

Gutachten
nach § 58 Abs. 5 Satz 3 Nr. 1 NBauO
zur Ermittlung des angemessenen Abstandes
um einen Betriebsbereich nach § 3 Abs. 5a BImSchG

Auftraggeber: Samtgemeinde Horneburg
Lange Straße 47-49
21640 Horneburg

Bauvorhaben: Mehrzweckgebäude
Zur Mehrzweckhalle
21684 Agathenburg

Betriebsbereich nach
§ 3 Abs. 5a BImSchG: AGRAVIS Raiffeisen AG
Ottenbecker Damm 4
21684 Stade

Anlage: Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager

Nr. des Anhangs 1
zur 4. BImSchV: 9.3.1

Auftrag-Nummer: LI051-M2342240002-20171123

Auftrag-Datum: 30. April 2018

Sachverständige: Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Robert Freudling
Dipl.-Ing. Wolfgang Strouhal

Oldenburg, 7. Juni 2018
Az.: 102818 Sth/RF-JT

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Aufgabenstellung und Beschreibung der aktuellen Situation	3
1.1	Aufgabenstellung	3
1.2	Vorgelegte Unterlagen	4
2	Beschreibung der aktuellen Situation und Planung	5
2.1	Örtliche Lage	5
2.2	Kurzbeschreibung des Betriebsbereiches AGRAVIS Raiffeisen AG	6
3	Abstände als Maßnahme der Schadensminimierung	10
3.1	Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten	10
3.1.1	Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse	11
3.1.2	Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung mit Detailkenntnissen	12
4	Bestimmung eines angemessenen Abstandes bei einem Gefahrstofflager	14
5	Störfallauswirkungsbetrachtung	19
5.1	Brand im Gefahrstofflager	19
5.2	Gasausbreitungsmodell	28
5.3	Beurteilungswerte	32
5.4	Berechnungen	34
5.4.1	Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager	34
5.4.1.1	Lagerbereich I	34
5.4.1.2	Lagerbereich II	40
5.4.1.3	Lagerbereich III	44
5.4.2	Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel	49
5.4.3	Formelzeichen	53
6	Zusammenfassung	55
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	58
7.1	Vorgelegte Unterlagen	58
7.2	Gesetze	58
7.3	Verwendete Literatur	58

1 Aufgabenstellung und Beschreibung der aktuellen Situation

1.1 Aufgabenstellung

Die Samtgemeinde Horneburg, Lange Straße 47-49 in 21640 Horneburg beabsichtigt den Neubau eines Mehrzweckgebäudes in 21684 Agathenburg, Zur Mehrzweckhalle. Diese Mehrzweckhalle soll als Versammlungsstätte für max. 300 Personen dienen.

Die Gemeinde Agathendorf hat deshalb mit Schreiben vom 21. Dezember 2017 einen Antrag auf Baugenehmigung für Sonderbauten im Baugenehmigungsverfahren nach § 64 NBauO /U1/ beim Bauordnungsamt des Landkreises Stade gestellt.

Im Zuge der Prüfung des Bauantrages wurde durch das Bauordnungsamt festgestellt, dass das Bauvorhaben gemäß § 68 Abs. 5 Nr. 1 NBauO innerhalb des Achtungsabstandes von 2 000 m von einem Betriebsbereich – Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager der Firma AGRAVIS Raiffeisen AG in Stade – liegt, und somit ein Gutachten gemäß § 68 Abs.5 Nr. 3 Satz 3 Nr. 1 NBauO eines Sachverständigen nach § 29b BImSchG erforderlich ist.

Mit Schreiben der Samtgemeinde Horneburg vom 30. April 2018 wurden wir mit der Erstellung dieses Gutachtens beauftragt.

In Anlehnung an den Leitfaden KAS-18 „Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung – Umsetzung § 50 BImSchG“ /L1/ wurden Auswirkungsbetrachtungen zur Ermittlung eines angemessenen Abstandes durchgeführt.

1.2 Vorgelegte Unterlagen

Für die Auswirkungsbetrachtung zur Ermittlung des angemessenen Abstands wurden uns folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- Antrag auf Baugenehmigung für Sonderbauten im Baugenehmigungsverfahren nach § 64 NBauO vom 21. Dezember 2017 /U1/
- Störfallauswirkungsbetrachtung des BTÜB-Dipl.-Ing. W. Strouhal für die Bauleitplanung zur Umsetzung des § 50 BImSchG; vom 3. März 2015 Az.: 104614 - Sth/RF-JF /U2/
- Ermittlung eines angemessenen Abstandes im Zusammenhang mit der Nutzungsänderung des Agravis-Lagers Stade des BTÜB-Dipl.-Ing. W. Strouhal vom 2. Mai 2016, Az.: 109515 Sth/RF-JT /U3/
- Bestandsliste der Gefahrstoffe der AGRAVIS Raiffeisen AG, Stade vom 14. Mai 2018 /U4/

2 Beschreibung der aktuellen Situation und Planung

2.1 Örtliche Lage

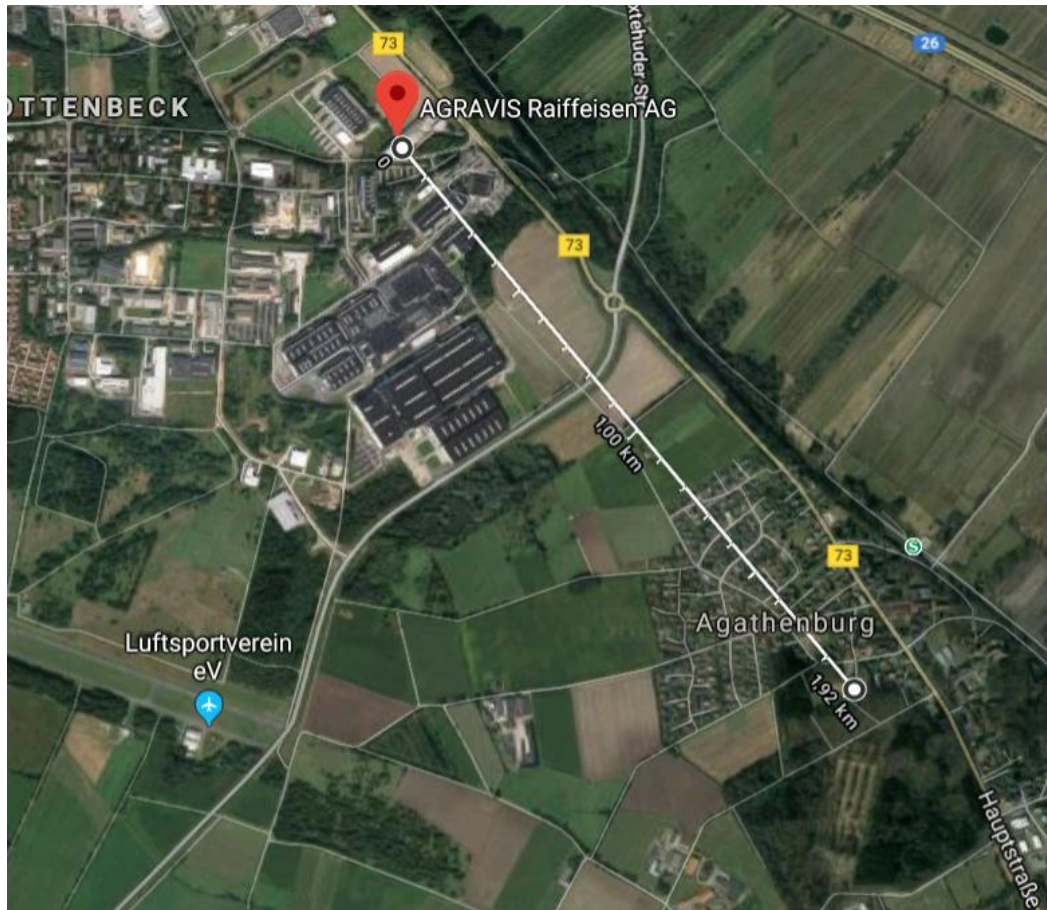


Abbildung 2-1: Örtliche Lage des Betriebsbereiches der AGRAVIS Raiffeisen AG, Stade, Quelle Google Maps © 2018 Google-GeoBasis-DE/BKG (© 2009)

Innerhalb des Geltungsbereiches des Bebauungsplans Nr. 461 der Hansestadt Stade befindet sich das Lager der AGRAVIS Raiffeisen AG im südwestlichen Bereich, in der Einmündung zwischen dem Ottenbecker Damm und der B 73 (Hauptstraße). Der Abstand zwischen dem Betriebsbereich der AGRAVIS Raiffeisen AG und der geplanten Mehrzweckgebäude in 21684 Agathenburg, Zur Mehrzweckhalle, beträgt ca. 1,92 km, siehe Abbildung 2-1.

2.2 Kurzbeschreibung des Betriebsbereiches AGRAVIS Raiffeisen AG

Die Firma AGRAVIS Raiffeisen AG, Industrieweg 110, 48155 Münster betreibt auf dem Betriebsgelände am Ottenbecker Damm 4 in 21684 Stade ein Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager sowie ein Lager für landwirtschaftlichen Produkte der Lagerklassen 5.1C, 8B und 10 – 13 gemäß TRGS 510.

Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager

Das Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager dient der Lagerung von maximal 580 Tonnen Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie sonstigen Chemikalien.

Das Lager für Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager ist genehmigungsbedürftig nach Ziffer 9.3.1 des Anhangs 1 der 4. BImSchV in Verbindung mit der Nummer 30 des Anhangs 2 der 4. BImSchV, da mehr als 200 Tonnen sehr giftige, giftige, brandfördernde oder explosionsgefährliche Stoffe oder Gemische gelagert werden. Darüber hinaus unterliegt die Anlage auch den Bestimmungen der Störfall-Verordnung entsprechend § 1 Abs. 1 Satz 2 der 12. BImSchV (Störfall-Verordnung). Auf Grund der Überschreitung der Mengenschwellen der in Spalte 5 des Anhang I der Störfall-Verordnung genannten gefährlichen Stoffe handelt es um einen Betriebsbereich der oberen Klasse.

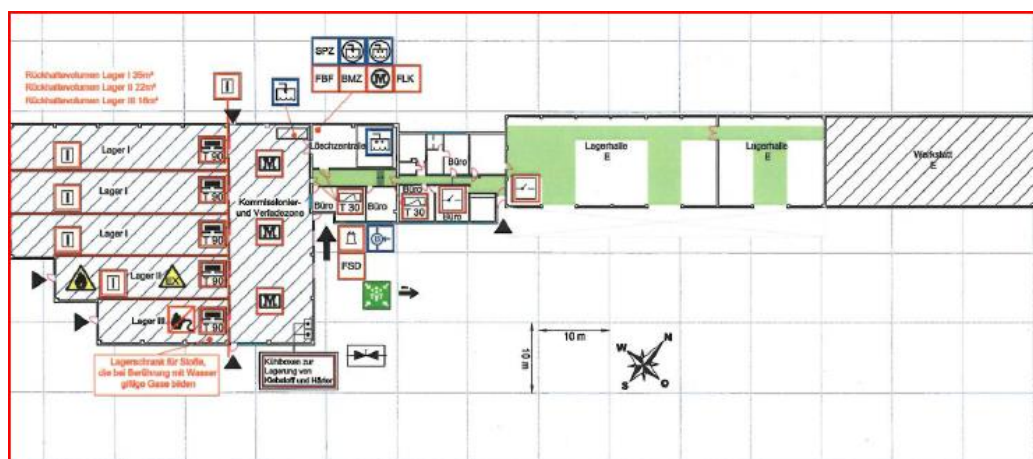


Abbildung 2-2: Auszug aus dem Feuerwehrplan Erdgeschoss AGRAVIS AG Stade

Das Lager ist unterteilt in drei Lagerbereiche, siehe auch Abbildung 2-2:

- Im Lagerbereich I werden max. 390 t Stoffe gelagert, die ätzende, reizende, gesundheitsschädliche, umweltgefährdende, brandfördernde oder mehrere dieser Eigenschaften aufweisen.
- Im Lagerbereich II werden die entzündlichen bzw. leicht entzündlichen Stoffe sowie Druckgaspackungen gelagert (max. 110 t). Zudem können die hier gelagerten Stoffe giftige, ätzende, reizende, gesundheitsschädliche oder umweltgefährliche Eigenschaften aufweisen.
- Im Lagerbereich III werden neben den als giftig eingestuften Stoffen in einem spritzwassergeschützten Schrank die Stoffe gelagert, die bei Berührung mit Wasser brennbare oder giftige Gase bilden können (Phosphide, Carbide). Die Lagermenge beträgt max. 80 t.

Im Kommissionierbereich sind darüber hinaus zwei Kühlcontainer für die Lagerung von AIRBUS-Produkten (max. Lagermenge 2 x 600 kg) aufgestellt. Angaben über die dort gelagerten Stoffe liegen nicht vor.

Der Lagerbereich I umfasst 3 baugleiche Räume mit folgenden Abmessungen: Länge: 30,90 m, Breite: 6,10 m, Höhe: 8,50 m /U3/. Die Lagerung erfolgt in zwei Palettenregalen in vier Ebenen. Es ist eine Sprinkleranlage vorhanden, die über Düsen oberhalb der zweiten und vierten Ebene verfügt. Weiterhin sind die Räume mit einer Rauch- und Wärmeabzugsanlage (RWA) ausgerüstet.

Der Lagerbereich II umfasst einen Raum mit folgenden Abmessungen: Länge: 24,80 m, Breite: 6,10 m, Höhe: 8,50 m. Die Lagerung erfolgt in zwei Palettenregalen in vier Ebenen. Jede Ebene ist in die Sprinkleranlage einbezogen. Im Gebäudedach ist eine Entrauchungsklappe installiert. Weiterhin ist in diesem Lagerbereich eine Gaswarnanlage vorhanden.

Der Lagerbereich III umfasst einen Raum mit folgenden Abmessungen: Länge: 18,70 m, Breite: 6,10 m, Höhe: 8,50 m. Die Lagerung erfolgt in zwei Palettenregalen in vier Ebenen. Jede zweite Ebene ist in die Sprinkleranlage einbezogen. Im Gebäudedach ist eine Entrauchungsklappe installiert.

Die Lagerbereiche werden durch eine Brandmeldeanlage überwacht, die über ein Selbstwählgerät mit der Feuerwehr- und Rettungsleitstelle (FRL) des Landkreises Stade verbunden ist und dort automatisch einen Alarm auslöst. Es wird davon ausgegangen, dass die Brandmeldeanlage nach maximal 60 Sekunden nach Brandausbruch auslöst /U2/. Nach Auslösung eines Alarms kann die freiwillige Feuerwehr der Stadt Stade nach ca. 15 Minuten mit den Löschmaßnahmen beginnen /U2/, /U3/.

Alle Lagerräume sind mit einer mechanischen Entlüftung ausgerüstet, die im Brandfall durch die in allen Lagerräumen installierte Brandmeldeanlage abgeschaltet wird. Die fünf Lagerräume sind gegenüber dem Kommissionierbereich durch Brandschutzturen abgegrenzt, die beim Ansprechen der Brandmeldeanlage automatisch geschlossen werden. Außerhalb der Betriebszeit sind die Tore geschlossen.

Die Entrauchungsklappen im Gebäudedach werden im Anforderungsfall manuell durch die Feuerwehr geöffnet. Die RWA-Lichtkuppeln haben drei Öffnungsstufen. Bei der Öffnungsstufe 1 fahren die Lichtkuppeln ca. 30 cm auf (Freisetzungsfläche ca. 0,75 m²), bei der Stufe 2 ca. 50 cm (Freisetzungsfläche ca. 1,25 m²) und bei der Stufe 3 werden die Kuppeln vollständig geöffnet (Öffnungswinkel ca. 162°; Freisetzungsfläche ca. 1,5 m²). Bei den Öffnungsstufen 1 und 2 können die RWA-Lichtkuppeln wieder geschlossen werden. Bei der Stufe 3 ist das Schließen nur vom Dach aus möglich.

Die in den Sprinkleranlagen eingesetzten Sprinkler haben einen RTI-Wert von 50 bis 80 (s m) /U2/ und die Nennauslösetemperatur beträgt 68 °C /U2/.

Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel

Neben dem Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager dient ein Teil des Gebäudekomplexes auf dem Betriebsgelände der Lagerung von 400 t landwirtschaftlichen Produkten der Lagerklassen 5.1C, 8B und 10 – 13 gemäß TRGS 510 genutzt. Die Lagerung erfolgt als Blocklagerung, die maximale Lagerguthöhe beträgt ca. 4 m /U3/.

In der Lagerhalle sollen Stoffe, die auch umweltgefährlich gemäß Nummer 9a/9b des Anhangs I der 12. BImSchV sind, gelagert werden.

Lagerklassen gemäß TRGS 510	Menge in Tonnen
5.1C Ammoniumnitrat und ammoniumnitrathaltige Zubereitungen	Max. 50 t
8B nichtbrennbare ätzende Stoffe	Max. 400 t
10 brennbare Flüssigkeiten	
11 brennbare Feststoffe	
12 nicht brennbare Flüssigkeiten	
13 nicht brennbare Feststoffe	

Die Abmessungen der Lagerhalle betragen 13 m x 45 m, somit ergibt sich eine Grundfläche von ca. 585 m². Das Gebäude hat eine Traufenhöhe von ca. 6 m und einen Dachfirst von ca. 7,75 m. Die tragenden aussteifenden Bauteile bestehen aus Stahlbetonstützen in Verbindung mit Holzfachwerkträgern. Die Bedachungen bestehen aus Stahltrapezprofilen mit Wärmedämmung aus Styropor und bituminöser Abdichtung /U3/.

3 Abstände als Maßnahme der Schadensminimierung

3.1 Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten

Damit in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union

- Wohngebiete,
- öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete,
- wichtige Verkehrswege (so weit wie möglich),
- Freizeitgebiete und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle bzw. besonders empfindliche Gebiete

besser vor den Gefahren schwerer Unfälle (Störfälle) geschützt werden können, sieht die Seveso-III-Richtlinie in Artikel 13 Regelungen zur „Überwachung der Ansiedlung“ vor.

Die Mitgliedstaaten haben hiernach dafür zu sorgen, dass in ihren Politiken der Flächenausweisung oder der Flächennutzung und/oder anderen einschlägigen Politiken das Ziel, schwere Unfälle zu verhüten und ihre Folgen zu begrenzen, Berücksichtigung findet. Hierfür sollen sie Methoden und Kriterien entwickeln, die langfristig dem Erfordernis Rechnung tragen, dass zwischen den unter die Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und schützenswerten Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt.

In Deutschland erfolgte die Umsetzung der Seveso III Richtlinie in der Störfall-Verordnung und in den §§ 23a und 23b sowie dem § 50 des BImSchG.

Im Leitfaden KAS-18 /L1/ wurden Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung zur Umsetzung von § 50 BImSchG gegeben. Als schutzbedürftige Gebiete werden explizit genannt:

- Baugebiete i. S. d. BauNVO, mit dauerhaften Aufenthalt von Menschen, wie Reine Wohngebiete, Allgemeine Wohngebiete, Besondere Wohngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete und Kerngebiete, Sondergebiete, sofern der Wohnanteil oder die öffentliche Nutzung überwiegt, wie z. B. Campingplätze, Gebiete für großflächigen Einzelhandel, Messen, Schulen/Hochschulen, Kliniken.

- Gebäude oder Anlagen zum nicht nur dauerhaften Aufenthalt von Menschen oder sensible Einrichtungen, wie Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche Zwecke, wie z. B. Schulen, Kindergärten, Altenheime, Krankenhäuser, öffentlich genutzte Gebäude und Anlagen mit Publikumsverkehr, z. B. Einkaufszentren, Hotels, Parkanlagen. Hierzu gehören auch Verwaltungsgebäude, wenn diese nicht nur gelegentlich Besucher (z. B. Geschäftspartner) empfangen, die der Obhut der zu besuchenden Person in der Weise zugeordnet sind, dass sie von dieser Person im Alarmierungsfall hinsichtlich ihres richtigen Verhaltens angehalten werden können.
- Wichtige Verkehrswege z. B. Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen, ICE-Trassen. Was wichtige Verkehrswege sind, hängt letztendlich von deren Frequentierung ab.

Die Abstandsempfehlungen beziehen sich auf

- Neuplanungen von Flächen für Betriebsbereiche ohne Detailkenntnisse und
- Planungen im Umfeld von Betriebsbereichen.

3.1.1 **Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse**

Bei der Erarbeitung der Abstandsempfehlungen wurde die deterministische Vorgehensweise gewählt, die im Einklang mit dem in Deutschland praktizierten Störfallrecht steht. Aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen und aus der Analyse des deutschen Störfallgeschehens in den letzten 15 Jahren (vergleiche ZEMA-Berichte /L2/) wurde für die Freisetzung in der Regel ein Quellterm aus einer Austrittsfläche von 490 mm² angenommen (entspricht z. B. dem Querschnitt einer DN 25 Leitung). Als Szenarien wurden Brände/Gaswolkenexplosionen mit unmittelbarer Zündung und Freisetzung toxischer Stoffe gewählt, als Endpunkte für die Wärmestrahlung ein Grenzwert von 1,6 kW/m², für Explosionen 0,1 bar und für die toxischen Stoffe der Konzentrationsleitwert ERPG-2-Wert ausgewählt. Als Ausbreitungsmodell wurde die VDI-Richtlinie 3783 verwendet. Als Ausbreitungsbedingungen für die Schadstoffe wurde die mittlere Wetterlage in einer typischen Industriebauung herangezogen.

Stoffspezifische Eigenschaften und Handhabungsbedingungen ergeben unterschiedliche Freisetzungsraten für die betrachteten Szenarien. Aus diesem Grund ergibt sich keine einfache Relation zwischen Toxizität, Wärmestrahlungsbelastung sowie Druckbelastung und Abstandsempfehlung. Es werden deshalb Zuordnungen in Abstandsklassen gebildet.

3.1.2 Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung mit Detailkenntnissen

Für neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche sind die Stoffe, deren genehmigte Mengen und die technischen Anlagen, in denen diese gehandhabt werden, bekannt. Für die Einzelfallbetrachtung sind die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen.

Der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss sehr großer Rohrleitungen sind beim Land-use planning nicht zu berücksichtigen, da sie bei Einhaltung des Standes der Technik zu unwahrscheinlich sind.

Bei Lagerung in Transportgebinden und Lagerung in Druckgefäßen ist mit der Freisetzung des Inhaltes eines Transportgebundes oder Druckgefäßes zu rechnen.

Bei Prozessanlagen und bei Lageranlagen ist davon auszugehen, dass Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten können. In der Regel wird als Ausgangspunkt der Überlegung von einer Leckfläche von 490 mm² (DN 25) ausgegangen. Eine Leckfläche von 80 mm² (DN 10) sollte bei den Einzelfallbetrachtungen nicht unterschritten werden. Szenarien auf Grundlage dieser Leckflächen sind nach dem Leitfaden Dennoch-Störfälle im Sinne der Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung. Die in der Anlage tatsächlich vorhandene Technik soll bei der Festlegung der Leckfläche berücksichtigt werden.

Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen sind zu berücksichtigen, soweit sie durch die zugrunde liegenden Ereignisse nicht gestört sind.

Die Szenarien sind je nach störfallrelevanter Eigenschaft der Stoffe für Stofffreisetzungen, Brand oder Explosion getrennt vorzunehmen. Für die Auswirkungsbetrachtungen gilt:

- der Massenstrom ist entsprechend den Betriebsbedingungen und unter Voraussetzung eines scharfkantigen Lecks (Ausflussziffer: 0,62) zu berechnen,
- die Umgebungstemperatur ist mit 20 °C anzusetzen,
- es ist eine mittlere Wetterlage nach VDI-Richtlinie 3783 mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion zu betrachten. Es ist für den Betriebsbereich die häufigste Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung zu ermitteln (z. B. DWD) und für die Berechnungen zu verwenden,
- als Beurteilungswerte sind die gleichen Werte heranzuziehen, die für die Herleitung der Achtungsabstände verwendet wurden (ERPG-2-Wert/1,6 kW/m²/0,1 bar),
- der Ausbreitungsradius bis zum Beurteilungswert des abdeckenden Ereignisses entspricht dem angemessenen Abstand des Einzelfalles.

Es ist festzustellen, dass keine speziellen Anforderungen an die zu betrachtenden Szenarien bei Gefahrstofflagern im Leitfaden KAS-18 enthalten sind. Dies gilt ebenso für den Leitfaden KAS-32 „Szenarienspezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18“ /L17/.

4 Bestimmung eines angemessenen Abstandes bei einem Gefahrstofflager

Da es zurzeit von der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) keine Vorgaben für die anzunehmenden Szenarien zur Bestimmung eines angemessenen Abstandes für ein Gefahrstofflager gibt, wird ein Szenario in Anlehnung an den Leitfaden KAS-18 entwickelt. Hierbei werden die vorhandenen auswirkungsbegrenzenden Maßnahmen (Brandmeldeanlage, Wasserlöschanlage, RWA, Feuerwehr) berücksichtigt.

Die im Leitfaden KAS-18 betrachteten Szenarien haben die Freisetzung toxischer Gase bzw. Dämpfe, Flüssigkeitsbrände und Gaswolkenexplosionen im Fokus. Bei den Flüssigkeitsbränden werden nur die Auswirkungen der Wärmestrahlung bewertet. Hinsichtlich toxischer Effekte von Brandgasen wird festgestellt, dass diese in der Regel vernachlässigbar sind. Diese Aussage ist im Hinblick auf Flüssigkeitsbrände im Freien gerechtfertigt, da durch die ausreichende Sauerstoffzufuhr große Abbrandraten mit entsprechenden Wärmeemissionen erreicht werden. Die Brandgase steigen dann durch die hohen Brandgastemperaturen auf, wodurch die Brandgaskonzentrationen in Bodennähe gering sind.

Bei Bränden in Gefahrstofflagern, die sowohl Feststoff- als auch Flüssigkeitsbrände sein können, können die toxischen Effekte nicht vernachlässigt werden, da die Brandgase durch das Auslösen der Brandschutzeinrichtungen nur geringe Temperaturen erreichen und dann als Gaswolke in geringer Höhe durch den Wind weitertransportiert werden. Hierdurch sind relevante Brandgaskonzentrationen in Bodennähe nicht auszuschließen.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) erstellte der TÜV Bayern e.V. eine Muster-Sicherheitsanalyse für ein Pflanzenschutzmittellager (Gefahrstofflager) /L3/. Innerhalb der Störfallauswirkungsbetrachtungen wurde ein Lagerbrand untersucht. Die konservativen Abschätzungen der Brandgaszusammensetzung für verschiedene Brandsituationen basieren entweder auf stöchiometrischen Berechnungen oder auf Literaturdaten, die zum Teil bei Verbrennungsversuchen mit unterschiedlichen Stoffen und Modellapparaturen gewonnen wurden /L4, L5/. Experimentelle Untersuchungen /L6/ mit verschiedenen Pflanzenschutzmitteln und Belüftungssituationen ergaben hingegen deutlich geringere Konzentrationen von Halogenwasserstoffen, Schwefeldioxid und anderen Gefahrstoffen.

Aufbauend auf den genannten Veröffentlichungen wurde ein Leitfaden vom Industrieverband Agrar e.V. /L7/ entwickelt. In Analogie zu den Ansätzen in /L4 - L6/ werden zwei Brandsituationen unterschieden. Bei einem Vollbrand erfolgt der Abbrand einer relativ großen Menge unter ausreichendem Sauerstoffzutritt. Die Brandgastemperatur liegt oberhalb von 850 °C. Hierdurch erfolgt eine fast vollständige Oxidation der verbrennenden Produkte. Dagegen wird bei einem Anfangs- oder Kleinbrand davon ausgegangen, dass nur eine begrenzte oder keine Sauerstoffzufuhr vorhanden ist und durch eine geringere Brandgastemperatur von unter 650 °C eine unvollständige Verbrennung vorliegt.

Bei Vollbrand wird in /L7/ von einem verbrennenden Produktmix ausgegangen. Auf der Grundlage einer mittleren elementaren Zusammensetzung der verbrennenden Produkte wurde die in der **Tabelle 1** aufgeführte Zusammensetzung des Brandgases bezogen auf 1 g verbranntem Produkt abgeschätzt. Bei einem Anfangs- oder Kleinbrand wird davon ausgegangen, dass nur ein Pflanzenschutzprodukt verbrennt. Aufgrund der Vielzahl der gelagerten Produkte ist eine Einzelfallbetrachtung nicht sinnvoll. Daher wurde in /L7/ auf der Grundlage der in Deutschland hergestellten und gelagerten relevanten Pflanzenschutzmittel eine konservative Abschätzung der Brandgaszusammensetzung durchgeführt.

In einer aktuellen Veröffentlichung /L13/ wird festgestellt, dass es keine neueren Informationen zur Brandgaszusammensetzung bei Pflanzenschutzmittellagern gibt.

Tabelle 1: Zusammensetzung des Brandgases nach /L5/ bezogen auf 1 g verbranntes Produkt

Brandgaskomponente	Vollbrand	Kleinbrand
Chlorwasserstoff	51 mg/g	257 mg/g
Bromwasserstoff	-	177 mg/g
Fluorwasserstoff	-	52 mg/g
Schwefeloxide	100 mg/g	800 mg/g
Stickstoffdioxid	5 mg/g	5 mg/g
Cyanwasserstoff	0,2 mg/g	25 mg/g
Kohlendioxid	1 796 mg/g	1 143 mg/g
Kohlenmonoxid	23 mg/g	490 mg/g
Methylisocyanat	-	30 mg/g
Dioxine	$1 \cdot 10^{-6}$ mg/g	$1 \cdot 10^{-6}$ mg/g
Unverbranntes Produkt	-	10 mg/g

Das Handelssortiment der AGRAVIS Raiffeisen AG umfasst ca. 1 200 zugelassene Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, die sich im Lager befinden können /U2/. Da nicht bekannt ist, welche Produkte sich zum Zeitpunkt eines Brandereignisses im Lager befinden werden und auch die Mengenanteile der gelagerten Produkte beliebig variieren können, ist eine Einzelfallbetrachtung nicht sinnvoll. Daher wird zur Bestimmung des angemessenen Abstandes eine typisierende Betrachtung durchgeführt.

In Anlehnung an die Zusammensetzung der Brandgase bei einem Brand in einem Pflanzenschutzmittellager bei einem Kleinbrand, das einen Spezialfall eines Gefahrstofflagers darstellt, wird für einen Brand in einem allgemeinen Gefahrstofflager die in **Tabelle 2** zusammengestellte Zusammensetzung des Brandgases bezogen auf 1 g verbranntem Produkt angenommen. Hierbei werden unzersetztes (und unbekanntes) Produkt und Dioxine nicht berücksichtigt, da hierfür keine Störfallbeurteilungswerte (AEGL oder ERPG) vorliegen und damit eine Bewertung der Berechnungsergebnisse nicht möglich ist.

Tabelle 2: Zusammensetzung des Brandgases bei einem typisierten Gefahrstofflagerbrand bezogen auf 1 g verbranntes Produkt

Brandgaskomponente	Massenanteil
Halogenwasserstoffe zusammengefasst als Chlorwasserstoff	486 mg/g
Schwefeloxide zusammengefasst als Schwefeldioxid	800 mg/g
Stickstoffdioxid	5 mg/g
Cyanwasserstoff	25 mg/g
Kohlenmonoxid	490 mg/g
Methylisocyanat	30 mg/g

Zusätzlich zu den in **Tabelle 1** aufgeführten Brandprodukten in einem Pflanzenschutzmittellager können sich im Gefahrstofflager auch Produkte mit Phosphorverbindungen befinden. Nach /L3/ ist hier im Wesentlichen mit der Bildung von Phosphorsäure zu rechnen, die nicht toxisch, aber als ätzend eingestuft ist. Dies wird durch einen erhöhten Massenanteil von Chlorwasserstoff berücksichtigt. Aufgrund der geringen Menge an unverbranntem Produkt im Brandgas und der problematischen Festlegung eines Beurteilungswertes für einen unbekanntenen Stoff wird diese Brandgaskomponente vernachlässigt.

In der Muster-Sicherheitsanalyse für ein Pflanzenschutzmittellager /L3, L4/ wird für die Abbrandrate bei einem sich ausweitenden Brand angenommen, dass zum Beginn des Brandes ca. 1,5 g/s verbrennen und sich diese Abbrandrate alle 2 Minuten vervierfacht, bis ein maximaler Wert von 1,5 kg/s nach 10 Minuten erreicht worden ist. Sobald die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr erfolgt, reduziert sich die Abbrandrate um 33 % alle 3 Minuten.

Die in der Muster-Sicherheitsanalyse getroffenen Annahmen zu den Abbrandraten wurden von der BASF in /L6/ in Frage gestellt. Es wurden Brandversuche mit unterschiedlichen Pflanzenschutzmitteln durchgeführt, wobei die Produkte auf Paletten als Blocklagerung auf Waagen aufgestellt wurden und insbesondere die Abbrandraten und Brandgaszusammensetzungen gemessen worden sind.

Bei geschlossenem Lagerraum mit einer Raumlufwechselszahl von ca. 1 pro Stunde wurden Abbrandraten bis ca. 40 g/s bei Feststoffen und bei flüssigen Produkten eine mittlere Abbrandrate von ca. 50 g/s ermittelt. Bei einer guten Belüftung des Lagers mit einer Raumlufwechselszahl von ca. 5 pro Stunde ergaben sich Abbrandraten bis maximal 420 g/s.

Im Leitfaden des Industrieverbandes Agrar e.V. /L7/ werden Brandverläufe in Abhängigkeit von der Lagergröße, der Gasdichtheit des Lagers, der Art der Feuerwehr und dem Vorhandensein einer Brandmelde- und Brandlöschanlage definiert. Die abgebrannten Mengen an Brandgut sind pauschal angegeben und die grafisch dargestellten Brandverläufe sind nicht immer nachvollziehbar, da die Berechnungsgrundlage nicht dokumentiert worden ist. Die im Leitfaden aufgeführten Szenarien berücksichtigen die tatsächlich vorhandenen Lagerbedingungen, die Brandmelde- und Löscheinrichtungen sowie die Einrichtungen zur Rauchableitung aus dem Gebäude nicht.

In einer aktuellen Veröffentlichung /L13/ ist ein Berechnungsverfahren beschrieben, mit dem der zeitliche Verlauf eines Brandes in einem Gefahrstofflager berechnet werden kann. Es ermöglicht die Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Lagerbedingungen und der Brandmelde- und Löscheinrichtungen und basiert auf aktuellen Richtlinien zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden. Es erscheint daher geeignet, den aus dem Gebäude freigesetzten Massenstrom und die äquivalente Wärmeemission als Eingangsparameter für die Gasausbreitungsberechnung für die Bestimmung des angemessenen Abstandes zu berechnen.

5 Störfallauswirkungsbetrachtung

5.1 Brand im Gefahrstofflager

Während des Brandes erwärmt sich die Luft im Lager, dehnt sich aus und es wird ein relativ geringer Brandgasmassenstrom über Undichtigkeiten des Lagers freigesetzt. Durch die automatische oder manuelle Aktivierung der Rauch- und Wärmeabzugsanlage werden innerhalb kurzer Zeit größere Massenströme über die Rauchabzugsflächen emittiert. Für die mathematische Beschreibung dieser Vorgänge werden als Erweiterung zu /L13/ keine analytischen Formeln verwendet, sondern die Differentialgleichungen für die Erhaltung von Masse und Energie gelöst.

In der Modellierung werden die Umsetzung des Brandgutes im Brandraum und die Freisetzung der Brandprodukte in die Umgebung getrennt beschrieben, da sich deren zeitlicher Verlauf voneinander unterscheiden kann. Im Sinne einer konservativen Betrachtung bleiben Effekte unberücksichtigt, die innerhalb des Brandraumes zu einer Entfernung von Brandprodukten aus den Brandgasen beitragen (z. B. die Auswaschung von Schadstoffen durch Löschwasser).

Es wird davon ausgegangen, dass es in einem Lager für Pflanzenschutzmittel zu einem fortentwickelten Brand /L14/ mit einer quadratischen Zunahme der Wärmefreisetzungsrate mit der Zeit kommt.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 = \dot{m}_{B,zu} H_v$$

Als Heizwert H_v eines Gemisches aus Pflanzenschutzmitteln wird in /L6/ ein Wert von 15 MJ/kg angesetzt. In einer neueren Untersuchung für Chemikalienlager /L15/ wird dagegen von 20 MJ/kg ausgegangen.

Da in dem betrachteten Gefahrstofflager auch Druckgaspackungen gelagert werden, deren Treibmittel meistens brennbare druckverflüssigte Gase (Propan, Butan) sind, wird für die folgenden Berechnungen konservativ von einem Heizwert von 20 MJ/kg ausgegangen.

Nur ein Teil der Verbrennungswärme trägt zur Gaserwärmung im Lager bei. Der Rest wird durch Strahlung und Konvektion an das Lagergut, die Einrichtung sowie die Wände, Decke und Boden übertragen. Die Reduzierung der Wärmefreisetzungsrate wird pauschal durch einen Faktor berücksichtigt, der für den gesamten Brandverlauf als konstant angenommen wird.

$$\alpha_{\text{eff}} = 0,6 \alpha t^2$$

Der Brandintensitätskoeffizient wird in der VDI-Richtlinie 6019 Teil 1 /L14/ in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Brandentwicklung in vier Stufen differenziert:

Langsam:	0,0029 kW/s ²
Mittel	0,012 kW/s ²
Schnell	0,047 kW/s ²
Sehr Schnell	0,188 kW/s ²

Darauf und auf weitere Untersuchungen aufbauend, sind in /L13/ für verschiedene Lagersituationen Brandintensitätskoeffizienten zusammengestellt worden.

Im betrachteten Gefahrstofflager erfolgt die Lagerung in Regalen mit vier Ebenen. In /L13/ wird für die Lagerung von Flüssigkeitsverpackungen im Regal mit offenen Böden ein Brandintensitätskoeffizient von 0,0165 kW/s² vorgeschlagen. Sind im Brandfall Paletten mit Aerosoldosen betroffen, so ist aber durch die kleinen Gaswolkenexplosionen mit einer schnellen Brandausbreitung zu rechnen.

Daher wird in den folgenden Berechnungen konservativ von einer schnellen Brandentwicklung mit einem Brandintensitätskoeffizient von 0,047 kW/s² ausgegangen.

In dem vorliegenden Sicherheitskonzept werden die Lagerbereiche für Gefahrstoffe im Brandfall durch Schließen des Tores, Abschalten und Schließen der Lüftungsanlage und eines geschlossenen Notausganges nahezu dicht abgeschlossen. Bei einem geschlossenen, nahezu dichten Lager lässt sich aus einer Energiebilanz die zeitliche Entwicklung der mittleren Gastemperatur bei einer idealen Durchmischung aus folgender Gleichung berechnen:

$$m c_p \frac{dT}{dt} + c_p T \frac{dm}{dt} = \dot{Q}_{\text{eff}} - \dot{m}_{\text{ab}} c_p T$$

Oberhalb einer Rauchschichttemperatur von 500 bis 600 °C in einem Brandraum ist mit einem Flash-Over zu rechnen, durch den schlagartig sämtliche brennbaren Materialien in den Verbrennungsvorgang einbezogen werden. Dieser Vorgang und die nachfolgende Vollbrandsituation werden durch diese Gleichungen nicht erfasst.

Zur Berechnung der Brandproduktbildung und -freisetzung wird – stellvertretend für die einzelnen Brandprodukte – die virtuelle Beladung des Gases im Raum mit umgesetztem Brandgut aus einer Massenbilanz ermittelt. Dabei repräsentiert das Symbol m_B die im Gas des Brandraumes enthaltene, bereits umgesetzte Masse des Brandgutes:

$$\frac{dm_B}{dt} = \dot{m}_{B,\text{zu}} - \dot{m}_{B,\text{ab}}$$

Der dem Gasraum zugeführte, umgesetzte Brandgutmassenstrom ist über den Heizwert mit der Wärmefreisetzungsrate verknüpft und wie diese zeitabhängig:

$$\dot{m}_{B,\text{zu}} = \frac{\dot{Q}}{H_v} = \frac{\alpha \cdot t^2}{H_v}$$

$$m_{B,\text{Ges}} = \frac{\alpha \cdot t^3}{3H_v}$$

Durch die Erwärmung der Gasmasse im Raum nimmt das Volumen zu und Gas wird durch undichte Türen und Fenster diffus aus dem Raum austreten. Der Massenstrom lässt sich unter der Voraussetzung konstanten Druckes im Raum berechnen:

$$\dot{m}_{B,\text{ab}} = m_B \frac{\dot{m}_{\text{ab}}}{m}$$

$$\dot{m}_{\text{ab}} = - \frac{dm}{dt} = \frac{PV_R M}{RT^2} \frac{dT}{dt}$$

Mit diesen Gleichungen lässt sich die im Lager zu einem Zeitpunkt enthaltene umgesetzte Masse des Brandgutes und der mit dem verdrängten Gasstrom abgeführte Brandgutmassenstrom berechnen.

Unter der Voraussetzung, dass der Lagerraum nahezu dicht ist, strömt keine Luft in den Raum. Der Zeitpunkt t_s , an dem die Flammengrenzbedingung erreicht wird und der Brand infolge Sauerstoffmangels rechnerisch zum Erliegen kommen würde, lässt sich aus folgenden Beziehungen berechnen:

$$t_{s,1} = \left[\frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{0,046 + b}{b - 0,164 \frac{T_0}{1700K}} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$t_{s,2} = \left[\frac{1}{a} \cdot \ln \left(1 + \frac{0,21}{b} \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$a = \frac{f \cdot \alpha \cdot R}{3 \cdot M \cdot c_p \cdot p \cdot V_R} ; \quad b = \frac{M \cdot c_p \cdot T_0}{f \cdot \Delta H_{R,O2}}$$

$$t_s = \min[t_{s,1}; t_{s,2}]$$

$$m_{B,max} = \frac{\alpha \cdot t_s^3}{3H_v}$$

Löschanlage im Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager

Der Auslösezeitpunkt von Sprinklern kann in Abhängigkeit vom Brandintensitätskoeffizienten und vom Abstand der Brandfläche zum Sprinkler aus den in /L14/ angegebenen Tabellen entnommen werden. Es ist eine Regalsprinklerung vorhanden, deren Sprinkler RTI-Werte von 50 bis 80 haben. Die Nennauslösetemperatur beträgt 68 °C. In der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 sind tabellarisch die Sprinklerauslösezeiten für verschiedene Brandintensitätskoeffizienten, RTI-Werte und Abstände zwischen Brandherd und Sprinkler zusammengestellt.

In den Lagerbereichen I und II sind die Düsen der Sprinkleranlage oberhalb der zweiten und vierten Ebene der Palettenregale angeordnet. Für diese Lagebereiche wird konservativ ein Abstand von 4 m zwischen Brandherd und Sprinkler angenommen. Im Lagerbereich II ist jede Ebene mit einer Sprinklerleitung ausgerüstet. Hier wird der minimale in der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 angegebene Abstand von 3 m angesetzt.

Für einen Brandintensitätskoeffizienten von $0,047 \text{ kW/s}^2$ und einen RTI-Wert von 80 ergibt sich für die Lagerbereiche I und II eine Sprinklerauslösezeit von 185 Sekunden. Für den Lagerbereich II wird eine Sprinklerauslösezeit von 170 Sekunden angegeben.

Ist ein Lager mit einer Sprinkleranlage ausgerüstet, so wird in der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 davon ausgegangen, dass die Wärmefreisetzungsrate nach Auslösung der Anlage verringert wird. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird unterstellt, dass die Wärmefreisetzungsrate nach der Auslösung einer Sprinkleranlage zeitlich konstant bleibt, bis Löschmaßnahmen der Feuerwehr wirksam werden. Unter Berücksichtigung der Kühlwirkung von Wasserlöschanlagen wird in /L13/ weiterhin angenommen, dass die Gastemperatur im (geschlossenen) Brandraum nach Auslösung der Sprinkleranlage konstant bleibt (bestätigt durch Großbrandversuche). Die zeitliche Entwicklung der Wärmefreisetzungsrate, der im Gasraum enthaltenen umgesetzten Masse des Brandgutes und des abgeführten Brandgutmassenstromes berechnen sich dann nach den folgenden Beziehungen für $t > t_1$.

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}(t_1)$$

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

$$\dot{m}_{B,zu}(t) = \frac{\dot{Q}(t_1)}{H_v}$$

$$m_{B,Ges}(t) = m_{B,Ges}(t_1) + t \dot{m}_{B,zu}(t_1)$$

$$\dot{m}_{B,ab} = \frac{dm}{dt} = 0$$

Bleibt das Lager nach Auslösung der Sprinkleranlage geschlossen, tritt somit zunächst kein weiteres umgesetztes Brandprodukt in die Umgebung aus.

Löschanlage der Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel

Für das Lager ist keine Löschanlage vorgesehen.

Rauch- und Wärmeabzüge im Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager

Nach dem vorliegenden Brandschutzkonzept werden die Rauch- und Wärmeabzüge (RWA) manuell durch die Feuerwehr geöffnet. Ab diesem Zeitpunkt t_2 wird Gas über die Rauchabzugsflächen freigesetzt, gleichzeitig strömt Luft über Zuluftflächen in den Brandraum nach.

Im Falle des natürlichen Rauchabzuges bildet die Druckdifferenz, die aus der Dichtedifferenz zwischen Umgebungsluft und den Brandgasen im Lagerraum resultiert, den Antrieb für Abströmung und Nachströmung. Windeffekte werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Unter der Annahme, dass das Gas im Brandraum auch nach Öffnung der RWA vollständig durchmischt bleibt, stellt sich der durch die RWA abgeführte Volumenstrom entsprechend der folgenden Formel ein.

$$\dot{V}_{RWA}(t) = c_{V,RWA} A_{RWA} f_{zu} \sqrt{2 g h_R \left(\frac{T(t)}{T_0} - 1 \right)}$$

$$f_{zu} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{T_0}{T(t)} \left(\frac{c_{V,RWA} A_{RWA}}{c_{V,zu} A_{zu}} \right)^2}}$$

Der Faktor f_{zu} berücksichtigt, dass der Volumenstrom durch die Summe der Druckverluste an der RWA-Abströmöffnung und an der Zuluftöffnung begrenzt wird. Der durch die RWA freigesetzte Massenstrom des umgesetzten Brandgutes und die insgesamt abgebrannte Masse berechnen sich dann aus folgenden Beziehungen:

für $t > t_2$:

$$m c_p \frac{dT}{dt} + c_p T \frac{dm}{dt} = \dot{Q}_{eff}(t_2) - \dot{m}_{RWA} c_p (T - T_0)$$

$$\dot{m}_{ab} = \frac{T_0 \dot{m}_{RWA}}{T}$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{RWA} - \dot{m}_{ab}$$

$$\dot{m}_{B,ab} = m_B \frac{\dot{m}_{ab}}{m}$$

Die drei Räume des Lagerbereiches I sind jeweils mit zwei RWA-Lichtkuppeln ausgestattet, die bei vollständiger Öffnung eine Fläche von 3 m² freigeben. Die Räume der Lagerbereiche II und III sind mit jeweils einer RWA-Lichtkuppel mit einer Fläche von 1,5 m² ausgestattet /U2/. Die RWA-Lichtkuppeln lassen sich in drei Stufen öffnen. Bei der Öffnungsstufe 1 beträgt die Freisetzungsfläche pro RWA-Lichtkuppel ca. 0,75 m² und bei der Öffnungsstufe 2 ca. 1,25 m².

Hinweise zum Durchflussbeiwert können der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 2 entnommen werden. Bei Klappflügel Fenstern mit einem Öffnungswinkel von 90° wird ein Durchflussbeiwert von 0,63 angegeben. Da die Lichtkuppel bei der Öffnungsstufe 3 einen Öffnungswinkel von 162° hat, wird ein Durchflussbeiwert von 0,7 angesetzt. Bei der Öffnungsstufe 1 fährt die Lichtkuppel 30 cm (ca. 17°) auf. Bei diesem Winkel wird in der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 2 ein Durchflussbeiwert von 0,3 angegeben. Bei der Öffnungsstufe 2 fährt die Lichtkuppel 50 cm (ca. 30°) /U2/ auf. Bei diesem Winkel wird in der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 2 ein Durchflussbeiwert von 0,45 angegeben.

Zuluftöffnungen, die automatisch mit der RWA geöffnet werden, sind nicht vorgesehen. Im Brandschutzkonzept wird davon ausgegangen, dass die RWA zusammen mit dem Tor und dem Notausgang durch die Feuerwehr manuell geöffnet wird. In diesem Fall wird von einer ausreichenden Zuluftöffnung von ca. 10 m² und einem Durchflussbeiwert von 0,9 ausgegangen.

Das Gefahrstofflager ist mit einer Brandmeldeanlage ausgerüstet. Es wird davon ausgegangen, dass die Brandmeldung nach 60 Sekunden nach Brandausbruch erfolgt und die Feuerwehr nach weiteren 15 Minuten mit der Brandbekämpfung beginnt.

In /L7/ wird bei einem Lager mit einer halbstationären, nicht automatischen Löschanlage von einer Löschdauer der Feuerwehr von 10 Minuten ausgegangen. Bei einer installierten automatischen Löschanlage soll die Löschdauer noch kürzer sein. Kommt es zu einem Vollbrand, so wird die Löschdauer in /L7/ mit 45 Minuten angesetzt.

In den folgenden Berechnungen wird von einer Löschdauer der Feuerwehr von 10 Minuten ausgegangen.

Durch die Brandbekämpfung der Feuerwehr soll die Abbrandrate innerhalb der Löschdauer der Feuerwehr linear abfallen, und die Masse an Brandgasen im Lager und der über die RWA freigesetzte Massenstrom verringern sich.

Bei einem geschlossenen, nahezu dichten Lager wird der Brandgutmassenstrom bis zum Ansprechen der Löschanlage diffus über die oben genannten Öffnungen ins Freie oder auch in andere Gebäudeteile austreten. Nach dem Ansprechen einer Sprinkleranlage werden bis zum Öffnen der RWA keine Brandgase freigesetzt. Wird die RWA geöffnet, so werden die Brandgase über Dach freigesetzt. Der freigesetzte Massenstrom einer Brandgaskomponente berechnet sich durch Multiplikation des Brandgutmassenstromes mit den Angaben zur Zusammensetzung des Brandgases (siehe Tabelle 2).

Die äquivalente Wärmeemission berechnet sich aus der mittleren Gastemperatur nach den o. g. Gleichungen und dem freigesetzten Brandgutmassenstrom:

$$\dot{Q}_{\text{out}} = c_p \dot{m}_{\text{B,ab}} (T - 283,15 \text{ K}) \frac{\rho_0 T_0 V_R}{T m_B}$$

Rauch- und Wärmeabzüge in der Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel

Nach dem vorliegenden Brandschutzkonzept /U3/ sind keine Rauch- und Wärmeabzüge (RWA) vorgesehen. Für die Entrauchung wird ein Tor manuell durch die Feuerwehr geöffnet. Ab diesem Zeitpunkt t_2 wird Gas über die Öffnungsflächen freigesetzt, gleichzeitig strömt Luft über diese Fläche in den Brandraum nach. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die Brandgase diffus über die Tore und eventuell nicht dicht schließende Fenster und Türen freigesetzt.

Im Falle des natürlichen Rauchabzuges bildet die Druckdifferenz, die aus der Dichtedifferenz zwischen Umgebungsluft und den Brandgasen im Lagerraum resultiert, den Antrieb für Abströmung und Nachströmung. Windeffekte werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Unter der Annahme, dass das Gas im Brandraum auch nach Öffnen des Tors vollständig durchmischt bleibt, stellt sich der durch die Öffnungsfläche abgeführte Volumenstrom entsprechend der folgenden Formel ein.

$$\dot{V}_{RWA}(t) = c_{V,RWA} A_{RWA} f_{zu} \sqrt{2 g h_R \left(\frac{T(t)}{T_0} - 1 \right)}$$

Der freigesetzte Massenstrom des umgesetzten Brandgutes und die insgesamt abgebrannte Masse berechnen sich dann aus folgenden Beziehungen:

für $t > t_2$:

$$m c_p \frac{dT}{dt} + c_p T \frac{dm}{dt} = \dot{Q}_{eff}(t_2) - \dot{m}_{RWA} c_p (T - T_0)$$

$$\dot{m}_{ab} = \frac{T_0 \dot{m}_{RWA}}{T}$$

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{RWA} - \dot{m}_{ab}$$

$$\dot{m}_{B,ab} = m_B \frac{\dot{m}_{ab}}{m}$$

Es wird davon ausgegangen, dass die Feuerwehr zur Entrauchung ein Tor mit einer Fläche von 16 m² öffnet. Durch die obere Hälfte des Tores werden die Brandgase ins Freie strömen und Luft von außen über die untere Hälfte in das Lager nachströmen. Somit kann als Rauchabzugsfläche die halbe Torfläche von 8 m² angesetzt werden. Als Durchflussbeiwert wird 0,9 angenommen.

Wie bereits ausgeführt, ist das Lager mit einer Brandmeldeanlage ausgerüstet. Es wird davon ausgegangen, dass die Brandmeldung nach 60 Sekunden nach Brandausbruch erfolgt und die Feuerwehr nach weiteren 15 Minuten mit der Brandbekämpfung beginnt.

In /L7/ wird bei einem Lager mit einer halbstationären, nicht automatischen Löschanlage von einer Löschdauer der Feuerwehr von 10 Minuten ausgegangen. Kommt es zu einem Vollbrand, so wird die Löschdauer in /L7/ mit 45 Minuten angesetzt.

Da keine Löschanlage für das Lager vorgesehen ist, wird in den folgenden Berechnungen von einer Löschdauer der Feuerwehr von 30 Minuten ausgegangen.

Durch die Brandbekämpfung der Feuerwehr wird die Abbrandrate innerhalb der Löschdauer der Feuerwehr linear abfallen. Dies hat zur Folge, dass sich die Masse an Brandgasen im Lager und der über die Toröffnungsfläche freigesetzte Massenstrom verringert. Der freigesetzte Massenstrom einer Brandgaskomponente berechnet sich durch Multiplikation des Brandgutmassenstromes mit den Angaben zur Zusammensetzung des Brandgases (siehe Tabelle 2).

Die äquivalente Wärmeemission berechnet sich aus der mittleren Gastemperatur nach den o. g. Gleichungen und dem freigesetzten Brandgutmassenstrom:

$$\dot{Q}_{\text{out}} = c_p \dot{m}_{\text{B,ab}} (T - 283,15 \text{ K}) \frac{\rho_0 T_0 V_R}{T m_B}$$

5.2 Gasausbreitungsmodell

In Abschnitt 9.2.6.2.4 „Rahmenbedingungen für Störfallablaufszenarien“ der Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung /L9/ wird als Ausbreitungsmodell nach dem Stand des Wissens auf die VDI-Richtlinie 3783 hingewiesen. Im Leitfaden KAS-18 wird ebenfalls diese VDI-Richtlinie zur Gasausbreitungsberechnung im Rahmen der Flächennutzungsplanung herangezogen. Die VDI-Richtlinie ist in zwei Blätter unterteilt:

Blatt 1: „Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheits-analyse“ /L10/

Blatt 2: „Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse“ /L11/

In **Blatt 1** wird das Modell zur Berechnung der Ausbreitung von im Vergleich zu Luft dichteneutralen bis leichten Gasen beschrieben. Die Berechnungsgrundlage bilden die Gaußschen Ausbreitungsformeln. Es wird die Freisetzung einer Gaswolke in einer bestimmten Höhe über dem Erdboden angenommen, deren Mittelpunkt mit konstanter Windgeschwindigkeit fortbewegt wird.

Durch die Zumischung von Luft wird die Wolke laufend verdünnt, wobei ihr Gesamtvolumen wächst. Dieser Ausbreitungs- und Verdünnungsprozess der Wolke infolge der turbulenten Diffusion wird im Gaußmodell durch die "Streuung" wiedergegeben. Da die Streuungen aus experimentellen Untersuchungen in einem Bereich von 100 m bis 10 000 m bestimmt worden sind, ist bei Berechnungen außerhalb dieses Bereiches mit größeren Ungenauigkeiten zu rechnen.

In der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 werden jeweils für eine ungünstige und eine mittlere Ausbreitungssituation die Konzentrationen bzw. Dosen berechnet. Die ungünstige bzw. mittlere Ausbreitungssituation entsteht durch unterschiedliche

- Temperaturschichtungen in der Atmosphäre,
- Windgeschwindigkeiten,
- effektive Quellhöhen und
- Bodenrauigkeiten.

Die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 setzt bei einer mittleren Ausbreitungssituation eine indifferente Temperaturschichtung ohne Inversion voraus. Bei einer ungünstigen Ausbreitungssituation wird der ungünstigste Fall durch Variation der Temperaturschichtungen und unter Berücksichtigung einer Inversionsschicht ausgewählt.

Windgeschwindigkeit

Die Berechnungen mit der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 können für Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 10 m/s durchgeführt werden. Für die Berechnung einer mittleren Ausbreitungssituation ist, wie auch bei der Einzelfallbetrachtung nach dem Leitfaden KAS-18, die häufigste Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung an einer repräsentativen Messstation zu verwenden.

Die am häufigsten festgestellte Windgeschwindigkeit beträgt nach /U2/, /U3/ im Bereich Stade ca. 4 m/s. Dieser Wert wird für die mittlere Ausbreitungssituation verwendet.

Freisetzungshöhe und effektive Quellhöhe

Solange die RWA geschlossen ist, werden Brandgase über Undichtigkeiten des Tores, der Tür und der Entlüftungsanlage freigesetzt werden. Da der Strömungswiderstand durch die Klappen der Entlüftungsanlage am geringsten sein wird, wird angenommen, dass der gesamte Brandgasmassenstrom über die Lüftungsanlage in Dachhöhe freigesetzt wird. Nach Öffnung der RWA werden die Brandgase über die Lichtkuppeln über Dach freigesetzt. Obwohl die Lichtkuppeln im Lagerbereich I einen Abstand voneinander von ca. 15 m haben, wird konservativ eine Punktquelle in einer Freisetzungshöhe von 8,5 m angenommen.

Wird ein Gas freigesetzt, dessen Dichte geringer als die Luftdichte ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ist, oder treten Brandgase mit einer hohen Temperatur und somit geringer Dichte aus, so steigen diese Gase in der Atmosphäre auf. Die Gaswolke befindet sich dann oberhalb des Freisetzungsortes. Die effektive Quellhöhe setzt sich aus der Höhe des Freisetzungsortes und dieser Überhöhung zusammen und ist vom Abstand zum Freisetzungsort, der Temperaturschichtung und von der äquivalenten Wärmeemission abhängig. Die äquivalente Wärmeemission wird wie oben angegeben berechnet.

Freisetzungshöhe und effektive Quellhöhe - Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel

Bis zum Eintreffen der Feuerwehr, werden Brandgase über Undichtigkeiten der Tore, der Türen und ggf. der Fenster freigesetzt. Nach Öffnen eines Tores werden die Brandgase in einer Höhe von ca. 4 m über Erdgleiche freigesetzt.

Wird ein Gas freigesetzt, dessen Dichte geringer als die Luftdichte ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ist, oder treten Brandgase mit einer hohen Temperatur und somit geringer Dichte aus, so steigen diese Gase in der Atmosphäre auf. Die Gaswolke befindet sich dann oberhalb des Freisetzungsortes. Die effektive Quellhöhe setzt sich aus der Höhe des Freisetzungsortes und dieser Überhöhung zusammen und ist vom Abstand zum Freisetzungsort, der Temperaturschichtung und von der äquivalenten Wärmeemission abhängig. Die äquivalente Wärmeemission wird wie oben angegeben berechnet.

Bebauungshöhe und Bodenrauigkeit

Die Bebauungshöhe ist entsprechend der Höhe der umgebenden Gebäude abzuschätzen, wobei bei mehreren Gebäuden der Mittelwert zu bilden ist. Die Bebauungshöhe wirkt sich auf die Inversionshöhe und damit direkt auf die Konzentrationen bei einer ungünstigen Ausbreitungssituation aus. Die Inversionshöhe ist nach der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 gleich der mittleren Bebauungshöhe bzw. mindestens 20 m zu setzen.

Entsprechend den Hinweisen des Leitfadens KAS-18 wird nur eine mittlere Ausbreitungssituation ohne Inversion berechnet.

Über die Bodenrauigkeit wird der Einfluss des Geländes auf die Turbulenz der Atmosphäre und somit auf die Verteilung der Gaswolke berücksichtigt. Es werden in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 die in **Tabelle 3** enthaltenen fünf effektiven Rauigkeitslängen z_0 für verschiedene Geländetypen festgelegt:

Tabelle 3: effektive Rauigkeitslängen in der VDI Richtlinie 3783 Blatt 1

Z_0 [m]	Beschreibung des Geländes
0,02	extrem glatt: homogenes, extrem ebenes Gelände (keine Gebäude, Bäume, Büsche in weiterem Umkreis) und Wasserflächen
0,2	glatt: homogenes, ebenes Gelände; nur einzelne Gebäude bzw. Bäume in weiterem Umkreis
0,5	wenig rau: relativ ebenes Gelände, nur wenige Gebäude und mäßiger Bewuchs in weiterem Umkreis
0,8	mäßig rau: unebenes Gelände; Ortschaften bzw. kleine Waldgebiete in weiterem Umkreis
1,2	sehr rau: Stadt- und Waldgebiet

Es wird davon ausgegangen, dass sich durch die Bebauung in der Nähe des Betriebsbereiches eine turbulente Strömung ausbildet. Es wird daher den Berechnungen eine effektive Rauigkeitslänge von 1,2 m zugrunde gelegt.

5.3 Beurteilungswerte

Der Arbeitskreis Schadstoffe (Luft) der SFK hat untersucht, welche Schwellenwerte für Schadstoffkonzentrationen bei Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, im Rahmen von Auswirkungsbetrachtungen herangezogen werden können. Dabei hat er die Begriffe »Störfall« und »Ernste Gefahr« nach der Störfall-Verordnung zugrunde gelegt. Im SFK-GS-28-Bericht „Konzept zur Begründung der Konzentrationsleitweite im Störfall des Arbeitskreises Schadstoffe (Luft) der SFK“ /L12/ werden drei Konzepte diskutiert:

- das ERPG-Konzept (Emergency Response Planning Guidelines),
- das AEGL-Konzept (Acute Exposure Guideline Levels) und
- das EEI-Konzept (Emergency Exposure Indices).

Alle Ansätze gehen von einer dreistufigen Einteilung der Auswirkungen einer Schadstoffkonzentration aus:

- Bereich der Wirkungslosigkeit,
- Bereich erster sensorischer Effekte (Stufe 1),
- Bereich nachteiliger gesundheitlicher Auswirkungen (Stufe 2),
- Bereich schwerer, zum Teil irreversibler Schäden und Beginn tödlich verlaufender Vergiftungen (Stufe 3).

Diese Einteilung ist z. B. bei der Definition der ERPG-Werte wiederzufinden:

ERPG-1 ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter mehr als leichten, vorübergehend nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. ohne dass sie einen eindeutigen definierten unangenehmen Geruch wahrnehmen.

ERPG-2 ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang 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.

ERPG-3 ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. solche entwickeln.

Während die ERPG-Werte für eine Expositionsdauer von einer Stunde ermittelt worden sind, sind die AEGL-Werte für fünf Expositionszeiträume von 10 Minuten, 30 Minuten, eine Stunde, vier Stunden und acht Stunden festgelegt worden. Diese zeitliche Differenzierung ermöglicht eine bessere Beurteilung der meist zeitlich begrenzten Auswirkungen eines Störfalles.

Im Leitfaden KAS-18 wird für die Bauleitplanung der ERPG-2-Wert als Beurteilungswert herangezogen. Liegen keine ERPG-Werte für einen Stoff vor, so können auch die AEGL-Werte für eine Expositionsdauer von einer Stunde verwendet werden. In der **Tabelle 4** sind die ERPG-2-Werte (Ausgabe 2014) für die toxischen Brandgaskomponenten aufgeführt, die als Bewertungskriterium für die Berechnung herangezogen werden.

Tabelle 4: Störfallbeurteilungswerte für die Brandgaskomponenten

Brandgaskomponente	ERPG-2-Wert
Chlorwasserstoff	20 ppm
Schwefeldioxid	3 ppm
Stickstoffdioxid	15 ppm
Cyanwasserstoff	10 ppm
Kohlenmonoxid	350 ppm
Methylisocyanat	0,25 ppm

Wie aus Tabelle 2 entnommen werden kann, hat Schwefeldioxid mit 800 mg/g die höchste Bildungsrate aller Brandgaskomponenten und mit 3 ppm einen kleinen ERPG-2-Wert. Methylisocyanat hat den geringsten ERPG-Wert, aber mit 30 mg/g eine in Bezug auf Schwefeldioxid um den Faktor 26 kleinere Bildungsrate. Da die Konzentration in der Umgebung proportional zum Massenstrom und somit zur Bildungsrate ist und das Verhältnis der beiden ERPG-Werte 1:12 ist, muss für die Bestimmung des angemessenen Abstandes nur Schwefeldioxid betrachtet werden.

5.4 Berechnungen

5.4.1 Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager

5.4.1.1 Lagerbereich I

Zusammenfassung der Berechnungsparameter:

Angaben zum Lager	
Raumlänge	30,9 m
Raubbreite	6,1 m
Raumhöhe	8 m
Heizwert	20 MJ/kg
Brandintensitätskoeffizient	0,047 kW/s ²
Sprinkleranlage	
RTI-Wert	80 (s m) ^{1/2}
Nennauslösetemperatur	68 °C
Höhe zwischen Brandherd und Sprinkler	4 m
Sprinklerauslösezeit	185 s
RWA	
Anzahl der Lichtkuppeln	2
Abluftfläche Stufe 1	1,5 m ²
Abluftfläche Stufe 2	2,5 m ²
Abluftfläche Stufe 3	3 m ²
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 1	0,3
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 2	0,45
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 3	0,7
Zuluftfläche	10 m ²
Durchflussbeiwert der Zuluftfläche	0,9
Brandbekämpfung	
Auslösezeitpunkt der Brandmeldeanlage	1 Minute
Interventionszeit der Feuerwehr	15 Minuten
Löschdauer	10 Minuten

In **Abbildung 1** ist die zeitliche Entwicklung der Abbrandrate dargestellt. Die Abbrandrate steigt zunächst quadratisch mit der Zeit an und bleibt nach der Sprinklerauslösezeit von 185 Sekunden konstant. Die Feuerwehr beginnt mit dem Löschen nach ca. 960 Sekunden, worauf sich die Abbrandrate verringert. Insgesamt wird eine Masse von ca. 91 kg verbrannt (siehe **Abbildung 2**). Die mittlere Temperatur im Lager erreicht einen Wert von ca. 55 °C, wie aus **Abbildung 3** zu entnehmen ist.

Der über die RWA freigesetzte Massenstrom (**Abbildung 4**) beträgt bei der Öffnungsstufe 3 kurzzeitig 0,35 kg/s und die äquivalente Wärmeemission beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 0,4 MW (**Abbildung 5**). Der über die RWA freigesetzte Massenstrom ist bei den anderen Öffnungsstufen aufgrund der kleineren Fläche und Durchflussziffer deutlich geringer.

Entsprechend dem Leitfaden KAS-18 wird eine mittlere Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s und indifferenter Temperaturschichtung ohne Inversion berechnet. In den **Abbildungen 6 bis 8** sind die mit der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 berechneten Schwefeldioxid-Konzentrationen in einer Höhe von 2 m über Erdgleiche (stehende Person) für die drei Öffnungsstufen dargestellt. Obwohl die Freisetzung über zwei Lichtkuppeln der RWA erfolgt, wurde konservativ eine Punktquelle in einer Höhe von 8,5 m über Erdgleiche angesetzt.

Der ERPG-2-Wert für Schwefeldioxid von 3 ppm wird in einer Entfernung zwischen ca. 100 m und ca. 210 m unterschritten.

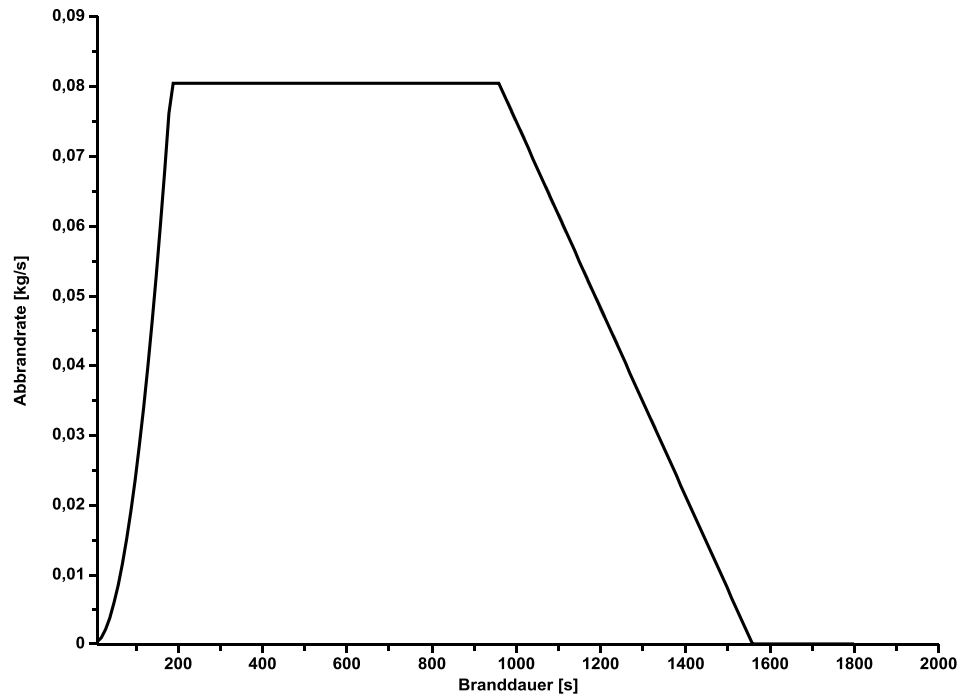


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der Abbrandrate

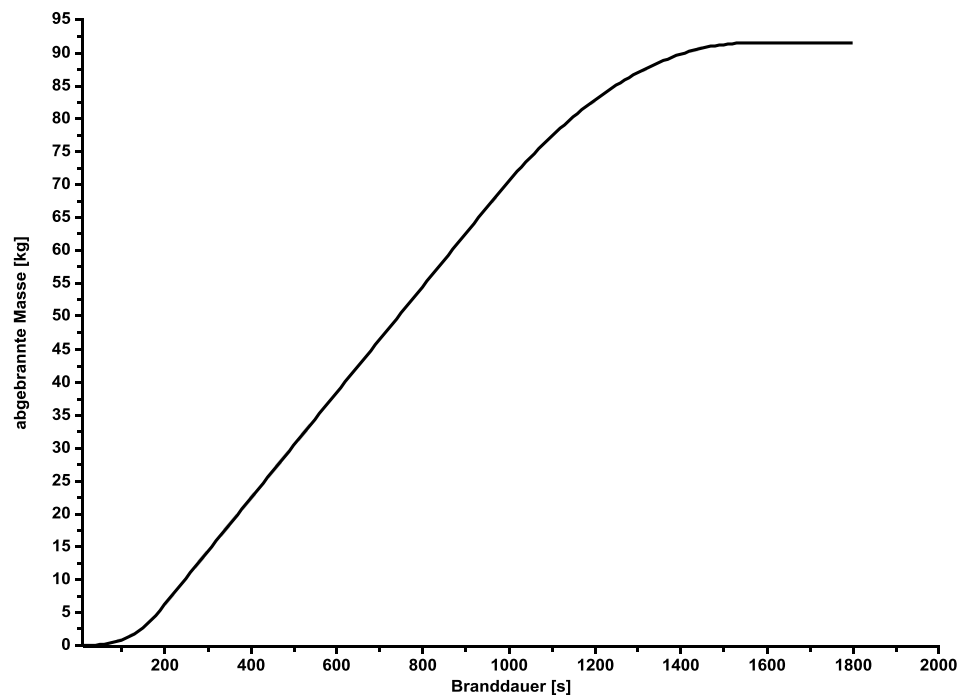


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der abgebrannten Masse

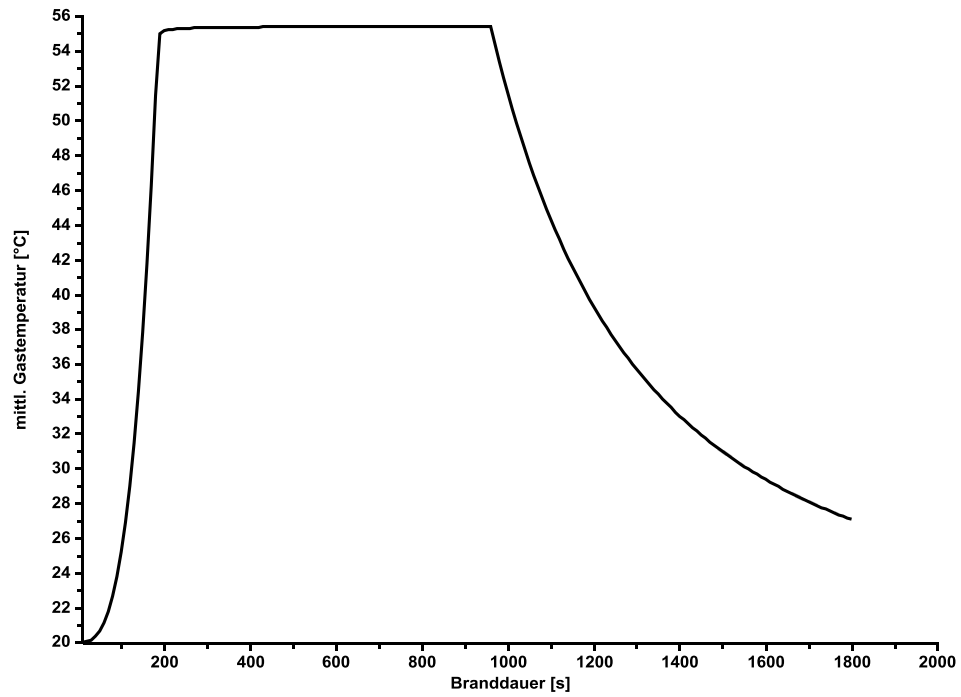


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der mittleren Temperatur im Lager

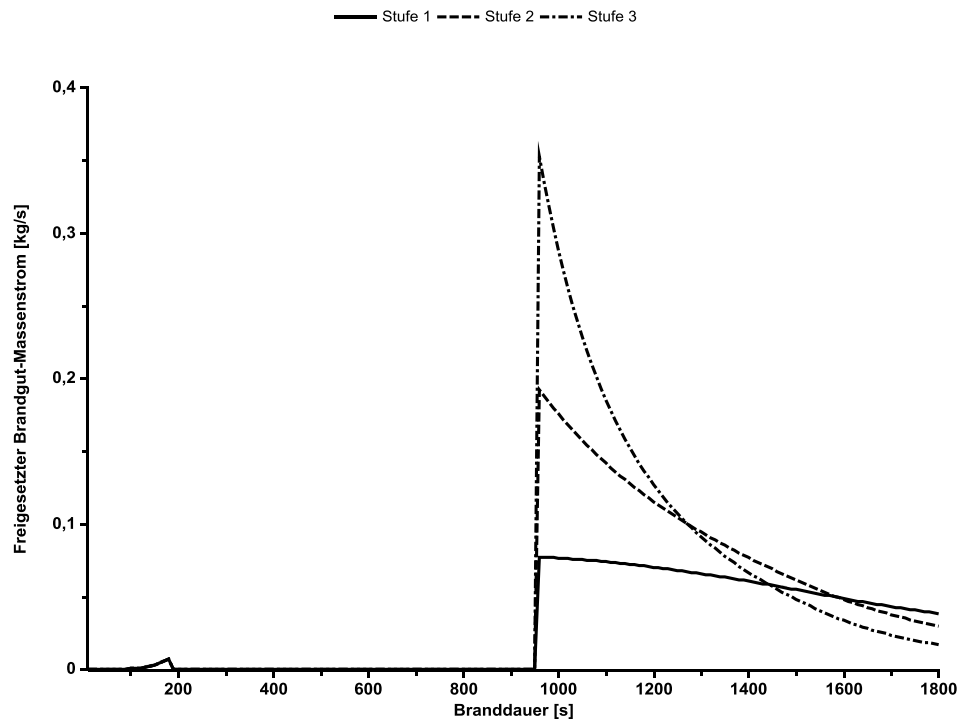


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung des freigesetzten Brandgas-Massenstroms

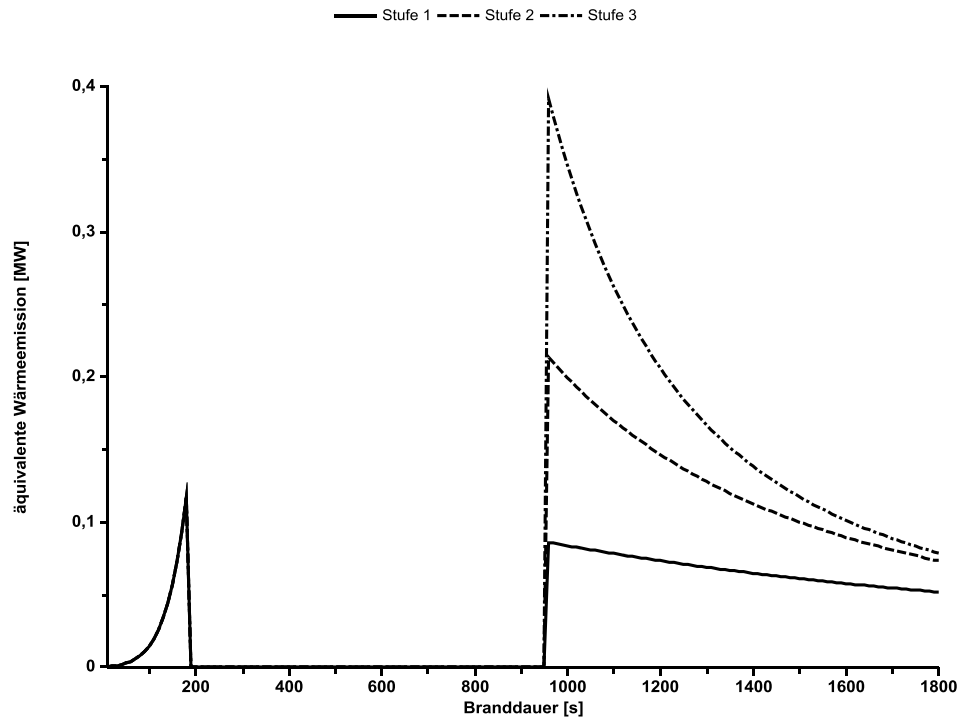


Abbildung 5: Zeitliche Entwicklung der äquivalenten Wärmeemission

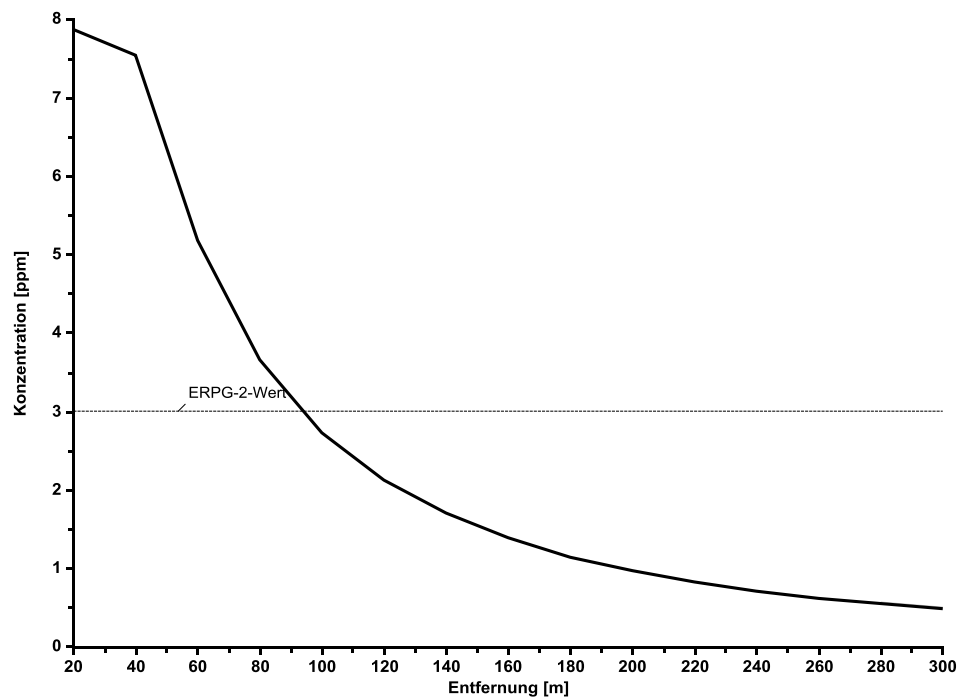


Abbildung 6: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe

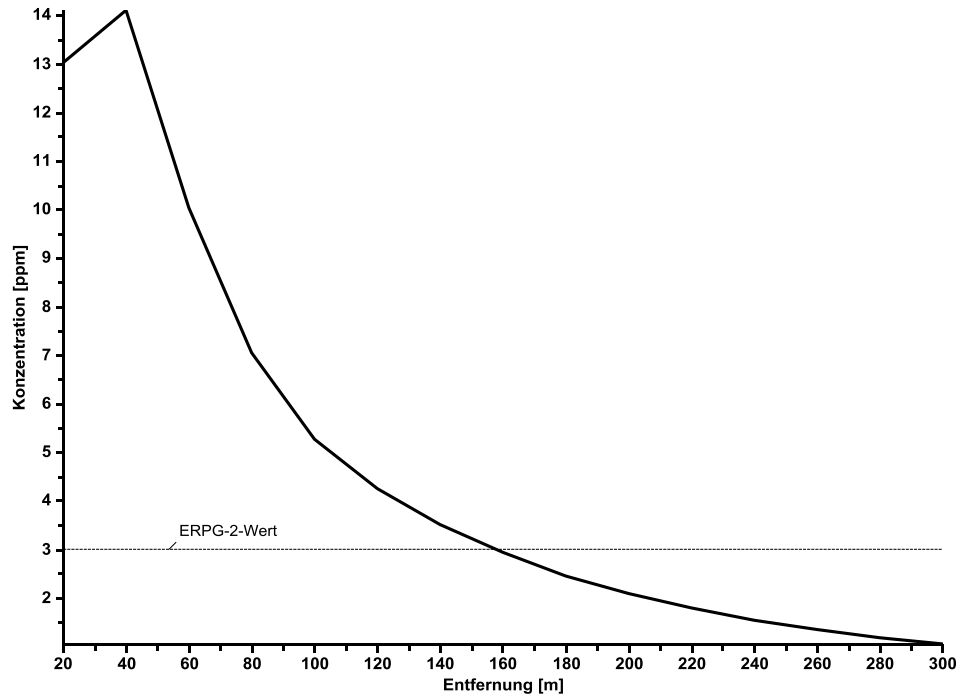


Abbildung 7: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 2

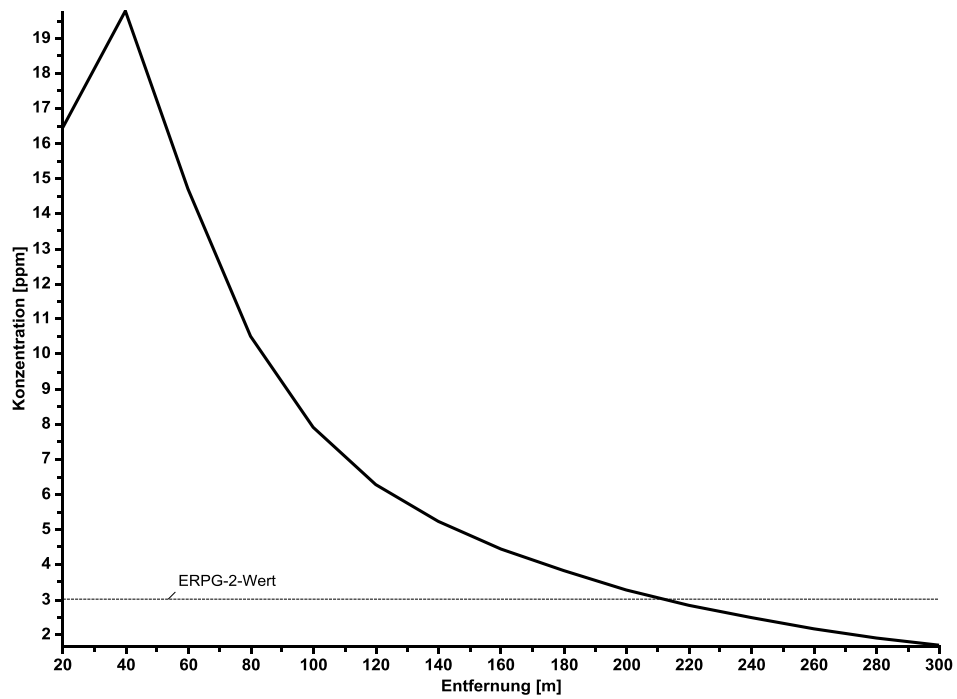


Abbildung 8: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 3

5.4.1.2 Lagerbereich II

Zusammenfassung der Berechnungsparameter:

Angaben zum Lager	
Raumlänge	24,8 m
Raumbreite	6,1 m
Raumhöhe	8 m
Heizwert	20 MJ/kg
Brandintensitätskoeffizient	0,047 kW/s ²
Sprinkleranlage	
RTI-Wert	80 (s m) ^{1/2}
Nennauslösetemperatur	68 °C
Höhe zwischen Brandherd und Sprinkler	3 m
Sprinklerauslösezeit	170 s
RWA	
Anzahl der Lichtkuppeln	1
Abluftfläche Stufe 1	0,75 m ²
Abluftfläche Stufe 2	1,25 m ²
Abluftfläche Stufe 3	1,5 m ²
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 1	0,3
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 2	0,45
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 3	0,7
Zuluftfläche	10 m ²
Durchflussbeiwert der Zuluftfläche	0,9
Brandbekämpfung	
Auslösezeitpunkt der Brandmeldeanlage	1 Minute
Interventionszeit der Feuerwehr	15 Minuten
Löschdauer	10 Minuten

Die zeitliche Entwicklung der Abbrandrate entspricht dem in Abbildung 1 dargestellten Verlauf. Da die Sprinklerauslösezeit von 170 Sekunden gegenüber dem Szenario im Lagerbereich I etwas geringer ist, erreicht die mittlere Temperatur im Lager einen Wert von ca. 54 °C. Insgesamt wird eine Masse von ca. 78 kg verbrannt. Der maximal über die RWA freigesetzte Massenstrom (**Abbildung 9**) beträgt kurzzeitig 0,19 kg/s.

Entsprechend dem Leitfaden KAS-18 wird eine mittlere Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s und indifferenter Temperaturschichtung ohne Inversion berechnet. In den **Abbildungen 10 bis 12** sind die mit der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 berechneten Schwefeldioxid-Konzentrationen in einer Höhe von 2 m über Erdgleiche (stehende Person) für die drei Öffnungsstufen dargestellt. Obwohl die Freisetzung über zwei Lichtkuppeln der RWA erfolgt, wurde konservativ eine Punktquelle in einer Höhe von 8,5 m über Erdgleiche angesetzt.

Der ERPG-2-Wert für Schwefeldioxid von 3 ppm wird in einer Entfernung zwischen ca. 70 m und ca. 160 m unterschritten.

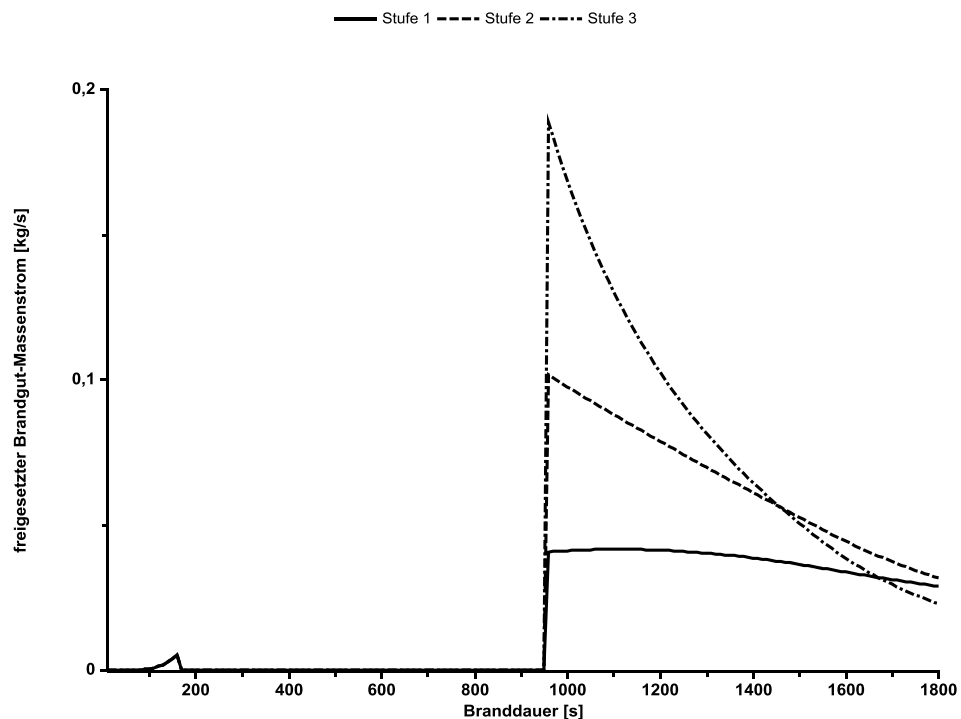


Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung des freigesetzten Brandgas-Massenstroms

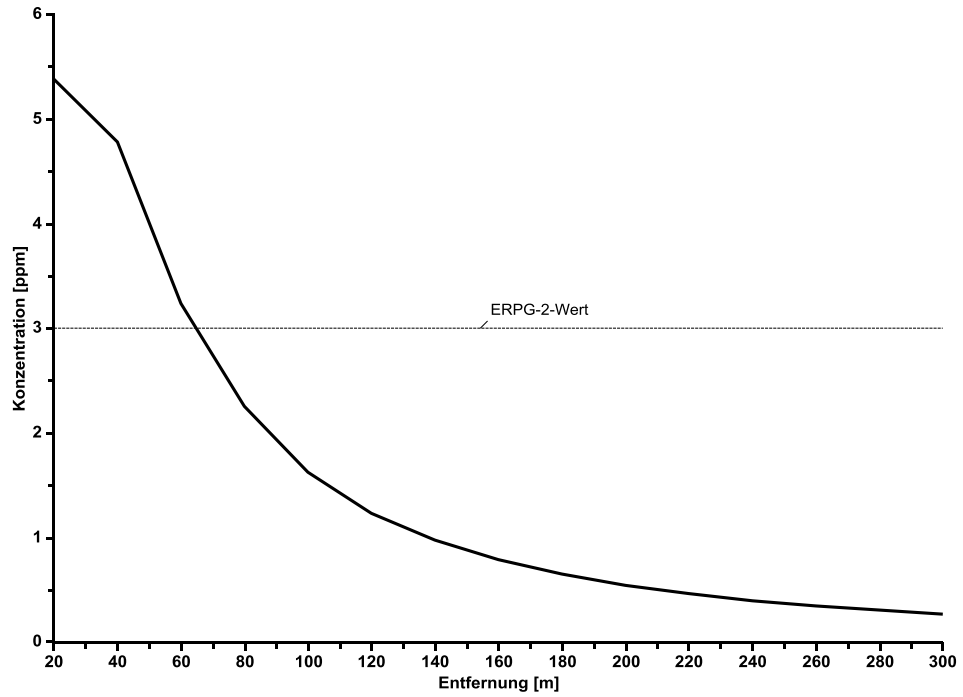


Abbildung 10: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 1

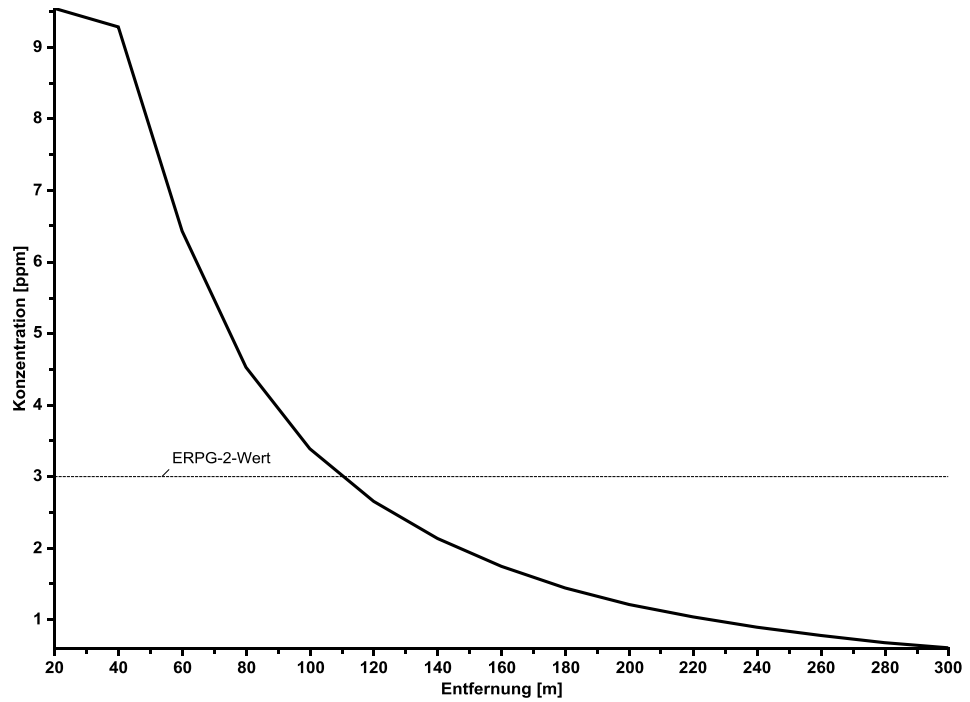


Abbildung 11: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 2

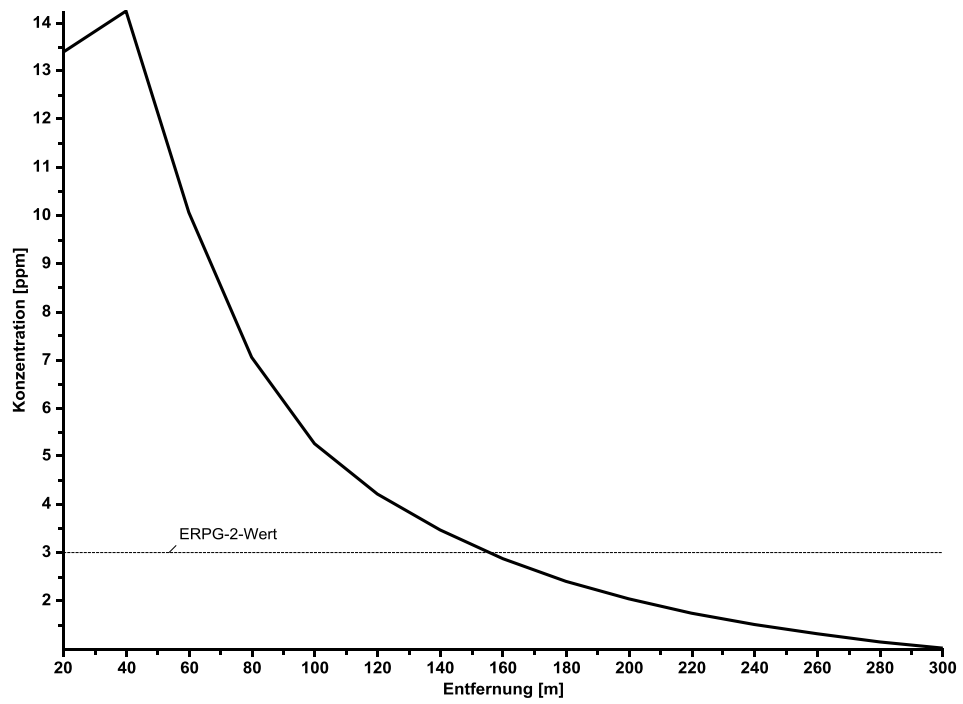


Abbildung 12: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe

3

5.4.1.3 Lagerbereich III

Zusammenfassung der Berechnungsparameter:

Angaben zum Lager	
Raumlänge	18,7 m
Raumbreite	6,1 m
Raumhöhe	8 m
Heizwert	20 MJ/kg
Brandintensitätskoeffizient	0,047 kW/s ²
Sprinkleranlage:	
RTI-Wert	80 (s m) ^{1/2}
Nennauslösetemperatur	68 °C
Höhe zwischen Brandherd und Sprinkler	4 m
Sprinklerauslösezeit	185 s
RWA	
Anzahl der Lichtkuppeln	1
Abluftfläche Stufe 1	0,75 m ²
Abluftfläche Stufe 2	1,25 m ²
Abluftfläche Stufe 3	1,5 m ²
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 1	0,3
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 2	0,45
Durchflussbeiwert der Abluftfläche Stufe 3	0,7
Zuluftfläche	10 m ²
Durchflussbeiwert der Zuluftfläche	0,9
Brandbekämpfung	
Auslösezeitpunkt der Brandmeldeanlage	1 Minute
Interventionszeit der Feuerwehr	15 Minuten
Löschdauer	10 Minuten

Die zeitliche Entwicklung der Abbrandrate ist in **Abbildung 13** dargestellt. Nach ca. 800 Sekunden verringert sich die Abbrandrate aufgrund von Sauerstoffmangel und die abgebrannte Masse erreicht einen Wert von ca. 53 kg (**Abbildung 14**). Da der Lagerraum kleiner ist als der Lagerbereich I, erreicht die mittlere Temperatur im Lager bei gleicher Sprinklerauslösetemperatur einen Wert von ca. 80 °C.

In **Abbildung 15** ist die zeitliche Entwicklung des freigesetzten Massenstroms dargestellt. In Abhängigkeit von der Öffnungsstufe werden maximale Massenströme von 0,07 kg/s bis 0,3 kg/s freigesetzt. Dem entsprechend wird der ERPG-2-Wert für Schwefeldioxid von 3 ppm in Entfernungen zwischen ca. 80 m und ca. 190 m unterschritten.

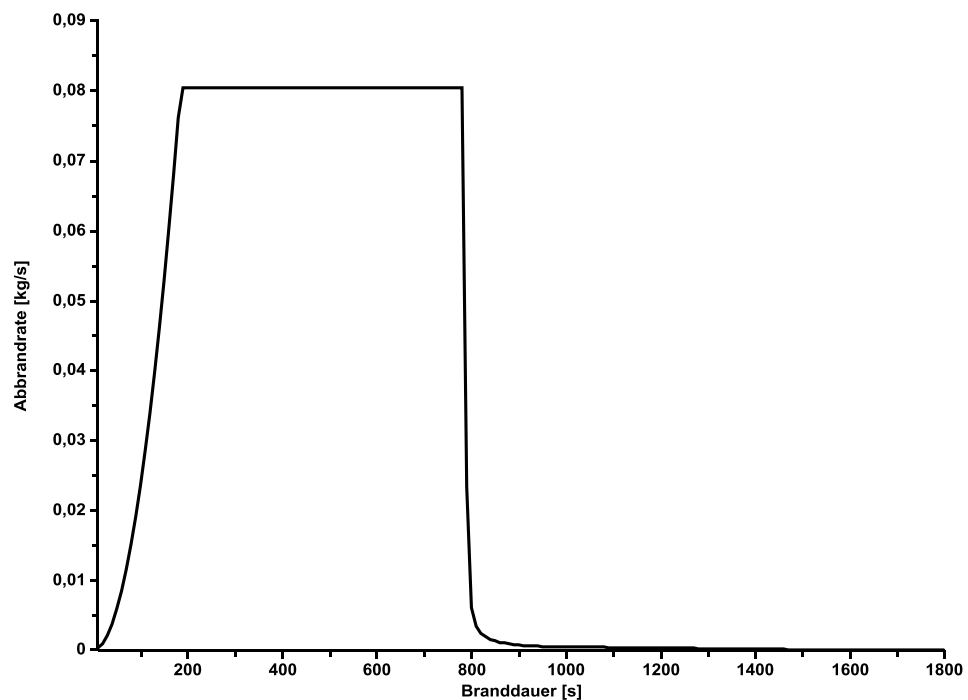


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Abbrandrate

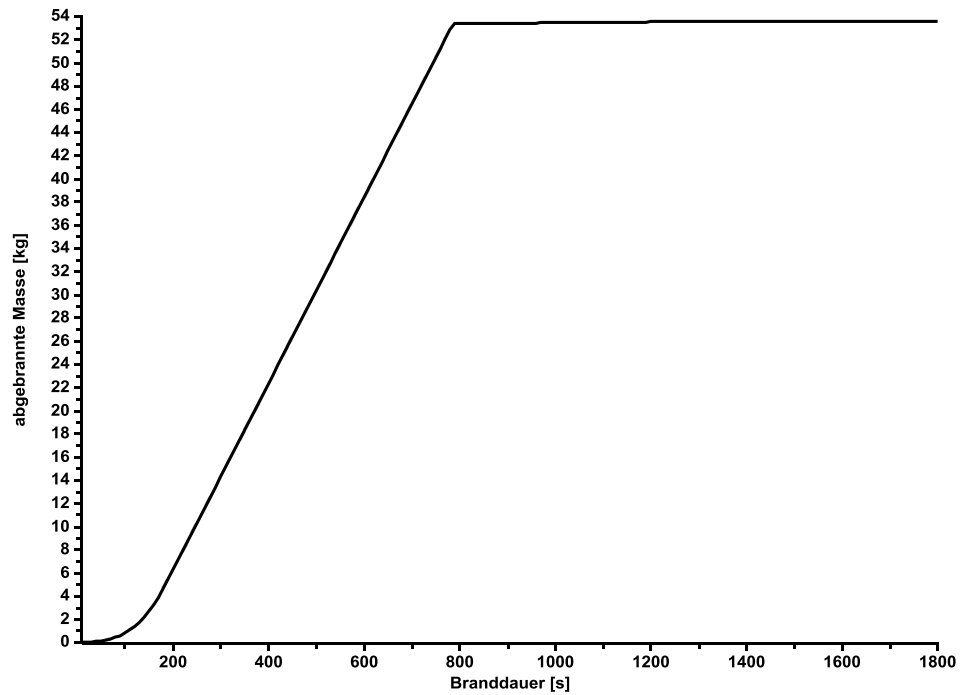


Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der abgebrannten Masse

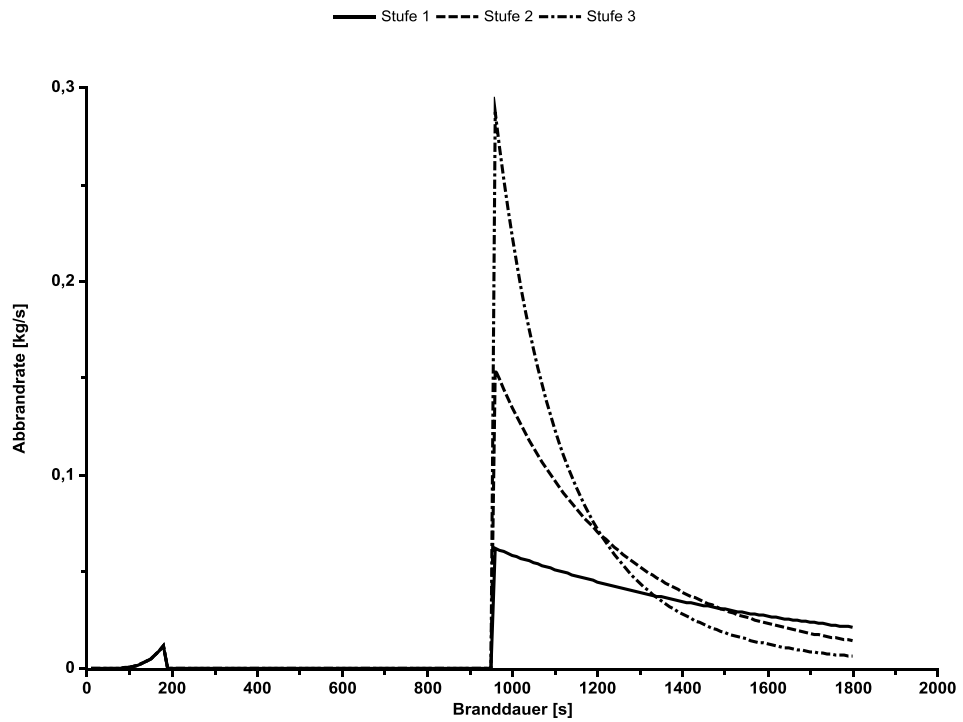


Abbildung 15: Zeitliche Entwicklung des freigesetzten Brandgas-Massenstroms

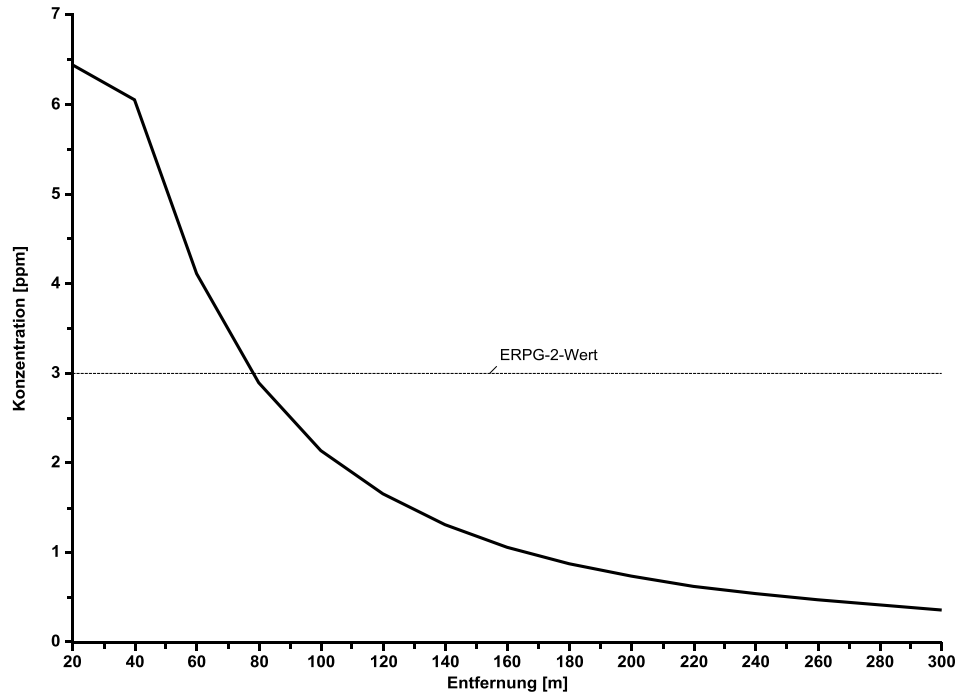


Abbildung 16: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 1

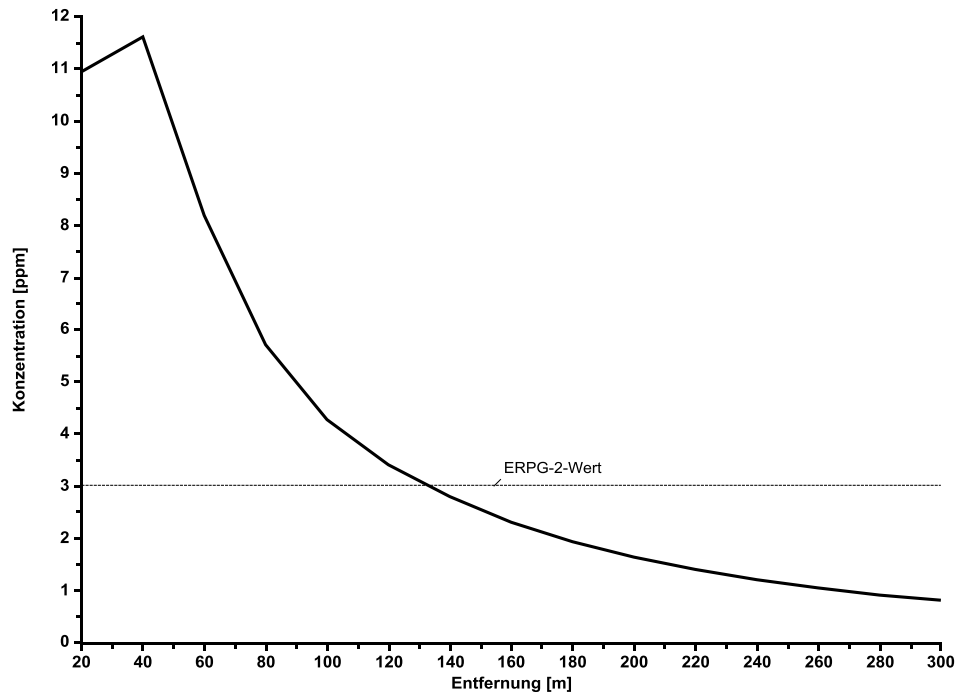


Abbildung 17: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe 2

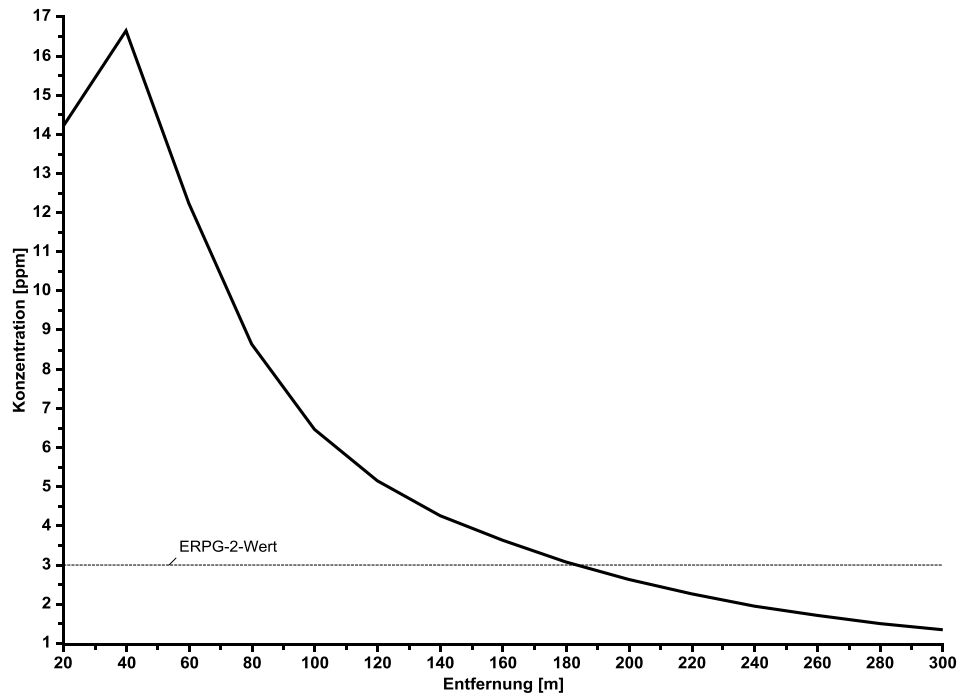


Abbildung 18: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid, Öffnungsstufe

3

5.4.2 Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel

Zusammenfassung der Berechnungsparameter:

Angaben zum Lager	
Raumlänge	45,0 m
Raumbreite	13,0 m
Mittlere Raumhöhe	6,90 m
Heizwert	15 MJ/kg
Brandintensitätskoeffizient	0,188 kW/s ²
Entrauchung	
Geöffnete Tore	1
Rauchabzugsfläche	8 m ²
Zulufffläche	8 m ²
Durchflussbeiwert	0,9
Brandbekämpfung	
Auslösezeitpunkt der Brandmeldeanlage	1 Minute
Interventionszeit der Feuerwehr	15 Minuten
Löschdauer	30 Minuten

In Abbildung 19 ist die zeitliche Entwicklung der Abbrandrate dargestellt. Die Abbrandrate steigt quadratisch mit der Zeit. Wie aus Abbildung 20 zu entnehmen ist, überschreitet die mittlere Temperatur im Lager 700 °C nach ca. 360 s, sodass zu erwarten ist, dass es zu einem Flash-Over auf alle brennbaren Lagergüter und damit zu einem Vollbrand mit einem Versagen der Fenster und des Daches kommt. Zu diesem Zeitpunkt sind ca. 190 kg verbrannt (Abbildung 21) und der diffus über die Tore, Fenster und Türen freigesetzte Massenstrom beträgt ca. 1,1 kg/s (Abbildung 22).

Kommt es zu einem Vollbrand mit einer Beschädigung des Daches und der Fenster, so kann von einem gut belüfteten Brand mit hoher Wärmeemission ausgegangen werden. Durch die dann zu erwartende große Überhöhung der Brandgase sind die Konzentrationen in Bodennähe gering, was der Aussage im Leitfaden KAS-18 zur Vernachlässigung der Beurteilung von Brandgasen entspricht. Daher wird zur Ermittlung des angemessenen Abstandes die diffuse Freisetzung aus den Toren in einer Höhe von 4 m über Erdgleiche herangezogen.

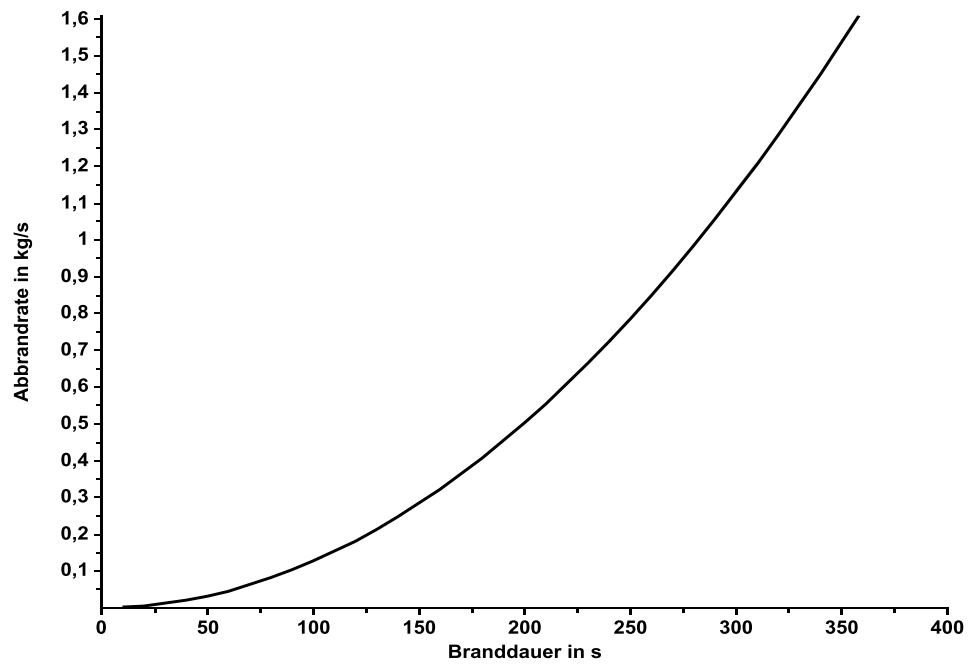


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Abbrandrate

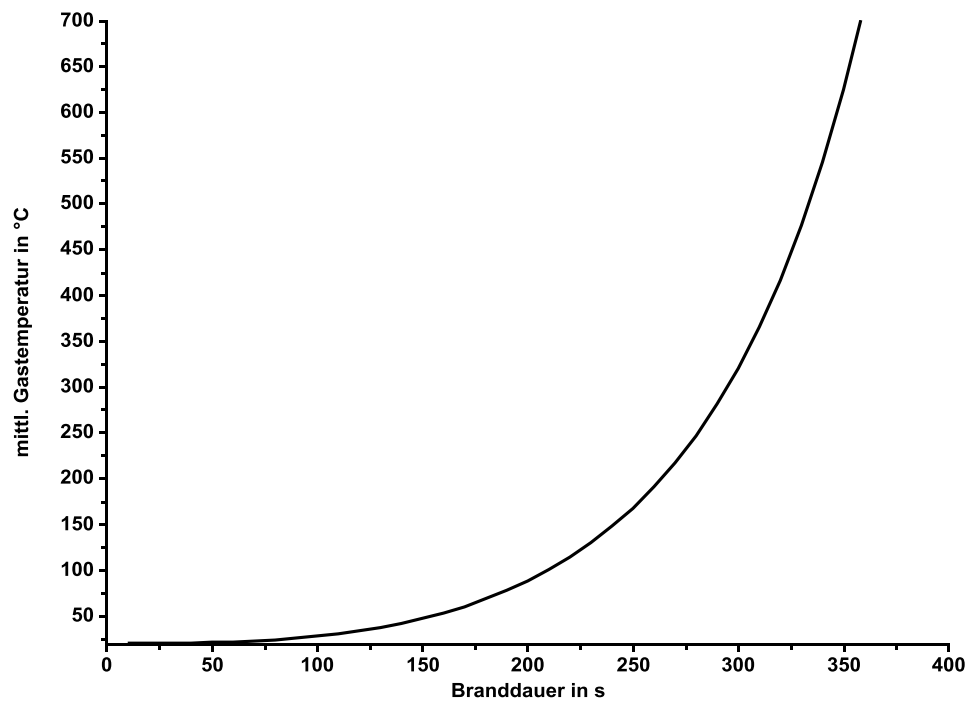


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der mittleren Temperatur im Lager

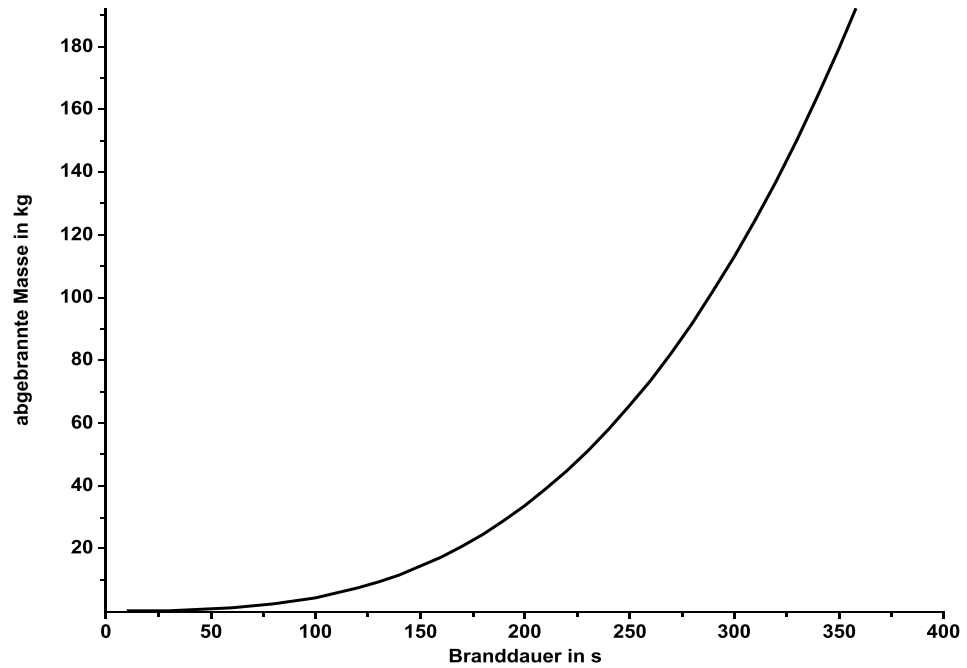


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der abgebrannten Masse

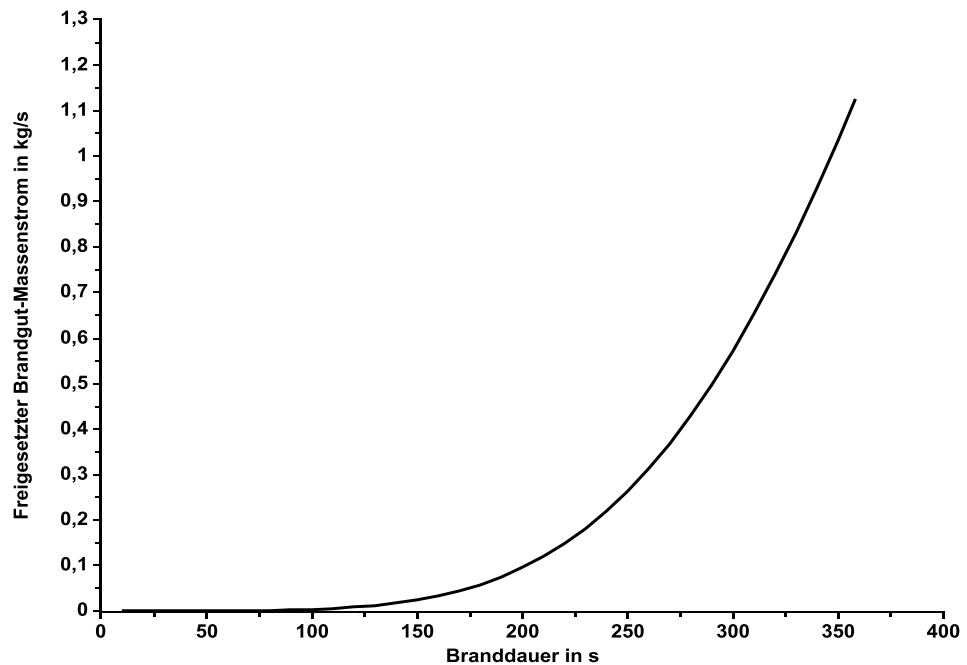


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des freigesetzten Brandgas-Massenstroms

Entsprechend dem Leitfaden KAS-18 wird eine mittlere Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s bei indifferenter Temperaturschichtung ohne Inversion berechnet. In Abbildung 23 sind die mit der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 berechneten Schwefeldioxid-Konzentrationen in einer Höhe von 2 m über Erdgleiche (stehende Person) dargestellt.

Der ERPG-2-Wert für Schwefeldioxid von 3 ppm wird in einer Entfernung von ca. 215 m unterschritten.

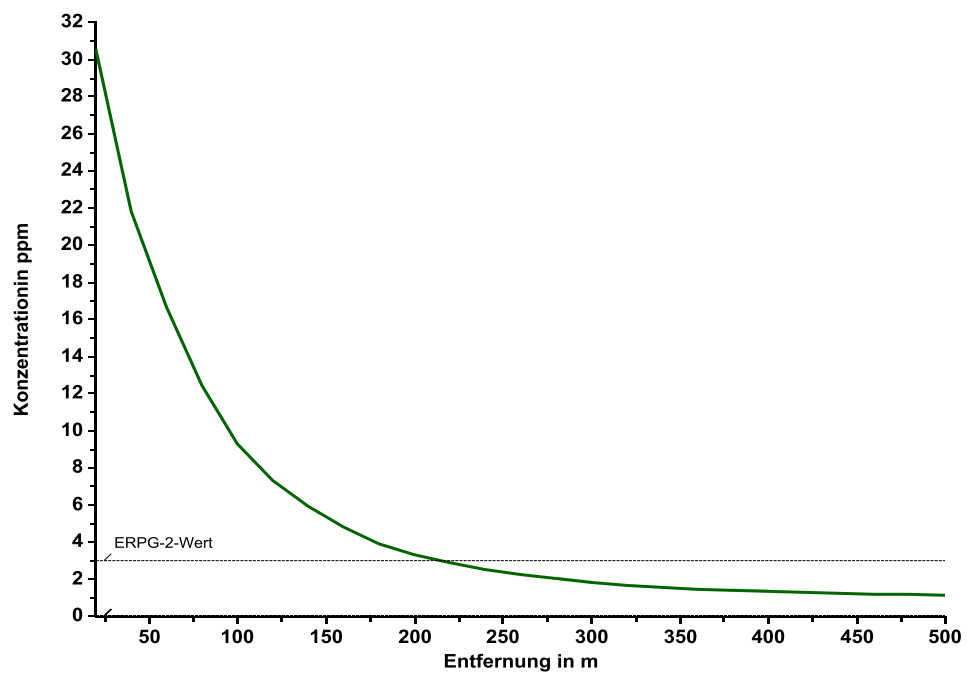


Abbildung 23: Konzentrationsverteilung von Schwefeldioxid

5.4.3 Formelzeichen

\dot{Q} [kW]	Wärmefreisetzungsrate
\dot{Q}_{eff} [kW]	effektive Wärmefreisetzungsrate
\dot{Q}_{out} [kW]	äquivalente Wärmeemission
α [kW/s ²]	Brandintensitätskoeffizient
t [s]	Branddauer
t_1 [s]	Zeitpunkt der Auslösung der selbsttätigen Löschanlage
t_2 [s]	Zeitpunkt der Öffnung der Rauchabzugsanlage (RWA)
t_3 [s]	Zeitpunkt des Beginns der manuellen Brandbekämpfung
t_s [s]	Zeitdauer bis zum Brandende infolge Sauerstoffmangel
t_2^*, t_f^* [-]	dimensionslose Zeiten
T_0 [K]	Umgebungstemperatur
T [K]	mittlere Gastemperatur im Lager
f [-]	Reduktionsfaktor der Wärmefreisetzungsrate = 0,6
R [J/(kmol K)]	allg. Gaskonstante
V_R [m ³]	Volumen des leeren Lagerraums
\dot{V}_{RWA} [m ³ /s]	Volumenstrom durch die Rauchabzugsflächen
H_V [kJ/kg]	Heizwert
M [kg/kmol]	molare Masse der Umgebungsluft = 29 kg/kmol
K [m ⁴ /(kJ s ²)]	Hilfsgröße
c_p [J/(kg K)]	Wärmekapazität des Gases im Lager = 1010 J/(kg K)
g [m/s ²]	Erdbeschleunigung
h_R [m]	Höhe des Raumes
r_{max} [m]	maximaler horizontaler Abstand zwischen Brandmittelpunkt und Wärmemaximalmelder = 3,25 m
A_{RWA} [m ²]	geometrische Rauchabzugsfläche
c_v [-]	Durchflussbeiwert der Rauchabzugsfläche
$\dot{m}_{\text{B,zu}}$ [kg / s]	Brandgutmassenstrom ins Lager (Abbrandrate)
\dot{m}_{zu} [kg / s]	Luft-Massenstrom ins Lager
$\dot{m}_{\text{B,ab}}$ [kg / s]	aus dem Raum austretender Brandgutmassenstrom
\dot{m}_{ab} [kg / s]	aus dem Raum austretender Massenstrom
m_B [kg]	im Gas des Brandraumes enthaltene Masse des

	Brandgutes
$m_{B,ges}$ [kg]	abgebrannte Masse des Brandgutes
m [kg]	Gasmasse im Raum
$\Delta H_{R,O_2}$	Reaktionswärme einer Verbrennungsreaktion bezogen auf die umgesetzte Sauerstoffmolmenge = 0,42 MJ/mol
$a, b, t_{s1}, t_{s2}, f_{L0}$	Hilfsgrößen
ρ_0 [kg/m ³]	Luftdichte bei Umgebungstemperatur und -druck
P [Pa]	Umgebungsdruck
R [m]	Lachenradius
\dot{V} [m ³ /s]	Volumenstrom in die Lache
ρ_{fl} [kg/m ³]	Flüssigkeitsdichte
h_{min} [m]	minimale Schichtdicke
\dot{m}'' [kg/(m ² s)]	Abbrandrate

6 Zusammenfassung

Im Zuge der Prüfung des Bauantrages wurde durch das Bauordnungsamt festgestellt, dass das Bauvorhaben gemäß § 68 Abs.5 Nr. 1 NBauO innerhalb des Achtungsabstandes von 2 000 m von einem Betriebsbereich - Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellager der Firma AGRAVIS Raiffeisen AG in Stade – liegt, und somit ein Gutachten gemäß § 68 Abs.5 Nr.3 Satz 3 Nr. 1 NBauO eines Sachverständigen nach § 29b BImSchG erforderlich ist.

Mit Schreiben der Samtgemeinde Horneburg vom 30. April 2018 wurden wir mit der Erstellung dieses Gutachtens beauftragt.

In Anlehnung an den Leitfaden KAS-18 „Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung – Umsetzung § 50 BImSchG“ /L1/ wurden Auswirkungsbetrachtungen zur Ermittlung eines angemessenen Abstandes durchgeführt. Da das Gefahrstofflager für Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel in drei Lagerbereiche mit unterschiedlichen Abmessungen und Sprinkleranlagen unterteilt ist, sind drei Szenarien untersucht worden. Hierbei wurde auch berücksichtigt, dass die RWA-Lichtkuppeln in drei Öffnungsstufen geöffnet werden können. Die Berechnung des Brandverlaufes erfolgt mit einem aktuell veröffentlichten Berechnungsverfahren, das die Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Lagerbedingungen und die Brandmelde- und Löscheinrichtungen ermöglicht und auf aktuellen Richtlinien zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden basiert.

Die Berechnungen für den Bereich des Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittellagers ergaben, dass sich bei einem Brand im Lagerbereich I die größte Entfernung bei vollständiger Öffnung der RWA-Lichtkuppeln von 210 m zur Unterschreitung des ERPG-2-Wertes von Schwefeldioxid ergibt. Werden die RWA-Lichtkuppeln nur bis zur Stufe 2 geöffnet, so reduziert sich die Entfernung auf 160 m.

Die maximalen Entfernungen bei vollständiger Öffnung der RWA-Lichtkuppeln in den Lagerbereichen II und III sind mit 160 m bzw. 190 m etwas geringer als für den Lagerbereich I.

	Entfernung bis zur Unterschreitung des ERPG-2-Wertes von Schwefeldioxid (3 ppm) in m bei Öffnung der RWA bis		
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Lager I	100	160	210
Lager II	70	110	160
Lager III	80	130	190

Entsprechend dem Leitfaden KAS-18 wurde auch für den Bereich der Lagerhalle für landwirtschaftliche Bedarfsartikel bei einer mittleren Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s bei indifferenter Temperaturschichtung ohne Inversion der ERPG-2-Wert für Schwefeldioxid von 3 ppm in einer Entfernung von ca. 215 m unterschritten.

Der Abstand zwischen dem Betriebsbereich der Firma AGRAVIS Raiffeisen AG, Ottenbecker Damm 4 in 21684 Stade und des geplanten Mehrzweckgebäudes Agathenburg, Zur Mehrzweckhalle 1, 21684 Agathenburg beträgt ca 1 920 m. Der angemessene Abstand von ca. 215 m wird eingehalten (siehe Abbildung 24).

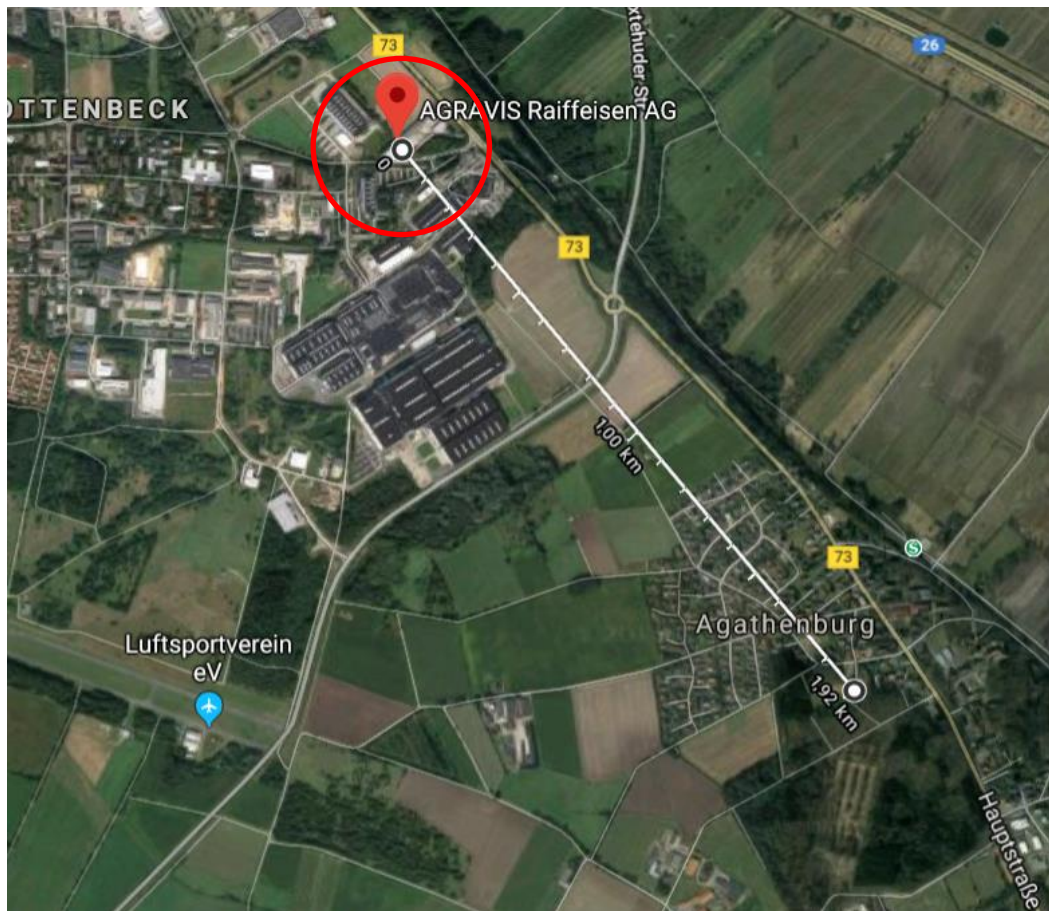


Abbildung 24: Angemessener Abstand 215 m um das Gefahrstofflager, Quelle Google Maps © 2018 Google-GeoBasis-DE/BKG (© 2009)

Dipl.-Ing. Wolfgang Strouhal¹

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Robert Freudling²

Bekannt gegebene Sachverständige
für Anlagensicherheit nach § 29b BImSchG

¹ Bekanntgabe für das Land Niedersachsen durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, mit Bescheid vom 17.05.2011, Az. 40500/11-003-Str-§29b

² Bekanntgabe für das Land Niedersachsen durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, mit Bescheid vom 10.12.2012, Az. 40500/12-002-Fre-§29b

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

7.1 Vorgelegte Unterlagen

- /U1/ Antrag auf Baugenehmigung für Sonderbauten im Baugenehmigungsverfahren nach § 64 NBauO vom 21. Dezember 2017
- /U2/ Störfallauswirkungsbetrachtung des BTÜB-Dipl.-Ing. W. Strouhal für die Bauleitplanung zur Umsetzung des § 50 BImSchG; vom 3. März 2015 Az.: 104614 - Sth/RF-JF
- /U3/ Ermittlung eines angemessenen Abstandes im Zusammenhang mit der Nutzungsänderung des Agravis-Lagers Stade des BTÜB-Dipl.-Ing. W. Strouhal vom 2. Mai 2016, Az.: 109515 Sth/RF-JT
- /U4/ Bestandsliste der Gefahrstoffe der AGRAVIS Raiffeisen AG, Stade vom 14. Mai 2018

7.2 Gesetze

- /G1/ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) m. W. v. 5. April 2017
- /G2/ Störfall-Verordnung - 12. BImSchV i. d. F. vom 8. Juni 2005 (BGBl. I S. 1598) zuletzt geändert durch die Neufassung der Störfall-Verordnung vom 15. April 2017 (BGBl. I S. 483)
- /G3/ Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV, zuletzt geändert durch die Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie über Industrieemissionen (BGBl. 2013 Teil 1 Nr. 21) vom 2. Mai 2013
- /G4/ Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates Text von Bedeutung für den EWR - Seveso III Richtlinie

7.3 Verwendete Literatur

- /L1/ KAS-18-Leitfaden: Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG. 2. überarbeitete Fassung, 2013
- /L2/ www.umweltbundesamt.de/nachhaltige-produktion-anlagensicherheit/zema/download.html
- /L3/ L. Steininger u. a., Beispielhafte Sicherheitsanalyse zu Pflanzenschutzmittellägern 3 Bände. UBA-FB 10409213 (1990)

- /L4/ L. Steiniger, Brände in Lagern für Pflanzenschutzmittel Teil 1. TÜ Bd. 31 (1990) Nr. 11
- /L5/ B. Brand, Brände in Lagern für Pflanzenschutzmittel Teil 2. TÜ Bd. 31 (1990) Nr. 11
- /L6/ U. Cabelka, Brände in Pflanzenschutzmittellägern. TÜ Bd. 34 (1993) Nr. 11
- /L7/ Industrieverband Agrar e.V. Auswirkungen von Bränden in Pflanzenschutzmittellägern. Juli, 1993
- /L8/ GESTIS-Stoffdatenbank. Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften
- /L9/ Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, BMU, 2004
- /L10/ VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1. Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen – Sicherheitsanalyse
- /L11/ VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2. Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse
- /L12/ SFK-GS-28-Bericht: Konzept zur Begründung der Konzentrationsleitweite im Störfall des Arbeitskreises Schadstoffe (Luft), 1999
- /L13/ U. Seifert, B. Schalau, I.-G. Heuer: Brände in Lagern für Pflanzenschutzmittel – ein aktueller Ansatz. Technische Sicherheit Bd. 4 Nr. ½, S. 20-28, (2014)
- /L14/ VDI-Richtlinie 6019 Teil 1: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit. Mai 2006
- /L15/ Brandschutz in Chemikalienlagern - Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Optimierung von Nachweismethoden und Schutzkonzepten. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Materialprüfanstalt für das Bauwesen – MPA Braunschweig. Heft 151, ISBN 3-89288-130-8, (2000)
- /L16/ Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG, Niedersachsen: Modellgestützte Abschätzung der Luftschadstoffbelastung; Lingen; Juni 2012