

Stellungnahme KAS-18 zu angemessenen Abständen nach BImSchG und StörfallV



**Propan Rheingas GmbH & Co. KG
Fischenicher Str. 23
D-50321 Brühl**

**Standort:
Lager Hohenwestedt
Am Gaswerk 10
D-24594 Hohenwestedt**

Erstellt durch: Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger
(ö.b.u.v. Sachverständiger)
Lindenstr. 34
71292 Friolzheim
Tel. (0173) 3400-560
info@protechservices.de
www.protechservices.de

Inhalt

1. Allgemeines Abkürzungsverzeichnis	4
2. Begriffsbestimmungen und Definitionen	5
3. Aufgabenstellung, Geltungsbereich und Ziel	7
4. Anforderungen an angemessene Abstände und deren Berechnung	9
4.1. Grundlagen zur Verhinderung von schweren Unfällen nach StörfallV.....	9
4.2. Grundlagen zu Abständen	10
4.3. Abstände bei Planungen mit Detailkenntnissen	12
4.4. Grundlagen Gasausbreitungen, Gaswolkenexplosionen und Brände	15
5. Kurzbeschreibung Standort	16
5.1. Flüssiggaslagerbehälter mit Domschacht und Tauchpumpe.....	20
5.2. TKW-Station mit Kompressor und Berieselungsanlage.....	22
5.3. Flaschenfüllanlage.....	24
5.4. Lagerflächen Flüssiggas.....	27
5.5. Lagerflächen Technische Gase	29
5.6. MSR-Technik Schaltwarte	31
5.7. Pläne und Zeichnungen.....	33
6. Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung	35
7. Kritische Immissions-Toleranzwerte	39
7.1. Toleranzwerte für Brände	40
7.2. Toleranzwerte für Brände (abweichende Bewertungen)	44
7.3. Toleranzwerte für Gaswolkenexplosionen.....	45
7.4. Toleranzwerte für Toxizität	47

8. Berechnung Immissionen hypothetischer Dennoch-Störfälle	48
8.1. Flüssiggaslagerbehälter mit Domschacht und Tauchpumpe	54
8.1.1. Schwergasausbreitung	54
8.1.2. Brand- und Wärmeauswirkungen	56
8.1.3. Druckauswirkungen	58
8.1.4. Angemessener Sicherheitsabstand	59
8.2. TKW-Station	60
8.2.1. Schwergasausbreitung	60
8.2.2. Brand- und Wärmeauswirkungen	62
8.2.3. Druckauswirkungen	64
8.2.4. Angemessener Sicherheitsabstand	65
8.3. Flüssiggasflasche 33 kg	66
8.3.1. Schwergasausbreitung	66
8.3.2. Brandauswirkungen	68
8.3.3. Druckauswirkungen	70
8.3.4. Angemessener Sicherheitsabstand	71
8.4. Acetylenflasche.....	72
8.4.1. Brandauswirkungen	73
8.4.2. Druckauswirkungen	75
8.4.3. Angemessener Sicherheitsabstand	76
8.5. Wasserstoffflasche	77
8.5.1. Brandauswirkungen	78
8.5.2. Druckauswirkungen	80
8.5.3. Angemessener Sicherheitsabstand	81
9. Ergebnis und Bewertung angemessene Sicherheitsabstände	82
10. Referenzdokumente	90
10.1. Leitfaden für die Erstellung eines Gutachtens zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes	90

1. Allgemeines Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen	Erklärungen
AGAP	Betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des BImSchG
DG-RL	Druckgeräterichtlinie
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
ExSD	Explosionsschutzdokument
GefBu	Gefährdungsbeurteilung
GefStoffV	Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung)
HD	Hochdruck
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
ND	Niederdruck
SFK	Störfallkommission (heute KAS, Kommission für Anlagensicherheit)
SMS	Sicherheitsmanagement (zum Konzept zur Verhinderung von Störfällen)
SRA	Sicherheitsrelevante Anlagenteile
SRB	Sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereichs
StörfallV	Störfall-Verordnung (12. BImSchV)
TRBS	Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
ZÜS	Zugelassene Überwachungsstelle

2. Begriffsbestimmungen und Definitionen

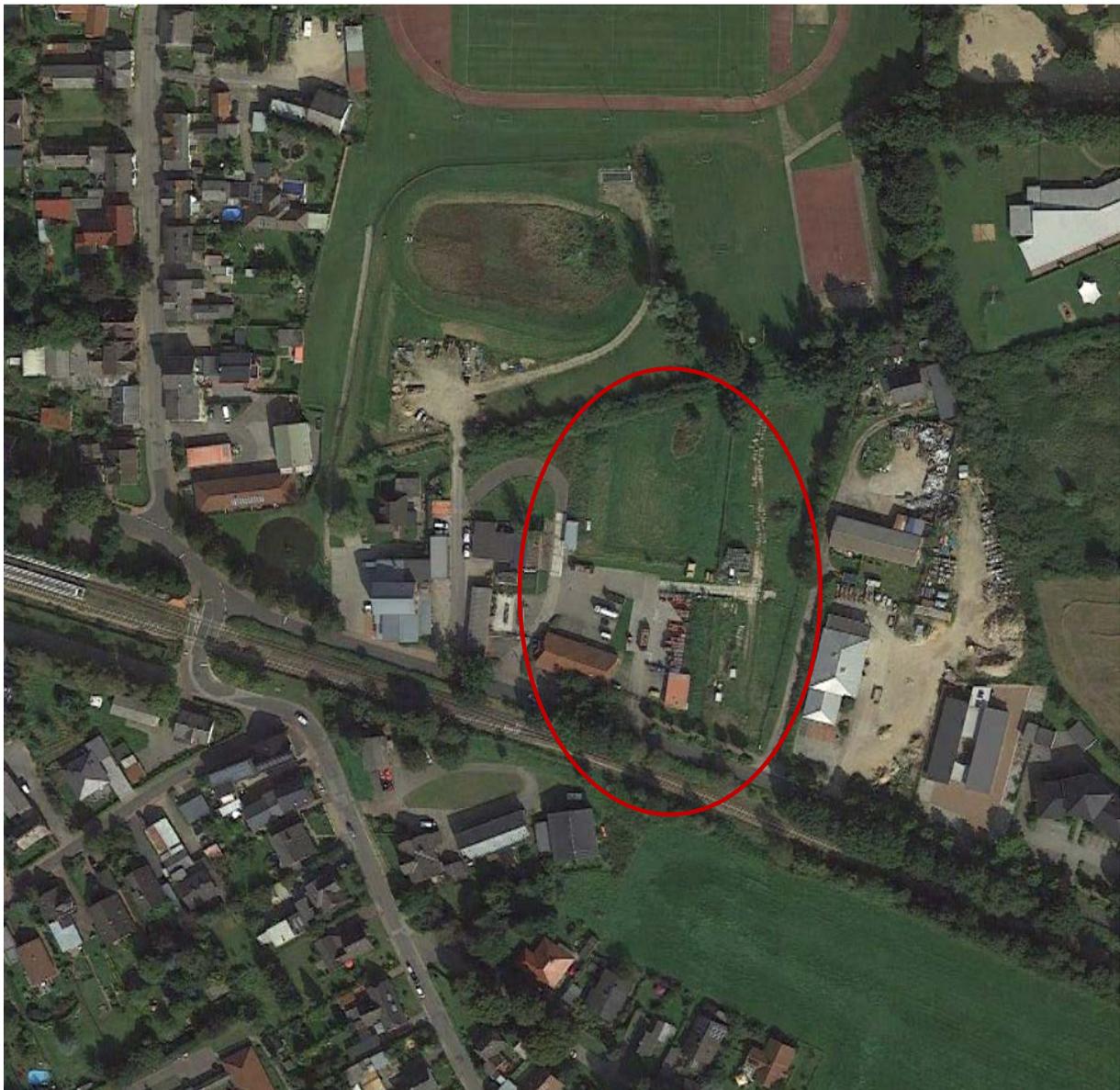
Begriffe	Definitionen
Angemessener Sicherheitsabstand	<p>Gemäß § 3 (5c) BImSchG ist der angemessene Sicherheitsabstand im Sinne jenes Gesetzes der Abstand zwischen einem Betriebsbereich oder einer Anlage, die Betriebsbereich oder Bestandteil eines Betriebsbereichs ist, und einem benachbarten Schutzobjekt, der zur gebotenen Begrenzung der Auswirkungen auf das benachbarte Schutzobjekt, welche durch schwere Unfälle im Sinne des Artikels 3 Nummer 13 der Richtlinie 2012/18/EU hervorgerufen werden können, dient.</p> <p>Der angemessene Sicherheitsabstand ist anhand störfallspezifischer Faktoren zu ermitteln.</p> <p>Die Wahrung angemessener Sicherheitsabstände stellt gemäß § 3 (5) StörfallV keine Betreiberpflicht dar.</p>
Betriebsbereich	<p>Gemäß § 3 (5a) BImSchG ist ein Betriebsbereich der gesamte unter der Aufsicht eines Betreibers stehende Bereich, in dem gefährliche Stoffe im Sinne des Artikels 3 Nummer 10 der Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates (ABl. L 197 vom 24.7.2012, S. 1) in einer oder mehreren Anlagen einschließlich gemeinsamer oder verbundener Infrastrukturen oder Tätigkeiten auch bei Lagerung im Sinne des Artikels 3 Nummer 16 der Richtlinie in den in Artikel 3 Nummer 2 oder Nummer 3 der Richtlinie bezeichneten Mengen tatsächlich vorhanden oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden, soweit vernünftigerweise vorhersehbar ist, dass die genannten gefährlichen Stoffe bei außer Kontrolle geratenen Prozessen anfallen; ausgenommen sind die in Artikel 2 Absatz 2 der Richtlinie 2012/18/EU angeführten Einrichtungen, Gefahren und Tätigkeiten, es sei denn, es handelt sich um eine in Artikel 2 Absatz 2 Unterabsatz 2 der Richtlinie 2012/18/EU genannte Einrichtung, Gefahr oder Tätigkeit.</p>

Begriffe	Definitionen
Dennoch-Störfälle	Vernünftigerweise ausschließbare Dennoch-Störfälle sind Ereignisse, die aufgrund einer Ausweitung einer Betriebsstörung, die trotz störfallverhindernder Maßnahmen, insbesondere infolge des Versagens dieser Maßnahmen bzw. aufgrund des Wirksamwerdens einer vernünftigerweise auszuschließenden Gefahrenquelle oder des zeitgleichen Wirksamwerdens mehrerer voneinander unabhängiger Gefahrenquellen, eine ernste Gefahr hervorrufen.
Schutzobjekte	Gemäß § 3 (5d) BImSchG sind benachbarte Schutzobjekte im Sinne jenes Gesetzes ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete, öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete, Freizeitgebiete, wichtige Verkehrswege und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete.
Störfallrelevante Errichtung und Betrieb	Gemäß § 3 (5b) BImSchG ist eine störfallrelevante Errichtung und ein Betrieb oder eine störfallrelevante Änderung einer Anlage oder eines Betriebsbereichs eine Errichtung und ein Betrieb einer Anlage, die Betriebsbereich oder Bestandteil eines Betriebsbereichs ist, oder eine Änderung einer Anlage oder eines Betriebsbereichs einschließlich der Änderung eines Lagers, eines Verfahrens oder der Art oder physikalischen Form oder der Mengen der gefährlichen Stoffe im Sinne des Artikels 3 Nummer 10 der Richtlinie 2012/18/EU, aus der sich erhebliche Auswirkungen auf die Gefahren schwerer Unfälle ergeben können. Eine störfallrelevante Änderung einer Anlage oder eines Betriebsbereichs liegt zudem vor, wenn eine Änderung dazu führen könnte, dass ein Betriebsbereich der unteren Klasse zu einem Betriebsbereich der oberen Klasse wird oder umgekehrt.

3. Aufgabenstellung, Geltungsbereich und Ziel

Das vorliegende Dokument wurde für das auf dem Deckblatt genannte Unternehmen Propan Rheingas GmbH & Co. KG (im Weiteren RHEINGAS genannt) in Brühl, bzw. dessen Betriebsbereich nach StörfallV am Standort Hohenwestedt erstellt.

Behördlicherseits wurde RHEINGAS aufgefordert, für das nachfolgend gezeigte Betriebsgelände, eine Stellungnahme nach dem Leitfaden KAS-18 der Kommission für Anlagensicherheit zu angemessenen Abständen zwischen den betrieblichen Einrichtungen (Gasanlagen) und möglichen schutzwürdigen Objekten im Umfeld zu erarbeiten und Abstände darzulegen. Das vorliegende Dokument stellt diese Stellungnahme dar.



Quelle: Google Earth

In der Stellungnahme wurde auch der LAI-Leitfaden für die Erstellung eines Gutachtens zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes vollumfänglich berücksichtigt (siehe Kapitel „Referenzdokumente“).

Ein Gutachten sollte aus sich selbst heraus verständlich sein (siehe dazu auch LAI-Leitfaden). Dies bedingt daher auch die Darstellung des Hintergrundes, warum ein Gutachten erstellt wurde und auf welcher Basis.

Deshalb enthält dieses Dokument, gerade für Leser, die sich möglicherweise erstmalig mit dem Thema befassen oder detailliertere Informationen wünschen, gegebene Regelwerksgrundlagen zur Thematik Störfallvorsorge und Abstände erläuternd dargestellt. Für den informierten, im Thema befindlichen Leser, sind diese Kapitel jeweils am Anfang gekennzeichnet, damit sie beim Lesen ggf. übersprungen werden können.

Das Gutachten gilt nur für den betrachteten lokalen Bereich von RHEINGAS in Hohenwestedt und nur für Dennoch-Störfälle nach dem Leitfaden KAS-18, die hypothetischen Charakter haben.

4. Anforderungen an angemessene Abstände und deren Berechnung

Hinweis: Dieses Kapitel stellt Grundlagen der Thematik Störfallvorsorge und Abstände erklärend dar und ist für Leser gedacht, die sich möglicherweise erstmalig mit dem Thema befassen oder detailliertere Informationen wünschen. Für die eigentlichen Berechnungen der angemessenen Sicherheitsabstände siehe Kapitel 8. „Berechnung Immissionen hypothetischer Dennoch-Störfälle“.

4.1. Grundlagen zur Verhinderung von schweren Unfällen nach StörfallIV

Artikel 1 der Richtlinie des Rates 2012/18/EU (Seveso-III-Richtlinie), in Deutschland umgesetzt durch die StörfallIV, verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Verhütung schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen und zur Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt (hier in Bezug auf die betrachteten Gasanlagen), um auf abgestimmte und wirksame Weise in der ganzen Gemeinschaft ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten.

Nach Artikel 5 ist es allgemeine Betreiberpflicht, „alle notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um schwere Unfälle mit gefährlichen Stoffen zu verhüten und deren Folgen für Mensch und Umwelt zu begrenzen“. Dies hat durch den Betreiber für **vernünftigerweise nicht ausschließbare Störfälle** durch Einsatz von entsprechend ausreichenden

- 1. Technischen Sicherheitseinrichtungen,**
- 2. Organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen und**
- 3. Sicherheitsabständen**

zu erfolgen. Sie bilden in ihrer Gesamtheit den Stand der Sicherheitstechnik ab. Die v.g. Maßnahmen und Einrichtungen waren Grundlage für die immissionsschutzrechtliche Genehmigung der untersuchten Gasanlagen und werden daher in vorliegendem Dokument als gegeben vorausgesetzt. Auch der Nachweis von ausreichenden Sicherheitsabständen nach dem technischen Regelwerk ist für einen Betrieb zu führen (z.B. mit einer Ausbreitungsrechnung), so dass diese hinreichend gegeben erscheinen.

Annahme in dieser Stellungnahme ist weiterhin das regelwerkskonforme Vorhandensein der Dokumentation nach StörfallV des Betriebsbereichs. Dazu gehören insbesondere das Konzept zur Verhinderung von Störfällen (bei oberer Klasse auch ein Sicherheitsbericht) mit einer Gefahrenanalyse, die Gefährdungsbeurteilung, der interne Alarm- und Gefahrenabwehrplan (AGAP) und das Sicherheitsmanagementsystems (SMS) zum Konzept zur Verhinderung von Störfällen.

Die sicherheitstechnischen Festlegungen dieser Dokumente werden als funktionierende Grundlage für den Stand der Sicherheitstechnik vorausgesetzt.

4.2. Grundlagen zu Abständen

Gemäß § 3 (5c) BImSchG ist der angemessene Sicherheitsabstand der Abstand zwischen einem Betriebsbereich oder einer Anlage, die Betriebsbereich oder Bestandteil eines Betriebsbereichs ist, und einem benachbarten Schutzobjekt, der zur gebotenen Begrenzung der Auswirkungen auf das benachbarte Schutzobjekt, welche durch schwere Unfälle im Sinne des Artikels 3 Nummer 13 der Richtlinie 2012/18/EU hervorgerufen werden können, dient. Der angemessene Sicherheitsabstand ist anhand störfallspezifischer Faktoren zu ermitteln.

Die Wahrung angemessener Sicherheitsabstände stellt gemäß § 3 (5) StörfallV keine Betreiberpflicht dar.

Gemäß BImSchG hat die zuständige Behörde für die Errichtung und den Betrieb, wie auch ggf. für eine (wesentliche) Änderung eines Betriebs nach StörfallV festzustellen, wie groß der sog. angemessene Sicherheitsabstand zu Schutzobjekten ist und, ob durch eine störfallrelevante Errichtung und den Betrieb oder die störfallrelevante Änderung einer Anlage der angemessene Sicherheitsabstand zu benachbarten Schutzobjekten erstmalig unterschritten, räumlich noch weiter unterschritten oder eine erhebliche Gefahrenerhöhung ausgelöst wird. Analoges gilt für Änderungen im betriebsfremden Umfeld des Betriebsbereichs, das von den angemessenen Sicherheitsabständen tangiert wird.

Soweit es zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstands erforderlich ist, kann die zuständige Behörde ein Gutachten zu den Auswirkungen verlangen, die bei schweren Unfällen durch die Anlage hervorgerufen werden könnten. Die vorliegende Stellungnahme stellt ein solches Gutachten dar.

Einer separaten Betrachtung bedarf es nicht, soweit dem Gebot, den angemessenen Sicherheitsabstand zu wahren, bereits auf Ebene einer raumbedeutsamen Planung oder Maßnahme durch verbindliche Vorgaben Rechnung getragen worden ist.

Denn, entsprechend § 50 BImSchG, sind bauleitplanerische Entwicklungen und Ansiedlungen in der Nachbarschaft von Anlagen nach StörfallV ebenfalls einer störfallrechtlichen Betrachtung zu unterwerfen und Störfallrisiken in Form von angemessenen Abständen abzuschätzen und zu bewerten.

Gemäß § 50 BImSchG sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen und von schweren Unfällen im Sinne des Artikels 3 Nummer 13 der Richtlinie 2012/18/EU in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete, insbesondere öffentlich genutzte Gebiete, wichtige Verkehrswege, Freizeitgebiete und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete und öffentlich genutzte Gebäude, so weit wie möglich vermieden werden. Detailliert sind im Leitfaden KAS-18 folgende Gebiete genannt:

- a. Baugebiete i. S. d. BauNVO, mit dauerhaftem Aufenthalt von Menschen, wie Reine Wohngebiet (WR), Allgemeine Wohngebiete (WA), Besondere Wohngebiete (WB), Dorfgebiete (MD), Mischgebiete (MI) und Kerngebiete (MK), Sondergebiete (SO), sofern der Wohnanteil oder die öffentliche Nutzung überwiegt, wie z. B. Campingplätze, Gebiete für großflächigen Einzelhandel, Messen, Schulen/Hochschulen, Kliniken.
- b. Gebäude oder Anlagen zum nicht nur dauerhaften Aufenthalt von Menschen oder sensible Einrichtungen, wie
 - Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche Zwecke, wie z. B. Schulen, Kindergärten, Altenheime, Krankenhäuser,
 - öffentlich genutzte Gebäude und Anlagen mit Publikumsverkehr, z. B. Einkaufszentren, Hotels, Parkanlagen. Hierzu gehören auch Verwaltungsgebäude, wenn diese nicht nur gelegentlich Besucher (z. B. Geschäftspartner) empfangen, die der Obhut der zu besuchenden Person in der Weise zuzuordnen sind, dass sie

von dieser Person im Alarmierungsfall hinsichtlich ihres richtigen Verhaltens angehalten werden können.

- c. Wichtige Verkehrswege z. B. Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen, ICE-Trassen. Was wichtige Verkehrswege sind, hängt letztendlich von deren Frequentierung ab. Orientierungswerte zur Einstufung von Verkehrswegen finden sich in Ref. Nr. B 18 der Fragen und Antworten zur Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie). Sie dienen als Orientierungshilfe zur Auslegung der Richtlinie zur Beherrschung der Gefahren bei Unfällen mit gefährlichen Stoffen. Sie sind jedoch nicht verpflichtend und schließen eine andere vernünftige Auslegung nicht aus.

Hintergrund der vorliegenden Abstandsuntersuchung ist also der immissions- und störfallrechtliche Schutzgedanke aus den Regelwerken BImSchG und StörfallIV. Die vorliegende Stellungnahme betrachtet Wechselwirkungen von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen (SRA) eines Betriebsbereichs mit dem Umfeld des Betriebsbereichs und berechnet daraus hinreichende **Abstände auf Basis von angenommenen, rein hypothetischen Dennoch-Störfällen**.

Die Begutachtung wurde anhand der für die Beurteilung von Störfallrisiken anerkannten Vorschriften und Regelwerken durchgeführt. Hier gelten zunächst die EU-Leitlinien für die Flächennutzungsplanung im Rahmen von Artikel 13 der Seveso-III-Richtlinie 2012/18/EU, die weiterhin in Deutschland durch den Leitfaden KAS-18 der deutschen Kommission für Anlagensicherheit konkretisiert werden. Der Leitfaden KAS-18 wird in diesem Dokument als wesentliche Grundlage verwendet und zitiert.

4.3. Abstände bei Planungen mit Detailkenntnissen

Ist die Errichtung und der Betrieb eines Betriebsbereichs, wie im vorliegenden Fall, bereits gegeben oder die Veränderung von Bebauung von Gebieten in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche vorgesehen, sind gemäß KAS-18 angemessene Abstände als sog. Einzelfallbetrachtung mit Detailkenntnissen zu ermitteln.

Das vom Betriebsbereich ausgehende Gefahrenpotenzial ist im vorliegenden Fall genauer bekannt bzw. beurteilbar. Will man Abstände mit Detailkenntnissen konkretisieren, so ist,

ausgehend von der konkreten Lage und Beschaffenheit des Betriebsbereiches in einer Einzelfallprüfung zu erläutern, inwieweit z.B. eine herannahende, schutzwürdige Bebauung als erträglich zugelassen werden könnte. Dabei sollten aus städtebaulicher Sicht (Trennungsgrundsatz nach § 50 BImSchG) und aus Gründen des „Bestandsschutzes“ für den Betreiber einer Anlage nach StörfallV und sein Interesse auf betriebliche Entwicklung, bestimmte Mindestabstände nicht unterschritten werden.

Im Übrigen: Die sich durch Abstandsempfehlungen (angemessene Sicherheitsabstände) ergebenden „Zwischenzonen“ sind nicht als von der Bebauung komplett freizuhalten Fläche zu verstehen. Innerhalb dieser Abstände können weniger schutzwürdige Nutzungen als die in § 50 Satz 1 BImSchG genannten durchaus vorgesehen werden.

Abstandsempfehlungen sind als Richtwerte zu verstehen. Sie basieren auf typisierten Annahmen, die nachfolgend näher beschrieben werden. Ausschlaggebend für die Ermittlung der Abstandsempfehlung sind neben der Toxizität, Wärmestrahlungsbelastung und Druckbelastung, ausgedrückt über die entsprechenden Störfallbeurteilungswerte, stoffspezifische Eigenschaften wie der Dampfdruck und die typischen Prozessbedingungen, unter denen die Gefahrstoffe gehandhabt werden, wie Konzentration, Druck und Temperatur.

Dies ergibt letztlich unterschiedliche hypothetische Freisetzungsraten für die betrachteten repräsentativen Szenarien, die zu definieren bzw. zu wählen sind. Aus diesem Grund ergibt sich keine einfache Relation zwischen Stoffausbreitung, Toxizität, Wärmestrahlungsbelastung und Druckbelastung zur Abstandsempfehlung, sondern sie werden jeweils detailliert betrachtet.

Für die Vorgehensweise werden im Leitfaden KAS-18 folgende allgemeine Vorgaben für die einer Einzelfallbetrachtung zugrunde zu legenden Ereignisse ausgesprochen:

- Der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss sehr großer Rohrleitungen sind beim Land-Use-Planning nicht zu berücksichtigen, da sie bei Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik zu unwahrscheinlich sind.
- Bei Lagerung in Transportgebinden und Lagerung in Druckgefäßen ist mit der Freisetzung des Inhalts eines Transportgebindes oder eines Druckgefäßes (z. B. einer Gasflasche, eines Fasses) zu rechnen. Dabei ist bei Druckgefäßen der Abriss des

Ventils (Leckgröße 80 mm²) und bei Transportgebinden mit Flüssigkeit (Leckgröße 490 mm²) die völlige Entleerung mit anschließender Lachenverdunstung zu unterstellen.

- Bei Prozessanlagen und bei Lageranlagen ist davon auszugehen, dass Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten können. In der Regel wird als Ausgangspunkt der Überlegung von einer Leckfläche von 490 mm² (entspricht einem Äquivalentdurchmesser von 25 mm) ausgegangen. In einer Einzelfallbetrachtung kann jedoch, falls erforderlich, unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Technik, die zugrunde zu legende Leckfläche individuell bestimmt werden.
- Als minimale Grundannahme wird empfohlen, dass eine Leckfläche von 80 mm², entsprechend einem Äquivalentdurchmesser von 10 mm, nicht unterschritten wird.
- Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen sind zu berücksichtigen, soweit sie durch die zugrunde liegenden Ereignisse nicht gestört sind.
- Die Szenarien sind je nach störfallrelevanter Eigenschaft der Stoffe für Stofffreisetzungen, Brand und Explosion getrennt zu betrachten.
- Für die Auswirkungsbetrachtungen gilt, dass der Massenstrom entsprechend den Betriebsbedingungen und unter Voraussetzung eines scharfkantigen Lecks (Ausflussziffer: 0,62) zu berechnen ist. Die Umgebungstemperatur ist mit 20 °C anzusetzen. Es ist eine mittlere Wetterlage mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion zu betrachten. Es ist für den Betriebsbereich die häufigste Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung zu ermitteln (z.B. DWD) und für die Berechnungen zu verwenden.
- Als Beurteilungswerte sind folgende Werte heranzuziehen: ERPG-2-Wert für Toxizität, 1,6 kW/m² für Wärmestrahlung und 0,1 bar für Druckauswirkungen.
- Der Ausbreitungsradius bis zum Beurteilungswert des abdeckenden Ereignisses entspricht dem angemessenen Abstand des Einzelfalles.

- Existieren für die Anlage aus anderen Rechtsvorschriften vorgeschriebene Mindestabstände (z.B. SprengG, technische Regelwerke), so sind diese zu berücksichtigen, wenn sie größer als die empfohlenen angemessenen Abstände sind (siehe dazu Ausführungen weiter oben in diesem Kapitel).

4.4. Grundlagen Gasausbreitungen, Gaswolkenexplosionen und Brände

Bei der Ermittlung von angemessenen Abstandsempfehlungen für Gaseläger wird in Deutschland eine deterministische Vorgehensweise gewählt, die im Einklang mit dem praktizierten Störfallrecht steht. Generische Abstände (allgemein gültige Abstände), wie sie z.B. bei Sprengstoffen angewendet werden, gelten für Gaseläger derzeit nicht.

Auf diese Weise wird ein Rahmen geschaffen, dessen Voraussetzungen und Annahmen nachprüfbar sind. Dabei spielen für entzündbare Gase folgende Szenarien eine Rolle:

- Gasausbreitungen mit sofortiger oder späterer Zündung (Gaswolkenexplosionen und Brände mit Druck und Wärmeauswirkungen).
- Freisetzung toxischer Stoffe (bei Brenngasen i.d.R. nicht relevant, da nicht toxisch).

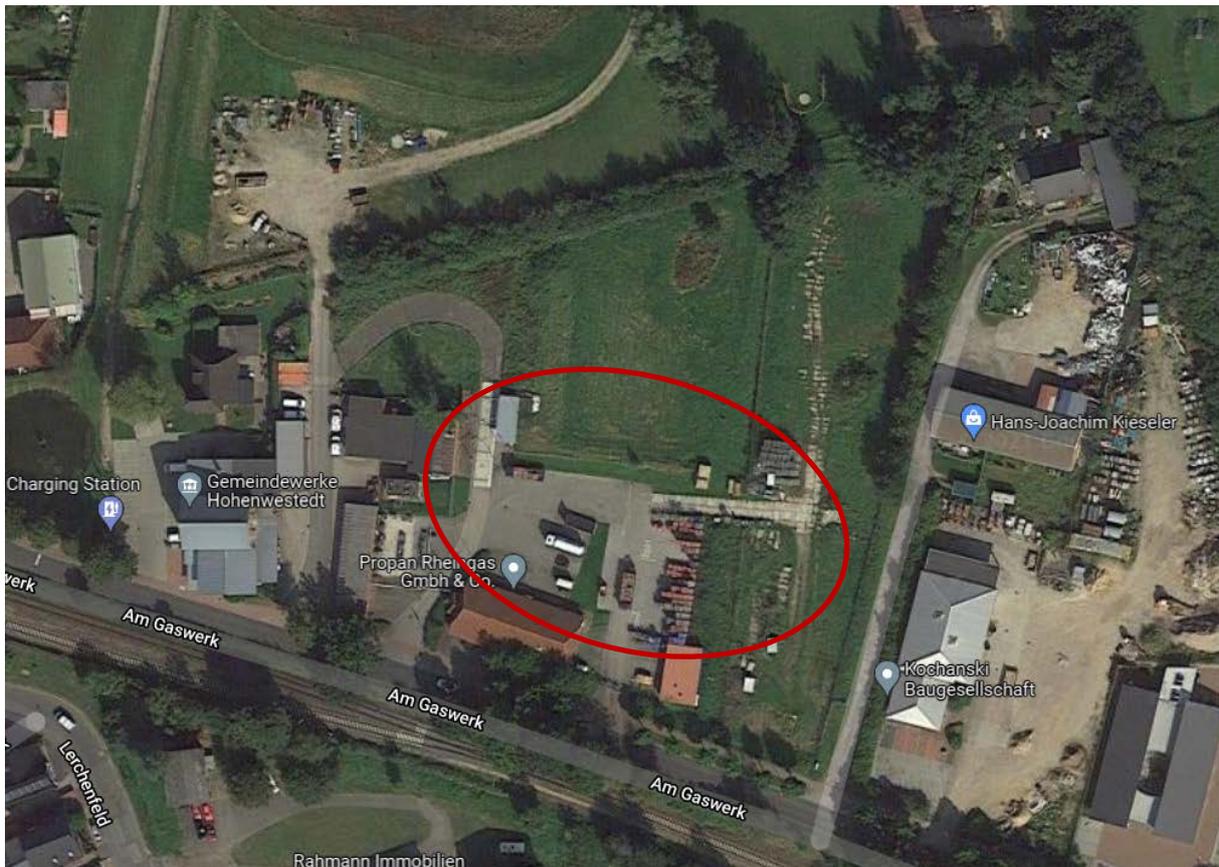
Brände werden unter dem Aspekt der Wärmestrahlungsbelastung betrachtet. Die Erfahrung zeigt, dass bei Brenngasen toxische Effekte durch die Brandgase für die Abstandsbemessung i.d.R. vernachlässigbar sind.

Gaswolkenexplosionen mit Zündung sind unter dem Aspekt der Druckwellen und der durch sie bedingten Auswirkungen zu betrachten.

Trümmerwurf wird aufgrund des bekannten Unfallgeschehens in Deutschland im Rahmen der Abstandsbemessung gemäß KAS-18 nicht berücksichtigt.

5. Kurzbeschreibung Standort

Das folgende Luftbild stellt den Betriebsbereich nach StörfallV dar, in dem sich sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA, rot umrandet) befinden. Es handelt sich dabei um eine unterirdische Lagerbehälteranlage 400 m³ für Flüssiggas, zwei Füllanlagen, eine für Straßentankwagen (TKW) und eine Flaschenfüllanlage, sowie Lagerplätze für Flüssiggasflaschen und Technische Gase. Außerdem bestehen Abstellplätze für LKW.



Quelle: Google Earth

Die für diese Stellungnahme betrachtungsrelevanten SRA sowie deren Umgebung sind in den folgenden Bildern fotografisch gezeigt. Das Gelände ist im Wesentlichen eben. Nur die Bebauungen, die Flaschenlagerungen und z.B. das Hünengrab des Behälters stellen Rauigkeiten in der Topografie dar. Ansonsten befinden sich die Einrichtungen in etwa auf demselben Höhenniveau. Sie sind derzeit durch Bewuchs sowie allseitig durch Zäune von Nachbargelände getrennt.



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

Es bestehen zwei Zufahrten von der Straße Am Gaswerk, die in den folgenden Bildern gezeigt sind.



Weiterhin besteht ein Tor an der östlichen Grundstücksseite.

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase



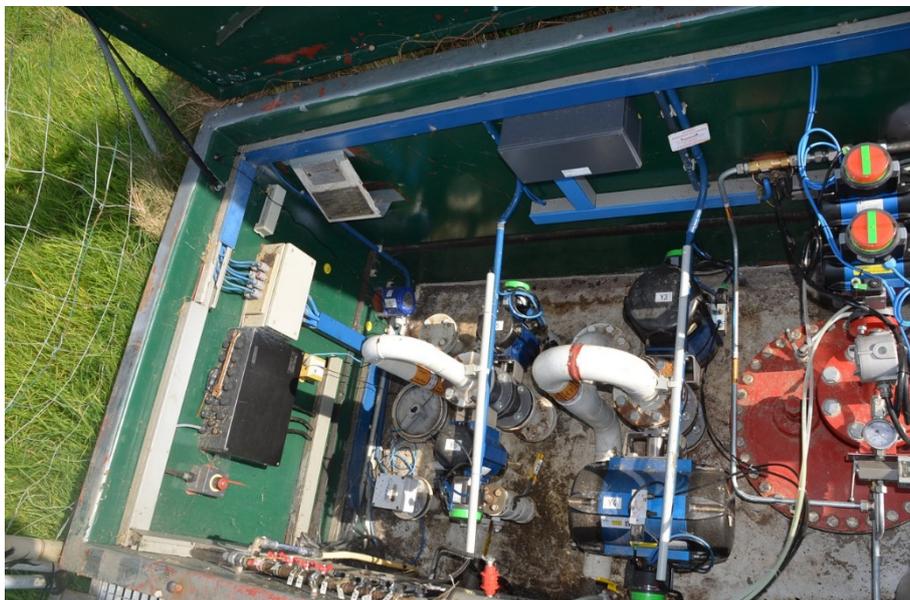
An der westlichen Grundstücksseite besteht ein Tor, welches auf das Nachbargelände der Gemeindewerke Hohenwestedt führt.



5.1. Flüssiggaslagerbehälter mit Domschacht und Tauchpumpe

Die folgenden Fotos zeigen den Flüssiggaslagerbehälter mit seiner Hünengrabaufstellung und den Domschacht mit dem Förderaggregat Tauchpumpe (für Flaschenfüllstation). Der größte Rohrdurchmesser (Flüssigphase) des Lagerbehälters beträgt DN 80.





5.2. TKW-Station mit Kompressor und Berieselungsanlage

Die folgenden Fotos zeigen die TKW-Station mit ihren Einrichtungen. Der größte Rohrdurchmesser (Flüssigphase) an der TKW-Station beträgt DN 80.



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase





5.3. Flaschenfüllanlage

Die folgenden Fotos zeigen das Gebäude der Flaschenfüllstation mit ihren Einrichtungen und Füllwaagen. Die größte Rohrdimension (Flüssigphase) der Flaschenfüllstation beträgt DN 25.



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase



5.4. Lagerflächen Flüssiggas

Die Lagerflächen für Flüssiggasflaschen befinden sich im südöstlichen Teil des Betriebsgeländes. Entlang der nördlichen Grundstücksgrenze befindet sich keine Gefahrstofflagerung. Die nördliche Grundstücksgrenze ist durch dichten Bewuchs größerer Höhe gekennzeichnet.



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase



5.5. Lagerflächen Technische Gase

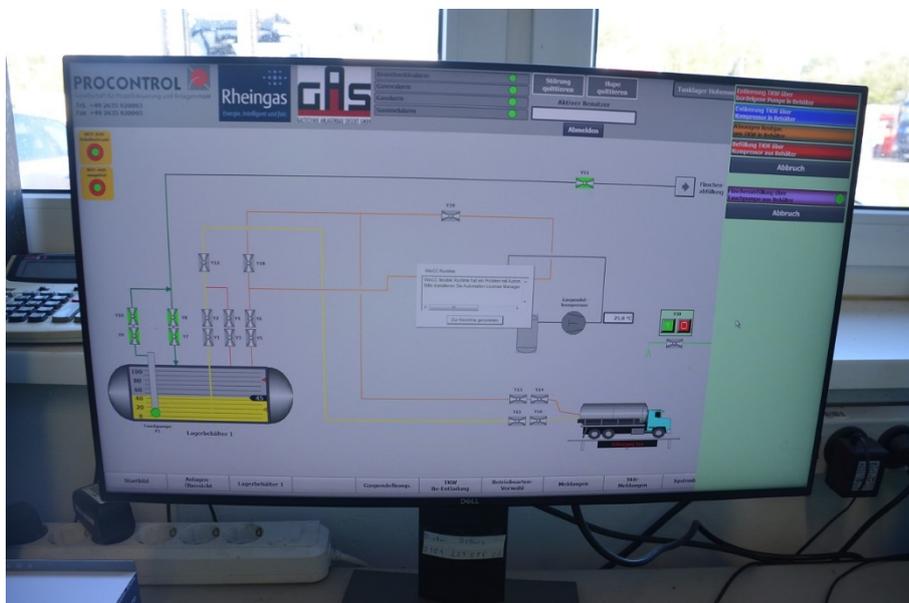
Die Lagerflächen der Technischen Gase befinden sich an der westlichen Grundstücksseite neben der Hauptzufahrt zum Gelände. Die Technischen Gase bestehen aus inerten Gasen, brennbaren und oxidierend wirkenden. Die für vorliegende Betrachtung relevanten Gase sind die brennbaren, derzeit im Wesentlichen Acetylen. In vorliegender Betrachtung soll jedoch auch Wasserstoff vorausschauend mit betrachtet werden, falls dieses technische Gas in Zukunft ergänzend bereit gestellt werden sollte.





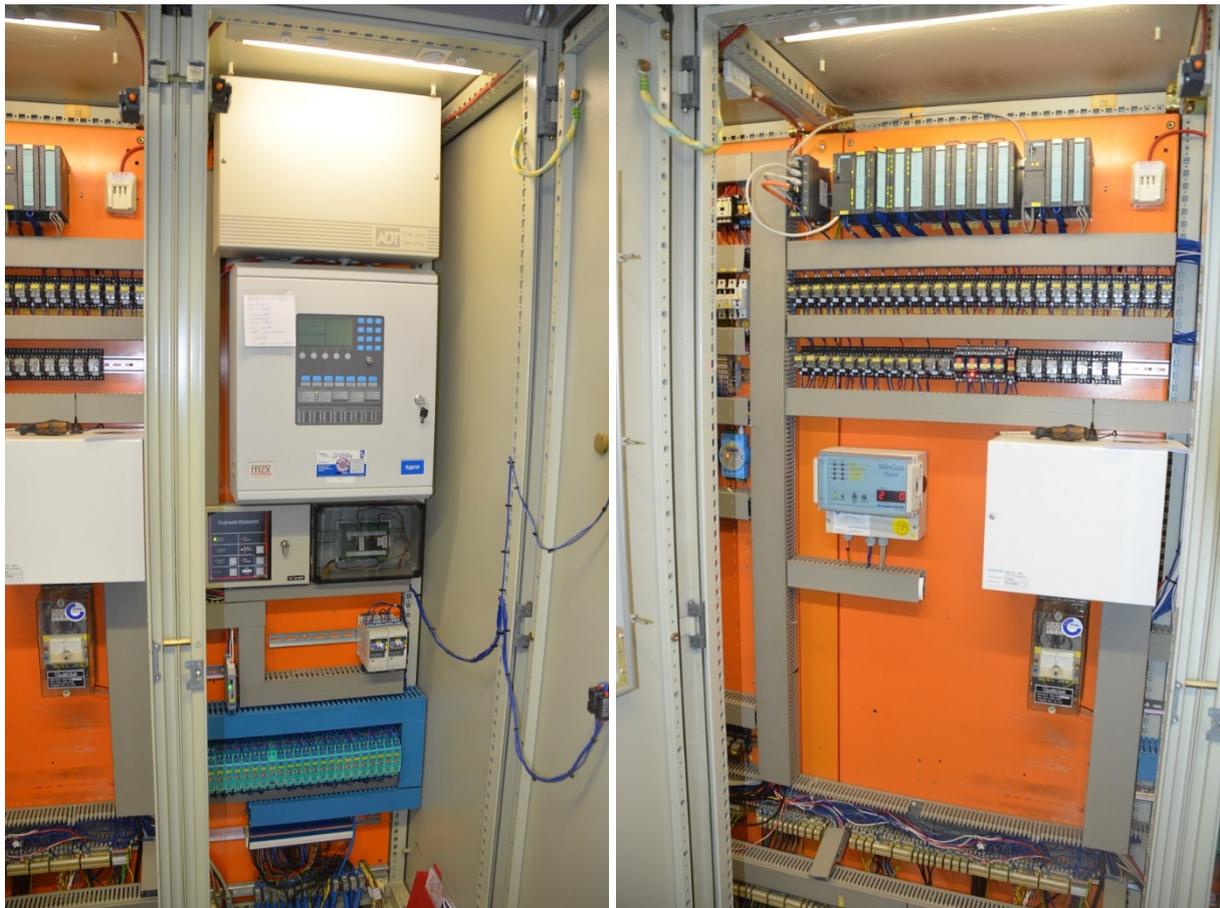
5.6. MSR-Technik Schaltwarte

Die folgenden Fotos zeigen die Anlagensteuerung und Visualisierung im Messstand (Bürogebäude), wo sich auch die Gaswarn- und Brandmeldeanlage befindet.



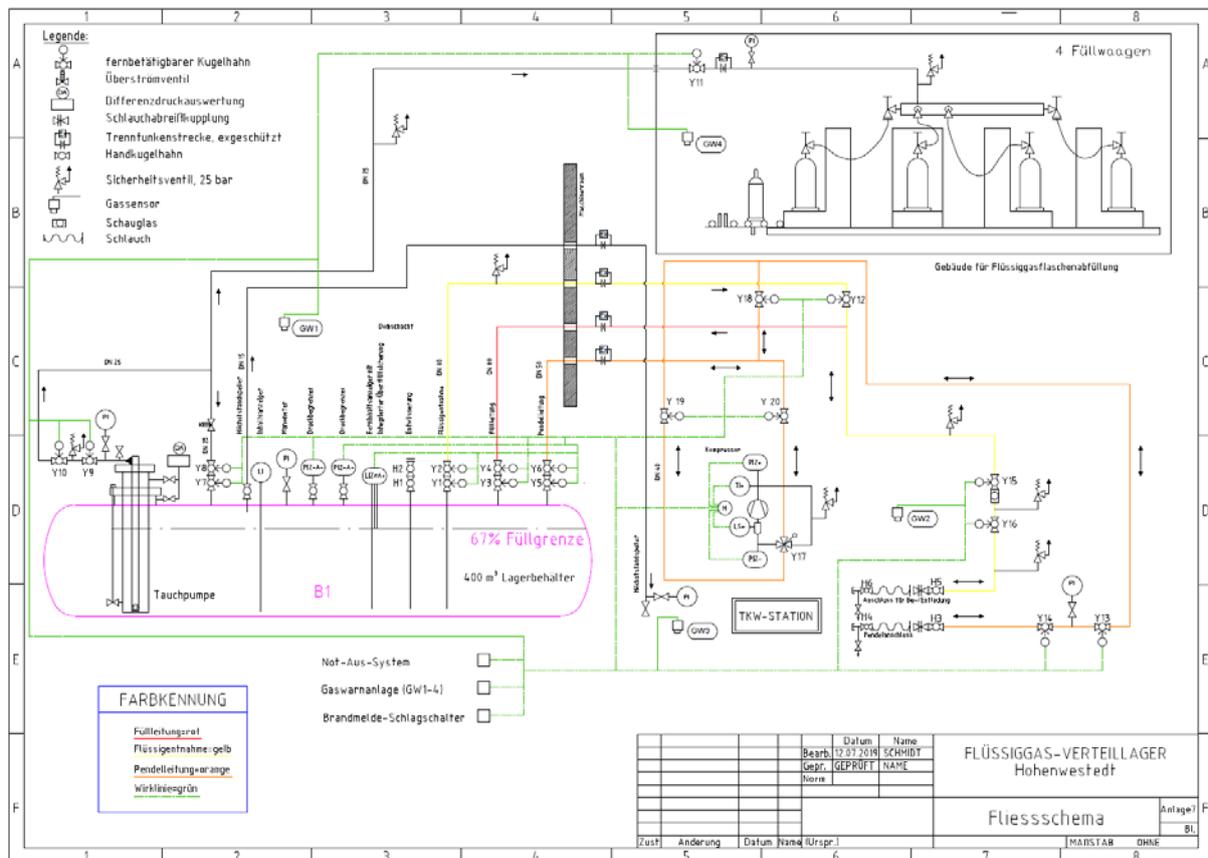
Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

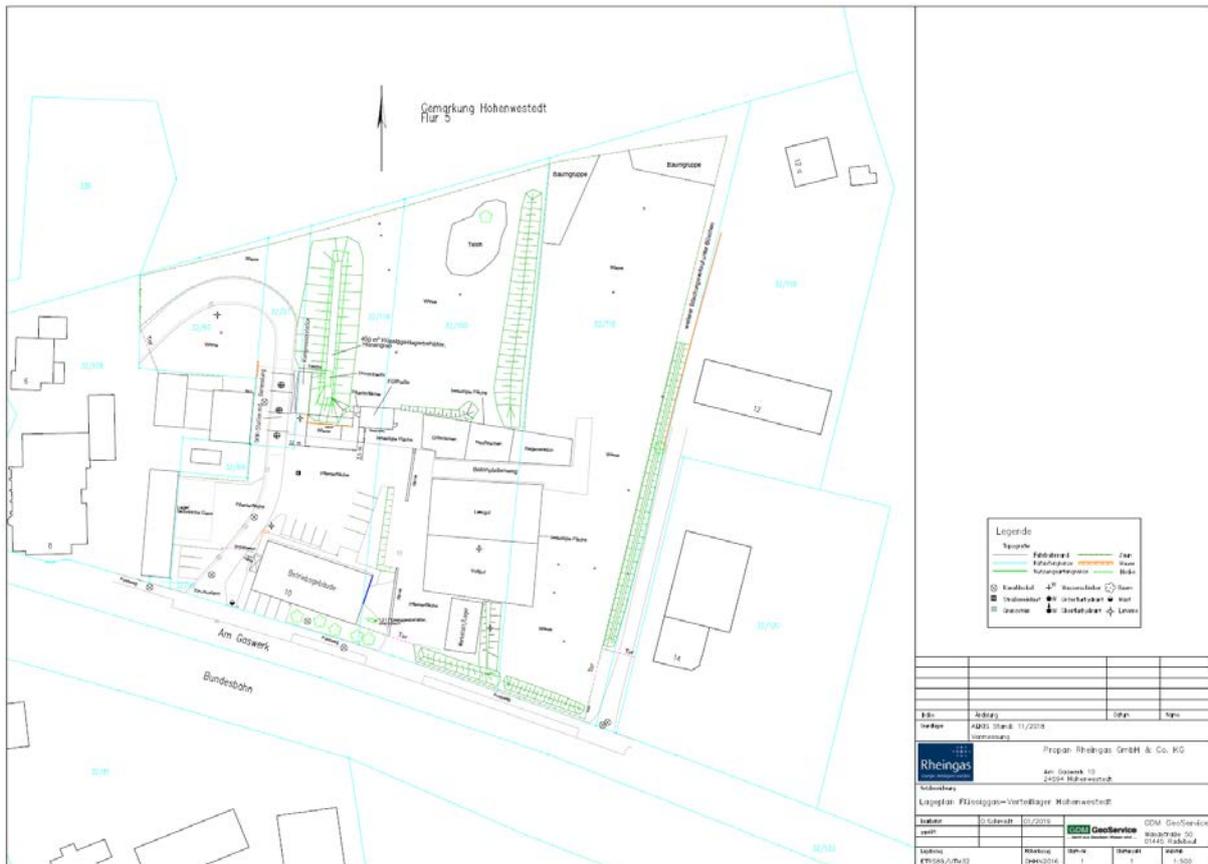


5.7. Pläne und Zeichnungen

Das folgende R+I-Fließbild zeigt die Baugruppen und Aggregate der Flüssiggaslagerbehälteranlage. Die größte Rohrleitungsdimension der Anlage unter Flüssigphase beträgt DN 80 (Füll- und Entnahmeleitung des Behälters). Die größte Rohrleitungsdimension an der TKW-Station beträgt ebenfalls DN 80.



Der folgende Plan zeigt die Lage der einzelnen Einrichtungen auf dem Betriebsgelände bzw. im Betriebsbereich sowie die direkt angrenzende Nachbarschaft.



6. Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung

Bei der vorliegenden Erarbeitung der Abstandsempfehlungen wurde davon ausgegangen, dass Betriebsbereiche schon wegen der sich aus der StörfallV ergebenden Betreiberpflichten ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten müssen. So ist bereits im Zulassungsverfahren nachzuweisen, dass die jeweiligen Anlagen nach dem Stand der Sicherheitstechnik errichtet und betrieben werden. Weiterhin stellen die einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen hohe Anforderungen an den Betrieb von Flüssiggasanlagen, z. B. durch vorgeschriebene wiederkehrende Prüfungen durch Sachverständige von zugelassenen Überwachungsstellen, ein Sicherheitsmanagementsystem usw.

Deshalb wird vernünftigerweise hinsichtlich der Freisetzung von gefährlichen Stoffen i.d.R. davon ausgegangen, dass wegen der nach dem Stand der Sicherheitstechnik gefertigten und nach gesetzlich vorgeschriebenen Prüfpflichten überwachten, sicherheitsrelevanten Anlagenteilen (SRA) ein Spontanversagen von Behältern/Armaturen oder der vollständige Abriss von großen Rohrleitungen im Rahmen der angemessenen Abstandsempfehlungen ausgeschlossen werden können, da sie für die Frage des Land-Use-Planning hinreichend unwahrscheinlich sind.

Gemäß KAS-18 bzw. Kapitel 4.3 „Abstände bei Planungen mit Detailkenntnissen“ soll bei Lager- und Umschlaganlagen davon ausgegangen werden, dass Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten können, die als Ausgangspunkt der Überlegung eine Leckfläche von 490 mm² haben könnten.

- Austrittsfläche 490 mm² (entspricht Querschnitt einer DN 25 Anschlussleitung)

Abweichungen hiervon können im Einzelfall aufgrund von spezifischer Anlagenauslegungen, Anlagenart und/oder Betriebserfahrung vorgenommen werden bzw. nötig sein.

Um den unterschiedlichen Größen von Flüssiggaslägern, deren Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. Rechnung zu tragen, die nach Ansicht des Unterzeichners nicht alle pauschal, völlig unabhängig von der Größe mit DN 25 betrachtet werden sollten, sollen in einer Einzelfallbetrachtung, unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Technik, die zugrunde zu legende Leckflächen bestimmt werden.

Aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen und z.B. aus der Analyse des deutschen Störfallgeschehens (vergleiche ZEMA-Berichte der Zentralen Störfallmelde- und Auswertestelle im Umweltbundesamt (<http://www.umweltbundesamt.de/zema>) in den letzten Jahren, können für Freisetzungen an Flüssiggas-Umschlag- und Verteillägern Quellterme wie nachfolgend als realitätsnah angenommen bzw. abgeleitet werden. Dabei handelt es sich um eine Konvention.

Für die einzelnen Anlagenteile wurden jeweils **Quellterm-Nennweiten verwendet, die 25% der maximal in der Anlage auftretenden Nennweiten betragen**, soweit es sich um fest verrohrte Verbindungen handelt. An Anlagenteilen, **an denen Schlauchleitungen verwendet werden, wurde mit 50% der maximal auftretenden Nennweiten gerechnet**. Diese Festlegung (Konvention) erscheint im Sinne der Einzelfallbetrachtung des Leitfadens KAS-18 und daher mit diesem konform, weil aufgrund der spezifischer Anlagenauslegung und der Betriebserfahrung mit vergleichbaren Anlagen gerechtfertigt.

Die Konvention erscheint damit auch dahin gehend den Maßgaben des Leitfadens KAS-18 zu entsprechen, dass nicht der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss der größten Rohrleitungen beim Land-Use-Planning zu berücksichtigen sind, da sie bei Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik zu unwahrscheinlich erscheinen.

Für die vorliegende Betrachtung ergeben sich damit die folgenden **Quelltermgrößen unter Flüssigphase** (Flüssiggas). Alle Gasphase führenden Leitungen sind damit abgedeckt, da ihre transportierte Energiemenge etwa um den Faktor 260mal kleiner ist, als das der Flüssigphase führenden Leitungen.

Weiterhin ergeben sich die genannten Mengen an Flüssiggas, Acetylen und Wasserstoff für die Lagerung von Gasflaschen. Wie in der v.g. Kapiteln dargestellt, wird dabei die Freisetzung des gesamten Inhalts einer Gasflasche unterstellt.

Hypothetischer Schadensort	Max. Nennweite	50% max. QT-Nennweite (bei Schlauchverbindungen) Austrittsfläche	25% max. QT-Nennweite Austrittsfläche	Ausbreitungssituation (gem. KAS-18)	Verdämmung
Behälterdomschacht mit Tauchpumpe	DN 80	-	DN 20 314 mm ²	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte niedrig
TKW-Station (Schläuche) mit Kompressor	DN 80	DN 40 1.257 mm ²	-	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	teilverdämmt, Hindernisdichte mittel
Flüssiggas-Flasche 33 kg	-	-	-	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte hoch
Acetylen-Flasche 10 kg	-	-	-	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte mittel
Wasserstoff-Flasche 1 kg	-	-	-	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte niedrig (wg. schnellem Auftrieb bzw. Aufsteigen)

Die Betrachtung der Flaschenfüllstation kann vernachlässigt werden, da die Rohrleitungsdimension dort nur DN 25 beträgt und bei einer definierten Quelltermgröße von 25% der maximalen Rohrleitungsdimension, diese lediglich einem Freisetzungsquerschnitt von DN 5 entspräche. Bedingt durch die räumliche Nähe der Flaschenfüllstation neben dem Behälter, erscheint jene durch die Betrachtungen der wesentlich größeren Rohrleitungsdimension des Behälter mit abgedeckt.

Die Ausbreitungssituation ergibt sich durch die betriebsspezifischen, baulichen und topografischen Gegebenheiten, die wie in der Tabelle genannt eingestuft bzw. abgeschätzt wurden. Einer hypothetischen Emission bzw. Gasausbreitung in den v.g. Bereichen stehen im Umfeld gewisse Hindernisse im Wege, die modelliert eine lockere Bebauung darstellen sollen (siehe dazu auch Leitfaden KAS-18 und Fotos in den vorhergehenden Kapiteln).

Von den Rohrleitungen und Gasflaschen bestünde in der Modellierung die Möglichkeit, dass sich Schwer- bzw. Leichtgas luftgetragen ausbreiten könnte. Beim Ausströmen in Bodennähe

sind die Topografie, Wände, Bebauungen usw. als Schutzzäune im Sinne der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 bei der Berechnung von Schwergas zu betrachten (z.B. Hünengrab, Gebäude, dichter Bewuchs etc.).

Wie bei den Ausbreitungsbedingungen von Gas, ergeben sich auch in Bezug auf das Druckverhalten bei Zündung (z.B. bei Verdämmungen) unterschiedliche Verhältnisse, die durch die betriebsspezifischen baulichen und topografischen Gegebenheiten (wie z.B. Gebäude, Hünengrab usw.) verursacht sein können.

Geht man bei den Rohrleitungen und Flaschen davon aus, dass ein hypothetisches Austreten von entzündbarem Gas im bodennahen Bereich erfolgt, so stellen die v.g. Hindernisse Obstruktionen dar, die modelliert eine teilverdämmte Situation mit umliegender mittlerer Hindernisdichte ergeben sollen. Lediglich im höhergelegenen Bereich des Domschachtes, ist von einer hypothetisch unverdämmten Situation mit geringer Hindernisdichte auszugehen.

Die beidseitig längs der TKW-Station errichteten Gebäude und der Erdwall des Behälters sollen, zusammen mit den ggf. an der Station stehende TKW, mit einer Teilverdämmung mit mittlerer Hindernisdichte modelliert werden. Analoges gilt für die Flaschenlagerungen in Stapeln von Paletten (Flüssiggas) bzw. die Technische Gase-Lagerung entlang einer Gebäudewand.

7. Kritische Immissions-Toleranzwerte

Hinweis: Dieses Kapitel stellt Grundlagen der Thematik Immissions-Toleranzwerte erklärend dar und ist für Leser gedacht, die sich möglicherweise erstmalig mit dem Thema befassen oder detailliertere Informationen wünschen. Für die eigentlichen Berechnungen und Betrachtungen der angemessenen Abstände siehe Kapitel 8. „Berechnung Immissionen hypothetischer Dennoch-Störfälle“.

Um die später berechneten, hypothetischen Auswirkungen abschätzen und einordnen zu können, ist es erforderlich, kritische Immissions-Toleranzwerte in ihrem Kontext und mit ihren Parametern zu kennen. Diese sind im Folgenden allgemein dargestellt.

Richtschnur für die Festlegung von kritischen Immissions-Toleranzwerten sind die Definitionen der StörfallV wie eine Emission, ein Brand oder eine Explosion, die sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem Betriebsbereich oder einer Anlage ergeben könnten und die unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer ernsten Gefahr oder zu Sachschäden führen können und bei denen ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sein können.

Eine erste Gefahr liegt vor wenn,

- das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen von Menschen zu befürchten sind,
- die Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt werden kann oder
- die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde.

Aus der Analyse der Begriffsdefinitionen der StörfallV kann geschlossen werden, dass die Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen i. S. des § 2 Nr. 4 b StörfallV für die Auswahl der relevanten humankritischen Toleranzwerte für die Belastung durch

Wärmestrahlung, Explosionsdruckwirkungen und/oder Toxizität maßgeblich ist. Aber es könnten auch kritische Toleranzwerte auf Objekte zu betrachten sein (z.B. andere Anlagen des Betriebsbereichs), die möglicherweise in Folge zu weiteren v.g. humankritischen Werten sich entwickeln könnten, wenn Folgeereignisse zu befürchten wären.

7.1. Toleranzwerte für Brände

Für die Bewertung der zulässigen Wärmebelastungen auf Objekte und Menschen (Leben von Menschen bedroht bzw. schwerwiegende gesundheitliche Beeinträchtigungen mit irreversiblen Schäden) ist es erforderlich, die kritischen, humankritischen und letalen Größen zu kennen.

Diese sind bei der thermischen Bestrahlung u.a. **abhängig von der Expositions- bzw. Belastungszeit**. Für die Auswirkungen auf den Menschen sind daher aufgrund des zeitlichen Faktors, der für kurze Brennzeiten bei der Zündung von Gaswolken maßgebend ist, **die reinen Bestrahlungsstärken nicht alleine aussagekräftig**.

Für die Wärmestrahlung ist bei **beliebiger Bestrahlungsdauer** bereits bei einem Grenzwert von **1,6 kW/m²** die Grenze des Beginns nachteiliger Wirkungen für Menschen erreicht (zum Vergleich: **Solarkonstante ca. 1,4 kW/m²**). Die hinsichtlich der Zulässigkeit kritischen Bestrahlungsstärken **beliebiger Dauer** auf Menschen und Objekte, sind in der folgenden Tabelle beispielhaft angegeben.

Zu schützendes Objekt	Kritische Bestrahlungsstärke bei beliebiger Dauer (kW/m ²)
Grenze für nachteilige Wirkungen	1,6
Empfindliche Gebäude: Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Wohnhäuser	2,0
Öffentliche Straßen	4,5
Grenze für wahrscheinliche Feuerübertragung	8,0
Ungekühlte Lagertanks	10,0
Fabrikgebäude: Leitwarten, Standortstätten	12,6
Gekühlte Lagertanks	37,8

Da es sich bei der hier vorliegenden Art von Gasbränden nur um zeitlich sehr begrenzte **Ereignisse mit kurzer Branddauer** handelt und eben **nicht** um eine beliebige Bestrahlungsdauer, sollen gemäß KAS-18, Anhang 4, Kapitel 4 „Belastungen durch Wärmestrahlung“, entsprechende Überlegungen und Übertragungen wie folgt gemacht werden.

Eine Bestrahlungsstärke von 10,5 kW/m² bei einer Exposition über 40 s, markiert die Schwelle der **„lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen“**, die für einen einzelnen Menschen maßgeblich ist. **Brandzeiten von Gaswolken sind jedoch in der Regel deutlich kürzer (im Sekundenbereich).**

In der Literatur^{1,2} werden daher Dosiswerte angegeben, die zu bestimmten Auswirkungen führen. Die Dosen, die statistisch zu 1% bzw. 50% Todesfällen führen sind wie folgt:

$$1\% \text{ tödliche Dosis } q = 1050 \text{ s } (W/m^2)^{4/3} 10^{-4}$$

$$50\% \text{ tödliche Dosis } q = 2300 \text{ s } (W/m^2)^{4/3} 10^{-4}$$

1. UBA F&E 29748 428 Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenerarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift W. Kaiser, P. Rogazewski, M. Schindler, TÜV Anlagentechnik GmbH, Band 1 Anhang 3 Methodische Hinweise zur Abschätzung von Auswirkungen UBA Texte 15/00.

2. BAM: Mustersicherheitsanalyse nach Störfall-Verordnung für eine Sprengstofffabrik. Forschungsbericht 104 09 211, UBA-FB 92-026, 1992

Die folgende Formel beschreibt den Zusammenhang zwischen Wärmestrahlung, Expositionszeit und Dosis.

$$\text{Wärmestrahlung} = \sqrt[4]{\left(\frac{\text{Dosis } q}{\text{Expositionszeit}}\right)^3}$$

Als kritische Bezugs- bzw. Bewertungsgröße für die Betrachtung **„Leben von Menschen bedroht“** bzw. schwerwiegende gesundheitliche Beeinträchtigungen mit irreversiblen Schäden, kann der Radius 1% Todesfälle angesehen werden, da er, statistisch gesehen, gerade beginnend die letale humankritische Größe definiert.

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

Als kritische Bezugs- bzw. Bewertungsgröße „**Gesundheitsbeeinträchtigungen**“ kann z.B. der **maximale Radius der Blasenbildung** als humankritische Größe herangezogen werden.

Für Werte über ca. 50 kW/m² muss für Menschen berücksichtigt werden, dass der Expositionszeitfaktor dann keine Rolle mehr spielt, da es dann in jedem Fall zu Verbrennungen 3. Grades kommt.

Für längere Expositionsauern bzw. andere Belastungsgrenzen sind die aus einschlägiger Literatur entnommen Werte in der nachfolgenden Tabelle exemplarisch gezeigt. Die Werte zeigen kritische, flächenbezogene Bestrahlungsstärken auf Menschen.

Einwirkungen auf die menschliche Haut je Zeiteinheit	Werte
Max. Stärke bei unbestimmter Bestrahlungsdauer	1,3 kW/m ²
Schmerz nach 10 s bis 20 s	4 kW/m ²
Schmerz nach 3 s und Blasen nach 10 s bis 12 s	10 kW/m ²
Verbrennungen 3 Grades (auch bei kurzzeitiger Exposition)	50 - 65 kW/m ²

Die **Abhängigkeit der Zeitdauer t bis zum Erreichen der Schmerzgrenze bei der Bestrahlungsstärke P** ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Zeit bis zum Erreichen der Schmerzgrenze bei Menschen (t in sek.)	Bestrahlungsstärke (kW/m ²)
2 s	19,9
4 s	11,7
6 s	9,5
9 s	6,9
16 s	4,7
30 s	2,9
40 s	2,3
60 s	1,7

Für Sekundar-Betrachtung von Wärmeauswirkungen können auch die Bestrahlungsstärken auf Objekte und deren Verhalten bei Brandeinwirkungen relevant sein. Durch die auftreffende Wärmestrahlung kommt es zur Erwärmung von Oberflächen. Bei ausreichender Intensität und Dauer kann es in der Folge zur Selbstentzündung und zu Bränden kommen. Die **Selbstentzündungsbedingungen ohne Schutzmaßnahmen und andere Effekte** sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Stoffe	Selbstentzündung oder Versagen bei Bestrahlungsstärke...	Selbstentzündung oder Versagen nach Einwirkzeit in Sekunden...
Ungestrichenes, dunkles Holz	34 kW/m ²	900 s (15 min)
Gestrichenes Holz	17-25 kW/m ²	900 s (15 min)
Ungestrichene, poröse Holzfaserverplatte	25 kW/m ²	900 s (15 min)
Duroplastischer Kunststoff	84 kW/m ²	900 s (15 min)
Textilien	34 kW/m ²	900 s (15 min)
Baumwollgewebe	24 kW/m ²	900 s (15 min)
Versagen von Stahlkonstruktionen	42 kW/m ²	900 s (15 min)
Sperrholz	17 kW/m ²	600 s (10 min)
Platzen von Fensterscheiben	5 kW/m ²	6 s
Papier	8 kW/m ² bzw. 13 kW/m ²	8 s bzw. 5 s
Kunstfaser	7 kW/m ²	sofort
Schmieröl an Maschinen	9,2 kW/m ²	sofort

7.2. Toleranzwerte für Brände (abweichende Bewertungen)

Gemäß v.g. Kapitel kann im Falle von Wärmestrahlung die Grenze für eine nachteilige Wirkung auf Menschen schon bei einer Strahlungsintensität von $1,6 \text{ kW/m}^2$ beginnen. Dies gilt jedoch nur bei langer Bestrahlungsdauer, sehr viel länger als die im vorliegenden Fall anzunehmenden Brandzeiten von wenigen Sekunden, weshalb der genannte Ansatz über die „Dosis“ dem Unterzeichner sinnvoller erscheint.

Behördlicherseits bestehen aus Erfahrung des Unterzeichners in verschiedenen Bundesländern teilweise unterschiedliche Ansätze. In Baden-Württemberg zum Beispiel (für Lager Hohenwestedt nur als Erkenntnisquelle relevant) wird teilweise, abweichend von v.g. Wert von $1,6 \text{ kW/m}^2$, mit einem festen Grenzwert von 8 kW/m^2 für sehr kurze Brandzeiten gerechnet. Für Gasbrände mit kurzen Strahlungsdauern sollen hier im Einzelfall auch Werte zwischen $1,6 \text{ kW/m}^2$ und kleiner $10,5 \text{ kW/m}^2$ zu Grunde gelegt werden können (für Brandzeiten $< 5 \text{ s}$). Auswirkungen mit einer Wärmestrahlung größer $10,5 \text{ kW/m}^2$, selbst für die Dauer weniger Sekunden, könnten im Hinblick auf den Schutz der Allgemeinheit jedoch nicht befürwortet werden.

Darüber hinaus soll von dem v.g. Wert von $10,5 \text{ kW/m}^2$ noch ein Sicherheitsabschlag von 2 kW/m^2 abgezogen werden. Zu beachten sei, dass bei der Untersuchung die Dimension des Feuerballs zu bestimmen ist und die hierdurch erzeugte Wärmestrahlung für einen kurzen Zeitraum von 5 Sekunden eine Wärmeeinwirkung von 8 kW/m^2 nicht übersteigt. Für eine beliebige Dauer einer Wärmestrahlung wäre weiterhin bzw. ohnehin der Wert von $1,6 \text{ kW/m}^2$ aus KAS-18 anzusetzen.

Aufgrund dieser Betrachtungsweise wurden im vorliegenden Gutachten vergleichend auch der Abstand für einen Grenzwert von 8 kW/m^2 und $1,6 \text{ kW/m}^2$ zusätzlich ermittelt.

7.3. Toleranzwerte für Gaswolkenexplosionen

Toleranzwerte für Druckwirkungen können vereinfacht anhand des positiven Spitzenüberdrucks der Stoßwelle in Ausbreitungsrichtung abgeschätzt werden. Dabei wird zunächst außer Acht gelassen, dass auch die Dauer und Form des Druckimpulses im Zeitverlauf eine Rolle spielen und dass auch Schäden durch den dem Überdruck folgenden Unterdruck, der erheblich länger anhält, verursacht werden können.

Die folgende Tabelle zeigt humankritische Explosionsdrücke bzw. die entsprechenden Auswirkungen auf den Menschen.

Auswirkungen auf Menschen	Werte
Unangenehme Knallwirkung tiefer Frequenz	1,5 mbar
Sehr lauter Knall	3 mbar
Sicher für Personen in Gebäude, abseits Fenster	7 mbar
Verletzung durch Glassplitter möglich	14-32 mbar
Mensch wird umgeworfen	150-200 mbar
Untere Grenze Trommelfellriss	175 mbar
Lungenschäden möglich	500 mbar
Zerstörung der Lunge möglich	1000 mbar
Trommelfellriss	1400-2100 mbar
Untere Letalitätsgrenze	2000 mbar
Tod durch Druckwelle möglich	>2500 mbar

Für humankritische Immissions-Toleranzwerte kann gemäß der v.g. Tabellen konservativ davon ausgegangen werden, dass bei den Wirkungen von Explosionen eine Grenze zu irreversiblen Gesundheitsschäden bei ca. **100 mbar** liegen könnte. Dies ist auch im Leitfaden

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

KAS-18 so festgelegt. Im Zusammenhang mit Personenschäden ist zu beachten, dass auch Glassplitter, Sprengstücke, Wurfstücke und Trümmer Verletzungen verursachen können.

Die folgende Tabelle zeigt kritische Explosionsdrücke bei Auswirkung auf Gebäude.

Auswirkungen auf Gebäude	Werte
Beginn Glasbruch	2 mbar
Schäden an Fensterrahmen, Türen, Dächern	5 mbar
Zerstörung einiger Fensterscheiben (ca. 10%)	10 mbar
Geringe Schäden an Dächern	20 mbar
Zerstörung von ca. 50% der Fensterscheiben	15-25 mbar
Zerstörung von ca. 75% der Fensterscheiben	30 mbar
Zerstörung von ca. 100% der Fensterscheiben	50 mbar
Gelegentliche Beschädigung von Fensterrahmen, Risse im Mauerputz	35 mbar
Zerstörung der Dächer und Wände von Holzhäusern	60 mbar
Zerstörung Seitenwandverkleidungen	75 mbar
Beschädigung des Außenputzes	85 mbar
Zerstörung gemauerter Wände	100 mbar
Leichte bis mittlere Gebäudeschäden, Zerstörung von Wänden aus Ziegel- und Schlackesteinen	120 mbar
Zerstörung von 20 bis 30 cm dicken Ziegelsteinausfachungen	150 mbar
Mittlere Schäden an Fachwerkgebäuden	200 mbar
Zerstörung 24er Mauerwerk	250 mbar
Mittlere bis schwere Gebäudeschäden	350 mbar
Nahezu vollständige Zerstörung üblicher Gebäude	400 mbar

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

Auswirkungen auf Gebäude	Werte
Zerstörung 50er Mauerwerk	500 mbar
Eisenbahnwaggons kippen um	500 mbar
i.d.R. vollkommene Zerstörung von Gebäuden	700 mbar

Die folgende Tabelle zeigt kritische Explosionsdrücke bei Auswirkung auf Objekte.

Auswirkungen auf Objekte	Werte
Stahlblechplatten verbeult	75 mbar
Stahlrahmen von Skelettgebäuden leicht verformt	95 mbar
Öltanks aufgerissen	215 mbar
Zerstörung von Stahlbetonwänden	350 mbar
Eisenbahnwaggons kippen um	500 mbar
99 % Schaden an Tanks mit konischem Dach	550 mbar
Beladenen Güterwagen kippen um	600 mbar
Beladene Güterwagen zerstört, 99 % Schaden an horizontal gelagerten Druckkesseln, chemischen Reaktoren und Wärmetauschern	750 mbar

Als kritischer Immissions-Toleranzwert für die Betrachtung einer hypothetischen Druckauswirkung auf Objekte, kann ebenfalls ein Wert von ca. 100 mbar dienen.

7.4. Toleranzwerte für Toxizität

Für die Betrachtung der vorliegenden Gefahrstoffe (Brenngase, nicht toxisch) und die hypothetischen, humankritische Auswirkungen dieser Gefahrstoffe, spielen toxische Aspekte keine Rolle. Toleranzwerte für Toxizität erscheinen daher hier nicht relevant und werden nicht weiter betrachtet.

8. Berechnung Immissionen hypothetischer Dennoch-Störfälle

Bei den betrachteten Szenarien handelt es sich um die Annahme von sog. hypothetischen Dennoch-Störfällen. Wie bereits erwähnt ist vernünftigerweise auszuschließen, dass solche Massen spontan oder kontinuierlich freigesetzt werden (daher kein „vernünftigerweise nicht ausschließbarer Störfall“).

Bei der Betrachtung von Dennoch-Störfällen für Schwergase (hier Flüssiggas) erscheinen drei Radien relevant, die letztlich zur Bemessung des gesuchten angemessenen Abstands führen, da sie Gefährdungsradien bzw. Gefährdungsbereiche bilden könnten. Für die hypothetische spontane Freisetzung des Inhaltes einer Technischen Gase-Flasche Acetylen oder Wasserstoff, spielen nur die Punkte 2 und 3 eine Rolle.

- 1. Radius / Bereich der Gasausbreitung**
- 2. Radius der (human)kritischen Wärmeauswirkungen bei Zündung einer Gaswolke**
- 3. Radius der (human)kritischen schädlichen Druckauswirkungen bei Zündung einer Gaswolke**

Da es sich um eine „Worst-Case-Betrachtung“ handelt, ist der Wert relevant, der den größten Radius erzeugt. Dies ist abhängig von den Anlagen, den Bebauungen und der Topografie des Umfeldes und soll daher betriebsspezifisch individuell ermittelt werden.

Für alle 3 Fälle ist es dabei wichtig, die Grenzwerte zu kennen, die zur Anwendung kommen sollen. Die Grenzwerte sind im Leitfaden KAS-18 bzw. im Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ dargestellt und können mit den Ergebnissen abgeglichen werden.

Flüssiggas ist ein sog. Schwergas. Seine Dichte beträgt in gasförmigem Zustand ca. 2 kg/m^3 , was dazu führt, dass es i.d.R. nach einer Freisetzung nach unten sinkt. Bei einem hypothetischen Dennoch-Störfall würde zunächst Gas unverbrannt an einem der genannten Anlagenteile (SRA) emittiert. Durch den Austritt des Flüssiggases würde es zu einer Vermischung mit der Umgebungsluft kommen, falls die Gaswolke nicht vorher zündet.

Die Ausbreitung eines Gases bis zu einer Grenze, an der das Gas soweit mit Umgebungsluft vermischt ist, dass es nicht mehr zündfähig ist, stellt die erste Abstandsbemessung dar. Die untere Explosionsgrenze (UEG) bildet damit den Rand des Ausbreitungsbereichs, an dem sich eine zündfähige Gaswolke damit hinreichend aufgelöst hat, so dass keine signifikante Gefährdung (Zündgefährdung) mehr von ihr ausgeht.

Bei einer **gasförmigen** Freisetzung von Flüssiggas aus einem ortsfesten oder ortsbeweglichen Druckgerät bzw. einer Rohrleitung / einer Armatur kann davon ausgegangen werden, dass dies impulsbehaftet unter erhöhtem Druck erfolgt, so dass sich ein Freistrahls ausbildet. Durch die Einmischung von Luft wird die untere Explosionsgrenze nach einer gewissen Entfernung unterschritten. Die explosionsfähige Masse innerhalb des Freistrahls stellt sich entsprechend den Umgebungsbedingungen (Bebauung und Topografie) ein, ist jedoch im Vergleich zu Austritten von Flüssigphase sehr viel geringer.

Größere Schwergaswolken, bei denen **Flüssigphase** mit entsprechend großer, explosionsfähiger Masse austritt, sind bei der Freisetzung mit gegenüber Luft höherer Dichte zu erwarten. Dieses Szenario ist an der vorliegenden Anlage hypothetisch möglich. Entsprechend wurde dieser Fall als „Worst Case“ angesetzt. Es war daher kein Freistrahls zu berechnen, da dessen Szenario durch das Schwergaswolken-Szenario mit abgedeckt ist.

Es wurde bei den folgenden Betrachtungen konservativ davon ausgegangen, dass die gesamte freigesetzte Masse spontan verdampft (ohne Lachenbildung, da unter erhöhtem Druck austretend) und eine zündfähige Schwergaswolke bildet.

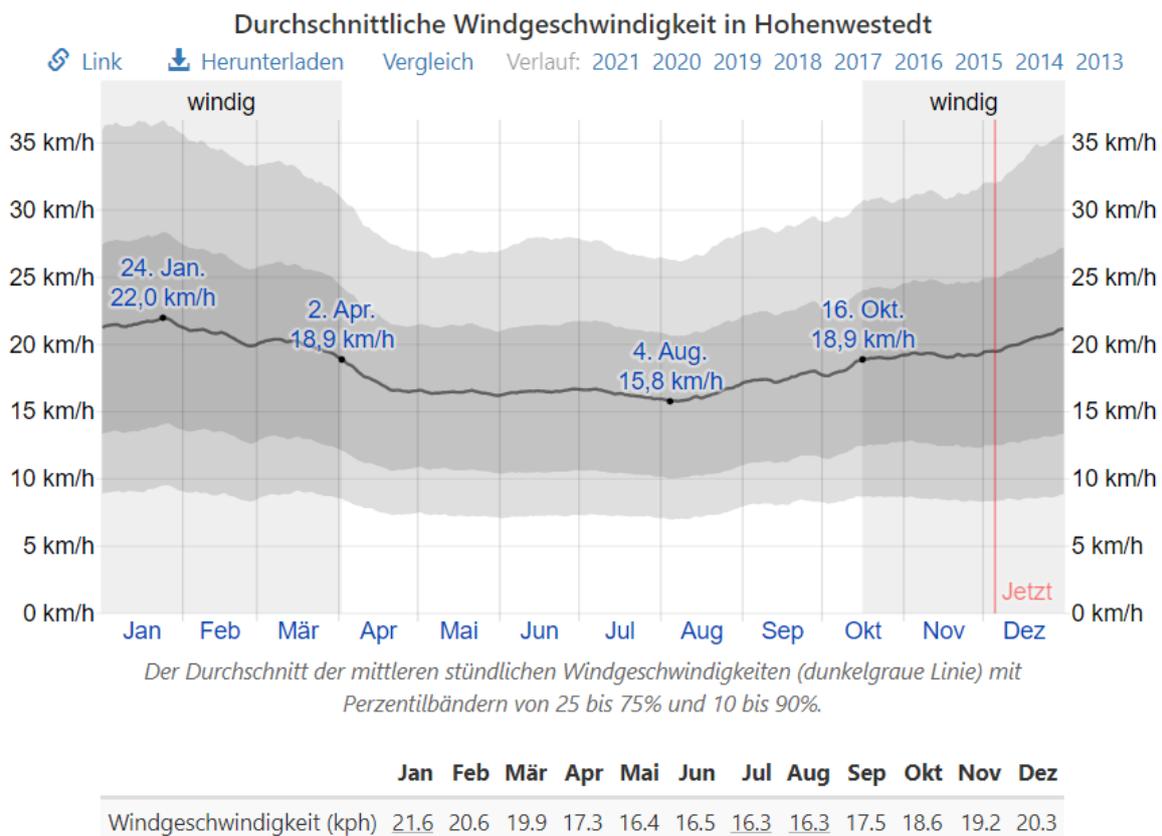
Die Berechnung der Schwergasausbreitung erfolgt gemäß KAS-18 nach der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 für ein Gelände-Modell, welches der tatsächlichen Topografie am Standort am nächsten kommt oder im Leitfaden KAS-18 vorgegeben ist. Als Ergebnis dieser Berechnungen wird die untere Zünddistanz (UEG) ermittelt.

Das VDI-Programm liefert eine mittlere Ausbreitungssituation bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s und eine ungünstige Ausbreitungssituation bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s.

Gemäß KAS-18 soll die sog. **mittlere Wetterlage** für die Ausbreitungssituation nach VDI-Richtlinie 3783 angewendet und dazu für den Betriebsbereich die häufigste

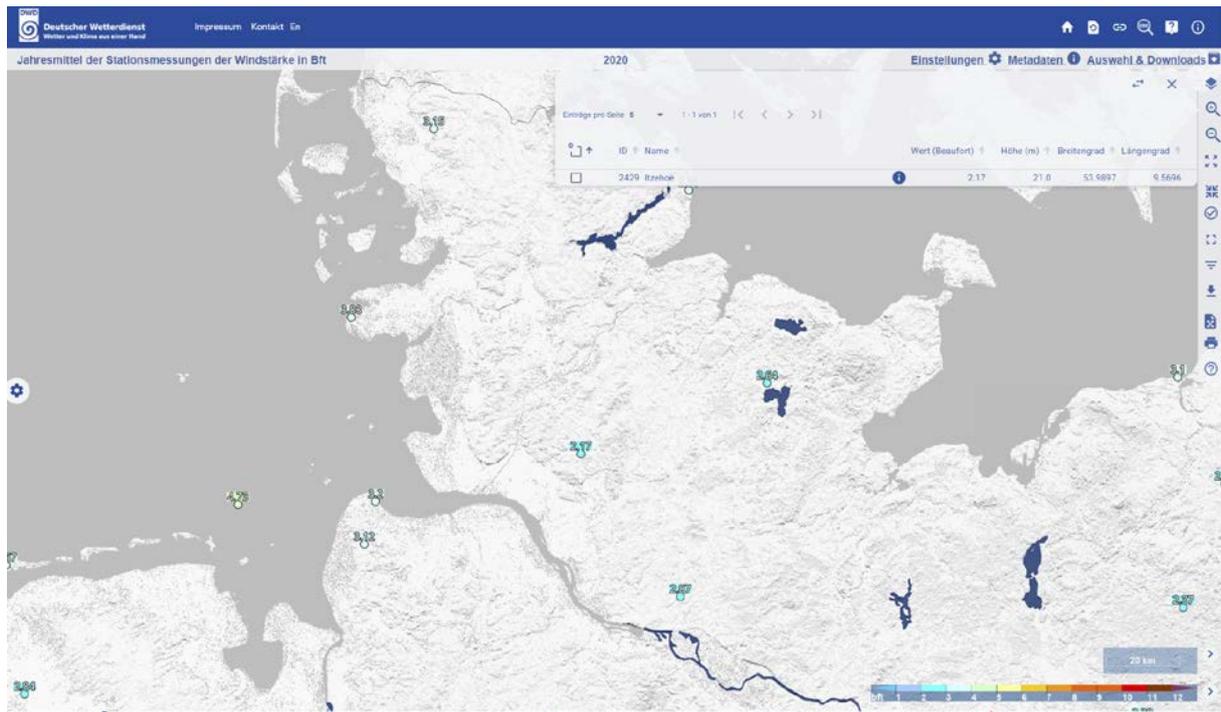
Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung ermittelt und für die Berechnungen verwendet werden (führt dann zu v.g. mittlerer oder ungünstiger Ausbreitungssituation).

Gemäß der im folgenden genannten Quellenangabe beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Hohenwestedt im Jahresmittel 2021 zwischen ca. 16,3 und 21,6 km/h (> 3,4 – < 6,0 m/s).



Quelle: <https://de.weatherspark.com>

Vergleichend dazu ergibt sich die mittlere Wetterlage (Windstärke) für den Standort Itzehoe (nächstgelegene Stationsmessung) im Jahresmittel 2020 der Stationsmessung gemäß dem Deutschen Wetterdienst DWD wie folgt zu 2,17 Bft (1,6 – < 3,4 m/s).



Quelle: <https://cdc.dwd.de/portal>

Die folgende Tabelle zeigt die Umrechnung der Windstärke von Beaufort (Bft) in Windgeschwindigkeiten, u.a. in m/s.

Windstärke in Bft	Bezeichnung	mittlere Windgeschwindigkeit			
		kn	m/s	m/s Mittel	km/h
0	Windstille, Flaute	0 – < 1	0,0 – < 0,3	0 – 1	0 – 1
1	leiser Zug	1 – < 4	0,3 – < 1,6	0,95	1 – 5
2	leichte Brise	4 – < 7	1,6 – < 3,4	2,50	6 – 11
3	schwache Brise	7 – < 11	3,4 – < 5,5	4,45	12 – 19
4	mäßige Brise	11 – < 16	5,5 – < 8,0	6,75	20 – 28
5	frische Brise	16 – < 22	8,0 – < 10,8	9,40	29 – 38
6	starker Wind	22 – < 28	10,8 – < 13,9	12,35	39 – 49
7	steifer Wind	28 – < 34	13,9 – < 17,2	15,55	50 – 61

Windstärke in Bft	Bezeichnung	mittlere Windgeschwindigkeit			
		kn	m/s	m/s Mittel	km/h
8	stürmischer Wind	34 – < 41	17,2 – < 20,8	19,00	62 – 74
9	Sturm	41 – < 48	20,8 – < 24,5	22,65	75 – 88
10	schwerer Sturm	48 – < 56	24,5 – < 28,5	26,50	89 – 102
11	orkanartiger Sturm	56 – < 64	28,5 – < 32,7	30,60	103 – 117
12	Orkan	≥ 64	≥ 32,7	≥ 32,7	≥ 118

Entsprechend der o.g. **mittleren Wetterlage** beider Vergleichswerte kann damit für den vorliegenden Betriebsbereich in erster Näherung mit der **mittleren Ausbreitungssituation (3 m/s)** gerechnet werden, da die mittlere Wetterlage mit den o.g. Daten einmal einen Wert von mehr als 3 m/s und einmal von etwas weniger als 3 m/s für die Windgeschwindigkeit ergibt.

Ein Wert von 1 m/s, der Voraussetzung für die ungünstige Ausbreitungssituation wäre, erscheint nicht hinreichend gegeben.

Solange eine über einen Zeitraum ausströmende Gaswolke sich ausbreitet und zündfähig ist, besteht die Möglichkeit, dass diese tatsächlich zündet. Diese Zündung würde mit einer entsprechenden Wärme- und Druckauswirkung einhergehen. Daher ist es, wie oben genannt, relevant zu wissen, wie groß die zündfähige Masse im Ausbreitungsgebiet ist.

Die Berechnungen der Brand- und Wärmeauswirkungen erfolgten mit Hilfe des **Programmsystems 8FeuEx Ver. 4.0** unter Grundlage der **Modelle nach Hymes und TNO**. Diese Modelle haben sich für Berechnungen von Gaswolkenzündungen bewährt.

Betrachtet werden also die sich gemäß Ausbreitungsrechnung nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 ergebenden zündfähigen Massen. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird angenommen, dass sich die Gaswolken in einem stabilen Zustand befinden, d.h. dass die Gasmasse im zündfähigen Bereich ihre maximale Größe erreicht hat und konstant bleibt. Dies wird durch die hinreichend lang gewählte Ausströmdauer sichergestellt.

In der Regel würden die größten Auswirkungen erzielt, wenn die Gasmasse in der Nähe der Quelle, kurze Zeit nach der Freisetzung gezündet würde. Da auch nicht für jeden einzelnen Fall vorhersagbar ist, welcher Teil der hypothetischen Gaswolke sich nun in welche Windrichtungen entfernt, soll gelten, dass für den Zündmittelpunkt einer solchen Gaswolke der Ort der Quelle herangezogen wird. Mit zunehmendem Abstand würde sich die zur Zündung zur Verfügung stehende Gasmasse reduzieren.

Dies gilt dann auch für die Radiusberechnung der Druckauswirkungen der zündenden Gaswolke, wobei hier noch berücksichtigt werden muss, in welche Art die Zündung erfolgt. Anlagen, Gebäude, Verdämmungen und die Topografie spielen dabei eine Rolle.

Die Berechnung der Druckauswirkungen erfolgte ebenfalls mit Hilfe des Programmsystems 8FeuEx Vers. 4.0 unter Grundlage des **Modells nach Pfortner**. Dieses Modell hat sich für Berechnungen von Druckauswirkungen bewährt. Für die Berücksichtigung der Verdämmungen und Hindernisdichten werden die folgenden „Korrekturfaktoren“ (Typische Werte nach Baker für niedrige Reaktivität) des Rechenprogramms nach Pfortner verwendet, die der unterschiedlichen Explosionsdruckentwicklung Rechnung tragen.

Art der Zündung	Korrekturfaktor Hindernisdichte niedrig	Korrekturfaktor Hindernisdichte mittel	Korrekturfaktor Hindernisdichte hoch
unverdämmt	1,0	2,7	4,0
teilverdämmt	1,6	7,7	11,0
deckenverdämmt	2,1	12,7	17,9

Typische Werte nach Baker für niedrige Reaktivität

Bei der Bewertung der Berechnungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die berechneten Entfernungen keine absoluten Werte darstellen, sondern von den ausgewählten Modellen und der Genauigkeit der Berechnungsverfahren abhängig sind. Berechnungen mit anderen Programmen können Abweichungen ergeben.

8.1. Flüssiggaslagerbehälter mit Domschacht und Tauchpumpe

Gemäß Kapitel „Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung“ wird für die Flüssiggaslagerbehälteranlage folgendes Szenario mit den genannten Randbedingungen berechnet.

Hypothetischer Schadensort	Max. Nennweite	max. QT-Nennweite Austrittsfläche	Ausbreitungssituation	Verdämmung
Behälterdomschacht mit Tauchpumpe	DN 80	DN 20 314 mm ²	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte niedrig (1,0 Reaktivität niedrig)

8.1.1. Schwergasausbreitung

Störfallszenario

Betrachteter Quellterm	DN 20
Betrachtete Leckfläche:	314 mm ²
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Dampfdruck bei 20° C
Aggregatzustand:	flüssig
Ausflusszahl:	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer:	10 Minuten
Lachenbildung:	wird vernachlässigt
Massenstrom Propan	4,52 kg/s (gem. KAS-18)
Schwergasausbreitung n. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2. Betrachtung der unteren Zünddistanz und der explosionsfähigen Masse für eine mittlere Ausbreitungssituation	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19

Lockere Bebauung Typ I Nr. 19:

```
DER STOERFALL WURDE GEMAESS ABSCHNITT 3.3 DER RICHTLINIE UDI 3783
-BLATT 2- ALS KONTINUIERLICHER STOERFALL BEHANDELT.

ES IST MIT FOLGENDEN UNTEREN ZUENDDISTANZEN ZU RECHNEN:

MITTLERE      AUSBREITUNGSSITUATION:      48.9 M
UNGUENSTIGSTE AUSBREITUNGSSITUATION:      72.0 M

DIE POTENTIELL ZUENDDFAEHIGE MASSE IM AUSBREITUNGSGBIET BETRAEGT IM
MITTLEREN FALL .463E+02 KG, UND IM UNGUENSTIGSTEN FALL .104E+03 KG.

DIE DIMENSIONEN DER IM AUSBREITUNGSGBIET STEHENDEN HINDERNISSE BE-
RECHNEN SICH MIT HILFE DER CHARAKTERISTISCHEN LAENGE LCC = .90 M
(C) ME/KLM
```

Ergebnis der Schwergasausbreitungsberechnung

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	untere Zünddistanz (mittlere ABS) in m	zündfähige Masse im Ausbreitungsgebiet (mittlere ABS) in kg
314 mm ² / DN 20	4,52 kg/s	49 m	46 kg

8.1.2. Brand- und Wärmeauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen Zündung der v.g. **Flüssiggasmasse von 46 kg** berechnet. Das Ergebnis der Brandauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004
WÄRMESTRALUNG EINES FEUERBALLS (nach HYMES)
Stand: 29.04.1997 Datum/Zeit: 30.01.2022 21:17:18

TITEL: Propan Rheingas
ORT : Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

unterer Heizwert des Gases 46355,00 [kJ/kg]
ausgetretene Gasmasse 46,00 [kg]

Strahlungsanteil (Emissionsfaktor)
der Verbrennungswärme 0,40 [--]

atmosphärischer Schwächungsfaktor 0,00 [1/km]

Entfernung des ersten Gebäudes 80,00 [m]
Entfernung des zweiten Gebäudes 100,00 [m]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach Hymes)

Feuerballdurchmesser 20,78 [m]
Feuerballbrennzeit 1,61 [sec]
Maximale Steighöhe 24,15 [m]

Minimaler Radius der Blasenbildung 18,68 [m]
Maximaler Radius der Blasenbildung 31,42 [m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0> 12,57 [m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0> 16,87 [m]

Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude 5,73 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude 3,67 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude 3,00 [KW/m²]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach TNO)

Feuerballdurchmesser 22,49 [m]
Feuerballbrennzeit 2,30 [sec]
Maximale Steighöhe 24,15 [m]

Minimaler Radius der Blasenbildung 21,35 [m]
Maximaler Radius der Blasenbildung 35,90 [m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0> 14,37 [m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0> 19,28 [m]

Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude 5,73 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude 3,67 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude 3,00 [KW/m²]

Abstand 1. krit. Gebäude = 80 m, 2. = 100 m, 3. = 120 m

Die Wärmebelastung über die Brandzeit ist wie nachfolgend dargestellt. Relevant für die späteren Betrachtung der humankritischen Auswirkungen sind die Grenzwerte „Radius 1% Todesfälle“ und der „max. Radius der Blasenbildung“ (siehe dazu Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“). Außerhalb des Bereichs „max. Radius der Blasenbildung“ wäre es für Menschen wahrscheinlich, keine letalen und auch keine kritischen Brandverletzungen zu erleiden.

Für die Beschädigungen von Objekten sind die Wärmestrahlungswerte in den berechneten Abständen mit den entsprechenden kritischen Tabellenwerten des Kapitels „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ zu vergleichen. Die Berechnung lieferte folgendes Ergebnis, wobei konservativ nur die schlechtesten Werte (nach TNO) aufgerundet dargestellt sind.

Wärmestrahlungen für ca. 2,3 s:

Gezündete Gasmasse	Feuerball-Durchmesser	Radius 1% Todesfälle	Max. Radius Blasenbildung	Grenzwert 8 kW/m ²	Grenzwert 1,6 kW/m ²
46 kg Propan mittlere Ausbreitungssituation	22 m	19 m	36 m	68 m	146 m

Wärmestrahlungen für ca. 2,3 s:

Gezündete Gasmasse		Wärmestrahlung in 80 m Entfernung	Wärmestrahlung in 100 m Entfernung	Wärmestrahlung in 120 m Entfernung
46 kg Propan mittlere Ausbreitungssituation	Propan	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²

Der kritische Immissions-Toleranzwert „max. Radius der Blasenbildung“ wird für eine gezündete Gasmasse von 46 kg Flüssiggas in etwa 36 m Entfernung vom Zündort erreicht.

Vergleichend dazu, der Wert von 8 kW/m² wird in ca. 68 m erreicht. Eine Grenze von 1,6 kW/m² liegt in ca. 146 m Entfernung von den hypothetischen Austrittsstellen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Strahlungswerte nur bei ungehinderter, direkter Exposition, ohne jede Abschattung erreicht würden.

8.1.3. Druckauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen, **unverdämmten Zündung mit geringer Hindernisdichte und niedriger Reaktivität** (Korrekturfaktor 1,0) der o.g. **Flüssiggasmasse von 46 kg** berechnet. Das Ergebnis der Druckauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004

ERGEBNIS DER EXPLOSIONSDRUCK-BERECHNUNG (nach Dr. PFÖRTNER)

Stand: 20.6.2001 Datum/Zeit: 30.01.2022 21:33:33

TITEL: Propan Rheingas
ORT: Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

laminare, relative Flammgeschwindigkeit:	0,50	[m/s]
Temperatur des Brennstoffes:	20,00	[°C]
Molekulargewicht des Brennstoffes:	44,10	[kg/mol]
Flammentemperatur :	2397,00	[°C]
ausgetretene Gasmasse:	46,00	[kg]
Schallgeschwindigkeit im Gemisch:	345,00	[m/s]
Gaskonzentration in Wolke:	5,00	[%]
explosionsfähiger Wolkenanteil:	0,30	[---]
Entfernung des 1.Gebäudes:	20,00	[m]
Entfernung des 2.Gebäudes:	40,00	[m]
Entfernung des 3.Gebäudes:	60,00	[m]
Turbulenzfaktor ft:	4,10	[---]
Verdämmungs-Korrekturfaktor ft.k:	1,00	[---]
Gewählter Turbulenzfaktor	4,10	[---]

ERGEBNISSE:

Gasdichte des Brennstoffes:	1,83	[kg/m ³]
Gasdichte des Gas-/Luft-Gemisch:	1,24	[kg/m ³]
Temperatur des Gas-/Luft-Gemisch:	20,00	[°C]
Gewählter Turbulenzfaktor:	4,10	[---]
Expansionsfaktor bei rho - 1 :	9,11	[--]
bei rho - 1 :	0,14	[kg/m ³]
turbul. Flammgeschwindigkeit :	2,05	[m/s]
absolut. Flammgeschwindigkeit (Lit. 1) :	26,68	[m/s]
Druck am Explosionsschwaden-Rand bei Wolkendurchmesser :	13,06	[mbar]
Explosionsschwadendurchmesser :	8,31	[m]
	17,37	[m]
Explosionsdruck beim 1.Gebäude :	5,67	[mbar]
Explosionsdruck beim 2.Gebäude :	2,83	[mbar]
Explosionsdruck beim 3.Gebäude :	1,89	[mbar]

Abstand 1. krit. Gebäude = 20 m, 2. = 40 m, 3. = 60 m

Die Druckbelastungen der Zündung an den angenommenen Aufpunkten im Umfeld ergeben sich wie in folgender Tabelle dargestellt.

Gezündete Gasmasse	Druckauswirkung in 20 m Entfernung	Druckauswirkung in 40 m Entfernung	Druckauswirkung in 60 m Entfernung
46 kg Propan (mittlere Ausbreitungssituation)	6 mbar	3 mbar	2 mbar

Der kritische Immissions-**Toleranzwert von 100 mbar** wird für eine gezündete Gasmasse von 46 kg Propan unter den gegebenen Bedingungen **nicht** erreicht.

8.1.4. Angemessener Sicherheitsabstand

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorherigen Kapitel zusammenfassend dargestellt. Daraus ergibt sich, dass für die Berechnungen des Flüssiggaslagerbehälters die abstandbestimmende Größe der Wert der Gasausbreitung mit einem Radius von **49 m** sein könnte, den der Unterzeichner für angemessen und hinreichend erachtet.

Hypothetischer Schadensort	Gasausbreitung (UEG)	Wärmeauswirkung max. Radius Blasenbildung	Wärmeauswirkung 8 kW/m ²	Wärmeauswirkung 1,6 kW/m ²	Druckauswirkungen (100 mbar)
Behälterdomschacht mit Tauchpumpe	49 m	36 m	68 m	146 m	-

8.2. TKW-Station

Gemäß Kapitel „Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung“ wird für die TKW-Station folgendes Szenario mit den genannten Randbedingungen berechnet.

Hypothetischer Schadensort	Max. Nennweite	max. QT-Nennweite Austrittsfläche	Ausbreitungssituation	Verdämmung
TKW-Station (Schläuche) mit Kompressor	DN 80	DN 40 1.257 mm ²	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	teilverdämmt, Hindernisdichte mittel (7,7 Reaktivität niedrig)

8.2.1. Schwergasausbreitung

Störfallszenario

Betrachteter Quellterm	DN 40
Betrachtete Leckfläche:	1.257 mm ²
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Dampfdruck bei 20° C
Aggregatzustand:	flüssig
Ausflusszahl:	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer:	10 Minuten
Lachenbildung:	wird vernachlässigt
Massenstrom Propan	18,07 kg/s (gem. KAS-18)
Schwergasausbreitung n. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2. Betrachtung der unteren Zünddistanz und der explosionsfähigen Masse für eine mittlere Ausbreitungssituation	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19

Lockere Bebauung Typ I Nr. 19:

DER STÖRFALL WURDE GEMÄSS ABSCHNITT 3.3 DER RICHTLINIE UDI 3783
-BLATT 2- ALS KONTINUIERLICHER STÖRFALL BEHANDELT.

ES IST MIT FOLGENDEN UNTEREN ZÜENDDISTANZEN ZU RECHNEN:

MITTLERE	AUSBREITUNGSSITUATION:	85.1 M
UNGUENSTIGSTE	AUSBREITUNGSSITUATION:	125.3 M

DIE POTENTIELL ZÜENDFAEHIGE MASSE IM AUSBREITUNGSGBIET BETRAEGT IM
MITTLEREN FALL .244E+03 KG, UND IM UNGUENSTIGSTEN FALL .548E+03 KG.

DIE DIMENSIONEN DER IM AUSBREITUNGSGBIET STEHENDEN HINDERNISSE BE-
RECHNEN SICH MIT HILFE DER CHARAKTERISTISCHEN LAENGE LCC = 1.56 M
(C) ME/KLM

Ergebnis der Schwergasausbreitungsberechnung von Flüssiggas

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	untere Zünddistanz in m (mittlere ABS)	zündfähige Masse im Ausbreitungsgebiet in kg (mittlere ABS)
1.257 mm ² / DN 40	18,07 kg/s	85 m	244 kg

8.2.2. Brand- und Wärmeauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen Zündung der v.g. **Flüssiggasmasse von 244 kg** berechnet. Das Ergebnis der Brandauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004
W Ä R M E S T R A H L U N G E I N E S F E U E R B A L L S (nach HYMES)
Stand: 29.04.1997 Datum/Zeit: 05.12.2021 14:00:39

TITEL: Propan Rheingas
ORT : Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

unterer Heizwert des Gases	46355,00	[kJ/kg]
ausgetretene Gasmasse	244,00	[kg]
Strahlungsanteil (Emissionsfaktor) der Verbrennungswärme	0,40	[--]
atmosphärischer Schwächungsfaktor	0,00	[1/km]
Entfernung des ersten Gebäudes	80,00	[m]
Entfernung des zweiten Gebäudes	130,00	[m]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach Hymes)

Feuerballdurchmesser	36,24	[m]
Feuerballbrennzeit	2,81	[sec]
Maximale Steighöhe	42,15	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	40,14	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	67,51	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	27,01	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	36,25	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	17,44	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	6,60	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	3,00	[KW/m ²]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach TNO)

Feuerballdurchmesser	38,68	[m]
Feuerballbrennzeit	3,55	[sec]
Maximale Steighöhe	42,15	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	43,80	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	73,67	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	29,48	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	39,56	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	17,44	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	6,60	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	3,00	[KW/m ²]

Abstand 1. krit. Gebäude = 80 m, 2. = 130 m, 3. = 180 m

Die Wärmebelastung über die Brandzeit ist wie nachfolgend dargestellt. Relevant für die späteren Betrachtung der humankritischen Auswirkungen sind die Grenzwerte „Radius 1% Todesfälle“ und der „max. Radius der Blasenbildung“ (siehe dazu Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“). Außerhalb des Bereichs „max. Radius der Blasenbildung“ wäre es für Menschen wahrscheinlich, keine letalen und auch keine kritischen Brandverletzungen zu erleiden.

Für die Beschädigungen von Objekten sind die Wärmestrahlungswerte in den berechneten Abständen mit den entsprechenden kritischen Tabellenwerten des Kapitels „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ zu vergleichen. Die Berechnung lieferte folgendes Ergebnis, wobei konservativ nur die schlechtesten Werte (nach TNO) aufgerundet dargestellt sind.

Wärmestrahlungen für ca. 3,55 s:

Gezündete Gasmasse	Feuerball-Durchmesser	Radius 1% Todesfälle	Max. Radius Blasenbildung	Grenzwert 8 kW/m ²	Grenzwert 1,6 kW/m ²
244 kg Propan mittlere Ausbreitungssituation	39 m	40 m	74 m	118 m	260 m

Wärmestrahlungen für ca. 3,55 s:

Gezündete Gasmasse		Wärmestrahlung in 80 m Entfernung	Wärmestrahlung in 130 m Entfernung	Wärmestrahlung in 180 m Entfernung
244 kg Propan mittlere Ausbreitungssituation	Propan	18 kW/m ²	7 kW/m ²	3 kW/m ²

Der kritische Immissions-Toleranzwert „max. Radius der Blasenbildung“ wird für eine gezündete Gasmasse von 244 kg Flüssiggas in etwa 74 m Entfernung vom Zündort erreicht.

Vergleichend dazu, der in Baden-Württemberg teilweise relevante Wert von 8 kW/m² wird in ca. 118 m erreicht. Eine Grenze von 1,6 kW/m² liegt in ca. 260 m Entfernung von den hypothetischen Austrittsstellen.

8.2.3. Druckauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen, **teilverdämmten Zündung mit mittlerer Hindernisdichte und niedriger Reaktivität** (Korrekturfaktor 7,7) der o.g. **Flüssiggasmasse von 244 kg** berechnet. Das Ergebnis der Druckauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN

Revision: April 2004

ERGEBNIS DER EXPLOSIONSDRUCK-BERECHNUNG (nach Dr. PFÖRTNER)

Stand: 20.6.2001

Datum/Zeit: 05.12.2021 14:09:08

TITEL: Propan Rheingas
ORT: Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

laminare, relative Flammgeschwindigkeit:	0,50	[m/s]
Temperatur des Brennstoffes:	20,00	[°C]
Molekulargewicht des Brennstoffes:	44,10	[kg/mol]
Flammentemperatur :	2397,00	[°C]
ausgetretene Gasmasse:	244,00	[kg]
Schallgeschwindigkeit im Gemisch:	345,00	[m/s]
Gaskonzentration in Wolke:	5,00	[%]
explosionsfähiger Wolkenanteil:	0,30	[---]
Entfernung des 1.Gebäudes:	100,00	[m]
Entfernung des 2.Gebäudes:	150,00	[m]
Entfernung des 3.Gebäudes:	200,00	[m]
Turbulenzfaktor ft:	4,98	[---]
Verdämmungs-Korrekturfaktor ft.k:	7,70	[---]
Gewählter Turbulenzfaktor	4,98	[---]

ERGEBNISSE:

Gasdichte des Brennstoffes:	1,83	[kg/m ³]
Gasdichte des Gas-/Luft-Gemisch:	1,24	[kg/m ³]
Temperatur des Gas-/Luft-Gemisch:	20,00	[°C]
Gewählter Turbulenzfaktor:	4,98	[---]
Expansionsfaktor bei rho - 1 :	9,11	[--]
bei rho - 1 :	0,14	[kg/m ³]
turbul. Flammgeschwindigkeit :	2,49	[m/s]
absolut. Flammgeschwindigkeit (Lit. 1) :	37,24	[m/s]
Druck am Explosionsschwaden-Rand bei Wolkendurchmesser :	926,27	[mbar]
Explosionsschwadendurchmesser :	14,50	[m]
	30,29	[m]
Explosionsdruck beim 1.Gebäude :	140,27	[mbar]
Explosionsdruck beim 2.Gebäude :	93,51	[mbar]
Explosionsdruck beim 3.Gebäude :	70,14	[mbar]

Abstand 1. krit. Gebäude = 100 m, 2. = 150 m, 3. = 200 m

Die Druckbelastungen der Zündung an den angenommenen Aufpunkten im Umfeld ergeben sich wie in folgender Tabelle dargestellt.

Gezündete Gasmasse	Druckauswirkung in 100 m Entfernung	Druckauswirkung in 150 m Entfernung	Druckauswirkung in 200 m Entfernung
244 kg Propan (mittlere Ausbreitungssituation)	140 mbar	94 mbar	70 mbar

Der kritische Immissions-Toleranzwert von **100 mbar** wird für eine gezündete Gasmasse von 244 kg Propan unter den gegebenen Bedingungen **bei ca. 147 m** erreicht.

8.2.4. Angemessener Sicherheitsabstand

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorherigen Kapitel zusammenfassend dargestellt. Daraus ergibt sich, dass für die Berechnungen der TKW-Station die abstandsbestimmende Größe der Wert der Druckauswirkung mit einem Radius von **147 m** sein könnte, den der Unterzeichner für angemessen und hinreichend erachtet.

Da der Druck die abstandsbestimmende Größe darstellt, erscheint eine spezifische Betrachtung der Gasausbreitung bzw. die Berücksichtigung der im Ausbreitungsgebiet vorhandenen Hindernisse (Tankkopfraum, Höhenunterschiede, gasdichter Zaun) hinreichend beachtet.

Hypothetischer Schadensort	Gasausbreitung (UEG)	Wärmeauswirkung max. Radius Blasenbildung	Wärmeauswirkung 8 kW/m ²	Wärmeauswirkung 1,6 kW/m ²	Druckauswirkungen (100 mbar)
TKW-Station (Schläuche)	85 m	74 m	118 m	260 m	147 m

8.3. Flüssiggasflasche 33 kg

Gemäß Kapitel „Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung“ wird für die Flüssiggasflaschen-Lagerung des Vollgutes folgendes Szenario mit den genannten Randbedingungen der Schwergasausbreitung berechnet.

Hypothetischer Schadensort	Flaschen-inhalt	Art der Freisetzung	Freisetzungsmenge	Ausbreitungssituation (gem. KAS-18))	Verdämmung
Flaschen-lagerflächen Flüssiggas Vollgut	33 kg	spontan	33 kg	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19	unverdämmt, Hindernisdichte hoch (4,0 Reaktivität niedrig)

8.3.1. Schwergasausbreitung

Störfallszenario

Betrachteter Quellterm	Spontane Freisetzung
Betrachtete Leckfläche:	Aufriss
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Dampfdruck bei 20 °C
Aggregatzustand:	flüssig
Freisetzungsdauer:	< 1 s
Lachenbildung:	wird vernachlässigt
Masse	33 kg
Schwergasausbreitung n. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2. Betrachtung der unteren Zünddistanz und der explosionsfähigen Masse für eine mittlere / ungünstige Ausbreitungssituation	Lockere Bebauung Typ I Nr. 19

Lockere Bebauung Typ I Nr. 19:

DER STÖRFALL WURDE GEMÄESS ABSCHNITT 3.3 DER RICHTLINIE UDI 3783
-BLATT 2- ALS SPONTANER STÖRFALL BEHANDELT.

ES IST MIT FOLGENDEN UNTEREN ZÜENDDISTANZEN ZU RECHNEN:

MITTLERE AUSBREITUNGSSITUATION: 34.9 M
UNGUENSTIGSTE AUSBREITUNGSSITUATION: 44.0 M

DIE POTENTIELL ZÜENDFÄHIGE MASSE IM AUSBREITUNGSGBIET BETRÄEGT
.330E+02 KG.

DIE DIMENSIONEN DER IM AUSBREITUNGSGBIET STEHENDEN HINDERNISSE BE-
RECHNEN SICH MIT HILFE DER CHARAKTERISTISCHEN LÄENGE LCI = 2.59 M
(C) ME/KLM

Ergebnis der Schwergasausbreitungsberechnung (gerundet)

Freisetzung	Masse in kg	untere Zünddistanz (mittlere ABS) in m	zündfähige Masse im Ausbreitungsgebiet (mittlere ABS) in kg
Spontan	33 kg	35 m	33 kg

8.3.2. Brandauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen Zündung der o.g. **Flüssiggasmasse von 33 kg** berechnet. Das Ergebnis der Brandauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004
W Ä R M E S T R A H L U N G E I N E S F E U E R B A L L S (nach HYMES)
Stand: 29.04.1997 Datum/Zeit: 05.12.2021 14:28:52

TITEL: Propan Rheingas
ORT : Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

unterer Heizwert des Gases	46355,00	[kJ/kg]
ausgetretene Gasmasse	33,00	[kg]
Strahlungsanteil (Emissionsfaktor) der Verbrennungswärme	0,40	[--]
atmosphärischer Schwächungsfaktor	0,00	[1/km]
Entfernung des ersten Gebäudes	60,00	[m]
Entfernung des zweiten Gebäudes	100,00	[m]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach Hymes)

Feuerballdurchmesser	18,60	[m]
Feuerballbrennzeit	1,44	[sec]
Maximale Steighöhe	21,6	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	16,05	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	26,99	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	10,80	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	14,49	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	8,17	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	2,94	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	2,00	[KW/m ²]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach TNO)

Feuerballdurchmesser	20,19	[m]
Feuerballbrennzeit	2,11	[sec]
Maximale Steighöhe	21,6	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	18,50	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	31,11	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	12,45	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	16,71	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	8,17	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	2,94	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	2,00	[KW/m ²]

Abstand 1. krit. Gebäude = 60 m, 2. = 100 m, 3. = 140 m

Die Wärmebelastung über die Brandzeit ist wie nachfolgend dargestellt. Relevant für die späteren Betrachtung der humankritischen Auswirkungen können u.a. die Grenzwerte „Radius 1% Todesfälle“ und der „max. Radius der Blasenbildung“ (siehe dazu Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“). Außerhalb des Bereichs „max. Radius der Blasenbildung“ wäre es für Menschen wahrscheinlich, keine letalen und auch keine kritischen Brandverletzung zu erleiden.

Ergänzend sollen gemäß Kapitel „Toleranzwerte für Brände“ auch die Ergebnisse für eine Wärmebelastung von 8 kW/m² und 1,6 kW/m² dargestellt werden.

Für die Beschädigungen von Objekten sind die Wärmestrahlungswerte in den berechneten Abständen mit den entsprechenden kritischen Tabellenwerten des Kapitels „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ zu vergleichen. Die Berechnung lieferte folgendes Ergebnis, wobei konservativ nur die schlechtesten Werte (TNO) dargestellt sind.

Wärmestrahlungen für 2,11 s:

Gezündete Gasmasse	Feuerball-Durchmesser	Radius 1% Todesfälle	Max. Radius Blasenbildung	Grenzwert 8 kW/m ²	Grenzwert 1,6 kW/m ²
33 kg Propan	20 m	17 m	31 m	60 m	135 m

Wärmestrahlungen für 2,11 s:

Gezündete Gasmasse	Wärmestrahlung in 60 m Entfernung	Wärmestrahlung in 100 m Entfernung	Wärmestrahlung in 140 m Entfernung
33 kg	8 kW/m ²	3 kW/m ²	< 2 kW/m ²

8.3.3. Druckauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen **unverdämmten Zündung mit hoher Hindernisdichte** (Korrekturfaktor 4,0) der o.g. **Flüssiggasmasse von 33 kg** berechnet. Das Ergebnis der Druckauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN

Revision: April 2004

ERGEBNIS DER EXPLOSIONSDRUCK-BERECHNUNG (nach Dr. PFÖRTNER)

Stand: 20.6.2001

Datum/Zeit: 05.12.2021 14:39:19

TITEL: Propan Rheingas
ORT: Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Propan

EINGABEWERTE:

laminare, relative Flammgeschwindigkeit:	0,50	[m/s]
Temperatur des Brennstoffes:	20,00	[°C]
Molekulargewicht des Brennstoffes:	44,10	[kg/mol]
Flammentemperatur :	2397,00	[°C]
ausgetretene Gasmasse:	33,00	[kg]
Schallgeschwindigkeit im Gemisch:	345,00	[m/s]
Gaskonzentration in Wolke:	5,00	[%]
explosionsfähiger Wolkenanteil:	1,00	[---]
Entfernung des 1.Gebäudes:	20,00	[m]
Entfernung des 2.Gebäudes:	40,00	[m]
Entfernung des 3.Gebäudes:	60,00	[m]
Turbulenzfaktor ft:	4,54	[---]
Verdämmungs-Korrekturfaktor ft.k:	4,00	[---]
Gewählter Turbulenzfaktor	4,54	[---]

ERGEBNISSE:

Gasdichte des Brennstoffes:	1,83	[kg/m ³]
Gasdichte des Gas-/Luft-Gemisch:	1,24	[kg/m ³]
Temperatur des Gas-/Luft-Gemisch:	20,00	[°C]
Gewählter Turbulenzfaktor:	4,54	[---]
Expansionsfaktor bei rho - 1 :	9,11	[--]
bei rho - 1 :	0,14	[kg/m ³]
turbul. Flammgeschwindigkeit :	2,27	[m/s]
absolut. Flammgeschwindigkeit (Lit. 1) :	31,76	[m/s]
Druck am Explosionsschwaden-Rand bei Wolkendurchmesser :	238,29	[mbar]
Explosionsschwadendurchmesser :	11,12	[m]
Explosionsschwadendurchmesser :	23,22	[m]
Explosionsdruck beim 1.Gebäude :	138,35	[mbar]
Explosionsdruck beim 2.Gebäude :	69,17	[mbar]
Explosionsdruck beim 3.Gebäude :	46,12	[mbar]

Abstand 1. krit. Gebäude = 20 m, 2. = 40 m, 3. = 60 m

Die Druckbelastungen der Freifeldzündung an den angenommenen Aufpunkten im Umfeld ergeben sich damit wie in folgender Tabelle dargestellt.

Gezündete Gasmasse	Druckauswirkung in 20 m Entfernung	Druckauswirkung in 40 m Entfernung	Druckauswirkung in 60 m Entfernung
33 kg	138 mbar	69 mbar	46 mbar

Der kritische Immissions-**Toleranzwert von 100 mbar** wird für eine gezündete Gasmasse von 33 kg Propan unter den gegebenen Bedingungen **bei ca. 28 m** erreicht.

8.3.4. Angemessener Sicherheitsabstand

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorherigen Kapitel dargestellt. Daraus kann die abstandbestimmende Größe gewählt werden.

Hypothetischer Schadensort	Abstand Gefährdung Schwergasausbreitung (UEG)	Abstand Wärmeauswirkung (max. Radius Blasenbildung)	Abstand Wärmeauswirkungen (8 kW/m ²)	Abstand Wärmeauswirkungen (1,6 kW/m ²)	Abstand Druckauswirkungen (100 mbar)
Flüssiggasflasche 33 kg	35 m	31 m	60 m	135 m	28 m

Aufgrund der Ausführungen im Kapitel „Kritische Immissionstoleranzwerte“ empfiehlt der Unterzeichner im vorliegenden Fall den Wert von **35 m** als angemessenen Sicherheitsabstand zu wählen.

8.4. Acetylenflasche

Gemäß Kapitel „Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung“ wird für eine Acetylenflasche folgendes Szenario mit den genannten Randbedingungen berechnet.

Hypothetischer Schadensort	Flascheninhalt	Art der Freisetzung	Freisetzungsmenge	Ausbreitungssituation (gem. KAS-18)	Verdämmung
Flaschenlagerflächen Technische Gase Acetylenflasche (50 l, 10 kg)	10 kg	spontan	10 kg	-	unverdämmt, Hindernisdichtemittel (2,7 Reaktivität niedrig)

8.4.1. Brandauswirkungen

Im Folgenden wurde die Auswirkung der hypothetischen Zündung der o.g. **Acetylenmasse von 10 kg** berechnet. Das Ergebnis der Brandauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004
W Ä R M E S T R A H L U N G E I N E S F E U E R B A L L S (nach HYMES)
Stand: 29.04.1997 Datum/Zeit: 05.12.2021 14:53:31

TITEL: Propan Rheingas
ORT : Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Acetylen

EINGABEWERTE:

unterer Heizwert des Gases	48257,00	[kJ/kg]
ausgetretene Gasmasse	10,00	[kg]
Strahlungsanteil (Emissionsfaktor) der Verbrennungswärme	0,40	[--]
atmosphärischer Schwächungsfaktor	0,00	[1/km]
Entfernung des ersten Gebäudes	30,00	[m]
Entfernung des zweiten Gebäudes	50,00	[m]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach Hymes)

Feuerballdurchmesser	12,50	[m]
Feuerballbrennzeit	0,97	[sec]
Maximale Steighöhe	14,55	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	9,47	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	15,93	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	6,37	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	8,55	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	15,35	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	5,53	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	3,00	[KW/m ²]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach TNO)

Feuerballdurchmesser	13,70	[m]
Feuerballbrennzeit	1,55	[sec]
Maximale Steighöhe	14,55	[m]
Minimaler Radius der Blasenbildung	11,29	[m]
Maximaler Radius der Blasenbildung	18,98	[m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0>	7,59	[m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0>	10,19	[m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude	15,35	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude	5,53	[KW/m ²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude	3,00	[KW/m ²]

Abstand 1. krit. Gebäude = 30 m, 2. = 50 m, 3. = 70 m

Die Wärmebelastung über die Brandzeit ist wie nachfolgend dargestellt. Relevant für die späteren Betrachtung der humankritischen Auswirkungen sind die Grenzwerte „Radius 1% Todesfälle“ und der „max. Radius der Blasenbildung“ (siehe dazu Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“). Außerhalb des Bereichs „max. Radius der Blasenbildung“ wäre es für Menschen wahrscheinlich, keine letalen und auch keine kritischen Brandverletzung zu erleiden.

Für die Beschädigungen von Objekten sind die Wärmestrahlungswerte in den berechneten Abständen mit den entsprechenden kritischen Tabellenwerten des Kapitels „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ zu vergleichen. Die Berechnung lieferte folgendes Ergebnis, wobei konservativ nur die schlechtesten Werte (TNO) dargestellt sind.

Wärmestrahlungen für 1,55 s:

Gezündete Gasmasse	Feuerball-Durchmesser	Radius 1% Todesfälle	Max. Radius Blasenbildung	Grenzwert 8 kW/m ²	Grenzwert 1,6 kW/m ²
10 kg Acetylen	14 m	11 m	19 m	45 m	95 m

Wärmestrahlungen für 1,55 s:

Gezündete Gasmasse	Wärmestrahlung in 30 m Entfernung	Wärmestrahlung in 50 m Entfernung	Wärmestrahlung in 70 m Entfernung
10 kg Acetylen	15 kW/m ²	6 kW/m ²	3 kW/m ²

8.4.2. Druckauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen **unverdämmten Zündung mit mittlerer Hindernisdichte** (Korrekturfaktor 2,7) der o.g. **Acetylenmasse von 10 kg** berechnet. Das Ergebnis der Druckauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUOX V 4.0 WIN

Revision: April 2004

ERGEBNIS DER EXPLOSIONSDRUCK-BERECHNUNG (nach Dr. PFÖRTNER)

Stand: 20.6.2001

Datum/Zeit: 05.12.2021 15:03:31

TITEL: Propan Rheingas
ORT: Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Acetylen

EINGABEWERTE:

laminare, relative Flammgeschwindigkeit:	1,75	[m/s]
Temperatur des Brennstoffes:	20,00	[°C]
Molekulargewicht des Brennstoffes:	26,04	[kg/mol]
Flammentemperatur :	2304,00	[°C]
ausgetretene Gasmasse:	10,00	[kg]
Schallgeschwindigkeit im Gemisch:	345,00	[m/s]
Gaskonzentration in Wolke:	5,00	[%]
explosionsfähiger Wolkenanteil:	1,00	[---]
Entfernung des 1.Gebäudes:	30,00	[m]
Entfernung des 2.Gebäudes:	60,00	[m]
Entfernung des 3.Gebäudes:	90,00	[m]
Turbulenzfaktor ft:	4,07	[---]
Verdämmungs-Korrekturfaktor ft.k:	2,70	[---]
Gewählter Turbulenzfaktor	4,07	[---]

ERGEBNISSE:

Gasdichte des Brennstoffes:	1,08	[kg/m³]
Gasdichte des Gas-/Luft-Gemisch:	1,20	[kg/m³]
Temperatur des Gas-/Luft-Gemisch:	20,00	[°C]
Gewählter Turbulenzfaktor:	4,07	[---]
Expansionsfaktor bei rho - 1 :	8,80	[--]
bei rho - 1 :	0,14	[kg/m³]
turbul. Flammgeschwindigkeit :	7,13	[m/s]
absolut. Flammgeschwindigkeit (Lit. 1) :	91,10	[m/s]
Druck am Explosionsschwaden-Rand bei Wolkendurchmesser :	698,31	[mbar]
	8,90	[m]
Explosionsschwadendurchmesser :	18,37	[m]
Explosionsdruck beim 1.Gebäude :	213,86	[mbar]
Explosionsdruck beim 2.Gebäude :	106,93	[mbar]
Explosionsdruck beim 3.Gebäude :	71,29	[mbar]

Abstand 1. krit. Gebäude = 30 m, 2. = 60 m, 3. = 90 m

Die Druckbelastungen der Freifeldzündung an den angenommenen Aufpunkten im Umfeld ergeben sich damit wie in folgender Tabelle dargestellt.

Gezündete Gasmasse	Druckauswirkung in 30 m Entfernung	Druckauswirkung in 60 m Entfernung	Druckauswirkung in 90 m Entfernung
10 kg Acetylen	214 mbar	107 mbar	71 mbar

Der kritische Immissions-**Toleranzwert von 100 mbar** wird für eine gezündete Gasmasse von 10 kg Acetylen unter den gegebenen Bedingungen **bei ca. 65 m** erreicht.

8.4.3. Angemessener Sicherheitsabstand

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorherigen Kapitel dargestellt. Daraus kann die abstandbestimmende Größe gewählt werden.

Hypothetischer Schadensort	Abstand Gefährdung Schwergasausbreitung (UEG)	Abstand Wärmeauswirkung (max. Radius Blasenbildung)	Abstand Wärmeauswirkungen (8 kW/m ²)	Abstand Wärmeauswirkungen (1,6 kW/m ²)	Abstand Druckauswirkungen (100 mbar)
Acetylenflasche 10 kg	-	19 m	45 m	95 m	65 m

Aufgrund der Ausführungen im Kapitel „Kritische Immissionstoleranzwerte“ empfiehlt der Unterzeichner im vorliegenden Fall den Wert von **65 m** als angemessenen Sicherheitsabstand zu wählen.

8.5. Wasserstoffflasche

Gemäß Kapitel „Betriebsspezifische Schadensorte und Dennoch-Störfallszenarien zur Abstandsermittlung“ wird für ein Wasserstoff-Bündel folgendes Szenario mit den genannten Randbedingungen berechnet.

Hypothetischer Schadensort	Max. Nennweite	50% max. QT-Nennweite (bei Schlauchverbindungen) Austrittsfläche	25% max. QT-Nennweite Austrittsfläche	Leckmassenstrom (KAS 18) Ausbreitungssituation	Verdämmung
Flaschenlagerflächen Technische Gase Wasserstoffflasche (50 l, < 1 kg)	-	-	-	-	unverdämmt, Hindernisdichte niedrig (1,0 Reaktivität niedrig)

8.5.1. Brandauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen Zündung der o.g. **Wasserstoffmasse von 1 kg** berechnet. Das Ergebnis der Brandauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN Revision: April 2004
W Ä R M E S T R A H L U N G E I N E S F E U E R B A L L S (nach HYMES)
Stand: 29.04.1997 Datum/Zeit: 05.12.2021 15:16:52

TITEL: Propan Rheingas
ORT : Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Wasserstoff

EINGABEWERTE:
unterer Heizwert des Gases 1,20E+05 [kJ/kg]
ausgetretene Gasmasse 1,00 [kg]
Strahlungsanteil (Emissionsfaktor) 0,40 [--]
der Verbrennungswärme
atmosphärischer Schwächungsfaktor 0,00 [1/km]
Entfernung des ersten Gebäudes 20,00 [m]
Entfernung des zweiten Gebäudes 40,00 [m]
ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach Hymes)
Feuerballdurchmesser 5,80 [m]
Feuerballbrennzeit 0,45 [sec]
Maximale Steighöhe 6,75 [m]
Minimaler Radius der Blasenbildung 5,20 [m]
Maximaler Radius der Blasenbildung 8,74 [m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0> 3,50 [m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0> 4,69 [m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude 18,49 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude 4,62 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude 2,00 [KW/m²]

ERGEBNIS DER BERECHNUNG (nach TNO)
Feuerballdurchmesser 6,48 [m]
Feuerballbrennzeit 0,85 [sec]
Maximale Steighöhe 6,75 [m]
Minimaler Radius der Blasenbildung 6,60 [m]
Maximaler Radius der Blasenbildung 11,10 [m]
Radius 50% Todesfälle <für k = 0> 4,44 [m]
Radius 1% Todesfälle <für k = 0> 5,96 [m]
Wärmestrahlung bei kritischen Gebäude 18,49 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei zweitem krit. Gebäude 4,62 [KW/m²]
Wärmestrahlung bei dritten krit. Gebäude 2,00 [KW/m²]

Abstand 1. krit. Gebäude = 20 m, 2. = 40 m, 3. = 60 m

Die Wärmebelastung über die Brandzeit ist wie nachfolgend dargestellt. Relevant für die späteren Betrachtung der humankritischen Auswirkungen sind die Grenzwerte „Radius 1% Todesfälle“ und der „max. Radius der Blasenbildung“ (siehe dazu Kapitel „Kritische Immissions-Toleranzwerte“). Außerhalb des Bereichs „max. Radius der Blasenbildung“ wäre es für Menschen wahrscheinlich, keine letalen und auch keine kritischen Brandverletzung zu erleiden.

Für die Beschädigungen von Objekten sind die Wärmestrahlungswerte in den berechneten Abständen mit den entsprechenden kritischen Tabellenwerten des Kapitels „Kritische Immissions-Toleranzwerte“ zu vergleichen. Die Berechnung lieferte folgendes Ergebnis, wobei konservativ nur die schlechtesten Werte (TNO) dargestellt sind.

Wärmestrahlungen für 0,85 s:

Gezündete Gasmasse	Feuerball-Durchmesser	Radius 1% Todesfälle	Max. Radius Blasenbildung	Grenzwert 8 kW/m ²	Grenzwert 1,6 kW/m ²
1 kg Wasserstoff	6 m	6 m	11 m	31 m	72 m

Wärmestrahlungen für 0,85 s:

Gezündete Gasmasse	Wärmestrahlung in 20 m Entfernung	Wärmestrahlung in 40 m Entfernung	Wärmestrahlung in 60 m Entfernung
1 kg Wasserstoff	18 kW/m ²	5 kW/m ²	2 kW/m ²

8.5.2. Druckauswirkungen

Im Folgenden wurden die Auswirkungen der hypothetischen **unverdämmten Zündung mit mittlerer Hindernisdichte** (Korrekturfaktor 1,0) der o.g. **Wasserstoffmasse von 1 kg** berechnet. Das Ergebnis der Druckauswirkungen liefert die folgenden Werte.

STÖRFALL-AUSWIRKUNGEN BEIM AUSTRITT BRENNBARER/GIFTIGER GASE UND DÄMPFE

Programm: 8FEUEX V 4.0 WIN

Revision: April 2004

ERGEBNIS DER EXPLOSIONSDRUCK-BERECHNUNG (nach Dr. PFÖRTNER)

Stand: 20.6.2001

Datum/Zeit: 05.12.2021 15:29:20

TITEL: Propan Rheingas
ORT: Hohenwestedt
AUSSTRÖMENDER STOFF: Wasserstoff

INGABEWERTE:

laminare, relative Flammgeschwindigkeit:	3,50	[m/s]
Temperatur des Brennstoffes:	20,00	[°C]
Molekulargewicht des Brennstoffes:	2,02	[kg/mol]
Flammentemperatur :	2733,00	[°C]
ausgetretene Gasmasse:	1,00	[kg]
Schallgeschwindigkeit im Gemisch:	345,00	[m/s]
Gaskonzentration in Wolke:	5,00	[%]
explosionsfähiger Wolkenanteil:	1,00	[---]
Entfernung des 1.Gebäudes:	50,00	[m]
Entfernung des 2.Gebäudes:	100,00	[m]
Entfernung des 3.Gebäudes:	150,00	[m]
Turbulenzfaktor ft:	4,80	[---]
Verdämmungs-Korrekturfaktor ft.k:	1,00	[---]
Gewählter Turbulenzfaktor	4,80	[---]

ERGEBNISSE:

Gasdichte des Brennstoffes:	8,40E-02	[kg/m³]
Gasdichte des Gas-/Luft-Gemisch:	1,15	[kg/m³]
Temperatur des Gas-/Luft-Gemisch:	20,00	[°C]
Gewählter Turbulenzfaktor:	4,80	[---]
Expansionsfaktor bei rho - 1 :	10,26	[--]
bei rho - 1 :	0,11	[kg/m³]
turbul. Flammgeschwindigkeit :	16,79	[m/s]
absolut. Flammgeschwindigkeit (Lit. 1) :	255,52	[m/s]
Druck am Explosionsschwaden-Rand bei Wolkendurchmesser :	732,48	[mbar]
Explosionsschwadendurchmesser :	9,69	[m]
Explosionsschwadendurchmesser :	21,05	[m]
Explosionsdruck beim 1.Gebäude :	154,20	[mbar]
Explosionsdruck beim 2.Gebäude :	77,10	[mbar]
Explosionsdruck beim 3.Gebäude :	51,40	[mbar]

Abstand 1. krit. Gebäude = 50 m, 2. = 100 m, 3. = 150 m

Die Druckbelastungen der Freifeldzündung an den angenommenen Aufpunkten im Umfeld ergeben sich damit wie in folgender Tabelle dargestellt.

Gezündete Gasmasse	Druckauswirkung in 50 m Entfernung	Druckauswirkung in 100 m Entfernung	Druckauswirkung in 150 m Entfernung
1 kg Wasserstoff	154 mbar	77 mbar	51 mbar

Der kritische Immissions-Toleranzwert von 100 mbar wird in vorliegendem Szenario in einer Entfernung von ca. **75 m** erreicht.

8.5.3. Angemessener Sicherheitsabstand

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aus den Berechnungen der vorherigen Kapitel dargestellt. Daraus kann die abstandbestimmende Größe gewählt werden.

Hypothetischer Schadensort	Abstand Gefährdung Schwergasausbreitung (UEG)	Abstand Wärmeauswirkung (max. Radius Blasenbildung)	Abstand Wärmeauswirkungen (8 kW/m ²)	Abstand Wärmeauswirkungen (1,6 kW/m ²)	Abstand Druckauswirkungen (100 mbar)
Wasserstoffflasche < 1 kg	-	11 m	31 m	72 m	75 m

Aufgrund der Ausführungen im Kapitel „Kritische Immissionstoleranzwerte“ empfiehlt der Unterzeichner im vorliegenden Fall den Wert von **75 m** als angemessenen Sicherheitsabstand zu wählen.

9. Ergebnis und Bewertung angemessene Sicherheitsabstände

Für die zukünftige Entwicklung oder Änderung der Nutzung (z.B. Bauleitplanung) des Areals um den Betriebsbereich nach StörfallV der Firma RHEINGAS in Hohenwestedt wurde eine Berechnung und Betrachtung von angemessenen Sicherheitsabständen im Sinne des § 50 BImSchG und der StörfallV nach Leitfaden KAS-18 durchgeführt.

Dabei waren die Stoffe, die Mengen und die technischen Anlagen / Druckgeräte bekannt. Daher konnte in vorliegendem Gutachten für die Empfehlung von Abständen eine konkrete Einzelfallbetrachtung mit einer ortsspezifischen hypothetischen Gefährdungsbetrachtung durchgeführt werden. Es wurden repräsentative Szenarien betrachtet. Die Ereignisse stellen **hypothetische Dennoch-Störfälle** dar.

Bei der Bewertung des Einzelfalles wurde der Stand der Sicherheitstechnik der Anlagen (z.B. gemäß den Genehmigungsunterlagen, dem Konzept zur Verhinderung von Störfällen usw.) als gegeben vorausgesetzt.

Die mittlere Wetterlage des Standortes wurde gemäß DWD ermittelt und die mittlere Windgeschwindigkeit bestimmt.

Für die SRA im Betriebsbereich existieren bereits aus anderen Rechtsvorschriften vorgeschriebene Mindestabstände (Sicherheitsabstand gemäß dem technischen Regelwerk). Diese wurden bei der Betrachtung ebenfalls berücksichtigt.

Für die Einzelfallbetrachtung wurden die folgenden weiteren Prämissen zugrunde gelegt:

- Der Verlust des gesamten Inventars des ortsfesten Druckbehälters bzw. der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der vollständige Abriss der größten Rohrleitungen wurden bei der vorliegenden Betrachtung nicht berücksichtigt, da sie bei Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik zu unwahrscheinlich sind.
- Da es sich bei der Flüssiggaslagerbehälter- und Füllanlage von RHEINGAS um eine Umschlaganlage handelt, wurde davon ausgegangen, dass hypothetische Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Armaturen, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten

könnten. Für die Flüssiggaslagerbehälter- und Füllanlagen wurde als Ausgangspunkt der Überlegung nach KAS-18 eine DN 25-Leckage mit einer Leckfläche von 490 mm² angedacht, jedoch eine betriebs- und anlagenspezifische Anpassung vorgenommen. Die gemäß KAS-18 als minimale geltende Grundannahme einer Leckage von 80 mm² wurde damit nicht unterschritten.

- Unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Technik wurden die zugrunde gelegten max. Rohrleitungsdimensionen ermittelt, die Leckfläche verifiziert und die Aufpunkte von möglichen Quellen lokalisiert.
- Für die ortsbeweglichen Druckgeräte (Flaschen Flüssiggas und Technische Gase) wurde gemäß KAS-18 jeweils die gesamte Menge einer Flasche der jeweils größten Flaschendimension berücksichtigt.
- Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen (z.B. Ausbreitungshindernisse) wurden für die Berechnung, soweit vorhanden, gemäß den Ausbreitungsmodellen nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 berücksichtigt. Außerdem wurden die Topografie und die Bebauungssituationen in Bezug auf mögliche Verdämmungen bei hypothetischer Zündung von Gaswolken ortsspezifisch abgeschätzt und bei den Berechnungen berücksichtigt. Analoges gilt für die Reaktivität der Stoffe.
- Die Betrachtung der Szenarien wurde, soweit relevant, jeweils getrennt für Stoffausbreitungen, Brand und Druck vorgenommen.
- Als Beurteilungswerte wurden die Abstandsempfehlungen und humankritischen Immissions-Toleranzwerte des Leitfadens KAS-18 gewertet berücksichtigt.

Die Ausbreitungsradien bis zum Beurteilungswert der gewählten Ereignisse entsprechen dem angemessenen Sicherheitsabstand des Einzelfalles. Bei Einhaltung oder Überschreitung der Abstandsempfehlungen kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die durch einen schweren Unfall im Betriebsbereich hervorgerufenen Auswirkungen unter den getroffenen hypothetischen Annahmen für den Menschen nicht zu einer ernsten Gefahr i. S. d. § 2 Nr. 4 der Störfall-Verordnung führen.

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

Es haben sich gemäß den v.g. Kapiteln Abstandswerte bzw. Radien von den Quellen (Anlagenteilen) ergeben, die in der folgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt sind. Der jeweils größte Wert des

- Radius der max. Gasausbreitung (soweit relevant), des
- Radius der Wärmestrahlung und des
- Radius der Druckbelastungsgrenze 100 mbar

bildet den angemessenen Sicherheitsabstand. Der jeweils treibende Wert ist in der folgenden Tabelle rot markiert.

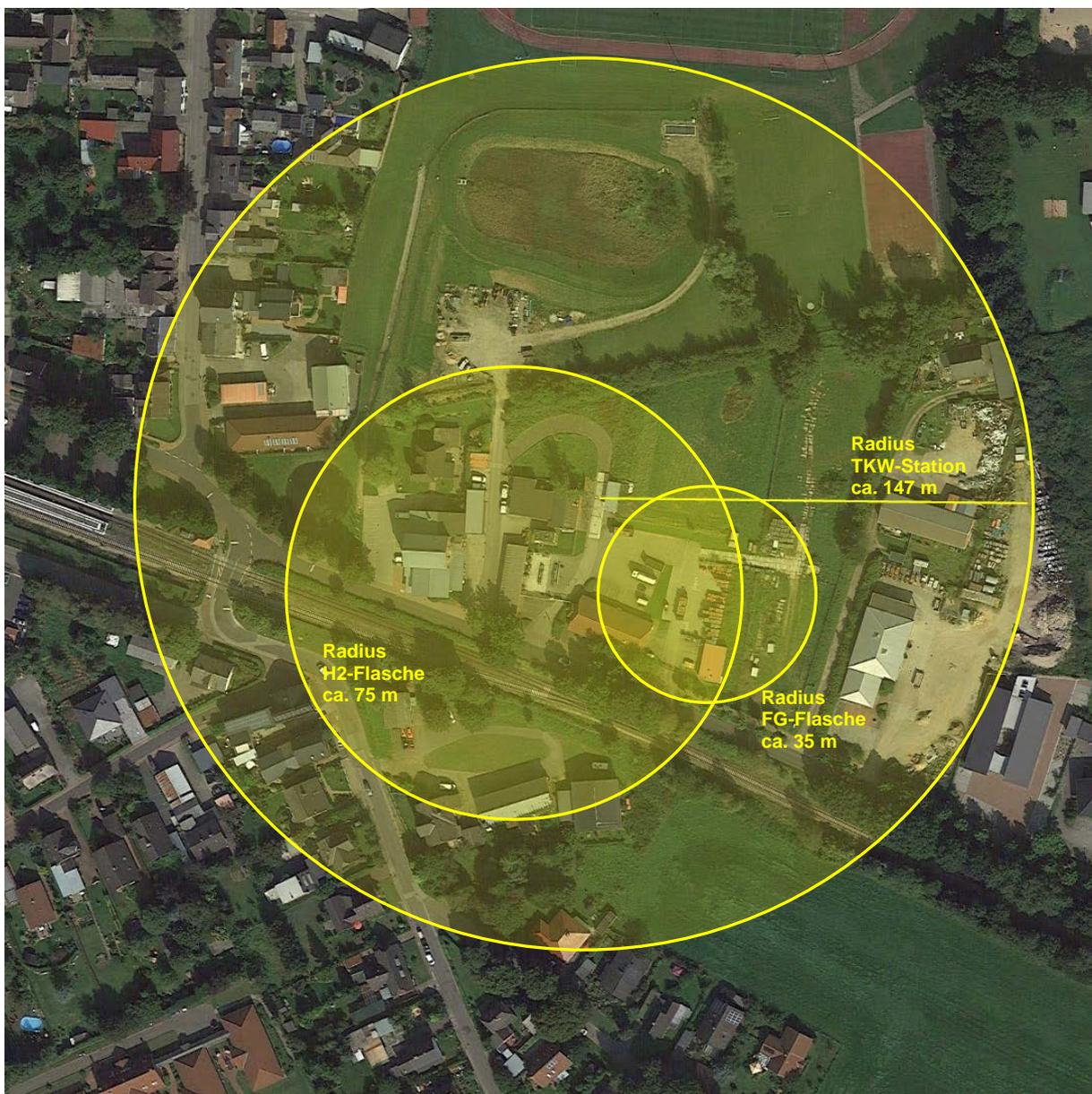
Hypothetischer Schadensort	Gasausbreitung (UEG)	Wärmeauswirkung max. Radius Blasenbildung	Wärmeauswirkung 8 kW/m ²	Wärmeauswirkung 1,6 kW/m ²	Druckauswirkungen (100 mbar)
Behälterdomschacht mit Tauchpumpe	49 m	36 m	68 m	146 m	wird nicht erreicht
TKW-Station (Schläuche) mit Kompressor	85 m	74 m	118 m	260 m	147 m
Flüssiggasflasche 33 kg	35 m	31 m	60 m	135 m	28 m
Acetylenflasche 10 kg	-	19 m	45 m	95 m	65 m
Wasserstoffflasche < 1 kg	-	11 m	31 m	72 m	75 m

Es kann festgestellt werden, dass der treibende Radius jener der TKW-Station (Füllanlage) ist, da der Abstand der Flüssiggaslagerbehälteranlage zur TKW-Station nur wenige Meter beträgt und damit vom Radius 147 m eingehüllt wird.

Analoges gilt ggf. für Abstellplätze von TKW. Würde für abgestellten TKW z.B. die o.g. Grundannahme eines DN 25-Lecks nach KAS-18 angesetzt, so ergäbe sich ein Radius bzw. angemessener Sicherheitsabstand in der Größenordnung von ca. 60 m. Sog. Klein-TKW bis ca. 10 t Füllgewicht besitzen i.d.R. Anschlussgrößen bis max. DN 50. Groß-TKW werden nicht abgestellt. Würde dieselbe Konvention wie beim Lagerbehälter angewendet (Leckquerschnitt 25% der max. Rohrleitungsdimension), so ergäben sich nur kleinere Leckquerschnitte mit DN 15. Wenn bereits jener Radius von ca. 60 m für das DN 25-Leck durch das o.g. Ergebnis von

147 m um die TKW-Station abgedeckt ist, so gilt dies für kleinere Leckgrößen entsprechend. Hypothetisch zu betrachtende Radien um TKW-Abstellplätze werden damit durch den errechneten angemessenen Sicherheitsabstand von 147 m um die TKW-Station eingehüllt und sind damit abgedeckt und berücksichtigt.

Analoges gilt für die ortsbeweglichen Druckbehälter (Technische Gase und Flüssiggas). Ihre Radien liegen innerhalb des Radius der TKW-Station und werden durch diesen eingehüllt. Das folgende Luftbild zeigt rudimentär im Überblick den Kreis mit einem Radius von 147 m um die TKW-Station des Betriebsbereichs. Dieser Kreis definiert die Flächen, die von den berechneten Radien des angemessenen Sicherheitsabstandes tangiert werden.



Quelle: Google Earth

Die Ergebnisse liefern damit das vorstehende Abstandsbild. Die vorzunehmende Gesamtbewertung gemäß dem betrachteten Einzelfall kann damit zu dem Ergebnis führen, dass die hypothetischen Auswirkungen im vorgenannten Sinne für eine planerische Festsetzung abstandsbestimmend sein können.

Während Gasausbreitungen windgetrieben sich wechselnd in verschiedene Richtungen ausbreiten können und Druckwellen stets dreidimensional wirken, ist es bei den berechneten Wärmestrahlungen so, dass diese **nur nicht abgeschattet**, also wenn sie direkt exponiert auf die menschliche Haut oder ein Objekt treffen, wirken.

Menschen die z.B. durch Gebäude, Höhenunterschiede, Wände, dichte Bewaldung / Bewuchs, sonstige Hindernisse o.ä. abgeschattet, ohne direkten Blick auf einen Feuerball und außerhalb dessen stehend, werden eine Wärmestrahlung eventuell nicht kritisch wahrnehmen. Das bedeutet, sie ist für sie dann möglicherweise nicht relevant bzw. gefährdend.

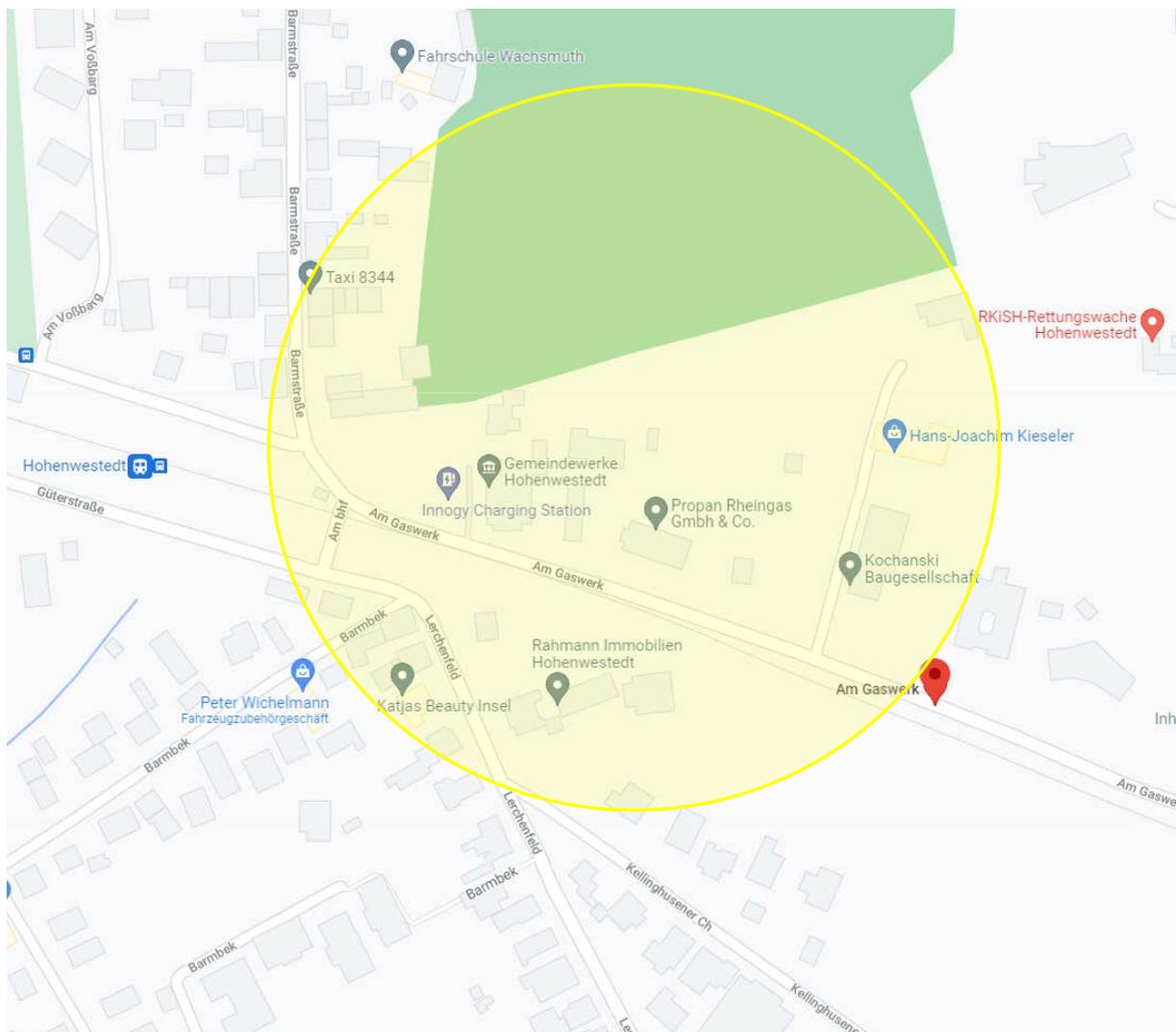
Auf die alternativ und zusätzlich berechneten Abstände in Bezug auf weitere Toleranzwerte (8 kW/m² und 1,6 kW/m²) wird verwiesen. Diese Berechnungen können jeweils den Unterkapiteln des Kapitel 8 entnommen werden.

Einen Immissions-Toleranzwert von 1,6 kW/m² hält der Unterzeichner für vorliegende Betrachtung von hypothetischen Gasbränden sehr kurzer Dauer (ohne Folgeereignis gleichen Ausmaßes an Wärmebelastung) nicht für relevant. Dieser Beurteilungswert erscheint auch durch den Leitfaden KAS-18 so nicht absolut vorgegeben, sondern eine zeitliche Wertung der Einwirkdauer ist auch im Leitfaden berücksichtigt (siehe dazu Anhang 4, Nr. 4 KAS-18). Auch der starre Wert von 8 kW/m², wie er teilweise praktiziert wird, erscheint nicht zwingend erforderlich, da der max. Radius der Blasenbildung nahe legt, dass eine relevante Verletzungsgefahr (erste Gefahr im Sinne des Regelwerkes) von exponierter, unbedeckter menschlicher Haut vernünftigerweise außerhalb dieses Radius unter den gegebenen Parametern nicht mehr zu erwarten wäre.

Innerhalb der oben gezeigten Einhüllenden von 147 m um die TKW-Station erscheinen derzeit, gemäß verfügbaren Angaben über Google Maps, nicht notwendigerweise besonders

schutzwürdige Objekte im Sinne des Leitfadens KAS-18 (s.a. Kapitel 4.2). Innerhalb jenes Radius befinden sich augenscheinlich folgende betriebsfremde Einrichtungen:

- Gewerbebetriebe (östlich, südlich, westlich)
- Bahnlinie (südlich)
- Öffentliche Straßen (z.B. Am Gaswerk südlich)
- Gewerbebetrieb (nördlich der Bahnlinie), ggf. mit Werkwohnung
- Lagerflächen
- Grünflächen



Es wird empfohlen in Zukunft nicht unmittelbar an den tangierten Grenzen des o.g. Radius eine schutzwürdige Nutzung zuzulassen, sondern Distanzbereiche/Puffer zumindest gemäß

dem v.g. Luftbild zu berücksichtigen, in denen ggf. eine eingeschränkte, betriebsfremde Nutzung, wie auch bereits existent, stattfinden kann.

Es gilt gemäß KAS-18, dass sich durch Abstandsempfehlungen ergebende "Zwischenzonen" (Radien in v.g. Luftbild) nicht als von Bebauung freizuhalten Flächen verstehen, sondern innerhalb dieser Abstände weniger schutzwürdige Nutzungen als die in § 50 Satz 1 BImSchG genannten durchaus vorgesehen werden können.

Projiziert man die Auswirkungsbetrachtungen auf v.g. konkretes Umfeld des Standorts, so werden für Planungen folgende Empfehlungen ausgesprochen:

1. Auf betriebsfremden Flächen, die vom o.g. Radius tangiert werden, sollten zukünftig keine besonderen Schutzobjekte oder andere Einrichtungen mit einer großen Anzahl von Menschen geplant werden. Als **Beispiele** können genannt werden:
 - Einrichtungen mit einer Vielzahl von Menschen wie z.B. Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Veranstaltungsgebäude, Einkaufszentren usw.
 - Verkehrswege mit hoher Verkehrsdichte.
 - Wohngebiete mit dichter Bebauung o.ä.

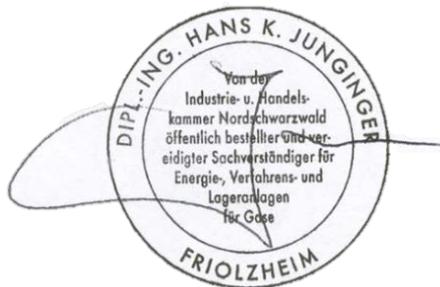
2. Außerhalb der unter Punkt 1 genannten Flächen erscheinen auch besonders schutzwürdige Objekte und Einrichtungen mit einer größeren Anzahl von Menschen nach Abwägung möglich.

Die genannten Empfehlungen können nur einen Rahmen vorgeben. Eine zuständige Behörde hat sich - soweit sie sich auf die vorliegende Ausarbeitung stützt - jeweils davon zu überzeugen, dass die vorgenommenen Betrachtungen auf den zu beurteilenden Einzelfall bei einer Entwicklung der Flächen übertragbar sind.

Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Energie-, Verfahrens- und Lageranlagen für Gase

Ausarbeitung erstellt von:



Dipl.-Ing. Hannes K. Junginger

Lindenstr. 34

D-71292 Friolzheim

Tel. (0173) 3400-560

hannes.junginger@protech.de

10. Referenzdokumente

10.1. Leitfaden für die Erstellung eines Gutachtens zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes

Folgendes Referenzdokument wurde bei der Erstellung der vorliegenden Stellungnahme berücksichtigt.



Leitfaden für die Erstellung eines Gutachtens zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes

(Stand Juni 2018)

Gutachten zur Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände dienen den Genehmigungs- und Planungsbehörden als wichtige Unterlagen für deren Entscheidungen. Gemäß aktueller Rechtsprechung muss die Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände gerichtlich voll überprüfbar sein. Im Folgenden werden Anforderungen an Struktur, Umfang und Detailtiefe formuliert, die gewährleisten sollen, dass die Gutachten zur Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände aus sich heraus verständlich sind und alle dafür erforderlichen Informationen enthalten. Der Informationsgehalt muss so hoch sein, dass eindeutig nachvollziehbar ist, warum die betrachteten Stoffe und Szenarien als abdeckend für die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände ausgewählt wurden.

Sofern bestimmte Angaben Betriebsgeheimnisse enthalten, sind diese als solche zu kennzeichnen, um dem im Falle einer Veröffentlichung bzw. Weitergabe des Gutachtens Rechnung zu tragen.

1 Allgemeine Angaben

- Deckblatt mit Titel des Gutachtens
- Auftraggeber mit Anschrift
- ggf. Betreiber mit Anschrift, sofern nicht mit Auftraggeber identisch
- Standort des Betriebsbereichs
- Ansprechpartner des Auftraggebers und ggf. des Betreibers
- Auftragnehmer mit Anschrift
- Ersteller des Gutachtens und Mitwirkende
- Auftragsnummer
- Datum des Gutachtens
- Inhaltsverzeichnis

2 Veranlassung und Aufgabenstellung

- Darstellung des Grundes für die Erstellung des Gutachtens (Bezug zum konkreten Anlass, z. B. Änderung der bauplanungsrechtlichen Ausweisung, Baugenehmigungsverfahren in der Nachbarschaft des Betriebsbereichs, Vorhaben im Betriebsbereich)
- Beschreibung der Aufgabenstellung des Auftraggebers und ggf. Abstimmung mit der zuständigen Behörde.
- Angaben zur Qualifikation und Eignung des Erstellers (z. B. Sachverständiger im Sinne von § 29a BImSchG)



3 Beschreibung der Umgebung des Betriebsbereiches

- Darstellung der Plansituation (z.B. Regionalplan, Flächennutzungsplan, Bebauungsplan)
- Darstellung der Umgebung des Betriebsbereichs mit
 - Tatsächlicher, zulässiger oder vorgesehener Nutzung (Bereiche und Entwicklungen, die die Wahrscheinlichkeit des Eintritts oder die Auswirkungen eines Störfalls vergrößern können)
 - Schutzobjekte (s. § 3 (5d) BImSchG)
 - Angabe der Entfernung der Schutzobjekte von der Betriebsbereichsgrenze
 - bildlicher und maßstäblicher Darstellung (z. B. Kartenauszug, Satellitenbild) :

4 Beschreibung des Betriebsbereichs

Allgemeine Beschreibung

- Benennung der vorliegenden Betreiberunterlagen, der verwendeten Literatur; ggf. Angaben zu durchgeführten Vor-Ort-Terminen und/oder telefonischen Konsultationen mit Datum, beteiligte Personen
- Darstellung der Einordnung als Betriebsbereich (obere Klasse /untere Klasse) und seiner Grenzen
- Darstellung der aktuellen Genehmigungssituation der für die Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes relevanten Anlagen
 - Darstellung der vorhandenen/ genehmigten Anlagen, Lagereinrichtungen und Prozesse/Verfahren, von denen aufgrund des Stoffinhalts eine Gefährdung außerhalb des Betriebsgeländes hervorgerufen werden könnte einschließlich Umschlag und Transport
- Darstellung der zukünftigen Entwicklungen im Betrieb, soweit diese einen konkreten Planungsstand haben
- Standortbesonderheiten (einschließlich ggf. der Nähe zur Staatsgrenze und benachbarte Betriebsbereiche)

Beschreibung der vorhandenen gefährlichen Stoffe nach Anhang I der 12. BImSchV

- Gefahrenkategorien einschließlich Zuordnung mit den Gesamtmengen
- für die Betrachtung relevante Anlagen- und Prozessparameter im bestimmungsgemäßen Betrieb (Druck, Temperatur, größte zusammenhängende Masse, Gebindegröße etc.)
- verwendete Beurteilungswerte für toxische Wirkung, Druckwirkung und Wärmestrahlung



5 Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes

Gefährdungen durch die vorhandenen gefährlichen Stoffe

- Allgemeine Aussagen zu Gefährdungen, die durch die im Betriebsbereich vorhandenen Stoffe hervorgerufen werden können
- Begründung, warum bestimmte Gefährdungen bei der Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes nicht berücksichtigt werden (z.B. Bagatellschwelle)
- ggf. Ableitung eines Erfordernisses für gesonderte Betrachtungen, z. B. für spezielle Anlagenarten
- Angaben und Begründung zu allen Eingangsgrößen und Beurteilungswerten, die von Werten in Verwaltungsvorschriften oder spezifischen Leitlinien (KAS 18) abweichen.

Angaben zu den betrachteten Szenarien für die luftgetragene Freisetzung gefährlicher Stoffe, Wärmestrahlung und Druckwirkung

- Darstellung der Stoffe und Orte, an denen es zu einer relevanten Freisetzung, einem Brand oder einer Explosion mit erheblicher Wärmestrahlung bzw. Druckwirkung kommen kann
- Angaben und Begründung zu den ausgewählten Szenarien mit Bezug zu den Stoffmengen, den relevanten Stoffdaten und den betrieblichen Bedingungen
- Angaben zu den verwendeten Eingangsparametern für die Modellierungen
 - Ausbreitung (u.a. Angaben zum ermittelten Quellterm),
 - Wärmestrahlung (u.a. Größe der Brandfläche),
 - Explosionsdruck (u.a. explosionsfähige Masse)
- Tabellarische und/oder grafische Darstellung der Ergebnisse (Immissionskonzentration, Wärmestrahlung, Explosionsdruck) in Abhängigkeit von den Entfernungen zum Freisetzungs- bzw. Explosionsort
- Angabe der Entfernungen, in denen die jeweiligen Beurteilungswerte für das betrachtete Szenario unterschritten werden (mit maßstäblicher Darstellung).
- Zusammenfassung der Aussagen, die sich aus den durchgeführten Berechnungen mit Bezug zu den Schutzobjekten (s. Kap. 1.3) ergeben

6 Anlagen

- Die Berechnungen (Softwarerechenprotokolle usw.) sind beizufügen
- Stoffdaten aller vorhandenen/genehmigten Stoffe, tabellarisch
- Angaben zur verwendeten Software (incl. Versionen, Betriebssystem etc.).



7 Zusammenfassung

Die wesentlichen Aspekte des Gutachtens sollten abschließend übersichtlich zusammengefasst werden. Dies sind:

- Grund der Anfertigung des Gutachtens
- Ergebnisse der durchgeführten Betrachtungen, ggf. Angaben zu Unsicherheiten und Fehlergrenzen
- Angaben zu ermittelten angemessenen Sicherheitsabständen mit Bezug zu den Entfernungen zu Schutzobjekten
- Maßstäbliche Darstellung des/der angemessenen Sicherheitsabstandes/-abstände in einer Karte auch in digitaler Form zur Eingabe in Geoinformationssysteme.
- ggf. Hinweise auf Maßnahmen zur Reduzierung des angemessenen Sicherheitsabstands

Das Gutachten ist abzuschließen mit:

- Datum
- Name(n) und Unterschriften des(r) Ersteller(s).