kürzeste Abstand nach Norden zum Werkszaun (Emil-Barell-Str.) beträgt ca. 340 m, der Abstand nach Westen zur Rheinallee beträgt ca. 460 m, der Abstand nach Süden zur Rheinallee beträgt ca. 180 m. Zur Werksgrenze im Osten beträgt der Abstand ca. 110 m. Somit ergibt sich aus diesem Szenario kein Abstandskonflikt zum Bbauungsprojekt „Neue Mitte Grenzach“. In Richtung Osten und Süden werden die Grenzen des Betriebsbereichs überschritten.



Auf Basis des derzeitigen Standes ist für den potenziellen Einwirkungsbereich im Bereich der Scheffelstraße, bezogen auf den Betriebsbereich der **DSM Nutritional Products GmbH**, eine Abwägung bzgl. der zukünftigen Errichtung von Schutzobjekten erforderlich, wenn diese im Bereich des Bahnhofs Grenzach und nördlich sowie östlich davon realisiert werden sollen.

Gleiches gilt für Areale im Osten, Süden und Westen.

**Dr. Helmut Spangenberg,**  
**Gesellschaft für Anlagen- und Betriebssicherheit mbH**  
**Bad Dürkheim, 06.10.2020**

<b>Dr. H. Spangenberg,</b>		
<b>Gesellschaft für Anlagen</b>		
<b>und Betriebssicherheit mbH</b>		
Dr. rer. nat., Dipl. Phys., Dipl. Ing. (FH)		
Helmut A. Spangenberg		
Sachverständiger nach §29a BImSchG		
D-67098 Bad Dürkheim		
Bürgermeister-Gropp-Straße 26		
Geschäftsführer Dr. Helmut A. Spangenberg		Sicherheitsmanagement
Amtsgericht Ludwigshafen/Rhein HRB 61349		Risikoanalysen
Tel. 06322 948 904 Fax: 06322 948 929		
Mobil: 0176 61245604		
www.dr-spangenberg.de	Umweltschutz	
Mail: info@dr-spangenberg.de		

**Dr. H. Spangenberg**  
 In Baden-Württemberg bekanntgebener Sachverständiger nach §29a BImSchG

**Erklärung:**

Das vorliegende Gutachten wurde eigenverantwortlich und frei von Vorgaben oder Einschränkungen erstellt.

**Hinweis zur Vertraulichkeit:**

Die öffentliche Fassung beinhaltet nicht die Anhänge 1 und 2, da diese Informationen enthalten, für die mit der DSM Nutritional Products GmbH eine Vertraulichkeitsvereinbarung abgeschlossen wurde.



## Anhang



### Anhang 3: Stoffdaten

Die für die sicherheitstechnische Beurteilung relevanten Daten von Chlor sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst [Quelle: NRC/NAS, Gestis-Datenbank, ChemEng-1994, ProNuSs].

Eigenschaft	Wert	Einheit	Hinweis
Ammoniak, NH <sub>3</sub>			CAS-Nr. 7664-41-7
Molgewicht	17,03	kg/kmol	
Siedetemperatur	-33,4	°C	
Kritische Temperatur	405,6	°K	
Verdampfungsenthalpie	1.186,5	kJ/kg	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)	610,8	kg/m <sup>3</sup>	
Gasdichte (0 °C, 1,013 bar)	0,771	kg/m <sup>3</sup>	
Rel. Gasdichte zu Luft	0,6	-	
Umrechnung	1 ppm	0,708 mg/m <sup>3</sup>	
Spez. Gaskonstante R	488,21	kJ/kg K	
Isentropenexponent κ	1,323		Bei -50 °C
	1,311		Bei 0 °C
	1,239		Bei 20 °C
Dampfdruck (20 °C)	8,572	bar	Entspricht 857,2 kPa
Dampfdruck (30 °C)	11,67	bar	Entspricht 1.167 kPa
Dampfdruck (50 °C)	20,33	bar	Entspricht 20.330 kPa
Zündtemperatur	651	°C	
Löslichkeit in Wasser (30 °C)	407	g/l	
Löslichkeit in Wasser (20 °C)	517	g/l	
Löslichkeit in Wasser (0 °C)	900	g/l	
UEG	15,4	Vol-%	Entspricht 108 g/m <sup>3</sup>
OEG	33,6	Vol-%	Entspricht 240 g/m <sup>3</sup>
Wahrnehmungsschwelle	> 30	ppm	Entspricht > 21,2 mg/m <sup>3</sup>
H-Sätze	221-280-331-314-400		
Stoff-Kategorie nach StörfallV	2.5		
AGW (TRGS 900)	20	ppm	Entspricht 14,0 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-1-Wert	25	ppm	Entspricht 17,7 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-2-Wert	150	ppm	Entspricht 106,2 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert	750	ppm	Entspricht 531 mg/m <sup>3</sup>
PAC-1-Wert	30	ppm	Entspricht 21,24 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert	160	ppm	Entspricht 113,3 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert	1.100	ppm	Entspricht 778,8 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-1-Wert	10 min	30	ppm Entspricht 21,24 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	30	
	60 min	30	



Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
AEGL-2-Wert	10 min	220	ppm	Entspricht 155,8 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	220		Entspricht 155,8 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	160		Entspricht 113,3 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3-Wert	10 min	2.700	ppm	Entspricht 1.911,6 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	1.600		Entspricht 1.132,8 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	1.100		Entspricht 778,8 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-1: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Ammoniak.

Eigenschaft	Wert	Einheit	Hinweis	
Chlor, Cl <sub>2</sub>			CAS-Nr. 7782-50-5	
Molgewicht	70,91	kg/kmol		
Siedetemperatur	-34,1	°C		
Kritische Temperatur	417,1	°K		
Verdampfungswärme	254,59	kJ/kg		
Spezifische Wärme (flüssig)	0,9132	kJ/(kg K)		
Flüssigkeitsdichte (20 °C)	1.419,8	kg/m <sup>3</sup>		
Gasdichte (0 °C, 1,013 bar)	3,214	kg/m <sup>3</sup>		
Rel. Gasdichte zu Luft	2,486	-		
Umrechnung	1 ppm	2,95 mg/m <sup>3</sup>		
Dampfdruck (20 °C)	6,98	bar	Entspricht 698 kPa	
Dampfdruck (30 °C)	8,8	bar	Entspricht 880 kPa	
Dampfdruck (50 °C)	14,27	bar	Entspricht 14.27 kPa	
Löslichkeit in Wasser (20 °C)	7,3	g/l		
Löslichkeit in Wasser (0 °C)	14,5	g/l		
Wahrnehmungsschwelle	> 1	ppm	Entspricht > 2,95 mg/m <sup>3</sup>	
H-Sätze	331-319-315-335-400			
Stoff-Kategorie nach StörfallV	2.16			
MAK-Wert	0,5	ppm	Entspricht 1,5 mg/m <sup>3</sup>	
ERPG-1-Wert	1	ppm	Entspricht 2,95 mg/m <sup>3</sup>	
ERPG-2-Wert	3	ppm	Entspricht 8,85 mg/m <sup>3</sup>	
ERPG-3-Wert	20	ppm	Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>	
PAC-1-Wert	0,5	ppm	Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>	
PAC-2-Wert	2	ppm	Entspricht 5,9 mg/m <sup>3</sup>	
PAC-3-Wert	20	ppm	Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>	
AEGL-1-Wert	10 min	0,5	ppm	Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	0,5		Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	0,5		Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>



Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Chlor, Cl <sub>2</sub>				CAS-Nr. 7782-50-5
AEGL-2-Wert	10 min	2,8	ppm	Entspricht 8,26 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	2,8		Entspricht 8,26 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	2,0		Entspricht 5,9 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3-Wert	10 min	50	ppm	Entspricht 147,5 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	28		Entspricht 82,6 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	20		Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-2: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Chlor.

Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Chloracetaldehyd, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO				CAS-Nr. 107-20-0
Molgewicht		78,50	kg/kmol	
Aggregatzustand bei 20 °C		flüssig		
Siedetemperatur		85-86	°C	
Schmelzpunkt		-16,3	°C	
Spezifische Wärme (flüssig)			kJ/(kg K)	
Flüssigkeitsdichte (25 °C)		1.190	kg/m <sup>3</sup>	
Rel. Gasdichte (20 °C, 1,013 bar)		2,71	-	
Rel. Gasdichte zu Luft		2,71	-	
Umrechnung		1 ppm	3,26 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (25 °C)		139	hPa	
Löslichkeit in Wasser (20 °C)		443	g/l	
Zersetzung bei Hitze in HCl				
H-Sätze		301-311-314-330-351-400-		
Stoff-Kategorie nach StörfallV		1.1.2		
ERPG-1-Wert			ppm	Entspricht 2,95 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-2-Wert			ppm	Entspricht 8,85 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert			ppm	Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>
PAC-1-Wert			ppm	Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert			ppm	Entspricht 5,9 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert			ppm	Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-1-Wert	10 min		ppm	Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>
	30 min			Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>
	60 min			Entspricht 1,47 mg/m <sup>3</sup>



Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Chloracetaldehyd, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO				CAS-Nr. 107-20-0
AEGL-2-Wert	10 min		ppm	Entspricht 8,26 mg/m <sup>3</sup>
	30 min			Entspricht 8,26 mg/m <sup>3</sup>
	60 min			Entspricht 5,9 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3-Wert	10 min		ppm	Entspricht 147,5 mg/m <sup>3</sup>
	30 min			Entspricht 82,6 mg/m <sup>3</sup>
	60 min			Entspricht 59 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-3: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Chlor.

Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Cyanwasserstoff, HCN				CAS-Nr. 74-90-8
Molgewicht		27,03	kg/kmol	
Siedetemperatur		26	°C	
Schmelztemperatur		-13	°C	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)		690	kg/m <sup>3</sup>	Bei 20 °C
Dichte der flüssigen Phase am Siedepunkt		667	kg/m <sup>3</sup>	Bei 26 °C
Rel. Gasdichte zu Luft		0,93	-	
Umrechnung		1 ppm	1,12 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (20 °C)		840	hPa	Entspricht 0,840 bar
Dampfdruck (30 °C)		1.190	hPa	Entspricht 1,19 bar
Dampfdruck (40 °C)		1.690	hPa	Entspricht 1,69 bar
Dampfdruck (50 °C)		2.500	hPa	Entspricht 2,5 bar
Zündtemperatur		535	°C	
Flammpunkt		< -20	°C	
UEG		5,5	Vol.-%	Entspricht 60 g/m <sup>3</sup>
OEG		46,6	Vol.-%	Entspricht 520 g/m <sup>3</sup>
H-Sätze		224, 330, 400, 410		
Stoff-Kategorie nach StörfallV		1.1.1		
MAK-Wert		1,9	ppm	Entspricht 2,1 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-1-Wert		-	ppm	
ERPG-2-Wert		10	ppm	Entspricht 11 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert		25	ppm	Entspricht 27,5 mg/m <sup>3</sup>
PAC-1-Wert		2	ppm	Entspricht 2,2 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert		7,1	ppm	Entspricht 7,81 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert		15	ppm	Entspricht 16,5 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-1-Wert	10 min	2,5	ppm	Entspricht 2,8 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	2,5		Entspricht 2,8 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	2		Entspricht 2,2 mg/m <sup>3</sup>



Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Cyanwasserstoff, HCN				CAS-Nr. 74-90-8
AEGL-2-Wert	10 min	17	ppm	Entspricht 19,04 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	10		Entspricht 11,2 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	7,1		Entspricht 7,81 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3-Wert	10 min	27	ppm	Entspricht 30,24 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	21		Entspricht 23,52 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	15		Entspricht 16,5 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-4: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Cyanwasserstoff.

Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Ethylchlorformiat, C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> ClO <sub>2</sub>				CAS-Nr. 541-41-3
Molgewicht		108,52	kg/kmol	
Siedetemperatur		93	°C	
Schmelztemperatur		-80	°C	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)		1.140	kg/m <sup>3</sup>	Bei 20 °C
Rel. Gasdichte zu Luft		3,74	-	
Umrechnung		1 ppm	4,51 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (20 °C)		54	hPa	Entspricht 0,137 bar
Dampfdruck (50 °C)		217	hPa	Entspricht 0,505 bar
Zündtemperatur		500	°C	
Flammpunkt		16	°C	
UEG		3,7	Vol.-%	Entspricht 16,7 g/m <sup>3</sup>
OEG		12,6	Vol.-%	Entspricht 56 g/m <sup>3</sup>
H-Sätze		225, 301, 330, 314, 318		
Stoff-Kategorie nach StörfallV		1.1.1		
ERPG-1-Wert		-	ppm	
ERPG-2-Wert		5	ppm	Entspricht 22,55 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert		10	ppm	Entspricht 45,1 mg/m <sup>3</sup>
PAC-1-Wert		0,15	ppm	Entspricht 0,676 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert		1,6	ppm	Entspricht 7,22 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert		4,8	ppm	Entspricht 21,65 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-5: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Ethylchlorformiat.

Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Furan, C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O				CAS-Nr. 110-00-9
Molgewicht		68,08	kg/kmol	
Siedetemperatur		31,4	°C	
Schmelztemperatur		-85,6	°C	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)		940	kg/m <sup>3</sup>	Bei 20 °C



Eigenschaft	Wert	Einheit	Hinweis
Furan, C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O			CAS-Nr. 110-00-9
Kritische Temperatur	217	°C	
Kritischer Druck	55	bar	
Kritische Dichte	312	kg/m <sup>3</sup>	
Azentr. Faktor	0,203		
Verdampfungsenthalpie	399	kJ/kg	
Rel. Gasdichte zu Luft	2,35	-	
Umrechnung	1 ppm	2,78 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (20 °C)	657	hPa	Entspricht 0,657 bar
Dampfdruck (30 °C)	964	hPa	Entspricht 0,964 bar
Dampfdruck (50 °C)	1.910	hPa	Entspricht 1,91 bar
Zündtemperatur	390	°C	
Flammpunkt	-36	°C	
UEG	2,3	Vol.-%	Entspricht 64 g/m <sup>3</sup>
OEG	14,3	Vol.-%	Entspricht 405 g/m <sup>3</sup>
H-Sätze	224, 350, 341, 322, 302, 373, 315, 412		
Stoff-Kategorie nach StörfallV	1.1.2, 1.2.5.1		
ERPG-1-Wert	-	ppm	
ERPG-2-Wert	-	ppm	
ERPG-3-Wert	-	ppm	
PAC-1-Wert	0,62	ppm	Entspricht 1,72 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert	6,8	ppm	Entspricht 18,9 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert	19	ppm	Entspricht 52,82 mg/m <sup>3</sup>



Eigenschaft	Wert	Einheit	Hinweis
Furan, C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O			CAS-Nr. 110-00-9
AEGL-1-Wert (interim Dez. 2007)	10 min	-	ppm  Entspricht 1,72 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	-	
	60 min	0,62	
AEGL-2-Wert	10 min	12	ppm  Entspricht 33,36 mg/m <sup>3</sup> Entspricht 23,63 mg/m <sup>3</sup> Entspricht 18,9 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	8,5	
	60 min	6,8	
AEGL-3-Wert	10 min	35	ppm  Entspricht 97,3 mg/m <sup>3</sup> Entspricht 66,72 mg/m <sup>3</sup> Entspricht 52,82 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	24	
	60 min	19	

**Tab. A3-6:** Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Furan.

Eigenschaft	Wert	Einheit	Hinweis
Methylchlorformiat, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub>			CAS-Nr. 79-22-1
Molgewicht	94,5	kg/kmol	
Siedetemperatur	72	°C	
Schmelztemperatur	-61	°C	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)	1.220	kg/m <sup>3</sup>	Bei 20 °C
Rel. Gasdichte zu Luft	3,26	-	
Umrechnung	1 ppm	3,86 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (20 °C)	137	hPa	Entspricht 0,137 bar
Dampfdruck (50 °C)	505	hPa	Entspricht 0,505 bar
Dampfdruck (65 °C)	915	hPa	Entspricht 0,915 bar
Zündtemperatur	475	°C	
Flammpunkt	10	°C	
UEG	7,5	Vol.-%	Entspricht 293 g/m <sup>3</sup>
OEG	26	Vol.-%	Entspricht 1.020 g/m <sup>3</sup>
H-Sätze	225, 330, 312, 302, 314		
Stoff-Kategorie nach StörfallV	1.1.1		
MAK-Wert	0,2	ppm	Entspricht 0,78 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-1-Wert	-	ppm	
ERPG-2-Wert	2	ppm	Entspricht 7,72 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert	5	ppm	Entspricht 19,3 mg/m <sup>3</sup>
PAC-1-Wert	0,2	ppm	Entspricht 0,77 mg/m <sup>3</sup>
PAC-2-Wert	2,2	ppm	Entspricht 8,49 mg/m <sup>3</sup>
PAC-3-Wert	6,7	ppm	Entspricht 25,86 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-1-Wert (proposed Dez. 2007)	10 min	-	ppm  Entspricht 0,77 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	-	
	60 min	0,2	



Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Methylchlorformiat, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub>				CAS-Nr. 79-22-1
AEGL-2-Wert	10 min	4	ppm	Entspricht 15,44 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	2,8		Entspricht 10,81 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	2,2		Entspricht 8,49 mg/m <sup>3</sup>
AEGL-3-Wert	10 min	12	ppm	Entspricht 46,32 mg/m <sup>3</sup>
	30 min	8,5		Entspricht 32,81 mg/m <sup>3</sup>
	60 min	6,7		Entspricht 25,86 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-7: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Methylchlorformiat.

Eigenschaft		Wert	Einheit	Hinweis
Schwefelkohlenstoff, CS <sub>2</sub>				CAS-Nr. 75-15-0
Molgewicht		76,14	kg/kmol	
Siedetemperatur		72	°C	
Schmelztemperatur		-112	°C	
Flüssigkeitsdichte (20 °C)		1.260	kg/m <sup>3</sup>	Bei 20 °C
Rel. Gasdichte zu Luft		2,64	-	
Umrechnung		1 ppm	3,17 mg/m <sup>3</sup>	
Dampfdruck (20 °C)		395	hPa	Entspricht 0,395 bar
Dampfdruck (50 °C)		1.205	hPa	Entspricht 1,205 bar
Dampfdruck (65 °C)		2.365	hPa	Entspricht 2,365 bar
Zündtemperatur		95	°C	
Flammpunkt		< -20	°C	
UEG		0,6	Vol.-%	Entspricht 19 g/m <sup>3</sup>
OEG		60	Vol.-%	Entspricht 1.900 g/m <sup>3</sup>
H-Sätze		225, 302, 315, 319, 361, 372		
Stoff-Kategorie nach StörfallV		1.2.5.3		
MAK-Wert		5	ppm	Entspricht 16 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-1-Wert		1	ppm	Entspricht 1,26 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-2-Wert		50	ppm	Entspricht 63 mg/m <sup>3</sup>
ERPG-3-Wert		500	ppm	Entspricht 630 mg/m <sup>3</sup>

Tab. A3-8: Angaben zu sicherheitstechnischen Stoffkennwerten für Schwefelkohlenstoff.



Stoff	ERPG-2	ERPG-3	AEGL-2 / PAC-2	AEGL-3 / PAC-3	P <sub>D</sub> /bar	GI=p <sub>D</sub> /ERPG-2
Ammoniak	150	750	160	1.100	8,62	0,058
Chlor	3	20	2	20	6,98	2,33
Cyanwasserstoff	10	25	7,1	15	0,84	0,084
Ethylchlorformiat	5	10	1,6	4,8	0,054	0,0108
Furan	-	-	6,8	19	0,657	0,097
Methylchlorformiat	2	5	2,2	6,7	0,137	0,0685
Schwefelkohlenstoff	50	500	-	-	0,395	7,9 10.3

**Tab. A3-9:** Zusammenstellung der ERPG- und AEGL- bzw. PAC-Werte in ppm und des Gefahrenindize „GI“ in bar/ppm für die relevanten Stoffe.

Nach dem Leitfaden KAS-18 (Kap. 3) ergeben sich bzgl. der toxischen Auswirkungen die folgenden Zuordnungen zur Abstandsklasse und zu den Achtungsabständen:

- Chlor liegt in der Abstandsklasse IV mit einem Achtungsabstand 1.500 m.
- Cyanwasserstoff und Furan liegen in der Abstandsklasse III mit einem Achtungsabstand 1.000 m.
- Ammoniak und Methylchlorformiat liegen in der Abstandsklasse II mit einem Achtungsabstand 500 m.
- Ethylchlorformiat liegt in der Abstandsklasse I mit einem Achtungsabstand 200 m
- Schwefelwasserstoff liegt in der Abstandsklasse I mit einem Achtungsabstand von 200 m.



## **Anhang 4: Literatur**

- [Auer-Data] Auer Technikum Ausgabe 12.
- [Brötz-1979] Prof. Dr. Walter Brötz, Uni Stuttgart, Sicherheit von Chemieanlagen im Hinblick auf Nachbarschaftsschutz, Stuttgart 1979.
- [ChemEng-1994] CHEMCO, physical properties Data Bank, ChemEng Software.
- [Clancey-1974] V. J. Clancey. The Evaporation and Dispersion of flammable liquids spillages. Chemical Process Hazards V (1974), p. 80.
- [CPR-1997] CPR14E, Part 1, Committee for the prevention of disasters, (“Yellow Book”, 3<sup>rd</sup> ed. 1997).
- [Deutsch-1995] S. Deutsch. Verdunstung aus Flüssigkeitslachen unter atmosphärischen Bedingungen, Dissertation Uni. Dortmund, 1995.
- [Effects-5.5] Effects 5.5; Modelling the effects of accidental release of hazardous substances, TNO, Netherlands.
- [EPA AP-42] US-EPA AP-42, 5<sup>th</sup> edition, Section 13, compilation of air pollutant emission factors, 2011.
- [Habib-2011] Dissertation „Instationäre Berechnung der Lachenverdunstung mittels eines Grenzschichtverfahrens“, A. Habib, Berlin 2011.
- [Ingham-2000] J. Ingham et. al.; Chemical Engineering Dynamics, Verlag Wiley-VCH, 2. Edition 2000.
- [KAS-18] Leitfaden für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung, Umsetzung § 50 BImSchG. Kommission für Anlagensicherheit, 2. überarbeitete Fassung, Nov. 2010.
- [Lebuser-1986] U. Lebuser, H.-G. Schecker. Vaporization rates of liquids and liquefied gases. 5. Intern. Symposium „Loss prevention on the process industries“, Cannes 1986.
- [Lebuser-1989] U. Lebuser. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Verdunstung aus Flüssigkeitslachen, Dissertation Uni. Dortmund, 1989.
- [Lees-1996] J.P. Lees. Loss Prevention in the Process Industries, 2nd. ed., Butterworth-Heinemann, Oxford 1996.
- [List-2002] Standortgutachten für den Bereich Grenzach-Wyhlen zu den Themen Klima, Flora und Fauna, Boden, Grundwasser und Oberflächengewässern, Siedlungs- und Infrastruktur sowie Verkehr, erstellt im Auftrag der Roche Vitamine GmbH Grenzach-Wyhlen durch Karl-Albrecht-List, Büro für Umwelt-Engineering.
- [Meurer-1991] P. Meurer. Festlegung einiger Quellparameter für eine Ausbreitungsberechnung zur Sicherheitsanalyse. Staub-Reinhaltung der Luft, 51 (1991), 373-37
- [Naue-1988] G. Naue u. a.. Technische Strömungsmechanik I, Leipzig VEB-Verlag, 1988.
- [Oertel-2001] Herbert Oertel jr. (Hrsg.). Prandl-Führer durch die Strömungslehre, Verlag Vieweg, 10. Auflage 2001.
- [ProNuSs] Programm zur numerischen Störfallsimulation, www.pronuss.de.
- [Schatzmann-1976] M. Schatzmann; Auftriebsstrahlen in natürlichen Strömungen - Entwicklung eines mathematischen Modells; Dissertation Uni. Karlsruhe, 1976.
- [Schatzmann-1978] M. Schatzmann; Journal of Applied Mathematics und Physics, Vol. 29, pp. 608, 1978.
- [Schatzmann-1979] M. Schatzmann; An Integral Model of Plume Rise; Atmospheric Environment, Vol. 13, pp. 721, 1979.
- [Schatzmann-1990] M. Schatzmann; Ausbreitung von Propangas - Freistrahlen aus innenliegenden 1“-Sicherheitsventilen von Behältern nach DIN 4680 / 4681; Gutachten im Auftrag des DVFG; 1990.



- [UBA-2000] Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift, Band 1 und 2, Berlin, Forschungsbericht 297, 48, 428, Juni 2000.
- [TNO-2005] Methods for the calculation of physical effects. 'Yellow Book', Committee for the Prevention of Disasters, Third edition 2005, Sdu Uitgevers.
- [VDI-3783] VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 und 2.
- [VDI-2002] VDI-Wärmeatlas, 9. Auflage, Verlag Springer, 2002.
- [Webber-1991] D. M. Webber. Source Terms. Journal Loss Prev. Process Industries, Vol. 4, 5-15 (1991).