

**Technisches Gutachten  
zur Umsetzung des § 50 BImSchG bzw. Artikels 13 der Richtlinie 2012/18/EU  
(Seveso-III-Richtlinie)**

**für die**

**naturenergie hochrhein AG,  
Schönenbergerstraße 10  
79618 Rheinfelden**

**Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes  
nach dem Leitfaden KAS-63  
für die Erweiterung einer PtG-Anlage  
am Standort des Rhein-Wasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen**

**Erstellt im Auftrag:**

**naturenergie hochrhein AG**  
Schönenbergerstraße 10  
79618 Rheinfelden (Baden)

**durch die**

**TÜV Rheinland Industrie Service GmbH**  
Anlagensicherheit  
Achtmorgenstraße 5  
67065 Ludwigshafen

Ludwigshafen, den 08. Dezember 2023

**Technisches Gutachten  
zur Umsetzung des § 50 BImSchG bzw. Artikels 13 der Richtlinie 2012/18/EU  
(Seveso-III-Richtlinie),  
naturenergie hochrhein AG, Schönenbergerstraße 10, 79618 Rheinfelden**

**Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes  
nach dem Leitfaden KAS-63  
für die Erweiterung einer PtG-Anlage  
am Standort des Rhein-Wasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen**

---

Auftrag-Nr.: 173 / 268 975 460

Auftraggeber: naturenergie hochrhein AG  
Schönenbergerstraße 10  
79618 Rheinfelden (Baden)

Ansprechpartner:  
Frau Dr. Reihaneh Zohourian

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Jochen Schelb  
Bekannt gegebener Sachverständiger nach §29 b BImSchG  
Mail: Jochen.schelb@de.tuv.com

Beteiligte Gutachter: Dr.-Ing. Arizal  
Bekannt gegebener Sachverständiger nach §29 b BImSchG  
Mail: arizal.arizal@de.tuv.com

Dipl.-Ing. (FH) Carmen Moos  
Bekannt gegebene Sachverständige nach §29 b BImSchG  
Mail: Carmen.moos@de.tuv.com

Dieser Bericht enthält 41 Seiten (inkl. Deckblatt)

Ort, Datum: Ludwigshafen, den 08. Dezember 2023

Stand / Revision: Erstfassung, Stand: 08.12.2023 / Rev. 0

**Revisionsverzeichnis:**

Rev. Nr.	Datum	Grund	Verfasser / Prüfer
0	08.12.2023	Erstausgabe	<u>Ersteller:</u> Carmen Moos: TÜV Rheinland Industrie Service GmbH  Jochen Schelb TÜV Rheinland Industrie Service GmbH  <u>Prüfer:</u> Dr. Arizal TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

## Inhaltverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>5</b>
1.1	AUSGANGSSITUATION UND AUFGABENSTELLUNG .....	5
1.2	VERWENDETE UNTERLAGEN UND WEITERE ERKENNTNISQUELLE .....	6
1.3	RECHTLICHE GRUNDLAGEN, LEITFÄDEN UND WEITERE TECHNISCHE REGELN UND BERICHTEN .....	6
<b>2</b>	<b>BESCHREIBUNG DES VORHABENS SOWIE ERLÄUTERUNG DES GEFAHRENPOIENTIALE DES BETRIEBSBEREICHES .....</b>	<b>8</b>
2.1	ÖRTLICHE LAGE DES BETRIEBSBEREICHES .....	8
2.2	KURZE BESCHREIBUNG DES BETRIEBSBEREICHES .....	13
2.3	BEWERTUNG DER GEFAHRENPOIENTIALE DES BETRIEBSBEREICHES UND STOFFAUSWAHL FÜR DIE ERMITTLUNG DES ANGEMESSENEN SICHERHEITSABSTANDES .....	16
<b>3</b>	<b>VORGEHENSWEISE ZUR ERMITTLUNG DER ANGEMESSENEN SICHERHEITSABSTÄNDE.....</b>	<b>17</b>
3.1	AUSWAHL DER SZENARIEN FÜR DIE ERMITTLUNG DER ANGEMESSENEN SICHERHEITSABSTÄNDE NACH DEM LEITFADEN KAS-63.....	17
3.2	BEURTEILUNGSWERTE FÜR DIE BETRACHTUNG DER FREISETZUNG VON WASSERSTOFF IM RAHMEN DER BAULEITPLANUNG .....	20
3.3	ABSTANDSEMPFEHLUNG GEMÄß KAS-63 LEITFADEN.....	20
3.3.1	Ermittlung der pauschalen Sicherheitsabstände.....	20
3.3.2	Zusammenfassung abschließende Bewertung.....	21
3.4	DURCHFÜHRUNG DER EINZELFALLBETRACHTUNG AUF GRUNDLAGE DER MODELLIERUNG NACH DEM LEITFADEN KAS-63 .....	23
3.4.1	Szenarien der Einzelfallbetrachtung .....	23
3.4.2	Eigenschaften von Wasserstoff.....	24
3.4.3	Anmerkungen zu den verwendeten Modellierungen.....	25
3.4.4	Berechnungsprogramm.....	27
3.4.5	Berechnung der Ablaufszenarien und Ergebnisse.....	27
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND ABSCHLIEßENDE BEWERTUNG .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>41</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) plant zusammen mit der naturenergie hochrhein AG (ED) im Rahmen des Verbundprojekts „Reallabor H<sub>2</sub>-Wyhlen“ die Erweiterung einer Power-to-Gas-Anlage (PtG-Anlage) am Standort des Rhein-Wasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen. Die Errichtung der neuen PtG-Anlage inkl. Nebenanlagen erfolgt neben der bestehenden Produktionsanlage. Die neue PtG-Anlage erhält die Bezeichnung „PtG-Wyhlen2“, während die bestehende Anlage als „PtG-Bestandsanlage“ bezeichnet wird.

Die Anlage unterliegt einer Genehmigungsbedürftigkeit nach der 4. BImSchV. Es handelt sich um:

- eine Anlage für chemische Erzeugnisse zur Herstellung von Wasserstoffgas gemäß Nr. 4.1.12 Anhang 1 der 4. BImSchV
- und
- um eine Anlage zur Lagerung von Wasserstoff gemäß Nr. 9.3.2 Anhang 1 der 4. BImSchV. Die Mengenschwelle des gelagerten Wasserstoffs liegt bei  $\geq 3$  t.

Für die Errichtung und Betrieb der Neuanlage PtG-Wyhlen2 wird eine Genehmigung zur Änderung der Bestandsanlage gemäß § 16 BImSchG [1] (förmliches Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung) beantragt.

Die geplante Anlage verfügt über eine temporäre maximale Wasserstoffspeichermenge von ca. 12,8 t. Damit fällt die Anlage auch unter den Anwendungsbereich der 12. Verordnung zum Bundesimmissionschutzgesetz (12. BImSchV bzw. Störfall-Verordnung [2]). Es handelt sich um einen Betriebsbereich der unteren Klasse da die Mengenschwelle für Wasserstoff gemäß Nr. 2.44 Spalte 4 im Anhang I der 12. BImSchV [2] überschritten wird. Zu den damit verbundenen Pflichten für die künftigen Betreiber der Anlage, zählt u.a. die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände als Grundlage zur Prüfung der Einhaltung des Abstandsgebots gemäß § 50 BImSchG [1] durch das geplante Vorhaben. Gemäß diesem 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.“*

Hieraus ergibt sich folgende Aufgabenstellung für nachfolgende Betrachtungen:

- Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände für die geplante Neuanlage. Die Bestandsanlage ist hierbei nicht Gegenstand der Betrachtung.
- Ermittlung und Darlegung benachbarter schutzbedürftiger Nutzungen
- Prüfung der Einhaltung des Abstandsgebots gemäß § 50 BImSchG [1] zwischen dem geplanten Vorhaben und den schutzbedürftigen Nutzungen.

## 1.2 Verwendete Unterlagen und weitere Erkenntnisquelle

Die folgenden Unterlagen wurden im Rahmen der Erstellung des Gutachtens dem Verfasser übermittelt:

- [a]. Vorhabensbeschreibung PtG Wyhlen2 vom 9.12.2023
- [b]. Gutachten: 2022-ENBW-01: Reallabor H2-Wyhlen - Abstandsempfehlung für die Bauleitplanung, Stand August 2022
- [c]. Übersichtsplan M 1:500, zeichnerischer Teil zum Bauantrag, Ersteller: Vermessungsbüro Frey & Ganter, Erstellungsdatum: 22.12.2022; zuletzt geändert: 28.02.2023
- [d]. Grundfließbild H2-Wyhlen, Plant Engineering GmbH, Zeichnungsnummer: 12-22-016-BF-001, freigegeben am 08.05.2023
- [e]. Komponenten- und Betriebseinheitenplan, Plant Engineering GmbH, Zeichnungsnummer: 12-22-016-GP-002; freigegeben am 08.12.2022
- [f]. Aufstellplan, Plant Engineering GmbH, Zeichnungsnummer: 12-22-016-AP-001; freigegeben am 22.12.2022
- [g]. PLANT Engineering GmbH (Herr Siim Osvet) vom 6.12.2023 an den TÜV Rheinland Industrie Service GmbH (Frau Carmen Moos) „Massenströme“

## 1.3 Rechtliche Grundlagen, Leitfäden und weitere technische Regeln und Berichten

Wesentliche rechtliche Grundlagen, technische Regeln, Leitfäden, Berichte und weitere Quellen für die Erarbeitung dieses Gutachtens sowie die Durchführung der Einzelfallbetrachtungen sind:

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), in der Fassung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), zuletzt geändert am 26.07.2023 (siehe [1]);
- Störfallverordnung (12. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. März 2017 (BGBl. I S. 483 ber. BGBl. I S. 3527), die zuletzt durch Artikel 107 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328, 1340) geändert worden ist, siehe [2];
- 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 (Seveso-III-Richtlinie), siehe [3];
- Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 26. November 2010, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115, 3116), siehe [4];

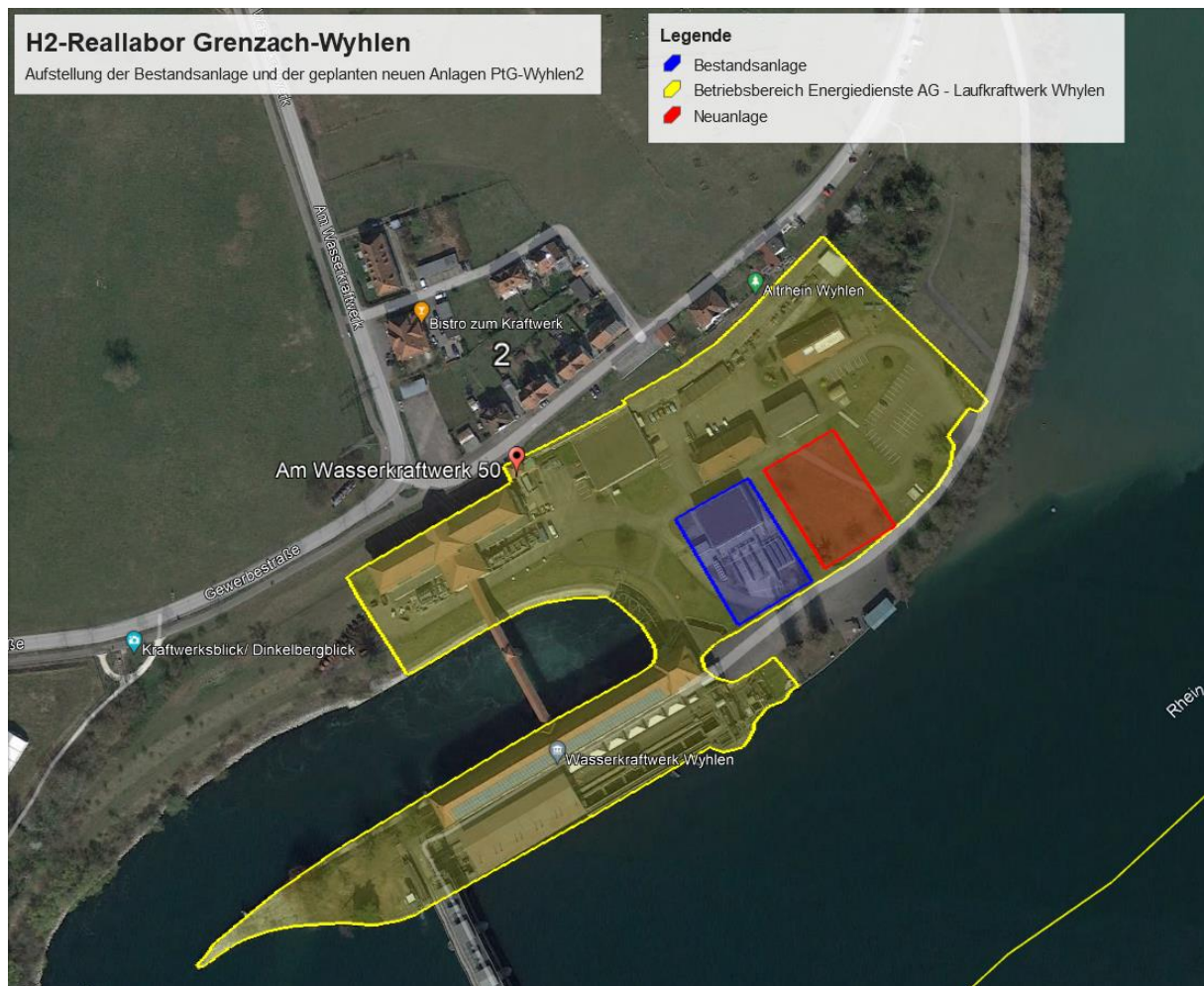
- 
- Leitfaden KAS-63: „Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstands für Anlagen mit gasförmigem Wasserstoff“, erarbeitet vom Arbeitskreis „Überarbeitung des Leitfadens KAS-18“, verabschiedet im November 2023 von der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) [5];
  - DECHEMA Statuspapier: Auswirkungsbetrachtungen bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzungen in der Prozessindustrie – Methodenübersicht und industrielle Anwendung, Dritte Auflage, Januar 2017, siehe [6]
  - Hinweise zur Definition zum "angemessenen Sicherheitsabstand" nach § 3 Absatz 5c BImSchG (LAI Beschluss TOP 10.1 146.LAI), LAI-Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz, 13.09.2022 [7]
  - Geoportal des Landes Baden-Württemberg (<https://www.geoportal-bw.de>) [8]

## 2 Beschreibung des Vorhabens sowie Erläuterung des Gefahrenpotentiale des Betriebsbereiches

### 2.1 Örtliche Lage des Betriebsbereiches

Die Neuanlage wird auf dem Gelände des Rheinwasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen errichtet. Die Errichtung der Neuanlage erfolgt auf Grundlage des vorhabenbezogenen Bebauungsplans „Power-to-Gas-Anlage II“ auf dem Flurstück 3486 am Laufkraftwerk Wyhlen. Der Bebauungsplan befindet sich zur Zeit der Erstellung dieses Gutachtens noch in Aufstellung. Darüber hinaus erfolgt die Abwägung der Einwände aus der ersten Offenlage sowie die Überarbeitung des B-Plan-Entwurfs (Stand: 07/2023).

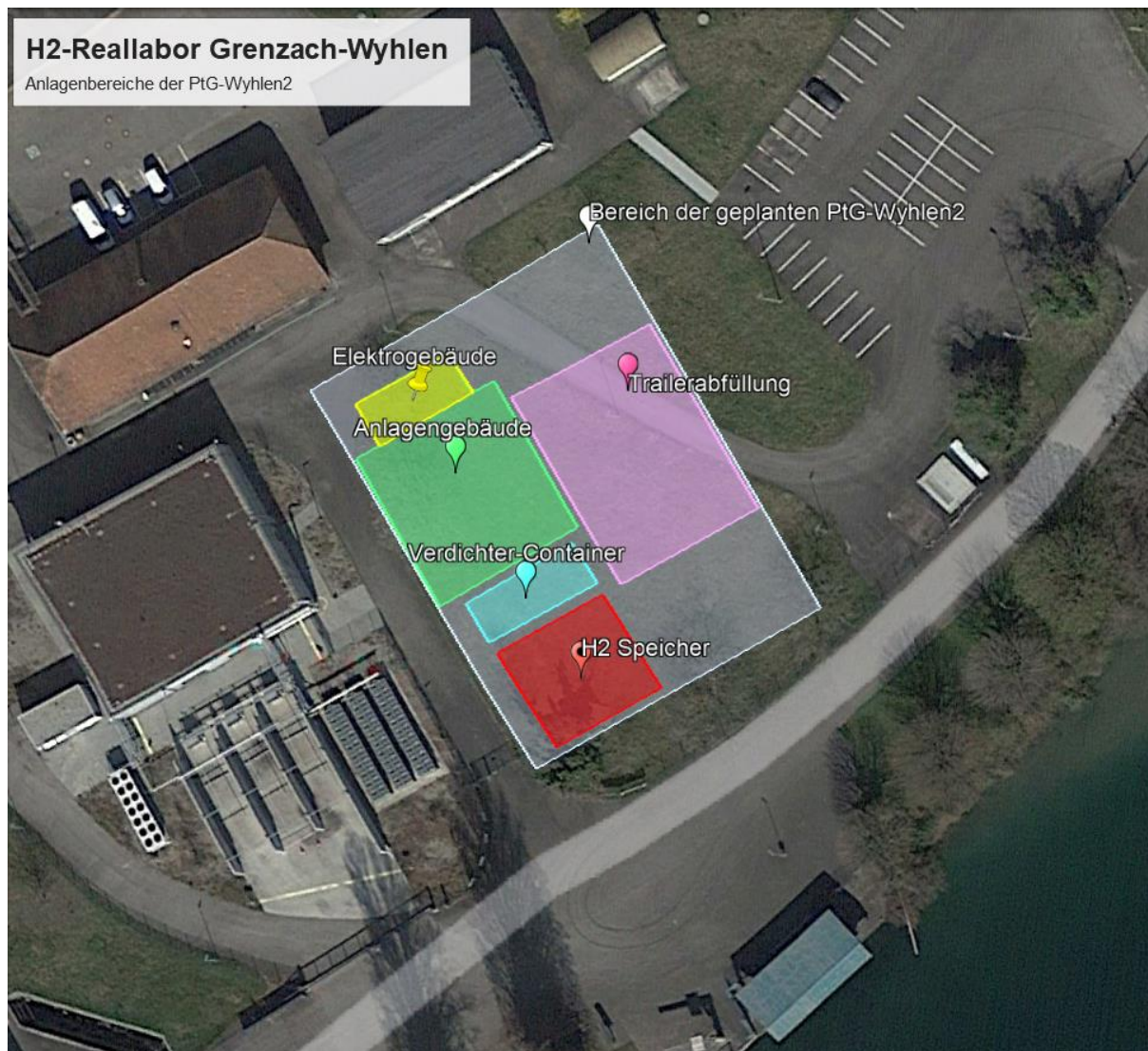
Abbildung 1 zeigt den geplanten Standort der PtG-Wyhlen2 in Rot und die Bestandsanlage in Blau. Der gesamte Betriebsbereich ist als gelbe Fläche dargestellt.



**Abbildung 1: Standort Bestandsanlage (Blau) und Neuanlage (Rot)**  
(Quelle: Google Earth Pro)

Eine schematische Übersicht der geplanten Neuanlage mit den Bereichen für die verschiedenen Anlagenkomponenten ist der nachfolgenden Abbildung 2 zu entnehmen.





**Abbildung 2: Darstellung der Komponenten und Übersicht der einzelnen Anlagenbereich der Neuanlage**  
(Quelle: Google Earth Pro)

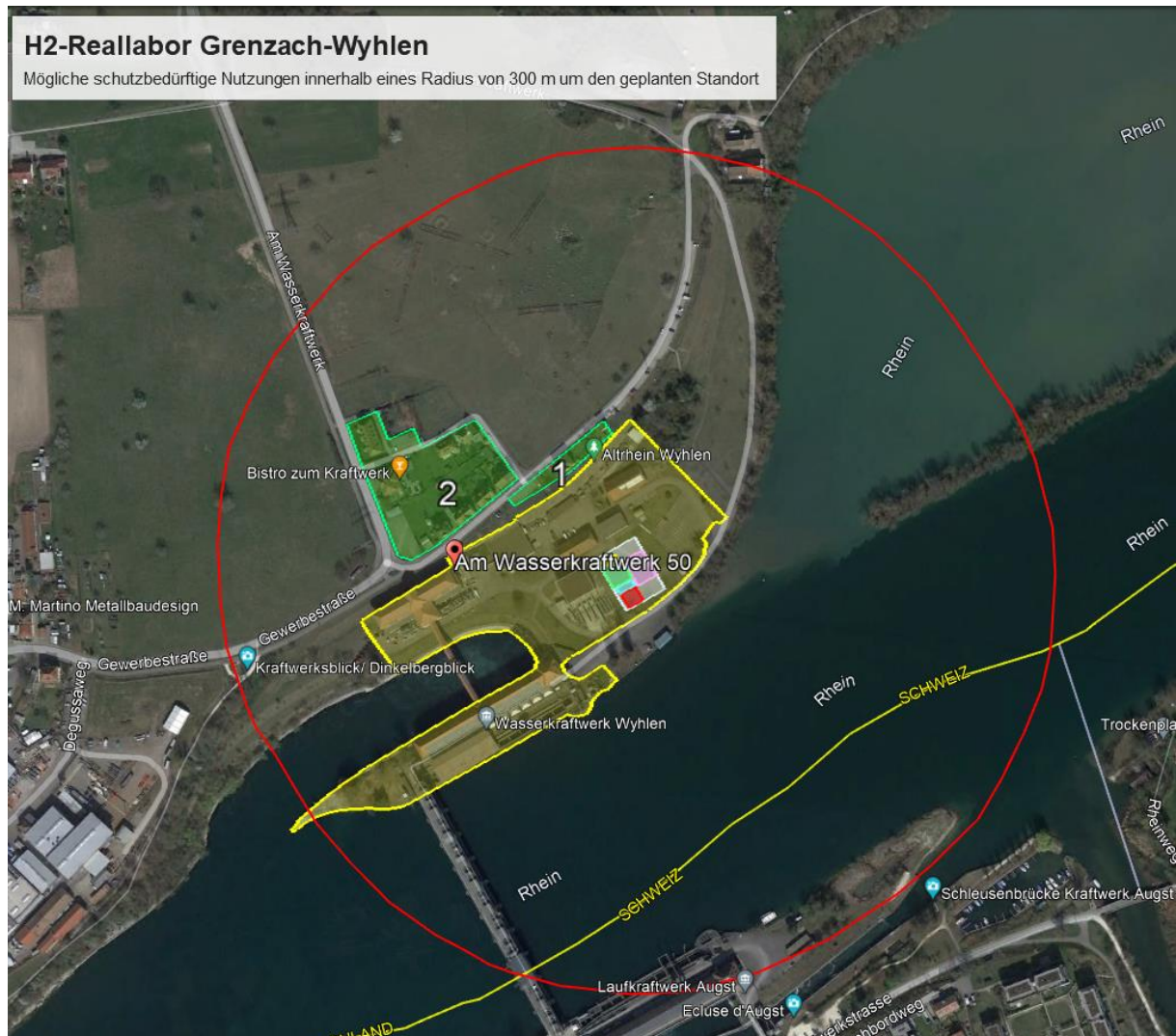
Die Lage des geplanten Standorts für die PtG-Anlage Wyhlen2 befindet sich unmittelbar am Rhein. Auf der gegenüberliegenden Rheinseite liegt die Schweiz. Gemäß der nachfolgenden Abbildung 3 beträgt die kürzeste Entfernung zur Landesgrenze gemäß der Grenzangaben aus Google Earth Pro ca. 190 m in der südöstlichen Richtung.



**Abbildung 3: Grenze Deutschland-Schweiz**  
(Quelle: Google Earth Pro)

Die schutzbedürftigen Objekte wurden nach den Kriterien des § 50 BImSchG sowie den einschlägigen Kommentierungen ermittelt. Hierzu zählen unter anderem wichtige Verkehrswege, Freizeitgebiete oder öffentlich genutzte Gebäude.

Die hierbei ermittelten angrenzenden Wohnbebauungen innerhalb eines Radius von 300 m (rote Linie) um den geplanten Standort der Neuanlagen sind Abbildung 4 zu entnehmen.



**Abbildung 4: Mögliche schutzbedürftige Nutzungen im Umkreis von 300 m**  
(Quelle: Google Earth Pro)

Neben den dargestellten Wohnbebauungen gemäß der Nummern 1 und 2 ist in Abbildung 4 der angrenzende Rhein, als wichtiger Verkehrsweg, wie auch das Wasserkraftwerk auf der gegenüberliegenden Rheinseite (Schweiz) zu erkennen. Das Wasserkraftwerk Wyhlen befindet sich ebenfalls in unmittelbarer Nähe und ist Teil des Betriebsgeländes der naturenergie hochrhein AG– Laufkraftwerk Wyhlen.

Angrenzende Schutzgebiete aus dem Bereich Umwelt- und Naturschutz sind Abbildung 5 zu entnehmen. Die Angaben hierzu stammen aus dem Geoportal des Landes Baden-Württemberg [8].



**Abbildung 5: Schutzgebiete im Umkreis von 300 m**  
(Quelle: Geoportal Baden-Württemberg [8])

In Tabelle 1 sind die Abstände zu den voran beschriebenen Nutzungen und Wohnbebauungen im Umfeld des Werksgeländes aus den Abbildung 4 und Abbildung 5 zusammenfassend dargestellt. Dabei sind immer die kürzesten Entfernungen zwischen der Werksgrenze und dem jeweiligen Objekt angegeben.

**Tabelle 1: Abstände zu schutzbedürftigen und weiteren Nutzungen**

Bezeichnung	Abstand zur Werksgrenze von Marabu	
	Richtung	Entfernung [m]
<b>Wichtige Verkehrswege</b>		
Rhein	südöstlich	Angrenzend (ca. 30 m)
<b>Gewerbenutzung</b>		
Laufkraftwerk auf der gegenüberliegenden Rheinseite (Schweiz)	Südöstlich	ca. 280 m
Wasserkraftwerk Grenzach-Wyhlen	südwestlich	angrenzend

Bezeichnung	Abstand zur Werksgrenze von Marabu	
	Richtung	Entfernung [m]
<b>Schutzbedürftige Nutzungen</b>		
Nr. 1 Wohnbebauung	Nord-Westlich	ca. 70 m
Nr. 2 Wohnbebauung	Nord-Westlich	ca. 90 m
<b>Sonstige Schutzgebiete</b>		
Nr. 3: Altrhein Whylen (Nr.3)	Östlich	Angrenzend (ca. 55 m)
Nr. 4: Magerrasen beim Kraftwerk (WMS-Biotop)	Nord-Östlich	ca. 130 m
Nr. 5: Magerrasen westlich Wasserkraftwerk Whylen (WMS-Biotop)	Westlich	ca. 170 m
Nr. 6: Feldhecke östlich Wasserkraftwerk Whylen	Süd-Östlich	Angrenzend

## 2.2 Kurze Beschreibung des Betriebsbereiches

Die Errichtung der neuen PtG-Anlage inkl. Nebenanlagen erfolgt neben der bestehenden Produktionsanlage. Die neue PtG-Anlage erhält die Bezeichnung „PtG-Wyhlen2“, während die bestehende Anlage als „PtG-Bestandsanlage“ bezeichnet wird. Ziel der geplanten Erweiterung ist die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse und dessen Abfüllung in Transporteinrichtungen. Die benötigte elektrische Energie wird in dem Wasserkraftwerk Grenzach-Wyhlen gewonnen und von diesem zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren wird eine Schnittstelle zur Auskopplung von Abwärme aus dem Elektrolyse-Prozess vorgesehen, sodass die gewonnene Wärme potenziell in einem Nahwärmenetz genutzt werden kann.

Die PtG-Bestandsanlage ist nicht Teil der Betrachtung, weshalb diese nachfolgend nicht näher beschrieben wird.

Die Errichtung der neuen Power-to-Gas-Anlage Wyhlen2 inklusive Nebenanlagen erfolgt neben den bestehenden Produktionsanlagen. Die Produktion der benötigten Menge an Wasserstoff wird durch einen 5 MWel-Elektrolyseur (zzgl. Nebenanlagen) realisiert. Anschließend wird der Wasserstoff über zwei Kolbenverdichter auf einen Druck von ca. 500 barg (MOP-Hochdruckspeicher) verdichtet. Die Speicherung des verdichteten Wasserstoffes erfolgt in drei Hochdruck-Speicherbündeln (je 1.266 kg, Kapazität insgesamt ca. 3.800 kg). Der neue Pufferspeicher (Ausgleichbehälter) nach dem Elektrolyseur hat eine Speicherkapazität von ca. 5,5 kg (ca. 1,7 m<sup>3</sup>). Zur Befüllung von Trailern werden vier Abfüllstationen auf dem Gelände der Neuanlage errichtet. Der Wasserstoff, welcher produziert und innerhalb der Anlage gehandhabt wird, ist ausschließlich gasförmig. Abbildung 6 zeigt den Blick von der Bestandsanlage auf die Freifläche für die Neuanlage PtG-Whylen2.



**Abbildung 6: Blick nach Südosten auf die Bestandsanlage mit der dahinter liegenden Freifläche für die Neuanlage**  
(Quelle: Unterlagen [b])

Abbildung 7 zeigt einen Auszug aus dem Lageplan des Vermessungsbüros Frey & Ganter wie er den Bauantragsunterlagen beigelegt wurde. Hier sind die verschiedenen Anlagenbereiche noch einmal im Detail zu erkennen.



**Abbildung 7: Lageplan des Vermessungsbüros Frey & Ganter vom 22.12.2022  
zuletzt geändert am 28.02.2023 [c]**

Die Neuanlage PtG-Wyhlen2 besteht aus nachfolgenden Betriebseinheiten (→ siehe Tabelle 2, vgl. [a]):

**Tabelle 2: Betriebseinheiten PtG-Wyhlen2**

BE	Elektrolyseanlage	Beschreibung
1100	Elektrolyseanlage	Elektrolyseur in Containerbauweise inkl. Wasseraufbereitung, Gasaufbereitung und Druckluftherzeugung
1200 und 1210	Wasserstoff-Verdichter	Wasserstoff-Verdichter in Container, inkl. Peripherie: - Kühlsystem, - Schmierölsystem, - Leitungen, - Absperr- und Regelventilen, - Druckluftherzeugung
1300	Wasserstoff-Verteilstation	Rohrleitungen, pneumatische Absperr- und Regelventile, Bedienungs- und Verbindungselemente

BE	Elektrolyseanlage	Beschreibung
1400	Hochdruck-Speicher	Druckgasbehälter mit Montagekomponenten, zusammen-gefasst zu Speicherbänken. Insgesamt 3 Speicherblöcke (Container) mit einem Volumen von je ca. 40 m <sup>3</sup>
1500	Trailer-Abfüllstation	Bestehend aus: - Rohrleitungen - pneumatischen Absperr- und Regelventilen - Not-Aus-Schalter - Bedienungs- und Verbindungselemente. Zur bereits vorhandenen Trailer-Abfüllstation der Bestandsanlagen erfolgt zusätzlich eine Anbindung der Neuanlage.
1600	Stickstoffversorgung	Stickstoff-Flaschenbündel inkl. Schläuchen, Handabsperrarmatur, Anzeigen und Verbindungselementen
1700	H <sub>2</sub> -Ausgleichsbehälter	Pufferbehälter zum Ausgleich von Druckschwankungen zwischen Elektrolyseur und Verdichter
1800	Transformator Eigenbedarf	Transformator in Gießharzausführung
1810	Transformator Elektrolyseur	(Öl-)Transformator inkl. zwei Gleichrichtern

### 2.3 Bewertung der Gefahrenpotentiale des Betriebsbereiches und Stoffauswahl für die Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes

Die Auswirkungen möglicher Störfälle werden wesentlich von den physikalischen und toxikologischen Eigenschaften der in der Anlage gehandhabten gefährlichen Stoffe unter Berücksichtigung ihrer Betriebs- und Freisetzungsbedingungen beeinflusst. Das wesentliche Gefahrenpotential der betrachteten Anlage liegt aufgrund seiner Entzündbarkeit (extrem entzündbares Gas, H-Satz: H220) und der damit verbundenen Brand- und Explosionsgefahr in der Handhabung von Wasserstoff. Wasserstoff ist nicht akut toxisch inhalativ, so dass von diesem Stoff keine Gefahr toxischer Wirkungen ausgeht.

Im Rahmen der Auswirkungsbetrachtung, auch für die Bauleitplanung, sind weitere gehandhabte Grund- und Hilfsstoffe in der Anlage nicht relevant.



### 3 Vorgehensweise zur Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände

Die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände für das geplante Vorhaben erfolgt gemäß den Vorgaben des KAS-63 Leitfadens. Dieser Leitfaden enthält für Anlagen zur Erzeugung, Lagerung, Abfüllen, Umschlagen und Verwendung von gasförmigem Wasserstoff pauschale angemessenen Sicherheitsabstände.

Bei der Freisetzung von gasförmigem Wasserstoff wird aufgrund des Betriebsüberdrucks ein Freistrahл ausgebildet. Bei einer unterstellten Zündung kommt es zunächst zu einer Explosion und anschließend zu einem Brand des Freistrahls. Die Einflussgrößen auf dieses Szenario lassen sich konservativ abschätzen, sodass eine pauschalierte Betrachtungsweise möglich ist. Hierbei erfolgt eine Unterteilung der Anlagen zunächst in folgende zwei Anlagentypen:

1. Anlagen mit Rohrleitungen mit Innendurchmessern von maximal 15 mm und
2. Anlagen mit Rohrleitungen mit Innendurchmessern von über 15 mm.

Hieraus ergibt sich für Nr. 1 eine Leckfläche von 180 mm<sup>2</sup> (Äquivalenzdurchmesser 15 mm) und für Nr. 2 eine Leckfläche von 490 mm<sup>2</sup> (Äquivalenzdurchmesser 25 mm). In Abhängigkeit der tatsächlichen Betriebsdrücke im Bereich der Anlage ergeben sich gemäß Nr. 6 im KAS-63 Leitfaden [5] folgende Abstandsempfehlungen:

**Tabelle 3: Abstandsempfehlungen gemäß KAS-63 [5]**

Betriebsüberdruck P	Angemessener Sicherheitsabstand für die Leckflächen	
	180 mm <sup>2</sup>	490 mm <sup>2</sup>
P < 100 bar	50 m	80 m
100 ≤ P < 200 bar	70 m	110 m
200 ≤ P < 400 bar	80 m	140 m
400 ≤ P < 600 bar	95 m	150 m
600 ≤ P < 800 bar	100 m	170 m
800 ≤ P ≤ 1.000 bar	110 m	180 m

Zur Ermittlung der für das geplante Vorhaben zu wählenden Abstandsempfehlungen gemäß Tabelle 3 werden in Kapitel 3.1 die hierfür relevanten Szenarien definiert.

#### 3.1 Auswahl der Szenarien für die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände nach dem Leitfaden KAS-63

Die Auswahl der relevanten Störfallszenarien für den vorliegenden Betriebsbereich erfolgt auf Basis der übergebenen Dokumentation gemäß Kapitel 1.2. Die hierbei ermittelten Szenarien auf Basis der Vorgaben im KAS-63 Leitfaden sind in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgeführt.

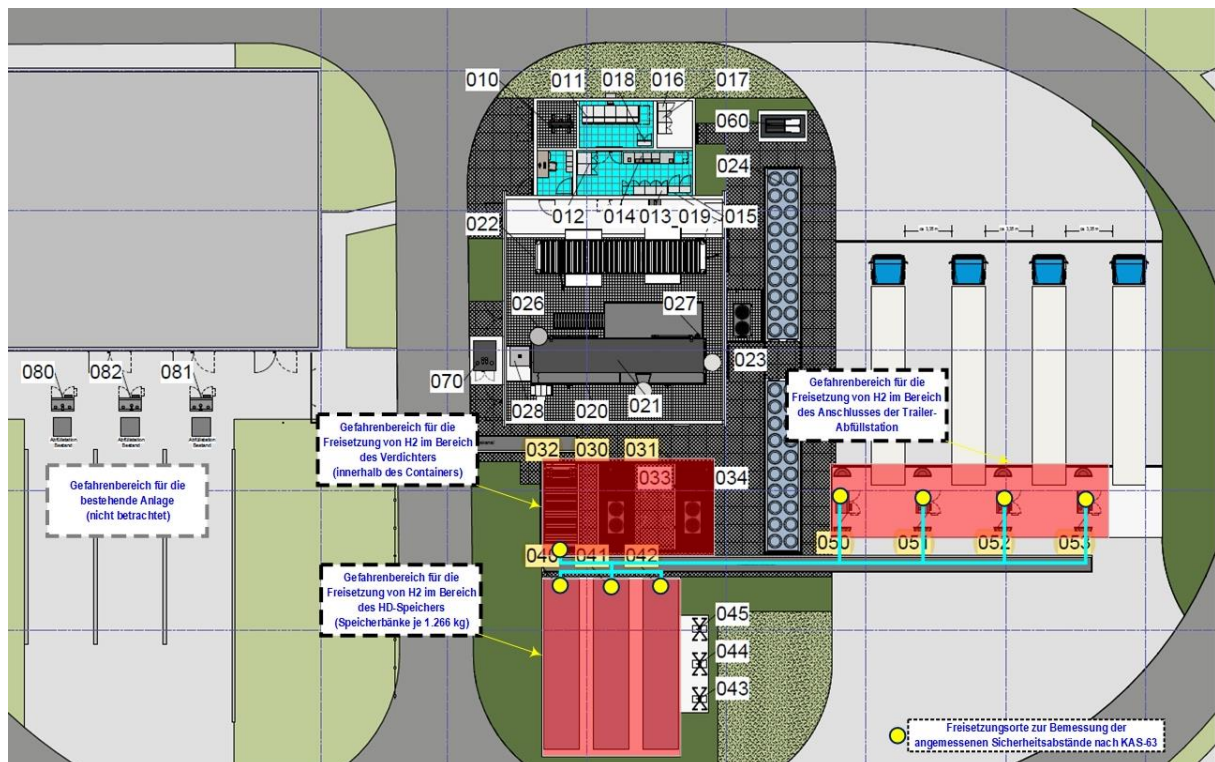
**Tabelle 4: Szenarien zur Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände gemäß KAS-63**

Szenario	Freisetzungsort	Repräsentatives Szenario	Stoff und Freisetzungsbedingungen
<b><u>Szenario 1</u></b>	Verteilerstation im Bereich der H <sub>2</sub> -Verdichter	Hypothetische große Leckage am Rohrleitungssystem im Bereich der Verteilerstation während der Befüllung des Hochdruckspeichers bzw. des Trailers.	<u>Stoff:</u> gasförmiger Wasserstoff  <u>Bedingungen:</u> Temperatur: 15 °C Druck: bis 625 barg (max. Betriebsdruck) Innendurchmesser: 14,28 mm Leckfläche: ca. 160 mm <sup>2</sup>
<b><u>Szenario 2</u></b>	Hochdruckspeicher	Hypothetische große Leckage im Bereich der Zuleitung zum Hochdruckspeicher.  → Versagen des Anschlusses des Speichers mit Freisetzung des gesamten Inhalts von 1266 kg ins Freie	<u>Stoff:</u> gasförmiger Wasserstoff  <u>Bedingungen:</u> Temperatur: 15 °C Druck: 500 barg (max. Betriebsdruck) Innendurchmesser: 7,93 mm Leckfläche: 50 mm <sup>2</sup>
<b><u>Szenario 3</u></b>	Trailerabfüllstation	Hypothetische große Leckage im Rohrleitungssystem im Bereich der Trailer-Abfüllstation während der Befüllung eines Trailers.  → Versagen des Anschlusses mit Freisetzung von Wasserstoff ins Freie.  Die Befüllung der Trailer kann über folgende zwei verschiedene „Befüllwege“ erfolgen. Da diese unterschiedliche Freisetzungsbedingungen bewirken, wird das Szenario 3 unterteilt in Szenario 3.1 und 3.2.  3.1) Befüllung erfolgt aus der Elektrolyse über den Verdichter und der Verteilerstation 3.2) Befüllung erfolgt aus dem H <sub>2</sub> -Speicher über eine Überströmleitung	
<b>Szenario 3 wird in zwei unterschiedliche Situationen unterteilt:</b>			
<b><u>Szenario 3.1</u></b>	Trailerabfüllstation	Freisetzung während der Befüllung eines Trailers mit H <sub>2</sub> aus der Elektrolyse über den Verdichter und der Verteilerstation	<u>Stoff:</u> gasförmiger Wasserstoff  <u>Bedingungen:</u> Temperatur: 15 °C Druck: bis 625 barg (max. Betriebsdruck) Innendurchmesser: 8,3 mm Leckfläche: 54 mm <sup>2</sup>
<b><u>Szenario 3.2</u></b>	Trailerabfüllstation	Freisetzung während der Befüllung eines Trailers mit H <sub>2</sub> aus dem H <sub>2</sub> -Speicher über eine Überströmleitung	<u>Stoff:</u> gasförmiger Wasserstoff  <u>Bedingungen:</u> Temperatur: 15 °C Druck: bis 500 barg (max. Betriebsdruck) Innendurchmesser: 8,3 mm Leckfläche: 54 mm <sup>2</sup>

### Hinweise zu den Szenarien:

- Die Wasserstoff-Verdichter werden in zwei separaten 20 Fuß-Containern aufgestellt. Konservativ wird hier eine mögliche Freisetzung in der Rohrverbindung zum Hochdruckspeicher oder zur Trailer-Abfüllanlage angenommen. Es handelt sich somit um eine mögliche Freisetzung in Freien (**Szenario 1**).
- Im Hochdruck-Speicher wird der gesamte vom Verdichter komprimierte Wasserstoff gespeichert. Der Hochdruckspeicher ist auf drei 40 Fuß-Container aufgeteilt. Konservativ wird hier eine mögliche Freisetzung in der Anschlussverbindung des Hochdruckspeichers angenommen. Es handelt sich somit auch um eine mögliche Freisetzung in Freien (**Szenario 2**).
- Mit der Trailer-Abfüllstation können Trailer mit Wasserstoff aus den Speicherbehältern oder direkt von den Verdichtern der Anlage betankt werden. Eine Trailer-Abfüllstation umfasst eine Vorrichtung, die insbesondere aus Verbindungsleitungen mit pneumatischen Absperr- und Regelventilen besteht. Konservativ wird hier die mögliche Leckage in der Verbindungsleitungen angenommen. Es handelt sich somit auch eine mögliche Freisetzung in Freien (**Szenario 3.1 und 3.2**).

Die voran genannten Gefahrenbereiche mit den jeweiligen Freisetzungsorten sind der nachfolgenden Abbildung 8 zu entnehmen. Die Gefahrenbereiche sind dort rot hinterlegt und die Freisetzungsorte als gelbe Kreise dargestellt.



**Abbildung 8: Gefahrenbereiche mit Freisetzungsorten**

Aus Sicht der Sachverständigen sind die ausgewählten Freisetzungsszenarien aus Tabelle 4 als repräsentative Szenarien für den geplanten Anlage von EnBW anzusehen und decken alle Prozesse innerhalb des geplanten Bereiches ab.

### 3.2 Beurteilungswerte für die Betrachtung der Freisetzung von Wasserstoff im Rahmen der Bauleitplanung

Da bei der Betrachtung einer Wasserstoffanlage im Falle einer Stofffreisetzung die Gefährdungen durch Brand und Explosion zu berücksichtigen sind, sind im Rahmen der Bauleitplanung gemäß den Vorgaben aus dem KAS-63 Leitfaden [5] folgende Beurteilungswerte zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes anzuwenden (siehe hierzu Tabelle 5)

**Tabelle 5: Beurteilungswerte für die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände nach dem Leitfaden KAS-63 [5]**

<b>Grenzwert für die Wirkung durch Wärmestrahlung eines Brandes</b>
<b>Die Strahlungsintensität von 1,6 kW/m<sup>2</sup></b> Als Grenze des Beginns nachteiliger Wirkungen für den Menschen bei unbestimmter Bestrahlungsdauer.
<b>Grenzwert für die Wirkungen durch Druckwelle einer Gaswolkenexplosion</b>
<b>Der Spitzenüberdruck von 50 mbar (0,05 bar)</b> Grenze zu Schäden durch z. B. zersplittertes Glas (100% Bruch)

### 3.3 Abstandsempfehlung gemäß KAS-63 Leitfaden

#### 3.3.1 Ermittlung der pauschalen Sicherheitsabstände

Zur Ermittlung der Abstandsempfehlungen gemäß KAS-63 Leitfaden sind zunächst die anzuwendenden Leckflächen der Szenarien 1 bis 3 zu definieren. Gemäß Tabelle 4 beträgt der Innendurchmesser der Rohrleitungen für alle drei Szenarien max. 15 mm. Gemäß den Vorgaben im KAS-63 Leitfaden [5] sind somit die Abstandsempfehlungen für eine Leckfläche von 180 mm<sup>2</sup> anzuwenden. In Abhängigkeit der jeweiligen Drücke in den verschiedenen Anlagenbereichen ergeben sich die in Tabelle 6 dargestellten Abstandsempfehlungen für die in Kapitel 3.1 beschriebenen Szenarien.

**Tabelle 6: Abstandsempfehlungen gemäß KAS-63**

Szenario	Freisetzungsort	Druck [barg]	Leckgröße [mm <sup>2</sup> ]	Anzuwendender Druckbereich gemäß KAS-63	Abstandsempfehlung gemäß KAS-63 (pauschaler Abstand)
1	Verteilerstation im Bereich der H <sub>2</sub> -Verdichter	625	180	600 ≤ P < 800 bar	100 m
2	Hochdruckspeicher	500	180	400 ≤ P < 600 bar	95 m
3.1	Trailer-Abfüllstation	625	180	600 ≤ P < 800 bar	100 m
3.2	Trailer-Abfüllstation	500	180	400 ≤ P < 600 bar	95 m

Demnach würden sich für das geplanten Vorhaben je nach betrachtetem Szenario ein pauschaler angemessener Sicherheitsabstand von **95 m bzw. 100 m** ergeben.

### 3.3.2 Zusammenfassung abschließende Bewertung

Wie bereits erläutert, handelt es sich bei den ermittelten Sicherheitsabstände gemäß Tabelle 6 um „pauschale“ Sicherheitsabstände, welche die genauen Betriebsbedingungen nicht abbildet. Insbesondere bei den Leckflächen und den tatsächlichen Freisetzungsmassenströmen, wie auch bei den konkreten Drücken, kann es hier zu unterschiedlichen Werte bei einer Gegenüberstellung der Angaben gemäß KAS-63 zu den tatsächlichen Betriebsparametern kommen. Nachfolgend sollen diese Parameter zur Verifizierung der Ergebnisse aus Tabelle 6 deshalb noch einmal genauer betrachtet werden.

Hierfür wurden die Massenströme auf Basis der Drücke, Temperaturen und Leckgrößen der Szenarien 1, 2, 3.1 und 3.2 gemäß den Vorgaben aus dem KAS-63 Leitfaden [5] wie auch die tatsächlichen Massenströme der geplanten Anlage ermittelt und in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt. Grundlage für die Ermittlung der tatsächlichen Massenströme basieren auf Anlagenparametern, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden (siehe hierzu Kapitel 1.2).

**Tabelle 7: Massenströme gemäß KAS-63**

Szenario	Freisetzungsort	Druckbereich nach KAS-63 [barg]	Leckgröße [mm <sup>2</sup> ]	Massenstrom gemäß KAS 63 [untere]	Massenstrom gemäß KAS 63 [obere]
1	Verteilerstation im Bereich der H2-Verdichter	600 bis 800	180	3,64	4,63
2	Hochdruckspeicher	400 bis 600	180	2,55	3,64
3.1	Trailer-Abfüllstation	600 bis 800	180	3,64	4,63
3.2	Trailer-Abfüllstation	400 bis 600	180	2,55	3,64

Hinweis:

- In Szenario 1 und Szenario 3.1 entspricht der untere Massenstrom dem Wert bei einem Druck von 600 barg in der Tabelle in Kapitel 5 des KAS-63, während der obere Massenstrom dem Wert bei 800 barg. Die Temperatur des Gases beträgt in diesem Fall 20 °C.
- In Szenario 2 und Szenario 3.2 entspricht der untere Massenstrom dem Wert bei einem Druck von 400 barg in der Tabelle in Kapitel 5 des KAS-63, während der obere Massenstrom dem Wert bei 600 barg. Die Temperatur des Gases beträgt in diesem Fall 20 °C.

Gemäß Tabelle 7 würden sich je nach Szenario und für die jeweiligen Druckbereiche Massenströme zwischen 2,6 und 4,6 kg/h ergeben. Nachfolgende Tabelle 8 zeigt die Austrittsmassenströme bezogen auf der Anlage PtG-Wyhlen2.

**Tabelle 8: berechnete und tatsächliche Massenströme**

Szenario	Freisetzungsort	Betriebsdruck [barg]	Leckgröße [mm <sup>2</sup> ]	Maximaler theoretischer Austrittsmassenstrom [kg/s]	Tatsächlicher max. Austrittsmassenstrom [kg/s]
1	Verteilerstation im Bereich der H <sub>2</sub> -Verdichter	625	160	3,40	0,025 ist begrenzt durch die tatsächliche H <sub>2</sub> -Produktionsmenge im Elektrolyseur auf 90 kg/h
2	Hochdruckspeicher	500	50	0,86	0,86
3.1	Trailer-Abfüllstation	625	54	1,14	0,025 ist begrenzt durch die tatsächliche H <sub>2</sub> -Produktionsmenge im Elektrolyseur auf 90 kg/h
3.2	Trailer-Abfüllstation	500	54	0,86	0,056 kg/s ist durch Überströmventil begrenzt auf max. 200 kg/h

Wie aus den beiden vorstehenden Tabellen ersichtlich ist, liegen die Massenströme bei den Szenarien 1, 3.1 und 3.2, bezogen auf die theoretisch maximal möglichen Werte, deutlich unter den Werten der Tabelle 6, welche dem Massenstrom der pauschalen Abstände entsprechen. Theoretisch wären diese Massenströme aufgrund der Leckgröße und der vorhandenen Betriebsdrücke möglich, praktisch können sie jedoch bei Szenario 1, 3.1 und 3.2 nicht freigesetzt werden. Dies begründet sich darin, dass die maximale freisetzbare H<sub>2</sub>-Menge in Szenario 1 und 3.1 durch die tatsächliche Produktionsmenge an Wasserstoff im Elektrolyseur begrenzt wird. Diese liegt bei maximal 90 kg/h. Hieraus ergibt sich ein Austrittsmassenstrom der maximal bei 0,025 kg/s liegt. Dieser Wert liegt somit deutlich unter dem Wert gemäß der pauschalen Betrachtungsweise des KAS-63 [5].

Eine weitere Begrenzung der H<sub>2</sub>-Menge ergibt sich durch das Überströmventil in der Leitung zur Trailer-Befüllung aus dem Hochdruckspeicher. Je nach angeschlossenen Trailer ist hier eine entsprechende Reduzierung des Massenstroms erforderlich. Maximal beträgt diese nach Angaben des Betreibers 200 kg/h was einem Austrittsmassenstrom von 0,056 kg/s entspricht. Somit liegt auch der Austrittsmassenstrom von Szenario 3.2 deutlich unter dem Massenstrom, welcher die Grundlage für die pauschalen Sicherheitsabstände gemäß KAS-63 herangezogen wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die tatsächlich möglichen Austrittsmassenströme der geplanten Anlage aufgrund anlagenspezifischer Faktoren deutlich unter den Massenströmen liegen, die der Abstandsempfehlung gemäß KAS-63 zugrunde liegen. Hieraus ergeben sich Abstandsempfehlungen für das geplante Vorhaben, welche die tatsächlichen Gegebenheiten nicht widerspiegeln. Für eine realistische Betrachtungsweise soll deshalb nachfolgend eine Einzelfallbetrachtung für die zuvor definierten Szenarien durchgeführt werden.

### 3.4 Durchführung der Einzelfallbetrachtung auf Grundlage der Modellierung nach dem Leitfaden KAS-63

#### 3.4.1 Szenarien der Einzelfallbetrachtung

Die Einzelfallbetrachtung erfolgt gemäß den Vorgaben des KAS-63 Leitfadens [5] für die bereits festgelegten Szenarien gemäß Kap. 3.1. Aufgrund des etwa doppelt so großen Freisetzungsmassenstroms bei Szenario 3.2 (→ 0,056 kg/s) gegenüber Szenario 3.1 (→ 0,025 kg/s) bei gleichem Freisetzungsort, kann Szenario 3.2 als abdeckend für das Szenario 3.1 angesehen werden. Auf eine Einzelfallbetrachtung für Szenario 3.1 kann deshalb verzichtet werden. In der nachfolgenden Tabelle 9 sind die Szenarien der Einzelfallbetrachtung mit den relevanten Anlagenparameter noch einmal in Überblick dargestellt.

**Tabelle 9: Störfallszenarien der Einzelfallbetrachtung**

Freisetzungsort	Stoff, Bedingungen	Repräsentatives Szenario, betrachtete Gefahren bei der Freisetzung	Szenario
<p><b>F1:</b> Bereich der Verdichter (Kompressor), Bereich der Verteilereinheit</p> <p>*In diesem Bereich wird der Wasserstoff gekühlt</p>	<p><b>Wasserstoff</b> gasförmig Temperatur: 15 °C Druck: bis 625 barg (max. Betriebsdruck)</p> <p>Durchfluss: 90 kg/h bzw. 0,025 kg/s</p>	<p>Hypothetische große Leckage in der Rohrleistungssystem im Bereich des Verdichters bzw. der Verteilerstation bei der Befüllung des Hochdruckspeichers bzw. Trailers</p> <p><u>Bedingungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innendurchmesser: 14,28 mm</li> <li>- Leckfläche: ca. 160 mm<sup>2</sup></li> </ul> <p>Der Massenstrom ist aber durch den maximalen Durchfluss auf 90 kg/h begrenzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausflussziffer: 0,62 (scharfkantiges Leck)</li> <li>- Austrittswinkel: 45°</li> <li>- Aufpunkthöhe: 2 m über Erdgleiche</li> </ul> <p><u>Betrachtete Gefahren:</u> Gaswolkenexplosion mit Druckwelle und Freistrahlf Flamme mit Wärmestrahlung</p>	<p><u>Szenario 1</u></p>
<p><b>F2:</b> Bereich des Hochdruckspeichers</p>	<p><b>Wasserstoff</b> gasförmig Temperatur: 15 °C Druck: 500 barg (max. Betriebsdruck)</p> <p>Max. Menge von einer Speicherbank: 1266 kg</p>	<p>Hypothetische große Leckage im Bereich der Hochdruckspeichern (→ Versagen des Anschlusses des Speichers mit Freisetzung des gesamten Inhalts von 1266 kg ins Freie)</p> <p><u>Bedingungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innendurchmesser: 7,93 mm</li> <li>- Leckfläche: ca. 50 mm<sup>2</sup></li> <li>- Ausflussziffer: 0,62 (scharfkantiges Leck)</li> <li>- Austrittswinkel: 45°</li> <li>- Aufpunkthöhe: 2 m über Erdgleiche</li> </ul> <p><u>Betrachtete Gefahren:</u> Gaswolkenexplosion mit Druckwelle und Freistrahlf Flamme mit Wärmestrahlung</p>	<p><u>Szenario 2</u></p>

Freisetzungsort	Stoff, Bedingungen	Repräsentatives Szenario, betrachtete Gefahren bei der Freisetzung	Szenario
<b>F3:</b> Bereich der Abfüllanlage von Trailern	<b>Wasserstoff</b> gasförmig Temperatur: 15°C Druck: 500 barg (max. Druck)  Durchfluss: 200 kg/h bzw. 0,056 kg/s	Hypothetische große Leckage in der Rohrleistungssystem im Bereich der Abfüllanlage des Anhängers (H <sub>2</sub> -Trailers) während der Befüllung des Trailers von den Hochdruckspeichern (→ Versagen des Anschlusses mit der Freisetzung von Wasserstoff ins Freie)  <u>Bedingungen:</u> - Innendurchmesser: 8,3 mm - Leckfläche: ca. 54 mm <sup>2</sup> Der Massenstrom ist durch einen Überströmer auf max. 200 kg/h bzw. 0,056 kg/s begrenzt. - Ausflussziffer: 0,62 (scharfkantiges Leck) - Austrittswinkel: 45° - Aufpunkthöhe: 2 m über Erdgleiche  <u>Betrachtete Gefahren:</u> Gaswolkenexplosion mit Druckwelle und Freistrahlf Flamme mit Wärmestrahlung	<b>Szenario 3.2</b>  nachfolgend <b>Szenario 3</b> genannt, da es für 3.1 und 3.2 abdeckend ist

### 3.4.2 Eigenschaften von Wasserstoff

Wasserstoff ist ein geruchsloses farbloses physiologisch unbedenkliches Gas und in seiner molekularen Form das kleinste bekannte Molekül. Relevante Stoffdaten und Stoffeigenschaften von Wasserstoff sind in Tabelle 10 dargestellt.

**Tabelle 10: Relevante Stoffeigenschaften von Wasserstoff** (Quelle: [9, 10, 11])

Nr.	Bezeichnung	Daten / Information / Wert
<b>Grunddaten</b>		
1.	Chemische Formel	H <sub>2</sub>
2.	CAS Nr.	1333-74-0
3.	Molare Masse	2,02 g/mol
<b>Sicherheitsrelevante Eigenschaften</b>		
4.	Untere Explosionsgrenze (UEG)	4 Vol.-%
5.	Obere Explosionsgrenze (OEG)	77 Vol.-%
6.	Temperaturklasse	T1
7.	Explosionsgruppe	IIC
8.	Mindestzündenergie	0,017 mJ
9.	Laminare Flammgeschwindigkeit	2,7 m/s
<b>Einstufung</b>		
10.	Einstufung nach Anhang I StörfallV	2.44 (Wasserstoff)
11.	GHS-Einstufung	H220: Extrem entzündbares Gas. H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.



Wasserstoff besitzt einen sehr großen Explosionsbereich zwischen unterer und oberer Explosionsgrenze in Luft (UEG und OEG) bei gleichzeitig äußerst geringer Mindestzündenergie. Alle Angaben zu Zünd-/Brandeigenschaften beziehen sich auf eine optimale Mischung mit Luft.

Andererseits bedingt die niedrige Mindestzündenergie bei der gasförmigen Freisetzung unter hohem Druck, die mit Austritt praktisch sofort erfolgende Entzündung durch zahlreiche mögliche wirksame Zündmechanismen, wie z. B. Elektrostatik. In der "Zentralen Melde- und Auswertungsstelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen" (ZEMA) werden dementsprechend keine Wasserstoffexplosionen im Freien registriert, jedoch Freistrahllbrände.

Als weitere Besonderheit besitzt Wasserstoff oberhalb seiner Inversionstemperatur von  $-73\text{ °C}$  einen negativen Joule-Thomson-Koeffizienten. Dies bedeutet, dass sich Wasserstoff im Gegensatz zu den meisten Gasen ab dieser Temperatur bei der Expansion nach Austritt aus einem Leck erwärmt. Damit reduziert sich die unter Normalbedingungen bereits ca. 15-fach geringere Gasdichte weiter und der durch den Dichteunterschied erhebliche Auftrieb von Wasserstoff in Luft wird zusätzlich erhöht [12]. Expandiert Wasserstoff mit  $30\text{ °C}$  von 500 bar auf Luftdruck, erwärmt er sich z.B. auf ca.  $51\text{ °C}$ .

Dies bedingt, dass in Freianlagen nur innerhalb eines durch hohen Druck erzeugten Freistrahles mit einem Massenstrom in der Größenordnung von einigen kg/s eine relevante Menge an gasförmigen Wasserstoff als zusammenhängende explosionsfähige Masse auftreten kann.

### **3.4.3 Anmerkungen zu den verwendeten Modellierungen**

Da eine relevante störungsbedingte Freisetzung von gasförmigem Wasserstoff mit einem hohen treibenden Druck verbunden ist, kommt es zur Ausbildung eines sogenannten Freistrahles. In diesen Freistrahle aus zunächst reinem Wasserstoff wird mitwachsender Entfernung von der Quelle zunehmend Luft eingemischt. Es bildet sich in dem Freistrahle durch die eingemischte Luft ein zündfähiger Bereich zwischen der oberen und unteren Zündgrenze. Durch eine ausreichende Zündquelle kann das Gas-Luft-Gemisch in Brand gesetzt werden und als Freistrahlf Flamme (Jetfeuer) abbrennen. In Abhängigkeit von der Ausströmgeschwindigkeit des Gases brennt die Flamme in einem Abstand vom Freisetzungsort und kann bei zu hoher Geschwindigkeit abheben und ausgeblasen werden.

Für die Berechnung der Bestrahlungsstärke einer Freistrahlf Flamme wird in der Regel das Chamberlain Modell verwendet. Da sich im Fall der Freistrahlf Flamme von Wasserstoff mit dem Modell von Chamberlain deutlich zu große Flammenlängen ergibt, wird die Beziehung von Saffers und Molkov (siehe auch [6, 5]) für die Berechnung der Flammenlänge in der vorliegenden Auswirkungsbetrachtung verwendet. Für die Berechnung der Bestrahlungsstärke in der Umgebung wird von einer Flamme in Form eines Kegelstumpfes ausgegangen. Für die Berechnung des Strahlungsanteils der Freistrahlf Flamme wird nach dem Leitfaden KAS-63 der Ansatz von Houf/Schefer und Ekoto (siehe auch [5]) verwendet.

Für die Ermittlung der Auswirkung eines Brandes wird die Wärmeübertragung auf ein benachbartes Objekt ermittelt. Diese Wärmeübertragung erfolgt im Allgemeinen konvektiv und durch Strahlung, wobei

der Anteil der beiden Übertragungsarten an der Gesamtwärmeübertragung durch die räumliche Anordnung des brennenden und des brandgefährdeten Objektes zueinander bestimmt wird. Mit zunehmendem Abstand vom Brandherd kann der konvektive Anteil immer mehr vernachlässigt werden. Im ungünstigsten Fall kann durch die Ausbreitung der Bestrahlungsstärke der Flamme eine gesundheitliche Schädigung bei Menschen auftreten. Außerdem können durch die Strahlungswärme eines Brandes auch die benachbarten Anlagenteile und Gebäude beschädigt werden.

Sofern sich eine ausreichende explosionsfähige Masse bildet, wird deren verzögerte Zündung unterstellt. Daraus ergibt sich eine sogenannte Gaswolkenexplosion. Bei einer Gaswolkenexplosion, die in der Regel eine Deflagration ist, breitet sich der Explosionsdruck als halbkugelförmige Druckwelle um das Explosionszentrum ungestört aus. Eine Verstärkung der Explosion ergibt sich beim Auftreffen der Druckwelle auf Hindernisse, am Ausgang von Gassen wegen dort entstehender Luftturbulenzen oder durch die Mehrfachzündung von Teilvolumina. Im ungünstigsten Fall kann auch durch die Ausbreitung der Explosionsdruckwelle eine gesundheitliche Schädigung bei Menschen auftreten. Anlagenteile und Gebäude sowie weitere Bauwerke innerhalb des Einflussbereiches der Druckwelle werden durch Reflexion des auf sie ausgeübten Impulses kurzzeitig mit etwa dem zweifachen Druck der auftreffenden Druckwelle belastet und können je nach Druckhöhe beschädigt werden.

Für die Berechnung des maximalen Explosionsüberdrucks der genannten Gaswolkenexplosion wird nach dem Leitfaden KAS-63 das Baker-Strehlow-Tang (siehe auch [13]) verwendet.

Die Gefährdung durch einen Gaswolkenbrand (Flashfeuer) ist nicht zu betrachten. Bei einem Flashfeuer ist die Expositionszeit der entstehenden Wärmestrahlung in der Regel sehr kurz. Nachteilige Auswirkungen durch einen Gaswolkenbrand sind daher nicht zu erwarten. Im Folgenden werden nur die Auswirkungen im Falle einer verzögerten Zündung durch eine Gaswolkenexplosion betrachtet.

Nachfolgend sind in Tabelle 11 die Modelle zur Berechnung der angemessenen Sicherheitsabstände gemäß KAS-63 Leitfaden [5] noch einmal zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 11: Berechnungsmodelle gemäß KAS-63 [5]**

Berechnung	Anzuwendendes Modell
Wasserstoff-Freistrahlausbreitung ins Freie	Modifiziertes Modell nach Schatzmann
Zündung des zündfähigen Bereiches in Freistrahle mit Explosion und Ausbreitung der Druckwelle	<p>Modell von Baker-Strehlow-Tang zur Berechnung der Explosionsüberdrücke:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berücksichtigt sphärische Ausbreitung der Druckwelle bei der Ausbreitung in alle Richtungen, sofern Verdämmung und Verblöckung nicht vorhanden ist (3D-Ausbreitung)</li> <li>- Berücksichtigt Reaktivität des Gases (Hoch-Reaktiv für Wasserstoff)</li> </ul> <p>Im Fall einer Ausbreitung der Druckwelle mit Verdämmung und Verblockung wird das Matrix von Pierorazio verwendet → hierbei werden 2 Fälle unterschieden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fall 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>- turbulenz erzeugenden Hindernisse in der Gaswolke sind NICHT vorhanden</li> <li>- Explosion wird NICHT durch Hindernisse begrenzt</li> </ul> </li> <li>• Fall 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>- turbulenz erzeugenden Hindernisse in der Gaswolke sind vorhanden → es kommt zu einer Detonation</li> <li>- Explosion wird durch Hindernisse begrenzt</li> </ul> </li> </ul>

Berechnung	Anzuwendendes Modell
Zündung des zündfähigen Bereiches in Freistrahlfeld mit Freistrahlfeldflamme und Ausbreitung der Energiefreisetzung in Form der Wärmestrahlung	Für die Berechnung der Bestrahlungsstärke der Freistrahlfeldflamme wird das Chamberlain Modell verwendet. Annahme: → Flamme hat die Form eines Kegelstumpfes. Berechnung der Länge der Freistrahlfeldflamme: → Ansatz von Molkov / Safers Berechnung des Strahlungsanteils in der Umgebung → Ansatz von Houf / Schefer und Ekoto

### 3.4.4 Berechnungsprogramm

Die nachfolgenden Berechnungen der Einzelfallbetrachtungen wurden mit der Berechnungssoftware ProNuSs<sup>®</sup> („Programm für numerische Störfallsimulation“) Version 9.44.9 (siehe [11]) durchgeführt.

ProNuSs ist die umfassende Software zur Berechnung der stationären und instationären Stoff- und Energiefreisetzungen, Stoffausbreitungen sowie den entsprechenden Auswirkungen, auch für die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände nach dem gerade erschienenen Leitfaden KAS-63 [5] in Deutschland anerkannt.

### 3.4.5 Berechnung der Ablaufszenarien und Ergebnisse

#### 3.4.5.1 Szenario 1:

#### Freisetzung im Bereich des Verdichters bzw. der Verteilerstation (625 barg) (Brand- und Explosionsauswirkungen)

##### 3.4.5.1.1 Freisetzungsszenario

Bezeichnung	Wert / Information
Stoff	Wasserstoff
Leckfläche	ca. 160 mm <sup>2</sup> (Innendurchmesser von 14,28 mm)
Ausflussziffer	0,62 (→ scharfkantiges Leck)
Stofftemperatur	15°C
Freisetzungswirksamer Druck	625 bar,ü
Freisetzungsmassenstrom	0,025 kg/s*
Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Berechnungen wurden bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C durchgeführt</li> <li>Die mittlere Luftfeuchte im Ausbreitungsgebiet beträgt 77%</li> <li>Die mittlere Windgeschwindigkeit gemäß der DWD-Datenbank am Standort beträgt 2,4 m/s in 10 m über Erdgleiche</li> </ul>

\* Unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen und bei einer Leckfläche von 160 mm<sup>2</sup> handelt es sich in diesem Fall um einen max. möglichen Massenstrom von ca. 3,4 kg/s, der durch die maximale Leistung des Verdichters auf 90 kg/h bzw. 0,025 kg/s begrenzt wird.

#### 3.4.5.1.2 Gasausbreitung zur Ermittlung der explosionsfähigen Masse

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,025 kg/s
Modell nach KAS-63	Freistrahlmmodell nach Schatzmann
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 1 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis bei der Abschätzung der explosionsfähigen Masse</b>	
Explosionsfähige Masse	< 10 g
Untere Zünddistanz	Aufgrund der geringen explosionsfähigen Masse ist nicht mit einer Gaswolkenexplosion zu rechnen

#### 3.4.5.1.3 Freistrahlfamme

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,025 kg/s
Modell nach KAS-63	Chamberlain/Johnson; Saffer/Molkov
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 1 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis</b>	
Berechnete Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m <sup>2</sup>	5,7 m (berechnet)*
Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von <b>1,6 kW/m<sup>2</sup></b>	<b>10 m von der Freisetzungsstelle</b>

\* Alle Abstände sind auf die nächsten 5 m aufgerundet

#### 3.4.5.1.4 Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse

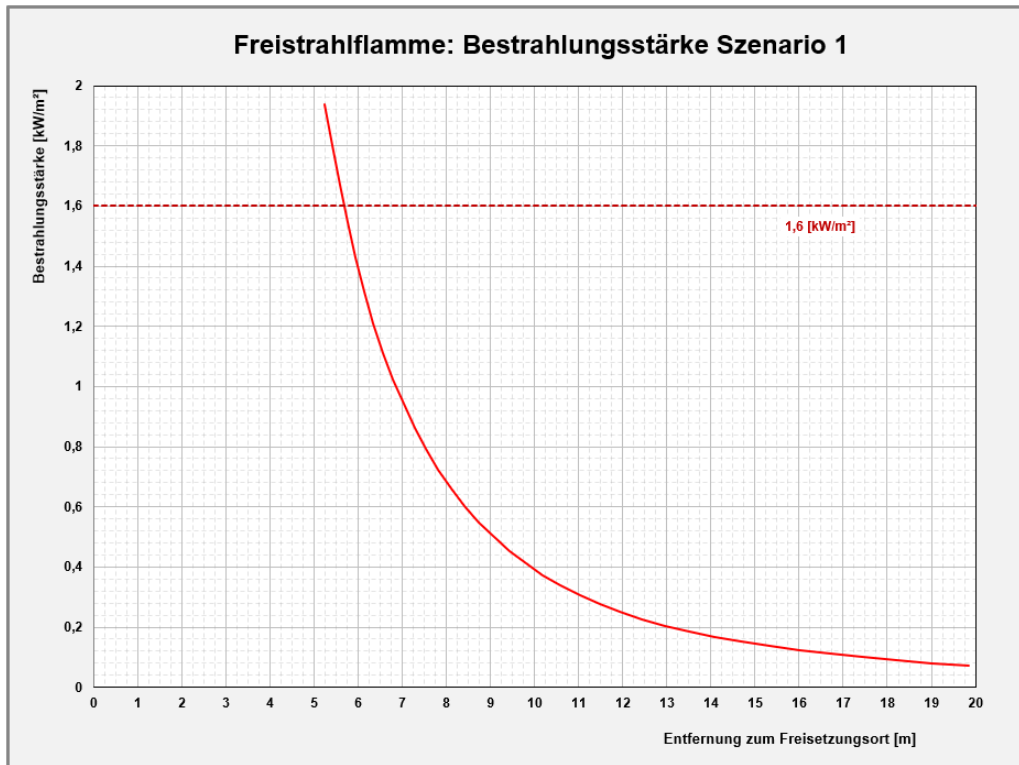


Abbildung 9: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit zur Entfernung vom Freisetzungsort

### 3.4.5.2 Szenario 2: Freisetzung im Hochdruckbereich bis 500 barg (Brand- und Explosionsauswirkungen)

#### 3.4.5.2.1 Freisetzungsszenario

Bei Szenario 2 wird unterstellt, dass es zu einer Freisetzung von Wasserstoff bei der Trailer-Befüllung aus dem Wasserstoffhochdruckspeicher kommt. Hierbei ist jeweils immer nur eine Speicherbank angeschlossen. Folglich könnte bei einer Leckage maximal das Volumen einer Speicherbank austreten. Die maximale Menge an Wasserstoff in einer Speicherbank beträgt 1266 kg. Unter Berücksichtigung der angegebenen Randbedingungen und einer Gasdichte von Wasserstoff von ca. 33,5 kg/m<sup>3</sup> entspricht das einem Volumen von ca. 38 m<sup>3</sup>. Da bei diesem Vorgang kein Verdichter angeschlossen ist, kann davon ausgehen, dass es beim Freisetzungsprozess zu einem Druckabfall in der Rohrleitung kommt und sich dadurch die freigesetzte Menge im zeitlichen Verlauf verringert. Dieser Sachverhalt soll für die Einzelfallbetrachtung deshalb überprüft werden. Das Ergebnis dieser Betrachtung zeigt, dass unter der Annahme einer vollständig befüllten Speicherbank und der Leckgröße von 50 mm<sup>2</sup> (7,93 mm) der Druck in der Speicherbank in einem Zeitraum von 4 h nur minimal auf einen Druck von 497,7 barg abfällt. Siehe hierzu auch die Ergebnisdarstellung in Abbildung 10.

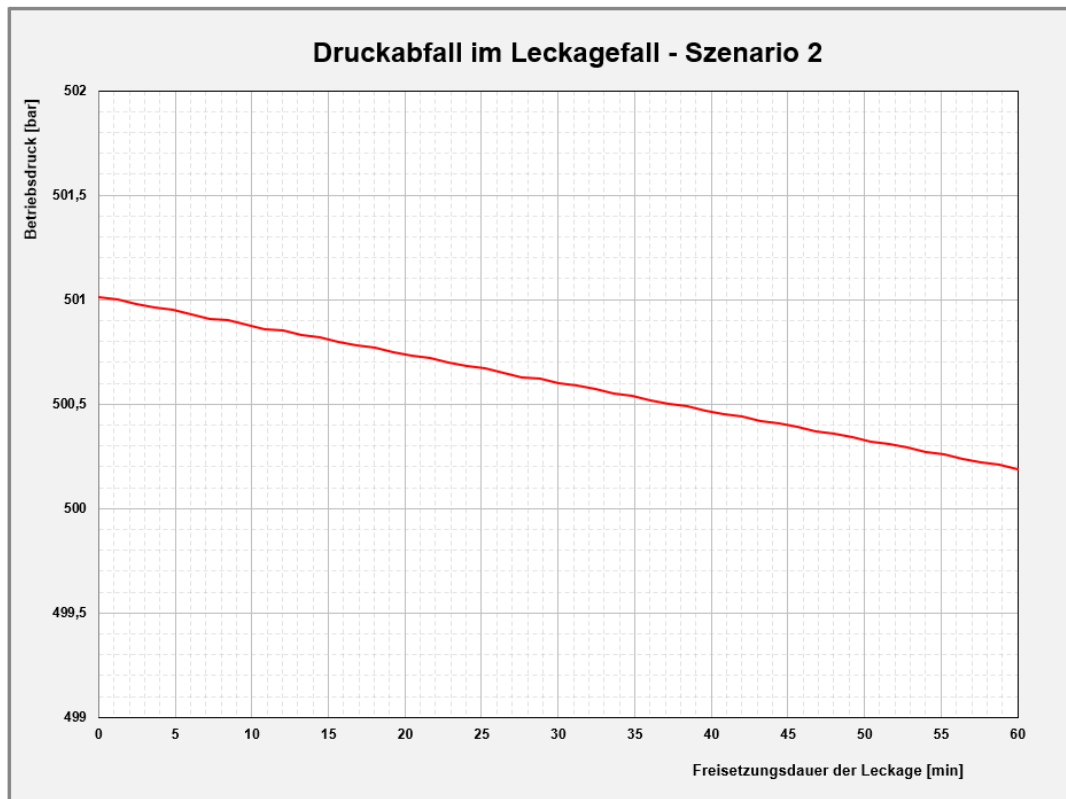


Abbildung 10: Druckabfall bei Betrachtung einer Leckage (50 mm<sup>2</sup>) im Hochdruckbereich

Im Szenario 2 wird aufgrund dieses geringen Druckabfalls mit einem stationären Austrittsmassenstrom von Wasserstoff gerechnet.

Bezeichnung	Wert / Information
Stoff	Wasserstoff
Leckfläche	ca. 50 mm <sup>2</sup> (Innendurchmesser von 7,93 mm)
Ausflussziffer	0,62 (→ scharfkantiges Leck)
Stofftemperatur	15°C
Freisetzungswirksamer Druck	500 bar,ü
Freisetzungsmassenstrom	0,86 kg/s
Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Berechnungen wurden bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C durchgeführt</li> <li>Die mittlere Luftfeuchte im Ausbreitungsgebiet beträgt 77%</li> <li>Die mittlere Windgeschwindigkeit gemäß der DWD-Datenbank am Standort beträgt 2,4 m/s in 10 m über Erdgleiche</li> </ul>

### 3.4.5.2.2 Gasausbreitung zur Ermittlung der explosionsfähigen Masse

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,86 kg/s
Modell nach KAS-63	Freistrahlmmodell nach Schatzmann
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 1 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis bei der Abschätzung der explosionsfähigen Masse</b>	
Explosionsfähige Masse	0,36 kg
Untere Zünddistanz	< 1 m

### 3.4.5.2.3 Freistrahlf Flamme

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,86 kg/s
Modell nach KAS-63	Chamberlain/Johnson; Saffer/Molkov
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 2 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis</b>	
Berechnete Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m <sup>2</sup>	15,3 m (berechnet)
Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m <sup>2</sup>	<b>20 m von der Freisetzungsstelle</b>

\* Alle Abstände sind auf die nächsten 5 m aufgerundet

### 3.4.5.2.4 Gaswolkenexplosion

Bezeichnung	Wert / Information
Modell nach KAS-63	Baker-Strehlow-Tang (BST-Modell)
Höhe des Mittelpunkts der Gaswolke	ca. 5 m über Erdgleiche
Höhe der Aufpunkte	ca. 2 m über Erdgleiche
Verdämmungsmöglichkeiten der Flammenausbreitung	2,5-D Flammenausbreitung
Verblockung der Gaswolke	Mittlerer oder hoher Verblockungsgrad
Reaktivität des betrachteten Stoffes	Hoch reaktiv (→ Wasserstoff)
<b>Ergebnis</b>	
Entfernung* bis zur Unterschreitung des Spitzenüberdrucks von 50 mbar	<b>46 m aufgerundet auf 50 m</b> von der Freisetzungsstelle

\* Alle Abstände sind auf die nächsten 5 m aufgerundet

### 3.4.5.2.5 Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse

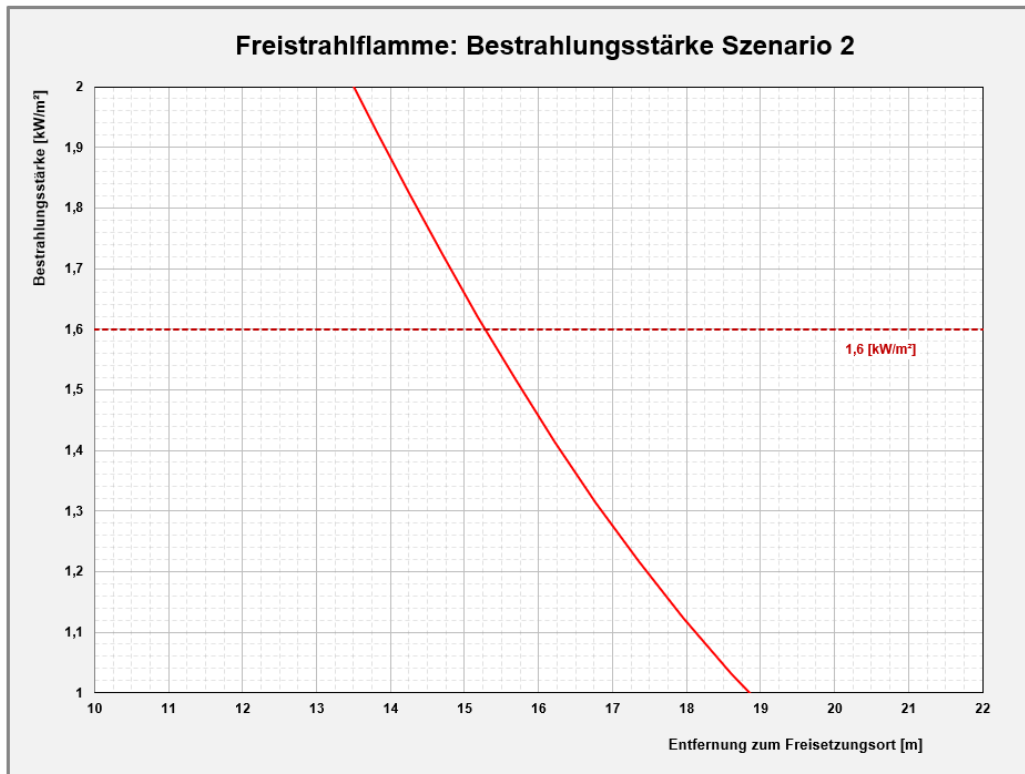


Abbildung 11: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit zur Entfernung vom Freisetzungsort

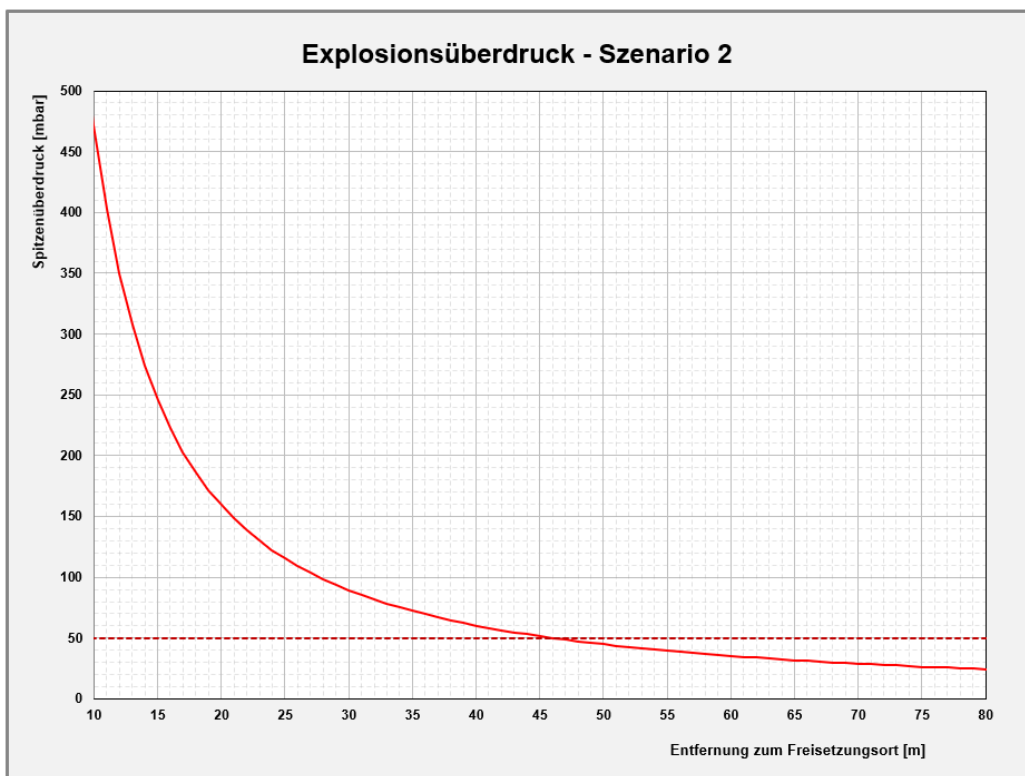


Abbildung 12: Explosionsüberdruck in Abhängigkeit zur Entfernung vom Freisetzungsort



### 3.4.5.3 Szenario 3: Freisetzung im Bereich der Trailer-Abfüllung bis 625 barg (Brand- und Explosionsauswirkungen)

#### 3.4.5.3.1 Freisetzungsszenario

Bezeichnung	Wert / Information
Stoff	Wasserstoff
Leckfläche	54 mm <sup>2</sup>
Ausflussziffer	0,62 (→ scharfkantiges Leck)
Stofftemperatur	15°C
Freisetzungswirksamer Druck	500 bar,ü
Freisetzungsmassenstrom	0,056 kg/s*
Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Berechnungen wurden bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C durchgeführt</li> <li>Die mittlere Luftfeuchte im Ausbreitungsgebiet beträgt 77%</li> <li>Die mittlere Windgeschwindigkeit gemäß der DWD-Datenbank am Standort beträgt 2,4 m/s in 10 m über Erdgleiche</li> </ul>

\* Unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen und bei einer Leckfläche von 54 mm<sup>2</sup> handelt es sich in diesem Fall um einen max. möglichen Massenstrom von ca. 0,86 kg/s, der auf maximal 200 kg/h bzw. 0,056 kg/s durch einen Überströmer begrenzt wird.

#### 3.4.5.3.2 Gasausbreitung zur Ermittlung der explosionsfähigen Masse

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,056 kg/s
Modell nach KAS-63	Freistrahlmmodell nach Schatzmann
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 1 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis bei der Abschätzung der explosionsfähigen Masse</b>	
Explosionsfähige Masse	0,01 kg
Untere Zünddistanz	ca. 2 m

#### 3.4.5.3.3 Freistrahlf Flamme

Bezeichnung	Wert / Information
Quellstärke	0,056 kg/s
Modell nach KAS-63	Chamberlain/Johnson; Saffer/Molkov
Austrittswinkel	45°
Höhe der Freisetzungsstelle	ca. 1 m über Erdgleiche
<b>Ergebnis</b>	
Berechnete Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m <sup>2</sup>	6,6 m (berechnet)*

Bezeichnung	Wert / Information
Entfernung bis zur Unterschreitung der Bestrahlungsstärke von <b>1,6 kW/m<sup>2</sup></b>	<b>10 m von der Freisetzungsstelle</b>

\* Alle Abstände sind auf die nächsten 5 m aufgerundet

#### 3.4.5.3.4 Gaswolkenexplosion

Bezeichnung	Wert / Information
Modell nach KAS-63	Baker-Strehlow-Tang (BST-Modell)
Höhe des Mittelpunkts der Gaswolke	ca. 3 m über Erdgleiche
Höhe der Aufpunkte	ca. 2 m über Erdgleiche
Verdämmungsmöglichkeiten der Flammenausbreitung	2,5-D Flammenausbreitung
Verblockung der Gaswolke	Mittlerer Verblockungsgrad
Reaktivität des betrachteten Stoffes	Hoch reaktiv (→ Wasserstoff)
<b>Ergebnis</b>	
Berechnete Entfernung* bis zur Unterschreitung des Spitzenüberdrucks von <b>50 mbar</b>	<b>14,7 m aufgerundet auf 20 m</b> von der Freisetzungsstelle

\* Alle Abstände sind auf die nächsten 5 m aufgerundet

#### 3.4.5.3.5 Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse

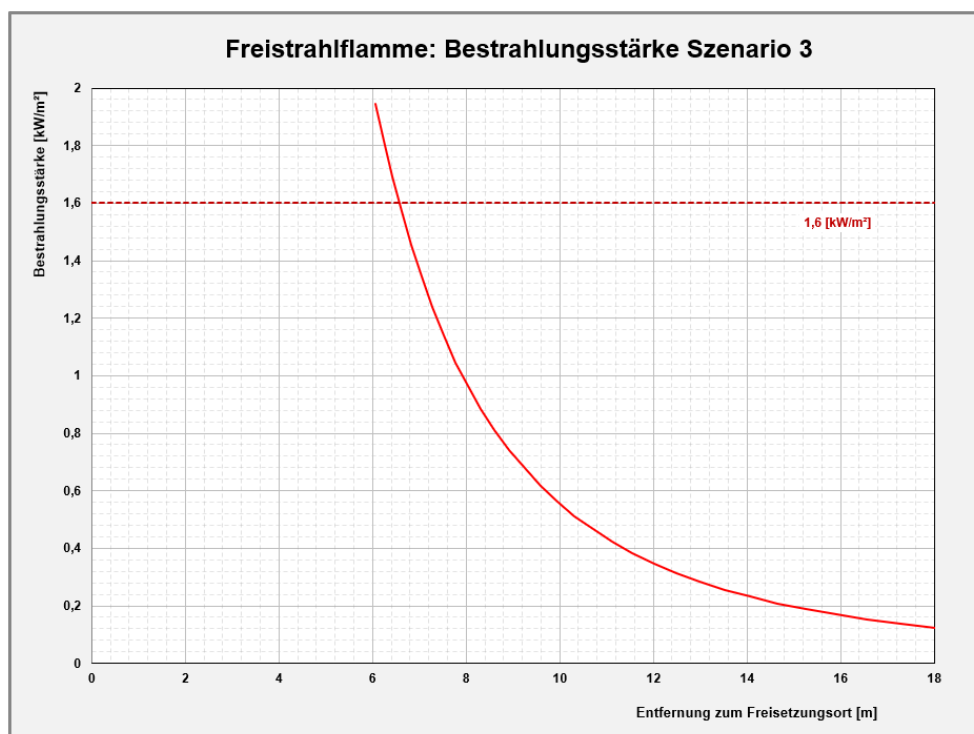
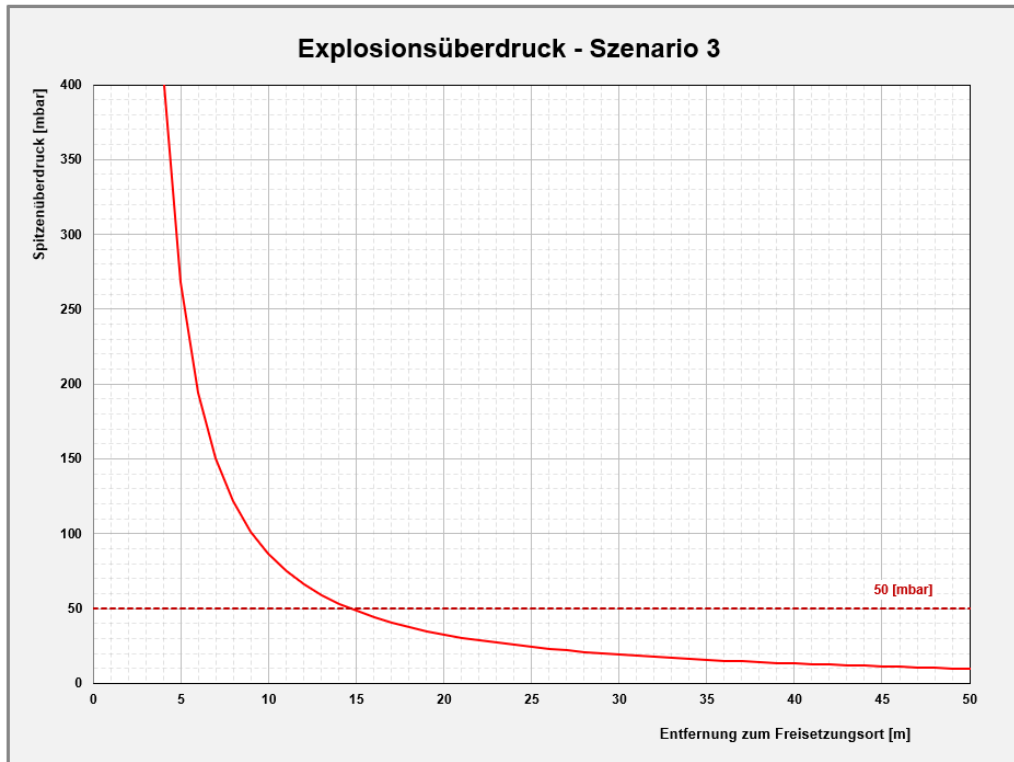


Abbildung 13: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit zur Entfernung vom Freisetzungsort



**Abbildung 14: Explosionsüberdruck in Abhängigkeit zur Entfernung vom Freisetzungsort**

### 3.4.5.4 Zusammenfassung der Einzelfallbetrachtung und zeichnerische Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen aus den Szenarien 1, 2 und 3.2 sind in der nachfolgenden Tabelle 12 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 12: Berechnungsergebnis für das Szenario 1, 2 und 3 im Rahmen der Einzelfallbetrachtung für die geplante Anlage**

Szenario	Entfernung bis zur Unterschreitung der Grenzwerte	
	Brand – Wärmestrahlung (1,6 kW/m <sup>2</sup> )	Explosion – Spitzenüberdruck (0,05 bar)
<b>Szenario 1:</b> - Druck: 625 barg - Leckgröße: 160 mm <sup>2</sup>	10 m	-*)
<b>Szenario 2:</b> - Druck: 500 barg - Leckgröße: 50 mm <sup>2</sup>	20 m	50 m
<b>Szenario 3:</b> - Druck: 500 barg - Leckgröße: 54 mm <sup>2</sup>	10 m	20 m

\*) der entsprechende Grenzwert wird nicht erreicht

Wie aus Tabelle 12 ersichtlich ergeben sie im Rahmen der Einzelfallbetrachtung gemäß KAS-63 [5] wesentlich kleinere angemessene Sicherheitsabstände wie bei den pauschalen Sicherheitsabstände gemäß KAS-63 [5]. Der Grund liegt hier im Wesentlich bei den viel kleineren Freisetzungsmassenströme in der Neuanlage Whylen2.

## 4 Zusammenfassung und abschließende Bewertung

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) plant zusammen mit der naturenergie hochrhein AG (ED) im Rahmen des Verbundprojekts „Reallabor H2-Wyhlen“ die Erweiterung einer bereits vorhandenen Power-to-Gas-Anlage (PtG-Anlage) am Standort des Rhein-Wasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen. Bei der geplanten Erweiterung handelt es sich um eine weitere PtG-Anlage (PtG-Wyhlen2). Für diese geplante Erweiterung ist ein Genehmigungsverfahren gemäß § 16 BImSchG erforderlich. Des Weiteren handelt es sich um eine Anlage, welche unter den Anwendungsbereich der 12. BImSchV fällt. Zu den hieraus resultierenden Pflichten für den künftigen Betreiber zählen u.a. die Ermittlung der angemessenen Sicherheitsabstände gemäß KAS-63 Leitfaden. Die TÜV Rheinland Industrie Service GmbH wurde mit der Erstellung dieses Gutachtens gemäß den aktuellen geltenden Bestimmungen beauftragt. Gegenstand der Betrachtung ist die Neuanlage PtG-Wyhlen2.

Die Ermittlung der angemessenen Abstände für die PtG-Wyhlen2 erfolgte auf Basis des im November 2023 erlassenen Leitfadens KAS-63 [5]. Er dient als Grundlage für die Ermittlung angemessener Abstände für Anlagen mit gasförmigem Wasserstoff. Weitere gehandhabte Stoffe sind für die Ermittlung der angemessenen Abstände nicht relevant und werden nicht weiter betrachtet.

Für die Neuanlage PtG-Wyhlen2 wurden 4 Szenarien ermittelt, die in Tabelle 4 in Kapitel 3.1 dargestellt sind. Gemäß den Vorgaben im KAS-63 Leitfaden [5] ergeben sich für diese Szenarien nachfolgende pauschale Sicherheitsabstände (→ siehe Tabelle 13).

**Tabelle 13: Abstandsempfehlungen gemäß KAS-63**

Szenario	Freisetzungsort	Druck [barg]	Leckgröße [mm <sup>2</sup> ]	Anzuwendender Druckbereich gemäß KAS-63	Abstandsempfehlung gemäß KAS-63 (pauschaler Abstand)
1	Verteilerstation im Bereich der H2-Verdichter	625	180	600 ≤ P < 800 bar	100 m
2	Hochdruckspeicher	500	180	400 ≤ P < 600 bar	95 m
3.1	Trailer-Abfüllstation	625	180	600 ≤ P < 800 bar	100 m
3.2	Trailer-Abfüllstation	500	180	400 ≤ P < 600 bar	95 m

Zur Validierung dieser Ergebnisse wurden die Austrittsmassenströme für die in Tabelle 4 festgelegten Szenarien sowie die tatsächlichen Austrittsmassenströme in der geplanten Anlage ermittelt und gegenübergestellt. In nachfolgender Tabelle 14 ist diese Gegenüberstellung dargestellt.

**Tabelle 14: Gegenüberstellung Austrittsmassenströme:  
Pauschale Sicherheitsabstände KAS-63, berechnete Werte nach gegebenen Parametern und  
tatsächliche Wert nach Betriebsbedingungen (→ siehe auch Tabelle 7 und Tabelle 8)**

Szenario	Freisetzungsort	Massen- strom gemäß KAS 63	Massen- strom gemäß KAS 63	Maximaler theoretischer Austrittsmassenstrom bei Betriebsdruck	Tatsächlicher maximaler Austrittsmassenstrom bei Betriebsdruck
		Untere	Obere	[kg/s]	[kg/s]
1	Verteilerstation im Bereich der H2-Verdichter	3,6	4,6	3,4	0,025 ist begrenzt durch die tatsächliche H <sub>2</sub> -Pro- duktionsmenge im Elektrolyseur auf 90 kg/h
2	Hochdruck- speicher	2,6	3,6	0,86	0,86
3.1	Trailer- Abfüllstation	3,6	4,6	1,14	0,025 ist begrenzt durch die tatsächliche H <sub>2</sub> -Pro- duktionsmenge im Elektrolyseur auf 90 kg/h
3.2	Trailer- Abfüllstation	2,6	3,6	0,86	0,056 ist durch Überströmventil begrenzt auf max. 200 kg/h

Die Austrittsmassenströme nach KAS-63 werden bei den Szenarien 1, 3.1 und 3.2 jedoch nicht erreicht. Der Grund hierfür liegt in der maximalen H<sub>2</sub>-Produktionsmenge des Elektrolyseurs mit 90 kg/h und der erforderlichen Begrenzung des Massenstroms beim Befüllen des Trailers (max. 200 kg/h).

Wie aus Tabelle 14 ersichtlich, liegen die tatsächlich möglichen Austrittsmassenströme deutlich unter den Massenströmen auf deren Grundlage die pauschalen Sicherheitsabstände gemäß KAS-63 beruhen. Hieraus ist zu folgern, dass diese pauschalen Sicherheitsabstände nicht die tatsächlichen Gegebenheiten der geplanten PtG-Whylen2 abbilden. Zur Prüfung dieses Sachverhalts wurde zusätzlich eine Einzelfallbetrachtung gemäß KAS-63 durchgeführt. In Bezug auf die Szenarien 3.1 und 3.2 konnte auf eine Einzelfallbetrachtung zu Szenario 3.1 verzichtet. Dieses Szenario wird durch das Szenario 3.2, welches einen etwa doppelt so große Austrittsmassenstrom aufweist, mit abgebildet. Im Rahmen der Einzelfallbetrachtung wird dieses deshalb nachfolgend als Szenario 3 bezeichnet.

Das Ergebnis dieser Einzelfallbetrachtung ist in Tabelle 15 zusammengefasst.

**Tabelle 15: Berechnungsergebnis für das Szenario 1, 2 und 3 im Rahmen der Einzelfallbetrachtung für die geplante Anlage**

Szenario	Entfernung bis zur Unterschreitung der Grenzwerte	
	Freistrahlf Flamme → Wärmestrahlung (1,6 kW/m <sup>2</sup> )	Gaswolkenexplosion → Explosionsüberdruck (0,05 bar)
Szenario 1	10 m	-*)
Szenario 2	20 m	50 m
Szenario 3	10 m	20 m

\*) der entsprechende Grenzwert wird nicht erreicht

Die Einzelfallbetrachtung ergibt deutlich geringere Radien für die Risiken Brand und Explosion als es bei der pauschalen Betrachtung gemäß KAS-63 [5] der Fall ist. Die Ausbildung einer explosionsfähigen Masse ist bei Szenario 1 aufgrund des geringen Massenstroms nicht gegeben, so dass hier ein angemessener Sicherheitsabstand nur für das Risiko Brand (→ Freistrahlf Flamme) ermittelt werden konnte. Abbildung 15 zeigt die Konturen nach dem Ergebnis der Einzelfallbetrachtung. Für die Szenarien 2 (blau) und 3 (orange) wurden mehrere Freisetzungsorte definiert, so dass hier eine Umhüllende aus allen Radien (Konturen) gebildet wurde.



**Abbildung 15: Ergebnisdarstellung Einzelfallbetrachtung – Abstandkonturen (Quelle: Google Earth Pro)**

Die ermittelten angemessenen Sicherheitsabstände verlaufen zum größten Teil innerhalb des gelb dargestellten Betriebsgeländes der naturenergie hochrhein AG Laufkraftwerk Whylen. Lediglich im südwestlichen Bereich überschreitet der angemessene Sicherheitsabstand für das Szenario 2 die Betriebsgrenze und schneidet geringfügig den Verkehrsweg Rhein. Die Wohngebiete Nr. 1 und Nr. 2 nordöstlich des Betriebsbereiches liegen deutlich außerhalb der Konturen der ermittelten angemessenen Sicherheitsabstände. Auch die Ländergrenze Deutschland-Schweiz bleibt hiervon unberührt.

Abbildung 16 zeigt den Rheinabschnitt auf Höhe des Standorts der geplanten Anlagen wie auch das dort befindliche Wasserkraftwerk. Die ermittelten angemessenen Abstände aus der Detailbetrachtung sind dort ebenfalls zu entnehmen. Auf der gegenüberliegenden Augster Rheinseite in der Schweiz ist die Großschiffahrtsschleuse für die Passage der Staustufe zu erkennen. Auf Grund dieses Sachverhalts ist anzunehmen, dass sich Passagier- und Frachtschiffe in diesem Streckenabschnitt in der Regel auf der Schweizer Rheinseite befinden, um die dort befindliche Schleuse für die Passage der Staustufe zu nutzen. Ein reger Schiffsverkehr ist in diesem Bereich somit nicht zu erwarten.

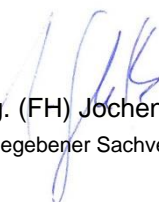


**Abbildung 16: Rhein mit Schleuse auf der Augster Seite (Quelle: Google Earth Pro)**

Aus Sicht der Sachverständigen führt die geplante Erweiterung der Power-to-Gas-Anlage (PtG-Anlage) am Standort des Rhein-Wasserkraftwerks Grenzach-Wyhlen mit der Errichtung einer neuen Wasserstoffproduktionsanlage mit anschließender Speicherung im Hochdruckbereich, Abfüllstation und der dazugehörigen Einrichtungen unter Berücksichtigung der nach dem Leitfaden KAS-63 vorgegebenen Randbedingungen zu keinen nachteiligen Auswirkungen auf die umliegende Schutzobjekte im Sinne des BImSchG.

Ludwigshafen, den 08. Dezember 2023

Die Sachverständigen

  
Dipl.-Ing. (FH) Jochen Schelb  
Bekannt gegebener Sachverständiger nach § 29b BImSchG

Dr.-Ing. Arizal  
Bekannt gegebener Sachverständiger nach § 29b BImSchG

  
Dipl.-Ing. (FH) Carmen Moos  
Bekannt gegebene Sachverständige nach § 29b BImSchG



## 5 Literaturverzeichnis

- [1] *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*, in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1G des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792) geändert worden ist.
- [2] „Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV),“ in der Fassung der Neubekanntmachung vom 15. März 2017 (BGBl. I S. 483 ber. BGBl. I S. 3527), die durch Artikel 107 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328, 1340) geändert worden ist.
- [3] Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (Seveso-III-Richtlinie), zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates, Das Europäische Parlament und der Rat der Europäische Union, 2012.
- [4] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV) vom 26. November 2010 (BGBl. I S. 1643), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S 3115, 3116), zuletzt geändert 3.Februar.2015 Hrsg.
- [5] „Leitfaden KAS-63: Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstands für Anlagen mit gasförmigem Wasserstoff,“ Kommission für Anlagensicherheit - KAS, November 2023.
- [6] *DECHEMA Statuspapier: Auswirkungsbetrachtungen bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzungen in der Prozessindustrie – Methodenübersicht und industrielle Anwendung, Dritte Auflage,*, Januar 2017.
- [7] *Hinweise zur Definition zum "angemessenen Sicherheitsabstand" nach § 3 Absatz 5c BImSchG (LAI Beschluss TOP 10.1 146.LAI)*, LAI-Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz, 13.09.2022.
- [8] *Geoportal des Landes Baden-Württemberg*, <https://www.geoportal-bw.de>.
- [9] „CAMEO Chemicals: Database of Hazardous Materials,“ U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), [Online]. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/>. [Zugriff am August 2023].
- [10] „GESTIS-Stoff-Datenbank: Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,“ [Online]. Available: <https://gestis.dguv.de/>. [Zugriff am April 2023].
- [11] *Programm für numerische Störfallsimulation (ProNuSs), Version 9.44.9*, ProNuSs Engineering GmbH - DE 12529 Schönefeld, zuletzt aktualisiert: Oktober 2023.
- [12] „Gefahrstoffinformationssystem Chemikalien der BG RCI und der BGHM,“ [Online]. Available: <https://www.gischem.de/>. [Zugriff am März 2023].
- [13] *Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE, and Flash Fire Hazards*, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2nd. Ed., 2010.