

Stellungnahme
zum
angemessenen Sicherheitsabstand
auf der
Biogasanlage Gessertshausen

Auftraggeber / Betreiber: Dörle GbR
Hr. Martin Dörle
St. Gallus Straße 24
96459 Gessertshausen-Deubach
☎ 0151 1428 4515
✉ martin.doerle-0206@web.de

Standort: Bucher Weg 2
96459 Gessertshausen-Deubach
Flur. Nr. 499, 500, 501, 502 Gemarkung Deubach

Anlagenplaner: IB Berchtenbreiter
Fr. Birgit Berchtenbreiter
Kappelbuck 26
86720 Nördlingen
☎ 09081 211366
✉ Birgit.Berchtenbreiter@gmx.net

Verfasser: Dipl. Ing. Josef K. Ziegler
Inreetec GmbH
Marktplatz 2
92421 Schwandorf
☎ 09431 7998-0
✉ Josef.Ziegler@inreetec.com

Auftragsnummer: 157/2020

Stand: 21.02.2020

Textseiten: 47 Seiten, davon 19 Seiten Anhänge

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Aufgabenstellung	3
2.	Verwendete Unterlagen	4
3.	Örtliche Lage und Umgebung	6
4.	Beschreibung des Betriebsbereiches	8
4.1.	Verfahrensbeschreibung	8
4.2.	Anlagenbeschreibung	9
4.3.	Einordnung als Betriebsbereich	11
4.4.	Darstellung der für die Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes relevanten Anlagen	12
5.	Berechnungsgrundlagen	13
5.1.	Betrachtungsweise	13
5.2.	Berechnungsmodell	14
5.3.	Randbedingungen (Stoffeigenschaften und Beurteilungswerte)	15
5.3.1.	Gaszusammensetzung	15
5.3.2.	Bestimmung einer äquivalenten Leckfläche	16
5.3.3.	Betrieblich bedingte Randbedingungen	16
6.	Abstandsberechnung	18
6.1.	Grenzen einer gefährlichen explosiven Atmosphäre GEA	18
6.1.1.	Randbedingungen	19
6.1.2.	Grenzen einer gefährlichen explosiven Atmosphäre GEA	20
6.2.	Ausbreitung toxischer Gase	21
6.2.1.	Randbedingungen,	21
6.2.2.	Ergebnis für Schwefelwasserstoff H ₂ S	22
6.3.	Gaswolkenexplosion	23
6.3.1.	Randbedingungen:	24
6.3.2.	Ergebnis für Druckanstieg	25
6.4.	Brand	26
6.4.1.	Randbedingungen:	26
6.4.2.	Ergebnis für Wärmestrahlung	27
7.	Zusammenfassung	28

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Für die Biogasanlage der Dörle GbR ist im Verfahren gemäß

- § 4 Abs. 1 BauGB zur 2. Änderung des Bebauungsplanes Nr. 45 „Am Bucher Weg“ der Gemeinde Gessertshausen

und

- email von Herrn Asam Eng, Landratsamt Augsburg vom 18.04.2019, AZ: 55.6-I-029-19

der notwendige Sicherheitsabstand zu ermitteln.

In diesem Zusammenhang werden nachfolgend die kritischen Abstände in Bezug auf

- die Entstehung einer gefährlichen explosiven Atmosphäre,
- die Ausbreitung toxischer Gase,
- die Druckbelastung bei einer Explosion und
- die Wärmestrahlung im Brandfalle betrachtet.

Trümmerwurf und Rauchgase werden gemäß KAS 18 [1] nicht betrachtet.

2. Verwendete Unterlagen

- [1] KAS 18
Leitfaden - Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG § 2
Kommission für Anlagensicherheit, überarbeitete Fassung vom November 2010
- [2] KAS 32
Arbeitshilfe – Szenarienspezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18
Kommission für Anlagensicherheit, überarbeitete Fassung vom November 2015
- [3] LAI – Leitfaden
Leitfaden für die Erstellung eines Gutachtens zur Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes
Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Anlagensicherheit und Immissionschutz, Stand Juni 2018
- [4] Anlagenbeschreibung
IB Berchtenbreiter, 18.02.2020
- [5] ProNuSs 8
Programm zur numerischen Störfallsimulation
Bedienungsanleitung und Programm Version Nr. 8.45 / 2015,
Dr.-Ing. Schalau, Berlin
- [6] VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1
Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre; Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen; Sicherheitsanalyse
Ausgabedatum: 1987-05, überprüft und bestätigt: 2004-08

- [7] AEGL Beurteilungswerte
Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals
 USA, National Research Council, National Academy of Sciences
 (NRC/NAS) see www.epa.gov
- [8] ERPG Grenzwerte
Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs)
 USA, NOAA, Office of Response and Restoration National Research
 Council, see <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/emergency-response-planning-guidelines-erpgs.html>
- [9] M. Schatzmann (Berechnungsmodell)
*Auftriebsstrahlen in natürlichen Strömungen - Entwicklung eines
 mathematischen Modells;*
 Dissertation Uni. Karlsruhe, 1976
- [10] A 016
Merkblatt A-016- Brandschutz auf Biogasanlagen
 Fachverband Biogas, überarbeitete Fassung vom April 2017
- [11] TRAS 120
*Technische Regel für Anlagensicherheit – Sicherheitstechnische
 Anforderungen an Biogasanlagen TRAS120*
 Kommission für Anlagensicherheit, 21.01.2019
- [12] KAS 33 Version 1
 Berücksichtigung des Art. 12 Seveso-II-Richtlinie im immissionsschutz-
 rechtlichen Genehmigungsverfahren (§§ 4 und 16 BImSchG)
 Kommission für Anlagensicherheit, 26.02.2013
- [13] Nachweise zur Gasqualität
 Prüfprotokolle zur Gasqualität (CH₄, H₂S, O₂, CO₂)
 Maschinenring Tuttlingen-Stockach, Jan. 2019 bis Jan 2020

3. Örtliche Lage und Umgebung

Die Anlage befindet sich nordwestlich der Ortschaft Deubach, einem Ortsteil der Gemeinde Gessertshausen.

Die Biogasanlage befindet sich auf der Flurnummer 499, 500, 501 und 502 der Gemarkung Deubach.

In unmittelbarer Nähe grenzen landwirtschaftliche Flächen an. Die nächstgelegene Waldung befindet sich etwa 100m östlich der Biogasanlage.

Die umliegenden Ortschaften sind im Südosten Deubach mit einer Entfernung von 780 m, im Südwesten Kutzenhausen (ca. 1300 m) und im Süden Katzenlohe mit einem Abstand von ca. 1200 m zur Biogasanlage der Dörle GbR.



Abb 1: Räumliche Lage der BGA (rot markiert), Quelle: Google Maps, Januar 2019

Das nächste nicht zur Biogasanlage gehörige Wohngebäude steht in Luftlinie in ca. 780m Entfernung zum ersten gasführenden Behälter, dem Nachgärer.



Abb 2: Entfernung zur nächsten Wohnbebauung, Quelle: Google Maps, Januar 2019

Der Standort der Biogasanlage befindet sich nicht im Trinkwasserschutzgebiet und auch nicht in einem Überschwemmungsgebiet.

Verkehrsanbindung:

Die Anlage liegt am Bucher Weg in unmittelbarer Nähe zur Kreisstraße A 3, zwischen Deubach und Rommelsried.

4. Beschreibung des Betriebsbereiches

4.1. Verfahrensbeschreibung

Bei der Biogasanlage der Dörle GbR handelt es sich verfahrenstechnisch um ein semikontinuierlich betriebenes mehrstufiges Speicher-Durchflusssystem zur Nassfermentation.

In regelmäßigen Intervallen werden nachwachsende Rohstoffe (Silagen) landwirtschaftlicher Herkunft aus dem Fahrsilo über den Annahmedosierer dem Fermentationssystem, bestehend aus zwei Hauptfermentern und zwei nachgeschalteten Nachgärern, zugegeben.

Die Hauptfermenter haben immer annähernd denselben Füllstand. Beim Einbringen der Inputstoffe in die Fermenter wird zum Ausgleich dieselbe Menge an ausgefaultem Substrat in die Nachgärer und von dort in die Gärproduktlager gepumpt.

Im Fermentationssystem laufen alle vier Prozessphasen der Biogaserzeugung (Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung und Methanbildung) parallel ab, wobei in den Hauptfermentern primär das schnell abbaubare biologische Material und in den nachgeschalteten Nachgärern das biologisch schwerer abbaubare Material verstoffwechselt und Biogas erzeugt wird.

Die Anlage ist auf einen mesophilen Betrieb ausgerichtet, d.h. die Temperatur im Fermenter beträgt 38° - 42 °C. Ein thermophiler Betrieb (Temperaturniveau von ca. 55°C) ist grundsätzlich ebenfalls möglich.

Das vergorene Substrat wird in den Gärproduktlagern gesammelt, bevor es bedarfsgerecht als Wirtschaftsdünger landwirtschaftlich genutzt wird.

Das erzeugte Biogas wird in einem externen Gasspeicher und zukünftig im Gasspeicher über dem Gärproduktlager 2 gepuffert und nach einer technischen Gaskühlung zur Strom- und Wärmeengewinnung in das Technikgebäude zu den Blockheizkraftwerken geleitet.

Gärproduktlager 3 wird im Zuge des laufenden Verfahrens zur Erstellung eines Bebauungsplans mitberücksichtigt, eine Errichtung ist erst zu einem späteren Zeitpunkt geplant.

4.2. Anlagenbeschreibung

Die Biogasanlage gliedert sich in folgende emissionsrelevante Anlagenkomponenten:

- Annahmedosierer: L x B x H = 4,5 m x 3,5 m x 3,0 m, Vol.: 47 m³
- Vorgrube (Betonrundbehälter mit Betondecke): D x H = 12,00 m x 2,0 m; Vol.: ca. 225 m³
- Fermenter 1 (Betonrundbehälter mit Betondecke): D x H 16,0 m x 6,0 m, Vol.: ca. 1.200 m³
- Fermenter 2 (Betonrundbehälter mit Betondecke): D x H 16,0 m x 6,0 m, Vol.: ca. 1.200 m³
- Nachgärer 1 (Betonrundbehälter mit Betondecke): D x H = 18,0 m x 6,0 m; Vol.: ca.1.500 m³
- Nachgärer 2 (Betonrundbehälter mit Betondecke): D x H = 18,0 m x 6,0 m; Vol.: ca.1.500 m³
- Gärproduktlager 1 (Betonrundbehälter offen): D x H = 25,0 m x 6,0 m; Vol.: ca. 3.000 m³
- NEU: Gärproduktlager 2 (Betonrundbehälter): D x H = 32,0 m x 6,0 m; Vol.: ca. 4.823 m³
mit tragluftgestütztem Doppelmembrangasspeicher Vol_{Gasspeicher}: 3.200 m³
- NEU: Gärproduktlager 3 (Betonrundbehälter): D x H = 25,0 m x 8,0 m; Vol.: ca. 3.925 m³
mit tragluftgestütztem Doppelmembrangasspeicher Vol_{Gasspeicher}: 1.523 m³
- Separater Gasspeicher mit D x H = 12,0 m x 5,0 m; Vol_{Gasspeicher}: ca.565 m³
- Maschinenhaus und Halle mit L x B x H = 12,0 m x 18.0 m x 6,0 m
- Technische Gaskühlung, Q_{max}: ca. 400 m³_N/h
- BHKW 1: Gasotomotor, P_{nenn} = 400 kW_{el}, 1.015 kW FWL
- BHKW 2: Gasotomotor, P_{nenn} = 220 kW_{el}, 559 kW FWL
- BHKW 3: Gasotomotor, P_{nenn} = 225 kW_{el}, 905 kW FWL
- Gasfackel, Q_{max}: ca. 500 m³_N/h

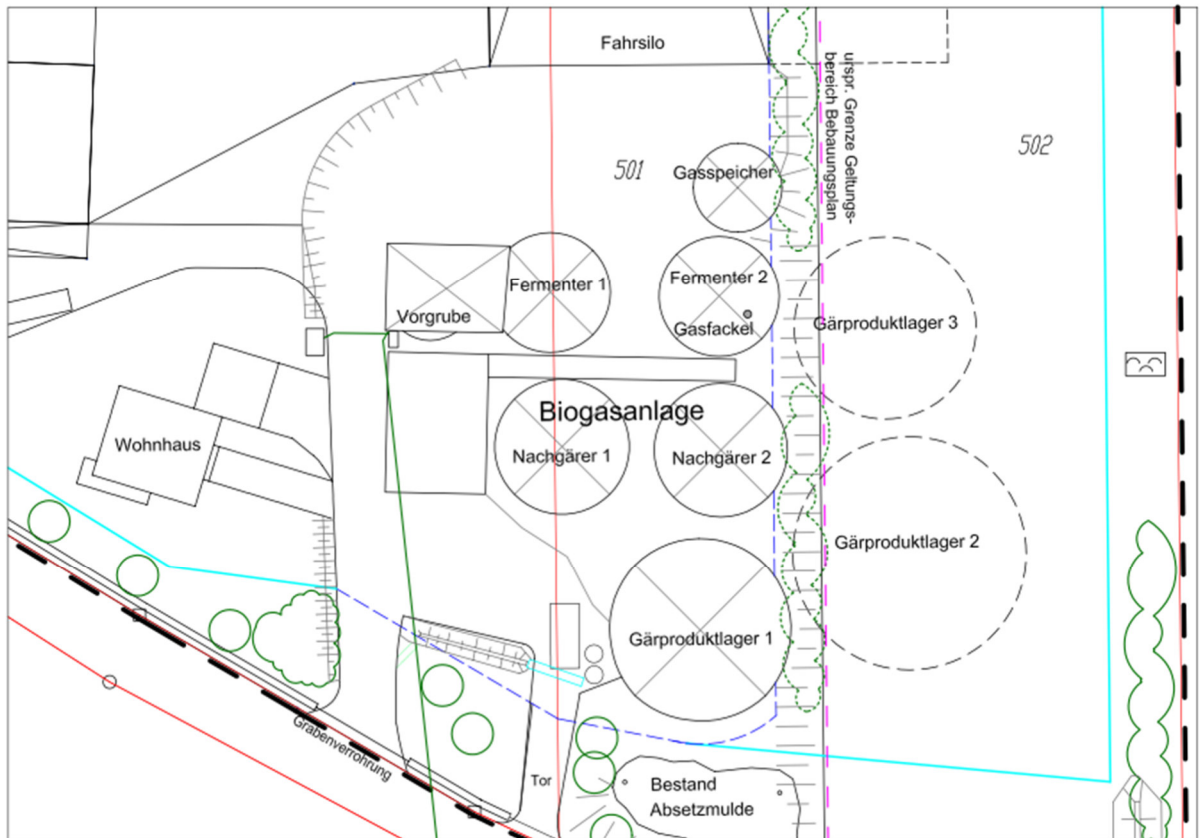


Abb 3: Räumliche Lage der Komponenten,
Quelle IB Berchtenbreiter, 11.02.2019 Bebauungsplan (Entwurf)

4.3. Einordnung als Betriebsbereich

Biogas ist ein entzündliches Gas im Sinne der Störfall-Verordnung, Anhang 1, Nr. 1.2.2. Auf der Anlage kann theoretisch folgende maximale Stoffmenge vorhanden sein¹:

Fermenter 1 Freibord:	120 m ³
Fermenter 2, Freibord:	120 m ³
Nachgärer 1, Freibord:	153 m ³
Nachgärer 2, Freibord:	153 m ³
Gärproduktlager 1,	offen:
Gärproduktlager 2 / Substratraum	4.823 m ³
Gärproduktlager 2 / Gasspeichervolumen	3.200 m ³
Gärproduktlager 3 / Substratraum	3.925 m ³
Gärproduktlager 3 / Gasspeichervolumen	1.523 m ³
Gasspeicher	565 m ³
<hr/>	
Zwischensumme:	14.582 m ³
<u>Gasleitungen, pauschal 2%:</u>	<u>292 m³</u>
Summe des maximalen Gasvolumens	14.874 m ³
<u>angenommene Dichte.</u>	<u>1,3 kg/m³</u>
Summe der Masse	19.336 kg

Der Schwellenwert der unteren Klasse gemäß Anhang 1 der StörfallVO, Nr. 1.2.2 von 10.000 kg wird somit überschritten.

Der Schwellenwert der oberen Klasse von 50.000 kg wird nicht erreicht.

Weitere gefährliche Stoffe gemäß Anhang 1 der StörfallVO, welche ab 2% der Mengenschwelle zur unteren Klasse zu berücksichtigen wären, liegen nicht vor.

¹ Berechnung gemäß „Arbeitshilfe Biogasanlagen“ des Umweltbundesamtes vom 02.03.2015

4.4. Darstellung der für die Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstandes relevanten Anlagen

Nachdem die Fermenter und Nachgärer mit annähernd konstantem Füllstand betrieben werden und die jeweils vorhandene maximale Gasmenge sich nur aus dem Freibord zwischen Flüssigkeitsspiegel und der Betondecke ergibt, ist die darin enthaltene Energie vergleichsweise gering.

Für die Entstehung einer gefährlichen explosiven Atmosphäre und für die Wärmestrahlung ist der Behälter mit der potentiell größten Biogaslagermenge maßgeblich. Im vorliegenden Fall wäre dies das zu genehmigende Gärproduktlager 2 mit der maximalen Gaslagermenge von $\text{Vol}_{\text{max}} = 8.023 \text{ m}^3$, davon 3.200 m^3 als variables Gaspeichervolumen.

Für die Betrachtung der möglichen Entstehung einer toxischen Atmosphäre sind aufgrund des anzunehmenden höheren Schwefelwasserstoffgehaltes im Biogas die Fermenter relevant.

5. Berechnungsgrundlagen

5.1. Betrachtungsweise

Empfohlene Grundlage für die Ausbreitungsberechnung für den „Dennoch-Störfall“ sind die Berechnungswege und Grenzwerte der KAS-18 [1] und KAS-32 [2]. Diese werden verwendet.

In der KAS-18 werden mit Hilfe der dort vorgeschlagenen Berechnungswege und Grenzwerte ohne Detailkenntnisse verallgemeinerte Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung abgeleitet. Im vorliegenden konkreten Fall sind mehrere Parameter von den in der KAS 18 getroffenen Annahmen abweichend.

„Nach § 50 BImSchG und Leitfaden KAS-18 sind für die planerischen Aspekte der Flächennutzung Betriebsstörungen zu unterstellen, deren Auslöser (Gefahrenquellen) für den Normalbetrieb vernünftigerweise ausgeschlossen werden, weil der Betreiber Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen bereits zu realisieren hat.

Es erfolgt deshalb eine Einzelfallbetrachtung nach KAS 32.

Das gleichzeitige Auftreten eines Schadensereignisses und eines worst-case Betriebszustandes ist ein unwahrscheinliches Ereignis. Für die Planung des angemessenen Abstandes bei bestehenden Betriebsbereichen wird die mittlere tatsächlich vorhandene Betriebssituation zugrundegelegt.

Versagen die getroffenen vorbeugenden Schutzmaßnahmen oder treten zwei Störungen gleichzeitig auf, liegt ein sogenannter Dennoch-Störfall vor. In dessen Folge sind gefährliche Einflüsse, wie z.B. Wärmestrahlung durch Brände, Druckwirkungen durch Explosionen, Freisetzungen von Gasen mit toxischer Wirkung, wie z.B. Schwefelwasserstoff (H₂S), Freisetzungen flüssiger umweltgefährlicher Stoffe mit Folgen für die Nachbarschaft nicht auszuschließen.“[2]

„...normalbetriebliche Emissionen (Lärm, Geruch, ...), sonstige, allgemeine Immissionsschutzbelange, Belange der allgemeinen Risikovorsorge und Gefahrenabwehr (Brandschutz, Zugänglichkeit, ...) oder Anforderungen anderer Rechtsgebiete (beispielsweise Baurecht, Recht der überwachungsbedürftigen Anlagen)“ [2] sowie wasserrechtliche Belange werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

Die Entstehung eines explosiven Gasmisches im Gassystem und die anschließende Entzündung mit erheblichem Druckaufbau ist durch redundante Sicherheitseinrichtungen und verfahrenstechnisch bedingt hinreichend unwahrscheinlich.

Bevor die obere Explosionsgrenze OEG von 22% Biogas an Luft (siehe auch Abb. 4) durch Sauerstoffeintritt erreicht wäre,

- würden vorher die Gasfüllstandsmessung und die Gasunterdrucküberwachung den Verlust des Überdrucks im Gassystem erkennen und die Gasverbraucher abschalten,
- kommt es zu Betriebsstörungen beim Blockheizkraftwerk.

In beiden Fällen wird der Betreiber über die Fehlermeldeanlage informiert, welcher zusätzliche Sicherungsmaßnahmen einleiten kann.

Insofern ist Trümmerwurf aufgrund einer Explosion - genauso wie die Betrachtung von Brandgasen - in KAS 18 und KAS 32 explizit von der Betrachtung ausgeschlossen.

5.2. Berechnungsmodell

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm ProNuSs 8 in der Version 8.45 [5].

Zur Ausbreitungsberechnung wird ein Freistrah, d.h. ein impulsbehafteter Gasaustritt von annähernd dichteneutralem Biogas aus einem Riss in einer der Membran-Gasspeicher angenommen.

Die Berechnung erfolgt nach dem Modell von Schatzmann [9]

Dabei wird zugrunde gelegt, dass sich durch die Einmischung von Umgebungsluft die Geschwindigkeit und die Konzentration mit zunehmendem Abstand vom Freisetzungsort verringert (z.B. für die Bestimmung der Grenzen einer möglichen explosiven Atmosphäre).

Bei toxischen Gasen ist vor allem der Ort bzw. die Höhe über Erdgleiche relevant, die durch den Freistrah erreicht wird, bevor der Impuls abgebaut worden ist und die Gaswolke dann mit der Umgebungsluft weiter transportiert wird. An diesem Ort wird dann der Quellterm für die Berechnung der impulsfreien Gasausbreitung z. B. mit der VDI Richtlinie 3783 Blatt 1 /4-7/ positioniert.

5.3. Randbedingungen (Stoffeigenschaften und Beurteilungswerte)

Die Bemessung des angemessenen Sicherheitsabstands erfolgt auf der Basis einer angenommenen Freisetzung von Biogas durch das Versagen des Gasspeichersystems auf dem zukünftigen Gärproduktlager 2 als zur Wohnbebauung nächstgelegenen Behälter und als dem Behälter mit der größtmöglichen vorhandenen Gasmenge.

Es wird gemäß KAS 32 [2] eine indifferente Temperaturschichtung angenommen. Bei dieser neutralen Temperaturschichtung entspricht der vertikale Temperaturgradient (Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe über NN) dem adiabatischen Temperaturgradienten (Temperaturabnahme aufgrund Druckabnahme mit zunehmender Höhe über NN), wodurch eine gute Durchmischung der Gaswolke mit der Atmosphäre stattfindet.

5.3.1. Gaszusammensetzung

Biogas enthält neben den Hauptbestandteilen Methan und Kohlendioxid weitere Anteile wie Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Wasserstoff und Stickstoff.

Aufgrund der Toxizität und den geringen anzunehmenden Belastungsgrenzwerten der anderen Stoffe ist vor allem Schwefelwasserstoff für die Beurteilung relevant.

Aufgrund von Aufzeichnungen in den Betriebstagebüchern der vergangenen Jahre und aufgrund empirischer Erfahrungen an anderen Anlagen, welche keine Abfälle und keine Gülle, sondern nur nachwachsende Rohstoffe einsetzen, wird von folgender anlagenspezifischer Gaszusammensetzung ausgegangen:

Methan	53%
Stickstoff	5 %
Sauerstoff	1 %
Kohlendioxid	41%
Schwefelwasserstoff:	200 ppm

Für die Berechnungen wird im Programm ProNuSs vereinfachend ein Methananteil von 54% und ein Inertgasanteil als Kohlendioxid-Anteil von 46% angesetzt.

5.3.2. Bestimmung einer äquivalenten Leckfläche

„Das für die Bauleitplanung verwendete Szenario soll ein Dennoch-Szenario sein, in dem ein größerer Massenstrom freigesetzt wird, als dies bei einem vernünftigerweise nicht auszuschließenden Szenario wie z. B. einer Flansch-Leckage oder dem Ansprechen einer Druckentlastungseinrichtung der Fall ist. Weiterhin soll das Szenario nicht die Freisetzung der gesamten zusammenhängenden Masse innerhalb kurzer Zeit unterstellen, da solche Szenarien für die externe Notfallplanung verwendet werden.“ [2].

Es wird davon ausgegangen, dass der Druck im Gassystem maximal 1 min aufrecht erhalten bleibt und dann sich auf das Eigengewicht der Membrane (ca. 1.000 gr/m² = 0,1 hPa) reduziert.

Sollte der Druck länger anstehen, ist von einem Weiterreißen der EPDM-Folie auszugehen und damit einer größeren Leckfläche, welche wiederum den Druckabbau beschleunigen würde.

Annahme gemäß KAS 32:

Horizontaler Riss an der Gasspeicherbefestigung mit Klemmschlauchsystem:

Länge:	4 m
mittlere Breite:	0,25 m
Leckfläche:	1,0 m

5.3.3. Betrieblich bedingte Randbedingungen

Der Berechnung liegen folgende tatsächliche Betriebsbedingungen zugrunde:

Druck im Gassystem	4 hPa (mbar)
Austrittshöhe	6 m

Die Gasspeicher sind nicht kegelförmig, sondern als Kalotte ausgeführt. D.h. sie entsprechen in ihrer Form nicht einer idealen Halbkugel, sondern aufgrund der geringeren Höhe einem Kugelsegment. D.h. die Membrane steht im gefüllten Zustand nicht senkrecht, sondern schräg auf der Behälterwand.

Die ordnungsgemäße Ausführung der vertikal angeordneten Schweißnähte wird als gegeben vorausgesetzt, ansonsten würde dies wohl bereits bei der Inbetriebnahmephase bei der Dichtheitsprüfung festgestellt werden.

Ein Riss wird in der Realität entweder im Hochpunkt, d.h. in der Gasspeicherspitze (dem Ort mit den Spannungsmaxima in der Membrane) oder horizontal an der Gasspeicherbefestigung (dem Ort, an dem die Kräfte in den Behälterrand eingeleitet werden) auftreten.

Letztere Situation wird gemäß KAS 18 [1] als relevant für die Betrachtung angenommen.

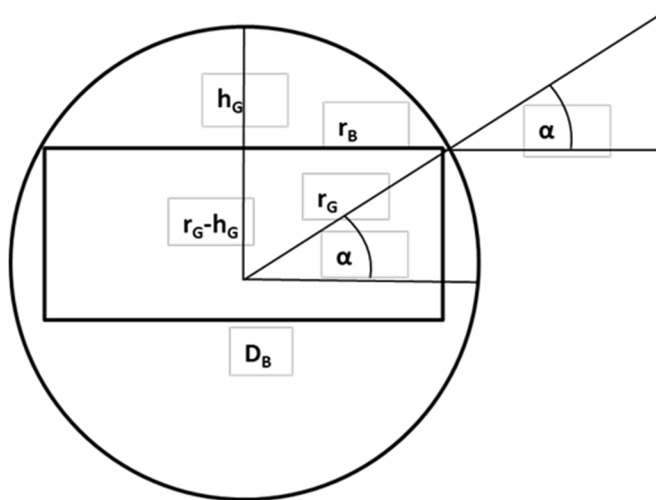


Abb. 5: Skizze zur Ermittlung des Austrittswinkels

Gärrestlager 2:

Behälterdurchmesser	D_B	32 m
Behälterradius	r_B	16 m
Gasspeicherhöhe	h_G	8 m
Gasspeicherradius	$r_G = \frac{h_G^2 + r_B^2}{2 \cdot h_G}$	20 m
Austrittswinkel	$\alpha = \arcsin\left(\frac{r_G - h_G}{r_G}\right)$	36,87 °

Austrittswinkel an einem angenommenen Leck: 37°

6. Abstandsberechnung

6.1. Grenzen einer gefährlichen explosiven Atmosphäre GEA

Bei den vorhandenen Einsatzstoffen und der daraus resultierenden realen Gaszusammensetzung (Methananteil: ca. 53%, inkl. Sauerstoffanteil von ca.1%, Inertgasanteil von ca.46%) verschieben sich aufgrund des Inertgas-Anteils die Explosionsgrenzen im Vergleich zu reinem Methan:

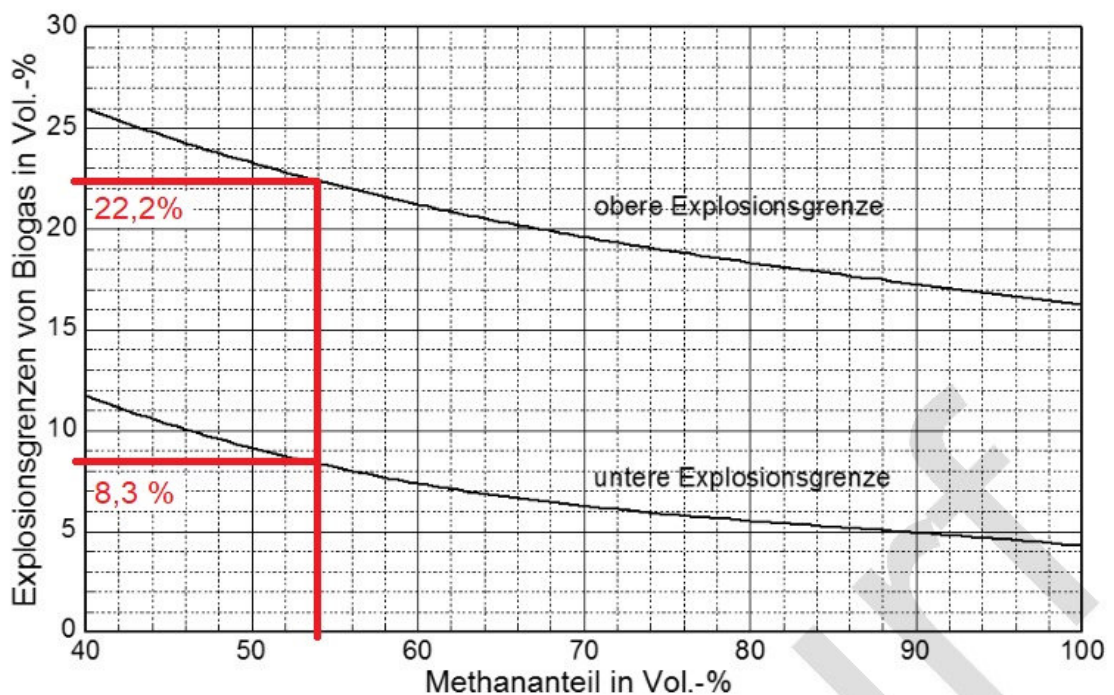


Bild 4: Verschiebung der Explosionsgrenzen in Abhängigkeit vom CH_4/CO_2 Verhältnis [13]

Für die Berechnungen wird im Programm ProNuSs vereinfachend ein Methananteil von 54% und ein Inertgasanteil-Anteil von 46% angesetzt.

6.1.1. Randbedingungen

Für die Berechnung werden folgende Werte zugrunde gelegt:

Untere Explosionsgrenze UEG:	8,3 %
Obere Explosionsgrenze OEG:	22,2 %

Freisetzungsbedingungen:

Temperatur:	20°C
Betriebsüberdruck:	4 mbar
Ausflussziffer:	1
Freisetzungsart:	gasförmig
Massenstrom:	31,032 kg/s
Ausflussdauer	ca. 60 s
Bodenrauigkeit	mäßig rauh, $z = 0,8$

Gasausbreitung:

Gasausbreitung als Freistrahle mit	37° Steigungswinkel
Gasausbreitung nach VDI 3783 Blatt1	Betrachtung als dichteneutrales Gas
Windgeschwindigkeit:	3 m/s
Temperaturschichtung:	indifferent, keine Inversion
Quellgeometrie:	waagrechter Riss an Gärproduktlager
Freisetzungshöhe	6 m

6.1.2. Grenzen einer gefährlichen explosiven Atmosphäre GEA

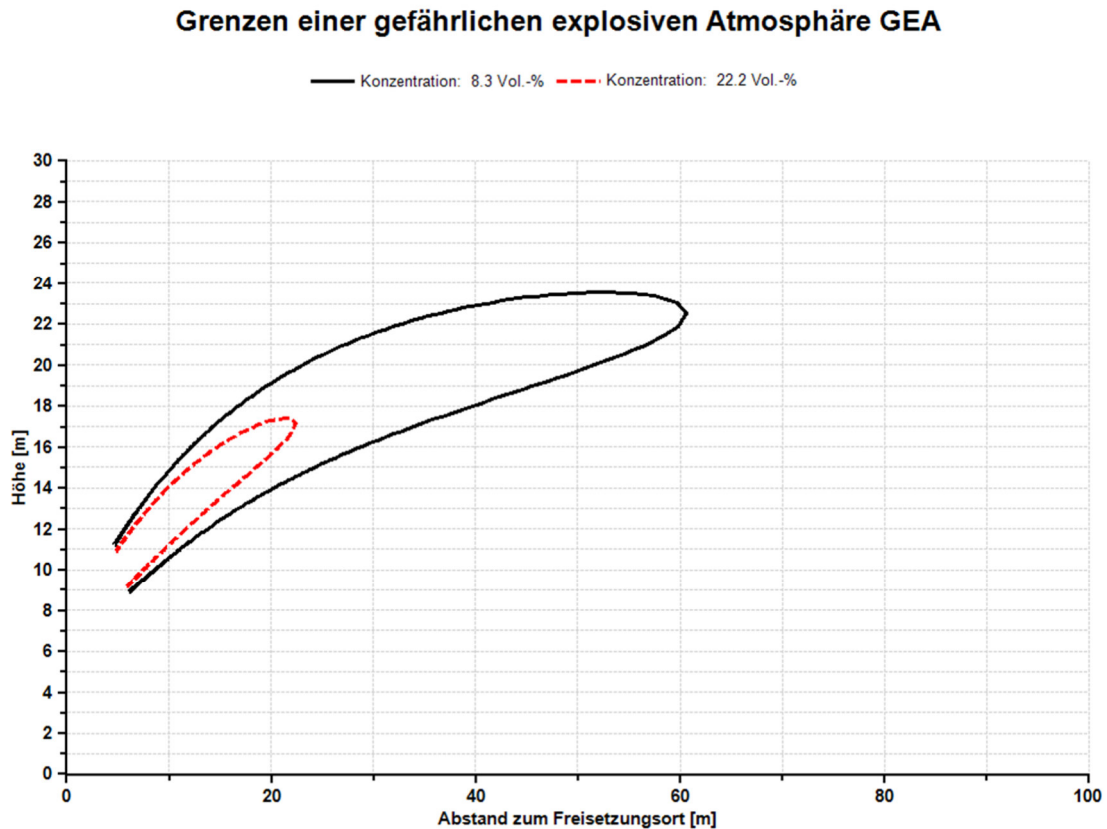


Bild 5: Grenzen einer GEA am Beispiel des Gärproduktlagers 4

Gemäß Berechnung wäre somit mit dem Auftreten einer gefährlichen explosiven Atmosphäre bis zu einer maximalen Entfernung von ca. 60 m zu rechnen, wobei die Ausbreitungsgrenzkurve schräg nach oben verläuft. D.h. mit zunehmender Entfernung liegt die Grenzkurve höher.

Innerhalb der Grenzkurve befindet sich kein schützenswertes Objekt.

6.2. Ausbreitung toxischer Gase

Als maximaler Grenzwert für eine mögliche toxische Gefährdung ist gemäß KAS-18 der ERPG-2 Wert nach [8] heranzuziehen.

Dieser Wert beschreibt die maximale luftgetragene Konzentration unterhalb derer angenommen wird, dass Individuen dieser über 1 Stunde ausgesetzt werden können, ohne dass ihnen irreversible oder andere gravierende Gesundheitseffekte widerfahren, die ihre Fähigkeit beeinträchtigen können, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Für Schwefelwasserstoff liegt dieser ERGP-2 Wert bei 30 ppm.

Andere möglicherweise vorhandene Anteile wie Wasserstoff, Ammoniak etc. sind wenn, dann im Vergleich zum Schwefelwasserstoff nur in deutlich geringerer Menge vorhanden und werden nicht gesondert betrachtet.

Zur Entfernung von Schwefelwasserstoff wird in die einzelnen Behälter Luft zugegeben, wodurch spezielle aerobe Bakterien in der Lage sind den Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel abzubauen. Verfahrenstechnisch bedingt und aufgrund von tatsächlich gemessenen Werte wird als die höchste Schwefelwasserstoffkonzentration ein Wert von max. ca. 200 ppm im Bereich der Fermenter angenommen.

6.2.1. Randbedingungen,

Freisetzungsbedingungen:

Temperatur:	20°C
Betriebsüberdruck:	4 mbar
Ausflussziffer:	1
Freisetzungsart:	gasförmig
Massenstrom:	30,032 kg/s
Ausflussdauer	ca. 60 s
Bodenrauigkeit	mäßig rau, z = 0,8

Gasausbreitung:

Gasausbreitung als Freistrah mit	37° Steigungswinkel
Gasausbreitung nach VDI 3783 Blatt1	Betrachtung als dichteneutrales Gas
Windgeschwindigkeit:	3 m/s

Temperaturschichtung:	indifferent, keine Inversion
Quellgeometrie:	waagrechter Riss
Freisetzungshöhe	6 m

6.2.2. Ergebnis für Schwefelwasserstoff H₂S

Grenzen einer toxischen Atmosphäre (H₂S=200 ppm; ERPG = 30 ppm)

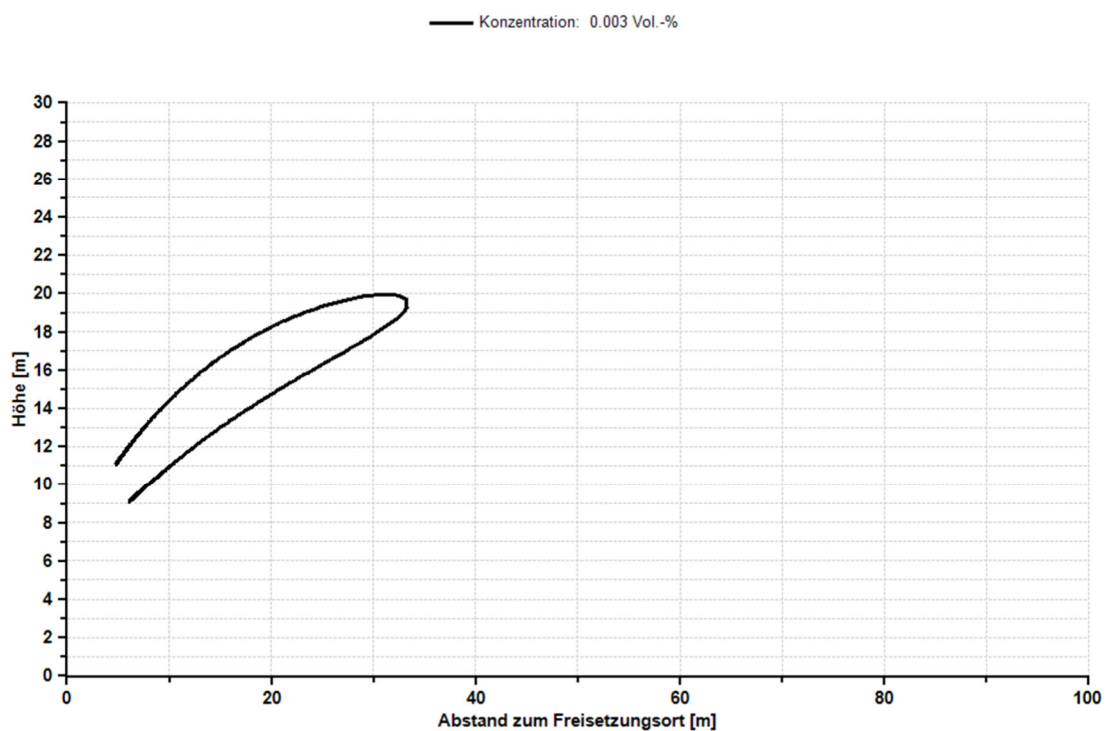


Bild 6: Darstellung der Grenzen einer toxischen Atmosphäre für Schwefelwasserstoff

Gemäß Berechnung wäre somit mit dem Auftreten einer toxischen Atmosphäre bis zu einer maximalen Entfernung von ca. 33 m zu rechnen, wobei die Ausbreitungsgrenzkurve schräg nach oben verläuft. D.h. mit zunehmender Entfernung liegt die Grenzkurve höher.

Innerhalb der Grenzkurve befindet sich kein schützenswertes Objekt.

6.3. Gaswolkenexplosion

Zu betrachten ist die Auswirkung des Überdrucks als primäre Auswirkung mit schädigender Beeinflussung bei Zündung der freigesetzten Biogaswolke.

Zu berücksichtigender Beurteilungswert gem. KAS 18 [1]: 0,1 bar

Im Rechenmodell ProNuSs 8 stehen 4 Modelle zur Berechnung der Auswirkungen einer Gaswolkenexplosion zur Verfügung. Verwendet wurden die beiden genaueren Modelle, die parallel durchgerechnet worden sind, das Multi-Energy-Modell und das TNT- Modell.

Multi-Energy-Modell:

Einflüsse der Turbulenz werden im Prognosemodell durch die Wahl unterschiedlicher Kategorien von 1 bis 10 berücksichtigt, wobei Kategorie 1 eine geringe und Kategorie 10 eine starke Turbulenz entsprechend einer geringen bzw. starken Verbauung widerspiegelt. Je nach Verbauung reichen die Auswirkungen von einer bedeutungslosen Explosion (eins) bis hin zur Detonation (zehn).

Für die Auswahl der für den Standort geeigneten Kategorie wurde auf die Matrix von Kinsella [5] zurückgegriffen:

Blast strength category	Ignition energy		Obstruction			Parallel plane confinement	Multi-Energy Unconfined	Class
	Low	High	High	Low	No			
	(L)	(H)	(H)	(L)	(N)			
1		H	H			C		7-10
2		H	H				U	7-10
3	L		H			C		5-7
4		H		L		C		5-7
5		H		L			U	4-6
6		H			N	C		4-6
7	L		H				U	4-5
8		H			N			4-5
9	L			L		C		3-5
10	L			L			U	2-3
11	L				N	C		1-2
12	L				N		U	1

Tabelle1: Berücksichtigung von relevanten Einflüssen auf die Druckwirkung nach Kinsella [5]

Kinsella hat auf Basis einer Überprüfung von schweren Unfällen Faktoren für das Multi-Energy-Modell ermittelt, mit denen folgende Einflüsse berücksichtigt werden:

- Stärke der Zündenergie.
- Grad der Beschränkung der Explosion z. B. durch Wände.
- Grad der Behinderung durch Hindernisse in der Dampfwolke, die für eine Turbulenz sorgen

TNT - Modell

Beim TNT-Modell wird durch Ansatz eines TNT-Äquivalentes die bei einer Explosion freiwerdende Energie im Vergleich zu der bei einer Explosion der gleichen Masse an TNT freiwerdenden Energie berechnet. Die Werte erhält man durch den Vergleich der Druckwellen oder Impulswellen, welche die Sprengstoffe im Vergleich zu TNT erzeugen. Entsprechend liegt bei TNT das TNT-Äquivalent bei 1. Für den Anwendungsfall ist das TNT-Äquivalent für Methan anzusetzen. Dieses liegt gemäß Programmbeschreibung [5] bei 0,05 %.

6.3.1. Randbedingungen:

Freisetzungsdauer: 60 s

Multy - Energy – Modell:

Zündenergie: gering
 Beschränkung der Explosion: im Freien nicht gegeben
 Behinderung: keine Hindernisse in der Gaswolke
 gewählte Kategorie: 3

TNT – Modell:

TNT – Äquivalent 0,05 %

 Wolkendurchmesser 32m (Gasspeicherdurchmesser)
 Explosionsfähige Masse. 305,006 kg²

² siehe Anhang 1.1.2 Berechnung der GEA

6.3.2. Ergebnis für Druckanstieg

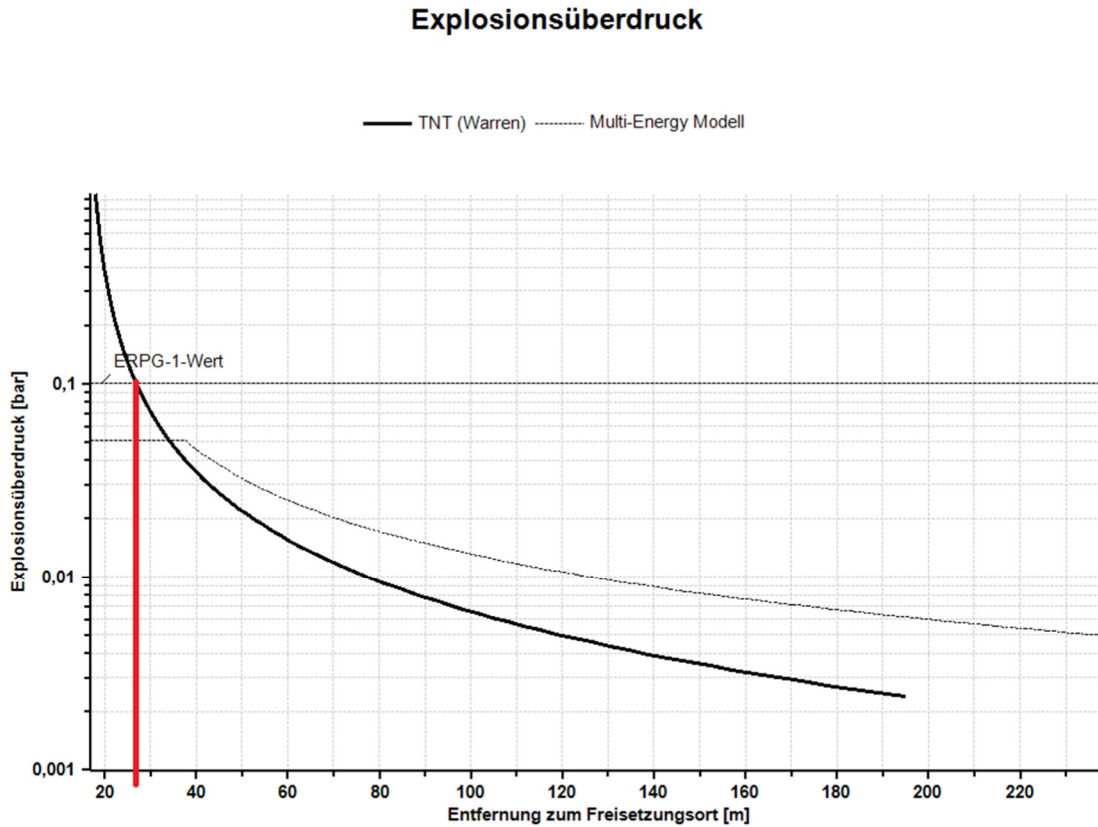


Bild 7: Grenze des kritischen Druckanstiegs bei Gaswolkenexplosion

Gemäß Berechnungen nach dem Multy-Energy-Modell käme es zu keinem Druckanstieg über dem ERPG1 Wert von 0,1 bar und somit zu schädlichen Auswirkungen. Gemäß Berechnungen nach dem TNT-Modell würde die Grenze für kritische Auswirkungen bei ca. 28 m liegen.

Innerhalb der Grenzkurve befindet sich kein schützenswertes Objekt.

6.4. Brand

Das Biogas brennt ohne Impuls als Gaswolke, welche sich am angenommenen Riss außerhalb des Gasspeichers bildet, ab.

Gemäß KAS 18 [1] ist die kritische Bestrahlungsstärke abhängig vom zu schützenden Objekt:

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

Tabelle 2: KAS 18, Anhang 4, Tabelle 8 [1],
mit Ergänzung des Vorschlags aus der TRAS 120 (Entwurfassung)

6.4.1. Randbedingungen:

Freisetzungsbedingungen:

Temperatur:	20°C
Gasausbreitung nach VDI 3783 Blatt1	Betrachtung als dichteneutrales Gas
Temperaturschichtung:	indifferent, keine Inversion
Quellgeometrie:	zylinderförmige Gaswolke, beginnend am Behälterrand mit max. Gasmenge als maximales Volumen
max. Gasmenge (Gasspeichervolumen):	2.016 m ³ ³
Gaswolkendurchmesser	16 m ⁴
Gaswolkenlänge	10,03 m ⁵
Freisetzungshöhe	6 m
Windgeschwindigkeit:	Betrachtung quer zur Windrichtung

³ siehe Anhang 1.1.1 Berechnung der GEA

⁴ entspricht dem Gasspeicherradius (Annahme);

⁵ ergibt sich aus dem Gasspeichervolumen und dem theoretischen Gaswolkendurchmesser

6.4.2. Ergebnis für Wärmestrahlung

Bestrahlungsstärke Gaswolkenbrand

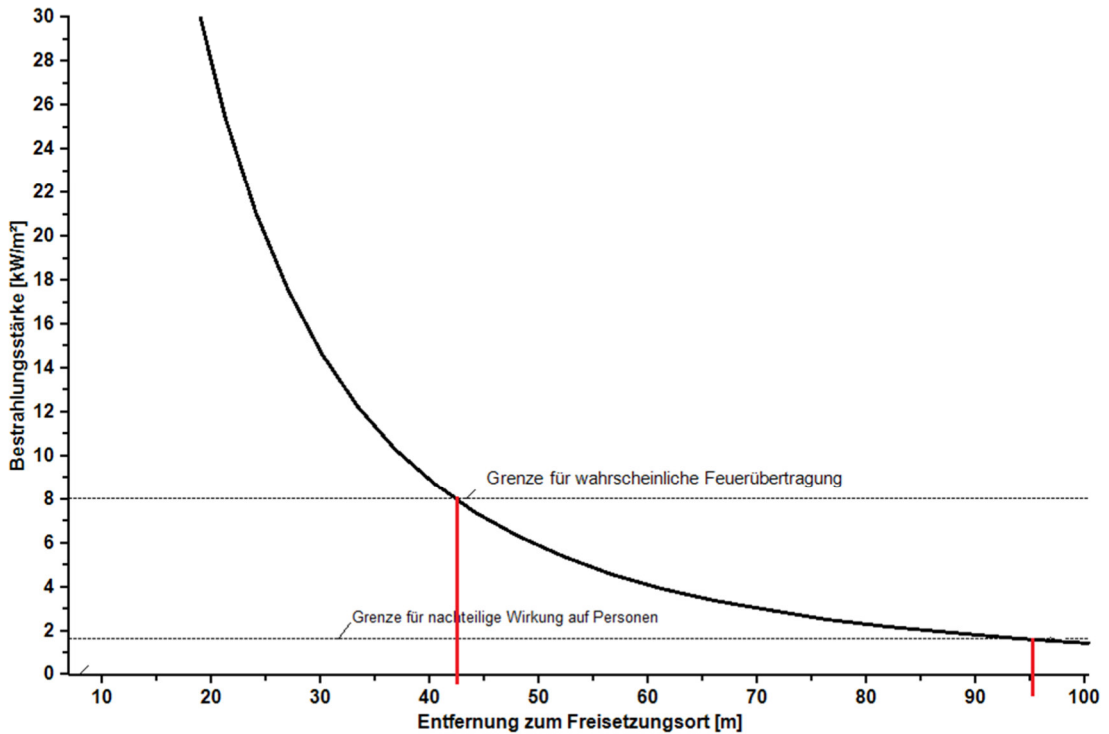


Bild 8: Ausbreitung der Wärmestrahlung am Gärproduktlager 2

Nachdem die mittlere tatsächlich vorhandene Betriebssituation zugrunde gelegt wird, bezieht sich der Mindestabstand auf den jeweiligen Behältermittelpunkt.

Es wird von einem Gaswolkenbrand ausgegangen, d.h. austretendes Gas entzündet sich und führt zu einem schnellen Abbrand des gesamten jeweiligen Gasspeichervolumens.

Wenn eine länger andauernde Einwirkung auf Personen zugrunde gelegt wird, ergibt sich ein Mindestabstand von 98 m.

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich in diesem Gefahrenbereich (Betriebsgelände und landwirtschaftliche Nutzfläche) nur Personen bewegen, welche körperlich soweit in der Lage sind, dass sie sich in Sicherheit bringen können, reduziert sich der Mindestabstand auf 42,4 m.

Innerhalb des Mindestabstands befindet sich kein schützenswertes Objekt.

7. Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der anzunehmenden Betriebsweise, wie sie für eine Biogasanlage, die ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen üblich ist, ergeben sich Annahmen für Gaszusammensetzung und Ausbreitungsverhältnisse, welche nach Berechnung bzgl. einer Gefährdung

- a) durch explosive Atmosphäre einen Grenzwert von ca. 60 m,
- b) durch toxische Gase (H₂S) einen Grenzwert von ca. 33 m,
- c) durch den Druckstoß bei einer Explosion von weniger als 28 m und
- d) durch Gefährdung durch ein Brandereignis einen Grenzwert von max. 42, bzw. 95 m.

um die biogasbeinhaltenen Bauteile ergeben.

Der angemessene Sicherheitsabstand beträgt somit unter den beschriebenen Verhältnissen 98m.

Anhänge

	Berechnungsprotokolle	
Anhang 1	Massenstrom	1 Seite
Anhang 2	Grenzen einer GEA	6 Seiten
Anhang 3	Toxizität von H ₂ S, Kombibehälter	6 Seiten
Anhang 4	Druckanstieg durch Gasexplosion	4 Seiten
Anhang 5	Wärmeentwicklung	1 Seite

Schwandorf, den 06.03.2020



Dipl. Ing. Josef K. Ziegler
c/o Inreetec GmbH

*Sachverständiger nach §29b BImSchG
für Anlagenarten nach 4.BImSchV. Nr. 1.2.2.2 / 1.15 / 1.16 / 8.6.2 / 8.6.3 / 9.36,
Fachgebiete 1./2.1/2.2/3./4./11./13./14./15.1/16.1/17.*

*ö.b.u.v. öffentlich bestellt und vereidigter Sachverständiger der Industrie- und Handelskammer
für Sicherheits-, Verfahrens- und Maschinentchnik von Biogasanlagen nach §36 GewO*

Berechnung des freigesetzten Massenstroms aus einem Leck oder Sicherheitsventil

Datum: 08 Mrz 2020 ; 06:28:41

Programm Version: 8.45

Stoffdaten:

Ausgewählter Stoff: CH4 54% CO2 46%
Bearbeitungsdatum: 18.01.2019
Molare Masse (Gasphase) [g/mol]: 28,91
Isentropenexponent [-]: 1,292
Realgasfaktor [-]: 0,996
Temperatur [K]: 293,15
(Dampf)-Druck [bar-abs]: 1,017
Überdruck [bar]: 0,004
Gasdichte [kg/m³]: 1,21
Wärmekapazität der Gasphase [kJ/kg K]: 1,2721
Untere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 4,4
Obere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 16,5
Diffusionskoeffizient in Luft [m²/s]: 1,613e-05
Temperaturklasse: Keine Angabe
Explosionsgruppe: Keine Angabe

Gasgemisch:

Stoffname	Stoffanteil	Massenanteil	Volumenanteil
	Mol.-%	Masse-%	Vol.-%
Methan	54,000	29,965	54,000
Kohlendioxid	46,000	70,035	46,000

Eingabedaten:

Durchmesser [mm]: 1128,00
Ausflußziffer [-]: 1,00
Anzahl der Lecks: 1

Ergebnisse:

Leckfläche [mm²]: 999328,10
Massenstrom [kg/s]: 31,032

Berechnung eines Freistrahls

Datum: 08 Mrz 2020 ; 06:44:01

Programm Version: 8.45

Stoffdaten:

Ausgewählter Stoff: CH4 54% CO2 46%
Bearbeitungsdatum: 18.01.2019
Molare Masse (Gasphase) [g/mol]: 28,91
Isentropenexponent [-]: 1,292
Realgasfaktor [-]: 0,996
Temperatur [K]: 293,15
(Dampf)-Druck [bar-abs]: 1,017
Überdruck [bar]: 0,004
Gasdichte [kg/m³]: 1,21
Wärmekapazität der Gasphase [kJ/kg K]: 1,2721
Untere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 4,4
Obere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 16,5
Unterer Heizwert [MJ/kg]: 14,94
Diffusionskoeffizient in Luft [m²/s]: 1,613e-05
Temperaturklasse: Keine Angabe
Explosionsgruppe: Keine Angabe

Gasgemisch:

Stoffname	Stoffanteil Mol.-%	Massenanteil Masse-%	Volumenanteil Vol.-%
Methan	54,000	29,965	54,000
Kohlendioxid	46,000	70,035	46,000

Freistrahlmmodell: Schatzmann

Eingabedaten:

Massenstrom [kg/s]: 3,1032E+01
Durchmesser Austritt [mm]: 1128,00
Austrittswinkel [°]: 37,00
Austrittshöhe [m]: 6,00
Variable Windgeschwindigkeit:
Exponent des Geschwindigkeitsprofils [-]: 0,28
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s]: 3,0
Windgeschwindigkeit in Austrittshöhe [m/s]: 2,6
Wetterlage: indifferent
Bodenrauigkeit: mäßig rauh
Sigma [m]: 23,578
Umgebungstemperatur [K]: 293,15
Gaskonzentration im Freistrahle [Vol.-%]: 100,00

Ergebnisse:

Startwerte nach Schatzmann:
Mach-Zahl am Austritt [-]: 0,08

Druck am Austritt [barabs]: 1,01
 Ausströmgeschwindigkeit U_j [m/s]: 25,83
 Temperatur des Freistrahls bezogen auf Luft [K]: 293,29
 Rho/Rholuft [-]: 9,9746E-01
 Dichte des Freistrahls [kg/m³]: 1,20
 Rhost/Rhou [-]: 0,00
 Tst/Tu [-]: 0,00
 Fr [-]: NaN

Startwerte nach am Ende der Kernzone:

Länge der Kernzone s_0 [m]: 6,72
 Winkel Theta θ [°]: 31,95
 Breite des Freistrahls b_0 [m]: 7,6754E-01
 Konzentration [Vol.-%]: 84,96
 Temperatur des Freistrahls T_0 [K]: 293,27

Abstand [m]	Höhe [m]	Winkel [°]	Konzentration [Vol.-%]	Geschwindigkeit [m/s]	Temperatur [K]
5,38E+00	1,00E+01	3,19E+01	8,48E+01	2,57E+01	2,93E+02
5,39E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,47E+01	2,57E+01	2,93E+02
5,40E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,45E+01	2,57E+01	2,93E+02
5,41E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,44E+01	2,56E+01	2,93E+02
5,42E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,43E+01	2,56E+01	2,93E+02
5,43E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,41E+01	2,56E+01	2,93E+02
5,44E+00	1,01E+01	3,19E+01	8,40E+01	2,55E+01	2,93E+02
5,45E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,38E+01	2,55E+01	2,93E+02
5,46E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,37E+01	2,54E+01	2,93E+02
5,47E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,35E+01	2,54E+01	2,93E+02
5,48E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,33E+01	2,54E+01	2,93E+02
5,50E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,32E+01	2,53E+01	2,93E+02
5,51E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,30E+01	2,53E+01	2,93E+02
5,52E+00	1,01E+01	3,18E+01	8,28E+01	2,52E+01	2,93E+02
5,53E+00	1,01E+01	3,17E+01	8,27E+01	2,52E+01	2,93E+02
5,55E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,25E+01	2,51E+01	2,93E+02
5,56E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,23E+01	2,51E+01	2,93E+02
5,57E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,21E+01	2,50E+01	2,93E+02
5,59E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,20E+01	2,50E+01	2,93E+02
5,60E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,18E+01	2,49E+01	2,93E+02
5,62E+00	1,02E+01	3,17E+01	8,16E+01	2,49E+01	2,93E+02
5,63E+00	1,02E+01	3,16E+01	8,14E+01	2,48E+01	2,93E+02
5,65E+00	1,02E+01	3,16E+01	8,12E+01	2,48E+01	2,93E+02
5,66E+00	1,02E+01	3,16E+01	8,10E+01	2,47E+01	2,93E+02
5,68E+00	1,02E+01	3,16E+01	8,08E+01	2,47E+01	2,93E+02
5,69E+00	1,02E+01	3,16E+01	8,06E+01	2,46E+01	2,93E+02
5,71E+00	1,03E+01	3,15E+01	8,04E+01	2,46E+01	2,93E+02
5,73E+00	1,03E+01	3,15E+01	8,02E+01	2,45E+01	2,93E+02
5,75E+00	1,03E+01	3,15E+01	8,00E+01	2,45E+01	2,93E+02
5,76E+00	1,03E+01	3,15E+01	7,98E+01	2,44E+01	2,93E+02
5,78E+00	1,03E+01	3,15E+01	7,96E+01	2,44E+01	2,93E+02
5,80E+00	1,03E+01	3,14E+01	7,93E+01	2,43E+01	2,93E+02
5,82E+00	1,03E+01	3,14E+01	7,91E+01	2,43E+01	2,93E+02
5,84E+00	1,03E+01	3,14E+01	7,89E+01	2,42E+01	2,93E+02

5,86E+00	1,03E+01	3,14E+01	7,87E+01	2,41E+01	2,93E+02
5,87E+00	1,04E+01	3,13E+01	7,84E+01	2,41E+01	2,93E+02
5,89E+00	1,04E+01	3,13E+01	7,82E+01	2,40E+01	2,93E+02
5,92E+00	1,04E+01	3,13E+01	7,80E+01	2,39E+01	2,93E+02
5,94E+00	1,04E+01	3,13E+01	7,77E+01	2,39E+01	2,93E+02
5,96E+00	1,04E+01	3,12E+01	7,75E+01	2,38E+01	2,93E+02
5,98E+00	1,04E+01	3,12E+01	7,72E+01	2,38E+01	2,93E+02
6,00E+00	1,04E+01	3,12E+01	7,70E+01	2,37E+01	2,93E+02
6,02E+00	1,04E+01	3,12E+01	7,67E+01	2,36E+01	2,93E+02
6,05E+00	1,05E+01	3,11E+01	7,64E+01	2,36E+01	2,93E+02
6,07E+00	1,05E+01	3,11E+01	7,62E+01	2,35E+01	2,93E+02
6,09E+00	1,05E+01	3,11E+01	7,59E+01	2,34E+01	2,93E+02
6,12E+00	1,05E+01	3,11E+01	7,56E+01	2,33E+01	2,93E+02
6,14E+00	1,05E+01	3,10E+01	7,54E+01	2,33E+01	2,93E+02
6,17E+00	1,05E+01	3,10E+01	7,51E+01	2,32E+01	2,93E+02
6,20E+00	1,06E+01	3,10E+01	7,48E+01	2,31E+01	2,93E+02
6,22E+00	1,06E+01	3,09E+01	7,45E+01	2,31E+01	2,93E+02
6,25E+00	1,06E+01	3,09E+01	7,42E+01	2,30E+01	2,93E+02
6,28E+00	1,06E+01	3,09E+01	7,39E+01	2,29E+01	2,93E+02
6,31E+00	1,06E+01	3,08E+01	7,36E+01	2,28E+01	2,93E+02
6,33E+00	1,06E+01	3,08E+01	7,33E+01	2,27E+01	2,93E+02
6,36E+00	1,07E+01	3,08E+01	7,30E+01	2,27E+01	2,93E+02
6,39E+00	1,07E+01	3,07E+01	7,27E+01	2,26E+01	2,93E+02
6,42E+00	1,07E+01	3,07E+01	7,24E+01	2,25E+01	2,93E+02
6,46E+00	1,07E+01	3,07E+01	7,21E+01	2,24E+01	2,93E+02
6,49E+00	1,07E+01	3,06E+01	7,18E+01	2,23E+01	2,93E+02
6,52E+00	1,07E+01	3,06E+01	7,15E+01	2,23E+01	2,93E+02
6,55E+00	1,08E+01	3,05E+01	7,11E+01	2,22E+01	2,93E+02
6,59E+00	1,08E+01	3,05E+01	7,08E+01	2,21E+01	2,93E+02
6,62E+00	1,08E+01	3,05E+01	7,05E+01	2,20E+01	2,93E+02
6,66E+00	1,08E+01	3,04E+01	7,01E+01	2,19E+01	2,93E+02
6,69E+00	1,08E+01	3,04E+01	6,98E+01	2,18E+01	2,93E+02
6,73E+00	1,09E+01	3,03E+01	6,95E+01	2,17E+01	2,93E+02
6,77E+00	1,09E+01	3,03E+01	6,91E+01	2,17E+01	2,93E+02
6,80E+00	1,09E+01	3,02E+01	6,88E+01	2,16E+01	2,93E+02
6,84E+00	1,09E+01	3,02E+01	6,84E+01	2,15E+01	2,93E+02
6,88E+00	1,10E+01	3,01E+01	6,81E+01	2,14E+01	2,93E+02
6,92E+00	1,10E+01	3,01E+01	6,77E+01	2,13E+01	2,93E+02
6,97E+00	1,10E+01	3,00E+01	6,73E+01	2,12E+01	2,93E+02
7,01E+00	1,10E+01	3,00E+01	6,70E+01	2,11E+01	2,93E+02
7,05E+00	1,11E+01	2,99E+01	6,66E+01	2,10E+01	2,93E+02
7,09E+00	1,11E+01	2,99E+01	6,62E+01	2,09E+01	2,93E+02
7,14E+00	1,11E+01	2,98E+01	6,58E+01	2,08E+01	2,93E+02
7,19E+00	1,11E+01	2,98E+01	6,55E+01	2,07E+01	2,93E+02
7,23E+00	1,12E+01	2,97E+01	6,51E+01	2,06E+01	2,93E+02
7,28E+00	1,12E+01	2,97E+01	6,47E+01	2,05E+01	2,93E+02
7,33E+00	1,12E+01	2,96E+01	6,43E+01	2,04E+01	2,93E+02
7,38E+00	1,12E+01	2,95E+01	6,39E+01	2,03E+01	2,93E+02
7,43E+00	1,13E+01	2,95E+01	6,35E+01	2,02E+01	2,93E+02
7,48E+00	1,13E+01	2,94E+01	6,31E+01	2,01E+01	2,93E+02
7,53E+00	1,13E+01	2,94E+01	6,27E+01	2,00E+01	2,93E+02
7,59E+00	1,14E+01	2,93E+01	6,23E+01	1,99E+01	2,93E+02
7,64E+00	1,14E+01	2,92E+01	6,19E+01	1,98E+01	2,93E+02
7,70E+00	1,14E+01	2,92E+01	6,15E+01	1,97E+01	2,93E+02

7,76E+00	1,15E+01	2,91E+01	6,11E+01	1,96E+01	2,93E+02
7,82E+00	1,15E+01	2,90E+01	6,06E+01	1,95E+01	2,93E+02
7,88E+00	1,15E+01	2,89E+01	6,02E+01	1,93E+01	2,93E+02
7,94E+00	1,16E+01	2,89E+01	5,98E+01	1,92E+01	2,93E+02
8,00E+00	1,16E+01	2,88E+01	5,94E+01	1,91E+01	2,93E+02
8,06E+00	1,16E+01	2,87E+01	5,89E+01	1,90E+01	2,93E+02
8,13E+00	1,17E+01	2,86E+01	5,85E+01	1,89E+01	2,93E+02
8,19E+00	1,17E+01	2,86E+01	5,81E+01	1,88E+01	2,93E+02
8,26E+00	1,17E+01	2,85E+01	5,76E+01	1,87E+01	2,93E+02
8,33E+00	1,18E+01	2,84E+01	5,72E+01	1,86E+01	2,93E+02
8,40E+00	1,18E+01	2,83E+01	5,67E+01	1,85E+01	2,93E+02
8,47E+00	1,18E+01	2,82E+01	5,63E+01	1,83E+01	2,93E+02
8,55E+00	1,19E+01	2,81E+01	5,58E+01	1,82E+01	2,93E+02
8,62E+00	1,19E+01	2,80E+01	5,54E+01	1,81E+01	2,93E+02
8,70E+00	1,20E+01	2,80E+01	5,49E+01	1,80E+01	2,93E+02
8,78E+00	1,20E+01	2,79E+01	5,45E+01	1,79E+01	2,93E+02
8,86E+00	1,20E+01	2,78E+01	5,40E+01	1,78E+01	2,93E+02
8,94E+00	1,21E+01	2,77E+01	5,36E+01	1,76E+01	2,93E+02
9,02E+00	1,21E+01	2,76E+01	5,31E+01	1,75E+01	2,93E+02
9,11E+00	1,22E+01	2,75E+01	5,27E+01	1,74E+01	2,93E+02
9,19E+00	1,22E+01	2,74E+01	5,22E+01	1,73E+01	2,93E+02
9,28E+00	1,23E+01	2,73E+01	5,17E+01	1,72E+01	2,93E+02
9,37E+00	1,23E+01	2,71E+01	5,13E+01	1,71E+01	2,93E+02
9,46E+00	1,24E+01	2,70E+01	5,08E+01	1,69E+01	2,93E+02
9,56E+00	1,24E+01	2,69E+01	5,03E+01	1,68E+01	2,93E+02
9,65E+00	1,25E+01	2,68E+01	4,99E+01	1,67E+01	2,93E+02
9,75E+00	1,25E+01	2,67E+01	4,94E+01	1,66E+01	2,93E+02
9,85E+00	1,26E+01	2,66E+01	4,89E+01	1,65E+01	2,93E+02
9,96E+00	1,26E+01	2,65E+01	4,85E+01	1,63E+01	2,93E+02
1,01E+01	1,27E+01	2,63E+01	4,80E+01	1,62E+01	2,93E+02
1,02E+01	1,27E+01	2,62E+01	4,75E+01	1,61E+01	2,93E+02
1,03E+01	1,28E+01	2,61E+01	4,70E+01	1,60E+01	2,93E+02
1,04E+01	1,28E+01	2,60E+01	4,66E+01	1,59E+01	2,93E+02
1,05E+01	1,29E+01	2,58E+01	4,61E+01	1,57E+01	2,93E+02
1,06E+01	1,29E+01	2,57E+01	4,56E+01	1,56E+01	2,93E+02
1,07E+01	1,30E+01	2,56E+01	4,51E+01	1,55E+01	2,93E+02
1,09E+01	1,30E+01	2,54E+01	4,47E+01	1,54E+01	2,93E+02
1,10E+01	1,31E+01	2,53E+01	4,42E+01	1,53E+01	2,93E+02
1,11E+01	1,32E+01	2,51E+01	4,37E+01	1,51E+01	2,93E+02
1,12E+01	1,32E+01	2,50E+01	4,32E+01	1,50E+01	2,93E+02
1,14E+01	1,33E+01	2,48E+01	4,28E+01	1,49E+01	2,93E+02
1,15E+01	1,33E+01	2,47E+01	4,23E+01	1,48E+01	2,93E+02
1,16E+01	1,34E+01	2,45E+01	4,18E+01	1,47E+01	2,93E+02
1,18E+01	1,35E+01	2,44E+01	4,13E+01	1,45E+01	2,93E+02
1,19E+01	1,35E+01	2,42E+01	4,09E+01	1,44E+01	2,93E+02
1,21E+01	1,36E+01	2,40E+01	4,04E+01	1,43E+01	2,93E+02
1,22E+01	1,37E+01	2,39E+01	3,99E+01	1,42E+01	2,93E+02
1,24E+01	1,37E+01	2,37E+01	3,95E+01	1,41E+01	2,93E+02
1,25E+01	1,38E+01	2,35E+01	3,90E+01	1,39E+01	2,93E+02
1,27E+01	1,39E+01	2,34E+01	3,85E+01	1,38E+01	2,93E+02
1,28E+01	1,39E+01	2,32E+01	3,81E+01	1,37E+01	2,93E+02
1,30E+01	1,40E+01	2,30E+01	3,76E+01	1,36E+01	2,93E+02
1,32E+01	1,41E+01	2,28E+01	3,71E+01	1,35E+01	2,93E+02
1,34E+01	1,42E+01	2,27E+01	3,67E+01	1,34E+01	2,93E+02

1,35E+01	1,42E+01	2,25E+01	3,62E+01	1,32E+01	2,93E+02
1,37E+01	1,43E+01	2,23E+01	3,57E+01	1,31E+01	2,93E+02
1,39E+01	1,44E+01	2,21E+01	3,53E+01	1,30E+01	2,93E+02
1,41E+01	1,45E+01	2,19E+01	3,48E+01	1,29E+01	2,93E+02
1,43E+01	1,45E+01	2,17E+01	3,44E+01	1,28E+01	2,93E+02
1,45E+01	1,46E+01	2,15E+01	3,39E+01	1,27E+01	2,93E+02
1,47E+01	1,47E+01	2,13E+01	3,35E+01	1,26E+01	2,93E+02
1,49E+01	1,48E+01	2,11E+01	3,30E+01	1,24E+01	2,93E+02
1,51E+01	1,49E+01	2,09E+01	3,26E+01	1,23E+01	2,93E+02
1,53E+01	1,49E+01	2,07E+01	3,22E+01	1,22E+01	2,93E+02
1,55E+01	1,50E+01	2,05E+01	3,17E+01	1,21E+01	2,93E+02
1,57E+01	1,51E+01	2,03E+01	3,13E+01	1,20E+01	2,93E+02
1,60E+01	1,52E+01	2,01E+01	3,08E+01	1,19E+01	2,93E+02
1,62E+01	1,53E+01	1,98E+01	3,04E+01	1,18E+01	2,93E+02
1,64E+01	1,53E+01	1,96E+01	3,00E+01	1,17E+01	2,93E+02
1,67E+01	1,54E+01	1,94E+01	2,96E+01	1,16E+01	2,93E+02
1,69E+01	1,55E+01	1,92E+01	2,91E+01	1,15E+01	2,93E+02
1,72E+01	1,56E+01	1,90E+01	2,87E+01	1,14E+01	2,93E+02
1,75E+01	1,57E+01	1,87E+01	2,83E+01	1,13E+01	2,93E+02
1,77E+01	1,58E+01	1,85E+01	2,79E+01	1,12E+01	2,93E+02
1,80E+01	1,59E+01	1,83E+01	2,75E+01	1,11E+01	2,93E+02
1,83E+01	1,60E+01	1,80E+01	2,71E+01	1,10E+01	2,93E+02
1,85E+01	1,61E+01	1,78E+01	2,67E+01	1,09E+01	2,93E+02
1,88E+01	1,61E+01	1,76E+01	2,63E+01	1,08E+01	2,93E+02
1,91E+01	1,62E+01	1,73E+01	2,59E+01	1,07E+01	2,93E+02
1,94E+01	1,63E+01	1,71E+01	2,55E+01	1,06E+01	2,93E+02
1,97E+01	1,64E+01	1,69E+01	2,51E+01	1,05E+01	2,93E+02
2,00E+01	1,65E+01	1,66E+01	2,47E+01	1,04E+01	2,93E+02
2,04E+01	1,66E+01	1,64E+01	2,43E+01	1,03E+01	2,93E+02
2,07E+01	1,67E+01	1,62E+01	2,40E+01	1,02E+01	2,93E+02
2,10E+01	1,68E+01	1,59E+01	2,36E+01	1,01E+01	2,93E+02
2,14E+01	1,69E+01	1,57E+01	2,32E+01	9,99E+00	2,93E+02
2,17E+01	1,70E+01	1,54E+01	2,29E+01	9,90E+00	2,93E+02
2,21E+01	1,71E+01	1,52E+01	2,25E+01	9,81E+00	2,93E+02
2,24E+01	1,72E+01	1,49E+01	2,22E+01	9,72E+00	2,93E+02
2,28E+01	1,73E+01	1,47E+01	2,18E+01	9,63E+00	2,93E+02
2,32E+01	1,74E+01	1,45E+01	2,15E+01	9,55E+00	2,93E+02
2,36E+01	1,75E+01	1,42E+01	2,11E+01	9,46E+00	2,93E+02
2,40E+01	1,76E+01	1,40E+01	2,08E+01	9,38E+00	2,93E+02
2,44E+01	1,77E+01	1,37E+01	2,04E+01	9,29E+00	2,93E+02
2,48E+01	1,78E+01	1,35E+01	2,01E+01	9,21E+00	2,93E+02
2,52E+01	1,79E+01	1,33E+01	1,98E+01	9,13E+00	2,93E+02
2,56E+01	1,80E+01	1,30E+01	1,94E+01	9,05E+00	2,93E+02
2,61E+01	1,81E+01	1,28E+01	1,91E+01	8,97E+00	2,93E+02
2,65E+01	1,82E+01	1,26E+01	1,88E+01	8,89E+00	2,93E+02
2,70E+01	1,83E+01	1,23E+01	1,85E+01	8,81E+00	2,93E+02
2,74E+01	1,84E+01	1,21E+01	1,82E+01	8,73E+00	2,93E+02
2,79E+01	1,85E+01	1,19E+01	1,79E+01	8,66E+00	2,93E+02
2,84E+01	1,86E+01	1,16E+01	1,76E+01	8,58E+00	2,93E+02
2,89E+01	1,87E+01	1,14E+01	1,73E+01	8,51E+00	2,93E+02
2,94E+01	1,88E+01	1,12E+01	1,70E+01	8,43E+00	2,93E+02
2,99E+01	1,89E+01	1,09E+01	1,67E+01	8,36E+00	2,93E+02
3,04E+01	1,90E+01	1,07E+01	1,64E+01	8,29E+00	2,93E+02
3,10E+01	1,91E+01	1,05E+01	1,62E+01	8,22E+00	2,93E+02

3,15E+01	1,92E+01	1,03E+01	1,59E+01	8,15E+00	2,93E+02
3,21E+01	1,93E+01	1,01E+01	1,56E+01	8,08E+00	2,93E+02
3,26E+01	1,94E+01	9,84E+00	1,53E+01	8,01E+00	2,93E+02
3,32E+01	1,95E+01	9,63E+00	1,51E+01	7,95E+00	2,93E+02
3,38E+01	1,96E+01	9,42E+00	1,48E+01	7,88E+00	2,93E+02
3,44E+01	1,97E+01	9,21E+00	1,46E+01	7,82E+00	2,93E+02
3,51E+01	1,98E+01	9,01E+00	1,43E+01	7,75E+00	2,93E+02
3,57E+01	1,99E+01	8,81E+00	1,41E+01	7,69E+00	2,93E+02
3,63E+01	2,00E+01	8,61E+00	1,38E+01	7,63E+00	2,93E+02
3,70E+01	2,01E+01	8,41E+00	1,36E+01	7,57E+00	2,93E+02
3,77E+01	2,02E+01	8,22E+00	1,33E+01	7,51E+00	2,93E+02
3,84E+01	2,03E+01	8,02E+00	1,31E+01	7,45E+00	2,93E+02
3,91E+01	2,04E+01	7,84E+00	1,29E+01	7,39E+00	2,93E+02
3,98E+01	2,05E+01	7,65E+00	1,26E+01	7,33E+00	2,93E+02
4,05E+01	2,06E+01	7,47E+00	1,24E+01	7,27E+00	2,93E+02
4,12E+01	2,07E+01	7,29E+00	1,22E+01	7,22E+00	2,93E+02
4,20E+01	2,07E+01	7,11E+00	1,20E+01	7,16E+00	2,93E+02
4,28E+01	2,08E+01	6,94E+00	1,18E+01	7,11E+00	2,93E+02
4,36E+01	2,09E+01	6,77E+00	1,15E+01	7,05E+00	2,93E+02
4,44E+01	2,10E+01	6,60E+00	1,13E+01	7,00E+00	2,93E+02
4,52E+01	2,11E+01	6,44E+00	1,11E+01	6,95E+00	2,93E+02
4,60E+01	2,12E+01	6,28E+00	1,09E+01	6,90E+00	2,93E+02
4,69E+01	2,13E+01	6,12E+00	1,07E+01	6,84E+00	2,93E+02
4,78E+01	2,14E+01	5,96E+00	1,05E+01	6,79E+00	2,93E+02
4,87E+01	2,15E+01	5,81E+00	1,03E+01	6,74E+00	2,93E+02
4,96E+01	2,16E+01	5,66E+00	1,02E+01	6,70E+00	2,93E+02
5,05E+01	2,17E+01	5,52E+00	9,97E+00	6,65E+00	2,93E+02
5,15E+01	2,18E+01	5,37E+00	9,79E+00	6,60E+00	2,93E+02
5,24E+01	2,19E+01	5,23E+00	9,61E+00	6,55E+00	2,93E+02
5,34E+01	2,19E+01	5,10E+00	9,43E+00	6,51E+00	2,93E+02
5,44E+01	2,20E+01	4,96E+00	9,25E+00	6,46E+00	2,93E+02
5,54E+01	2,21E+01	4,83E+00	9,08E+00	6,42E+00	2,93E+02
5,65E+01	2,22E+01	4,70E+00	8,91E+00	6,37E+00	2,93E+02
5,76E+01	2,23E+01	4,58E+00	8,75E+00	6,33E+00	2,93E+02
5,87E+01	2,24E+01	4,45E+00	8,58E+00	6,29E+00	2,93E+02
5,98E+01	2,25E+01	4,33E+00	8,42E+00	6,25E+00	2,93E+02
6,09E+01	2,25E+01	4,22E+00	8,26E+00	6,21E+00	2,93E+02
6,20E+01	2,26E+01	4,11E+00	8,11E+00	6,17E+00	2,93E+02

Höhe der Freistrahlmittellinie [m] 22,63
 Radius des Freistrahls [m] 5,98
 Freisetzungsfläche [m²]: 109,91
 Höhe der Austrittsfläche (Oberkante) über Freisetzungsort [m]: 28,44
 Entfernung der Austrittsfläche vom Freisetzungsort [m]: 60,89

Ende der Berechnung: Soll-Konzentration unterschritten
 Explosionsfähige Masse [kg]: 305,066
 Explosionsfähiges Volumen [m³]: 2016

Berechnung eines Freistrahls

Datum: 08 Mrz 2020 ; 06:59:18

Programm Version: 8.45

Stoffdaten:

Ausgewählter Stoff: CH4 54% CO2 46%
Bearbeitungsdatum: 18.01.2019
Molare Masse (Gasphase) [g/mol]: 28,91
Isentropenexponent [-]: 1,292
Realgasfaktor [-]: 0,996
Temperatur [K]: 293,15
(Dampf)-Druck [bar-abs]: 1,017
Überdruck [bar]: 0,004
Gasdichte [kg/m³]: 1,21
Wärmekapazität der Gasphase [kJ/kg K]: 1,2721
Untere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 4,4
Obere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 16,5
Unterer Heizwert [MJ/kg]: 14,94
Diffusionskoeffizient in Luft [m²/s]: 1,613e-05
Temperaturklasse: Keine Angabe
Explosionsgruppe: Keine Angabe

Gasgemisch:

Stoffname	Stoffanteil Mol.-%	Massenanteil Masse-%	Volumenanteil Vol.-%
Methan	54,000	29,965	54,000
Kohlendioxid	46,000	70,035	46,000

Freistrahlmmodell: Schatzmann

Eingabedaten:

Massenstrom [kg/s]: 3,1032E+01
Durchmesser Austritt [mm]: 1128,00
Austrittswinkel [°]: 37,00
Austrittshöhe [m]: 6,00
Variable Windgeschwindigkeit:
Exponent des Geschwindigkeitsprofils [-]: 0,28
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe [m/s]: 3,0
Windgeschwindigkeit in Austrittshöhe [m/s]: 2,6
Wetterlage: indifferent
Bodenrauigkeit: mäßig rauh
Sigma [m]: 23,578
Umgebungstemperatur [K]: 293,15
Gaskonzentration im Freistrahle [Vol.-%]: 0,02

Ergebnisse:

Startwerte nach Schatzmann:
Mach-Zahl am Austritt [-]: 0,08

Druck am Austritt [barabs]: 1,01
 Ausströmgeschwindigkeit U_j [m/s]: 25,83
 Temperatur des Freistrahls bezogen auf Luft [K]: 293,29
 Rho/Rholuft [-]: 9,9746E-01
 Dichte des Freistrahls [kg/m³]: 1,20
 Rhost/Rhou [-]: 0,00
 Tst/Tu [-]: 0,00
 Fr [-]: NaN

Startwerte nach am Ende der Kernzone:

Länge der Kernzone s_0 [m]: 6,72
 Winkel Theta θ [°]: 31,95
 Breite des Freistrahls b_0 [m]: 7,6754E-01
 Konzentration [Vol.-%]: 0,02
 Temperatur des Freistrahls T_0 [K]: 293,27

Abstand [m]	Höhe [m]	Winkel [°]	Konzentration [Vol.-%]	Geschwindigkeit [m/s]	Temperatur [K]
5,38E+00	1,00E+01	3,19E+01	1,70E-02	2,57E+01	2,93E+02
5,39E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,69E-02	2,57E+01	2,93E+02
5,40E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,69E-02	2,57E+01	2,93E+02
5,41E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,69E-02	2,56E+01	2,93E+02
5,42E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,69E-02	2,56E+01	2,93E+02
5,43E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,68E-02	2,56E+01	2,93E+02
5,44E+00	1,01E+01	3,19E+01	1,68E-02	2,55E+01	2,93E+02
5,45E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,68E-02	2,55E+01	2,93E+02
5,46E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,67E-02	2,54E+01	2,93E+02
5,47E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,67E-02	2,54E+01	2,93E+02
5,48E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,67E-02	2,54E+01	2,93E+02
5,50E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,66E-02	2,53E+01	2,93E+02
5,51E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,66E-02	2,53E+01	2,93E+02
5,52E+00	1,01E+01	3,18E+01	1,66E-02	2,52E+01	2,93E+02
5,53E+00	1,01E+01	3,17E+01	1,65E-02	2,52E+01	2,93E+02
5,55E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,65E-02	2,51E+01	2,93E+02
5,56E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,65E-02	2,51E+01	2,93E+02
5,57E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,64E-02	2,50E+01	2,93E+02
5,59E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,64E-02	2,50E+01	2,93E+02
5,60E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,64E-02	2,49E+01	2,93E+02
5,62E+00	1,02E+01	3,17E+01	1,63E-02	2,49E+01	2,93E+02
5,63E+00	1,02E+01	3,16E+01	1,63E-02	2,48E+01	2,93E+02
5,65E+00	1,02E+01	3,16E+01	1,62E-02	2,48E+01	2,93E+02
5,66E+00	1,02E+01	3,16E+01	1,62E-02	2,47E+01	2,93E+02
5,68E+00	1,02E+01	3,16E+01	1,62E-02	2,47E+01	2,93E+02
5,69E+00	1,02E+01	3,16E+01	1,61E-02	2,46E+01	2,93E+02
5,71E+00	1,03E+01	3,15E+01	1,61E-02	2,46E+01	2,93E+02
5,73E+00	1,03E+01	3,15E+01	1,60E-02	2,45E+01	2,93E+02
5,75E+00	1,03E+01	3,15E+01	1,60E-02	2,45E+01	2,93E+02
5,76E+00	1,03E+01	3,15E+01	1,60E-02	2,44E+01	2,93E+02
5,78E+00	1,03E+01	3,15E+01	1,59E-02	2,44E+01	2,93E+02
5,80E+00	1,03E+01	3,14E+01	1,59E-02	2,43E+01	2,93E+02
5,82E+00	1,03E+01	3,14E+01	1,58E-02	2,43E+01	2,93E+02
5,84E+00	1,03E+01	3,14E+01	1,58E-02	2,42E+01	2,93E+02

5,86E+00	1,03E+01	3,14E+01	1,57E-02	2,41E+01	2,93E+02
5,87E+00	1,04E+01	3,13E+01	1,57E-02	2,41E+01	2,93E+02
5,89E+00	1,04E+01	3,13E+01	1,56E-02	2,40E+01	2,93E+02
5,92E+00	1,04E+01	3,13E+01	1,56E-02	2,39E+01	2,93E+02
5,94E+00	1,04E+01	3,13E+01	1,55E-02	2,39E+01	2,93E+02
5,96E+00	1,04E+01	3,12E+01	1,55E-02	2,38E+01	2,93E+02
5,98E+00	1,04E+01	3,12E+01	1,54E-02	2,38E+01	2,93E+02
6,00E+00	1,04E+01	3,12E+01	1,54E-02	2,37E+01	2,93E+02
6,02E+00	1,04E+01	3,12E+01	1,53E-02	2,36E+01	2,93E+02
6,05E+00	1,05E+01	3,11E+01	1,53E-02	2,36E+01	2,93E+02
6,07E+00	1,05E+01	3,11E+01	1,52E-02	2,35E+01	2,93E+02
6,09E+00	1,05E+01	3,11E+01	1,52E-02	2,34E+01	2,93E+02
6,12E+00	1,05E+01	3,11E+01	1,51E-02	2,33E+01	2,93E+02
6,14E+00	1,05E+01	3,10E+01	1,51E-02	2,33E+01	2,93E+02
6,17E+00	1,05E+01	3,10E+01	1,50E-02	2,32E+01	2,93E+02
6,20E+00	1,06E+01	3,10E+01	1,50E-02	2,31E+01	2,93E+02
6,22E+00	1,06E+01	3,09E+01	1,49E-02	2,31E+01	2,93E+02
6,25E+00	1,06E+01	3,09E+01	1,48E-02	2,30E+01	2,93E+02
6,28E+00	1,06E+01	3,09E+01	1,48E-02	2,29E+01	2,93E+02
6,31E+00	1,06E+01	3,08E+01	1,47E-02	2,28E+01	2,93E+02
6,33E+00	1,06E+01	3,08E+01	1,47E-02	2,27E+01	2,93E+02
6,36E+00	1,07E+01	3,08E+01	1,46E-02	2,27E+01	2,93E+02
6,39E+00	1,07E+01	3,07E+01	1,45E-02	2,26E+01	2,93E+02
6,42E+00	1,07E+01	3,07E+01	1,45E-02	2,25E+01	2,93E+02
6,46E+00	1,07E+01	3,07E+01	1,44E-02	2,24E+01	2,93E+02
6,49E+00	1,07E+01	3,06E+01	1,44E-02	2,23E+01	2,93E+02
6,52E+00	1,07E+01	3,06E+01	1,43E-02	2,23E+01	2,93E+02
6,55E+00	1,08E+01	3,05E+01	1,42E-02	2,22E+01	2,93E+02
6,59E+00	1,08E+01	3,05E+01	1,42E-02	2,21E+01	2,93E+02
6,62E+00	1,08E+01	3,05E+01	1,41E-02	2,20E+01	2,93E+02
6,66E+00	1,08E+01	3,04E+01	1,40E-02	2,19E+01	2,93E+02
6,69E+00	1,08E+01	3,04E+01	1,40E-02	2,18E+01	2,93E+02
6,73E+00	1,09E+01	3,03E+01	1,39E-02	2,17E+01	2,93E+02
6,77E+00	1,09E+01	3,03E+01	1,38E-02	2,17E+01	2,93E+02
6,80E+00	1,09E+01	3,02E+01	1,38E-02	2,16E+01	2,93E+02
6,84E+00	1,09E+01	3,02E+01	1,37E-02	2,15E+01	2,93E+02
6,88E+00	1,10E+01	3,01E+01	1,36E-02	2,14E+01	2,93E+02
6,92E+00	1,10E+01	3,01E+01	1,35E-02	2,13E+01	2,93E+02
6,97E+00	1,10E+01	3,00E+01	1,35E-02	2,12E+01	2,93E+02
7,01E+00	1,10E+01	3,00E+01	1,34E-02	2,11E+01	2,93E+02
7,05E+00	1,11E+01	2,99E+01	1,33E-02	2,10E+01	2,93E+02
7,09E+00	1,11E+01	2,99E+01	1,32E-02	2,09E+01	2,93E+02
7,14E+00	1,11E+01	2,98E+01	1,32E-02	2,08E+01	2,93E+02
7,19E+00	1,11E+01	2,98E+01	1,31E-02	2,07E+01	2,93E+02
7,23E+00	1,12E+01	2,97E+01	1,30E-02	2,06E+01	2,93E+02
7,28E+00	1,12E+01	2,97E+01	1,29E-02	2,05E+01	2,93E+02
7,33E+00	1,12E+01	2,96E+01	1,29E-02	2,04E+01	2,93E+02
7,38E+00	1,12E+01	2,95E+01	1,28E-02	2,03E+01	2,93E+02
7,43E+00	1,13E+01	2,95E+01	1,27E-02	2,02E+01	2,93E+02
7,48E+00	1,13E+01	2,94E+01	1,26E-02	2,01E+01	2,93E+02
7,53E+00	1,13E+01	2,94E+01	1,25E-02	2,00E+01	2,93E+02
7,59E+00	1,14E+01	2,93E+01	1,25E-02	1,99E+01	2,93E+02
7,64E+00	1,14E+01	2,92E+01	1,24E-02	1,98E+01	2,93E+02
7,70E+00	1,14E+01	2,92E+01	1,23E-02	1,97E+01	2,93E+02

7,76E+00	1,15E+01	2,91E+01	1,22E-02	1,96E+01	2,93E+02
7,82E+00	1,15E+01	2,90E+01	1,21E-02	1,95E+01	2,93E+02
7,88E+00	1,15E+01	2,89E+01	1,20E-02	1,93E+01	2,93E+02
7,94E+00	1,16E+01	2,89E+01	1,20E-02	1,92E+01	2,93E+02
8,00E+00	1,16E+01	2,88E+01	1,19E-02	1,91E+01	2,93E+02
8,06E+00	1,16E+01	2,87E+01	1,18E-02	1,90E+01	2,93E+02
8,13E+00	1,17E+01	2,86E+01	1,17E-02	1,89E+01	2,93E+02
8,19E+00	1,17E+01	2,86E+01	1,16E-02	1,88E+01	2,93E+02
8,26E+00	1,17E+01	2,85E+01	1,15E-02	1,87E+01	2,93E+02
8,33E+00	1,18E+01	2,84E+01	1,14E-02	1,86E+01	2,93E+02
8,40E+00	1,18E+01	2,83E+01	1,13E-02	1,85E+01	2,93E+02
8,47E+00	1,18E+01	2,82E+01	1,13E-02	1,83E+01	2,93E+02
8,55E+00	1,19E+01	2,81E+01	1,12E-02	1,82E+01	2,93E+02
8,62E+00	1,19E+01	2,80E+01	1,11E-02	1,81E+01	2,93E+02
8,70E+00	1,20E+01	2,80E+01	1,10E-02	1,80E+01	2,93E+02
8,78E+00	1,20E+01	2,79E+01	1,09E-02	1,79E+01	2,93E+02
8,86E+00	1,20E+01	2,78E+01	1,08E-02	1,78E+01	2,93E+02
8,94E+00	1,21E+01	2,77E+01	1,07E-02	1,76E+01	2,93E+02
9,02E+00	1,21E+01	2,76E+01	1,06E-02	1,75E+01	2,93E+02
9,11E+00	1,22E+01	2,75E+01	1,05E-02	1,74E+01	2,93E+02
9,19E+00	1,22E+01	2,74E+01	1,04E-02	1,73E+01	2,93E+02
9,28E+00	1,23E+01	2,73E+01	1,03E-02	1,72E+01	2,93E+02
9,37E+00	1,23E+01	2,71E+01	1,03E-02	1,71E+01	2,93E+02
9,46E+00	1,24E+01	2,70E+01	1,02E-02	1,69E+01	2,93E+02
9,56E+00	1,24E+01	2,69E+01	1,01E-02	1,68E+01	2,93E+02
9,65E+00	1,25E+01	2,68E+01	9,97E-03	1,67E+01	2,93E+02
9,75E+00	1,25E+01	2,67E+01	9,88E-03	1,66E+01	2,93E+02
9,85E+00	1,26E+01	2,66E+01	9,79E-03	1,65E+01	2,93E+02
9,96E+00	1,26E+01	2,65E+01	9,69E-03	1,63E+01	2,93E+02
1,01E+01	1,27E+01	2,63E+01	9,60E-03	1,62E+01	2,93E+02
1,02E+01	1,27E+01	2,62E+01	9,50E-03	1,61E+01	2,93E+02
1,03E+01	1,28E+01	2,61E+01	9,41E-03	1,60E+01	2,93E+02
1,04E+01	1,28E+01	2,60E+01	9,31E-03	1,59E+01	2,93E+02
1,05E+01	1,29E+01	2,58E+01	9,22E-03	1,57E+01	2,93E+02
1,06E+01	1,29E+01	2,57E+01	9,12E-03	1,56E+01	2,93E+02
1,07E+01	1,30E+01	2,56E+01	9,03E-03	1,55E+01	2,93E+02
1,09E+01	1,30E+01	2,54E+01	8,93E-03	1,54E+01	2,93E+02
1,10E+01	1,31E+01	2,53E+01	8,84E-03	1,53E+01	2,93E+02
1,11E+01	1,32E+01	2,51E+01	8,74E-03	1,51E+01	2,93E+02
1,12E+01	1,32E+01	2,50E+01	8,65E-03	1,50E+01	2,93E+02
1,14E+01	1,33E+01	2,48E+01	8,55E-03	1,49E+01	2,93E+02
1,15E+01	1,33E+01	2,47E+01	8,46E-03	1,48E+01	2,93E+02
1,16E+01	1,34E+01	2,45E+01	8,36E-03	1,47E+01	2,93E+02
1,18E+01	1,35E+01	2,44E+01	8,27E-03	1,45E+01	2,93E+02
1,19E+01	1,35E+01	2,42E+01	8,17E-03	1,44E+01	2,93E+02
1,21E+01	1,36E+01	2,40E+01	8,08E-03	1,43E+01	2,93E+02
1,22E+01	1,37E+01	2,39E+01	7,99E-03	1,42E+01	2,93E+02
1,24E+01	1,37E+01	2,37E+01	7,89E-03	1,41E+01	2,93E+02
1,25E+01	1,38E+01	2,35E+01	7,80E-03	1,39E+01	2,93E+02
1,27E+01	1,39E+01	2,34E+01	7,70E-03	1,38E+01	2,93E+02
1,28E+01	1,39E+01	2,32E+01	7,61E-03	1,37E+01	2,93E+02
1,30E+01	1,40E+01	2,30E+01	7,52E-03	1,36E+01	2,93E+02
1,32E+01	1,41E+01	2,28E+01	7,42E-03	1,35E+01	2,93E+02
1,34E+01	1,42E+01	2,27E+01	7,33E-03	1,34E+01	2,93E+02

1,35E+01	1,42E+01	2,25E+01	7,24E-03	1,32E+01	2,93E+02
1,37E+01	1,43E+01	2,23E+01	7,15E-03	1,31E+01	2,93E+02
1,39E+01	1,44E+01	2,21E+01	7,06E-03	1,30E+01	2,93E+02
1,41E+01	1,45E+01	2,19E+01	6,97E-03	1,29E+01	2,93E+02
1,43E+01	1,45E+01	2,17E+01	6,88E-03	1,28E+01	2,93E+02
1,45E+01	1,46E+01	2,15E+01	6,79E-03	1,27E+01	2,93E+02
1,47E+01	1,47E+01	2,13E+01	6,70E-03	1,26E+01	2,93E+02
1,49E+01	1,48E+01	2,11E+01	6,61E-03	1,24E+01	2,93E+02
1,51E+01	1,49E+01	2,09E+01	6,52E-03	1,23E+01	2,93E+02
1,53E+01	1,49E+01	2,07E+01	6,43E-03	1,22E+01	2,93E+02
1,55E+01	1,50E+01	2,05E+01	6,34E-03	1,21E+01	2,93E+02
1,57E+01	1,51E+01	2,03E+01	6,26E-03	1,20E+01	2,93E+02
1,60E+01	1,52E+01	2,01E+01	6,17E-03	1,19E+01	2,93E+02
1,62E+01	1,53E+01	1,98E+01	6,08E-03	1,18E+01	2,93E+02
1,64E+01	1,53E+01	1,96E+01	6,00E-03	1,17E+01	2,93E+02
1,67E+01	1,54E+01	1,94E+01	5,91E-03	1,16E+01	2,93E+02
1,69E+01	1,55E+01	1,92E+01	5,83E-03	1,15E+01	2,93E+02
1,72E+01	1,56E+01	1,90E+01	5,74E-03	1,14E+01	2,93E+02
1,75E+01	1,57E+01	1,87E+01	5,66E-03	1,13E+01	2,93E+02
1,77E+01	1,58E+01	1,85E+01	5,58E-03	1,12E+01	2,93E+02
1,80E+01	1,59E+01	1,83E+01	5,50E-03	1,11E+01	2,93E+02
1,83E+01	1,60E+01	1,80E+01	5,42E-03	1,10E+01	2,93E+02
1,85E+01	1,61E+01	1,78E+01	5,34E-03	1,09E+01	2,93E+02
1,88E+01	1,61E+01	1,76E+01	5,26E-03	1,08E+01	2,93E+02
1,91E+01	1,62E+01	1,73E+01	5,18E-03	1,07E+01	2,93E+02
1,94E+01	1,63E+01	1,71E+01	5,10E-03	1,06E+01	2,93E+02
1,97E+01	1,64E+01	1,69E+01	5,02E-03	1,05E+01	2,93E+02
2,00E+01	1,65E+01	1,66E+01	4,95E-03	1,04E+01	2,93E+02
2,04E+01	1,66E+01	1,64E+01	4,87E-03	1,03E+01	2,93E+02
2,07E+01	1,67E+01	1,62E+01	4,79E-03	1,02E+01	2,93E+02
2,10E+01	1,68E+01	1,59E+01	4,72E-03	1,01E+01	2,93E+02
2,14E+01	1,69E+01	1,57E+01	4,65E-03	9,99E+00	2,93E+02
2,17E+01	1,70E+01	1,54E+01	4,57E-03	9,90E+00	2,93E+02
2,21E+01	1,71E+01	1,52E+01	4,50E-03	9,81E+00	2,93E+02
2,24E+01	1,72E+01	1,49E+01	4,43E-03	9,72E+00	2,93E+02
2,28E+01	1,73E+01	1,47E+01	4,36E-03	9,63E+00	2,93E+02
2,32E+01	1,74E+01	1,45E+01	4,29E-03	9,55E+00	2,93E+02
2,36E+01	1,75E+01	1,42E+01	4,22E-03	9,46E+00	2,93E+02
2,40E+01	1,76E+01	1,40E+01	4,15E-03	9,38E+00	2,93E+02
2,44E+01	1,77E+01	1,37E+01	4,09E-03	9,29E+00	2,93E+02
2,48E+01	1,78E+01	1,35E+01	4,02E-03	9,21E+00	2,93E+02
2,52E+01	1,79E+01	1,33E+01	3,95E-03	9,13E+00	2,93E+02
2,56E+01	1,80E+01	1,30E+01	3,89E-03	9,05E+00	2,93E+02
2,61E+01	1,81E+01	1,28E+01	3,83E-03	8,97E+00	2,93E+02
2,65E+01	1,82E+01	1,26E+01	3,76E-03	8,89E+00	2,93E+02
2,70E+01	1,83E+01	1,23E+01	3,70E-03	8,81E+00	2,93E+02
2,74E+01	1,84E+01	1,21E+01	3,64E-03	8,73E+00	2,93E+02
2,79E+01	1,85E+01	1,19E+01	3,58E-03	8,66E+00	2,93E+02
2,84E+01	1,86E+01	1,16E+01	3,52E-03	8,58E+00	2,93E+02
2,89E+01	1,87E+01	1,14E+01	3,46E-03	8,51E+00	2,93E+02
2,94E+01	1,88E+01	1,12E+01	3,40E-03	8,43E+00	2,93E+02
2,99E+01	1,89E+01	1,09E+01	3,34E-03	8,36E+00	2,93E+02
3,04E+01	1,90E+01	1,07E+01	3,29E-03	8,29E+00	2,93E+02
3,10E+01	1,91E+01	1,05E+01	3,23E-03	8,22E+00	2,93E+02

3,15E+01	1,92E+01	1,03E+01	3,17E-03	8,15E+00	2,93E+02
3,21E+01	1,93E+01	1,01E+01	3,12E-03	8,08E+00	2,93E+02
3,26E+01	1,94E+01	9,84E+00	3,07E-03	8,01E+00	2,93E+02
3,32E+01	1,95E+01	9,63E+00	3,01E-03	7,95E+00	2,93E+02
3,38E+01	1,96E+01	9,42E+00	2,96E-03	7,88E+00	2,93E+02

Höhe der Freistrahlmittellinie [m]	19,58
Radius des Freistrahls [m]	4,10
Freisetzungsfläche [m ²]:	0,00
Höhe der Austrittsfläche (Oberkante) über Freisetzungsort [m]:	0,00
Entfernung der Austrittsfläche vom Freisetzungsort [m]:	0,00

Ende der Berechnung: Soll-Konzentration unterschritten	
Explosionsfähige Masse [kg]:	134,327
Explosionsfähiges Volumen [m ³]:	687

Berechnung einer Gasexplosion im Freien

Datum: 08 Mrz 2020 ; 07:12:13

Programm Version: 8.45

Stoffdaten:

Ausgewählter Stoff: CH4 54% CO2 46%
Bearbeitungsdatum: 18.01.2019
Molare Masse (Gasphase) [g/mol]: 28,91
Isentropenexponent [-]: 1,292
Realgasfaktor [-]: 0,996
Temperatur [K]: 293,15
(Dampf)-Druck [bar-abs]: 1,017
Überdruck [bar]: 0,004
Gasdichte [kg/m³]: 1,21
Wärmekapazität der Gasphase [kJ/kg K]: 1,2721
Untere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 4,4
Obere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 16,5
Unterer Heizwert [MJ/kg]: 14,94
Diffusionskoeffizient in Luft [m²/s]: 1,613e-05
Temperaturklasse: Keine Angabe
Explosionsgruppe: Keine Angabe

Gasgemisch:

Stoffname	Stoffanteil Mol.-%	Massenanteil Masse-%	Volumenanteil Vol.-%
Methan	54,000	29,965	54,000
Kohlendioxid	46,000	70,035	46,000

Eingabedaten:

Gewählte Modelle:

Multy-Energy-Modell

Explosionsfähige Masse [kg]: 305,01
Untere Zünddistanz der Gaswolke [m]: 32,00
Wirkfaktor für TNT-Modell [%]: 0,05
Kategorie [-]: 3,00

TNT Modell (Warren)

TNT-Äquivalenzmasse [kg]: 0,55

Abstand [m]	Überdruck [bar]	Impuls [Pa s]
1,80E+01	9,61E-01	4,93E+03
1,90E+01	5,59E-01	3,29E+03
2,00E+01	3,81E-01	2,47E+03
2,10E+01	2,83E-01	1,97E+03
2,20E+01	2,22E-01	1,64E+03
2,30E+01	1,81E-01	1,41E+03
2,40E+01	1,51E-01	1,23E+03

2,50E+01	1,29E-01	1,10E+03
2,60E+01	1,12E-01	9,86E+02
2,70E+01	9,89E-02	8,96E+02
2,80E+01	8,78E-02	8,20E+02
2,91E+01	7,85E-02	7,53E+02
3,02E+01	7,05E-02	6,95E+02
3,13E+01	6,37E-02	6,44E+02
3,25E+01	5,78E-02	5,99E+02
3,37E+01	5,26E-02	5,58E+02
3,49E+01	4,81E-02	5,22E+02
3,62E+01	4,41E-02	4,89E+02
3,75E+01	4,06E-02	4,59E+02
3,88E+01	3,74E-02	4,32E+02
4,02E+01	3,46E-02	4,08E+02
4,16E+01	3,21E-02	3,85E+02
4,31E+01	2,98E-02	3,64E+02
4,46E+01	2,77E-02	3,45E+02
4,62E+01	2,58E-02	3,27E+02
4,78E+01	2,41E-02	3,10E+02
4,94E+01	2,25E-02	2,95E+02
5,11E+01	2,10E-02	2,81E+02
5,29E+01	1,97E-02	2,67E+02
5,47E+01	1,85E-02	2,55E+02
5,65E+01	1,74E-02	2,43E+02
5,85E+01	1,63E-02	2,32E+02
6,04E+01	1,54E-02	2,22E+02
6,25E+01	1,45E-02	2,12E+02
6,46E+01	1,37E-02	2,03E+02
6,67E+01	1,29E-02	1,94E+02
6,89E+01	1,22E-02	1,86E+02
7,12E+01	1,15E-02	1,79E+02
7,36E+01	1,09E-02	1,71E+02
7,60E+01	1,03E-02	1,64E+02
7,85E+01	9,76E-03	1,58E+02
8,11E+01	9,25E-03	1,52E+02
8,37E+01	8,77E-03	1,46E+02
8,65E+01	8,32E-03	1,40E+02
8,93E+01	7,89E-03	1,35E+02
9,22E+01	7,50E-03	1,29E+02
9,52E+01	7,12E-03	1,25E+02
9,82E+01	6,77E-03	1,20E+02
1,01E+02	6,44E-03	1,15E+02
1,05E+02	6,12E-03	1,11E+02
1,08E+02	5,83E-03	1,07E+02
1,11E+02	5,55E-03	1,03E+02
1,15E+02	5,28E-03	9,96E+01
1,19E+02	5,03E-03	9,60E+01
1,23E+02	4,79E-03	9,26E+01
1,26E+02	4,57E-03	8,93E+01
1,30E+02	4,36E-03	8,62E+01
1,35E+02	4,16E-03	8,32E+01
1,39E+02	3,97E-03	8,03E+01
1,43E+02	3,78E-03	7,75E+01
1,48E+02	3,61E-03	7,49E+01

1,52E+02	3,45E-03	7,23E+01
1,57E+02	3,29E-03	6,99E+01
1,62E+02	3,15E-03	6,75E+01
1,67E+02	3,01E-03	6,52E+01
1,72E+02	2,87E-03	6,31E+01
1,78E+02	2,75E-03	6,10E+01
1,83E+02	2,62E-03	5,89E+01
1,89E+02	2,51E-03	5,70E+01
1,95E+02	2,40E-03	5,51E+01

Multi-Energy

Verbrennungsenergie [MJ]:	4556,79
Schallgeschwindigkeit Luft [m/s]:	343,00
Explosionsklasse:	3,00

Abstand [m]	Überdruck [bar]	Impuls [Pa s]	tp [s]
1,70E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
1,80E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
1,91E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,02E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,13E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,25E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,37E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,49E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,62E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,75E+01	5,07E-02	6,13E+02	2,42E-01
2,88E+01	5,07E-02	5,93E+02	2,34E-01
3,02E+01	5,07E-02	5,71E+02	2,26E-01
3,16E+01	5,07E-02	5,52E+02	2,18E-01
3,31E+01	5,07E-02	5,31E+02	2,10E-01
3,46E+01	5,07E-02	5,22E+02	2,06E-01
3,62E+01	5,07E-02	5,22E+02	2,06E-01
3,78E+01	5,05E-02	5,20E+02	2,06E-01
3,94E+01	4,69E-02	4,82E+02	2,05E-01
4,11E+01	4,37E-02	4,48E+02	2,05E-01
4,29E+01	4,09E-02	4,19E+02	2,05E-01
4,47E+01	3,83E-02	3,93E+02	2,05E-01
4,65E+01	3,60E-02	3,70E+02	2,06E-01
4,85E+01	3,39E-02	3,51E+02	2,07E-01
5,04E+01	3,19E-02	3,33E+02	2,09E-01
5,25E+01	3,01E-02	3,16E+02	2,10E-01
5,46E+01	2,85E-02	2,98E+02	2,09E-01
5,67E+01	2,70E-02	2,82E+02	2,09E-01
5,89E+01	2,56E-02	2,67E+02	2,09E-01
6,12E+01	2,43E-02	2,53E+02	2,08E-01
6,36E+01	2,31E-02	2,40E+02	2,08E-01
6,60E+01	2,20E-02	2,28E+02	2,07E-01
6,85E+01	2,09E-02	2,16E+02	2,07E-01
7,11E+01	2,00E-02	2,06E+02	2,06E-01

7,37E+01	1,90E-02	1,96E+02	2,06E-01
7,65E+01	1,82E-02	1,86E+02	2,05E-01
7,93E+01	1,74E-02	1,78E+02	2,05E-01
8,22E+01	1,66E-02	1,69E+02	2,04E-01
8,52E+01	1,59E-02	1,62E+02	2,03E-01
8,82E+01	1,52E-02	1,55E+02	2,03E-01
9,14E+01	1,46E-02	1,48E+02	2,03E-01
9,47E+01	1,40E-02	1,42E+02	2,04E-01
9,80E+01	1,34E-02	1,37E+02	2,04E-01
1,01E+02	1,29E-02	1,31E+02	2,05E-01
1,05E+02	1,23E-02	1,26E+02	2,05E-01
1,09E+02	1,19E-02	1,22E+02	2,05E-01
1,13E+02	1,14E-02	1,17E+02	2,06E-01
1,16E+02	1,09E-02	1,13E+02	2,06E-01
1,20E+02	1,05E-02	1,09E+02	2,06E-01
1,25E+02	1,01E-02	1,05E+02	2,07E-01
1,29E+02	9,74E-03	1,01E+02	2,07E-01
1,33E+02	9,38E-03	9,69E+01	2,07E-01
1,38E+02	9,03E-03	9,33E+01	2,07E-01
1,42E+02	8,70E-03	8,99E+01	2,07E-01
1,47E+02	8,38E-03	8,66E+01	2,07E-01
1,52E+02	8,08E-03	8,35E+01	2,07E-01
1,57E+02	7,78E-03	8,05E+01	2,07E-01
1,62E+02	7,51E-03	7,76E+01	2,07E-01
1,68E+02	7,24E-03	7,48E+01	2,07E-01
1,73E+02	6,98E-03	7,22E+01	2,07E-01
1,79E+02	6,74E-03	6,97E+01	2,07E-01
1,85E+02	6,50E-03	6,72E+01	2,07E-01
1,91E+02	6,28E-03	6,49E+01	2,07E-01
1,97E+02	6,06E-03	6,27E+01	2,07E-01
2,04E+02	5,85E-03	6,05E+01	2,07E-01
2,10E+02	5,65E-03	5,84E+01	2,07E-01
2,17E+02	5,46E-03	5,65E+01	2,07E-01
2,24E+02	5,28E-03	5,45E+01	2,07E-01
2,31E+02	5,10E-03	5,27E+01	2,07E-01
2,39E+02	4,93E-03	5,09E+01	2,07E-01

Berechnung einer Gasexplosion im Freien

Datum: 08 Mrz 2020 ; 07:12:13

Programm Version: 8.45

Stoffdaten:

Ausgewählter Stoff: CH4 54% CO2 46%
Bearbeitungsdatum: 18.01.2019
Molare Masse (Gasphase) [g/mol]: 28,91
Isentropenexponent [-]: 1,292
Realgasfaktor [-]: 0,996
Temperatur [K]: 293,15
(Dampf)-Druck [bar-abs]: 1,017
Überdruck [bar]: 0,004
Gasdichte [kg/m³]: 1,21
Wärmekapazität der Gasphase [kJ/kg K]: 1,2721
Untere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 4,4
Obere Explosionsgrenze [Vol.-%]: 16,5
Unterer Heizwert [MJ/kg]: 14,94
Diffusionskoeffizient in Luft [m²/s]: 1,613e-05
Temperaturklasse: Keine Angabe
Explosionsgruppe: Keine Angabe

Gasgemisch:

Stoffname	Stoffanteil Mol.-%	Massenanteil Masse-%	Volumenanteil Vol.-%
Methan	54,000	29,965	54,000
Kohlendioxid	46,000	70,035	46,000

Eingabedaten:

Gewählte Modelle:

Multy-Energy-Modell

Explosionsfähige Masse [kg]: 305,01
Untere Zünddistanz der Gaswolke [m]: 32,00
Wirkfaktor für TNT-Modell [%]: 0,05
Kategorie [-]: 3,00

TNT Modell (Warren)

TNT-Äquivalenzmasse [kg]: 0,55

Abstand [m]	Überdruck [bar]	Impuls [Pa s]
1,80E+01	9,61E-01	4,93E+03
1,90E+01	5,59E-01	3,29E+03
2,00E+01	3,81E-01	2,47E+03
2,10E+01	2,83E-01	1,97E+03
2,20E+01	2,22E-01	1,64E+03
2,30E+01	1,81E-01	1,41E+03
2,40E+01	1,51E-01	1,23E+03

2,50E+01	1,29E-01	1,10E+03
2,60E+01	1,12E-01	9,86E+02
2,70E+01	9,89E-02	8,96E+02
2,80E+01	8,78E-02	8,20E+02
2,91E+01	7,85E-02	7,53E+02
3,02E+01	7,05E-02	6,95E+02
3,13E+01	6,37E-02	6,44E+02
3,25E+01	5,78E-02	5,99E+02
3,37E+01	5,26E-02	5,58E+02
3,49E+01	4,81E-02	5,22E+02
3,62E+01	4,41E-02	4,89E+02
3,75E+01	4,06E-02	4,59E+02
3,88E+01	3,74E-02	4,32E+02
4,02E+01	3,46E-02	4,08E+02
4,16E+01	3,21E-02	3,85E+02
4,31E+01	2,98E-02	3,64E+02
4,46E+01	2,77E-02	3,45E+02
4,62E+01	2,58E-02	3,27E+02
4,78E+01	2,41E-02	3,10E+02
4,94E+01	2,25E-02	2,95E+02
5,11E+01	2,10E-02	2,81E+02
5,29E+01	1,97E-02	2,67E+02
5,47E+01	1,85E-02	2,55E+02
5,65E+01	1,74E-02	2,43E+02
5,85E+01	1,63E-02	2,32E+02
6,04E+01	1,54E-02	2,22E+02
6,25E+01	1,45E-02	2,12E+02
6,46E+01	1,37E-02	2,03E+02
6,67E+01	1,29E-02	1,94E+02
6,89E+01	1,22E-02	1,86E+02
7,12E+01	1,15E-02	1,79E+02
7,36E+01	1,09E-02	1,71E+02
7,60E+01	1,03E-02	1,64E+02
7,85E+01	9,76E-03	1,58E+02
8,11E+01	9,25E-03	1,52E+02
8,37E+01	8,77E-03	1,46E+02
8,65E+01	8,32E-03	1,40E+02
8,93E+01	7,89E-03	1,35E+02
9,22E+01	7,50E-03	1,29E+02
9,52E+01	7,12E-03	1,25E+02
9,82E+01	6,77E-03	1,20E+02
1,01E+02	6,44E-03	1,15E+02
1,05E+02	6,12E-03	1,11E+02
1,08E+02	5,83E-03	1,07E+02
1,11E+02	5,55E-03	1,03E+02
1,15E+02	5,28E-03	9,96E+01
1,19E+02	5,03E-03	9,60E+01
1,23E+02	4,79E-03	9,26E+01
1,26E+02	4,57E-03	8,93E+01
1,30E+02	4,36E-03	8,62E+01
1,35E+02	4,16E-03	8,32E+01
1,39E+02	3,97E-03	8,03E+01
1,43E+02	3,78E-03	7,75E+01
1,48E+02	3,61E-03	7,49E+01

1,52E+02	3,45E-03	7,23E+01
1,57E+02	3,29E-03	6,99E+01
1,62E+02	3,15E-03	6,75E+01
1,67E+02	3,01E-03	6,52E+01
1,72E+02	2,87E-03	6,31E+01
1,78E+02	2,75E-03	6,10E+01
1,83E+02	2,62E-03	5,89E+01
1,89E+02	2,51E-03	5,70E+01
1,95E+02	2,40E-03	5,51E+01

Multi-Energy

Verbrennungsenergie [MJ]:	4556,79
Schallgeschwindigkeit Luft [m/s]:	343,00
Explosionsklasse:	3,00

Abstand [m]	Überdruck [bar]	Impuls [Pa s]	tp [s]
1,70E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
1,80E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
1,91E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,02E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,13E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,25E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,37E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,49E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,62E+01	5,07E-02	6,25E+02	2,47E-01
2,75E+01	5,07E-02	6,13E+02	2,42E-01
2,88E+01	5,07E-02	5,93E+02	2,34E-01
3,02E+01	5,07E-02	5,71E+02	2,26E-01
3,16E+01	5,07E-02	5,52E+02	2,18E-01
3,31E+01	5,07E-02	5,31E+02	2,10E-01
3,46E+01	5,07E-02	5,22E+02	2,06E-01
3,62E+01	5,07E-02	5,22E+02	2,06E-01
3,78E+01	5,05E-02	5,20E+02	2,06E-01
3,94E+01	4,69E-02	4,82E+02	2,05E-01
4,11E+01	4,37E-02	4,48E+02	2,05E-01
4,29E+01	4,09E-02	4,19E+02	2,05E-01
4,47E+01	3,83E-02	3,93E+02	2,05E-01
4,65E+01	3,60E-02	3,70E+02	2,06E-01
4,85E+01	3,39E-02	3,51E+02	2,07E-01
5,04E+01	3,19E-02	3,33E+02	2,09E-01
5,25E+01	3,01E-02	3,16E+02	2,10E-01
5,46E+01	2,85E-02	2,98E+02	2,09E-01
5,67E+01	2,70E-02	2,82E+02	2,09E-01
5,89E+01	2,56E-02	2,67E+02	2,09E-01
6,12E+01	2,43E-02	2,53E+02	2,08E-01
6,36E+01	2,31E-02	2,40E+02	2,08E-01
6,60E+01	2,20E-02	2,28E+02	2,07E-01
6,85E+01	2,09E-02	2,16E+02	2,07E-01
7,11E+01	2,00E-02	2,06E+02	2,06E-01

7,37E+01	1,90E-02	1,96E+02	2,06E-01
7,65E+01	1,82E-02	1,86E+02	2,05E-01
7,93E+01	1,74E-02	1,78E+02	2,05E-01
8,22E+01	1,66E-02	1,69E+02	2,04E-01
8,52E+01	1,59E-02	1,62E+02	2,03E-01
8,82E+01	1,52E-02	1,55E+02	2,03E-01
9,14E+01	1,46E-02	1,48E+02	2,03E-01
9,47E+01	1,40E-02	1,42E+02	2,04E-01
9,80E+01	1,34E-02	1,37E+02	2,04E-01
1,01E+02	1,29E-02	1,31E+02	2,05E-01
1,05E+02	1,23E-02	1,26E+02	2,05E-01
1,09E+02	1,19E-02	1,22E+02	2,05E-01
1,13E+02	1,14E-02	1,17E+02	2,06E-01
1,16E+02	1,09E-02	1,13E+02	2,06E-01
1,20E+02	1,05E-02	1,09E+02	2,06E-01
1,25E+02	1,01E-02	1,05E+02	2,07E-01
1,29E+02	9,74E-03	1,01E+02	2,07E-01
1,33E+02	9,38E-03	9,69E+01	2,07E-01
1,38E+02	9,03E-03	9,33E+01	2,07E-01
1,42E+02	8,70E-03	8,99E+01	2,07E-01
1,47E+02	8,38E-03	8,66E+01	2,07E-01
1,52E+02	8,08E-03	8,35E+01	2,07E-01
1,57E+02	7,78E-03	8,05E+01	2,07E-01
1,62E+02	7,51E-03	7,76E+01	2,07E-01
1,68E+02	7,24E-03	7,48E+01	2,07E-01
1,73E+02	6,98E-03	7,22E+01	2,07E-01
1,79E+02	6,74E-03	6,97E+01	2,07E-01
1,85E+02	6,50E-03	6,72E+01	2,07E-01
1,91E+02	6,28E-03	6,49E+01	2,07E-01
1,97E+02	6,06E-03	6,27E+01	2,07E-01
2,04E+02	5,85E-03	6,05E+01	2,07E-01
2,10E+02	5,65E-03	5,84E+01	2,07E-01
2,17E+02	5,46E-03	5,65E+01	2,07E-01
2,24E+02	5,28E-03	5,45E+01	2,07E-01
2,31E+02	5,10E-03	5,27E+01	2,07E-01
2,39E+02	4,93E-03	5,09E+01	2,07E-01