

# Evakuierungssimulation

«Waldhaus, Magglingen»



<b>Auftraggeber</b>	Bundesamt für Bauten und Logistik		
<b>Objekt</b>	Waldhaus, Magglingen		
<b>Auftrags-Nr.</b>	1202033		
<b>Auftragnehmer</b>	SafeT Swiss AG	<b>Standort</b>	Zürich
<b>Projektleiter</b>	James Bassett	<b>Kontakt</b>	James.bassett@safet.ch
<b>Stellvertreter</b>	David Zweifel	<b>Kontakt</b>	David.zweifel@safet.ch
<b>Version</b>	1.0	<b>Datum</b>	12. September 2022

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Software: Pathfinder</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ziele</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Vorgehen</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Geometrie</b> .....	<b>5</b>
5.1	Grundlagen.....	5
5.2	Fläche.....	5
5.3	Dachvolumen .....	6
5.4	Fluchtwege und Ausgänge.....	6
<b>6</b>	<b>Personeneigenschaften</b> .....	<b>7</b>
6.1	Pre-Movement.....	7
6.2	Gehgeschwindigkeit.....	7
<b>7</b>	<b>Simulationsergebnisse</b> .....	<b>8</b>
7.1	Ergebnisse .....	8
7.2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	10
<b>8</b>	<b>Abschätzung der Rauchentwicklung</b> .....	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>13</b>

## 1 Ausgangslage

Das Waldhaus in Magglingen wird als Veranstaltungsgebäude genutzt. Im Dachgeschoss können bis zu 100 Personen aufhalten. Laut den VKF-Richtlinien müssen zwei Ausgänge bzw. Treppe vorhanden sein, um eine konforme Fluchtwegführung zu gewährleisten. Aktuell ist eine Treppe vorhanden (welche saniert wird) und eine zweite Treppe kaum realisierbar. Die Bauherrschaft hat deshalb die SafeT Swiss beauftragt die Fluchtwegsituation mittels Simulation zu prüfen, ob die 100 Personen mit einer Treppe rechtzeitig entflüchten können. Die Simulation betrifft lediglich das Dachgeschoss, das Erdgeschoss wird nicht betrachtet und es wird angenommen, dass ein Brand im Erdgeschoss nicht den Eingangsbereich oder die Flucht der Personen im Dachgeschoss verhindern wird. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse dieser Analyse.

## 2 Software: Pathfinder

Für die Evakuierungssimulation wurde das Modell Pathfinder, Version 2022.2.0803 verwendet. Dies ist ein ABS-Programm (Agent Based Simulation) und wurde durch Thunderhead Engineering (TE) entwickelt. Personen werden dabei als Individuen mit verschiedenen Charakteren betrachtet, die den Evakuierungsweg und die Laufgeschwindigkeit beeinflussen. Pathfinder definiert für jede sich rational verhaltende Person ein Benutzerprofil, das alle bewegungsrelevanten Faktoren, z.B. Laufgeschwindigkeit, Schulterbreite, Körpergrösse sowie Verhaltensmuster kontrolliert. Anhand von international anerkannten Standards können mit dem Programm Evakuierungszeiten, Personendichten sowie Personenflüsse unter Berücksichtigung des Brandverlaufes analysiert werden.

## 3 Ziele

Das Ziel der Evakuierungssimulation ist es nachzuweisen, dass mit der geplanten Treppe aus dem Dachgeschoss auch mit einer grösseren Personenbelegung (100 Personen) die Evakuierungszeit aus dem Raum weniger wird als mit der Zeit verglichen werden, die benötigt wird, um den Raum mit Rauch zu füllen resp. mit der Zeit, innerhalb der eine Evakuierung der Personen noch möglich ist. Dadurch wird die Personensicherheit im Brandfall gewährleistet.

## 4 Vorgehen

Der Nachweis der Personenevakuierung erfolgt in zwei Schritten:

Im ersten Schritt wird untersucht, wie lange es dauert, bis 100 Personen benötigen, um den Raum zu verlassen.

Im zweiten Schritt wird ingenieurmässig abgeschätzt, wie lange es dauert, bis durch die Verrauchung des Raumes infolge eines Brandes die Flucht aus dem Gemeindesaal nicht mehr möglich ist. Die Ergebnisse der Simulation sollen geringer als dieser Wert sein mit einem Sicherheitsfaktor von 20%, welche Stand der Technik ist.

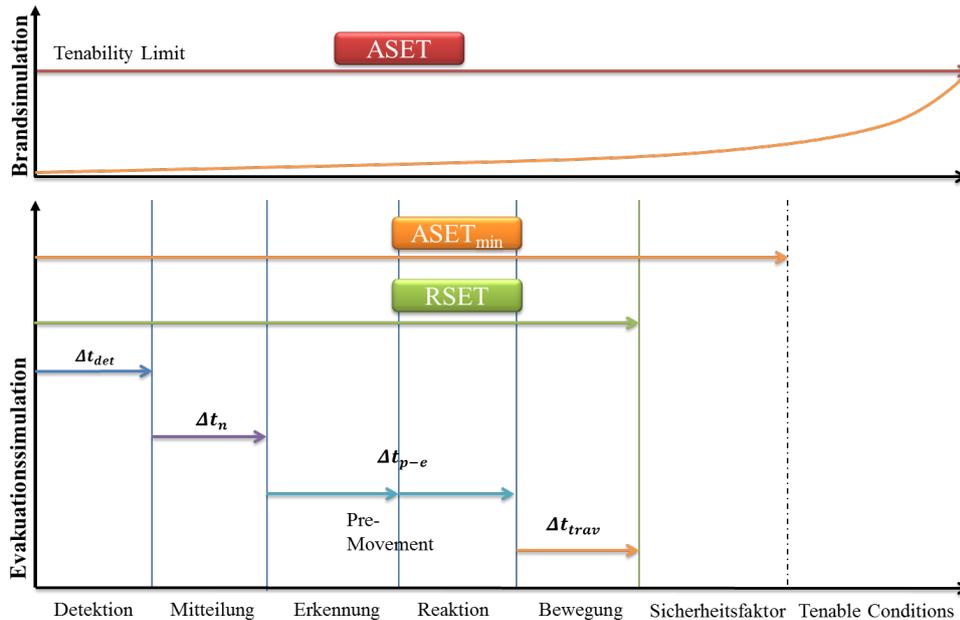


Abbildung 1: ASET vs. RSET

## 5 Geometrie

### 5.1 Grundlagen

Die folgenden Pläne wurden als Grundlagen für das Gebäudemodell verwendet:

- Grundrisse Erdgeschoss Variante 1.3.1 vom 22.07.22
- Grundrisse Dachgeschoss Variante 1.3.1 vom 22.07.22
- Querschnitt Variante 1.3.1 vom 22.07.22

### 5.2 Fläche

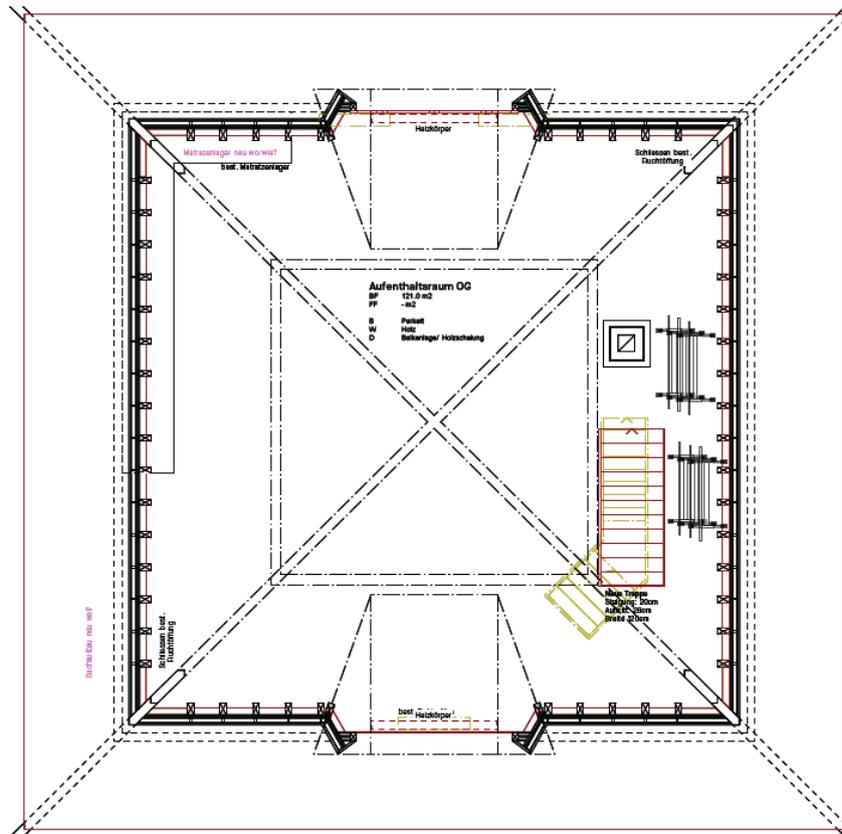


Abbildung 2: Grundriss Dachgeschoss



## 6 Personeneigenschaften

### 6.1 Pre-Movement

Die Erkennungs- und Reaktionszeiten sind wichtige Bestandteile der Evakuierungszeitberechnungsmodelle. Die gesamte Evakuierungszeit setzt sich wie folgt zusammen:

Element	Erläuterung	Grundlage der Ermittlung
Detektionszeit	Brandbeginn bis Auslösung Brandmelder oder Erkennung durch Personen	Ingenieurmässige Abschätzung
Mitteilung	Detektion bis zum hörbaren Alarm. Bei automatischen Anlagen ohne Verzögerung ( $t = 0$ s)	Konzept Anlagentechnik
Erkennung	Erfassen der Information, erkennen des Brandalarms	z.B. British Standards PD7974-6:2004
Reaktion	Beurteilung der Relevanz resp. der Bedrohungslage	z.B. British Standards PD7974-6:2004
Flucht	Wegzeit	Evakuierungssimulation

Eine Brandmeldeanlage ist nicht vorhanden, jedoch ist nur einen Raum zu betrachten. Es wird deshalb angenommen, dass die Detektionszeit und Reaktionszeit eines Brandes ziemlich gering werden. Der Löschangriff von einem oder zwei Personen wird nicht explizit simuliert, da diese nicht relevant für die Gesamtevakuierungszeit ist. In der Regel sind die Löschangriffszeiten ca. 30 Sekunden nach der Detektion eines Brandes, welche in diesem Fall die Gesamtevakuierungszeit nicht beeinflussen würde.

### 6.2 Gehgeschwindigkeit

Die Fluchtgeschwindigkeit der Personen ist entscheidend für die Berechnung der Bewegungszeit. Für physisch und kognitiv gesunde Menschen werden in der Literatur die folgenden Gehgeschwindigkeiten angegeben:

Referenz	Gehgeschwindigkeit (m/s)
Proulx	1.27
SFPE (gesund)	1.22
Butcher:	1.2
Buchanan	1.19
IVT – ETHZ	1.34

Berechnet wird die Flucht auf Basis normalen Gehens. Bei gesunden Personen lässt sich diese Geschwindigkeit durch Rennen mindestens verdoppeln. Personen mit schlechterem physikalischem Stand werden in diesem Fall nicht berücksichtigt.

Zur Berechnung der Wegzeiten werden die Fluchtgeschwindigkeit zwischen von 1.2 m/s (4.3 km/h) und 1.34 m/s (4.8 km/h) zufällig verteilt (Durchschnittsgeschwindigkeit: 1.27 m/s (4.57 km/h)).

Für die Simulationen werden die Personen gleichmässig im Raum verteilt.

## 7 Simulationsergebnisse

### 7.1 Ergebnisse

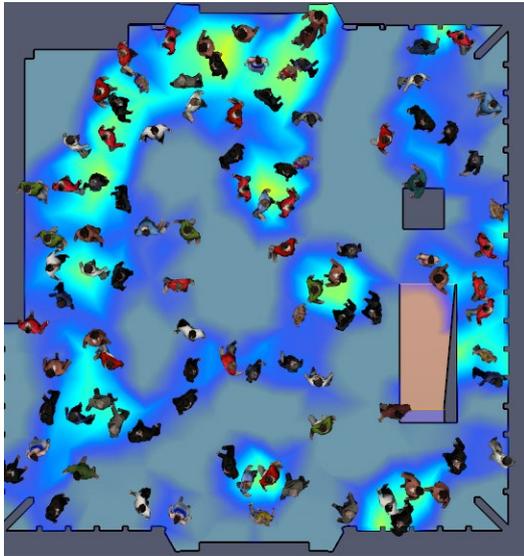


Abbildung 2: Grundriss und Schnitte bei, 0 Sekunden

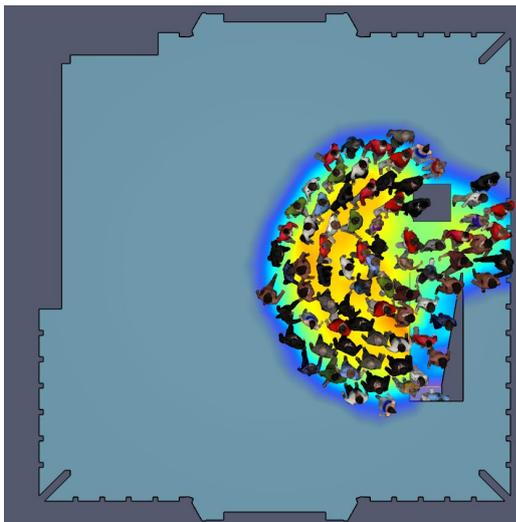


Abbildung 5: Grundriss und Schnitte bei, 30 Sekunden

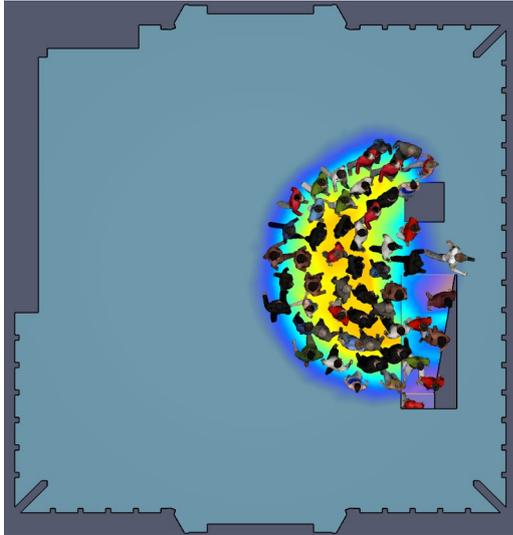


Abbildung 6: Grundriss und Schnitte bei, 60 Sekunden

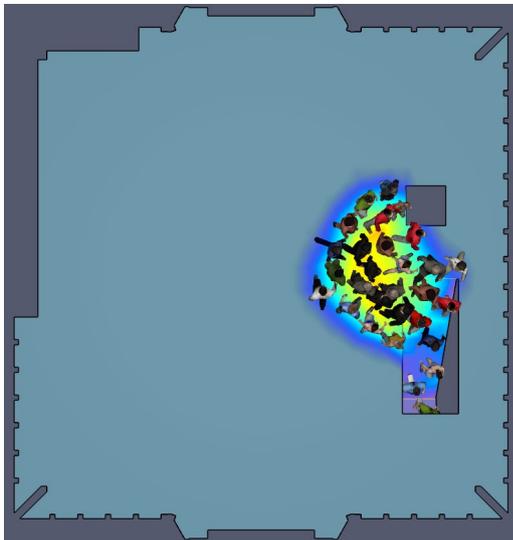


Abbildung 7: Grundriss und Schnitte bei, 90 Sekunden

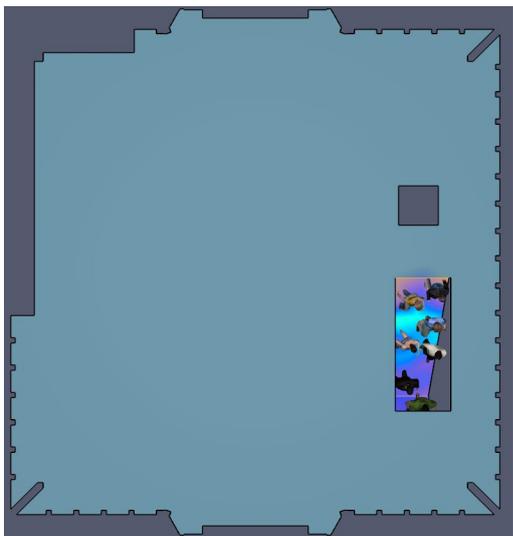


Abbildung 8: Grundriss und Schnitte bei, 116 Sekunden

## 7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Entfluchtungszeit aller Personen bis ins Freie beträgt ca. 128 Sekunden, oder 2 Minuten und 8 Sekunden. Jedoch werden alle Personen bereits nach ca. 116 Sekunden, oder 1 Minute und 56 Sekunden, ausserhalb des Dachgeschosses sein.

Mit einer Sicherheitsreserve von 20%, ist die Evakuierungszeit bzw. RSET 139 Sekunden.

## 8 Abschätzung der Rauchentwicklung

Die Wärmefreisetzungsrate durch Konvektion eines Brandes kann mit der folgenden Formel abgeschätzt werden:

$$Q_c = 0.7(\alpha t^2)$$

Dabei ist t die Zeit in Sekunden und  $\alpha$  ein spezifischer Wert für die Wärmefreisetzungsrate (siehe Abbildung 9). Für unterschiedliche Werte für  $\alpha$  ergeben sich die nachfolgend dargestellten Brandverlaufskurven:

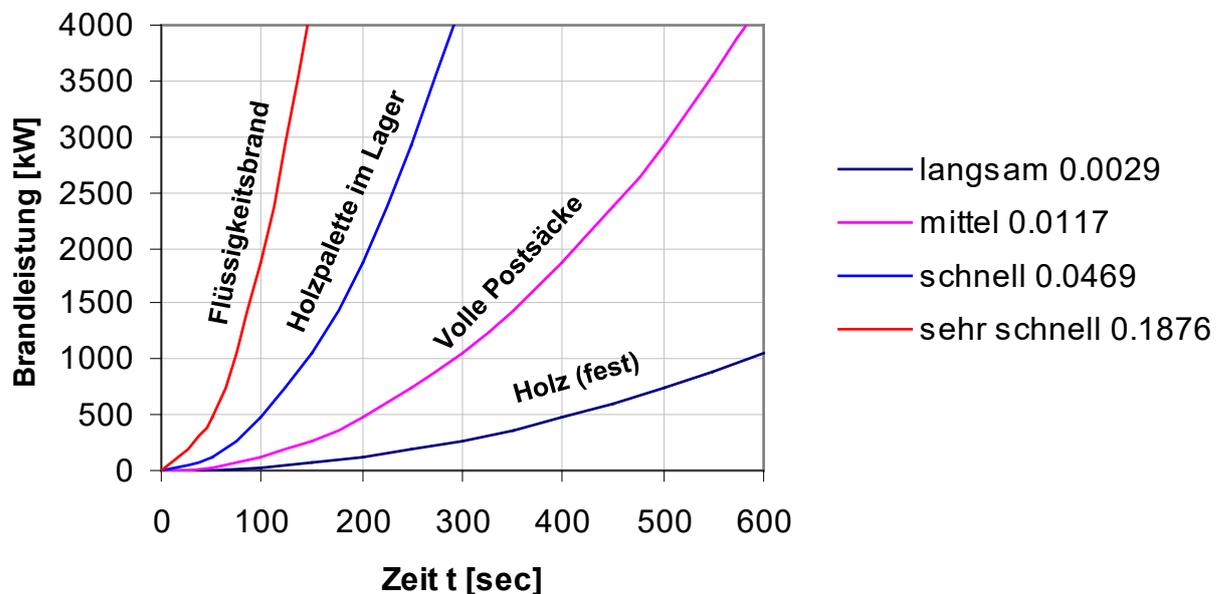


Abbildung 3: Brandverlaufskurven

Anhand der folgenden Formel lässt sich die Zuwachsrate des Rauchs auf einer bestimmten Rauchschrift bestimmen:

$$\dot{M} = 0.071 Q_c^{\frac{1}{3}} z^{\frac{5}{3}} \left[ 1 + 0.026 Q_c^{\frac{2}{3}} z^{\frac{-5}{3}} \right]$$

Dabei sind  $Q_c$  die Wärmefreisetzungsrate in kW und z die Höhe in m über der virtuellen Brandquelle.

Das Gebäude besteht aus Massivholz und beinhaltet keine Sondergefahren, wie grossen Mengen von bbl. Flüssigkeiten oder Regalen mit brennbaren Waren. Deshalb wurde ein langsamerer sowie mittlerer Brandverlauf für die Beurteilung gewählt.

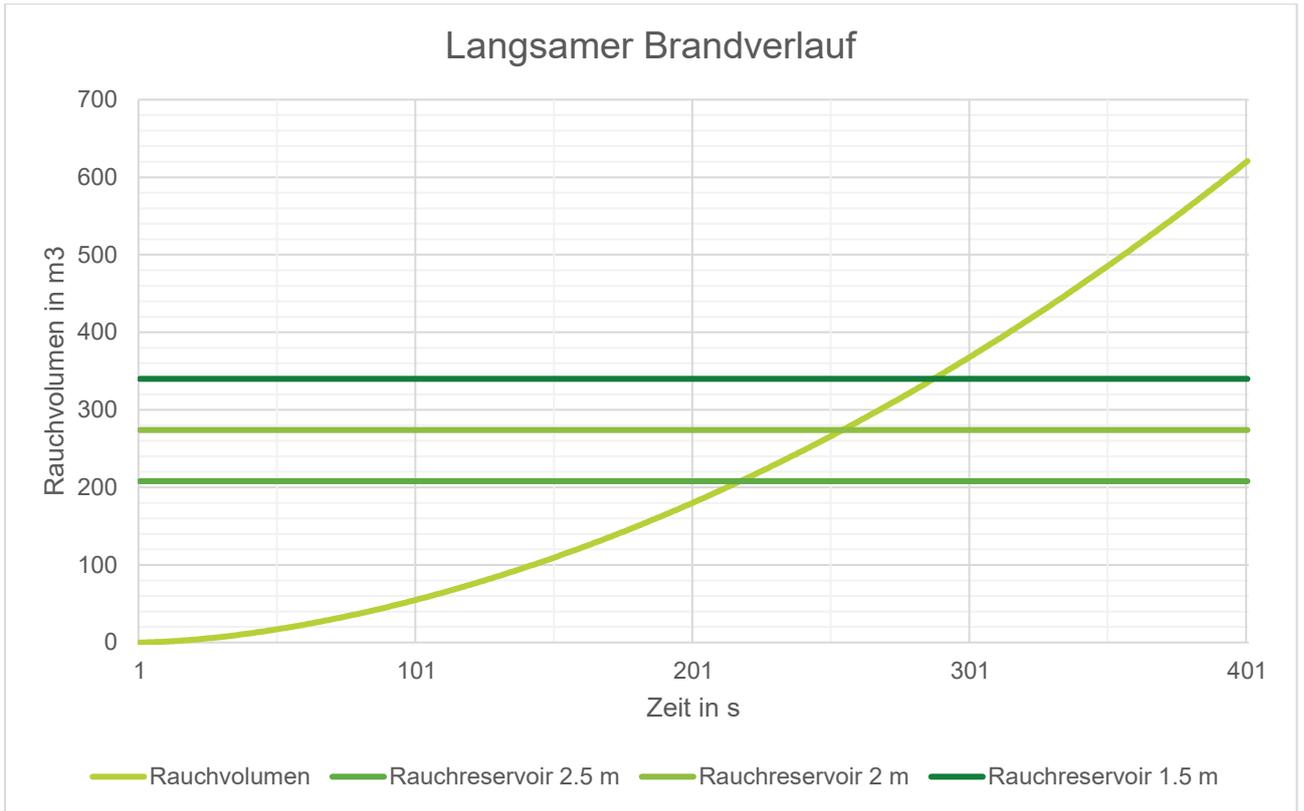


Abbildung 10: Rauchvolumen mit einem langsamen Brandverlauf

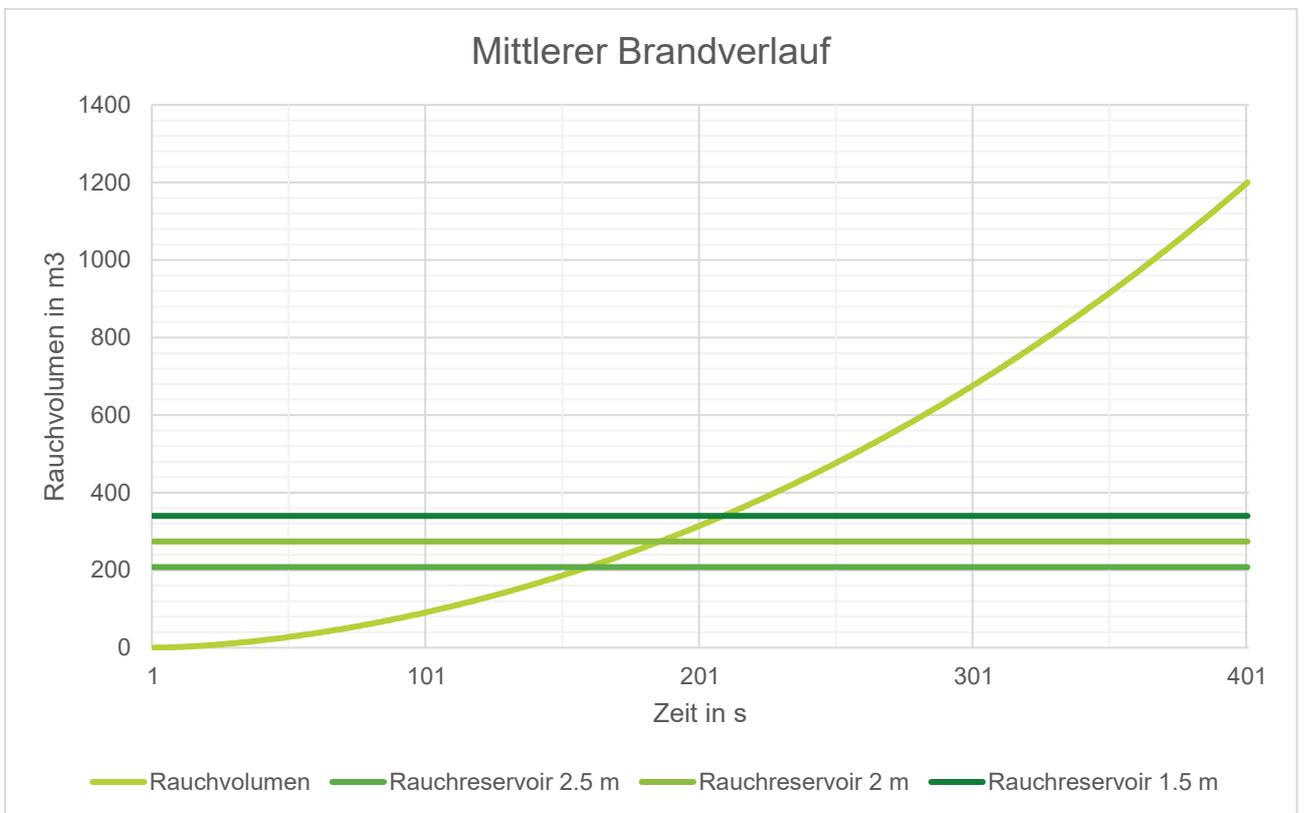


Abbildung 11: Rauchvolumen mit einem mittleren Brandverlauf

Die Ergebnisse dieser Berechnung können tabellarisch dargestellt:

Brandverlauf	Höhe der Rauchermeschicht	Zeit bis der Rauchreservoir aufgebraucht ist
Langsam	2.5 Meter	217 Sekunden (3 Minuten, 37 Sekunden)
Langsam	2 Meter	254 Sekunden (3 Minuten, 54 Sekunden)
Langsam	1.5 Meter	287 Sekunden (4 Minuten, 27 Sekunden)
Mittel	2.5 Meter	159 Sekunden (2 Minuten, 39 Sekunden)
Mittel	2 Meter	185 Sekunden (3 Minuten, 5 Sekunden)
Mittel	1.5 Meter	208 Sekunden (3 Minuten, 28 Sekunden)

Das Rauchreservoir wird am schnellsten aufgebraucht, wenn einen mittleren Brandverlauf angenommen wird und der Rauchermeschicht auf 2.5 m Höhe berechnet wird. Dieses Reservoir wird nach 159 Sekunden verbraucht.

## 9 Fazit

Anhand der Abschätzung der Rauchentwicklung in einer Schichthöhe von 2.5 m konnte gezeigt werden, dass es innerhalb der Evakuierungszeit nicht zu einer vollständigen Verrauchung des Raumes kommen wird.

Die maximale Evakuierungszeit beträgt ca. 139 Sekunden inkl. Sicherheitsreserven. Auch wenn eine Pre-Movement Time von ca. 20 Sekunden für alle Personen angenommen wird, können die Leute auch im schlimmsten Fall rechtzeitig evakuieren, ohne Behinderung vom Rauch. Je nach Annahmen kann diese Zeit für eine mögliche Evakuierung ohne Rauchhindernis bis auf 287 Sekunden erhöht werden.

Bedingungen hierfür ist jedoch, dass bei einer Belegung von 100 Personen die folgenden Rahmenbedingungen zwingend eingehalten werden:

- Dekorationen müssen aus Baustoffen der RF1 oder RF2 sein.
- Brennbare Weihnachtsbäume und ähnliche Grossdekorationen sind nicht zulässig.
- Die Bereiche vor den Fluchtwegen sind zwingend freizuhalten.
- Das Abbrennen von pyrotechnischen Werken ist verboten.
- Ein Rauchübertritt vom Erdgeschoss in die Lobby ist vermeidet (z.B. via Brandabschnitt).

SafeT Swiss AG  
Sägereistrasse 24  
8152 Glattbrugg

James Bassett  
Projektleiter Brandschutz

David Zweifel  
Projektleiter Brandschutz