

KAS

**KOMMISSION FÜR
ANLAGENSICHERHEIT**

beim

Bundesministerium für

Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

**Ermittlung des angemessenen Sicherheitsab-
stands für Anlagen mit gasförmigem Wasserstoff**

KAS-63

Arbeitskreis „Überarbeitung des Leitfadens KAS-18“

der Kommission für

Anlagensicherheit (KAS)

Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstands
für Anlagen mit gasförmigem Wasserstoff

im November 2023 von der KAS verabschiedet

KAS-63

Die Kommission für Anlagensicherheit (KAS) ist ein nach § 51 a Bundes-Immissionsschutzgesetz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz gebildetes Gremium.

Ihre Geschäftsstelle ist bei der GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH in Bonn eingerichtet.

Anmerkung:

Dieses Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen Verfasser und Auftraggeber keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können daher keine Ansprüche gegenüber Verfasser und/oder Auftraggeber geltend gemacht werden.

Dieses Werk darf für nichtkommerzielle Zwecke vervielfältigt werden. Auftraggeber und Verfasser übernehmen keine Haftung für Schäden im Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder mit Reproduktionsexemplaren.

INHALT

1	Einleitung	1
2	Geltungsbereich und Randbedingungen	1
3	Berechnungsmethoden	2
4	Beurteilungswerte	3
5	Berechnungen	3
6	Empfehlung von angemessenen Sicherheitsabständen	4
7	Literatur	5

1 Einleitung

Auf Wunsch des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) wurde in der 15. Sitzung des Arbeitskreises „Überarbeitung des Leitfadens KAS-18“ (AK-KAS18) am 22.09.2023 das Thema angemessener Sicherheitsabstand für „Anlagen zur Erzeugung, Lagerung, Abfüllen, Umschlagen und Verwendung von gasförmigem Wasserstoff“ diskutiert. Es wurde beschlossen, für diese Anlagen pauschale angemessene Sicherheitsabstände festzulegen. Aufgrund der Dringlichkeit dieses Themas, soll das Ergebnis des AK-KAS18 vorab veröffentlicht werden.

Bei den vorstehend genannten Anlagen sind bei einer Stofffreisetzung die Gefährdungen durch Brand und Explosion zu betrachten. Bei der Freisetzung von flüssigem Wasserstoff bildet sich eine Schwergaswolke, deren Ausbreitung stark durch die Bebauung in der Umgebung des Freisetzungsortes beeinflusst wird. Ein solches Szenario lässt sich daher nur unzureichend durch einen pauschalen angemessenen Sicherheitsabstand abbilden. Hierfür ist eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen.

Bei der Freisetzung von gasförmigem Wasserstoff wird sich aufgrund des Betriebsüberdrucks ein Freistrahls ausbilden. Bei einer unterstellten Zündung kommt es zunächst zu einer Explosion und anschließend zu einem Brand des Freistrahls. Die Einflussgrößen auf dieses Szenario lassen sich konservativ abschätzen, sodass eine pauschalisierte Betrachtungsweise möglich ist, welches nachfolgend beschrieben wird.

Statt einer pauschalisierten Betrachtung kann alternativ auch eine Einzelfallbetrachtung vorgenommen werden.

2 Geltungsbereich und Randbedingungen

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf Anlagen (siehe Einleitung) zum Umgang mit gasförmigem Wasserstoff mit Betriebsüberdrücken bis maximal 1.000 bar.

Hierbei wird in zwei Anlagentypen unterschieden:

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

Daraus abgeleitet wird im Fall 1 eine Leckfläche von 180 mm² (Äquivalenzdurchmesser 15 mm) und im Fall 2 eine Leckfläche von 490 mm² (Äquivalenzdurchmesser 25 mm) unterstellt.

Es werden folgende Randbedingungen vorausgesetzt:

- Betriebstemperatur: 20 °C
- Umgebungstemperatur: 20 °C
- Windstille
- Ausflussziffer des Lecks: 0,62
- Aufpunkthöhe: 2 m
- Austrittswinkel gegenüber der Horizontalen: 45°

3 Berechnungsmethoden

Für die Berechnung des Wasserstoff-Freistrahls wird das modifizierte Modell nach Schatzmann verwendet, das im Vergleich zu experimentellen Untersuchungen eine gute Übereinstimmung ergibt /1/.

Der Mittelpunkt des Freistrahls befindet sich unter den getroffenen Voraussetzungen deutlich oberhalb des Bodens. Bei einer Zündung kann sich die Druckwelle in alle Richtungen ausbreiten. Für dieses Szenario ist das Modell von Baker-Strehlow-Tang /2/ geeignet, da es von einer sphärischen Ausbreitung der Druckwelle ausgeht. Weiterhin wird in diesem Modell die Reaktivität des Gases berücksichtigt. Es wird unterschieden in wenig reaktive Gase (z. B. Methan), mittel reaktive Gase und hoch reaktive Gase (z. B. Wasserstoff). In Abhängigkeit von der Verdämmung und Verblockung der Gaswolke wird der maximale Explosionsüberdruck entsprechend der Matrix von Pierorazio /3/ festgelegt. Es werden zwei Fälle unterschieden:

Fall 1: Es befinden sich keine turbulenz erzeugenden Hindernisse in der Gaswolke und die Explosion wird nicht durch Hindernisse begrenzt.

Fall 2: Es befinden sich turbulenz erzeugenden Hindernisse in der Gaswolke und es kommt zu einer Detonation. Die Explosion wird einseitig durch Hindernisse begrenzt.

Für die Berechnung der Länge der Freistrahflamme wird der Ansatz von Molkov / Saffers /4/ verwendet, der im Vergleich zu experimentellen Untersuchungen eine konservative Abschätzung ergibt. Für die Berechnung der Bestrahlungsstärke in der Umgebung wird von einer Flamme in Form eines Kegelstumpfes ausgegangen. Der Strahlungsanteil der Freistrahflamme wird nach dem Ansatz von Houf / Schefer /5/ und Ekoto /6/ berechnet.

4 Beurteilungswerte

Der angemessene Sicherheitsabstand ergibt sich 1. bei einem Explosionsüberdruck von 50 mbar, da ein Explosionsdruck von 50 mbar bei Schutzobjekten nach § 3 Abs. 5d BImSchG nicht überschritten werden soll oder 2. bei einer Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m².

5 Berechnungen

In den beiden folgenden Tabellen sind die Berechnungsergebnisse, insbesondere die Entfernungen, bei denen die Beurteilungswerte unterschritten werden, für die beiden Leckflächen 180 mm² und 490 mm² zusammengefasst. Die Fälle 1 und 2 beziehen sich auf die Randbedingungen der Gasexplosion.

Leckfläche 180 mm²

Betriebsüberdruck	Massenstrom	Explosionsfähige Masse	Fall 1	Fall 2	Wärmestrahlung
100 bar	0,684 kg/s	0,47 kg	20 m	51 m	34 m
200 bar	1,345 kg/s	1,1 kg	25 m	67 m	47 m
300 bar	1,966 kg/s	1,6 kg	28 m	77 m	56 m
400 bar	2,554 kg/s	2,2 kg	31 m	84 m	64 m
500 bar	3,112 kg/s	2,7 kg	33 m	90 m	70 m
600 bar	3,642 kg/s	3,2 kg	35 m	95 m	76 m
700 bar	4,146 kg/s	3,6 kg	36 m	99 m	81 m
800 bar	4,629 kg/s	4,0 kg	37 m	102 m	85 m
900 bar	5,091 kg/s	4,4 kg	38 m	105 m	88 m
1.000 bar	5,535 kg/s	4,7 kg	39 m	108 m	92 m

Leckfläche 490 mm²

Betriebsüberdruck	Massenstrom	Explosionsfähige Masse	Fall 1	Fall 2	Wärmestrahlung
100 bar	1,863 kg/s	1,9 kg	31 m	82 m	56 m
200 bar	3,663 kg/s	4,4 kg	40 m	107 m	78 m
300 bar	5,352 kg/s	6,9 kg	46 m	123 m	94 m
400 bar	6,953 kg/s	9,2 kg	50 m	136 m	106 m
500 bar	8,471 kg/s	11,4 kg	53 m	145 m	117 m
600 bar	9,913 kg/s	13,5 kg	56 m	153 m	126 m
700 bar	11,288 kg/s	15,4 kg	58 m	160 m	133 m
800 bar	12,601 kg/s	17,2 kg	60 m	166 m	140 m
900 bar	13,859 kg/s	18,8 kg	62 m	170 m	146 m
1.000 bar	15,068 kg/s	20,3 kg	63 m	175 m	152 m

6 Empfehlung von angemessenen Sicherheitsabständen

Auf Grundlage der durchgeführten Berechnungen werden für Anlagen zur Erzeugung, Lagerung, Abfüllen, Umschlagen und Verwendung von gasförmigem Wasserstoff mit Rohrleitungen mit Innendurchmessern vom maximal 15 mm (Leckfläche: 180 mm²) und Anlagen mit Rohrleitungen mit Innendurchmessern von über 15 mm (Leckfläche: 490 mm²) folgende angemessene Sicherheitsabstände vorgeschlagen:

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

7 Literatur

- /1/ B. Schalau, S. Schalau: Wasserstoff-Freisetzung aus Ausbläsern. Technische Sicherheit 13, Nr. 5-6 (2023)
- /2/ M.J. Tang, Q.A. Baker: A New set of Blast Curves from Vapour Cloud Explosion. Process Safety Progress, Vol. 18, Nr. 3, S. 235-240 (1999)
- /3/ A.J. Pierorazio, J.K. Thomas, Q.A. Baker, D.E. Ketchum: An Update to the Baker-Strehlow-Tang Vapour Cloud Explosion Prediction Methodology Flame Speed Table. Process Safety Progress, Vol. 24, Nr. 1, S. 59-65 (2005)
- /4/ V. Molkov, J.-B. Saffers: Hydrogen jet flames. International Journal of Hydrogen Energy Vol. 38, Seiten 8141-8158 (2013)
- /5/ W. Houf, R. Schefer: Predicting radiative heat fluxes and flammability envelopes from unintended releases of hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy Vol. 32, Seite 136 – 151 (2007)
- /6/ I.W. Ekoto, A.J. Ruggles, L.W. Creitz, J.X. Li: Updated jet flame radiation modeling with buoyancy corrections. International Journal of Hydrogen Energy Vol. 39, Nr. 35, Seiten 20570-20577 (2014)

GFI Umwelt – Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH

Geschäftsstelle der
Kommission für Anlagensicherheit

Königswinterer Str. 827
D-53227 Bonn

Telefon +49-(0)228-90 87 34-0

Telefax +49-(0)228-90 87 34-9

E-Mail kas@gfi-umwelt.de

www.kas-bmu.de
