



**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Department Medizintechnik**

Sicherheitsrelevante Maßnahmen im Land– und Schiffbau Brandschutztechnische Betrachtung einer schwimmenden Versammlungsstätte

Bachelorarbeit
im Studiengang Gefahrenabwehr

vorgelegt von

Sebastian Milek
Matrikelnummer: 2037311

Hamburg
27. Februar 2014

Erstprüfer:
Zweitprüfer:

Dr.–Ing. Peer Rechenbach
Dr.–Ing. Daniel Povel

HAW Hamburg
DNV GL SE

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung.....	9
2 Methodik.....	11
2.1 Brandrisikoanalyse.....	11
2.2 Erstellung von Bemessungsbrandszenarien.....	11
2.3 Festlegung von Bemessungsbränden.....	12
2.4 Brandsimulationsmodelle.....	13
3 Brandschutz im Land- und Schiffbau.....	15
3.1 International Maritime Organization.....	15
3.1.1 International Convention for the Safety of Life at Sea.....	15
3.1.2 Weitere Dokumente der IMO.....	16
3.2 Bauministerkonferenz (ARGEBAU).....	17
3.2.1 Musterbauordnung.....	17
3.2.2 Muster-Versammlungsstättenverordnung.....	17
4 Gegenüberstellung der brandschutztechnischen Anforderungen im Land- und Schiffbau.....	19
4.1 Schutzziele und allgemeine Anforderungen.....	19
4.2 Baulicher Brandschutz.....	20
4.2.1 Anforderungen an Bauteile und Materialien.....	20
4.2.2 Brandabschnittsbildung.....	25
4.3 Anlagentechnischer Brandschutz.....	26
4.3.1 Branderkennung und Alarmierung.....	26
4.3.2 Rauchfreihaltung.....	28
4.3.3 Feuerlöscheinrichtungen und -anlagen.....	30
5 Planung und Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte.....	32
5.1 Maße und grundlegende Annahmen.....	32

5.2	Anlagentechnischer Brandschutz.....	34
5.3	Nutzungsarten.....	38
6	Brandszenarien und Simulationsparameter.....	40
6.1	Betrachtetes Schutzziel.....	40
6.2	Bemessungsbrandszenarien für das Modell.....	40
6.3	Bemessungsbrände.....	43
6.4	Messung und Darstellung von Bewertungsparametern.....	45
7	Darstellung der Simulationsergebnisse.....	47
7.1	Bemessungsbrandszenarium 1.....	48
7.1.1	Rauchausbreitung.....	48
7.1.2	Erkennungsweiten.....	49
7.1.3	Bestandteile der Umgebungsluft.....	52
7.1.4	Temperatur.....	55
7.2	Bemessungsbrandszenarium 2.....	56
7.2.1	Rauchausbreitung.....	56
7.2.2	Erkennungsweiten.....	56
7.2.3	Bestandteile der Umgebungsluft.....	57
7.2.4	Temperatur.....	57
7.3	Bemessungsbrandszenarium 3.....	57
7.3.1	Rauchausbreitung.....	57
7.3.2	Erkennungsweiten.....	58
7.3.3	Bestandteile der Umgebungsluft.....	58
7.3.4	Temperatur.....	58
7.4	Bemessungsbrandszenarium 4.....	59
7.4.1	Rauchausbreitung.....	59
7.4.2	Erkennungsweiten.....	59
7.4.3	Bestandteile der Umgebungsluft.....	59
7.4.4	Temperatur.....	60

8	Bewertung der Personensicherheit und Diskussion der Ergebnisse	61
8.1	Grenzwerte und Auswirkungen ausgewählter Einflussgrößen	61
8.2	ASET aus Brandsimulation	63
8.3	Bewertung der Ergebnisse	70
9	Fazit und Empfehlungen	72
	Literaturverzeichnis	73
A.	Anhang	75
A.1	Diagramme und Abbildungen zu 7.2	75
A.2	Diagramme und Abbildungen zu 7.3	79
A.3	Diagramme und Abbildungen zu 7.4	83
A.4	Farbskala für Erkennungsweiten Kapitel 7	87
A.5	Farbskala für Erkennungsweiten Kapitel 8	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Brandentwicklungsphasen (3). Rot: Betrachtete Phase der Brandentwicklung.....	12
Abbildung 2: Einheits-Temperatur-Kurve.....	22
Abbildung 3: Anzahl der benötigten Rauchmelder nach FSS Code (20)	27
Abbildung 4: Ansicht des Oberdecks.....	32
Abbildung 5: Außenansichten der schwimmenden Versammlungsstätte	33
Abbildung 6: Unterdeck der schwimmenden Versammlungsstätte	34
Abbildung 7: Position der Rauchmelder auf dem Unterdeck.....	34
Abbildung 8: Abluftöffnungen.....	35
Abbildung 9: Zuluftöffnung steuerbordseitig.....	35
Abbildung 10: Nutzungsart 1. Draufsicht und Innenansichten	38
Abbildung 11: Nutzungsart 2. Draufsicht und Innenansichten	39
Abbildung 12: Übersicht Bemessungsbrandszenarien 1 und 2.....	41
Abbildung 13: Übersicht Bemessungsbrandszenarien 3 und 4.....	42
Abbildung 14: Erkennungsweiten-Slices in der y-Ebene (links) und in der z-Ebene (Rechts).....	46
Abbildung 15: Position der Messstellen (rot).....	46
Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsraten	47
Abbildung 17: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y = 5,8$ m) Szenarium 1	48
Abbildung 18: Erkennungsweite Szenarium 1 Steuerbord	49
Abbildung 19: Erkennungsweite Szenarium 1 Backbord	50
Abbildung 20: Erkennungsweite Szenarium 1 Draufsicht	51
Abbildung 21: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 1	52
Abbildung 22: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 1	53
Abbildung 23: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 1.....	54
Abbildung 24: Temperatur Szenarium 1	55
Abbildung 25: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 1 Draufsicht	63
Abbildung 26: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 2 Draufsicht	64
Abbildung 27: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 3 Draufsicht	65
Abbildung 28: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 4 Draufsicht	66
Abbildung 29: Bewertung Kohlenmonoxid-Konzentration alle Szenarien.....	67
Abbildung 30: Bewertung Kohlenmonoxid-Konzentration alle Szenarien.....	68
Abbildung 31: Bewertung Sauerstoff-Konzentration alle Szenarien.....	69
Abbildung 32: Bewertung Temperatur alle Szenarien	70
Abbildung 33: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8$ m) Szenarium 2	75
Abbildung 34: Erkennungsweite Szenarium 2 Steuerbord	75

Abbildung 35: Erkennungsweite Szenarium 2 Backbord	76
Abbildung 36: Erkennungsweite Szenarium 2 Draufsicht	76
Abbildung 37: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 2	77
Abbildung 38: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 2	77
Abbildung 39: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 2	78
Abbildung 40: Temperatur Szenarium 2	78
Abbildung 41: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8$ m) Szenarium 3	79
Abbildung 42: Erkennungsweite Szenarium 3 Steuerbord	79
Abbildung 43: Erkennungsweite Szenarium 3 Backbord	80
Abbildung 44: Erkennungsweite Szenarium 3 Draufsicht	80
Abbildung 45: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 3	81
Abbildung 46: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 3	81
Abbildung 47: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 3	82
Abbildung 48: Temperatur Szenarium 3	82
Abbildung 49: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8$ m) Szenarium 4	83
Abbildung 50: Erkennungsweite Szenarium 1 Steuerbord	83
Abbildung 51: Erkennungsweite Szenarium 4 Backbord	84
Abbildung 52: Erkennungsweite Szenarium 4 Draufsicht	84
Abbildung 53: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 4	85
Abbildung 54: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 4	85
Abbildung 55: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 4	86
Abbildung 56: Temperatur Szenarium 4	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kapitelübersicht International Convention for the Safety of Life at Sea (7)	16
Tabelle 2: Kapitelübersicht Musterbauordnung	17
Tabelle 3: Kapitelübersicht Muster-Versammlungsstättenverordnung	18
Tabelle 4: Selbst erstellt Übersicht der Widerstandsklassen nach SOLAS II-2 Part A, Regulation 3	21
Tabelle 5: Grundlegende Annahmen zur schwimmenden Versammlungsstätte	36
Tabelle 6: Bemessungsbrandszenarien der beiden Nutzungsarten.....	41
Tabelle 7: Zusammenfassung der verwendeten Parameter für die Bemessungsbrände	45
Tabelle 8: Grenzwerte narkotisierender Gase	62
Tabelle 9: Ermittelte ASET, RSET und berechnete Sicherheitsspanne	71

Abkürzungsverzeichnis

ARGEBAU	Arbeitsgemeinschaft der für das Bauwesen zuständigen Minister
ASET	Available Safe Egress Time
FDS	Fire Dynamics Simulator
FSS Code	International Code for Fire Safety Systems
FTP Code	International Code for the Application of Fire Test Procedures
IMO	International Maritime Organization
MBO	Musterbauordnung
MVStättV	Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten
MVZ	Main Vertical Zone
RSET	Required Safe Egress Time
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea

1 Einleitung

Der vorbeugende Brandschutz ist ein äußerst dynamisches Themengebiet. Permanente Forschung, neue Erkenntnisse und Innovationen garantieren ein hohes Maß an Sicherheit. Brandschutz soll wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Umsetzung und Alltagstauglichkeit vereinen und dem Schutz von Leben und Gesundheit dienen. Hierzulande bildet das Bauordnungsrecht den gesetzlichen Rahmen für bauliche, mit dem Erdboden verbundene, Anlagen und wird durch eine Vielzahl von Normen, Regeln und technischen Vorschriften konkretisiert.

Zur Schaffung einzigartiger Veranstaltungsorte können Schiffe umgebaut werden. Während des Umbaus wird der Antrieb entfernt, der Innenraum entsprechend der angestrebten Nutzung verändert und das Objekt verankert. In Deutschland ist das *Theaterschiff Bremen* mit 288 Sitzplätzen (1) das größte seiner Art. Die Nutzung eines Schiffes als Veranstaltungsort, wie er eigentlich nur an Land bekannt ist, erfordert eine genaue brandschutztechnische Betrachtung.

Die genaue baurechtliche Einordnung und die Gewährleistung einer sicheren Nutzung stellen sich als schwierig dar, da es sich bei dem so entstandenen Objekt weder um eine mit dem Erdboden verbundenen bauliche Anlage noch um ein Schiff handelt.

Es ergibt sich die Überlegung, nach welchen Maßstäben und Vorgaben eine schwimmende Versammlungsstätte ausgelegt werden kann und inwieweit eine sichere Nutzung möglich ist. Auf landbaulicher Seite bieten sich, im Allgemeinen, die Musterbauordnung (MBO) und, im Speziellen, die Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (MVStättV) an. Im Bereich Schiffbau fällt die Wahl auf das *Internationale Übereinkommen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See* (engl.: *International Convention for the Safety of Life at Sea; SOLAS*). Dieses Übereinkommen ist weltweit anerkannt und umfasst eine umfangreiche und sich ständig weiterentwickelnde Sammlung von Regularien, die dem Thema Schiffssicherheit gewidmet sind.

Im Zuge dieser Bachelorarbeit soll eine schwimmende Versammlungsstätte modelliert und eine brandschutztechnische Betrachtung durchgeführt werden. Als Vorlage dient der Schiffskörper eines Europa Leichters Typ IIa. Leichter werden überwiegend in der Binnenschifffahrt verwendet und im Schubverband bewegt.

Es ist notwendig Erkenntnisse aus Brandsimulation und Evakuierung der Passagiere zu verknüpfen, um die Personensicherheit beurteilen zu können. Aus diesem Grund ergeben sich eine Kooperation mit Herrn Jonas Tittelbach und folgende Wechselbeziehungen der Arbeiten:

- Verwendung gemeinsamer Bewertungs-Parameter
- Gegenseitiger Austausch von Maßnahmen
- Gegenseitiger Austausch und Verwendung der festgestellten Simulationsergebnisse

Nach einer erläuternden Darstellung der angewendeten Methodik in Kapitel 2 werden die Grundlagen des Brandschutzes im Land- und Schiffbau in Kapitel 3 dargestellt.

Kapitel 4 bildet den theoretischen rechtlichen Teil der Arbeit und stellt die Anforderungen an den Brandschutz nach MBO, MVStättV und SOLAS dar. Die Unterkapitel schließen mit einer Darstellung der Prinzipien und Ziele ab.

Anhand der herausgearbeiteten Maßnahmen wird die schwimmende Versammlungsstätte modelliert (s. Kapitel 5) und Bemessungsbrandszenarien festgelegt (s. Kapitel 6).

Nach einer Darstellung der Simulationsergebnisse in Kapitel 7 erfolgt die Bewertung in Kapitel 8.

Am Ende soll geklärt sein, ob die getroffenen Maßnahmen eine sichere Nutzung ermöglichen.

2 Methodik

2.1 Brandrisikoanalyse

Zur Klärung der Fragestellung werden zunächst ausgesuchte Gesetze, Vorschriften, Normen und Empfehlungen aus Land- und Schiffbau gegenübergestellt. Unterschiede und Besonderheiten werden herausgearbeitet und begründet. Die schwimmende Versammlungsstätte wird, unter Anwendung der getroffenen Annahmen aus Land- und Schiffbau, modelliert. Für das so entstandene Modell werden Bemessungsbrandszenarien und Bemessungsbrände festgelegt und die resultierende Rauchausbreitung mit Hilfe von computergestützten Simulationsprogrammen berechnet und visualisiert.

2.2 Erstellung von Bemessungsbrandszenarien

Bei der Festlegung von Bemessungsbrandszenarien findet eine Quantifizierung und Beschreibung des Brandverlaufes statt. Dieser Vorgang lässt sich in mehrere Schritte unterteilen (2).

Ziel des Vorgehens ist es mindestens zwei Bemessungsbrandszenarien zu identifizieren, zu beschreiben, zu dokumentieren und zu analysieren. Zunächst müssen abhängig von Art und Nutzung des Objektes zwei grundlegende Informationen abgeleitet werden. Erstens, häufige Brandursachen und zweitens, Szenarien mit folgeschweren Auswirkungen (3). Für diesen Zweck können vorhandene und geeignete Brandstatistiken verwendet werden um häufig an der Entstehung von Bränden beteiligte Stoffe, Zündquellen und Orte zu identifizieren. Um diese beiden Szenarien ingenieurgemäß weiter zu konkretisieren werden mögliche Brandorte festgelegt. Abhängig vom zuvor definierten Schutzziel (s. unten) wird der Brandort mit den schlimmsten Folgen ausgewählt. Bei der Betrachtung sollen „worst-credible“ Szenarien entwickelt werden und nicht „worst-case“ Szenarien. Der Unterschied besteht darin, dass „worst-credible“ Szenarien mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auftreten können. „Worst-case“ Szenarien beschreiben den denkbar schlechtesten Fall, der zumeist eine verschwindend geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweist (4 S. 39). Im nächsten Schritt werden die technischen Systeme und andere, mögliche Einflüsse auf den Brandverlauf betrachtet. In Betracht kommen z. B. Türen, Tore und Fenster und die Frage, ob sie geöffnet oder geschlossen sind. Die Funktion der Anlagentechnik wird ebenfalls beurteilt. Es gilt zu unterscheiden, ob es zu einem Ausfall der Branddetektoren, der Entrauchung, der Sprinkler oder anderer technischer Anlagen kommt. Das Versagen von bestimmten Bauteilen und das Verhalten der anwesenden Personen können miteinbezogen werden. Die Darstellung dieser Vielzahl von denkbaren und unterschiedlichen Szenarien lässt sich am besten mit einem Ereignisbaum verwirklichen. Damit können die jeweiligen Auftrittswahrscheinlichkeiten und die daraus resultierenden Auswirkungen quantifiziert werden. Durch Multiplikation der Wahrscheinlichkeit und der Auswirkung ergibt sich am Ende jedes Astes ein relatives Risiko für das jeweilige Szenarium. Abschließend werden die relevanten und zu betrachtenden

Brandszenarien ausgewählt und dokumentiert. Diese dienen als Bemessungsbrandszenarien für die Simulation (2).

2.3 Festlegung von Bemessungsbränden

Eine reine Beschreibung der betrachteten Brandszenarien stellt nicht das Ende der Überlegungen dar. Die Festlegung eines Bemessungsbrandes spielt, in der späteren Simulation, eine entscheidende Rolle. Auf Grundlage der getroffenen Annahmen wird das gesamte Modell berechnet und die Auswirkungen des Brandes (Temperaturveränderungen, Strömungsgeschwindigkeiten, Rauchausbreitung, Konzentration toxischer Stoffe) dargestellt.

Zur Charakterisierung eines Bemessungsbrandes können folgende Punkte betrachtet werden (2) (3):

- Energiefreisetzung
- Brandausbreitungsgeschwindigkeit und –größe
- Menge toxischer Bestandteile
- Rauchproduktion
- Temperatur (max. Temperatur, Temperaturverlauf)
- Bestimmte zeitabhängige Parameter (u. a. Zeit bis zum Flashover, Entstehungsbrandphase)
- Wärmefreisetzungsrate

Die Wärmefreisetzungsrate (engl.: Heat Release Rate) wird oft als wichtigste Kenngröße herangezogen (3).

Brände lassen sich in mehrere Brandphasen einteilen. Unter dem Aspekt Personenschutz ist die Phase der Brandausbreitung als besonders bedeutsam hervorzuheben (3).

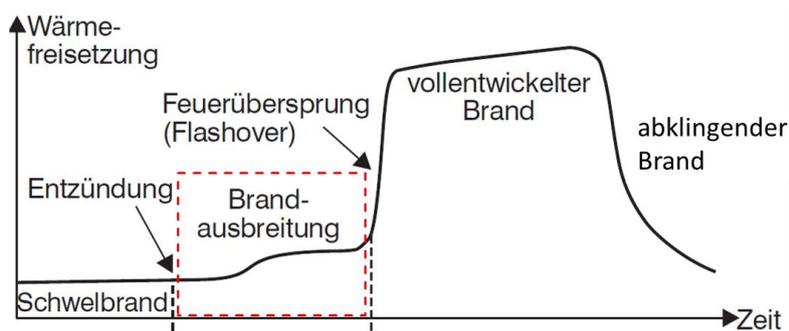


Abbildung 1: Brandentwicklungsphasen (3). Rot: Betrachtete Phase der Brandentwicklung

Die Festlegung des gewünschten Verlaufes der Wärmefreisetzung während dieser Phase kann auf mehrere Arten geschehen. Unterschieden wird zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Bränden. Bei zeitunabhängigen Bränden wird eine sehr konservative, maximale Wärmefreisetzungsrate

zu Grunde gelegt. Sie gilt über den gesamten Zeitraum der Berechnungen und führt zu einer Überschätzung der Auswirkungen des Brandes (3). Um eine dem Naturbrand nachempfundene, wachsende Wärmefreisetzungsrates darzustellen wurden reale Schadfeuer ausgewertet und wissenschaftlich untersucht. Daraus lässt sich die Wärmefreisetzungsrates von zeitabhängigen Bränden mathematisch beschreiben (3 S. 14):

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad (2-1)$$

mit: Q	Wärmefreisetzungsrates	[kW]
α	Parameter des Zunahme-Mechanismus der Wärmefreisetzung	[kW · s ⁻²]
t	Branddauer ohne Berücksichtigung der Schwelbrandphase	[s]

Der Parameter α beschreibt die Geschwindigkeit der Zunahme der Wärmefreisetzungsrates und ist in die vier Stufen langsam, mittel, schnell und sehr schnell unterteilt. In der einschlägigen Literatur finden sich umfangreiche Angaben zu Brandentwicklungsgeschwindigkeiten verschiedener Stoffe.

2.4 Brandsimulationsmodelle

Die Verwendung von Brandsimulationsmodellen zur Darstellung von Temperatur- und Wärmeausbreitungen hat mittlerweile einen hohen Stellenwert eingenommen. Mithilfe solcher Modelle lassen sich beispielsweise das Verhalten von Bauteilen und die Ausbreitung von Rauch beschreiben. Die Details einer Simulation basieren auf der Annahme von chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Aus der Vielzahl von Anwendungsgebieten ergeben sich unterschiedliche Arten von Modellen, die für die Lösung verschiedenster Probleme geeignet sind. Grundsätzlich stellt jedes Modell eine physikalisch mathematische Nachbildung des Originals dar, was stets mit Vernachlässigungen und Vereinfachungen einhergeht. Verfolgtes Ziel aller Modelle ist die Gewinnung von Informationen im Hinblick auf bestimmte Eigenschaften und Wechselwirkungen innerhalb des zu betrachtenden Systems (4).

Modelle lassen sich zunächst in zwei Arten unterscheiden. Auf der einen Seite stehen physikalische Modelle die den realen Nachbau eines Systems in einem bestimmten Maßstab darstellen. Andererseits finden sich mathematische Modelle, welche in probabilistische und deterministische Modelle unterteilt werden. Probabilistische Modelle simulieren bestimmte Ereignisse ausgehend von der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit. Unter einem deterministischen Modell versteht man die Berechnung der zeitlichen Entwicklung eines Systems auf Grundlage von festgelegten Anfangsbedingungen. Bei dem hier zu Grunde gelegten Brandsimulationsmodell handelt es sich um ein mathematisch deterministisches

Modell, ein sogenanntes Feldmodell (engl.: Computational Fluid Dynamics; CFD). Weitere Vertreter dieser Gruppe, auf die nicht weiter eingegangen wird, sind empirisch belegte Ansätze und Zonenmodelle (4).

Feldmodelle können Rauch- und Wärmeausbreitung angemessen genau beschreiben, da das gesamte System in ein dreidimensionales Rechengitter unterteilt wird. Dieses enthält eine endliche Anzahl an Zellen oder Kontrollvolumina. Für das System werden Massen-, Energie- und Impulserhaltungsgleichungen gelöst um eine zeitliche und räumliche Veränderung von Temperatur, Druck und Strömungsgeschwindigkeiten zu beschreiben. Zu diesem Zweck wird jede Gleichung über den endlichen Volumenbereich jeder Zelle und ein endliches Zeitintervall integriert. Für die besonders wichtige Simulation von Rauchgasbestandteilen¹ wird die Gesamtdichte in die Teildichten der jeweiligen Bestandteile zerlegt und das System um Gleichungen erweitert welche den Einfluss von Auftrieb, Diffusion und Konvektion auf die Gaskomponenten beschreiben (4).

Das in dieser Arbeit verwendete Brandsimulationsprogramm ist der vom *National Institute of Standards and Technology (NIST)* entwickelte *Fire Dynamics Simulator (FDS)*. Mit *SmokeView* werden die Ergebnisse visualisiert. Für die Konstruktion der Geometrie wurde die grafische Benutzeroberfläche *PyroSim* verwendet.

¹ CO, CO₂, O₂ und sichtrübende Bestandteile

3 Brandschutz im Land- und Schiffbau

3.1 International Maritime Organization

Konsens über die Antwort auf die Frage, wie eine Verbesserung der Sicherheit im maritimen Bereich erreicht werden könne herrschte schon immer: Mit internationalen Regeln, welche von allen Schiffsnationen anerkannt und befolgt werden. Realisierbar war dieser Schritt erst mit der Schaffung der Vereinten Nationen (engl.: United Nations; UN), einer permanenten und internationalen Einrichtung.

Im Jahr 1948 fasste die UN den Beschluss zur Gründung der International Maritime Organization (IMO). Die erste zu lösende Aufgabe war die Verabschiedung einer neuen Version des *Internationalen Übereinkommens zum Schutz des menschlichen Lebens auf See* (engl.: *International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS*). Dieses Übereinkommen stellt das wichtigste Dokument in Bezug auf maritime Sicherheit dar.

Neben der Hauptaufgabe der IMO gewann das Thema Umweltverschmutzung an Bedeutung. In den Folgejahren stellte die IMO Maßnahmen zur Risikominderung von Tankern vor.

Weitere Meilensteine umfassten die Implementierung eines automatischen Notrufsystems auf Schiffen¹ und die Erhöhung der Sicherheit für Seefahrer² (5).

Das Selbstverständnis der IMO zeigt sich deutlich in folgender Aussage über den sechs Jahres Plan:

„The mission of the International Maritime Organization (IMO) as a United Nations specialized agency is to promote safe, secure, environmentally sound, efficient and sustainable shipping through cooperation. This will be accomplished by adopting the highest practicable standards of maritime safety and security, efficiency of navigation and prevention and control of pollution from ships, as well as through consideration of the related legal matters and effective implementation of IMO's instruments with a view to their universal and uniform application (6).“

3.1.1 *International Convention for the Safety of Life at Sea*

SOLAS zählt zu den wichtigsten Staatsverträgen in Bezug auf Schiffssicherheit. Der Ursprung dieses Übereinkommens liegt im Jahr 1914. Als auslösendes Ereignis gilt das Sinken der RMS Titanic im Jahr 1912.

Das Hauptanliegen besteht darin, Mindestanforderungen an die Konstruktion, die Ausstattung und den Betrieb von Schiffen zu stellen. Für die Einhaltung dieser Anforderungen sind die jeweiligen Flaggenstaaten³ verantwortlich. SOLAS schafft zudem die Möglichkeit der Kontrolle eines Schiffes durch

¹ Global Maritime Distress System

² International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers

³ Der Staat, in dessen Schiffsregister das Schiff geführt wird

Prüfer eines anderen Staates¹, falls Verdacht besteht, dass die Anforderungen nicht eingehalten werden (7). Untenstehende Tabelle zeigt eine Übersicht der, in SOLAS enthaltenen, Kapitel und den thematischen Schwerpunkten.

Tabelle 1: Kapitelübersicht International Convention for the Safety of Life at Sea (7)

Kapitel	Bezeichnung
Chapter I	General provisions
Chapter II-1	Construction - Structure, subdivision and stability, machinery and electrical installations
Chapter II-2	Construction - Fire protection, fire detection and fire extinction
Chapter III	Life-saving appliances and arrangements
Chapter IV	Radiocommunications
Chapter V	Safety of navigation
Chapter VI	Carriage of cargoes and oil fuels
Chapter VII	Carriage of dangerous goods
Chapter VIII	Nuclear ships
Chapter IX	Management for the safe operation of ships
Chapter X	Safety measures for high-speed craft
Chapter XI-1	Special measures to enhance maritime safety
Chapter XI-2	Special measures to enhance maritime security
Chapter XII	Additional safety measures for bulk carriers

3.1.2 Weitere Dokumente der IMO

Neben SOLAS werden weitere Dokumente von der IMO erstellt und veröffentlicht. Codes haben dabei einen empfehlenden oder bindenden Charakter. Der *International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)* und der *International Code for the Application of Fire Test Procedures (FTP Code)* enthalten wichtige brandschutztechnische Regeln und Empfehlungen.

Resolutions und Circulars werden veröffentlicht um einzelne Konventionen zu erläutern oder um spezielle Fragestellungen der Fachausschüsse zu thematisieren.

¹ Dieses Vorgehen wird als port State control (Hafenstaatkontrolle) bezeichnet

3.2 Bauministerkonferenz (ARGEBAU)

Das Hauptaufgabengebiet der Bauministerkonferenz betrifft eine nachhaltige Stadtentwicklung.

„Die Bauministerkonferenz ist die Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der 16 Länder der Bundesrepublik Deutschland (8)“

Die in den Fachausschüssen der Bauministerkonferenz gefassten Beschlüsse haben alle eine länderübergreifende Bedeutung. Sie dienen dazu, Länderinteressen gegenüber dem Bund zu formulieren und prägen die Landesbauordnungen (9).

3.2.1 Musterbauordnung

Die in der Bauministerkonferenz abgestimmte Musterbauordnung (MBO) dient den einzelnen Bundesländern, als Grundlage für die jeweiligen Landesbauordnungen. Die MBO ist kein Gesetz, sondern dient der Wahrung der Einheitlichkeit des Bauordnungsrechts. Bedingt durch technische Entwicklungen wird die Musterbauordnung in regelmäßigen Abständen erweitert und an die veränderten Gegebenheiten angepasst. Der Geltungsbereich umfasst bauliche Anlagen, Bauprodukte, Details der Bauausführung, Verantwortlichkeiten, Bauaufsicht und Maßnahmen bei Verstößen (10 S. 7 f).

Die aktuellste und herangezogene Fassung der Musterbauordnung ist die Fassung November 2002. Zuletzt wurde sie durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2010 geändert.

Tabelle 2: Kapitelübersicht Musterbauordnung

Teil	Bezeichnung
Erster Teil	Allgemeine Vorschriften
Zweiter Teil	Das Grundstück und seine Bebauung
Dritter Teil	Bauliche Anlagen
Vierter Teil	Die am Bau Beteiligten
Fünfter Teil	Bauaufsichtsbehörden, Verfahren
Sechster Teil	Ordnungswidrigkeiten, Rechtsvorschriften, Übergangs- und Schlussvorschriften

3.2.2 Muster-Versamlungsstättenverordnung

Die MVStättV befasst sich ausschließlich mit Versamlungsstätten (11), da diese nach § 2 Abs. 4 MBO zu den sogenannten Sonderbauten zählen. Begründet wird diese Einordnung durch Art oder Nutzung der Anlage. An solche Objekte werden nach § 51 MBO besondere Anforderungen gestellt, um die Generalklausel der MBO zu erfüllen.

Die aktuellste und herangezogene Fassung der MVStättV ist die Fassung Juni 2005. Diese wurde zuletzt durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht im Februar 2010 geändert.

Tabelle 3: Kapitelübersicht Muster-Versamlungsstättenverordnung

Teil	Bezeichnung
Teil 1	Allgemeine Vorschriften
Teil 2	Allgemeine Bauvorschriften
Teil 3	Besondere Bauvorschriften
Teil 4	Betriebsvorschriften
Teil 5	Zusätzliche Bauvorlagen
Teil 6	Bestehende Versamlungsstätten
Teil 7	Schlussvorschriften

4 Gegenüberstellung der brandschutztechnischen Anforderungen im Land- und Schiffbau

In diesem Kapitel werden die sicherheitsrelevanten, brandschutztechnischen Maßnahmen im Land- und Schiffbau dargestellt und verglichen. Wegen der naturgemäßen Unterschiede eines Schiffes und einer landbaulichen Anlage legen die geltenden Verordnungen ihren Fokus auf ihr jeweiliges Anwendungsgebiet und dessen Besonderheiten. Zweck dieses Kapitels ist es die Prinzipien und Ziele der Verordnungen, Regeln und Empfehlungen aus Land- und Schiffbau herauszuarbeiten. Dargestellt werden Anforderungen im Hinblick auf den baulichen und anlagentechnischen Brandschutz. Es werden nur Aspekte genannt die relevant für die formulierten Ziele sind.

Die Kapitel sind in mehrere Abschnitte unterteilt, beginnend mit den Regelungen aus SOLAS (12), den Anforderungen aus der MBO (11) und der MVStättV (13). Abschließend werden die Anforderungen aus Land- und Schiffbau verglichen und deren grundlegende Prinzipien herausgearbeitet. Zur Schaffung einer besseren Übersicht werden Schlüsselbegriffe der einzelnen Absätze in **Fettschrift** hervorgehoben.

4.1 Schutzziele und allgemeine Anforderungen

SOLAS (Part A, Regulation 2) nennt insgesamt fünf Schutzziele die durch die Einhaltung der Regularien erreicht werden sollen:

- Verhindern von Brandentstehung und Explosionen
- Mindern des Risikos für Leib und Leben
- Mindern des Risikos für Beschädigungen des Schiffes, der Ladung und der Umwelt
- Eingrenzen, kontrollieren und niederhalten des Brandes im Entstehungsraum
- Bereitstellen von angemessenen und leicht zugänglichen Rettungswegen

Bereits in dieser Regulation werden allgemeine Funktionsanforderungen genannt, um die Schutzziele zu erreichen:

- Unterteilen des Schiffes in vertikale und horizontale Abschnitte durch thermische und strukturelle Begrenzungen
- Trennen von öffentlich genutzten Räumen und dem restlichen Schiff
- Einschränken der Nutzung von brennbaren Materialien
- Detektieren jedes Feuers in Entstehungsraum
- Begrenzen und Löschen des Brandes im Entstehungsraum
- Schutz der Flucht- und Rettungsmittel und Zugang für Brandbekämpfung
- Leichte Zugänglichkeit von Löschmitteln

Die Definition der Schutzziele erstreckt sich in der **MBO** auf insgesamt drei Paragraphen (§§ 3, 14, 51).

Die Allgemeinen Anforderungen § 3 MBO an Anlagen besagen, dass

„die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürliche Lebensgrundlage, nicht gefährdet werden [dürfen] (Anm. d. A.) (11).“

§ 14 erweitert diese Anforderungen dann noch um die speziellen Anforderungen, die im Brandfall an bauliche Anlagen gestellt werden. So muss der Brandentstehung und Ausbreitung vorgebeugt werden, die Rettung von Mensch und Tier und die Durchführung wirksamer Löscharbeiten möglich sein. Handelt es sich bei der baulichen Anlage um einen Sonderbau¹, so werden zur Verwirklichung dieser Ziele besonderen Anforderungen gestellt. Die MBO ermöglicht mit § 51 die Anwendung von speziellen Verordnungen, um den Besonderheiten der jeweiligen Sonderbauten gerecht zu werden.

In der **MVStättV** findet sich kein eigener Paragraph zum Thema Schutzziele. Die genannten Ziele der MBO sind auf alle baulichen Anlagen und Sonderbauten anzuwenden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sowohl SOLAS als auch MBO konkrete Schutzziele formulieren die inhaltlich große Ähnlichkeiten aufweisen. Die Vermeidung und Begrenzung von Bränden und der Schutz von Personen bilden den elementaren Bestandteil des maritimen und landbaulichen Brandschutzes. SOLAS ergänzt seine Ziele noch um den Schutz des Schiffskörpers und der Schiffsladung. Zudem ist hervorzuheben, dass der Risikofaktor Explosion explizit genannt wird, da SOLAS ebenfalls bei Frachtschiffen und Tankern Anwendung findet. Bei diesen Schiffstypen stellen die geladenen Güter große Sachwerte aber auch große Gefahren dar.

4.2 Baulicher Brandschutz

Sollte die MVStättV keine abweichenden Kriterien in Bezug auf tragende und raumabschließende Bauteile nennen so ist vorgesehen, dass die nach MBO gestellten Anforderungen an *Gebäudeklasse 5* anzuwenden sind (§ 1 Abs. 4 MVStättV). Aus diesem Grund wird auf eine Darstellung der übrigen Gebäudeklassen verzichtet.

4.2.1 Anforderungen an Bauteile und Materialien

Als Hauptbestandteile des Inneren von Schiffen und baulichen Anlagen werden an Bauteile und Baustoffe brandschutztechnische Forderungen gestellt. In diesem Kapitel wird auf tragende Bauteile, Türen und Tore, Decken, Dächer, Treppenträume und Baustoffe eingegangen.

¹ z. B. Krankenhäuser, Beherbergungsstätten, Schulen etc.

SOLAS (Part A, Reg. 3) stuft trennende Bauteile in drei unterschiedliche Klassen ein. Anforderungen an deren Widerstandskraft werden in Tabelle 4 zusammengefasst. Je nachdem, wie lange die Kriterien *maximaler Temperaturanstieg* und *Höchsttemperatur* erfüllt werden müssen, wird die Typ-Bezeichnung um eine Zeit in Minuten ergänzt: *A-0, A-15, A-30; B-0, B-15*. Wegen fehlender Anforderungen bezüglich dieser Kriterien entfällt eine Erweiterung bei Typ *C*. Die zeitliche Angabe zur Verhinderung des Rauch- und Feuerdurchganges beziehen sich auf einen nach *FTP Code* festgelegten Standardbrandversuch.

Verbindungstüren und andere Öffnungen in Wänden der Klasse *A* und *B* müssen den gleichen Feuerwiderstand wie die Trennwände selbst aufweisen und selbstschließend sein. Weiterführende Anforderungen und Testprozesse sind ebenfalls im *FTP Code* dargestellt.

Tabelle 4: Selbst erstellt Übersicht der Widerstandsklassen nach SOLAS II-2 Part A, Regulation 3

Widerstands- klasse	Baustoff	Geeignete Aussteifung erforderlich	Wärmedurchgang			Verhinderung des Durchgangs von		SOLAS Chapter II-2 Part A, Regulation 3
			Isolation	max. Temperatur- anstieg (Durchschnitt)	Höchst- temperatur (Punktuell)	Rauch	Feuer	
A	Stahl oder gleichwertiges Material	X	Isoliert mit zugelassenen nichtbrennbaren Baustoffen	Δ 140 °C	Δ 180 °C	X (60 min)	X (60 min)	.2
B	Zugelassene nicht- brennbare Baustoffe	-	-	Δ 140 °C	Δ 225 °C	-	X (30 min)	.4
C	Zugelassene nicht- brennbare Baustoffe	-	-	-	-	-	-	.10

Lacke, Farben und andere Mittel zur Oberflächenbehandlung in Innenräumen dürfen keine exzessiven Mengen an Rauch und anderen toxischen Stoffe freisetzen. In Aufenthalts- und Betriebsräumen dürfen nur Bodenbeläge verwendet werden welche das Risiko für Brände, Explosionen oder Freisetzung toxischer Stoffe nicht erhöhen (Part B, Reg. 6).

Die **Bauordnungen** verwenden zur Einteilung und Abstufung folgende deutsche bauaufsichtliche Benennungen:

1. Feuerhemmend entspricht einem Funktionserhalt von 30 min
2. Hochfeuerhemmend entspricht einem Funktionserhalt von 60 min
3. Feuerbeständig entspricht einem Funktionserhalt von 90 min

Im Vordergrund steht der Erhalt der jeweiligen Funktion. Soll ein Bauteil die Funktion Raumabschluss erfüllen, so muss der Durchgang von Feuer verhindert werden. Zulässig ist ein maximaler Temperaturanstieg von 180 °C bzw. 140 °C im Mittel. Geprüft wird nach der *Einheits-Temperaturkurve*

(ETK) (14 S. 13). Die zu prüfenden Bauteile werden einem bestimmten, zeitlichen Temperaturverlauf ausgesetzt und die zu erfüllenden Anforderungen nach der entsprechenden Zeit überprüft. Der Temperaturverlauf ist durch folgende Formel definiert (15):

$$\Delta\theta(t) = \theta(t) - \theta_{t=0} = 345 \cdot \log(8t + 1) \quad (4-1)$$

mit:	$\Delta\theta(t)$	Temperaturanstieg	[°C]
	$\theta(t)$	Temperatur	[°C]
	$\theta_{t=0}$	Temperatur zum Zeitpunkt t=0	[s]
	t	Zeit	[m]

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der ETK.

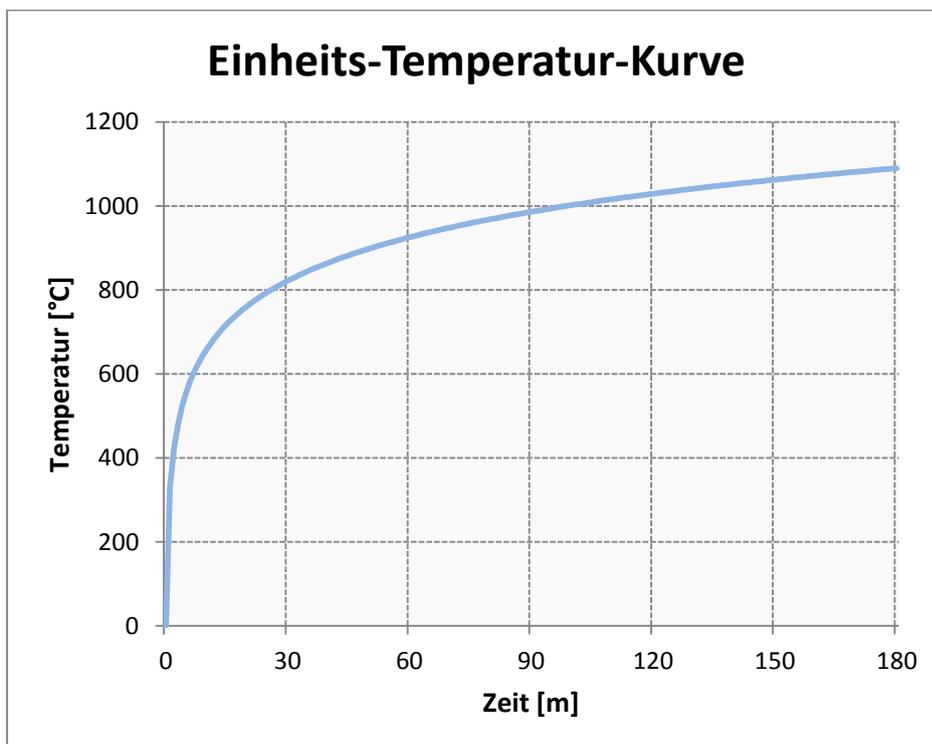


Abbildung 2: Einheits-Temperatur-Kurve

Tragende Bauteile dürfen unter ihrer rechnerischen Gebrauchslast während der Feuerbeaufschlagung nicht versagen (16).

Bei den Eigenschaften von **tragenden Wänden und Stützen** unterscheidet die **MBO** nach Gebäudeklassen. Bauteile der *Gebäudeklasse 5* müssen feuerbeständig sein (§ 27).

Falls sich die Notwendigkeit von **Trennwänden** ergibt, so müssen diese die gleiche Feuerwiderstandskraft wie die tragenden Bauteile dieses Geschosses besitzen¹. Soll ein Raum mit erhöhtem Brand- und Explosionsrisiko abgetrennt werden so müssen dessen Trennwände feuerbeständig sein. Die Verwendung von **Öffnungen** ist nur zulässig, wenn sie auf die für die Nutzung erforderliche Zahl und Größe beschränkt sind. Sie müssen feuerhemmende, dicht- und selbstschließende Abschlüsse besitzen (§ 29).

Für **Brandwände** gelten erhöhte Ansprüche (§ 30). Sie müssen feuerbeständig sein und nach Feuerbeaufschlagung zusätzliche Anforderungen an die Standfestigkeit bei mechanischer Stoßbelastung vorweisen (17). Brandwände tragen einen wesentlichen Teil zur Erfüllung der Schutzziele bei (s. Kapitel 4.2.2)

Decken der *Gebäudeklasse 5* müssen feuerbeständig sein. Da es sich bei Decken um nach oben raumabschließende Bauteile handelt sind Öffnungen nicht zulässig (§ 31).

Dächer sollen so ausgelegt sein, dass sie gegen Flugfeuer und strahlende Wärme von außen ausreichend lange widerstandsfähig sind. Die MBO spricht hierbei von einer „harten Bedachung“ (§ 32). DIN 18234 sieht ein weitestgehend neutrales Verhalten bei Brandeinwirkung vor und erläutert Einzelheiten zu dieser Forderung (18), (14 S. 16).

Die MBO fordert, dass jedes Geschoss über mindestens eine Treppe zugänglich ist. Es handelt sich um sogenannte **notwendige Treppen**. Tragende Teile notwendiger Treppen sind feuerhemmend auszubilden. Für verwendete Baustoffe gilt das Kriterium nichtbrennbar (§ 34).

Eine besondere Bedeutung kommt den **notwendigen Treppenräumen** zu. Die MBO sieht hierzu vor, dass diese im Brandfall ausreichend lange nutzbar sind. Deswegen darf von den ihnen selbst keine Brandgefahr ausgehen und weder Feuer noch Rauch eindringen. Sollte doch Rauch eindringen, so muss dieser abgeleitet werden können (14 S. 30). Die raumabschließende Funktion der Wände von notwendigen Treppenräumen wird in Gebäuden der Klasse 5 sichergestellt, indem sie der Bauart von Brandwänden entsprechen. Öffnungen zu Kellergeschossen oder Nutzungseinheiten über 200 m² müssen feuerhemmende, rauchdichte und selbstschließende Abschlüsse besitzen (§ 35).

Die MBO unterscheidet **Baustoffe** grundsätzlich in nichtbrennbar, schwerentflammbar und normalentflammbar. Die Verwendung von nicht mindestens normalentflammbaren Baustoffen ist generell untersagt (§ 26).

¹ Mindestens feuerhemmend

Die **MVStättV** erweitert die Anforderungen der MBO um die folgenden Punkte: **Tragende Wände, Pfeiler, Stützen und Decken**, müssen generell feuerbeständig sein. Eine Erleichterung dieser Anforderung wird in erdgeschossigen Versammlungsstätten gewährt. Hier müssen Trennwände feuerhemmend sein. Tragende Bauteile erdgeschossiger Versammlungsstätten mit automatischer Feuerlöschanlage müssen keine Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen.

Der **Fußboden von Szeneflächen** muss fugendicht sein. Es soll gewährleistet werden, dass sich kein Staub oder andere leicht entzündbare Materialien unterhalb des Bodens sammeln (19).

Sollen **Räume mit erhöhter Brandlast¹** abgetrennt werden, so müssen sie über feuerbeständige Trennwände und Decken verfügen (§ 3).

Bei **Dächern** ist zu beachten, dass deren Tragwerke feuerhemmend sein müssen. Für Versammlungsstätten mit automatischen Feuerlöschanlagen gilt dies nicht.

Die Bedachung muss aus nichtbrennbaren Baustoffen hergestellt werden. Dies gilt nicht für Versammlungsstätten mit weniger als 1000 m² Grundfläche.

Soll eine lichtdurchlässige Bedachung errichtet werden muss diese aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Ist eine automatische Feuerlöschanlage vorhanden genügen schwerentflammbare Baustoffe die nicht brennend abtropfen (§ 4).

Notwendige Treppen müssen feuerbeständig sein. Wenn diese sich in notwendigen Treppenräumen oder im Außenbereich befinden genügen nichtbrennbare Baustoffe (§ 8).

Türen und Tore in raumabschließenden Innenwänden die feuerbeständig sein müssen, sowie in inneren Brandwänden, müssen mindestens feuerhemmend, rauchdicht und selbstschließend sein. Türen und Tore in feuerhemmenden, raumabschließenden Innenwänden müssen mindestens rauchdicht und selbstschließend sein.

Selbstschließende Türen dürfen offengehalten werden, wenn sie Einrichtungen besitzen, die bei Raucheinwirkung ein selbsttätiges Schließen bewirken und ebenfalls von Hand geschlossen werden können (§ 9).

Verwendete **Dämmstoffe, Unterdecken und Bekleidungen an Decken** müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. **Wandbekleidungen** müssen mindestens schwerentflammbar sein. Zwischen

¹ z. B. Werkstätten, Magazine und Lagerräume

notwendigen Treppenräumen, in Treppenräumen, Ausgängen ins Freie und notwendigen Fluren müssen sie aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (§ 5).

Die dargestellten Anforderungen lassen sich unter den Schlagwörtern Standsicherheit und zulässiges Brandverhalten **zusammenfassen**. Bauteile müssen der Einwirkung von Bränden ausreichend lange standhalten. Je nach Bauart bezieht sich diese Anforderung auf den Erhalt der jeweils auszufüllenden Funktion. Tragende Bauteile dürfen unter ihrer Nutzlast nicht versagen, raumabschließende Bauteile müssen den Durchgang von Feuer und Rauch verhindern.

Eine Regulierung der Verwendung von Baustoffen findet sich sowohl im Land- als auch im Schiffbau. Dadurch wird sichergestellt, dass die Brandlast des Roh- und Innenausbaus so gering wie möglich gehalten wird. Um der erhöhten Anzahl an Personen Rechnung zu tragen finden sich in der MVStättV vielerlei Einschränkungen von bestimmten Materialien und die Verschärfung von Bauteilanforderungen.

4.2.2 Brandabschnittsbildung

Zur Eingrenzung und Verhinderung einer Ausbreitung von Bränden werden Schiffe und Gebäude in Brandabschnitte unterteilt.

Nach **SOLAS** ist eine Einteilung in vertikale Hauptbrandabschnitte (engl.: Main Vertical Zones; MVZ) vorzunehmen. Die Länge zwischen diesen Abschnitten soll 40 m nicht überschreiten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Feuerwiderstandskraft sind Unterteilungen mit Bauteilen des Typs A-60 (s. Kapitel 4.2.1 und Tabelle 4) anzufertigen (12) (Part C, Reg. 9). Auf Schiffen mit mehreren Decks kann die Länge der Hauptbrandabschnitte auf höchstens 48 m erweitert werden. Dadurch kann gewährleistet werden, dass sie in einer Ebene mit den wasserdichten Querschotten liegen. Diese Erweiterung ist ebenfalls für die Schaffung großer öffentlicher Räume, bis maximal 1600 m², zulässig (12) (Part C, Reg. 9).

Die **MBO** sieht ebenfalls eine Bildung von Brandabschnitten alle 40 m vor. Eine Unterteilung wird durch innere Brandwände (s. Kapitel 4.2.1) realisiert. Die Verwendung von Öffnungen in Brandwände ist nur zulässig, wenn sie auf die für die Nutzung erforderliche Zahl und Größe beschränkt sind. Sie müssen feuerbeständige, dicht- und selbstschließende Abschlüsse besitzen (§ 30).

Die **MVStättV** sieht für die Bildung von Brandabschnitten lediglich eine Trennung von Bühnenräumen und Zuschauerräumen mittels Schutzvorhängen und Brandwänden vor. Generell sind die Vorgaben der MBO anzuwenden. Es muss erwähnt werden, dass eine Brandabschnittsbildung alle 40 m dem Nutzungszweck der meisten Versammlungsstätten im Wege stehen würde. Eine Erweiterung kann nach § 67 MBO durch die Bauaufsichtsbehörde genehmigt werden, solange die Abweichungen mit den Anforderungen an die Schutzziele nach § 3 Abs. 1 MBO vereinbar sind.

Bei einem **Vergleich** der geforderten Maßnahmen wird sofort deutlich, dass sowohl auf Schiffen als auch in Gebäuden eine Unterteilung des Objektes vorgesehen ist. Die maximal zulässige Länge eines Brandabschnittes beträgt genau 40 m. Die für die Nutzung notwendigen Öffnungen weisen starke Ähnlichkeiten zueinander auf. Abschlüsse solcher Öffnungen müssen für eine Erhaltung der Feuerwiderstandskraft der gesamten Struktur ausgelegt sein und sich selbst schließen können. Mögliche Erweiterungen auf 48 m sind im Schiffbau auf zwei Aspekte zurückzuführen. Zum einen dient es der Sicherstellung des Flutungsschutzes und ist deshalb für den Landbau nicht relevant. Zum anderen gestattet SOLAS damit die Möglichkeit eines großen Versammlungsraumes. In der MVStättV werden keine ergänzenden Angaben zur Brandabschnittsbildung gemacht.

Deutlich ist, dass das **Abschottungsprinzip** sowohl im Land- als auch im Schiffbau zum Tragen kommt. Die Verhinderung einer Brandausbreitung, als ausgesprochenes Schutzziel, wird hierbei mit konkreten Vorgaben verwirklicht. Geeignete Wände verhindern eine Rauch- und Brandausbreitung und verzögern sie (14 S. 26, 28). Mit dieser gewonnenen Zeit lassen sich andere Ziele, wie Menschenrettung und wirksame Löscharbeiten besser erfüllen.

4.3 Anlagentechnischer Brandschutz

4.3.1 Branderkennung und Alarmierung

Um eine nach **SOLAS** (Part C, Reg. 7) wirkungsvolle **Branddetektion** zu gewährleisten müssen Brandmelder und Alarmierungseinrichtungen für den jeweiligen Anwendungsbereich, dessen Größe und dem Schadenpotential angemessen sein. Ergänzend zu automatischen Brandmeldern sollen manuell bedienbare Meldeeinrichtungen leicht erreichbar angebracht sein. Zusätzlich zu diesen technischen Maßnahmen werden patrouillierende Brandwachen eingesetzt. Die **Alarmierung** soll visuell und akustisch erfolgen und muss klar zu anderen Signalen abzugrenzen sein.

SOLAS unterscheidet im weiteren Verlauf zwischen Schiffen die mehr bzw. weniger als 36 Passagiere fassen. Aufgrund der Maße des später verwendeten Modellschiffes und der angenommenen Besucheranzahl wird auf die Regularien eingegangen, welche mehr als 36 Passagiere betrachten.

Einrichtungen zur Branddetektion und -meldung sollen in Aufenthaltsräumen, Fluren, Treppenräumen und Fluchtwegen angebracht werden. Private Badezimmer und Kombüsen sind hiervon ausgenommen. Des Weiteren werden Anforderungen für Bereiche mit keinem bzw. geringem Brandrisiko¹ dahingehend erleichtert, dass keine Brandmelder vorhanden sein müssen. Ein Maßstab für die Anzahl und Positionierung von Rauchmeldern ist im FSS Code zu finden und in Abbildung 3 dargestellt.

¹ Leerräume, öffentliche Toiletten, CO₂ Räume u. ä.

Type of detector	Maximum floor area per detector (m ²)	Maximum distance apart between centres (m)	Maximum distance away from bulkheads (m)
Heat	37	9	4.5
Smoke	74	11	5.5

Abbildung 3: Anzahl der benötigten Rauchmelder nach FSS Code (20)

Innerhalb von Treppenhäusern müssen Rauchmelder mindestens an der höchsten Stelle und alle zwei Etagen angebracht sein.

Die **MBO** stellt keine Anforderungen bezüglich Branderkennung und Alarmierung.

Die in der **MVStättV** beschriebenen Anforderungen beziehen sich auf Versammlungsstätten mit einer Grundfläche von mehr als 1000 m². Für einen besseren Vergleich der Prinzipien werden die Anforderungen an Versammlungsstätten über 1000 m² dargestellt.

Versammlungsstätten dieser Art sind mit automatischen und nichtautomatischen **Brandmeldern** auszustatten. Die Auslösung muss von der Brandmeldezentrale unmittelbar und automatisch an die Feuerwehrleitstelle gemeldet werden. Eine Zusammenfassung von zentralen Bedienungsvorrichtungen ist in einem leicht zugänglichen Raum¹ einzurichten. Die **Alarmierung** von Besuchern, Mitwirkenden und Betriebsangehörigen erfolgt durch Lautsprecheranlagen, über die ebenfalls Anweisungen erteilt werden können (§ 20).

Für alle anderen Versammlungsstätten ist eine Brandmeldeanlage lediglich für Großbühnen und Räume mit erhöhter Brandlast vorgesehen. Nach Abstimmung mit der Feuerwehr kann die automatische Brandmeldeanlage für die Dauer der Veranstaltung abgeschaltet werden (§ 36)

Das **Prinzip** im Land- und Schiffbau ist eindeutig: Je früher ein Brand erkannt wird, umso effektiver sind die Maßnahmen zur Brandbekämpfung und die Rettung von Menschen. Aus diesem Grund sind automatische und manuelle Brandmeldeanlagen vorgesehen. Die Sonderstellung von Versammlungsstätten mit einer Grundfläche über 1000 m² ist darauf zurückzuführen, dass bei einer solchen Ausdehnung die Möglichkeit besteht, dass ein Brand nicht oder zu spät durch Besucher oder Personal erkannt wird. Mit der Grundfläche verbundene hohe Besucherzahlen und eine zu späte Branddetektion würden einer Erreichung der Schutzziele im Wege stehen. Bei kleineren Versammlungsstätten kann davon ausgegangen werden, dass eine Branderkennung rechtzeitig erfolgt. Dennoch sind dort Räume mit erhöhter Brandlast mit automatischen und manuellen Brandmeldern

¹ Brandmelder- und Alarmzentrale

auszustatten, da sie wegen der Anforderungen an Abschottung durch Trennwände schwer bzw. nicht einsehbar sind.

Sowohl an Land als auch auf dem Wasser ist es von größter Bedeutung Brände frühzeitig zu erkennen, um geeignete Maßnahmen einzuleiten. Der Einsatz von Brandmeldern hängt von den unterschiedlichen Nutzungen von Versammlungsstätten und Schiffen ab. Während sich Passagiere an mehreren Orten aufhalten und Bereiche zu bestimmten Tageszeiten verlassen sein können, bewegen sich Gäste einer Versammlungsstätte zu einer festgelegten Zeit in einem klar abgegrenzten Nutzungsbereich.

4.3.2 Rauchfreihaltung

Zielsetzung von **SOLAS** (Part C, Reg. 8) ist die Kontrolle und die Gefahrenminderung der Rauchausbreitung. Vorgesehen ist eine Entrauchung von Atrien, Kontrollstationen und verborgenen Räumen. Die gestellte Anforderung an die Entrauchung von Atrien sieht einen kompletten Luftaustausch innerhalb von 10 min vor. Alle anderen Forderungen beziehen sich auf die Vermeidung von Rauchverschleppungen in andere Bereiche des Schiffes. Das reguläre Belüftungssystem muss so beschaffen sein, dass es deaktiviert werden kann und die betreffenden Zu- und Abluftöffnungen geschlossen werden können. Die Belüftung von Treppenhäusern soll über ein von anderen Räumen unabhängiges Lüfter- und Kanalsystem versorgt werden. Angesteuert werden die notwendigen Elemente automatisch über das Branderkennungssystem.

Zum Thema Entrauchung macht die **MBO** Angaben in Bezug auf notwendige Treppenräume. Diese müssen belüftet und entrauchet werden können. Zu diesem Zweck sind für *Gebäudeklasse 5* Öffnungen an der obersten Stelle des Treppenraumes vorgesehen die direkt ins Freie führen. Sie müssen mindestens 1 m² groß sein und ihre Abschlüsse vom Erdgeschoss und obersten Treppenabsatz bedienbar sein (§ 35 Abs. 8).

Wenn sich eine **Versammlungsstätte** im Kellergeschoss befindet oder ihre Grundfläche mehr als 200 m² beträgt ist eine Entrauchung einzurichten. Für notwendige Treppenräume gelten die gleichen Anforderungen wie nach MBO.

Die technischen Bedingungen die an Entrauchungsanlagen gestellt werden sind in zwei Stufen gestaffelt:

1. Versammlungsstätten mit einer Grundfläche kleiner als 1000 m²:
 - a. Rauchableitungsöffnungen mit freier Öffnungsfläche von insgesamt 1 % der Grundfläche oder
 - b. Fenster/Türen mit einer Öffnungsfläche von 2 % der Grundfläche oder
 - c. Maschinelles Rauchabzug mit einem Volumenstrom von mindestens 36 m³/h pro Quadratmeter Grundfläche
2. Versammlungsstätten mit einer Grundfläche größer als 1000 m²:
 - a. Auslegung der RWA für eine 2,5 m hohe raucharme Schicht auf allen Ebenen
 - b. Rauchableitungsöffnungen an höchster Stelle
 - c. Austrittsöffnungen mindestens 0,25 m über der Dachfläche
 - d. Fenster und Türen zur Entrauchung im oberen Drittel der Außenwand der zu entrauchenden Ebene

Das Öffnen oder Einschalten der verbauten Anlage muss von einer jederzeit zugänglichen Stelle im Raum möglich sein. In notwendigen Treppenträumen müssen die Öffnungsflächen von jeder Ebene aus bedienbar sein (§ 16).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sowohl Land- als auch Schiffbau das hohe Gefährdungspotential von Brandrauch erkennen und das gleiche Schutzziel verfolgen. Die Methoden der Rauchfreihaltung unterscheiden sich jedoch deutlich. Während im Landbau durch das Vorhandensein von Öffnungen ins Freie eine Entrauchung realisiert werden kann, legt SOLAS das Hauptaugenmerk darauf das normale Belüftungssystem so auszustatten, dass die Verrauchung eines Bereiches nicht die Verrauchung weiterer Bereiche zur Folge hat. Plausibel wird diese Forderung, wenn man die Gegebenheiten auf Schiffen genauer betrachtet. Die meisten Räume sind gefangen und verfügen deshalb über keine direkten Öffnungen ins Freie. Be- und Entlüftung müssen durch komplexe Lüftungsanlagen und Schächte sichergestellt werden. Eine Entrauchung kann für solche Räume nicht in Betracht gezogen werden, da die Brandgase über lange Wege innerhalb des Schiffes abgeführt werden müssten. Um den hohen Temperaturen standzuhalten, wären die bautechnischen Anforderungen der Entrauchungskanäle immens. Der enorme Platzbedarf und die Tatsache, dass solche Entrauchungsschächte durch mehrere Brandabschnitte geführt werden müssten sind weitere mögliche Gründe für die in SOLAS getroffenen Anforderungen.

4.3.3 Feuerlöscheinrichtungen und -anlagen

Als Ziel von festen und tragbaren Feuerlöscheinrichtungen nennt **SOLAS** (Part C, Reg. 10) die Niederhaltung und Löschung des Brandes im Entstehungsraum. Hierzu ist es vorgesehen Sprinkleranlagen zu installieren die dem Brandausbreitungspotential im jeweiligen Raum angemessen sind.

Zusätzlich zu ortsfesten Feuerlöschanlagen sollen leicht zugängliche Handfeuerlöscher und Hydranten bereitgestellt werden. Anschlüsse von Hydranten sollen leicht erreichbar und leicht mit Schläuchen zu verbinden sein. Der Schutz vor Frost muss gewährleistet werden.

SOLAS ist in Bezug auf die Wasserversorgung und die technischen Einzelheiten der Sprinkleranlage sehr detailliert, weil zu jeder Zeit autonome und wirksame Löscharbeiten gewährleistet werden müssen. Befindet sich ein Schiff außerhalb des Hafens gibt es keine bzw. nur eingeschränkte und vor allem zeitintensive Möglichkeiten Hilfe von externen Kräften zu erhalten. Auf eine Darstellung dieser Details wird hier bewusst verzichtet, da es sich bei dem später dargestellten Modell um ein hafengebundenes Objekt handelt und zusätzliche Löscharbeiten durch die Feuerwehr gewährleistet werden können.

Geeignete tragbare Löscheräte sollen in ausreichender Zahl vorhanden sein. Bei einer Bruttoreaumzahl (BRZ) von mehr als 1000 ist eine Mindestanzahl von fünf Löschern vorgesehen. Diese müssen einfach zu bedienen, gut sichtbar und jederzeit erreichbar sein. Eine Einschränkung in der Benutzung durch Wetter, Vibrationen oder andere Faktoren soll ausgeschlossen sein. Je vorgesehenen Raum soll sich ein Löscherät am Eingang befinden. Die Vorhaltung von bestimmten Mengen an Ersatz-Befüllungen ist der meist abgeschiedenen Lage von Schiffen geschuldet.

Handelt es sich um ein Schiff mit mehr als 36 Passagieren, so ist eine automatische Sprinkleranlage in allen Aufenthalts- und Betriebsräumen, Fluren und Treppen einzubauen. Anforderungen für Bereiche mit keinem bzw. geringem Brandrisiko¹ werden dahingehend reduziert, dass keine automatische Feuerlöschanlage vorhanden sein muss.

In der **MBO** finden sich keine gesonderten Angaben.

Für alle **Versammlungsstätten** gilt die Ausstattung mit einer ausreichenden Zahl an Feuerlöschern. Sie müssen gut sichtbar und leicht zugänglich sein. Bei einer Grundfläche über 1000 m² sind zusätzlich Wandhydranten anzubringen. Ab einer Gesamtfläche von 3600 m² muss eine automatische Feuerlöschanlage vorhanden sein. Dies gilt ebenso für Foyers oder Hallen durch die Rettungswege aus

¹ Leerräume, öffentliche Toiletten, CO₂ Räume u. ä.

anderen Veranstaltungsräumen führen und für Versammlungsräume in Kellergeschossen. Sollten Räumlichkeiten eine Fläche von 200 m^2 unterschreiten und nicht mehr als 5 m unter der Geländeoberfläche liegen, kann auf eine automatische Feuerlöschanlage verzichtet werden. Automatische Feuerlöschanlagen sind an eine Brandmeldezentrale (BMZ) anzuschließen (§ 19).

Bei einem **Vergleich** der Anforderungen erkennt man starke Gemeinsamkeiten. Zur Bekämpfung und Niederhaltung von Bränden sind automatische Feuerlöschanlagen, Wandhydranten und tragbare Feuerlöschgeräte vorgesehen.

5 Planung und Modellierung der schwimmenden Versammlungsstätte

Es werden insgesamt zwei Modelle erstellt. Nutzungsart 1 entspricht einem kleinen Theater mit Sitzreihen und Bars. Nutzungsart 2 entspricht der Art und Ausstattung einer Diskothek. Eine genaue Beschreibung wird in Kapitel 5.3 vorgenommen. Alle gemeinsamen Aspekte werden in Kapitel 5.1 aufgeführt. Die Planung und Realisierung des anlagentechnischen Brandschutzes ist in Kapitel 5.2 dargestellt. Im Rahmen der betrachteten schwimmenden Versammlungsstätte wird auf eine barrierefreie Ausgestaltung nicht eingegangen. Auf eine Konkretisierung von Feuerwiderstandsklassen der Bauteile wird ebenfalls verzichtet, da in der späteren Simulation keine Bauteilbelastungen betrachtet werden. Im Falle einer Umsetzung müssten diese Punkte besondere Berücksichtigung finden.

5.1 Maße und grundlegende Annahmen

Als Korpus dient der Schwimmkörper eines Europa Leichters Typ IIa. Er hat eine Länge von 76,5 m und eine Breite von 11,4 m. Aufgrund der doppelwandigen Ausführung sind die Außenwände je 1,2 m stark. Daraus ergibt sich auf dem Unterdeck eine Grundfläche von rund 667 m². Für Innenausstattungen wie Bars, Szeneflächen, Treppenhäuser und Räume für eine nutzungsabhängige Verwendung¹ werden insgesamt 167 m² vorgesehen. Die für Besucher zugängliche Fläche beträgt somit 500 m². Unter- und Oberdeck werden mit insgesamt vier Treppen verbunden. Auf dem Oberdeck befinden sich zwei weitere individuell nutzbare Räume mit einer Fläche von insgesamt 80 m² und die Eingangsbereiche die über je zwei Gangways an Bug und Heck mit dem Land verbunden sind. Die Gangways sind paarweise angeordnet und haben eine Breite von je 1,2 m und 1,8 m.

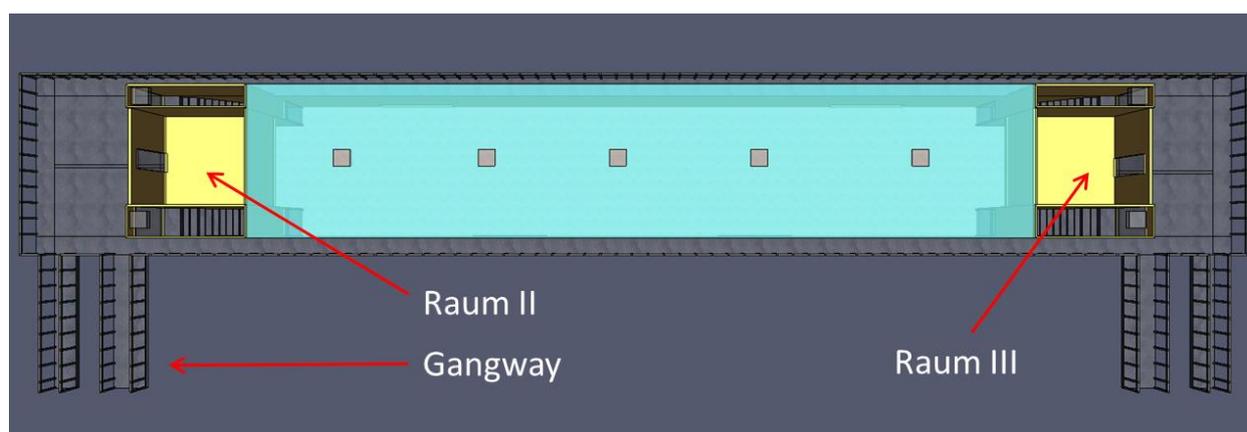


Abbildung 4: Ansicht des Oberdecks

Die auf dem Oberdeck vorhandene Fläche wird bei der Ermittlung der maximalen Besucherzahlen nicht berücksichtigt, da sich die Betrachtungen aus der Sicht des Brandschutzes und der Evakuierung auf den großen Versammlungsraum im Inneren beschränken. Aus Gründen der Vollständigkeit sei erwähnt, dass

¹ z. B. Lager, Technikraum, Umkleideräume

die zugängliche Fläche auf dem Oberdeck 322 m² beträgt. Für eine sinnvolle Nutzung wird die schwimmende Versammlungsstätte mit einem Glasaufbau erweitert. Damit beträgt die Gesamthöhe im Inneren 6 m. Das Glasdach befindet sich zwischen den individuell nutzbaren Räumen des Oberdecks. Die Ausführung hat nur ästhetische Gründe und kann durch andere Aufbauten ersetzt werden. An beiden Seiten des Daches gibt es je einen 1,2 m breiten Weg, der mit einem umlaufenden Geländer gesichert ist. Abbildung 5 zeigt verschiedene Außenansichten.

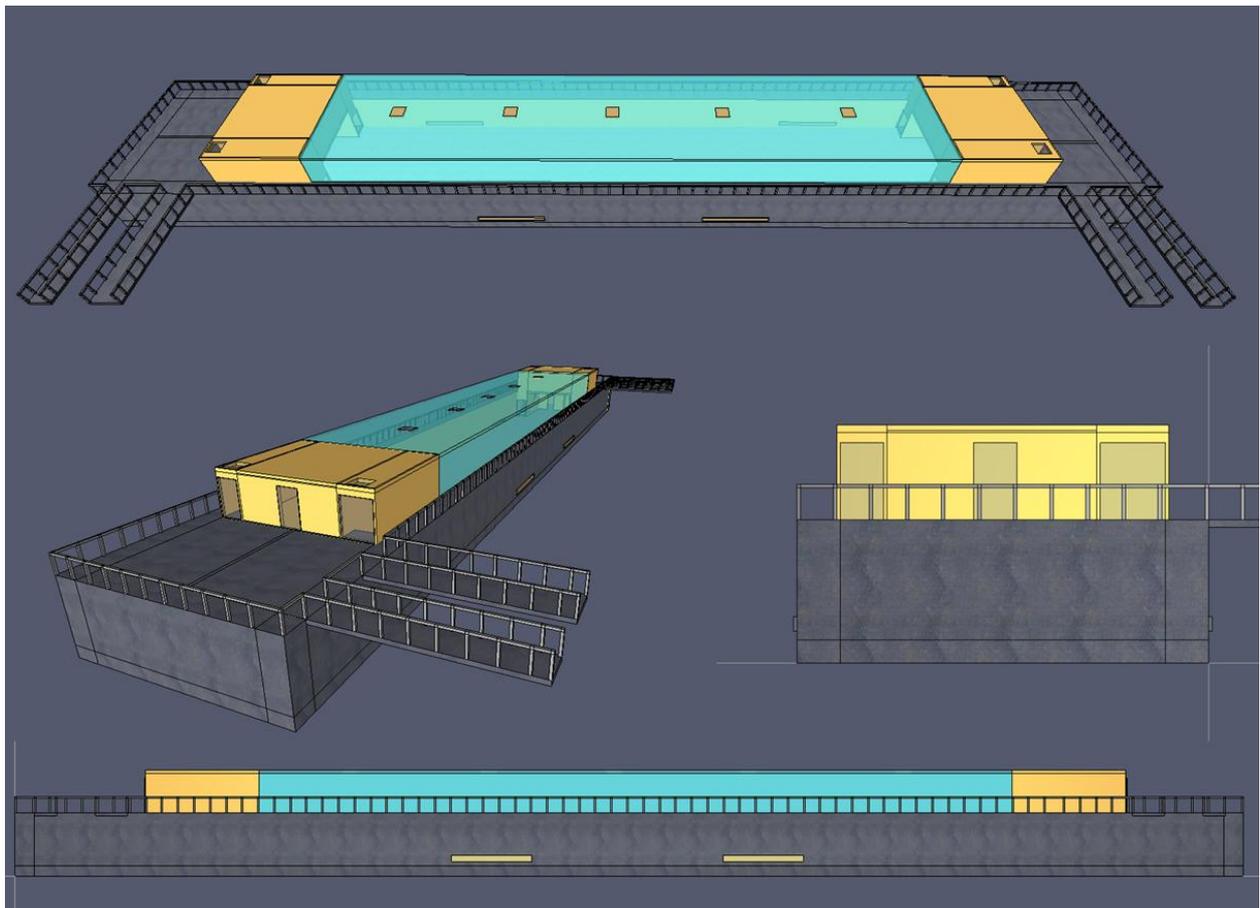


Abbildung 5: Außenansichten der schwimmenden Versammlungsstätte

Für die Bemessung der maximalen Personenanzahl gibt es zwei Ansätze, da SOLAS und FSS Code die Gästezahl für ein komplettes Schiff betrachtet wird mit einer Person je zwei Quadratmetern freier Fläche gerechnet. Eine solche Annahme würde das wirtschaftliche Interesse einer Versammlungsstätte nicht widerspiegeln. Aufgrund dieser Tatsache wird die Besucherzahl nach § 1 MVStättV bemessen. Sie sieht zwei Personen je Quadratmeter Grundfläche vor. Das gilt für Sitzplätze in Reihen und Stehplätze gleichermaßen und erlaubt eine wirtschaftlich rentable Nutzung bei gleichzeitiger Gewährleistung der Einhaltung der Schutzziele (19 S. 14). Aus der ermittelten Fläche und der zugrunde gelegten Anzahl von

Personen je Quadratmeter ergibt sich eine maximale Anzahl von 1000 Personen, wovon 40 Personal¹ sind.

Die sanitären Einrichtungen sind nach § 12 MVStättV bemessen und befinden sich im Bug. Die benötigte Fläche wird in zwei Räumen je 30 m² Grundfläche geschaffen (s. Abbildung 6).



Abbildung 6: Unterdeck der schwimmenden Versammlungsstätte

5.2 Anlagentechnischer Brandschutz

Die schwimmende Versammlungsstätte ist mit insgesamt 15 Rauchmeldern ausgerüstet. Neun befinden sich im Veranstaltungsraum auf dem Unterdeck und sind deckennah montiert. Die übrigen sind in den Toiletten und individuell nutzbaren Räumen I – III angebracht. Die Bemessung erfolgte nach den Maßgaben des FSS Code (s. Abbildung 3). In der Nähe der Treppen befinden sich manuelle Brandmelder. In Abbildung 7 können die Positionen der automatischen Rauchmelder entnommen werden. Alle anderen liegen außerhalb des zu betrachtenden Bereiches und werden deshalb nicht angezeigt.

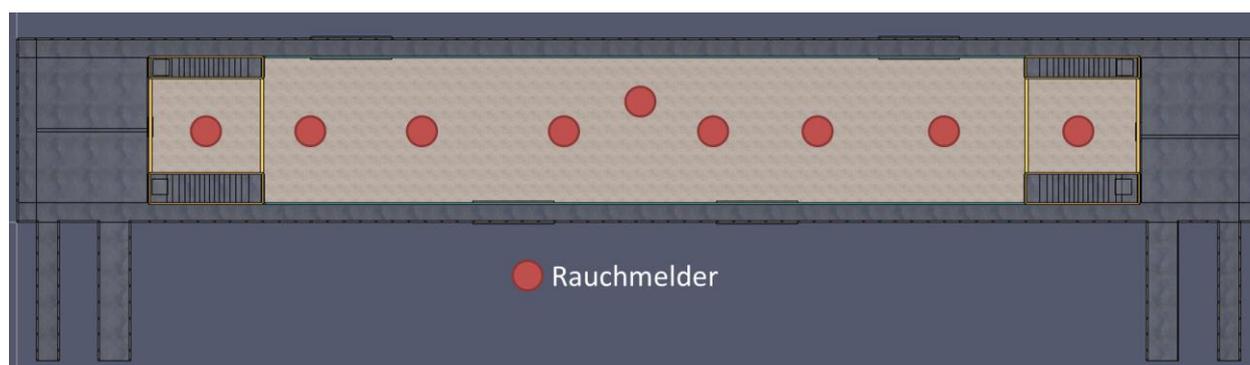


Abbildung 7: Position der Rauchmelder auf dem Unterdeck

Für die Entrauchung wurden die Maßgaben des § 16 MVStättV herangezogen. Es handelt sich um eine natürliche Rauchabzugsanlage (NRA). Die Abluft kann über fünf je 1 m² große Öffnungen im Dach entweichen. Jedes notwendige Treppenhaus verfügt über eine 1 m² große Öffnung an seiner höchsten Stelle (s. Abbildung 8). Für die Versorgung mit Zuluft werden insgesamt vier je 2 m² große Öffnungen

¹ Rücksprache mit einer Fachkraft für Veranstaltungstechnik ergab die Annahme von 40 Personen für eine Veranstaltung mit ca. 800 Personen

back- und steuerbordseitig verbaut (s. Abbildung 9). Diese wurden simulationsbedingt bodennah eingebaut. Bei einer Umsetzung müssten entsprechende Zuluft-Schächte geschaffen werden, da die jetzige Position unterhalb der Wasserlinie läge. Über die Schächte kann die Zuluft oberhalb der Wasserlinie angesaugt und bodennah in die Versammlungsstätte eingebracht werden. Das Öffnungsflächen-Verhältnis zwischen Zu- und Abluft beträgt 1:1,6.



Abbildung 8: Abluftöffnungen

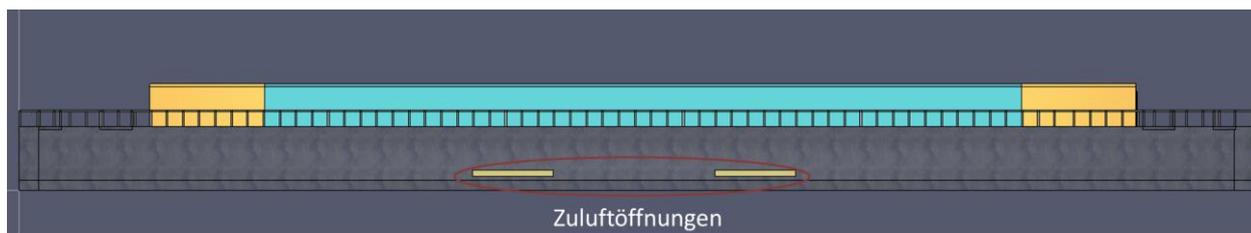


Abbildung 9: Zuluftöffnung steuerbordseitig

Für den Fall der Umsetzung sollte die schwimmende Versammlungsstätte nach dem land- und schiffbaulichen Stand der Technik mit einer automatischen Feuerlöschanlage ausgestattet werden. Da eine solche Löschanlage in dieser Arbeit keine Betrachtung findet (Begründung S. 41), wird auf eine weitere Beschreibung der Spezifikationen und der Anordnung verzichtet.

In Tabelle 5 sind sämtliche Annahmen und Daten zusammengefasst. Evakuierungsrelevante Punkte stammen von Herrn Jonas Tittelbach und sind in seiner Bachelorarbeit in Erfahrung zu bringen.

Tabelle 5: Grundlegende Annahmen zur schwimmenden Versammlungsstätte

Grundlegendes	
Außenmaße	Länge: 76,5 m Breite: 11,4 m Höhe: 6,65 m
Innenmaße	Länge: 74,1 m Breite: 9 m Höhe: 6 m
Zugängliche Fläche auf dem Unterdeck	500 m ²
Zugängliche Fläche auf dem Oberdeck	322 m ²
Personenanzahl	1000 (960 Besucher und 40 Personal)
Räumlichkeiten und Ausstattung	
Toiletten (Unterdeck)	ca. 60 m ²
Individuell nutzbarer Raum I (Unterdeck)	ca. 55 m ²
Individuell nutzbarer Raum II (Oberdeck)	ca. 40 m ²
Individuell nutzbarer Raum III (Oberdeck)	ca. 40 m ²
Szenefläche und Bars (Unterdeck)	ca. 56 m ²
Anlagentechnischer Brandschutz	
Branddetektion	15 automatische Rauchmelder und 4 manuelle Brandmelder
Entrauchung	Öffnungsfläche Abluft: 5 m ² Öffnungsfläche Zuluft: 8 m ²
Automatische Feuerlöschanlage	Notwendigkeit gegeben, kein Bestandteil dieser Betrachtung

Evakuierungsrelevante Planung (21)	
Laufweg bis zum nächsten Ausgang	Max. 21,5 m
Notwendige Treppen mit notwendigem Treppenhaus	<u>Je eine Treppe im Bug und Heck:</u> Lichte Breite: 1,2 m Länge: 5 m <u>Je eine Treppe im Bug und Heck:</u> Lichte Breite: 1,8 m Länge: 5 m <u>Treppenabsätze:</u> Breite: 1 m
Türen	<u>Türen im Notwendigen Treppenhaus:</u> Lichte Breite = Treppenbreite Höhe: 2,1 m <u>Sonstige Türen:</u> Breite: 0,9 m Höhe: 2,1 m
Gangways	<u>Je eine Gangway am Bug und Heck</u> Lichte Breite: 1,2 m Länge: 3 m <u>Je eine Gangway am Bug und Heck</u> Lichte Breite: 1,8 m Länge: 3 m
Offene Gänge seitlich des Glasdaches	Lichte Breite: 1,2 m Länge: 61,1 m
Optionale Bestuhlung	Reihenabstand: 0,4 m Gänge: 1,2 m
Sicherheitsbeleuchtung	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, und Veranstaltungsraum
Sicherheitszeichen	Rettungswege sind mit Sicherheitszeichen kenntlich gemacht
Notstromgenerator	Vorhanden

5.3 Nutzungsarten

Die Art der Veranstaltung ist entscheidend für die Innenausstattung. Anordnung, Art und Anzahl der verwendeten Gegenstände für den Innenausbau können sich wiederum auf bestimmte Faktoren der Simulationsergebnisse auswirken. Um eventuell auftretende Unterschiede bei der Rauchausbreitung und der Evakuierung darzustellen, werden folgende Arten der Nutzung festgelegt und unterschieden:

Nutzungsart 1: Theater

Der Veranstaltungsraum ist mit einer mittig angeordneten Szenefläche ausgestattet. Vor und neben dieser Szenefläche befinden sich drei Sitzblöcke. Block 1 und 3 umfassen je 13 Sitzreihen. Pro Reihe finden zwischen 6 und 16 Personen Platz. Block 2 befindet sich vor der Szenefläche und umfasst fünf Reihen mit je zwölf Sitzplätzen. Insgesamt ist die Versammlungsstätte mit 538 Sitzplätzen ausgestattet. Die übrigen Besucher nehmen Stehplätze ein.

Für die Bewirtung mit Getränken sind zwei Bars vorhanden. Sie befinden sich im Bug und Heckbereich.

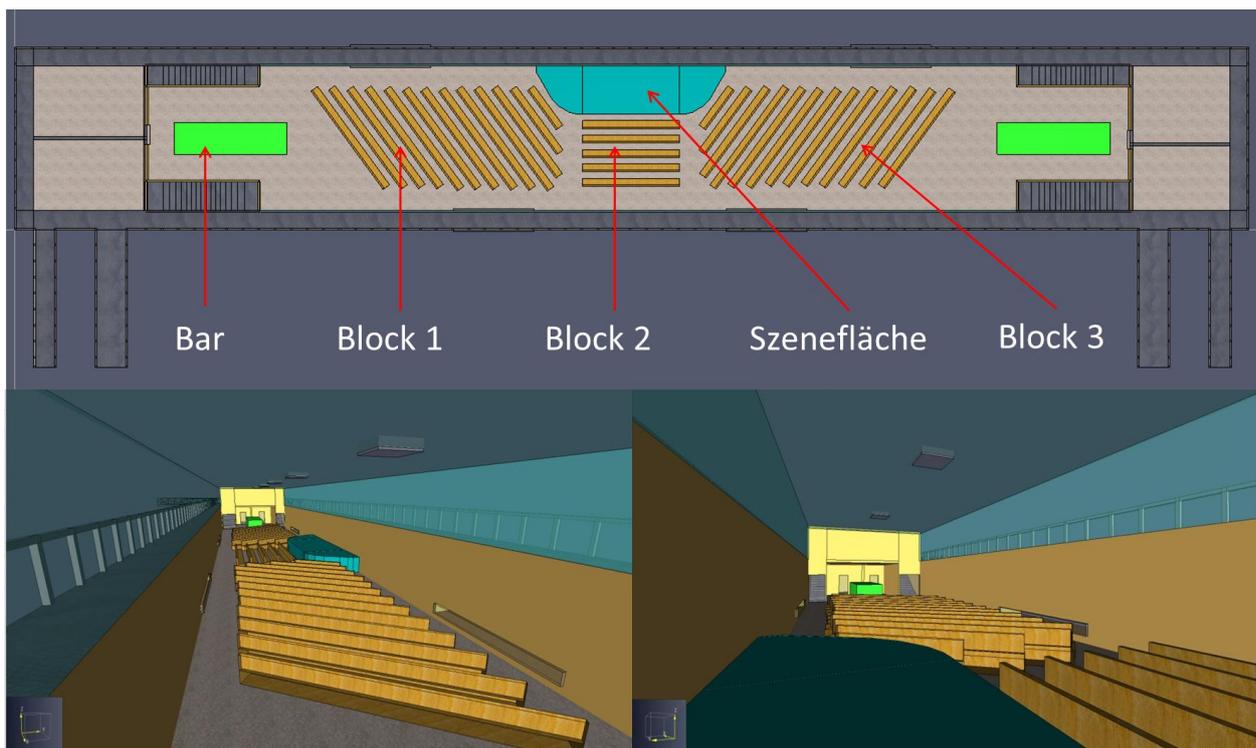


Abbildung 10: Nutzungsart 1. Draufsicht und Innenansichten

Nutzungsart 2: Diskothek

Für diese Art der Nutzung wird die Szenefläche verkleinert und zwei weitere Bars hinzugefügt. Es sind nur noch wenige, vereinzelte Sitzgelegenheiten am Rand des Versammlungsraumes vorhanden. Der Großteil der Fläche kann als Tanzfläche genutzt werden.

Beide Nutzungsarten unterscheiden sich im Wesentlichen in der Art der Bestuhlung. Mögliche Auswirkungen werden in Kapitel 7 ausführlich dargestellt.

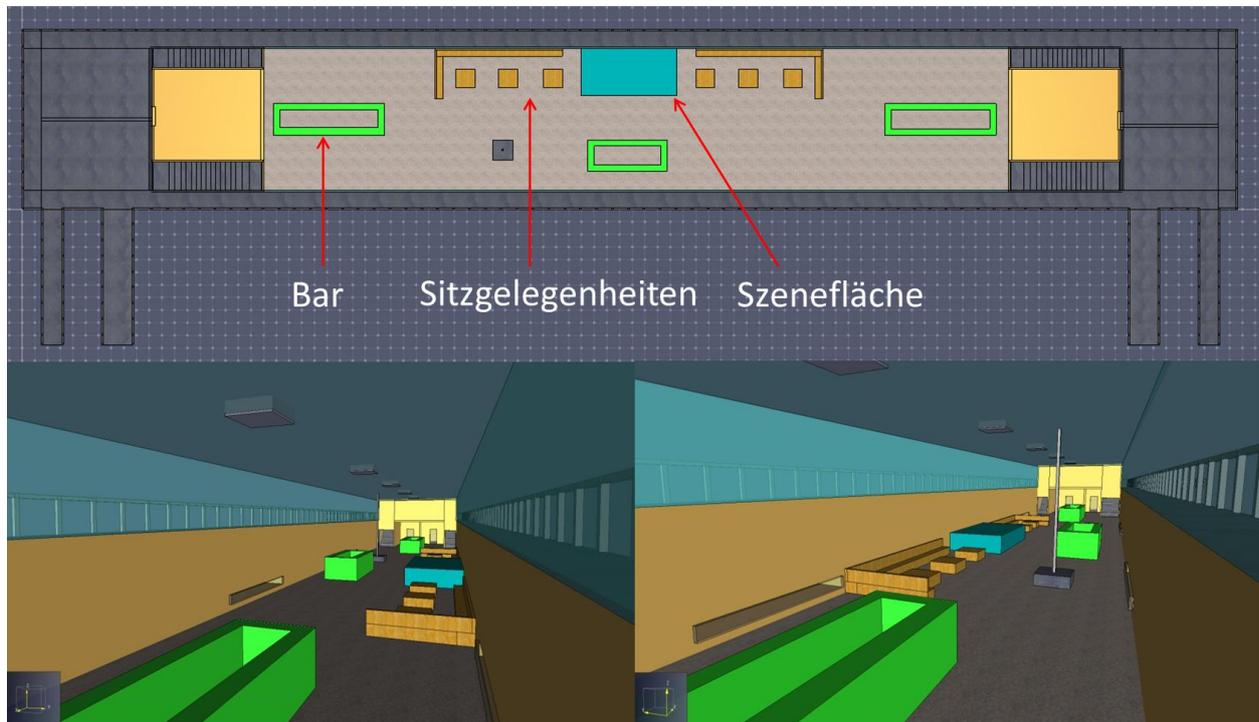


Abbildung 11: Nutzungsart 2. Draufsicht und Innenansichten

6 Brandszenarien und Simulationsparameter

Eine Simulation stellt stets eine Idealisierung und Vereinfachung eines komplexen Sachverhaltes dar. Reale Brände und daraus resultierende Rauchentwicklung und Rauchausbreitung sind einer Vielzahl von Einflüssen unterworfen. Bei der Vorhersage eines realen Schadfeuers und der naturgemäßen Nachbildung und Modellierung stößt man schnell an die Grenzen der technischen Möglichkeiten. Für eine annähernd genaue und aussagekräftige Simulation ist es notwendig Bemessungsbrandszenarien mithilfe von Ingenieurmethoden festzustellen, sie zu modellieren und die Simulationsergebnisse auf Grundlage der Bemessungsbrandszenarien zu beurteilen. In diesem Kapitel werden Szenarien für die schwimmende Versammlungsstätte beschrieben.

6.1 Betrachtetes Schutzziel

Für die, in Kapitel 6.2 und 6.3, entwickelten Szenarien stehen der Schutz von Leben und Gesundheit der Besucher an oberster Stelle. Zur Feststellung einer sicheren Nutzung wird die Selbstrettung aller anwesenden Personen, unter zumutbaren Bedingungen (s. Kapitel 8.1), als Maßstab angelegt. Chronische Verletzungen oder Todesfälle gelten als Verfehlung des angestrebten Schutzzieles.

6.2 Bemessungsbrandszenarien für das Modell

In der vorliegenden Untersuchung wird, abweichend vom beschriebenen Vorgehen (s. Kapitel 2.2), keine Quantifizierung von potentiellen Brandrisiken durchgeführt. Sie bedarf genauer Informationen über die spätere Nutzung und Ausstattung, da diese die tatsächlichen Brandlasten und Zündquellen bedingen und maßgeblich in die Quantifizierung einfließen.

Den hier verwendeten Bemessungsbrandszenarien liegen qualitative Abschätzungen und eigene Erfahrungswerte zugrunde. Es sollen Szenarien entwickelt werden, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten. Die unten beschriebenen Brandszenarien sollen zum einen realistische Eintrittswahrscheinlichkeiten und zum anderen eine mögliche, kritische Personengefährdung widerspiegeln. Die genaue Definition des zu überprüfenden Schutzzieles ist deshalb wichtig, weil sich je nach Festlegung die Bemessungsbrandszenarien voneinander unterscheiden können.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die in Tabelle 6 dargestellten Szenarien für die unterschiedlichen Nutzungsarten festgelegt und deren Auswirkungen beurteilt.

Tabelle 6: Bemessungsbrandszenarien der beiden Nutzungsarten

Nutzungsart	Bemessungsbrandszenarium
1: Theater	1: Brand einer gepolsterten Sitzreihe (Block 3)
	2: Brand einer Bar (Links)
2: Diskothek	3: Brand einer Bar (Links)
	4: Brand einer Bar (Mitte)

Alle Brände spielen sich im großen Veranstaltungsraum unter Deck ab. Es wird eine ordnungsgemäße Funktion der Brandmelder und der Entrauchungseinrichtungen angenommen. Die Türen der notwendigen Treppenhäuser sind geöffnet, um eine Verrauchung der Ausgänge während der Evakuierung darzustellen zu können. Alle anderen Türen sind geschlossen. Auswirkungen der Sprinkler auf den gesamten Brandverlauf sind kein Bestandteil der Betrachtung. Aus diesem Grund wird auf eine Simulation der automatischen Löschanlage verzichtet. Ziel einer Sprinkleranlage ist es Brände bereits in der Entstehungsphase zu löschen und somit eine weitere Brand- und Rauchentwicklung zu verhindern. Für die Überprüfung des definierten Schutzzieles sollen aber Szenarien geschaffen werden, die die Auswirkungen der Rauchpartikelverteilung über einen längeren Zeitraum abbilden. Entstehende Einflüsse der automatischen Löschanlage stünden diesen Darstellungen im Wege.

Bemessungsbrandszenarium 1:

Dieses Szenarium soll einen Brand mit großer Eintrittswahrscheinlichkeit darstellen. Die verwendeten Sitzmöbel aus Holz sind mit einem flexiblen Polyurethan gepolstert und mit Stoff umgeben. Einige Gäste lagern ihre Jacken auf den Plätzen neben ihnen. Wegen der dargebotenen Aufführungen auf der Szenefläche können viel Elektronik und Dekorationen vorgefunden werden. Durch einen Kurzschluss, beispielsweise durch ein verschüttetes Getränk, kommt es zu einem Kabelbrand und einer Zündung der angrenzenden Sitzreihe.

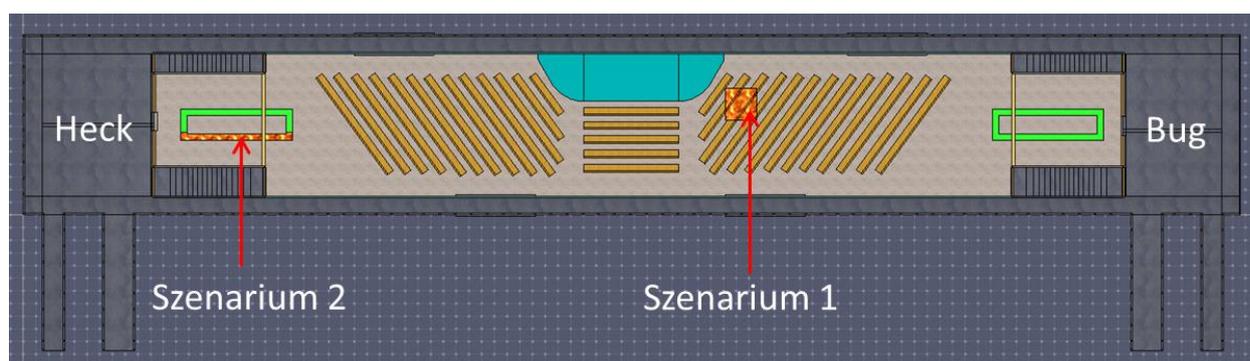


Abbildung 12: Übersicht Bemessungsbrandszenarien 1 und 2

Bemessungsbrandszenarien 2 und 3:

Diese Szenarien werden als Brände mit den größten Auswirkungen in Bezug auf die Personensicherheit angenommen, da sich die Bars jeweils zwischen zwei notwendigen Treppenhäusern befinden. Ein Brand dieser Art kommt einem Ausfall der Fluchtwege gleich. Jede Bar lagert eine große Menge an brennbaren Flüssigkeiten, Kerzen, Putzmitteln und Ähnlichem. Die Theke besteht aus Holz und Kunststoffen. Durch einen unachtsamen Gast und einer trotz geltendem Rauchverbot angezündeten Zigarette kommt es in einem gefüllten Müllbehälter zum Brand.

Bemessungsbrandszenarium 4:

Bei Szenarium 4 handelt es sich um eine ähnliche Betrachtung wie in den Szenarien 2 und 3. Der Unterschied besteht in der Position der Bar innerhalb der Versammlungsstätte. Brennbare Materialien der Bar können sich aufgrund einer fehlerhaften Zapfanlage und eines Kurzschlusses entzünden. Die Betrachtung eines mittig angeordneten Brandherdes soll eventuell auftretende Unterschiede in der Rauchausbreitung deutlich machen. Es wird davon ausgegangen, dass alle Treppenhäuser genutzt werden können.

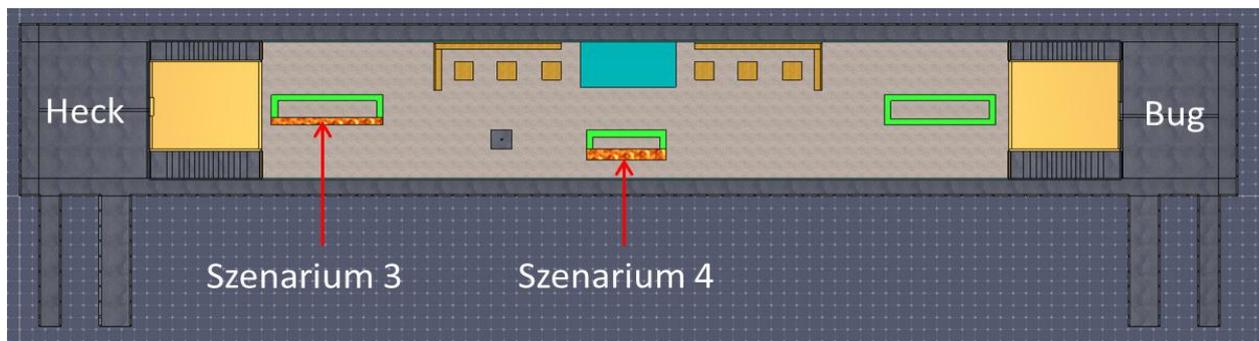


Abbildung 13: Übersicht Bemessungsbrandszenarien 3 und 4

6.3 Bemessungsbrände

Zur Festlegung eines Bemessungsbrandes müssen in FDS zum einen Angaben über das gewünschte Verbrennungsmodell gemacht werden, zum anderen muss der Brandherd definiert werden. Die Angabe der chemischen Zusammensetzung des Brennstoffes, der Rauchausbeuten und der Parameter zur Berechnung der Erkennungsweiten der Notausgänge definieren das Verbrennungsmodell. Unter Erkennungsweite versteht man den Abstand bei dem der Beobachter das Sehzeichen gerade noch erkennen kann. Als Synonym hat sich der Begriff Sichtweite durchgesetzt (4 S. 244).

Die Erkennungsweite berechnet sich über folgende Formel (22):

$$S = \frac{C}{K_m \cdot \rho Y_s} \quad (6-1)$$

mit:	S	Sichtweite	[m]
	C	Dimensionslose Zahl für die Darstellung des Erkennungswertes der Hinweisschilder	
	K_m	Spezifischer Extinktionskoeffizient	[m ² · kg ⁻¹]
	ρY_s	Dichte der Rauchpartikel	[kg · m ⁻³]

Der Parameter K_m dient zur Beschreibung wie die im Brandrauch enthaltenen Stoffe das Licht brechen bzw. absorbieren. Für alle Bemessungsbrände wird K_m mit 7600 m²/kg angenommen (4 S. 244). Der Erkennungswert der Hinweisschilder C wird auf 8 festgelegt, da die vorhandenen Hinweisschilder, selbstleuchtend sind (23) (4 S. 245).

Der Brandherd bildet sich aus Angaben zu seiner Fläche und der spezifischen Wärmefreisetzungsrate (engl.: Heat Release Rate per Area [kW/m²]; HRRPA) und der Zeit bis zum Erreichen der maximalen Wärmefreisetzungsrate. Sie berechnet sich über die angegebene Formel 2-1 (s. Kap. 2.3).

Bemessungsbrand für Szenarium 1:

Szenarium 1 liegt eine objektspezifische Betrachtung zugrunde. Der Brand spielt sich innerhalb eines Sitzblockes ab. Deswegen werden die Brandeigenschaften von Sitzmöbeln betrachtet und herangezogen. Es wird angenommen, dass die Sitzmöbel zu 50 % aus Holz und zu 50 % aus Polyurethan bestehen. Die chemische Zusammensetzung des Brennstoffes Polyurethan lautet CH_{1,8}O_{0,35}N_{0,06} (24 S. 108). Die Kohlenmonoxid-Ausbeute beträgt 0,045 g/g, die Ruß-Ausbeute 0,1 g/g. Bei diesen Werten handelt es sich um selbst berechnete Mittelwerte verschiedener flexibler Polyurethan Schäume und des Wertes für Holz (24 S. 112) im Verhältnis 1:1. Laut einer Empfehlung beträgt die Ruß-Ausbeute eines

Mischbrandes mit gleicher Zusammensetzung 0,11 g/g (25 S. 2). Der errechnete Wert wird somit bestätigt und die auf gleiche Weise ermittelte Kohlenmonoxid-Ausbeute als gerechtfertigt angenommen.

Die Geometrie des Brandherdes ist eine quadratische Fläche von 4 m². Die spezifische Wärmefreisetzungsrates und die Brandentwicklungsgeschwindigkeit basieren auf realen Brandversuchen mit leichten Polstermöbeln¹, die aus einem leicht flammenhemmend behandelten Schaumstoff bestehen und mit Nylon oder Kunststoff bezogen sind. Die Form umfasst Sitzfläche, Arm- und Sitzlehne. Ergebnis ist eine maximale spezifische Wärmefreisetzungsrates von 681,0 kW/m² (3 S. 21) und eine mittlere Brandentwicklungsgeschwindigkeit von 0,012 kW/s (3 S. 15, 21). Diese Werte werden für das Modell übernommen. Die maximale Wärmefreisetzungsrates beträgt demnach 2724 kW, welche nach 476 s erreicht wird.

Bemessungsbrand für Szenarien 2 – 4:

Diesen Szenarien liegt eine nutzungsspezifische Betrachtung zugrunde. Der jeweilige Brand spielt sich auf einer Bar ab. Wegen der ungenauen Kenntnis der Stoffzusammensetzung (u. a. Holz, Kunststoffe, brennbare Flüssigkeiten) wird nach der Empfehlung vorgegangen, die Zusammensetzung der Stoffe prozentual abzuschätzen und Kohlenmonoxid- und Ruß-Ausbeute anteilig zu berechnen. Unter der Annahme einer Zusammensetzung von 50 % Kunststoffen und 50 % Zellulose ergibt sich ein Wert von 0,052 g/g für die Kohlenmonoxid-Ausbeute und eine Ruß-Ausbeute von 0,08 g/g (4 S. 81). Die zugrundeliegenden Tabellenwerte basieren auf statistisch erhobenen Daten aus mehreren Originalbrandversuchen mit häufig vorkommenden zellulosehaltigen Stoffen und Kunststoffen (4 S. 82). Als Brennstoff dient Polypropylen mit der chemischen Zusammensetzung C₃H₆ (24 S. 134).

Der Brandherd wird auf 3,5 m² festgelegt. Die spezifische Wärmefreisetzungsrates und Brandentwicklungsgeschwindigkeit basieren auf empirisch erhobenen Daten die eine nutzungsabhängige Brandlast annehmen. Für Wohnungen, Theater, Kinos und Gaststätten werden spezifische Wärmefreisetzungsrates von 500 kW/m² angelegt (3 S. 18), (4 S. 90 f). Die Brandentwicklungsgeschwindigkeit ist ebenfalls mit 0,012 kW/s zu bemessen (4 S. 67). Die maximale Wärmefreisetzungsrates von 1750 kW wird somit nach 382 s erreicht.

¹ Spezifische Last < 24,5 kg/m²

Tabelle 7: Zusammenfassung der verwendeten Parameter für die Bemessungsbrände

Parameter	Bemessungsbrandszenarium			
	Theater		Diskothek	
	Sitzreihe	Bar	Bar 1	Bar 2
Brennstoff für Reaktion	Polyurethan (CH _{1,8} O _{0,35} N _{0,06})		Polypropylen (C ₃ H ₆)	
Materialzusammensetzung	Polyurethan und Holz 1:1		Kunststoff und Zellulose 1:1	
Brandfläche	4 m ²		3,5 m ²	
Spezifische Wärmefreisetzungsrage	681 kW/m ²		500 kW/m ²	
Wärmefreisetzungsrage	2724 kW		1750 kW	
Zunahme der Wärmefreisetzungsrage (α)	0,012 kW/s ²			
Kohlenmonoxid Ausbeute	0,045 g/g		0,052 g/g	
Ruß Ausbeute	0,101 g/g		0,08 g/g	
Sichtbarkeitsfaktor (C)	8			
massenspezifischer Extinktionskoeffizient	7600 m ² /kg			

6.4 Messung und Darstellung von Bewertungsparametern

Für die spätere Auswertung der Simulation ist es notwendig, sowohl Art als auch Position der Messeinrichtungen zu definieren. Es wurden zwei Arten von Messungen verwendet. Mithilfe von Slices (dt.: Schnitt) können Größen innerhalb einer gewünschten Ebene visuell dargestellt und die Daten mithilfe einer Farb-Skala abgelesen werden. Für die genaue Messung in einem bestimmten Punkt werden Devices (dt.: Gerät, Apparat) verwendet. Sie zeichnen die eingestellten veränderlichen Größen über die gesamte Simulationszeit auf und speichern diese. Zusätzlich zu diesen quantitativen Erhebungen wird die Rauchausbreitung visuell dargestellt. Zu diesem Zweck wird der Rußpartikel-Anteil in der Umgebungsluft für den gesamten Raum ausgegeben.

Die verwendeten Slices dienen zur Veranschaulichung und Bewertung der Erkennungsweiten und sind entlang der Ebene der steuer- und backbordseitigen Fluchtwege eingefügt (y=2,2 m und y=5,9 m).

Ein weiterer Slice befindet sich in der z-Ebene, 2,0 m über der Fußbodenoberkante. Abbildung 14 veranschaulicht die Positionen der Slices.

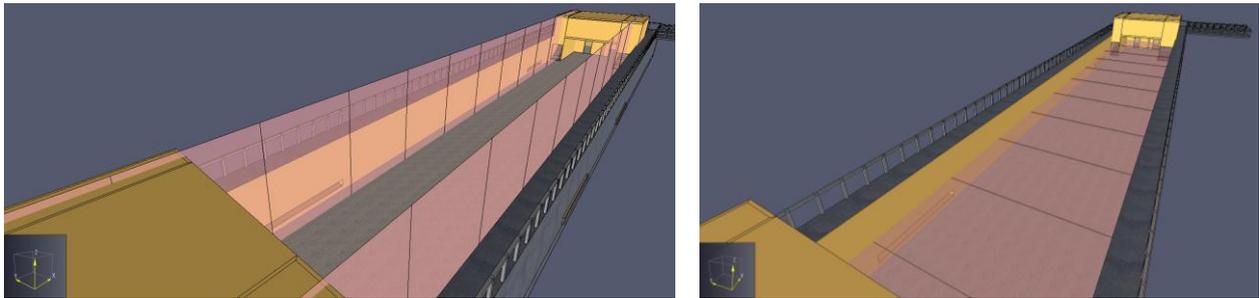


Abbildung 14: Erkennungsweiten-Slices in der y-Ebene (links) und in der z-Ebene (Rechts)

Die ausgewählten Messpunkte der Devices sollen die Einwirkungen darstellen denen Personen im Brandfall ausgesetzt wären. Aufgezeichnet werden die Temperatur, der Sauerstoffgehalt und der Anteil an toxischen Rauchgasen in der Umgebungsluft. Für die Bewertung der Personensicherheit im Hinblick auf Selbstrettung werden die Konzentrationen der Gase Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid gemessen. Die Messstellen befinden sich alle in der Nähe der Treppen auf einer Höhe von 2,0 m über der Fußbodenoberkante (s. Abbildung 15). Diese Positionierungen wurden gewählt, da sich Stauungen bei der Evakuierung höchstwahrscheinlich in diesen Bereichen ergeben werden.

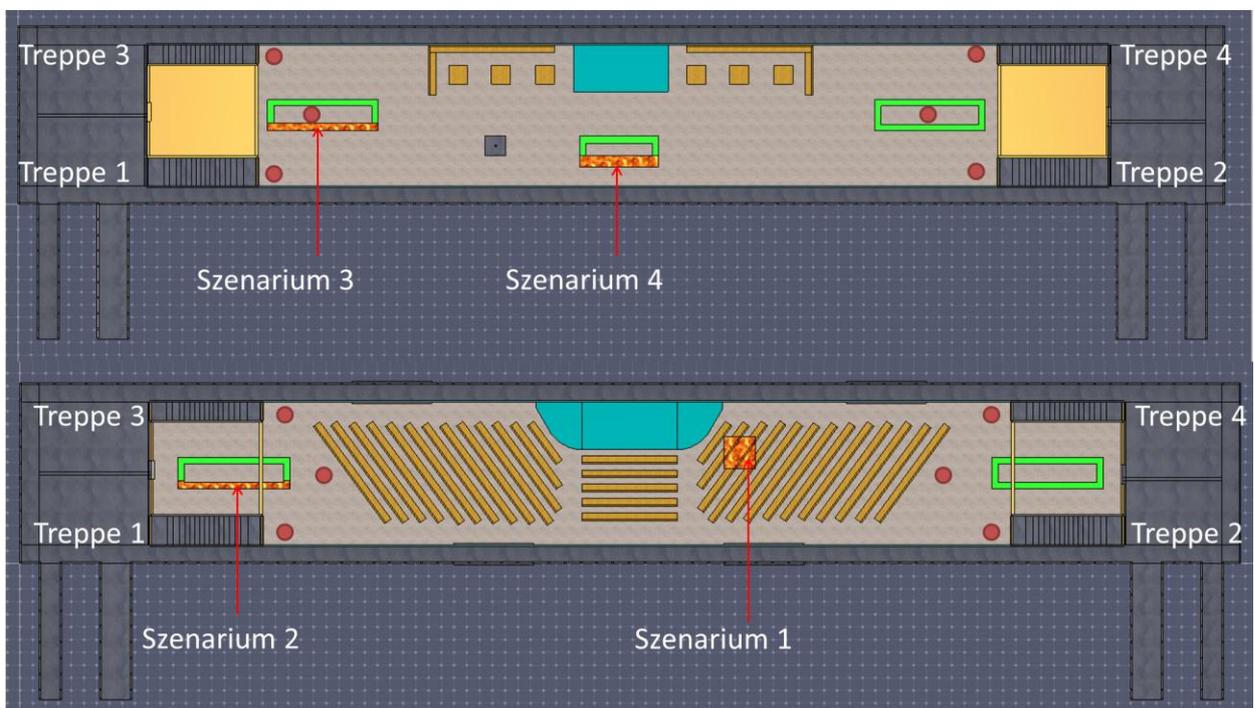


Abbildung 15: Position der Messstellen (rot)

7 Darstellung der Simulationsergebnisse

Alle Simulationen wurden ordnungsgemäß für eine Dauer von 600 s berechnet. Der Bemessungsbrand von Szenarium 1 erreicht nach 476 s seine maximale Wärmefreisetzungsrate von 2724 kW. Die Brände der Szenarien 2 – 4 erreichen ihr Maximum von 1750 kW nach 382 s. In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass die Freisetzungsraten entsprechend des t^2 -Modelles (s. Formel 2-1, Kap. 2.3) verliefen.

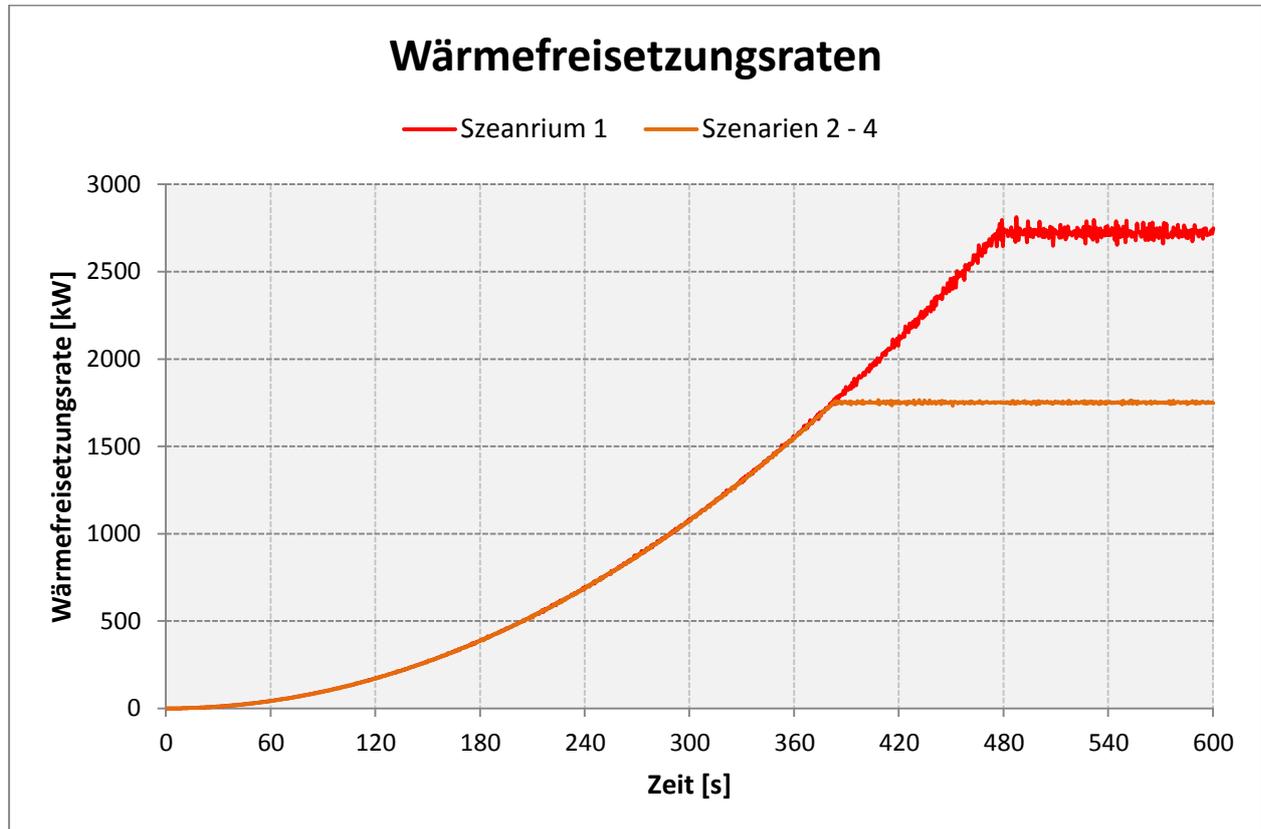


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsraten

7.1 Bemessungsbrandszenarium 1

7.1.1 Rauchausbreitung

Die folgenden Bilder stellen die Rauchausbreitung innerhalb der schwimmenden Versammlungsstätte dar. Das Modell wird entlang der Symmetrieachse ($y = 5,8 \text{ m}$) geschnitten und von der Steuerbordseite her betrachtet.

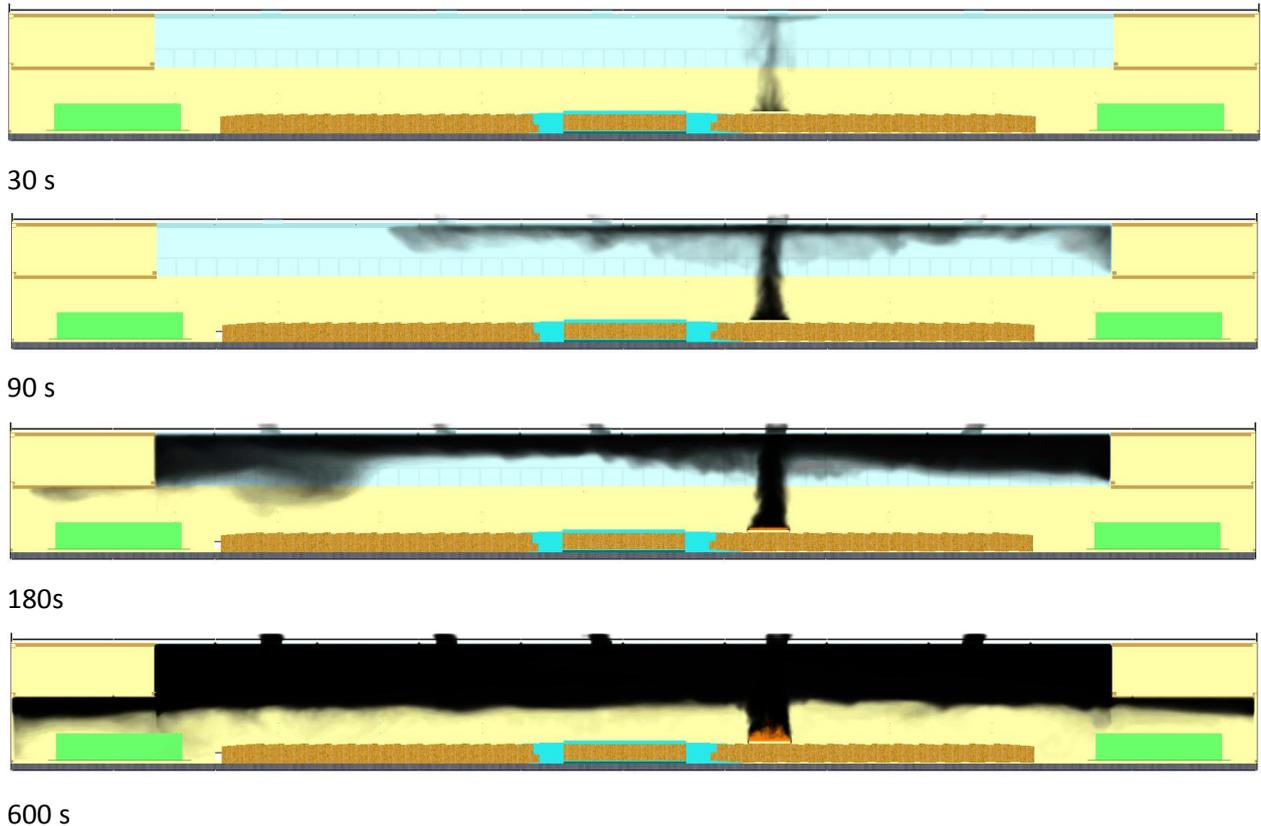


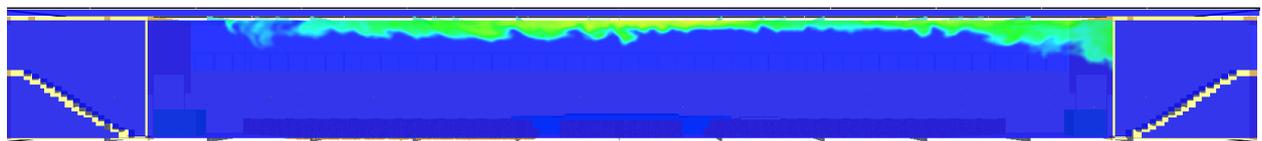
Abbildung 17: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y = 5,8 \text{ m}$) Szenarium 1

Nach ca. 30 s erreicht der sichtbare Rauch zum ersten Mal die Decke. Die Öffnungen der natürlichen Entrauchung werden aktiviert, wenn mindestens zwei der vorhandenen Brandmelder auslösen. Im vorliegenden Fall geschieht dies nach 37 s. Die horizontale Strömung der Rauchgase entlang der Decke (engl.: Ceiling Jet) trifft nach etwa 90 s im Bug auf das erste Hindernis, die Wand des individuell nutzbaren Raumes III. Nach 180 s ist zu erkennen, dass die sichtbaren Rauchgase ebenfalls im Heck auf eine Wand getroffen sind und sich allmählich eine Rauchschiicht ausbildet. Zu dieser Zeit ist ebenfalls der ordnungsgemäße Betrieb der fünf Abluftöffnungen im Glasdach zu erkennen. Am Ende der Simulationszeit hat sich eine stabile Rauchschiicht ausgeprägt. Leichte und vereinzelt Verwirbelungen der Rauchpartikel sind vor allem im Bug- und Heckbereich zu erkennen.

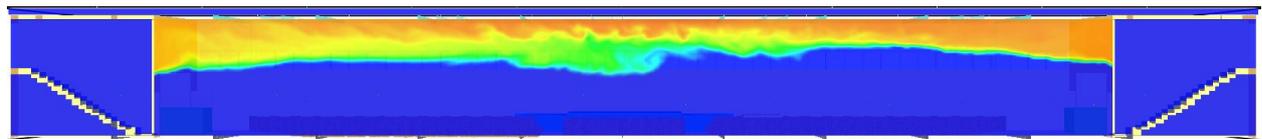
7.1.2 Erkennungsweiten

Mit den folgenden Bilderserien werden analog zur Verrauchung die Sichtweiten dargestellt. Die Abstufung erfolgt anhand einer Farbskala, wobei Dunkelblau die maximale Sichtweite¹ repräsentiert und Rot einer Sichtweite von 0 m entspricht. Die erste Serie zeigt die Sichtweiten entlang der Ebene des steuerbordseitig verlaufenden Fluchtweges. Eine ausklappbare Farbskala mit den zugeordneten Erkennungsweiten in Metern befindet sich im Anhang A.4.

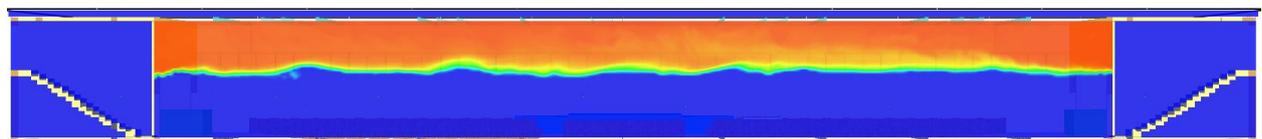
Die Einschränkung der Sichtweiten verhält sich analog zur oben dargestellten Verrauchung. Nach 120 s ist die Erkennungsweite direkt unterhalb der Decke auf etwa 18 m gefallen. Mit zunehmender Zeit verschlechtert sich die Sicht weiter. Dank der stabilen Rauchschiicht und der geringen Verwirbelungen sind die Sichtweiten unterhalb der Rauchschiicht nicht beeinträchtigt. Treppenhaus 1 und 2 weisen über die gesamte Simulationszeit keine Beeinträchtigungen auf.



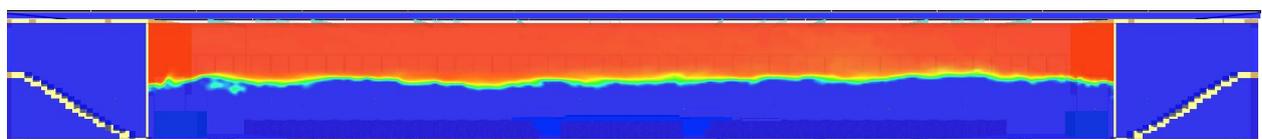
t = 120 s



t = 240 s



t = 360 s



t = 600 s

Abbildung 18: Erkennungsweite Szenarium 1 Steuerbord

¹ Die maximale Sichtweite ist in FDS standardmäßig mit 30 m angegeben. Blaue Bereiche weisen keine sichttrübenden Partikel auf.

Die Sichtweiten entlang der Ebene des backbordseitig verlaufenden Fluchtweges weisen die gleichen Eigenschaften auf.

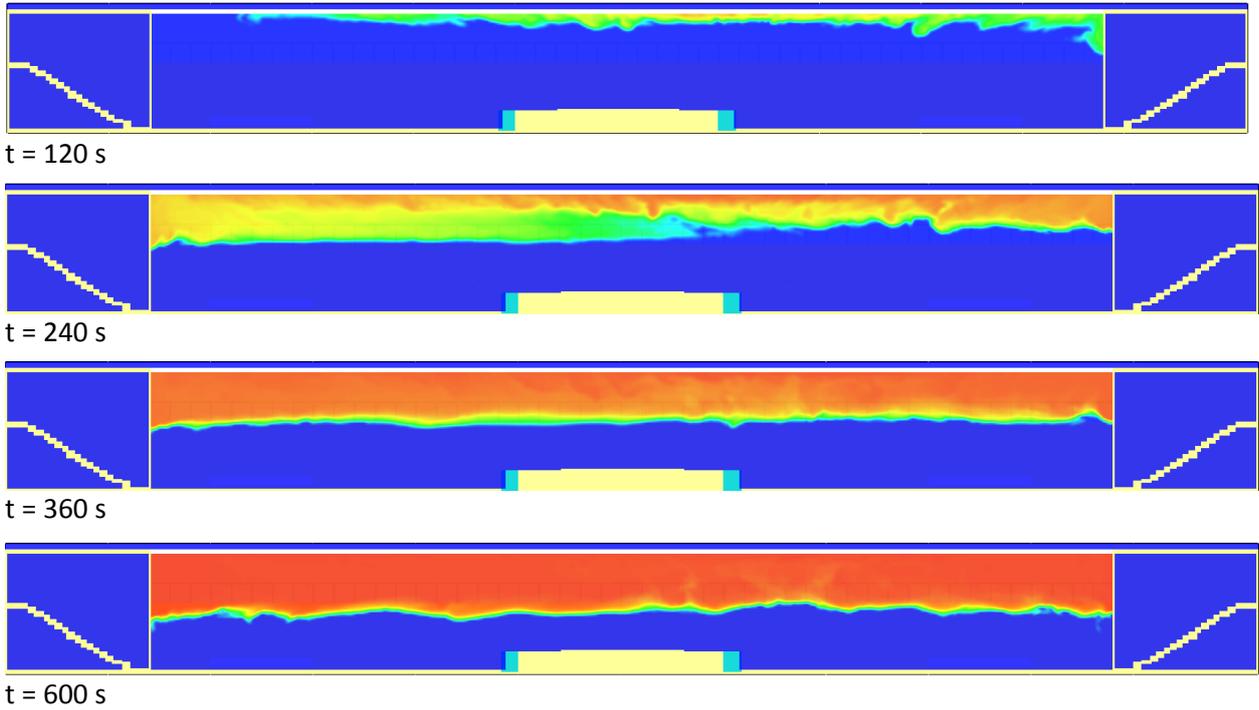


Abbildung 19:Erkennungsweite Szenarium 1 Backbord

Die folgende Draufsicht verdeutlicht nochmals die stabile Ausbildung der Rauchschicht und die daraus resultierende uneingeschränkte Sichtweite auf dem gesamten Unterdeck. Neben den Sichtbehinderungen direkt oberhalb des Brandherdes sind vereinzelte Einschränkungen unter der Zwischendecke des Hecks erkennbar. Sie treten erst am Ende der Simulation auf. Alle Zugänge zu den notwendigen Treppenhäusern sind uneingeschränkt erkennbar.

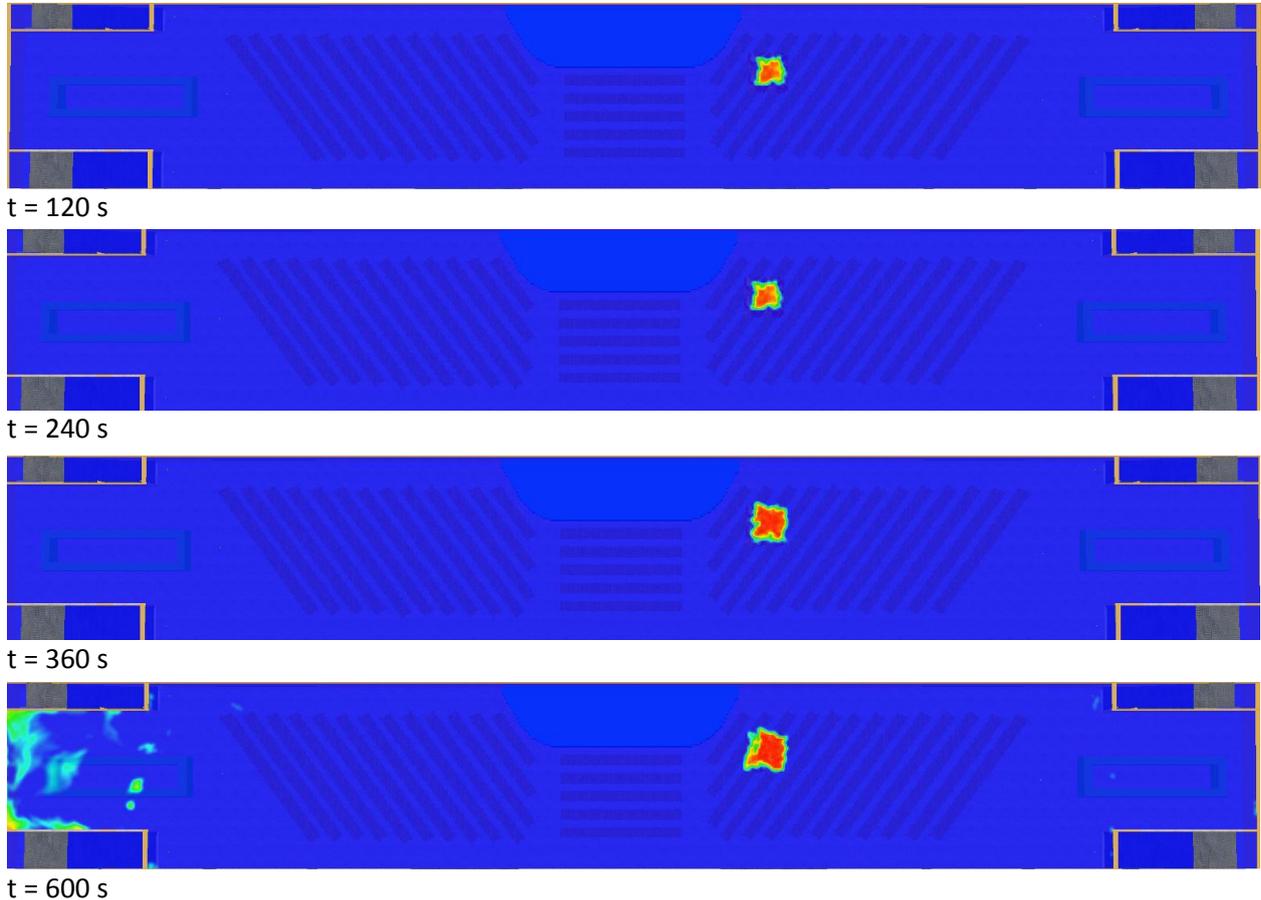


Abbildung 20: Erkennungsweite Szenarium 1 Draufsicht

7.1.3 Bestandteile der Umgebungsluft

Die Kohlendioxid-Konzentration verläuft mit einem steigenden Trend. Alle Messstellen verzeichnen eine Zunahme die wenig stark ausgeprägt ist. Zwischen den jeweiligen Treppenhäusern 1 – 3 und 2 – 4 ist ein Anstieg von ca. 0,005 Vol.-% aufgezeichnet worden. Die Messstellen „Treppe 2“ und „Treppe 3“ zeigen bei etwa 100 s bzw. 150 s Simulationszeit einen auffälligen positiven Ausschlag und gleichzeitig die Maximalwerte von 0,032 Vol.-% bzw. 0,043 Vol.-%. Danach kehren die Werte auf ein niedriges Niveau zurück und verhalten sich im weiteren Verlauf unauffällig.

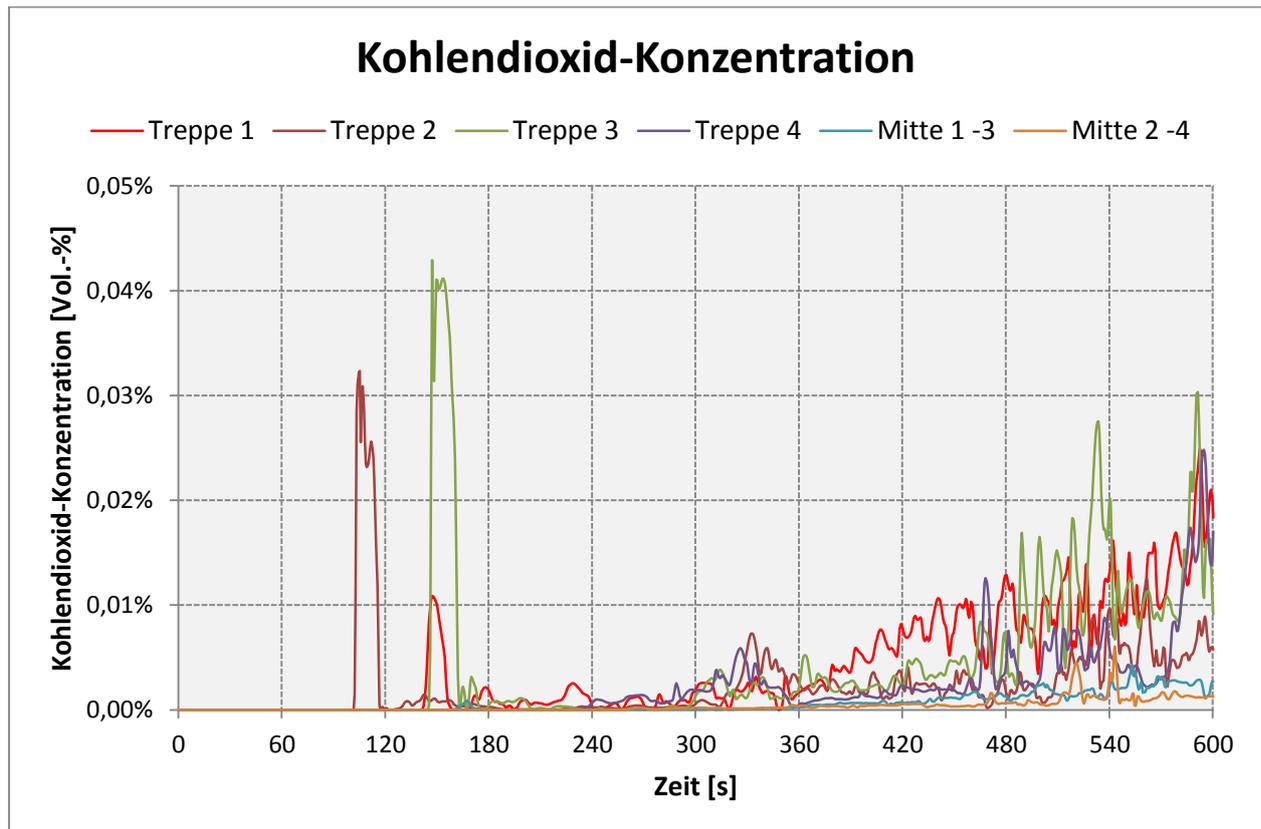


Abbildung 21: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 1

Die Kohlenmonoxid-Konzentration verläuft analog zur Kohlendioxid-Konzentration. „Treppe 2“ und „Treppe 3“ verzeichnen kurzzeitige Anstiege auf maximal 0,0017 Vol.-%. Abgesehen von diesen Maximalwerten bleiben die Konzentrationen deutlich unter 0,0008 Vol.-% (s. Abbildung 22).

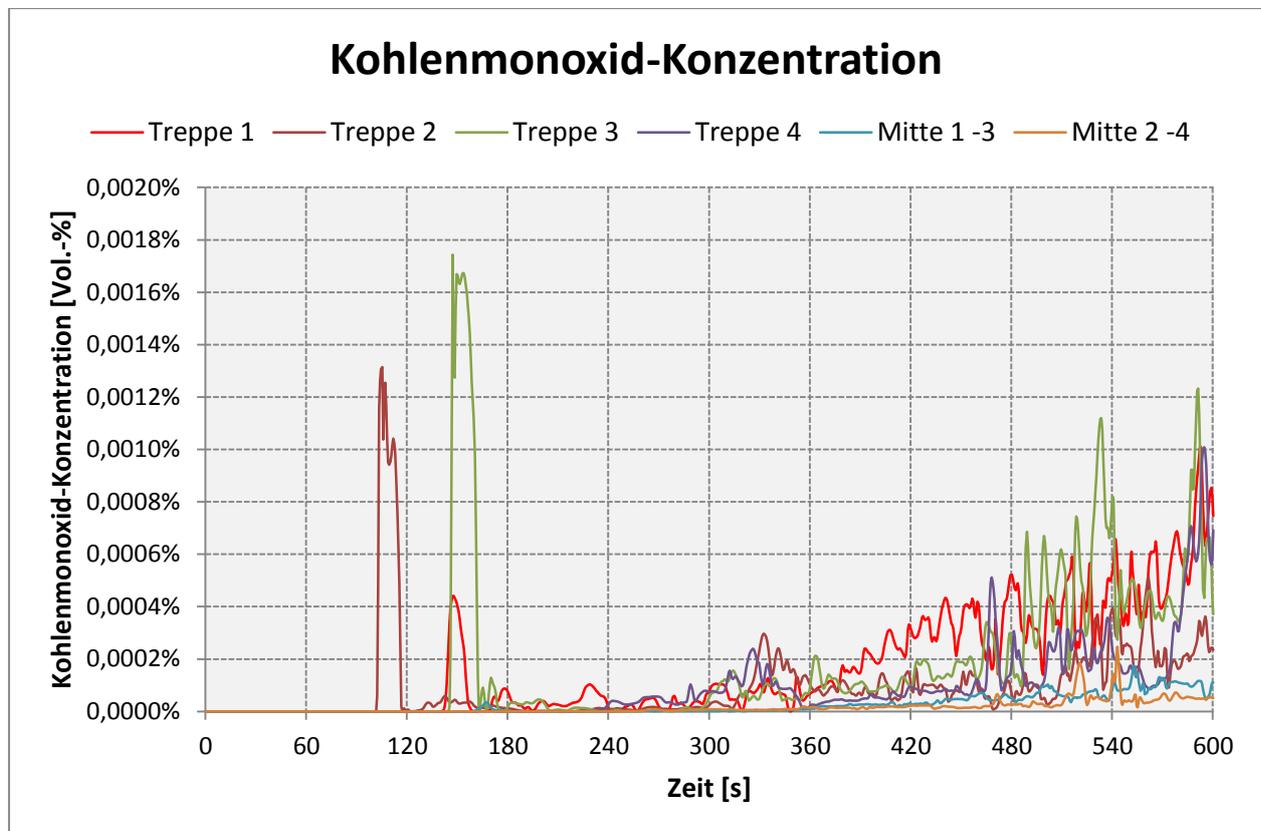


Abbildung 22: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 1

Der Anteil des Sauerstoffes an der Umgebungsluft ist auf 20,95 Vol.-% eingestellt. Nach 100 s ist dieser Ausgangswert an allen Messpunkten unverändert. Die Sauerstoff-Konzentration verhält sich genau gegenläufig zu den übrigen Bestandteilen der Luft. Eine auffällige Abnahme zur selben Zeit (100 s bzw. 150 s) ist ebenfalls erkennbar. Die Messpunkte verzeichnen eine Konzentration von 20,89 Vol.-% und 20,88 Vol.-%. Nach diesen beiden Auffälligkeiten kehren die Werte nahezu auf den Ausgangswert zurück und pendeln sich zwischen 20,95 Vol.-% und 20,90 Vol.-% ein.

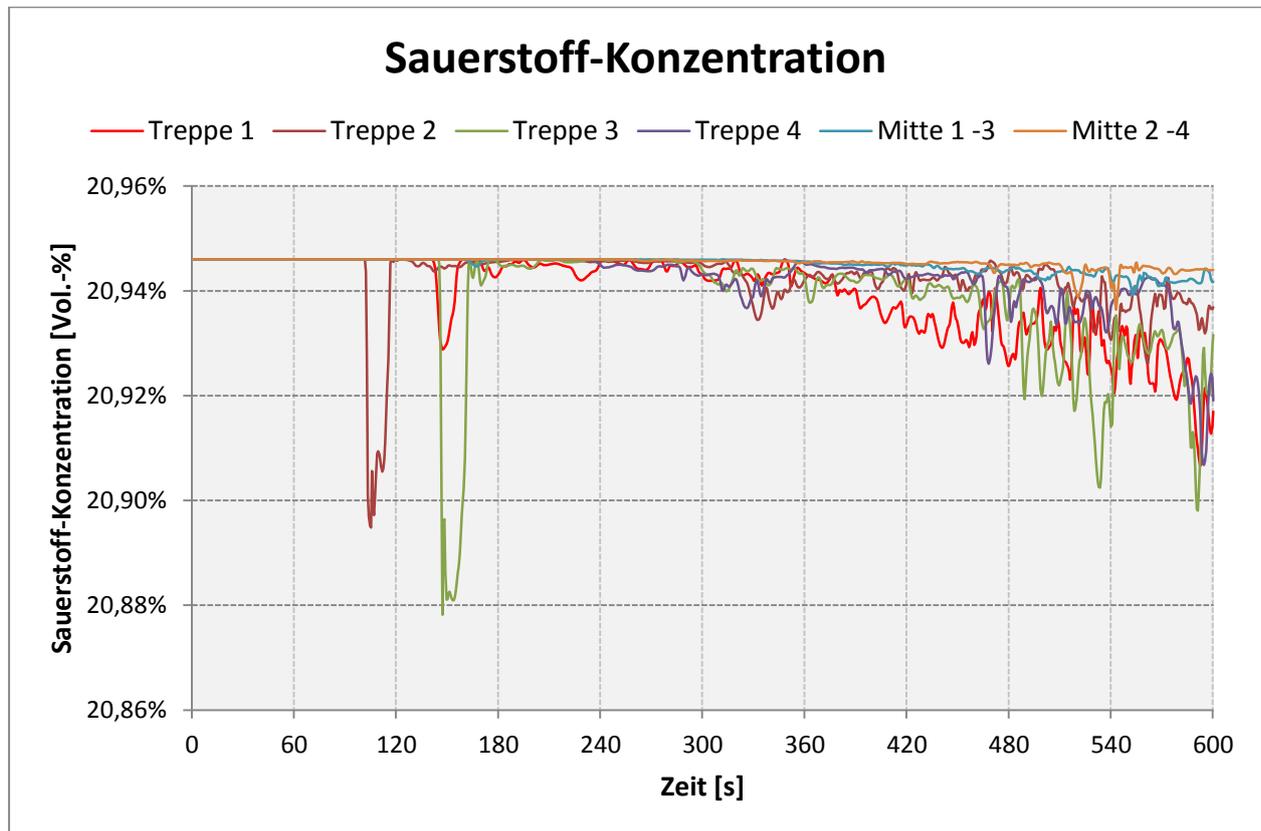


Abbildung 23: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 1

7.1.4 Temperatur

Die anfänglich definierte Umgebungstemperatur beträgt 20,0 °C. Nach ca. 100 s steigt dieser Wert am Messpunkt „Treppe 2“ sprunghaft auf 22,67 °C an und fällt nach wenigen Sekunden wieder auf 20 °C ab. „Treppe 3“ verhält sich nach weiteren 46 s ähnlich. Auch hier sind ein sprunghafter Anstieg und ein ebenso schneller Abstieg festzustellen. An allen Messpunkten stellt sich bis zu einer Zeit von etwa 300 s die Ausgangstemperatur ein, danach findet eine leichte Erhöhung statt. Zum Ende herrschen vor den Ausgängen Temperaturen von 20,5 – 21,2 °C. Zwischen den Treppenhäusern findet eine Temperaturzunahme von etwa 0,1 °C statt.

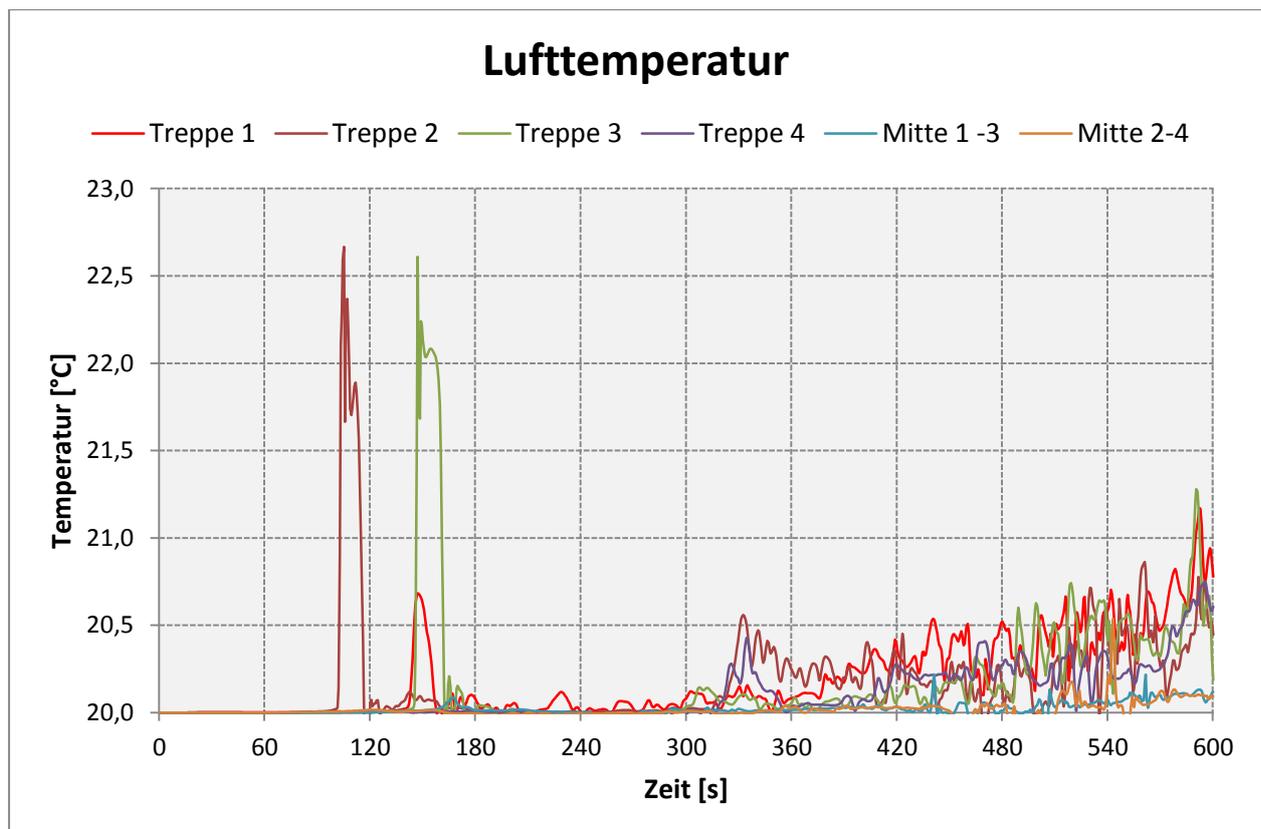


Abbildung 24: Temperatur Szenarium 1

7.2 Bemessungsbrandszenarium 2

Die Abbildungen und Diagramme zu den beschriebenen Effekten befinden sich im Anhang A.1.

7.2.1 *Rauchausbreitung*

In diesem Szenarium ist nach 30 s etwas Rauch im Heck direkt unterhalb der Zwischendecke zu erkennen. Der Rauchmelder über der Bar und ein weiterer unter dem Glasdach detektieren den Brand nach 41 s. Die Entrauchung wird zu diesem Zeitpunkt aktiviert. Deutlich erkennbar sind die Rußpartikel und andere sichtrübende Bestandteile nach 90 s. Rauch tritt über die Kante der Zwischendecke und beginnt sich entlang des Glasdaches in Richtung Bug auszubreiten. Der Ceiling Jet hat nach 180 s die Wand von Raum III erreicht, strömt Richtung Boden und beginnt sich unterhalb der Zwischendecke zu verteilen. Teile des Rauches entweichen über die Abluftöffnungen des Daches. Am Ende der Simulationszeit hat sich eine stabile Rauchschiicht ausgeprägt. Verwirbelungen der Rauchpartikel im Bug- und Heckbereich sind weniger stark ausgeprägt als in Szenarium 1 (s. Abbildung 33).

7.2.2 *Erkennungsweiten*

Ein erster sichtrübender Effekt entlang des steuerbordseitigen Fluchtweges zeigt sich nach 120 s, unmittelbar unter dem Glasdach im Heck. Die Sichtweite liegt hier vereinzelt bei etwa 20 m und verschlechtert sich mit zunehmender Zeit weiter. Nach 240 s beträgt die Sichtweite innerhalb der Rauchschiicht etwa 12 m. Dank Stabilität und geringer Verwirbelungen sind die Sichtweiten unter ihr nicht beeinträchtigt. Am Ende der Simulation sinkt die Sichtweite in der Rauchschiicht auf ca. 8 m. Innerhalb und zwischen Treppenhaus 1 und 2 sind maximale Sichtweiten zu verzeichnen (s. Abbildung 34).

In der Ebene des backbordseitig verlaufenden Fluchtweges zeigt sich ein nahezu identisches Bild. „Treppenhaus 4“ weist einen kleinen Unterschied auf. Im Bereich der Abluftöffnung ist eine hellblaue Färbung zu erkennen. Diese deutet eine auf 24 m reduzierte Sichtweite an. Die Sichtrübung wird über die Öffnung effektiv aufgelöst und ist nach der Stabilisierung der Rauchschiicht nicht mehr vorhanden (s. Abbildung 35).

Die Draufsicht offenbart nochmals die stabile Ausbildung der Rauchschiicht und die daraus resultierende, uneingeschränkte Sichtweite. Von Einschränkungen der Erkennungsweiten sind ausschließlich die Bereiche unterhalb der Zwischendecken betroffen. Am Ende der Simulation ist erkennbar, dass sich vor den Treppenhäusern 2 und 4 Sichtweiten von unter 18 m ergeben (s. Abbildung 36).

7.2.3 Bestandteile der Umgebungsluft

Mit Ausnahme von „Mitte 1-3“ steigen die Kohlendioxid-Werte aller Messpunkte 170 s nach Beginn der Simulation. Trotz dieser Zunahme liegen alle Werte deutlich unterhalb von 0,1 Vol.-%. Im weiteren Verlauf schwanken die Konzentrationen zwischen 0,0 Vol.-% und 0,3 Vol.-%. Nach 400 s verzeichnet „Treppe 4“ einen kurzzeitigen, sprunghaften Anstieg auf das Gesamtmaximum von 0,479 Vol.-%. Während der restlichen 200 s bleiben die Werte unterhalb von 0,2 Vol.-%. Zwei Ausnahmen bilden „Treppe 2“ und „Treppe 4“ zu den Zeitpunkten 464 s und 538 s mit Werten von 0,3 Vol.-% (s. Abbildung 37).

Der Verlauf der Kohlenmonoxid-Konzentration ist analog zur Kohlendioxid-Konzentration. „Treppe 2“ und „Treppe 4“ verzeichnen kurzzeitige Anstiege auf maximal 0,015 Vol.-%. Abgesehen von diesen Maximalwerten bleiben die Konzentrationen deutlich unter 0,01 Vol.-% (s. Abbildung 38).

Die Konzentration des Sauerstoffes verläuft gegenläufig. Auffälligkeiten ergeben sich zu den oben beschriebenen Zeitpunkten. Die minimale Konzentration wird am Messpunkt „Treppe 4“ aufgezeichnet und beträgt 20,12 Vol.-%. Nach 420 s stabilisieren sich die Werte bei 20,8 Vol.-% (s. Abbildung 39).

7.2.4 Temperatur

Ein erster Anstieg der Temperaturen auf 25 °C findet nach 170 s statt. „Treppe 2“ und „Treppe 4“ bilden die Messpunkte mit den höchsten Temperaturen, die zwischen 240 s und 420 s immer wieder bis zu 47 °C erreichen. Diese Spitzenwerte sind nur von kurzer Dauer und vielen Schwankungen ausgesetzt. Alle anderen Temperaturfühler messen Werte von 25 – 35 °C. Zum Zeitpunkt 600 s liegen die Temperaturen an jeder Stelle unter 27 °C (s. Abbildung 40).

7.3 Bemessungsbrandszenarium 3

Die Abbildungen und Diagramme zu den beschriebenen Effekten befinden sich im Anhang A.2.

7.3.1 Rauchausbreitung

Die Branddetektion und Aktivierung der Zu- und Abluftöffnungen finden nach 56 s statt. Nach einer Brandentwicklungszeit von 90 s bilden sich erste deutlich erkennbare Rauchgase unterhalb des Daches im Heck. Weitere 90 s später trifft der Ceiling Jet auf die gegenüberliegende Wand von Raum III und beginnt sich unterhalb der Zwischendecke zu verteilen. Der Bugbereich unterhalb der Zwischendecke beginnt sich mit Rauch zu füllen. Nach insgesamt 600 s hat sich in diesem Szenarium eine stabile Rauchschiicht ausgebildet. Nennenswerte Verwirbelungen sind nicht erkennbar. Die Entrauchungsöffnungen zeigen eine ordnungsgemäße Funktion (s. Abbildung 41).

7.3.2 Erkennungsweiten

Erste sich trübende Effekte stellen sich entlang des steuerbordseitigen Fluchtweges nach 120 s ein. Im Dachbereich des Hecks deuten die Farben auf eine Sichtweite von ca. 24 m hin. Die geringen Verwirbelungen sorgen für uneingeschränkte Sicht auf etwa 2,1 m Höhe. Innerhalb der Treppenhäuser ist die Sicht stets optimal (s. Abbildung 42).

In der Ebene des backbordseitigen Fluchtweges stellt sich ein gleiches Bild dar. Treppenhaus 4 bildet wieder eine Ausnahme. Zum Zeitpunkt 360 s färbt sich der Slice entlang der Innenwand kurz hellgrün, was auf eine Sicht von ca. 12 m schließen lässt. Diese Sichtbehinderung ist lokal, zeitlich begrenzt und löst sich unmittelbar auf (s. Abbildung 43).

Mithilfe der Draufsicht bestätigen sich die beschriebenen Sichtverhältnisse entlang der Fluchtwege. Von nennenswerten Einschränkungen der Erkennungsweiten ist ausschließlich der Bereich unterhalb der Zwischendecke im Bug betroffen. Am Ende der Simulation ist erkennbar, dass sich unmittelbar vor den Treppenhäusern 2 und 4 Sichtbehinderungen ergeben. Vor „Treppenhaus 4“ beträgt die Erkennungsweite unter 10 m (s. Abbildung 44).

7.3.3 Bestandteile der Umgebungsluft

Die Konzentration von Kohlendioxid bewegt sich zwischen 0,0 Vol.-% und 0,45 Vol.-%. Ein wirklicher Trend ist nicht erkennbar. Die charakteristischen starken Schwankungen der anderen Szenarien sind hier ebenfalls zu erkennen. Die Maxima werden an den Messpunkten „Treppe 2“ (427 s) und „Treppe 4“ (397 s) erreicht, während „Treppe 1“, „Treppe 3“, „Mitte 1-3“ und „Mitte 2-4“ grundsätzlich keine Konzentrationen über 0,2 Vol.-% aufzeichnen (s. Abbildung 45).

Der Verlauf der Kohlenmonoxid-Konzentration ist analog zur Kohlendioxid-Konzentration. „Treppe 2“ und „Treppe 4“ verzeichnen kurzzeitige Anstiege auf maximal 0,013 Vol.-%. Abgesehen von diesen Maximalwerten bleiben die Konzentrationen unter 0,01 Vol.-% (s. Abbildung 46).

Die gegenläufige und den gleichen Schwankungen unterworfenen Sauerstoff-Konzentration sinkt zu keiner Zeit unter 20,19 Vol.-%. Größtenteils liegt sie zwischen 20,95 Vol.-% und 20,40 Vol.-% (s. Abbildung 47).

7.3.4 Temperatur

Die Auffälligkeiten von „Treppe 2“ und „Treppe 4“ sind im Temperaturverlauf ebenso zu erkennen. Während sich die übrigen Werte in einem Bereich zwischen 20 °C und 31 °C aufhalten, erreichen die Temperaturen bei „Treppe 2“ und „Treppe 4“ einen Wert von bis zu 51,3 °C. Diese Spitzenwerte sind nur von kurzer Dauer und vielen Schwankungen ausgesetzt (s. Abbildung 48).

7.4 Bemessungsbrandszenarium 4

Die Abbildungen und Diagramme zu den beschriebenen Effekten befinden sich im Anhang A.3.

7.4.1 *Rauchausbreitung*

Die Branddetektion und Auslösung der Rauchabzugsanlage findet nach 49 s statt. Nach 90 s ist eine erste Ausbreitung des Ceiling Jets in Richtung Heck und Bug zu beobachten. Diese Gleichmäßigkeit ergibt sich durch die zentrale Position des Brandherdes. Nach 180 s hat sich der Rauch entlang der Längsachse bis hin zu den Wänden von Raum II und III verteilt und beginnt sich weiter Richtung Boden auszubreiten. Die Bereiche unter den Zwischendecken weisen erste Rauchbelastungen auf. Zum Ende der Simulationszeit hat sich in diesem Szenarium eine stabile Rauchschiicht gebildet. Minimale Verwirbelungen sind im Grenzbereich von raucharmer Schicht und Rauchschiicht sichtbar. Die vorhandene Thermik bedingt die gewünschte Funktion der natürlichen Entrauchung (s. Abbildung 49).

7.4.2 *Erkennungsweiten*

Erste sichtrübende Effekte entlang des steuerbordseitigen Fluchtweges treten nach 120 s in der Mitte des Daches auf. Die Sichtweiten innerhalb der Rauchschiicht verschlechtern sich im weiteren Verlauf. Dank der Stabilität und Trennung der einzelnen Schichten wird die Sicht entlang des Fluchtweges nicht behindert (s. Abbildung 50).

Zwischen den Treppenhäusern 3 und 4 zeigen sich keinerlei erwähnenswerte Unterschiede in der Ausprägung der Sichtverhältnisse (s. Abbildung 51).

In der Draufsicht bestätigt sich die Annahme einer stabilen Rauchschiicht und zeigt, dass die gesamte horizontale Ebene keinen Sichteinschränkungen ausgesetzt ist (s. Abbildung 52).

7.4.3 *Bestandteile der Umgebungsluft*

Der Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration weist auf den ersten Blick extreme Schwankungen auf. Sie spielen sich in Bereichen von unter 0,035 Vol.-% ab. Im Vergleich mit den anderen Szenarien liegt die Konzentration in einem Bereich, der um den Faktor 1/10 kleiner ist. Nach 120 s steigen die Werte aller Messpunkte sprunghaft an. Wenige Sekunden danach fallen sie auf ein Niveau von unter 0,005 Vol.-%. Starke Schwankungen im weiteren Verlauf lassen keinen klaren Trend erkennen. Insgesamt bewegen sich die Werte im Bereich von 0,005 – 0,03 Vol.-%. Das Maximum von 0,036 Vol.-% verzeichnet „Treppe 2“ kurz vor Ende der Simulation (s. Abbildung 53).

Die analog ablaufende Kohlenmonoxid-Konzentration ist ebenfalls um den Faktor 1/10 geringer als die Werte der vorangegangenen Szenarien. Der Spitzenwert liegt bei knapp über 0,001 Vol.-% im

Messpunkt „Treppe 2“. Abgesehen von wenigen Ausläufern liegen die Werte die meiste Zeit unterhalb von 0,0008 Vol.-% (s. Abbildung 54).

Die zu Kohlendioxid und Kohlenmonoxid gegenläufige Sauerstoff-Konzentration ist kaum beeinträchtigt. Zu keiner Zeit liegen die Werte unter 20,88 Vol.-% (s. Abbildung 55).

7.4.4 Temperatur

Der Temperaturverlauf ist unauffällig und zeigt keine nennenswerten Ereignisse. Die Höchsttemperatur beträgt zum Zeitpunkt 140 s etwa 22,6 °C. Nach einem schnellen Abfallen auf unter 20,5 °C steigen die Temperaturen im weiteren Verlauf an. Größtenteils pendeln alle Messstellen zwischen Werten von 20,0 °C und 22,0 °C (s. Abbildung 56).

8 Bewertung der Personensicherheit und Diskussion der Ergebnisse

Für die Bewertung der Personensicherheit werden die Ergebnisse der Brandsimulationen und die Ergebnisse der Evakuierungssimulationen von Herrn Tittelbach miteinander verknüpft. Das Prinzip dieses Vorgehens begründet sich in der Annahme, dass anwesende Personen die Örtlichkeiten selbstständig verlassen können bevor untragbare, brandinduzierte Konditionen entstehen.

Zur Quantifizierung werden zwei Zeitspannen herangezogen. Die Zeit die verfügbar ist, um einen sicheren Ort zu erreichen (engl.: Available Safe Egress Time; ASET) und die Zeit die benötigt wird, um diesen Ort zu erreichen (engl.: Required Safe Egress Time; RSET) (26). RSET repräsentiert die Zeit, die alle Personen bis zum Erreichen eines der notwendigen Treppenhäuser benötigen. Dies entspricht der vollständigen Evakuierung des Unterdecks. Die Auswertung von festgelegten Brandkenngrößen und die Einhaltung der jeweiligen Grenzwerte repräsentieren die Zeitspanne ASET und werden im folgenden Kapitel näher beschrieben und diskutiert.

8.1 Grenzwerte und Auswirkungen ausgewählter Einflussgrößen

Unter dem Gesichtspunkt der Selbstrettung von Personen werden folgende veränderliche Einflussgrößen betrachtet:

1. Erkennungsweite
2. Höhe der raucharmen Schicht
3. Bedingungen innerhalb der raucharmen Schicht
 - a. Konzentration narkotisierender Gase
 - b. Sauerstoff-Konzentration
 - c. Temperatur

Die Erkennungsweite sollte mindestens 10 m betragen (4). Bei der Festlegung eines Grenzwertes für die Höhe der raucharmen Schicht schwanken die Werte teils erheblich. So können Literatur und Regelwerken Höhen zwischen 1,5 m (3) und 2,5 m (11) entnommen werden¹. Die schwedische Bauordnung sieht vor, die Bemessung in Abhängigkeit der Formel $1,6 m + 0,1 \cdot \text{Höhe des Raumes}$ vorzunehmen (27). In dieser Arbeit wird anhand der verwendeten Messebenen und -punkten die Bewertung der raucharmen Schicht auf 2,0 m Höhe durchgeführt.

¹ 2,5 m gelten für Versammlungsstätten > 1000 m²

Als wichtigste Vertreter der narkotisierenden Gase gelten Kohlenmonoxid, Kohlendioxid¹ und Cyanwasserstoff. Der Mangel an Sauerstoff hat ebenfalls narkotisierende Wirkungen (28) muss aber bei der Verwendung bestimmter Grenzwerte aufgrund von thermodynamischen Zusammenhängen zwischen Schadstoff- und Sauerstoffkonzentrationen nicht zwingend als individuelles Kriterium betrachtet werden (4). Wegen der vordefinierten Verbrennung werden nur die toxischen Brandrauchbestandteile Kohlenmonoxid und Kohlendioxid betrachtet. Die Bewertung der Sauerstoffkonzentration erfolgt ebenfalls. Üblicherweise werden Kohlenmonoxid-Konzentrationen in der Literatur in der Maßeinheit ppm (parts per million) angegeben. Der Übersicht halber werden diese Angaben im Folgenden ebenfalls in Vol.-% umgerechnet und entsprechend dargestellt. In Tabelle 8 sind die Grenzwerte für oben beschriebene Bestandteile zusammengefasst.

Tabelle 8: Grenzwerte narkotisierender Gase

Gas	Grenzwerte für	
	Erhalt der Handlungsfähigkeit für 30 min (4)	Bewusstlosigkeit nach 30 min (29)
Kohlenmonoxid	100 ppm (\cong 0,01 Vol.-%)	1400 ppm (\cong 0,14 Vol.-%)
Kohlendioxid	1 Vol.-%	6 Vol.-%
Sauerstoff	< 15 Vol.-%	< 12 Vol.-%

Da eine wirksame und sichere Selbstrettung überprüft werden soll, werden die strengen Grenzwerte zum Erhalt der Handlungsfähigkeit als Maßstab verwendet. Sie berücksichtigen die Wechselwirkungen von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Cyanwasserstoff und Sauerstoff. Selbst unter starker körperlicher Belastung und einer maximalen Expositionsdauer von 30 min liegt der berechnete Fractional Effective Dose (FED) – Quotient deutlich unter der Grenze für Handlungsunfähigkeit (4 S. 254). Der FED-Quotient gibt auf einer Skala von 0 – 1 an, wie stark die Auswirkungen auf den Körper sind. 0 bedeutet keine Einschränkungen, 1 bedeutet Bewusstlosigkeit (29). Mithilfe der in Kapitel 6.4 erläuterten Messpunkte können die gestellten Anforderungen auf einer Höhe von 2,0 m bewertet werden.

Der einzuhaltende Höchstwert der Umgebungstemperatur unterhalb der Rauchsicht beträgt 45 °C (4).

¹ Kohlendioxid steigert in niedrigen Konzentrationen die Atmungsrate und somit die Aufnahme von anderen Schadstoffen. Die narkotisierenden Eigenschaften treten erst bei höheren Konzentrationen auf (28)

8.2 ASET aus Brandsimulation

Für die Bewertung der Erkennungsweite und der Höhe der raucharmen Schicht wurde die aus Kapitel 7 bekannte Art der Darstellung abgeändert. Bei Erkennungsweiten von mehr als 10 m gilt dieses Schutzziel als erreicht. Aus diesem Grund erstreckt sich die Farbskala von 0 m bis 10 m. Alle Bereiche die schwarz eingefärbt sind weisen Sichtweiten von mindestens 10 m auf. Jede andere Farbe repräsentiert weniger als 10 m. Eine ausklappbare Farbskala ist im Anhang A.5 zu finden. Jede der folgenden Bilderserien zeigt die Entwicklung der Sichtweiten während der letzten 18 s.

Die Sichtweiten in Szenarium 1 sind als durchweg gut zu bewerten. Es bilden sich zu keiner Zeit Sichtbehinderungen in den kritischen Bereichen vor den Ausgängen. Auftretende, sichtrübende Effekte beschränken sich auf vereinzelte Punkte und lösen sich nach wenigen Sekunden auf. Eine raucharme Schicht kann auf einer Höhe von mindestens 2,0 m angenommen werden. Die Schutzziele „raucharme Schicht > 2,0 m“ und „Sichtweiten > 10 m“ sind für Szenarium 1 bis zum Ende der Simulationszeit als erfüllt anzusehen.



t = 582 s



t = 588 s



t = 594 s



t = 600 s

Abbildung 25: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 1 Draufsicht

Szenarium 2 zeigt im Bereich der heckseitigen Zwischendecke deutlich Sichtweiten von unter 10 m. Wichtige Bereiche vor den Ausgängen bleiben von diesen Einschränkungen unberührt. Sichttrübende Effekte vor den Türen lösen sich nach wenigen Sekunden auf. Eine raucharme Schicht kann auf einer Höhe von mindestens 2,0 m angenommen werden. Die Schutzziele „raucharme Schicht > 2,0 m“ und „Sichtweiten > 10 m“ sind für Szenarium 2 bis zum Ende der Simulationszeit als erfüllt anzusehen.



t = 582 s



t = 588 s



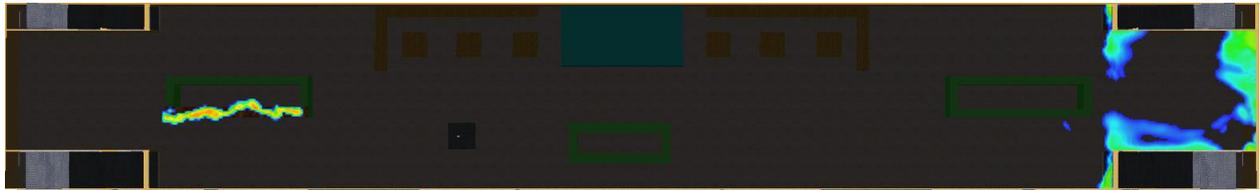
t = 594 s



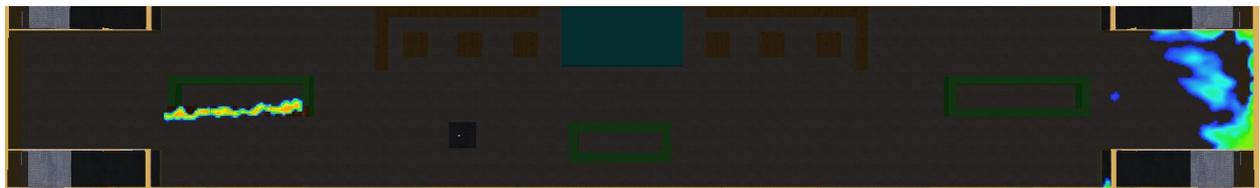
t = 600 s

Abbildung 26: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 2 Draufsicht

Die Sichtweiten in Szenarium 3 stellen sich ebenfalls sehr positiv dar. Es bilden sich wenige Einschränkungen vor den beiden Ausgängen im Bug, welche sich nach kurzer Zeit auflösen. Eine raucharme Schicht kann auf einer Höhe von mindestens 2,0 m angenommen werden. Die Schutzziele „raucharme Schicht > 2,0 m“ und „Sichtweiten > 10 m“ sind für Szenarium 3 bis zum Ende der Simulationszeit als erfüllt anzusehen.



t = 582 s



t = 588 s



t = 594 s



t = 600 s

Abbildung 27: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 3 Draufsicht

Die Sichtweiten in Szenarium 4 sind als durchweg gut zu bewerten. Es bilden sich zu keiner Zeit Sichtbehinderungen in den kritischen Bereichen vor den Ausgängen. Unterhalb der Zwischendecken treten keine Einschränkungen auf. Eine raucharme Schicht kann auf einer Höhe von mindestens 2,0 m angenommen werden. Die Schutzziele „raucharme Schicht > 2,0 m“ und „Sichtweiten > 10 m“ sind für Szenarium 4 bis zum Ende der Simulationszeit als erfüllt anzusehen.

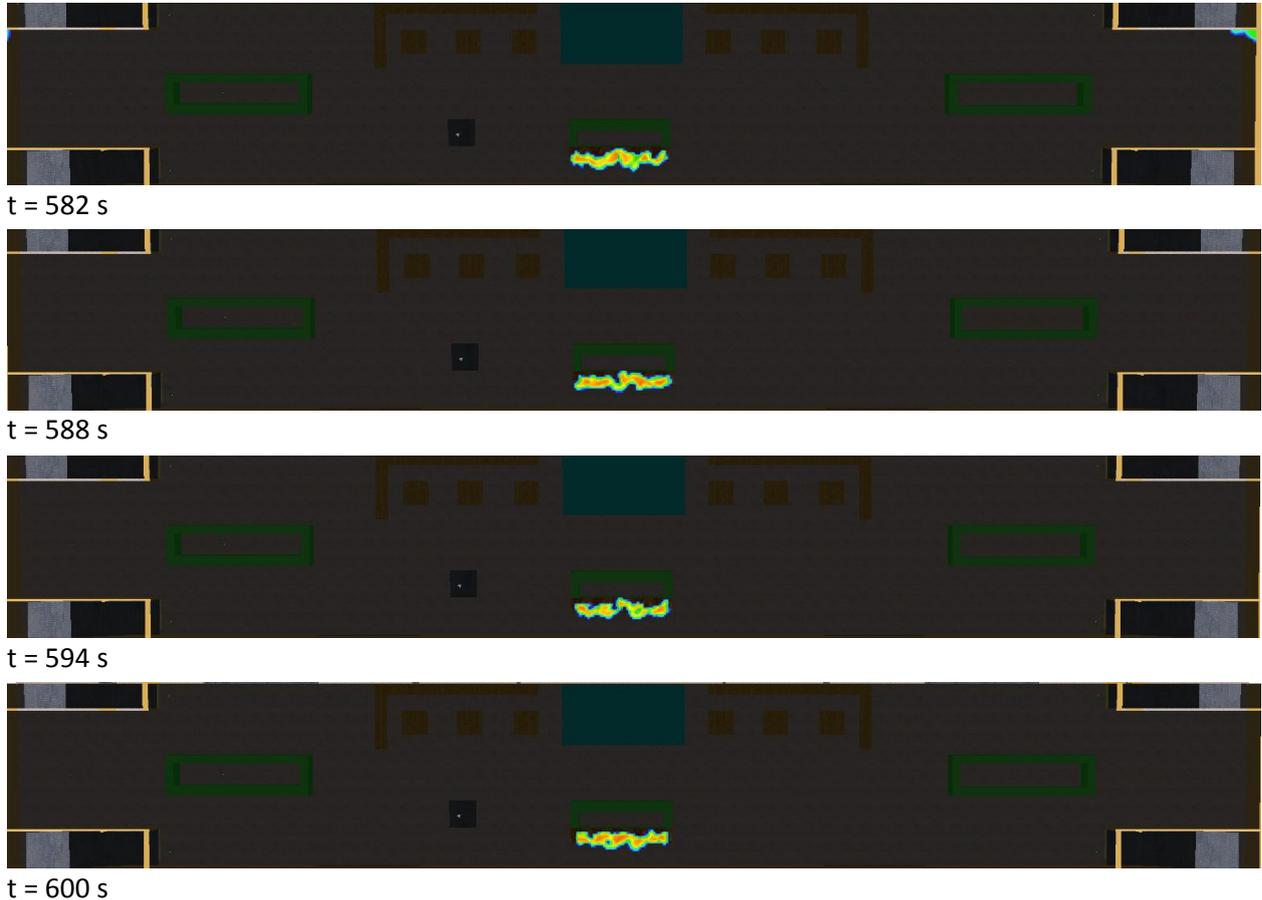


Abbildung 28: Bewertung Erkennungsweite Szenarium 4 Draufsicht

Anhand der folgenden Diagramme werden die schlechtesten Messwerte der einzelnen Szenarien zusammengefasst, um eine übersichtliche Bewertung zu ermöglichen. Neben den gemessenen Werten sind die, in Kapitel 8.1, verwendeten Grenzwerte eingezeichnet.

Allen Szenarien gemeinsam ist, dass die Kohlendioxid-Konzentration deutlich unter der Grenze von 1 Vol.-% liegt. Zu keiner Zeit werden kritische Werte innerhalb der raucharmen Schicht aufgezeichnet.

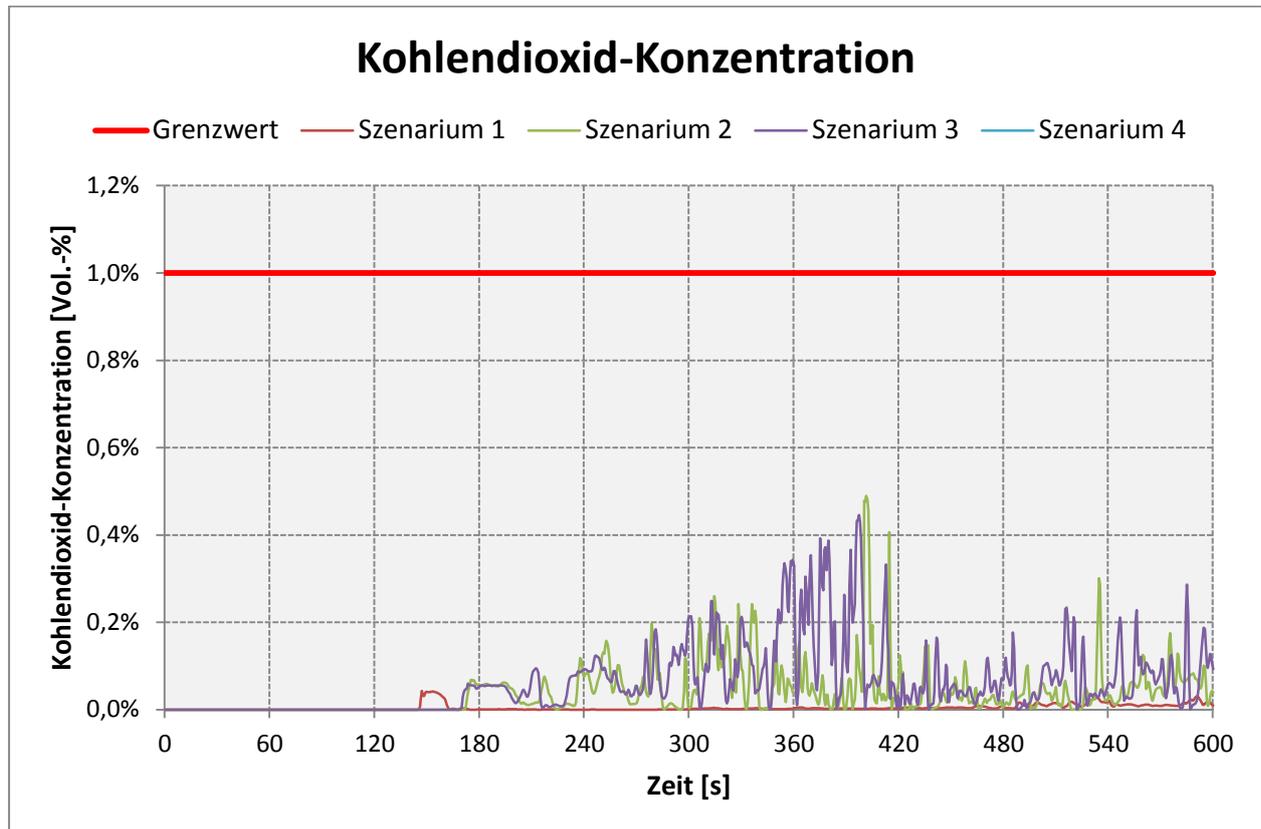


Abbildung 29: Bewertung Kohlenmonoxid-Konzentration alle Szenarien

Szenarium 2 und 3 überschreiten das Bewertungskriterium von Kohlenmonoxid einige Male. Die Grenze wird wenige Sekunden später unterschritten und bleibt nie für längere Zeit über dem Grenzwert. In Anbetracht der Tatsache, dass eine Exposition von bis zu 30 min berücksichtigt wird, kann das Kriterium „Kohlenmonoxid-Konzentration“ als erfüllt angesehen werden.

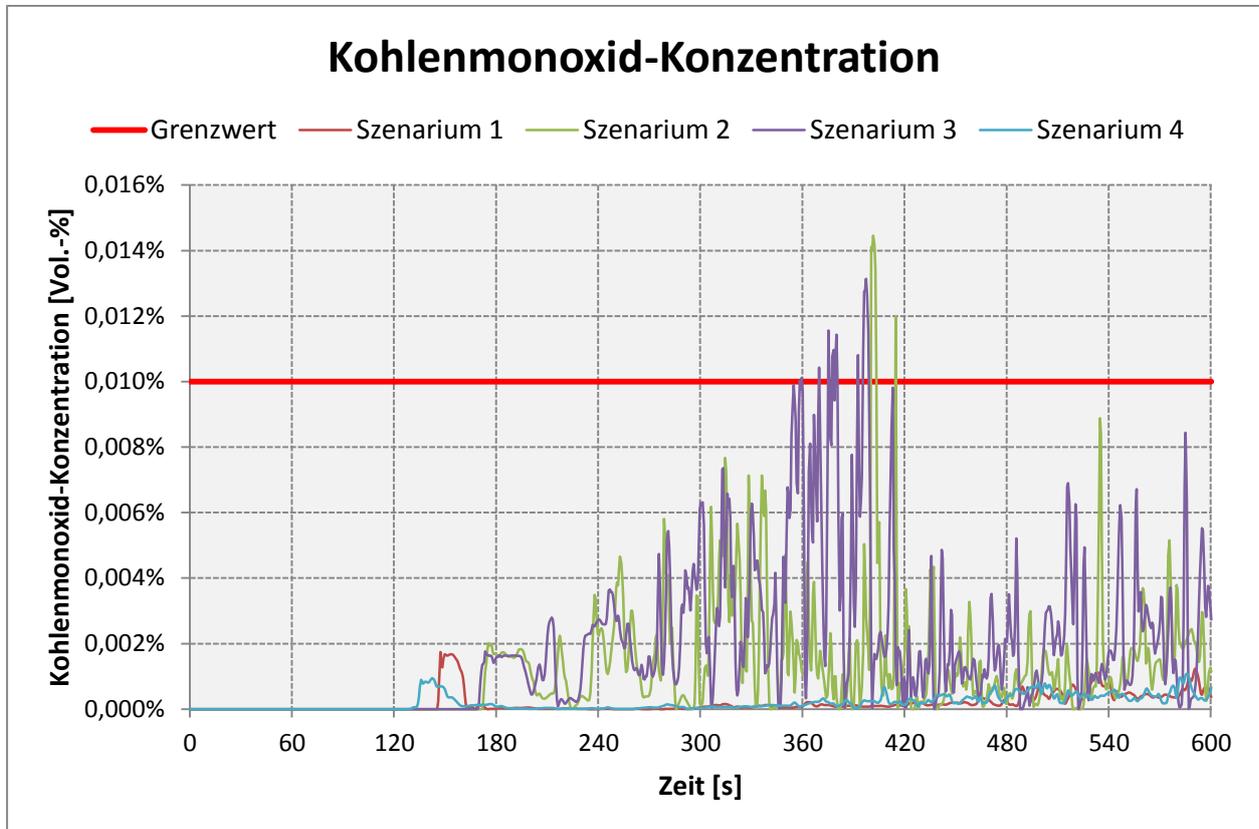


Abbildung 30: Bewertung Kohlenmonoxid-Konzentration alle Szenarien

Erwartungsgemäß wird der Grenzwert der Sauerstoff-Konzentration zu keiner Zeit, in keinem Szenarium erreicht.

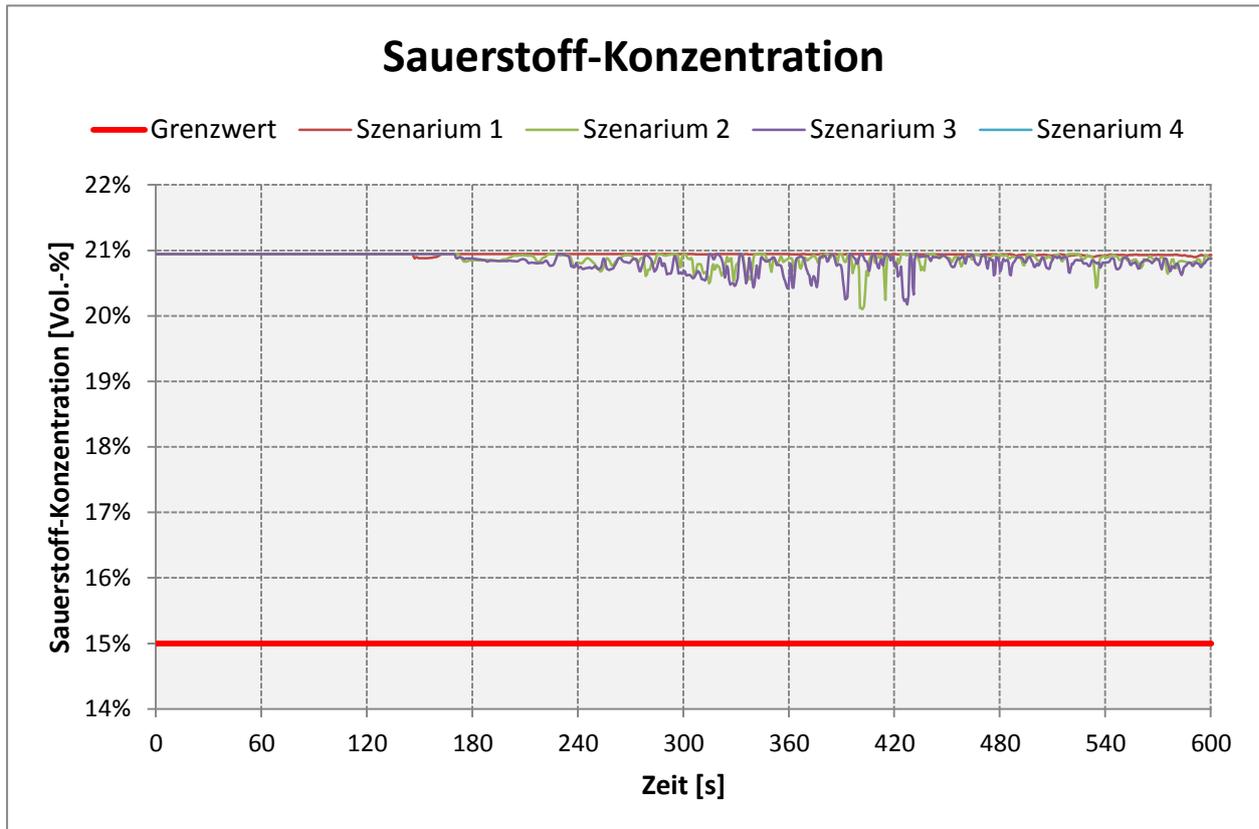


Abbildung 31: Bewertung Sauerstoff-Konzentration alle Szenarien

Bei einer Betrachtung der Temperatur ist zu erkennen, dass der gewählte Grenzwert von 45 °C in den Szenarien 2 und 3 kurzzeitig um wenige Grad überstiegen wird. Für dieses Kriterium gilt ebenfalls eine Expositionszeit von 30 min. Die aufgezeichneten Messspitzen beschränken sich auf deutlich unter 1 min.

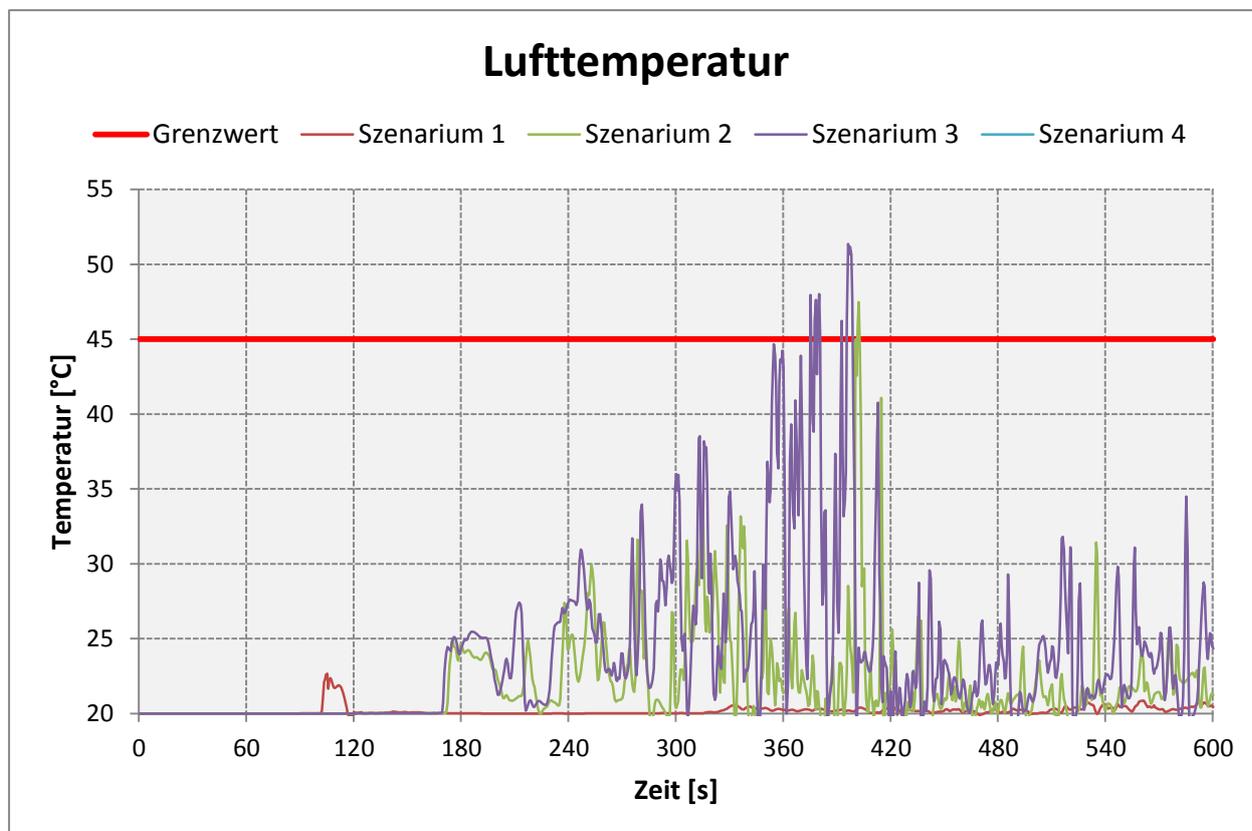


Abbildung 32: Bewertung Temperatur alle Szenarien

Allen Szenarien ist eine Einhaltung aller Grenzwerte zu bescheinigen. Die verfügbare Räumungszeit beträgt 600 s.

8.3 Bewertung der Ergebnisse

Es ist deutlich erkennbar, dass Zusammenhänge zwischen Rauchausbreitung und den Bestandteilen der Luft bestehen. Je geringer die Konzentration von in der Luft enthaltenen Rauchpartikeln, umso besser die übrige Luftqualität. Bei genauer Betrachtung der Rauchausbreitung ist erkennbar, dass die verwendeten Messpunkte immer dann erhöhte Werte aufzeichnen, wenn sichtbarer Rauch in deren Bereich auftritt. Durch Höhe und Stabilität der Rauchsicht werden keine bedenklichen Werte erreicht. Die Abschließende Bewertung der Personensicherheit erfolgt durch Berechnung der Sicherheitsspanne. Diese ergibt sich aus der Differenz von ASET und RSET. Tabelle 9 zeigt, dass die verfügbaren Räumungszeiten stets über den benötigten Räumungszeiten der einzelnen Szenarien liegen. Im Ergebnis bedeutet dies positive Sicherheitsspannen und damit einen Nachweis der sicheren Nutzung.

Tabelle 9: Ermittelte ASET, RSET und berechnete Sicherheitsspanne

Szenarium	ASET [min:s]	RSET [min:s] (21)	Sicherheitsspanne [min:s]
1 (Theater Sitzreihe)	10:00	07:46	02:14
2 (Theater Bar)	10:00	08:41	01:19
3 (Disko Bar Heck)	10:00	07:03	02:57
4 (Disko Bar Mitte)	10:00	08:09	01:51

9 Fazit und Empfehlungen

Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war die Modellierung und Überprüfung der sicheren Nutzung einer schwimmenden Versammlungsstätte.

Zu diesem Zweck wurden Gesetze, Normen und Empfehlungen aus Land- und Schiffbau verglichen und deren Prinzipien erarbeitet. Neben den Unterschieden in der technischen Umsetzung wurde klar, dass die gleichen brandschutztechnischen Ziele verfolgt werden. Die Wirksamkeit der getroffenen Annahmen wurde im Hinblick auf die Personensicherheit überprüft und bewertet. Betrachtete Kriterien umfassten die Messung von Sichtweiten, brandinduzierten Schadstoffen und Temperaturen. Dabei ergab sich, dass die vereinbarten Grenzwerte nicht bzw. nur für sehr kurze Zeiträume überschritten wurden.

Anhand von Brandsimulationen konnte gezeigt werden, dass die verfügbaren Räumungszeiten einzig durch die Länge der Simulationszeit begrenzt wurden. Nach der Verknüpfung mit den Ergebnissen aus Herrn Tittelbachs Bachelorarbeit ergab sich, dass die verfügbaren Räumungszeiten stets über den benötigten Räumungszeiten lagen und daraus ausschließlich positive Sicherheitsspannen resultierten.

Aufgrund dieser Feststellung kann darauf geschlossen werden, dass eine sichere Nutzung möglich ist. Vor einer Umsetzung müssen genaue Angaben über die späteren Brandlasten bekannt sein und weitere Szenarien berücksichtigt werden. Die Verwendung anderer Materialien, eine geänderte Aufteilung der Räume, die tatsächliche Deckenhöhe und die Anordnung der Inneneinrichtung können schwer absehbare Veränderungen der Rauchausbreitung herbeiführen.

Im Rahmen der betrachteten Szenarien kann abschließend gesagt werden, dass ein nach den Prinzipien zur Schutzzielerfüllung umgebauter Leichter eine sichere Nutzung als Versammlungsstätte zulässt.

Literaturverzeichnis

1. **Theaterschiff Bremen e.V.** Service & Infos. [Online] [Zitat vom: 23. Februar 2014.]
<http://www.theaterschiff-bremen.de/>.
2. **Schneider, U., Kersken-Bradley, M., Kolb, T., Lebeda, C., Max, U., Mehl, F.** *Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz*. [Hrsg.] W. J. Bartz, H-J. Mesenholl und E. Wippler. Renningen : expert verlag, 2011. Bd. 531. ISBN 978-3-8169-3014-3.
3. **VdS Schadenverhütung GmbH.** *VdS 2827 Bemessungsbrände für Brandsimulationen und Brandschutzkonzepte*. Köln : VdS Schadenverhütung, 2000.
4. **Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.** *Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes*. Altenberge : Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2009. S. 386.
5. **International Maritime Organization.** History of IMO. [Online] [Zitat vom: 13. Dezember 2013.]
<http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>.
6. —. Resolution A.1011(26) - STRATEGIC PLAN FOR THE ORGANIZATION. London : s.n., 2010.
7. —. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. [Online] [Zitat vom: 13. Dezember 2013.]
[http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx).
8. **Geschäftsstelle der Bauministerkonferenz bei der Vertretung des Landes Nordrhein-Westfalen.** Wir über uns. [Online] [Zitat vom: 12. Dezember 2013.]
<http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=762&o=7590762>.
9. **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Referat L22 Internet und Intranet.** Bauministerkonferenz (ARGEBAU). [Online] [Zitat vom: 16. Dezember 2013.]
<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/SW/bauministerkonferenz-argebau.html>.
10. **VdS Schadenverhütung GmbH.** *Unterlagen zum VdS-Lehrgang "Brandschutzbeauftragte"*. Köln : VdS Schadenverhütung Bildungszentrum & Verlag, 2011, Kapitel 2 - Rechtsgrundlagen, Technische Bestimmungen. Nicht öffentlich zugängliche Quelle.
11. **Bauministerkonferenz (ARGEBAU).** *Musterbauordnung*. Fassung November 2002. Saarbrücken : s.n., 2002. Zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012.
12. **International Maritime Organization.** *International Convention for the Safety of Life at Sea*. Consolidated Edition, 2013. London : s.n., 1974, Chapter II-2 - Construction - Fire protection, fire detection and fire extinction. Incorporating all amendments in effect from 1st January 2013.
13. **Bauministerkonferenz (ARGEBAU).** *Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten*. Fassung Juni 2005. Saarbrücken : s.n., 2005. Zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2010.
14. **VdS Schadenverhütung GmbH.** *Unterlagen zum VdS-Lehrgang "Brandschutzbeauftragte"*. Köln : VdS Schadenverhütung Bildungszentrum & Verlag, 2011, Kapitel 5 - Baulicher Brandschutz. Nicht öffentlich zugängliche Quelle.

15. **Willems, W. M.** *Formeln und Tabellen Bauphysik*. Wiesbaden : Springer, 2007. ISBN: 987-3-8348-0303-0.
16. **Deutsches Institut für Normung e. V.** DIN 4102-2. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*.
17. —. DIN 4102-3. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*.
18. —. DIN 18234. *Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer - Brandbeanspruchung von unten* .
19. **ARGEBAU Fachkommission Bauaufsicht.** *Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten*. Saarbrücken : s.n., 2010.
20. **International Maritime Organization.** *International Code for Fire Safety Systems*. London : s.n., 2014.
21. **Tittelbach, J.** Sicherheitsrelevante Maßnahmen im Land- und Schiffbau. *Evakuierungsrelevante Betrachtungen einer schwimmenden Versammlungsstätte*. Hamburg : s.n., 2014.
22. **National Institute of Standards and Technology.** *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg : s.n., 2010.
23. **Jin, T.** Visibility and Human Behavior in Fire Smoke. [Buchverf.] National Fire Protection Association. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy : National Fire Protection Association, 2002.
24. **Tewarson, A.** Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. [Buchverf.] National Fire Protection Association. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3. Edition. Quincy : National Fire Protection Association, 2002. ISBN: 087765-451-4.
25. **Robbins, A.P. und Wade, C.A.** *Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies*. BRANZ Ltd. Porirua : s.n., 2007. ISSN: 1178-4938.
26. **Yeoh, G. H. und Yuen, K.K.** *Computational fluid dynamics in fire engineering: Theory, Modelling and Practice*. s.l. : Butterworth-Heinemann, 2009. ISBN: 978-0-7506-8589-4.
27. **BBR Boverkets Byggregler.** *Swedish Building Regulations*. The National Board of Housing, Building and Planning. Karlskrona : s.n., 1998.
28. **Forell, B.** *Einteilung, Quellterme und Bewertung der akuten Toxizität von Brandrauch*. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH. Köln : s.n., 2009.
29. **Purser, D. A.** Toxicity Assessment of Combustion Products. [Buchverf.] National Fire Protection Association. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy : s.n., 2002.

A. Anhang

A.1 Diagramme und Abbildungen zu 7.2

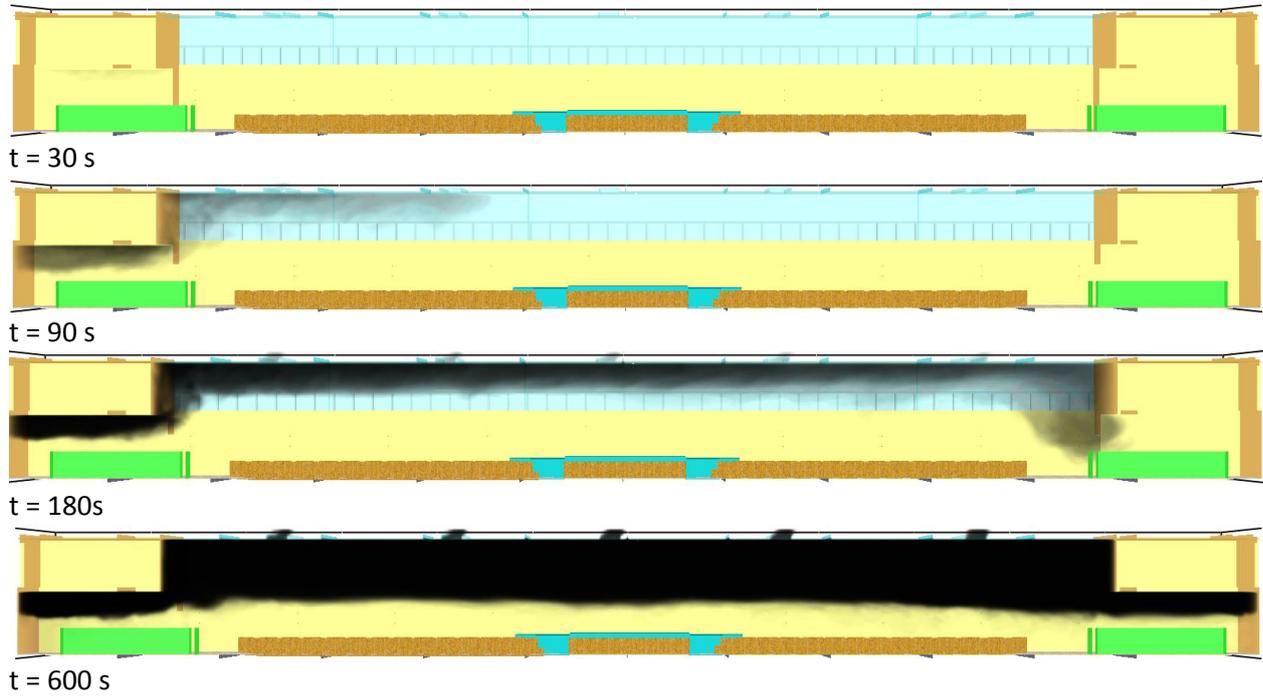


Abbildung 33: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8\text{ m}$) Szenarium 2

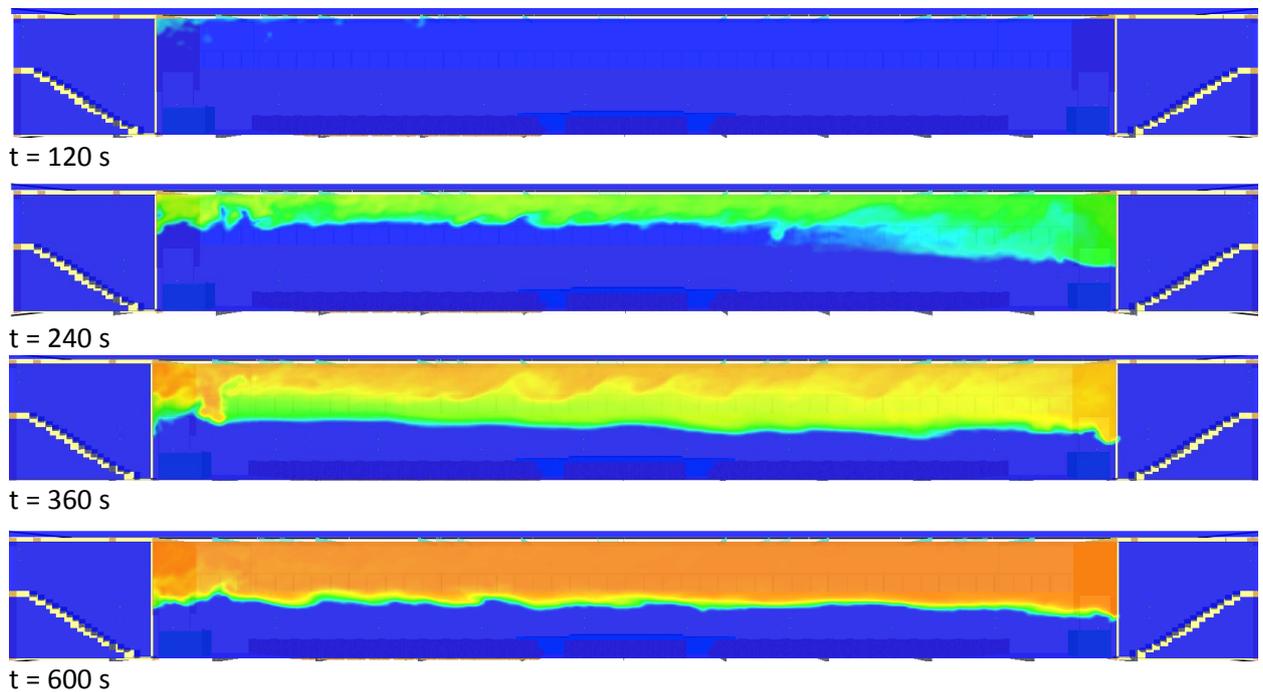


Abbildung 34: Erkennungsweite Szenarium 2 Steuerbord

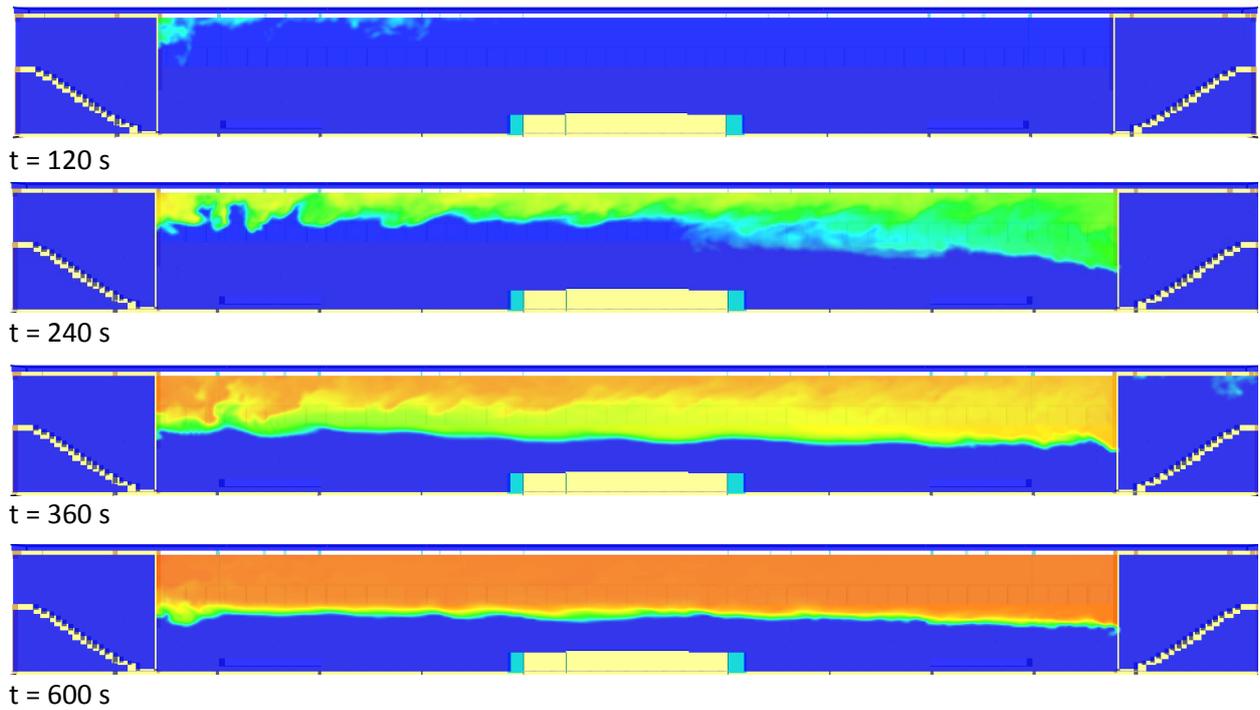


Abbildung 35: Erkennungsweite Szenarium 2 Backbord

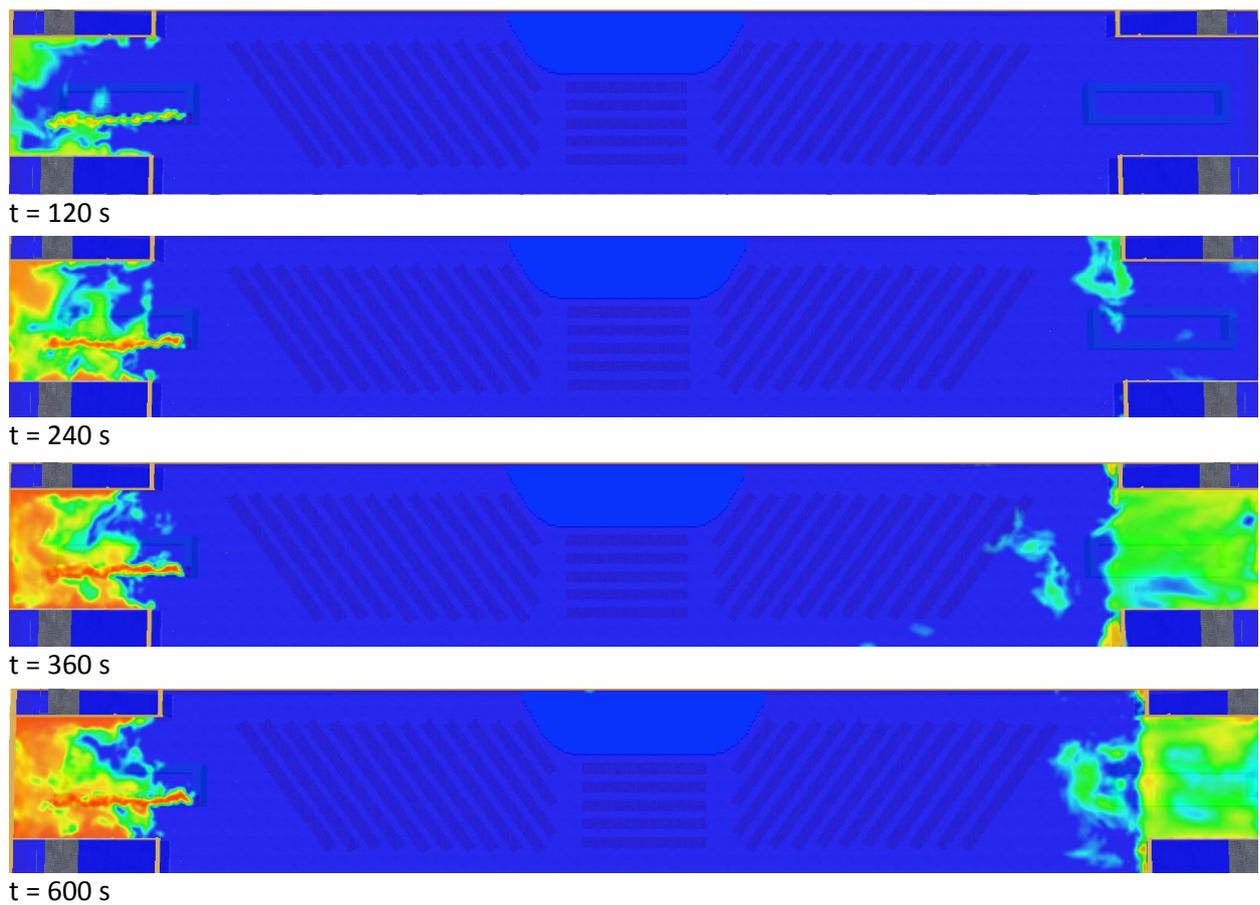


Abbildung 36: Erkennungsweite Szenarium 2 Draufsicht

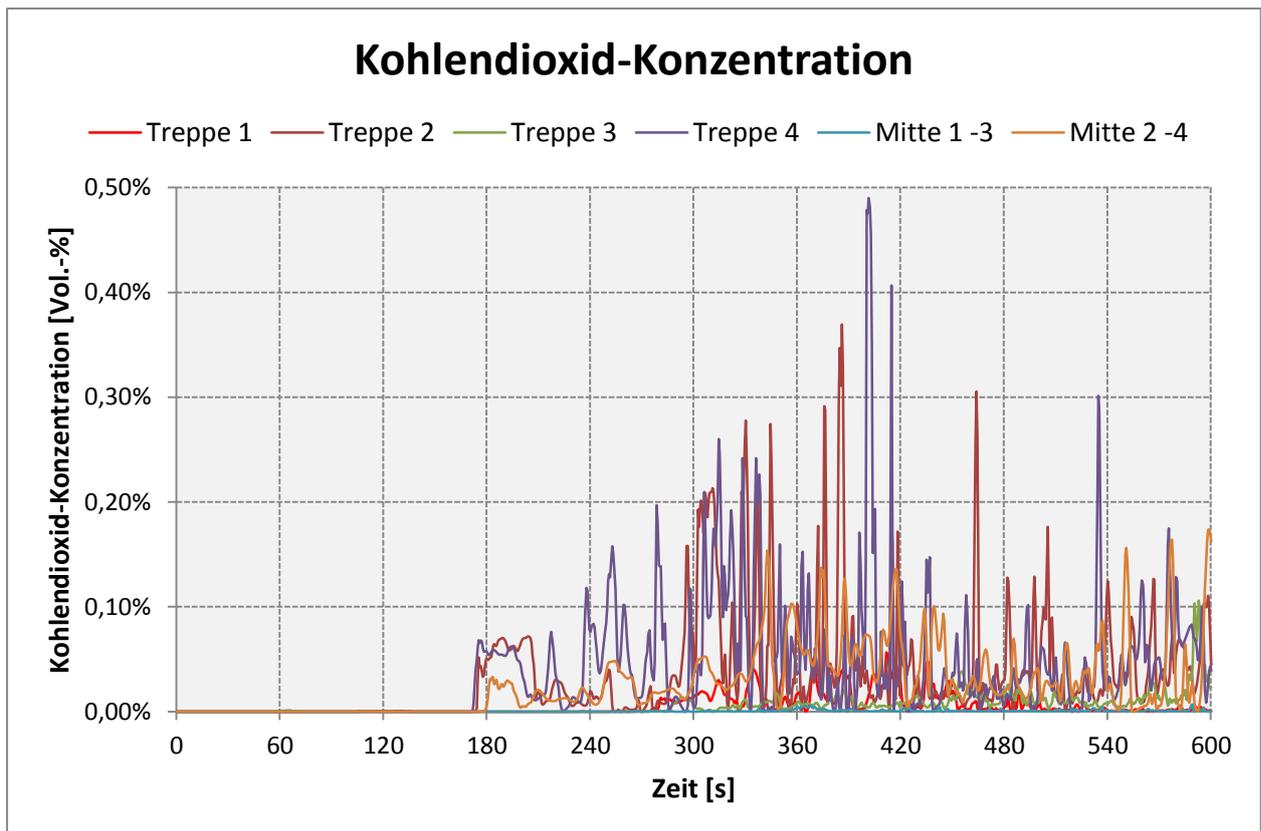


Abbildung 37: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 2

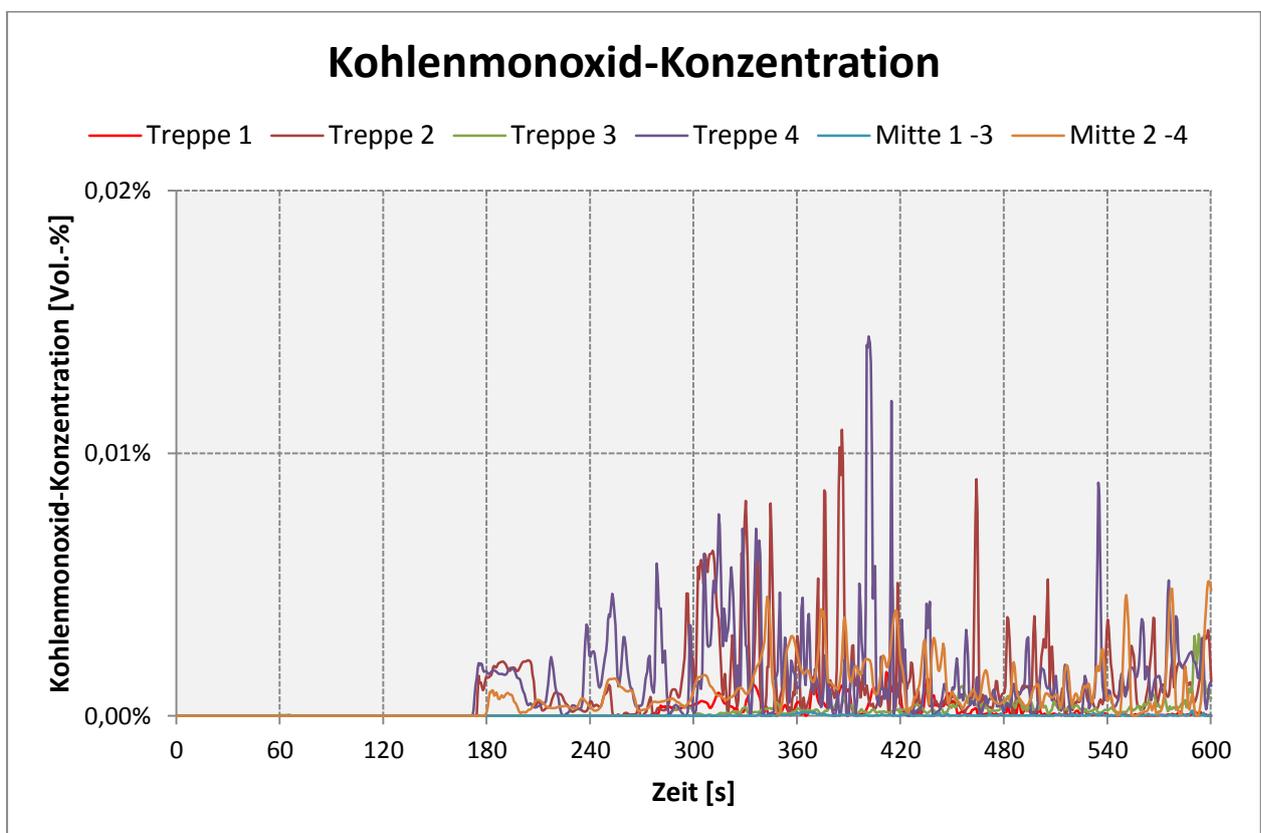


Abbildung 38: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 2

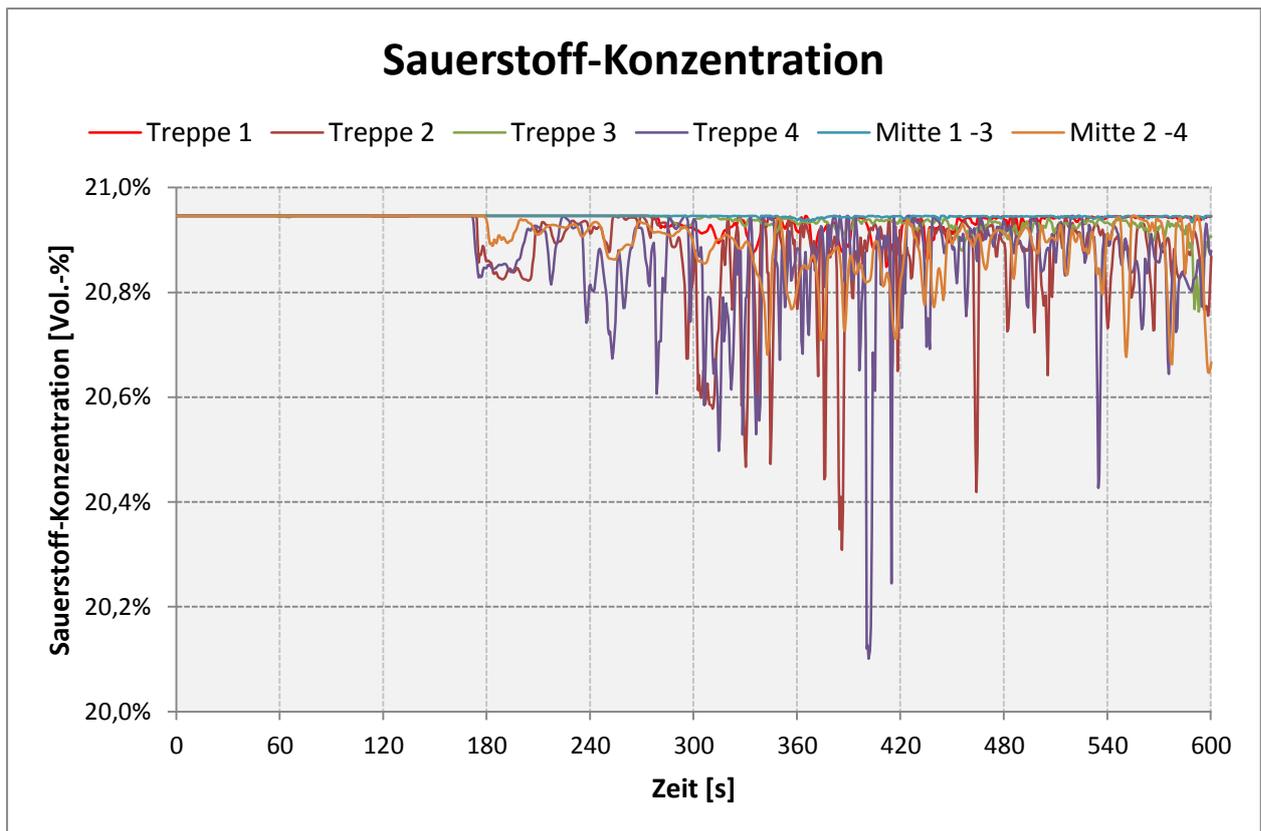


Abbildung 39: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 2

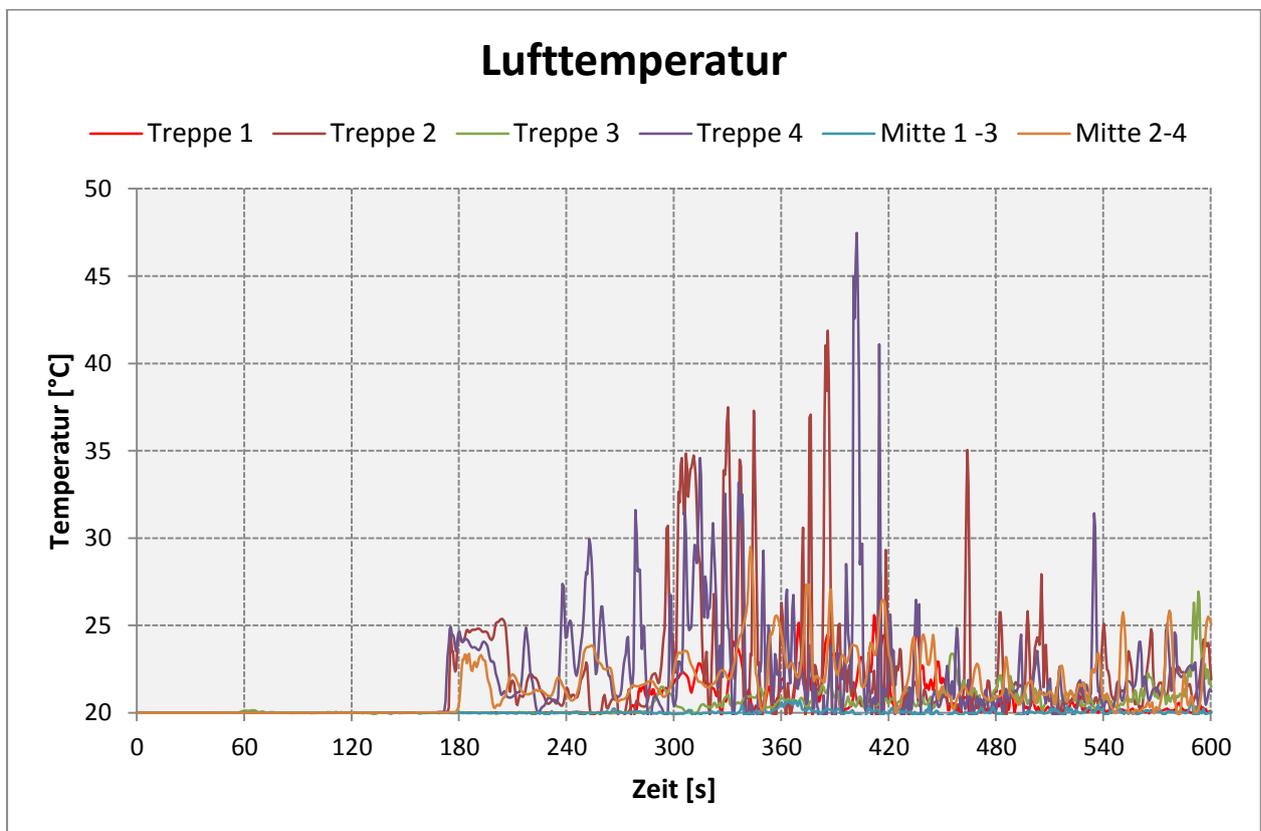


Abbildung 40: Temperatur Szenarium 2

A.2 Diagramme und Abbildungen zu 7.3

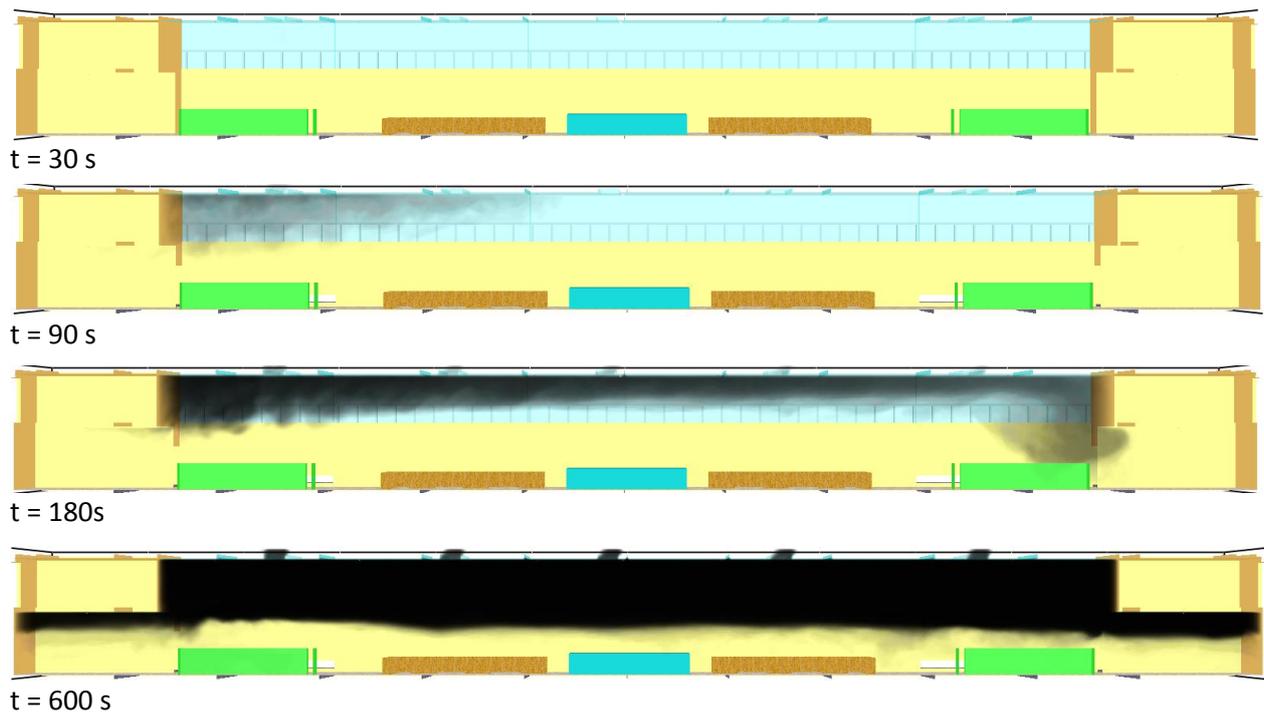


Abbildung 41: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8$ m) Szenarium 3

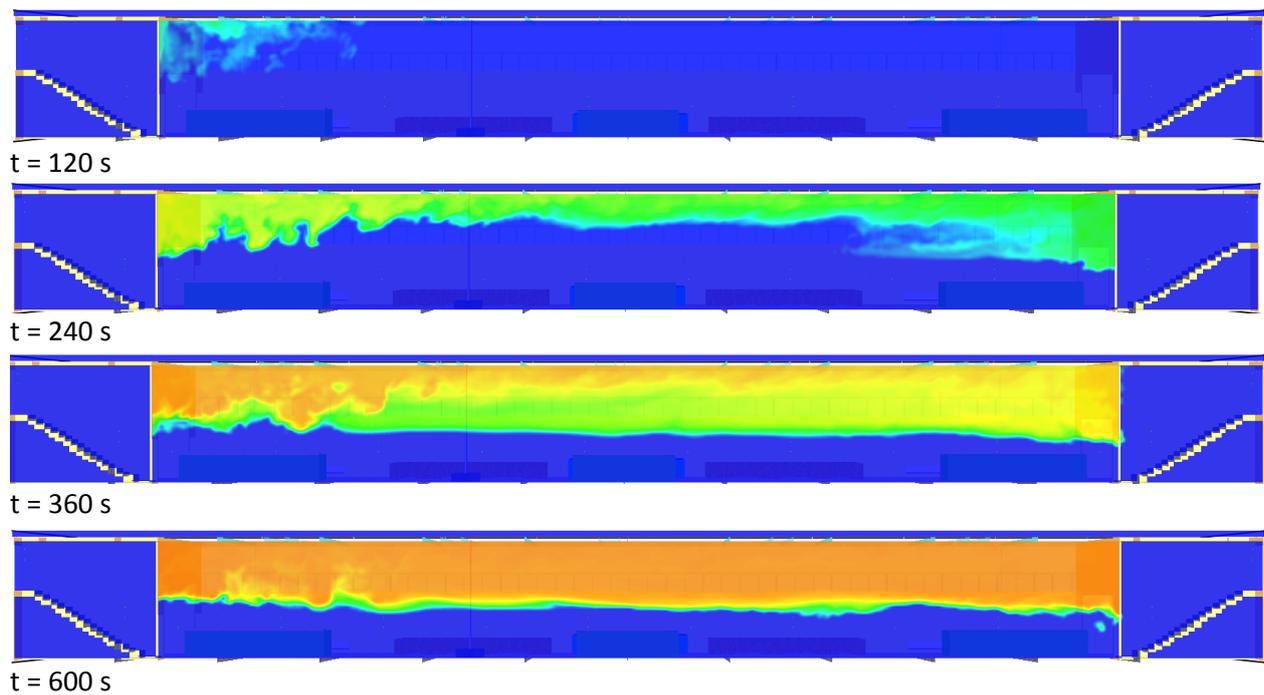


Abbildung 42: Erkennungsweite Szenarium 3 Steuerbord

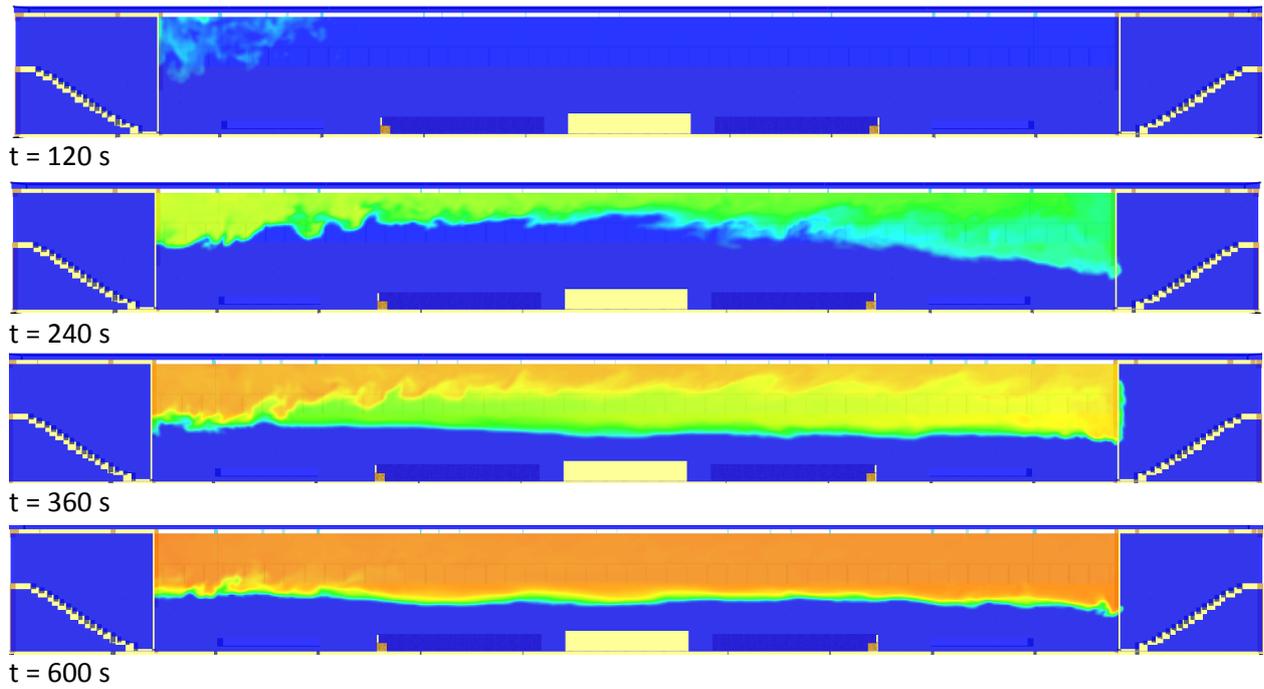


Abbildung 43: Erkennungsweite Szenarium 3 Backbord

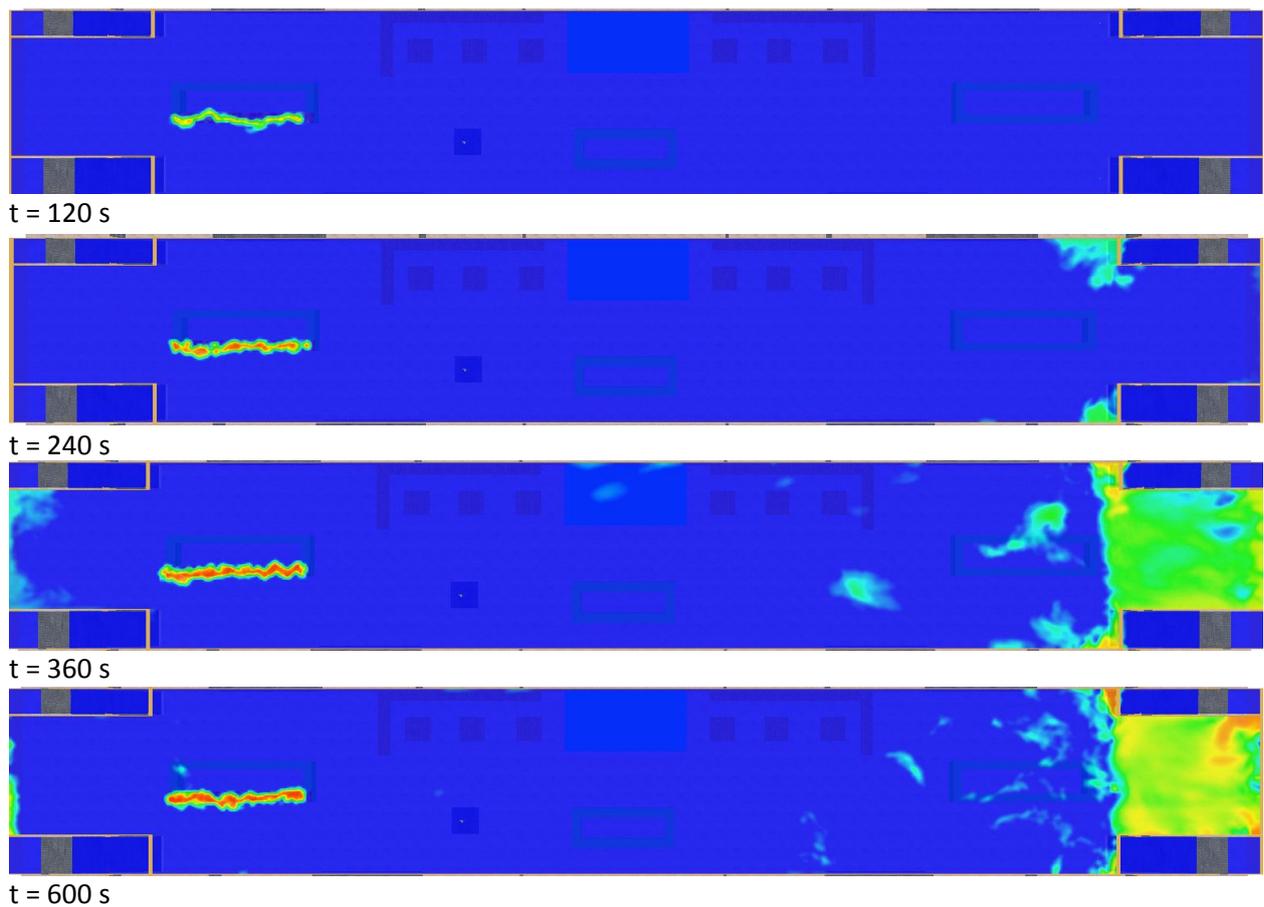


Abbildung 44: Erkennungsweite Szenarium 3 Draufsicht

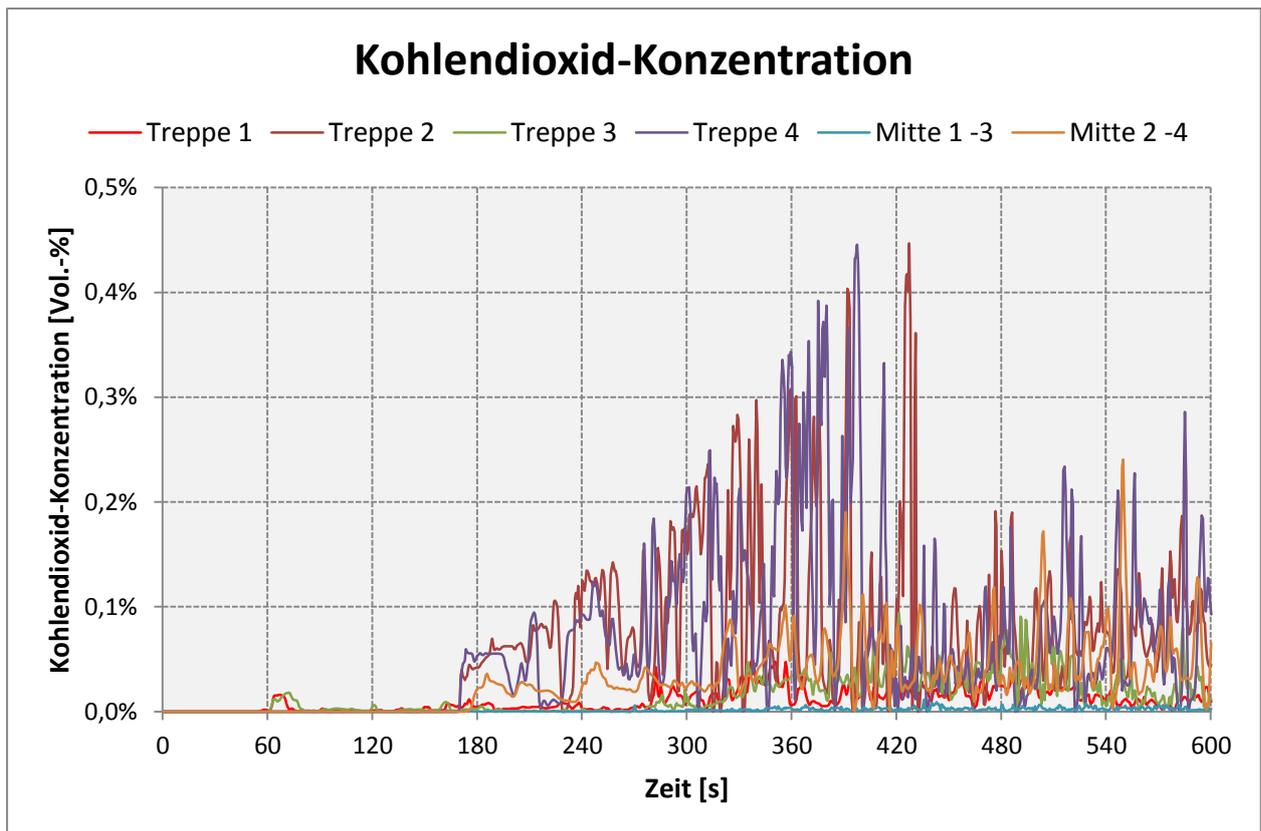


Abbildung 45: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 3

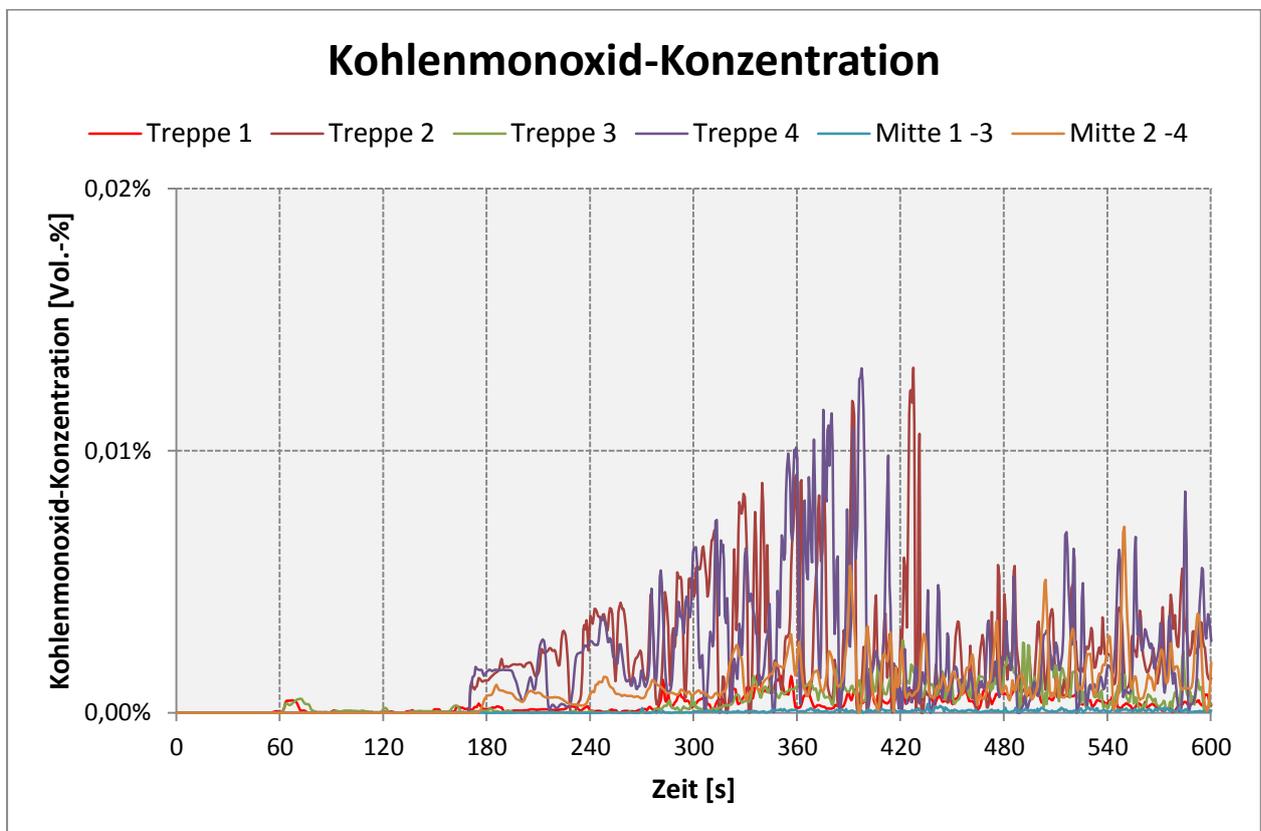


Abbildung 46: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 3

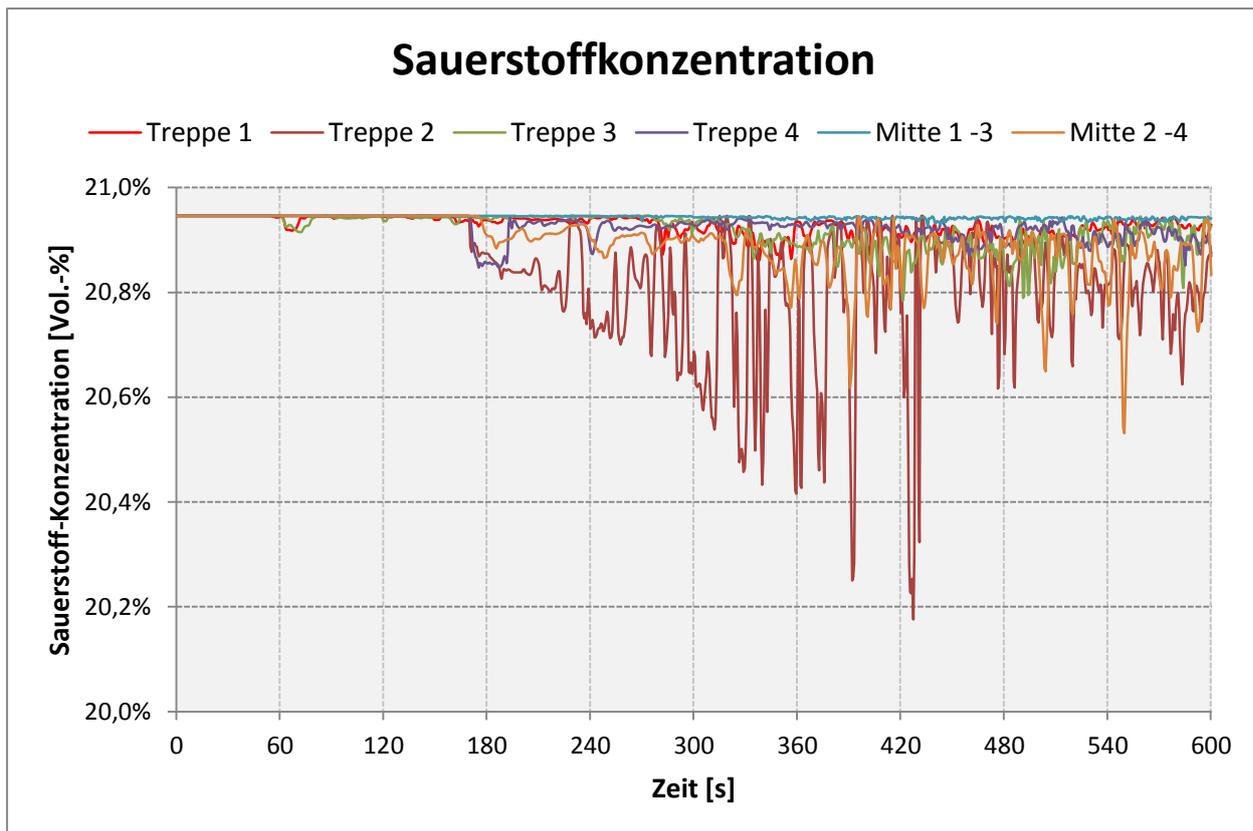


Abbildung 47: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 3

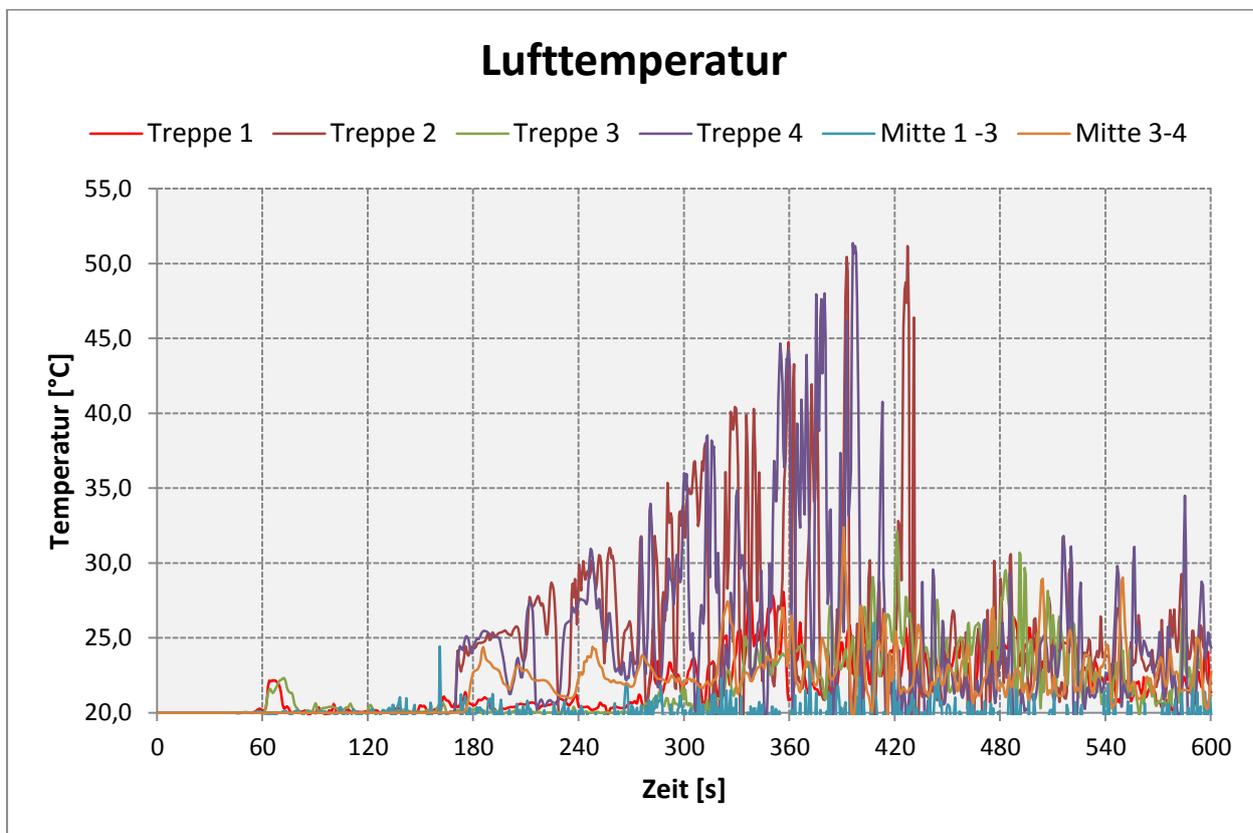


Abbildung 48: Temperatur Szenarium 3

A.3 Diagramme und Abbildungen zu 7.4

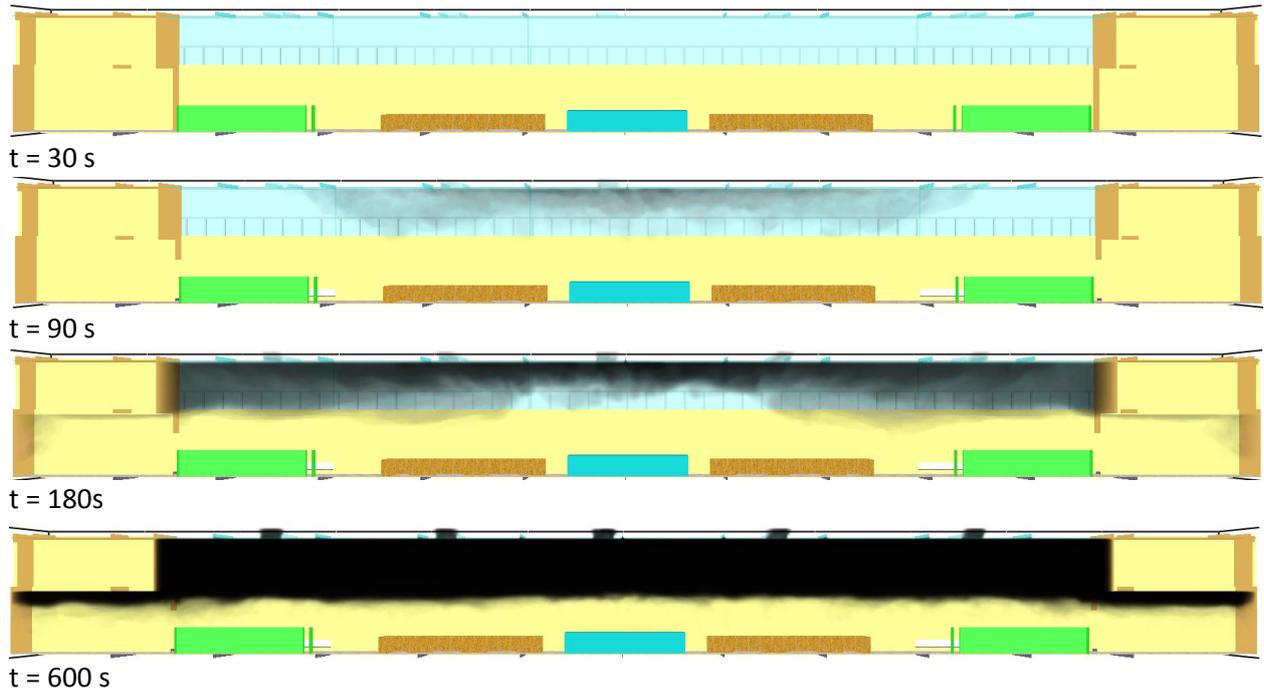


Abbildung 49: Rauchausbreitung entlang der Symmetrieachse ($y=5,8$ m) Szenarium 4

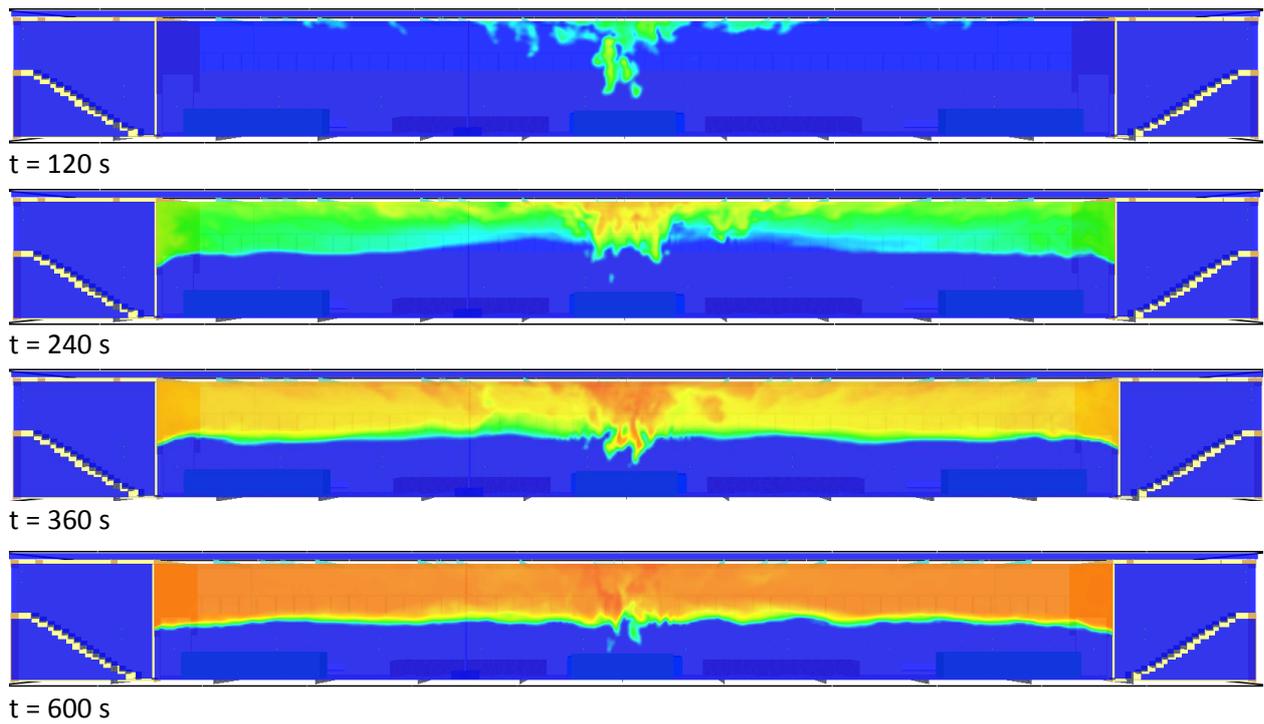


Abbildung 50: Erkennungsweite Szenarium 1 Steuerbord

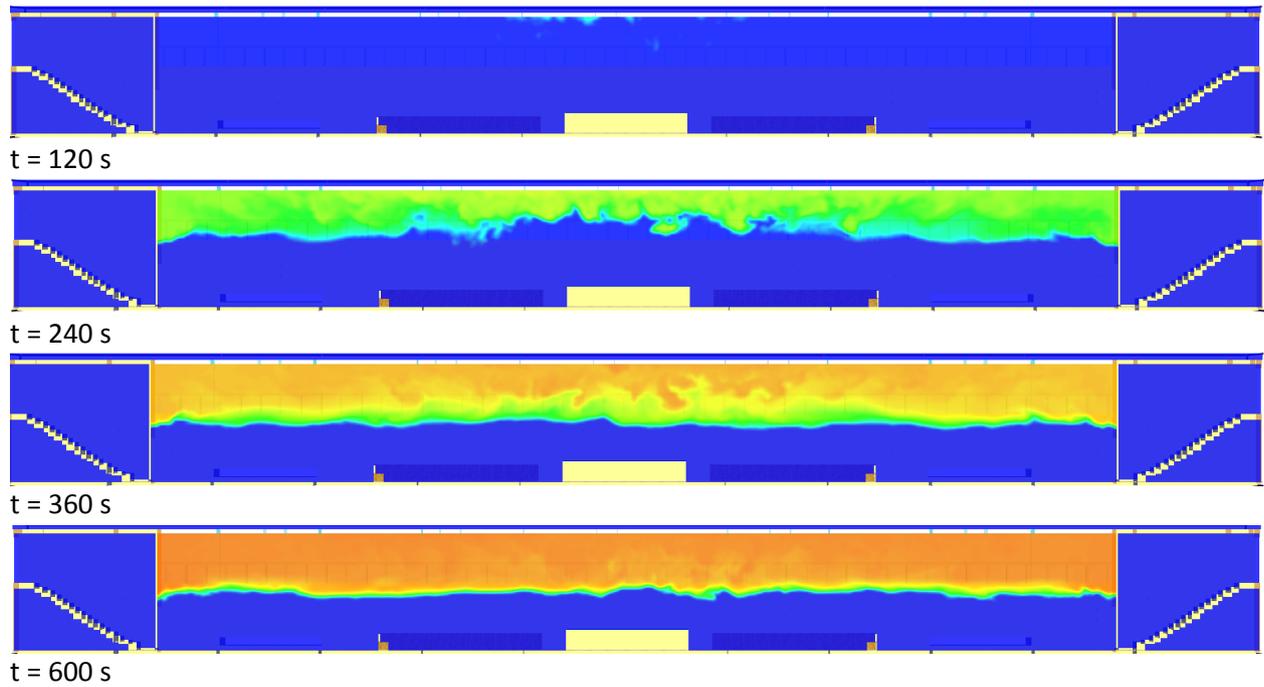


Abbildung 51: Erkennungsweite Szenarium 4 Backbord

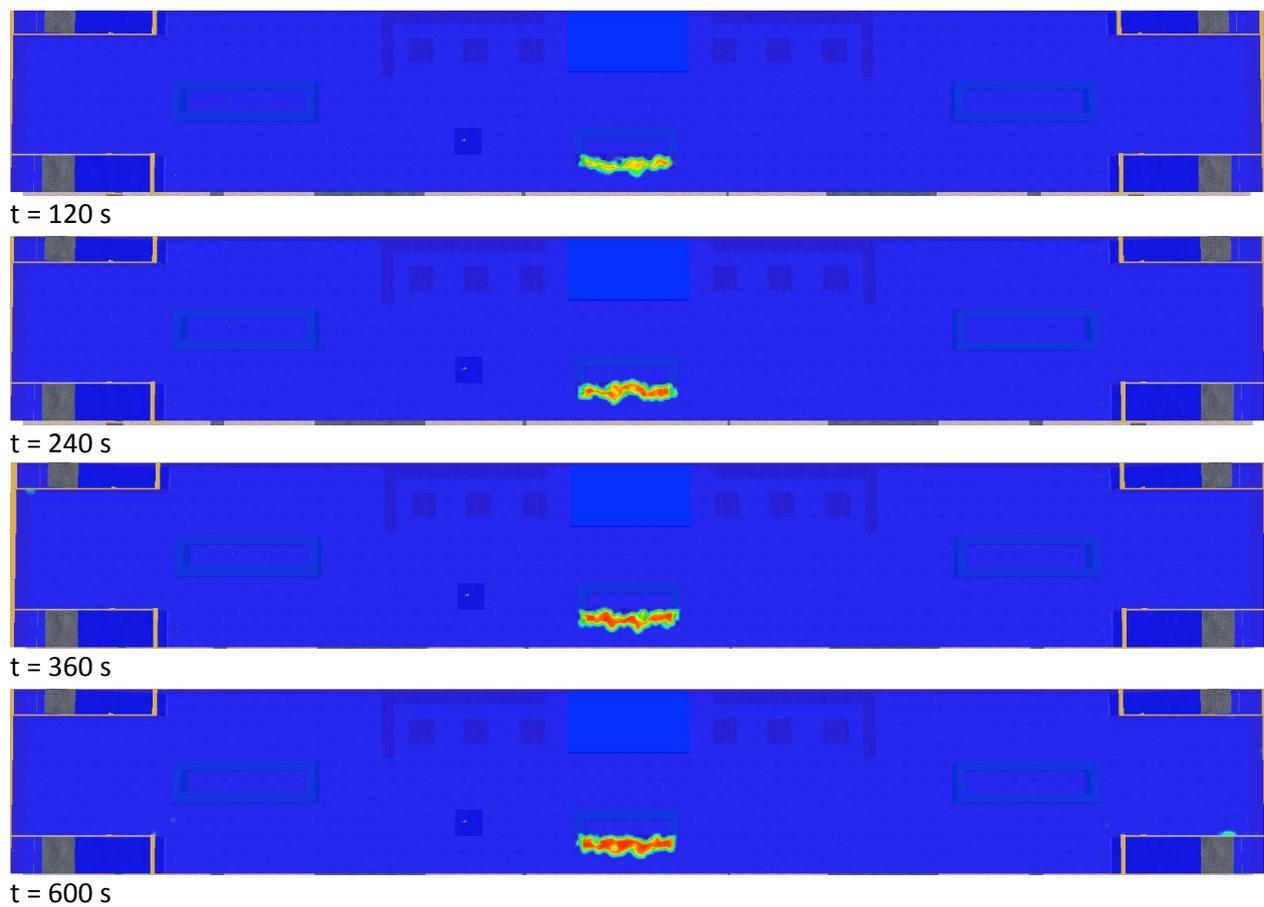


Abbildung 52: Erkennungsweite Szenarium 4 Draufsicht

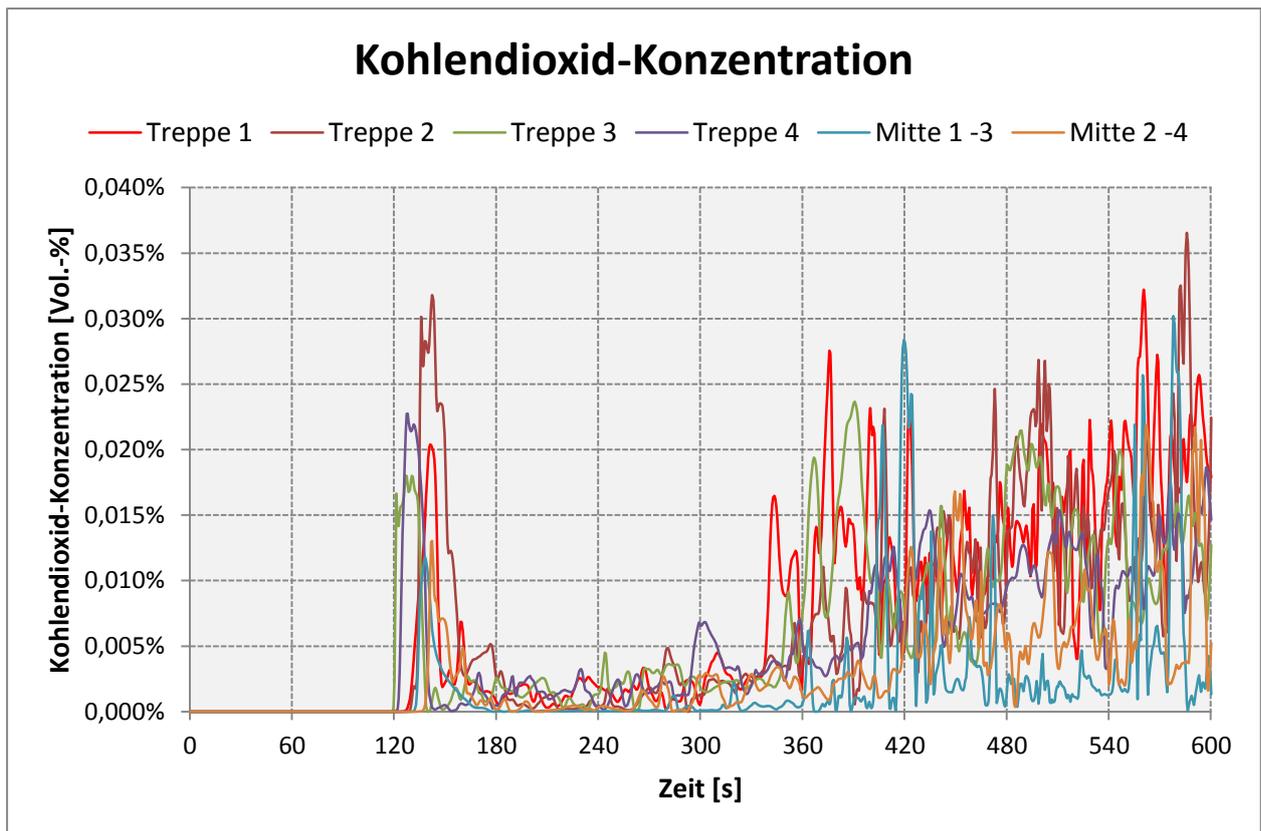


Abbildung 53: Kohlendioxid-Konzentration Szenarium 4

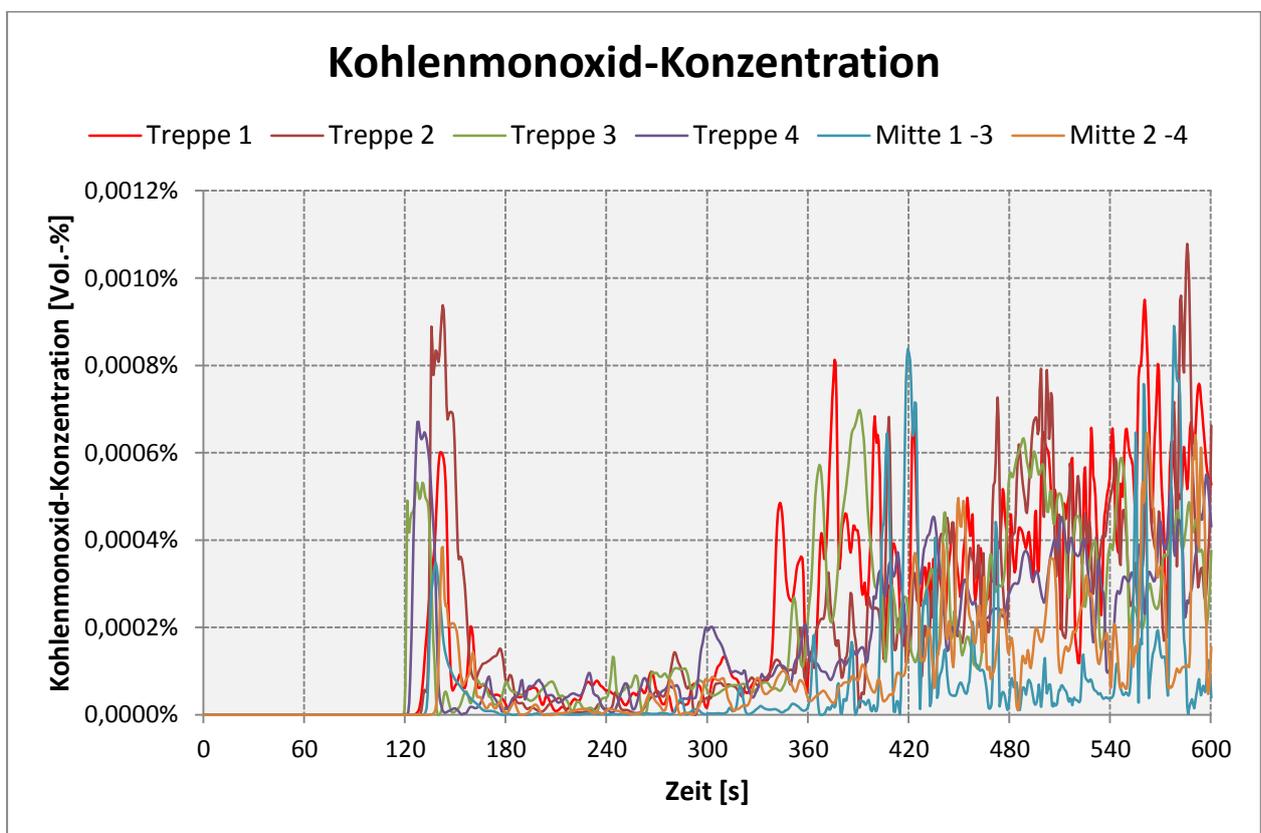


Abbildung 54: Kohlenmonoxid-Konzentration Szenarium 4

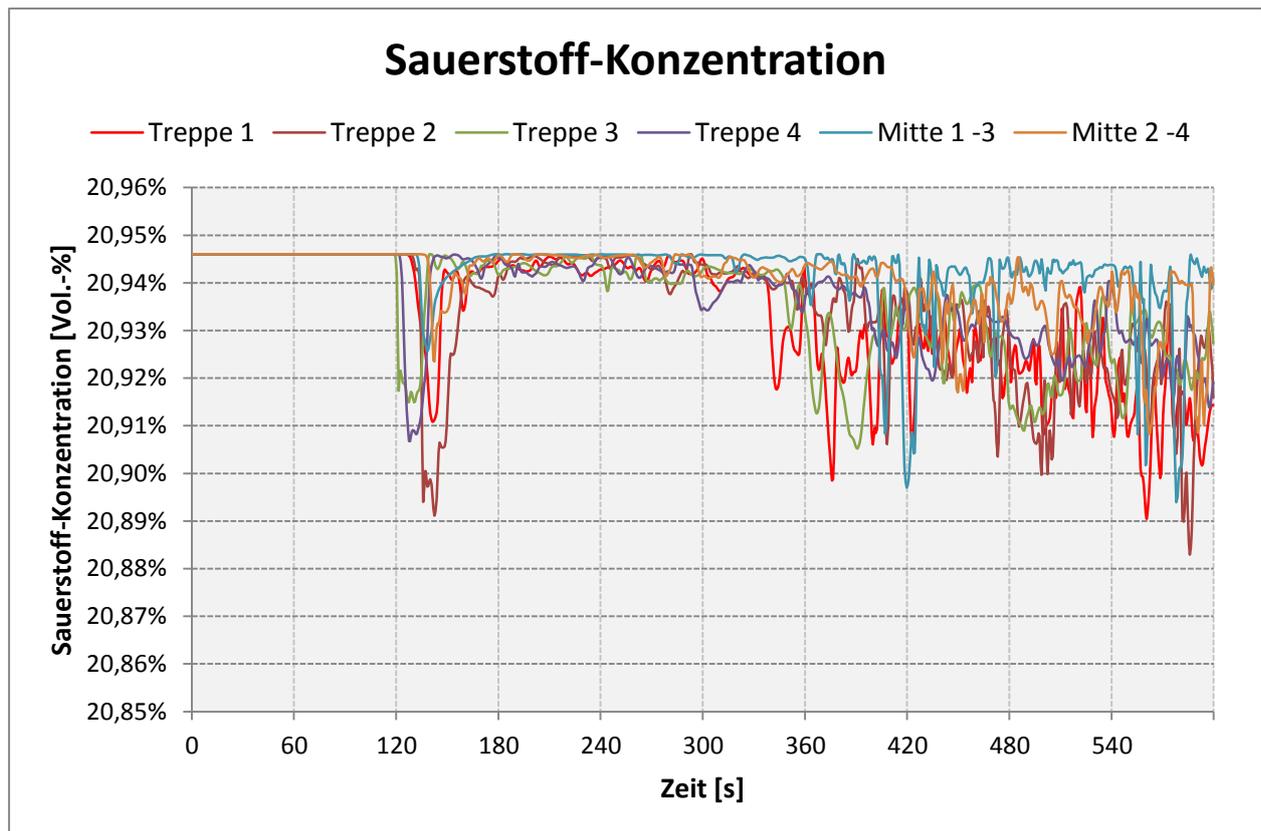


Abbildung 55: Sauerstoff-Konzentration Szenarium 4

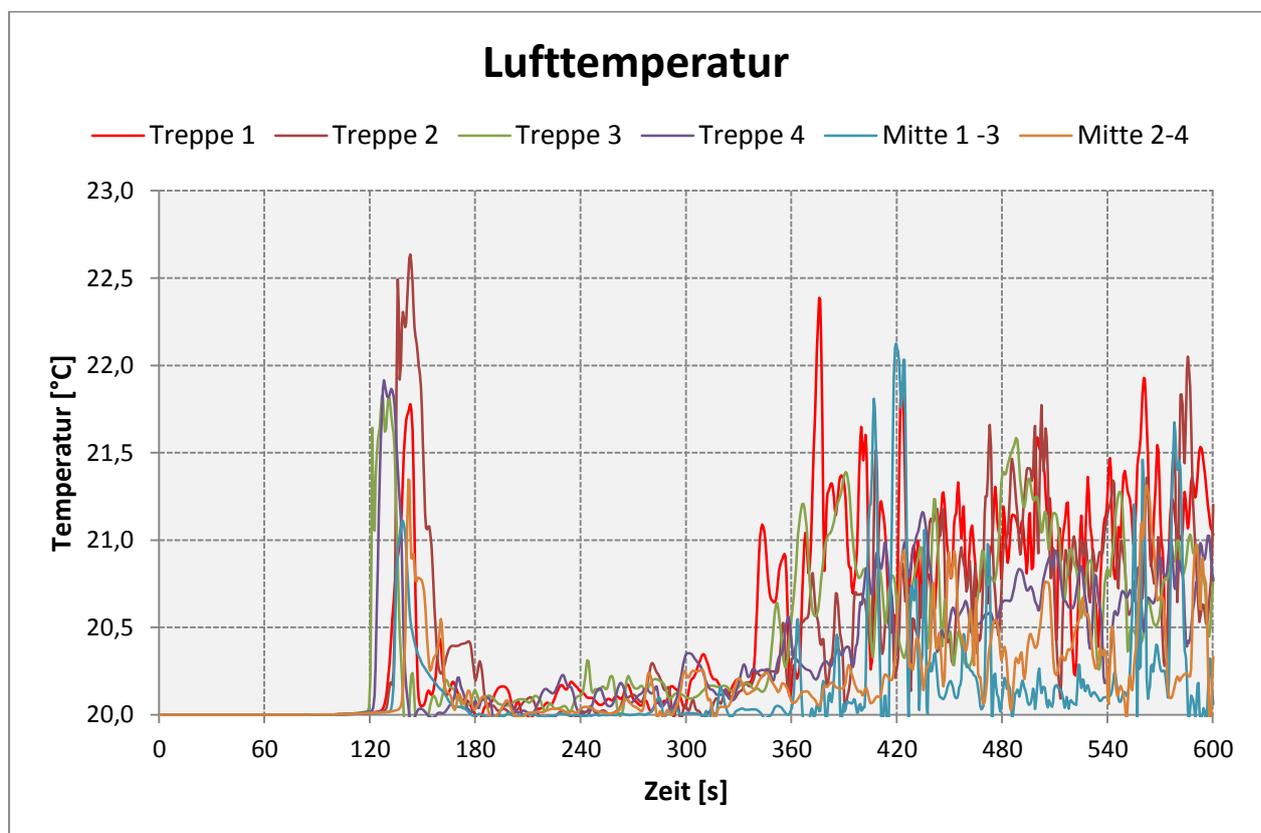


Abbildung 56: Temperatur Szenarium 4

A.4 Farbskala für Erkennungsweiten Kapitel 7



A.5 Farbskala für Erkennungsweiten Kapitel 8



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Hamburg, 27. Februar 2014

Sebastian Milek