



# Einzelfallprüfung

zur Bestimmung des  
angemessenen Sicherheitsabstandes

für die

BGA der Biogas Wrohm GmbH & Co. KG

An d. B 203 (Flur 7 Flurstücke 90, 89 und 110)

25799 Wrohm

Projektnummer WY 23 Z0021

Stand: 04. November 2024 – Revision 1

## **horst weyer und partner gmbh**

Schillingsstraße 329

52355 Düren

**Tel.:** +49 (0) 41 06 - 64 04 - 203

**Fax:** +49 (0) 24 21 - 69 09 1 - 201

**E-Mail:** [b.michelsen@weyer-gruppe.com](mailto:b.michelsen@weyer-gruppe.com)

**Web:** [www.weyer-gruppe.com](http://www.weyer-gruppe.com)

Britt Michelsen M.Sc.

Bekannt gegebene Sachverständige

nach § 29b BImSchG



# Inhaltsverzeichnis

1.	<b>Zusammenfassung</b> .....	3
2.	<b>Aufgabenstellung</b> .....	4
3.	<b>Angaben zu den Sachverständigen</b> .....	4
4.	<b>Unterlagen</b> .....	5
4.1	<b>Prüfgrundlagen, Betreiberunterlagen</b> .....	5
4.2	<b>Rechtsgrundlagen, Regelwerke, Programme, Quellen</b> .....	5
5.	<b>Ermittlung angrenzender schutzbedürftiger Nutzung</b> .....	5
6.	<b>Freisetzungsszenarien</b> .....	9
7.	<b>Ausbreitung und Explosion von Methan</b> .....	12
8.	<b>Freistrah-Flamme</b> .....	16
9.	<b>Ausbreitung Schwefelwasserstoff</b> .....	18
10.	<b>Abschlussformel</b> .....	21
11.	<b>Anhang</b> .....	22



## 1. Zusammenfassung

Im Zuge der Erweiterung und des Umbaus der Biogasanlage der Wrohm GmbH & Co. KG, wurden verschiedene Störfallszenarien zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes, im Sinne von § 3 Absatz 5c BImSchG, betrachtet. Es wurde ein Austritt des störfallrelevanten Stoffes Biogas untersucht. Hierbei wurden die örtlichen und prozesstechnischen Detailkenntnisse einbezogen. Dabei ergaben sich folgende Erkenntnisse:

### Explosion

Die Explosionsereignisse, die aus der ausgetretenen Biogaswolke resultieren, führen zu keinen Explosionsdrücken, die als ernste Gefahr einzustufen sind.

### Brand

Die Auswirkung des Abbrandes eines Biogas-Freistrahls, in Hinblick auf die Wärmestrahlung, führt im Bereich von ca. 124 m (Fermenter, Nachgärer und Endlager 1) und ca. 97 m (Gärproduktlager 2) zu einer ernsten Gefahr.

### H<sub>2</sub>S-Ausbreitung

Die Ausbreitung von Schwefelwasserstoff führt zu keinen Konzentrationen, die als ernste Gefahr einzustufen sind.

Die bei den Ausbreitungsberechnungen der Einzelfallbetrachtung ermittelten Abstände sind in der nachfolgenden Tabelle für die betrachteten Einzel-Szenarien zusammengefasst.

**Tabelle 1: Ermittelte maximale Abstände der Szenarien**

Kriterium / Szenario	Grenzwert	Sicherheitsabstand	Gemessen von
Gaswolkenexplosion	100 mbar	Wert wird nicht erreicht	Sämtliche gasführende Behälter
Wärmestrahlung: Freistrahlf Flamme	1,6 kW/m <sup>2</sup>	124 m	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1
		97 m	Endlager 2
Schwefelwasserstoffausbreitung	30 ppm	Wert wird nicht erreicht	Sämtliche gasführende Behälter

Aus dem Szenario „Freistrahlf Flamme“ resultiert somit ein abstandsbestimmender angemessener Sicherheitsabstand von ca. 124 m bzw. 97 m. Der umhüllende Abstand ist in Anhang 1 graphisch dargestellt.

Innerhalb des angemessenen Sicherheitsabstands liegen keine schutzbedürftigen Gebiete. Eine Betroffenheit kann somit ausgeschlossen werden.



## 2. Aufgabenstellung

Die Biogas Wrohm GmbH & Co. KG plant den Umbau und die Erweiterung der Biogasanlage in Wrohm. Um ein größeres Rohgasspeichervolumen darzustellen, sollen auf die bestehenden Behälter größere Gasspeicherdächer aufgesetzt werden. Zudem soll ein neues Endlager errichtet werden.

Die Anlage befindet sich im Kreis Dithmarschen in Schleswig-Holstein. Die Adresse des Betriebsbereichs lautet:

An d. B 203 (Flur 7 Flurstücke 90, 89 und 110)  
25799 Wrohm

Im Rahmen der Genehmigung der Erweiterung der Anlage soll die Zulässigkeit hinsichtlich der Auswirkung von Störungen auf schutzbedürftige Gebiete ermittelt werden. Mit Hilfe dieses Gutachtens soll geprüft werden, ob die Empfehlungen gemäß dem Leitfaden KAS-18 in Verbindung mit der Arbeitshilfe KAS-32 für die Anlage eingehalten werden können. Es ist zu ermitteln, welcher angemessene Sicherheitsabstand sich unter Berücksichtigung der Detailkenntnisse ergibt.

Die wesentliche Gefahr beim Betrieb geht von der Freisetzung von Biogas mit anschließendem Brand bzw. Explosionsereignis aus. Darüber hinaus bestehen Gefährdungen durch den im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), der als akut toxisch Kategorie 2 beim Einatmen eingestuft ist.

## 3. Angaben zu den Sachverständigen

Von Seiten der horst weyer und partner gmbh wurde die Einzelfallbetrachtung von

- Frau Britt Michelsen M.Sc.  
Sachverständige nach § 29b BImSchG  
(Fachgebiete: 1, 3 und 13)

erstellt.

Rev. Nr.	Datum	Art der Änderung
00	08.05.2023	Erstellung
01	04.11.2024	Ergänzung eines Hinweises zu Knicks und Wasserschutzgebieten. Korrektur des Abstandes in der Zusammenfassung, Korrektur der Werte in der Tabelle 3



## **4. Unterlagen**

### **4.1 Prüfgrundlagen, Betreiberunterlagen**

Die folgenden Unterlagen des Betreibers wurden für die Beurteilung herangezogen:

- [U1] Lageplan – Erweiterung einer Biogasanlage, Architekturbüro Falkenhagen + Falkenhagen, 13.03.2023

### **4.2 Rechtsgrundlagen, Regelwerke, Programme, Quellen**

Die folgenden Rechtsgrundlagen wurden für die Beurteilung herangezogen:

- [R1] BImSchG, Bundes Immissionsschutzgesetz; Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
- [R2] 12. BImSchV, Störfall-Verordnung
- [R3] KAS-18, Leitfaden, Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG, Kommission für Anlagensicherheit
- [R4] KAS-32 Arbeitshilfe, szenarienspezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18, 2. überarbeitete Fassung
- [R5] Arbeitshilfe – Berücksichtigung des Art. 13 Seveso-III Richtlinie im baurechtlichen Genehmigungsverfahren
- [R6] KAS-47, Jahresbericht der KAS 2017, 22. Juni 2018
- [R7] GESTIS Stoffdatenbank, online, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
- [R8] ProNuSs 9.42.0, Programm zur Berechnung der Auswirkungen von Stoff- und Energiefreisetzungen, ProNuSs Engineering GmbH
- [R9] Effects 11.5.1, Based upon the Yellow Book CPR14E, Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
- [R10] A. Habib und M. Kluge, Ausflussziffer und Brandverhalten von Rissen in der Folienabdeckung von Biogasanlagen, Technische Sicherheit, Bd. 9 Nr. 07/08, Juli/August 2019
- [R11] Hinweise und Definitionen zum „angemessenen Sicherheitsabstand“ nach § 3 Absatz 5c BImSchG UMK-Umlaufbeschlüsse 51/2022, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), 13.09.2022



## 5. Ermittlung angrenzender schutzbedürftiger Nutzung

Der Leitfaden KAS-18 [R3] (Stand 2010) konkretisiert die Anforderungen aus dem § 50 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Die Abstandsempfehlungen in Kap. 3.1 des KAS-18 bieten einen Anhalt dafür, ob durch ein weiteres Zusammenrücken von Betriebsbereich und schutzbedürftigem Gebiet der Planungsgrundsatz des § 50 Satz 1 BImSchG gefährdet sein kann. Die Abstandsempfehlungen sind in diesem Sinne als Achtungsabstände zu verstehen.

Die Achtungsabstände werden von der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) als unabhängiges Gremium formuliert. Die aktuellen Abstandsempfehlungen finden sich in Anhang 1 des Leitfadens KAS-18. Die pauschalen Festlegungen des Leitfadens KAS-18 hängen vom Vorhandensein verschiedener gefährlicher Stoffe ab, deren störfallbedingte Freisetzung angenommen wird. Auf Basis einer Einzelfallprüfung durch Ausbreitungsberechnungen kann jedoch ein abweichender Abstand, der sogenannte angemessene Sicherheitsabstand, ermittelt werden. Das vorliegende Gutachten dient im Wesentlichen dazu, diesen Abstand festzulegen.

Da bei bestimmten Anlagentypen die im KAS-18 definierten Randbedingungen nur eingeschränkt übertragbar sind, wurde seitens der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) die Arbeitshilfe KAS-32 (Stand 2015) erarbeitet, die bei der Anwendung szenarienspezifischer Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18 unterstützen soll. Der Leitfaden KAS-32 definiert Achtungsabstände sowie Randbedingungen für die Ermittlung angemessener Sicherheitsabstände für spezielle Anlagentypen, wie Tankläger, Biogasanlagen oder Galvaniken.

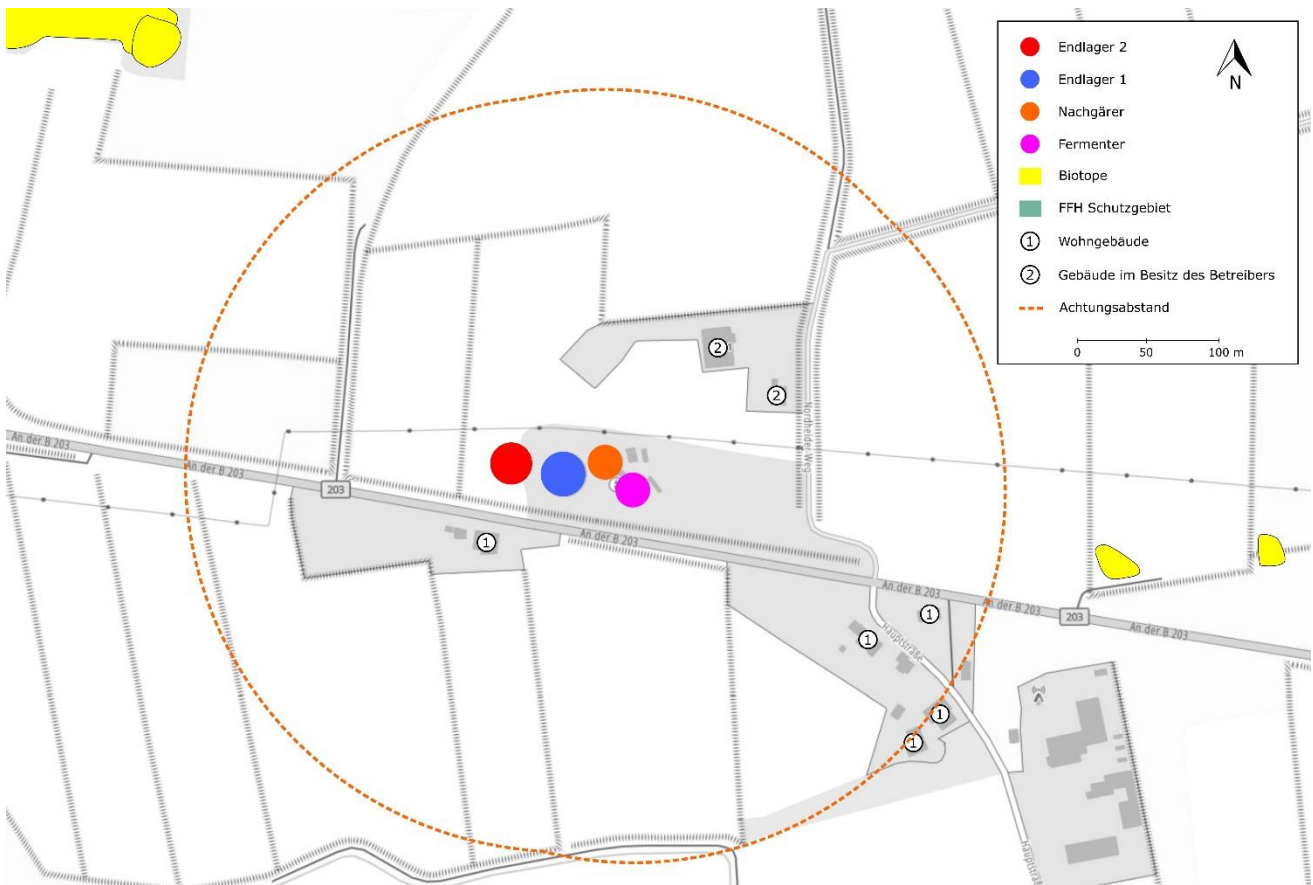
Werden die Achtungsabstände im Einzelfall unterschritten, ist ausgehend von der konkreten Lage und Beschaffenheit des Betriebsbereiches systematisch zu beurteilen, welcher Abstand im konkreten Planungsfall angemessen ist (angemessener Sicherheitsabstand). Dabei werden die getroffenen Vorkehrungen und Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen und zu deren Begrenzung berücksichtigt.

In der im November 2014 erarbeiteten Fassung des KAS-32 wurde der Achtungsabstand bei Biogasanlagen auf 200 m festgelegt. In einer überarbeiteten Fassung vom November 2015 wird ein Achtungsabstand von 250 m empfohlen, sofern bekannt ist, dass die Befestigung der Folie mit Hilfe der Klemmschlauchtechnik erfolgt oder nicht ausgeschlossen werden soll.

Bei der Erstellung des Gutachtens war noch keine endgültige Entscheidung über die Befestigung des neuen Dachs des Endlagers 1 getroffen. Da es bisher über einen Klemmschlauch verfügt, wird ein Achtungsabstand von 250 m festgelegt. Dieser Abstand gilt auch für den Nachgärer und den Fermenter.

Dadurch, dass die Gasspeicherfolien verschraubt werden sollen, ergibt sich für das geplante Endlager 2 ein Achtungsabstand von 200 m.

Abbildung 1 zeigt die nähere Umgebung der Biogasanlage.



**Abbildung 1:** © „Daten: Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie, Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein“ Ergänzt um die Position der Biogasanlage

Gemäß KAS-18 sind insbesondere folgende Gebiete, Nutzungen und/oder Objekte als schutzbedürftig einzustufen:

- Baugebiete mit dauerhaftem Aufenthalt von Menschen, wie reine Wohngebiete, Allgemeine Wohngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete und Kerngebiete.
- Gebäude oder Anlagen zum nicht nur dauerhaften Aufenthalt von Menschen oder sensiblen 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
- Wichtige Verkehrswege z. B. Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen, ICE-Trassen.



Wohngebiete sind laut der Fachkommission für Städtebau nicht ausschließlich im Sinne der Gebietskategorien der BauNVO zu verstehen. Sie sind dahingehend zu definieren, dass es sich um Flächen handeln muss, die zumindest überwiegend dem Wohnen dienen oder die in einer Weise genutzt werden, die unter Gesichtspunkten des Immissions- und Störfallschutzes ähnlich wie das Wohnen eines besonderen Schutzes bedürfen. Daher werden einzelne Wohngebäude in der Regel nur dann erfasst, wenn sie einem Wohngebiet vergleichbare Dimensionen aufweisen. In dem am 13. und 14. November 2014 von der Bauministerkonferenz beschlossenen Konzept zur Umsetzung der Seveso-III-Richtlinie in der Musterbauordnung (MBO) ist das der Fall bei der Errichtung, Änderung oder Nutzungsänderung eines oder mehrerer Gebäude, wenn dadurch dem Wohnen dienende Nutzungseinheiten mit einer Größe von insgesamt mehr als 5.000 m<sup>2</sup> Brutto-Grundfläche geschaffen werden.

Wie man der Abbildung 1 erkennen kann, ist die Anlage umgeben von einzelnen Wohngebäuden, die nach der oben dargestellten Definition nicht als schutzbedürftiges Gebiet gelten.

Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche sowie öffentlich genutzte Gebäude und Anlagen mit Publikumsverkehr liegen nicht im Achtungsabstand der Anlage.

Die Orientierungswerte zur Einstufung von Verkehrswegen können der „Fragen und Antworten zur Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie)“ unter der Ref. Nr. B 18 entnommen werden:

*„Die praktische Bewertung eines Verkehrsweges als „wichtiger Verkehrsweg“ ist immer von den individuellen Gegebenheiten abhängig, da die Verteilung der Verkehrsdichte stark schwanken kann. Verkehrswege mit Verkehrsdichten unterhalb der folgenden Werte sollten nicht als „wichtige Verkehrswege“ betrachtet werden:*

*- Straßen mit weniger als 10.000 PKW in 24 Stunden*

*Verkehrswege mit Verkehrsdichten oberhalb der folgenden Werte sollten jedenfalls als „wichtige Verkehrswege“ betrachtet werden:*

- Autobahnen (zulässige Höchstgeschwindigkeit > 100 km/h) mit mehr als 200.000 PKW in 24 Stunden oder mehr als 7.000 PKW in der verkehrsreichsten Stunde,*
- andere Straßen (zulässige Höchstgeschwindigkeit < 100 km/h) mit mehr als 100.000 PKW in 24 Stunden oder mehr als 4.000 PKW in der verkehrsreichsten Stunde*

Die Anlage liegt direkt an der Bundesstraße B 203. Laut einer Verkehrszählung aus dem Jahr 2021 der Bundesanstalt für Straßenwesen, verkehren auf dem Streckenabschnitt ca. 7.000 Kfz/24 h. Basierend auf den genannten Zahlen kann somit davon ausgegangen werden, dass die Bundesstraße kein wichtiger Verkehrswert ist. Es liegen somit keine wichtigen Verkehrswege im Achtungsabstand der Anlage.



Der § 50 BImSchG sieht zudem „unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete“ als schutzbedürftige Gebiete an. Um eine Einschätzung von möglichen Störfallauswirkungen auf Naturschutzgebiete geben zu können, wurde von der Kommission für Anlagensicherheit ein AK Natur gegründet. Die Ergebnisse des AK Natur zeigen, dass eine stoffspezifische Festlegung von angemessenen Sicherheitsabständen basierend auf der Wirkung von chemischen Stoffen auf Ökosysteme unmöglich erscheint. Es liegen nur vereinzelt Werte zur Auswirkung einzelner Stoffe auf die Flora vor. Entsprechend dieser Werte kann gefolgert werden, dass die Flora mitunter wesentlich empfindlicher auf chemische Stoffe als der Mensch reagiert. Ob dies zu einer dauerhaften Schädigung führt, ist allerdings nicht belastbar feststellbar. Für die Betrachtungen in diesem Gutachten wurde dementsprechend ausschließlich die Grenzwerte des Leitfadens KAS-18 und KAS-32, welche die Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen berücksichtigen, verwendet.

Wie man der Abbildung 1 entnehmen kann, liegt kein unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolles oder besonders empfindliches Gebiet im Achtungsabstand der Anlage.

Hinweis: Knicks sind gemäß § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) i.V.m. § 21 Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG) in Schleswig-Holstein gesetzlich geschützte Biotope. Aufgrund dieser Festlegung dürften in Schleswig-Holstein praktisch keine Biogasanlagen mehr gebaut werden, solange sich in der Nähe Knicks befinden. Dies trifft auf die meisten Anlagen zu. Um dies zu vermeiden, hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) einen Umlaufbeschluss zum angemessenen Sicherheitsabstand verfasst. Darin wurde festgelegt, dass Biotope nur dann als besonders wertvolle bzw. besonders empfindliche Gebiete im Sinne von § 3 Abs. 5d BImSchG einzustufen sind, sofern sie Gebietscharakter besitzen [R11]. Diese Definition wurde gewählt, da keine Einigung über eine Mindestgröße der Biotope erzielt werden konnte. Da alle an die Anlage angrenzenden Knicks in den Biotopbögen mit einer Größe von 0 m<sup>2</sup> ausgewiesen sind, kann allerdings davon ausgegangen werden, dass sie keinen Gebietscharakter besitzen. Wasserschutzgebiete gehören laut KAS-47 nicht der Rechtsmaterie des Naturschutzes (Biotop- und Artenschutzes) an, sondern der Wassergesetzgebung. Sie sind somit ebenfalls ausgenommen.

## 6. Freisetzungsszenarien

Zur Bestimmung der Gefahren wurde die Freisetzung von Biogas aus einem Riss in der Gasspeicherfolie unterstellt. Infolge dieser Freisetzungen wurden dann die resultierenden Gefahren durch Brand- bzw. Explosionsereignisse sowie der Ausbreitung des im Rohbiogas enthaltenen Schwefelwasserstoffs (H<sub>2</sub>S) ermittelt.

Dabei wurden die nachfolgenden Szenarien erarbeitet:

### 1) Zünddistanz und Gaswolkenexplosion:

Aus einem Riss in der Gasspeicherfolie tritt Biogas aus. Es bildet sich bei der anschließenden Gasausbreitung eine zündfähige Wolke aus Biogas und Umgebungsluft aus. Die maximale Ausdehnung der Gaswolke - bezogen auf die untere Explosionsgrenze - wurde ermittelt. Die



Wolke wird gezündet und die sich ergebenden Explosionsüberdrücke in der Umgebung berechnet.

2) Brand:

Es wurde angenommen, dass sich das ausströmende Biogas sofort entzündet, ohne vorher eine zündfähige Mischung mit der Umgebungsluft zu bilden. Die Wärmestrahlung dieses somit ausgebildeten Freistrahlsbrands auf die Umgebung wurde berechnet.

3) H<sub>2</sub>S-Ausbreitung:

Aus einem Riss in der Gasspeicherfolie tritt Biogas mit einem Anteil von 500 ppm H<sub>2</sub>S aus. Die Ausbreitung des toxischen Gases H<sub>2</sub>S wurde bewertet.



#### Grundsätzliche Annahmen:

- Fermenter, Nachgärer, Endlager 1
  - Austritthöhe: 6 m
  - Dach: Folienspeicher; Klemmschlauch
- Endlager 2
  - Austritthöhe: 10 m
  - Dach: Folienspeicher; verschraubt

Aus der Betriebserfahrung kann davon ausgegangen werden, dass das Biogas einen Anteil von maximal ca. 56 Vol. % Methan enthält. In der Berechnung wird konservativ ein Anteil von 60 % angenommen.

Entsprechend der Vorgabe des KAS-32 wird für die verschraubten Dächer eine Lochgröße von 0,6 m<sup>2</sup> angenommen. Für Dächer, die mit der Klemmschlauchtechnik festgehalten werden, wird eine Lochgröße von 1 m<sup>2</sup> verwendet.

Der maximale Druck in der Anlage beträgt 8 mbar. Hierbei handelt es sich um den Abblasedruck der Überdrucksicherungen. Es wird von einem Austritt des Biogases innerhalb des variablen Gasspeichervolumens ausgegangen. Realistisch ist davon auszugehen, dass sich der Überdruck in diesem Volumen in weniger als einer Sekunde abbaut und danach nur noch die Gewichtskraft der Biogasfolie sowie die Diffusion für einen Austritt von Biogas sorgen. Konservativ wird in diesem Gutachten, entsprechend den Vorgaben des KAS-32, trotzdem davon ausgegangen, dass das Biogas konstant mit einem Druck von 8 mbar austritt. Die minimale Temperatur des Gases beträgt ca. 15°C.

Die Ausbreitungsberechnungen wurden mit dem Programm EFFECTS [R9] der niederländischen TNO, sowie ProNuSs [R8] der ProNuSs Engineering GmbH durchgeführt.

Die numerischen Ergebnisse sind wegen der notwendigen Reproduzier- und Vergleichbarkeit exakt angegeben. Es ist zu beachten, dass es sich um grobe Näherungswerte handelt, die auf konservativen Annahmen beruhen.

In dem in der VDI-Richtlinie 3783 dargestellten Gauß-Modell, welches in diesem Gutachten zur Berechnung der Ausbreitung toxischer Gase verwendet wurde, wird die Turbulenz der Strömung durch experimentell ermittelte Streuungen erfasst. Die Experimente wurden für Quellentfernungen zwischen 100 m und 10.000 m durchgeführt. Bei kleineren Entfernungen werden die Streuungen interpoliert.



## 7. Ausbreitung und Explosion von Methan

Bei diesem Ereignis wurde unterstellt, dass durch einen Riss in der Gasspeicherfolie am Übergang zur Behälterwand Biogas austritt. Das Gas breitet sich in der Atmosphäre aus und bildet abhängig von den atmosphärischen Bedingungen mit der Umgebungsluft ein explosionsfähiges Gemisch.

Die für die Berechnung des Austrittsmassenstroms gemäß ISO 4126-10 wesentlichen Parameter sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Im ersten Schritt wurden die Stoffdaten des freigesetzten Biogases abgeschätzt.

**Tabelle 2: Parameter Biogas**

Parameter	Wert Berechnung	Einheit	Kommentar
Volumenanteil Methan im Biogas $x_{CH_4}$	0,6	-	
Volumenanteil Kohlenstoffdioxid im Biogas $x_{CO_2}$	0,4	-	
Gegendruck, absolut $P_0$	1,01325	bar <sub>absolut</sub>	Atmosphärendruck
Abblasedruck, absolut $P_{ab}$	1,02125	bar <sub>absolut</sub>	8 mbar – maximaler Überdruck in den Gasspeichern
Temperatur $T_{innen}$	15	°C	Minimale Gastemperatur
Molmasse Methan $M_{CH_4}$	16,04	$\frac{g}{mol}$	
Durchschnittliche Molmasse des Gasgemischs $M_{Gem}$	27,22	$\frac{g}{mol}$	Berechnet
Isentropenexponent $\kappa = c_p/c_v$ des Gasgemischs	1,4	-	konservative Annahme

Im zweiten Schritt wurde dann der Austrittsmassenstrom, wie in Tabelle 3 dargestellt, berechnet.

**Tabelle 3: Massenstrom Methan**

Parameter	Berechnung	Wert	Einheit	Kommentar
Druckverhältnis	$\frac{P_0}{P_{ab}}$	0,992	-	
Durchflusskoeffizient	$C = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{P_0}{P_{ab}} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left( \frac{P_0}{P_{ab}} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}$	0,0881	-	aus AD-A2 oder ISO 4126-10
Ausflussziffer $K_{dr}$		1	-	aus KAS-32



Parameter	Berechnung	Wert	Einheit	Kommentar
Spezifisches Volumen $v$	$v = R \cdot \frac{T_{innen}}{M_{Gem} \cdot p_{ab}}$	0,862	$\frac{m^3}{kg}$	
Massenstromdichte	$\dot{m} = K_{dr} \cdot C \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{ab}}{v}}$	42,9	$\frac{kg}{s \cdot m^2}$	
Leckfläche A		1	$m^2$	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1
		0,6		Endlager 2
Austrittsmassenstrom	$\dot{m}_{total} = \dot{m} \cdot A$	42,9	$\frac{kg}{s}$	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1
		25,8		Endlager 2
Massenstrom Methan	$\dot{m}_{CH_4} = \frac{\dot{m}_{total}}{M_{Gem}} \cdot x_{CH_4} \cdot M_{CH_4}$	15,2	$\frac{kg}{s}$	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1
		9,1		Endlager 2

Um sicher zu gehen, dass sich der quasi-stationäre Zustand ausbildet, wird in der weiteren Berechnung von einer kontinuierlichen Freisetzung ausgegangen. Die Auswirkungen sind somit unabhängig vom Gasvolumen gleich. Aus einem Behälter mit einem größeren variablen Gasvolumen würde zwar länger Gas ausströmen, da sich der quasi-stationäre Zustand aber bereits früher einstellt, führt ein längeres Ausströmen nicht zu einer Vergrößerung des explosionsfähigen Volumens.

Der Fermenter, der Nachgärer und das Endlager 1 haben die gleiche Austrittshöhe. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der angemessene Sicherheitsabstand der Behälter gleich groß ist.

Entsprechend der Vorgabe des KAS-32 wird eine mittlere Wetterlage mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion betrachtet. Die angenommene Windgeschwindigkeit beträgt 3 m/s. Die Berechnungen wurden in dem Programm EFFECTS [R9] durchgeführt, da es mit der VDI-Richtlinie 3783 aufgrund der geringen Dichte von Methan (bei den vorliegenden Prozessbedingungen) nicht ermöglicht die Ausdehnung der explosionsfähigen Wolke zu bestimmen.

In der Tabelle 4 sind die Eingabedaten und Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung zusammengestellt. Die maximale Ausdehnung wird unter der konservativen Annahme eines konstant maximalen Austritts erreicht.

**Tabelle 4: Eingabedaten und Ergebnisse**

Eingabedaten	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
Stoff	Methan	
Freisetzung	Kontinuierlich	
Austrittsrate [kg/s]	25,8	9,1



Eingabedaten	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
Freisetzungshöhe [m]	6	10
Umgebungstemperatur [°C]	20	
Stabilitätsklasse nach Pasquill	D (Neutral)	
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s]	3	
Beschreibung der Rauigkeitslänge	Büsche, verschiedene Hindernisse	
<b>Ergebnisse</b>		
Explosionsfähige Masse [kg]	350	55
Länge der explosionsfähigen Wolke [m]	110	52

Die entstehende Gaswolke wird gezündet und die Druckwirkungen (Explosionsüberdruck) werden bewertet. Dabei wurde unterstellt, dass das Explosionsereignis im Freifeld erfolgt (unverdämmt) und die Zündung durch eine Quelle mit niedriger Energie (z.B. durch einen Funken, Flamme, heiße Oberfläche, etc.) erfolgt.

In Tabelle 5 sind die entsprechenden Eingabedaten aufgeführt.

**Tabelle 5: Eingabedaten (Explosion im Freien)**

Eingabedaten	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
Stoff	Methan	
Gesamtmasse im explosionsfähigen Bereich [kg]	110	52
Stärke der Explosion (1=sehr schwache Explosion, 10=Detonation)	3 (Schwache Explosion, unverdämmt)	
Entfernung Freisetzungspunkt und Mittelpunkt der explosionsfähigen Wolke [m]	55	26

In Abbildung 2 ist der mit dem Multi-Energy-Modell berechnete Druckverlauf in Abhängigkeit der Quellentfernung des Explosionsereignisses dargestellt.

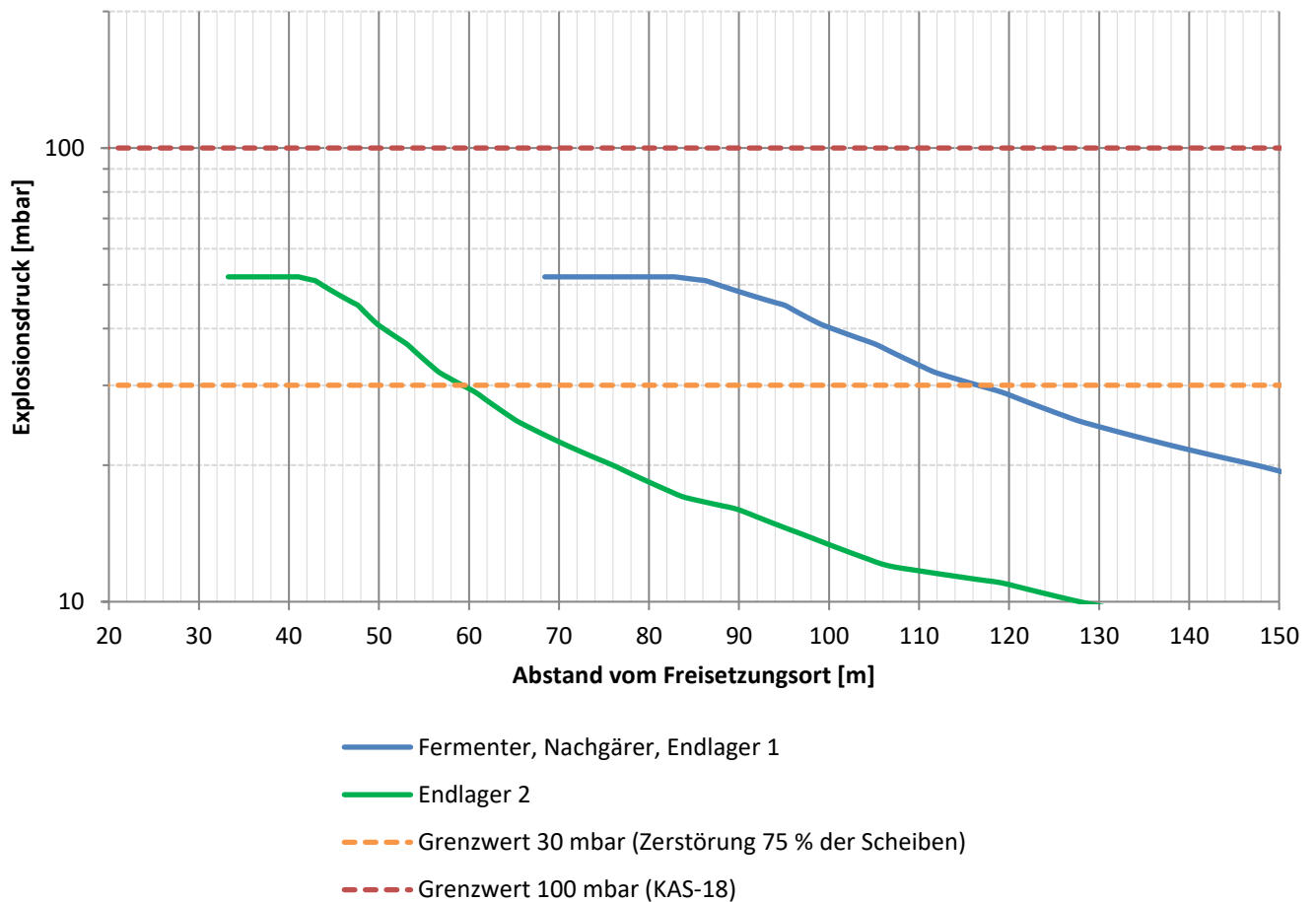
Die Berechnung des Druckverlaufs zeigt, dass bei dem gewählten Szenario bezüglich des Explosionsdrucks der relevante Grenzwert (100 mbar) für eine ernste Gefahr nicht überschritten wird. Hierbei wurden die Grenzwerte des KAS-18 herangezogen.

Eine Betroffenheit der angrenzenden schutzbedürftigen Gebiete kann somit ausgeschlossen werden.



**Tabelle 6: Ergebnisse Explosionsdruck**

Unterschrittener Grenzwert	Auswirkungen	Unterschritten in m Abstand vom Behälterrand	
		Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
175 mbar	Untere Grenze Trommelfellriss	Wert wird nicht erreicht	
<b>100 mbar (Grenzwert KAS-18)</b>	<b>Zerstörung von gemauerten Wänden</b>	<b>Wert wird nicht erreicht</b>	
30 mbar	Bruch von 75 % der Scheiben	60	118



**Abbildung 2: Explosionsdruck in Abhängigkeit von der Entfernung zum Freisetzungsort**



## 8. Freistrah-Flamme

Die Bestrahlungsstärke durch eine Freistrahflamme wird mit dem Programm ProNuSs ermittelt, da es die Möglichkeit bietet, das Johnson-Modell zu verwenden. Dieses wurde speziell für horizontal austretende Methan-Freistrahflammen entwickelt. Es wird, wie schon bei dem Explosions-Szenario, davon ausgegangen, dass sich das Biogas aus einem 0,6 m<sup>2</sup> bzw. 1 m<sup>2</sup> großen Leck ausbreitet.

Dabei werden die in Tabelle 7 dargestellten Werte verwendet. Zudem wird angenommen, dass die Flamme rußlos verbrennt. Es wurden die Wärmestromdichten einer waagerechten Freistrahflamme untersucht. Hierbei handelt es sich um eine konservative Annahme, da ein größerer Winkel der Flamme den angemessenen Sicherheitsabstand reduzieren würde.

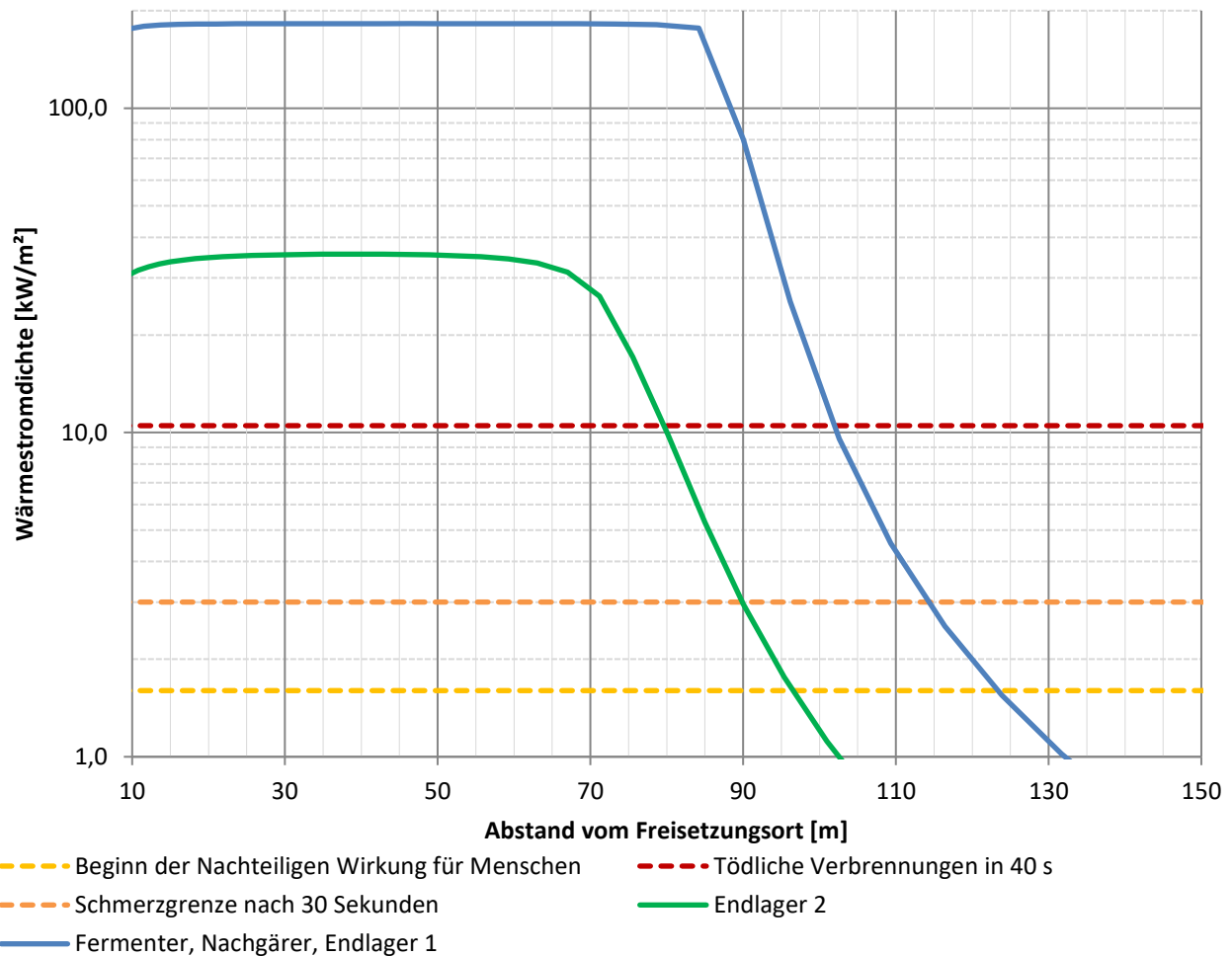
Tabelle 7: Eingabedaten der Freistrahflamme

Eingabedaten	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
Stoff	Methan	
Freisetzung	Kontinuierlich	
Massenstrom [kg/s]	25,8	9,1
Lochdurchmesser [mm]	1128 (Äquivalente Lochfläche von 1 m <sup>2</sup> )	874 (Äquivalent für eine Lochfläche von 0,6 m <sup>2</sup> )
Freisetzungshöhe [m]	6	10
Austrittswinkel zur Horizontalen [°]	0	
Umgebungstemperatur [°C]	20	
Exponent des Geschwindigkeitsprofils	0,28	
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s]	3	
Ausbreitungsklasse	Indifferent	
Anemometerhöhe [m]	10	

Die Tabelle 8 und die Abbildung 3 zeigen das Ergebnis der Berechnung der Wärmestrahlung durch eine Freistrahflamme.

Tabelle 8: Ergebnisse der Wärmestrahlung durch die Freistrahflamme

Unterschrittener Grenzwert	Auswirkungen	Unterschritten in m Abstand vom Behälterrann	
		Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
10,5 kW/m <sup>2</sup>	Tödliche Verbrennungen in 40 s	102	80
3 kW/m <sup>2</sup>	Schmerzgrenze nach 30 s	115	90
<b>1,6 kW/m<sup>2</sup> (Grenzwert KAS-18)</b>	<b>Beginn der nachteiligen Wirkung auf Menschen</b>	<b>124</b>	<b>97</b>



**Abbildung 3: Wärmestrahlung in Abhängigkeit vom Freisetzungsort durch eine Freistrahli-Flamme**

Innerhalb der ermittelten angemessenen Sicherheitsabstände liegt kein schutzbedürftiges Gebiet, wodurch keine Betroffenheit gegeben ist.

Hinweis: Sollte die Folie bei dem Endlager 1 verschraubt werden, so reduziert sich der angemessene Sicherheitsabstand auf ca. 90 m.



## 9. Ausbreitung Schwefelwasserstoff

Im Rahmen dieser Betrachtung wurde unterstellt, dass Biogas mit dem darin enthaltenen Schwefelwasserstoff aus einem Riss in der Gasspeicherfolie austritt und sich entsprechend der vorliegenden atmosphärischen Bedingungen ausbreitet. Entsprechend der Vorgabe des KAS-32 wird eine mittlere Wetterlage nach VDI Richtlinie 3783 mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion betrachtet. Die angenommene Windgeschwindigkeit beträgt 3 m/s.

Die Menge an Schwefelwasserstoff im Biogas hängt von dem Proteinanteil der Inputstoffe sowie der Behandlung im Fermenter ab. Tierische Inputstoffe haben hierbei einen höheren Proteinanteil als pflanzliche. In der Anlage werden sowohl pflanzliche als auch tierische Inputstoffe verwendet.

Aktuell beträgt die maximale Schwefelwasserstoffkonzentration im Rohbiogas ca. 60 ppm. Da die Inputstoffe im Zuge der Erweiterung verändert werden, wird konservativ in der Berechnung ein deutlich höherer Schwefelwasserstoffgehalt von 500 ppm verwendet. In der Tabelle 9 sind die Stoffdaten des freigesetzten Rohbiogases dargestellt.

**Tabelle 9: Parameter Biogas**

Parameter	Wert	Einheit	Kommentar
Temperatur	15	°C	Minimale Gastemperatur
Molmasse Schwefelwasserstoff	34	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$	
Durchschnittliche Molmasse des Gasgemischs $M_{Gem}$	28,62	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$	berechnet
$\kappa = c_p/c_v$ des Gasgemischs	1,4	-	konservative Annahme

Mit Hilfe der in der Tabelle 9 sowie den in Tabelle 2 dargestellten Parametern und Berechnungen lässt sich nun der in Tabelle 10 dargestellte Austrittsmassenstrom berechnen.



Tabelle 10: Massenstrom Schwefelwasserstoff

Parameter	Berechnung	Wert	Einheit
Anteil Schwefelwasserstoff im Biogas $x_{H_2S}$		500	ppm
Austrittsmassenstrom Biogas aus dem Gasspeicher des Endlagers 2	$\dot{m}_{total} = \dot{m} \cdot A$	25,8	$\frac{kg}{s}$
Austrittsmassenstrom Biogas aus dem Gasspeicher des Fermenters, Nachgärers oder des Endlagers 1	$\dot{m}_{total} = \dot{m} \cdot A$	42,9	$\frac{kg}{s}$
Massenstrom Schwefelwasserstoff aus dem Gasspeicher des Endlagers 2	$\dot{m}_{H_2S} = \frac{\dot{m}_{total}}{M_{Gem}} \cdot x_{H_2S} \cdot M_{H_2S}$	9,1	$\frac{g}{s}$
Massenstrom Schwefelwasserstoff aus dem Gasspeicher des Fermenters, Nachgärers oder des Endlagers 1	$\dot{m}_{H_2S} = \frac{\dot{m}_{total}}{M_{Gem}} \cdot x_{H_2S} \cdot M_{H_2S}$	15,2	$\frac{g}{s}$

Tabelle 11 zeigt die weiteren Eingabeparameter, die für eine Berechnung in ProNuSs notwendig sind. Um sicher zu gehen, dass sich der quasi-stationäre Zustand ausbildet, wird von einer kontinuierlichen Freisetzung ausgegangen.

Tabelle 11: Eingabedaten H<sub>2</sub>S-Ausbreitung gemäß KAS-32

Eingabedaten	Fermenter, Nachgärer, Endlager 1	Endlager 2
Stoff	Schwefelwasserstoff	
Freisetzungstyp	Kontinuierlich	
Massenaustrittsrate [g/s]	15,2	9,1
Freisetzungshöhe [m]	6	10
Umgebungstemperatur [°C]	20	
Stabilitätsklasse nach Pasquill	D (Neutral)	
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s]	3	
Beschreibung der Rauigkeitslänge	Glatt	
Aufpunkthöhe [m]	2	

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung von Schwefelwasserstoff. Als Beurteilungsgrundlage des angemessenen Sicherheitsabstandes dient laut KAS-32 der ERPG-2 Wert (Emergency Response Planning Guidelines) von 30 ppm.

Der ERPG-2-Wert ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde exponiert werden könnten, ohne dass sie unter irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen oder Symptomen leiden, bzw. solche entwickeln, die die Fähigkeit einer Person beeinträchtigen könnten, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Wie Abbildung 4 zeigt, wird der ERPG-2 Grenzwert nicht erreicht.

Eine Betroffenheit der angrenzenden schutzbedürftigen Gebiete kann somit ausgeschlossen werden.



Tabelle 12: Ergebnisse Schwefelwasserstoffausbreitung

Unterschrittener Grenzwert	Grenzwert	Unterschritten in m Abstand vom Behälterrand
30 ppm	ERPG-2 Wert	Wert wird nicht erreicht

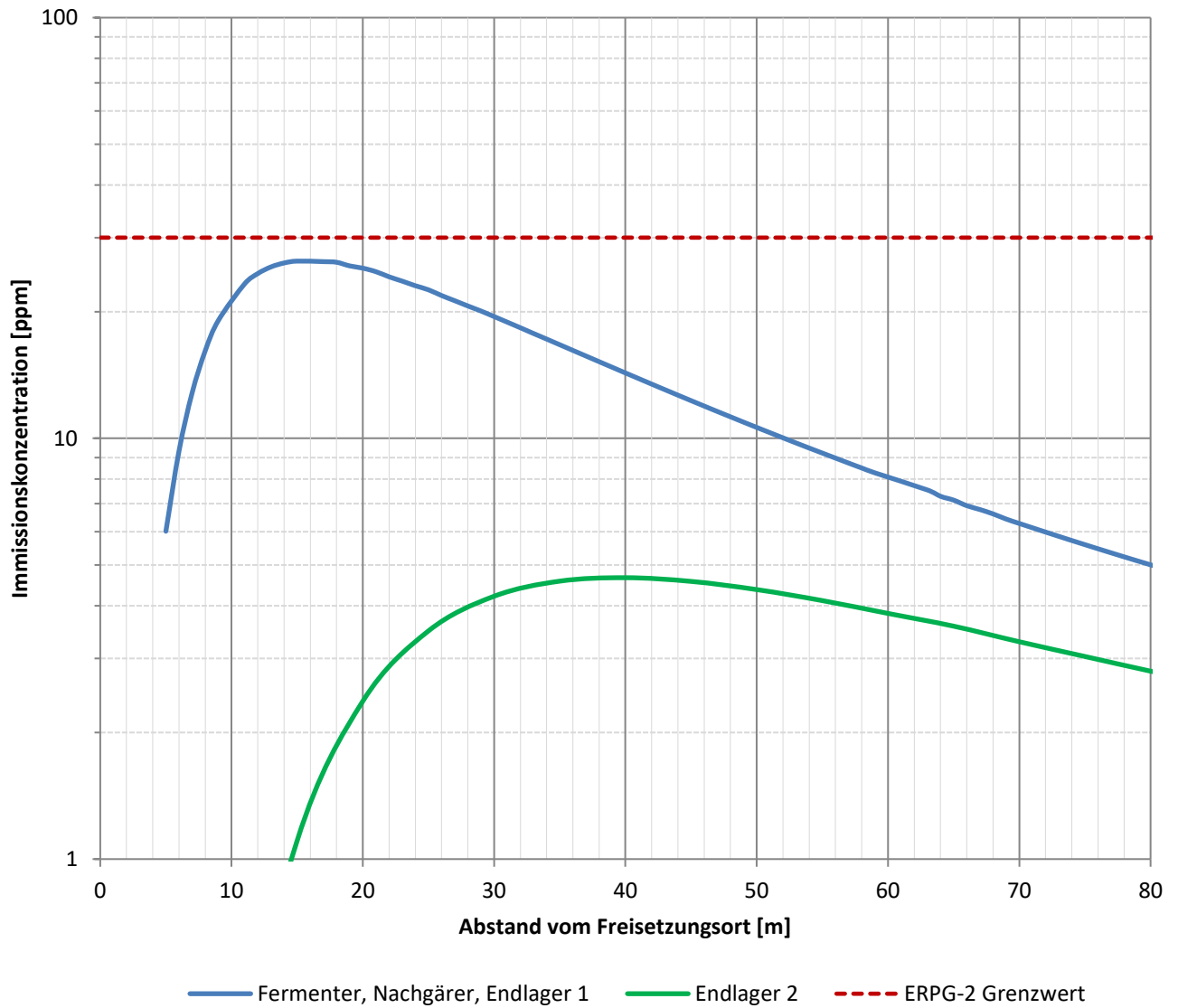


Abbildung 4: H<sub>2</sub>S-Konzentration in Abhängigkeit der Quellentfernung (in 2 m Höhe)



## 10. Abschlussformel

Abschließend weist die Sachverständige darauf hin, dass die im vorliegenden Sachverständigengutachten getroffenen Aussagen eigenständig, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung nach bestem Wissen und Gewissen vorgenommen worden sind.

Sämtliche Abbildungen in dieser gutachterlichen Stellungnahme dienen der Illustration und sind ungefähr. Im Zweifelsfalle sind die Flächen, die in die angemessenen Abstände fallen, anhand einer Kartengrundlage zu ermitteln. Hierzu sind die benannten Abstände ausgehend von der jeweiligen Lage der Gefahrenschwerpunkte des Betriebsbereichs zu übertragen.

Quickborn, den 04. November 2024

**Britt Michelsen**

Sachverständige nach § 29b BImSchG



## 11. Anhang

### Anhang 1

#### Umhüllender angemessener Sicherheitsabstand

