

Diploma Thesis

**Comparative numerical analysis of different approaches to
normative requirements for escape and rescue routes using
the example of an assembly building
Design of the escape and rescue routes**

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

**Vergleichende numerische Analyse unterschiedlicher
Ansätze bei normativen Anforderungen an Flucht- und
Rettungswege am Beispiel einer Versammlungsstätte
Bemessung der Flucht- und Rettungswege**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Tünde Stan, B.Sc.

Matr.Nr.: 1329137

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof.i.R. Baurat.h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. **Elemer Bölcskey**

Institut für für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Baustofflehre, Werkstofftechnologie
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/207-01, A-1040 Wien

Wien, im März 2019

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn Ao.Univ.Prof.i.R. Baurat.h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Elemer Bölcskey, bei Frau Projektass. Dipl.-Ing. Monika Oswald und Herrn Ing. Christian Lebeda für die Möglichkeit und Unterstützung bei der Entstehung und Ausarbeitung meiner Diplomarbeit herzlich bedanken. Sowie bedanke ich mich bei Herrn Tim Meyer-König für die Zurverfügungstellung der PedGo Lizenz.

Weiter bedanke ich mich bei meinem Mann Alex für sein Verständnis und die jahrelange Unterstützung.

Kurzfassung

Die gegenständliche Arbeit beschäftigt sich mit einer vergleichenden Analyse der Anforderungen an Flucht- und Rettungswege in Veranstaltungsstätten, basierend auf österreichischen, englischen und rumänischen Normen. Mittels methodischen/numerischen Analysen wird das Risiko im Zuge eines Brandes und die Evakuierung anhand einer Modellgeometrie für eine Veranstaltungsstätte untersucht. Dazu werden numerische Brand- und Evakuierungssimulationen durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Simulationen wird auf das Personensicherheitsniveau der untersuchten Normen (Länder) geschlossen. Aufgrund der Unterschiede bei den Ansätzen und den Regelungsinhalten zur Bemessung der Flucht- und Rettungswege (in Veranstaltungsstätten) ergeben sich gegebenenfalls unterschiedliche Sicherheitsniveaus für die Personensicherheit.

Abstract

The present work deals with a comparative analysis of the requirements for escape and rescue routes in assembly buildings, based on Austrian, English and Romanian standards. By means of methodical/numerical analyses the risk in the course of a fire and the evacuation are examined on the basis of a model geometry for an assembly building. Numerical fire and evacuation simulations will be performed. From the results of the simulations the personal safety level of the examined standards (countries) is concluded. Due to the differences in the approaches and the regulatory contents for the dimensioning of escape and rescue routes (in assembly buildings), different safety levels for personal safety may result if necessary.

Inhalt

1	Einleitung.....	6
1.1	Motivation.....	6
1.2	Fragestellung.....	6
1.3	Abgrenzung.....	6
2	Grundlagen.....	7
2.1	Begriffsbestimmung (im Kontext der vorliegenden Arbeit).....	7
2.2	Brandvorfälle in Veranstaltungsräumen bzw. Nachtclubs.....	8
2.2.1	Brand im Iroquois Theater, 1903.....	8
2.2.2	Brand im Coconut Grove, 1942.....	8
2.2.3	Brand im Beverly Hills Supper Club, 1977.....	9
2.2.4	Brand im The Station Nachtclub, 2003.....	9
2.2.5	Brand im Nachtclub <i>Colectiv</i> , Bukarest, 2015.....	10
2.2.6	Sonstige Brände im Zusammenhang mit Pyrotechnik.....	10
2.2.7	Ereignis aufgrund nicht verfügbarer Fluchtwege.....	11
2.2.8	Erkenntnisse aus den Brandvorfällen.....	11
2.3	Stand der Erkenntnisse.....	11
2.4	Rechtsgrundlagen, Analyse.....	13
2.4.1	Allgemeine Rechtsgrundlagen.....	13
2.4.1.1	Normen Österreich.....	13
2.4.1.2	Normen England.....	15
2.4.1.3	Normen Rumänien.....	16
2.4.2	Analyse der Normen.....	17
2.4.2.1	Überblick über die österreichischen Verordnungen und Richtlinien.....	17
2.4.2.2	Überblick über die englischen Verordnungen und Richtlinien.....	26
2.4.2.3	Überblick über die rumänischen Normen.....	36
2.4.3	Vergleichende Analyse der normativen Anforderungen.....	50
2.4.3.1	Gegenüberstellung der normativen Anforderungen.....	50
2.4.3.2	Anwendung der normativen Anforderungen anhand der untersuchten Modellgeometrie.....	53
2.5	Gefahren durch Brand.....	53
2.5.1	Allgemeine Betrachtung.....	53
2.5.2	Ermittlung der Gefahren.....	60
2.6	Flucht von Personen.....	61
2.6.1	Personenverhalten.....	63
2.6.1.1	„Pre-movement“ Zeiten bzw. Reaktionszeiten.....	63
2.6.1.2	Gehzeiten.....	67
2.6.2	Ermittlung der Fluchtzeiten.....	72
3	Methodik.....	74
3.1	ASET/RSET Methode.....	74
3.1.1	Bestimmung des ASET Werts mittels Brandsimulation.....	76
3.1.2	Bestimmung des RSET Werts mittels Simulation und Berechnung der Evakuierung.....	78
3.1.2.1	FDS+EVAC.....	78
3.1.2.2	PedGO.....	80
3.1.2.3	Ingenieurmäßige vereinfachte Abschätzung der Gehzeit.....	81
3.2	Untersuchte Modelle und Randbedingungen.....	83
3.2.1	Betrachtungsmodelle – Geometrie.....	83
3.2.2	Bemessungsbrand: BS 9999.....	84

3.2.3	Ventilation (Entrauchung).....	86
3.2.4	Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und Reaktionsdauer.....	86
3.2.5	Personenanzahl und Personencharakteristika.....	87
3.3	Bewertungskriterien ASET/RSET-Methode	87
3.4	Untersuchte Szenarien	89
4	Ergebnisse	90
4.1	Brandszenario 1 – Brandherd mittel	90
4.1.1	Ergebnisse der Brandsimulation	90
4.1.2	Ergebnisse der Evakuierungsuntersuchungen.....	96
4.1.2.1	Szenario 1.1 – GB.....	96
4.1.2.2	Szenario 1.1 – AT.....	100
4.1.2.3	Szenario 1.1 – RO.....	103
4.1.2.4	Szenario 1.2 – GB.....	106
4.1.2.5	Szenario 1.2 – AT.....	109
4.1.2.6	Szenario 1.2 – RO.....	112
4.1.2.7	Szenario 1.3 – GB.....	115
4.1.2.8	Szenario 1.3 – AT.....	116
4.1.2.9	Szenario 1.3 – RO.....	116
4.2	Brandszenario 2 – Brandherd links.....	117
4.2.1	Ergebnisse der Brandsimulation	117
4.2.2	Ergebnisse der Evakuierung.....	124
4.2.2.1	Szenario 2.1 – GB.....	124
4.2.2.2	Szenario 2.1 – AT.....	128
4.2.2.3	Szenario 2.1 – RO.....	131
4.2.2.4	Szenario 2.2 – GB.....	134
4.2.2.5	Szenario 2.2 – AT.....	137
4.2.2.6	Szenario 2.1 – RO.....	140
4.2.2.7	Szenario 2.3– GB.....	143
4.2.2.8	Szenario 2.3 – AT.....	144
4.2.2.9	Szenario 2.3– RO.....	144
4.3	Brandszenario 3 – Brandherd rechts, Ausfall eines Ausganges.....	144
4.3.1	Ergebnisse der Brandsimulation	144
4.3.2	Ergebnisse der Evakuierung.....	150
4.3.2.1	Szenario 3.1 – GB.....	150
4.3.2.2	Szenario 3.1 – AT.....	154
4.3.2.3	Szenario 3.1 – RO.....	157
4.3.2.4	Szenario 3.2 – GB.....	160
4.3.2.5	Szenario 3.2 – AT.....	163
4.3.2.6	Szenario 3.2 – RO.....	166
4.3.2.7	Szenario 3.3 – GB.....	169
4.3.2.8	Szenario 3.3 – AT.....	170
4.3.2.9	Szenario 3.3 – RO.....	170
4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	171
5	Diskussionen	172
5.1	Ermittlung des Sicherheitsfaktors und Sicherheitsabstandes.....	172
5.2	Bewertung des Einflusses der Brandherdlage auf den Evakuierungsverlauf.....	173
5.3	Bewertung des Einflusses der Ausgangsbreite auf den Evakuierungsverlauf.....	179
5.4	Bewertung des Einflusses der „pre-movement“ Zeit auf den Evakuierungsverlauf..	182
6	Zusammenfassung und Ausblick	185
6.1	Zusammenfassung	185

6.2	Mögliche Maßnahmen zur Minimierung des Risikos.....	187
7	Verzeichnisse	188
7.1	Verzeichnis der verwendeten Literatur	188
7.1.1	Gesetze und Verordnungen.....	188
7.1.2	Richtlinien und Normen.....	189
7.1.3	Wissenschaftliche Publikationen.....	190
7.2	Verzeichnis der Abbildungen	193
7.3	Verzeichnis der Tabellen.....	198

1 Einleitung

1.1 Motivation

Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts wurden bei Bränden in Veranstaltungsstätten bzw. Nachtclubs weltweit über 1000 Menschen getötet und eine Vielzahl an Personen verletzt. Brandfälle in Versammlungsstätten führen meistens zu einer hohen Anzahl von Todesopfern und Verletzten. Dies ist auf die hohe Personendichte in solchen Nutzungen zurückzuführen.

In der Regel müssen große und sehr große Veranstaltungsstätten spezielle Vorschriften in Bezug auf die Personensicherheit im Gefahrenfall einhalten. Neben den baulichen Anforderungen in Hinblick auf den Brandschutz werden auch organisatorische Maßnahmen festgelegt. In der vorliegenden Arbeit soll der Fokus der Betrachtungen/Analysen auf Veranstaltungsstätten mittlerer Größe (ca. 1000 Personen) gelegt werden. Für diese Art von Veranstaltungsstätten reicht in der Regel die Einhaltung von präskriptiven, normativen Anforderungen zum Nachweis der Personensicherheit.

Aufgrund der persönlichen Erfahrungen der Autorin zeigt sich, dass Anforderungen an den Brandschutz insbesondere an die Bemessung der Flucht- und Rettungswege in nationalen Regelwerken sehr unterschiedlich formuliert und normiert sein können. Somit entstand das Interesse einer vergleichenden Analyse von unterschiedlichen normativen Anforderungen für Veranstaltungsstätten aus verschiedenen Ländern.

Die gegenständliche Arbeit beschäftigt sich mit einer vergleichenden Analyse der Anforderungen an Flucht- und Rettungswege in Veranstaltungsstätten, basierend auf österreichischen, englischen und rumänischen Normen. Mittels methodischen/numerischen Analysen wird das Risiko im Zuge eines Brandes und die Evakuierung anhand einer Modellgeometrie für eine Veranstaltungsstätte untersucht. Dazu werden numerische Brand- und Evakuierungssimulationen durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Simulationen wird auf das Personensicherheitsniveau der untersuchten Normen (Länder) geschlossen. Aufgrund der Unterschiede bei den Ansätzen und den Regelungsinhalten zur Bemessung der Flucht- und Rettungswege (in Veranstaltungsstätten) ergeben sich gegebenenfalls unterschiedliche Sicherheitsniveaus für die Personensicherheit.

1.2 Fragestellung

Welche Unterschiede ergeben sich in Bezug auf das Sicherheitsniveau bei Anwendung unterschiedlicher nationaler Regelwerke bei Evakuierungen im Brandfall?

1.3 Abgrenzung

In der vorliegenden Arbeit werden nur die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege bei Veranstaltungsstätten betrachtet. Andere Gebäudenutzungen sowie Anforderungen in Bezug auf die Barrierefreiheit werden nicht analysiert. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Untersuchung der geometrischen Randbedingungen (Fluchtwegbreiten, -längen, -anzahl) und dessen Einfluss auf die Personensicherheit.

Untersucht wird eine „typische“ mittlere Versammlungsstätte (ca. 1000 Personen). Es werden keine näheren Betrachtungen in Bezug auf die Brandentstehung in einer solchen Nutzung vorgenommen. Es wird ein Bemessungsbrand basierend auf normativen Anforderungen untersucht. Der Einfluss von verschiedenartigen brennbaren Stoffen auf die Entfluchtung wird nicht näher untersucht. Für die durchzuführenden Brandsimulationen werden brennbare Stoffe, vorwiegend auf Holzbasis, unterstellt.

2 Grundlagen

2.1 Begriffsbestimmung (im Kontext der vorliegenden Arbeit)

Fluchtweg (AT) - *Weg, der den Benutzern eines Bauwerks im Gefahrenfall grundsätzlich ohne fremde Hilfe das Erreichen eines sicheren Ortes des angrenzenden Geländes im Freien - in der Regel eine Verkehrsfläche - ermöglicht.*¹

Fluchtweg (RO) – Ein Fluchtweg (im Brandfall) ist ein freier Verkehrsweg, der die genormten Voraussetzungen erfüllt, die Flucht durch Türen, Gänge, Fluchttunnel, Flure oder Vorräume auf die Geländeebene oder eine Verkehrsfläche, direkt ins Freie, oder durch Fluchttreppenhäuser, Terrassen, Balkone, Logen und Evakuierungsdurchgänge zu ermöglichen.²

Versammlungsstätten (AT) - *Gebäude oder Gebäudeteile für Veranstaltungen mit mehr als 120 Personen.*¹

Räume mit erhöhter Personenanzahl (RO) - Freistehende Räume oder mehrere Räume, die miteinander verbunden sind (durch geschützte oder nicht geschützte Öffnungen, Rolltreppen oder offene Stiegenhäuser etc.) und in denen die zur Verfügung stehende Fläche für eine Person kleiner als 4 m² ist und in denen sich gleichzeitig:

- mindestens 150 Personen für Räume, die sich im Obergeschoss befinden und 200 Personen für Räume im Erdgeschoss, im Fall der Ausstellungsräume;
- mindestens 200 Personen für Räume mit anderen Nutzungen

versammeln können.³

Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes (RO) - Die globale Fähigkeit eines Gebäudes oder eines Brandabschnittes einer üblichen Brandlast standzuhalten unabhängig vom Zweck oder der Gebäudenutzung.⁴

Das Kriterium des Gebäudebrandwiderstandes wird im Zusammenhang mit dem Brandverhalten der Baustoffe und der Feuerwiderstandsdauer des Bauteils bestimmt.

Als **Fluchtweglänge**, im Sinne dieses Beitrags, wird der Weg von einem beliebigen Punkt in einem Raum oder von einer Fläche bis zu einem Ort relativer Sicherheit bzw. einem Ausgang definiert. Ein Ort relativer Sicherheit kann das Freie aber auch ein Treppenraum oder ein anderer Brandabschnitt sein.

¹ OIB-Richtlinie Begriffsbestimmungen 2015

² Übersetzung aus P 118-99, Seite 37

³ Übersetzung aus NP 006-96, Seite 4

⁴ Übersetzung aus P 118-99, Seite 5

2.2 Brandvorfälle in Veranstaltungsräumen bzw. Nachtclubs

Brandfälle in Veranstaltungsräumen können eine hohe Anzahl an Todesopfern und Verletzten fordern. Ein Grund dafür ist die gleichzeitige Versammlung einer hohen Personenanzahl in einem Raum bzw. Gebäude.

2.2.1 Brand im Iroquois Theater, 1903

Einer der bisher schlimmsten Bränden weltweit und in der US-Geschichte des 20. Jahrhunderts ist der *Brand im Iroquois Theater* in Chicago, Illinois, der am 30. Dezember 1903 602 Tode und 250 Verletzten forderte. An diesem Tag waren im Theater über 2000 Menschen, darunter viele Frauen und Kinder, anwesend um das Musical „Mr. Blue Beard jr.“ anzuschauen. Das Theater verfügte über rund 1600 Sitzplätze und die restlichen Tickets wurden als Stehplätze verkauft (insgesamt 2000 Besucher). Der Brand hat gegen 15:15 Uhr auf der Bühne begonnen, als ein Scheinwerfer einen Segeltuchfaden entzündete. Ein Bühnenarbeiter scheiterte daran, die Flamme per Hand zu löschen. Auch der Bühnenfeuerwehrmann versuchte mit zwei Pulverschläuchen die Flammen zu ersticken, aber erfolglos. Danach breitete sich das Feuer sehr rasch in den Bühnenbereich aus, da die Bühnendekoration aus leicht entflammbar Materialien bestand. Die Bühne wurde mit einem Asbestvorhang ausgerüstet, der im Brandfall zur Trennung der Bühne vom Zuschauerraum diente. Das Herablassen des Asbestvorhanges hat nicht richtig funktioniert und der Schutz konnte damit nicht gewährleistet werden. Somit konnte sich der Brand in den Zuschauerraum ausbreiten, insbesondere auf die Galerie und die Balkone. Der Zuschauerraum verfügte über 30 Ausgänge mit nach innen zu öffnenden Türen, die nicht richtig als Notausgänge gekennzeichnet waren. Einige Ausgänge waren mit Eisengittern verschlossen, die die Flucht des Publikums verhinderten. Die meisten Menschen starben aufgrund Erstickens durch Rauch und Verbrennungen. Eine große Anzahl der Menschen wurde niedergetrampelt und starb letztendlich dadurch.⁵

2.2.2 Brand im Cocoanut Grove, 1942

Am 28. November 1942 entstand der Brand im *Cocoanut Grove*, einem Nachtclub in Boston. Es war der zweitschwerste Brand in der US Geschichte mit 492 Todesopfer und hunderten Verletzten. Das eingeschossige Gebäude hatte mehrere Räume im Erdgeschoss sowie im Kellergeschoss und verfügte über 600 Sitzplätze. Es wurde berichtet, dass an diesem Tag rund 1000 Besucher im Gebäude anwesend waren. Der Brand entstand in einem Raum in Kellergeschoss. Weiters war die Ursache des Brandes nicht ganz klar. Der Brand breitete sich sehr schnell aus, da die verwendeten Materialien für die Dekoration leicht brennbar waren. Den Gästen im Erdgeschoss ist der Brand aufgefallen als eine Besucherin mit brennenden Haaren durch den Raum rannte und schrie. Zu diesem Zeitpunkt begannen die Besucher die Flucht durch den ihnen bekannten Weg, den Haupteingang. Der Haupteingang war eine Drehtür, die sehr schnell verstopft wurde. Die Feuerwehr hat hinter dem Haupteingang ca. 200 Menschen, die sich übereinandergestapelt haben, gefunden. Das Gebäude verfügte über mehrere Ausgänge aber die meisten waren verschlossen und verriegelt. Weiteres waren die Fenster von innen abgeschattet. Da der bekannte Fluchtweg blockiert war und ohne das Wissen von anderen verfügbaren Ausgängen, starben die Menschen am Ersticken durch Rauch, schwere Körperverbrennungen und Körperverletzungen als sie niedergetrampelt

⁵ Vgl. NFPA Journal_1995

wurden. Der Brandfall hat zur landesweiten Änderung der Sicherheitsstandards und der Behandlung von Brandopfern geführt.⁶

2.2.3 Brand im Beverly Hills Supper Club, 1977

35 Jahre später am 28. Mai 1977 entstand der drittschwerste Brand in der US Geschichte, der Brand im *Beverly Hills Supper Club* in Southgate, Kentucky, der 164 Todesopfer und ca. 70 Verletzte forderte. Es handelt sich um ein eingeschossiges Gebäude mit einem zweigeschossigen Gebäudeteil, der als Restaurant und Nachtclub diente. Das Gebäude wurde in 18 verschiedene Räume geteilt. Am Tag des Unglücks waren zwischen 2400 und 2800 Besucher, davon 1200 bis 1300 nur im Cabaret Raum, anwesend. Nach dem Brand wurde ausgewertet, dass in Bezug auf die netto Grundfläche das Gebäude eine Kapazität von maximal 2375 Personen erlaubt hätte. Betrachtet man die Breite der Ausgänge, wären es sogar nur 1511 Personen gewesen. Das Gebäude verfügte über keine Sprinkleranlage und keinen Feueralarm. Der Brand entstand in einem dem Cabaret Raum gegenüberliegenden kleinen Raum und brannte eine erhebliche Zeit bis er entdeckt wurde. Als wahrscheinliche Ursache wurde ein elektrischer Defekt bestimmt, der brennbares Material in der Decke entzündete. Als die Mitarbeiter den Brand entdeckten, versuchten sie den Brand zu löschen und erst nach ca. 15 Minuten meldeten sie ihn an die Feuerwehr. Gleichzeitig wiesen sie die Besucher auf das Feuer hin und baten sie das Gebäude zu verlassen. Weil die Besucher des Cabaret Raumes zuletzt auf das Feuer hingewiesen wurden und viel zu wenig Zeit für die Entfluchtung zur Verfügung stand, wurde die größte Anzahl der Todesopfer in diesem Raum gefunden, die meisten wurden vom Rauch erstickt. Die Hauptfaktoren, die zu der hohen Anzahl der Todesopfer führte, sind: die späte Entdeckung und Meldung des Brandes, die Anzahl der Besucher im Cabaret Raum, Überschreitung der Personenzahl im Raum gemäß des Codes, die Kapazität der Fluchtwege war für die anwesenden Personen insbesondere im Cabaret Raum nicht ausreichend und das Gebäude wurde nicht mit einer Sprinkleranlage ausgestattet.⁷

2.2.4 Brand im The Station Nachtclub, 2003

Ein anderer sehr bekannter Brandfall ist der Brand am 20. Februar 2003 im *The Station* Nachtclub, in West Warwick, Rhode Island, US, mit 100 Todesopfern und über 200 Verletzten. An diesem Abend waren ungefähr 440 Gäste in diesem Gebäude anwesend. Der Brand entstand kurz nach 23:00 Uhr im Bühnenbereich, als das Feuerwerk vom hinteren Bühnenbereich die aus Polyurethanschaum-Matten bestehende Wand- und Deckenverkleidung des Nachtclubs entzündete. Am Beginn des Brandes wurde das Feuer von vielen Besuchern nicht als Gefahr wahrgenommen, sondern als Teil der Bühnenshow. Der Brand breitete sich sehr rasch aus. Nach 30 Sekunden verließ der Band die Bühne. In diesem Augenblick begann das Publikum zu reagieren und versuchte das Gebäude zu verlassen. Das Gebäude verfügte über vier Ausgänge. Eine große Anzahl der Gäste strömte zu dem ihnen bekannten Haupteingang, durch den sie das Gebäude zuvor betreten hatten. In wenigen Sekunden das Gedränge und die entstandene Angst führten dazu, dass der Ausgang blockiert war und die nachfolgenden Gäste konnte nicht mehr

⁶ Vgl. Fire Journal 1982

⁷ Vgl. Fire Journal 1978

flüchten. Die 100 Gäste starben durch Feuer und Rauchgasvergiftung oder wurden zu Tode getrampelt.⁸

2.2.5 Brand im Nachtclub *Colectiv*, Bukarest, 2015

Ein Brand mit einer ähnlichen Ursache, wie der Brand im Nachtclub *The Station* ist der Brand, der sich am 30. Oktober 2015 im Nachtclub *Colectiv*, Bukarest, Rumänien mit 64 Todesopfern (26 am Brandort und 38 in Krankenhäusern) und 147 Verletzten ereignete. Zum Zeitpunkt der Brandentstehung waren rund 400 Gäste im Club anwesend. Die verwendete Pyrotechnik entzündete die aus Polyurethanschaum-Matten bestehende Säulenverkleidung. Das Feuer breitete sich sehr rasch aus und nach wenigen Sekunden wurde auch die Decke entzündet. Ähnlich wie beim Brand im Nachtclub *The Station* hatten die Gäste am Anfang des Feuers die Gefahr nicht wahrgenommen, sondern als Teil der Feuerwerksshow und deshalb fingen sie nicht rechtzeitig mit der Flucht an. Zum Zeitpunkt der Deckenentzündung begannen die Gäste sich in Richtung des einzigen zur Verfügung stehenden Ausganges zu bewegen. Der Ausgang war eine Doppeltür, die am Anfang nur einseitig geöffnet war. Durch die geringe Ausgangsbreite und die hunderten ängstlichen Gäste wurde der Ausgang sehr schnell verstopft und die Flucht verhindert. Die Gäste starben durch unmittelbare Brandeinwirkungen (Temperatur, Rauch) und an den Folgen von Krafteinwirkungen durch den Personendruck (Niedertrampeln) bei der Entfluchtung. Der Club hatte keine Genehmigung für die Innenraumverwendung von Feuerwerk.⁹

2.2.6 Sonstige Brände im Zusammenhang mit Pyrotechnik

Neben den zwei angeführten Brandfällen gibt es weltweit noch einige Brände, die wegen illegaler Innenraumverwendung von Pyrotechnik viele Todesopfer und Verletzte forderte, z. B: der Brand am 24. November 2001 im *Canecão Mineiro* Nachtclub in Belo Horizonte mit 7 Todesfällen und 197 Verletzten, Minas Gerais Brasil¹⁰, der Brand am 30. Dezember 2004 im Nachtclub *República Cromañón* in Buenos Aires, Argentinien mit 194 Toten und ca. 1492 Verletzten¹¹, der Brand am 21. September 2008 im *Wuwang Club* in Shenzhen, Guangdong, Volksrepublik China, mit 43 Toten und 88 Verletzten¹², der Brand am 27. Jänner 2013 im *The Kiss* Nachtclub in Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil mit 242 Toten und ca. 630 Verletzten¹³.

⁸ Vgl. NFPA Study Case 2006

⁹ Vgl. <https://stirileprotv.ro/stiri/actualitate/imagini-din-interiorul-clubului-collective-momentul-in-care-au-fost-aprinse-artificiile-care-au-provocat-tragedia.html> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹⁰ Vgl. <http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2013/01/so-1-dos-condenados-por-incendio-em-boate-de-bh-em-2001-cumpre-pena.html> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹¹ Vgl. https://www.nytimes.com/2011/04/21/world/americas/21briefs-7MEMBERSOFBA_BRF.html?_r=1 [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹² Vgl.

<https://web.archive.org/web/20080924054254/http://www.ihf.com/articles/2008/09/21/asia/club.php> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹³ Vgl.

<https://web.archive.org/web/20131018030620/http://www.myfoxny.com/story/20717786/death-toll-rises-to-245-in-brazil-club-fire> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

2.2.7 Ereignis aufgrund nicht verfügbarer Fluchtwege

Ein Brand, der weder wegen der Verwendung von illegaler Pyrotechnik im Innenraum entstanden ist, noch wegen überfüllter Räume, ist der im *Top Story Club* im Mai 1961, bei dem 19 Menschen starben. Der Club befand sich im obersten Geschoss eines alten Mühlenhauses mit einer maximalen Nutzeranzahl von 200 Personen. In der Nacht des Brandes befanden sich zwischen 20 und 25 Gäste im Club. Der Brand brach in einer Möbelwerkstatt im Erdgeschoss aus und breitete sich rasch zu den Treppen aus. Somit war die einzige Fluchtmöglichkeit versperrt. Die Gäste starben durch das Ersticken durch Rauch und durch das Springen aus dem Fenster.¹⁴

2.2.8 Erkenntnisse aus den Brandvorfällen

Alle erwähnten und beschriebenen Brandfälle haben etwas gemeinsam, abgesehen von der traurigen Geschichte der Todesopfer und Verletzten. Bei den meisten Brandfällen kommt es zu einer Überschreitung der maximal zulässigen Personenanzahl in einem Raum bzw. Gebäude zum Zeitpunkt des Feuers. Sowie zur Verhinderung der Fluchtwege bzw. Ausgänge oder zu einer zu späten Evakuierung des Gebäudes. Außerdem mangelt es oft an guter/ausreichender Beschilderung der Ausgänge.

2.3 Stand der Erkenntnisse

Mit zunehmend komplexem und flexiblem Gebäudevolumen steigt der Anspruch an die Brandsicherheit sowie der Bedarf an innovativen Brandschutzkonzepten. Für die Erstellung der Brandschutzkonzepte kommen verschiedene Methoden zur Anwendung. Mit der raschen Entwicklung der Computertechnologie und Softwaretechnologie werden immer wieder numerische Brandsimulationen und Evakuierungssimulationen eingesetzt, um komplexe Fragestellungen im Bereich des vorbeugenden Brandschutzes zu beurteilen.

Es gibt weltweit viele wissenschaftliche Publikationen, die bestimmte Fragestellungen zur Brandauswirkung und zum Evakuierungsverlauf betrachten.

Bei der Beurteilung der Brandauswirkung werden meistens Brandsimulationsmodelle verwendet, die Aussagen über die entstehenden thermodynamischen Phänomene, sowie nützliche Parameter in Bezug auf die Kriterien der Unverträglichkeit liefern. Bei der Verwendung von numerischen Brandsimulationen ist immer auf die Limitierungen und Empfindlichkeit des Berechnungsmodells zu achten. Arbeiten, die den Vergleich der Ergebnisse eines realen Brandversuches mit den Ergebnissen der numerischen Brandsimulation untersuchen, gewinnen wesentliche Erkenntnisse über die Limitierungen und Fähigkeiten des Brandsimulationsmodells. So eine Arbeit ist die Untersuchung eines Tunnelbrandes unter Anwendung des Feldmodells (CFD) FLUENT.¹⁵

Brandsimulationsmodelle wurden auch zur Rekonstruktion von verschiedenen Brandereignissen eingesetzt, wie zum Beispiel die Rekonstruktion des Brandes im Nachtclub „*The Station*“ 2003¹⁶, sowie des Brandes im „*World Trade Center*“ 2001. In

¹⁴ <https://www.fbu.org.uk/history/top-storey-club-fire-bolton> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹⁵ Haukur 2005

¹⁶ NIST NCSTAR 2,

Österreich wurde die Rekonstruktion eines Zimmerbrandes aufgrund des Spurenbildes unter Anwendung des Feldmodells „Fire Dynamics Simulator“ (FDS) untersucht.¹⁷ Bei der Untersuchung des Evakuierungsverlaufes im Brandfall eines Bibliothekgebäudes mit Hilfe des Simulationsprogramms „Fire Dynamics Simulator with Evacuation“ (FDS+Evac) haben die Autoren schlussgefolgert, dass die Personenanzahl und die Größe der Brandleistung eine entscheidende Rolle beim Evakuierungsverlauf spielen. Der Grund dafür ist das Entstehen einer hohen Personenverdichtung und der hohen Toxizität des Rauchgases. Bei den Simulationsmodellen wurden die Personenanzahl und die Brandleistung variiert.¹⁸

Eine vergleichende Untersuchung der tatsächlichen und durch Simulationsmodelle ermittelten Evakuierungszeit wurde von Olsson durchgeführt. Bei der Untersuchung wurden drei Universitätsgebäude betrachtet. Jedes Gebäude verfügte über Notbeleuchtung, beleuchtete Beschilderungen und Alarmierung in Form einer Sirene oder einer Sprachdurchsage. Die tatsächlichen Evakuierungszeiten wurden aufgezeichnet und mit den durch das Simulationsmodell Simulex ermittelten Zeiten verglichen. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Untersuchung sind, dass dem Programm Simulex bei Berechnung der Evakuierungszeiten für die untersuchten Gebäuden vertraut werden kann. Die Untersuchung zeigt, dass die in der Literatur vorgeschriebenen Reaktionszeiten für Büros und Veranstaltungsstätten eher konservativ sind. Es besteht ein Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der Personen im Gebäude/in der Nutzung mit einer Alarmierung durch eine Sirene und einer Alarmierung durch eine Sprachdurchsage.¹⁹

Die Untersuchung des Evakuierungsverlaufs in einer Karaoke-Einrichtung wurde für die Beurteilung der Kapazität der Ausgangsbreite und die Beseitigung der Stichgänge durchgeführt. Es wurden numerische Evakuierungssimulationen mittels dem Programm EXODUS durchgeführt, wobei die Ausgangsbreite und Ausgangslage variiert wurden. Es wurde festgestellt, dass breitere Fluchtwege nicht unbedingt die kürzere Evakuierungszeit liefern und sich das Vorhandensein von Stichgängen je nach Länge nicht auf den Evakuierungsverlauf auswirkt. Um die Sicherheit zu gewährleisten, muss jedoch ein gutes Brandschutzmanagement implementiert werden.²⁰

Untersuchungen zur Evakuierung im Brandfall schlagen vor, dass eine autoritäre Ankündigung der Evakuierung und eindeutige Informationen zu den verfügbaren Ausgängen die Überlebensrate beeinflussen. Eindeutige Anweisungen beseitigen einen Großteil der Mehrdeutigkeit, die die Personen oft dazu bringt den Evakuierungsbeginn zu verzögern. Somit werden die Stauzeiten im Bereich der Ausgänge, mit denen die Beteiligten am besten vertraut sind, minimiert.²¹

¹⁷ Pulker 2010

¹⁸ Withayavuth 2011

¹⁹ Olsson 2001

²⁰ Chow 2002

²¹ Johnson 1997

2.4 Rechtsgrundlagen, Analyse

2.4.1 Allgemeine Rechtsgrundlagen

In den folgenden Abschnitten werden die österreichischen, englischen und rumänischen Normen mit Bestimmungen an Flucht- und Rettungswege für Versammlungsstätten kurz beschrieben.

2.4.1.1 Normen Österreich

Im Rahmen des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes - ASchG regelt die Arbeitsstättenverordnung (AStV) in den §§16-22 Anforderungen an die Fluchtwege, Ausgänge und Notausgänge (auch das Stiegenhaus).²²

Weil im Baurecht die Gesetzgebungskompetenz bei den einzelnen Bundesländern liegt, existieren in Österreich neun unterschiedliche Baugesetze. Das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) gibt aufgrund der Harmonisierung der baulichen Bestimmungen Richtlinien heraus, welche von den einzelnen Bundesländern im Rahmen von Verordnungen als verbindlich erklärt werden.²³

Mit Stand Jänner 2015 existieren neun Richtlinien (Tabelle 2-1), welche jedoch noch nicht vollständig in allen Bundesländern als verbindlich erklärt wurden. Die OIB-Richtlinie 6 ist in allen Bundesländern verbindlich.

Tabelle 2-1: OIB-Richtlinien (Stand Jänner 2015)

RICHTLINIE	BEZEICHNUNG
OIB-Richtlinie 1	Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
OIB-Richtlinie 2	Brandschutz
OIB-Richtlinie 2.1	Brandschutz bei Betriebsbauten
OIB-Richtlinie 2.2	Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks
OIB-Richtlinie 2.3	Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m
OIB-Richtlinie 3	Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
OIB-Richtlinie 4	Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
OIB-Richtlinie 5	Schallschutz
OIB-Richtlinie 6	Energieeinsparung und Wärmeschutz

Für den Brandschutz und die Entfluchtung von Personen sind die OIB-Richtlinien 2, 2.1, 2.2, 2.3 und die OIB-Richtlinie 4 von Relevanz.

²² Vgl. AStV, §§16-22

²³ Vgl. <https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2015> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

Neben den oben genannten Richtlinien existieren noch neun, für jedes Bundesland, unterschiedliche Veranstaltungsgesetze, die Bestimmungen für Veranstaltungen und Veranstalter regeln. Für einige Bundesländer gibt es Gesetze bzw. Verordnungen, die genauere Bestimmungen für Veranstaltungsstätten festlegen, als auch Anforderungen an Flucht- und Rettungswege regeln. Es gibt folgende Gesetze und Verordnungen:

Burgenland

- Gesetz vom 7. Oktober 1993 über die öffentlichen Veranstaltungen im Burgenland (Bgl. Veranstaltungsgesetz), StF: LGBL. Nr. 2/1994 (XVI. Gp. RV 336 AB 382), i.d.F. LGBL. Nr. 27/2018;

Kärntner

- Gesetz vom 16. Dezember 2010 über die Regelung des Veranstaltungswesens (Kärntner Veranstaltungsgesetz 2010 - K-VAG 2010) StF: LGBL. Nr. 27/2011, i.d.F. LGBL Nr 65/2017

Niederösterreich

- NÖ Veranstaltungsgesetz StF: LGBL. 7070-0, i.d.F. LGBL. Nr. 38/2016
- NÖ Veranstaltungsgesetz LGBL. Nr. 7070-0, Leitfaden für die Bewilligung einer Veranstaltungsbetriebsstätte;

Oberösterreich

- Landesgesetz über die Sicherheit bei Veranstaltungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsgesetz) StF: LGBL.Nr. 78/2007 (GP XXVI RV 953/2006 AB 1218/2007 LT 41; RL 2003/109/EG vom 25. November 2003, ABl.Nr. L 16 vom 23.1.2004, S 44), i.d.F. LGBL.Nr. 93/2015;
- Verordnung der Oö. Landesregierung über die Festlegung von Mindestanforderungen für Veranstaltungen, Veranstaltungsstätten, Veranstaltungseinrichtungen und -mittel sowie die von ihnen ausgehenden Einwirkungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsverordnung - Oö. VSVO), StF: LGBL.Nr. 25/2008, i.d.F. LGBL.Nr. 10/2014;

Salzburg

- Salzburger Veranstaltungsgesetz 1997 StF: LGBL Nr 100/1997 (WV), i.d.F. LGBL Nr 91/2016
- Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 9. Jänner 2001 über nähere Vorschriften über den Bau und den Betrieb von Veranstaltungsstätten (Veranstaltungsstätten-Verordnung) StF: LGBL Nr 10/2001, i.d.F. LGBL Nr 91/2015;

Steiermark

- Gesetz vom 3. Juli 2012, mit dem das Veranstaltungswesen im Land Steiermark geregelt wird (Steiermärkisches Veranstaltungsgesetz 2012 - StVAG) Stammfassung: LGBL. Nr. 88/2012 (XVI. GPStLT IA EZ 1304/1 AB EZ 1304/5) (CELEX-Nr. 32006L0123), i.d.F. LGBL. Nr. 52/2018,
- Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 28. Mai 2014 über die Sicherheitserfordernisse bei Veranstaltungen (Steiermärkische Veranstaltungssicherheitsverordnung 2014 - VSVO) Stammfassung: LGBL. Nr. 61/2014;

Tirol

- Gesetz vom 2. Juli 2003, mit dem das Veranstaltungswesen in Tirol geregelt wird (Tiroler Veranstaltungsgesetz 2003 – TVG) LGBL. Nr. 86/2003, i.d.F. LGBL. Nr. 109/2017;

Vorarlberg

- Gesetz über das Veranstaltungswesen (Veranstaltungsgesetz) StF: LGBL.Nr. 1/1989, i.d.F. LGBL.Nr. 78/2017;

Wien

- Gesetz über die Regelung des Veranstaltungswesens (Wiener Veranstaltungsgesetz) StF.: LGBL. Nr. 12/1971, i.d.F. LGBL. Nr. 11/2016,
- Gesetz betreffend Lage, Beschaffenheit, Einrichtung und Betrieb von Veranstaltungsstätten (Wiener Veranstaltungsstättengesetz), i.d.F. LGBL. Nr. 31/2013.

Für das NÖ Veranstaltungsgesetz LGBL. Nr. 7070-0 existiert ein Leitfaden für die Bewilligung der Veranstaltungsbetriebsstätte, der einen Überblick zu den wichtigsten Bestimmungen des NÖ Veranstaltungsgesetz umfasst, als auch Anforderungen an Flucht- und Rettungswege darstellt.

Für die Bewilligung einer Veranstaltung bzw. Veranstaltungsstätte muss, laut OIB-Richtlinie 2, für mehr als 1000 Personen ein Brandschutzkonzept erstellt werden, welches dem OIB-Leitfaden “Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte” entsprechen muss.

2.4.1.2 Normen England

England ist ein Teilstaat des vereinigten Königreich Großbritanniens (eng. Bezeichnung: United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) neben Schottland und Wales. Das vereinigte Königreich Großbritannien ist eine konstitutionelle Monarchie ohne geschriebene Verfassung und die Bildung der Legislative wird durch ein Zwei-Kammern-Parlament (“Hous of Lords” und “Hous of Commons”) gebildet.²⁴

In vorliegender Arbeit werden nur die Bestimmungen aus England betrachtet. Schottland und Wales verfügen über eine eigene Legislative und somit auch über ein eigenes Regelwerk.

In England liegt die Regelungskompetenz bezüglich des Baurechts bei einem Minister im Regierungskabinet (“Secretary of State”). Sie wurde durch den Building Act 1984 delegiert. Auf Basis des Building Act 1984 werden weitere (sekundäre) Regelungen getroffen. Der Brandschutz wird durch das “The Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005” geregelt.²⁵ Allgemeine Anleitungen für Bauwerke und die Ausführung der Bauwerke sowie allgemeine Anleitungen für den Brandschutz werden durch das Regelwerk “The Building Regulation 2010” geregelt.²⁶ Die Gebäudeanforderungen und

²⁴ Vgl. <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/uk.html> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

²⁵ Vgl. <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2005/1541/contents/made> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

²⁶ Vgl. <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1984/55/section/1> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

Brandschutzanforderungen werden durch die "Building Regulation 2010" nur begrifflich (leistungsorientiert) definiert. Die technische Umsetzung dieser leistungsorientierten Anforderungen wird in den sogenannten "Approved Documents" beschrieben.²⁷

Für bestimmte Anforderungen an Brandschutz und Flucht- und Rettungswege ist das "Approved Document B - Fire Safety: Volume 1 - Dwellinghouses" (De: Brandschutz: Vol. 1 - Einfamilienhäuser) und das "Approved Document B - Fire Safety: Volume 2 - Buildings other than dwellinghouses" (De: Brandschutz: Vol. 1 - andere Gebäuden als Einfamilienhäuser) anzuwenden.²⁸

In Bezug auf den Brandschutz für Versammlungsstätten wird das "Approved Document B - Fire Safety: Volume 2 - Buildings other than dwellinghouses" verwendet.

Die "British Standards" schreiben hilfreiche Informationsquellen vor, die für eine Ergänzung oder eine Alternative (Auswahlmöglichkeit) der Anleitungen des "Approved Document B - Fire Safety: Volume 2" verwendet werden können.²⁹

Im Zusammenhang mit den Anforderungen an Fluchtwege wird auch das "British Standard BS9999:2008 - *Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings*" herangezogen.

2.4.1.3 Normen Rumänien

Rumänien ist eine parlamentarische Republik mit einer demokratischen Regierungsform. Das politische Leben im Land regelt die Verfassung, die im Jahre 1991 in Kraft trat. Das Hauptprinzip des rumänischen Staatswesens ist das Gleichgewicht zwischen Exekutive, Legislative und Judikative.

Die Gesetzgebung liegt bei dem Zweikammer-Parlament. Das Parlament bestätigt oder lehnt den Kandidaten auf den Posten des Ministerpräsidenten ab und entscheidet über gesetzliche Belange.

Die Exekutive wird durch die Regierung ausgeübt. An ihrer Spitze steht der Ministerpräsident, der ihre Arbeit koordiniert. Zu den Aufgaben der Regierung gehören die Kontrolle der Gesetzesausübung und das Einhalten des Staatsbudgets. In ihrer Arbeit ist die Regierung dem Parlament verantwortlich.

Administrativ gesehen ist Rumänien in 41 Kreise sowie die Hauptstadt unterteilt. Die Hauptstadt Bukarest fungiert als eine eigenständige Einheit. Die Kreise werden von gewählten Kreisräten und den Präfekten verwaltet. Der Präfekt wird von der Regierung eingesetzt und ist für die Einhaltung der Regierungspolitik auf lokaler Ebene verantwortlich.

In Rumänien wird das Baurecht neben den allgemeinen Regeln des Zivilgesetzes durch ein gesondertes Regelwerk ergänzt.

Die wesentlichen Gesetze des Baurechts sind:

²⁷ Vgl. https://www.planningportal.co.uk/info/200135/approved_documents [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

²⁸ Vgl. https://www.planningportal.co.uk/info/200135/approved_documents/63/part_b_-_fire_safety [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

²⁹ Vgl. AD B-V2, §0.22

- Gesetz Nr. 50/1991 betreffend die Baugenehmigung mit den zugehörigen Verfahrensnormen
- Gesetz Nr. 10/1995 betreffend die Bauqualität
- Gesetz Nr. 350/2001 betreffend die Stadtplanung gemeinsam mit weiteren generellen und regionalen Regelungen
- Regierungsbeschluss Nr. 343/2017 betreffend die Änderung des Regierungsbeschlusses Nr. 273/1994 für die Bestätigung der Verordnung betreffend die Fertigstellung eines Gebäudes.

Das Baurecht und der Brandschutz in Rumänien sind einheitlich für alle 41 Kreise und die Hauptstadt geregelt. Die grundsätzlichen Anforderungen an den Brandschutz und die Entfluchtung von Personen werden über das Gesetz Nr. 10/1995 und das Gesetz Nr. 307/12.07.2016 geregelt. Die genaueren Anforderungen an Flucht- und Rettungswege für Veranstaltungsstätten werden durch zwei Normen geregelt:

- P 118-99 - *“Normativ de siguranță la foc a construcțiilor”* (De: Norm für die Brandsicherheit der Bauwerke);

- NP 006-96 - *“Normativ de proiectare a sălilor aglomerate cu vizitatori. Cerințe utilizatori”* (De: Norm für die Bemessung der Räume mit erhöhten Personenanzahl Benutzeranforderungen).

2.4.2 Analyse der Normen

In folgenden Abschnitten wird eine Inhaltsanalyse der österreichischen, englischen und rumänischen Gesetze und Normen in Bezug auf die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege durchgeführt.

2.4.2.1 Überblick über die österreichischen Verordnungen und Richtlinien

Arbeitsstättenverordnung

Die Arbeitsstättenverordnung regelt im Besonderen in den §§16-22 die materiellen Anforderungen an die Fluchtwege.

Anforderungen an Fluchtweglänge

Arbeitsstätten sind so zu gestalten, dass von jedem Punkt der Arbeitsstätte aus:

- nach höchstens 10 m ein Verkehrsweg erreicht wird und
- nach höchstens 40 m direkt ins Freie oder an einen sicheren Ort gelangt wird.³⁰

Die Fluchtweglänge kann von den oben genannten Längen abweichen, im Fall, dass keine anderen Gefährdungen als durch Brandeinwirkung (insbesondere keine chemische oder mechanische Gefährdung) vorliegen und in jedem Geschoss ein weiterer und möglichst entgegengesetzt liegender Ausgang vorhanden ist. Die abweichenden Fluchtwege betragen:

- höchstens 50 m bei Räumen mit einer lichten Raumhöhe von mindestens 10 m,

³⁰ Vgl. AStV, §17 (1)

- höchstens 50 m bei Räumen mit einer lichten Raumhöhe von mindestens 5 m bei Vorhandensein einer automatischen Brandmeldeanlage mindestens im Schutzzumfang "Brandabschnittschutz" mit Rauchmeldern,
- höchstens 70 m bei Räumen mit einer lichten Raumhöhe von mindestens 10 m bei Vorhandensein einer automatischen Brandmeldeanlage mindestens im Schutzzumfang "Brandabschnittschutz" mit Rauchmeldern,
- höchstens 70 m bei Vorhandensein einer Rauch- und Wärmeabzugsanlage, welche durch eine automatische Brandmeldeanlage mindestens im Schutzzumfang "Brandabschnittschutz" mit Rauchmeldern angesteuert wird.

Anforderungen an Fluchtwegbreite

Die Fluchtwege müssen folgende nutzbare Mindestbreite aufweisen

- für höchstens 20 Personen: 1,0 m,
- für höchstens 120 Personen: 1,20 m,
- bei mehr als 120 Personen erhöht sich die Breite für je weitere zehn Personen um jeweils 0,1 m.³¹

In Bezug auf die materielle Ausgestaltung der Fluchtwege regelt die AStV, dass die Fußboden-, Wand- und Deckenoberflächen aus mindestens schwer brennbaren und schwach qualmenden Baustoffen bestehen müssen.³²

Anforderungen an Ausgänge

Die Mindestbreite für Ausgänge ohne Fahrzeugverkehr muss 0,80 m betragen. Ausgängen sind so zu gestalten, dass sie auf ihre tatsächliche nutzbare Gesamtbreite eine lichte Höhe von mindestens 2,0 m aufweisen.

Die Arbeitsstätten sind so zu gestalten, dass:

- aus jedem Arbeitsraum ein Ausgang direkt auf einen Fluchtweg führt und
- aus folgenden Arbeitsräumen mindestens zwei hinreichend weit voneinander entfernte und nach Möglichkeit auf verschiedenen Seite des Raumes liegende Ausgänge direkt auf einen Fluchtweg führen:
 - a. Arbeitsräume mit einer Bodenfläche von mehr als 200 m², in denen mehr als 20 ArbeitnehmerInnen beschäftigt werden oder
 - b. Arbeitsräume mit einer Bodenfläche von mehr als 500 m².³³

Die Notausgänge müssen folgende nutzbare Mindestbreite aufweisen

- für höchstens 40 Personen: 0,80 m
- für höchstens 80 Personen: 0,90 m
- für höchstens 120 Personen: 1,00 m
- bei mehr als 120 Personen erhöht sich die Breite für je weitere zehn Personen um jeweils 0,1 m.³⁴

³¹ Vgl. AStV, §18

³² Vgl. AStV, §19 (5)

³³ Vgl. AStV, §17 (2)

³⁴ Vgl. AStV, §17 (2)

OIB-Richtlinie 2, Brandschutz - 2015

Die OIB-Richtlinie 2 legt die allgemeinen Anforderungen an Gebäude im Zusammenhang mit dem Brandschutz fest. Besonders werden die Anforderungen an das Brandverhalten und den Feuerwiderstand der Bauteile (Tabelle 1a und Tabelle 1b) in Bezug auf die Gebäudeklasse betrachtet.³⁵ Es gibt fünf Gebäudeklassen, GK1 bis GK5.

Um die Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks zu vermeiden, werden folgende maximale Netto-Grundflächen für Brandabschnitte in oberirdischen Geschossen bestimmt.

Tabelle 2-2: Brandabschnitte in oberirdischen Geschossen³⁶

Nutzung	Maximale Netto-Grundfläche	Maximale Längsausdehnung	Maximale Anzahl von oberirdischem Geschoss je Brandabschnitt
Wohngebäude	-	60 m	-
Büronutzung oder büroähnliche Nutzung	1600 m ²	60 m	4
andere Nutzung	1200 m ²	60 m	4

Die Brandabschnitte in unterirdischen Geschossen dürfen eine maximale Netto-Grundfläche von 800 m² nicht überschreiten. Alle Brandabschnitte sind durch brandabschnittsbildende Bauteile (z.B. Wände, Decken) voneinander zu trennen.

Anforderungen an Fluchtwege

Es wird festgelegt, dass, von jeder Stelle jedes Raums, ausgenommen ausgebaute Dachräume, in höchstens 40 m Gehweglänge erreichbar sein muss:

- ein direkter Ausgang zu einem sicheren Ort des angrenzenden Geländes ins Freien, oder
- ein Treppenhaus oder eine Außentreppe mit jeweils einem Ausgang zu einem sicheren Ort des angrenzenden Geländes im Freien.³⁷

Gänge, Treppen und Türen im Verlauf von Fluchtwegen außerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten müssen einen gewissen Brandwiderstand in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse (GK 1-5) besitzen.³⁸

OIB-Richtlinie 4, Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit - 2015

Die OIB-Richtlinie 4 legt im Zusammenhang mit der Sicherheit bzw. Brandsicherheit besonders die Mindestbreite der Gänge, Treppen und Türen im Verlauf von Fluchtwegen fest.

³⁵ Vgl. OIB-RL 2, Tabelle 1a und 1b

³⁶ Vgl. OIB-RL 2, Seite 3

³⁷ Vgl. OIB-RL 2, Seite 8, Ab. 5.1.1

³⁸ Vgl. OIB-RL 2, Seite 9, Ab. 5.3

Hauptgänge müssen eine lichte Durchgangsbreite von mindestens 1,20 m aufweisen, ausgenommen davon sind einige Wohnnutzgebäude, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen müssen, mit einer Durchgangsbreite von mind. 1,0 m.³⁹

Bei Treppen darf die lichte Treppenlaufbreite die Mindestmaße der folgenden Tabelle 2-3 nicht unterschreiten.

Tabelle 2-3: Mindestanforderungen an Treppenlaufbreite sowie Podeste und Rampen⁴⁰

Treppenarten	Lichte Treppenlaufbreite [m]
Haupttreppen	
Haupttreppen ausgenommen Wohnungstreppen	1,20
Wohnungstreppen	0,90
Nebentreppen	0,60

Die lichte Breite bei Gängen und Treppen im Verlauf von Fluchtwegen für mehr als 120 Personen muss für jeweils weitere zehn Personen um jeweils 10 cm erhöht werden.⁴¹

Die lichte Treppenlaufbreite im Verlauf von Fluchtwegen darf höchstens 2,40 m aufweisen. Bei breiteren Treppen sind zusätzliche Handläufe zur Unterteilung der Treppenlaufbreite erforderlich.⁴²

Die Türen im Verlauf von Fluchtwegen müssen mindestens folgende nutzbare Breite der Durchgangslichte aufweisen:

- für höchstens 40 Personen 80 cm,
- für höchstens 80 Personen 90 cm,
- für höchstens 120 Personen 100 cm.⁴³

Die nutzbare Breite der Durchgangslichte bei Türen im Verlauf von Fluchtwegen für mehr als 120 Personen muss für jeweils weitere zehn Personen um jeweils 10 cm erhöht werden.⁴⁴

Wenn ein Raum für mehr als 120 Personen bestimmt ist, müssen mindestens zwei ausreichend weit voneinander entfernte Ausgänge auf einen Fluchtweg führen.⁴⁵

Gesetz vom 7. Oktober 1993 über die öffentlichen Veranstaltungen im Burgenland (Bgl. Veranstaltungsgesetz)

StF: LGBl. Nr. 2/1994 (XVI. Gp. RV 336 AB 382), i.d.F LGBl. Nr. 27/2018

³⁹ Vgl. OIB-RL 4, Seite 3, Ab. 2.4.1

⁴⁰ Vgl. OIB-RL 4, Seite 4, Tabelle 1

⁴¹ Vgl. OIB-RL 4, Seite 4, Ab. 2.4.3

⁴² Vgl. OIB-RL 4, Seite 4, Ab. 2.4.5

⁴³ Vgl. OIB-RL 4, Seite 4, Ab. 2.8.1

⁴⁴ Vgl. OIB-RL 4, Seite 5, Ab. 2.8.2

⁴⁵ Vgl. OIB-RL 4, Seite 5, Ab. 2.8.3

Das burgenländische Veranstaltungsgesetz legt keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege fest. Besonders werden Bestimmungen über die Bewilligung von Veranstaltungen festgelegt.

Gesetz vom 16. Dezember 2010 über die Regelung des Veranstaltungswesens (Kärntner Veranstaltungsgesetz 2010 - K-VAG 2010)

StF: LGBl. Nr. 27/2011, i.d.F. LGBl Nr 65/2017

Das kärntnerische Veranstaltungsgesetz legt keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege fest.

NÖ Veranstaltungsgesetz

StF: LGBl. 7070-0, i.d.F. LGBl. Nr. 38/2016 [CELEX-Nr.: 32005L0036, 32013L0055]

Das niederösterreichische Veranstaltungsgesetz legt keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege fest, aber die Anmeldung der Veranstaltung muss auch ein sicherheits-, brandschutz- und ein rettungstechnisches Konzept enthalten, welche mit Hilfe des Leitfadens für die Bewilligung einer Veranstaltungsbetriebsstätte zu erstellen sind.⁴⁶

Anforderungen an Fluchtwege und Ausgänge lt. "Leitfaden für die Bewilligung einer Veranstaltungsbetriebsstätte":

Fluchtwege in Gebäuden/Zelten

- maximal 40 m Fluchtweglänge und mindestens zwei voneinander unabhängige Ausgänge,
 - bis 120 Personen, mindestens 120 cm Fluchtwegbreite,
 - für zehn weitere Personen sind zusätzlich 10 cm Fluchtwegbreite notwendig,
- ab 200 Personen müssen die beiden Ausgänge an zwei verschiedenen Fronten liegen.⁴⁷

Landesgesetz über die Sicherheit bei Veranstaltungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsgesetz)

StF: LGBl.Nr. 78/2007 (GP XXVI RV 953/2006 AB 1218/2007 LT 41; RL 2003/109/EG vom 25. November 2003, ABl.Nr. L 16 vom 23.1.2004, S 44), i.d.F. LGBl.Nr. 93/2015

Das oberösterreichische Veranstaltungssicherheitsgesetz legt keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege fest.

Im Fall einer bewilligungspflichtigen Veranstaltung hat der Antrag auf Erteilung einer Veranstaltungsstättenbewilligung auch eine technische Beschreibung sowie weitere für die Sicherheit der Teilnehmer und Besucher der Veranstaltung relevante Umstände, wie z. B. Fluchtwege zu enthalten.⁴⁸

Verordnung der Oö. Landesregierung über die Festlegung von Mindestanforderungen für Veranstaltungen, Veranstaltungsstätten, Veranstaltungseinrichtungen und -mittel sowie die von ihnen ausgehenden Einwirkungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsverordnung - Oö. VSVO)

StF: LGBl.Nr. 25/2008, i.d.F. LGBl.Nr. 10/2014

⁴⁶ Vgl. NÖ Veranstaltungsgesetz, §5, 9

⁴⁷ Vgl. Leitfaden für die Bewilligung einer Veranstaltungsbetriebsstätte, NÖ

⁴⁸ Vgl. Oö. Veranstaltungssicherheitsgesetz, §10 (6)

Die Verordnung legt fest, dass eine Fluchtwegmindestbreite von 1 cm für jeden auf den jeweiligen Fluchtweg angewiesenen Veranstaltungsteilnehmer zur Verfügung stehen muss.⁴⁹

**Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 9. Jänner 2001 über nähere Vorschriften über den Bau und den Betrieb von Veranstaltungsstätten (Veranstaltungsstätten-Verordnung)
StF: LGBl Nr 10/2001, i.d.F. LGBl Nr 91/2015**

Die Verordnung legt allgemeine Bestimmungen über Veranstaltungsstätten und Sonderbestimmungen für einige Arten der Veranstaltungsstätten fest.

Allgemeine Bestimmungen

Anforderungen an Fluchtwege innerhalb von Bauten und Ausgänge

- die lichte Fluchtwegbreite muss mindestens 1,20 m betragen,
- bei einem Fassungsvermögen von über 100 Personen ist für jede weitere Person 1 cm dazuzurechnen,
- jeder Veranstaltungsraum muss mindestens zwei Ausgänge haben,
- der Weg von jedem Besucherplatz bis zum nächsten Ausgang darf nicht länger als 25 m sein; der Weg zum nächsten brandbeständigen Stiegenhaus darf 40 m nicht überschreiten.⁵⁰

Anforderungen an Stiegen und Stiegenhäuser

- wenn das Fassungsvermögen des Veranstaltungsraumes 100 Personen überschreitet, muss jedes Obergeschoss über mindestens zwei voneinander unabhängige Stiegen in eigenen Stiegenhäusern zugänglich sein,
- Hauptstiegen dürfen nicht breiter als 2,50 m sein.⁵¹

Bestimmungen für Saaltheater

Anforderungen an Fluchtwege

- Die Bühne muss auf beiden Seiten mindestens einen Ausgang zu Fluchtwegen haben,
- sind Galerien, Stege oder ein Rollenboden eingebaut, müssen Fluchtwege für das Bühnenpersonal die Anforderungen an Fluchtwege für Volltheater erfüllen.⁵²

Bestimmungen für Volltheater

Anforderungen an Fluchtwege und Ausgänge

- von jedem Punkt der Bühne muss in höchstens 30 m Entfernung ein Gang erreichbar sein,
- ein Ausgang oder ein im Verlauf des Fluchtweges liegendes Stiegenhaus darf nicht mehr als 25 m vom Bühnenausgang liegen,

⁴⁹ Vgl. OÖ VSVO, §2, 2, a)

⁵⁰ Vgl. Salzburg Veranstaltungsstätten-Verordnung, §12, §14

⁵¹ Vgl. Salzburg Veranstaltungsstätten-Verordnung, §15

⁵² Vgl. Salzburg Veranstaltungsstätten-Verordnung, §36

- die Breite der als Fluchtwege dienenden Gänge, Bühnenstiegen und ins Freie führenden Ausgänge muss mindestens betragen:
 - bei Bühnen bis 350 m² Fläche 1,50 m für Gänge in allen Geschossen und 1,20 m für Stiegen und Ausgänge,
 - bei Bühnen über 350 m² Fläche 2,0 m für Gänge in Höhe des Bühnenfußbodens und 1,50 m für Gänge in den übrigen Geschossen sowie für Stiegen und Ausgänge.⁵³

Bestimmungen für Veranstaltungen mit nicht überdachten Spiel- und Szenenflächen

Anforderungen an Fluchtwege:

Die lichte Fluchtbreite in Freilichttheatern und Freiluftsportstätten muss mindestens 1,20 m je 450 darauf angewiesene Personen betragen.⁵⁴

Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 28. Mai 2014 über die Sicherheitserfordernisse bei Veranstaltungen (Steiermärkische Veranstaltungssicherungsverordnung 2014 – VSVO) Stammfassung: LGBl. Nr. 61/2014, i.d.F.

Anforderungen an Fluchtwege und Ausgänge

- aus einem Raum mit mehr als 120 Personen müssen mindestens zwei hinreichend weit voneinander entfernte und nach Möglichkeit auf verschiedenen Seiten des Raumes liegende Ausgänge direkt auf einen Fluchtweg führen,
- der Fluchtweg von jeder für Personen zugänglichen Stelle innerhalb der Veranstaltungsstätte darf nicht 40 m überschreiten,
- Flucht- und Rettungswege im Gebäude müssen für bis zu 120 Personen eine lichte Durchgangsbreite von mindestens 120 cm aufweisen. Die lichte Durchgangsbreite erhöht sich für je zusätzlich angefangene 10 Personen um jeweils 10 cm.⁵⁵

Die Türen im Verlauf von Fluchtwegen müssen mindestens folgende lichte Durchgangsbreite aufweisen:

- für höchstens 20 Personen: 80cm,
- für höchstens 40 Personen: 90cm,
- für höchstens 60 Personen: 100cm,
- für höchstens 120 Personen: 120cm,
- bei mehr als 120 Personen erhöht sich die lichte Durchgangsbreite von 120 cm für je 10 Personen um jeweils 10 cm.⁵⁶

Bei Veranstaltungen im Freien von bis zu 300 Personen müssen die Flucht- und Rettungswege eine lichte Durchgangsbreite von mindestens 120 cm aufweisen. Die lichte Durchgangsbreite erhöht sich für je zusätzlich angefangene 300 Personen um jeweils 60 cm.⁵⁷

⁵³ Vgl. Salzburg Veranstaltungsstätten-Verordnung, §47

⁵⁴ Vgl. Salzburg Veranstaltungsstätten-Verordnung, §62

⁵⁵ Vgl. Steiermärkische VSVO 2014, §5

⁵⁶ Vgl. Steiermärkische VSVO 2014, §5, (5)

⁵⁷ Vgl. Steiermärkische VSVO 2014, §5, (6)

Betreffend den baulichen Brandschutz wird ein Feuerwiderstand (REI 90) der Brandwände, die das Veranstaltungsgebäude, -gebäudeteile und -räume von benachbarten Geschossen und benachbarten Bauwerken trennen, vorgeschrieben.⁵⁸

**Gesetz vom 2. Juli 2003, mit dem das Veranstaltungswesen in Tirol geregelt wird (Tiroler Veranstaltungsgesetz 2003 – TVG)
LGBl. Nr. 86/2003, i.d.F. LGBl. Nr. 109/2017**

Keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege.

Bei Veranstaltungen, zu denen mehr als 1500 Personen oder Teilnehmer gleichzeitig erwartet werden, hat der Veranstalter der Behörde gleichzeitig mit der Anmeldung ein sicherheits- und rettungstechnisches Konzept vorzulegen.⁵⁹

**Gesetz über das Veranstaltungswesen (Veranstaltungsgesetz)
StF: LGBl.Nr. 1/1989, i.d.F. LGBl.Nr. 78/2017**

Das vorarlbergerische Veranstaltungsgesetz legt keine Anforderungen an Flucht- und Rettungswege fest.

Gesetz betreffend Lage, Beschaffenheit, Einrichtung und Betrieb von Veranstaltungsstätten (Wiener Veranstaltungsstättengesetz), i.d.F. LGBl. Nr. 31/2013

Es wird eine Einteilung der Veranstaltungsstätten in folgende Gruppen gemacht:

1. Volltheater,
2. Saaltheater,
3. Zirkusanlagen,
4. Ausstellungsanlagen,
5. Volksvergnügungsstätten,
6. Kinobetriebsstätten,
7. Sonstige Veranstaltungen.⁶⁰

Allgemeine Bestimmungen

Räume und Etagen einer Veranstaltungsstätte in einem Gebäude müssen, wenn sie für den Aufenthalt von

- bis zu 30 Personen bestimmt sind und im Erdgeschoss liegen, mindestens einen direkt oder über den kürzesten Hauptverkehrsweg ins Freie führenden Ausgang haben,
- bis zu 100 Personen bestimmt sind, mindestens einen direkt oder über den kürzesten Hauptverkehrsweg ins Freie führenden Ausgang und mindestens einen leichten und jederzeit begehbaren Notausgang haben,
- mehr als 100 Personen bestimmt sind, mindestens zwei direkt oder über den kürzesten Hauptverkehrsweg (§ 4) ins Freie führende Ausgänge haben.⁶¹

⁵⁸ Vgl. Steiermärkische VSVO 2014, §9

⁵⁹ Vgl. TVG, §6a

⁶⁰ Vgl. Wiener Veranstaltungsstättengesetz, §2

⁶¹ Vgl. Wiener Veranstaltungsstättengesetz, §3

Anforderungen an Verkehrswege im Gebäude

Die Hauptverkehrswege müssen eine Mindestbreite aufweisen von:

- 1,0 m für nicht mehr als 30 Personen,
- 1,2 m für nicht mehr als 31 bis 120 Personen,
- 1,4 m für 121 bis 180 Personen,
- 1,8 m für 181 bis 240 Personen,
- 2,2 m für 241 bis 300 Personen.

Befindet sich die Veranstaltung im Freien, gelten folgende Mindestbreiten:

- 1,2 m für bis zu 300 Personen,
- 1,4 m für 301 bis 450 Personen,
- 1,8 m für 451 bis 600 Personen,
- 2,2 m für 601 bis 750 Personen.⁶²

In Veranstaltungsstätten mit einem Fassungsvermögen von über 300 Personen muss ein Verkehrsweg, der zur Gänze von den nicht zur Veranstaltungsstätte gehörigen Gebäudeteilen baulich getrennt sein muss, bis ins Freie führen und zur Verfügung stehen.⁶³

Besondere Bestimmungen für Volltheater

Verkehrswege und Türen des Bühnenhauses:

- In der Höhe der Bühne muss zwischen den Umfassungsmauern des Bühnenraumes und den Räumen des übrigen Bühnenhauses ein mindestens 2 m breiter Gang sein.
- In den übrigen Geschossen, in welchen er als Zugang zu den Umkleide- oder Aufenthaltsräumen dient, ein 1,40 m breiter.
- sonst ein 1 m breiter Gang angelegt sein.
- Jeder Gang muss zu einem Stiegenhaus mit einer wenigstens 1,40 m breiten Stiege führen, welche einen direkt ins Freie führenden Ausgang hat.
- Für mehr als 100 auf die Verkehrswege angewiesenen Personen, müssen die Wege für je weitere 50 Personen um je 40 cm breiter sein.⁶⁴

Verkehrswege und Türen des Zuschauerhauses:

- Die Ausgänge aus dem Zuschauerraum müssen in jedem Geschos auf einen mindestens 2,20 m breiten, den Zuschauerraum umlaufenden Gang führen,
- Von jeder Etage muss zu beiden Seiten mindestens je eine 1,40 m breite Stiege ins Freie führen, die mit den übrigen Etagen nicht in Verbindung stehen darf.⁶⁵

Besondere Bestimmungen für Saaltheater

Verkehrswege für die im Bühnenraum beschäftigten Personen:

⁶² Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §4 (2)

⁶³ Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §4 (5)

⁶⁴ Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §43

⁶⁵ Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §44

- in der Höhe der Bühne muss zwischen den Umfassungsmauern des Bühnenraumes und den für den Bühnenbetrieb erforderlichen sonstigen Räumen ein mindestens 1,4 m breiter Gang vorhanden sein,
- in den übrigen Geschossen muss der Gang, der als Zugang zu den Umkleide- oder Aufenthaltsräumen dient, eine Mindestbreite von 1,4 m aufweisen, sonst mindestens 1,0 m breit sein,
- jeder Gang muss unmittelbar zu einem Stiegenhaus mit einer wenigstens 1,40 m breiten Stiege führen, welche einen direkt ins Freie führenden Ausgang hat,
- für mehr als 100 auf die Verkehrswege angewiesene Personen, müssen die Wege für je weitere 50 Personen um je 40 cm breiter sein.⁶⁶

Verkehrswege und Türen außerhalb des Bühnenbetriebes

- Die Ausgänge aus dem Zuschauerraum müssen in jedem Geschoss auf mindestens 1,80 m breite Gänge führen.
- Von jeder Etage muss zu beiden Seiten mindestens je eine 1,40 m breite Stiege ins Freie führen, die mit den übrigen Etagen nicht in Verbindung stehen darf.⁶⁷

2.4.2.2 Überblick über die englischen Verordnungen und Richtlinien

In den folgenden Abschnitten werden die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege bei Versammlungsstätten betrachtet.

2.4.2.2.1 Das „Approved Document B – Fire Safety: Volume 2“

Das “Approved Document B - Fire Safety: Volume 2” legt die allgemeinen Anforderungen an Flucht- und Rettungswege bei Versammlungsstätten fest.

Die Bemessung der Fluchtwege und die Vorkehrungen für andere Brandschutzmaßnahmen, wie z.B. Brandmeldeanlage, muss sich auf die Festlegung einer Risikobeurteilung in Zusammenarbeit mit dem Nutzer beziehen. Bei der Risikobeurteilung müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden: der Gebäudetragwerkstyp, die Gebäudenutzung, die durchgeführten Vorgänge oder die im Gebäude gelagerten Materialien, mögliche Feuerquellen, die mögliche Feuerausbreitung in das Gebäude und die vorgeschlagene Einstufung des Brandschutzmanagements.⁶⁸

Die meisten Anforderungen an Fluchtwege werden in Zusammenhang mit der Gebäudenutzung festgelegt.

In Bezug auf die Nutzung werden die Gebäude in die Gruppen laut Tabelle 2-4 eingeteilt:

⁶⁶ Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §59

⁶⁷ Vgl. Wiener Veranstaltungstättengesetz, §60

⁶⁸ Vgl. AD B-V2, §B1.ii

Tabelle 2-4: Einteilung der Gebäudenutzungen⁶⁹

Nutzung	Gruppe	Beispiel
Wohnen	1(a) 1(b) 1(c)	-Wohnung; -Einfamilienhaus mit letztem bewohnbarem Stock höher als 4,5m; - Einfamilienhaus mit letztem bewohnbarem Stock nicht höher als 4,5m;
Wohnen (Öffentlich) Andere	2(a) 2(b)	Krankenhaus, Schule, etc.; Hotel, Schülerheim, Studentenheim etc.;
Büro	3	Bürogebäude;
Einkauf und Gewerbe	4	Einkaufscenter;
Versammlung	5	Versammlungsstätten
Betrieb	6	Werk, Fabrik;
Lagerung und andere nicht bewohnbare Nutzung	7(a) 7(b)	Lagerhalle; Parkplätze.

Anzahl der Fluchtwege und Fluchtweglänge

Die Anzahl der Fluchtwege und Ausgänge hängt von den im Raum, Stockwerk anwesenden Personen und der maximalen Fluchtweglänge ab.

⁶⁹ Vgl. AD B-V2, Anhang D

Tabelle 2-5: Maximale Fluchtweglänge (mit Ausnahme der Nutzungsgruppe 1)⁷⁰

Nutzungsgruppe	Verwendung	Maximale Fluchtweglänge [m]	
		In eine Richtung	Mehr als eine Richtung
2(a)	Öffentlich	9	18
2(b)	a. Im Schlafzimmer	9	18
	b. Schlafzimmereingang	9	35
	c. andere	18	35
3	Büro	18	45
4	Einkauf und Gewerbe	18	45
5	Versammlung und Vergnügung:		
	a. Gebäude primär für Behinderte	9	18
	b. Bereiche mit Sitzplätzen	15	32
	c. andere	18	45
6	Betrieb		
	- Normales Brandrisiko	25	45
	- Hohes Brandrisiko	12	25
7	Lagerung und andere nicht bewohnbare Gebäude	25	45
	- Normales Brandrisiko	12	25
	- Hohes Brandrisiko		

Tabelle 2-6: Mindestanzahl der Fluchtwege und Ausgänge aus einem Raum, Stockwerk⁷¹

Maximale Personenanzahl	Mindestanzahl der Fluchtwege und Ausgänge
60	1
600	2
über 600	3

Um zu verhindern, dass Personen/Nutzer von Feuer und Rauch eingeschlossen werden, müssen aus allen Gebäudeteilen alternative Fluchtwege vorhanden sein.

Ein einzelner Fluchtweg ist akzeptabel für:

- a. Teile eines Geschosses bei denen innerhalb der maximalen Fluchtweglänge (in eine Richtung) nach Tabelle 2-5 ein Ausgang zu einem gesicherten Fluchtweg-Bereich erreicht werden kann. Es gilt, dass bei Versammlungsstätten und Bars die maximale Personenanzahl in einem Raum 60 Personen, bei öffentlichen Gebäuden maximal 30 Personen beträgt.

⁷⁰ Vgl. AD B-V2, Tabelle 2, Seite 34

⁷¹ Vgl. AD B-V2, Tabelle 3, Seite 35

- b. Ein Geschoss mit einem Fassungsvermögen kleiner als 60 Personen, in dem die maximale Fluchtweglänge in eine Richtung erfüllt ist.⁷²

Fluchtweg- und Ausgangsbreite

Die Fluchtweg- und Ausgangsbreite hängt von der Anzahl der Personen ab, die sie benützen müssen. (siehe Tabelle 2-7)

Tabelle 2-7: Mindestbreite für Fluchtwege und Ausgänge⁷³

Maximale Personenanzahl	Mindestbreite [mm]
60	750
110	850
220	1050
über 220	5 mm per Pax.

Die endgültigen Ausgänge müssen so dimensioniert und platziert werden, dass die Evakuierung von Personen aus dem Gebäude und weg vom Gebäude erleichtert wird. Dementsprechend sollten sie nicht weniger breit als die Mindestbreite sein, die für den Fluchtweg erforderlich ist, dem sie dienen.

Anzahl der Fluchtstiegen

Die Anzahl der Fluchtstiegen wird bestimmt durch:

- a. die Voraussetzungen für die Bemessung der Flugwege;
- b. ob unabhängige Stiegen für Gebäude mit verschiedenen Nutzungen vorgeschrieben sind;
- c. ob eine einzelne Stiege zulässig ist;
- d. Bereitstellung einer ausreichenden Breite für die Flucht unter Berücksichtigung der Möglichkeit, dass eine Stiege aufgrund von Feuer oder Rauch nicht benutzt werden kann.

In der Tabelle 2-8 werden die Mindestbreiten der Fluchtstiegen dargestellt.

⁷² Vgl. AD B-V2, §3.5, Seite 33

⁷³ Vgl. AD B-V2, Tabelle 4, Seite 36

Tabelle 2-8: Mindestbreite der Fluchtstiege⁷⁴

Siege	Maximale Personenanzahl	Mindestbreite [mm]
1a. In einem öffentlichen Gebäude (ausgenommen, wenn die Stiege nur von Mitarbeitern genutzt wird)	150	1000
1b. In einem Versammlungsgebäude und in einem Bereich, der für Versammlungen genutzt wird (ausgenommen, wenn die Fläche kleiner als 100m ² ist)	220	1100
1c. In jedem anderen Gebäude und in einem Bereich mit einem Fassungsvermögen von über 50 Personen	über 220	Siehe Anmerkung 1
2. Jede nicht oben beschriebene Stiege	50	800

Anmerkung 1:

In Abhängigkeit von der Art der Evakuierung, gleichzeitige Evakuierung oder abgestufte Evakuierung.

Die Tabelle 2-9 zeigt die maximale zulässige Brandabschnitte für nicht bewohnbare Gebäude.

Tabelle 2-9: Maximale Brandabschnitte für nicht bewohnbare Gebäude⁷⁵

Nutzung	Höhe des Obergeschosses von Bodenhöhe	Geschossfläche oder Brandabschnittsfläche [m ²]	
		Mehrgeschossig	Ein Geschoss
Büro	Unbegrenzt	Unbegrenzt	Unbegrenzt
Versammlung und Vergnügung a. Geschäft- ohne Sprinkleranlage	Unbegrenzt	2000	2000
Geschäft- mit Sprinkleranlage	Unbegrenzt	4000	Unbegrenzt
b. sonst - ohne Sprinkleranlage	Unbegrenzt	2000	Unbegrenzt
sonst - mit Sprinkleranlage	Unbegrenzt	4000	Unbegrenzt

⁷⁴ Vgl. AD B-V2, Tabelle 6, Seite 46

⁷⁵ Vgl. AD B-V2, Tabelle 12, Seite 74

2.4.2.2.2 Der Standard BS9999:2008 – „Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings “

Der Standard BS9999:2008 legt weitere Anleitungen für den Brandschutz fest. Die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege werden im Zusammenhang mit dem Risikoprofil des Gebäudes bestimmt.

Das Risikoprofil sollte die Personenbelegungscharakteristik und die Brandentwicklung für ein Gebäude widerspiegeln und sollte als eine Kombination dieser Werte ausgedrückt werden.⁷⁶

Personenbelegungscharakteristik

Die Personenbelegungscharakteristik (Tabelle 2-10) wird danach bestimmt, ob die Bewohner mit dem Gebäude vertraut sind oder nicht und ob sie wahrscheinlich wach oder schlafend sind.⁷⁷

Tabelle 2-10: Personenbelegungscharakteristik⁷⁸

Personenbelegungs- -charakteristik	Beschreibung	Beispiel
A	Bewohner die wach und mit dem Gebäude vertraut sind	Büros
B	Bewohner die wach und mit dem Gebäude nicht vertraut sind	Versammlungsgebäude, Ausstellungen, Museen, etc.
C	Bewohner die wahrscheinlich schlafend sind:	
Ci	Langfristige individuelle Personenbelegung	individuelle Wohnungen ohne 24h Betreuung und Managementkontrolle vor Ort
Cii	Langfristige betreute Personenbelegung	Servicewohnungen, Wohnheime, Studentenheim, Schülerheim
Ciii	Kurzzeit Personenbelegung	Hotel
D	Medizinische Betreuung	Krankenhaus
E	Verkehrsanlagen	Bahnhof, Flughafen, etc.

⁷⁶ Vgl. BS9999:2008, Seite 25

⁷⁷ Vgl. BS9999:2008, §6.2

⁷⁸ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 2, Seite 26

Brandentwicklungsfaktor (Tabelle 2-11)

Tabelle 2-11: Brandentwicklungsfaktor⁷⁹

Kategorie	Brandentwicklung	Beispiel	Brandentwicklungsfaktor [kW/s ²]
1	Langsam	Bankhalle, begrenzt brennbare Materialien	0,0029
2	Mittel	Gestapelte Kartons, Holzpaletten	0,012
3	Schnell	Stapelkunststoff Produkte, Ballenbekleidung	0,047
4	Sehr schnell	Brennbare Flüssigkeiten, Schaumstoffe und Schaum	0,188

Kategorie des Risikoprofils

Die Risikoprofile werden als eine Kombination der Personenbelegungscharakteristik und der Brandentwicklung angegeben (siehe Tabelle 2-12).

Tabelle 2-12: Risikoprofile⁸⁰

Personenbelegungscharakteristik	Brandentwicklung	Risikoprofil
A (Bewohner die wach und mit dem Gebäude vertraut sind)	1 langsam	A1
	2 mittel	A2
	3 schnell	A3
	4 sehr schnell	A4
B (Bewohner die wach und mit dem Gebäude nicht vertraut sind)	1 langsam	B1
	2 mittel	B2
	3 schnell	B3
	4 sehr schnell	B4
C (Bewohner die wahrscheinlich schlafend sind)	1 langsam	C1
	2 mittel	C2
	3 schnell	C3
	4 sehr schnell	C4

⁷⁹ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 3, Seite 26

⁸⁰ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 4, Seite 27

Variation des Risikoprofils

Im Fall eines Gebäudes oder Raumes, das/der eine Sprinkleranlage hat, darf der Brandentwicklungsfaktor um eine Stufe reduziert werden.

Brandschutzmanagement Stufen

Es gibt drei Brandschutzmanagement Stufen

- Stufe 1 - die höchste Brandschutzmanagement Stufe;
- Stufe 2 - übliche zulässige Brandschutzmanagement Stufe;
- Stufe 3 - elementare Brandschutzmanagement Stufe.

Die Tabelle 2-13 zeigt die minimale zulässige Brandschutzmanagement Stufe für verschiedene Risikoprofile.

Tabelle 2-13: Minimale Brandschutzmanagement Stufe⁸¹

Personenbelegungscharakteristik	Feuerwachstumsrate	Risikoprofil	Management Stufe
A (Bewohner die wach und mit dem Gebäude vertraut sind)	1 langsam	A1	3 ^{A)}
	2 mittel	A2	2
	3 schnell	A3	1
	4 sehr schnell	A4	nichtzutreffend
B (Bewohner die wach und mit dem Gebäude nicht vertraut sind)	1 langsam	B1	2
	2 mittel	B2	2
	3 schnell	B3	1
	4 sehr schnell	B4	nichtzutreffend
C (Bewohner die wahrscheinlich schlafend sind)	1 langsam	B1	2
	2 mittel	B2	1
	3 schnell	B3	1
	4 sehr schnell	B4	nichtzutreffend

Anmerkung

^{A)} Eine Brandschutzmanagement Stufe 3 ist für einige Fälle möglicherweise nicht zulässig.

Bemessung der Fluchtwege

Für die Bemessung der Fluchtwege eines Gebäudes muss man es erst einem Risikoprofil zuordnen, das von der Personenbelegungscharakteristik und Feuerwachstumsrate abhängig ist. Die Zeit der Flucht bis zu einem sicheren Ort muss kürzer sein als die zulässige Entfluchtungsdauer in Bezug auf das Risikoprofil.

⁸¹ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 6, Seite 36

Kategorien des Evakuierungsverfahren:

- a. Gesamte Evakuierung, es kann ein simultanes oder stufenweises Verfahren sein;
- b. Fortlaufende Evakuierung - fortlaufende horizontale Evakuierung oder
- in Zonen aufgeteilte Evakuierung.

Fluchtweglänge

Die Tabelle 2-14 zeigt die maximale zulässige Fluchtweglänge, wenn die minimale Brandschutzmaßnahmen eingehalten sind.

Tabelle 2-14: Maximale Fluchtweglänge⁸²

Risikoprofil	Fluchtweglänge [m]	
	In zwei Richtungen	In eine Richtung
A1	65	26
A2	55	22
A3	45	18
A4	nichtzutreffend	nichtzutreffend
B1	60	24
B2	50	20
B3	40	16
B4	nichtzutreffend	nichtzutreffend
C1	27	13
C2	18	9
C3	14	7
C4	nichtzutreffend	nichtzutreffend

Anhang D des Standards enthält weitere Anleitungen für die Fluchtweglänge bei Theater, Kinos und ähnlichen Orten.

Tabelle 2-15: Maximale Fluchtweglänge bei Theater, Kinos und ähnlichen Orten⁸³

Verfügbare Fluchtrichtung	Bereiche mit Sitzplätzen [m]	Offene Bereiche [m]
In eine Richtung	15	18
Mehr als eine Richtung	32 ^{A)}	45 ^{B)}

^{A)} könnte bis zu 15 m in eine Richtung betragen.

^{B)} könnte bis zu 18 m in eine Richtung betragen.

⁸² Vgl. BS9999:2008, Tabelle 12, Seite 81

⁸³ Vgl. BS9999:2008, Tabelle D.2, Seite 324

Türbreiten

Die Türbreite darf:

- a. nicht geringer sein, als die zulässige Mindestbreite in Tabelle 2-16;
- b. nicht geringer sein, als 800 mm unabhängig vom Risikoprofil.

Tabelle 2-16: Türbreiten, wenn die minimalen Brandschutzmaßnahmen eingehalten sind⁸⁴

Risikoprofil	Mindesttürbreite pro Person [mm]
A1	3,3
A2	3,6
A3	4,6
A4	nichtzutreffend
B1	3,6
B2	4,1
B3	6,0
B4	nichtzutreffend
C1	3,6
C2	4,1
C3	6,0
C4	nichtzutreffend

Die Fluchtweg- und Gangbreiten dürfen nicht geringer sein, als die berechnete Breite einer Tür, die zu ihm führt oder 1200 mm, falls sie breiter ist.

Die Breite der Fluchtstiege darf:

- a. nicht geringer sein, als jede Türbreite die zu ihr führt;
- b. zu keinem Zeitpunkt auf dem Weg zu einem endgültigen Ausgang reduziert werden und
- c. nicht geringer sein, als die zulässigen Mindestbreiten in Tabelle 2-17

⁸⁴ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 13, Seite 82

Tabelle 2-17: Mindestbreite der Fluchtstiegen in Bezug auf die Personenbelegungscharakteristik⁸⁵

Personenbelegungscharakteristik	Stiegenbreite für Abwärtsfahrt	Stiegenbreite für Aufwärtsfahrt
A	1000 mm	1200 mm
B (ausgenommen Versammlungsstätten)	1000 mm	1200 mm
B (nur Versammlungsstätten)	1100 mm	1200 mm
C	1000 mm	1200 mm

2.4.2.3 Überblick über die rumänischen Normen

Im vorliegenden Abschnitt wird eine nähere Betrachtung der rumänischen Normen in Zusammenhang mit dem Brandschutz dargestellt. Wie schon erwähnt gibt es zwei wesentliche Normen, die Norm P118-99 und NP 006-96, die den Brandschutz regeln.

Die Norm P 118-99 legt die Leistungen und die zugelassenen Leistungsniveaus in Bezug auf die Brandsicherheit der Bauwerke fest.

Folgend werden nur die Bestimmungen, die im Zusammenhang mit den Anforderungen an Fluchtwege in Räumen mit erhöhten Personenanzahl stehen, dargestellt.

Ein wesentlicher Aspekt des Brandschutzes in Rumänien ist die Brennbarkeit der Baustoffe und Bauteile. Es wird unterschieden zwischen:

- nichtbrennbaren Baustoffen und Bauteilen - C0 (CA1) und
- brennbaren Baustoffen und Bauteilen.

Die brennbaren Baustoffe und Bauelemente teilen sich in die folgenden Brennbarkeitsklassen:

- C1 (CA2a) - praktisch nicht entzündbar;
- C2 (CA2b) - schwer entzündbar;
- C3 (CA2c) - mittel entzündbar;
- C4 (CA2d) - leicht entzündbar.⁸⁶

Die entsprechenden Euroklassen für das Brandverhalten der Baustoffe werden in der Tabelle 2-18 dargestellt.

⁸⁵ Vgl. BS9999:2008, Tabelle 14, Seite 88

⁸⁶ Übersetzung P 118-99, Seite 3f

Tabelle 2-18: Vergleich der Brennbarkeitsklasse mit der Euroklasse⁸⁷

Brennbarkeitsklasse	Brandverhaltensklasse der Baustoffe		
C0 (CA1)	A1	-	
	A2	s1, d0	
C1 (CA2a)	A2	s1, d1	
		s2, d0	
		s2, d1	
		s3, d0	
		s3, d1	
	B	s1, d0	
		s1, d1	
		s2, d0	
		s2, d1	
		s3, d0	
		s3, d1	
	C2 (CA2b)	C	s1, d0
			s1, d1
			s2, d0
s2, d1			
s3, d0			
s3, d1			
C3 (CA2c)	D	s1, d0	
		s1, d1	
		s2, d0	
		s2, d1	
		s3, d0	
		s3, d1	
C4 (CA2d)	A2	s1, d2	
		s2, d2	
		s3, d2	
			s1, d2

⁸⁷ Übersetzung aus dem Erlass der rumänischen Regierung Nr. 269 von 4 März 2008

	B	s2, d2
		s3, d2
	C	s1, d2
		s2, d2
		s3, d2
	D	s1, d2
		s2, d2
		s3, d2
	E	d2
	F	-

Die derzeit gültigen rumänischen Normen verwenden ausschließlich die in der Tabelle 2-18 dargestellten rumänischen Kennzeichnungen für die Brennbarkeit. Daher werden im Folgenden in Bezug auf die Anforderungen an die Brennbarkeit die nationalen (rumänischen) Klassen verwendet.

Die Norm P 118-99 definiert das Brandrisiko für ein Gebäude in Abhängigkeit von der Brandlast. In Abhängigkeit von der Brandlast (q_i) wird unterschieden:

- groß für $q_i > 840 \text{ MJ/m}^2$,
- mittel für $q_i = 420\text{-}840 \text{ MJ/m}^2$,
- klein für $q_i < 440 \text{ MJ/m}^2$.⁸⁸

In Abhängigkeit von der Nutzung werden die Räume in einem Gebäude in folgende Brandrisiken unterteilt:

- GROSS: Räume worin brennbare Stoffe verwendet oder gelagert werden,
- MITTEL: Räume worin offenes Feuer verwendet wird,
- KLEIN: andere Räume.⁸⁹

Für Räume, die mit automatischen Löschanlagen ausgestattet sind, kann das nächst kleinere Brandrisiko angesetzt werden.

Das Brandrisiko für ein Gebäude oder einen Brandabschnitt mit unterschiedlichen Einstufungen für das Brandrisiko ergibt sich immer aus dem höchsten Brandrisiko, wenn mehr als 30% des Gebäudevolumens oder des Brandabschnittsvolumens von diesem Brandrisiko betroffen sind.⁹⁰

In Tabelle 2-19 werden die üblichen Nutzungen von Räumen mit höherer Personenanzahl nach Brandrisiko geordnet.

⁸⁸ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.1.2

⁸⁹ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.1.3

⁹⁰ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.1.3

Tabelle 2-19: Brandrisiken für Veranstaltungsstätten⁹¹

Brandrisiko	Brandlast	Gebäudenutzung
üblich (klein)	<420 MJ/m ² und keine gefährlichen Anlagen	-Restaurants, Kantine -Wartesaal
mittel	420-840 MJ/m ² und gefährliche Anlagen	-Lesesäle -Geschäfte mit nichtbrennbaren Stoffen -Museen
groß	>840 MJ/m ² und gefährliche Anlagen	-Geschäfte mit brennbaren Stoffen -Museen

Noch ein wesentlicher Aspekt des Brandschutzes in Rumänien ist die Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes, in Abhängigkeit davon werden die Anforderungen an Fluchtwege und Brandsicherheitsmaßnahmen festgelegt.

Um einem Brandabschnitt oder einem Gebäude einen Gebäudebrandwiderstand zuordnen zu können, müssen die Bauteile vorgeschriebene Mindestanforderungen erfüllen. In Tabelle 2-20 werden die Mindestanforderungen an die wesentlichen Bauteile in Abhängigkeit des Gebäudebrandwiderstandes dargestellt.

Tabelle 2-20: Mindestanforderungen an Bauelemente⁹²

Nr.	Bauteil	Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes				
		I	II	III	IV	V
1	Stütze, Säule, tragende Wände	C0 (CA1) 2 ½ h	C0 (A1) 2 h	C1 (CA2a) 1 h	C2 (CA2b) 30 min	C4 (CA2d) -
2	Innenwände nicht tragend	C0 (CA1) 30 min	C1 (CA2a) 30 min	C2 (CA2b) 15 min	C3 (CA2c) 15 min	C4 (CA2d) -
3	Außenwände nicht tragend	C0 (CA1) 15 min	C1 (CA2a) 15 min	C2 (CA2b) 15 min	C3 (CA2c) -	C4 (CA2d) -
4	Träger, Decken, Dachterrasse	C0 (CA1) 1 h	C0 (A1) 45 min (30 min)*	C1 (CA2a) 45 min (30 min)*	C2 (CA2b) 15 min	C4 (CA2d) -
5	Dachstuhl ohne Dachboden	C0 (CA1) 45 min (30 min)*	C1 (CA2a) 30 min (15 min)*	C2 (CA2b) 15 min	C3 (CA2c) -	C4 (CA2d) -
6	Dachhaut und die durchgehende Unterstützung bei einer brennbaren Dachhaut	C0 (CA1) 15 min	C1 (CA2a) -	C2 (CA2b) -	C3 (CA2c) -	C4 (CA2d) -

⁹¹ Übersetzung aus NP 006-96, Seite 15

⁹² Übersetzung aus P 118-99, Seite 10

*für Gebäude und Brandabschnitte mit einer Brandlast nicht höher als 840 MJ/m² (ausgenommen Hochhäuser, Veranstaltungsstätten, Gebäude mit Personen, die nicht selbstständig flüchten können, und Gebäude mit besonderen Anlagen) kann der Wert in Klammer verwendet werden.

Für die Feuerwiderstandsdauer der Bauelemente macht die Norm P 118-96 keine explizite Differenzierung nach den europäischen Leistungsmerkmalen.

Die Klassifizierung der Bauprodukte nach den europäischen Normen wurde per Erlass der rumänischen Regierung im Jänner 2005 eingeführt.⁹³

Der Planer muss die Leistungen der Bauprodukte mit Hilfe des oben genannten Erlasses bestimmen und in einer technischen Dokumentation darstellen.

Der Zusammenhang zwischen der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes und dem Sicherheitsabstand zwischen Gebäuden wird in Tabelle 2-21 festgelegt.

Tabelle 2-21: Sicherheitsabstände zwischen Gebäuden⁹⁴

Kategorie des Gebäudebrandwiderstand	Mindestabstand zu Nachbargebäude [m] in Bezug auf die Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes		
	I-II	III	IV-V
I-II	6	8	10
III	8	10	12
IV-V	10	12	15

Anmerkung:

- Der Bauherr/Planer kann kleinere Abstände ausführen, wenn ein technischer Nachweis vorgelegt wird und zusätzliche Brandschutzmaßnahmen vorgesehen werden (Brandschutzkonzept).

Der Zusammenhang zwischen der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes und der zulässigen Brandabschnittsfläche ist in Tabelle 2-22 dargestellt.

⁹³ Erlass der rumänischen Regierung Nr. 1822 von 7. Oktober 2004

⁹⁴ Übersetzung aus P 118-99, Seite 12

Tabelle 2-22: Zulässige Brandabschnittsfläche⁹⁵

Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes	Maximale Fläche (Grundrissfläche) eines Brandabschnittes [m ²]	
	eingeschossiges Gebäude	mehrgeschossiges Gebäude
I-II	2500	
III	1800	
IV	1400	1000
V	1000	800

Um die Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks zu vermeiden, wird empfohlen, dass die Trennwände eines Brandabschnittes das Bauwerk quer schneiden und aus Baustoffen mit einer Brennbarkeit von C0 (CA1) und einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 2 h ausgeführt werden. (Die Wände können auf Gebäudehöhe versetzt angeordnet werden).

Neben den allgemeinen Bestimmungen legt die Norm P 118-99 Sonderbestimmungen für Räume mit erhöhter Personenanzahl in Bezug auf den Brandschutz und die Anforderungen an Fluchtwege fest.

Bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl werden die Sicherheitsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Kapazität, Nutzung bzw. Typ des Raumes und der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes festgelegt.

Die Tabelle 2-23 zeigt die Typen der Räume mit erhöhter Personenanzahl in Abhängigkeit von ihrer Nutzung nach der Norm P 118-99.

Tabelle 2-23: Typen der Räume mit erhöhter Personenanzahl⁹⁶

Typ	Nutzung
S1	Theater, Schausäle, Zirkus, Ausstellungen, Museen mit brennbaren Exponaten, Geschäfte mit brennbaren Produkten;
S2	Kinos, Kantinen und Restaurants, Lesesäle, Museen mit nichtbrennbaren Exponaten, ständige Ausstellungen, Hörsäle, Versammlungsräume, Tanz-, Konzert-, Sport-, Wartesäle, Diskos.

Der Zusammenhang zwischen dem Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl, der Personenanzahl, der Geschosshöhe und der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes wird in den folgenden Tabellen festgelegt. (s. Tabelle 2-24 und Tabelle 2-25)

⁹⁵ Übersetzung aus P 118-99, Seite 51

⁹⁶ Übersetzung aus P 118-99, Seite 62, Tabelle 4.1.30

Tabelle 2-24: Zusammenhang zwischen Lage, Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl, Personenanzahl und Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes.⁹⁷

Lage	Typ	Kapazität (maximale Personenanzahl) im Verhältnis zu der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes		
		I	II	III
Freistehend oder ein Brandabschnitt	S1	Unbegrenzt	5000	1000
	S2		Unbegrenzt	1500
Eine gemeinsame Seite mit einem Gebäude anderer Nutzung oder mehrere zusammengelegte Räume mit erhöhter Personenanzahl	S1	5000	2000	1000
	S2	6000	4000	2000
In Gebäuden mit anderen Nutzungen	S1	3000	2000	1000
	S2	5000	3000	1500

Tabelle 2-25: Anzahl der zugelassenen Geschossezahl bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl (der Gebäudeteil mit Zugang für das Publikum)⁹⁸

Typ	Maximale zugelassene oberirdische Geschossezahl für Gebäude in Abhängigkeit der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes		
	I	II	III
S1	Unbegrenzt	5	2
S2	Unbegrenzt	6	3

Anmerkung:

- Eine Einrichtung eines eingeschossigen Raumes mit erhöhter Personenanzahl der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes IV-V wird nur für folgende Räume mit erhöhter Personenanzahl zugelassen:
 - Zirkuszelte, Geschäfte und Einkaufszentren, Versammlungen bei denen eine schnelle und direkte Entfluchtung ins Freie gesichert ist;
 - Clubs, Discos und Kinos mit Saisonbetrieb und maximal 300 Plätzen;
 - vorübergehende Ausstellungen von lokaler Bedeutung ohne hochwertige Exponate.

Die Gebäudeteile mit Räumen mit erhöhter Personenanzahl innerhalb eines Gebäudes müssen von dem Rest des Gebäudes mit anderer Nutzung durch Bauteile mit einer Brennbarkeitsklasse C0 (CA1) und einem Feuerwiderstand von 3h für Wände und 1 ½ h für Decken getrennt werden.⁹⁹

⁹⁷ Übersetzung aus P 119-99, Seite 62, Tabelle 4.1.31a

⁹⁸ Übersetzung aus P 118-99, Seite 62, Tabelle 4.1.31b

⁹⁹ Übersetzung aus P 119-99, Seite 62, Ab. 4.1.33

In Tabelle 2-26 werden die Anforderungen an die Trennbauteile in einem Raum mit erhöhter Personenanzahl einer Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes in Bezug auf die Brennbarkeitsklasse und den Feuerwiderstand nach der Norm P 118-99 zugeordnet.

Tabelle 2-26: Anforderungen an Trennbauteile¹⁰⁰

Bauteil	Kategorie	Mindestanforderungen an Brennbarkeit und Feuerwiderstand		Anmerkungen
		Wände	Decke	
Decken der Zwischengeschosse innerhalb der Räume mit erhöhter Personenanzahl	I-II	-	C0 (CA1) *	*Voraussetzungen aus der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes
Bauteile, die den Rest des Gebäudes von Räumen mit Zugang für das Publikum trennen, einschließlich Fluchtwege, ausgenommen Decken über dem Kellergeschoss	I-II	C0 (CA1) 1 ½ h	C0 (CA1) 1h	Die Bauteile können aus Baustoffen der Klasse C2 (CA2b) ausgeführt werden bei Kinos, Clubs, Museen und Ausstellungen mit einer Kapazität kleiner als 300 Personen, bei Gebäuden der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes III
	III	C0 (CA1) 1h	C0 (CA1) 45 min	
Decken über dem Kellergeschoss sowohl bei Räumen mit Zugang für das Publikum als auch bei den Fluchtwegen und Werkstätten	I-III	-	C0 (CA1) 1 ½ h	Bei Restaurants und Kantinen kann der Feuerwiderstand auf 1h reduziert werden, ausgenommen Decken über Lager mit brennbaren Materialien
Bauteile, die den Rest des Gebäudes vom Lager mit hochwertigen Gegenständen der Museen, Archive und Bibliothek trennen		C0 (CA1) 3h	C0 (CA1) 1h	Türen sind in einem Feuerwiderstand von 1 ½ h und selbstschließend oder mit einem automatischen Schließmechanismus auszustatten.

¹⁰⁰ P 118-99, Seite 63, Tabelle 4.1.34

Anzahl der Fluchtwege

Bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl müssen mindestens zwei möglichst weit entfernte und gegenüberliegende Fluchtwege vorhanden sein.¹⁰¹

Bemessung der Fluchtwege (Breite, Länge, Entfluchtungsdauer)

Die Bemessung der Fluchtwege besteht darin, die benötigte Fluchtwegbreite und die Fluchtweglänge zu ermitteln. Die Fluchtweglänge ist so zu bestimmen, dass innerhalb einer genormten Zeitspanne eine schnelle und sichere Flucht aus dem Gebäude gewährleistet wird.

Bei der Personenentfluchtung aus einem Gebäude ist davon auszugehen, dass die Flucht in Form von Personenströmen (Reihe von Personen, die hintereinander gehen), die auf den Fluchtwegen nach außen gehen, erfolgen wird.¹⁰²

Bestimmung der Personenströme für die Entfluchtung

Die Anzahl der Personenströme für die Entfluchtung wird durch die folgende Gleichung bestimmt:

$$F=N/C$$

mit: F - Anzahl der Personenströme
N – Personenanzahl, die entfluchtet werden muss
C - genormte Kapazität eines Personenstroms (Anzahl der Personen in einem Personenstrom).¹⁰³

Die Personenanzahl (N), für welche die Fluchtwege berechnet werden, wird aus der maximalen Personenzahl, die im Gebäude anwesend sein kann, bestimmt.

Die Kapazität eines Personenstroms (C) (siehe Tabelle 2-27) wird in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung und dem Brandrisiko (dargestellt durch den Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl, siehe Tabelle 2-23 und den Gebäudebrandwiderstand, siehe Tabelle 2-20) des Gebäudes bestimmt.

¹⁰¹ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.6.12

¹⁰² Übersetzung aus P 118-99, Seite 42

¹⁰³ Übersetzung aus P 118-99, Seite 43

Tabelle 2-27: Die Kapazität der Entfluchtung (C) bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl¹⁰⁴

Nr.	Typ des Raumes mit erhöhte Personenanzahl und des Gebäudebrandwiderstandes		Kapazität eines Personenstroms (C)
1	S1	I-II	50 (70)*
		III	35 (50)*
		IV-V	25
2	S2	I-II	65 (100)*
		III	50 (75)*
		IV	35
		V	25

Anmerkung:

* Die Werte in Klammer gelten für die Wege innerhalb der Räume mit erhöhter Personenanzahl (bis zum Ausgang)

Mindestfluchtwegbreite im Verhältnis zu den Personenströme:

- $\geq 0,80$ m - für 1 Personenstrom
- $\geq 1,10$ m - für 2 Personenströme
- $\geq 1,60$ m - für 3 Personenströme
- $\geq 2,10$ m - für 4 Personenströme
- $\geq 2,50$ m - für 5 Personenströme.

In der Abbildung 2-1 werden Beispiele für Personenströme dargestellt.

¹⁰⁴ Übersetzung aus P 118-99, Seite 65, Tabelle 4.1.43

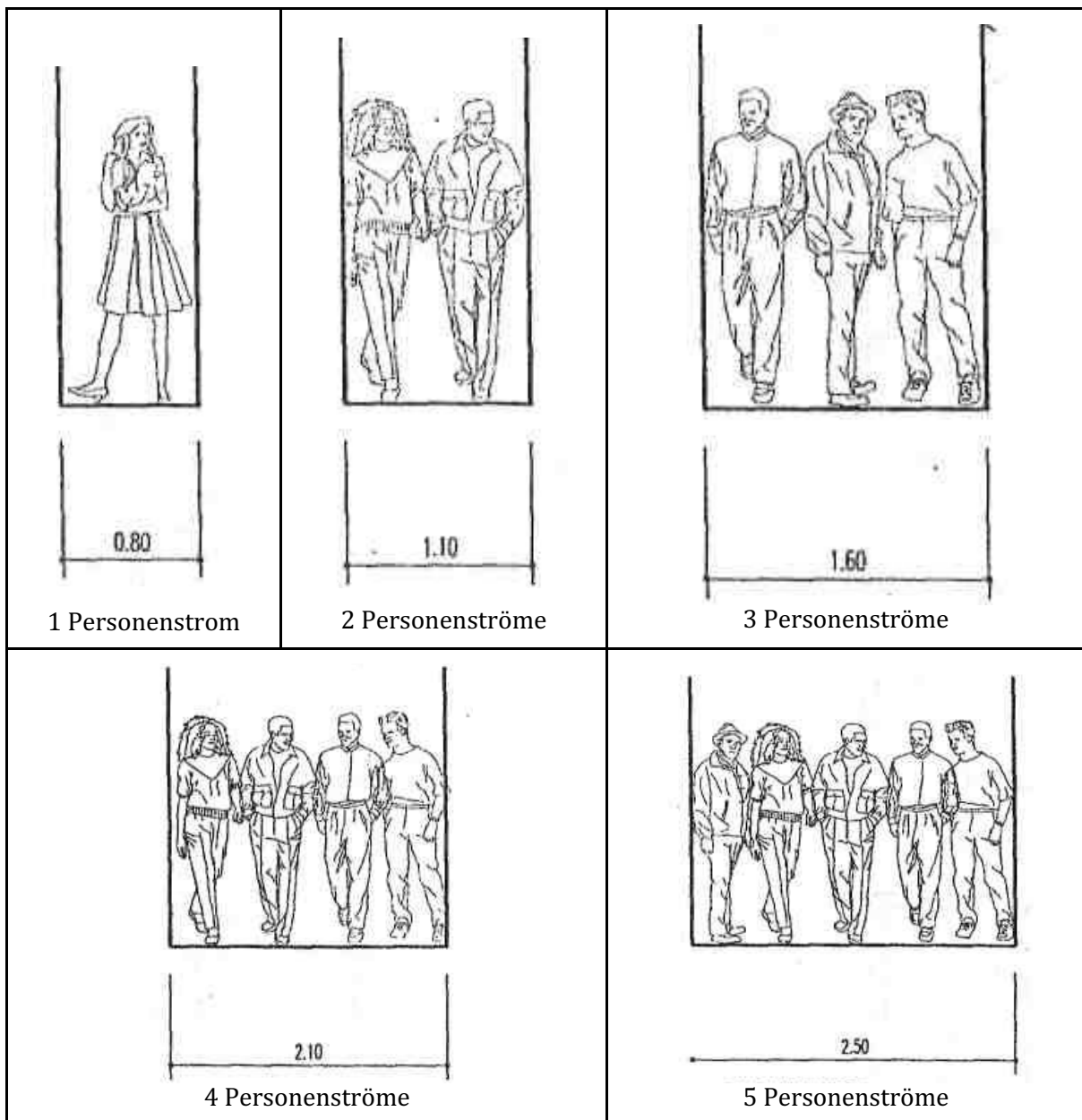


Abbildung 2-1: 1 bis 5 Personenströme¹⁰⁵

Entfluchtungsdauer (Fluchtweglänge)

Bei der Bestimmung der Entfluchtungsdauer bzw. der Fluchtweglänge wird der Weg in Richtung der Fluchtwegachse vom Anfangspunkt bis ins Freie oder in ein Stiegenhaus oder in einen Brandabschnitt berücksichtigt, mit Rücksicht auf die festen Anlagen die umgangen werden müssen.

Folgende Wege werden bei der Bestimmung der Entfluchtungsdauer (Fluchtweglänge) nicht berücksichtigt:

- Wege auf die Fluchttreppen und von denen bis ins Freie, sowie Wege im Fluchttunnel

¹⁰⁵ Erläuterungsbuch der Norm P 118-99, Seite 26

- Wege innerhalb von Räumen, die die zugelassene Zeit (Länge) für Stichgänge nicht überschreiten.¹⁰⁶

Die Festlegung der theoretischen Entfluchtungsdauer wird im Verhältnis zu der maximal zugelassenen Fluchtweglänge und der mittleren Schrittgeschwindigkeit 0,4 m/s horizontal und 0,3 m/s vertikal (Rampen, Treppen) bestimmt.¹⁰⁷

In der Tabelle 2-28 werden die maximal zulässigen Fluchtweglängen bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl dargestellt.

Tabelle 2-28: Entfluchtungsdauer (Fluchtweglänge) bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl¹⁰⁸

Typ	Grad	Entfluchtungsdauer (Fluchtweglänge)					
		Innerhalb des Veranstaltungsraumes		Vom Ausgang des Veranstaltungsraumes bis ins Freie, ein Treppenhaus oder einen Brandabschnitt			
				Zwei Richtungen		Stichgang	
		[s]	[m]	[s]	[m]	[s]	[m]
S1	I und II	80	32	88	35	50	20
	III	60	24	63	25	38	15
	IV und V	30	12	25	10	25	10
S2	I und II	100	40	88	35	50	20
	III	80	32	63	25	38	15
	IV	60	24	40	16	30	12
	V	30	12	25	10	25	10

Anmerkung:

1. Die Wege durch Foyers und Flure der Räume mit erhöhter Personenanzahl werden bei der Bestimmung der genormten Entfluchtungsdauer nicht berücksichtigt. Die Foyers und Flure haben die festgelegten Anforderungen entsprechend dem Raum mit erhöhter Personenanzahl zu erfüllen.
2. Die Zeit (Länge) auf dem Stichgang betrifft die Wegabschnitte, die in zwei Richtungen zu Fluchtwegen führen, sowie dafür zugelassene Räume/Bereiche.

Die Abbildung 2-2 zeigt ein Beispiel eines Fluchtweges.

¹⁰⁶ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.6.70

¹⁰⁷ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 2.6.71

¹⁰⁸ Übersetzung aus P 118-99, Seite 66, Tabelle 4.1.44

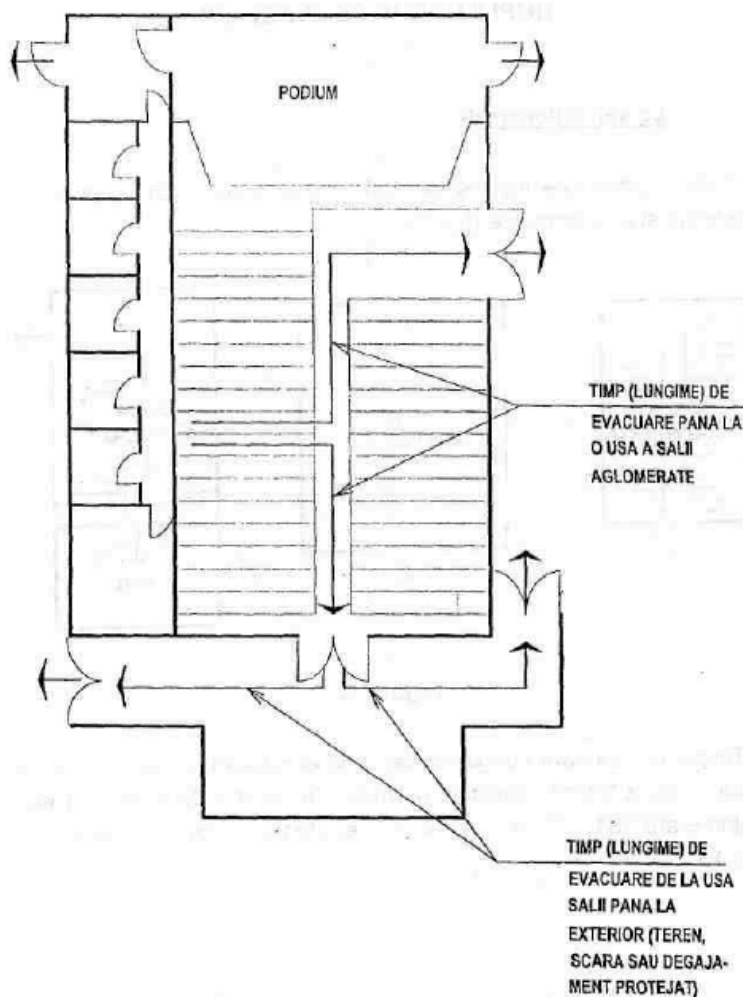


Abbildung 2-2: Beispiel Fluchtweg¹⁰⁹

Ausgänge

Die Ausgangsbreite darf nicht breiter als 2,5 m sein. Falls sie das doch ist, muss die Ausgangsbreite geteilt werden (Mittelpfosten). Ausgenommen sind Ausgänge mit einer Breite doppelt so groß wie die für die Entfluchtung benötigte Breite und Ausgänge von Denkmälern.

Bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl müssen zwei verschiedene und vernünftig angeordnete Ausgänge vorhanden sein für:

- jedes Geschoss des Raumes mit erhöhter Personenanzahl, sowie für die Logenebene und Balkone mit mehr als 100 Personen
- Foyers, Garderoben und andere Räume, die dem Publikum dienen, mit einer Fläche größer als 100 m².¹¹⁰

Die Ausgangsbreiten im Erdgeschoss müssen die Entfluchtung der gesamten Personenströme, die vom Treppenhaus kommen und alle Personen, die sich im Erdgeschoss befinden, ermöglichen.¹¹¹

¹⁰⁹ Erläuterungsbuch der Norm P 118-99, Seite 42

¹¹⁰ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 4.1.41

¹¹¹ Übersetzung aus P 118-99, Ab. 4.1.60

Folgend werden ein paar Beispiele für die Ermittlung der Fluchtwegbreite vorgestellt.

Beispiel 1

Angaben:

- Typ der Veranstaltungsstätte S2
- Grad des Gebäudebrandwiderstandes I
- Personenanzahl (N) 300
- Anzahl der Fluchtwege mind. 2

Aus Tabelle 2-27 wird die Kapazität eines Personenstroms (C) bestimmt.

C = 65 für Fluchtwege außerhalb des Veranstaltungsraumes und

C = 100 für Fluchtwege innerhalb des Veranstaltungsraumes

Die Anzahl der Personenströme wird mit folgender Gleichung bestimmt:

$$F = N/C$$

N=150 für 2 Fluchtwege

$$F = 150/65 \cong 2,3 \rightarrow 3 \text{ Personenströme}$$

$$F = 150/100 = 1,5 \rightarrow 2 \text{ Personenströme}$$

Für den betrachteten Fall sind 2 Fluchtwege außerhalb des Veranstaltungsraumes je 1,60 m Breite, und 2 Fluchtwege innerhalb des Veranstaltungsraumes, je 1,10 m, erforderlich.

Beispiel 2

Angaben:

- Typ der Veranstaltungsstätte: Zirkuszelt S1
- Grad des Gebäudebrandwiderstandes IV
- Personenanzahl (N) 300
- Anzahl der Fluchtwege mind. 2

Aus Tabelle 2-27 wird die Kapazität eines Personenstroms (C) bestimmt.

C=25 für Fluchtwege außerhalb und innerhalb des Veranstaltungsraumes

Die Anzahl der Personenströme wird mit folgender Gleichung bestimmt:

$$F = N/C$$

N=150 für 2 Fluchtwege

$$F = 150/25 = 6 \rightarrow \text{in diesem Fall sind die mindesterforderlichen 2 Fluchtwege nicht ausreichend.}$$

Folgend wird die Berechnung für 3 Fluchtwege durchgeführt:

$$F = N/C$$

N=100 für 3 Fluchtwege

$$F = 100/25 = 4 \rightarrow 4 \text{ Personenströme.}$$

Für den betrachteten Fall werden 3 Fluchtwege je 2,10 m Breite außerhalb und innerhalb des Veranstaltungsraumes erforderlich.

2.4.3 Vergleichende Analyse der normativen Anforderungen

Es wurde eine Inhaltsanalyse der österreichischen, englischen und rumänischen Gesetze und Normen gewählt.

Metriken der Fluchtwegdimensionen

Die Metriken der Analyse sind die Basis einer vergleichenden Analyse. In Zusammenhang mit den Anforderungen an Flucht- und Rettungswege für Versammlungsstätten werden folgenden Metriken festgelegt:

- Klassifizierung von Gebäuden in Zusammenhang mit Fluchtwegen,
- Angaben zur Personenanzahl zur Auslegung der Fluchtwege,
- Anzahl der Fluchtwege und deren Verteilung im Gebäudekontext,
- Fluchtweglängen,
- Fluchtwegbreiten.

2.4.3.1 Gegenüberstellung der normativen Anforderungen

Im vorliegenden Abschnitt werden die normativen Anforderungen in Bezug auf die festgelegten Metriken der Analyse gegenübergestellt.

- Klassifizierung von Gebäuden im Zusammenhang mit Fluchtwegen

Tabelle 2-29: Klassifizierung von Gebäuden in Zusammenhang mit Fluchtwegen

Land	Gebäudeklassifizierung
Österreich	Die Gebäude werden in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und Grundrissfläche in 5 Gebäudeklasse unterteilt, GK1 bis GK5. In Bezug auf die Gebäudeklasse werden die Anforderungen an das Brandverhalten und der Feuerwiderstand der Bauteile festgelegt. Die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege werden unabhängig von der Gebäudeklasse festgelegt.
Großbritannien (England)	Die Anforderungen an Fluchtwege werden in Bezug auf das Risikoprofil des Gebäudes festgelegt. Das Risikoprofil eines Gebäudes wird in Abhängigkeit von der Personenbelegungscharakteristik und der Feuerwachstumsrate in 12 Risikoprofile unterteilt, A1-4, B1-4 und C1-4.
Rumänien	Es werden die Gebäude in 14 Kategorien des Gebäudebrandwiderstandes unterteilt. Das Kriterium des Gebäudebrandwiderstandes wird im Zusammenhang mit dem Brandverhalten der Baustoffe und der Feuerwiderstandsdauer der Bauteile bestimmt. Die Anforderungen an Fluchtwege werden in Zusammenhang mit der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes und der Gebäudenutzung festgelegt.

- Festlegung von Personenzahlen

Die Personenanzahl, welche entfluchtet werden soll, stellt eine der wesentlichsten Größen bei der Auslegung von Fluchtwegen dar. Im Allgemeinen ist die Zahl der

Personen, die sich in einem Gebäude aufhalten können, abhängig von der Gebäudenutzung. In der Tabelle 2-30 wird dargestellt, inwieweit die Normen eine Unterstützung bei der Festlegung anbieten bzw. eine Vorgabe von Personenzahlen vornehmen.

Tabelle 2-30: Angaben bzw. Vorgaben zu Personenbelegungen in Gebäuden

Land	Festlegung von Personenzahlen
Österreich	Es werden keine normativen Vorgaben in Hinblick der Entfluchtung hinsichtlich der Personenzahlen in Gebäuden getroffen. Die Personenzahlen werden anhand der Nutzung in der Planung festgelegt und dokumentiert.
Großbritannien (England)	Es werden für die Auslegung von Fluchtwegen sogenannte „floor space factors“ vorgegeben, die anhand von 15 Leitnutzungen eine Festlegung der Personenzahlen erlauben. Davon unbeschadet ist es möglich, eigene Erhebungen und begründete Festlegungen vorzunehmen.
Rumänien	Es werden in Abhängigkeit von der Lage, Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl und Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes maximale Personenzahlen vorgegeben.

- Anzahl der Fluchtwege und deren Verteilung im Gebäudekontext

Die Anzahl der Fluchtwege ergibt sich grundsätzlich aus der maximal zulässigen Wegstrecke (i.d.R. die Fluchtweglänge), die von einem beliebigen Punkt eines Raumes bis zu einem „sicheren Ort“ führt, und den maximal in dem Gebäude anwesenden Personen. In der Tabelle 2-31 werden die normativen Angaben der betrachteten Normen in Bezug auf die Mindestanzahl der Fluchtwege dargestellt.

Tabelle 2-31: Mindestanzahl der Fluchtwege bei Versammlungsstätten

Land	Mindestanzahl der Fluchtwege
Österreich	In den Normen wird für Versammlungsstätten unabhängig von der Fluchtweglänge eine Mindestanzahl der Fluchtwege von 2 vorgegeben.
England	Die Mindestanzahl der Fluchtwege wird in Bezug auf die Einhaltung der maximal zulässigen Fluchtweglänge und die im Raum, Stockwerk anwesenden Personen vorgegeben.
Rumänien	Die Anzahl der Fluchtwege wird in Abhängigkeit von der maximal zulässigen Fluchtweglänge und der Anzahl, der im Gebäude anwesenden Personen festgelegt. Unabhängig von der Fluchtweglänge und der Personenanzahl wird für Versammlungsstätten eine Mindestanzahl der Fluchtwege von 2 vorgegeben.

- Fluchtweglängen

Es wird unter der Fluchtweglänge die Distanz zwischen einem beliebigen Punkt in einem Raum/auf einer Fläche bis zu einem Ausgang in einen sicheren Bereich verstanden. Der sichere Bereich kann ein Treppenhaus, ein anderer Brandabschnitt oder das Freie sein.

In den betrachteten Normen sind verschiedene Ansätze in Bezug auf die Bestimmung der maximal zulässigen Fluchtweglänge getroffen.

In Österreich wird die Fluchtweglänge bei Versammlungsstätten pauschal festgelegt.

Der englische Standard BS9999:2008 legt die maximal zulässige Fluchtweglänge bei Versammlungsstätten in Abhängigkeit von dem Risikoprofil des Gebäudes fest.

Die maximal zulässige Fluchtweglänge in den rumänischen untersuchten Normen wird in Abhängigkeit von dem Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl und der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes getroffen.

In Bezug auf die Fluchtweglänge werden Anforderungen für zwei Größen geregelt, diese sind:

- Fluchtweg in eine Richtung und
- Fluchtweg in zwei Richtungen

Tabelle 2-32: Maximal zulässige Fluchtweglängen bei Versammlungsstätten

Land	Maximal zulässige Fluchtweglänge	
	In eine Richtung	In zwei Richtungen
Österreich	Es wird kein Unterschied zwischen den zwei Größen gemacht und eine maximal zulässige Fluchtweglänge von 40 m vorgegeben.	
England	von 7 m bis 26 m	von 14 m bis 65 m
Rumänien	von 10 m bis 20 m	von 22 m bis 75 m

- Fluchtwegbreiten

Die Fluchtwegbreite hat einen wesentlichen Einfluss auf die Dauer der Evakuierung. Analysiert wird die zulässige Mindestfluchtwegbreite. Grundsätzlich wird die Fluchtwegbreite in Bezug auf die in dem Raum/Gebäude anwesende Personenanzahl festgelegt.

Tabelle 2-33: Zulässige Mindestfluchtwegbreite

Land	Mindestbreite	Maximale zulässige Personenanzahl
Österreich	0,80 m	40
	0,90 m	80
	1,00	120
	0,10 m per 10 Pax	über 120
England	0,75 m	60
	1,10 m	220
	5 mm per Pax	über 220
Rumänien	0,80 m	für 1 Personenstrom ^{a)}
	1,10 m	für 2 Personenströme
	1,60 m	für 3 Personenströme
	2,10 m	für 4 Personenströme
	2,50 m	für 5 Personenströme

^{a)}Die maximal zulässige Personenanzahl für einen Personenstrom wird in Abhängigkeit von der Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes und dem Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl festgelegt (siehe Tabelle 2-27)

2.4.3.2 Anwendung der normativen Anforderungen anhand der untersuchten Modellgeometrie

Es wird eine Versammlungsstätte mit einer Grundrissfläche von 822,96 m² und folgenden Angaben betrachtet:

- | | |
|--|------|
| ○ Gebäudeklasse | G2 |
| ○ Risikoprofil | B2 |
| ○ Typ der Versammlungsstätte | S2 |
| ○ Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes | III |
| ○ Personenanzahl (N) | 1025 |

Untersucht wird die Mindestanzahl der Fluchtwege und die Mindestfluchtwegbreite.

Bemessung nach den österreichischen Anforderungen

- Mindestanzahl der Fluchtwege 2
- Mindestfluchtwegbreite: über 120 Personen werden 10 cm für je weitere 10 Personen zu der Breite von 1,00 m gerechnet. Es ergibt sich eine insgesamte Mindestbreite von 10 m.

Bemessung nach den englischen Anforderungen

- Mindestanzahl der Fluchtwege 3 (siehe Abschnitt 2.4.2.2.1, Tabelle 2-6)
- Mindestfluchtwegbreite: über 220 Personen werden 5 Millimeter für jede weitere Person zu der Breite von 1,05 m gerechnet. Es ergibt sich eine insgesamte Mindestbreite von 5,1 m.

Bemessung nach den rumänischen Anforderungen

- Mindestanzahl der Fluchtwege 2
- Mindestfluchtwegbreite: für den Typ S2 und die Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes III ergibt sich eine Kapazität der Entfluchtung (C) von 75 Personen. Es ergibt sich eine insgesamte Mindestbreite von 7,10 m.

2.5 Gefahren durch Brand

2.5.1 Allgemeine Betrachtung

Der Brand wird laut TRVB 101 wie folgt definiert: „Unter Brand versteht man ein Feuer, das auf keinem bestimmungsmäßigen Herd entstanden ist oder sich über diesen hinaus ausbreitet und Sachschaden verursacht hat, wobei Feuer als äußere Erscheinungsform der Verbrennung definiert ist.“¹¹²

Die Abbildung 2-3 zeigt die notwendigen Voraussetzungen für die Brandentstehung.

¹¹² Vgl. TRVB 101

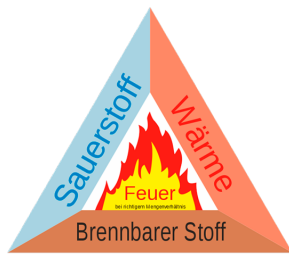


Abbildung 2-3: „Feuerdreieck“¹¹³

Damit es zum Brennen kommt, muss gleichzeitig vorhanden sein: ausreichend Brennstoff mit entsprechender Entzündbarkeit und in geeigneter Form, die erforderliche Wärme, die zur Entzündung führt und eine ausreichende Sauerstoffmenge, da der Sauerstoff das Oxidationsmittel der Verbrennung ist.

Ein Brand, der in der Natur vorkommt, ist von vielen Variablen abhängig und lässt sich in seinem Verhalten schwer simulieren. Bei einer Branduntersuchung werden Brandszenarien festgelegt, die die Wahrscheinlichkeit des Brandes bis zu einem gewissen Grad abdecken müssen. Zu den Brandszenarien werden quantifizierte Brandverläufe als Bemessungsbrände festgelegt. Die Bemessungsbrände liegen den rechnerischen Brandsimulationen zugrunde.

In der Abbildung 2-4 werden die Brandentwicklungsphasen beim „natürlichen Brand“ dargestellt. Die wesentlichen Brandentwicklungsphasen sind: „Inkubationszeit“/Entzündungsphase, Brandausbreitung, Vollbrand und abklingender Brand.

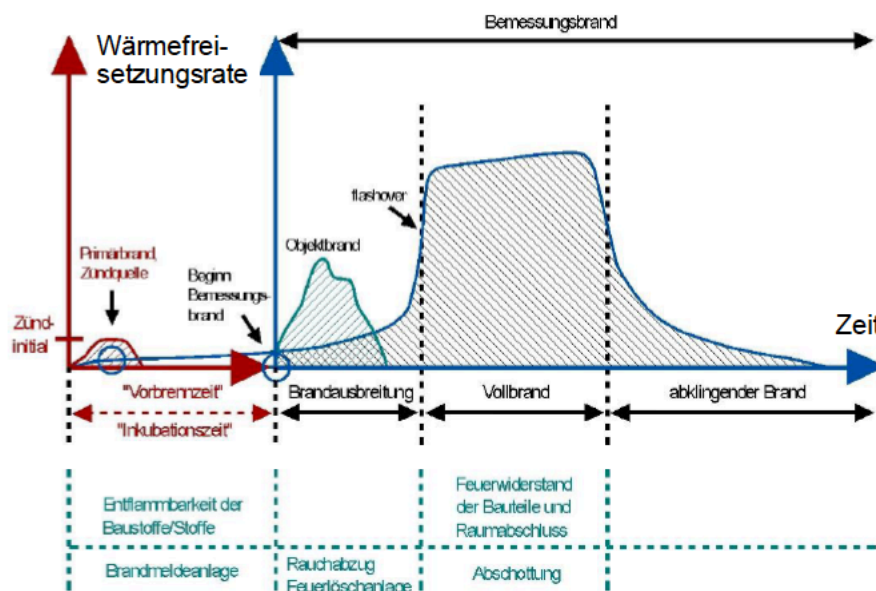


Abbildung 2-4: Brandentwicklungsphasen beim „natürlichen Brand“ (Schematischer Verlauf der Wärmefreisetzungsrate)¹¹⁴

¹¹³ <https://www.burnyundfloody.ch/wissensbeitrag/warum-brennt-ein-feuer> [letzter Zugriff: 2019.02.07 14:40]

¹¹⁴ Vgl. Hossler 2013, Seite 49

Ein Ansatz für die Bemessungsbrände ist das t^2 -Modell für die Brandentwicklungsphase¹¹⁵.

Das Modell wird international verwendet und dient zur Berechnung der zeitlichen Wärmefreisetzung, wenn die Bestimmungen der Brandbedingungen gering sind.

Die Brandentwicklung wird folgendermaßen berechnet:

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad (\text{Gl. 2-1})$$

$$Q = Q_s + Q_0 \cdot \left(\frac{t}{t_g}\right)^2 \quad (\text{Gl. 2-2})$$

Mit:

Q Wärmefreisetzungsrate [kW]

Q_s Wärmefreisetzungsrate [kW] zum Zeitpunkt t₀, Beginn Bemessungsbrand, siehe Abbildung 2-4

Q₀ = 1000 kW

α Brandentwicklungsfaktor [kW/s²]

t Branddauer ohne Berücksichtigung der Zündphase/Schwelbrandphase [s]

t_g charakteristische Brandentwicklungszeit; der Zahlenwert entspricht der Branddauer in [s] bis zum Erreichen einer Brandstärke von 1000 kW

Der Parameter α beschreibt den Anstieg der Wärmefreisetzungsrate.

Die Gleichungen (Gl. 2-1) bzw. (Gl. 2-2) gelten für die Berechnung von ventilationsgesteuerten Raumbränden nur bis Einleitung des Flashovers.

Die Brände, die mit dem t^2 Modell berechnet werden, charakterisieren sich durch eine konstante, flächenspezifische Wärmefreisetzungsrate [kW/m²] – auf die Brandfläche bezogen. Die Brandfläche ist etwa kreisförmig und der Kreisradius wächst linear mit der Zeit.

Bei Brandsimulationen, bei denen die Berechnung der Wärmefreisetzungsrate nach t^2 -Beziehung durchgeführt wird, müssen zusätzlich Zahlenwerte zu den Rauchpotenzialen und zum Sauerstoffbedarf der brennbaren Stoffe als Eingabegrößen zur Verfügung stehen, da der Abbrand der brennbaren Stoffe nicht direkt in die Berechnungen eingeht.

Die Tabelle 2-34 zeigt die Werte für den Brandentwicklungsfaktor α und die Branddauer t_g in Bezug auf die Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

Tabelle 2-34: Standardwerte für α und t_g¹¹⁶

Brandentwicklung	Parameter α [kW/s ²]	t _g [s] Branddauer bis zum Erreichen von Q = 1000 kW
Langsam	0,00293	600
Mittel	0,01172	300
Schnell	0,04689	150
Sehr schnell	0,18760	75

¹¹⁵ Vgl. Hosser 2013, Seite 52f

¹¹⁶ Vgl. Hosser 2013, Seite 55

Um die Personensicherheit im Brandfall zu gewährleisten, stehen folgende Nachweiskriterien zur Verfügung:

- a) die Höhe der raucharmen Schicht,
- b) die optische Dichte pro Weglänge bzw. die Erkennungsweite,
- c) die Auswirkungen toxischer Gase und
- d) die thermische Wirkung von Rauchgasen.¹¹⁷

a) Höhe der raucharmen Schicht

Die Höhe der raucharmen Schicht ist das einfachste nachvollziehbare Kriterium für die Bewertung der Personensicherheit und ein wesentlicher Ausgabeparameter von Zonenmodellen. Es sind Schichthöhen von 2,5 m bis 3,5 m für die Selbstrettung nachzuweisen, je nach Stärke der Stratifizierung, Raumhöhe und erforderlichen Sicherheitszuschlägen.¹¹⁸

b) Optische Dichte pro Weglänge bzw. die Erkennungsweite

Das Ausmaß der Verqualmung und die damit einhergehende Reduktion der Erkennungsweite spielt eine wichtige Rolle bei der Bewertung von Gefahren im Brandfall. Die optische Dichte pro Weglänge D_L [m^{-1}] oder der Extinktionskoeffizient (Schwächungskoeffizient) K quantifizieren die lichttrübende Wirkung des Rauches.

$$D_L = D_m \cdot \frac{C_{Ru\beta}}{Y_{Ru\beta}} \quad (\text{Gl. 2-3})$$

$$D_L = \frac{K}{\ln(10)} = 0,43 \cdot K \quad (\text{Gl. 2-4})$$

mit:

D_m Rauchpotenzial (bezogen auf die optische Dichte pro Weglänge) [m^{-1}]

$Y_{Ru\beta}$ Rauchpartikel-Entstehungsanteil am Brandgut [g/g]

$C_{Ru\beta}$ Rußanteil im Rauchgas

Alternativ zum Rauchpotenzial lassen sich D_L bzw. K auch aus massenspezifischen Extinktionskoeffizient K_m [m^2/g] und der Rauchpartikeldichte berechnen, wobei in letztere die Rauchausbeute $Y_{Ru\beta}$ [g/g] einfließt

$$D_m = K_m \cdot \frac{Y_{Ru\beta}}{\ln(10)}, \quad (\text{Gl. 2-5})$$

mit einem typischen Wert für K_m für die flammende Verbrennung von Mischbrandlasten von $8,7 \pm 1,1 m^2/g$.

Die Erkennungsweite ist als der Abstand zwischen Beobachter und Fluchtwegkennzeichnung definiert und wird vereinfacht als Sichtweite bezeichnet. Die Sichtweiten sind abhängig von Objekteigenschaften, ausgedrückt durch C , was zu sehen sein soll (leuchtend, nicht leuchtend) und dem Extinktionskoeffizient K .¹¹⁹

¹¹⁷ Vgl. Hosser 2013, Seite 247

¹¹⁸ Vgl. Forell 2010, Seite 23-27

¹¹⁹ Vgl. Hosser 2013, Seite 248-250

a) für $K < 0,25 \text{ m}^{-1}$

$$S=C/K$$

b) für $K > 0,25 \text{ m}^{-1}$ und reizenden Rauch

$$S=(C/K) \cdot (0,133 - 1,47 \cdot \log(K))$$

Die Konstante C kann mit 3 für ein beleuchtetes und 8 für ein hinterleuchtendes Hinweiszeichen angenommen werden.

Die Abbildung 2-5 zeigt den Zusammenhang zwischen Erkennungsweite und optischer Dichte pro Weglänge für unterschiedliche Rauchzusammensetzungen.

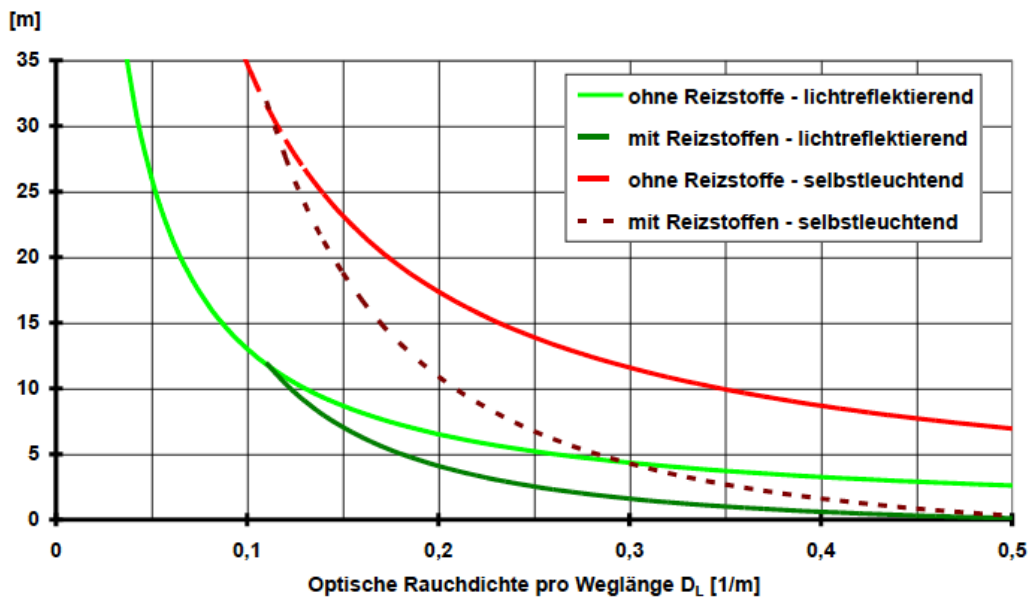


Abbildung 2-5: Erkennungsweite S als Funktion von D_L ¹²⁰

c) Auswirkungen der toxischen Gase

Zur Risikoquantifizierung sind die Toxizitätsnachweise am besten geeignet, da sie die chemischen und physiologischen Aspekte berücksichtigen.

Die im Brandfall entstehenden Gase oder akuten Sauerstoffmängel beeinträchtigen, durch ihre narkotisierende bzw. erstickende Wirkung unmittelbar die individuelle Handlungsfähigkeit. Das Kohlenmonoxid (CO) und der Cyanwasserstoff (HCN), gegebenenfalls in ihrer Wirkung verstärkt durch Kohlendioxid (CO₂), wurden am häufigsten bei den Brandopfern festgestellt.¹²¹

Die „Fractional Effective Dose“ (FED) – Methode ist ein Verfahren, das für die quantitative Sicherheitsbetrachtungen zur Bestimmung der Expositionsdauer bis zum Eintreten von Handlungsunfähigkeit geeignet ist. Der Quotient F wird durch das Verhältnis zwischen der Teildosis, die in einem Zeitintervall Δt aufgenommen wurde, und der zur

¹²⁰ Vgl. Hosser 2013, Bild 8.1

¹²¹ Vgl. Purser D. - 2016, Seite 2221

Handlungsunfähigkeit führenden Gesamtdosis für eine Folge von Zeitintervallen bezeichnet. Sobald F den Wert 1 erreicht hat, tritt die Handlungsunfähigkeit ein.¹²²

$$F = \max ((F_{CO} + F_{HCN}) \cdot V_{Hyp} + F_{O_2}, F_{CO_2}) \quad (\text{Gl. 2-6})$$

mit:

V_{Hyp} Verstärkungsfaktor, der es erlaubt den Effekt der Hyperventilation abzuschätzen

$$V_{Hyp} = \exp (0,2 \cdot c_{CO_2}) \quad (\text{Gl. 2-7})$$

und

$$F_{CO} = \frac{3,317 \cdot 10^{-5} \cdot RMV \cdot c_{CO}^{1,036} \cdot \Delta t}{D} \quad (\text{Gl. 2-8})$$

$$F_{HCN} = \frac{\Delta t}{\exp(5,396 - 0,023 \cdot c_{HCN})} \quad (\text{Gl. 2-9})$$

$$F_{CO_2} = \frac{\Delta t}{\exp(6,1623 - 0,5189 \cdot c_{CO_2})} \quad (\text{Gl. 2-10})$$

$$F_{O_2} = \frac{\Delta t}{\exp(8,13 - 0,54 \cdot (20,9 - c_{O_2}))} \quad (\text{Gl. 2-11})$$

mit:

RMV Atemrate [l/min],

c_{CO} Kohlenmonoxid-Konzentration [ppm],

D kritische Menge Carboxyhämoglobin (COHb) die zur Bewusstlosigkeit führt [Vol.%],

c_{HCN} Cyanwasserstoff-Konzentration [ppm],

c_{CO_2} Kohlendioxid-Konzentration [Vol. %],

c_{O_2} Sauerstoff-Konzentration [Vol. %]¹²³.

Typische Werte für D, bezogen auf einen 70 kg schweren Erwachsenen:

c) unter leichter körperlicher Beanspruchung: D = 30 % und RMV = 25 l/min,

d) In Ruhe D = 40 % und RMV = 8,5 l/min,

e) Tod tritt bei D \approx 50 % ein.¹²⁴

d) Thermische Wirkung von Rauchgasen

Die Wärmeeinwirkung der Heißgasschicht neben den toxischen Effekten der Rauchgase beeinflusst die individuelle Belastung und damit die für die Selbstrettung verfügbare Zeitspanne. Es gibt drei Möglichkeiten der thermischen Einwirkung, die zur Handlungsunfähigkeit und zu schweren körperlichen Schäden bis zum Tode führen können:

¹²² Vgl. Purse D. – 2016, Seite 2318

¹²³ Vgl. Hosser 2013, Seite 252f

¹²⁴ Vgl. Purser D.-2016, Seite 2334

- a) Thermischer Schock,
- b) Hautverbrennungen und
- c) Verbrennungen des Atmungsapparats.¹²⁵

Die Heißgase können Schädigungen bewirken, wenn Personen längere Zeit einer erhöhten Umgebungstemperatur, die nicht zu direkten Verbrennungen führt, exponiert sind. Die kritischen Temperaturen hängen von der Luftfeuchtigkeit und der Expositionszeit ab und sind 120 °C bei trockener Luft und bis ca. 80 °C bei feuchter Luft. Der thermische Schock tritt ein, wenn die Körperwärme ansteigt. Körpertemperaturen über 40 °C können zu Bewusstseinsbeeinträchtigungen und körperlichen Schäden führen und Körpertemperaturen über 42,5 °C können unbehandelt innerhalb weniger Minuten zum Tode führen.

Die Abbildung 2-6 zeigt die Verträglichkeitsdauer bei unbedeckten Menschen im Ruhezustand bei geringer Luftbewegung. Es ist zu erkennen, dass nach Überschreiten der Umgebungstemperatur von 120 °C Hautschmerz bzw. Hautverbrennungen eintreten.

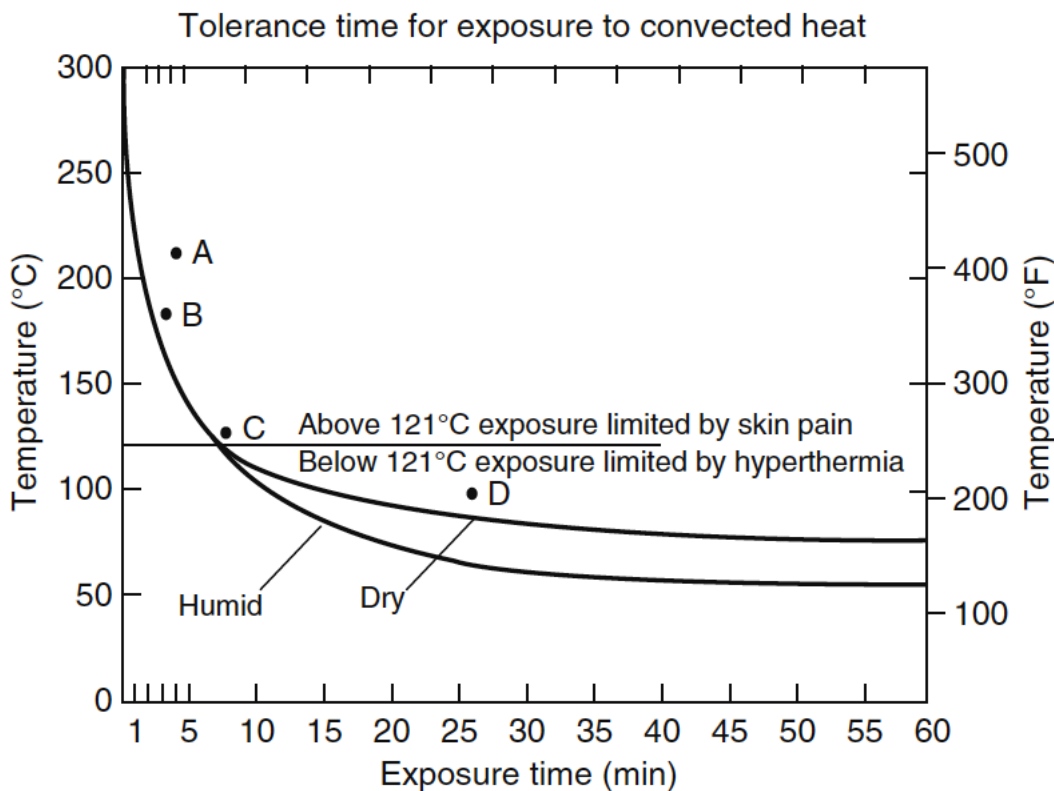


Abbildung 2-6: Thermische Verträglichkeit bei nackten Menschen in Ruhe und bei geringer Luftbewegung¹²⁶

Bei hohen Temperaturen sinkt die Expositionszeit exponentiell ab, zum Beispiel bei Grenztemperaturen, zwischen Hitzeschock und Verbrennungen liegt die Toleranzzeit bei 15-25 Minuten und bei Temperaturen von 200 °C sinkt diese auf 3-4 Minuten.

¹²⁵ Vgl. Purser D.-2016, Seite 2373

¹²⁶ Vgl. Purser D.-2016, Bild 63.28, Seite 2375

Die Luftfeuchtigkeit spielt eine sehr große Rolle bei Verbrennungen des Atemtrakts. Bei Temperaturen oberhalb von 180 °C kommt es zum Inhalationshitzeschock.¹²⁷

Zur Beurteilung der Personensicherheit in Bezug auf die im Brandfall entstehenden Gefahren hat Hosser folgende Anhaltswerte in der Tabelle 2-35 festgelegt. Wenn keiner der festgelegten Anhaltswerte für die bestimmte Aufenthaltsdauer überschritten wird, ist das Schutzziel erfüllt.¹²⁸

Tabelle 2-35: Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele nach Hosser¹²⁹

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration ¹⁾	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m ²	2,0 kW/m ²	2,5 kW/m ²
Gastemperatur	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D _L	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ /0,15 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ /0,15 m ⁻¹
Erkennungsweite	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

¹⁾ Hier wurde ein Verhältnis CO:HCN von 12,5:1 berücksichtigt

2.5.2 Ermittlung der Gefahren

Für die Ermittlung der im Brandfall entstehenden Gefahren können Brandversuche, Realbrandversuche oder Brandsimulationen durchgeführt werden. Das Verfahren mit den, der Realität am vergleichbarsten, Ergebnissen würde ein Realbrandversuch sein. Ein Realbrandversuch setzt voraus, dass ein Gebäude/Raum zur Verfügung steht und zieht bei der Versuchsdurchführung sehr hohe Kosten nach sich.

Grundsätzlich gibt es die folgenden mathematischen deterministischen Brandsimulationsmodelle:

- d) Empirisch belegte Ansätze,
- e) Zonenmodelle,
- f) Feldmodelle (CFD).

Die empirisch belegten Ansätze beziehen sich auf Verfahren, die aufgrund von Experimenten bezüglich einer spezifischen Fragestellung gewonnen wurden. Die wesentlichen Einflussparameter und ihr Zusammenhang werden durch geeignete Experimente ermittelt und in Form vereinfachter Gleichungen dargestellt.¹³⁰

Die Grundlagen für das Zonenmodell wurden erst von Fowkes¹³¹ in seiner Arbeit mit Emmons beim "Home Fire Project" herausgegeben. Das Modell stellt das System als zwei getrennte Gaszonen dar, ein oberes Volumen und ein unteres Volumen, die sich aus der

¹²⁷ Vgl. Purser D.-2016, Seite 2375f

¹²⁸ Vgl. Hosser 2013, Seite 259

¹²⁹ Vgl. Hosser 2013, Seite 260

¹³⁰ Vgl. Hosser 2013, Seite 89

¹³¹ Vgl. Fowkes_1974

thermischen Schichtung durch Auftrieb ergeben. Auf jede Zone werden Erhaltungsgleichungen angewendet, die die verschiedenen Transport- und Verbrennungsprozesse berücksichtigen.¹³² Es wurden verschiedene Programme entwickelt, die auf dem Zonenmodell beruhen. Diese Programme berechnen die für das Brandgeschehen bestimmenden Parameter, wie die Temperatur des Rauchgases bzw. der Bauteile sowie die auftretenden Druckverteilungen und Massenströme.¹³³

Aufgrund der immer komplexer werdenden Gebäudekonstruktionen und da die Annahmen des Zonenmodells ihren Anwendungsbereich auf relativ einfache Brandszenarien beschränken, hat sich das Feldmodell (CFD Modell) als ein wichtiges Instrument für Brandsimulationen herausgestellt und wurde weiterentwickelt.

Der Ausgangspunkt für das CFD Modell sind die partiellen Differentialgleichungen, die die Konservierung (Erhaltung) von Masse, Impuls und Energie im Feuer und den das Feuer umgebenden Raum bestimmen. Diese Gleichungen werden numerisch auf einem dreidimensionalen Gitter von Control-Volumina gelöst. Sie beschreiben die ganze Geometrie, um zeitabhängige Voraussagen über Temperatur, Gasgeschwindigkeit, Gaskonzentration usw. zu erhalten. Bei CFD-Brandsimulationen werden derzeit zwei Hauptansätze verwendet: Large Eddy Simulation (LES) und Reynolds gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen (RANS).¹³⁴

Unabhängig vom für die Brandsimulation gewählten Verfahren müssen grundsätzliche Vorgaben gemacht werden. Diese Vorgaben betreffen die Gebäudegeometrie, Wände, Öffnungsflächen und die Randbedingungen und deren Darstellung im Model.

2.6 Flucht von Personen

Die Flucht von Personen ist ein wichtiger Einflussfaktor der Gewährleistung der Personensicherheit im Gefahrenfall Brand. Um die Entfluchtung aus einem Gebäude zu gewährleisten, werden verschiedene Evakuierungsstrategien verwendet. Eine effektive Evakuierungsstrategie berücksichtigt die Gebäudegröße, Gebäudenutzung, Personencharakteristik, bestehende Brandschutzmaßnahmen und sonstige Gefahren im Gebäude.

Die wichtigsten Evakuierungsstrategien sind:

- a) das gleichzeitige, vollständige Evakuieren des Gebäudes,
- b) an Ort und Stelle schützen,
- c) die Benutzer innerhalb eines Gebäudes an einen sicheren Ort verbringen,
- d) stufenweise oder teilweise Evakuierung,
- e) leistungs- und schutzzielorientiertes Verfahren.¹³⁵

¹³² Vgl. James G_2016

¹³³ Vgl. William D_2016

¹³⁴ Vgl. McGrattan_2016

¹³⁵ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2020

a) Gleichzeitige, vollständige Evakuierung

Die gleichzeitige, vollständige Evakuierung der Personen wird am häufigsten bei Gebäuden mit bis zu 6 Geschossen durchgeführt. Die Flucht erfolgt normalerweise durch ungeschützte Fluchtwege, mit einer entsprechenden Länge, bis zu einem geschützten Stiegenhaus, das ins Freie weiterführt. Bei Hochhäusern, großen Versammlungsräumen, bei denen eine gleichzeitige, vollständige Evakuierung notwendig ist, wird ein leistungsorientierter Ansatz des Brandschutzes empfohlen.

Bei Verwendung dieser Strategie sollten die Warnmeldungen und deren Wirksamkeit mitberücksichtigt werden. Insbesondere sollten Annahmen in Bezug auf die Reaktionszeiten, die Personencharakteristik, Annahmen in Bezug auf die Gehzeiten und Evakuierungsdauer und Gebäudefunktionen, die die Flucht beschränken oder behindern können, gegeben werden.¹³⁶

b) Schutz-vor-Ort (Protect in Place)

Diese Strategie umfasst die Bereitstellung angemessener Sicherheitsmaßnahmen, damit die Benutzer während der Gefahr an Ort und Stelle bleiben können und wird in Einrichtungen mit Benutzern eingesetzt, die sich beschränkt bewegen können oder bewegungsunfähig sind.

Bei Konstruktionen, die das Evakuierungsverfahren zum Schutz-vor-Ort verwenden, wird eine Kombination aus aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen und Brandschutzmanagement eingesetzt, um ein angemessenes Sicherheitsniveau zu bieten, damit die Benutzer am ursprünglichen Ort bleiben können. Bauwerke, die solche Strategien verwenden, werden in der Regel mit automatischen Sprinkleranlagen ausgestattet und verfügen über Brandabschnitte, um die Ausbreitung von Rauch und Feuer zu reduzieren.

Die Strategie Schutz-vor-Ort wird meistens bei Krankenhäusern, Heimen und Haft- und Strafvollzugsbesetzungen verwendet.¹³⁷

c) Die Benutzer innerhalb eines Gebäudes an einen sicheren Ort verbringen (Umsiedlungsstrategie)

Wie beim Schutz-vor-Ort-Verfahren, braucht die Umsiedlungsstrategie die Beachtung von Brandschutzmanagement und erfordert möglicherweise spezielle Erkennungs- und Warnmeldungs-systeme oder andere geeignete Systeme, die die Lebenssicherheit garantieren. Krankenhäuser, Pflegeheime, Haft- und Strafvollzugsanstalten sowie institutionelle Einrichtungen sind Beispiele für Einrichtungen, die diese Strategie anwenden. Diese Einrichtungen verwenden normalerweise horizontale Brandabschnitte, die durch Feuer- und Rauchschutztüren die Sicherheit der Benutzer gewährleisten.

Die Strategie kann beim Hochhaus angewendet werden, wobei die Benutzer angewiesen werden, sich in einem Geschoss bzw. Brandabschnitt unterhalb des Brandortes und fern von der Brandeinwirkung zu bewegen.¹³⁸

¹³⁶ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2020-2021

¹³⁷ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2021

¹³⁸ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2022

d) Stufenweise oder teilweise Evakuierung

Die stufenweise und teilweise Evakuierung kombiniert die Entfluchtung der Personen, die sich in der Nähe des Brandherdes und der Brandeinwirkung befinden, mit dem Schutz-vor-Ort der Personen, die sich außerhalb des Gefahrenbereichs befinden. Bei der stufenweisen Evakuierung werden die Personen außerhalb des Brandortes zuerst an Ort und Stelle bleiben, können jedoch später evakuiert werden, wenn die Evakuierung des gesamten Gebäudes erforderlich ist.

Bei den Hochhäusern in den USA werden in der Regel das Ereignisgeschoss und zwei Geschosse oberhalb und unterhalb des Ereignisgeschosses evakuiert.

Diese Strategie basiert auf zwei grundlegende Annahmen von entscheidender Bedeutung:

1. Das Ereignis hat keine Wirkung auf die Personen außerhalb der betroffenen Zone innerhalb der erforderlichen Evakuierungsdauer für die betroffene Zone und
2. die Personen in den nicht betroffenen Zonen bleiben an Ort und Stelle.

Das Verfahren eignet sich gut für „traditionelle“ Brandereignisse, beispielsweise für einen sprinklergesteuerten Brand in einem Hochhaus.¹³⁹

e) Leistungs- und schutzzielorientiertes Verfahren

Die leistungs- und schutzzielorientierte Strategie (Performance-Based Strategies) basiert auf dem Einschätzen der Evakuierungszeiten. Diese Einschätzung beurteilt die Fähigkeit der Bewohner das Gebäude sicher zu verlassen, in Bezug auf verschiedene durch den Brand verursachte Gefährdungen.¹⁴⁰

2.6.1 Personenverhalten

2.6.1.1 „Pre-movement“ Zeiten bzw. Reaktionszeiten

Das Verhalten der Menschen im Gefahrenfall ist ein wichtiger Einflussfaktor bei der Evakuierung der Menschen aus einem Gebäude, der bei der Brandschutzbemessung, insbesondere bei der Einschätzung der „pre movement“ Zeit berücksichtigt werden muss.

Es ist wichtig zu verstehen, dass die Menschenreaktion im Brandfall oder anderen Gefährdungsfällen das Ergebnis eines Prozesses ist. Bevor Einzelpersonen oder Personengruppen reagieren, nehmen sie an einem Entscheidungsprozess (d.h. eine Reihe von Schritten) teil, beruhend auf den Hinweisen aus ihrer Umgebung (einschließlich Informationen), dem sozialen Kontext, persönlichen Eigenschaften, ähnlichen Erfahrungen. Ein weiterer Aspekt, der verstanden und berücksichtigt werden muss, ist, dass eine sofortige, gleichzeitige Evakuierung der Bewohner eines Gebäudes unwahrscheinlich ist und die Bewohner verschiedene Aktivitäten ausführen, bis sie mit der Entfluchtung beginnen. Zu diesen Aktivitäten zählen das Sammeln von Informationen, die Vorbereitung der Evakuierung durch Sammeln von Habseligkeiten, die Unterstützung oder sogar Rettung anderer Personen, die Alarmierung anderer Personen im Gebäude, das Wechseln der Treppe und das Brandbekämpfen.¹⁴¹ Bei

¹³⁹ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2022

¹⁴⁰ Vgl. R.W Bukowski 2016, Seite 2024

¹⁴¹ Vgl. Kuligowski 2016

Brandfällen in Gebäuden mit Personen, die nicht mit der Gebäudeumgebung vertraut sind, wurde festgestellt, dass eine große Personenanzahl die Flucht durch den bekanntesten Weg, nämlich den Weg zum Haupteingang, durchgeführt haben, obwohl ein Notausgang näher gewesen wäre.¹⁴²

Die "pre-movement" Zeit setzt sich aus Zeitabschnitten, der Erkennungszeit und Reaktionszeit, zusammen. Die Erkennungszeit ist die Zeit, zu der die Bewohner den Brandnotfall erkennen und reagieren, nachdem ihnen die Brandhinweise bewusst sind. Die Reaktionszeit beginnt mit der ersten Reaktion und endet, wenn die Flucht zum Ausgang beginnt.¹⁴³

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Erkennungszeit sind die Brandhinweise, zum Beispiel: ein Feueralarm, Rauchgeruch, die Sicht von Rauch sogar Flammen, usw.

Zu Beginn eines Brandes können die Hinweise mehrdeutig sein¹⁴⁴ und manche Leute neigen dazu, sie weiter zu untersuchen oder sogar zu ignorieren. Dieses Verhalten wurde bei verschiedenen Untersuchungen von Feuerunfällen beobachtet¹⁴⁵. Bengtson behauptet in seinem Studium des Feuers auf einer Tanzparty in Göteborg (1988), dass die ersten Hinweise von Feuer mehrdeutig und widersprüchlich waren und selbst nach der Warnmeldung des DJs mehrere Personen die Warnung ignorierten und im Raum blieben als ein neuer Gast auftrat.¹⁴⁶ Ein ähnliches Verhalten wurde von Bryant in seiner Studie des MGM Grand Hotel Brand bemerkt.¹⁴⁷

Eine Möglichkeit, die Mehrdeutigkeit der Hinweise zu verringern und eine sichere Evakuierung zu fördern, besteht darin, klare Informationen über die Bedrohung und den Ort der verfügbaren Ausgänge bereitzustellen.¹⁴⁸

Purser legt in seiner Arbeit¹⁴⁹ quantitative Angaben für die Reaktionszeit („pre-movement time“) in Bezug auf die Aufnahmebereitschaft (wach/schlafend) der Personen, Vertrautheit der Personen mit dem Gebäude, die Qualität des Alarmierungssystems, die Komplexität des Gebäudes und Qualität des Brandschutzmanagements fest.

Die Abbildung 2-7 stellt eine typische Verteilung der individuellen Reaktionszeiten innerhalb einer Personengruppe dar.

¹⁴² Vgl. Kimura&Sime 1988

¹⁴³ Vgl. PD 7974-6 2004, Seite 7

¹⁴⁴ Vgl. Tong&Canter 1985

¹⁴⁵ Vgl. Bryant 1980

¹⁴⁶ Vgl. Bengtson

¹⁴⁷ Vgl. Bryant 1980

¹⁴⁸ Vgl. Johnson 1997

¹⁴⁹ Vgl. Purser 2003

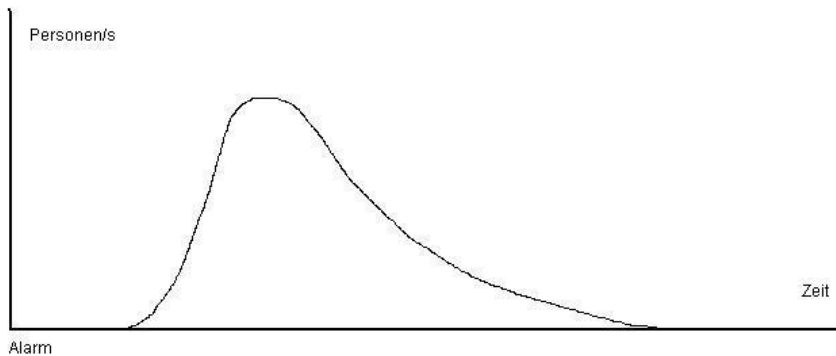


Abbildung 2-7: Schematische Darstellung einer typischen Reaktionszeit-Verteilung¹⁵⁰

Folgend werden die wesentlichen Einflussfaktoren der Reaktionszeit in Bezug auf die Kategorisierung nach Purser und das „Approved Document B, Vol. 2“ dargestellt.

Die Tabelle 2-36 zeigt die Kategorisierung hinsichtlich der Gebäudenutzung und einiger damit verbundenen Personencharakteristiken.

Tabelle 2-36: Kategorien zur Festlegung von Reaktionszeiten¹⁵¹

Kategorie	Wachsamkeit	Vertrautheit	Dichte	Nutzungsart
A	wach	vertraut	niedrig	Büro, Industrie
B	wach	unvertraut	hoch	Handel, Gaststätten, Versammlungsstätten
Ci	schlafend	vertraut	niedrig	Wohnungen
Cii	betreut	betreut	niedrig	Wohnheime
Ciii	schlafend	unvertraut	niedrig	Hotels, Herbergen
D	med. betreut	unvertraut	niedrig	Medizinische Betreuung
E	Transport	unvertraut	hoch	Verkehrsanlagen

Tabelle 2-37: Einstufen der Alarmierungssystemen¹⁵²

Stufe	Beschreibung
A1	automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung der betroffenen Bereiche
A2	Automatisches Brandmeldesystem mit sofortiger Alarmierung einer Zentrale und nachgeschalteter zeitverzögerter Alarmierung der betroffenen Bereiche
A3	keine oder nur lokale automatische Brandmeldung

¹⁵⁰ Vgl. Hosser 2013, Bild 9.1, Seite 270

¹⁵¹ Vgl. Hosser 2013, Tabelle 9.1, Seite 271

¹⁵² Vgl. Hosser 2013, Tabelle 9.2, Seite 271

Tabelle 2-38: Einstufen der Gebäudekomplexität¹⁵³

Stufe	Beschreibung
B1	einfache, überwiegend rechtwinklige Gebäudegeometrie, eingeschossig, nur wenige Räume bzw. Unterteilungen, einfacher Grundriss mit Ausgängen in Sichtlinie, kurze Wegstrecken, geeignete Vorkehrungen für direkt ins Freie führende Ausgänge (z. B. ein einfach strukturierter Supermarkt)
B2	Einfacher Grundriss mit mehreren Räumen (auch mehrgeschossig), Bauweise entspricht überwiegend präskriptiven Vorgaben (z. B. einfaches Bürogebäude)
B3	großes, komplexes Gebäude

Tabelle 2-39: Einstufen des Brandschutzmanagements¹⁵⁴

Stufe	Beschreibung
M1	Personal bzw. ständige Gebäudenutzer sind in den Belangen des Brandschutzes gut ausgebildet. Es gibt Brandschutzhelfer, eine Gefahrenabwehr- und Notfallplanung sowie regelmäßige Schulungen und Räumungsübungen. In öffentlich zugänglichen Bereichen muss in Sicherheitsfragen geschultes Personal in relativ hoher Zahl vorhanden sein. Eine unabhängige Überprüfung und Bewertung des Sicherheitssystems und der zugehörigen Verfahrensweisen ist notwendig. In öffentlich zugänglichen Bereichen ist ein Lautsprechersystem vorzusehen.
M2	wie M1, jedoch mit einem geringeren Anteil an geschultem Personal. Brandschutzhelfer und eine unabhängige Prüfung / Bewertung des Sicherheitssystems sind nicht erforderlich.
M3	Brandschutzmanagement entsprechend dem erforderlichen Mindeststandard hinsichtlich der Personensicherheit

In der Tabelle 2-40 werden die aus empirischen Daten (Evakuierungsübungen und reale Brandereignisse) gewonnenen Reaktionszeiten für die Kategorien A bis C und die zugehörigen Unterkategorien dargestellt.

¹⁵³ Vgl. Hosser 2013, Tabelle 9.3, Seite 272

¹⁵⁴ Vgl. Hosser 2013, Tabelle 9.4, Seite 272

Tabelle 2-40: Reaktionszeiten¹⁵⁵

Szenario (Haupt- und Unterkategorien)	Δt_1 [min]	Δt_{99} [min]
Kategorie A: wach und vertraut		
M1 B1 – B2 A1 – A2	0,5	1
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	2
M3 B1 – B2 A1 – A3	(> 15)	(> 15)
B3: addiere 0,5 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung		
Kategorie B: wach und unvertraut		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2
M2 B1 A1 – A2	1	3
M3 B1 A1 – A3	(> 15)	(> 15)
B2: addiere 0,5 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung		
B3: addiere 1,0 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung		
Kategorie Ci: schlafend und vertraut		
M2 B1 A1	(5)	(5)
M3 B1 A3	(10)	(> 20)
Kategorie Cii: betreute Wohnanlagen		
M1 B2 A1 – A2	(10)	(20)
M2 B2 A1 – A2	(15)	(25)
M3 B2 A1 – A3	(> 20)	(> 20)
Kategorie Ciii: schlafend und unvertraut		
M1 B2 A1 – A2	(15)	(15)
M2 B2 A1 – A2	(20)	(20)
M3 B2 A1 – A3	(> 20)	(> 20)
B3: addiere 1,0 min zu Δt_1 wegen schwieriger Orientierung		

Δt_1 stellt die 1 Perzentile der flüchtenden Personen dar und charakterisiert den Zeitpunkt des Beginns der individuellen Reaktionszeit.

Δt_{99} stellt die 99 Perzentile der Personenverteilung dar und charakterisiert das Zeitintervall vom Beginn bis zum Ende der Reaktionszeit.

Die in der Tabelle 2-40 in Klammer gesetzten Zeitangaben sind mit einer größeren Unsicherheit behaftet, da das Datenmaterial in vergleichsweise geringem Umfang zur Verfügung stand.

2.6.1.2 Gehzeiten

Bei einer Evakuierung von Personen ist die Geh- bzw. Laufzeit im Wesentlichen abhängig von:

- der mittlere Gehgeschwindigkeit der Personen,
- der zurückzulegenden Wegstrecke bis zum Ausgang,
- der maximalen Durchlassfähigkeit der Ausgänge und
- der Personendichte, insbesondere der Personenanzahl die den Ausgang verwenden.

¹⁵⁵ Vgl. Hosser 2013, Tabelle 9.5, Seite 273

Die Gehgeschwindigkeit von Personen ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, diese sind:

- demographische Faktoren wie Alter und Geschlecht,
- die Dichte des Personenstroms und
- Einflüsse aus der Umgebung (z.B. Verrauchung).

Die Abbildung 2-8 und die Tabelle 2-41 zeigen die Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit vom Lebensalter. Es ist darauf zu achten, dass die hier angegebenen Gehgeschwindigkeiten sich auf eine freie Bewegung (d.h. z.B. bei geringen Personendichten) beziehen. Nach Weidmann kann als gewichtetes Mittel (normiert über die Bevölkerungspyramide) aller Jahrgänge eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,34 m/s angegeben werden¹⁵⁶.

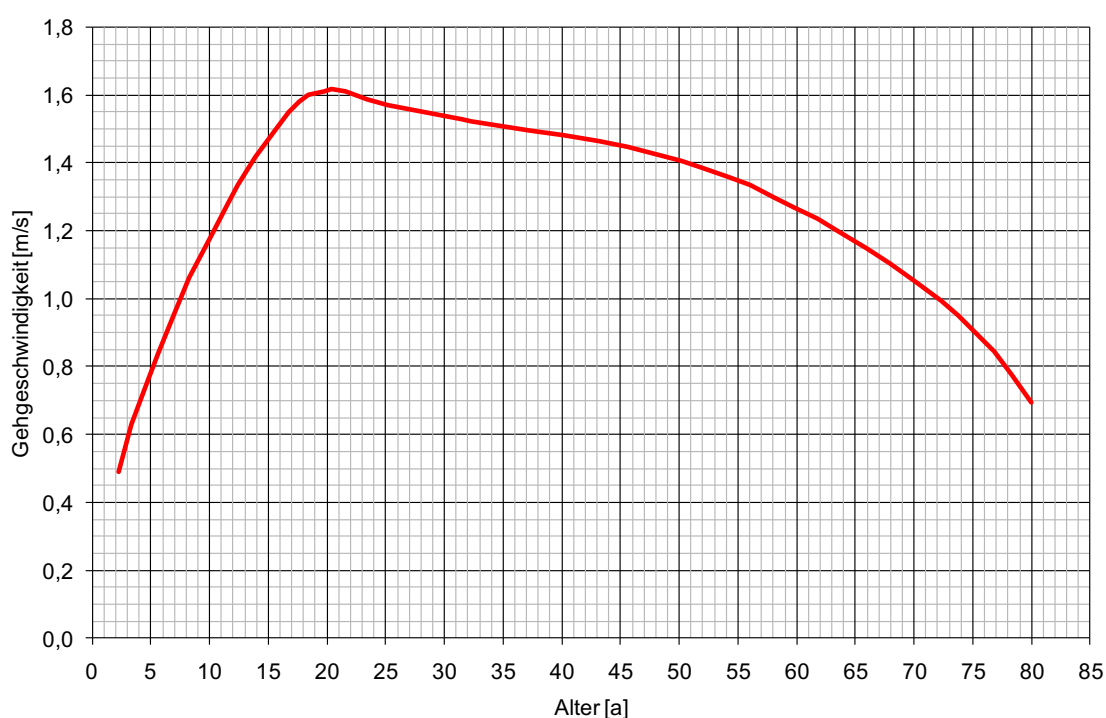


Abbildung 2-8: Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit vom Lebensalter nach Weidmann¹⁵⁷

Tabelle 2-41: Zusammenstellung der Gehgeschwindigkeiten in der Ebene¹⁵⁸

Personengruppe	Gehgeschwindigkeit in der Ebene (m/s)	
	Minimum	Maximum
Unter 30 Jahre	0,58	1,61
30 bis 50 Jahre	1,41	1,54
Über 50 Jahre	0,68	1,41

¹⁵⁶ Vgl. Weidmann 1993, S. 44

¹⁵⁷ Vgl. Weidmann 1993, Abb. 41, S. 45

¹⁵⁸ Vgl. Rimea 2016, Tabelle 1, S. 6

Für die Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit von der Personendichte gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Beispielhaft sei hier der Ansatz nach Nelson und Mowrer kurz beschrieben.

In diesem Ansatz wird unterstellt, dass bei einer Personendichte von kleiner 0,54 Personen/m² sich diese frei, entsprechend ihrer individuellen Gehgeschwindigkeit, fortbewegen. Zwischen einer Personendichte von 0,54 Personen/m² und 3,8 Personen/m² wird ein linearer Abfall der Gehgeschwindigkeit bis zum Stillstand angenommen. Für diesen Abfall der Gehgeschwindigkeit wird die in der (Gl. 2-12) dargestellte Beziehung verwendet¹⁵⁹.

$$v = k - a \cdot k \cdot D \quad (\text{Gl. 2-12})$$

für $3,8 \text{ Personen/m}^2 \geq D \geq 0,54 \text{ Personen/m}^2$

mit:

- v Gehgeschwindigkeit [m/s]
- a Konstante = 0,266 [m²/Person]
- k Konstante abhängig von der Art der Strecke [m/s]
- D Personendichte [Personen/m²]

Für Gänge, Rampen und Tore wird für k ein Wert von 1,4 angesetzt, für Stiegen variiert k in Abhängigkeit der Stufenhöhe zwischen 1,0 und 1,23¹⁶⁰.

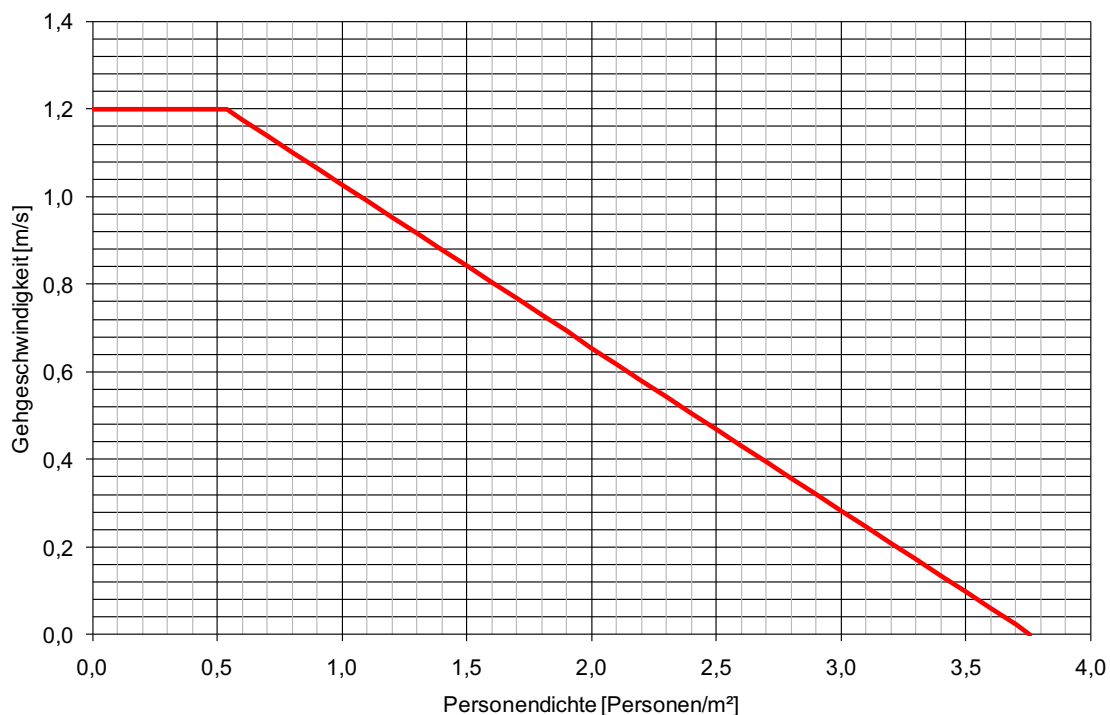


Abbildung 2-9: Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit von der Personendichte nach Nelson und Mowrer für Gänge, Rampen und Tore ($k = 1,4$)¹⁶¹

¹⁵⁹ Vgl. Nelson et.al 2002

¹⁶⁰ Vgl. Nelson et.al 2002, Table 3-14.2

¹⁶¹ Vgl. Nelson et.al 2002

Ausgehend von den Geschwindigkeitsbeziehungen für den demographischen Einfluss (z.B. Alter) und die Personendichte lässt sich für eine Engstelle die Durchlassfähigkeit unmittelbar über die in der (Gl. 2-13) dargestellte Beziehung entwickeln. Der Personenfluss ergibt sich aus dem Produkt der Gehgeschwindigkeit, der Dichte und der Breite des Durchganges.

$$F = v \cdot D \cdot b \quad (\text{Gl. 2-13})$$

mit:

F Personenfluss [Personen/s]
 v Gehgeschwindigkeit [m/s]
 D Personendichte [Personen/m²]
 b Breite [m]

Bezieht man sich auf eine Breite von 1,0 m so erhält man einen spezifischen Personenfluss bzw. eine Durchlassfähigkeit. In diesem Fall vereinfacht sich die (Gl. 2-13) zu der (Gl. 2-14) zur Bestimmung der Durchlassfähigkeit f.

$$f = v \cdot D \quad (\text{Gl. 2-14})$$

mit:

f Durchlassfähigkeit [Personen/(m·s)]
 v Gehgeschwindigkeit [m/s]
 D Personendichte [Personen/m²]

Neben den zuvor beschriebenen Beziehungen zur Beschreibung des Personenflusses gibt es auch noch andere empirische Beziehungen, welche die Durchlassfähigkeit beschreiben. Weidmann gibt die in der (Gl. 2-15) dargestellte empirische Beziehung zur Bestimmung der Durchlassfähigkeit (Weidmann bezeichnet diesen Wert als spezifische Leistungsfähigkeit) an¹⁶²:

$$L_s = 1,34 \cdot D \cdot \left[1 - e^{\left(-1,913 \cdot \left\{ \frac{1}{D} - \frac{1}{5,4} \right\}\right)} \right] \quad (\text{Gl. 2-15})$$

mit:

L_s spezifische Leistungsfähigkeit (Durchlassfähigkeit) [Personen/(m·s)]
 D Personendichte [Personen/m²]

Es ergibt sich somit die in der Abbildung 2-10 dargestellte Durchlassfähigkeit in Abhängigkeit der Personendichte.

¹⁶² Vgl. Weidmann 1993, Gleichung 18, S. 63

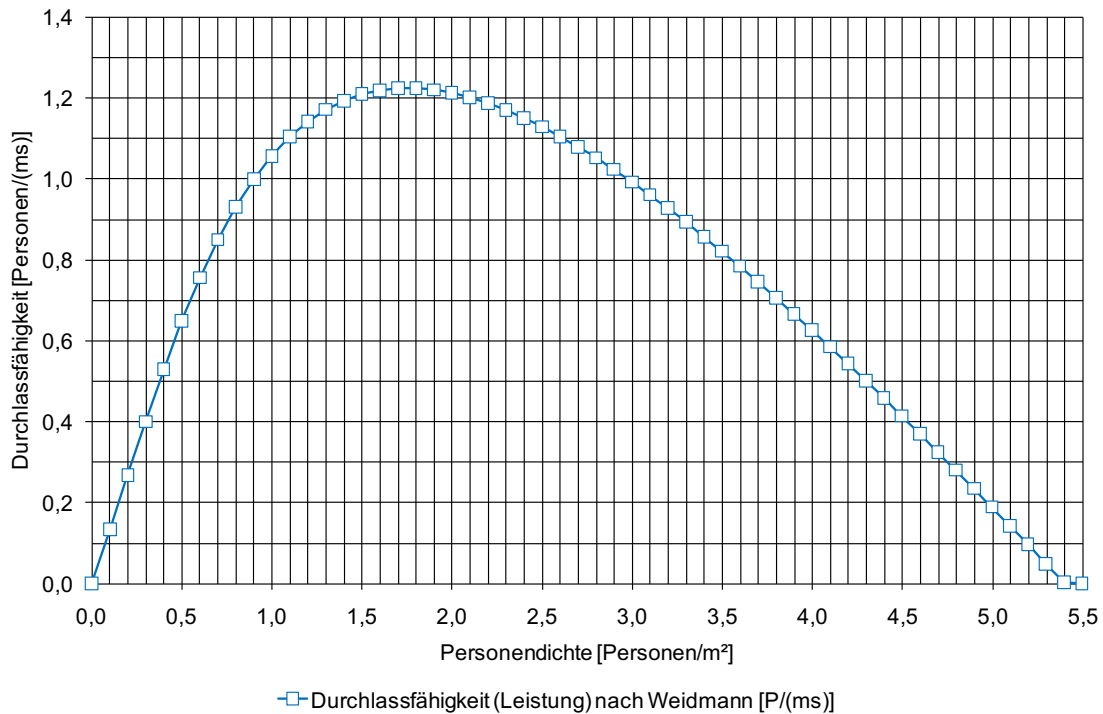


Abbildung 2-10: Durchlassfähigkeit in Abhängigkeit der Personendichte nach Weidmann

Die personendichteabhängige Gehgeschwindigkeit nach Weidmann lässt sich aus der (Gl. 2-15) leicht über Anwendung der (Gl. 2-14) zurückrechnen. Die Abbildung 2-11 zeigt die Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Personendichte abgeleitet aus der Beziehung nach (Gl. 2-15).

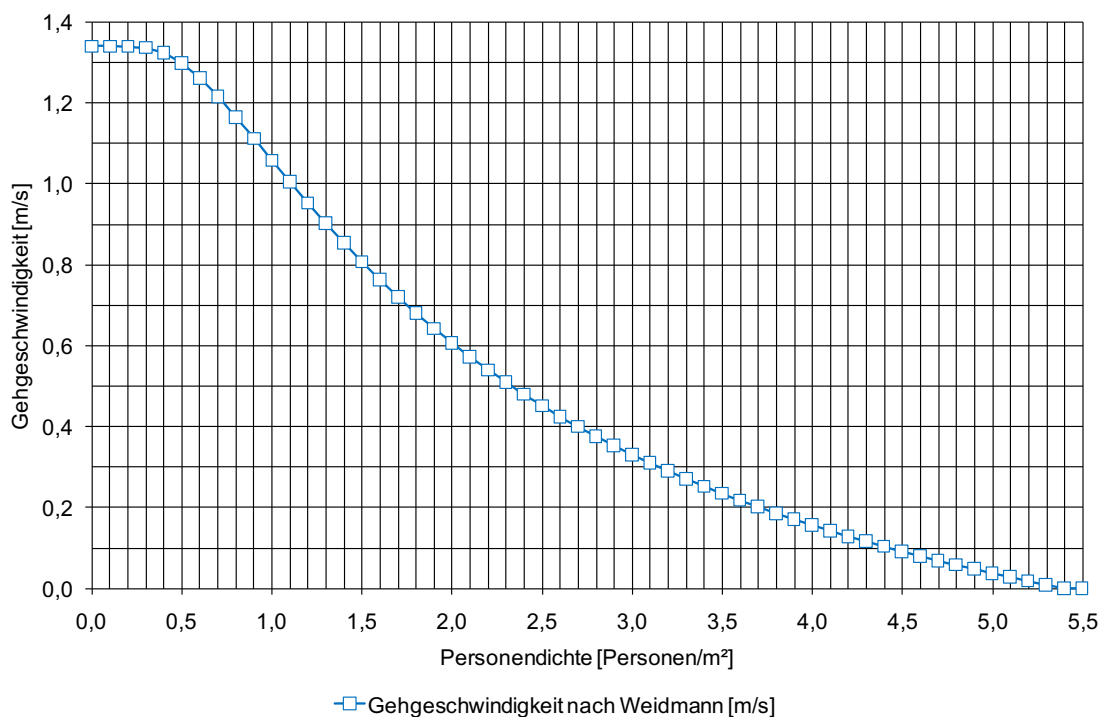


Abbildung 2-11: Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Personendichte abgeleitet aus der Durchlassfähigkeit nach Weidmann

Fasst man nun die beiden Ansätze zusammen ergeben sich die in der Abbildung 2-12 dargestellten Beziehungen für die Durchlassfähigkeit und die personendichteabhängige Gehgeschwindigkeit.

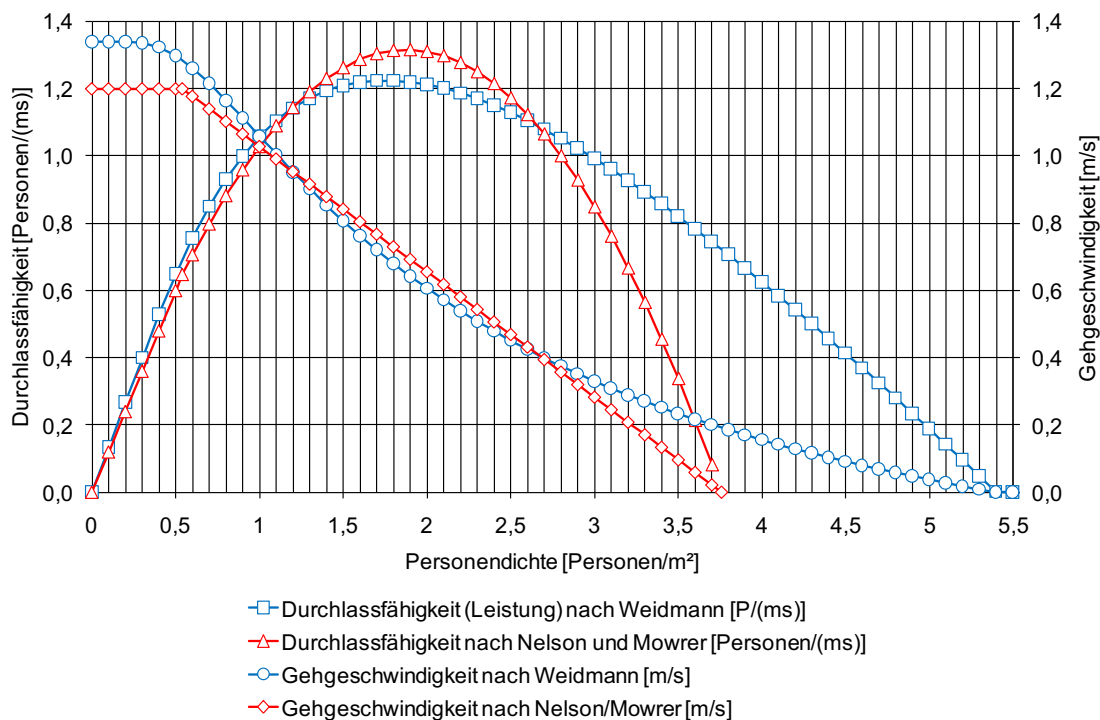


Abbildung 2-12: Gegenüberstellung der personendichteabhängigen Durchlassfähigkeiten und der Gehgeschwindigkeiten entsprechend den Ansätzen nach Weidmann und Nelson/Mowrer.

Die Gegenüberstellung der personendichteabhängigen Durchlassfähigkeiten und Gehgeschwindigkeiten in der Abbildung 2-12 entsprechend den verschiedenen Ansätzen zeigt, dass sich bis zu einer Dichte von etwa 3 Personen/m² ähnliche Werte ergeben. Die beiden hier vorgestellten Ansätze divergieren bei Personendichten über 3 Personen/m² relativ stark.

Aus der Abbildung 2-12 lassen sich nun die für die Bestimmung der Laufzeit nach der (Gl. 3-5) notwendigen Daten (Durchlassfähigkeit, Gehgeschwindigkeit) bei Annahme einer Personendichte ablesen. Unterstellt man beispielsweise eine Personendichte von 2 Personen/m², ein für eine Evakuierung typischer mittlerer Wert, so erhält man für die Durchlassfähigkeit an der Engstelle einen Wert von etwa 1,2 Personen/(m·s) bei einer Gehgeschwindigkeit von ca. 0,6 m/s.

2.6.2 Ermittlung der Fluchtzeiten

Die Fluchtzeit/Evakuierungsdauer setzt sich zusammen wie folgt:

$$t_{\text{Evakuierung}} = t_{\text{Detektion}} + t_{\text{Alarm}} + t_{\text{Reaktion}} + t_{\text{Gehzeit}}^{163} \quad (\text{Gl. 2-16})$$

¹⁶³ Vgl. Purser 2003

mit:

$t_{\text{Detektion}}$	die Zeit vom Beginn des Brandes bis zur Detektion der Brandes,
t_{Alarm}	die Zeit von der Detektion bis zum Auslösen des Alarms,
t_{Reaktion}	die Reaktionszeit, die Zeit vom Auslösen des Alarms bis zum Beginn der Flucht,
t_{Gehzeit}	die Zeit vom Beginn der Flucht bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches.

Für die Ermittlung der Fluchtzeit stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung. Jeder dieser Ansätze erfordert die Anwendung eines Modells: eine vereinfachte Darstellung der Realität, die als Indikator für die tatsächliche Evakuierung dient. Normalerweise werden ein oder mehrere der folgenden Modellansätze angewendet:

- *Modell A: Die Anwendung der präskriptiven Normen und Verordnungen.* Es wird davon ausgegangen, dass die Vorschriften die Leistung der evakuierenden Personen in zufriedenstellender Weise repräsentiert oder zumindest berücksichtigt. In der Regel konzentrieren sich diese Normen auf die Einschränkungen der Gebäudegeometrie und schließen das Personenverhalten im Brandfall aus,
- *Modell B: Die Leistung einer Evakuierungsübung.* Um das Ergebnis eines simulierten Brandfalls anhand einer Personenzielgruppe zu bewerten, wird eine (nicht) angekündigte Evakuierungsübung durchgeführt. Dieser Ansatz hat einige Einschränkungen: es ist teuer, es gibt ethische Fragen, wenn es um die Realitätsnähe des Ereignisses geht, die Studie erzeugt nur einen einzigen Datenpunkt und das Bauwerk muss bereits vorhanden sein,
- *Modell C: Die Anwendung eines (rechnergestützten) Simulationsmodells.* Bei der Ermittlung der Evakuierungszeit werden mehrere (rechnergestützte) Simulationen durchgeführt, die das Personenverhalten im Brandfall bis zum heutigen Verständnisniveau des menschlichen Verhaltens im Brandfall integriert haben. Die Qualität der Ergebnisse hängt stark von einigen Faktoren ab: der Komplexität und Gültigkeit des verwendeten Modells, der Sachkenntnis des Benutzers und den untersuchten Szenarien sowie deren Angemessenheit,
- *Modell D: Die Anwendung von Handrechenverfahren.* Bei dem Modell werden empirischen Daten zu mehreren repräsentativen Gleichungen zusammengefasst. Diese Gleichungen stellen eine Vereinfachung der Evakuierungsbewegung dar, bei der die Ergebnisse von den physikalischen Eigenschaften der beteiligten Komponenten abhängen, zum Beispiel die Menschen, die Gebäudegeometrie und so weiter¹⁶⁴.

Bei der Evakuierungsberechnung werden unterschiedliche Verfahren verwendet, von einfachen Handformel bis hin zu komplexen rechnergestützten Simulationsmodellen. Sie unterscheiden sich in zwei Hauptgruppen:

- hydraulische Modelle (Strömungsmodelle),
- Individualmodelle (mikroskopische Modelle).

¹⁶⁴ Vgl. Gwynne S 2016, Seite 2118f

Die hydraulischen Modelle basieren auf einer Vereinfachung des Evakuierungsverhaltens, wobei die zu evakuierenden Personen durch eine Reihe von Gleichungen beschrieben werden. Die Personen bewegen sich von einem Punkt des Fluchtweges zum anderen mit einer Gehgeschwindigkeit, die durch die modellbildenden Gleichungen bestimmt wird. Die Modelle haben folgenden Grundannahmen:

- alle Personen haben den gleichen Zeitpunkt für den Beginn der Flucht,
- es gibt keine Unterbrechungen des Personenstroms wegen der individuellen Entscheidung der betroffenen Personen,
- alle Personen können sich ausreichend bewegen, sodass sie mit der Gruppenbewegung mithalten können.¹⁶⁵

Die Individualmodelle (mikroskopische Modelle) unterscheiden sich in zwei Typen: raumkontinuierliche und raumdiskrete Modelle. Sie wurden entwickelt, um die Einschränkungen der hydraulischen Modelle zu reduzieren und um den individuellen Einfluss auf die Effizienz der Entfluchtung zu berücksichtigen.

Bei den raumkontinuierlichen Modellen wird die Lauffläche nur durch die vorhandenen Umfassungsbauteile und Hindernisse begrenzt. Die Personen werden durch Agenten dargestellt, die sich „frei“ im Raum bewegen und der Anwender kann neben verschiedenen Parameter die körperlichen Maße beeinflussen.

Bei den raumdiskreten Modellen (Zellularautomat) wird die Lauffläche in ein Gitter aus Zellen geteilt und die Personen werden in ihrem Platzbedarf auf die Größe der Zellen beschränkt und bewegen sich in Abhängigkeit vom eigenen Ziel und von der Bewegung der benachbarten Person, von Zelle zu Zelle.¹⁶⁶

3 Methodik

3.1 ASET/RSET Methode

Der vorliegende Abschnitt beschreibt die Methodik und die verwendeten Untersuchungsverfahren zur Bestimmung des ASET Wertes (verfügbare Zeit für die Evakuierung) und des RSET Wertes (notwendige Zeit für die Evakuierung).

Die ASET/RSET Methode ist ein normiertes Verfahren (PD 7974-6:2004) zur Untersuchung der Personensicherheit im Brandfall. Die Begriffe ASET und RSET sind wie folgt definiert:

*„Available Safe Escape Time, ASET
calculated time available between ignition of a fire and the time at which tenability
criteria are exceeded in a specified space in a building“¹⁶⁷*

Der ASET-Wert stellt den Zeitraum zwischen der Brandentstehung und dem Zeitpunkt der Überschreitung vertretbarer Kriterien (für Personen) in einem festgelegten Bereich in einem Bauwerk dar.

¹⁶⁵ Vgl. Nelson et.al 2002

¹⁶⁶ Vgl. Hosser 2013, Seite 278

¹⁶⁷ PD 7974-6:2004, Seite 3

*“Required Safe Escape Time, RSET
calculated time available between ignition of a fire and the time at which occupants
in a specified space in a building are able to reach a place of safety”¹⁶⁸*

Die berechnete Zeit zwischen der Brandentstehung und dem Zeitpunkt zu den Personen in einem festgelegten Bereich in einem Bauwerk einen sicheren Bereich erreicht haben, wird als RSET-Wert bezeichnet.

Die Abbildung 3-1 zeigt schematisch die ASET/RSET Methode. Eine erfolgreiche Entfluchtung eines Bereiches/Bauwerkes ist somit nur dann möglich, wenn die verfügbare Zeit (ASET) größer ist als die zur Entfluchtung benötigte Zeit (RSET). Somit hat zu gelten:

$$\text{ASET} > \text{RSET} \quad (\text{Gl. 3-1})$$

mit:

ASET verfügbare Evakuierungszeit (available safe escape time) [min]

RSET benötigte Evakuierungszeit (required safe escape time) [min]

Der Grad der Erfüllung der erfolgreichen Entfluchtung kann durch die Kennzahlen

- des Sicherheitsabstandes und
- des Sicherheitsfaktors

quantifiziert werden.

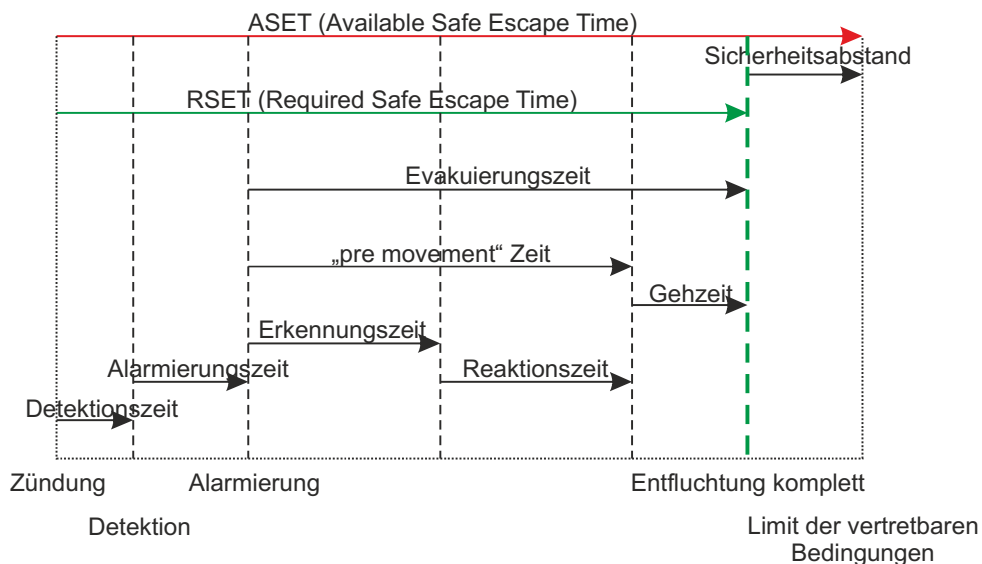


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der ASET/RSET Methode¹⁶⁹

Zur Untersuchung der Personensicherheit mittels der ASET/RSET Methode (siehe Abschnitt 2.3.1) sind Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der ASET (verfügbaren Zeit für die Evakuierung) und der RSET (notwendige Zeit für die Evakuierung) erforderlich.

¹⁶⁸ PD 7974-6:2004, Seite 5

¹⁶⁹ Vgl. PD 7974-6:2004, Seite 6

Zur Bestimmung der ASET wird in der gegenständlichen Untersuchung das Feldmodell (CFD) FDS (Fire Dynamics Simulator), NIST, USA für die Brandsimulationsmodelle verwendet.

Die notwendige Zeit für die Evakuierung (Entfluchtungsdauer, RSET) wird mittels Ingenieurverfahren und Simulationsmodellen bestimmt. Diese Verfahren sind:

- das Simulationsmodell FDS+EVAC,
- das Evakuierungsimulationsmodell PEDGo, TraffGo HT GmbH, Deutschland,
- ein ingenieurmäßiger Ansatz zur Abschätzung der Gehzeit.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Untersuchungsverfahren und Methoden kurz beschrieben und auf die entsprechenden Handbücher bzw. Grundlagenliteraturen verwiesen.

3.1.1 Bestimmung des ASET Werts mittels Brandsimulation

Das Feldmodell – CFD Code FDS

Bei dem hier verwendeten Simulationsprogramm FDS handelte es sich um ein frei verfügbares CFD-Modell (Computational Fluid Dynamics) für brandschutztechnische Untersuchungen, bei dem die Zustände im Brandraum und in den Folgeräumen durch Systeme von nichtlinearen, partiellen Differenzialgleichungen dargestellt werden. Die Software simuliert unter anderem dreidimensionale Strömungen auf Grundlage der Navier-Stokes-Gleichungen, sowie den zugrunde liegenden Brandprozess und die Ausbreitung von Feuer und Brandrauch. Die Ergebnisse der FDS-Simulationen können mit Hilfe von Smokeview - einem Teil des gesamten FDS-Programmpakets - visualisiert werden. Die Auswertungen können sowohl zwei- als auch dreidimensional, als Standbild oder animiert dargestellt werden.

Die räumliche Darstellung des Gebäudes und der Brandobjekte erfolgt durch ein dreidimensionales Gitterwerk in Zellgrößen von ca. 20 cm bis 40 cm, d.h. bei größeren Gebäuden werden in der Regel 10^6 oder mehr Zellen betrachtet.

Das Programm FDS wurde vom National Institute of Standards and Technology, USA entwickelt und wird laufend erweitert. Eine detaillierte Beschreibung des Modells und der Bedienung findet sich in den nachfolgend angeführten Dokumenten.

- McGrattan, Kevin; McDermott, Randall; Hostikka, Simo; Floyd, Jason: *Fire Dynamics Simulator (Version 6.7.0). User's Guide*. NIST Special Publication 1019, October 2013;
- McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason; Baum, Howard; Rehm, Ronald; Mell, William; McDermott, Randall: *Fire Dynamics Simulator (Version 6.7.0). Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model*. NIST Special Publication 1018-1, October 2013;
- McDermott, Randall; McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason: *Fire Dynamics Simulator (Version 6.7.0). Technical Reference Guide. Volume 2: Verification*. NIST Special Publication 1018-2, October 2013;

- McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason; McDermott, Randall: *Fire Dynamics Simulator (Version 6.7.0). Technical Reference Guide. Volume 3: Validation*. NIST Special Publication 1018-3, October 2013
- McGrattan, Kevin: *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 4: Software Configuration Management Plan*. NIST Special Publication 1018-4, October 2013

Anmerkung:

Die hier angeführte Literatur ist im NIST über den folgenden Link frei verfügbar:

<http://fire.nist.gov/fds/>
(Link Stand: 01.12.2018)

Bei der gegenständlichen Brandsimulation wird für alle betrachteten Länder die gleiche Modellgeometrie mit allen Türen (2,4 m Breite) geöffnet und keine zusätzliche Entrauchung berücksichtigt. Für den untersuchten österreichischen Fall wird die zusätzliche Türbreite von 2,5 m nicht berücksichtigt.

Die Rechendomäne wird etwas größer als der betrachtete Bereich gewählt. Dies ist erforderlich, um die Strömungen aus den Öffnungen korrekt abbilden zu können.

Zusätzlich zu den für die grafische Darstellung erforderlichen Felddaten werden auch an diskreten Stellen im betrachteten Objekt punktförmige Auswertungen vorgenommen.

Die Tabelle 3-1 zeigt die Lage der Positionen für die punktförmigen Auswertungen. An diesen Stellen werden in drei unterschiedliche Höhen

- die Temperaturen,
- die Kohlendioxidkonzentrationen und
- die Rauchdichte

abgespeichert. Die Abbildung 3-2 zeigt schematisch die Lage der Auswertepositionen in der Halle.

Tabelle 3-1: Lage der Positionen für punktförmige Auswertungen

Auswerteposition	Lage ¹⁾		
	X	Y	Z ²⁾
A	6,4	3,2	1,5/2,0/2,5
B	10,2	10,0	1,5/2,0/2,5
C	10,2	19,6	1,5/2,0/2,5
D	21,8	10,0	1,5/2,0/2,5
E	21,8	19,6	1,5/2,0/2,5
F	31,2	4,2	1,5/2,0/2,5
G	23,8	26,2	1,5/2,0/2,5

1) Lage bezogen auf die Rechendomäne

2) Höhenlage über FOK

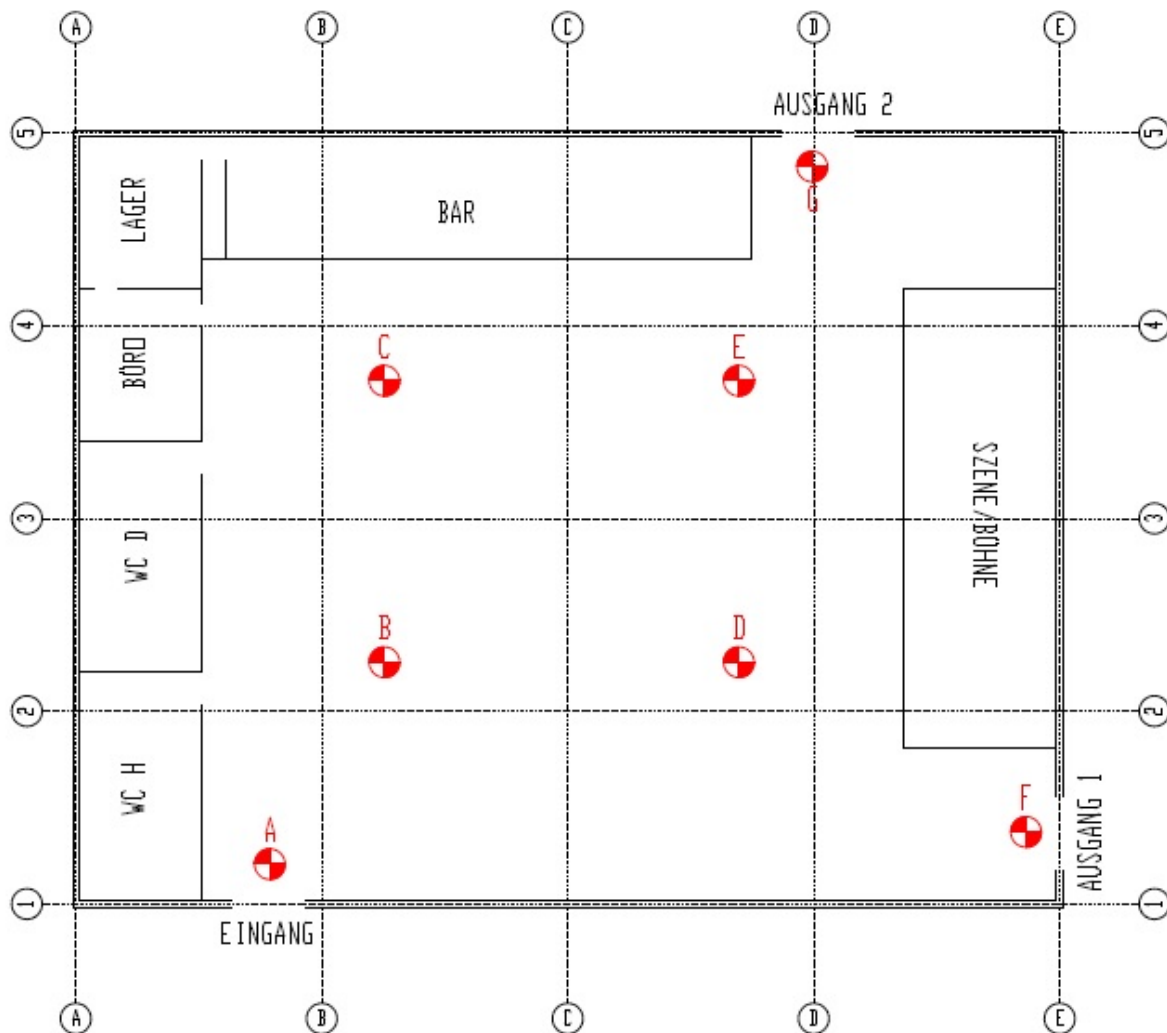


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Lage der Auswertepositionen.

Als Ergebnisse der Berechnungen mit dem CFD Code FDS liegen sowohl grafische Repräsentationen als auch numerische Daten vor. Die grafische Darstellung erlaubt einen raschen Überblick über die ablaufenden Brandphänomene, wie beispielsweise die Ausbreitung des Rauches in der betrachteten Halle. Die Auswertungen zur Bestimmung des ASET-Wertes erfolgen mit den numerischen Ergebnissen an den ausgewählten Messstellen.

3.1.2 Bestimmung des RSET Werts mittels Simulation und Berechnung der Evakuierung

3.1.2.1 FDS+EVAC

Bei diesem Modell handelt es sich um eine in der Entwicklung befindlichen Erweiterung des Simulationsprogramms FDS (s. Abschnitt 3.1.1). Dieses Evakuierungsmodul in FDS wird von der VTT, Technical Research Centre of Finland entwickelt.

FDS+Evac ist ein Evakuierungsmodell, welches jedes einzelne Individuum (oder Agent) betrachtet. Jede Person hat seine eigenen Eigenschaften und Strategien zur Entfluchtung. Die Bewegung der Agenten erfolgt auf einer zweidimensionalen Ebene, welche den Boden des Bauwerks repräsentiert. Der Basisalgorithmus hinter der Fluchtbewegung löst

eine Bewegungsgleichung für jeden Agenten in einem zweidimensionalen, in Zeit und Raum kontinuierlichen Betrachtungsbereich. Die Kräfte, die auf den Agenten wirken, setzen sich aus physikalischen Kräften und psychologischen Kräften, die von der Umgebung und den anderen Agenten ausgehen, zusammen.¹⁷⁰

Eine detailliertere Beschreibung des Modells und eine Bedienungsanleitung finden sich in der folgenden Literatur (Ergänzend gelten auch die in Abschnitt 3.1.1 angeführten Literaturstellen):

- Korhonen, Timo; Hostikka Simo: *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2)*. VTT, February 12, 2018

Anmerkung:

Die hier angeführte Literatur ist bei der VTT über den folgenden Link frei verfügbar:

<http://www.vtt.fi/proj/fdsevac/>
(Link Status: 01.12.2018)

Bei dem gegenständlichen Modell handelt es sich um ein zeit- und raumkontinuierliches Modell, d.h. im Gegensatz zu Ansätzen nach den zellulären Automaten wird der Hallenbereich/die Bewegungsfläche für die Bewegung der Personen nicht diskretisiert. Da es sich um ein Kräftemodell handelt, sind dafür Vorgaben in Bezug auf die Personeninteraktion erforderlich. Diese werden unmodifiziert aus den Standardeinstellungen des Simulationsmodells übernommen.

Es wird eine reine Evakuierungssimulation vorgenommen, d.h. es werden der Einfluss von Brandrauch und sonstigen Einflüssen aus dem Brandgeschehen bei der Evakuierung nicht berücksichtigt.

Für die Reaktionszeiten und die Verteilung der (freien) Gehgeschwindigkeiten werden die folgenden Annahmen getroffen (siehe Tabelle 3-2 und Tabelle 3-3).

Tabelle 3-2: Berücksichtigung der Reaktionszeit für das Modell FDS + EVAC

	Zeit [s]
Minimum	60
Maximum	180
Mittelwert	120
Standardabweichung	15
Art der Verteilung	normal

Tabelle 3-3: Berücksichtigung der (freien) Gehgeschwindigkeiten für das Modell FDS + EVAC

	Geschwindigkeit [m/s]
Minimum	1,62
Maximum	0,97
Mittelwert	1,295
Art der Verteilung	gleichverteilt

¹⁷⁰ Vgl. Korhonen et.al. 2018, S. 8

Die Personen werden auf der gesamten Hallengrundfläche mit Ausnahme des Brandentstehungsortes, der Toiletten und des Bürobereichs zufällig verteilt.

Aufgrund der zufälligen Verteilungen der Reaktionszeiten und der Anfangsposition der Personen in der Simulation, werden 100 Simulationsläufe durchgeführt. Diese Simulationsläufe werden statistisch ausgewertet. Als bemessungsrelevanter Wert der ermittelten Zeitdauern wird der Wert der 95 % Fraktile verwendet.

3.1.2.2 PedGO

Bei dem Programm PedGo handelt es sich um ein Simulationsmodell zur Evakuierungsberechnung, welches von der Fa. TraffGo HT GmbH in Duisburg entwickelt und vertrieben wird.

Die Grundlage bildet ein so genanntes Multi-Agenten-Modell, welches auf einem Zellularen Automaten aufbaut. Die Personen werden als Individuen mit eigenständigen Verhaltensweisen, Fähigkeiten und Zielen in diskretem Raum und diskreter Zeit repräsentiert.¹⁷¹

Die Diskretisierung erfolgt derart, dass der zu untersuchende Grundriss in ein Gitter von quadratischen Zellen unterteilt wird. Ihre Kantenlänge beträgt 0,4 Meter, so dass sich eine Zellfläche von 0,16 m² ergibt. Die Personen stehen jeweils auf einer Zelle und springen im Verlauf der Evakuierung wie bei einem Brettspiel von Zelle zu Zelle in Richtung Ausgang.¹⁷²

Nähere Details zum Modell und der Bedienung finden sich im Handbuch:

- TraffGo HT GmbH (Hrsg.): *Benutzerhandbuch PedEd, PedGo, PedView, AENEASed, AENEASsim, AENEASview*. Version 2.7.0, 2018

Für die gegenständlichen Berechnungen mit dem Simulationsmodell PedGo werden die folgenden Randbedingungen angenommen.

Für die Berücksichtigung der Reaktionszeiten werden die in der Tabelle 3-4 angegebenen Randbedingungen den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Tabelle 3-4: Berücksichtigung der Reaktionszeit für das Modell PedGo

	Zeit [s]
Minimum	60
Maximum	180
Mittelwert	120
Art der Verteilung	normal

Aufgrund der zellularen Diskretisierung wird die Geschwindigkeit an die Größe einer Zelle angepasst. Somit ergeben sich in der Tabelle 3-5 angegebene minimale und maximale Geschwindigkeiten.

¹⁷¹ Vgl. TraffGo 2018, Abschnitt 3

¹⁷² Vgl. TraffGo 2018, Abschnitt 3.1

Tabelle 3-5: Berücksichtigung der Gehgeschwindigkeiten für das Modell PedGo

	Geschwindigkeit [m/s]
Minimum	0,80 (2 Zelle/s)
Maximum	1,60 (4 Zelle/s)
Art der Verteilung	gleichverteilt

Die Personen werden auf der gesamten Hallen Grundfläche mit Ausnahme des Brandentstehungsortes, der Toiletten und des Bürobereichs zufällig verteilt.

Aufgrund der zufälligen Verteilungen der Reaktionszeiten und der Anfangsposition der Personen in der Simulation, werden 100 Simulationsläufe durchgeführt. Diese Simulationsläufe werden statistisch ausgewertet. Als bemessungsrelevanter Wert der ermittelten Zeitdauern wird der Wert der 95 % Fraktile verwendet.

3.1.2.3 Ingenieurmäßige vereinfachte Abschätzung der Gehzeit

Das nachfolgend beschriebene Rechenverfahren ist nur eine überschlägige Abschätzung für einfache Evakuierungsfragestellungen und stellt in der Regel keinen Ersatz für vollständige Evakuierungsberechnungen bzw. Simulationen dar. Die zu den Abschätzungen der Gehzeiten erforderlichen Annahmen und Randbedingungen setzen ein erhebliches Maß an Wissen und Erfahrung im Bereich der Evakuierung voraus. Mit der überschlägigen Abschätzung kann nur die Gehzeit abgeschätzt werden. Aussagen über lokale Phänomene, wie beispielsweise Staubbildungen und damit verbundene Stauzeiten oder Personenverdichtungen im Zuge der Evakuierungen mit anderen Ursachen als Wegeinengungen (z.B. Vereinigung oder Aufeinandertreffen von 2 Personenströmen), können damit nicht betrachtet werden.

Das Untersuchungsmodell ist ein stark vereinfachtes hydraulisches Modell (Durchflussmodell), welches auf der Tatsache basiert, dass bei einer Evakuierung von Personen die Geh- bzw. Laufzeit im Wesentlichen abhängig ist von

- der mittleren Gehgeschwindigkeit der Personen,
- der zurückzulegenden Wegstrecke bis zum Ausgang und
- der schmalsten Stelle im Bereich des Fluchtweges (Engstelle, bspw. die Breite des schmalsten Ausgangs, Durchgangs).

Überschlagsmäßig lässt sich die in der (Gl. 3-2) dargestellte Beziehung aufstellen. Darin wird unterstellt, dass sich die Laufzeit (t_{Lauf}) aus den Termen für

- die Zeit für das Passieren des schmalsten Ausgangs bzw. Durchganges (Engstelle) ($t_{\text{Engstelle}}$) und
- den Zeitraum für das Zurücklegen der weitesten Wegstrecke bis zum Ausgang im betrachteten Bereich (t_{Weg}) zusammensetzt.

$$t_{\text{Lauf}} = t_{\text{Engstelle}} + t_{\text{Weg}} \quad (\text{Gl. 3-2})$$

Die Zeit für das Passieren der Engstelle $t_{\text{Engstelle}}$ wird in Abhängigkeit der maximalen Personenanzahl, der Durchlassfähigkeit an der Engstelle und der kleinsten Breite der Engstelle nach der (Gl. 3-3) bestimmt.

$$t_{\text{Engstelle}} = \frac{n_{\text{Personen}}}{f_{\text{Engstelle}} \times b_{\text{Engstelle, min}}} \quad (\text{Gl. 3-3})$$

mit:

$t_{\text{Engstelle}}$	Zeit für das Passieren einer Engstelle [s]
n_{Personen}	Maximale Personenanzahl [1]
$f_{\text{Engstelle}}$	Durchlassfähigkeit an der Engstelle [Personen/(m·s)]
$b_{\text{Engstelle, min}}$	kleinste Breite der Engstelle [m]

Aus der maximal zurückzulegenden Wegstrecke und der mittleren Gehgeschwindigkeit der Personen lässt sich der Zeitraum für das Zurücklegen der Wegstrecke nach der (Gl. 3-4) berechnen.

$$t_{\text{Weg}} = \frac{d_{\text{max}}}{v_{\text{mittel}}} \quad (\text{Gl. 3-4})$$

mit:

t_{Weg}	Zeitraum für das Zurücklegen einer Wegstrecke [s]
d_{max}	maximale Fluchtwegdistanz [m]
v_{mittel}	mittlere Gehgeschwindigkeit [m/s]

Die Laufzeit t_{Lauf} kann somit durch Zusammenfassung der (Gl. 3-3) und (Gl. 3-4) nach der (Gl. 3-5) bestimmt werden.

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{n_{\text{Personen}}}{f_{\text{Engstelle}} \times b_{\text{Engstelle, min}}} + \frac{d_{\text{max}}}{v_{\text{mittel}}} \quad (\text{Gl. 3-5})$$

mit:

t_{Lauf}	Lauf- bzw. Gehzeit [s]
n_{Personen}	Maximale Personenanzahl [1]
$f_{\text{Engstelle}}$	Durchlassfähigkeit an der Engstelle [Personen/(m·s)]
$b_{\text{Engstelle, min}}$	kleinste Breite der Engstelle [m]
d_{max}	maximale Fluchtwegdistanz [m]
v_{mittel}	mittlere Gehgeschwindigkeit [m/s]

Bei einer sehr kleinen Personenanzahl und/oder sehr breiten Ausgängen/Durchgängen kann der Fall eintreten, dass der Zeitraum des Passierens einer Engstelle ($t_{\text{Engstelle}}$) viel kleiner als der Zeitraum für das Zurücklegen der weitesten Wegstrecke (t_{Weg}) im betrachteten Bereich wird. In diesem Fall wird die Laufzeit/Gehzeit nur mehr über die Wegstrecke und die mittlere Geschwindigkeit der Personen bestimmt und die Ermittlung der Laufzeit ergibt sich nach (Gl. 3-6) zu.

wenn $\frac{n_{\text{Personen}}}{f_{\text{Engstelle}} \times b_{\text{Engstelle, min}}} \ll \frac{d_{\text{max}}}{v_{\text{mittel}}}$

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{d_{\text{max}}}{v_{\text{mittel}}} \quad (\text{Gl. 3-6})$$

Für die Ermittlung der Laufzeit sind in der Regel zwei Größen unbekannt. Diese sind die Durchlassfähigkeit an der relevanten Engstelle und die mittlerer Gehgeschwindigkeit. Die Personenanzahl, die Breite der Engstelle und die maximale Wegstrecke sind in der Regel bekannt. Die Größe der Gehgeschwindigkeit und der Durchlassfähigkeit sind nach den Erkenntnissen aus der Wissenschaft abzuschätzen.

Die maximale in der Halle anwesende Personenanzahl beträgt 1025. Die Personen werden gleichmäßig auf alle zur Verfügung stehenden Ausgänge verteilt. Bei den Brandszenarien 1 und 2 sind für die Entfluchtung alle drei Ausgänge zugänglich und bei dem Brandszenario 3 stehen nur zwei Ausgänge zur Verfügung. Somit ergibt sich bei Brandszenarien 1 und 2 eine maximale Personenanzahl für einen Ausgang von 342 Personen und beim Brandszenario 3 513 Personen.

3.2 Untersuchte Modelle und Randbedingungen

3.2.1 Betrachtungsmodelle – Geometrie

Das Betrachtungsmodell ist ein rein akademisches Modell, mit einer vereinfachten Geometrie, speziell für die vorliegende Arbeit gewählt. Es handelt sich um eine freistehende Halle, die als Veranstaltungsstätte benutzt wird. Das Bauwerk weist eine Länge von etwa 32 m, eine Breite von etwa 25 m und eine lichte Gebäudeinnenhöhe von 4 m auf.

Das Gebäude ist als eine Stahlbetonkonstruktion mit Flachdach ausgeführt. Die Tragkonstruktion besteht aus Stahlbetonwänden und einer vorgespannten Decke. Die Wand- und Deckenstärke betragen ca. 20 cm. In Bezug auf das Brandverhalten des Gebäudes kann davon ausgegangen werden, dass die untersuchte Halle einen Feuerwiderstand von R(EI) 90 aufweist.

Die Nutzfläche der Halle unterteilt sich in 4 Hauptbereiche, nämlich: rechts die Bühne und der back-stage Bereich, links Toiletten und ein Büro in Verbindung mit dem Lager, hinten der Bar-Bereich und zentral die Tanzfläche (siehe Abbildung 3-3).

Die Halle verfügt an beiden Längsseiten über je einen Ausgang, sowie einen an der rechten Seite, neben der Bühne situierten Ausgang. Der Ausgang an der Längsseite, entlang der Achse 1, wird als Haupteingang betrachtet. Die anderen zwei Ausgänge befinden sich im Bereich der Bühne, Ausgang 1, und neben der Bar, Ausgang 2 (siehe Abbildung 3-3).

Die Ausgänge verfügen über eine lichte Höhe von 2,2 m und die Ausgangsbreiten wurden entsprechend der normativen Anforderungen für jedes Land festgelegt und betragen:

- f) für Österreich: 5,0 m Eingangsbreite und 2,5 m die Ausgänge,
- g) für Großbritannien 1,7 m je Ausgangsbreite und Eingangsbreite,
- h) für Rumänien 2,4 m je Ausgang sowie Eingang.

Die Belichtung erfolgt über 2 jeweils an den Längsseiten angeordnete Fensterbänder (Höhe ca. 1,3 m, Unterkante ca. 3,4 m über der FOK). In den Fensterbändern befinden sich

an jeder Längsseite 4 Fenster, die geöffnet werden können, mit jeweils ca. 1,0 m² Öffnungsfläche. Diese Öffnungen dienen der Lüftung der Veranstaltungsstätte.

Die Brandschutzmaßnahmen bestehen aus einer Brandmeldeanlage und einer normativ entsprechenden Beleuchtung, Fluchtwegsbeschilderung und Mittel der ersten und erweiterten Löschhilfe. Es sind weder Maßnahmen für einen Rauch- und Wärmeabzug noch Maßnahmen zur Verhinderung einer Brandausbreitung (Sprinkler) vorgesehen. Die Halle stellt einen eigenen Brandabschnitt dar, es werden keine weiteren Unterbrandabschnitte ausgeführt.

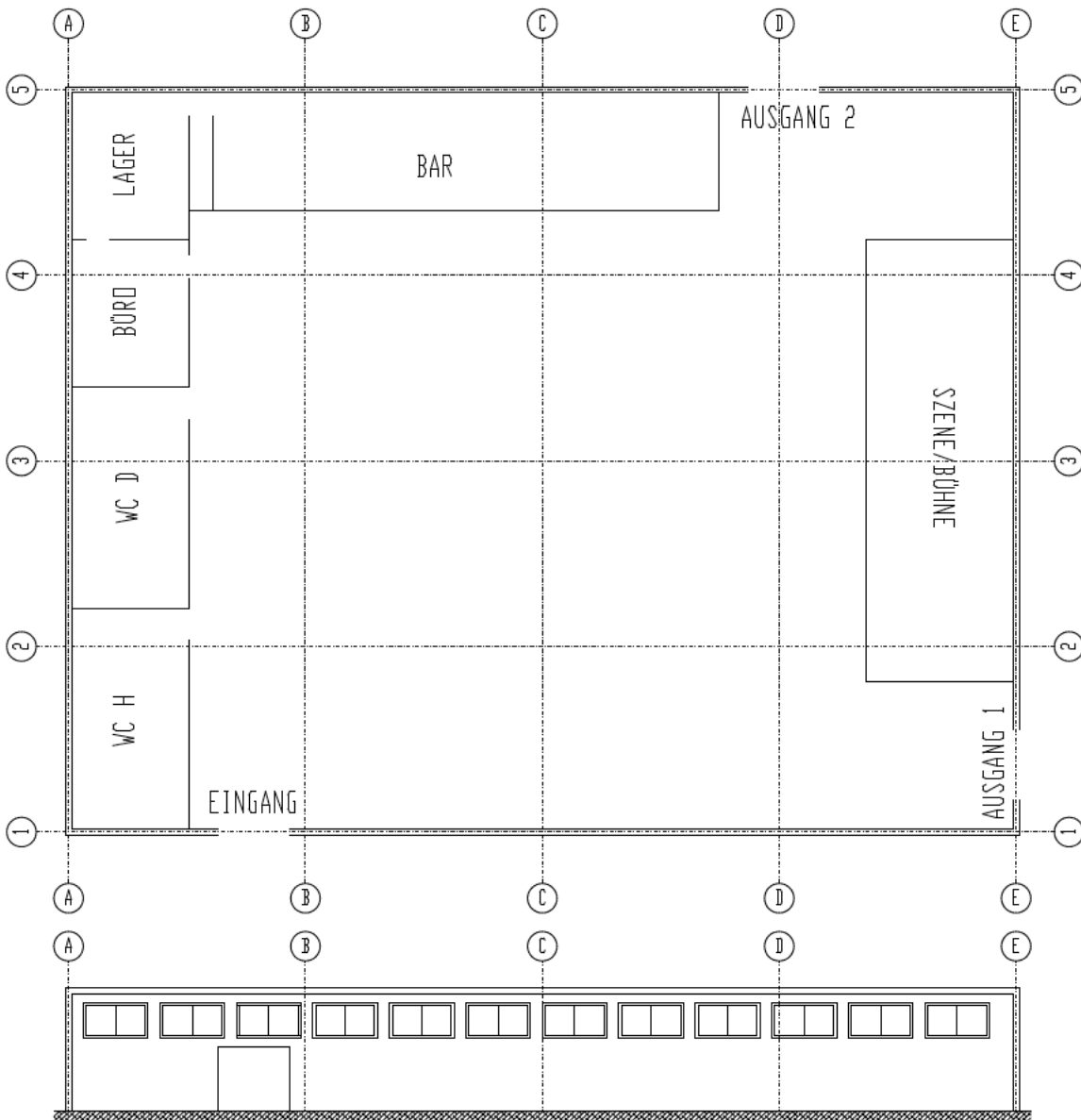


Abbildung 3-3: Schematische Darstellung des Untersuchungsobjektes

3.2.2 Bemessungsbrand: BS 9999

Der Bemessungsbrand wird in Anlehnung an den britischen Standard BS9999:2008 festgelegt. Der Standard legt die Anforderungen an den Brandschutz in Bezug auf das Risikoprofil des Gebäudes fest. Das Risikoprofil eines Gebäudes hängt grundsätzlich von

der Personenbelegungscharakteristik und der Brandentwicklung ab (siehe Abschnitt 2.4.2.2.2).

Für die untersuchte Halle, die als Veranstaltungsstätte dient, wird angenommen, dass die Bewohner wach und mit dem Gebäude nicht vertraut sind. Somit hat die Halle laut Tabelle 2-10 die Personenbelegungscharakteristik B. Laut Tabelle 5 des BS9999:2008¹⁷³ wird das Risikoprofil des Gebäudes mit B2 bestimmt.

Diesem Risikoprofil entspricht eine mittlere Brandentwicklung mit einem Brandentwicklungsfaktor $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$. Der Bemessungsbrand wird als ein quadratisch ansteigender Brand (αt^2) bis zu einer maximalen Leistung von 3,2 MW auf einer Fläche von 16 m^2 (quadratisch $4 \times 4 \text{ m}^2$) angenommen. Es werden drei verschiedene Brandszenarien untersucht, wobei die Lage des Brandes variiert wird (siehe Abschnitt 3.4).

$$Q = \alpha \cdot t^2 \quad (\text{Gl. 3-7})$$

Der Zeitraum, in dem die maximale Brandleistung (3200 kW) erreicht wird, kann aus (Gl. 3-7) errechnet werden. Die maximale Brandleistung wird nach ca. 517 s erreicht. Die folgende Abbildung 3-4 zeigt den Brandverlauf, der zur Untersuchung herangezogen wird.

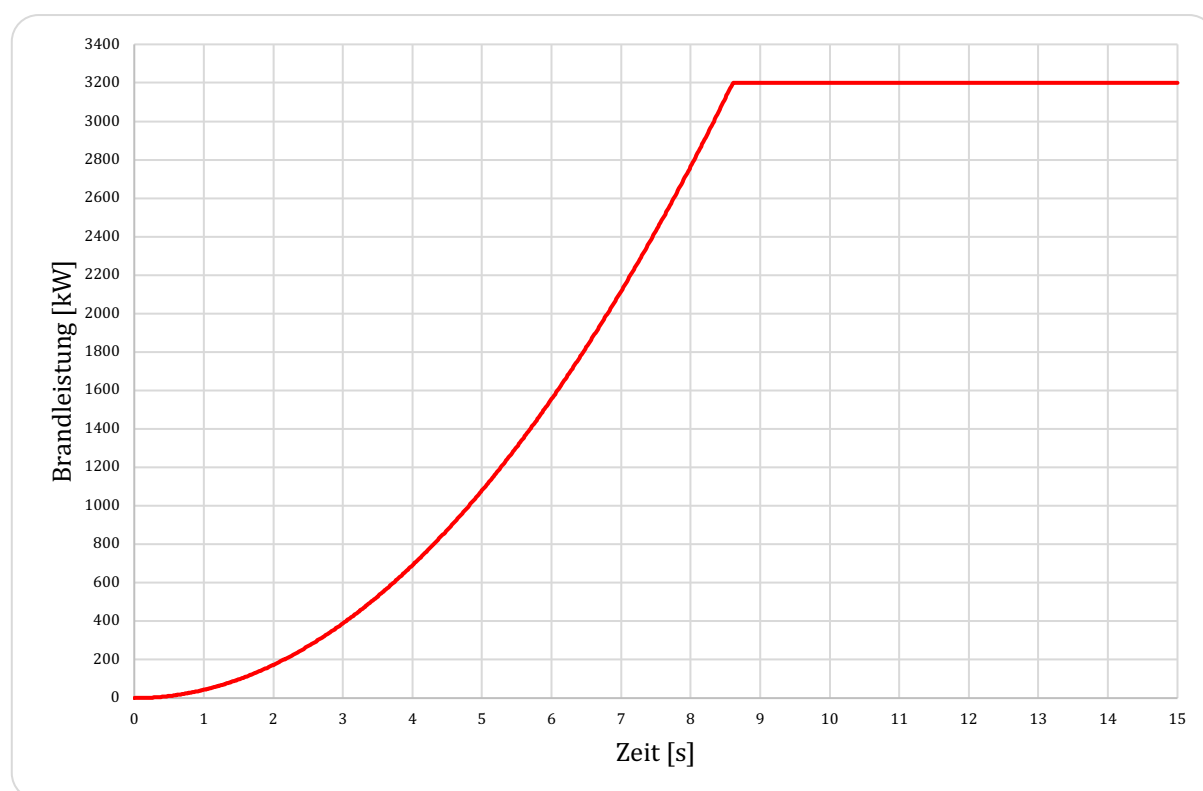


Abbildung 3-4: Brandleistungsverlauf zur Untersuchung

Den Brandsimulationen werden ein einfacher Brennstoff zugrunde gelegt, der im täglichen und kommerziellen Gebrauch üblich ist. Es wird unterstellt, dass der Brennstoff Cellulose ist.

¹⁷³ Vgl. BS9999:2008, Seite 46

Bei den Simulationen werden folgende chemischen Eigenschaften des Brennstoffes mitberücksichtigt:

a) Heizwert	$h_{u,eff} = 17,1 \text{ [kJ/g]},$
b) Ausbeute von Kohlendioxid	$Y_{CO_2} = 1,3 \text{ [g/g]},$
c) Ausbeute von Kohlenmonoxid	$Y_{CO} = 0,004 \text{ [g/g]},$
d) Ausbeute der Rauchpartikel (Ruß)	$Y_{Ru\beta} = 0,015 \text{ [g/g]}^{174}$

3.2.3 Ventilation (Entrauchung)

Es wird eine natürliche Ventilation bzw. Entrauchung der Halle vorgesehen, durch die insgesamt 8 zu öffnenden Fenstern mit je 1 m^2 Fläche in den Fensterbändern. Es werden keine zusätzlichen Maßnahmen für die Entrauchung berücksichtigt.

3.2.4 Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und Reaktionsdauer

Die Detektionsdauer wird mit 1 min festgelegt. Dies begründet sich aus der vorhandenen Brandmeldeanlage einerseits, andererseits aus der Tatsache, dass sich viele Personen in diesem Bereich aufhalten und der Bereich sehr gut überschaubar ist.

Aufgrund der Nutzung und der vorhandenen Alarmierungseinrichtungen ist davon auszugehen, dass eine Alarmierung sehr zeitnah zu der Erkennung des Brandes stattfindet. Deshalb wird die Alarmierungsdauer nicht berücksichtigt und mit 0 min angesetzt.

Die Reaktionsdauer kann in Anlehnung an die Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RIMEA), Anhang 3, festgelegt werden¹⁷⁵. Dort wird die Reaktionsdauer (genauer die Verteilung der Reaktionsdauern) in Abhängigkeit von

- der Wachsamkeit der Personen,
- der Vertrautheit der Personen mit dem Gebäude,
- der Personendichte,
- der Nutzungsart,
- des Alarmierungssystems,
- der Gebäudekomplexität und
- des Brandschutzmanagements

festgelegt.

Im gegenständlichen Fall treffen die folgenden Randbedingungen zu:

- wache Personen,
- die mit der baulichen Situation unvertraut sind,
- bei einer hohen Personendichte,
- in einer Versammlungsstätte,
- mit einem automatischen Brandmeldesystem und sofortiger Alarmierung der betroffenen Bereiche,

¹⁷⁴ Vgl. Hosser 2013, Seite 264

¹⁷⁵ Vgl. RIMEA 2016

- einem einfachen Grundriss und
- mit zumindest gut geschulten Brandschutzhelfern.

Daraus lassen sich aus der Tabelle 9 des Anhangs 3 der Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RIMEA) (unter Berücksichtigung der Kategorien aus Tabelle 5 bis 8) folgende Minimum- und Maximumwerte für die Verteilung der individuellen Reaktionsdauern ableiten:

- Minimum der individuellen Reaktionsdauer: 1 min
- Maximum der individuellen Reaktionsdauer: 3 min

Im Mittel ergibt sich somit eine Reaktionsdauer von 2 min.

Für die gegenständliche Untersuchung werden die in der Tabelle 3-6 angegebenen Zeiträume für die Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und Reaktionsdauer angesetzt:

Tabelle 3-6: Zusammenstellung der Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und Reaktionsdauer für die Untersuchung

Art	Dauer
Detektionsdauer	1 min
Alarmierungsdauer	0 min
Mittlere Reaktionsdauer	2 min

Für die Untersuchung werden verschiedene Evakuierungssimulationen durchgeführt, um die Evakuierungsdauer zu ermitteln. Bei den Simulationen werden die Reaktionszeiten in Form einer zufälligen Verteilung mitberücksichtigt. Der RSET-Wert ergibt sich aus der Summe der Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und der durch Simulationen ermittelten Evakuierungsdauer.

3.2.5 Personenanzahl und Personencharakteristika

In Bezug auf die Ausgangsbreiten bzw. Fluchtwegbreiten für jedes Land sind ca. 1025 Personen zulässig. Die Personen teilen sich in 2 Gruppen: die Mitarbeiter (rund 25 Personen) und Besucher (ca. 1000 Personen).

Es wird unterstellt, dass sich vorwiegend jüngere Personen in der Halle aufhalten. Es wird nicht angenommen, dass sich darunter eine relevante Anzahl an Personen mit besonderen Bedürfnissen befindet.

3.3 Bewertungskriterien ASET/RSET-Methode

Die Beurteilung des Zeitraumes (ASET), in welchem eine Entfluchtung gefahrlos durchgeführt werden kann, wird in Bezug auf die Bestimmung der zeitabhängigen Konzentrationen/Intensitäten von toxischen Brandprodukten, Rauch und Wärmeeinwirkungen bei einem Brand durchgeführt.

Der Zeitraum wird laut der von Hosser in der Tabelle 2-35, Abschnitt 2.5 angeführten Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für eine längere Aufenthaltsdauer (> 30 min) bestimmt.

Für die vorliegende Untersuchung werden die in der Tabelle 3-7 angeführten Kriterien vereinbart.

Tabelle 3-7: Bewertungskriterien für den ASET-Wert

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)
CO-Konzentration	100 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%
Gastemperatur	45 °C
Rauchdichte D _L	0,1 m ⁻¹
Erkennungsweite	10 m – 20 m

Bei einem Brand stehen die lokalen Schadstoff- und Sauerstoffkonzentrationen in einem thermodynamischen Zusammenhang. Bei Einhaltung der in Tabelle 3-7 angegebenen Schadstoff-Grenze liegt die Sauerstoffkonzentration über 15 Vol.-% (ein Wert, der zu keinen gravierenden Schäden führt). Aus diesem Grund wird die Sauerstoffkonzentration nicht explizit als Bewertungskriterium aufgeführt.

Der Grenzwert für die Erkennungsweite bezieht sich auf die Sichtbarkeit der Fluchtwege und der Beschilderung der Fluchtwege, wodurch die flüchtenden Personen den Weg zu einem sicheren Ort schnell und gefahrlos finden können.

Die Erkennungsweite wird durch die toxischen Verbrennungsprodukte im Rauchgas und andere Rauchgasbestandteile, insbesondere Reizgase, beeinflusst. Bei Einhaltung der in Tabelle 3-7 angegebenen Werte für die Rauchdichte ($D_L \leq 0,1 \text{ m}^{-1}$) kann davon ausgegangen werden, dass auch der Grenzwert für die Erkennungsweite eingehalten wird¹⁷⁶.

Die Abbildung 3-5 zeigt den Verlauf des auf 1 normierten FED-Quotienten für die Anhaltswerte aus Tabelle 3-7 (100 ppm CO, 8 ppm HCN, 1% CO₂)

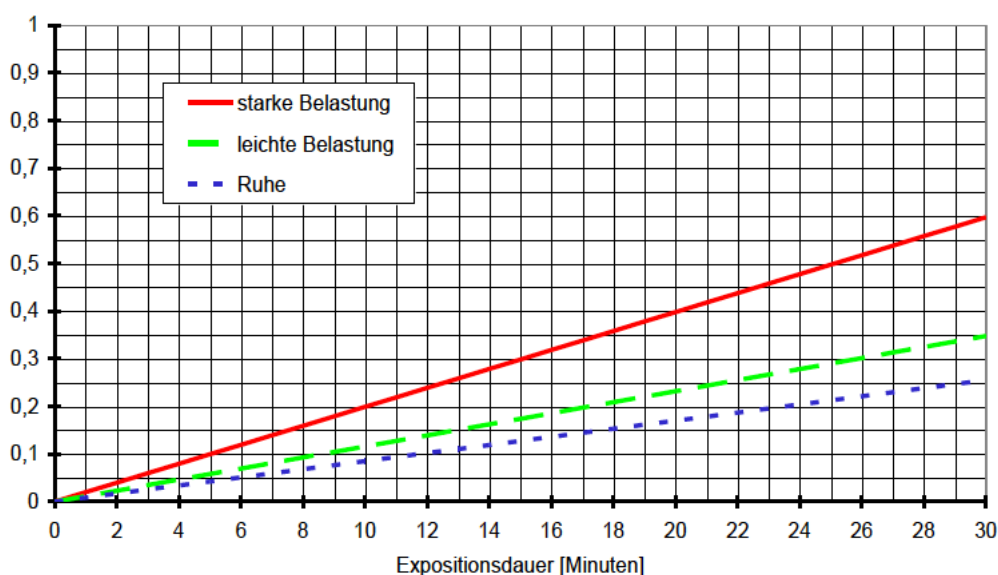


Abbildung 3-5: FED-Quotienten für die Anhaltswerte aus Tabelle 3-7¹⁷⁷

¹⁷⁶ Vgl. Purser, D.A. 2005

¹⁷⁷ Vgl. Hossler 2013, Seite 261

Bei dem hier verwendeten Simulationsprogramm FDS wird die Ausgangsgröße für die Beurteilung der Rauchdichte als Rußkonzentration eingegeben. Die Umrechnung der Rauchdichte auf Rußkonzentration wird wie folgt durchgeführt:

Aus (Gl. 2-3) und (Gl. 2-4) ergibt sich:

$$D_L = \frac{K_M \cdot c_{Ru\beta}}{\ln(10)}$$

und:

$$c_{Ru\beta} = \frac{D_L \cdot \ln(10)}{K_M}$$

Somit ergibt sich für einen Extinktionskoeffizient $K_M = 8,7 \text{ m}^2/\text{g}$ für $D_L = 0,1 \text{ m}^{-1}$ eine Rußkonzentration von $25 \text{ mg}/\text{m}^3$.

3.4 Untersuchte Szenarien

In der gegenständlichen Arbeit wird der Einfluss des Brandortes sowie des Ausfalles eines Ausganges auf die Entfluchtung der Personen im Brandfall untersucht. Dafür werden drei verschiedene Brandszenarien analysiert. Die Brandszenarien ergeben sich aus der Variation des Brandentstehungsortes. Für die Beurteilung des Einflusses der Brandherdlage auf die Bestimmung des ASET-Wertes und auf den Evakuierungsverlauf werden folgende Brandherdlagen festgelegt:

- e) Brandherd mittel – in der Mitte der Halle
- f) Brandherd links – auf der linken Seite der Halle, im Bereich der Bar
- g) Brandherd rechts – auf der rechten Seite der Halle, Ausfall des Ausganges 2.

In der Tabelle 3-8 werden die Brandszenarien und die zugehörigen Evakuierungssimulationen dargestellt.

Tabelle 3-8: Überblick über die untersuchten Szenarien

Nr.	Brandherdlage	Untersuchte Szenarien				
		Evak. Modelle	GB	AT	RO	
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	1.1 – GB	1.1 – AT	1.1 – RO
		2	PedGO	1.2 – GB	1.2 – AT	1.2 – RO
		3	Abschätzung	1.3 – GB	1.3 – AT	1.3 – RO
2	Brandherd links	1	FDS+EVAC	2.1 – GB	2.1 – AT	2.1 – RO
		2	PedGO	2.2 – GB	2.2 – AT	2.2 – RO
		3	Abschätzung	2.3 – GB	2.3 – AT	2.3 – RO
3	Brandherd rechts	1	FDS+EVAC	3.1 – GB	3.1 – AT	3.1 – RO
		2	PedGO	3.2 – GB	3.2 – AT	3.2 – RO
		3	Abschätzung	3.3 – GB	3.3 – AT	3.3 – RO

4 Ergebnisse

4.1 Brandszenario 1 – Brandherd mittel

In dem vorliegenden Abschnitt werden die Ergebnisse für die in der Tabelle 4-1 untersuchten Szenarien dargestellt.

Tabelle 4-1: Untersuchte Szenarien für das Brandszenario 1

Nr.	Brandherdlage	Untersuchten Szenarien				
		Evak. Modelle	GB	AT	RO	
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	1.1 – GB	1.1 – AT	1.1 – RO
		2	PedGO	1.2 – GB	1.2 – AT	1.2 – RO
		3	Abschätzung	1.3 – GB	1.3 – AT	1.3 – RO

4.1.1 Ergebnisse der Brandsimulation

Die Abbildung 4-1 zeigt die Verrauchung der Halle im Zeitraum der ersten 6 Minuten. Der Blick ist auf die Bühne und den Ausgang 1 gerichtet, wobei der Brand in der Hallenmitte stattfindet und somit alle 3 Ausgänge für die Entfluchtung zugänglich sind. Auf der rechten Seite der Abbildung befindet sich der Eingang und links der Ausgang 2. Der Rauch breitet sich in der Anfangsphase gleichmäßig unter der Hallendecke aus. Beim Erreichen der dem Brandort gegenüberliegenden Wände kommt es zu einer Rauchgasrückströmung in Richtung des Brandortes, bei der auch Rauch nach unten vertragen wird (siehe Zeitpunkt 120 – 180 s).

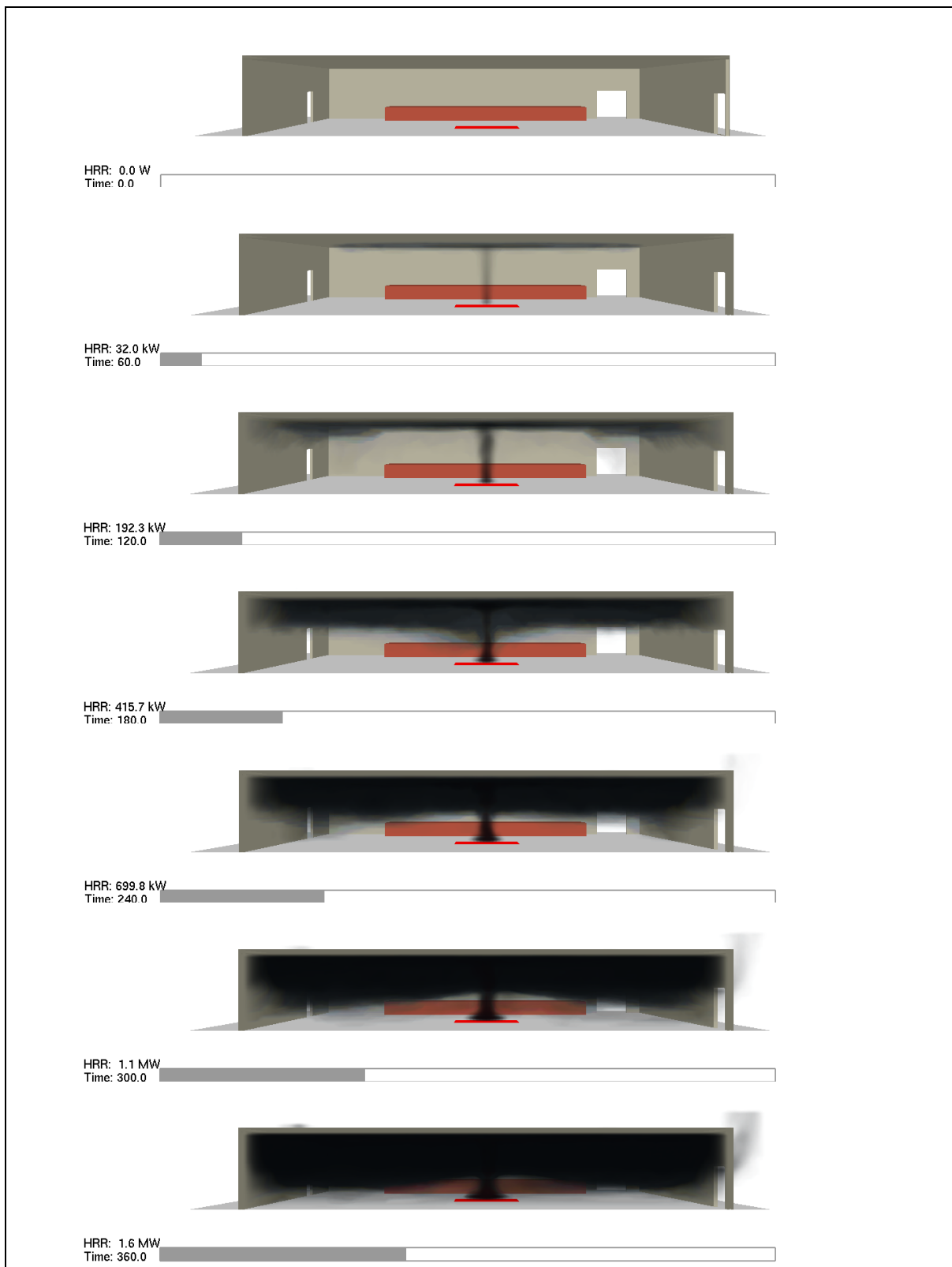


Abbildung 4-1: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle – Brandszenario 1

Wie aus der grafischen Auswertung ersichtlich, sinkt in der Halle der Rauch innerhalb von wenigen Minuten ab. Um diese Verrauchung in Hinblick auf die Bestimmung des ASET Wertes zeitlich zu quantifizieren, ist es erforderlich, die numerischen Ergebnisse an den Auswertepositionen näher zu analysieren. Um sich einen groben Überblick über

die Entwicklung der Temperaturen, Kohlendioxidkonzentration und der Rußkonzentration zu verschaffen, werden die Ergebnisse in einer Höhe von 2,5 m über der FOK über alle Auswertepositionen in folgenden Diagrammen zusammengefasst (siehe Abbildung 4-2, Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4).

In der Abbildung 4-2 ist zu erkennen, dass nach etwa 300 s (5 min) die Temperaturgrenzbedingung von 45°C (siehe auch Abschnitt 3.3) in der Höhe von 2,5 m erreicht wird.

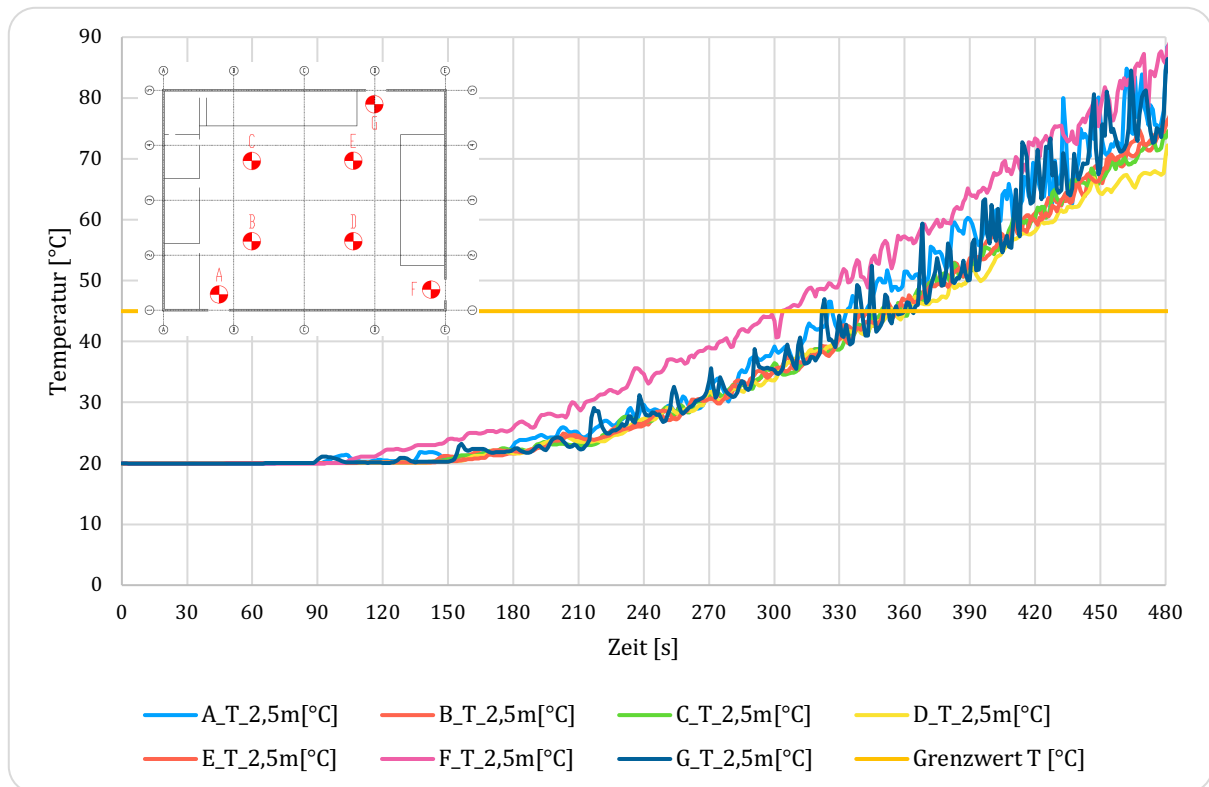


Abbildung 4-2: Übersicht über die Entwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 1

In der Abbildung 4-3 ist zu erkennen, dass nach etwa 420 s (7 min) die Grenzbedingung von 1 Vol.-% CO₂-Konzentration (siehe auch Abschnitt 3.3) in der Höhe von 2,5 m erreicht wird. Dies entspricht einem Molanteil von 0,01 mol/mol.

In der Abbildung 4-4 ist zu erkennen, dass nach etwa 200 s (3,5 min) die Grenzbedingung der Rauchdichte entsprechend der Tabelle 3-7 im Abschnitt 3.3 von 0,1 m⁻¹ in der Höhe von 2,5 m erreicht wird. Dies entspricht einer Rußkonzentration von 0,000025 kg/m³.

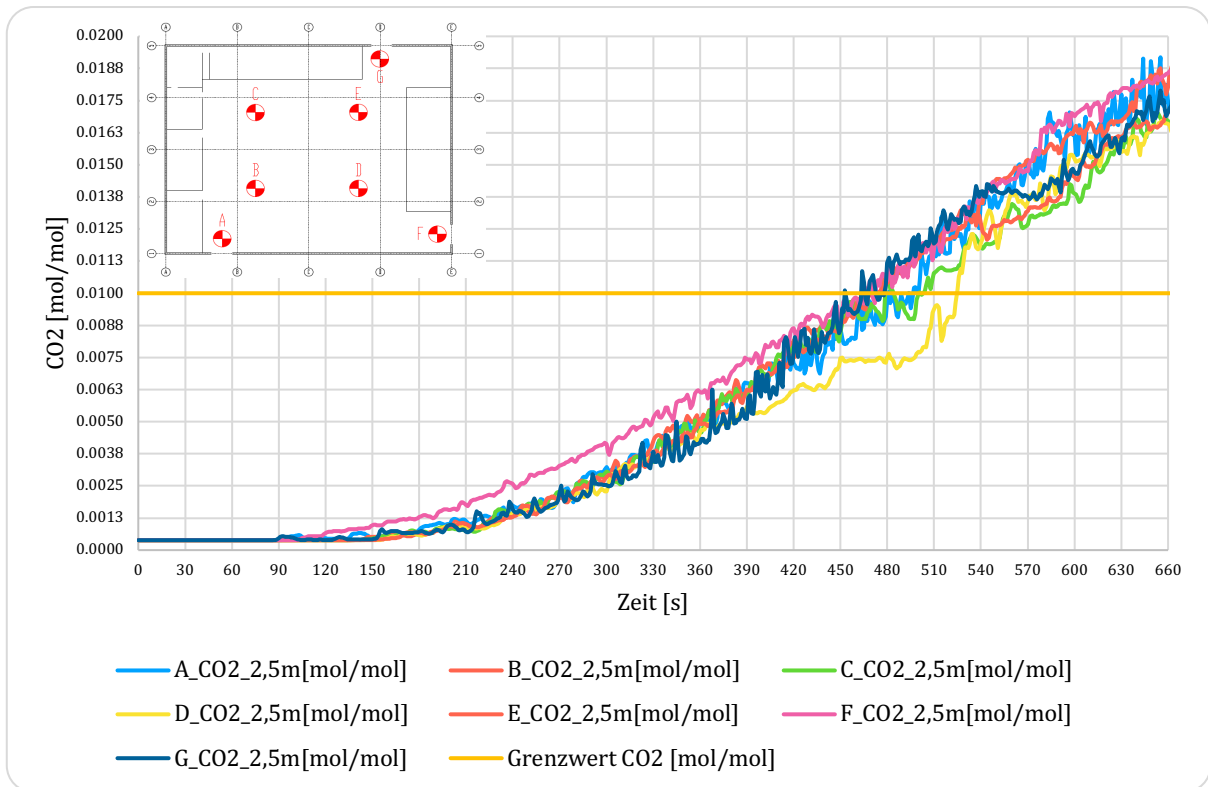


Abbildung 4-3: Übersicht über die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Positionen A bis G – Brandszenario 1

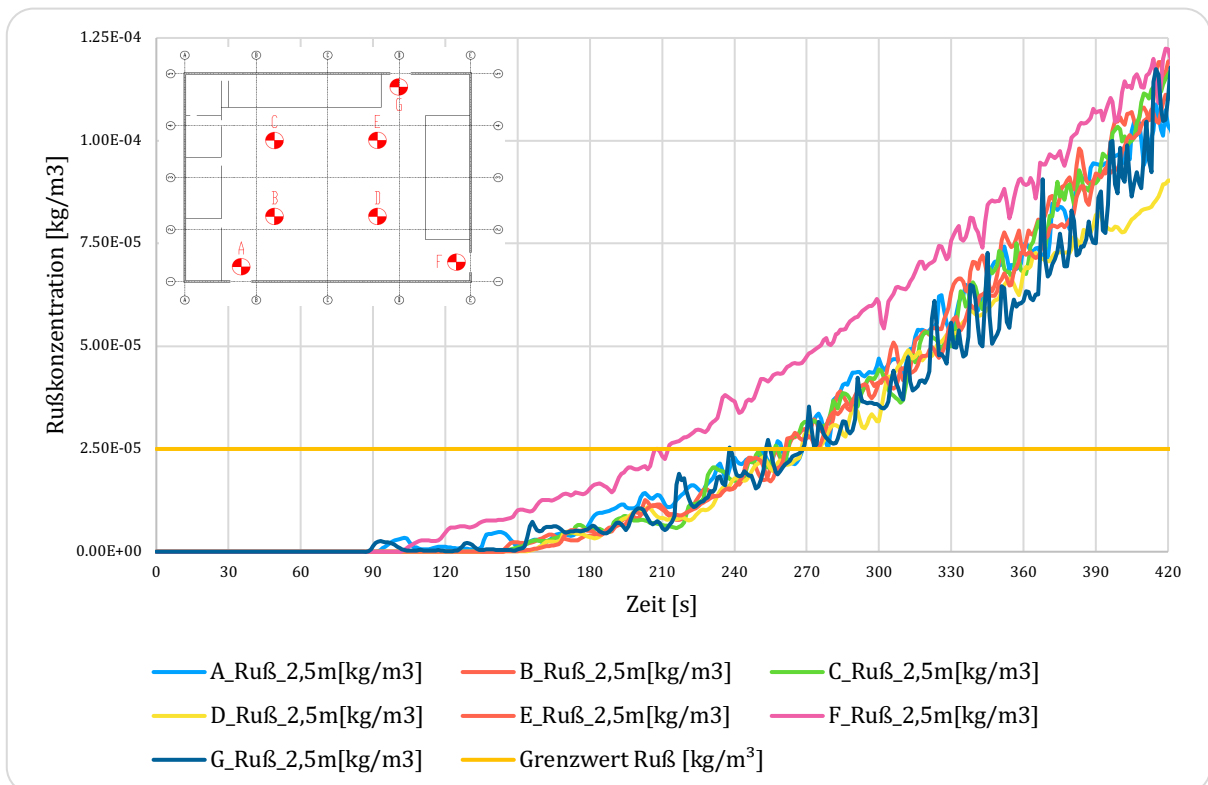


Abbildung 4-4: Übersicht über die Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 1

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, ist für die Bestimmung des ASET-Werts die Rußkonzentration maßgebend, da die Grenzbedingung für die Rauchdichte von $0,1 \text{ m}^{-1}$

zuerst erreicht wird. Um den ASET Wert zeitlich zu quantifizieren, werden die numerischen Ergebnisse der Rußkonzentration an den Auswertepositionen A, F und G, näher analysiert.

Die Abbildung 4-5 zeigt die Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition A, vor dem Eingang. An dieser Position werden an den ausgewählten Höhen innerhalb von 15 Minuten maximale Rußkonzentrationen zwischen $0,0003 \text{ kg/m}^3$ und $0,00035 \text{ kg/m}^3$ ermittelt. Die Grenzbedingung von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ wird an dieser Position in einer Höhe von 2,5 m über der FOK nach 240 s (4 Minuten) erreicht.

Ein ähnliches Bild ergibt sich an der Auswerteposition G, vor dem Ausgang 2. In der Abbildung 4-7 ist die zeitliche Entwicklung der Rußkonzentrationen an den ausgewählten Auswertehöhen dargestellt. Die Grenzbedingung von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ wird an dieser Position in einer Höhe von 2,5 m über der FOK fast zeitgleich wie bei Position A erreicht.

Maßgebend für die ASET Bestimmung ist die Auswerteposition F. In der Abbildung 4-6 ist die zeitliche Entwicklung der Rußkonzentrationen an den ausgewählten Auswertehöhen dargestellt. Die Grenzbedingung von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ wird an dieser Position in einer Höhe von 2,5 m über der FOK früher als an den Positionen A und G, nämlich nach 210 s (3,5 Minuten), erreicht.

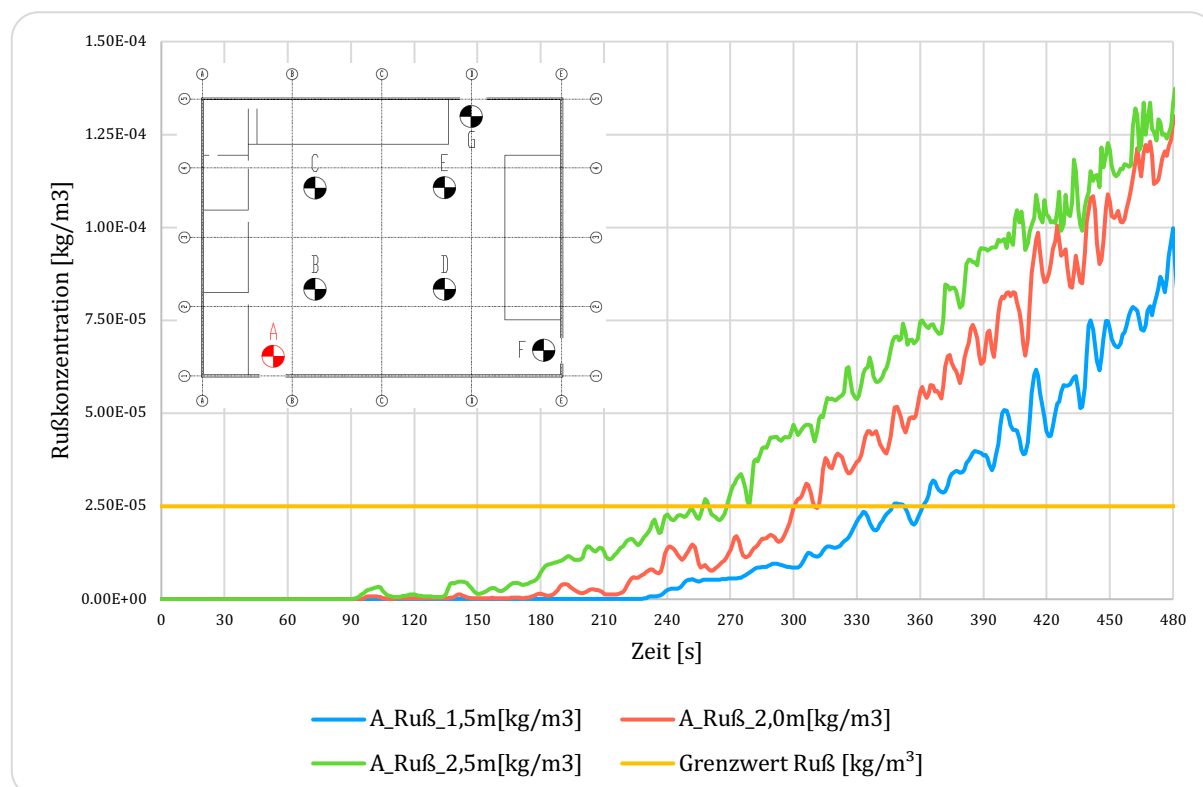


Abbildung 4-5: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 1

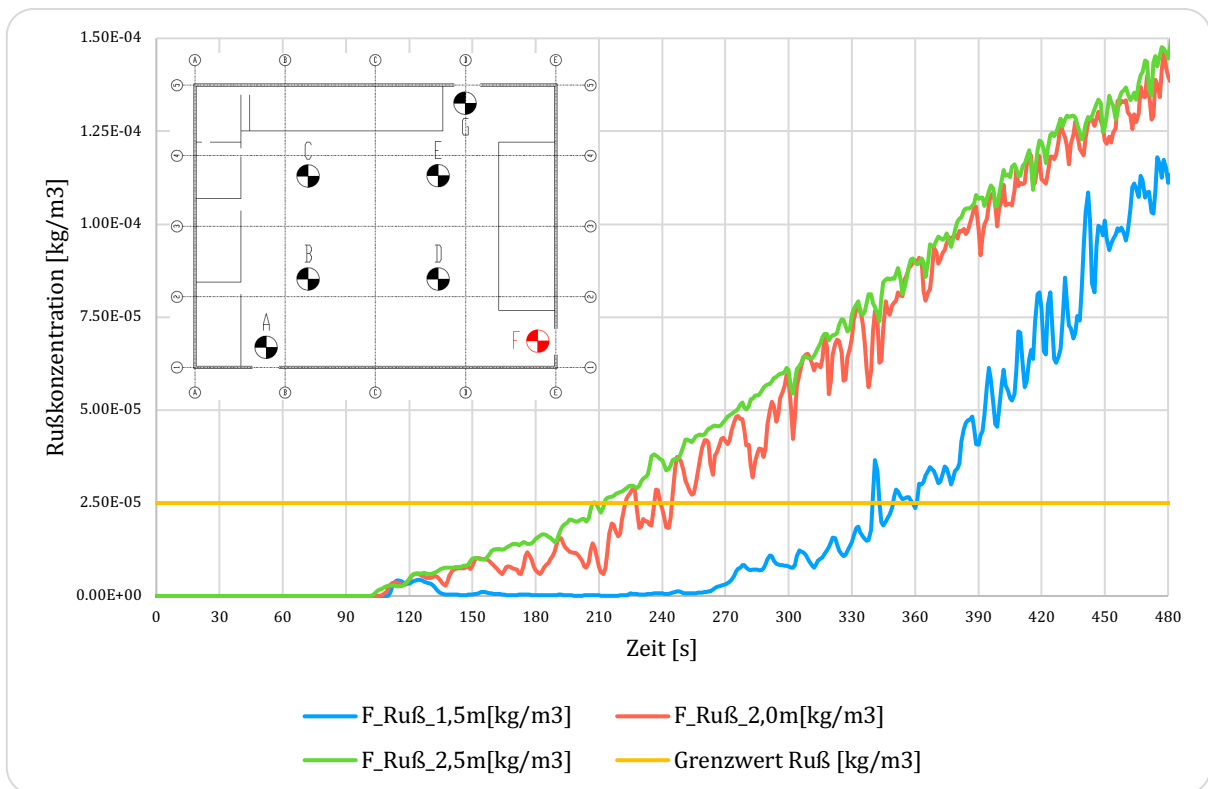


Abbildung 4-6: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandzenario 1

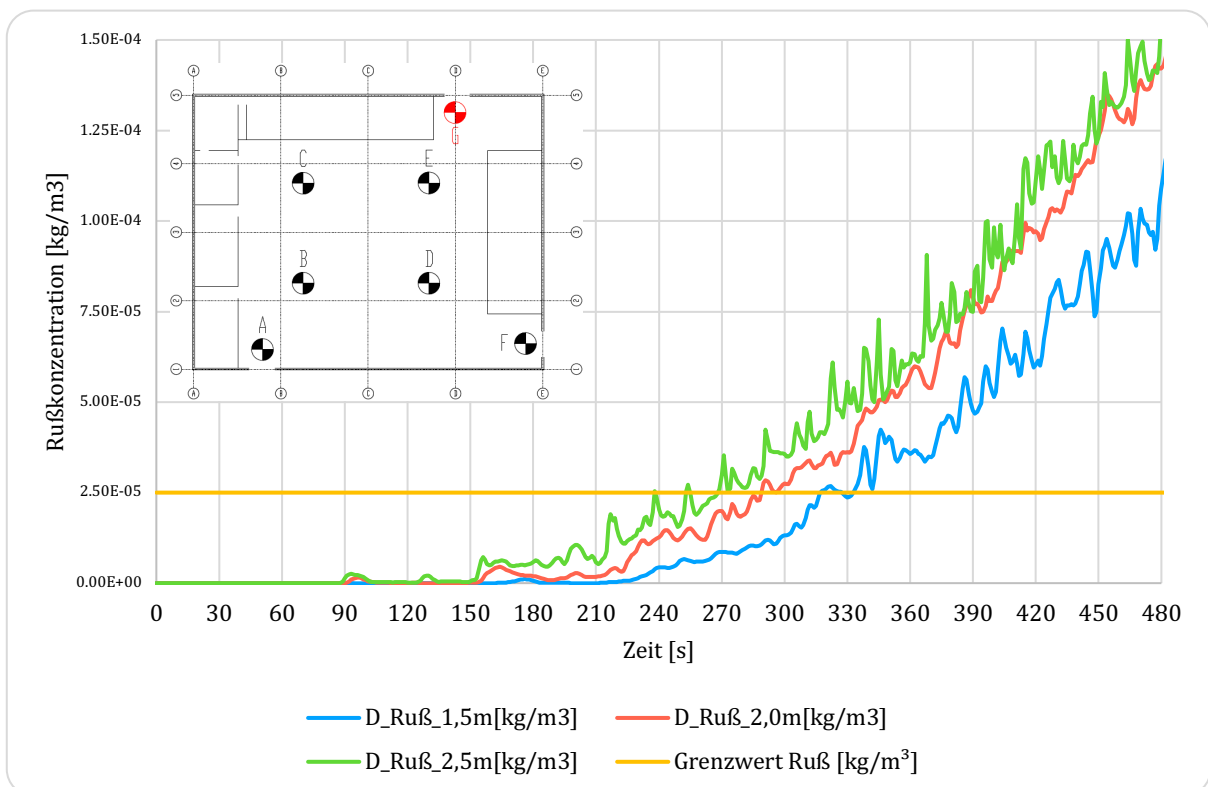


Abbildung 4-7: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandzenario 1

Aus den Ergebnisdarstellungen ergibt sich als relevante Grenzbedingung die Rauchdichte auf einer Höhe von 2,5 m über der FOK an der Auswerteposition F. Nach 210 s wird die

Rußkonzentration von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ überschritten, dies entspricht einer Rauchdichte von $0,1 \text{ m}^{-1}$. Die Abbildung 4-8 zeigt den Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F.

Der resultierende ASET Wert aus der Berechnung mit dem CFD Code FDS für das erste Brandszenario beträgt somit:

$$\text{ASET} = 210 \text{ s (3,5 min)}$$

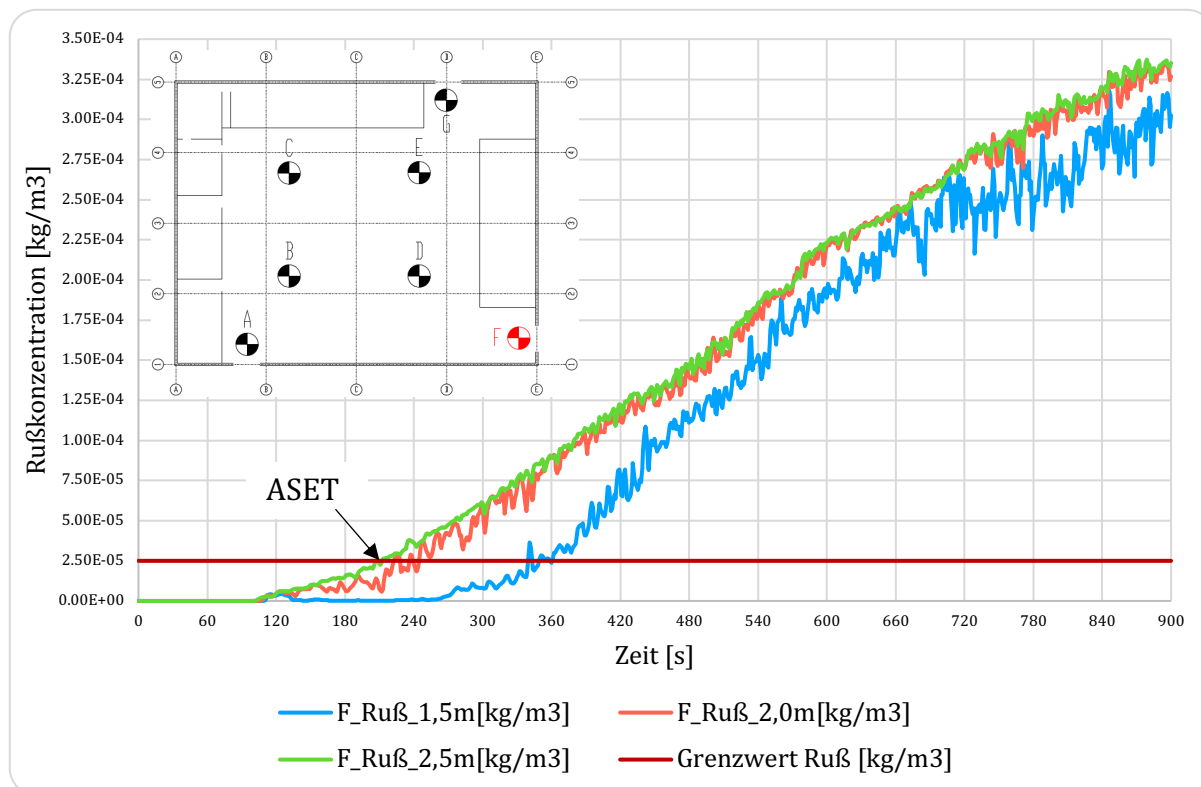


Abbildung 4-8: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F – Brandszenario 1

4.1.2 Ergebnisse der Evakuierungsuntersuchungen

4.1.2.1 Szenario 1.1 – GB

Der Evakuierungsverlauf kann bei FDS+EVAC mit dem Programm Smokeview dargestellt werden. Die folgende Abbildung 4-9 zeigt die Situation bei der Evakuierung zu verschiedenen Zeitpunkten bei einem Simulationslauf, welcher der 95 % Fraktile aus den 100 Simulationsläufen entspricht. Die Farbkodierungen der Agenten zeigen die physischen und psychischen Kräfte, die auf die Agenten wirken. Es ist zu erkennen, dass die Personen erst nach den ersten 2 Minuten mit der Bewegung anfangen und sich kurz danach die Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge aufbauen.

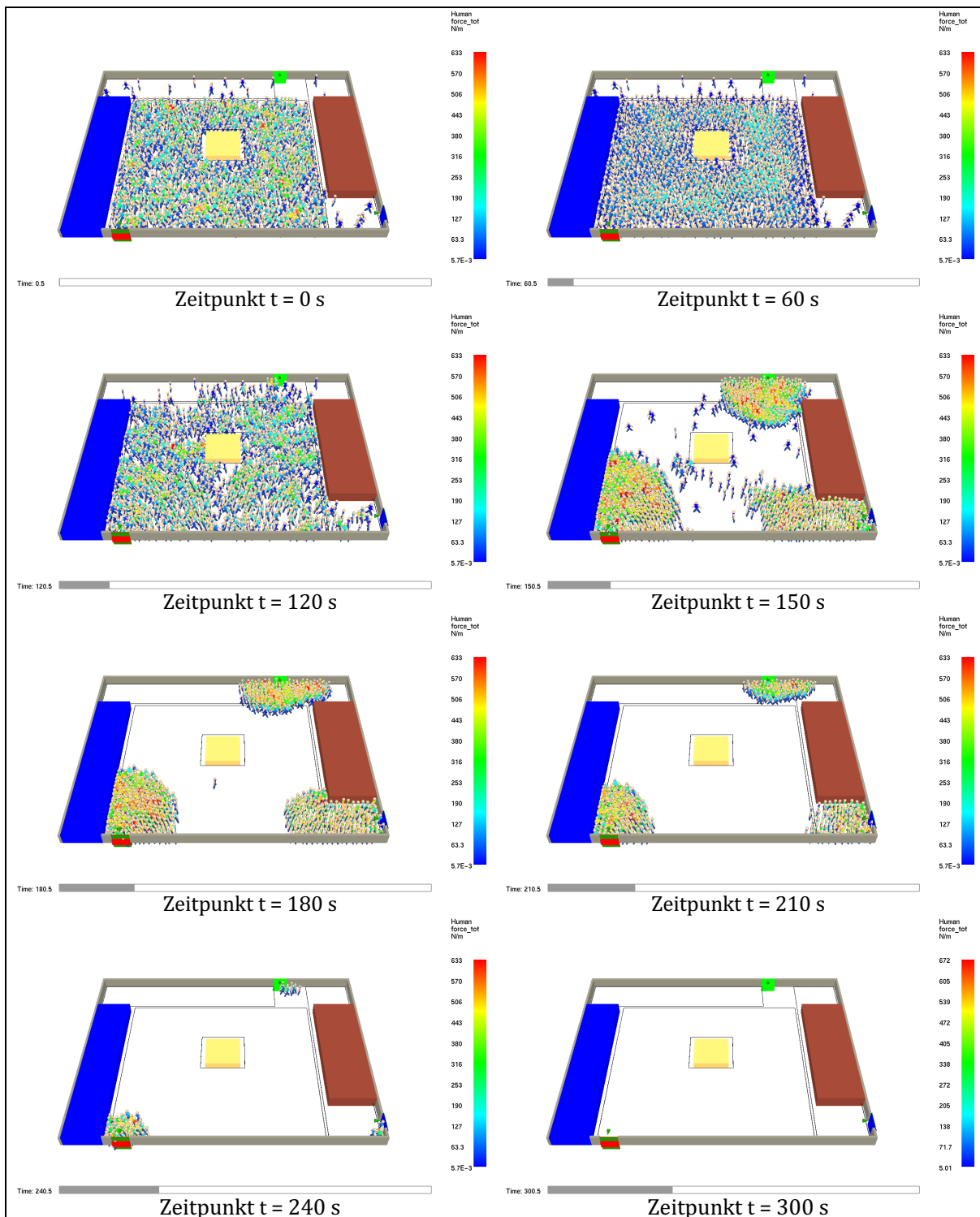


Abbildung 4-9: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – BS. 1.1-GB

Da es sich beim Evakuierungsmodell FDS+EVAC um ein stochastisches Modell handelt, werden die Personeneigenschaften und der Aufstellort der Agenten bei Programmstart zufällig festgelegt. Es wurden zur Absicherung des Ergebnisses 100 Simulationsläufe durchgeführt. Die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus den 100 Simulationsläufen ist in der Abbildung 4-10 dargestellt (mit der Hervorhebung des 95% Fraktilwertes).

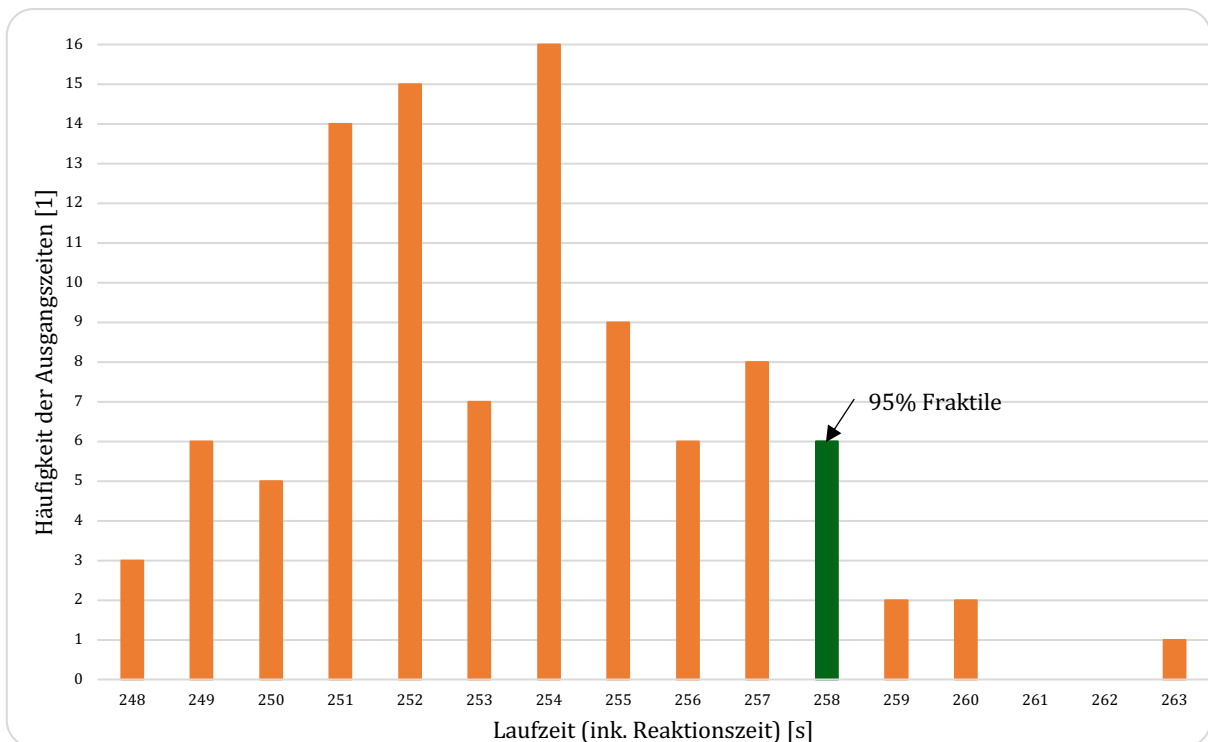


Abbildung 4-10: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S 1.1 – GB

Der kumulative Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus den 100 Simulationsläufen ist in der Abbildung 4-11 dargestellt.

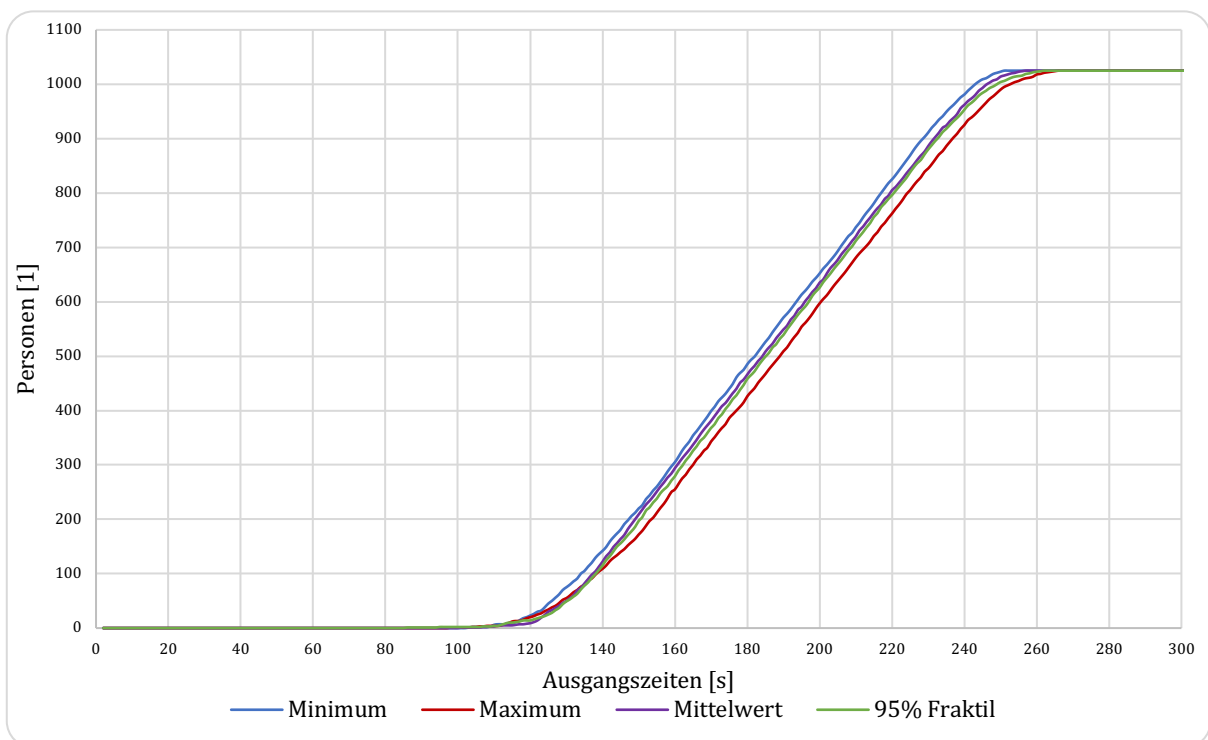


Abbildung 4-11: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen, S. 1.2 - GB

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-2 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-2: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien

	Zeit [s]
Mittelwert	253,5
Standardabweichung	2,98
Minimum	247,7
Maximum	262,8
95% Fraktile	258,4

Die Abbildung 4-12 zeigt die Entwicklung der Staus im Bereich der Ausgänge in Zeitschritten von 30 Sekunden. Die Gehspuren der Agenten sind für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig in Richtung der Ausgänge bewegen können, innerhalb von 30 Sekunden entstehen die Staus vor den Ausgängen. Die Farbcodierungen der Gehspuren repräsentieren die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

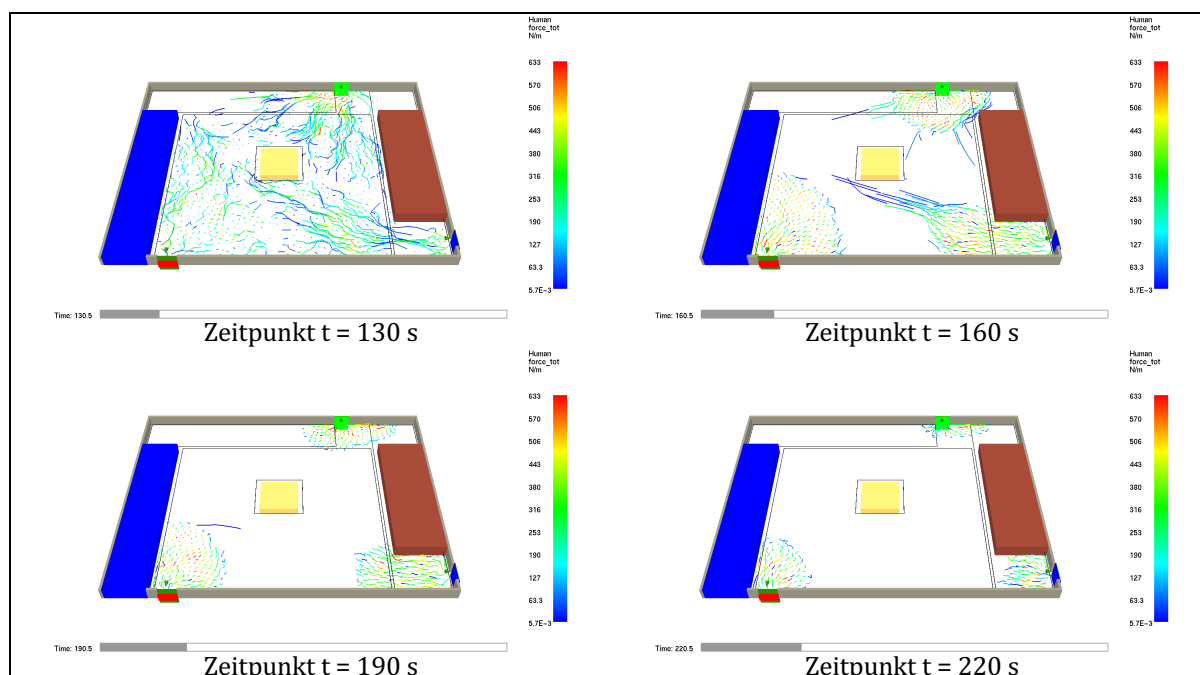


Abbildung 4-12: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – BS. 1.1-GB

Der RSET – Wert, d.h. die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit laut der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 + 0 + 0 + 258 = 318 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 18 \text{ s}$$

4.1.2.2 Szenario 1.1 – AT

Die Abbildung 4-13 zeigt den Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen. Es ist zu erkennen, dass sich einige Minuten nach dem Bewegungsbeginn (siehe Zeitpunkt 150 s) Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge bilden. Die Personenverdichtung zum Zeitpunkt 150 s im Bereich des Einganges ist deutlich größer als im Fall Großbritanniens (vgl. mit Abbildung 4-9).

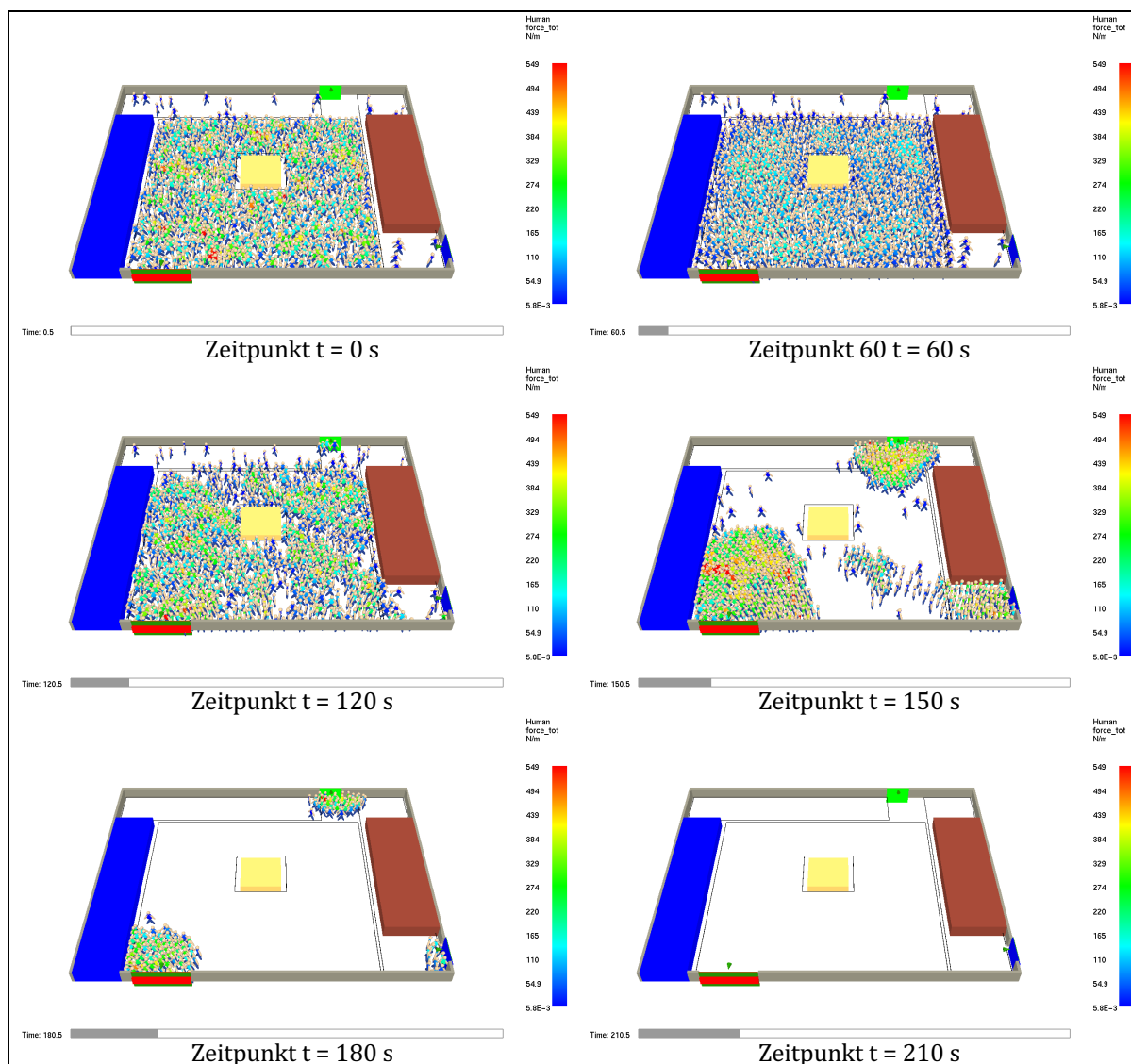


Abbildung 4-13: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – BS. 1.1-AT

Die Abbildung 4-14 zeigt die Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile für Österreich.

Der kumulative Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus den 100 Simulationsläufen ist in der Abbildung 4-15 dargestellt.

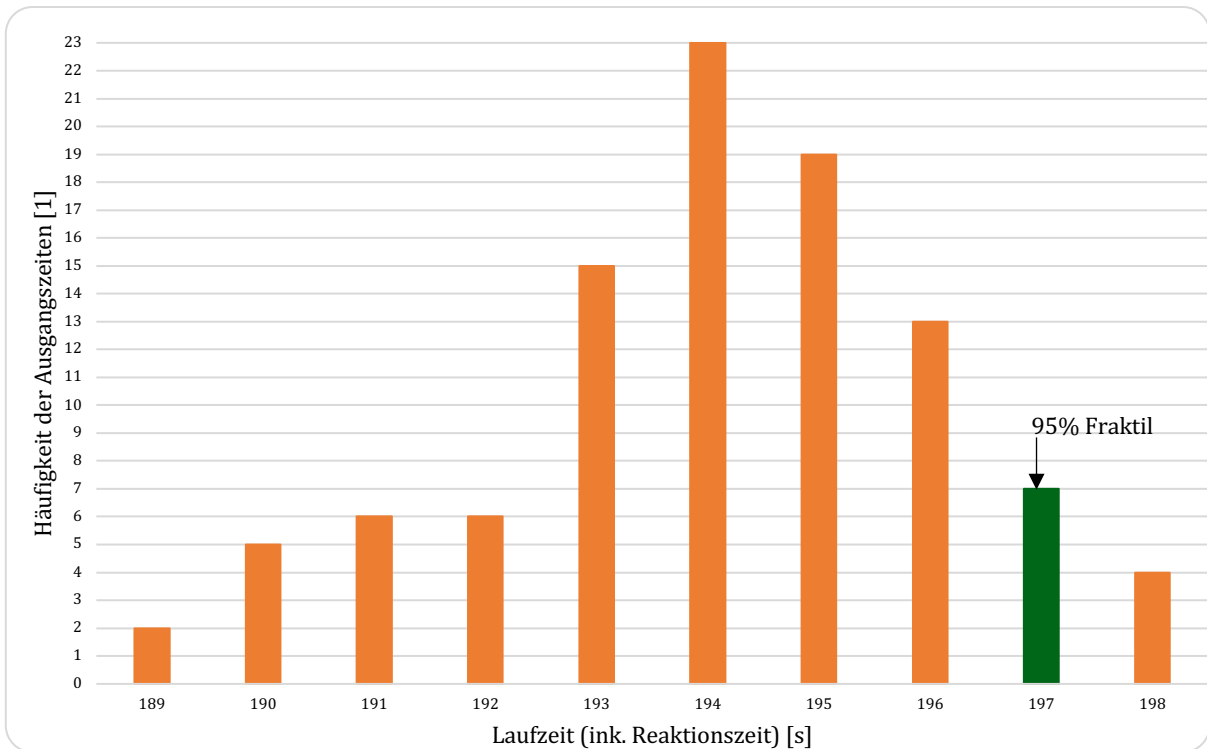


Abbildung 4-14: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 1.1-AT

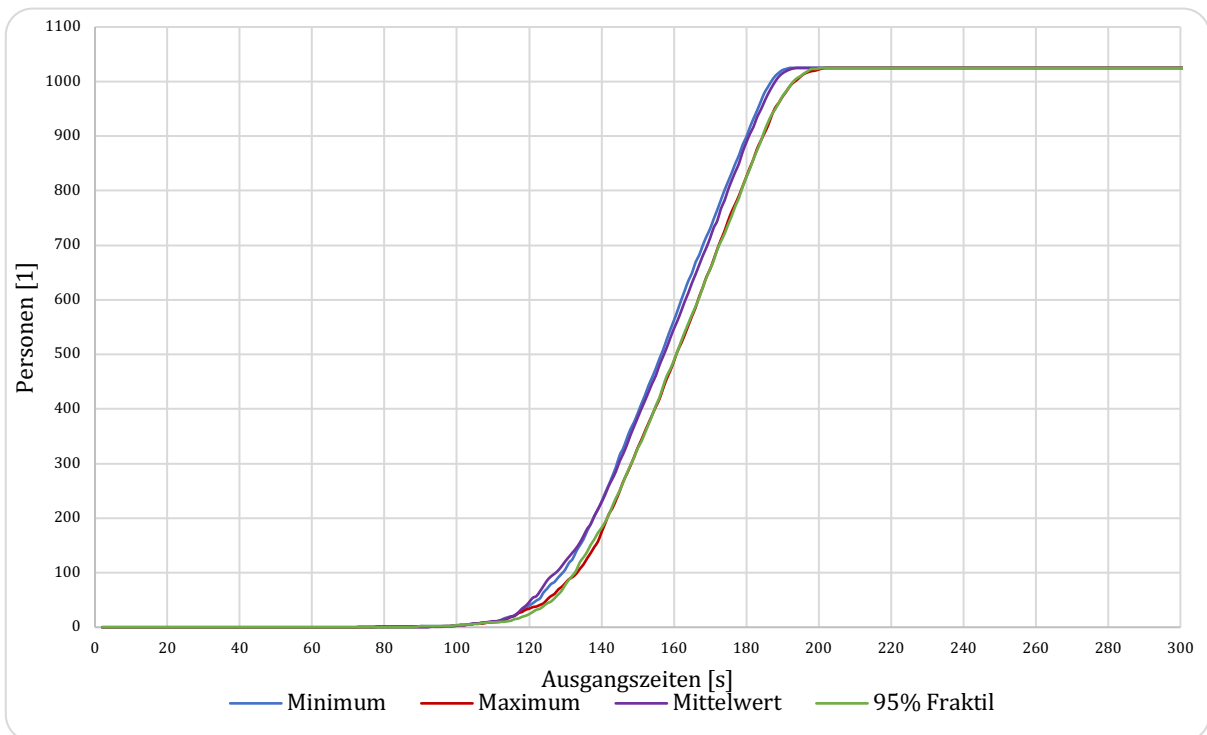


Abbildung 4-15: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen – S. 1.1-AT

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-3 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-3: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich

	Zeit [s]
Mittelwert	194,1
Standardabweichung	2,09
Minimum	188,7
Maximum	198,4
95% Fraktile	197,4

Die Abbildung 4-16 zeigt die Entwicklung des Staus im Bereich der Ausgänge. In der Abbildung 4-16 sind die Gehspuren der Agenten für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig in Richtung der Ausgänge bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bilden sich die Staus vor dem Eingang und Ausgang 2. Im Bereich des Ausganges 1 bewegen sich die Agenten frei. Die Farbcodierungen der Gehspuren repräsentieren die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

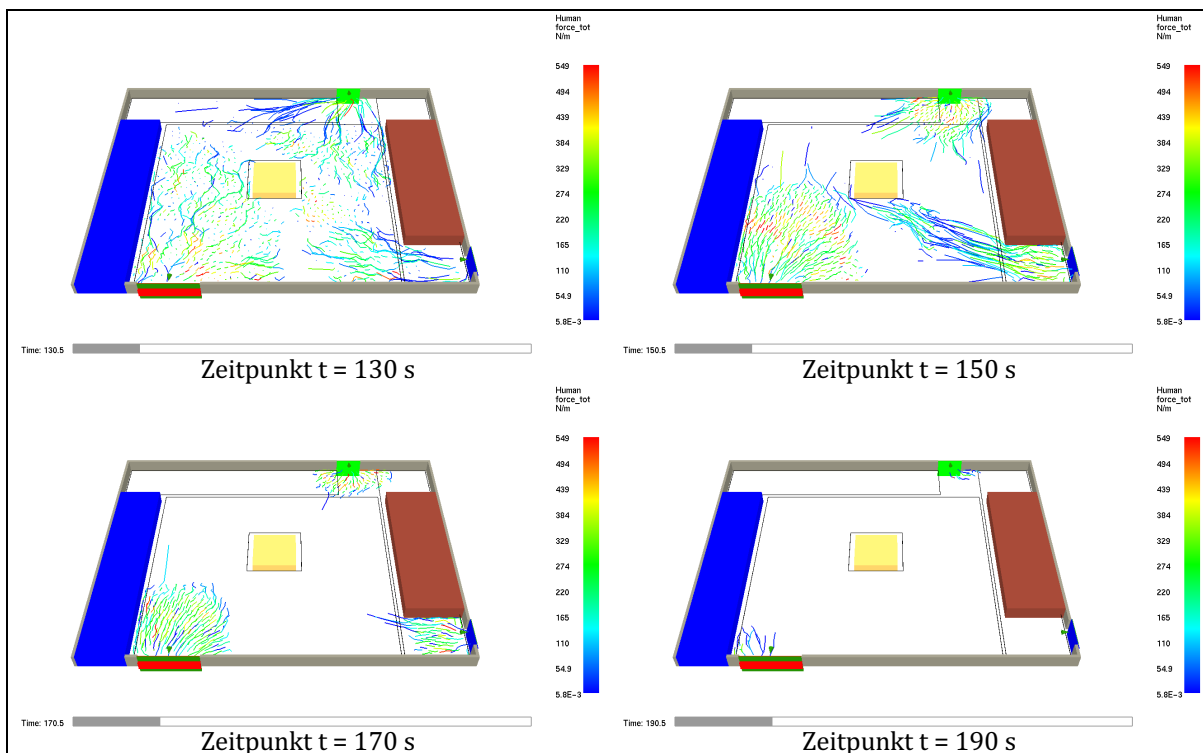


Abbildung 4-16: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S.1.1-AT

Der RSET – Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

Da bei der Simulation mit FDS+EVAC die Reaktionsdauer mitberücksichtigt wird, ermittelt sich t_{Flucht} aus der ermittelten Zeitdauer und der Dauer für die Detektion.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 + 0 + 0 + 197 = 257 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET – Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 4 \text{ min } 17 \text{ s}$$

4.1.2.3 Szenario 1.1 – RO

Die folgende Abbildung 4-17 zeigt die Situation bei der Evakuierung zu verschiedenen Zeitpunkten bei einem Simulationslauf, welcher der 95 % Fraktile der Zeit entspricht. Deutlich sind die Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge zu erkennen. Diese Verdichtungen bauen sich innerhalb einiger Minuten nach dem Bewegungsbeginn (nach ca.150 s, siehe Abbildung 4-9) auf.

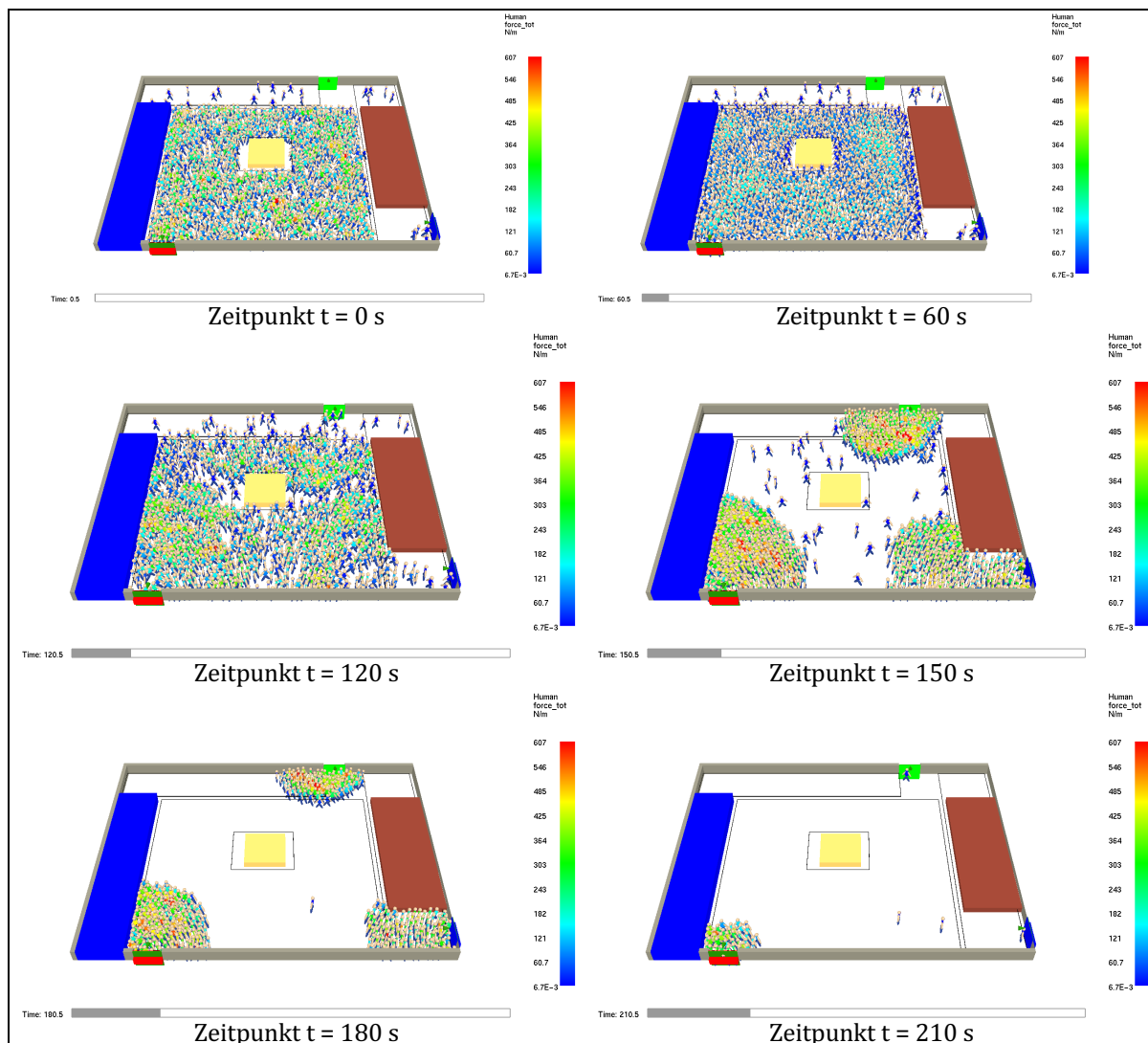


Abbildung 4-17: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 1.1-RO

Da es sich beim Evakuierungsmodell FDS+EVAC um ein stochastisches Modell handelt, d.h. die Personeneigenschaften und der Aufstellort der Agenten wird bei Programmstart zufällig festgelegt, wurden zur Absicherung des Ergebnisses 100 Simulationsläufe durchgeführt. Die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus den 100 Simulationsläufen ist in der Abbildung 4-18 dargestellt (mit der Hervorhebung des 95% Fraktilwertes).

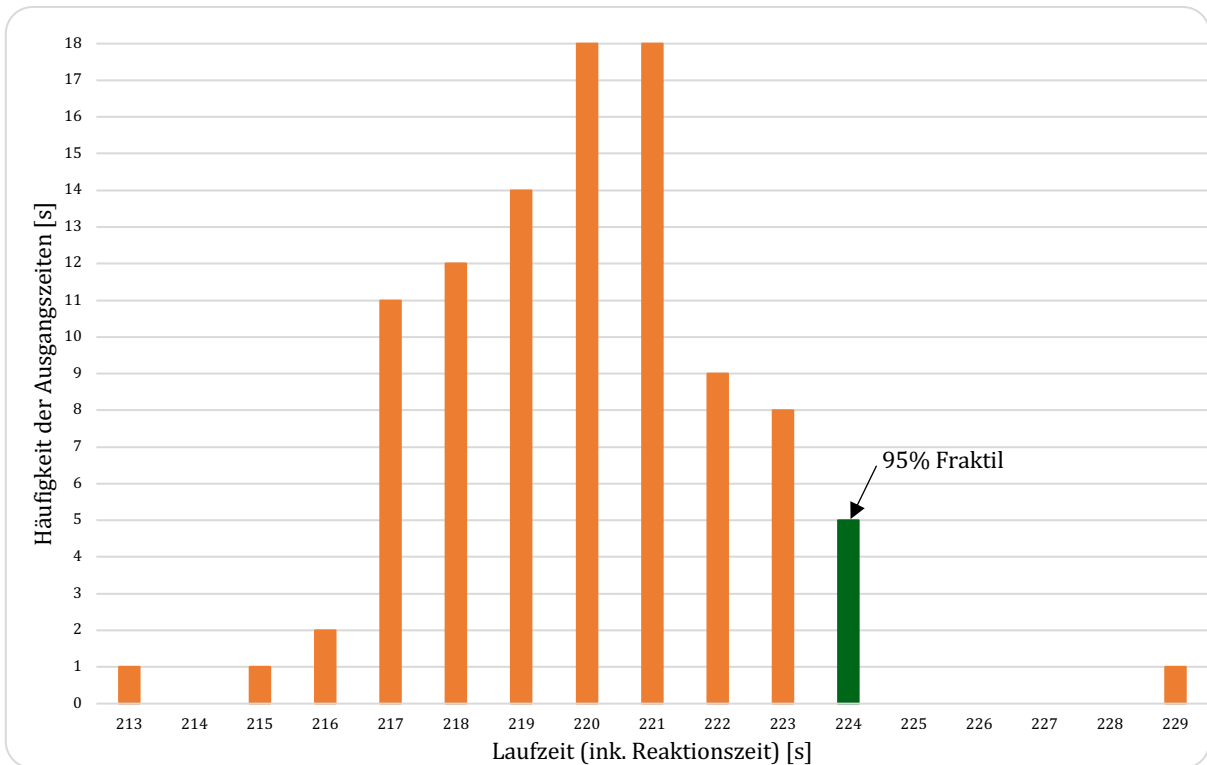


Abbildung 4-18: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 1.1-RO

Der kumulative Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus den 100 Simulationsläufen ist in der Abbildung 4-19 dargestellt.

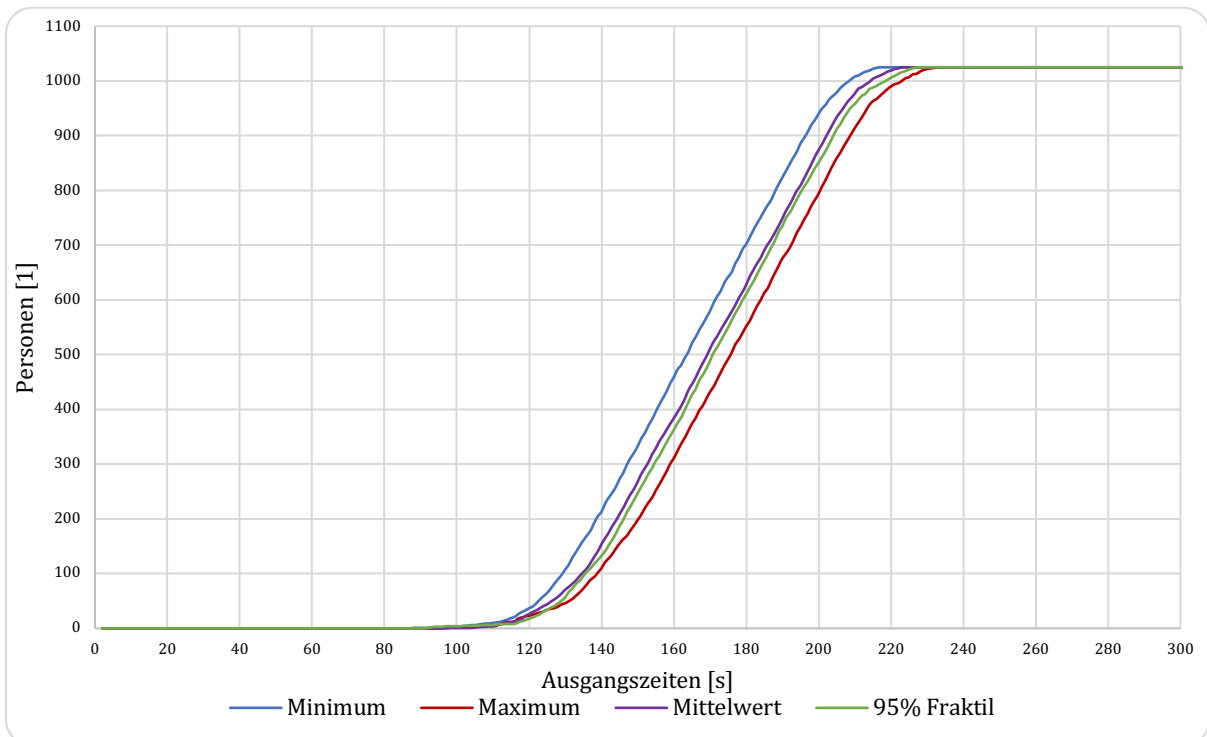


Abbildung 4-19: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen – S, 1.1-RO

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-4 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-4: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Rumänien

	Zeit [s]
Mittelwert	219,9
Standardabweichung	2,34
Minimum	213,5
Maximum	229,5
95% Fraktile	223,8

Die Abbildung 4-20 zeigt die Entwicklung des Staus im Bereich der Ausgänge. Die Gehspuren der Agenten sind für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bildet sich der Stau vor den Ausgängen. Die Farbcodierung der Gehspuren repräsentiert die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

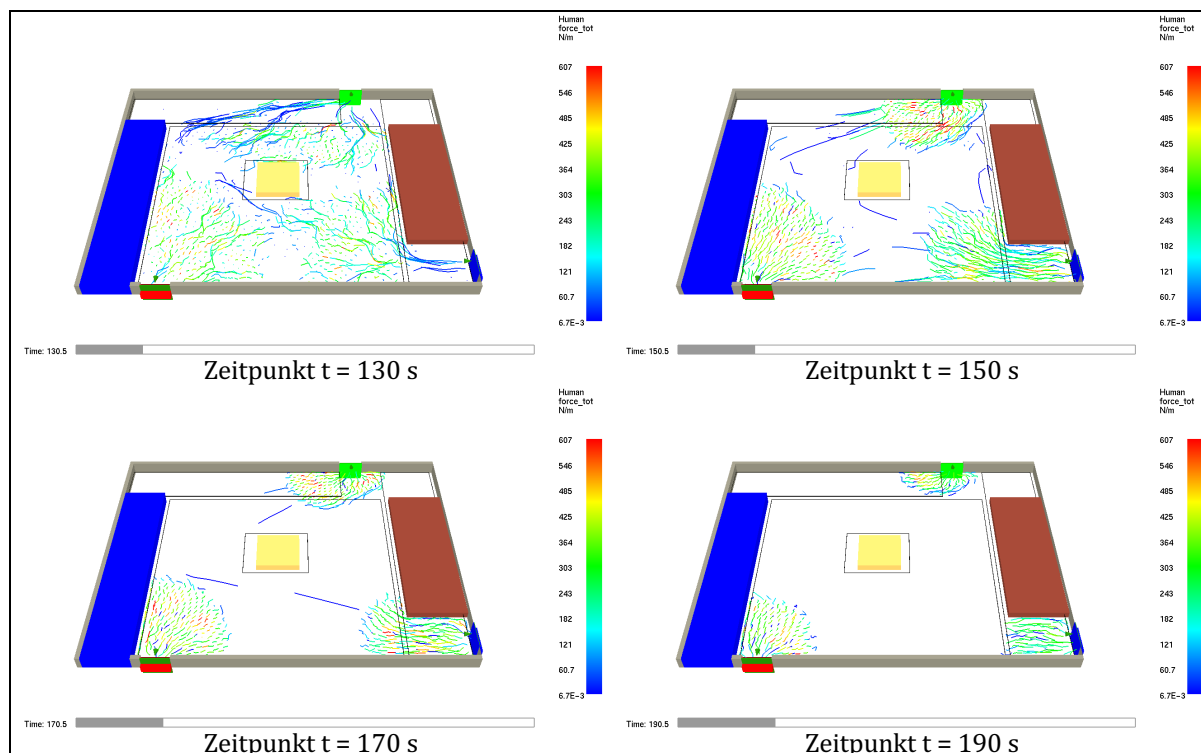


Abbildung 4-20: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 1.1-RO

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird laut (Gl. 2-16) bestimmt.

Bei der Anwendung des Simulationsmodells FDS+EVAC wird die Reaktionsdauer bei der Simulation mitberücksichtigt, wodurch zu der mit dem Modell FDS+EVAC ermittelten Zeitdauer (Verwendung der 95 % Fraktile) nur die in der Tabelle 3-6 angegebene Dauer für die Detektion dazu zu addieren ist, um t_{Flucht} zu berechnen.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 + 0 + 0 + 224 = 284 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET – Wert für Rumänien von:

RSET = 4 min 44 s

4.1.2.4 Szenario 1.2 – GB

Der zeitliche Verlauf der Entfluchtung ist in der Abbildung 4-21 in Form einer grafischen Darstellung abgebildet. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausganges 2. Die Personenverdichtung vor dem Eingang dauert länger halt und bis zum Zeitpunkt der Entleerung der Halle an.

Da die örtliche Verteilung der Personen und deren Eigenschaften zu Beginn der Simulation zufällig festgelegt werden, liefert jeder Simulationslauf unterschiedliche Ergebnisse für die Zeitdauer des Verlassens der Halle. Um zu einem signifikanten Ergebnis zu kommen, ist es deshalb erforderlich, den Simulationslauf mehrmals (im gegenständlichen Fall 100-mal) zu wiederholen. Die Ergebnisse der Simulationsläufe können danach statistisch ausgewertet werden. Die Abbildung 4-22 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 235 s und 260 s, der Mittelwert beträgt 248 s und die 95 % Fraktile liegt bei 257 s.

Der Verlauf der Entleerung der Halle ist in der Abbildung 4-23 dargestellt. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittelwert und die 95 % Fraktile aus 100 Simulationsläufen dargestellt.

Im Zuge von Evakuierungsanalysen ist es erforderlich, zu überprüfen, ob signifikante Stauungen aufgrund der normalen Bewegung von Personen entlang der Flucht- und Rettungswege auftreten. Ein signifikanter Stau liegt vor, wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10 % der Gesamtentfluchtungsdauer überschritten wird¹⁷⁸.

Die Abbildung 4-24 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Im Bereich des Einganges und Ausganges 2 treten Stauzeiten von bis zu 26 s auf. Dieser Wert ist in Hinblick auf die vorgehende Definition (Stauzeit etwa 10 % der Gesamtentfluchtungsdauer allerdings ohne Berücksichtigung der Detektionszeit) bereits als signifikanter Stau zu klassifizieren.

¹⁷⁸ Vgl. Rimea 2016, Abschnitt 6.4

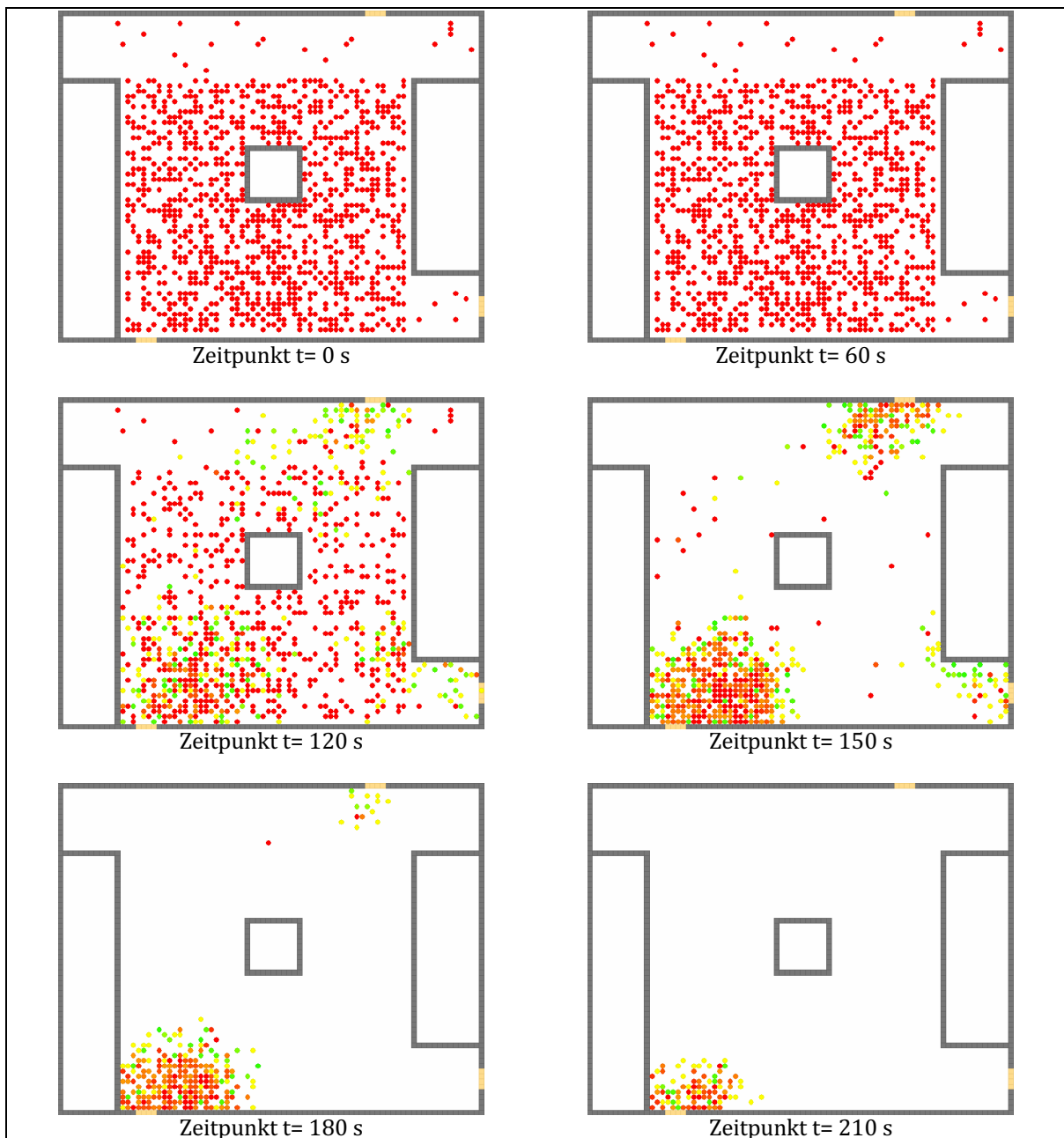


Abbildung 4-21: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, BS. 1.2-GB

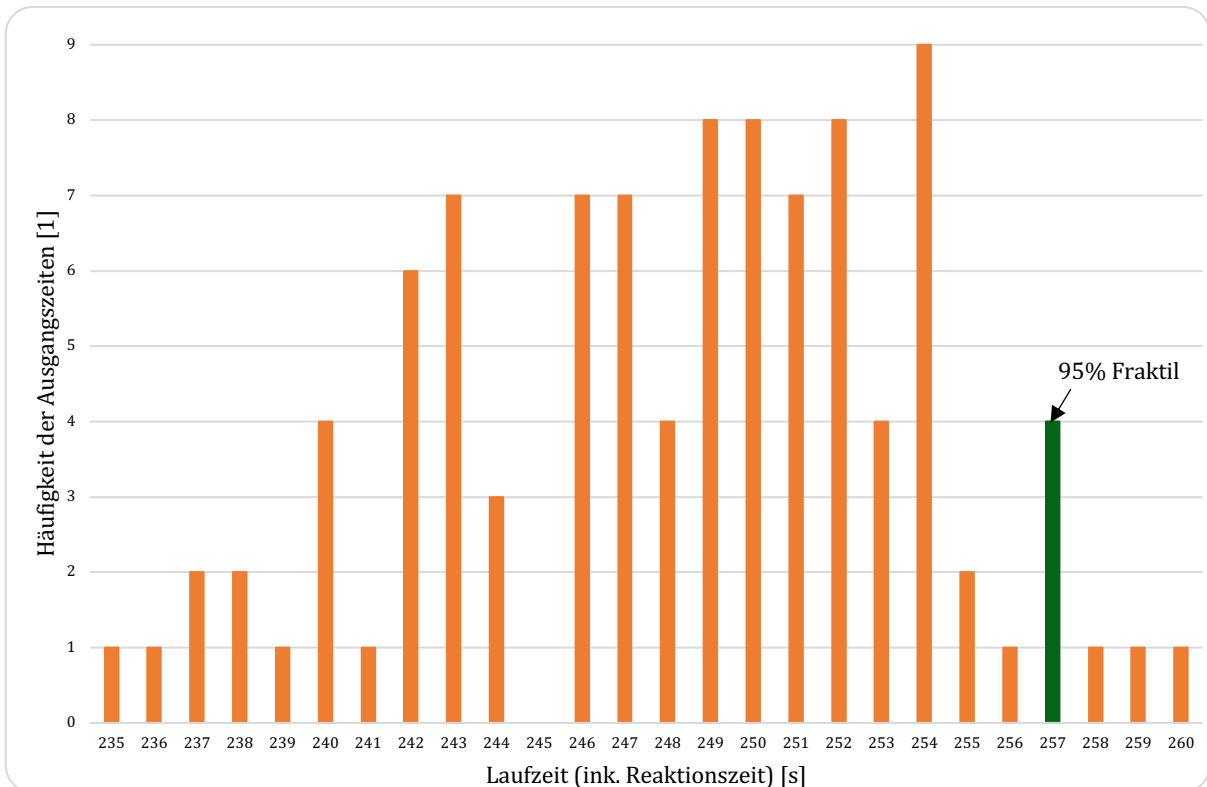


Abbildung 4-22: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2-GB

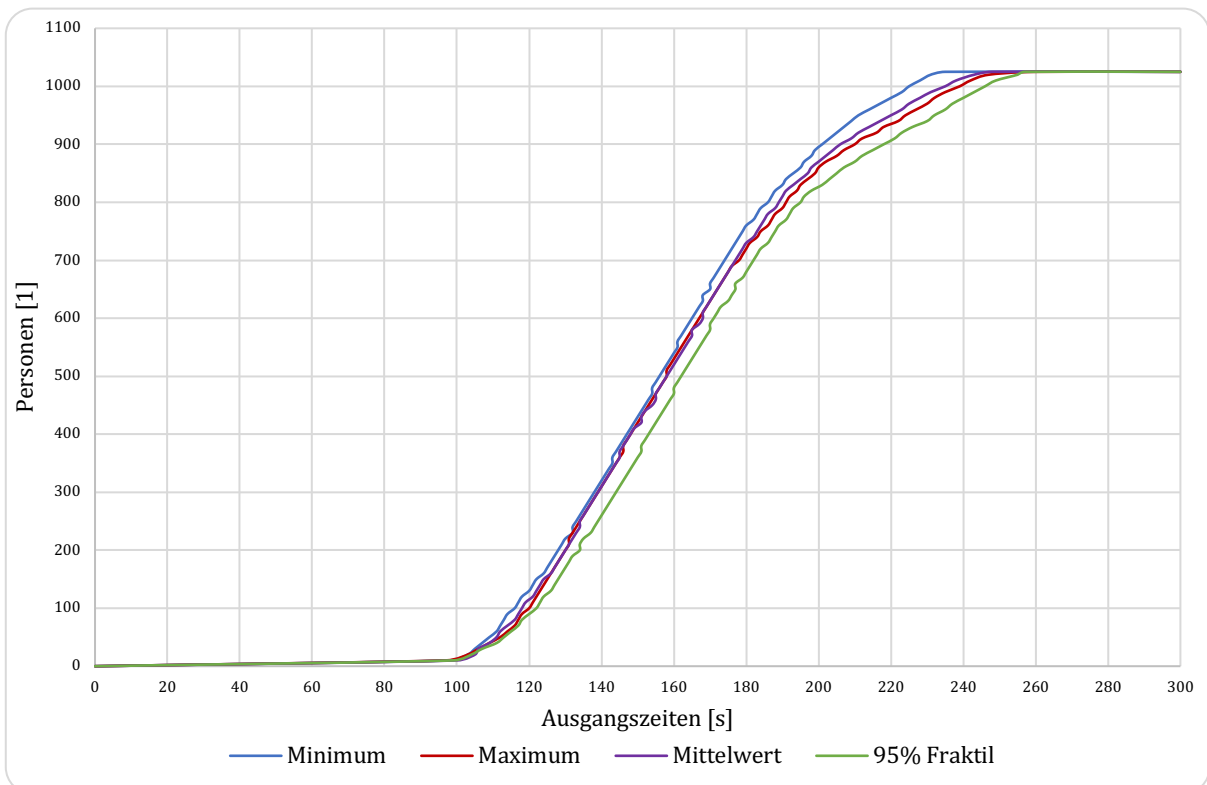


Abbildung 4-23: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen, S. 1.2-GB

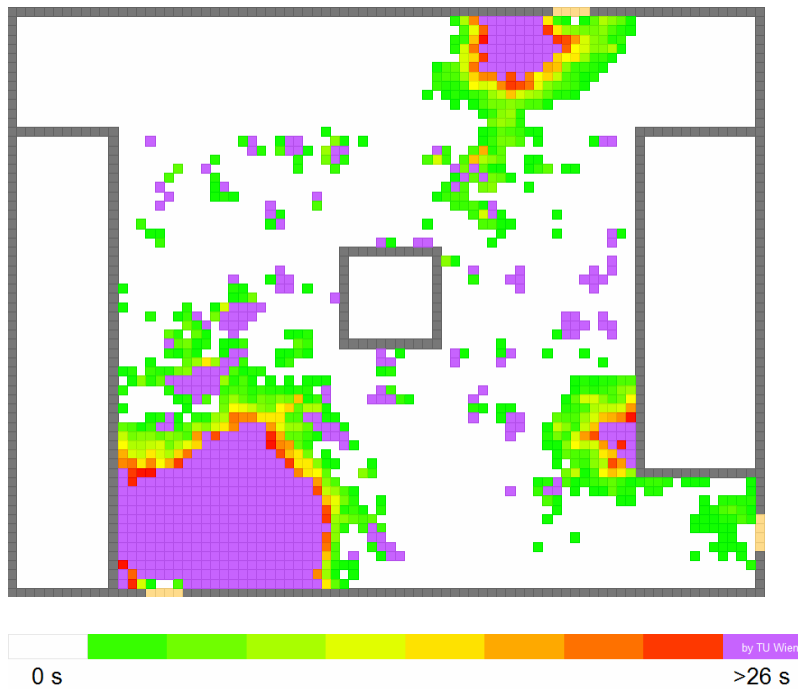


Abbildung 4-24: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf, S. 1.2 – GB

Der RSET – Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 \text{ s} + 0 \text{ s} + 257 \text{ s} = 317 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 57 \text{ s}$$

4.1.2.5 Szenario 1.2 – AT

Die Abbildung 4-25 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausganges 2.

Die Abbildung 4-26 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 201 s und 220 s, der Mittelwert beträgt 209 s und die 95 % Fraktile liegt bei 216 s.

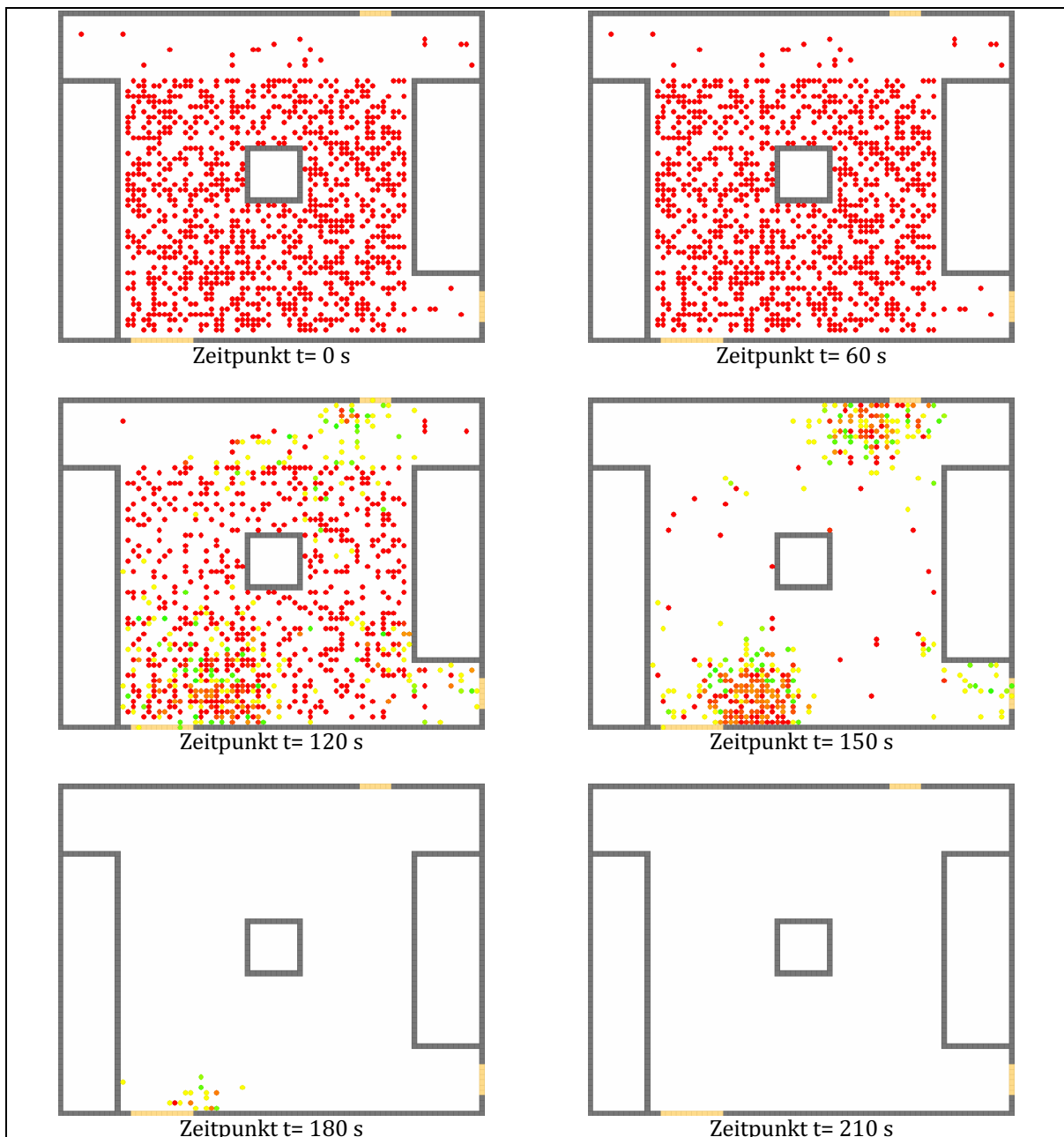


Abbildung 4-25: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, BS. 1.2-AT

Die Abbildung 4-27 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittel- und der 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationenläufen dargestellt.

Die Abbildung 4-28 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationenläufe. Im Bereich des Einganges und Ausganges 2 treten Stauzeiten von bis zu 22 s auf.

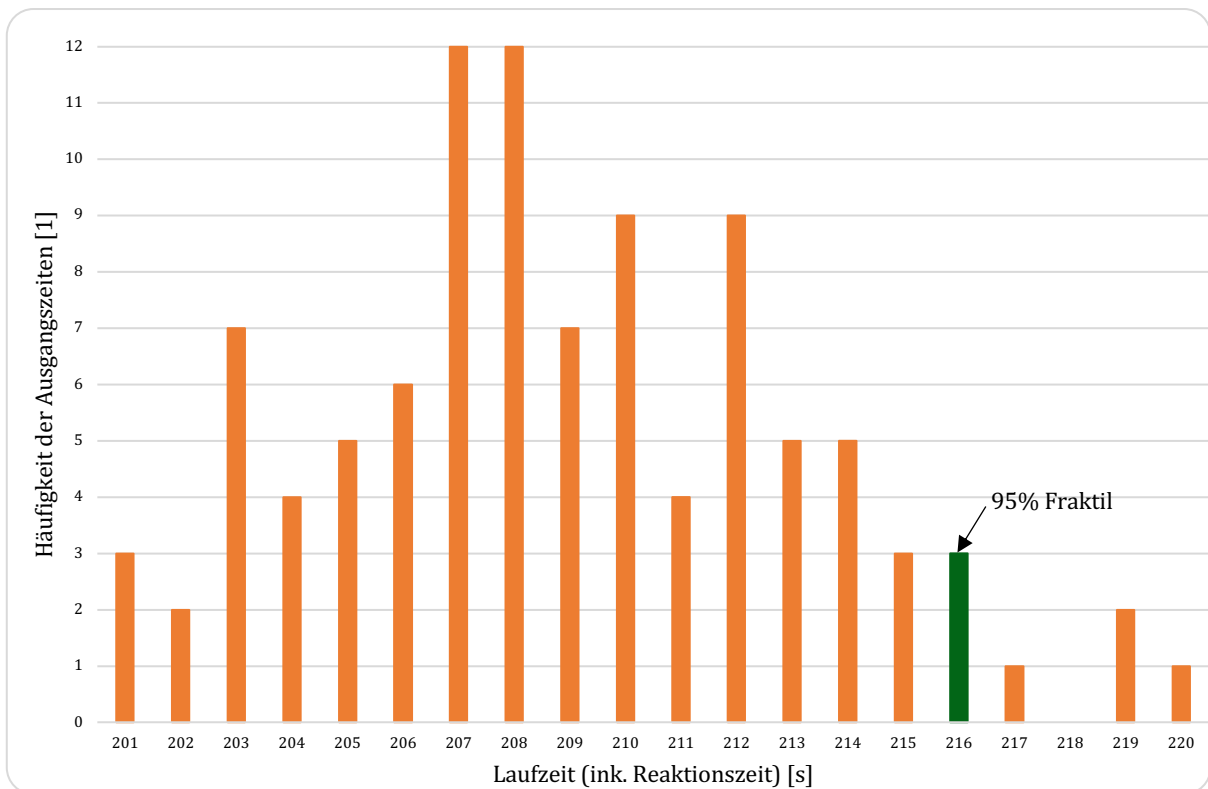


Abbildung 4-26: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2 – AT

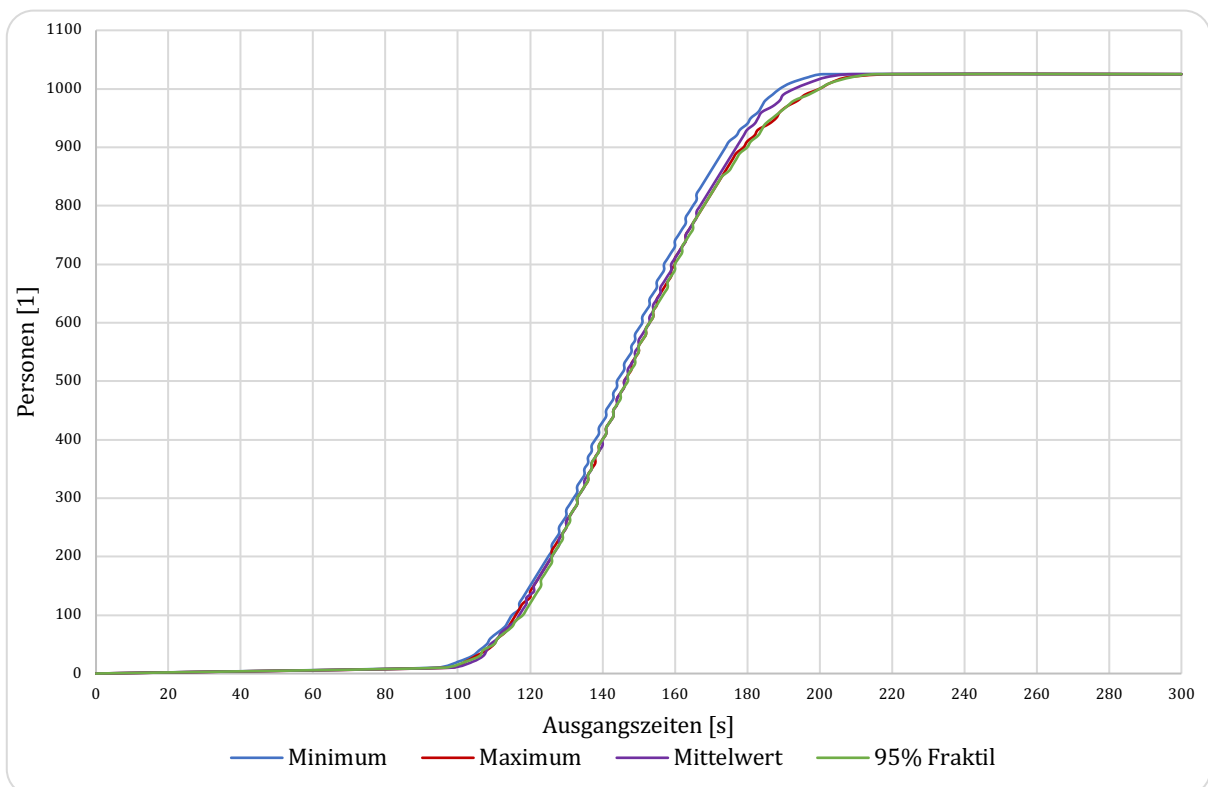


Abbildung 4-27: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen, S. 1.2 – AT

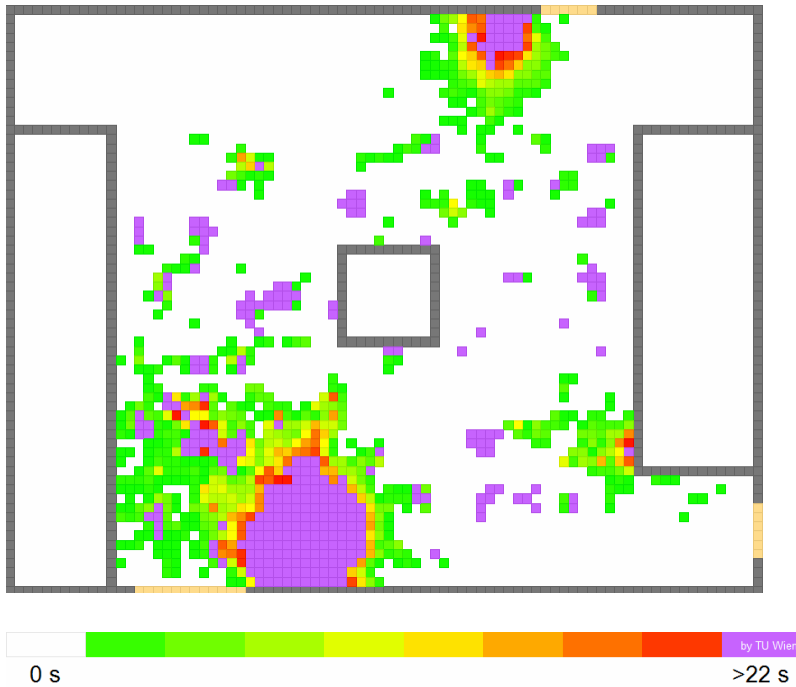


Abbildung 4-28: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf, S. 1.2 – AT

Der RSET – Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 \text{ s} + 0 \text{ s} + 216 \text{ s} = 276 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 4 \text{ min } 36 \text{ s}$$

4.1.2.6 Szenario 1.2 – RO

Die Abbildung 4-29 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausganges 2.

Die Abbildung 4-30 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 213 s und 238 s, der Mittelwert beträgt 226 s und die 95 % Fraktile liegt bei 235 s.

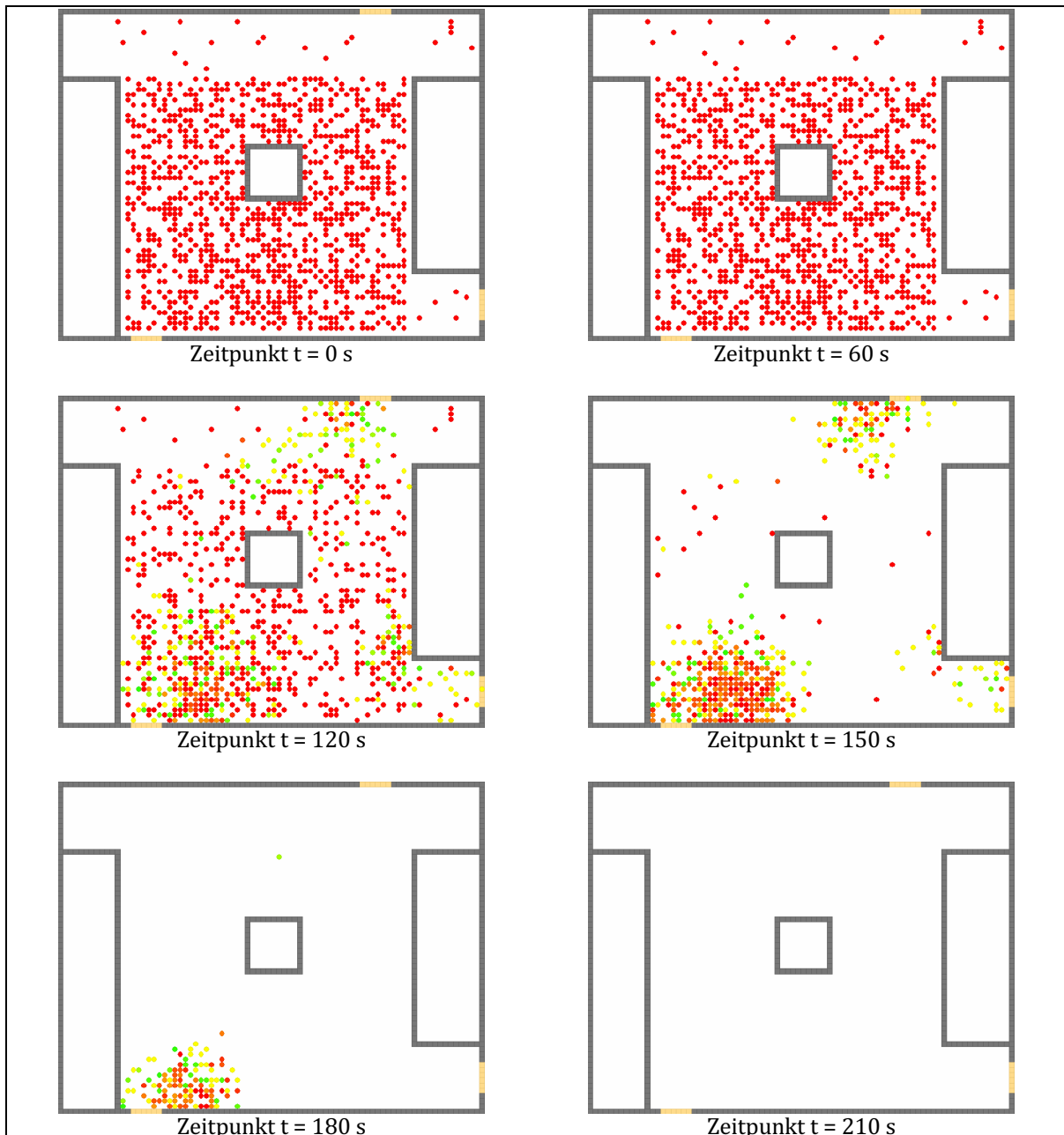


Abbildung 4-29: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, S. 1.2 – RO

Die Abbildung 4-31 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittelwert und die 95 % Fraktile aus 100 Simulationsläufen dargestellt.

Die Abbildung 4-32 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Im Bereich des Einganges und Ausgangs 2 treten Stauzeiten von bis zu 24 s auf.

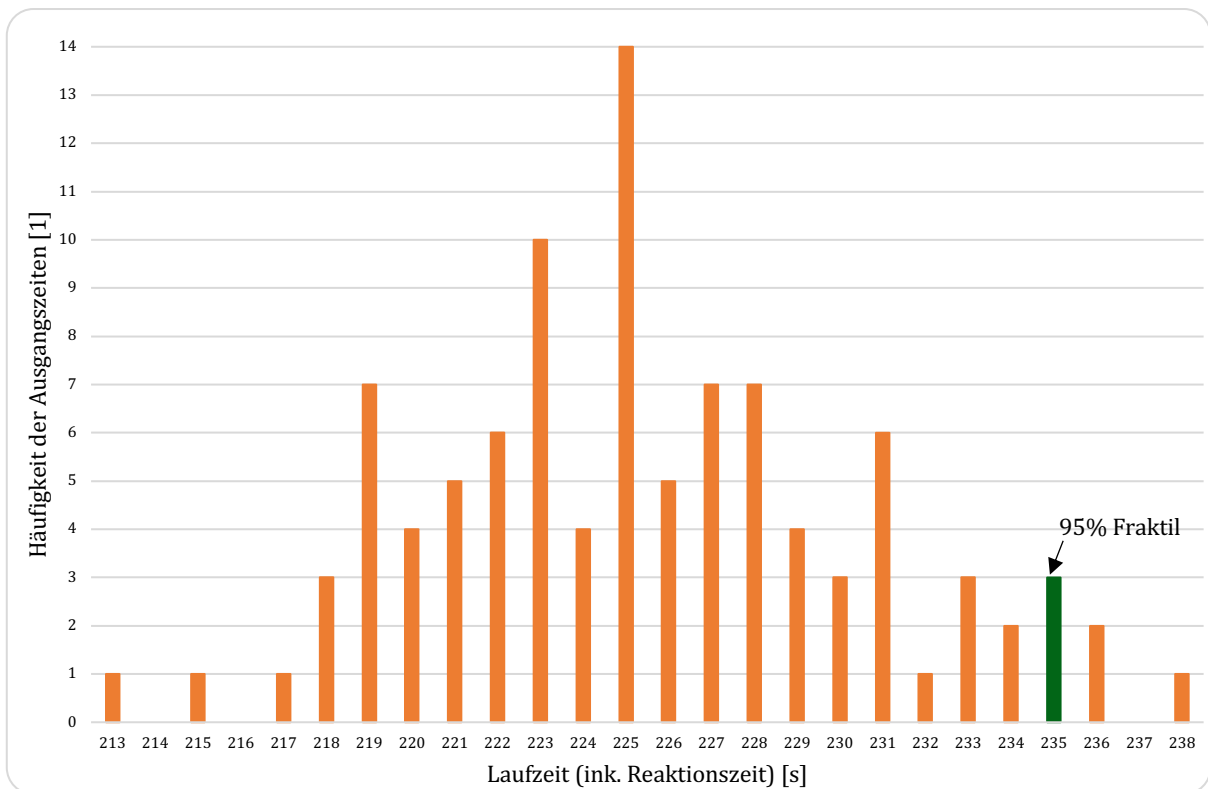


Abbildung 4-30: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2 – RO

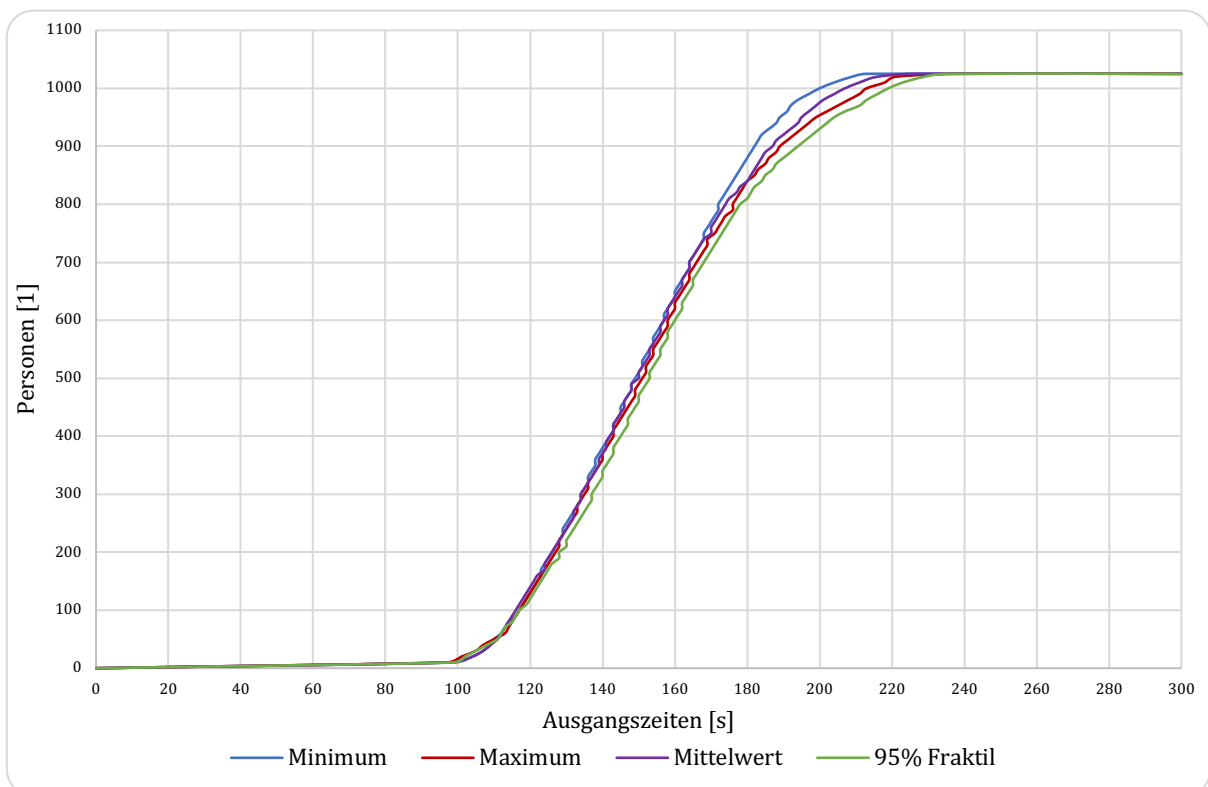


Abbildung 4-31: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen – S. 1.2 – RO

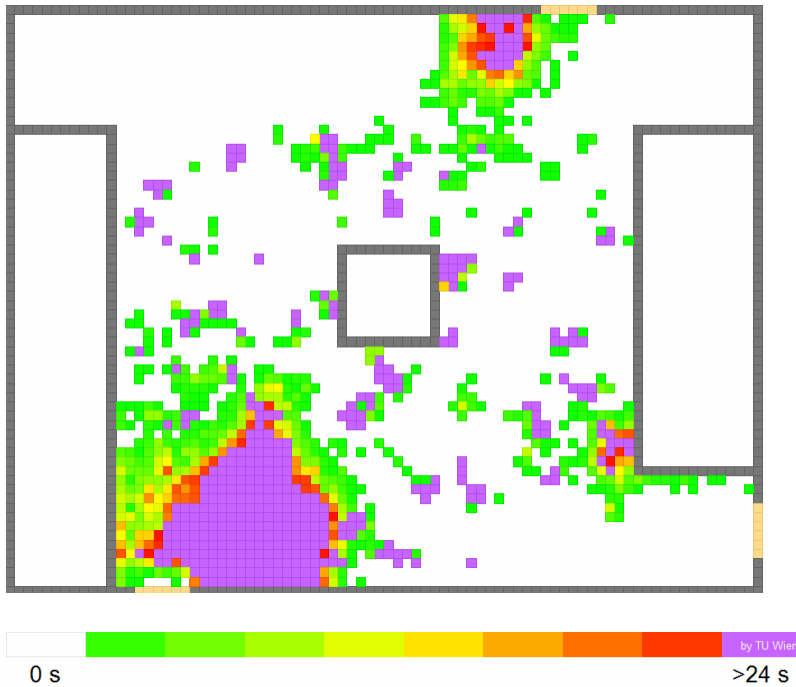


Abbildung 4-32: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf – S. 1.2-AT

Der RSET – Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 235 \text{ s} = 295 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 4 \text{ min } 55 \text{ s}$$

4.1.2.7 Szenario 1.3 – GB

Maximale Personenanzahl $n_{\text{Personen}} = 342$ Personen, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29 \text{ m}$ und die kleinste Breite des Ausgangs $b_{\text{Engstelle, min}} = 1,7 \text{ m}$. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0 \text{ Personen/m}^2$, so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3, die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2 \text{ Personen/(m}\cdot\text{s)}$ und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6 \text{ m/s}$.

Die Laufzeit t_{Lauf} kann gemäß der Gleichung (Gl. 3-5) bestimmt werden:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{342}{1,2 \times 1,7} + \frac{29,0}{0,6} = 216 \text{ s}$$

Der RSET – Wert, d.h die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die

Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit laut (Gl. 2-16) bestimmt.

Entsprechend den in der Tabelle 3-6 zusammengestellten Dauern für die Detektion und die Reaktion errechnet sich t_{Flucht} wie folgt:

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 216 \text{ s} = 396 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 36 \text{ s}$$

4.1.2.8 Szenario 1.3 – AT

Die maximale Personenanzahl beträgt $n_{\text{Personen}} = 342$, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29$ und die kleinste Breite der Ausgänge $b_{\text{Engstelle, min}} = 2,5$ m. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0$ Personen/ m^2 , so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3 die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2$ Personen/(m·s) und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6$ m/s.

Für die Laufzeit t_{Lauf} erhält man laut (Gl. 3-5) somit:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{342}{1,2 \times 2,5} + \frac{29,0}{0,6} = 162 \text{ s}$$

Somit setzt sich der RSET Wert aus der reinen Laufzeit, der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer gemäß (Gl. 2-16) zusammen

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 162 \text{ s} = 342 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 42 \text{ s}$$

4.1.2.9 Szenario 1.3 – RO

Die maximale Personenanzahl beträgt $n_{\text{Personen}} = 342$, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29$ m und die kleinste Breite des Ausgangs $b_{\text{Engstelle, min}} = 2,4$ m. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0$ Personen/ m^2 , so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3 die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2$ Personen/(m·s) und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6$ m/s.

Für die Laufzeit t_{Lauf} erhält man somit:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{342}{1,2 \times 2,4} + \frac{29,0}{0,6} = 167 \text{ s}$$

Der RSET-Wert, d.h die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit laut (Gl. 2-16) bestimmt.

Entsprechend den in der Tabelle 3-6 zusammengestellten Dauern für die Detektion und die Reaktion errechnet sich t_{Flucht} wie folgt:

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 167 \text{ s} = 347 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 47 \text{ s}$$

4.2 Brandszenario 2 – Brandherd links

4.2.1 Ergebnisse der Brandsimulation

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verrauchung der Halle im Zeitraum der ersten 6 Minuten. In der Abbildung 4-33 ist der Blick auf den Eingang gerichtet, wobei der Brand auf der linken Seite der Halle (rechte Seite Abbildung) stattfindet. Der Rauch breitet sich in der Anfangsphase gleichmäßig unter der Hallendecke aus. Zu erkennen ist, dass der Rauch nach Erreichen der seitlichen Wände absinkt, vorwiegend in der Hallenhälfte mit der Bühne (siehe Zeitpunkt 180-240 s).

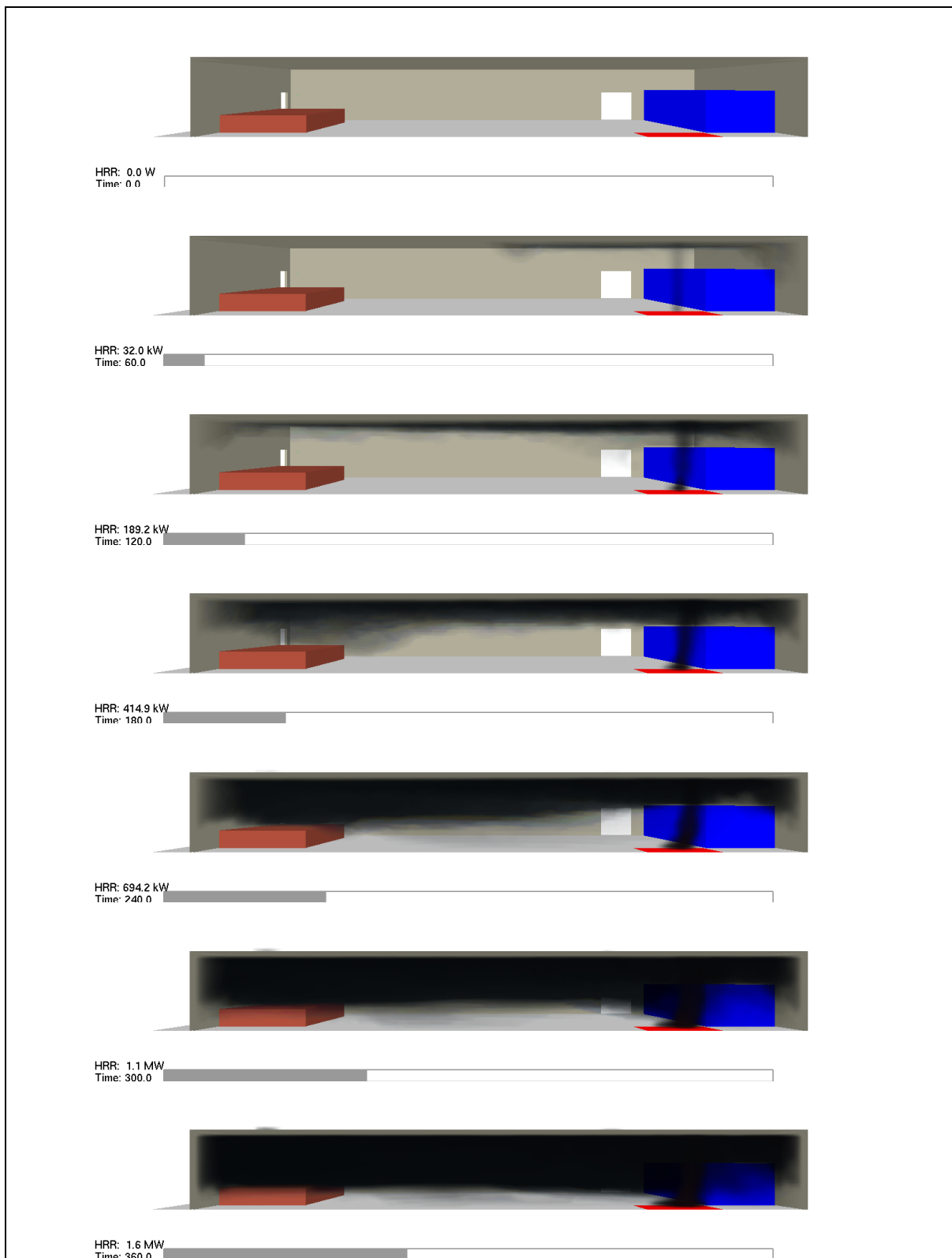


Abbildung 4-33: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle – Brandszenario 2

In der Abbildung 4-34 ist der Blick auf die Bühne und den Ausgang 1 gerichtet, sodass alle Ausgänge zu sehen sind. Zu erkennen ist, dass zu Beginn der Evakuierung (siehe Zeitpunkt 0s bis 120s) alle Ausgänge für die Entfluchtung zugänglich sind und die Evakuierung durch die Ausgänge nicht durch den Brand behindert wird.

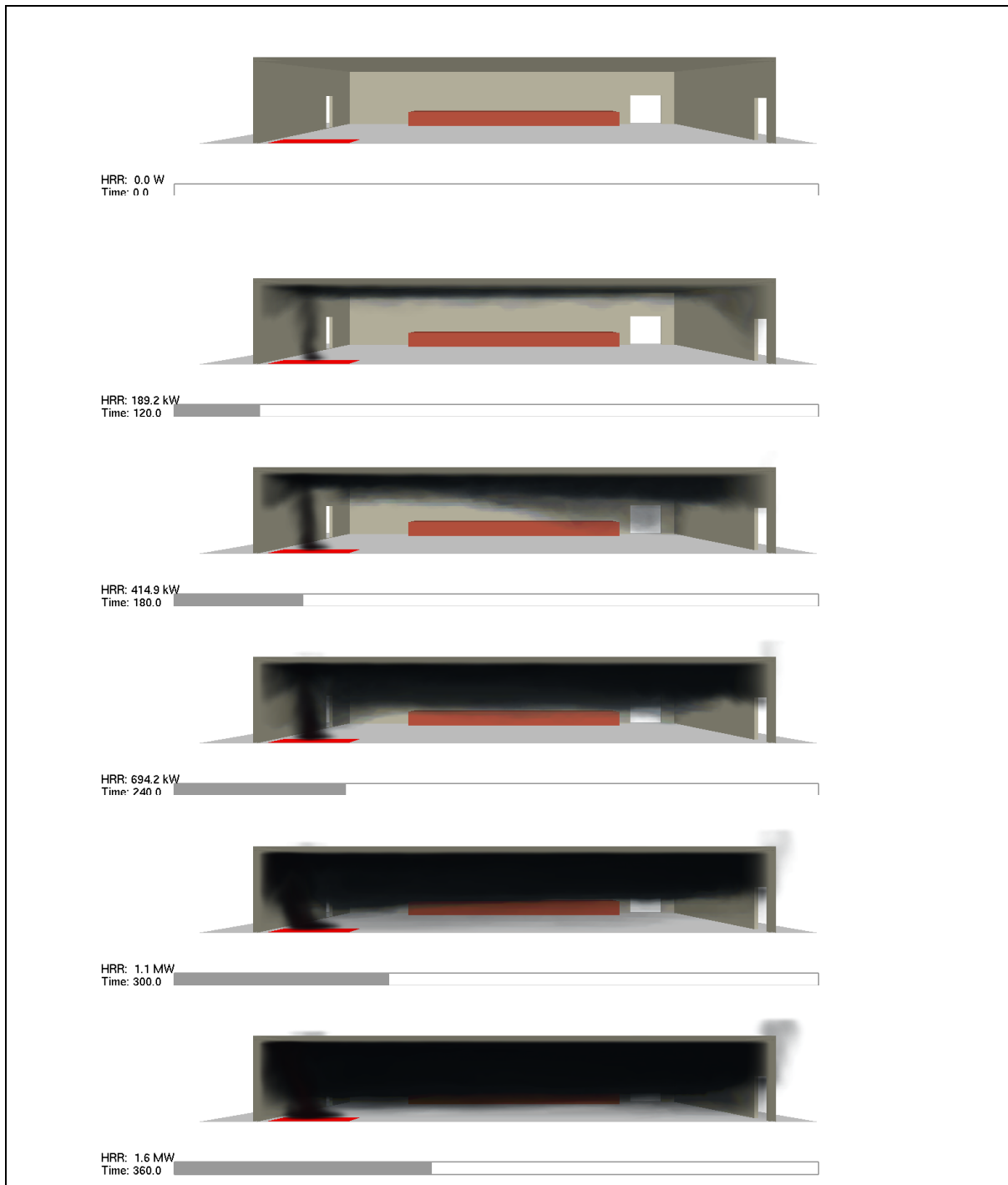


Abbildung 4-34: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle Blickrichtung Bühne- Brandszenario 2

Wie schon aus den grafischen Auswertungen ersichtlich, sinkt der Rauch in der Halle innerhalb von wenigen Minuten ab. Ähnlich wie bei Brandszenario 1 werden für die Bestimmung des ASET-Wertes die numerischen Ergebnisse an den Auswertepositionen analysiert. Abbildung 4-35, Abbildung 4-36, Abbildung 4-37 und zeigen einen groben Überblick über die Entwicklung der Temperaturen, der Kohlendioxidkonzentration und der Rußdichte in einer Höhe von 2,5 m über der FOK an allen Auswertepositionen.

Die Abbildung 4-35 zeigt den Überblick über die Entwicklung der Temperaturen an den Auswertepositionen A bis G in der Halle. Bei einer Zeitspanne von 900 s entwickeln sich Maximaltemperaturen von 95 °C bis 160 °C. Das Maximum von 160 °C wird an der Auswerteposition A erreicht. Die Grenzbedingung von 45 °C wird nach ca. 300 s überschritten.

In der Abbildung 4-36 ist die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in 2,5 m über der FOK an den Auswertepositionen A bis G zu sehen. Die Grenzbedingung von 1 Vol. %, was einem Molanteil von 0,01 [mol/mol] entspricht, wird erst nach 460 s überschritten.

Die Abbildung 4-37 zeigt den Überblick über die Entwicklung der Rußkonzentration an den Auswertepositionen A bis G in der Halle. Die Grenzbedingung von 0,1 m⁻¹ Rauchdichte, was einer Rußkonzentration von 0,000025 kg/m³ entspricht, wird nach ungefähr 240 s überschritten.

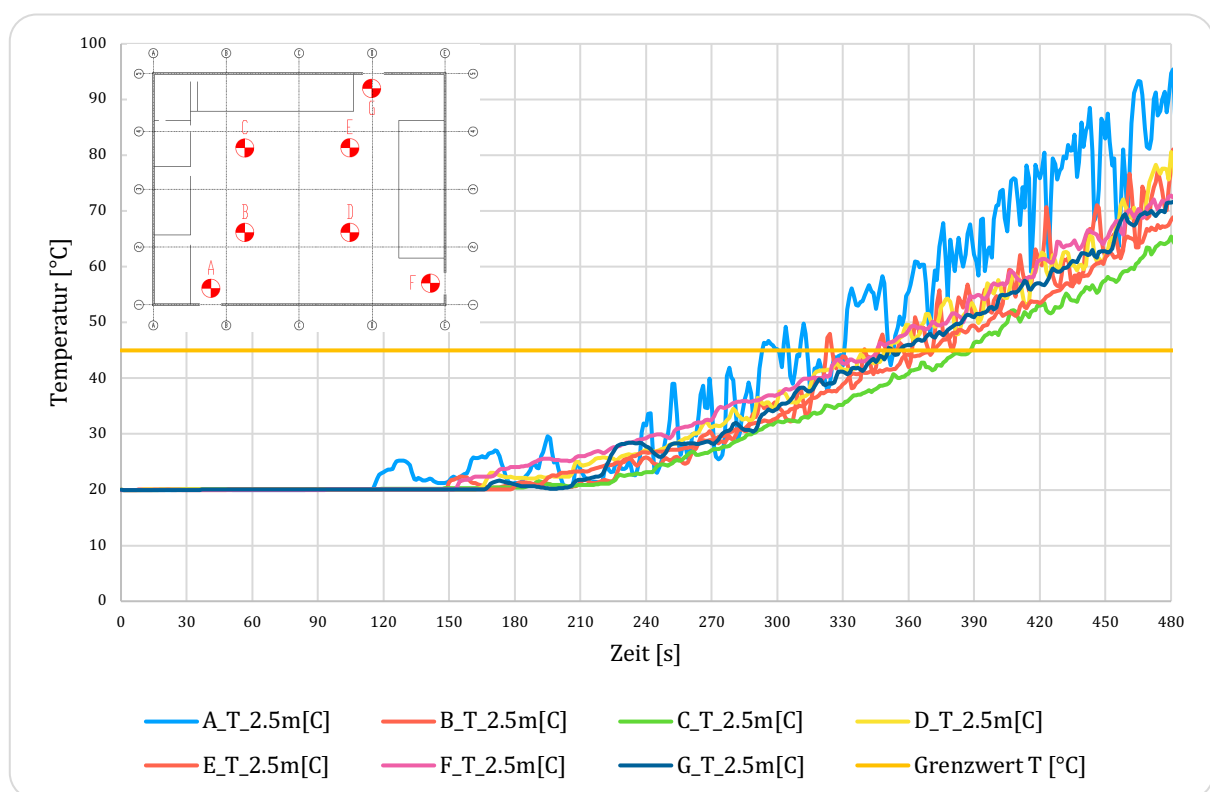


Abbildung 4-35: Zeitentwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2

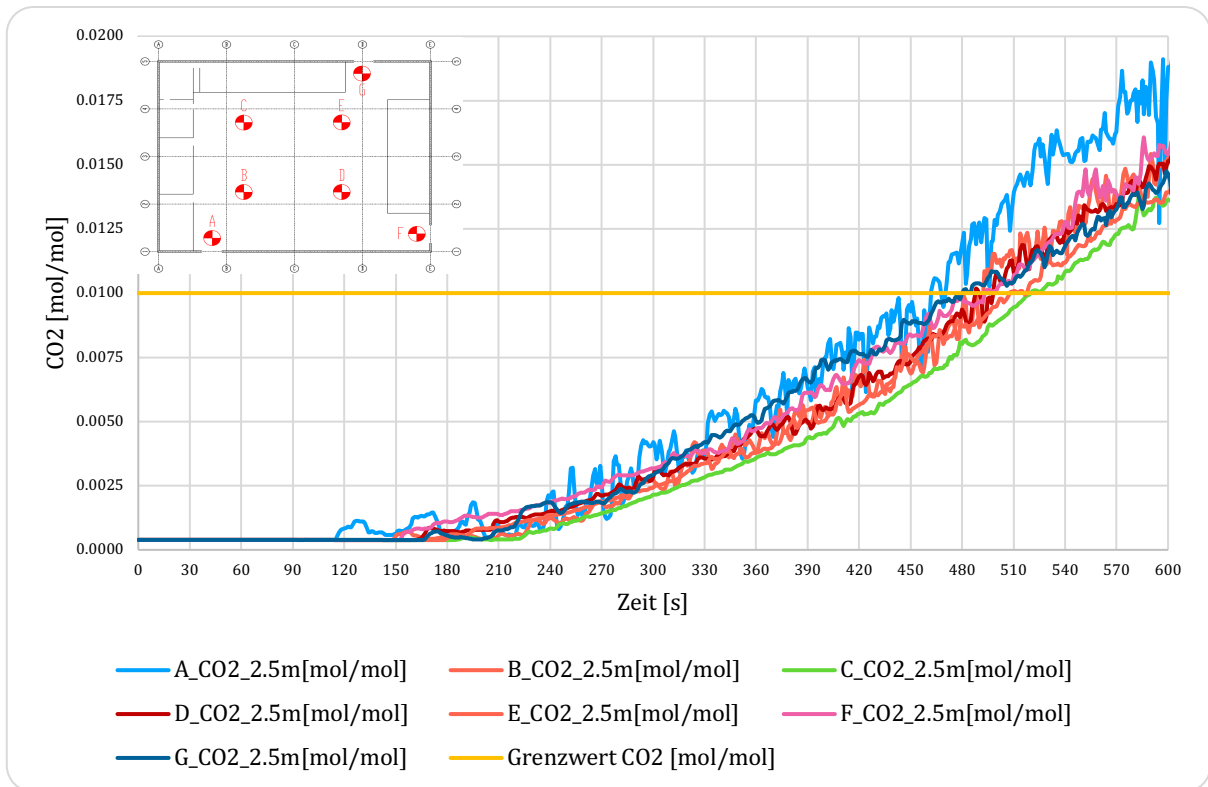


Abbildung 4-36: Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in 2,5 m Höhe der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2

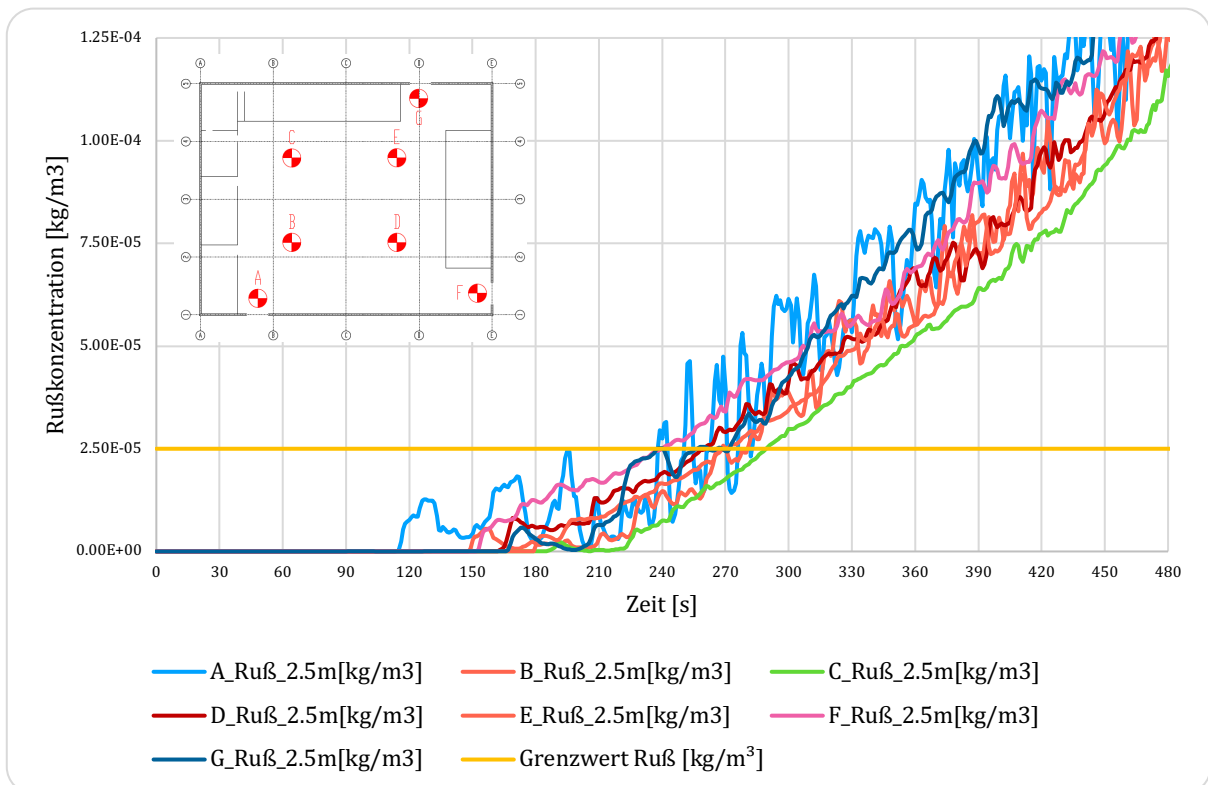


Abbildung 4-37: Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, ist die Rußkonzentration maßgebend für die Bestimmung der ASET-Werte, weil die Grenzbedingung für die Rauchdichte zuerst

erreicht wird. Um den ASET Wert zeitlich zu quantifizieren, werden die numerischen Ergebnisse der Rußkonzentration an den Auswertepositionen A, F und G, näher analysiert.

Die Abbildung 4-38 zeigt die Entwicklung der Rußkonzentration an der Position A (vor dem Eingang) in verschiedenen Höhen über der FOK. Zu erkennen ist, dass die Rußkonzentration zwischen 2,0 m und 2,5 m über der FOK schwankend ist und die Grenzbedingung von $0,00025 \text{ kg/m}^3$ in einer Höhe von 2,5 m nach 240 s überschritten wird. Nach ein paar Sekunden sinkt sie unter die Grenze. Nach ca. 280 s steigt sie wieder über die Grenze und sinkt nicht mehr unter sie.

Die Abbildung 4-39 zeigt die Entwicklung der Rußkonzentration an der Position F (vor dem Ausgang 1) in verschiedenen Höhen über der FOK. Zu erkennen ist, dass die Grenzbedingung der Rußkonzentrationen fast gleichzeitig, nach 240 s, an allen Höhen über der FOK erreicht wird.

In der Abbildung 4-40 ist die Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen über der FOK an der Auswerteposition G (vor dem Ausgang 2) zu sehen. Die Grenzbedingung der Rußkonzentration wird in einer Höhe von 2,5 m nach ca. 240 s erreicht.

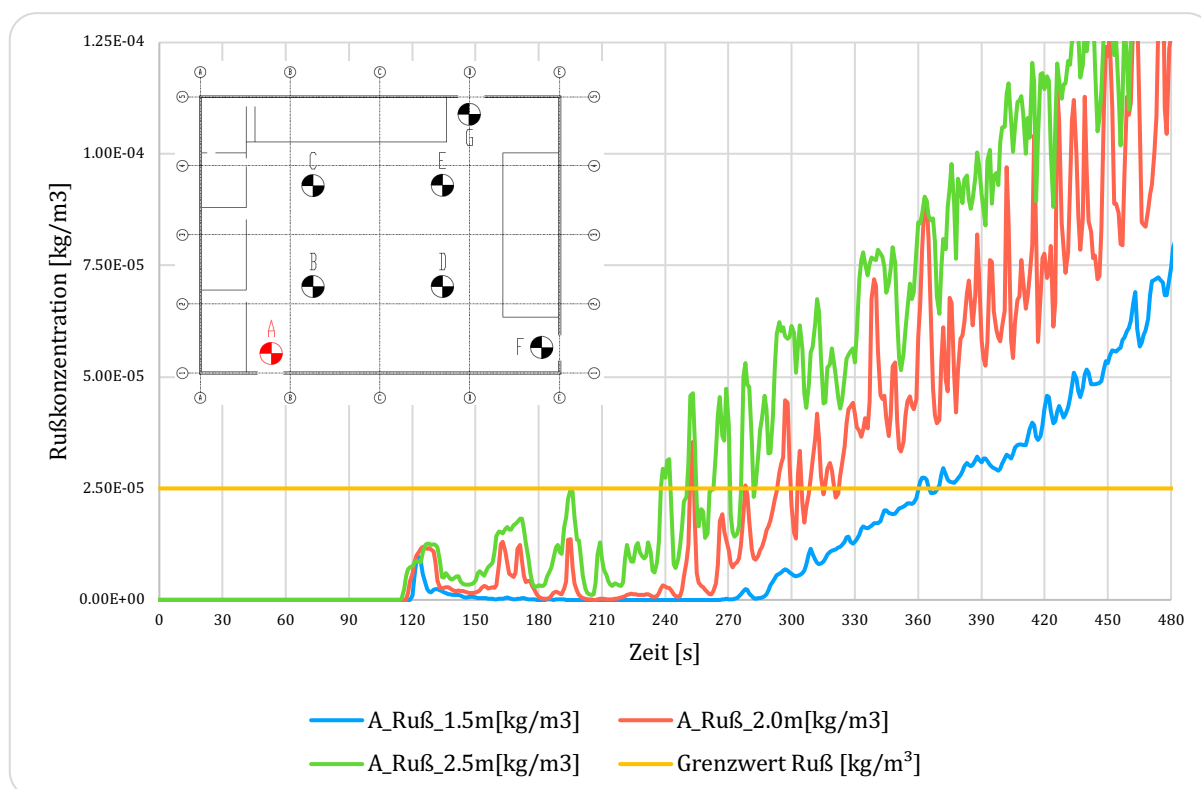


Abbildung 4-38: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 2

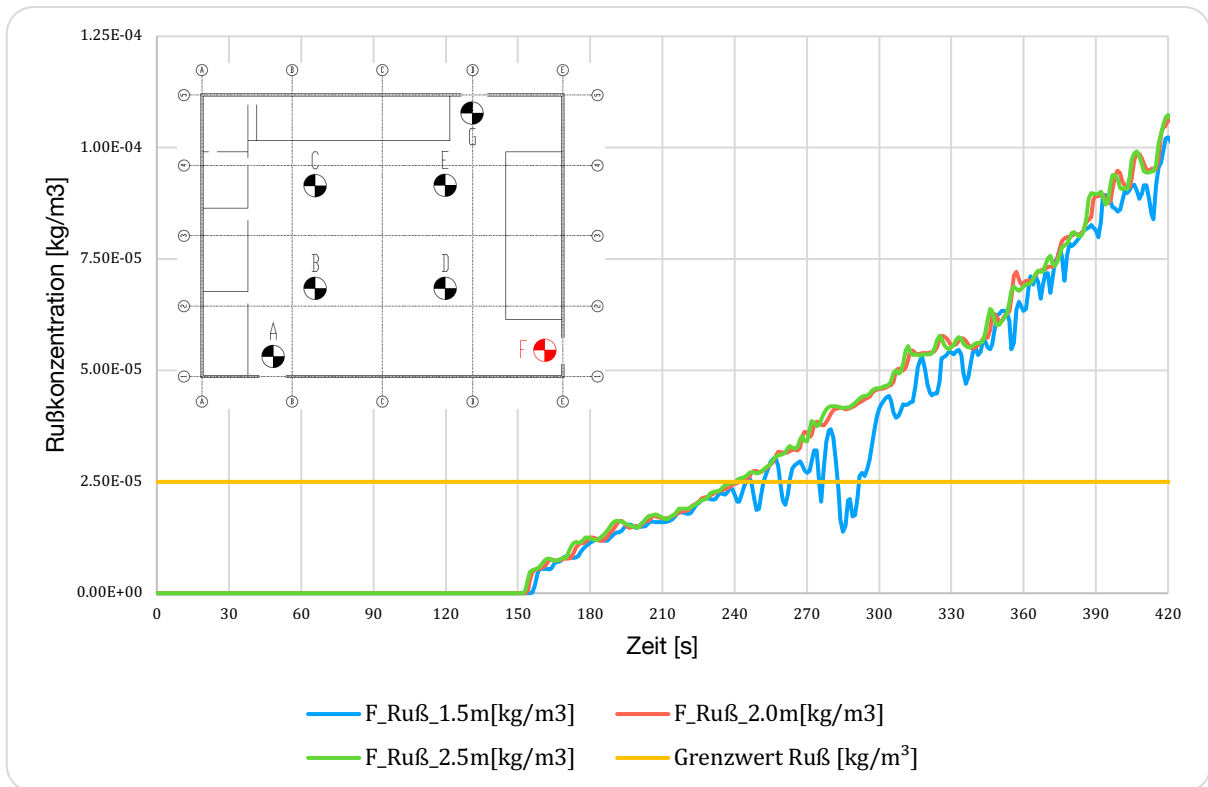


Abbildung 4-39: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandscenario 2

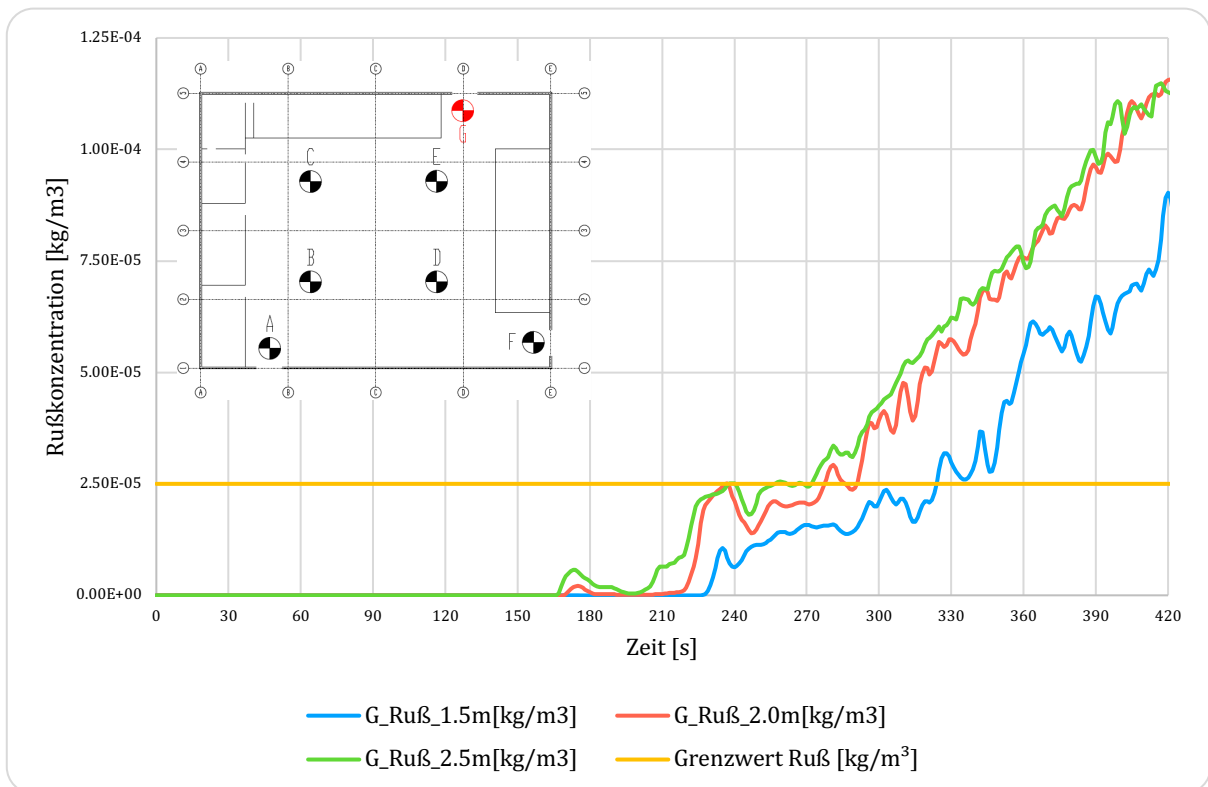


Abbildung 4-40: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandscenario 2

Aus den Ergebnisdarstellungen ergibt sich als relevante Grenzbedingung die Rauchdichte auf einer Höhe von 2,5 m über der FOK an der Auswerteposition F.

Die Abbildung 4-41 zeigt den Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F.

Der resultierende ASET Wert aus der Berechnung mit dem CFD Code FDS für das zweite Brandszenario beträgt somit:

ASET = 240 s (4,0 min)

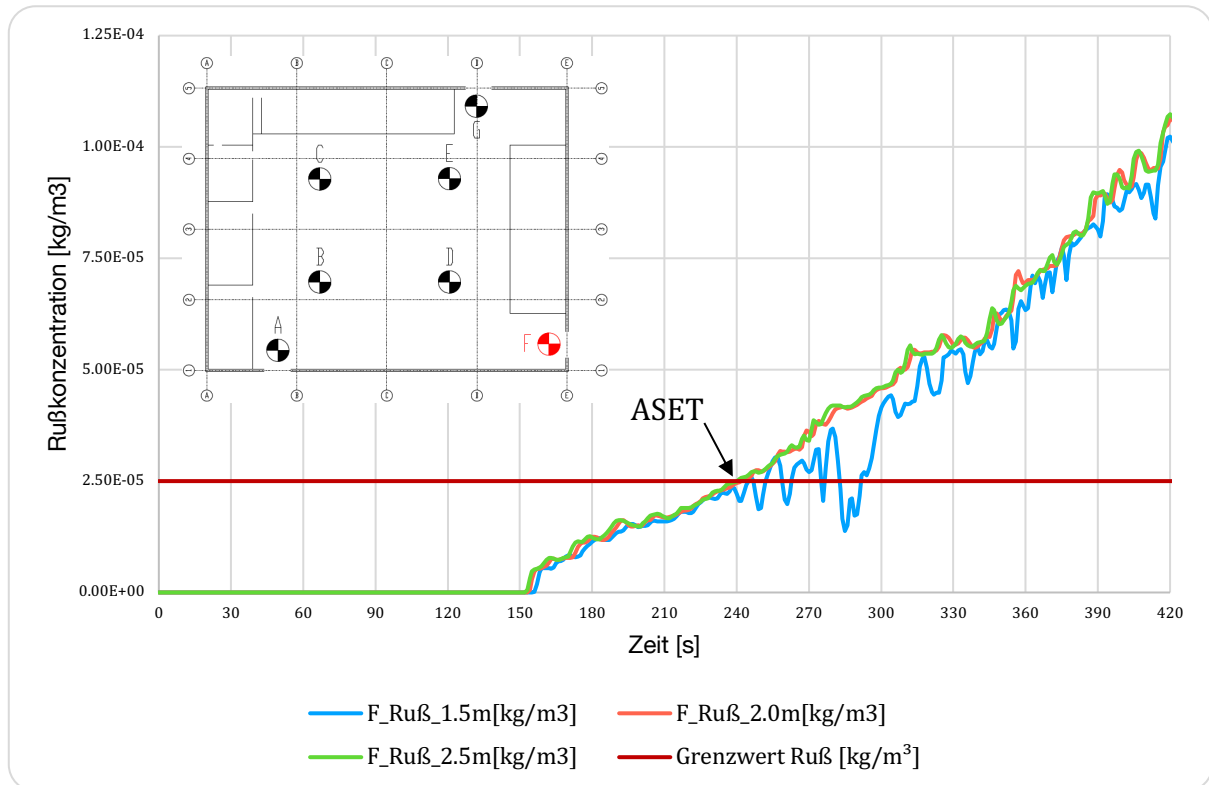


Abbildung 4-41: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F – Brandszenario 2

4.2.2 Ergebnisse der Evakuierung

4.2.2.1 Szenario 2.1 – GB

In der Abbildung 4-42 wird der Ablauf der Evakuierung zu verschiedenen Zeitpunkten bei einem Simulationsverlauf dargestellt, welcher der 95% Fraktile der Zeit entspricht. Die Agenten werden mit Frabkodierungen dargestellt, die den physikalischen und psychischen Kräften entsprechen. Die Verdichtungen im Bereich der Ausgänge bilden sich nach wenigen Minuten nach dem Bewegungsbeginn (siehe Zeitpunkt 150-180 s).

Das Programm FDS+EVAC legt die Personeneigenschaften und den Aufstellort der Agenten zufällig fest. Zur Absicherung der Ergebnisse werden 100 Simulationsläufe durchgeführt. Die Abbildung 4-43 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus den 100 Simulationsläufen.

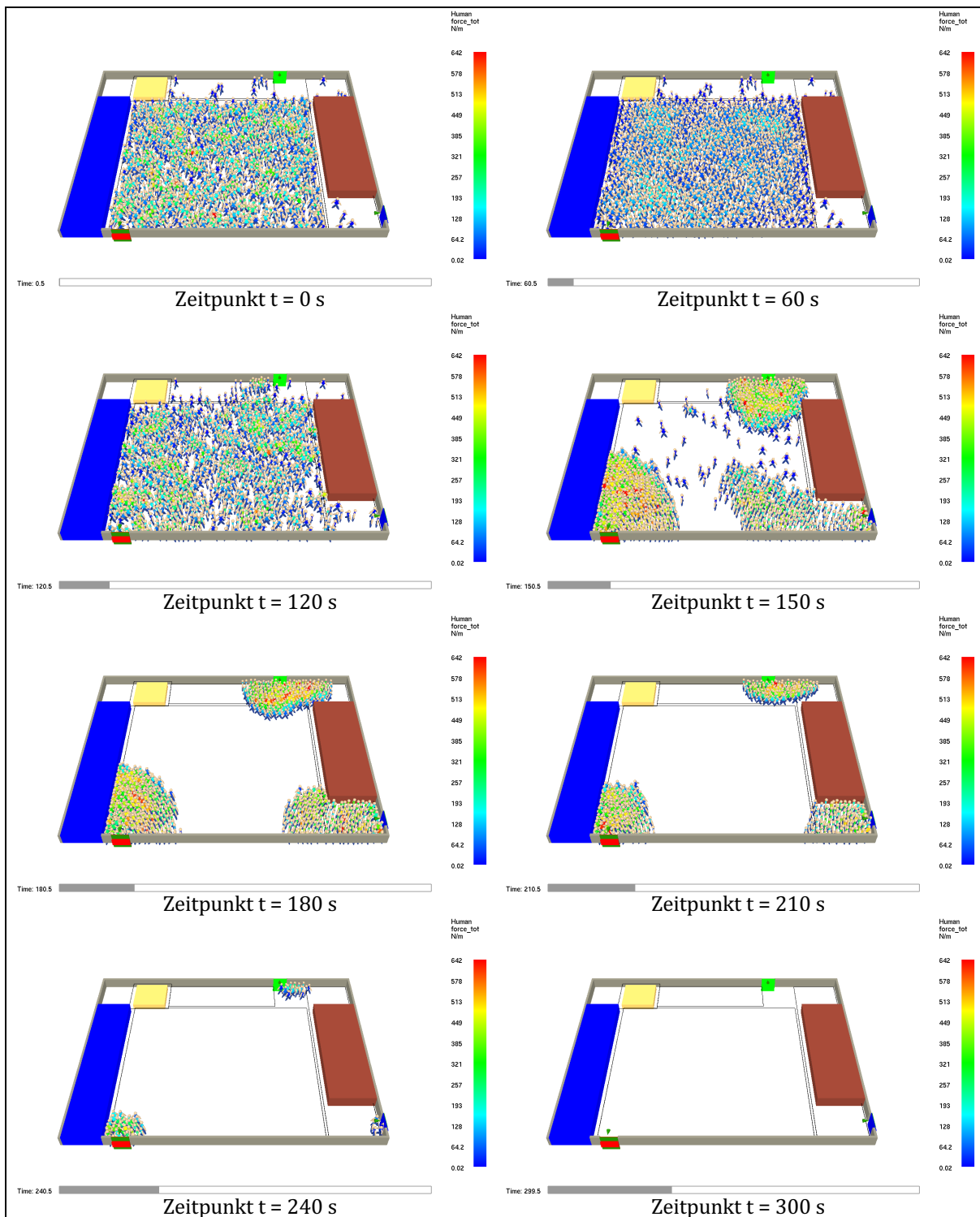


Abbildung 4-42: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 2.1 – GB

Die Abbildung 4-44 zeigt den kumulativen Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus den 100 Simulationläufen

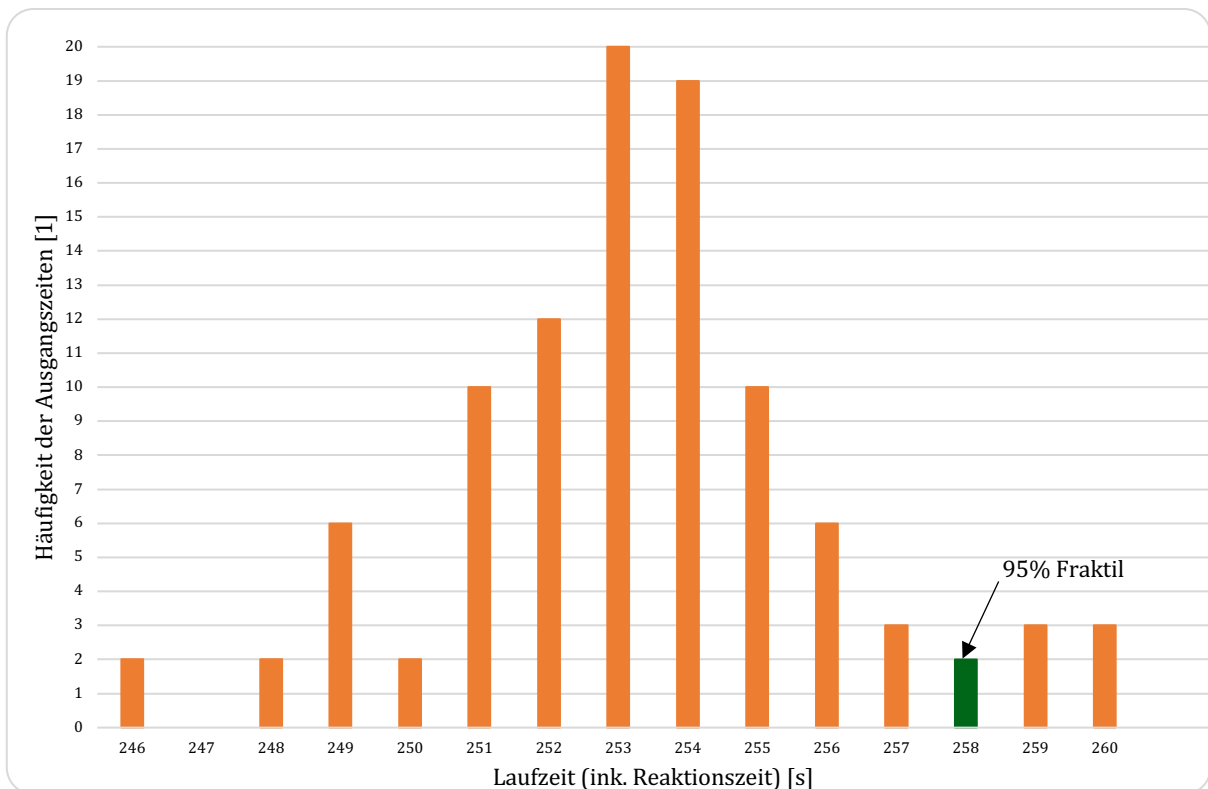


Abbildung 4-43: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% - S. 2.1 – GB

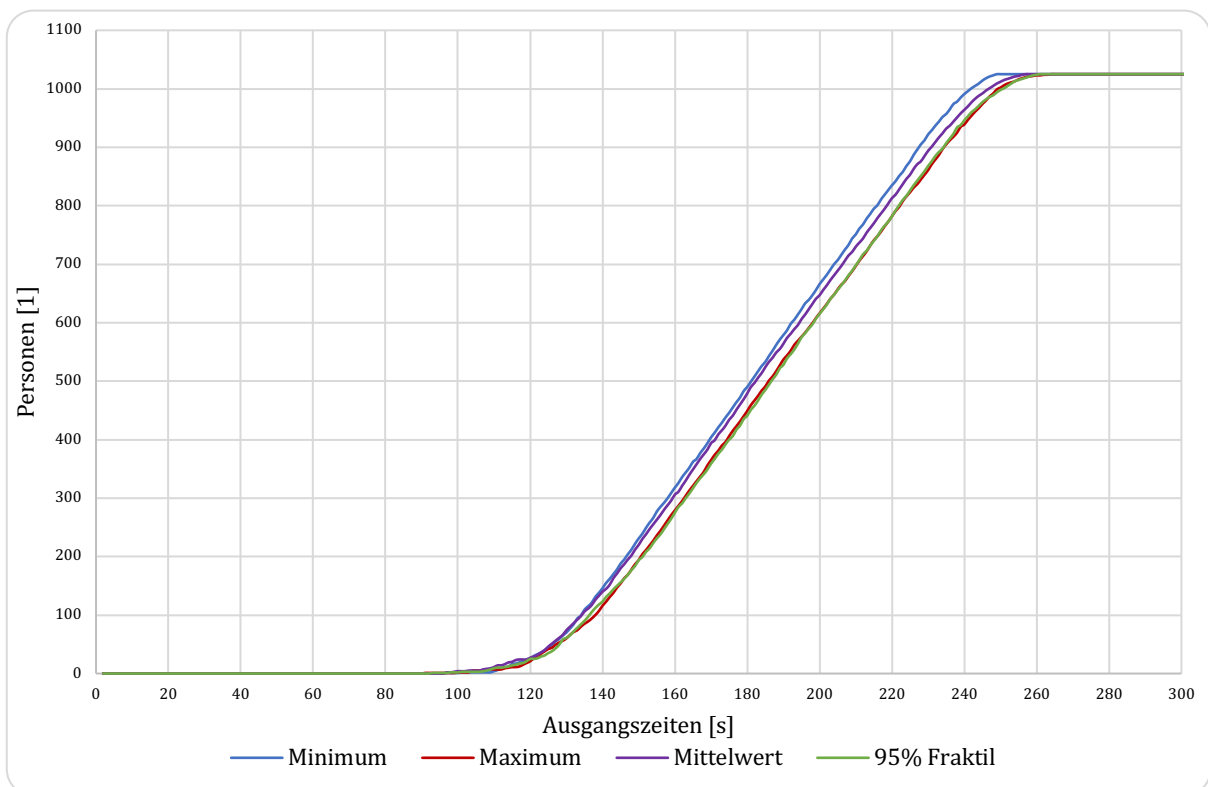


Abbildung 4-44: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen – S. 2.1 – GB

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-5 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-5: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien und Rumänien

	Zeit [s]
Mittelwert	253,3
Standardabweichung	2,79
Minimum	224,9
Maximum	260,4
95% Fraktile	257,9

Die Abbildung 4-45 zeigt die Entwicklung des Staus im Bereich der Ausgänge. In der Abbildung 4-45 sind die Gehspuren der Agenten für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig in Ausgangsrichtung bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bildet sich der Stau vor dem Eingang und Ausgang 2. Es ist zu erkennen, dass die Wartezeiten vor dem Ausgang 1 kürzer sind. Die Farbcodierungen der Gehspuren repräsentieren die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

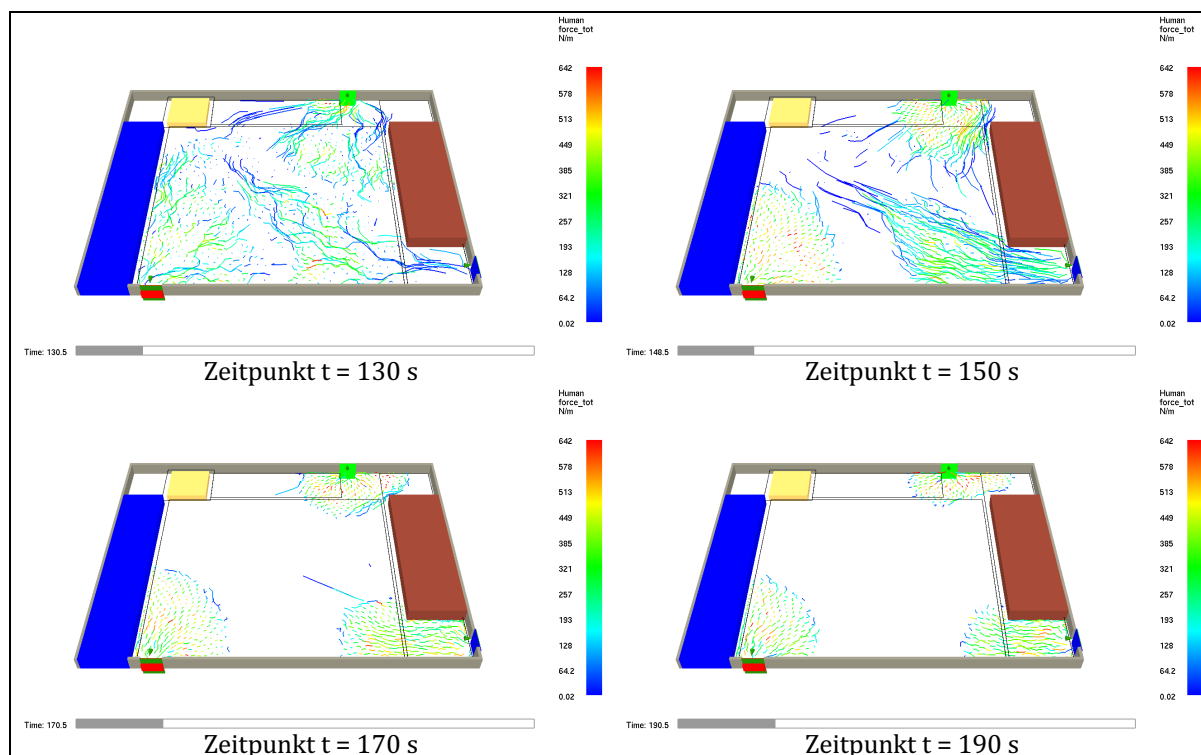


Abbildung 4-45: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1-GB

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Ähnlich wie beim Brandszenario 1 wird die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

Bei der Anwendung des Simulationsmodells FDS+EVAC wird bereits die Reaktionsdauer mitberücksichtigt, somit ist zu der mit dem Modell FDS+EVAC ermittelten Zeitdauer

(Verwendung der 95 % Fraktile) nur die Dauer für die Detektion zu addieren, um t_{Flucht} zu berechnen.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 258 \text{ s} = 318 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 18 \text{ s}$$

4.2.2.2 Szenario 2.1 – AT

Die Abbildung 4-46 zeigt den Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen. Wie bei den anderen Fällen bilden sich auch hier die Personenverdichtungen nach wenige Minuten nach dem Bewegungsbeginn im Eingangsbereich und im Bereich des Ausgangs 2 (siehe Zeitpunkt $t = 150 \text{ s}$).

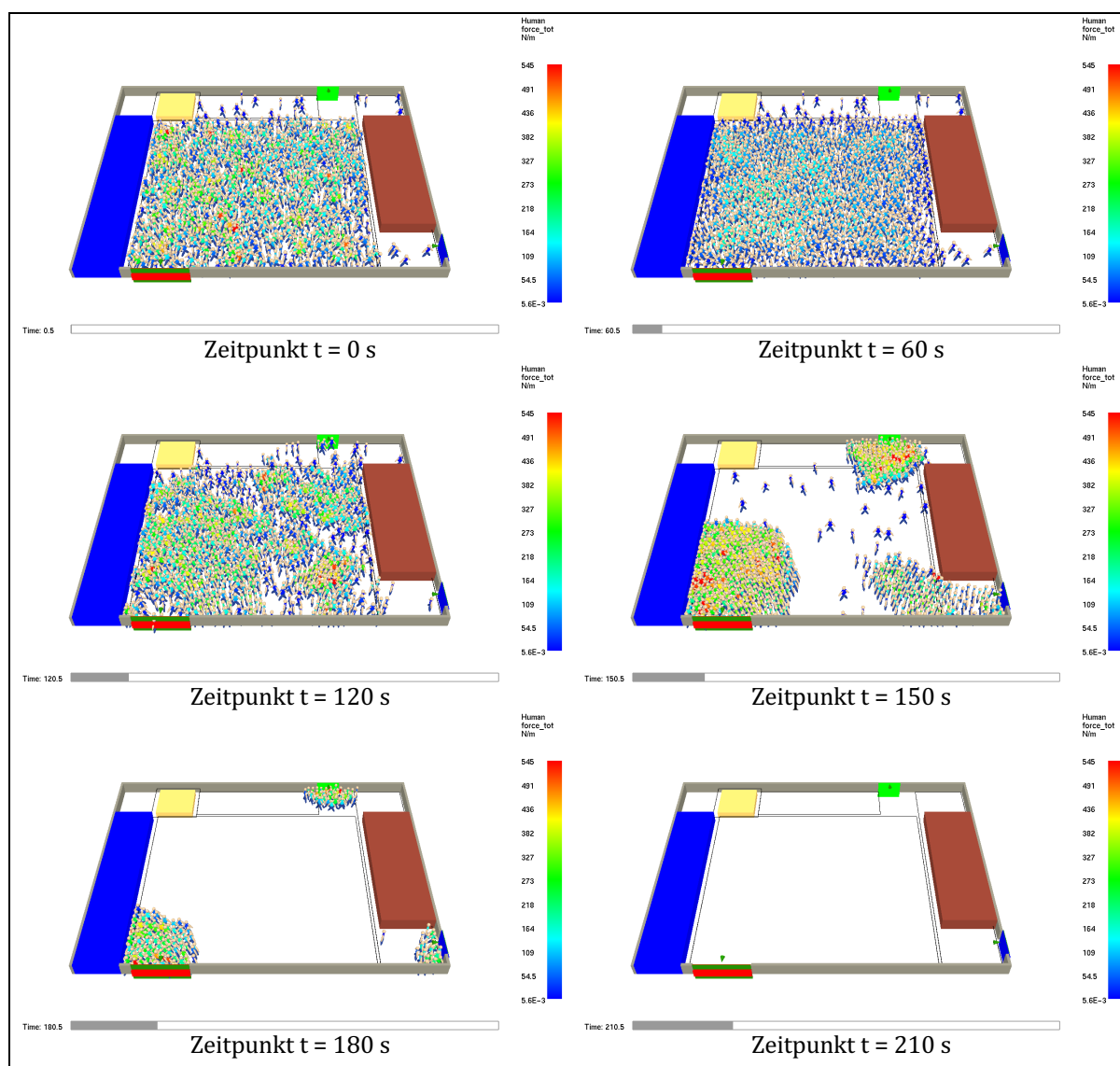


Abbildung 4-46: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S 2.1-AT

Die

Abbildung 4-47 und Abbildung 4-48 zeigen die Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) mit der Hervorhebung des 95% Fraktilwertes sowie den kumulativen Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen.

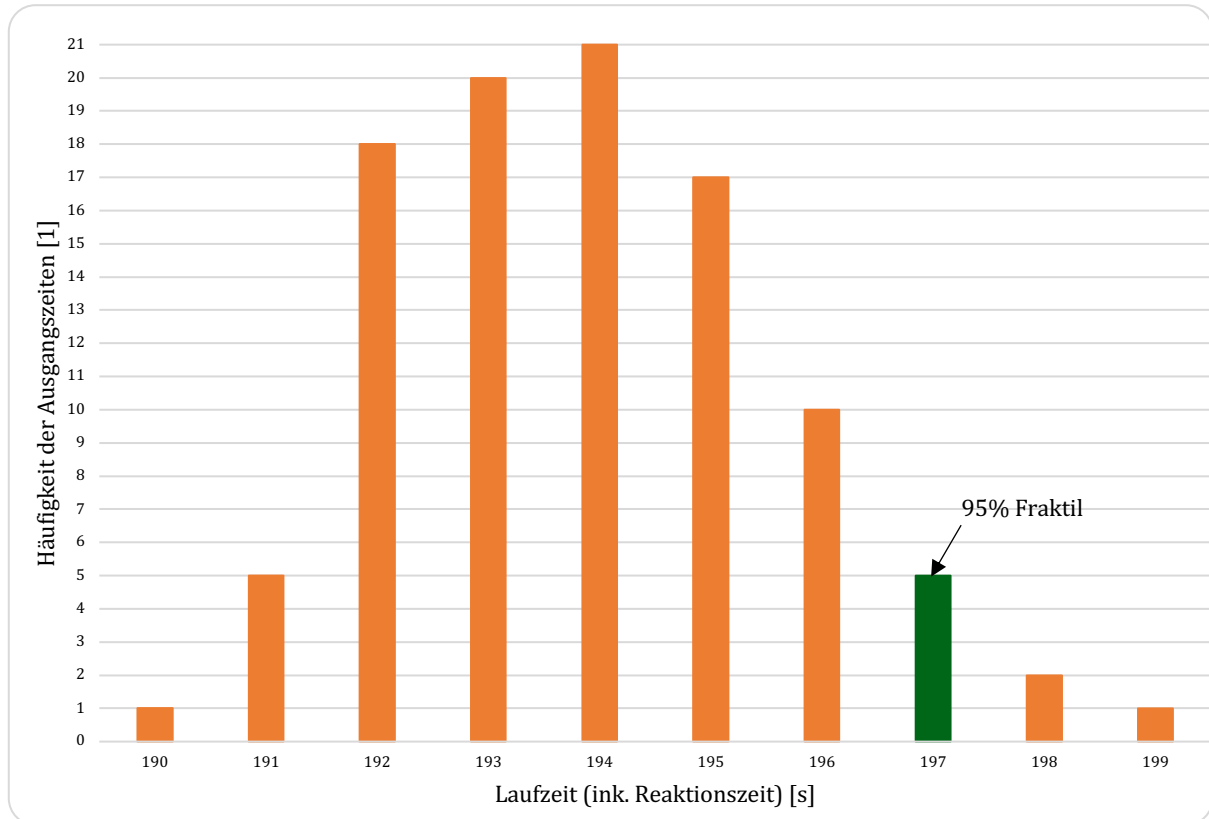


Abbildung 4-47: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S 2.1-AT

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-6 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-6: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich

	Zeit [s]
Mittelwert	193,9
Standardabweichung	1,72
Minimum	190,2
Maximum	198,8
95% Fraktile	196,7

Die Abbildung 4-49 zeigt die Entwicklung des Staus im Eingangsbereich sowie im Bereich des Ausgangs 2. In der Abbildung 4-49 sind die Gehspuren der Agenten für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 135 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bildet sich der Stau vor dem Eingang und im Bereich des Ausgangs 2. Die Farbcodierung der Gehspuren repräsentiert die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

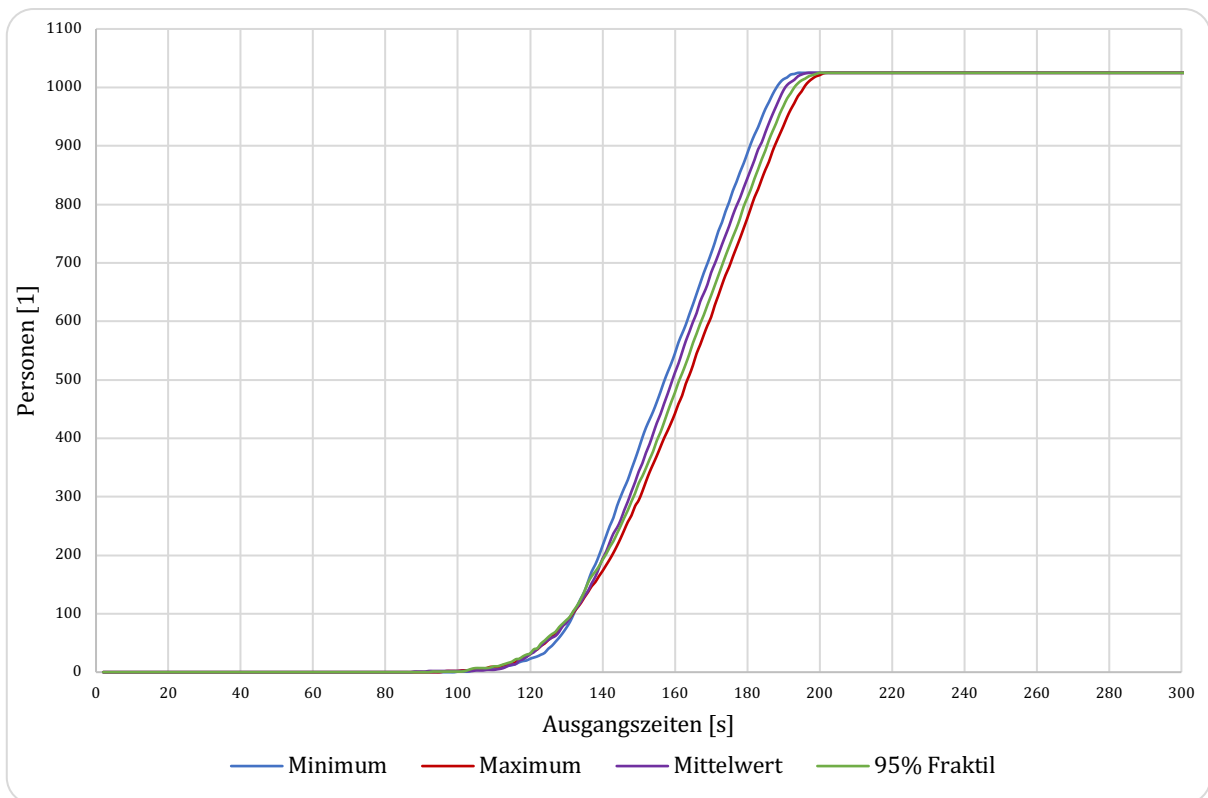


Abbildung 4-48: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen – S. 2.1 – AT

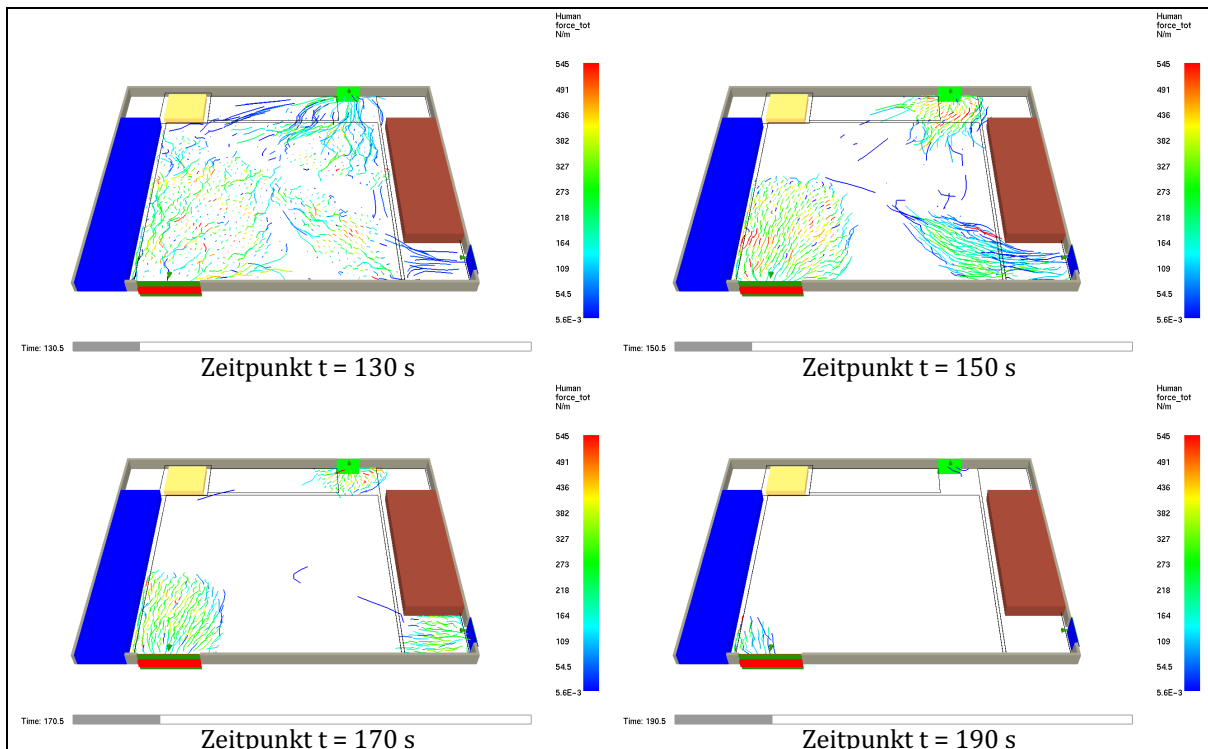


Abbildung 4-49: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1-AT

Der RSET-Wert, d.h. die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 197 \text{ s} = 257 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

RSET = 4 min 17 s

4.2.2.3 Szenario 2.1 – RO

In der Abbildung 4-50 wird der Ablauf der Evakuierung zu verschiedenen Zeitpunkten bei einem Simulationsverlauf dargestellt, welcher der 95% Fraktile der Zeit entspricht. Die Agenten werden mit Frabkoderungen dargestellt, die den physikalischen und psychischen Kräften entsprechen. Die Verdichtungen im Eingangsbereich und im Bereich des Ausganges 2 bilden sich nach wenige Minuten nach dem Bewegungsbeginn (siehe Zeitpunkt 150 s).

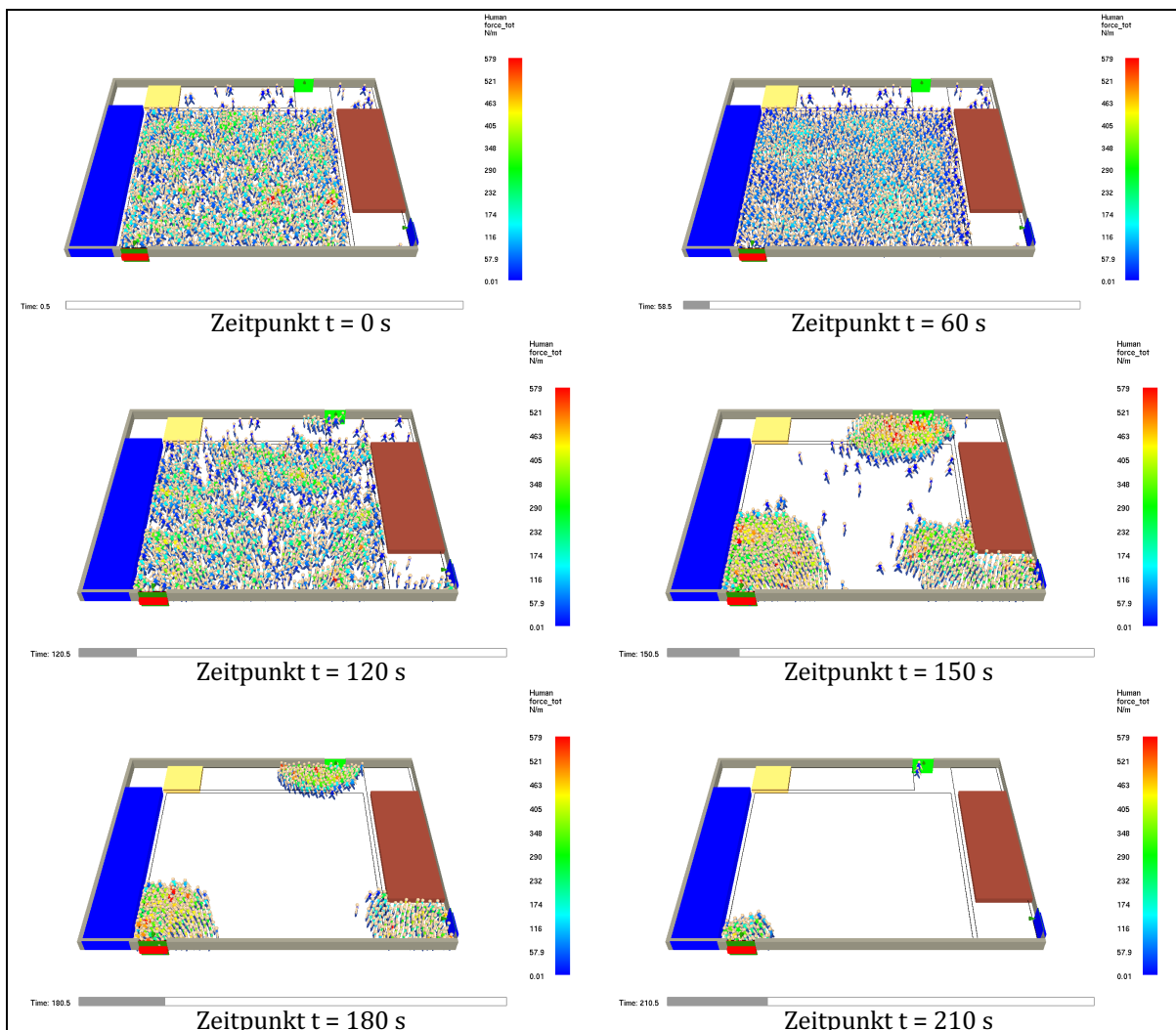


Abbildung 4-50: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 2.1-RO

Das Programm FDS+EVAC legt die Personeneigenschaften und den Aufstellort der Agenten zufällig fest. Zur Absicherung der Ergebnisse werden 100 Simulationsläufe

durchgeführt. Die Abbildung 4-51 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus den 100 Simulationsläufen.

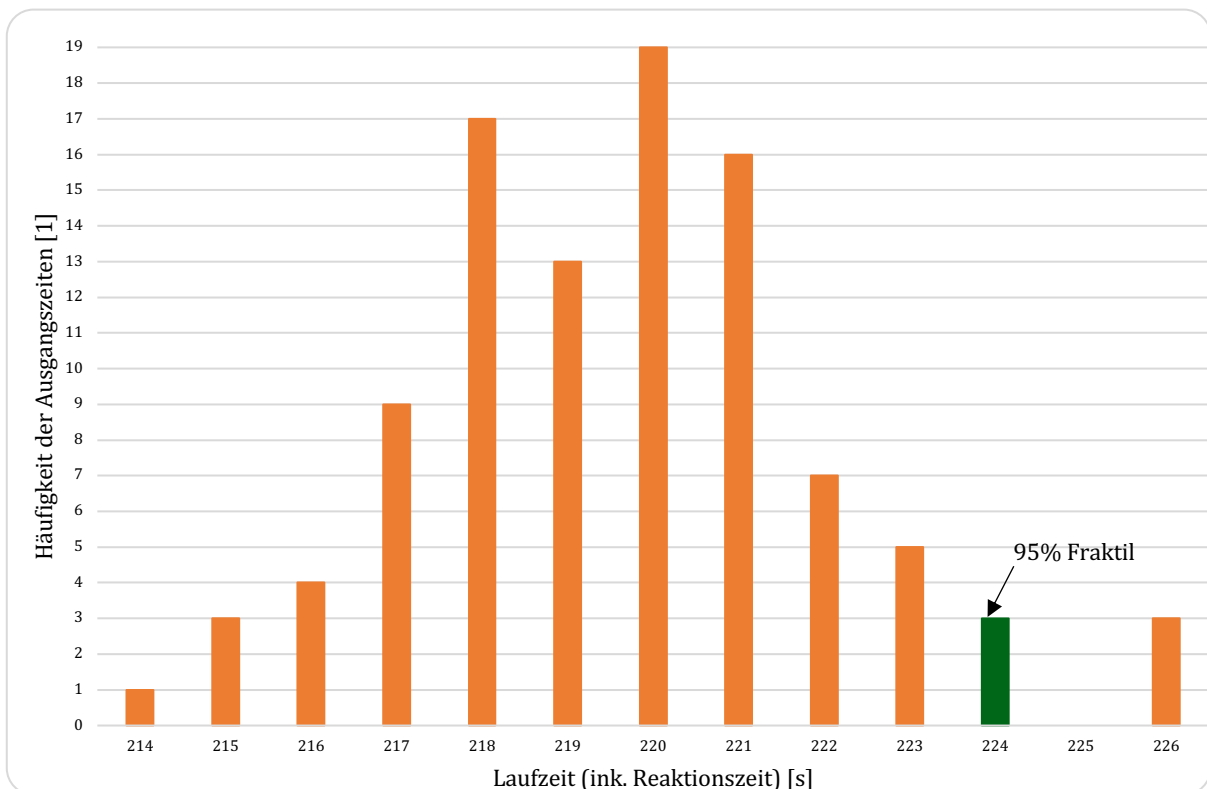


Abbildung 4-51: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% - S. 2.1-RO

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-7 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-7: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Rumänien

	Zeit [s]
Mittelwert	219,7
Standardabweichung	2,40
Minimum	213,7
Maximum	226,4
95% Fraktile	223,6

Die Abbildung 4-52 zeigt den kumulativen Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus den 100 Simulationsläufen.

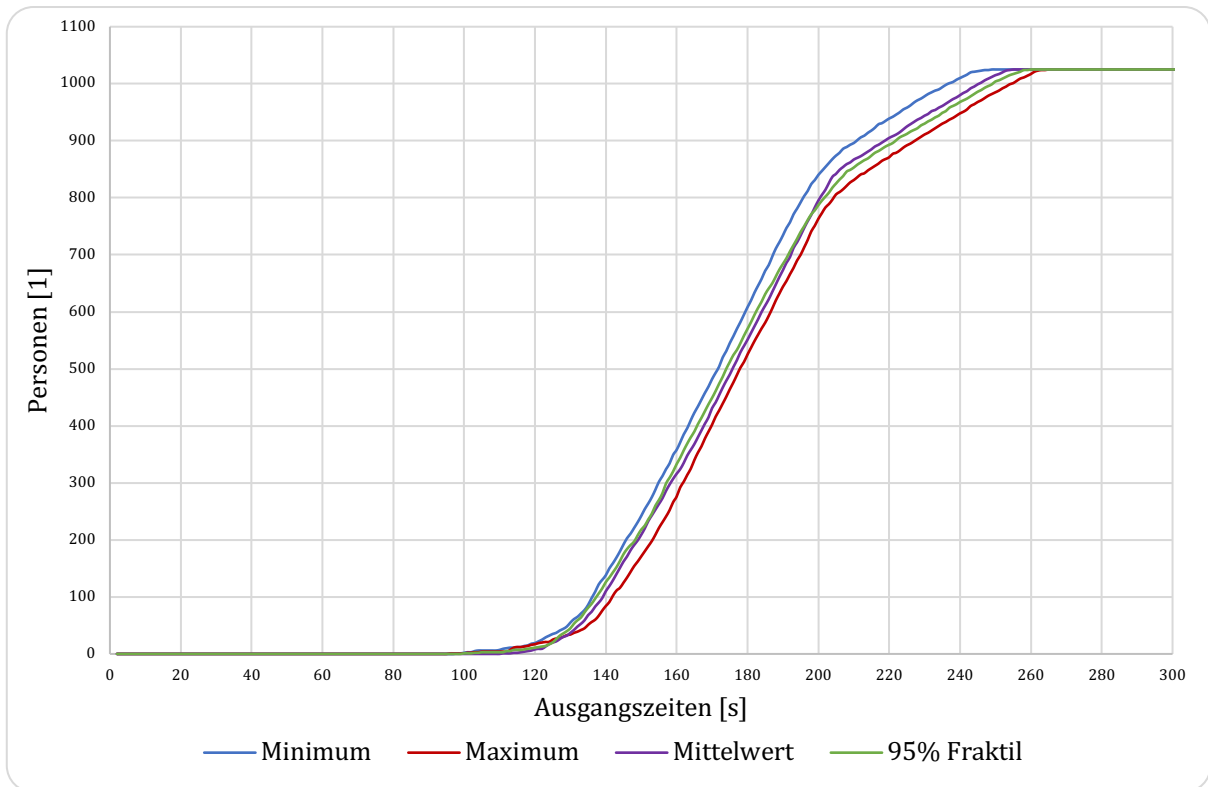


Abbildung 4-52: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen – S. 2.1 – RO

Die Abbildung 4-53 zeigt die Entwicklung des Staus im Bereich der Ausgänge. In der Abbildung 4-53 sind die Gehspuren der Agenten für die letzten 4 s dargestellt. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bildet sich der Stau vor dem Eingang und nach ca. 20 s im Bereich des hinteren Ausganges. Die Farbcodierung der Gehspuren repräsentiert die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

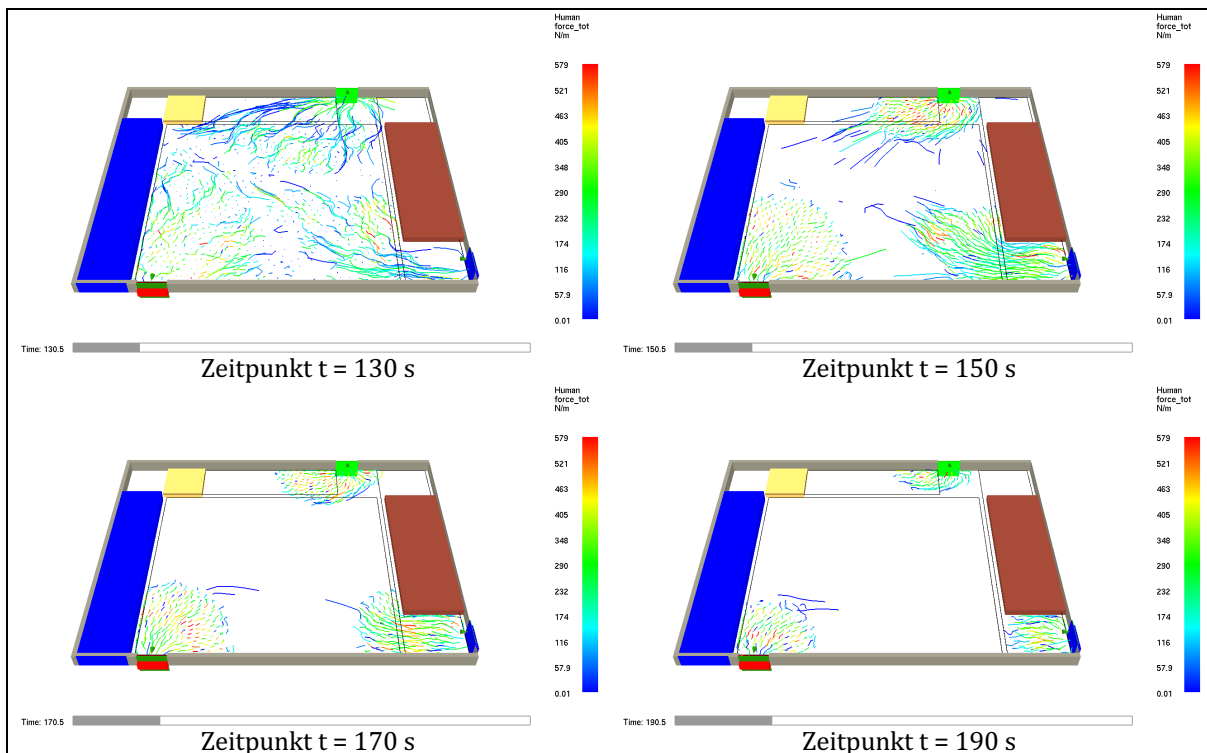


Abbildung 4-53: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1 – RO

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Ähnlich wie bei Brandszenario 1 wird die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

Bei der Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC wird bereits die Reaktionsdauer bei der Simulation mitberücksichtigt. Dadurch ist zu der mit dem Modell FDS+EVAC ermittelten Zeitdauer (Verwendung der 95 % Fraktile) nur die Dauer für die Detektion dazu zu addieren, um t_{Flucht} zu berechnen.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 224 \text{ s} = 284 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 55 \text{ s}$$

4.2.2.4 Szenario 2.2 – GB

Die Abbildung 4-54 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausganges 2.

Die Abbildung 4-55 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 234 s und 257 s, der Mittelwert beträgt 246 s und die 95 % Fraktile liegt bei 255 s.

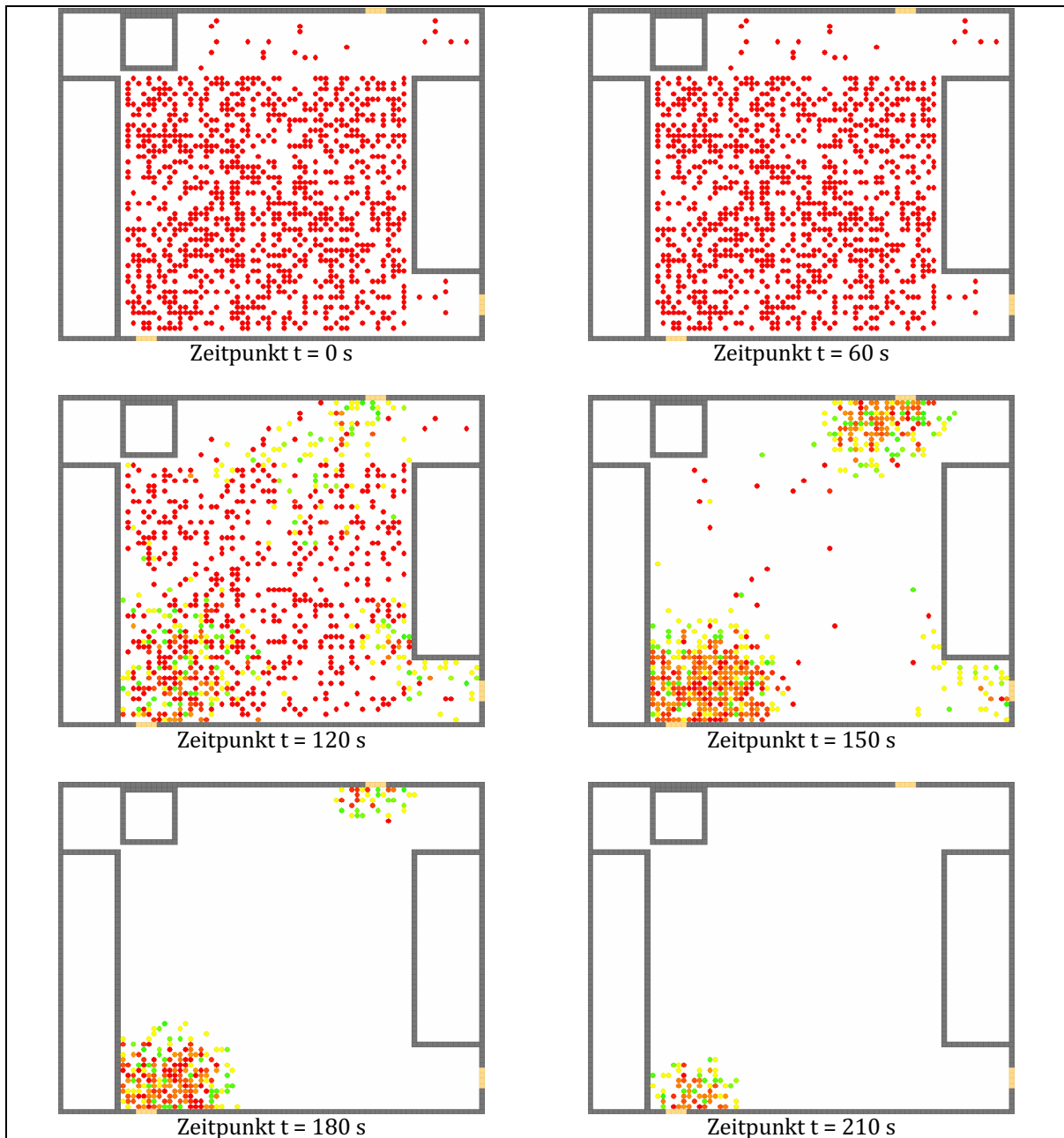


Abbildung 4-54: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2 – GB

Die Abbildung 4-56 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittelwert und die 95 % Fraktile aus 100 Simulationenläufen dargestellt.

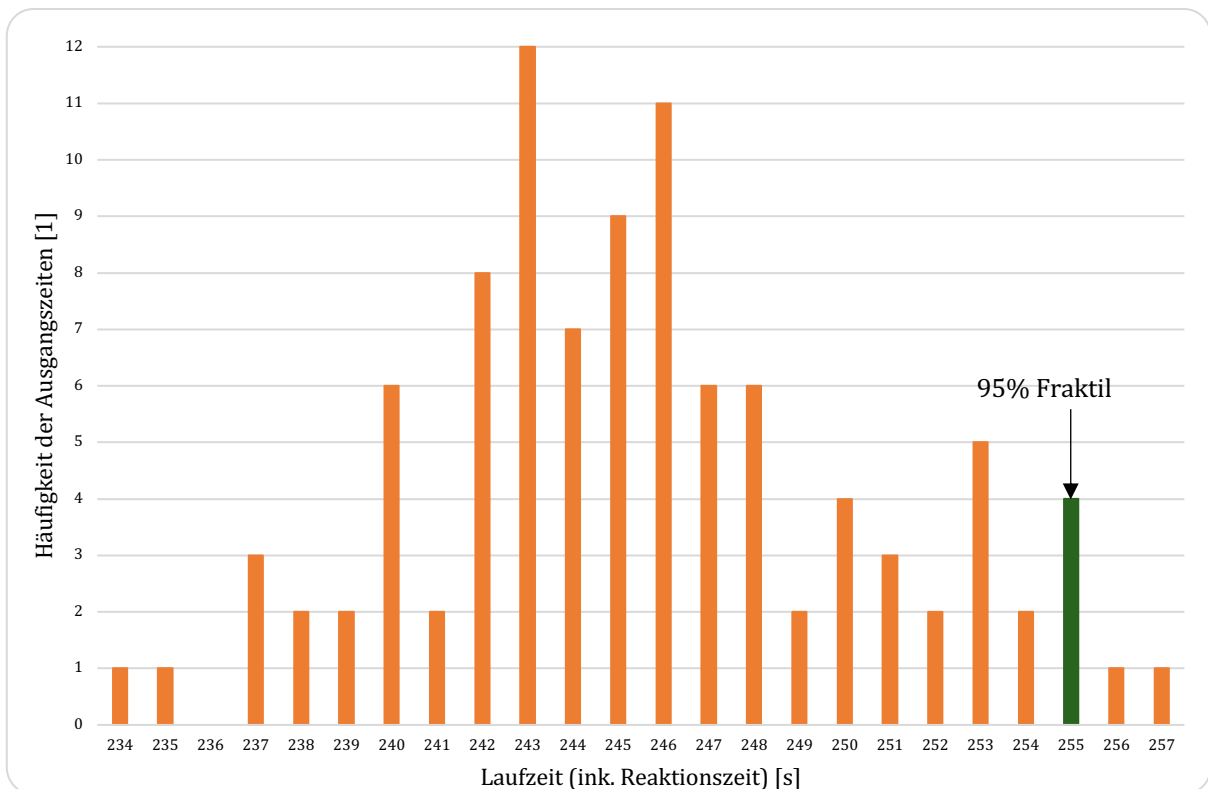


Abbildung 4-55: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 – GB

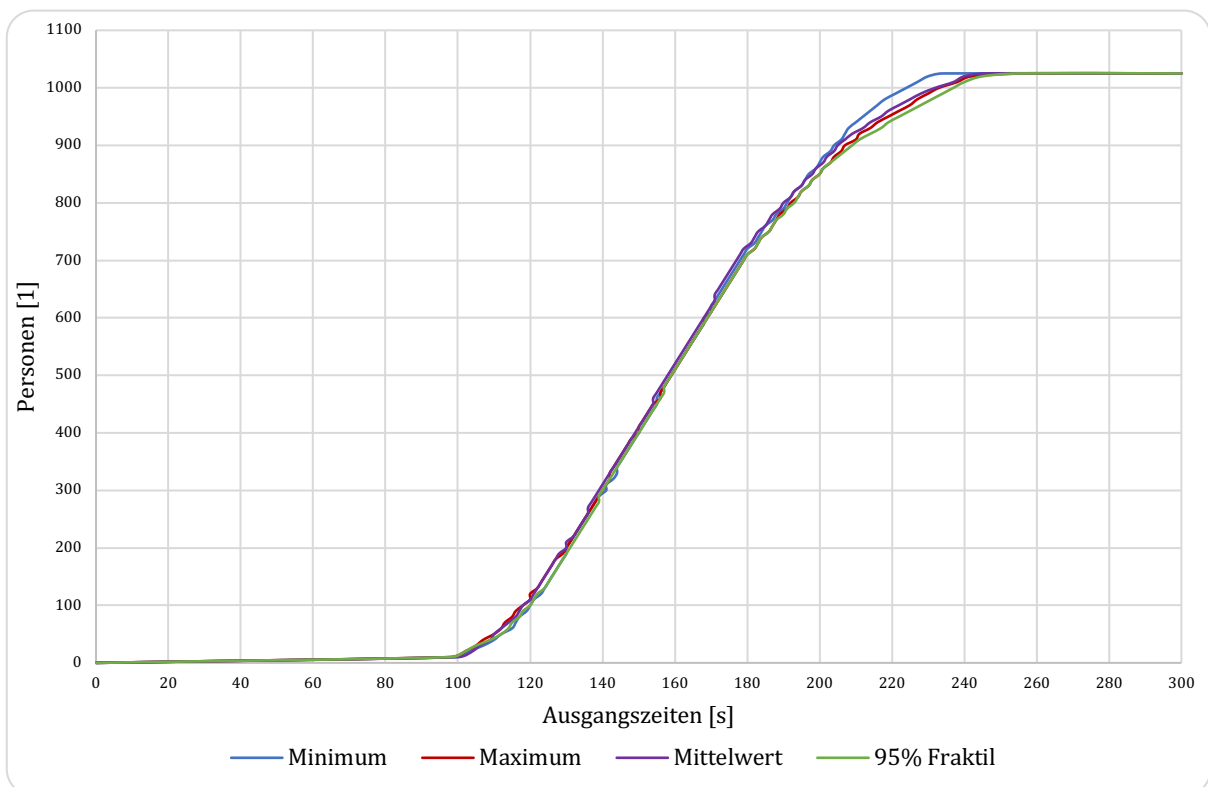


Abbildung 4-56: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen - S. 2.2 – GB

Die Abbildung 4-57 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Im Bereich des Einganges und Ausgangs 2 treten Stauzeiten von bis zu 26 s auf.

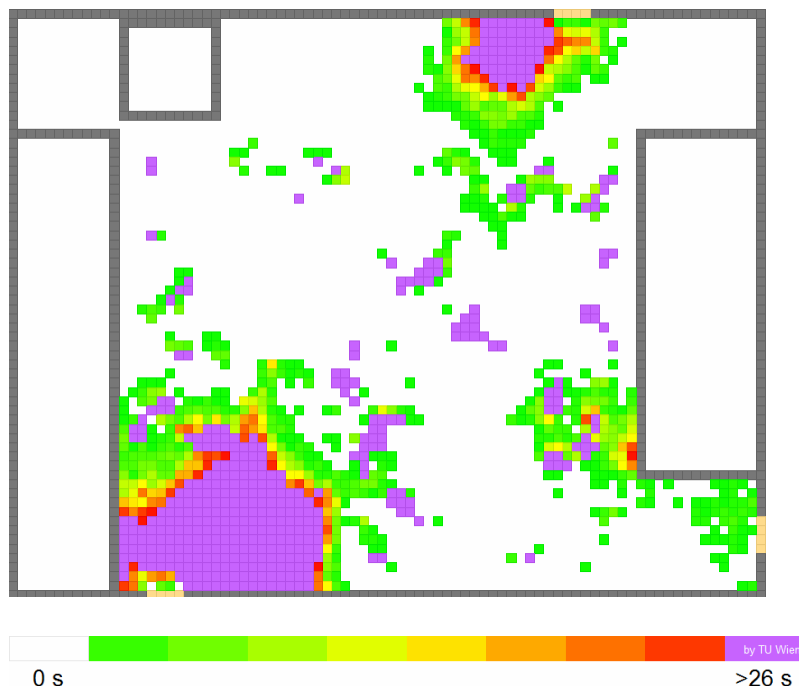


Abbildung 4-57: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-GB

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 + 0 + 0 + 255 = 315 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 15 \text{ s}$$

4.2.2.5 Szenario 2.2 – AT

Die Abbildung 4-58 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausgangs 2.

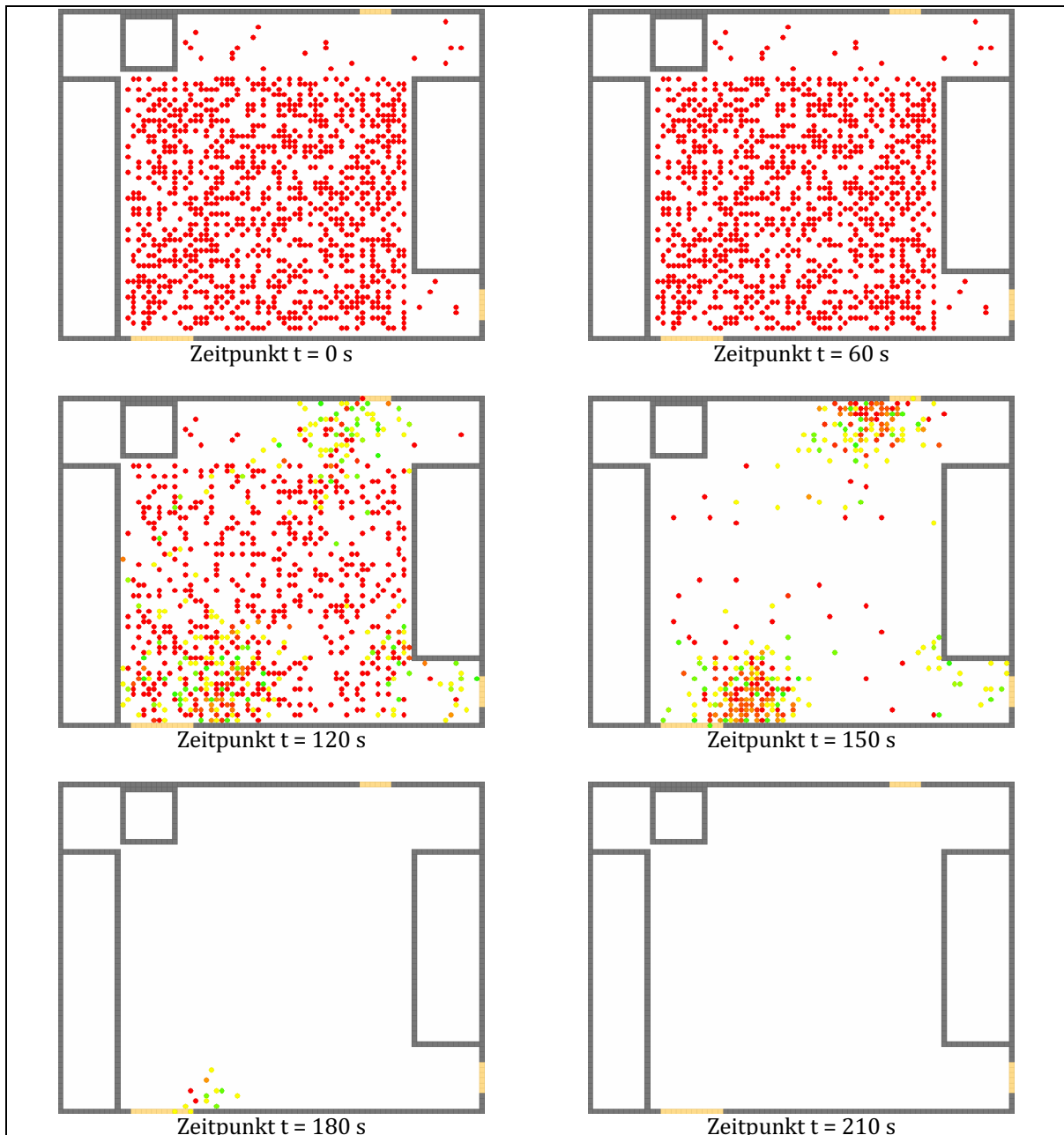


Abbildung 4-58: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2 – AT

Die Abbildung 4-59 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationenläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 198 s und 218 s, der Mittelwert beträgt 209 s und die 95 % Fraktile liegt bei 215 s.

Die Abbildung 4-60 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittelwert und die 95 % Fraktile aus 100 Simulationenläufen dargestellt.

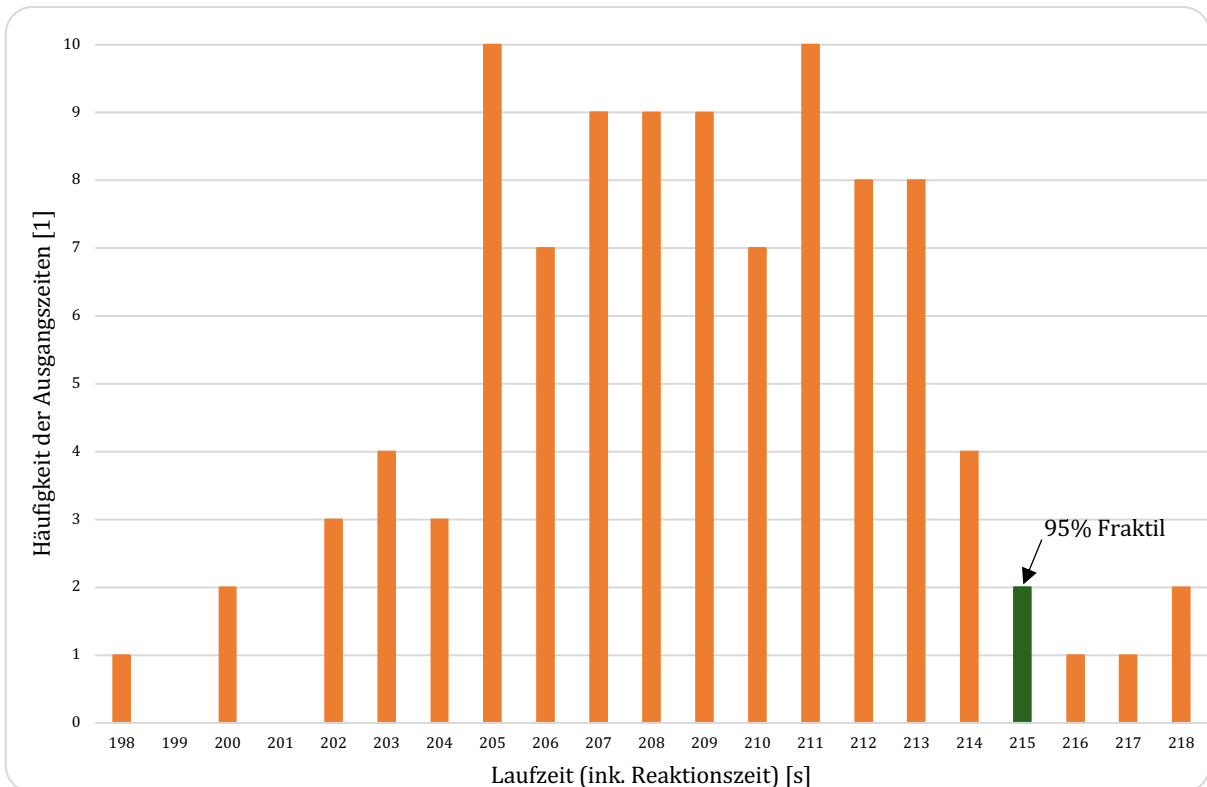


Abbildung 4-59: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationenläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 - AT

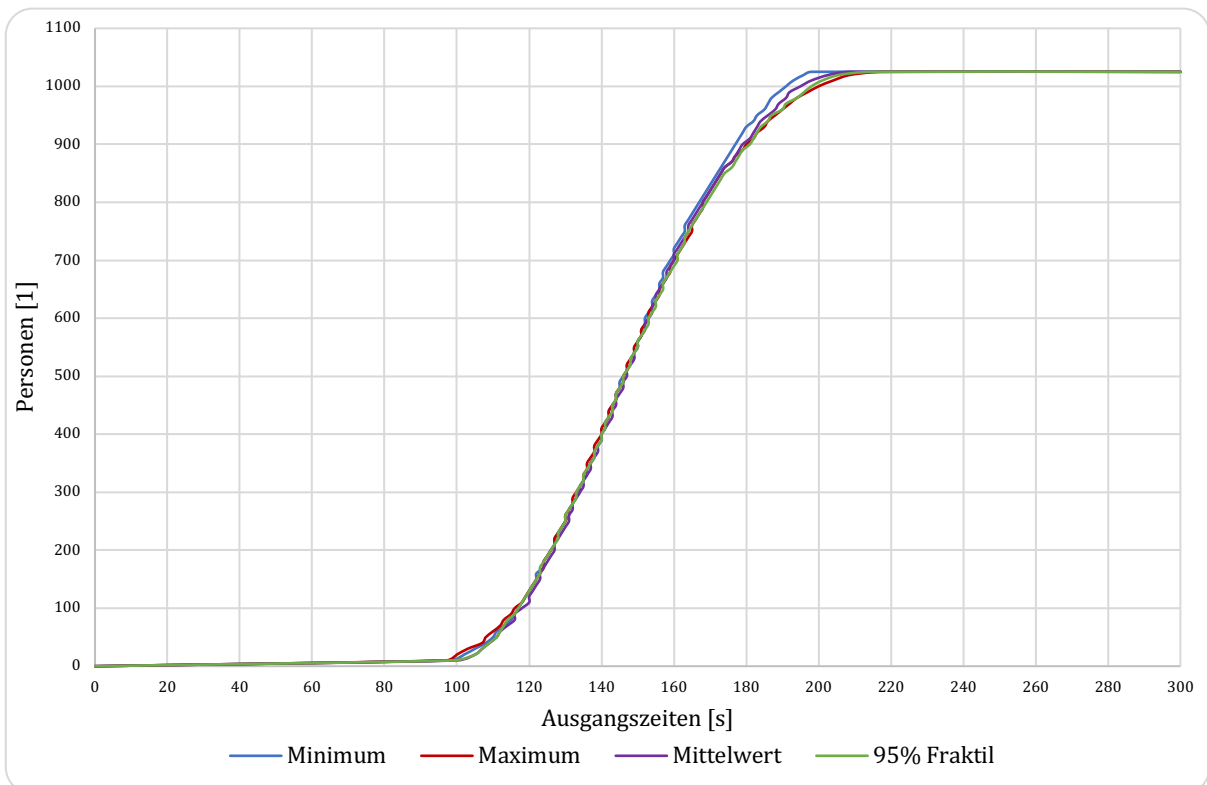


Abbildung 4-60: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationenläufen - S. 2.2 - AT

Die Abbildung 4-61 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Im Bereich des Einganges und Ausganges 2 treten Stauzeiten von bis zu 22 s auf.

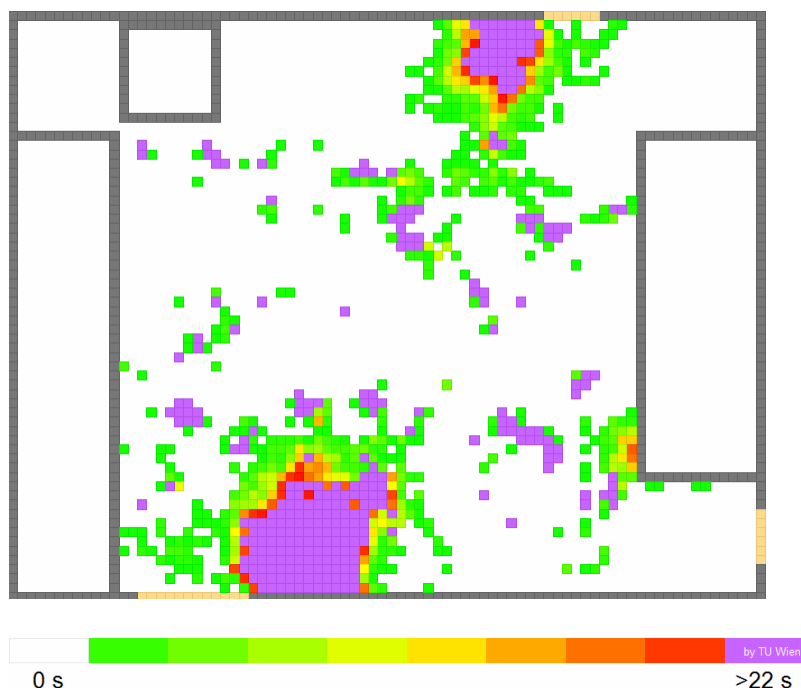


Abbildung 4-61: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-AT

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 215 \text{ s} = 265 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 4 \text{ min } 25 \text{ s}$$

4.2.2.6 Szenario 2.1 – R0

In der Abbildung 4-62 wird der Verlauf der Entfluchtung zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und Ausganges 2.

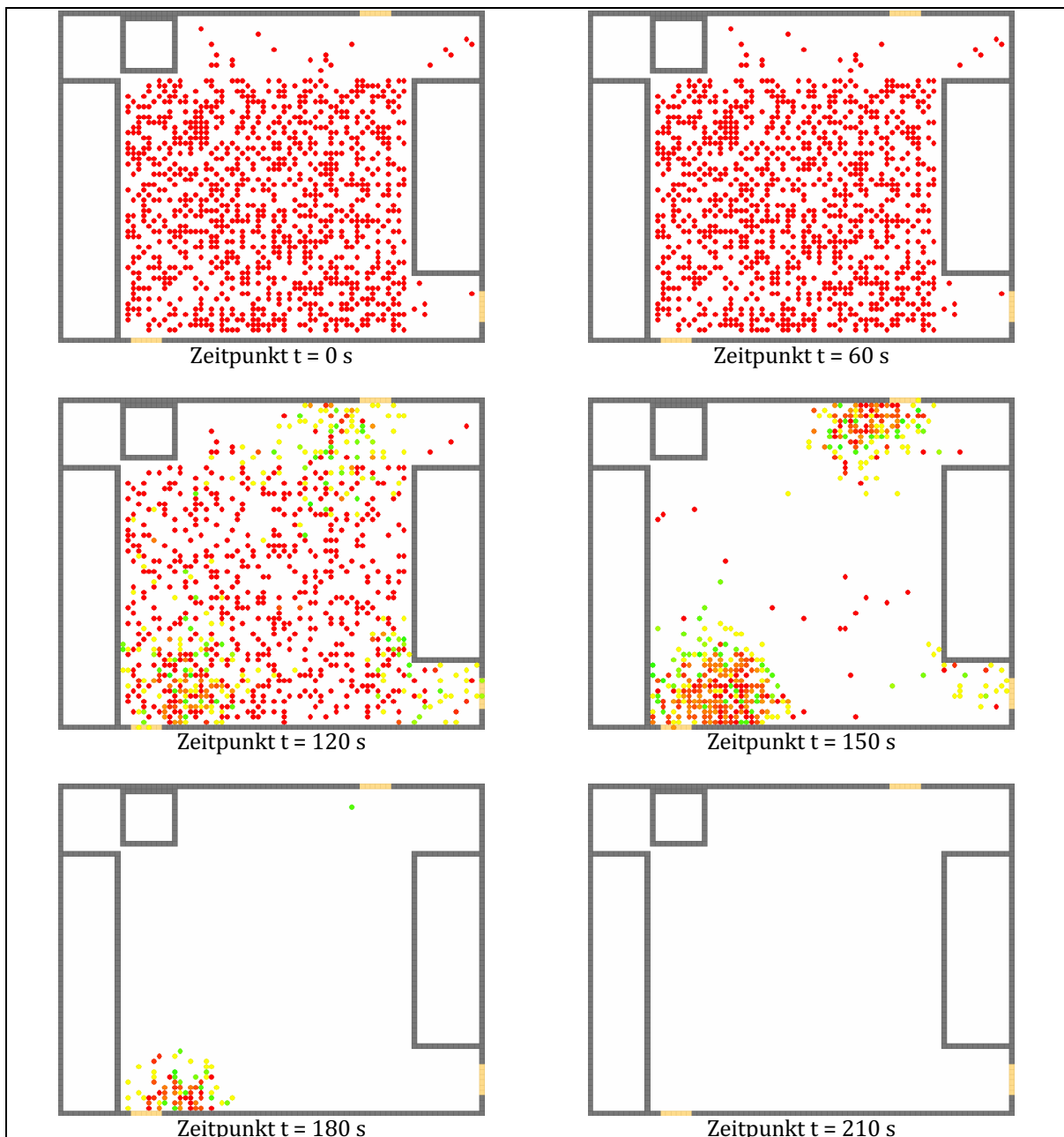


Abbildung 4-62: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2-RO

In der Abbildung 4-63 wird die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile. Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 214 s und 236 s, der Mittelwert beträgt 224 s und die 95 % Fraktile liegt bei 231 s.

Die Abbildung 4-64 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittel- und die 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen dargestellt.

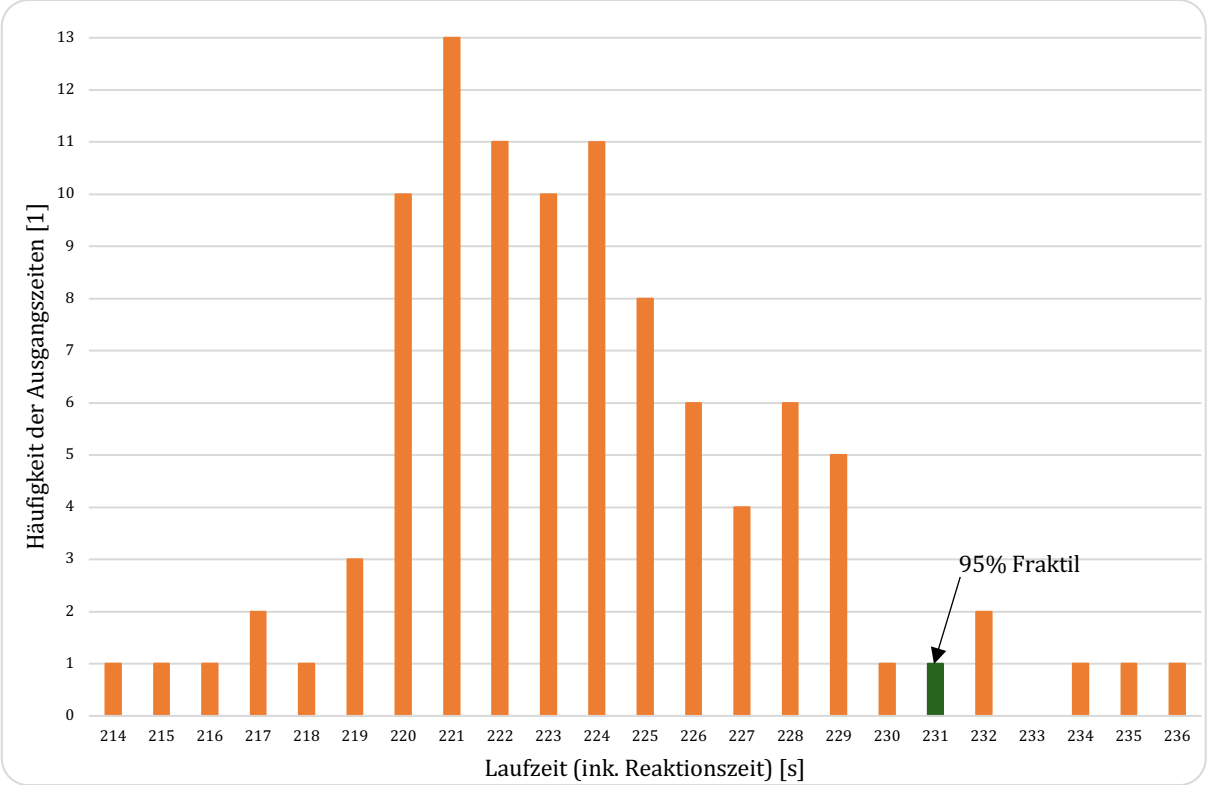


Abbildung 4-63: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 – RO

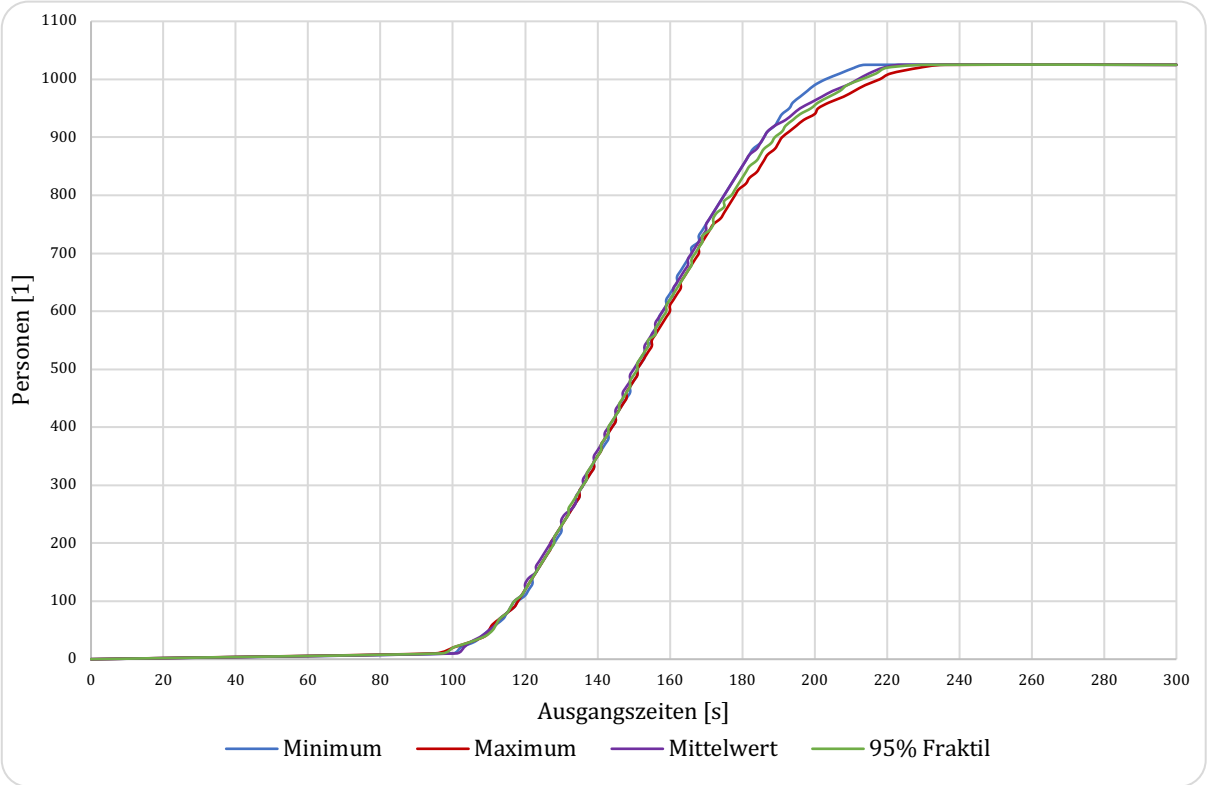


Abbildung 4-64: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen - S. 2.2 – RO

In der Abbildung 4-65 wird die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe dargestellt. Im Bereich des Einganges und Ausganges 2 treten Stauzeiten von bis zu 23 s auf.

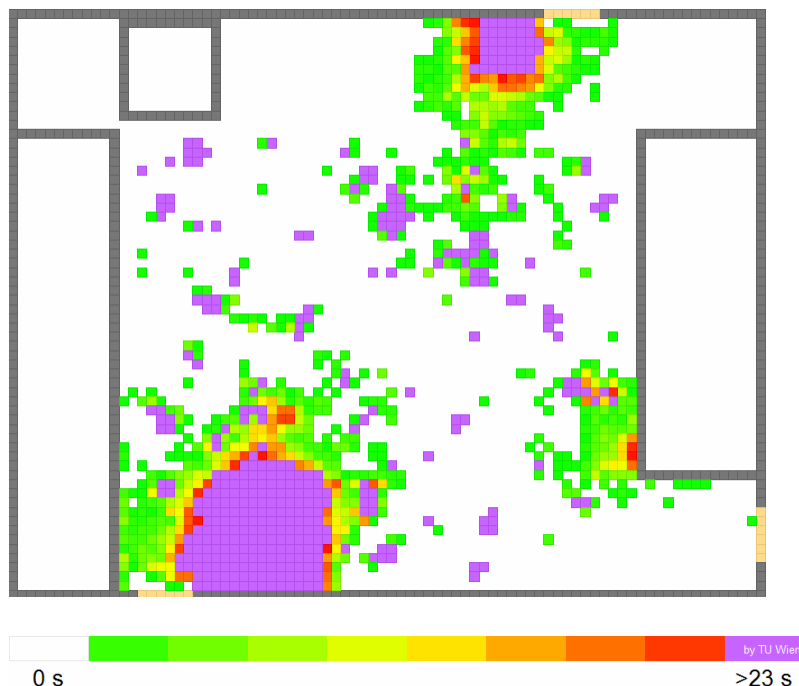


Abbildung 4-65: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-RO

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 231 \text{ s} = 291 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 4 \text{ min } 51 \text{ s}$$

4.2.2.7 Szenario 2.3- GB

Da bei dieser Methode die Brandherdlage nicht berücksichtigt wird und keiner von den drei Ausgängen ausfällt, ergeben sich die gleichen RSET-Werte wie beim Brandszenario 1.

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 36 \text{ s}$$

4.2.2.8 Szenario 2.3 – AT

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\mathbf{RSET = 5 \text{ min } 42 \text{ s}}$$

4.2.2.9 Szenario 2.3– RO

Nach der überschlägigen Abschätzung ergibt sich ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\mathbf{RSET = 5 \text{ min } 47 \text{ s}}$$

4.3 Brandszenario 3 – Brandherd rechts, Ausfall eines Ausganges

4.3.1 Ergebnisse der Brandsimulation

Die Abbildung 4-66 zeigt die Verrauchung der Halle im Zeitraum der ersten 6 Minuten. Der Blick ist auf den Eingang und den Ausgang 1 gerichtet, wobei der Brand auf der rechten Seite der Halle vor dem Ausgang 2 (linke Seite der Abbildung) stattfindet. Da der Brand vor dem Ausgang 2 stattfindet, stehen für die Entfluchtung der Personen nur 2 Ausgänge, nämlich der Eingang und der Ausgang 1 zur Verfügung. Der Rauch breitet sich in der Anfangsphase gleichmäßig unter der Hallendecke aus. Beim Erreichen der dem Brandort gegenüberliegenden Wände kommt es zu einer Rauchgasrückströmung in Richtung des Brandortes, bei der auch Rauch nach unten vertragen wird (siehe Zeitpunkt 180 – 240 s). Danach stellt sich eine langsam absinkende Rauchsicht ein.

Wie aus der grafischen Auswertung ersichtlich, sinkt der Rauch in der Halle innerhalb von wenigen Minuten ab. Um diese Verrauchung in Hinblick auf die Bestimmung des ASET-Wertes zeitlich zu quantifizieren, ist es erforderlich, die numerischen Ergebnisse an den Auswertepositionen näher zu analysieren. Um sich einen groben Überblick über die Entwicklung der Temperaturen, Kohlendioxidkonzentration und Rußkonzentration in einer Höhe von 2,5 m über der FOK zu verschaffen, werden die Ergebnisse in einer Höhe von 2,5 m über der FOK über alle Auswertepositionen in folgenden Diagrammen zusammengefasst (siehe Abbildung 4-67, Abbildung 4-68 und Abbildung 4-69).

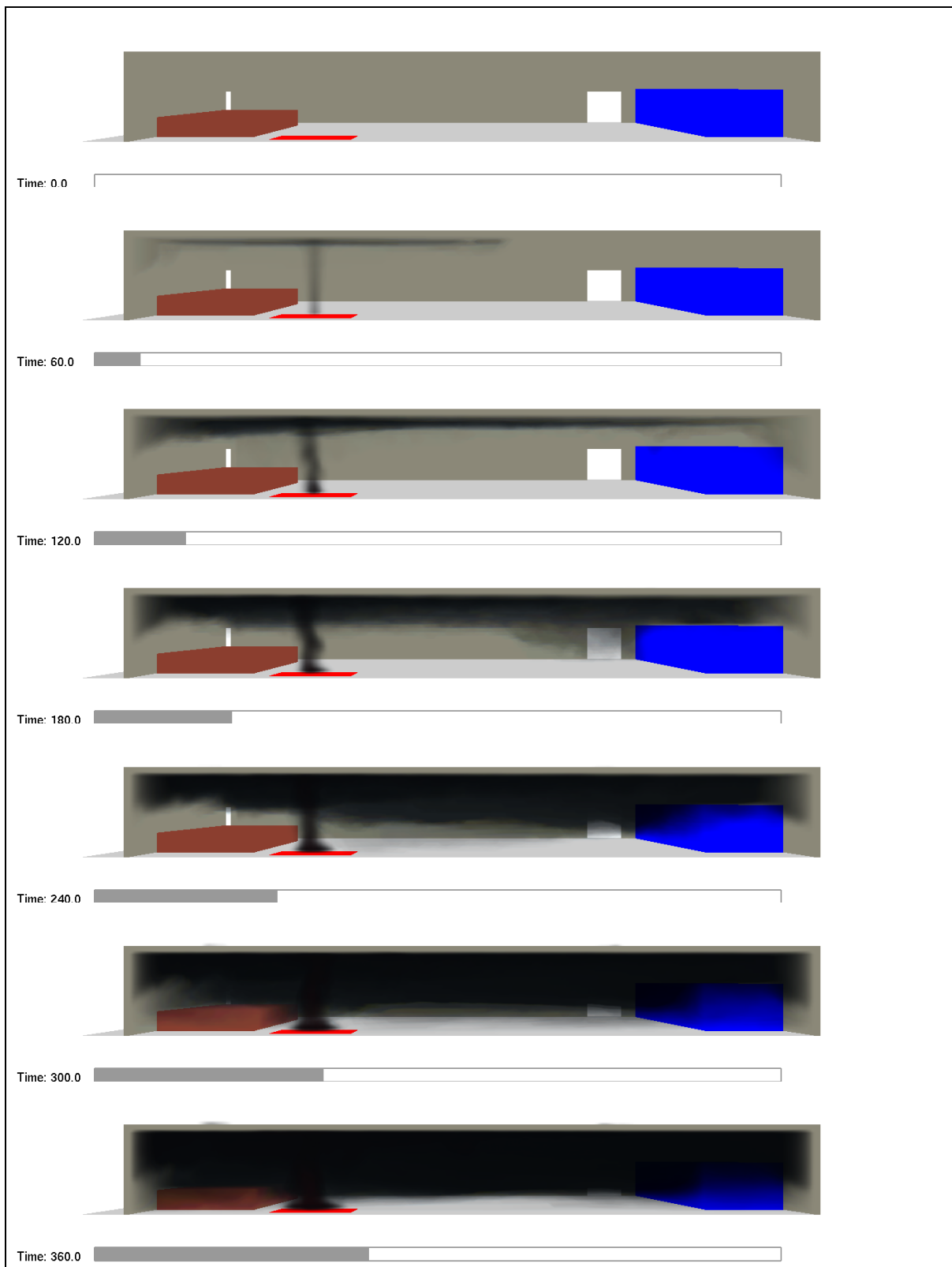


Abbildung 4-66: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle

In der Abbildung 4-67 ist zu erkennen, dass nach etwa 300 s (5 min) die Temperaturgrenzbedingung von 45°C (siehe auch Abschnitt 3.3) in der Höhe von 2,5 m erreicht wird. In einer Zeitspanne von 900 s entwickeln sich Maximaltemperaturen von 100 bis 170 °C.

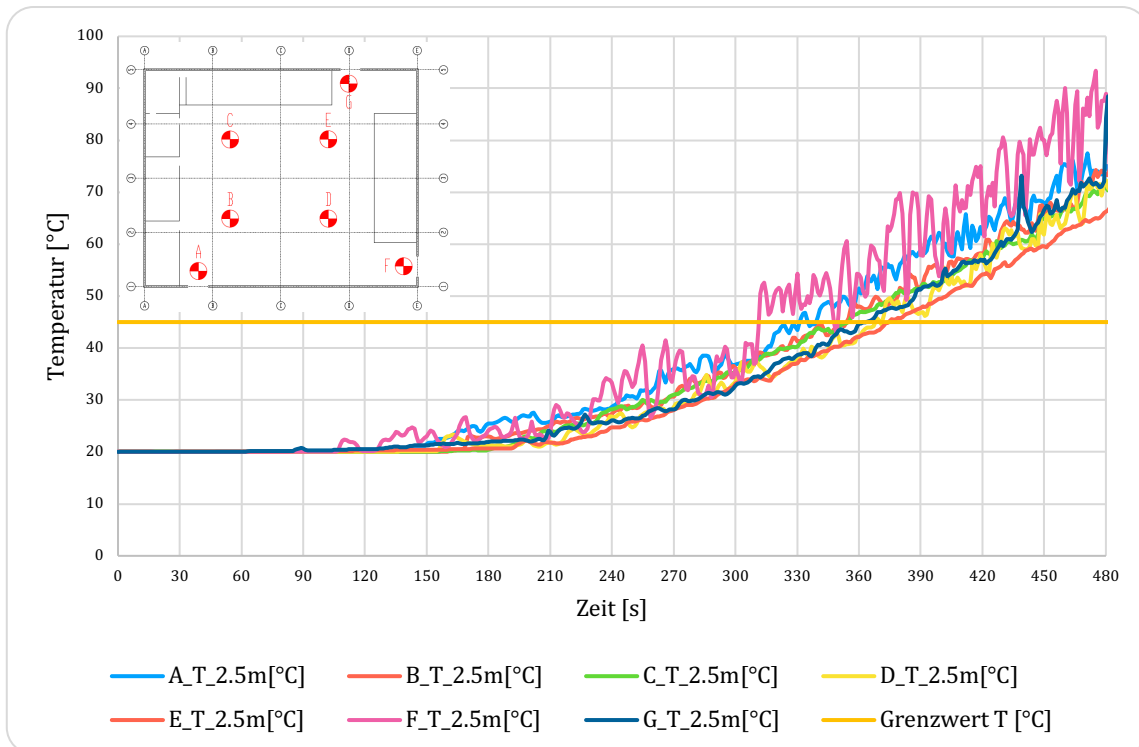


Abbildung 4-67: Übersicht über die Entwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3

Die Abbildung 4-68 zeigt einen groben Überblick über die Kohlendioxidkonzentration an den Auswertepositionen A bis G in 2,5 m Höhe über der FOK. Die Grenzbedingung der Kohlendioxidkonzentration von 1 Vol.%, was einem Molanteil von 0,01 entspricht, wird erst nach ca. 460 s erreicht.

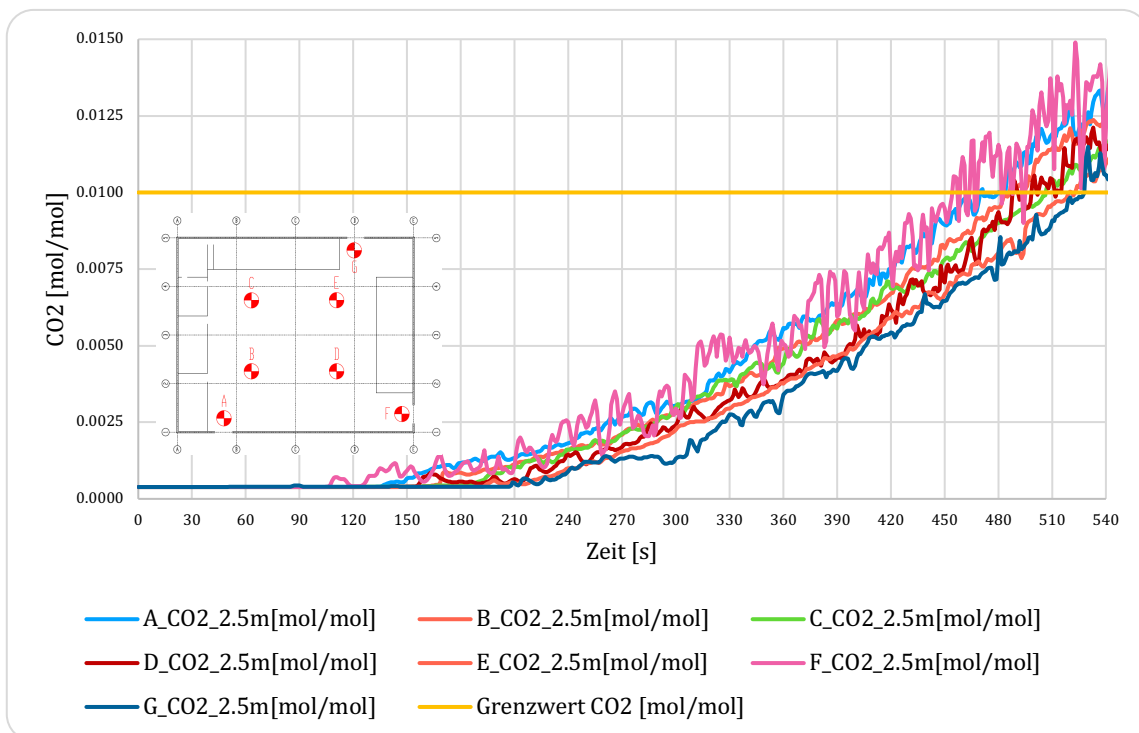


Abbildung 4-68: Überblick über die Entwicklung der CO₂-Konzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3

Die Abbildung 4-69 zeigt einen Überblick über die Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G. Die Grenzbedingung der Rauchdichte von $0,1 \text{ m}^{-1}$, was einer Rußkonzentration von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ entspricht, wird nach ca. 240 s überschritten.

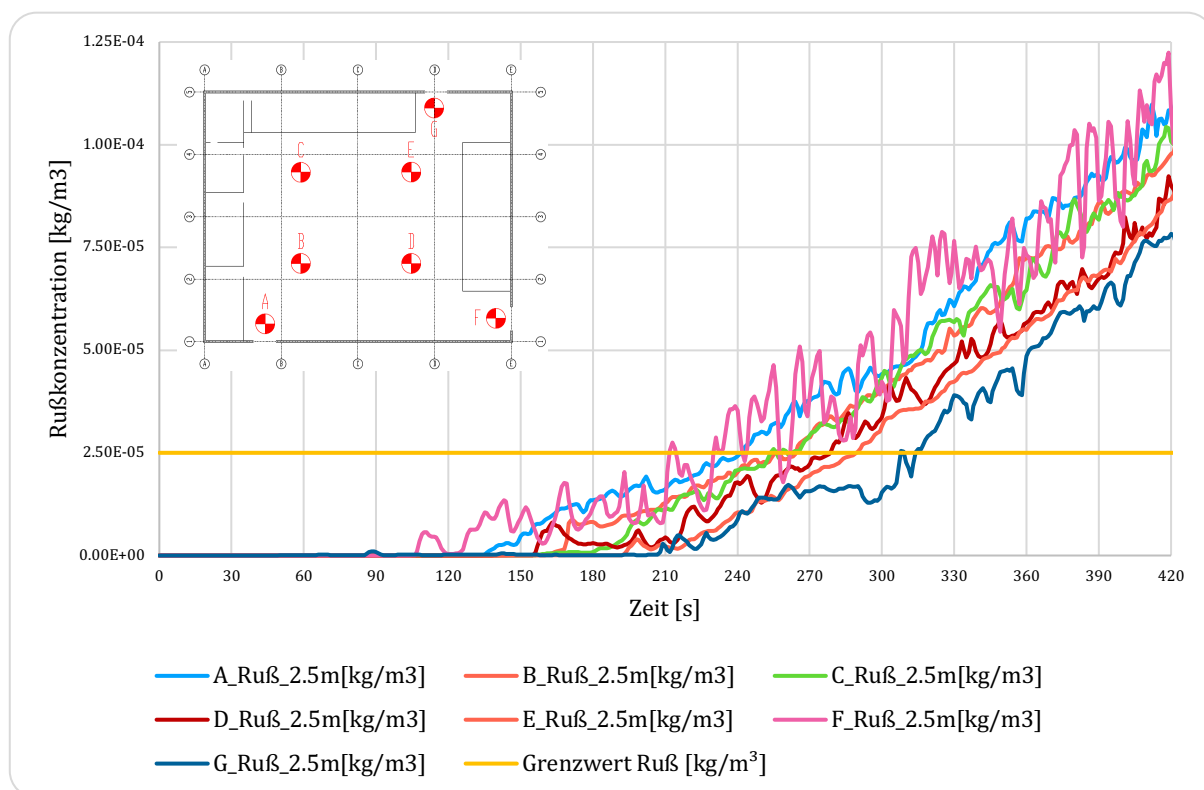


Abbildung 4-69: Überblick über die Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3

Wie aus den Abbildungen ersichtlich, ist die Rußkonzentration maßgebend für die Bestimmung des ASET-Wertes, da die Grenzbedingung für die Rauchdichte von $0,1 \text{ m}^{-1}$ zuerst erreicht wird. Um den ASET Wert zeitlich zu quantifizieren, werden die numerischen Ergebnisse der Rußkonzentration an den Auswertepositionen A, F und G, näher analysiert.

Die Abbildung 4-70 zeigt die Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition A, vor dem Eingang. An dieser Position werden an den ausgewählten Höhen in einer Zeitspanne von 900 s maximale Rußkonzentrationen von $0,0003 \text{ kg/m}^3$ ermittelt. Die Grenzbedingung von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ wird an dieser Position in einer Höhe von 2,5 m über der FOK nach 240 s (4 Minuten) erreicht.

In der Abbildung 4-71 ist die zeitliche Entwicklung der Rußkonzentrationen an den ausgewählten Auswertehöhen an Position F dargestellt. Die Grenzbedingung von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ wird an dieser Position in einer Höhe von 2,5 m über der FOK nach 230 s erreicht.

In der Abbildung 4-72 ist zu erkennen, dass die Grenze der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über FOK an der Auswerteposition G geringfügig später erreicht wird als bei Positionen A und F.

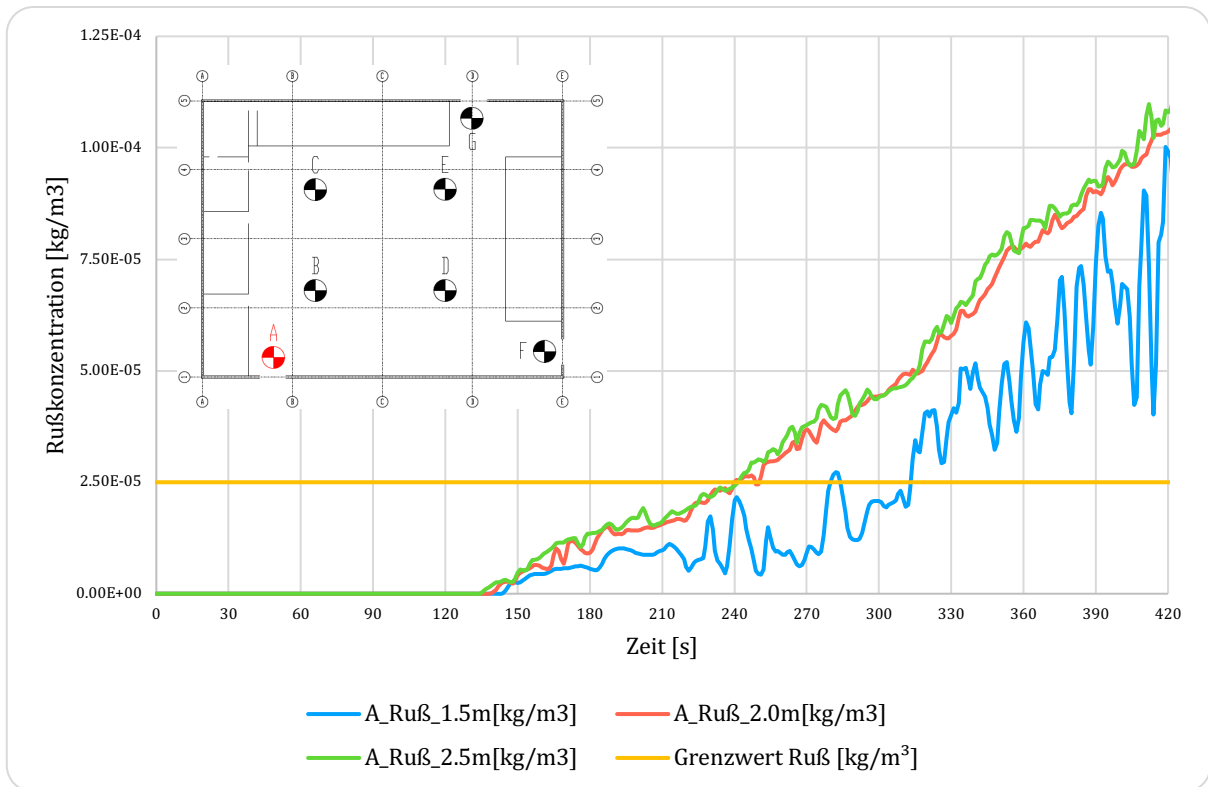


Abbildung 4-70: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 3

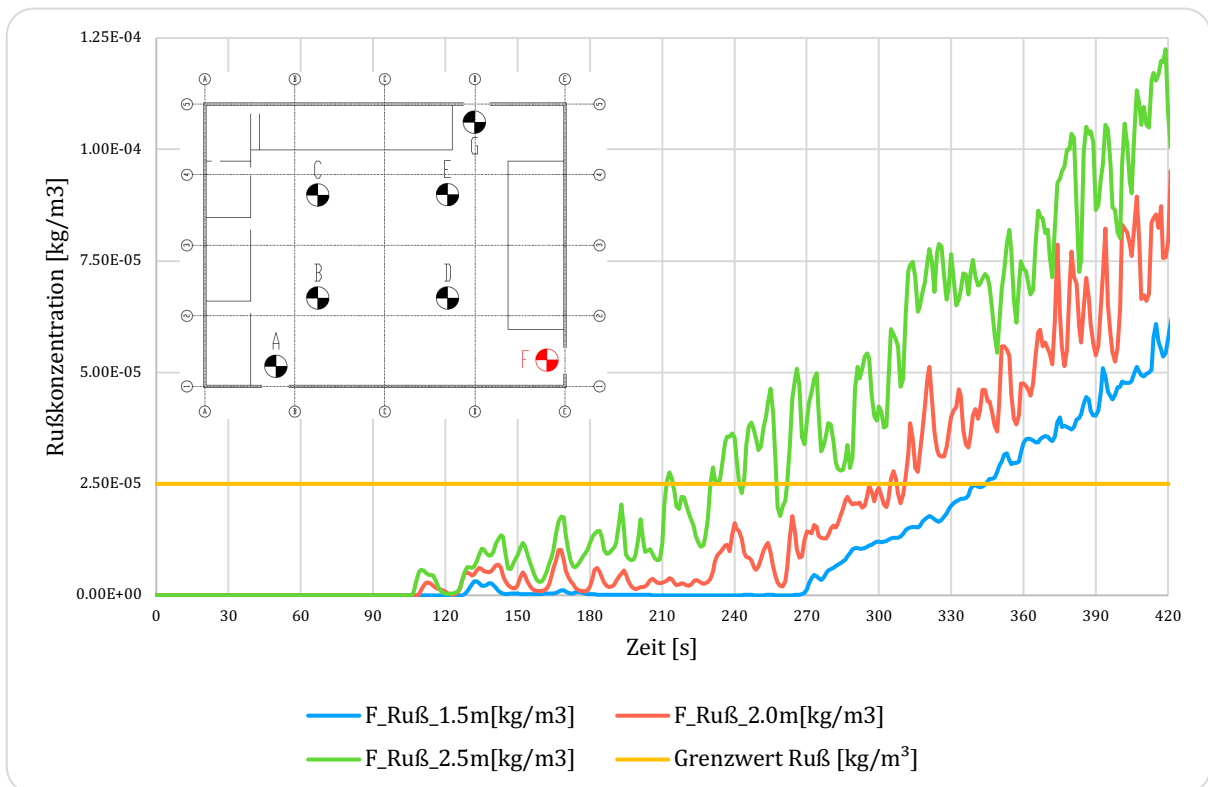


Abbildung 4-71: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandszenario 3

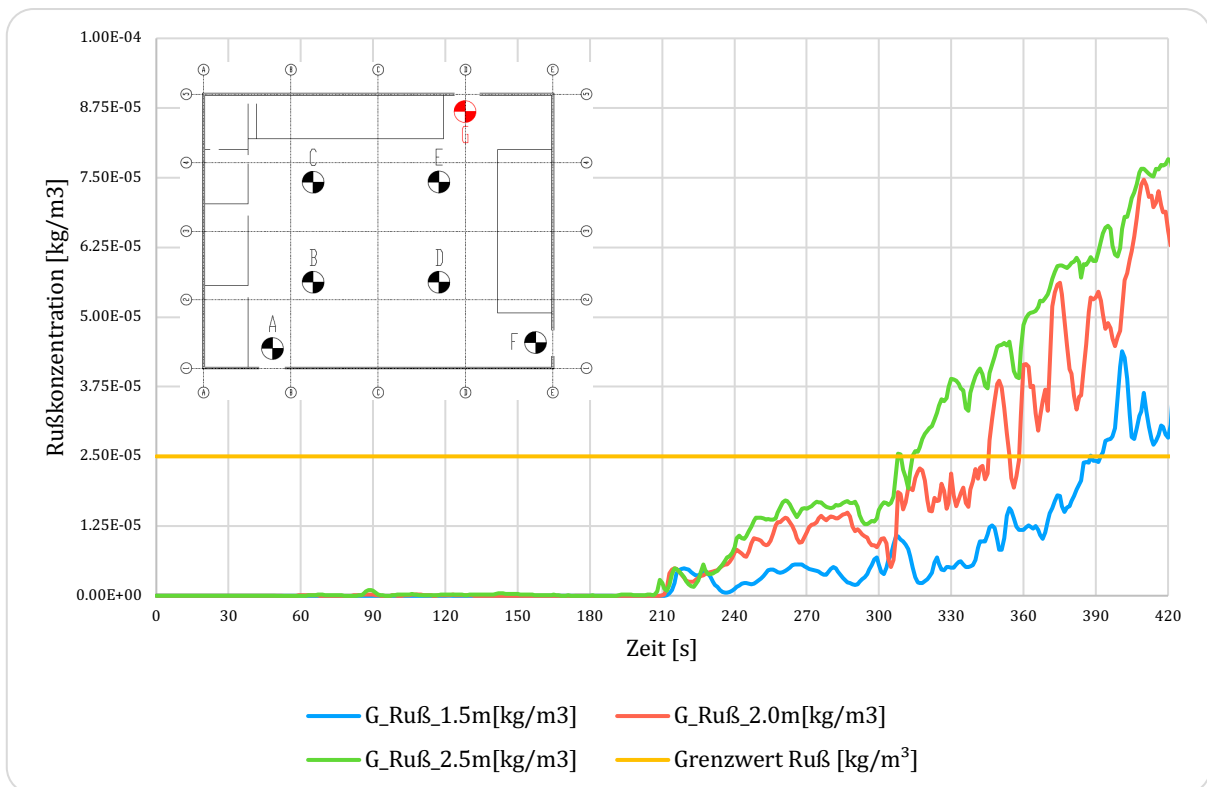


Abbildung 4-72: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandszenario 3

Aus den Ergebnisdarstellungen ergibt sich als relevante Grenzbedingung die Rauchdichte auf einer Höhe von 2,5 m über der FOK an der Auswerteposition F. Nach 230 s wird die Rußkonzentration von $0,000025 \text{ kg/m}^3$ überschritten. Dies entspricht einer Rauchdichte von $0,1 \text{ m}^{-1}$. Die Abbildung 4-73 zeigt den Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F.

Der resultierende ASET Wert aus der Berechnung mit dem CFD Code FDS für das dritte Brandszenario beträgt somit:

$$\text{ASET} = 230 \text{ s (3 min 50 s)}$$

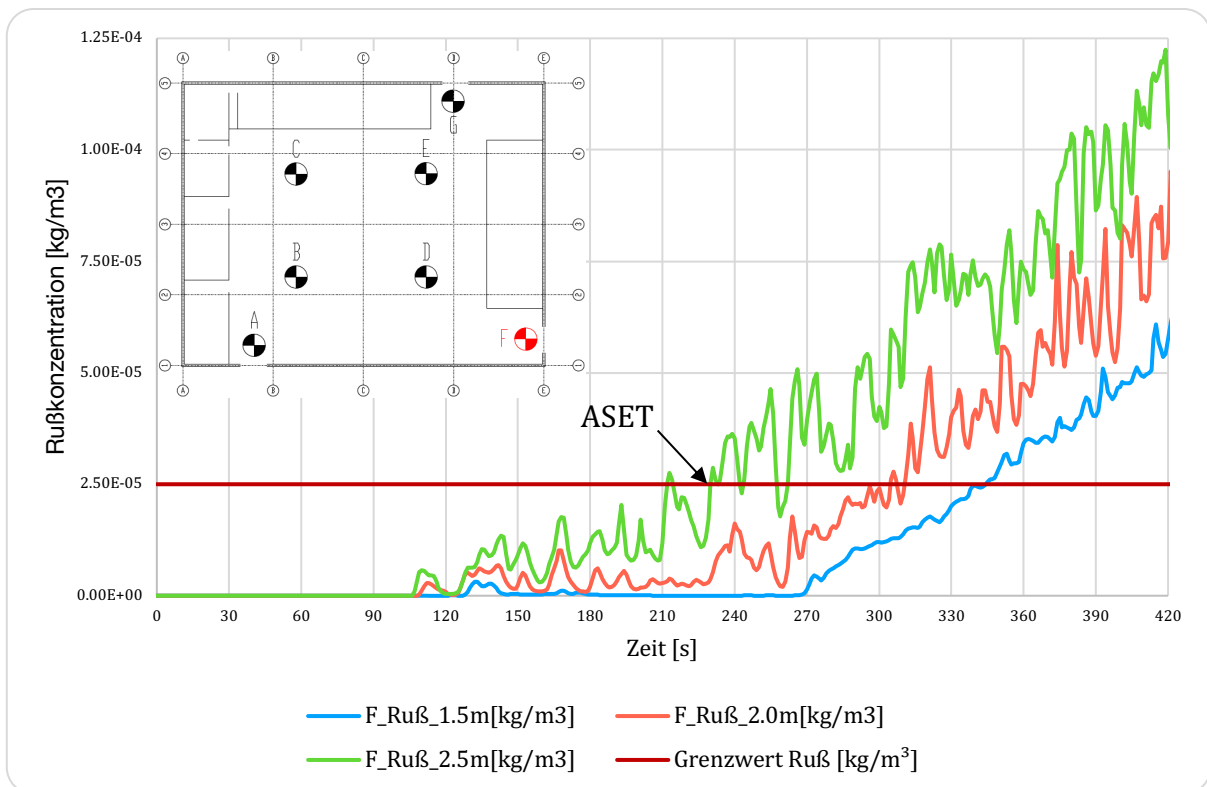


Abbildung 4-73: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Position F – Brandszenario 3

4.3.2 Ergebnisse der Evakuierung

4.3.2.1 Szenario 3.1 – GB

Die folgende Abbildung 4-74 zeigt den Evakuierungsverlauf bei einer Simulation, welche der 95 % Fraktile der Zeit entspricht. Da der Ausgang 2 wegen dem Brand für die Entfluchtung der Personen nicht zugänglich ist, verteilen sich die Agenten zwischen dem Eingang und dem Ausgang 1. Nach dem Bewegungsbeginn (siehe Zeitpunkt $t = 180$ s) bilden sich Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge, die bis zur Entleerung der Halle andauern.

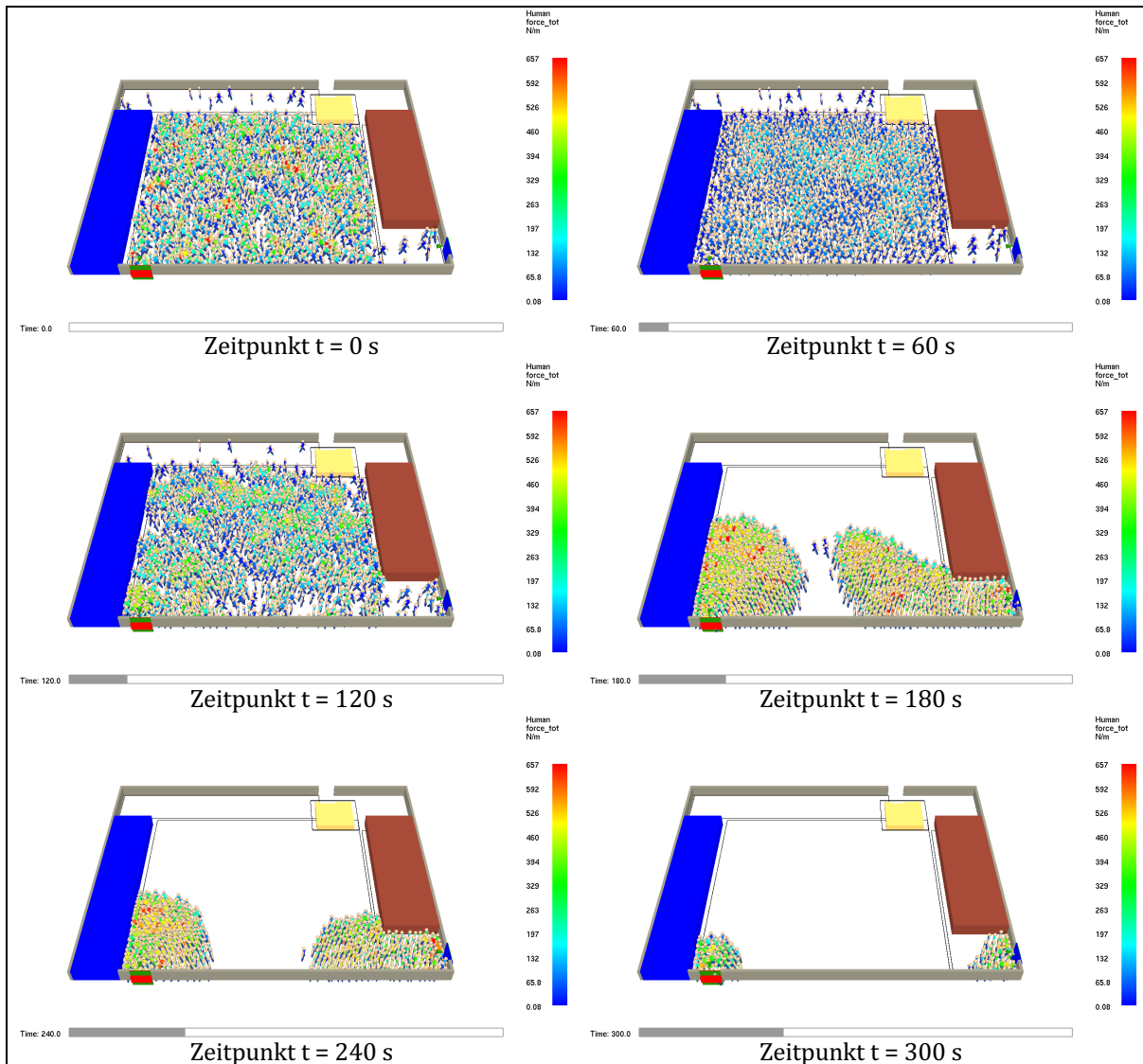


Abbildung 4-74: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1 – GB

Nach der Durchführung der 100 Simulationsläufe, um die Ergebnisse abzusichern, ergibt sich die in der Abbildung 4-75 dargestellte Verteilung der Ausgangszeiten mit der eingetragenen 95% Fraktile.

Die Abbildung 4-76 zeigt den kumulativen Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen.

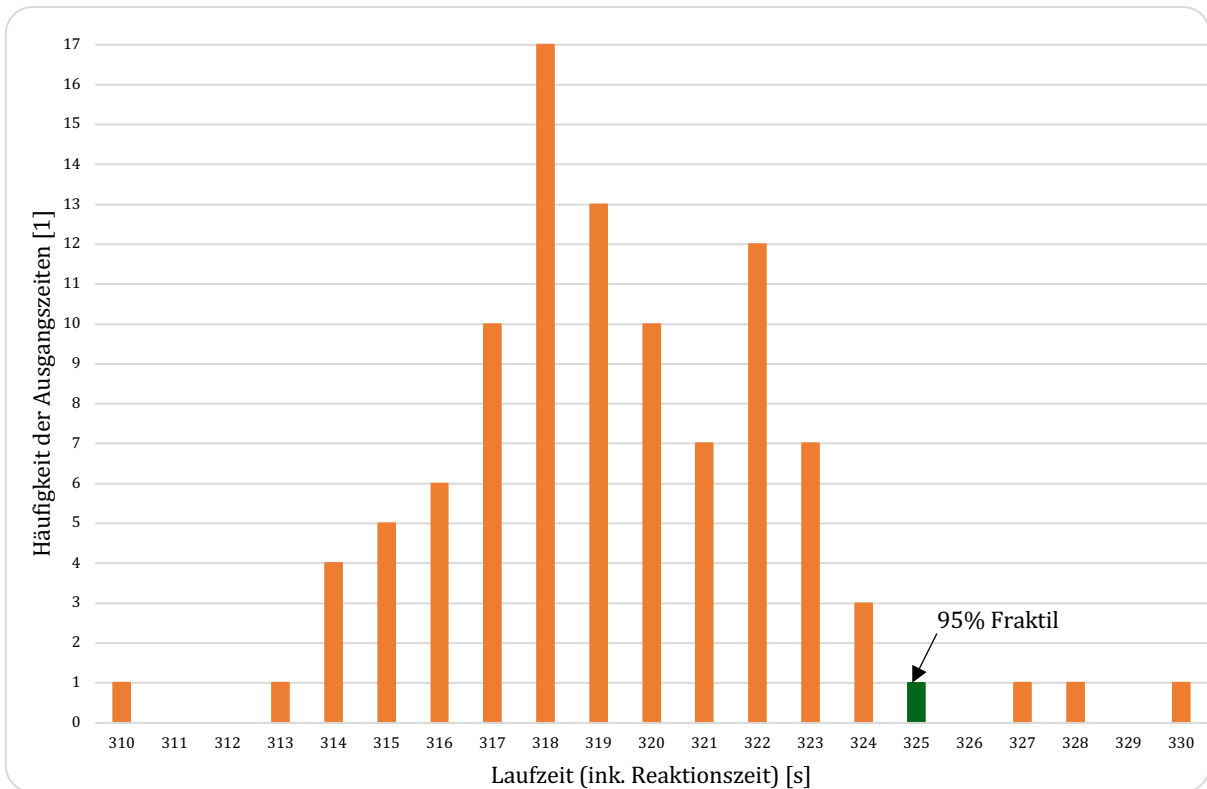


Abbildung 4-75: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 3.1 – GB

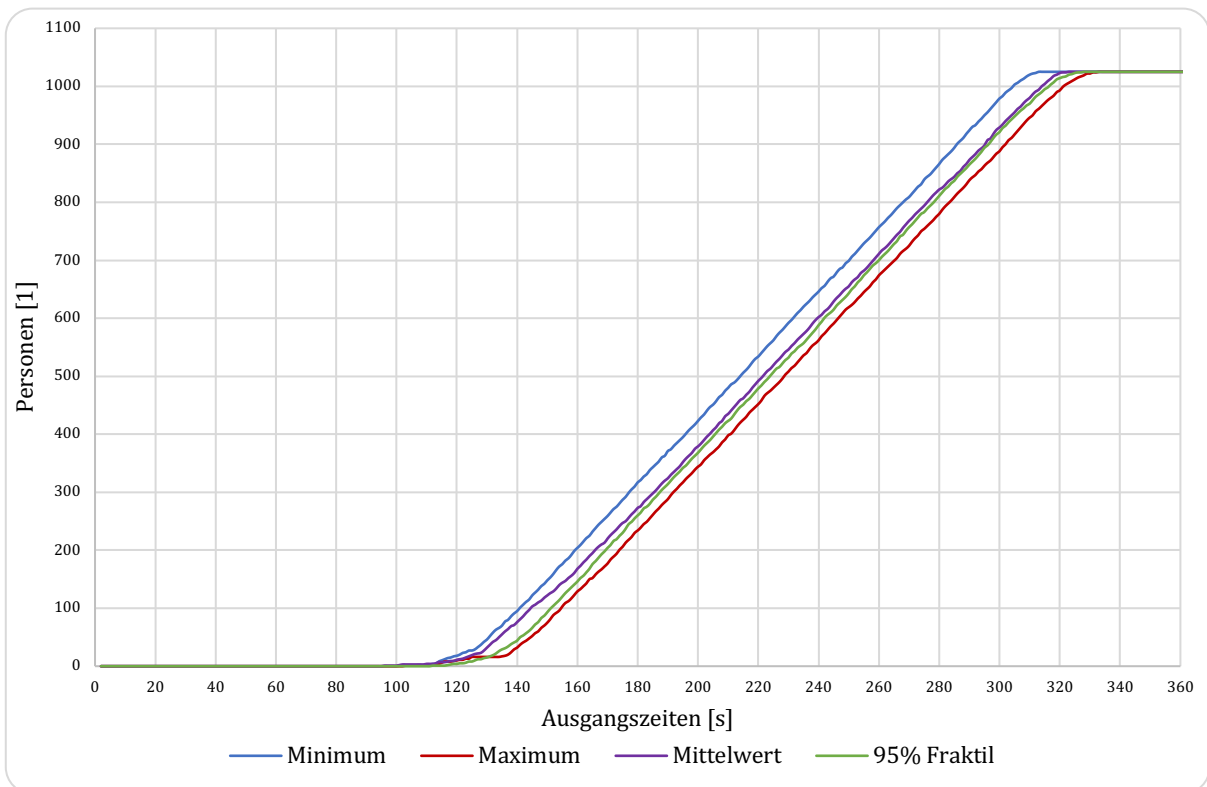


Abbildung 4-76: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 3.1 – GB

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-8 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-8: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien

	Zeit [s]
Mittelwert	319,3
Standardabweichung	3,22
Minimum	309,6
Maximum	329,9
95% Fraktile	324,6

Die Abbildung 4-77 zeigt die Entwicklung der Staus vor den beiden zur Verfügung stehenden Ausgängen mit den dargestellten Gehspuren der Agenten für die letzten 4 s. Zum Zeitpunkt 125 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bilden sich die Staus vor den Ausgängen. Die Farbcodierungen der Gehspuren repräsentieren die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

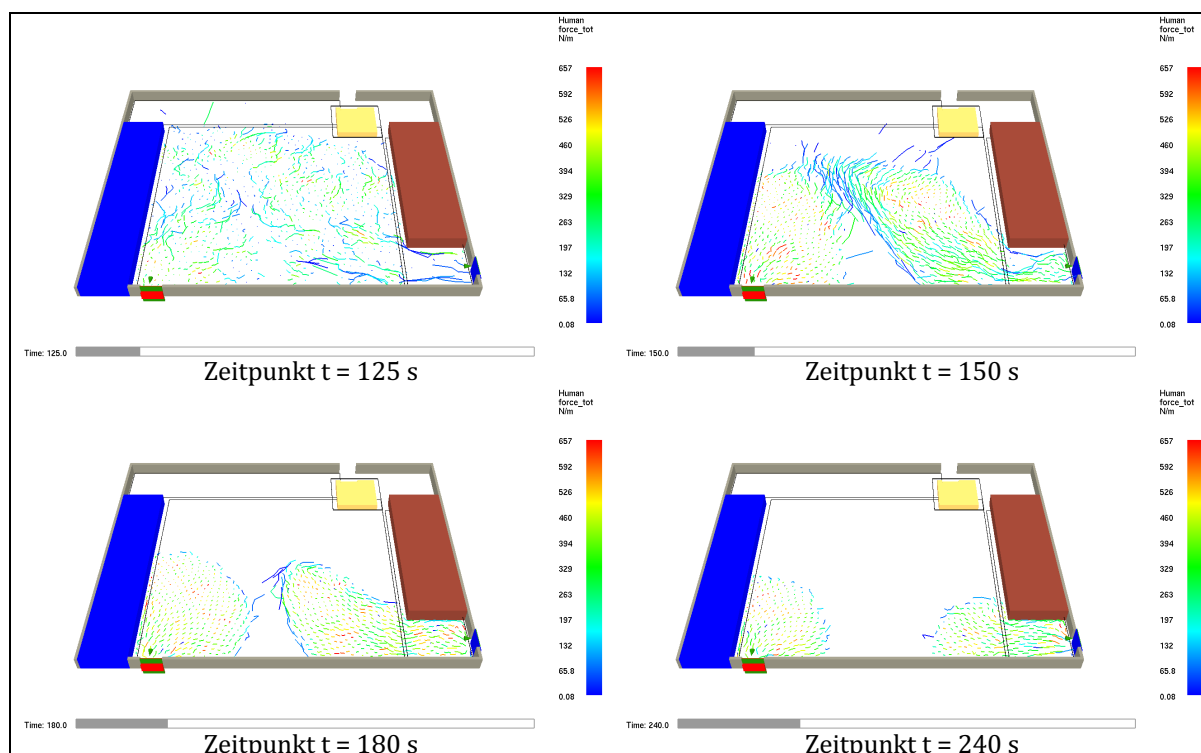


Abbildung 4-77: Staubildung im Eingangsbereich und im Bereich des Ausganges 1 – S. 3.1 – GB

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Ähnlich wie bei den Brandszenarien 1 und 2 wird die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

Bei der Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC wird bereits die Reaktionsdauer bei der Simulation mitberücksichtigt, somit ist zu der mit dem Modell FDS+EVAC

ermittelten Zeitdauer (Verwendung der 95 % Fraktile) nur die Dauer für die Detektion dazu zu addieren, um t_{Flucht} zu berechnen.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 325 \text{ s} = 385 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 25 \text{ s}$$

4.3.2.2 Szenario 3.1 – AT

Die Abbildung 4-78 zeigt den Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen.

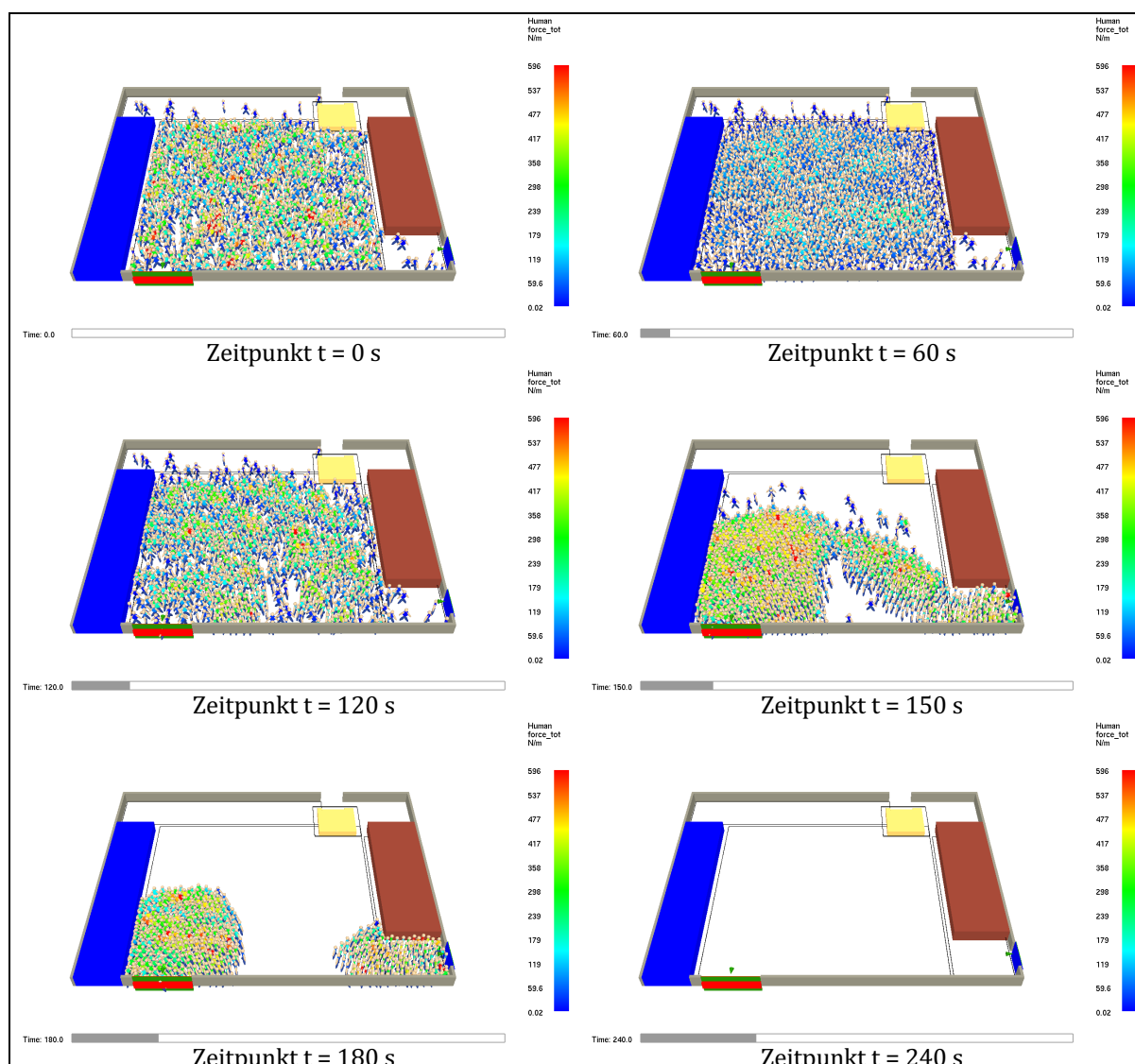


Abbildung 4-78: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1-AT

Die Abbildung 4-79 und Abbildung 4-80 zeigen die Verteilung der Ausgangszeiten mit der Hervorhebung des 95% Fraktilwertes sowie den kumulativen Entleerungsverlauf des

betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen

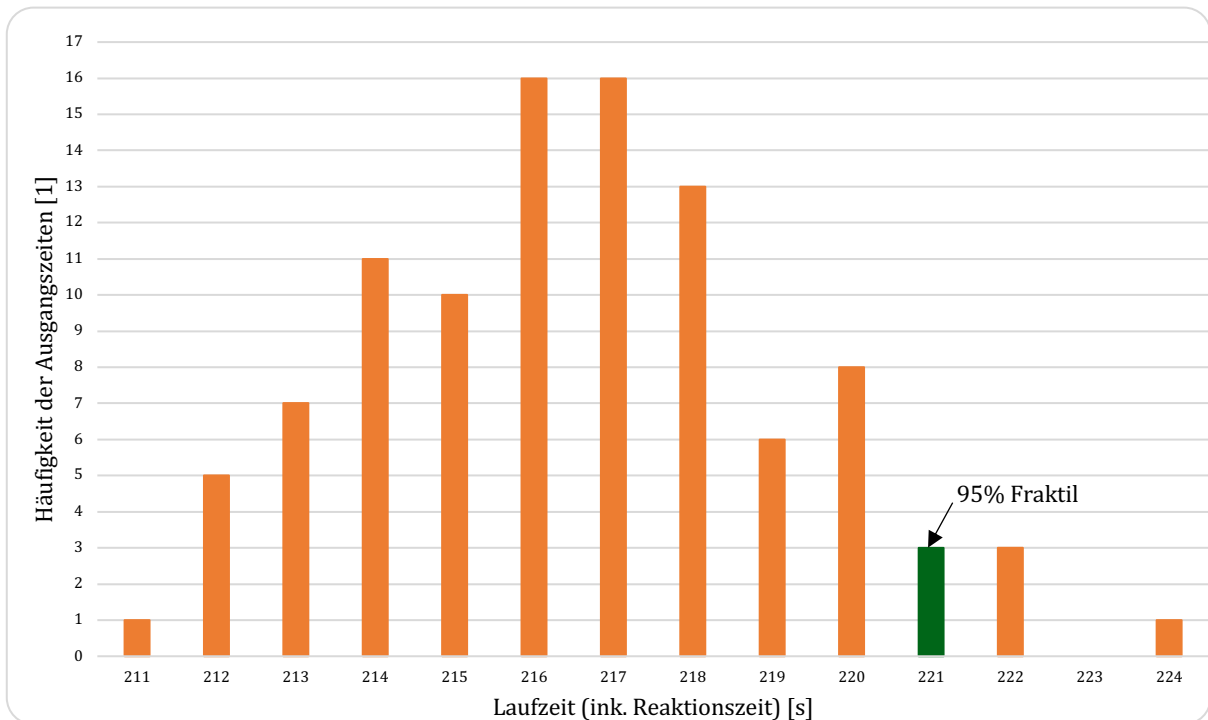


Abbildung 4-79: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 3.1-AT

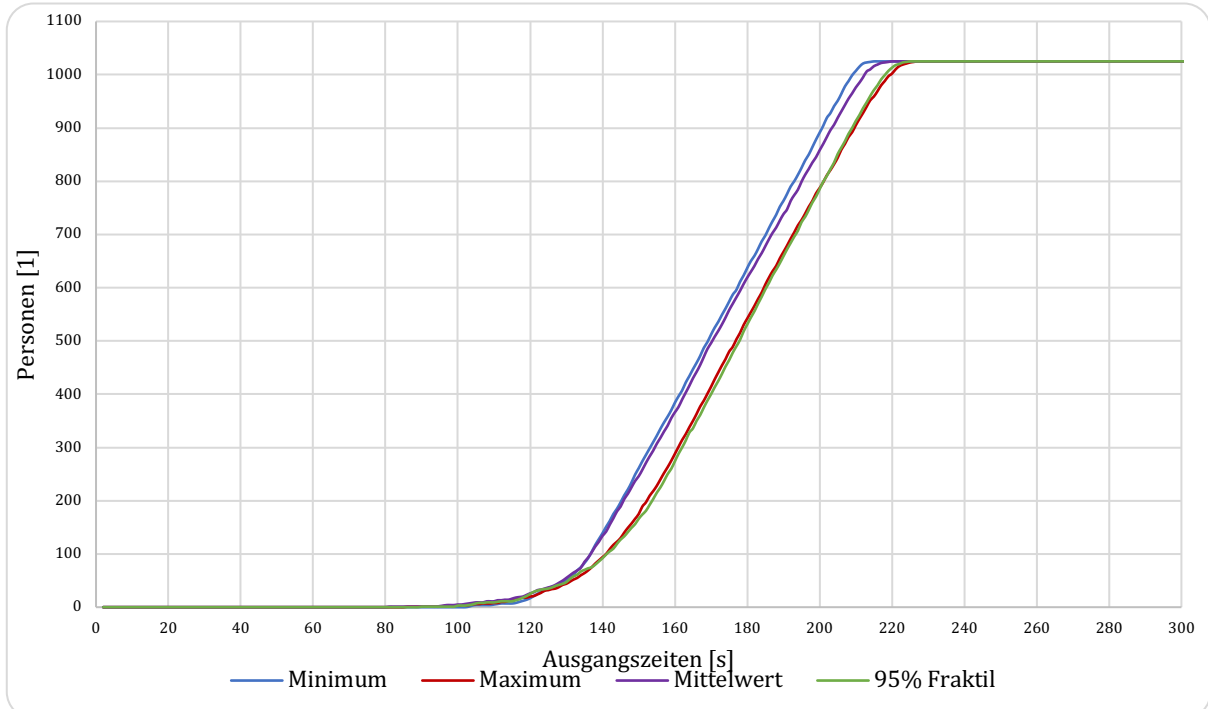


Abbildung 4-80: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 3.1 – AT

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-9 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-9: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich

	Zeit [s]
Mittelwert	216,6
Standardabweichung	2,63
Minimum	211,3
Maximum	223,6
95% Fraktile	220,9

Die Abbildung 4-81 zeigt die Entwicklung der Staus vor den Ausgängen. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, innerhalb von 150-160 s bilden sich die Staus vor den Ausgängen. Die Farbcodierungen der Gehspuren repräsentieren die Kräfte (soziale und physische), welche auf den betreffenden Agenten wirken.

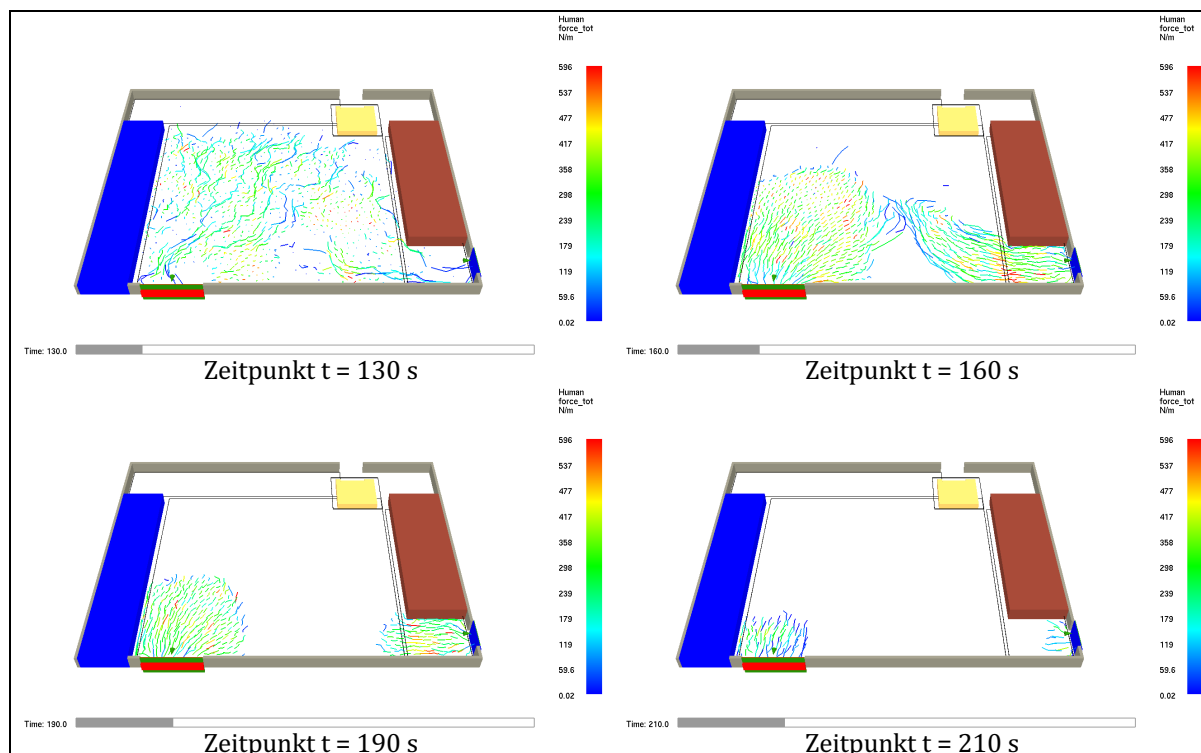


Abbildung 4-81: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 1 – S. 3.1-AT

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

Bei der Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC wird bereits die Reaktionsdauer mitberücksichtigt, somit ist zu der mit dem Modell FDS+EVAC ermittelten Zeitdauer (Verwendung der 95 % Fraktile) nur die Dauer für die Detektion dazu zu addieren, um t_{Flucht} zu berechnen.

$$t_{Flucht} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 221 \text{ s} = 281 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

RSET = 4 min 41 s

4.3.2.3 Szenario 3.1 – RO

Die folgende Abbildung 4-82 zeigt den Evakuierungsverlauf bei einer Simulation, welche der 95 % Fraktile der Zeit entspricht. Da der Ausgang 2 wegen dem Brand nicht benutzbar ist verteilen sich die Agenten zwischen Eingang und Ausgang 1. Nach dem Bewegungsbeginn (siehe Zeitpunkt 180 s) bilden sich Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge.

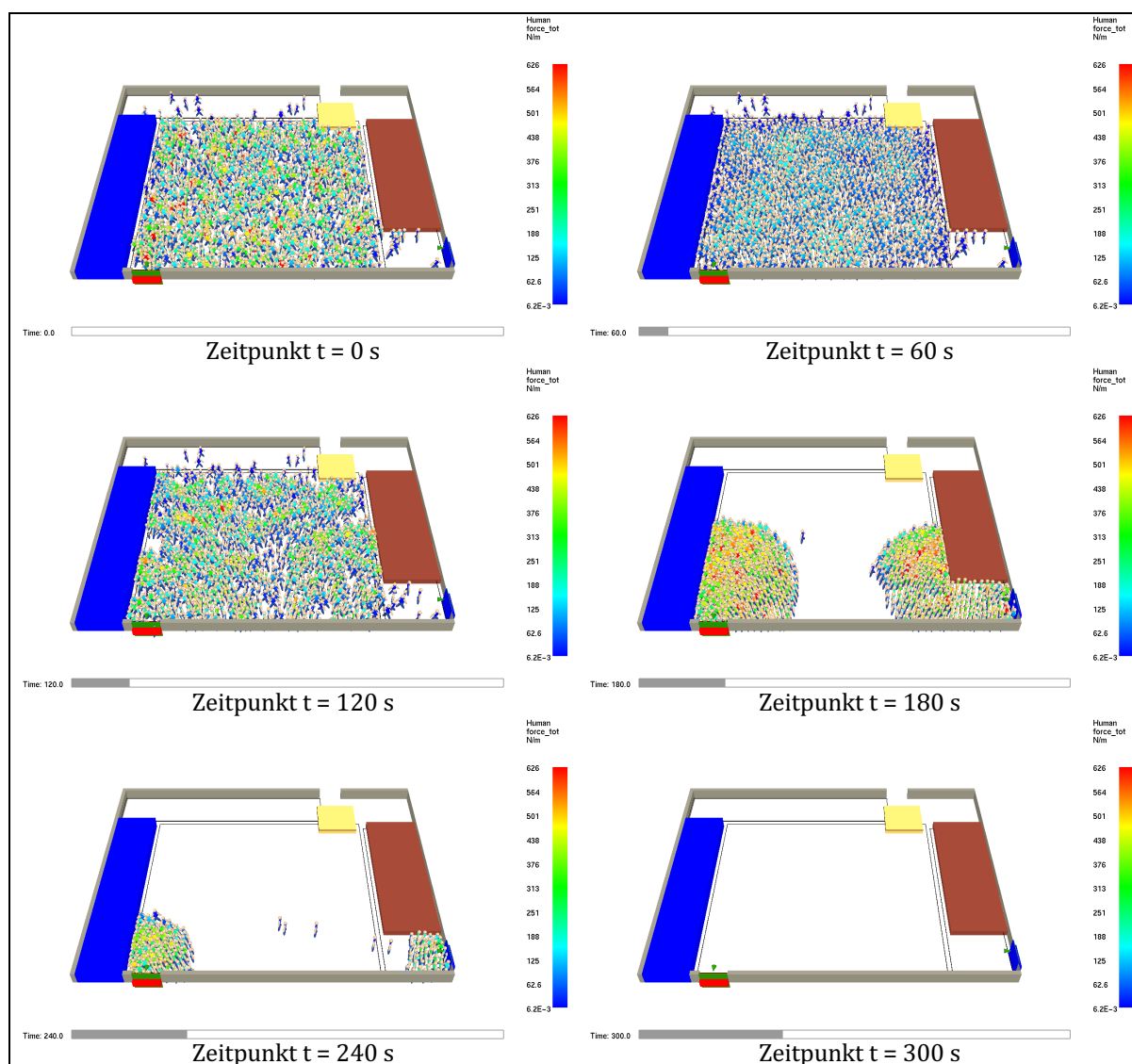


Abbildung 4-82: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1 – RO

Nach der Durchführung der 100 Simulationsläufe, um die Ergebnisse abzusichern, ergibt sich die in der Abbildung 4-83 dargestellte Verteilung der Ausgangszeiten mit der eingetragenen 95% Fraktile.

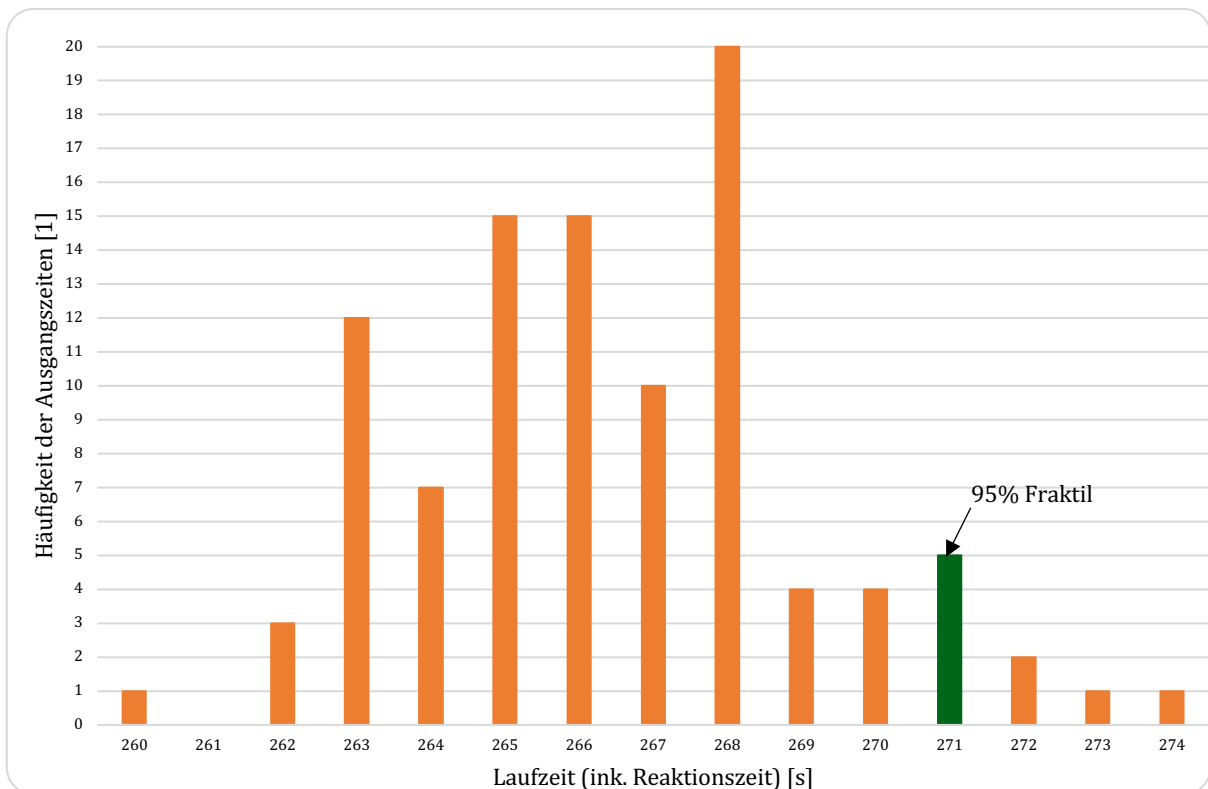


Abbildung 4-83: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile –S. 3.1 – RO

Aus der statistischen Auswertung von 100 durchgeführten Simulationsläufen ergeben sich die in der Tabelle 4-10 angegebenen Ergebnisse für die Laufzeiten inkl. der Reaktionszeiten.

Tabelle 4-10: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien und Rumänien

	Zeit [s]
Mittelwert	266,4
Standardabweichung	2,68
Minimum	260,2
Maximum	274,2
95% Fraktile	270,9

Die Abbildung 4-84 zeigt den kumulativen Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen.

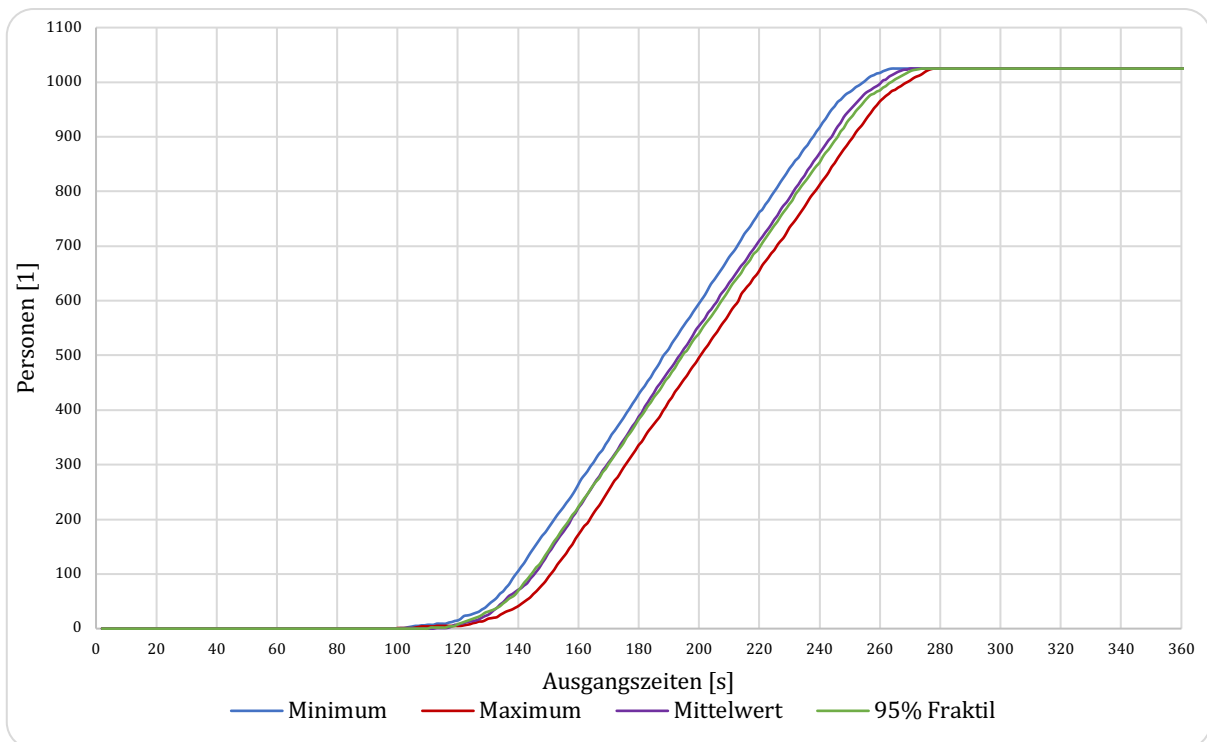


Abbildung 4-84: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen – S. 3.1 – RO

Die Abbildung 4-85 zeigt die Entwicklung der Staus im Bereich der Ausgänge. Zum Zeitpunkt 130 s erkennt man, dass sich die Personen frei und zügig bewegen können, zum Zeitpunkt 150 s bilden sich die Staus vor den Ausgängen.

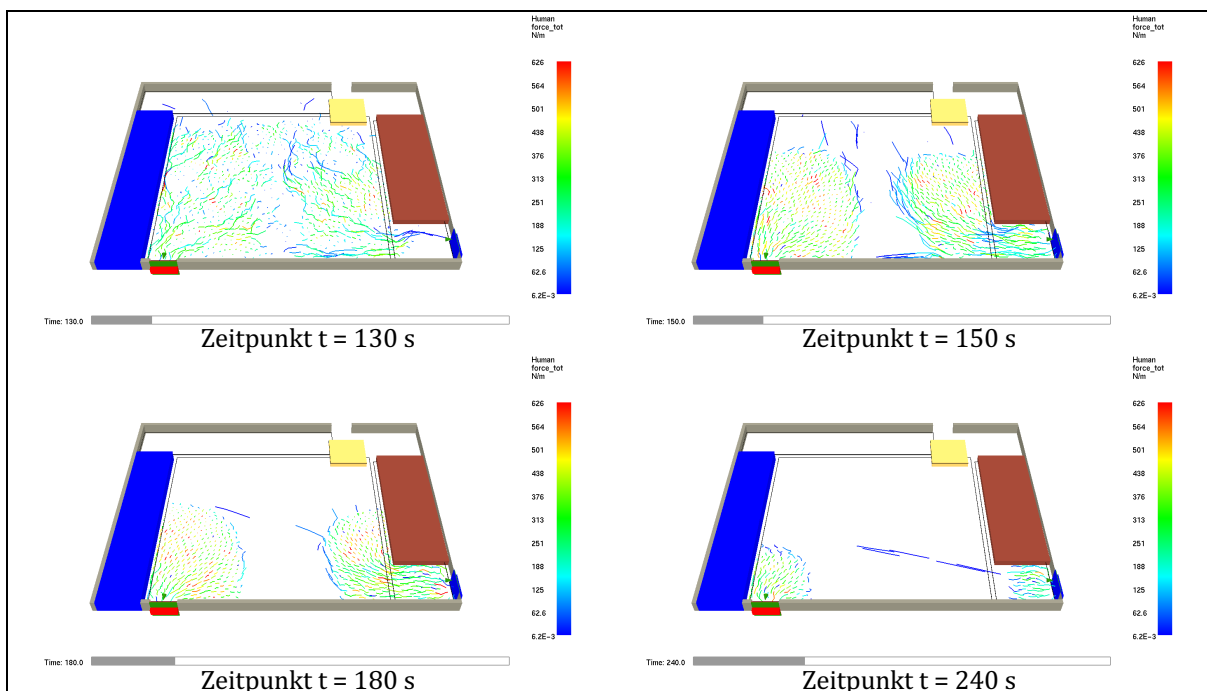


Abbildung 4-85: Staubildung im Eingangsbereich und im Bereich des Ausganges 1 – S. 3.1 – RO

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Ähnlich wie bei den Brandszenarien 1 und 2 wird die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 + 0 + 0 + 271 = 331 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodell FDS+EVAC ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

RSET = 5 min 31 s

4.3.2.4 Szenario 3.2 – GB

Die Abbildung 4-86 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb der ersten 3 Minuten zu Personenverdichtungen im Bereich der Ausgänge.

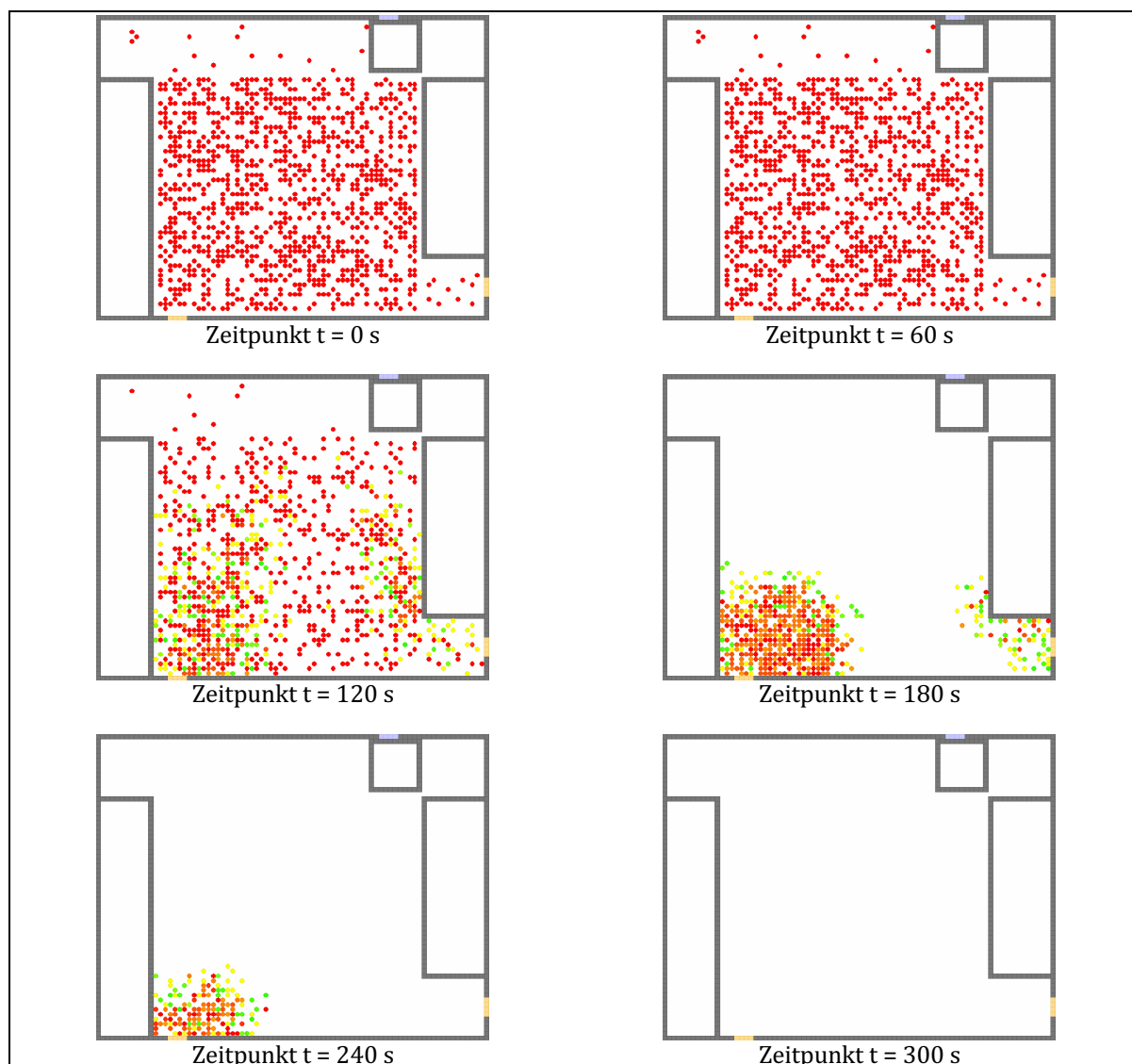


Abbildung 4-86: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 3.2 – GB

Die Abbildung 4-87 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 286 s und 312 s, der Mittelwert beträgt 296 s und die 95 % Fraktile liegt bei 305 s.

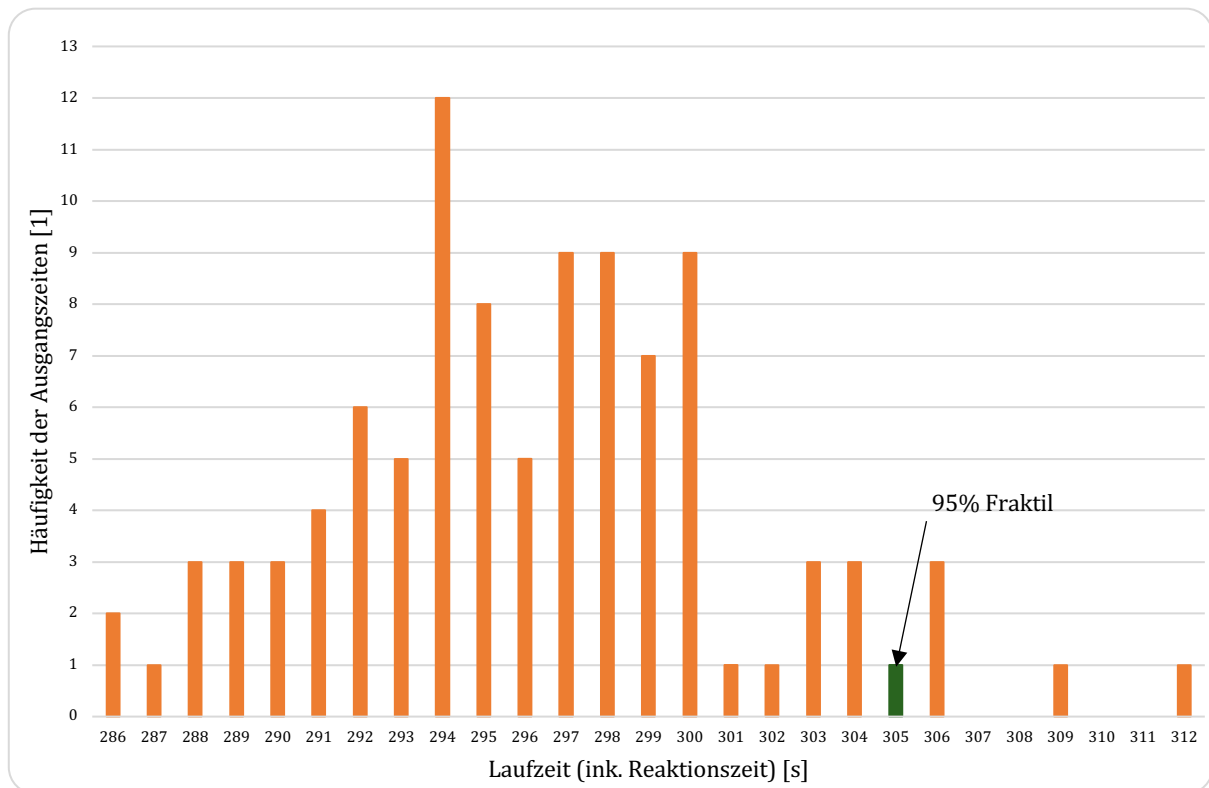


Abbildung 4-87: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 3.2-GB

Die Abbildung 4-88 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittel- und die 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen dargestellt.

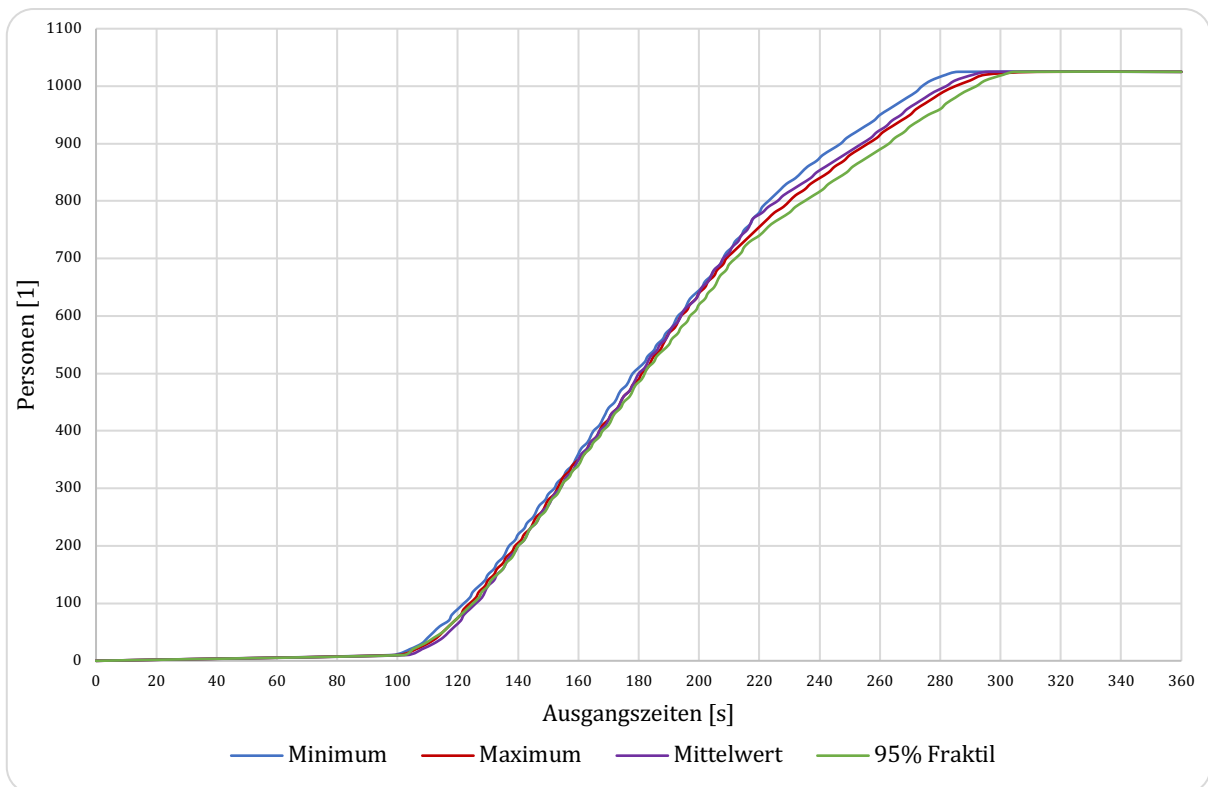


Abbildung 4-88: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen - S. 3.2 – GB

Die Abbildung 4-89 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Es treten bis zu 31 s Stauzeit auf.

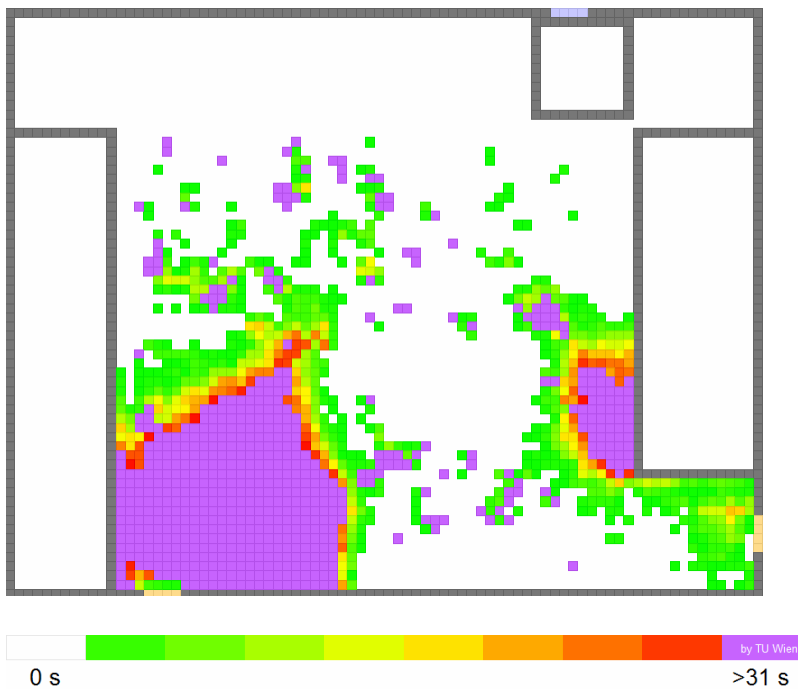


Abbildung 4-89: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2 – GB

Es ist zu erkennen, dass die Stauzeiten vor dem Eingang deutlich höher sind als die im Bereich des Ausganges 1. Die Personenverdichtung beim Ausgang 1 bildet sich nicht vor dem Ausgang, sondern an der Bühnenecke.

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 305 \text{ s} = 365 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 5 \text{ s}$$

4.3.2.5 Szenario 3.2 – AT

Die Abbildung 4-90 zeigt die grafische Darstellung des Verlaufes der Entfluchtung. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zum Beginn, kommt es innerhalb der ersten 3 Minuten zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und des Ausganges 2. Ähnlich wie in Großbritanniens Fall bildet sich die Personenverdichtung an der Bühnenecke und nicht vor dem Ausgang 1.

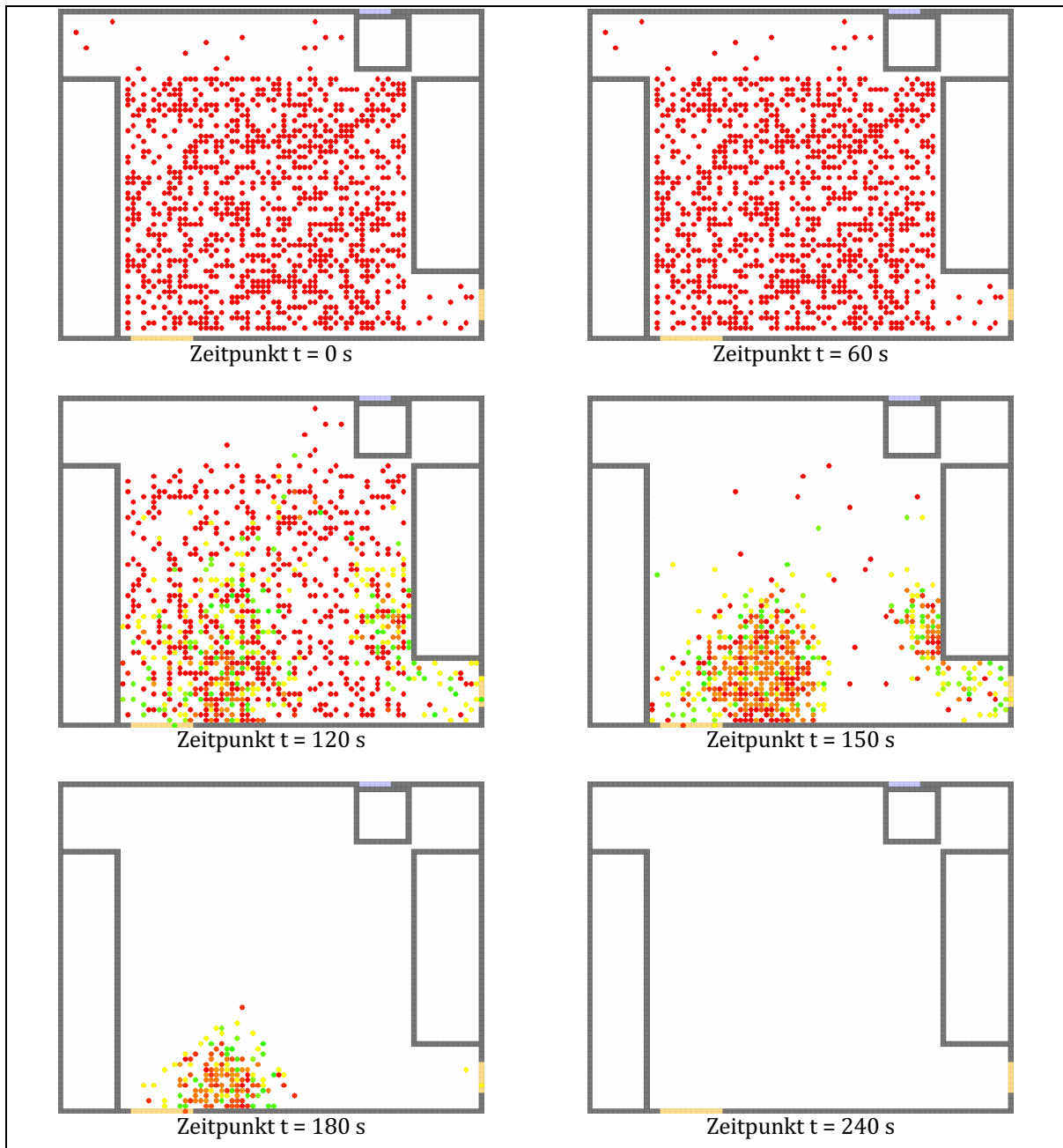


Abbildung 4-90: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten – S. 3.2 – AT

Die Abbildung 4-91 zeigt die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationenläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile (d.h. in 95 % der Fälle ist die Ausgangszeit kleiner). Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 230 s und 255 s, der Mittelwert beträgt 241 s und die 95 % Fraktile liegt bei 248 s.

Die Abbildung 4-92 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittel- und die 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationenläufen dargestellt.

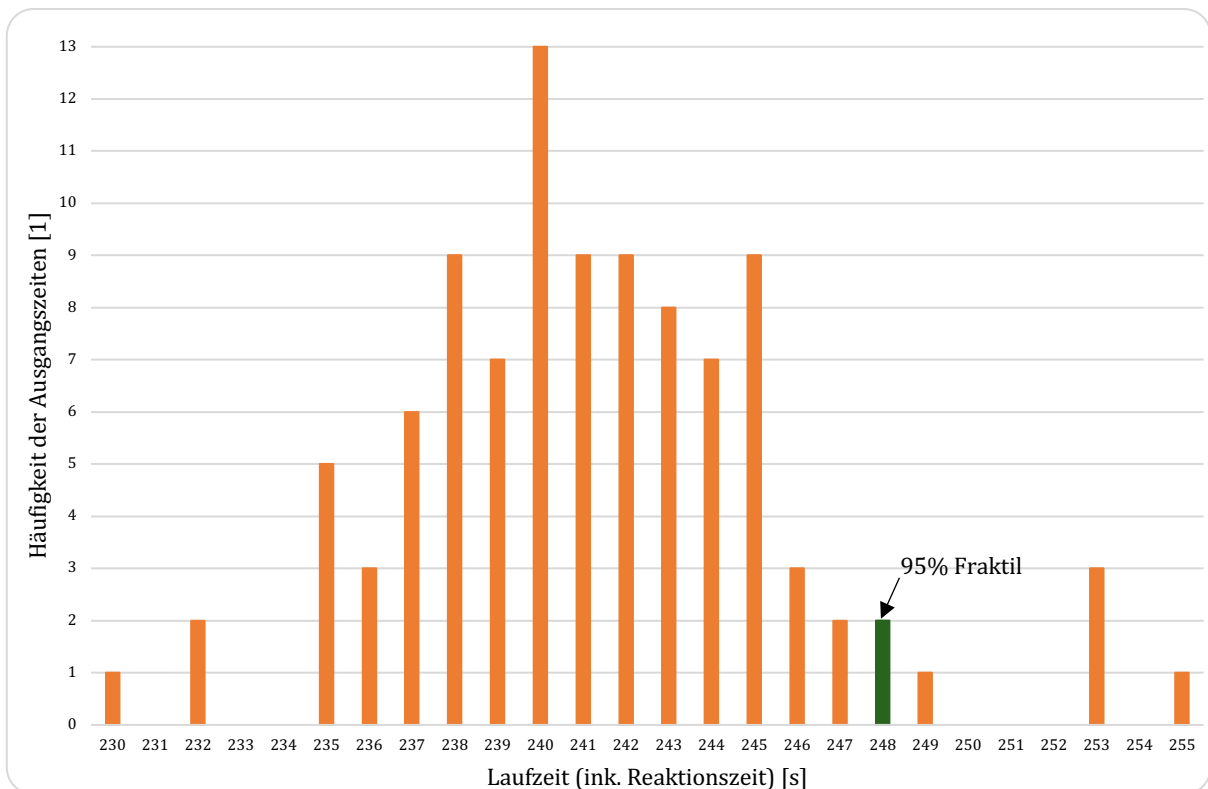


Abbildung 4-91: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 3.2 – AT

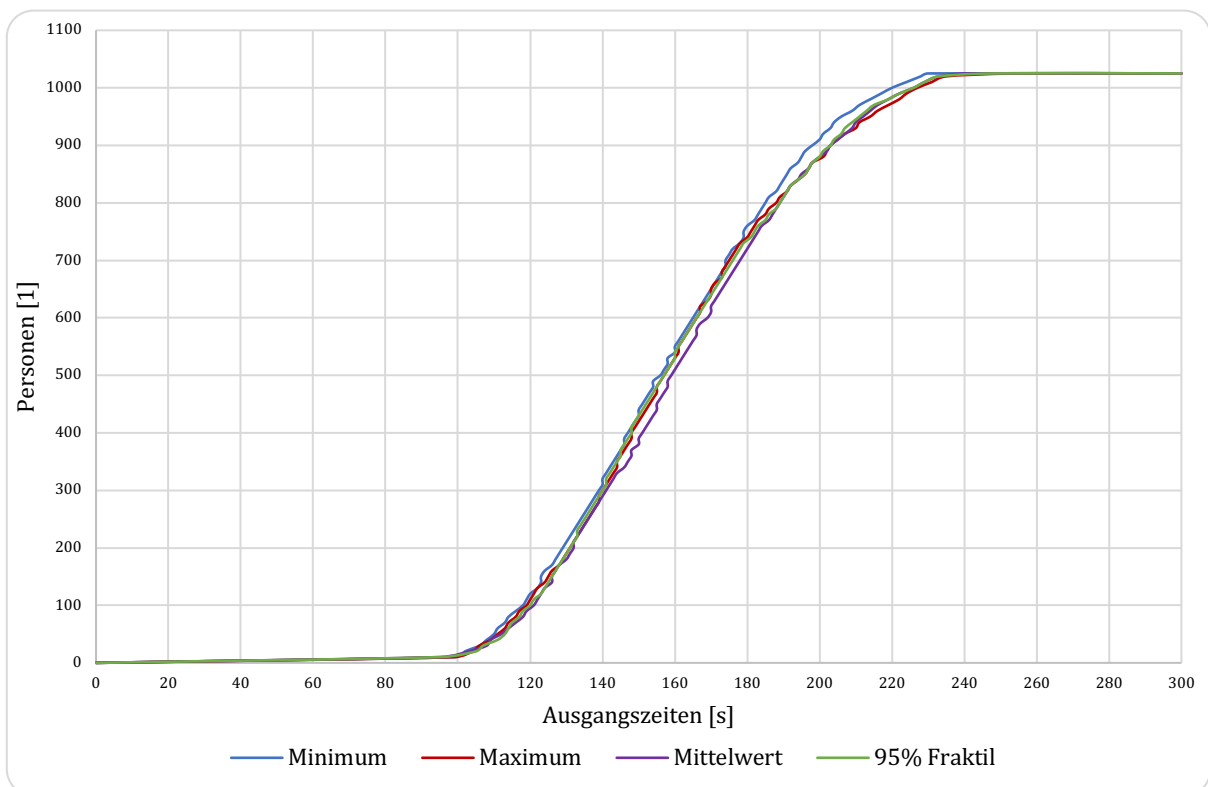


Abbildung 4-92: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen - S. 3.2 – AT

Die Abbildung 4-93 zeigt die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe. Im Bereich des Einganges und Ausganges 2 treten Stauzeiten von bis zu 25 s auf.

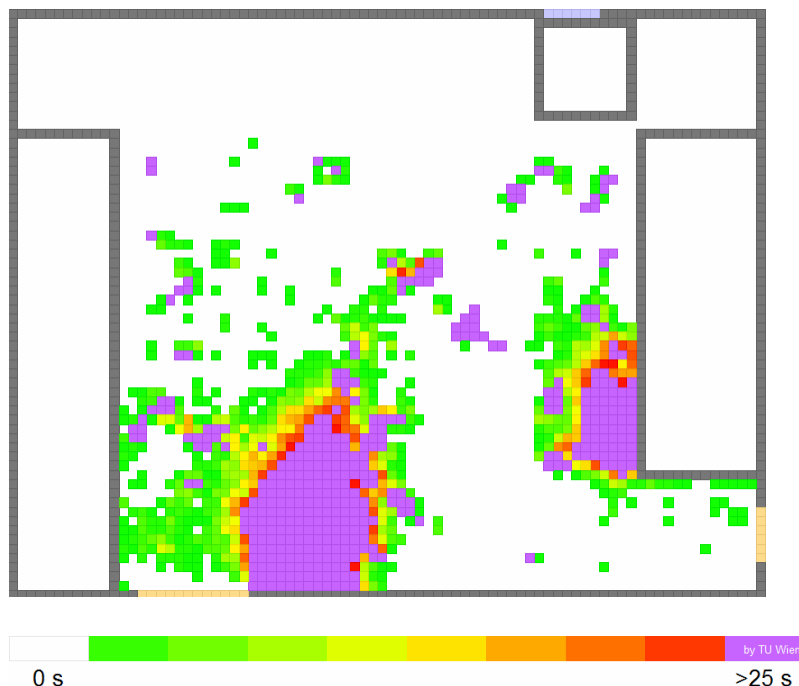


Abbildung 4-93: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2-AT

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 248 \text{ s} = 308 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 8 \text{ s}$$

4.3.2.6 Szenario 3.2 – R0

In der Abbildung 4-94 wird der Verlauf der Entfluchtung zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Ausgehend von einer gleichmäßigen Verteilung der Personen zu Beginn, kommt es innerhalb eines Zeitraums von 150 s zu Personenverdichtungen im Bereich des Einganges und des Ausganges 1.

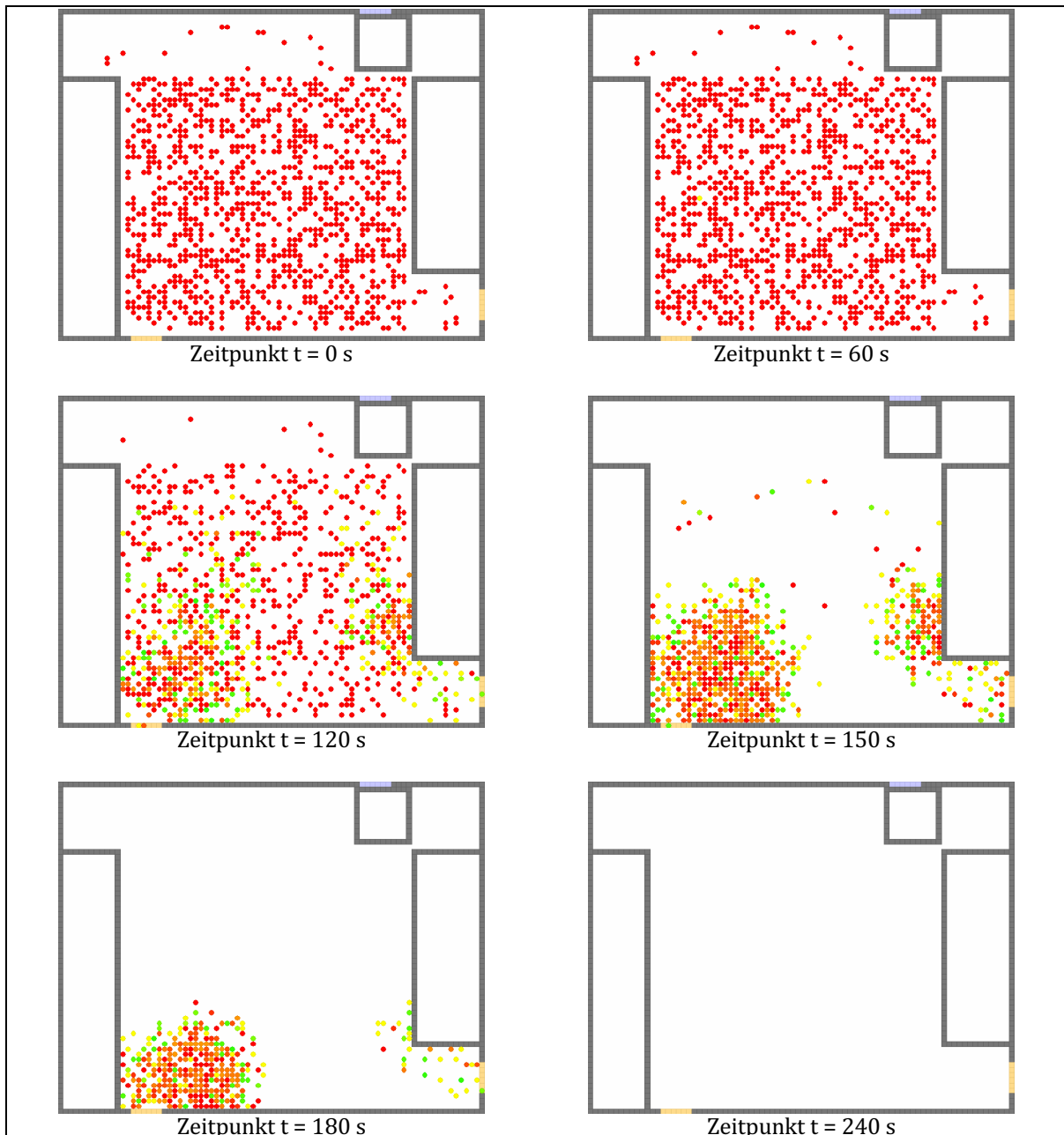


Abbildung 4-94: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 3.2 – RO

In der Abbildung 4-95 wird die Häufigkeit der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile dargestellt. Die einzelnen Simulationsergebnisse schwanken zwischen 253 s und 278 s, der Mittelwert beträgt 265 s und die 95 % Fraktile liegt bei 274 s.

Die Abbildung 4-96 zeigt den Verlauf der Entleerung der Halle. Darin sind der Minimum-, der Maximum-, der Mittelwert und die 95 % Fraktile aus 100 Simulationläufen dargestellt.

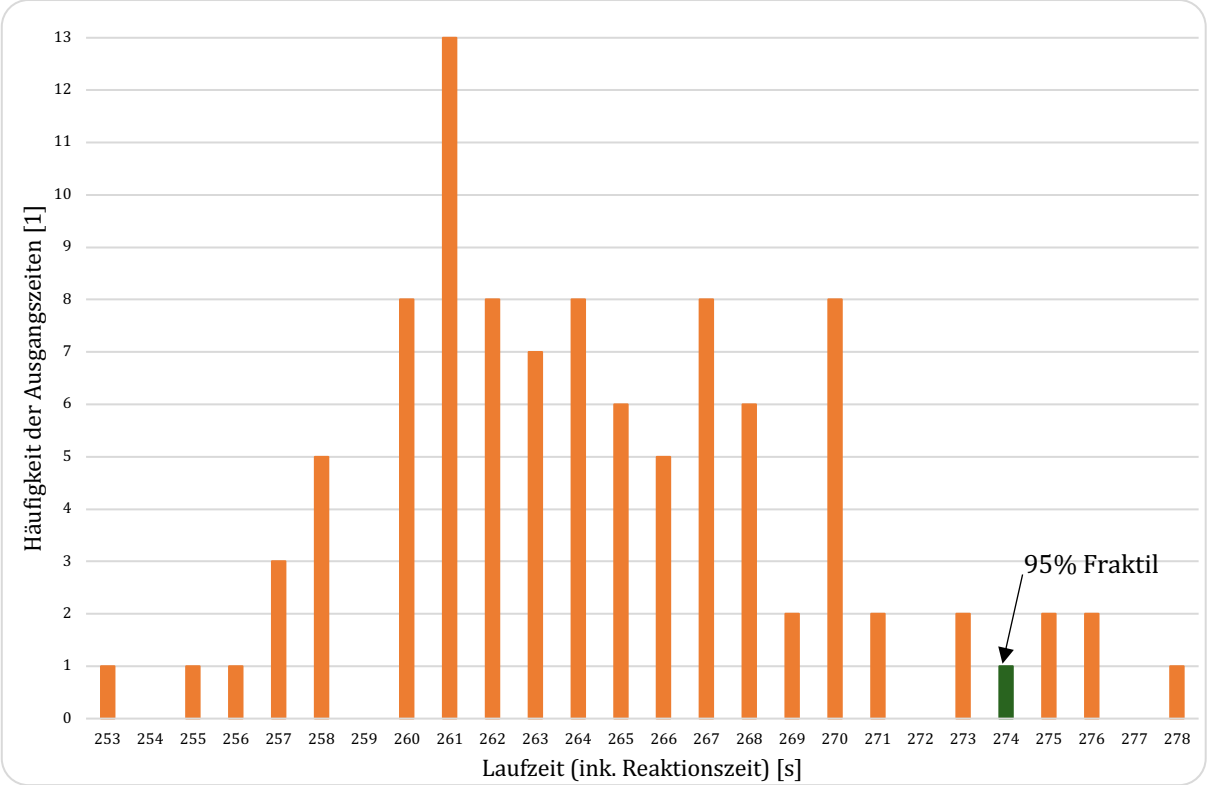


Abbildung 4-95: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - BS. 3.2 - RO

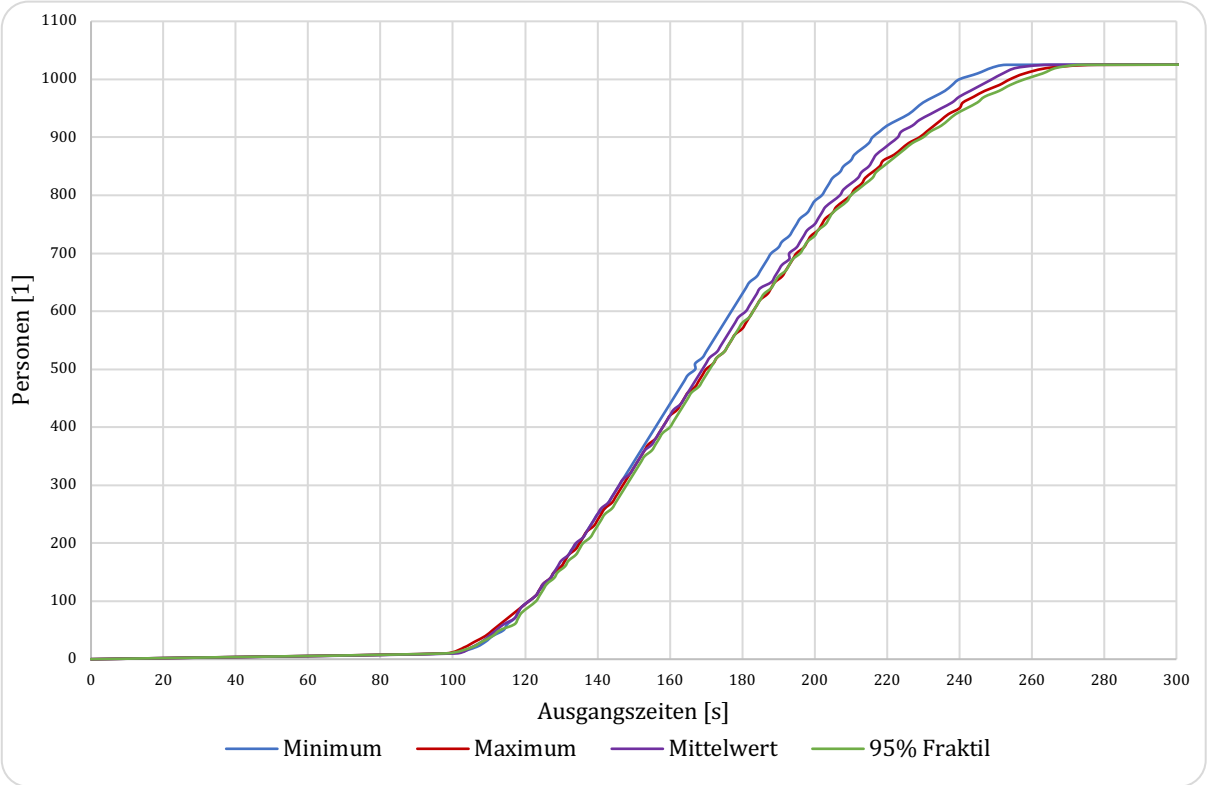


Abbildung 4-96: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationläufen - S. 3.2 - RO

In der Abbildung 4-97 wird die Verteilung und die Dauer der Stauzeiten in einem der bemessungsrelevanten Simulationsläufe dargestellt. Im Bereich der zur Verfügung stehenden Ausgänge treten Stauzeiten von bis zu 27 s auf.

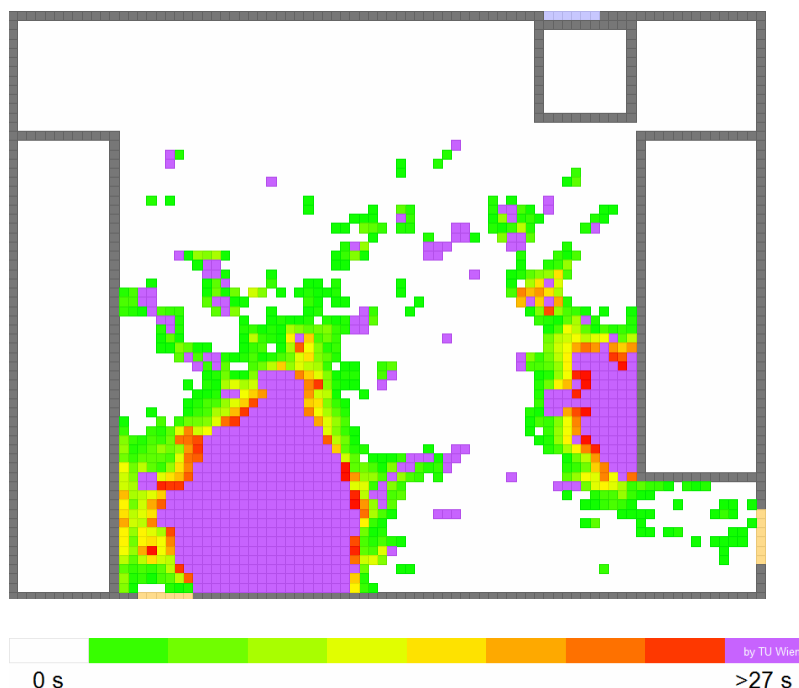


Abbildung 4-97: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2-RO

Der RSET-Wert setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird gemäß der Gleichung (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 0 + 274 \text{ s} = 334 \text{ s} = \text{RSET}$$

Durch Anwendung des Simulationsmodells PedGo ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 5 \text{ min } 34 \text{ s}$$

4.3.2.7 Szenario 3.3 – GB

Die maximale Personenanzahl beträgt $n_{\text{Personen}} = 513$, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29 \text{ m}$ und die kleinste Breite des Ausgangs $b_{\text{Engstelle, min}} = 1,7 \text{ m}$. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0 \text{ Personen/m}^2$, so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3 die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2 \text{ Personen/(m}\cdot\text{s)}$ und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6 \text{ m/s}$.

Für die Laufzeit t_{Lauf} erhält man laut (Gl. 3-5) somit:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{513}{1,2 \times 1,7} + \frac{29,0}{0,6} = 300 \text{ s}$$

Der RSET – Wert, d.h die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 300 \text{ s} = 480 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Großbritannien von:

$$\text{RSET} = 8 \text{ min}$$

4.3.2.8 Szenario 3.3 – AT

Die maximale Personenanzahl beträgt $n_{\text{Personen}} = 513$, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29 \text{ m}$ und die kleinste Breite der Ausgänge $b_{\text{Engstelle, min}} = 2,5 \text{ m}$. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0 \text{ Personen/m}^2$, so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3 die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2 \text{ Personen/(m}\cdot\text{s)}$ und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6 \text{ m/s}$.

Für die Laufzeit t_{Lauf} erhält man gemäß (Gl. 3-2) somit:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{513}{1,2 \times 2,5} + \frac{29,0}{0,6} = 219 \text{ s}$$

Demnach setzt sich der RSET-Wert aus der reinen Laufzeit, der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer gemäß (Gl. 2-16) zusammen

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 219 \text{ s} = 399 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Österreich von:

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 39 \text{ s}$$

4.3.2.9 Szenario 3.3 – RO

Die maximale Personenanzahl beträgt $n_{\text{Personen}} = 513$, die maximale Fluchtwegdistanz $d_{\text{max}} = 29 \text{ m}$ und die kleinste Breite des Ausgangs $b_{\text{Engstelle, min}} = 2,4 \text{ m}$. Unterstellt man eine mittlere Personendichte von $2,0 \text{ Personen/m}^2$, so beträgt entsprechend der Abbildung 2-12 in Abschnitt 3.1.2.3 die Durchlassfähigkeit am Ausgang ($f_{\text{Engstelle}}$) ca. $1,2 \text{ Personen/(m}\cdot\text{s)}$ und die mittlere Gehgeschwindigkeit $v_{\text{mittel}} = 0,6 \text{ m/s}$.

Für die Laufzeit t_{Lauf} erhält man somit:

$$t_{\text{Lauf}} = \frac{513}{1,2 \times 2,4} + \frac{29,0}{0,6} = 226 \text{ s}$$

Der RSET-Wert, d.h die gesamte Evakuierungsdauer, setzt sich neben der reinen Laufzeit aus der Detektionsdauer und der Reaktionsdauer zusammen. Die Entfluchtungsdauer t_{Flucht} , welche auch den RSET-Wert darstellt, wird somit gemäß (Gl. 2-16) bestimmt.

Entsprechend den in der Tabelle 3-6 zusammengestellten Dauern für die Detektion und die Reaktion errechnet sich t_{Flucht} wie folgt:

$$t_{\text{Flucht}} = 60 \text{ s} + 0 + 120 \text{ s} + 226 \text{ s} = 406 \text{ s} = \text{RSET}$$

Nach der überschlagsmäßigen Abschätzung ergibt sich somit ein RSET-Wert für Rumänien von:

$$\text{RSET} = 6 \text{ min } 46 \text{ s}$$

4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

In der Tabelle 4-11 wird die Zusammenfassung der Ergebnisse für den ASET-Wert für alle untersuchten Brandszenarien dargestellt.

Tabelle 4-11: Überblick über die Ergebnisse des ASET-Wertes für alle Brandszenarien

Nr.	Brandszenario	Land		
		GB	AT	RO
1	Brandherd mittel	ASET = 210 s		
2	Brandherd links	ASET = 240 s		
3	Brandherd rechts	ASET = 230 s		

In der Tabelle 4-12 wird die Zusammenfassung der Ergebnisse für den RSET-Wert für alle untersuchten Brandszenarien dargestellt.

Tabelle 4-12: Überblick über die Ergebnisse des RSET-Wertes

Nr.	Brandherdlage	RSET Werte der untersuchten Szenarien				
		Evak. Modelle		GB	AT	RO
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	318 s	257 s	284 s
		2	PedGO	317 s	276 s	295 s
		3	Abschätzung	396 s	342 s	347 s
2	Brandherd links	1	FDS+EVAC	318 s	257 s	284 s
		2	PedGO	315 s	265 s	291 s
		3	Abschätzung	396 s	342 s	347 s
3	Brandherd rechts	1	FDS+EVAC	385 s	281 s	331 s
		2	PedGO	365 s	308 s	334 s
		3	Abschätzung	480 s	399 s	406 s

5 Diskussionen

5.1 Ermittlung des Sicherheitsfaktors und Sicherheitsabstandes

Für die Beurteilung des Sicherheitsniveaus der untersuchten Halle werden die Indikatoren des Sicherheitsabstandes und des Sicherheitsfaktors ermittelt. Die Indikatoren werden aus den in Abschnitt 4 dokumentierten ASET und RSET Ergebnissen wie folgt definiert:

$$SA = ASET - RSET \qquad SF = \frac{ASET}{RSET}$$

mit:

SA	Sicherheitsabstand [s]
SF	Sicherheitsfaktor [1]
ASET	verfügbare Evakuierungszeit [s]
RSET	benötigte Evakuierungszeit [s]

Ein positiver SA-Wert bedeutet, dass die Evakuierung abgeschlossen ist, bevor die Auswirkungen des Brandes die Evakuierung behindern.¹⁷⁹

Ein SF-Wert größer 1 bedeutet, dass die Evakuierung abgeschlossen ist, bevor die Auswirkungen des Brandes die Evakuierung behindern.

Die Tabelle 5-1 zeigt die resultierenden Sicherheitsabstände aus den Berechnungen mit den verschiedenen Modellen für die betrachteten Länder. Es wurden drei Länder, Österreich, Großbritannien und Rumänien und drei Brandszenarien untersucht. Zur Bestimmung des ASET-Wertes für die untersuchten Brandszenarien wurde das Simulationsmodell FDS verwendet. Es ergeben sich somit 3 verschiedene ASET-Werte. Für die Bestimmung des RSET-Wertes für die untersuchten Brandszenarien und Länder wurden 3 Verfahren bzw. Simulationsmodelle eingesetzt. Es ergeben sich somit insgesamt 27 RSET-Werte bzw. Sicherheitsabstände.

Die errechneten Sicherheitsabstände für die betrachteten Länder liegen zwischen:

- für Brandszenario 1 -47 s und -137 s,
- für Brandszenario 2 -17 s und -156 s,
- für Brandszenario 3 -51 s und -250 s,

d.h. alle Sicherheitsabstände sind negativ. Im Sinne der Definitionen der Indikatoren ist somit unter den gegebenen Rand- und Grenzbedingungen nicht davon auszugehen, dass die Evakuierung abgeschlossen ist, bevor die Auswirkungen des Brandes die Evakuierung behindern.

¹⁷⁹ Vgl. PD 7974-6:2004, Seite 7

Tabelle 5-1: Sicherheitsabstände

Nr.	Brandherdlage	Sicherheitsabstände der untersuchten Szenarien				
		Evak. Modelle	GB	AT	RO	
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	-108 s	-47 s	-74 s
		2	PedGO	-107 s	-66 s	-85 s
		3	Abschätzung	-186 s	-132 s	-137 s
2	Brandherd links	1	FDS+EVAC	-78 s	-17 s	-44 s
		2	PedGO	-75 s	-25 s	-51 s
		3	Abschätzung	-156 s	-102 s	-107 s
3	Brandherd rechts	1	FDS+EVAC	-155 s	-51s	-101 s
		2	PedGO	-135 s	-78 s	-104 s
		3	Abschätzung	-250 s	-169 s	-176 s

Anhand der Bestimmung der Sicherheitsabstände lassen sich 27 Sicherheitsfaktoren errechnen. Die resultierenden Sicherheitsfaktoren sind in der Tabelle 5-2 dargestellt. Alle Sicherheitsfaktoren liegen deutlich unter 1, somit ist davon auszugehen, dass unter den gegebenen Rand- und Grenzbedingungen die Evakuierung noch nicht abgeschlossen ist, bevor die Auswirkungen des Brandes die Evakuierung behindern.

Tabelle 5-2: Sicherheitsfaktoren

Nr.	Brandherdlage	Sicherheitsfaktoren der untersuchten Szenarien				
		Evak. Modelle	GB	AT	RO	
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	0,66	0,82	0,74
		2	PedGO	0,66	0,76	0,71
		3	Abschätzung	0,53	0,61	0,61
2	Brandherd links	1	FDS+EVAC	0,75	0,93	0,85
		2	PedGO	0,76	0,91	0,82
		3	Abschätzung	0,61	0,70	0,69
3	Brandherd rechts	1	FDS+EVAC	0,60	0,82	0,69
		2	PedGO	0,63	0,75	0,69
		3	Abschätzung	0,48	0,58	0,57

5.2 Bewertung des Einflusses der Brandherdlage auf den Evakuierungsverlauf

Wie schon im Abschnitt 4 ermittelt, ist die Rußkonzentration das maßgebende Kriterium für die Bestimmung des ASET-Wertes an der Auswerteposition F in einer Höhe von 2,5 m über der FOK. In den Abbildungen Abbildung 5-1, Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 wird ein Überblick über die ASET- und RSET-Werte für jedes Brandszenario dargestellt.

Die Brandherdlage hat einen direkten Einfluss auf den ASET-Wert durch Rauchströmungen und einen indirekten Einfluss auf den RSET-Wert durch den Verlust eines Ausganges.

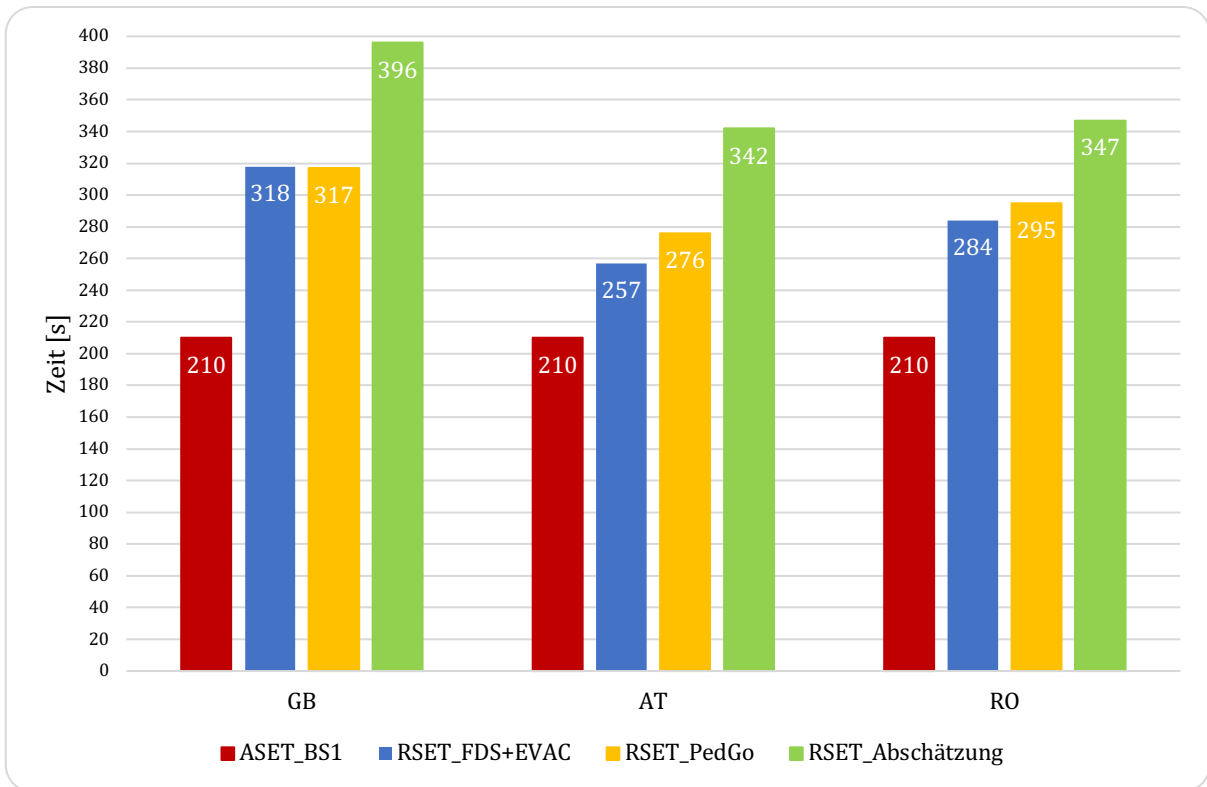


Abbildung 5-1: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandzenario 1

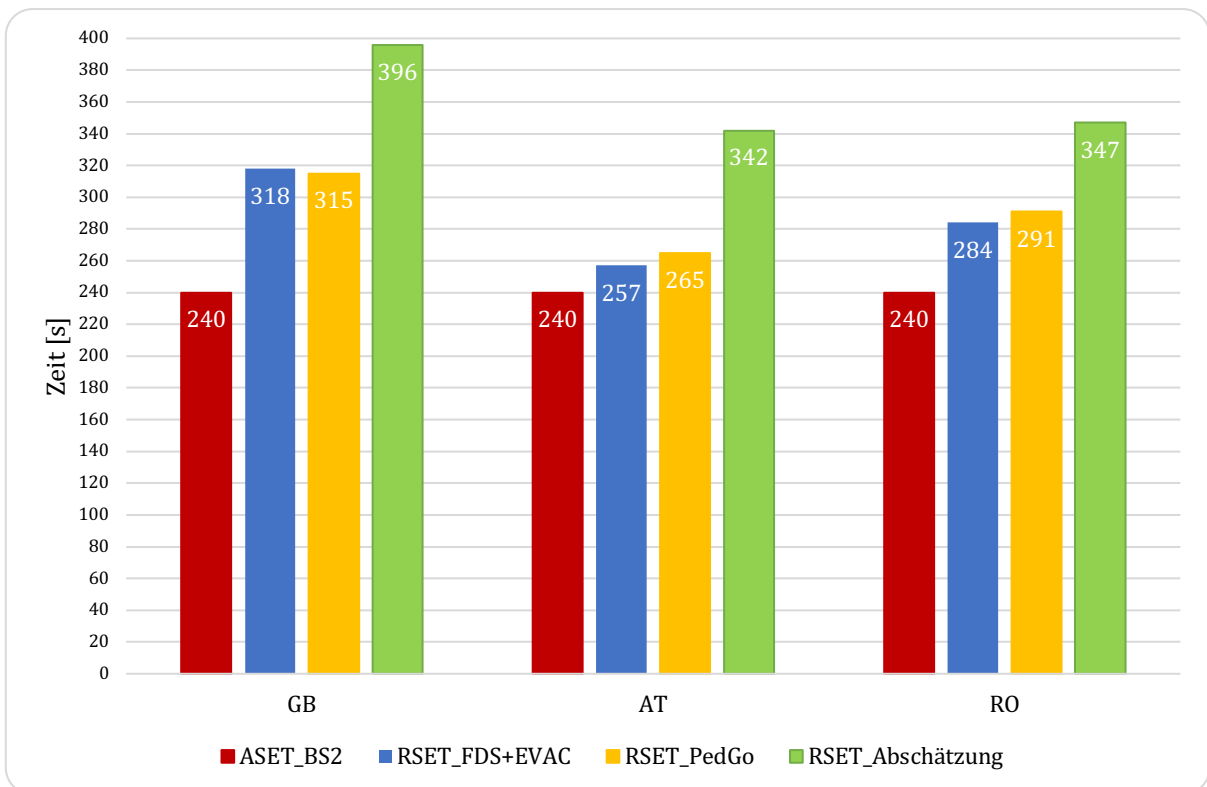


Abbildung 5-2: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandzenario 2

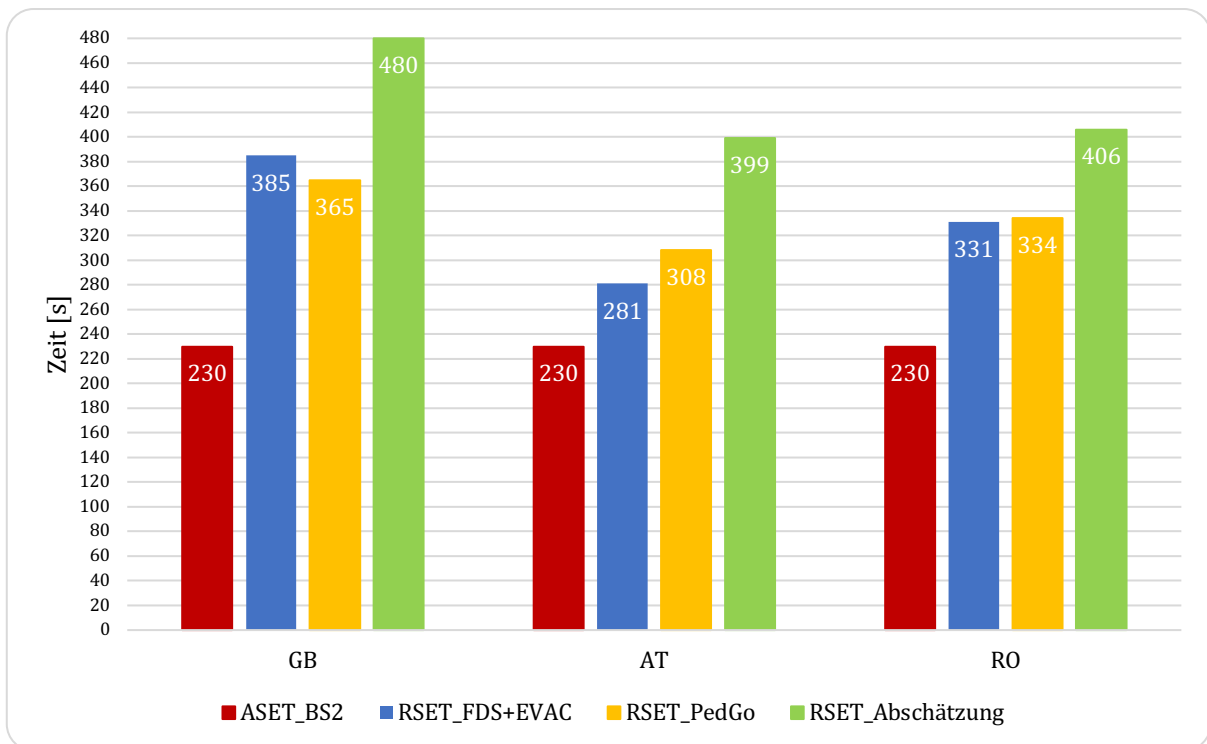


Abbildung 5-3: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandszenario 3

Wie in den vorigen Abbildungen dargestellt, wurden ASET Werte zwischen 210 s und 240 s ermittelt. Das ungünstigste Brandszenario ist das Brandszenario 1 mit 210 s (BS 1), bei dem die Brandherdlage in der Mitte der Halle liegt.

In gegenständlichen Fällen spielt die Brandherdlage keine entscheidende Rolle für den Evakuierungsverlauf, da in jedem Fall der Sicherheitsabstand < 0 und der Sicherheitsfaktor < 1 wird.

Die Abbildungen Abbildung 5-4, Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 zeigen einen Überblick über den Entleerungsverlauf des betrachteten Brandszenarios eines jeden Landes im Vergleich zum dem Brandszenario zugehörigen ASET-Wert. Die dargestellten Entleerungsverläufe entsprechen den 95% Fraktilwert aus 100 mit dem Programm PedGO durchgeführten Simulationsläufe.

Bei der Brandsimulationen des Brandszenarios 1 haben bis zum Erreichen der für die Personen unverträglichen Grenzwerten in Großbritannien ca. 35%, in Österreich 54% und in Rumänien 46% der Personen das Gebäude verlassen.

Beim Brandszenario 2 erhöht sich der ASET-Wert um 30 s, somit erhöht sich auch die Personenanzahl, die das Gebäude verlässt. In Großbritannien haben 69%, in Österreich 87% und in Rumänien 81% der Personen das Gebäude verlassen.

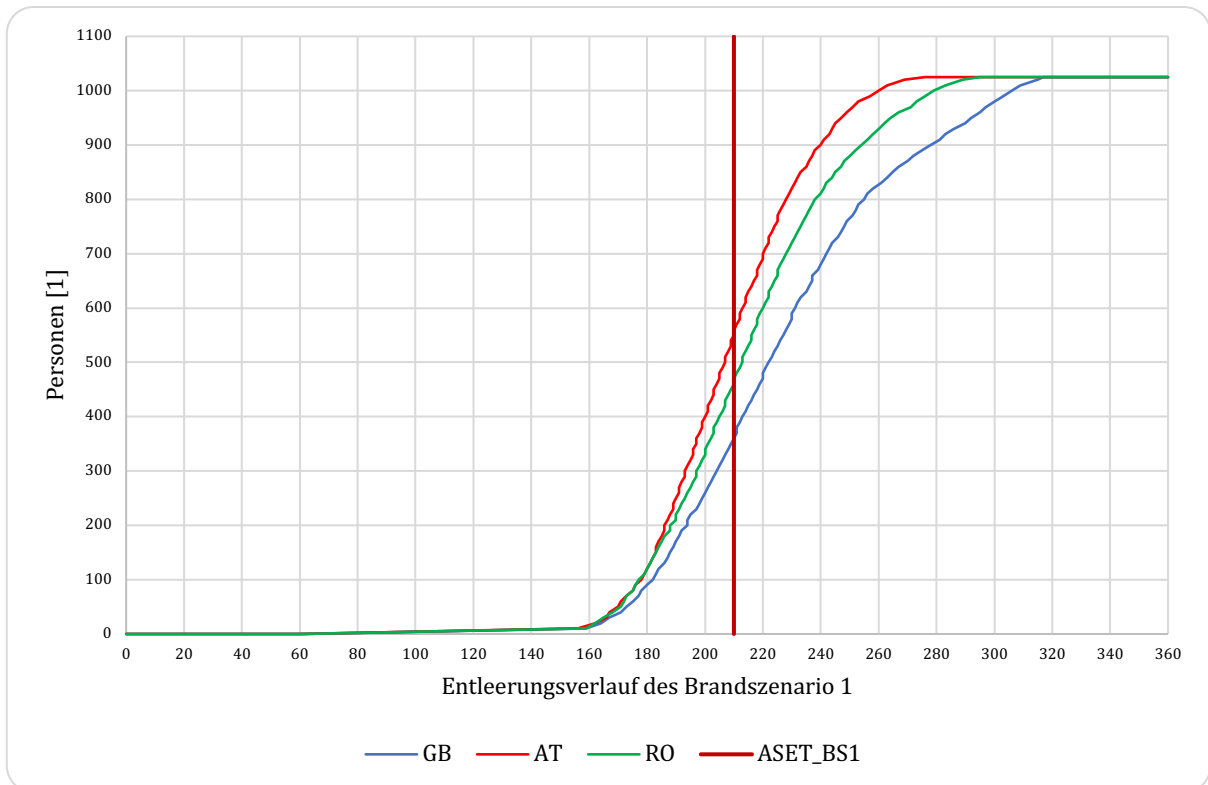


Abbildung 5-4: Vergleich des Entleerungsverlaufs des BS. 1 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert

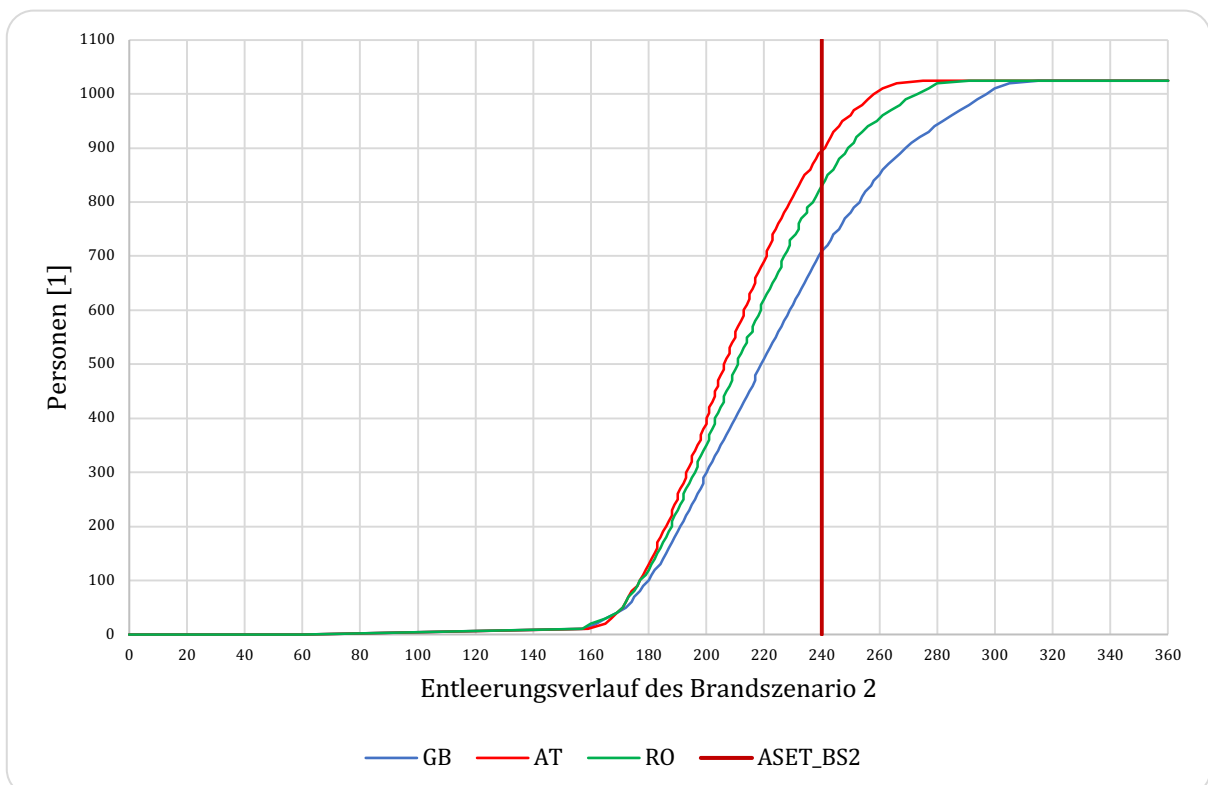


Abbildung 5-5: Vergleich des Entleerungsverlaufs des BS. 2 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert

Beim Brandszenario 3 erhöht sich der ASET-Wert um 20 s im Vergleich zum ASET-Wert des Brandszenarios 1. Ein wesentlicher Aspekt des Brandszenarios 3 ist, dass einer der Ausgänge wegen der Brandherdlage behindert ist, somit stehen nur 2 Ausgänge für die Evakuierung zur Verfügung. In diesem Fall haben, bis zum Erreichen der für die Personen unverträglichen Grenzwerten, in Großbritannien ca. 40%, in Österreich 79% und in Rumänien 48% der Personen das Gebäude verlassen.

Der Unterschied zwischen Österreich und Großbritannien bzw. Rumänien ergibt sich aus der zur Verfügung stehenden Ausgangsbreite. Bei den Evakuierungssimulationen für Österreich wurde nicht das für den Evakuierungsverlauf ungünstigste Szenario betrachtet, nämlich der Verlust des breitesten Ausgangs, in diesem Fall des Einganges, mit einer Breite von 5.0 m. Beim Betrachten des ungünstigsten Szenarios für Österreich ergibt sich eine Modellgeometrie, welche für das Simulationsprogramm PedGo die selbe ist wie die verwendete Modellgeometrie für Rumänien. Daher sind für dieses Szenario die österreichischen RSET-Werte sowie die gerettete Personenanzahl identisch mit den rumänischen Werten.

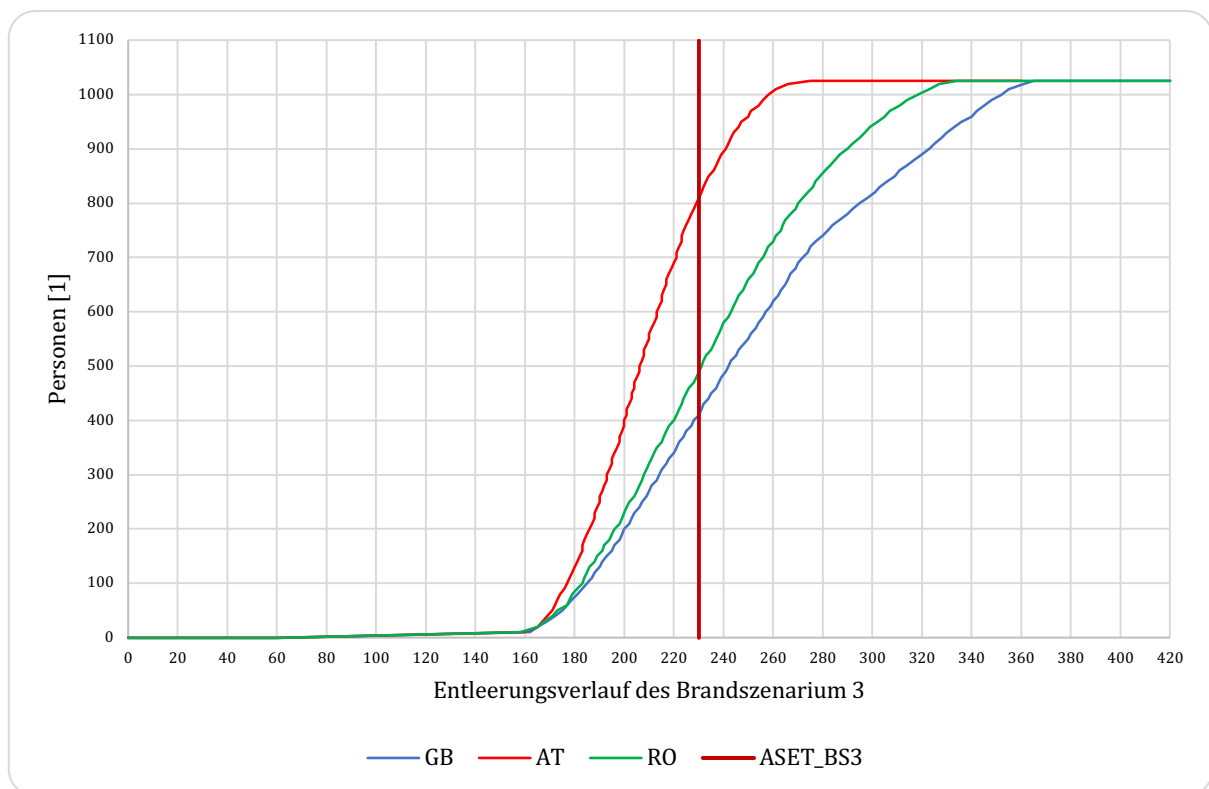


Abbildung 5-6: Vergleich des Entleerungsverlauf des BS. 3 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert

Die Brandherdlage hat einen indirekten Einfluss auf den Evakuierungsverlauf durch Verlust eines Ausganges. In den Abbildungen Abbildung 5-7, Abbildung 5-8 und Abbildung 5-9 werden die mittels drei verschiedener Modelle berechneten RSET-Werten des Brandszenarios 1 bzw. 2 mit dem RSET-Wert des Brandszenarios 3 für jedes Land dargestellt.

Beim Verlust eines Ausganges (BS 3) steigt der RSET-Wert um ca. 15% in Großbritannien, 12% in Österreich und 13% in Rumänien an. Dieser Anstieg ist unabhängig von der Art der Berechnungsmethode.

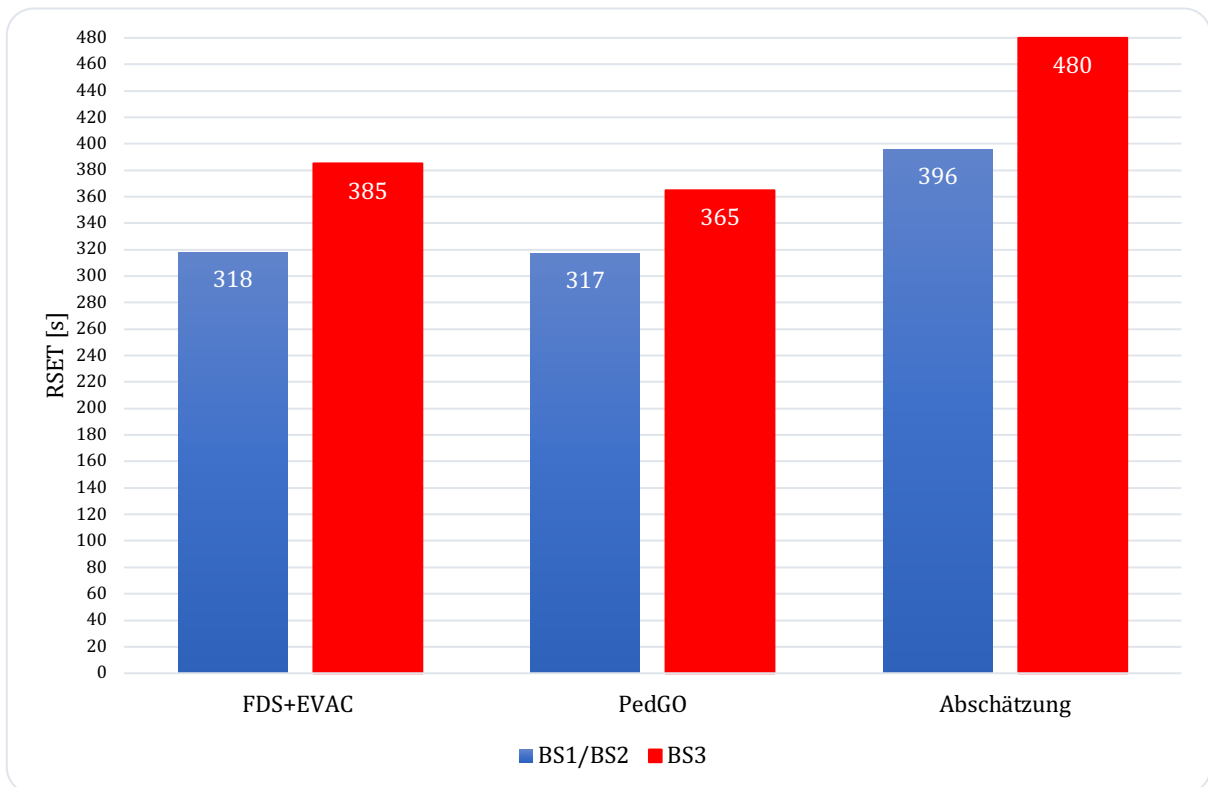


Abbildung 5-7: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Großbritannien

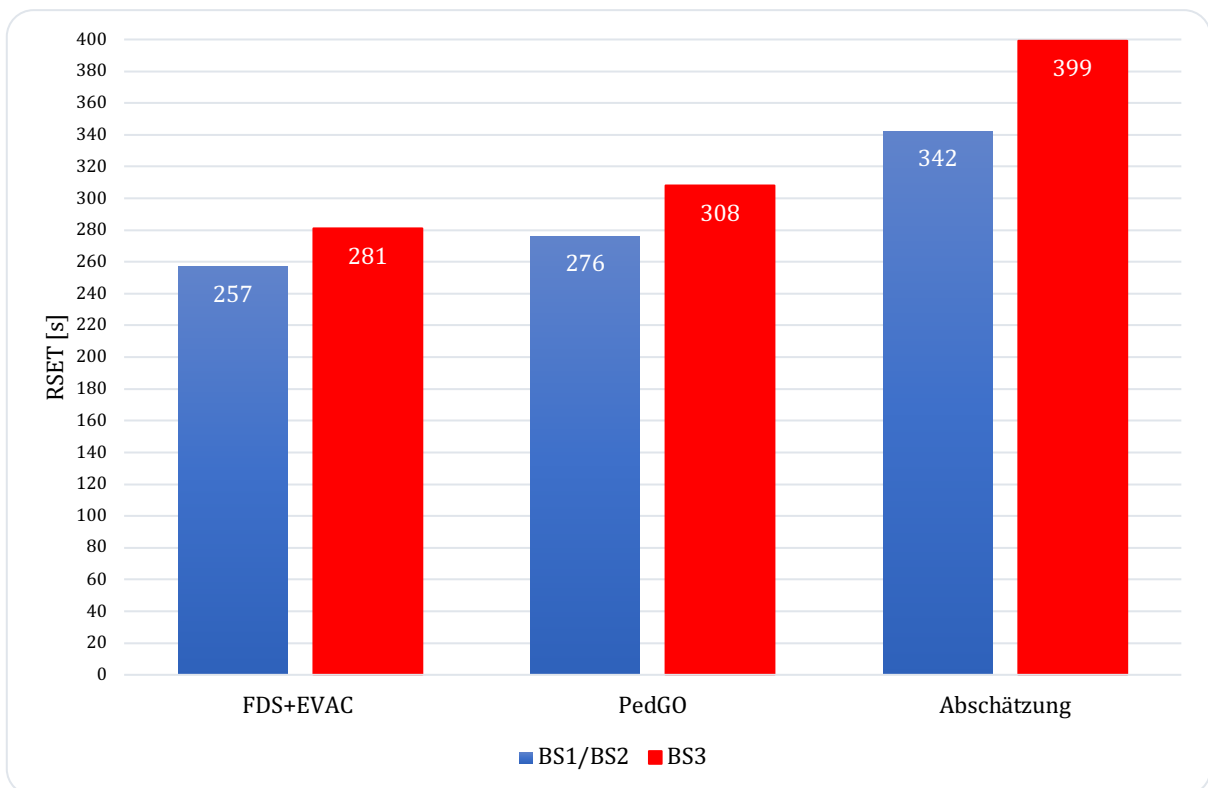


Abbildung 5-8: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Österreich

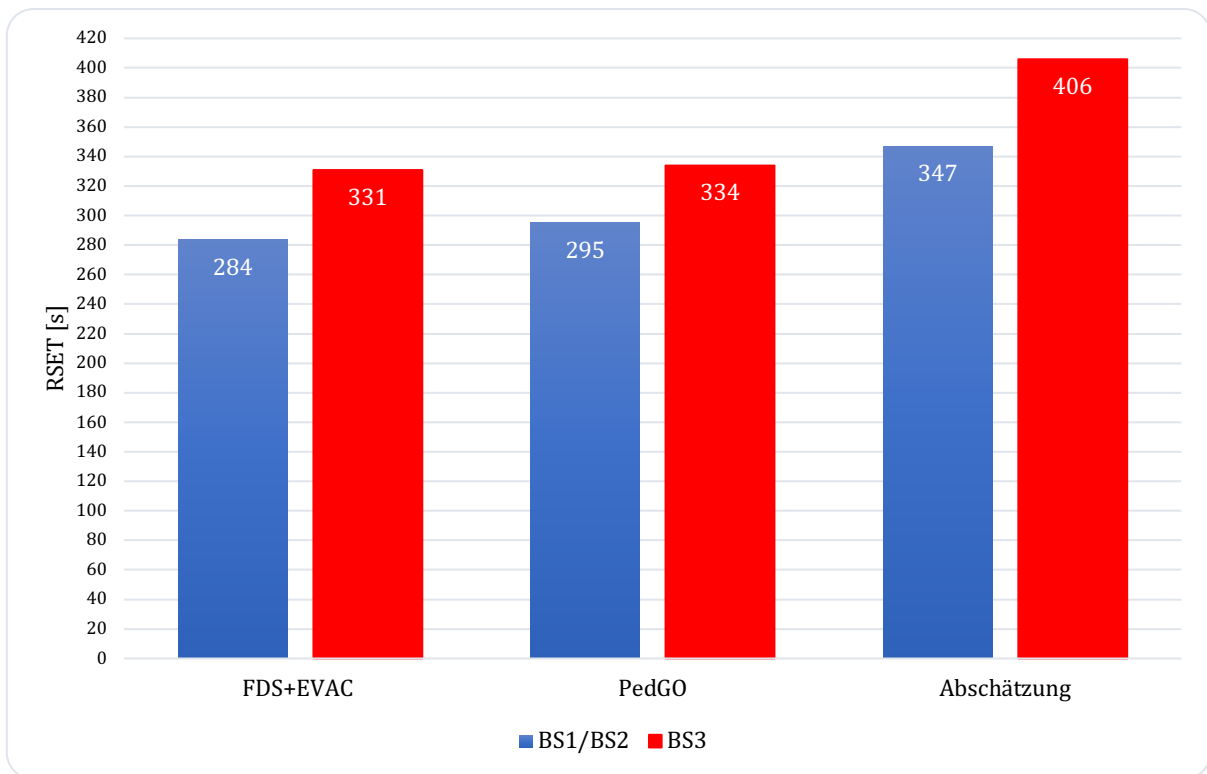


Abbildung 5-9: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Rumänien

5.3 Bewertung des Einflusses der Ausgangsbreite auf den Evakuierungsverlauf

Die Variation der Ausgangsbreite wurde durch die verschiedenen normativen Grundlagen eingesetzt. In der Abbildung 5-10 werden die relativen Ausgangsbreiten der betrachteten Länder dargestellt.

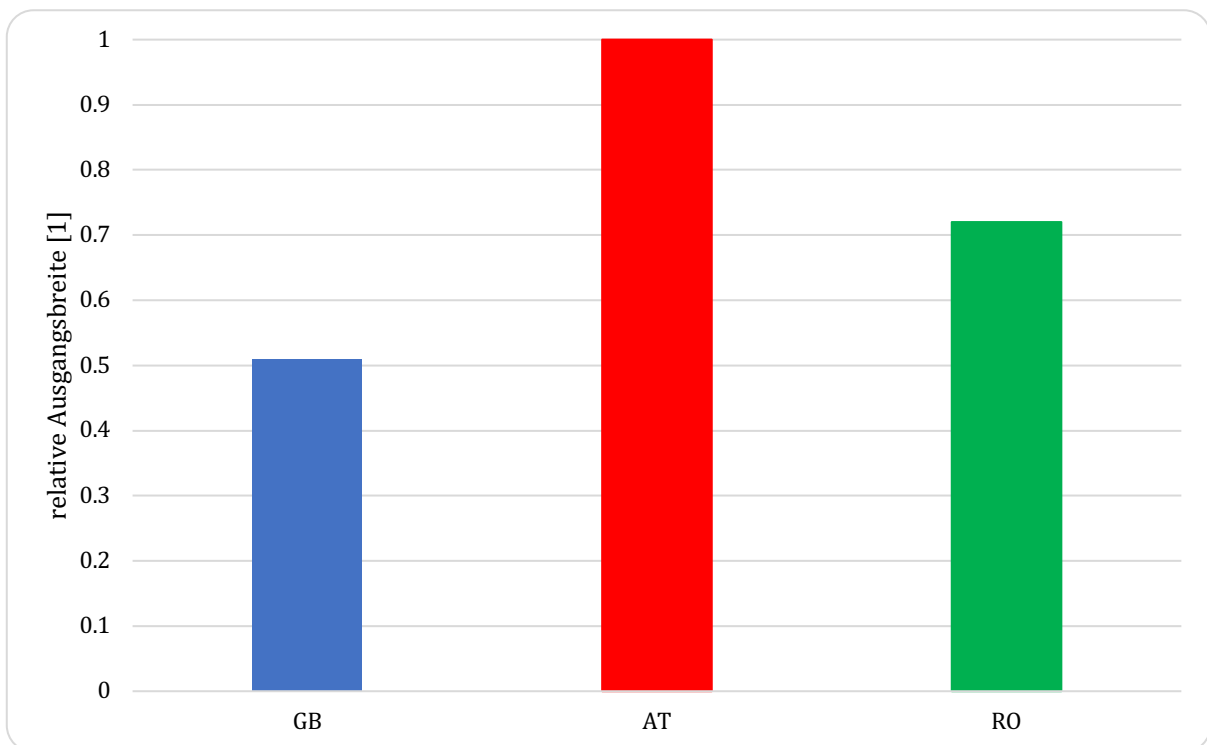


Abbildung 5-10: Relative Ausgangsbreite der betrachteten Länder

In der Abbildung 5-11 ist zu erkennen, dass beim Brandszenario 1 der RSET-Wert für Großbritannien im Vergleich zum österreichischen RSET-Wert um ca. 15-24% ansteigt. Im Fall des rumänischen Beispiels steigt der RSET-Wert um ca. 1-11% an. Der Anstiegswert ist von der Berechnungsmethode abhängig.

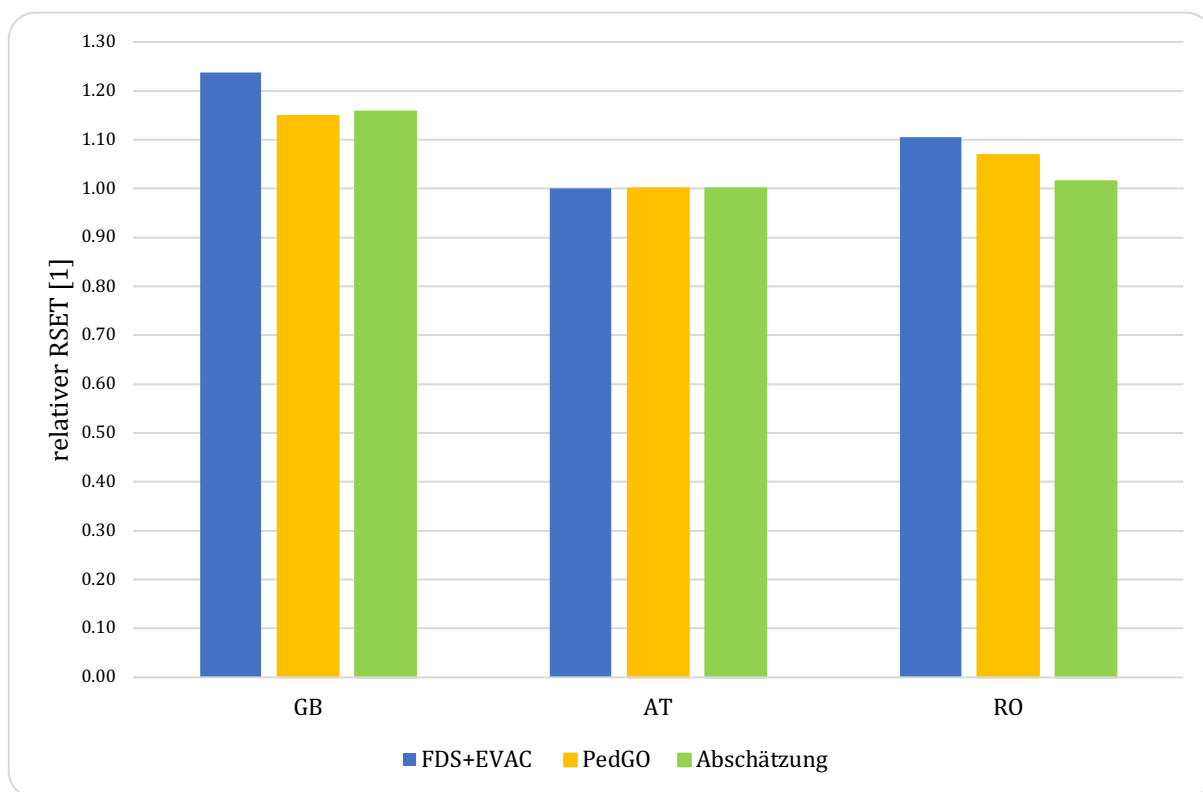


Abbildung 5-11: Relative RSET-Werte der betrachteten Länder beim BS. 1

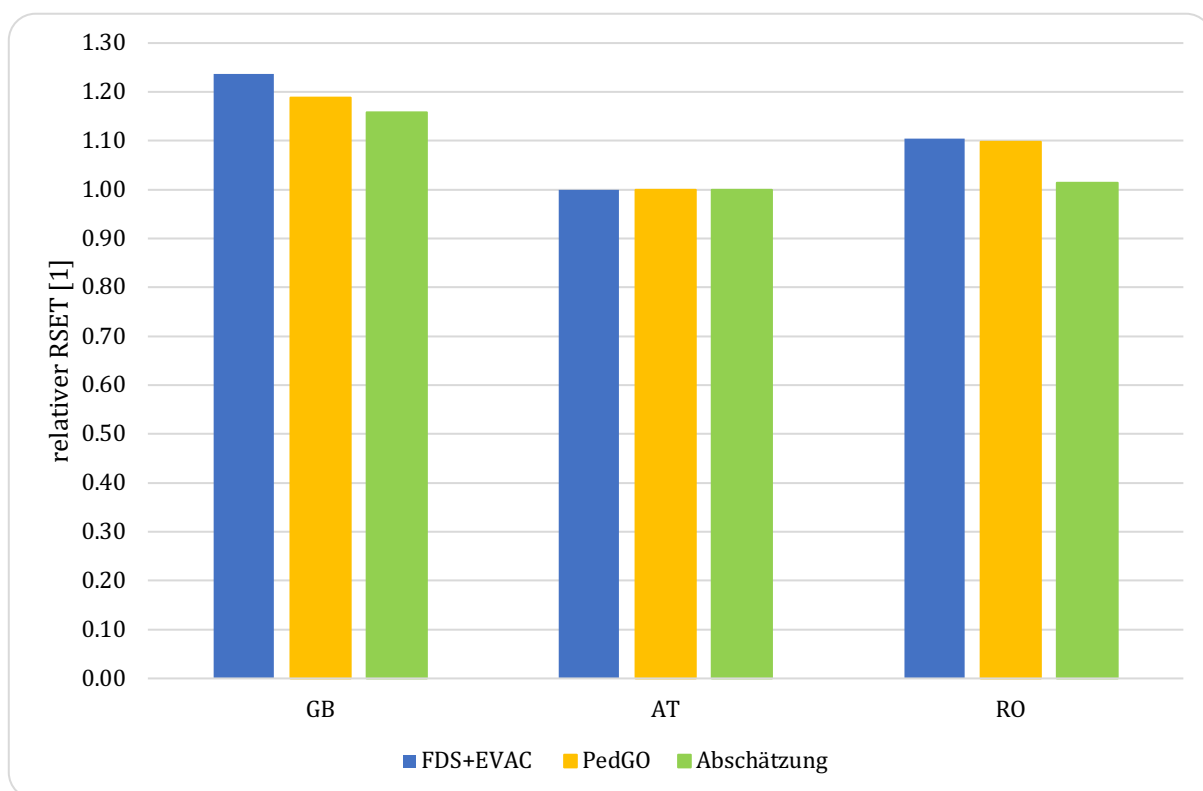


Abbildung 5-12: Relative RSET-Werte der betrachteten Länder beim BS. 2

Die Abbildung 5-12 zeigt die RSET-Werte der betrachteten Länder beim Brandszenario 2. Im Vergleich zum österreichischen RSET-Wert steigen sie um ca. 16-24% im Fall Großbritanniens und um ca. 1-11% im Fall Rumäniens.

In der Abbildung 5-13 ist zu erkennen, dass beim Brandszenario 3 der RSET-Wert für Großbritannien im Vergleich zum österreichischen RSET-Wert um ca. 20-37% ansteigt. Im Fall des rumänischen Beispiels steigt der RSET-Wert um ca. 2-18% an. Der Anstiegswert ist auch von der Berechnungsmethode abhängig.

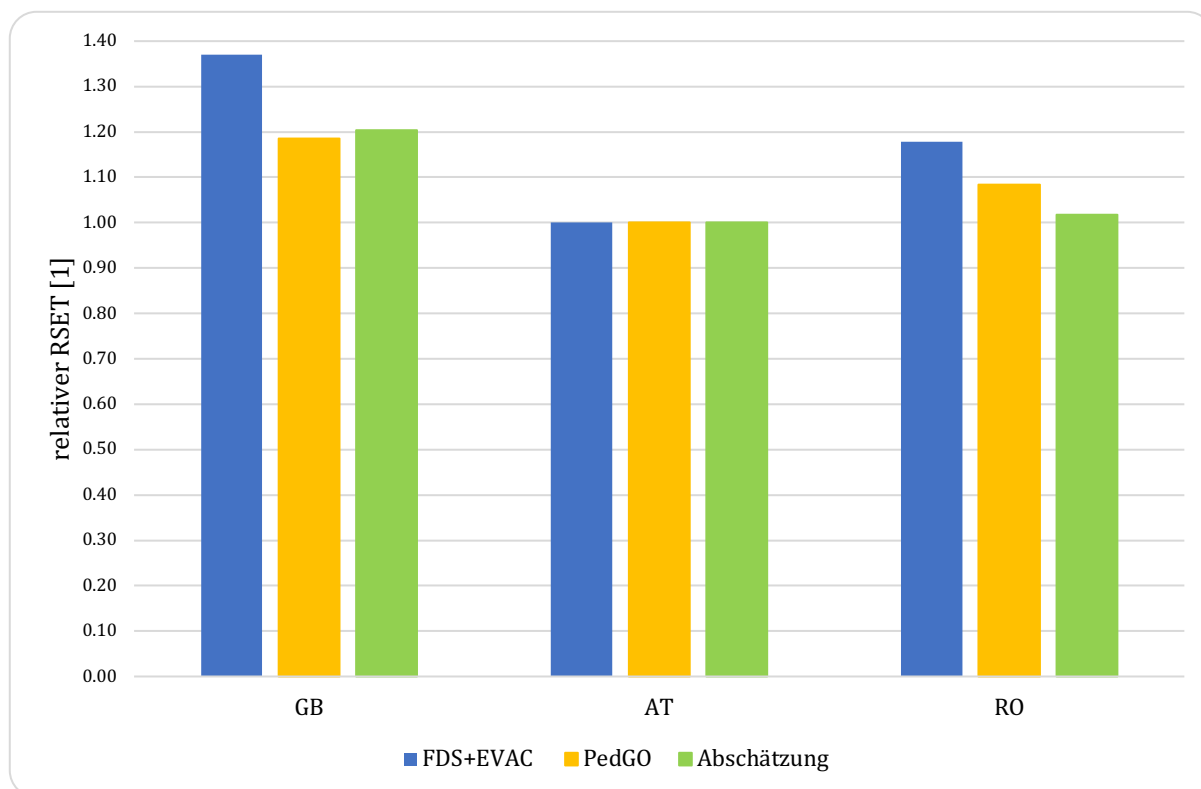


Abbildung 5-13: Relative RSET Werte der betrachteten Länder beim BS. 3

In der Tabelle 5-3 wird die Ausnutzung der Ausgangsbreiten für die betrachteten Brandszenarien dargestellt. Zu erkennen ist, dass bei allen Brandszenarien und Ländern rund 3 Personen/s/m aus dem Gebäude austreten. Die Ausgangsbreite ist in Großbritannien am meistens ausgenutzt und in Österreich am wenigstens.

Tabelle 5-3: Ausnutzung der Ausgangsbreite bei den untersuchten Brandszenarien und Ländern

Brand-szenario	Personen/s			Personen/s/m Ausgangsbreite		
	GB	AT	RO	GB	AT	RO
BS. 1	3,23	3,71	3,47	0,67	0,39	0,48
BS. 2	3,25	3,87	3,52	0,68	0,40	0,49
BS. 3	2,81	3,33 (3,07)	3,07	0,88	0,46 (0,64)	0,64

Die Werte in den Klammern entsprechen dem für den Evakuierungsverlauf ungünstigsten Szenario, nämlich dem Verlust des breitesten Ausganges.

5.4 Bewertung des Einflusses der „pre-movement“ Zeit auf den Evakuierungsverlauf

Um den Einfluss der „pre-movement“ Zeit auf den Evakuierungsverlauf festzustellen, muss erst die reine Gehzeit ermittelt werden. In diesem Fall ist die reine Gehzeit die Zeitspanne, in der die letzte Person den Raum verlässt ohne eine „pre-movement“ Zeit zu berücksichtigen. Die Gehzeit besteht aus der Zeit, die die Personen brauchen, um die Wegstrecke bis zum Ausgang zurückzulegen und den Stauzeiten vor dem Ausgang. In diesem Fall spielen die baulichen Anforderungen an Flucht- und Rettungswege für die Gehzeit eine entscheidende Rolle. Für die Ermittlung der Gehzeit der betrachteten Brandszenarien und Länder wurden Simulationsverläufe mit dem Simulationsprogramm PedGo durchgeführt. Bei den Simulationen wurde die Reaktionszeit der Personen nicht berücksichtigt. Aufgrund der zufälligen Verteilungen der Anfangspositionen der Personen in der Simulation werden 100 Simulationsläufe durchgeführt.

In der Tabelle 5-4 werden die ermittelten Gehzeiten für die betrachteten Brandszenarien und Länder dargestellt. Die Gehzeiten entsprechen den 95% Fraktilwert aus 100 Simulationsläufe.

Tabelle 5-4: Überblick auf die mit PedGO ermittelten Gehzeiten

Nr.	Brandszenario	Gehzeit [s]			
		Modellierung	GB	AT	RO
1	BS. 1	PedGO	150 s	103 s	125 s
2	BS. 2	PedGO	148 s	105 s	122 s
3	BS. 3	PedGO	195 s	137 s	161 s

In der Abbildung 5-14 wird der Überblick der Gehzeiten ohne Berücksichtigung der Reaktionszeit für die untersuchten Brandszenarien dargestellt.

Bei der Betrachtung der Gehzeiten ist zu erkennen, dass beim Verlust eines Ausganges die Laufzeit um ca. 25% ansteigt, unabhängig von dem betrachteten Land. Zum Vergleich, der Anstieg des RSET-Werts bei den Simulationsläufen mit dem Program PedGO und mit Berücksichtigung der Reaktions- und Detektionszeit beträgt 10% für alle Länder.

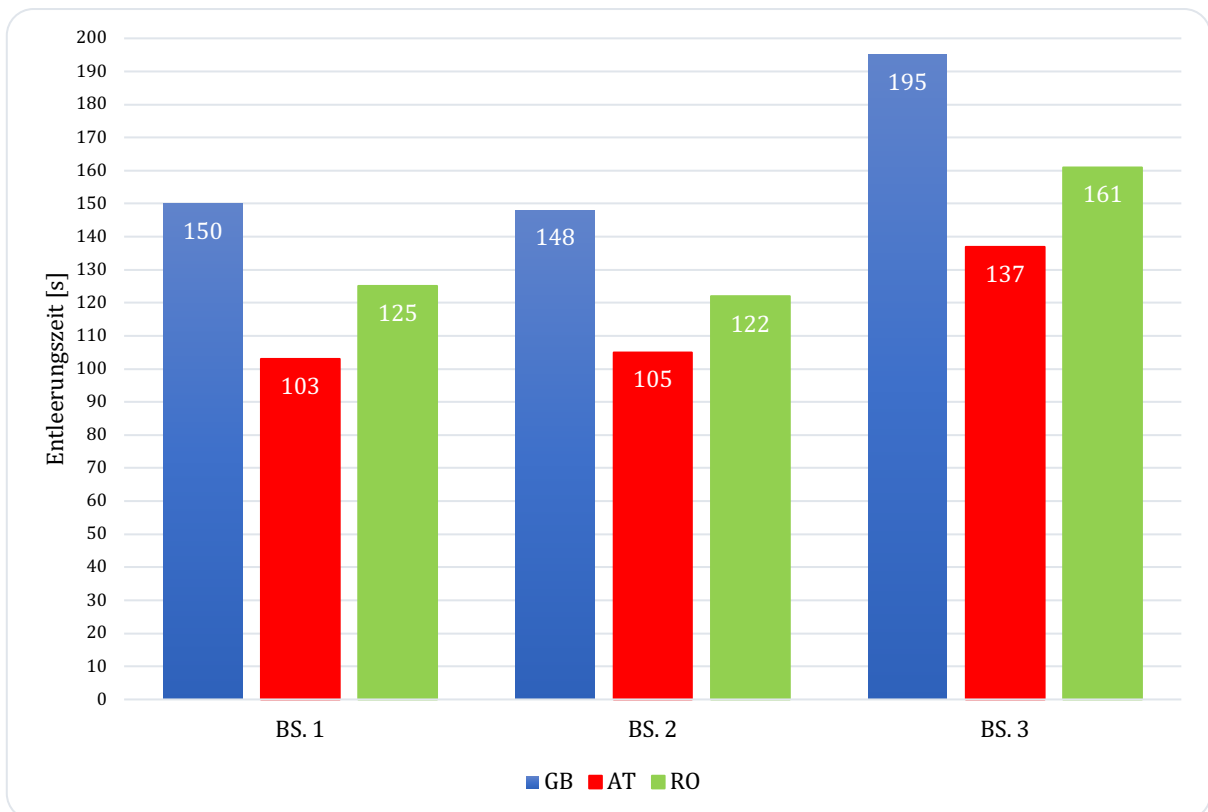


Abbildung 5-14: Überblick über die Entleerungszeiten ohne Berücksichtigung der Reaktionszeit der betrachteten Brandszenarien für alle Länder

In den Abbildungen Abbildung 5-15 und Abbildung 5-16 wird der prozentuelle Anteil der Reaktionszeit (inkl. Detektionszeit) bzw. Gehzeit aus dem RSET-Wert für die untersuchten Brandszenarien und Länder dargestellt.

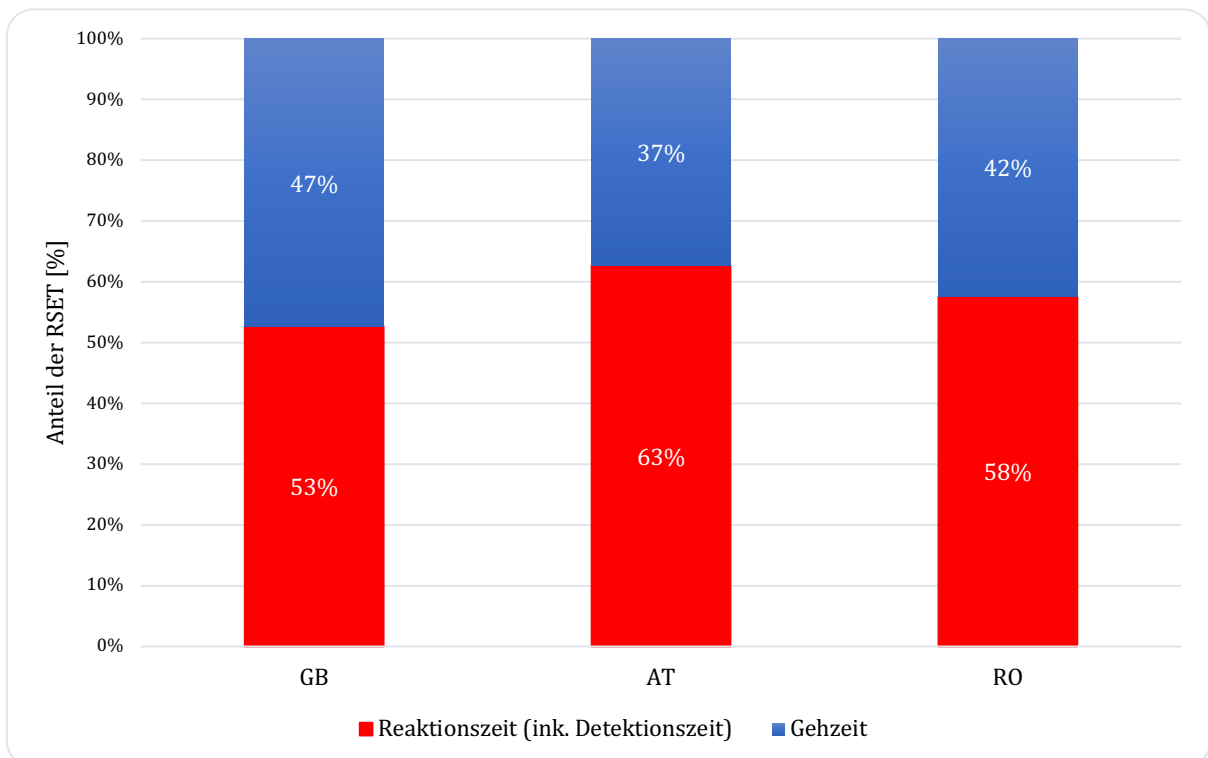


Abbildung 5-15: Prozentueller Anteil des RSET-Wertes für BS. 1 und BS. 2

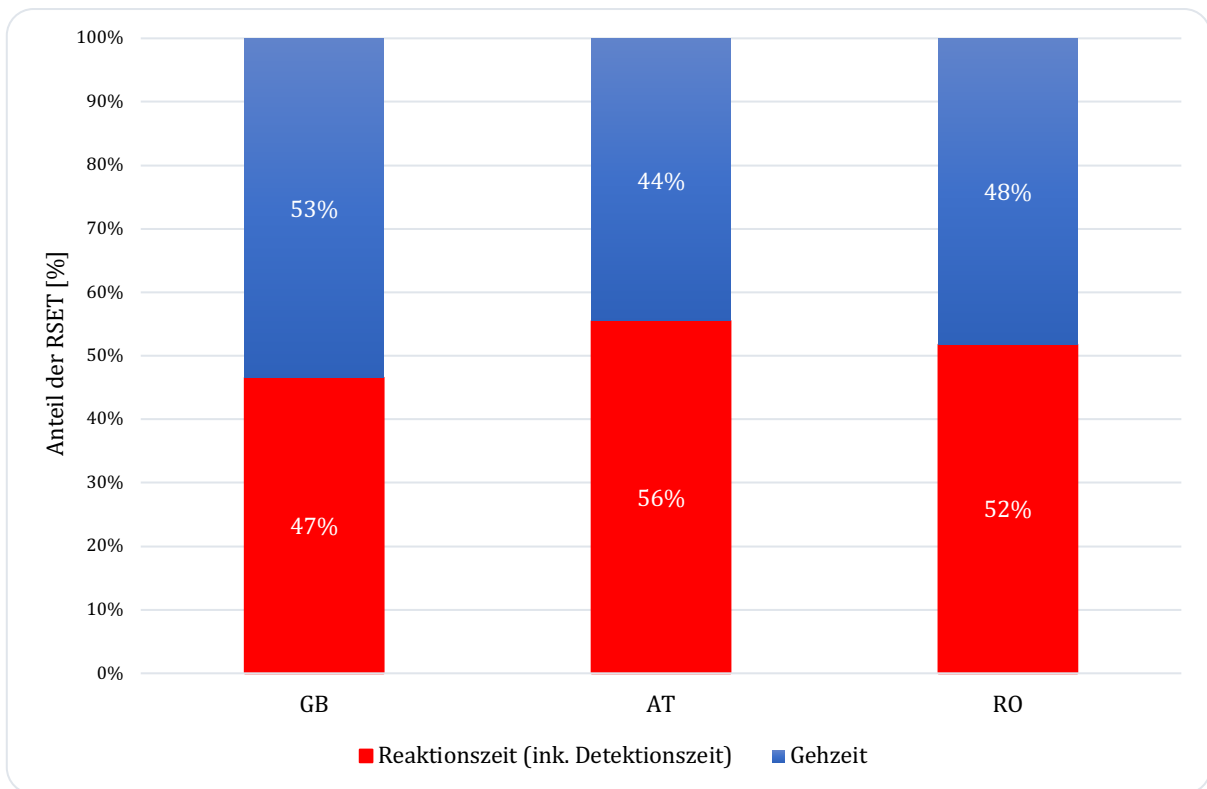


Abbildung 5-16: Prozentueller Anteil des RSET-Wertes für BS. 3

Wie die vorigen Abbildungen zeigen, spielt die „pre-movement“ Zeit eine entscheidende Rolle für den Evakuierungsverlauf. In den meisten Fällen beträgt der zeitliche Anteil für die Detektion und Reaktion mehr als 50% der Zeitspanne zwischen einer Brandentstehung und dem Verlassen der letzten Person aus dem betrachteten Bereich. Die Detektions- und Reaktionszeiten werden durch die baulichen Anforderungen an Flucht- und Rettungswege kaum beeinflusst. Sie können durch organisatorische und anlagentechnische Maßnahmen beeinflusst werden.

Tabelle 5-5: Ausnutzung der Ausgangsbreite bei den untersuchten Brandszenarien mit der Betrachtung der Entleerungszeit ohne Reaktionszeit

Brand-szenario	Personen/s			Personen/s/m Ausgangsbreite		
	GB	AT	RO	GB	AT	RO
BS. 1	6,83	9,95	8,20	1,42	1,04	1,14
BS. 2	6,93	9,76	8,40	1,44	1,02	1,17
BS. 3	5,26	7,48 (6,37)	6,37	1,64	1,04 (1,33)	1,33

Die Werte in Klammern entsprechen dem für den Evakuierungsverlauf ungünstigsten Szenario, nämlich dem Verlust des breitesten Ausgangs.

Im Vergleich mit den Werten in Tabelle 5-3 ist die Ausnutzung der Ausgangsbreite bei den Simulationen der Entleerungszeit ohne Berücksichtigung der Reaktionszeit doppelt so groß wie bei den Simulationen mit Berücksichtigung der Reaktionszeiten. Ein Grund dafür ist, dass bei der Betrachtung der reinen Gehzeiten der Evakuierungsbeginn gleichzeitig stattfindet.

Aus der vorher dargestellten Analyse ergibt sich eine wesentliche Erkenntnis. Der Einfluss des Verlustes eines Ausgangs hat weniger Einfluss auf den RSET-Wert als die „pre-movement“ Zeit (Reaktionszeit).

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Bei dem gegenständlich untersuchten Objekt handelt es sich um eine freistehende Halle, die als Veranstaltungsstätte genutzt wird. Das Bauwerk weist eine Länge von etwa 32 m, eine Breite von etwa 25 m und eine lichte Gebäudeinnenhöhe von 4 m auf.

Es wurde für drei verschiedene Länder (GB, AT und RO) eine vergleichende Analyse der normativen Anforderungen an die Flucht- und Rettungswege anhand des vorgenannten Beispiels durchgeführt. In den betrachteten Ländern werden unterschiedliche Ansätze zur Sicherstellung der Personensicherheit (Evakuierung) im Brandfall verfolgt.

Die Personensicherheit wurde mittels der Methode der ASET/RSET Betrachtung untersucht. Als Sicherheitsindikatoren dienen der Sicherheitsabstand und der Sicherheitsfaktor. Zur Bestimmung der verfügbaren Fluchtzeit (ASET) kam ein Brandsimulationsmodell zum Einsatz. Die notwendige Zeit für die Evakuierung (Entfluchtungsdauer, RSET) wurde mittels Ingenieurverfahren und Simulationsmodellen bestimmt.

Zur Festlegung der verfügbaren Fluchtzeiten (ASET) wurden Grenzbedingungen/Kriterien für

- die Konzentration von CO₂,
- die Gastemperatur und
- die Rauchdichte D_L

vereinbart bis zu denen eine Entfluchtung unbehindert durchgeführt werden kann.

Es wurden die folgenden Methoden und Modelle zur Bestimmung des ASET- bzw. des RSET-Wertes verwendet.

Für die Bestimmung der ASET-Werte:

- das Feldmodell (CFD) FDS (Fire Dynamics Simulator), NIST, USA.

Für die Bestimmung der RSET-Werte kamen zum Einsatz:

- das Simulationsmodell FDS+EVAC,
- das Evakuierungssimulationsmodell PEDGo, TraffGo HT GmbH, Deutschland und
- ein ingenieurmäßiger Ansatz zur Abschätzung der Gehzeit.

Als Bemessungsbrandszenarien wurden drei Brandfälle mit verschiedenen Brandherdlagen untersucht. Als Brandszenario wird ein quadratisch ansteigender Brand (α^2 mit $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$) bis zu einer maximalen Leistung von 3,2 MW auf einer Fläche von 16 m² (quadratisch, 4 x 4 m²) angenommen.

Die Tabelle 6-1 zeigt die resultierenden Sicherheitsabstände (SA) und Sicherheitsfaktoren (SF) aus den Berechnungen für alle Brandszenarien und Länder mit den verschiedenen Modellen.

Tabelle 6-1: Sicherheitsabstände (SA) [s] / Sicherheitsfaktoren SF [1] aus den verschiedenen Berechnungsmethoden

Nr.	Brandherdlage	Sicherheitsabstände der untersuchten Szenarien				
		Evak. Modelle	GB	AT	RO	
1	Brandherd mittel	1	FDS+EVAC	-108 s/0,66	-47 s/0,82	-74 s/0,74
		2	PedGO	-107 s/0,66	-66 s/0,76	-85 s/0,71
		3	Abschätzung	-186 s/0,53	-132 s/0,61	-137 s/0,61
2	Brandherd links	1	FDS+EVAC	-78 s/0,75	-17 s/0,93	-44 s/0,85
		2	PedGO	-75 s/0,76	-25 s/0,91	-51 s/0,82
		3	Abschätzung	-156 s/0,61	-102 s/0,70	-107 s/0,68
3	Brandherd rechts	1	FDS+EVAC	-155 s/0,69	-51s/0,82	-101 s/0,69
		2	PedGO	-135 s/0,63	-78 s/0,75	-104 s/0,69
		3	Abschätzung	-250 s/0,48	-169 s/0,58	-176 s/0,57

Zusammenfassend ergeben sich unter Anwendung der angeführten Methodik und Randbedingungen, den beschriebenen Untersuchungsverfahren und der Anwendung der vereinbarten Grenzbedingungen ASET-Werte zwischen 210 s und 340 s und RSET-Werte zwischen 257 s und 480 s. Daraus resultieren Sicherheitsabstände zwischen -73 s und -310 s bzw. Sicherheitsfaktoren zwischen 0,43 und 0,77.

Somit ist für die angeführten Randbedingungen unter Anwendung der vereinbarten Grenzbedingungen die Personensicherheit für das gegenständliche Objekt bei allen drei Ländern **NICHT** erfüllt. D.h. die Evakuierung ist noch nicht abgeschlossen, bevor die Auswirkungen des Brandes die Evakuierung behindern.

In Bezug auf die Nichteinhaltung der Personensicherheit bei Einhaltung der normativen Anforderungen muss festgehalten werden:

- Die der Berechnung zu Grunde liegenden Grenzbedingungen wurden so gewählt, dass alle anwesenden Personen durch die Brandeinwirkungen unverletzt und unbeeinflusst das Gebäude verlassen können.
- Das zugrunde liegende Beispiel stellt in Bezug auf die Maßnahmen und den geometrischen Anforderungen das normative Mindestmaß dar.
- Der Grad der Personensicherheit nach normativen Vorgaben ist in der Regel unbestimmt. D.h. Personen dürfen bei einem Brandereignis verletzt werden.

Bei der gegenständlichen Untersuchung wurde eine durch Brandeinwirkungen unbeeinflusste Entfluchtung/Evakuierung betrachtet. D.h., dass alle anwesenden Personen durch die Brandeinwirkungen unverletzt und unbeeinflusst das Gebäude verlassen sollen. Diese Betrachtung wurde aus dem Grund, dass das Verhalten der Menschen, die durch die Brandeinwirkung beeinflusst werden, unsicher und schwer simulierbar ist, angenommen. Im Sinne dieser Betrachtung ist die Personensicherheit für das gegenständliche Objekt nicht erfüllt, d. h., dass eine Anzahl der Personen durch die Brandeinwirkungen, bis sie das Gebäude verlassen, beeinflusst wird. Bei den meisten Brandvorfällen in Versammlungsstätten hat der Einfluss der Brandeinwirkungen zu Panik, als Folge der ängstlichen Reaktionen, geführt. Dadurch forderten die Brände eine höhere Anzahl an Todesopfern.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die normativen Anforderungen der betrachteten Länder den Einfluss der Brandeinwirkungen auf die flüchtenden Personen nicht verhindern. D.h., dass bei der Entfluchtung die Selbstrettung sowie die Rettung mittels der Feuerwehr berücksichtigt werden.

6.2 Mögliche Maßnahmen zur Minimierung des Risikos

Die Minimierung des Risikos bei der Entfluchtung eines Gebäudes/Raumes kann grundsätzlich auf drei Arten erfolgen. Es kann entweder der RSET-Wert minimiert bzw. der ASET-Wert maximiert werden oder beide Größen verändert werden.

Wie bereits im Abschnitt 5 erwähnt, hat die „pre-movement“ Zeit bei der gegenständlichen Untersuchung den größten Einfluss auf den Evakuierungsverlauf (also den RSET-Wert). Es ist sehr wichtig eine rasche Detektion und eine rasche Alarmierung durchzuführen. Dadurch kann die „pre-movement“ Zeit minimiert werden. Für die Reduzierung der Detektions- und Reaktionszeiten sind folgenden Maßnahmen möglich:

- Verwendung von Detektionsanlagen mit geringeren Detektionszeiten.
- Verwendung von Detektoren mit hoher Empfindlichkeit.
- Verwendung von entsprechenden Alarmierungseinrichtungen (Sirene vs. Sprachdurchsage).
- Organisatorischer Brandschutz/-management (Lenkung von Personenströme).

Der RSET-Wert wird auch durch die bauliche/geometrische Ausgestaltung der Fluchtwege beeinflusst. Kürzere Fluchtwege bzw. breitere Ausgänge, zu einem sicheren Bereich, verkürzen die Gehzeiten und somit der RSET-Wert.

In Bezug auf die Erhöhung der verfügbaren Fluchtzeit (ASET), können anlagentechnische oder bauliche Maßnahmen zum Einsatz kommen. Bei den anlagentechnischen Maßnahmen können beispielsweise Entrauchungsmaßnahmen geschaffen oder Sprinkleranlage errichtet werden. Eine bauliche Maßnahme zur Erhöhung des Ergebnisses des ASET-Wertes wäre beispielsweise eine Erhöhung der lichten Raumhöhe.

7 Verzeichnisse

7.1 Verzeichnis der verwendeten Literatur

7.1.1 Gesetze und Verordnungen

zit. als	Quelle
B-VG	Bundes-Verfassungsgesetz (B-VG) StF: BGBl. Nr. 1/1930 (WV) idF BGBl. I Nr. 194/1999 (DFB)
AStV	Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird (Arbeitsstättenverordnung - AStV) StF: BGBl. II Nr. 368/1998 (CELEX-Nr.: 389L0654, 392L0057)
Bgl. Veranstaltungsgesetz	Gesetz vom 7. Oktober 1993 über die öffentlichen Veranstaltungen im Burgenland (Bgl. Veranstaltungsgesetz) StF: LGBL. Nr. 2/1994 (XVI. Gp. RV 336 AB 382)
K-VAG 2010	Gesetz vom 16. Dezember 2010 über die Regelung des Veranstaltungswesens (Kärntner Veranstaltungsgesetz 2010 - K-VAG 2010) StF: LGBL. Nr. 27/2011
NÖ Veranstaltungsgesetz	NÖ Veranstaltungsgesetz StF: LGBL. 7070-0, i.d.F. <u>LGBL. Nr. 38/2016</u>
Oö. Veranstaltungssicherheitsgesetz	Landesgesetz über die Sicherheit bei Veranstaltungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsgesetz) StF: LGBL.Nr. 78/2007 (GP XXVI RV 953/2006 AB 1218/2007 LT 41; RL 2003/109/EG vom 25. November 2003, ABl.Nr. L 16 vom 23.1.2004, S 44), i.d.F. <u>LGBL.Nr. 93/2015</u>
Oö VSVO	Verordnung der Oö. Landesregierung über die Festlegung von Mindestanforderungen für Veranstaltungen, Veranstaltungsstätten, Veranstaltungseinrichtungen und -mittel sowie die von ihnen ausgehenden Einwirkungen (Oö. Veranstaltungssicherheitsverordnung - Oö. VSVO) StF: LGBL.Nr. 25/2008, i.d.F. <u>LGBL.Nr. 10/2014</u>
VAG 1997	Salzburger Veranstaltungsgesetz 1997 StF: LGBL Nr 100/1997 (WV), i.d.F. <u>LGBL Nr 91/2016</u>
Veranstaltungsstätten-Verordnung Salzburg	Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 9. Jänner 2001 über nähere Vorschriften über den Bau und den Betrieb von Veranstaltungsstätten (Veranstaltungsstätten-Verordnung) StF: LGBL Nr 10/2001, i.d.F. <u>LGBL Nr 91/2015</u>

StVAG	Gesetz vom 3. Juli 2012, mit dem das Veranstaltungswesen im Land Steiermark geregelt wird (Steiermärkisches Veranstaltungsgesetz 2012 – StVAG) Stammfassung: LGBL. Nr. 88/2012 (XVI. GPStLT IA EZ 1304/1 AB EZ 1304/5) (CELEX-Nr. 32006L0123), i.d.F. <u>LGBL. Nr. 52/2018</u>
VSVO	Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 28. Mai 2014 über die Sicherheitserfordernisse bei Veranstaltungen (Steiermärkische Veranstaltungssicherheitsverordnung 2014 – VSVO) Stammfassung: LGBL. Nr. 61/2014
TVG	Gesetz vom 2. Juli 2003, mit dem das Veranstaltungswesen in Tirol geregelt wird (Tiroler Veranstaltungsgesetz 2003 – TVG) LGBL. Nr. 86/2003, i.d.F. <u>LGBL. Nr. 109/2017</u>
Veranstaltungsgesetz, Vorarlberg	Gesetz über das Veranstaltungswesen (Veranstaltungsgesetz) StF: LGBL.Nr. 1/1989, i.d.F. <u>LGBL.Nr. 78/2017</u>
Wiener Veranstaltungsgesetz	Gesetz über die Regelung des Veranstaltungswesens (Wiener Veranstaltungsgesetz) StF.: LGBL. Nr. 12/1971, i.d.F. <u>LGBL. Nr. 11/2016</u>
Wiener Veranstaltungsstättengesetz	Gesetz betreffend Lage, Beschaffenheit, Einrichtung und Betrieb von Veranstaltungsstätten (Wiener Veranstaltungsstättengesetz), i.d.F. LGBL. Nr. 31/2013

7.1.2 Richtlinien und Normen

zit. als	Quelle
OIB-LF OIB-RL 2	OIB-LEITFADEN OIB-RL 2, Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte, Ausgabe: März 2015 (OIB-330-019/15)
OIB-RL Begriffsbestimmungen	OIB-RICHTLINIE, Begriffsbestimmungen, Ausgabe: März 2015 (OIB-330-014/15)
OIB-RL 2	OIB-RICHTLINIE 2, Brandschutz, Ausgabe: März 2015 (OIB-330-011/15)
OIB-RL 2 EB	ERLÄUTERENDE BEMERKUNGEN OIB-RL 2, Brandschutz, Ausgabe: März 2015 (OIB-330.2-015/15)
OIB-RL 2.1	OIB-RICHTLINIE 2.1, Brandschutz bei Betriebsbauten, Ausgabe: März 2015 (OIB-330.2-012/15)
OIB-RL 2.2	OIB-RICHTLINIE 2.2, Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks, Ausgabe: März 2015 (OIB-330.2-013/15)
OIB-RL 2.3	OIB-RICHTLINIE 2.2, Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m, Ausgabe: März 2015 (OIB-330.2-014/15)

OIB-RL 4	OIB-RICHTLINIE 4, Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit, Ausgabe: März 2015 (OIB-330.2-018/15)
P 118-99	“Ordin nr. 27/N/ din 07.04.1999 pentru aprobarea reglementarii tehnice P 118-99 Normativ de siguranță la foc a construcțiilor” (De: Erlass Nr. 27/N/ von 07.04.1999 für die Bewilligung der Norm P 118-99 für die Brandsicherheit der Bauwerke)
NP 006-96	“Ordin nr. 26/N/ pentru aprobarea reglementarii tehnice NP 006-96 Normativ de proiectare a sălilor aglomerate cu vizitatori. Cerințe utilizatori ” (De: Norm für die Bemessung der Veranstaltungsstätten mit Besucher. Anforderungen an Nutzer)
TRVB 101	TRVB 101/67 (A), „Grundlagen für die Beurteilung der Brand- und Explosionsgefährlichkeit“
AD B-V2	Approved Document B (Fire safety). Volume 2 – <i>Buildings other than Dwellinghouses</i> . The Building Regulation 2010. HM Government; 2013
BS 9999:2008	BS 9999:2008: <i>Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings</i> . BSI, 2008
PD 7974-6:2004	PD 7974-6:2004: <i>The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behavior and condition (Sub-system 6)</i> . BSI, 2004

7.1.3 Wissenschaftliche Publikationen

zit. als	Quelle
Korhonen et.al. 2018	Korhonen, Timo; Hostikka Simo: <i>Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide (FDS 6.6.0, Evac 2.5.2)</i> . VTT, February 12, 2018
McDermott et.al. 2018	McDermott, Randall; McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason: <i>Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 2: Verification</i> . NIST Special Publication 1018-2, June 26, 2018
McGrattan et.al. 2018 d	McGrattan, Kevin: <i>Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 4: Software Configuration Management Plan</i> . NIST Special Publication 1018-4, June 26, 2018
McGrattan et.al. 2018 b	McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason; Baum, Howard; Rehm, Ronald; Mell, William; McDermott, Randall: <i>Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model</i> . NIST Special Publication 1018-1, June 26, 2018
McGrattan et.al. 2018 c	McGrattan, Kevin; Hostikka, Simo; Floyd, Jason; McDermott, Randall: <i>Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 3: Validation</i> . NIST Special Publication 1018-3, June 26, 2018

McGrattan et.al. 2018 a	McGrattan, Kevin; McDermott, Randall; Hostikka, Simo; Floyd, Jason: <i>Fire Dynamics Simulator. User's Guide</i> . NIST Special Publication 1019, June 26, 2018
Nelson et.al 2002	Nelson, Harold E.; Mowrer, Frederick W.: <i>Emergency Movement</i> . In: DiNenno, Philip J. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> . Chapter 14, Society of Fire Protection Engineers, 2002.
Weidmann 1993	Weidmann, Ulrich: <i>Transporttechnik der Fussgänger. Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung)</i> . Schriftenreihe des IVT Nr. 90, Zweite, ergänzte Auflage, Zürich, März 1993
TraffGo 2018	TraffGo HT GmbH (Hrsg.): <i>Benutzerhandbuch PedEd, PedGo, PedView, AENEASed, AENEASsim, AENEASview</i> . Version 2.7, 2018
Rimea 2016	RiMEA: <i>Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen</i> . Version: 3.0.0, 10. März 2016
NFPA Journal_1995	NFPA Journal July/August 1995 <i>A Tragedy Remembered</i>
Fire Journal 1982	NFPA Fire Investigation, <i>Cocoanut Grove nightclub fire</i>
Fire Journal 1978	NFPA Fire Investigation, <i>Beverly Hills Supper club fire</i>
NFPA Study Case 2006	Robert F. Duval, <i>NFPA Case Study: Nightclub fires</i>
Hosser 2013	Dietmar Hosser, <i>Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes</i> . Technischer Bericht vfdb TB 04-01 3., überarbeitete und ergänzte Auflage November 2013
Purser D.-2016	David A. Purser and Jamie L. McAllister: <i>Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> , fifth edition. Chapter 63, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
R.W Bukowski 2016	Richard W. Bukowski and Jeffrey S. Tubbs: <i>Egress Concepts and Design Approaches</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> , fifth edition. Chapter 56, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
Kuligowski 2016	Erica D. Kuligowski: <i>Human Behavior in Fire</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> , fifth edition. Chapter 58, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
McGrattan 2016	Kevin McGrattan and Stewart Miles: <i>Modeling Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> , fifth edition. Chapter 32, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
William D_2016	William D. Walton, Douglas J. Carpenter and Christopher B. Wood: <i>Zone Computer Fire Models for Enclosures</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): <i>SFPE Handbook of Fire Protection Engineering</i> , fifth edition. Chapter 31, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
Fowkes_1974	N.D. Fowkes: <i>A Mechanistic Model of the 1973 and 1974 Bedroom Test Fires</i> , in <i>A Study of Room Fire Development: The Second Full-Scale Bedroom Fire Test of the Home Fire</i>

	Project (P.A. Croce, ed.), (July 24, 1974), Vol. II, FMRC Technical Report No. 21011.4, pp. 8–50 (1975).
James G_2016	James G. Quintiere and Colleen A. Wade: <i>Compartment Fire Modeling</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, fifth edition. Chapter 29, Society of Fire Protection Engineers, 2016.
Purser 2003	David A. Purser: <i>Behaviour and travel interactions in emergency situations and data needs for engineering design</i> . FRS, BRE, Garston, Watford WD25 9XX, UK Pedestrian and evacuation dynamics conference. University of Greenwich 2003. Proceedings pp 355-370. E.Galea Ed
Gwynne S 2016	Steven M.V. Gwynne and Eric R. Rosenbaum: <i>Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement</i> . In Morgan J, Huerley. (ed): SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, fifth edition. Chapter 59, Society of Fire Protection Engineers, 2016
Bryan 2002	Dr. John L. Bryan: <i>A Selected Historical Review of Human Behavior in FIRE</i> . Fire Protection Engineering 2002
Johnson 1997	Norris R. Johnson and William E. Feinberg: <i>The impact of exit instructions and number of exits in fire emergencies: a computer simulation investigation</i> . Journal of Environmental Psychology (1997) 17, 123–133
Bengtson	Staffan Bengtson: <i>The behaviour of young people in a fire at a dance party in Gothenburg in 1998</i> .
Bryant 1980	J.L. Bryant, (1980): <i>An examination and analysis of the dynamics of human behaviour in the MGM Grand Hotel fire</i> . National fire protections association.
Tong&Canter 1985	Tong, D. &, Canter, D. (1985): <i>The decision to evacuate: a study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire</i> . Fire Safety Journal 9, 257–265.
Kimura&Sime 1988	Kimura, M. & Sime, J. D. (1988): <i>Exit choice behaviour during the evacuation of two lecture theatres</i> . In T. Wakamotsu, U. Hasemi, P. Seegar, P. Pagni and C. Grant, Eds, Fire Safety Science, Proceedings of the Second International Symposium. New York: Hemisphere Publishing Corp., pp. 541–550.
Withayavuth 2011	Withayavuth Jirasingha and Supat Patvichaichod: <i>Modeling Fire Evacuation of a Library Building based on the Numerical Simulation</i> , American Journal of Applied Sciences 8 (5): 452-458, 2011
Olsson 2001	<i>A comparison between actual and predicted evacuation times</i> . P.A. Olsson, M.A. Regan, Pergamon Safety Science 38 (2001) 139-145
NIST NCSTAR 2, 2005	Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire (NIST NCSTAR 2), Volume 1
Haukur 2005	Haukur Ingason, Fredric Seco, <i>Numerical simulation of a model scale tunnel fire test</i> , Brandforskprojekt 404-011 SP, Fire Technology SP REPORT 2005:47

Pulker 2010	Michael Pulker, <i>Anwendung von Brandsimulationsmodellen zur Rekonstruktion von Brandverläufen</i> , Master-Thesis zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science in Fire Safety Management
Chow 2002	W.K. Chow, Gigi C.H. Lui, <i>Numerical studies on evacuation design in a karaoke</i> , Pergamon Building and Environment 37 (2002) 285–294

7.2 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2-1: 1 bis 5 Personenströme.....	46
Abbildung 2-2: Beispiel Fluchtweg.....	48
Abbildung 2-3: „Feuerdreieck“	54
Abbildung 2-4: Brandentwicklungsphasen beim “natürlichen Brand” (Schematischer Verlauf der Wärmefreisetzungsrates)	54
Abbildung 2-5: Erkennungsweite S als Funktion von D_L	57
Abbildung 2-6: Thermische Verträglichkeit bei nackten Menschen in Ruhe und bei geringer Luftbewegung	59
Abbildung 2-7: Schematische Darstellung einer typischen Reaktionszeit-Verteilung	65
Abbildung 2-8: Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit vom Lebensalter nach Weidmann	68
Abbildung 2-9: Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit von der Personendichte nach Nelson und Mowrer für Gänge, Rampen und Tore ($k = 1,4$)	69
Abbildung 2-10: Durchlassfähigkeit in Abhängigkeit der Personendichte nach Weidmann	71
Abbildung 2-11: Gehgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Personendichte abgeleitet aus der Durchlassfähigkeit nach Weidmann	71
Abbildung 2-12: Gegenüberstellung der personendichteabhängigen Durchlassfähigkeiten und der Gehgeschwindigkeiten entsprechend den Ansätzen nach Weidmann und Nelson/Mowrer.	72
Abbildung 3-1: Schematische Darstellung der ASET/RSET Methode.....	75
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Lage der Auswertepositionen.....	78
Abbildung 3-3: Schematische Darstellung des Untersuchungsobjektes.....	84
Abbildung 3-4: Brandleistungsverlauf zur Untersuchung	85
Abbildung 3-5: FED-Quotienten für die Anhaltswerte aus Tabelle 3-7.....	88
Abbildung 4-1: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle – Brandszenario 1.....	91
Abbildung 4-2: Übersicht über die Entwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 1	92
Abbildung 4-3: Übersicht über die Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Positionen A bis G – Brandszenario 1	93
Abbildung 4-4: Übersicht über die Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 1	93
Abbildung 4-5: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 1.....	94
Abbildung 4-6: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandszenario 1	95
Abbildung 4-7: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandszenario 1.....	95

Abbildung 4-8: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F – Brandszenario 1	96
Abbildung 4-9: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – BS. 1.1-GB.....	97
Abbildung 4-10: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S 1.1 – GB	98
Abbildung 4-11: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen, S. 1.2 - GB.....	98
Abbildung 4-12: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – BS. 1.1-GB.....	99
Abbildung 4-13: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – BS. 1.1-AT.....	100
Abbildung 4-14: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 1.1-AT.....	101
Abbildung 4-15: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 1.1-AT.....	101
Abbildung 4-16: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S.1.1-AT	102
Abbildung 4-17: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 1.1-RO	103
Abbildung 4-18: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 1.1-RO	104
Abbildung 4-19: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S, 1.1-RO.....	104
Abbildung 4-20: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 1.1-RO	105
Abbildung 4-21: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, BS. 1.2-GB	107
Abbildung 4-22: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2-GB	108
Abbildung 4-23: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen, S. 1.2-GB.....	108
Abbildung 4-24: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf, S. 1.2 – GB.....	109
Abbildung 4-25: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, BS. 1.2-AT	110
Abbildung 4-26: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2 – AT	111
Abbildung 4-27: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen, S. 1.2 – AT.....	111
Abbildung 4-28: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf, S. 1.2 – AT.....	112
Abbildung 4-29: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten, S. 1.2 – RO	113

Abbildung 4-30: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile, S. 1.2 – RO	114
Abbildung 4-31: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 1.2 – RO	114
Abbildung 4-32: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf – S. 1.2-AT	115
Abbildung 4-33: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle – Brandszenario 2.....	118
Abbildung 4-34: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle Blickrichtung Bühne– Brandszenario 2.....	119
Abbildung 4-35: Zeitentwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2	120
Abbildung 4-36: Entwicklung der Kohlendioxidkonzentration in 2,5 m Höhe der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2.....	121
Abbildung 4-37: Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 2	121
Abbildung 4-38: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 2.....	122
Abbildung 4-39: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandszenario 2.....	123
Abbildung 4-40: Entwicklung der Rußkonzentration in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandszenario 2.....	123
Abbildung 4-41: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Auswerteposition F – Brandszenario 2	124
Abbildung 4-42: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 2.1 – GB.....	125
Abbildung 4-43: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% - S. 2.1 – GB.....	126
Abbildung 4-44: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 2.1 – GB	126
Abbildung 4-45: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1-GB	127
Abbildung 4-46: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S 2.1-AT.....	128
Abbildung 4-47: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S 2.1-AT.....	129
Abbildung 4-48: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 2.1 – AT.....	130
Abbildung 4-49: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1-AT	130
Abbildung 4-50: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 2.1-RO	131
Abbildung 4-51: Verteilung der Laufzeiten inkl. Reaktionszeiten (Ausgangszeiten) aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% - S. 2.1-RO.....	132

Abbildung 4-52: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen – S. 2.1 – RO	133
Abbildung 4-53: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 2 – S. 2.1 – RO.....	134
Abbildung 4-54: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2 – GB.....	135
Abbildung 4-55: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 – GB.....	136
Abbildung 4-56: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen - S. 2.2 – GB	136
Abbildung 4-57: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-GB	137
Abbildung 4-58: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2 – AT.....	138
Abbildung 4-59: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 – AT.....	139
Abbildung 4-60: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen - S. 2.2 – AT.....	139
Abbildung 4-61: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-AT	140
Abbildung 4-62: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 2.2-RO	141
Abbildung 4-63: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 2.2 – RO	142
Abbildung 4-64: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilewert aus 100 Simulationsläufen - S. 2.2 – RO	142
Abbildung 4-65: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 2.2-RO	143
Abbildung 4-66: Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Verrauchung in der Halle	145
Abbildung 4-67: Übersicht über die Entwicklung der Temperaturen in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3	146
Abbildung 4-68: Überblick über die Entwicklung der CO ₂ -Konzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3	146
Abbildung 4-69: Überblick über die Entwicklung der Rußkonzentration in 2,5 m Höhe über der FOK an den Auswertepositionen A bis G – Brandszenario 3	147
Abbildung 4-70: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position A – Brandszenario 3	148
Abbildung 4-71: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position F – Brandszenario 3.....	148
Abbildung 4-72: Entwicklung der Rußkonzentrationen in 1,5 m, 2,0 m und 2,5 m über der FOK an der Position G – Brandszenario 3	149
Abbildung 4-73: Vergleich der Grenzbedingung mit der Entwicklung der Rußkonzentration in verschiedenen Höhen an der Position F – Brandszenario 3	150
Abbildung 4-74: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1 – GB.....	151

Abbildung 4-75: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 3.1 – GB.....	152
Abbildung 4-76: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 3.1 – GB	152
Abbildung 4-77: Staubildung im Eingangsbereich und im Bereich des Ausganges 1 – S. 3.1 – GB.....	153
Abbildung 4-78: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1-AT.....	154
Abbildung 4-79: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile – S. 3.1-AT.....	155
Abbildung 4-80: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 3.1 – AT.....	155
Abbildung 4-81: Staubildung im Bereich des Einganges und des Ausganges 1 – S. 3.1-AT	156
Abbildung 4-82: Ablauf der Evakuierung bei der 95% Fraktile mit Darstellung der Kräftewirkung auf die Personen – S. 3.1 – RO	157
Abbildung 4-83: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile –S. 3.1 – RO.....	158
Abbildung 4-84: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenariums als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen – S. 3.1 – RO	159
Abbildung 4-85: Staubildung im Eingangsbereich und im Bereich des Ausganges 1 – S. 3.1 – RO.....	159
Abbildung 4-86: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 3.2 – GB.....	160
Abbildung 4-87: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 3.2-GB.....	161
Abbildung 4-88: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen - S. 3.2 – GB	162
Abbildung 4-89: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2 – GB	162
Abbildung 4-90: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten – S. 3.2 – AT.....	164
Abbildung 4-91: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - S. 3.2 – AT.....	165
Abbildung 4-92: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen - S. 3.2 – AT.....	165
Abbildung 4-93: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2-AT	166
Abbildung 4-94: Grafische Darstellung der Entfluchtungssituation zu verschiedenen Zeiten - S. 3.2 – RO	167
Abbildung 4-95: Verteilung der Ausgangszeiten aus 100 Simulationsläufen mit der eingetragenen 95% Fraktile - BS. 3.2 – RO	168
Abbildung 4-96: Kumulativer Entleerungsverlauf des betrachteten Szenarios als Minimaler-, Maximaler-, Mittel- und 95 % Fraktilwert aus 100 Simulationsläufen - S. 3.2 – RO	168

Abbildung 4-97: Verteilung der Stauzeiten in einem bemessungsrelevanten Simulationslauf - S. 3.2-RO	169
Abbildung 5-1: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandszenario 1	174
Abbildung 5-2: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandszenario 2	174
Abbildung 5-3: Überblick über ASET- und RSET-Werte für das Brandszenario 3	175
Abbildung 5-4: Vergleich des Entleerungsverlaufs des BS. 1 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert	176
Abbildung 5-5: Vergleich des Entleerungsverlaufs des BS. 2 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert	176
Abbildung 5-6: Vergleich des Entleerungsverlauf des BS. 3 der betrachteten Länder mit dem zugehörigen ASET-Wert	177
Abbildung 5-7: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Großbritannien	178
Abbildung 5-8: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Österreich	178
Abbildung 5-9: Vergleich der RSET-Werte zwischen BS1/BS 2 und BS3 für Rumänien	179
Abbildung 5-10: Relative Ausgangsbreite der betrachteten Länder	179
Abbildung 5-11: Relative RSET-Werte der betrachteten Länder beim BS. 1	180
Abbildung 5-12: Relative RSET-Werte der betrachteten Länder beim BS. 2	180
Abbildung 5-13: Relative RSET Werte der betrachteten Länder beim BS. 3	181
Abbildung 5-14: Überblick über die Entleerungszeiten ohne Berücksichtigung der Reaktionszeit der betrachteten Brandszenarien für alle Länder	183
Abbildung 5-15: Prozentueller Anteil des RSET-Wertes für BS. 1 und BS. 2	183
Abbildung 5-16: Prozentueller Anteil des RSET-Wertes für BS. 3	184

7.3 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1: OIB-Richtlinien (Stand Jänner 2015)	13
Tabelle 2-2: Brandabschnitte in oberirdischen Geschossen	19
Tabelle 2-3: Mindestanforderungen an Treppenlaufbreite sowie Podeste und Rampen	20
Tabelle 2-4: Einteilung der Gebäudenutzungen	27
Tabelle 2-5: Maximale Fluchtweglänge (mit Ausnahme der Nutzungsgruppe 1)	28
Tabelle 2-6: Mindestanzahl der Fluchtwege und Ausgänge aus einem Raum, Stockwerk	28
Tabelle 2-7: Mindestbreite für Fluchtwege und Ausgänge	29
Tabelle 2-8: Mindestbreite der Fluchtstiege	30
Tabelle 2-9: Maximale Brandabschnitte für nicht bewohnbare Gebäude	30
Tabelle 2-10: Personenbelegungscharakteristik	31
Tabelle 2-11: Brandentwicklungsfaktor	32
Tabelle 2-12: Risikoprofile	32
Tabelle 2-13: Minimale Brandschutzmanagement Stufe	33
Tabelle 2-14: Maximale Fluchtweglänge	34
Tabelle 2-15: Maximale Fluchtweglänge bei Theater, Kinos und ähnlichen Orten	34
Tabelle 2-16: Türbreiten, wenn die minimalen Brandschutzmaßnahmen eingehalten sind	35
Tabelle 2-17: Mindestbreite der Fluchtstiegen in Bezug auf die Personenbelegungscharakteristik	36
Tabelle 2-18: Vergleich der Brennbarkeitsklasse mit der Euroklasse	37
Tabelle 2-19: Brandrisiken für Veranstaltungsstätten	39

Tabelle 2-20: Mindestanforderungen an Bauelemente.....	39
Tabelle 2-21: Sicherheitsabstände zwischen Gebäuden.....	40
Tabelle 2-22: Zulässige Brandabschnittsfläche	41
Tabelle 2-23: Typen der Räume mit erhöhter Personenanzahl	41
Tabelle 2-24: Zusammenhang zwischen Lage, Typ des Raumes mit erhöhter Personenanzahl, Personenanzahl und Kategorie des Gebäudebrandwiderstandes.	42
Tabelle 2-25: Anzahl der zugelassenen Geschoszahl bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl (der Gebäudeteil mit Zugang für das Publikum).....	42
Tabelle 2-26: Anforderungen an Trennbauteile.....	43
Tabelle 2-27: Die Kapazität der Entfluchtung (C) bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl.....	45
Tabelle 2-28: Entfluchtungsdauer (Fluchtweglänge) bei Räumen mit erhöhter Personenanzahl.....	47
Tabelle 2-29: Klassifizierung von Gebäuden in Zusammenhang mit Fluchtwegen	50
Tabelle 2-30: Angaben bzw. Vorgaben zu Personenbelegungen in Gebäuden	51
Tabelle 2-31: Mindestanzahl der Fluchtwege bei Versammlungsstätten	51
Tabelle 2-32: Maximal zulässige Fluchtweglängen bei Versammlungsstätten.....	52
Tabelle 2-33: Zulässige Mindestfluchtwegbreite	52
Tabelle 2-34: Standardwerte für α und t_g	55
Tabelle 2-35: Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele nach Hosser	60
Tabelle 2-36: Kategorien zur Festlegung von Reaktionszeiten	65
Tabelle 2-37: Einstufen der Alarmierungssystemen	65
Tabelle 2-38: Einstufen der Gebäudekomplexität.....	66
Tabelle 2-39: Einstufen des Brandschutzmanagements.....	66
Tabelle 2-40: Reaktionszeiten	67
Tabelle 2-41: Zusammenstellung der Gehgeschwindigkeiten in der Ebene	68
Tabelle 3-1: Lage der Positionen für punktförmige Auswertungen	77
Tabelle 3-2: Berücksichtigung der Reaktionszeit für das Modell FDS + EVAC.....	79
Tabelle 3-3: Berücksichtigung der (freien) Gehgeschwindigkeiten für das Modell FDS + EVAC	79
Tabelle 3-4: Berücksichtigung der Reaktionszeit für das Modell PedGo.....	80
Tabelle 3-5: Berücksichtigung der Gehgeschwindigkeiten für das Modell PedGo.....	81
Tabelle 3-6: Zusammenstellung der Detektionsdauer, Alarmierungsdauer und Reaktionsdauer für die Untersuchung.....	87
Tabelle 3-7: Bewertungskriterien für den ASET-Wert.....	88
Tabelle 3-8: Überblick über die untersuchten Szenarien.....	89
Tabelle 4-1: Untersuchte Szenarien für das Brandszenario 1	90
Tabelle 4-2: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien	99
Tabelle 4-3: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich.....	102
Tabelle 4-4: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Rumänien	105
Tabelle 4-5: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien und Rumänien	127
Tabelle 4-6: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich.....	129
Tabelle 4-7: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Rumänien	132
Tabelle 4-8: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien	153
Tabelle 4-9: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Österreich.....	156
Tabelle 4-10: Ergebnisse aus 100 Simulationsläufen für Großbritannien und Rumänien	158

Tabelle 4-11: Überblick über die Ergebnisse des ASET-Wertes für alle Brandszenarien	171
Tabelle 4-12: Überblick über die Ergebnisse des RSET-Wertes.....	171
Tabelle 5-1: Sicherheitsabstände	173
Tabelle 5-2: Sicherheitsfaktoren	173
Tabelle 5-3: Ausnutzung der Ausgangsbreite bei den untersuchten Brandszenarien und Ländern	181
Tabelle 5-4: Überblick auf die mit PedGO ermittelten Gehzeiten	182
Tabelle 5-5: Ausnutzung der Ausgangsbreite bei den untersuchten Brandszenarien mit der Betrachtung der Entleerungszeit ohne Reaktionszeit.....	184
Tabelle 6-1: Sicherheitsabstände (SA) [s] / Sicherheitsfaktoren SF [1] aus den verschiedenen Berechnungsmethoden	186