

BACHELORARBEIT

Evakuierungs- und Fluchtverhalten im Brandfall - Eine systematische Literaturanalyse zu psychologischen Einflussfaktoren

vorgelegt am 05.01.2026
Constanze Korth

1. Prüfer: Prof. Dr. Schütte
2. Prüfer: Prof. Dr. Hörmann

**HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN HAMBURG**

Fachbereich Medizintechnik
Ulmenliet 20
21033 Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund	2
2.1	Brandfall als Extremsituation	3
2.2	Psychologische Grundlagen im Brandfall	4
2.3	Soziale Dynamiken im Evakuierungsprozess	6
2.4	Forschungsmethoden für Evakuierungsverhalten	7
3	Methodik	8
3.1	Datenquelle und Suchstrategie	9
3.2	Ein- und Ausschlusskriterien	10
3.3	Datenaufbereitung und -analyse	11
4	Ergebnisse der Literaturanalyse	13
4.1	Psychologische Einflussfaktoren	13
4.1.1	Informationsverarbeitung von Gefahrensignalen	13
4.1.2	Emotionen, Stress und Unsicherheit	14
4.1.3	Führung, Kommunikation und Vertrauen	15
4.1.4	Soziale Identität und Gruppenprozesse	15
4.1.5	Umweltfaktoren	16
4.1.6	Vulnerable Gruppen	17
4.2	Methodische Analyse	18
4.2.1	Studiendesigns	18
4.2.2	Messinstrumente und Auswertungsverfahren	19
4.2.3	Stichproben	20
4.2.4	Modellierungsansätze	20
4.2.5	Grenzen und Unsicherheiten	21
5	Diskussion	22
5.1	Interpretation der Ergebnisse	23
5.2	Methodische Grenzen	24
5.3	Schlussfolgerung für Forschung und Praxis	24
6	Fazit	25
7	Anhang	33
7.1	Rechercheprotokoll	33
7.2	Übersicht der eingeschlossenen Publikationen	34

Abbildungsverzeichnis

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | Der Verhaltensprozess von Betroffenen bei einem Gebäudebrand [2] | 3 |
| 2 | PRISMA Flussdiagramm zur Auswahl der Literatur (Eigene Darstellung nach [59]) | 12 |

Tabellenverzeichnis

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Einschlusskriterien der untersuchten Studien | 10 |
| 2 | Ausschlusskriterien der untersuchten Studien | 11 |

1 Einleitung

Warum verlassen Menschen gefährdete Bereiche nicht sofort? Warum ignorieren Sie Warnsignale oder die nächsten Fluchtwege, um zum Haupteingang zurück zu kehren? Diese Fragen sind zentral für das Verständnis von Evakuierungsprozessen. Brände sind Extremsituationen, in denen psychologische Faktoren wie Wahrnehmung, Risikoeinschätzung, Stress und Gruppendynamiken viele Handlungen beeinflussen.

Gebäudebrände stellen trotz erheblicher Fortschritte in den technischen Sicherheitsstandards weiterhin eine ernsthafte Bedrohung für Menschen dar. Neben baulichen und technischen Schutzmaßnahmen rückt zunehmend das menschliche Verhalten in den Fokus, da es maßgeblich die Wirksamkeit von Evaluierungsprozessen beeinflusst.

Evakuierungen verlaufen selten unmittelbar, weil zunächst ein mehrstufiger Entscheidungsprozess, der durch Umweltreize, soziale Kontexte, individuelle Merkmale sowie frühere Erfahrungen geprägt ist, stattfindet [1, 2]. Betroffene müssen zunächst die Gefahrensignale wahrnehmen, interpretieren und bewerten. Wenn bereits genügend Informationen für eine Entscheidung vorliegen, ist diese möglicherweise nicht die direkte Evakuierung, sondern gegebenenfalls das Warnen von Anderen oder die Suche nach Angehörigen. Sollten die Hinweise zunächst unklar sein, wird unter Umständen viel Zeit mit der Beschaffung weiterer Informationen verbracht [2, 3, 4].

Diese Faktoren sind relevant für die Bestimmung der Evakuierungszeit bei der Anwendung von Ingenieurmethoden im Brandschutz. Sie beruhen auf psychologischen Faktoren wie Wahrnehmung, Risikoeinschätzung, Stress und sozialen Dynamiken und bestimmen, ob und wie schnell Menschen handeln. Unsicherheit, Zeitdruck und Informationsüberlastung können die Entscheidungsfindung verzögern und führen häufig zu adaptiven, aber nicht immer optimalen Maßnahmen der Betroffenen [5, 6, 7].

Die Relevanz des Themas wird durch tragische Ereignisse verdeutlicht. Während der Erstellung kam es in der Silvesternacht 2025 auf 26 zu einem verheerenden Brand mit zahlreichen Toten und Verletzten in der Schweiz. Dieser reiht sich in eine Serie ähnlicher Ereignisse wie dem Volendam New Year's fire (Niederlande, 2001), dem Station Nightclub Fire (USA, 2003), dem Kiss Nightclub Fire (Brasilien, 2013), dem Colectiv nightclub fire (Rumänien, 2015), dem Kočani Nightclub Fire (Nord Mazedonien, 2025) und vielen weiteren ein [8]. Diese Brände zeigen, dass selbst unter modernen Standards diese tödlichen Ereignisse nicht verhindert werden können und oft menschliches Verhalten, welches nicht den Normen folgt, über Leben und Tod entscheiden kann. Die Häufigkeit dieser Ereignisse und die Tatsache, dass viele der Probleme bereits bekannt sind, unterstreichen die Dringlichkeit, psychologische Mechanismen besser zu verstehen, Lösungen zu entwickeln und in Sicherheitskonzepten zu integrieren [9, 10].

Die vorliegende Arbeit widmet sich der Frage, welche psychologischen Mechanismen in den letzten zehn Jahren die Forschung des Evakuierungsverhaltens geprägt haben und wie diese Erkenntnisse genutzt werden können, um Evakuierungsstrategien und bauliche Maßnahmen zu optimieren. Ziel ist es, die erforschten Theorien sowie die genutzten Methoden zu analysieren, die das Zusammenspiel von kognitiven Prozessen, Emotionen und sozialen Dynamiken beschreiben. Dabei wird auch betrachtet, welche Faktoren in der Praxis berücksichtigt werden und welche Forschungslücken bestehen.

Hierzu werden zunächst die Grundlagen des Evakuierungsprozesses sowie relevante Modelle dargestellt. Die zugrunde liegenden psychologischen und soziologischen Einflussfaktoren

bilden das Fundament für die Analyse.

Die Methode basiert auf einer systematischen Literaturanalyse, die sowohl theoretische als auch methodische Aspekte des Forschungsfeldes berücksichtigt. Dazu wurde ein Methodenmix aus dem theoretical review nach Cooper [11] und dem methodological review nach Hsia [12] gewählt. Der theoretische Ansatz ermöglicht die Erfassung und kritische Bewertung psychologischer Modelle, die das Evakuierungsverhalten erklären, während der methodische Ansatz die Qualität und Vergleichbarkeit der zugrunde liegenden Studien analysiert. Die Recherche erfolgte in der Datenbank Scopus unter Anwendung des PRISMA Verfahrens, um relevante Publikationen der letzten zehn Jahre zu identifizieren.

Identifizierte psychologische Einflussfaktoren sowie methodische Ansätze der untersuchten Studien werden strukturiert im Ergebnisteil zusammengefasst und anschließend im Hinblick auf die Forschungsfrage diskutiert. Dabei wird analysiert, welche Erkenntnisse der Wissenschaft stärker in die Praxis einfließen sollten und wo Forschungslücken bestehen.

2 Theoretischer Hintergrund

Zentrales Anliegen des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes ist die Gewährleistung der Personensicherheit [13]. In dieser Ausarbeitung wird der Argumentation der DGUV folgend der Begriff Evakuierung verwendet, um das organisierte Verlassen von Personen aus einem gefährdeten Bereich in einen ungefährdeten Bereich zu beschreiben. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass der Begriff Räumung bereits im Polizeirecht als taktische Maßnahme definiert wurde und diese Ausarbeitung explizit im Kontext der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr behandelt wird [14]. Als gefährdet gilt der Bereich eines Gebäudes, in dem Personen einer tatsächlichen oder wahrgenommenen Gefährdung durch Feuer und Brandrauch ausgesetzt sind.

Zur Bewertung der Personensicherheit wird häufig die ASET/RSET-Methode angewendet. Die verfügbare sichere Räumungszeit (Available Safe Egress Time, ASET) beschreibt den Zeitraum, in dem die Bedingungen im gefährdeten Bereich eine Selbstrettung zulassen. Sie endet, sobald Kriterien wie Rauchhöhe, Luftqualität oder thermische Belastung überschritten werden. Die erforderliche sichere Räumungszeit (Required Safe Egress Time, RSET) ist die Zeit, die Personen benötigen, um den gefährdeten Bereich zu verlassen. Sie hängt unter anderem von der Anzahl der Personen, den Laufwegen und organisatorischen Faktoren ab. Ein Schutzziel gilt als erreicht, wenn $RSET < ASET$ und die Evakuierung somit abgeschlossen ist, bevor die Auswirkungen des Brandes eine Selbstrettung verhindern [13, 15].

Der Prozess der Evakuierung kann in drei Phasen unterteilt werden, um die RSET genauer zu bestimmen:

$$RSET = t_{Detektion} + t_{Alarm} + t_{Reaktion} + t_{Bewegung} \quad (1)$$

Generell hängen alle Faktoren voneinander ab. Die Detektion und Alarmierung können sowohl automatisiert als auch durch aufmerksame Personen erfolgen. Dies beeinflusst die Reaktionszeit und die Bewegungszeit. In der Literatur werden Einflussfaktoren unterteilt in extrinsische Einflüsse des Gebäudes auf die betroffenen Personen (beispielsweise Nutzungstyp, Gebäudeklasse, Komplexität sowie Länge, Anzahl und Kennzeichnung der Rettungswege) und intrinsische Faktoren, die die Eigenschaften und Verhaltensweisen der Personen selbst beschreiben. Hierzu zählen unter anderem Tätigkeiten und der Fokus zum Zeitpunkt

des Ereignisses, physische und psychische Fähigkeiten, kulturelle und soziale Normen sowie Training und Erfahrung mit Notfallsituationen [13, 15].

Evakuierungsentscheidungen beruhen stets auf einem Zusammenwirken von extrinsischen und intrinsischen Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen, wie Abbildung 1 zeigt [2].

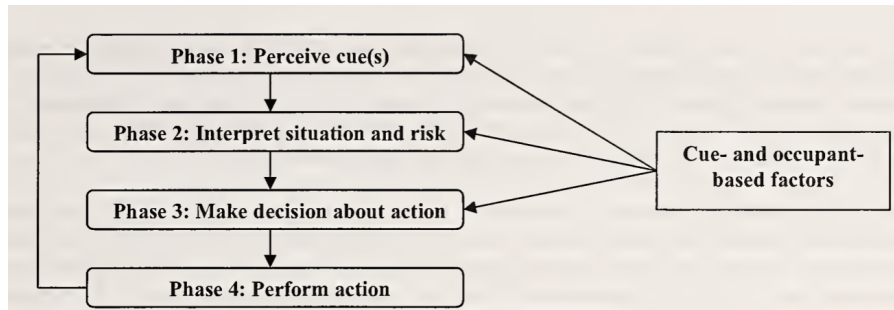


Abb. 1: Der Verhaltensprozess von Betroffenen bei einem Gebäudebrand [2]

Die Forschung zum Verhalten von Menschen im Brandfall ist dabei stark interdisziplinär und bezieht Fachgebiete wie Ingenieurwesen, Architektur, Psychologie, Soziologie und weitere ein. Zu den Einflussfaktoren gehören Wahrnehmung, Einstellung, Überzeugung, Motivation, Entscheidungsprozesse und Bewältigungsstrategien. Hauptziele der Forschung sind die Minimierung des Risikos für Menschen bei Bränden. Dies erfolgt durch die Erhebung und Analyse qualitativer und quantitativer Daten, um eine umfassende Theorie des Verhaltens zu entwickeln. Diese Theorie ist entscheidend für die Optimierung schutzzielorientierter Brandschutzkonzepte und Evakuierungspläne [15].

2.1 Brandfall als Extremsituation

Der Deutsche Feuerwehrverband meldet für das Jahr 2022 mehr als 200.000 Brände. Im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung Deutschlands von rund 84 Millionen Menschen sind einzelne Ereignisse für eine Person relativ selten. Eine statistische Betrachtung der Eintrittswahrscheinlichkeit ist jedoch nicht bekannt, da keine Betrachtung der pro Brand betroffenen Personen erfolgt.

Für die Betroffenen ist ein Brand ein außergewöhnliches, überraschendes und erschreckendes Ereignis [16]. Insbesondere in der frühen Ausbreitungsphase folgt ein Brand einem exponentiellen Wachstum [17]. Exponentielle Zunahmen, wie sie bei der Brandausbreitung, Epidemien oder Finanzprozessen auftreten, werden jedoch regelmäßig unterschätzt [18, 19, 20].

Um das Verhalten der Betroffenen in Extremsituationen zu verstehen, wurde in der Katastrophenforschung das Protective Action Decision Model entwickelt. Dies beschreibt die kognitiven und sozialen Prozesse, die in Notsituationen zu Handlungen führen, und wurde für die Verwendung bei Bränden adaptiert [1, 15].

Die Stufen im Entscheidungsprozess sind laut diesem Modell:

- **Wahrnehmung von Warnzeichen**

physische (Rauch, Hitze, Geräusche) und soziale Hinweise (Verhalten anderer, Anweisungen).

- **Aufmerksamkeit und Interpretation**
Bewertung der Relevanz und Glaubwürdigkeit der Hinweise.
- **Risikoabschätzung**
Einschätzung der Bedrohung und Personalisierung des Risikos.
- **Entscheidung und Handlung**
Auswahl von (Schutz)Maßnahmen (Informationssuche, Warnung von Anderen, Evakuierung)

Dabei ist der Prozess iterativ, das heißt, neue Informationen können die getroffenen Entscheidungen bestätigen oder verändern. Der Prozess wird durch verschiedene Einflussfaktoren gesteuert. Zu den individuellen Merkmalen zählen Alter, Geschlecht, physische und kognitive Fähigkeiten sowie Erfahrungen mit ähnlichen Situationen. Zu den sozialen Dynamiken zählen normative und informative soziale Einflüsse, Verpflichtungen, soziale Rollen und Stress [21].

Dies zeigt, dass menschliches Verhalten im Brandfall nicht zufällig, sondern durch kognitive und emotionale Prozesse strukturiert ist. Zum besseren Verständnis, warum Menschen die entsprechenden Handlungen vollziehen, werden im folgenden Abschnitt die psychologischen Faktoren vertieft.

2.2 Psychologische Grundlagen im Brandfall

Der Argumentation von Kuligowski folgend sollten zunächst weit verbreitete Fehlannahmen ausgeräumt werden. Entgegen der vor allem durch mediale Berichterstattung verbreitete Vorstellung geraten Menschen in Bränden äußerst selten in Panik. Die sozialwissenschaftliche Forschung zeigt bereits seit den 1970er Jahren, dass das Verhalten von Menschen in Notlagen überwiegend rational und oft altruistisch geprägt ist. Tatsächlich neigen Betroffene eher dazu, Warnsignale zu ignorieren oder Situationen zu verharmlosen. Auch das Bild einer chaotischen Massenflucht ist empirisch nicht haltbar. Stattdessen dominieren geordnete, sozial beeinflusste Prozesse [15, 22].

Die Unterschätzung von Warnsignalen führt auch zur Annahme, dass Menschen in Notsituationen zunächst wie gelähmt sind und nicht handeln. Untersuchungen zeigen jedoch, dass die meisten Personen aktiv nach Informationen suchen und darauf aufbauend angemessene Entscheidungen treffen. Verzögerungen sind meist auf eine unklare Informationslage zurückzuführen, nicht auf völlige Handlungsunfähigkeit [15, 23].

Dabei folgen Menschen auch nicht blind der Masse und verlieren ihre Individualität. Zwar hat die Orientierung an anderen bei der Deutung einer Situation Einfluss, doch bleiben Entscheidungen individuell und rational [15, 24]. Dabei passen sie sich normativen sozialen Einflüssen an, um sozialen Erwartungen zu entsprechen. Dies kann dazu führen, dass sie zunächst nicht reagieren, wenn niemand um sie herum reagiert, um nicht übertrieben zu wirken. Empirische Untersuchungen konnten zeigen, dass Gruppenverhalten oft die Sicherheit erhöht. Menschen warnen andere, helfen ihnen und koordinieren sich [25].

Neben der Tendenz, in Gruppen zu bleiben, tritt in Notlagen häufig Hilfeverhalten auf. Analysen von Brandereignissen und Katastrophen zeigen, dass Betroffene oft die ersten Helfer sind, selbst unter erheblichem Risiko [4, 26, 27]. Beispiele wie der Brand im Beverly Hills Supper Club [28] oder das Feuer im Station Nightclub [29] verdeutlichen, dass Menschen andere

warnen, unterstützen oder sogar in gefährdete Bereiche zurückkehren, um Angehörige oder Kollegen zu retten.

Stress hat einen zentralen Einfluss auf das Verhalten in Evakuierungssituationen. Dieser kann durch verschiedene Bedingungen ausgelöst werden, die über die unmittelbare Bedrohung durch Feuer und Rauch hinausgehen. Dazu zählen Unsicherheit und Ambiguität, Informationsüberlastung sowie Zeitdruck. Unsicherheit entsteht, wenn Informationen fehlen, unzuverlässig oder widersprüchlich sind und mehrere Interpretationen zulassen [6, 7, 15]. Wenn Betroffene das Gefühl haben, zu viele Informationen in zu kurzer Zeit verarbeiten zu müssen, kann dies zu Überlastung führen. Dieses Gefühl wird verstärkt, wenn eine Situation als dringend wahrgenommen wird und die verfügbare Zeit für Handlungen stark begrenzt scheint [30, 31].

Stress beeinflusst die Entscheidungsfindung in mehrfacher Hinsicht. Die Wahrnehmung wird verengt, wodurch wichtige Hinweise übersehen werden können [6, 31]. Zwar können Informationen schneller aufgenommen werden, jedoch erfolgt die Verarbeitung weniger sorgfältig. Subjektiv werden daher nur Informationen berücksichtigt, die besonders relevant erscheinen [32]. Menschen neigen auch dazu, risikoärmere Entscheidungen zu treffen, etwa die Nutzung vertrauter Ausgänge anstelle von unbekannten Fluchtwegen [33]. Oftmals ist der vertraute Weg, der Ausgang über den das Gebäude betreten wurde, selbst wenn andere, sicherere Alternativen vorhanden sind. Dieses Verhalten wird über die „Theory of Affiliation“ erklärt. Menschen suchen nicht nur die Nähe vertrauter Personen, sondern auch vertraute Orte und Wege [34]. Hinzu kommt der default-effekt, mit dem Menschen dazu tendieren, auf ihrem Weg zum bekannten Ausgang Notausgangsschilder aktiv zu ignorieren [35].

Gibson prägte die „Theory of Affordance“ und beschreibt damit die wahrgenommenen Möglichkeiten, die sich aus der Beziehung zwischen Umwelt und den Fähigkeiten des Individuums ergeben. Menschen nehmen Objekte nicht neutral wahr, sondern in Bezug darauf, „was man damit tun kann“. Im Evakuierungskontext bedeutet das beispielsweise, dass ein Ausgang nicht nur als Tür, sondern als potenzieller Fluchtweg gesehen wird, sofern seine Eigenschaften dies für den Betrachter ermöglichen. Auf dieser Grundlage und den vier Arten der Affordanz nach Hartson [36] entwickelte Nilsson konkrete Ansätze, um Fluchtwegen zu bewerten. Damit der Fluchtweg sensorisch wahrnehmbar ist und sensorische Angebote gemacht werden können, sollte er gut erkennbar sein, zum Beispiel durch Farbkontraste. Für die kognitive Affordanz muss der Nutzer verstehen, dass der Ausgang im Notfall benutzt werden soll und wann dieser Notfall gegeben ist. Eine Treppe bietet vielen Menschen die Möglichkeit, in ein anderes Stockwerk zu gelangen. Ist der Nutzer jedoch eingeschränkt und kann die Treppe aufgrund dessen nicht nutzen, bietet sie ihm keine physische Affordanz. Zusätzlich sollte ein Rettungsweg für den Nutzer eine funktionale Affordanz bieten, indem er den Nutzer bei der Erreichung seines Ziels unterstützt. Dies kann im Falle der Evakuierung ein schneller und sicherer Weg nach draußen sein.

Wie im vorherigen Absatz bereits angemerkt, haben auch die persönlichen Eigenschaften wie Geschlecht, Alter, körperliche Fitness und Fähigkeiten der Betroffenen einen Einfluss auf das Verhalten im Brandfall. Hinzu kommen soziale Faktoren wie der sozioökonomische Status oder der berufliche Hintergrund. Diese Faktoren prägen Wahrnehmung, Risikoeinschätzung und Handlungsentscheidungen in Notlagen [15].

Männer waren in Experimenten häufiger an Aktivitäten beteiligt, die der Brandbekämpfung dienten. Dazu gehören unter anderem das Suchen des Feuers und den Feuerlöscher zu holen. Frauen hingegen tendierten eher dazu, andere zu warnen oder bei der Evakuierung zu unterstützen [37, 38]. Diese Unterschiede werden teilweise auf kulturelle Rollenzuschreibungen

gen zurückgeführt, die zur Zeit der Experimente zwischen 1970 und 1980 noch ausgeprägter waren als heute. In neueren Untersuchungen konnte dieses Verhalten nur in hypothetischen Fragebögen, nicht jedoch in Untersuchungen von realen Ereignissen festgestellt werden. Dies ist möglicherweise auf die methodischen Grenzen solcher Studien zurückzuführen [39, 40].

Zur Erklärung bestimmter Verhaltensweisen werden verschiedene kognitive Verzerrungen herangezogen. Schnelle Entscheidungen werden oft unter Berücksichtigung von einfachen Regeln getroffen. Dieser Prozess läuft nahezu automatisch ab und wird durch gelerntes Verhalten, Erfahrungen und die verfügbaren Informationen beeinflusst. Dies ermöglicht schnelle und praktikable Entscheidungen, ist allerdings fehleranfällig. Zusätzlich basieren solche Entscheidungen oft auf dem bestehenden Wissen und füllen Informationslücken auf. Einige Bias führen jedoch zu einer verzerrten Wahrnehmung, zum Beispiel ist es leichter, Ereignisse mit schwereren Konsequenzen zu erinnern. Wenn Menschen jedoch selbst betroffen sind, neigen sie dazu, ihre Situation zu normalisieren [41]. Wenn Ereignisse zufällig oder klar nicht der Kontrolle der Betroffenen unterliegen, tendieren Menschen dennoch dazu zu glauben, sie könnten etwas beeinflussen [42], [43], [44]. Zusätzlich werden persönliche Risiken oft unterschätzt (optimismus-bias) [45]. Ähnlich ist es mit dem Bestätigungsfehler, bei dem Menschen Informationen so interpretieren, dass ihre Vorurteile bestätigt werden [46].

2.3 Soziale Dynamiken im Evakuierungsprozess

Das Verhalten von Menschen im Brandfall wird nicht nur durch individuelle Faktoren, sondern auch stark durch die Anwesenheit und das Verhalten anderer beeinflusst. Dieses Phänomen wird als sozialer Einfluss bezeichnet und umfasst sowohl hemmende als auch fördernde Effekte auf die Reaktion.

Die Experimente von Latane und Darley [47] zeigen, dass die Anwesenheit anderer Personen die Interpretation von Gefahrensignalen verzögern kann. In ihren Versuchen ignorierten Probanden den Rauch in einem Raum deutlich länger, wenn sie sich in einer Gruppe befanden, als wenn sie allein waren. Die passive Haltung anderer führte entweder dazu, dass die Situation als weniger bedrohlich wahrgenommen wurde oder dazu, dass man nicht aus der Gruppe herausstechen wollte. Dieses Verhalten wird durch Mechanismen wie soziale Hemmung, Diffusion von Verantwortung und Imitation von Verhalten erklärt. Ähnliche Muster finden sich in realen Brandereignissen, etwa in Restaurants oder Hotels, wo Warnungen ignoriert wurden, weil andere nicht reagierten [48, 49].

Auch die Gruppenzugehörigkeit kann die Initiierung der Evakuierung verzögern. Personen in großen Gruppen (> 20 Personen) oder mit engen sozialen Bindungen brauchen länger, um die Evakuierung zu beginnen. Dies wird durch prosoziales Verhalten erklärt, da Menschen die Zeit investieren, um andere zu informieren oder eine gemeinsame Entscheidung zu treffen. Zusätzlich kann Gruppenzusammenhalt die Bewegungsgeschwindigkeit verringern, da sich die Gruppe am langsamsten Mitglied orientiert [5, 48, 50].

Wie sich Gruppen zusammenfinden, kann durch die „Theory of Affiliation“ beschrieben werden. Insbesondere Familienmitglieder sind bei Evakuierungen stärker bemüht, zusammenzubleiben als lose verbundene Gruppen [34, 50].

Allerdings kann sozialer Einfluss auch die Evakuierung beschleunigen. So können Evakuierungen früher beginnen, wenn andere dabei beobachtet werden, insbesondere wenn Entscheidungsträger dabei sind. Somit ist auch die Rolle der Evakuierenden von Bedeutung.

Dabei kann Führung bereits vor dem Ereignis bestehen, wie in Gebäuden mit klaren Hierarchien, beispielsweise in Büro- oder Handelsgebäuden, in denen Führungskräfte bereits vor dem Ereignis eine Autorität innehaben. Führung kann aber auch spontan entstehen, wenn Personen Verantwortung übernehmen, Anweisungen geben oder andere unterstützen, ohne zuvor eine formelle Führungsrolle innegehabt zu haben [24]. Dabei spielt die wahrgenommene Glaubwürdigkeit eine entscheidende Rolle für die Wirksamkeit von Führung. So haben Untersuchungen gezeigt, dass fehlerhaften Informationen von Polizeibeamten oder Vorgesetzten eher vertraut wurde als Informationen von anderem Personal [51].

2.4 Forschungsmethoden für Evakuierungsverhalten

Um das Verhalten von Menschen in Notsituationen besser zu verstehen, Vorhersagen zu treffen und gegebenenfalls Schutzkonzepte zu optimieren, ist Forschung unabdingbar. Dabei können Daten auf zwei Arten erhoben werden. Entweder mit Beobachtungsstudien, bei denen der Beobachter keinen Einfluss auf die Handlung nimmt. Hierbei können insbesondere Interaktionen und Zusammenhänge identifiziert werden. Allerdings liefert die Beobachtung keine Ursache-Wirkung-Beziehung, da versteckte Variablen die Ursache sein können. Für die Untersuchung des Verhaltens vor einem Alarm oder die Bewegungsmuster während einer Evakuierung ist die Beobachtung jedoch das Mittel der Wahl. Dies kann mithilfe von Beobachtungen erfolgen, aber auch retrospektiv durch Befragungen beziehungsweise Interviews [52]. Die manuelle Beobachtung dient in der Regel zur qualitativen Analyse. Sie ist günstig und vergleichsweise mit geringem Aufwand verbunden. Allerdings können menschliche Fehler, wie z.B. subjektive Interpretationen, auftreten und in der Regel kann nur ein Faktor beobachtet werden. (Teil-)automatisierte Möglichkeiten bieten die Videoanalyse oder die Aufzeichnung von Bewegungsprofilen über tragbare Geräte. Um vergangene Ereignisse zu analysieren, kann alternativ zur Befragung auch eine Inhaltsanalyse erfolgen, bei der Datenbanken strukturiert durchsucht werden. Hierbei kann es allerdings auch zu einigen Verzerrungen kommen, da beispielsweise vermeintlich unwichtige Details nicht einfließen [52, 53].

Bei der experimentellen Forschung können Variablen beeinflusst werden. Hierdurch können einzelne Phänomene isoliert und damit Rückschlüsse auf die Kausalität gezogen werden. Dabei können die Experimente hypothetische oder reale Szenarien abbilden. Insbesondere durch moderne Darstellungsvarianten wie Virtual Reality lassen sich realistische Szenarien günstig und vergleichsweise einfach wiederholbar darstellen. Laborexperimente mit ausgewählten Teilnehmern bieten dabei die größtmögliche Kontrolle über die Umweltkriterien, wohingegen Feldstudien näher an der Realität sind. Allerdings können künstliche Umgebungen auch zu künstlichen Verhaltensweisen führen [52, 54].

In der Vergangenheit war ein Großteil der Verhaltensforschung von Theorien geleitet. Dazu wurde zunächst eine Theorie formuliert, die dann mit Daten be- oder widerlegt wurde. Mit Hilfe von Big Data und maschinellem Lernen wandelt sich dies jedoch zu datengeleiteter Forschung, bei der zunächst Daten erhoben werden, um darin Muster zu erkennen und zu interpretieren [54].

Im allgemeinen können Daten quantitativ erhoben werden (Verhalten, Aktivitäten, Intentionen etc. oder quantitativ (Wahl des Ausgangs, Geschwindigkeit, Zeiten, Augenbewegung etc.) Die Datenaufzeichnung erfolgt mittels manueller Beobachtung, live oder mithilfe von Videoaufzeichnungen. Zusätzlich können Sensoren verwendet werden um Bewegungen aufzuzeichnen, oder physiologische Werte zu erheben [55].

Die Aussagekraft und Qualität empirischer Studien zum Verhalten im Brandfall hängen dabei maßgeblich von der Repräsentativität der Stichprobe ab. Für belastbare Ergebnisse sollten die untersuchten Personen die Vielfalt der realen Gebäudebelegung widerspiegeln (Alter, körperliche und kognitive Fähigkeiten, Vertrautheit mit dem Gebäude sowie besonderen Bedürfnissen). Diese Merkmale sind entscheidend bei der Modellierung von Evakuierungsszenarien und sollten bei der Parametrisierung von Simulationen berücksichtigt werden [21].

In der Praxis beruhen viele Datensätze, die noch heute für Bemessungsszenarien genutzt werden, auf Studien mit gesunden, jungen Erwachsenen, häufig männlichen Probanden. Vulnerable Gruppen sind in solchen Experimenten oft unterrepräsentiert, da sie weniger bereit oder geeignet sind, an allgemeinen Studien teilzunehmen. Auch scheinbar triviale Faktoren wie ungeeignetes Schuhwerk oder Gepäck können die Bewegungsgeschwindigkeit beeinflussen, werden aber in vielen Laborszenarien nicht abgebildet. Daher ist bei der Verwendung solcher Datensätze in der praktischen Anwendung auf eine angemessene Stichprobengröße und heterogene Verteilung relevanter Merkmale zu achten. Insbesondere wenn relevante Gruppen fehlen oder unterrepräsentiert sind, müssen die Einschränkungen offengelegt und diskutiert werden. Nur hierdurch lassen sich Verzerrungen vermeiden und die Übertragbarkeit auf reale Szenarien sicherstellen [15, 21].

3 Methodik

Die Methodik dieser Arbeit basiert auf einem Methodenmix aus dem theoretical review nach Cooper [11] und dem methodological review nach Hsia [12]. Diese Kombination wurde gewählt, um die Komplexität des Forschungsfeldes abzubilden, in dem sowohl theoretische als auch methodische Aspekte systematisch analysiert werden müssen. Die Kombination der Methoden wurde von Lueglinger & Renger 2013 beschrieben [56].

Wie im Theorieteil beschrieben, wird in der Literatur das Evakuierungs- und Fluchtverhalten im Brandfall durch eine Vielzahl unterschiedlicher psychologischer Theorien erklärt. Ein theoretical review ermöglicht es, die psychologischen Modelle inhaltlich aufzubereiten. Ziel ist die kritische Analyse der Konsistenz, Vorhersagekraft und Anwendbarkeit der Theorien. Cooper beschreibt hierfür fünf zentrale Schritte [56]:

- **Problemformulierung** – Dies beinhaltet die Definition der Forschungsfrage, die bereits einleitend erfolgt ist.
- **Datensammlung** – Auswahl und Eingrenzung der Studien, die für die Analyse relevant sind.
- **Bewertung der Datenpunkte** – Prüfung der Qualität und Relevanz der einzelnen Studien
- **Darstellen der Ergebnisse**

Parallel dazu weist die Forschung zum Evakuierungsverhalten eine erhebliche methodische Heterogenität auf. Die Studien unterscheiden sich hinsichtlich der Studiendesigns, Messinstrumenten und Stichproben, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Der methodological review nach Hsia ergänzt den theoretischen Ansatz um die Analyse der methodischen Vielfalt, um ein vollständiges Bild des aktuellen Forschungsstandens zu erzeugen. Bewertet werden hierzu nach [56]:

- **Identifikation der Methodik** der ausgewählten Studien
- **Prüfung der Operationalisierung** und der verwendeten Messinstrumente
- **Bewertung der Validität und Reliabilität** sowie der Stichprobengröße und Kontrollmechanismen.

Diese Vorgehensweise dient dazu, methodische Schwächen aufzudecken und die Übertragbarkeit der Befunde auf reale Brandszenarien zu beurteilen. Die Kombination beider Ansätze erlaubt eine umfassende Darstellung der Literatur, bei der psychologische Einflussfaktoren nicht nur inhaltlich identifiziert, sondern auch im Hinblick auf ihre methodische Herleitung bewertet werden.

3.1 Datenquelle und Suchstrategie

Für die Recherche wurde die Datenbank Scopus, herausgegeben von Elsevier, als primäre Datenquelle genutzt. Diese zählt zu den größten und renommiertesten Zitationsdatenbanken [57]. Sie bietet eine große Abdeckung von peer-reviewten Fachzeitschriften aus den für das Forschungsthema relevanten Disziplinen wie Psychologie, Ingenieurwissenschaften sowie Social- und Life sciences [58]. Darüber hinaus ermöglicht Scopus eine transparente und reproduzierbare Suchstrategie über die erweiterte Such- und Filterfunktion. Die Suchstrategie orientiert sich an der Forschungsfrage und kombiniert die daraus entstandenen Keywords mit booleschen Operatoren, um die Präzision zu erhöhen und irrelevante Treffer zu minimieren.

Aus Der Forschungsfrage wurden die Hauptschlagwörter Evakuierung, Flucht, Brand/ Feuer und Psychologie isoliert. Die Formulierung der Keywords erfolgt auf Englisch, um geeignete Suchstrings zu entwickeln:

- evacuation, escape
- fire
- psychology

Für die Suche in einem breiteren Feld wurden für den Suchstring auch folgende Synonyme und zu den Keywords passende Begriffe genutzt:

- escape behavior, egress behavior
- fires, building fire, fire emergency, smoke
- behavior, human behavior, stress, panic, risk perception decision, social identity group

Zur Eingrenzung der Ergebnisse wurden folgende formale Filter angewendet:

- Zeitraum der letzten 10 Jahre (2015-2025)
- Sprachen: Englisch und Deutsch

Diese Filter haben keinen Einfluss auf den Inhalt der Studien und wurden deshalb bereits in die Suchstrategie eingebunden, um nach der ersten Datenbanksuche mit dem Screening der Ergebnisse fortfahren zu können.

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Ein- und Ausschlusskriterien sollen sicherstellen, dass eine systematische Auswahl der Studien, die für die in der Arbeit gestellte Forschungsfrage relevant sind, gewährleistet wird. In die Literaturanalyse wurden deshalb alle Studien aufgenommen, die die Einschlusskriterien der Tabelle 1 erfüllen:

Tabelle 1: Einschlusskriterien der untersuchten Studien

Kategorie	Beschreibung
Szenario	Untersuchungen mit dem Hauptszenario <i>Gebäudebrand</i> , sofern der Fokus auf der Evakuierung im Brandfall liegt. Dazu zählen: • Wohn- und Bürogebäude • Industriegebäude • Öffentliche Gebäude (z. B. Bibliotheken, U-Bahn-Stationen, Flughafengebäude)
Fokus	Untersuchungen mit klarem Schwerpunkt auf psychologischer Forschung, einschließlich psychologischer, kognitiver, emotionaler und/oder sozialer Betrachtungen. Dazu zählen: • Wahrnehmung von Gefahr • Entscheidungsfindung und Stressreaktionen • Soziale Einflüsse (z. B. Gruppendynamiken, individuelle Kriterien)
Population	Untersuchungen der Population <i>Mensch</i> .
Untersuchungsart	• Analysen realer Ereignisse • Theoretische Arbeiten (z. B. Literaturanalysen) • Experimentelle Studien (Laborstudien, Feldstudien, Virtual-Reality-Experimente)

Auf den Einschlusskriterien aufbauend wurden nachfolgend in Tabelle 2 Ausschlusskriterien definiert, anhand derer nicht geeignete Untersuchungen identifiziert und ausgeschlossen werden können. Ausschlusskriterien bezüglich der Methodik der Untersuchung werden bewusst nicht festgelegt, um im Verlauf der Arbeit neben den Theorien auch die Methodiken untersuchen und vergleichen zu können.

Tabelle 2: Ausschlusskriterien der untersuchten Studien

Kategorie	Beschreibung
Szenario	Untersuchungen mit anderen Primärszenarien; dazu zählen: • Naturgefahren wie Erdbeben, Überschwemmungen und/oder Stürme • Amoklagen • Vegetations- und/oder Buschfeuer • Tunnelbrände • Zug-, Schiffs- und/oder Flugzeugbrände
Fokus	Untersuchungen mit ausschließlich technischem, baulichem oder brandschutztechnischem Fokus.
Population	Untersuchungen, welche sich ausschließlich auf tierische Populationen beziehen.
Publikationsart	Nicht peer-reviewte Literatur, ohne wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn.

3.3 Datenaufbereitung und -analyse

Die Datenaufbereitung der zunächst 419 erzeugten Ergebnisse erfolgte im ersten Schritt in der Datenbank Scopus mithilfe der dort zur Verfügung stehenden Filterung sowie der Limitation aller durch den Suchstring erzeugten Keywords, mithilfe von Exclude. Angewandte Filter waren Sprache (Englisch und Deutsch) und OpenAccess. Anschließend wurden alle exakten Keywords in der Datenbanksuche ausgeschlossen, welche in die Ausschlusskriterien fielen. Dazu gehören szenariofremde Keywords und Keywords zur Population "Tiere". Der genaue Verlauf kann als Rechercheprotokoll dem Anhang A entnommen werden. Nach der Aufbereitung der Daten erfolgte eine systematische Analyse mit dem PRISMA-Ausschlussverfahren, wie in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt.

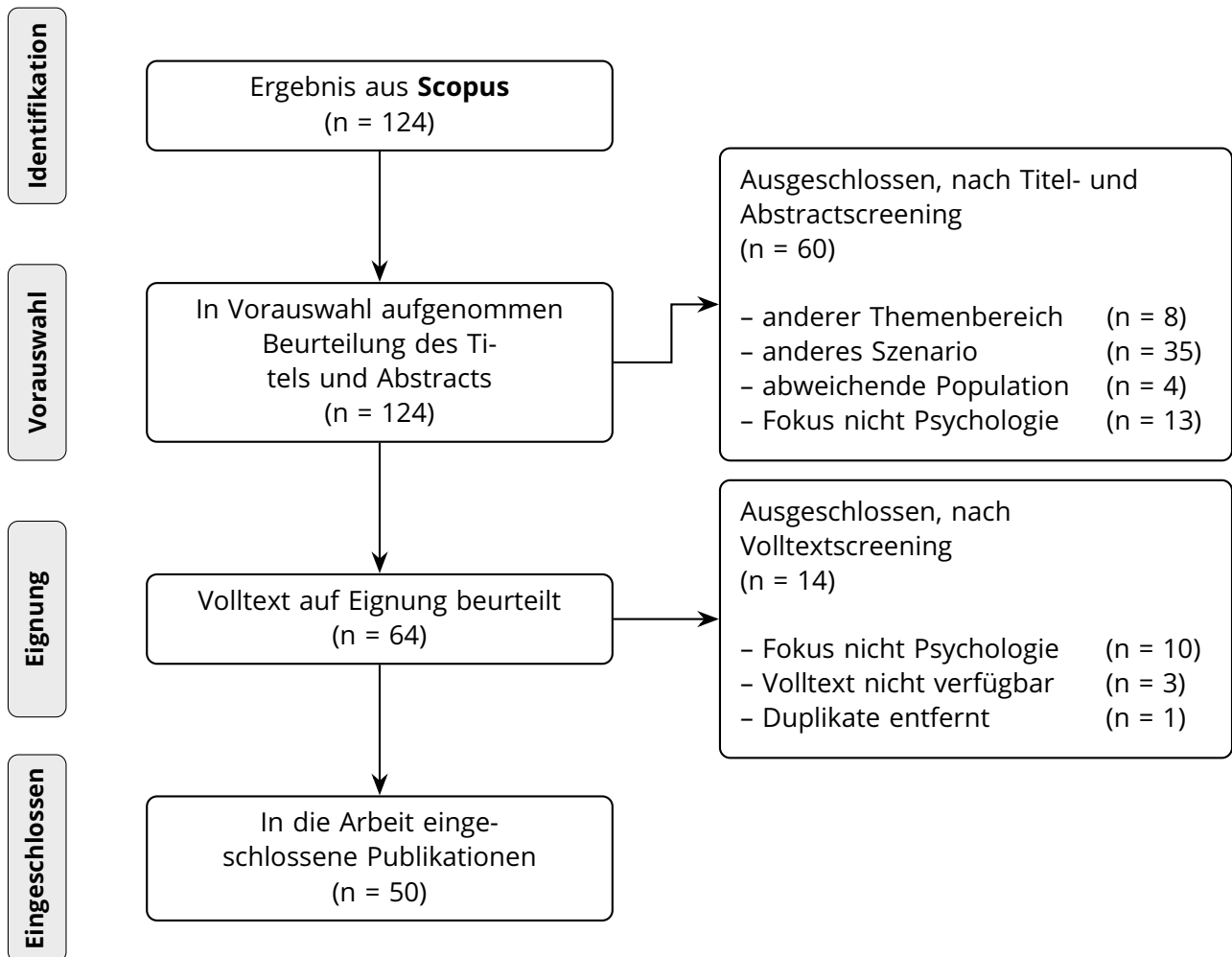


Abb. 2: PRISMA Flussdiagramm zur Auswahl der Literatur (Eigene Darstellung nach [59])

4 Ergebnisse der Literaturanalyse

Die Ergebnisse der im Rahmen der Methodik durchgeführten Literaturrecherche werden im folgenden Kapitel vorgestellt. Die Darstellung erfolgt gemäß der gewählten Methodenkombination aus dem theoretical review und dem methodological review nach Cooper/Hsia. Um ein Abbild der theoretischen Ergebnisse zu erstellen, erfolgt zunächst die Zusammenfassung der inhaltlichen Erkenntnisse zu den psychologischen Einflussfaktoren auf das Evakuierungs- und Fluchtverhalten im Brandfall. Anschließend folgt die Methodenanalyse der eingeschlossenen Studien in Abschnitt 5.3. Eine integrative Synthese, die auf den Inhalten der vorangegangenen Kapitel beruht, schließt den Ergebnisteil ab, um darauf aufbauend in die Diskussion überzuleiten. Die insgesamt 50 eingeschlossenen Untersuchungen lassen sich einordnen in theoretische Beiträge, empirische Studien zu grundlegenden Aspekten der menschlichen Verhaltens- und Entscheidungsprozesse sowie modellierungsorientierte Arbeiten. Im Anhang X ist eine Übersichtstabelle der eingeschlossenen Studien zu finden.

4.1 Psychologische Einflussfaktoren

Das Ziel der folgenden Betrachtung ist die Zusammenfassung der wesentlichen psychologischen Faktoren, welche das Verhalten während der Evakuierung oder Flucht im Brandfall nach aktueller Forschung prägen.

4.1.1 Informationsverarbeitung von Gefahrensignalen

Die Verarbeitung von Gefahrensignalen im Brandfall ist für das Lagebewusstsein von essentieller Relevanz. Um das Lagebewusstsein zu erlangen findet ein mehrstufiger kognitiver Prozess statt, der aus dem Wahrnehmen, das Verstehen und die Antizipation der Situation geprägt ist. Bestimmt wird dieser Prozess von Informationen, die sowohl von Geräten (Feuermelder, elektrische Ansagen über Lautsprecher oder Tv) als auch von Personen kommen können [60]. Das Vorhandensein von Notausgangbeleuchtung beeinflusst die Wahl des Ausgangs positiv Rauch hingegen wirkt sich negativ aus, da dieser die betroffene Person gefährden könnte [61]. Informationsüberfluss kann die Entscheidungsfindung negativ beeinflussen [62] und ebenfalls dazu führen, dass Handlungsanweisungen aufgrund des Overloads nicht mehr befolgt werden [63]. Wenn die Informationsverarbeitung unterschiedliche oder widersprüchliche Hinweise ergibt, entsteht Unsicherheit bezüglich der nächsten Handlungsschritte. Wie eine Hochhaussimulation zeigte, sank die Bereitschaft, der Anweisung, in den Räumlichkeiten zu verbleiben, zu folgen, sobald visuelle oder informelle Informationen wie Rauchbilder oder Social-Media-Posts verfügbar waren. Wahrgenommene Widersprüche zwischen offiziellen Durchsagen und visuellen Hinweisen reduzierten das Vertrauen und führten zu aktiveren Fluchtentscheidungen [64].

Ein einfacher Alarm reicht Erfahrungen nach nicht, um eine Evakuierung auszulösen, weshalb die Verbreitung zusätzliche Informationen nützlich ist, um eine Evakuierung zu veranlassen [25]. Auch der Ansatz Echtzeitinformationen über mögliche und effektive Fluchtwege kann eine Evakuierung positiv beeinflussen, da Fluchtwege abgesehen vom Haupteingang unbekannt sind, wenn die Betroffenen ortsfremd sind [65].

Eine Untersuchung zeigt, dass das Verwenden multimodaler Alarmer die Wahrnehmung und Effektivität einer notwendigen Evakuierung positiv beeinflusst. Studien zeigen, dass Audio-

visuelle und olfaktorische Hinweise zusammen Unsicherheit reduzieren und damit die Entscheidungssicherheit erhöhen [66].

Auch das Erscheinungsbild von Signalen beeinflusst die Effizienz. Während Grün/Weiße Signale, ebenso wie höhere Helligkeit und schnelleres Flackern Entscheidungszeiten verkürzen, verlangsamen dunklere Signale die Evakuierungszeiten [67] [68]. Weiterhin zeigt sich, dass sich Menschen hauptsächlich auf den visuellen Rahmen in einer Höhe zwischen 100 und 150 cm konzentrieren. Eine Untersuchung dazu legt nahe die Höhe der Beschilderung auf diese Höhe anzupassen, um eine höhere Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung dieser zu erreichen [69]. Auch eine weitere Eye-Tracking-Analyse kann unabhängig davon belegen, dass die Höhe der angebrachten Signale einen Einfluss auf die Wahrnehmung dieser hat. [67]

4.1.2 Emotionen, Stress und Unsicherheit

Emotionen wie Angst sind im Brandfall eine natürliche Reaktion, die das Verhalten maßgeblich beeinflusst. Einerseits kann Angst die Aufmerksamkeit für Gefahrensignale erhöhen, andererseits kann sie die kognitive Leistungsfähigkeit einschränken. „Intense levels of fear can also limit people’s cognitive performance.“ [60] Unter potenzieller emotionaler Belastung aufgrund visueller oder akustischer Signale (ankommende Feuerwehr, Rauch- und Brandzeichen) werden Informationen weniger sorgfältig verarbeitet. Das mindert die Qualität von Entscheidungen. Um das zu verhindern, sollten Warnmeldungen und Handlungsanweisungen klar, einfach und wiederholt kommuniziert werden. „Well-designed messages should use simple language, identify that the message is from an authorized person, explain the rationale for the recommended action, and be repeated ... [and] the intelligibility of messages should be assessed.“ [60]

Stress entsteht im Brandfall durch Zeitdruck, Informationsüberlastung auf mehreren Ebenen und eingeschränkte Sicht. Die Untersuchung zeigt, dass unter solchen Bedingungen physiologische Stressreaktionen deutlich ansteigen. In einem Serious-Game-Experiment wurde Stress bei den Teilnehmern erfolgreich induziert. Dokumentierte Selbstberichte (STAI-S: State-Trait Anxiety Inventory) und physiologische Messungen (GSR: galvanic skin response und HR: heart rate) zeigen: „The game has managed to increase stress levels in the participants.“ [62] Auch Virtual-Reality-Studien belegen, dass starke negative Emotionen die Wirkung von Stress verstärken und Umweltfaktoren wie Rauch, Distanz und soziale Aspekte stärker gewichtet werden, da die Risikowahrnehmung mit erhöhtem Stresslevel steigt [70]. Während Umweltfaktoren unter Stress einen höheren Einfluss bekommen, zeigen weitere Experimente, dass Evakuierungssignale nur noch stark eingeschränkt wahrgenommen werden. Das Ergebnis einer entsprechenden Untersuchung zeigt: „only 6.4% of the participants saw at least one evacuation signal [...]“ [71].

Auch das Bewegungsverhalten wird durch Emotionen beeinflusst. In einem mit Rauch gefüllten Modelltunnel während einer experimentellen Studie werden langsames Gehen, Pausen und gebeugte Haltung wiederholt beobachtet. Negative Emotionen wie Angst und Stress verstärken diese Effekte, welche als Freezing-Reaktion aus Angst oder als Orientierungsmaßnahme gewertet werden können. Das beobachtete Verhalten kann sowohl bei jungen Erwachsenen als auch bei vulnerablen Gruppen auftreten, was differenzierte Unterstützungsstrategien erfordert [72].

4.1.3 Führung, Kommunikation und Vertrauen

Führung, Kommunikation und Vertrauen sind zentrale Faktoren für das Verhalten von Menschen in Evakuierungssituationen. Die aktuelle Literatur zeigt, dass klare, autorisierte und begründete Kommunikation die Handlungsbereitschaft maßgeblich beeinflusst. Um eine gut gestaltete Warnmeldung herauszugeben, ist es maßgeblich die Verständlichkeit der Botschaften zu prüfen, um Missverständnisse zu vermeiden [60].

Führungsrollen können schon vor der Evakuierung bestehen, etwa in Gebäuden mit klaren Hierarchien, oder spontan entstehen, wenn Personen Verantwortung übernehmen und andere aktiv unterstützen. In virtuellen Experimenten beeinflussten die Anweisungen von Fire Wardens die Exit-Wahl signifikant. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass dieser Effekt bei wahrgenommener hoher Autorität besonders stark ist. Um eine autorisierte Anweisung zu kompensieren, bedarf es einer sehr großen Zahl von sichtbar entgegen der Anweisung handelnden Personen [73].

Die Wirksamkeit der Kommunikation hängt stark von der wahrgenommenen Autorität und Glaubwürdigkeit der Quelle ab. Instruktionen von Einsatzkräften wie der Feuerwehr werden deutlich häufiger befolgt als Hinweise von weniger autoritären Stellen. Widersprüchliche Informationen können das Vertrauen in die Anweisung senken und die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Betroffene eigenständig handeln [64]. Die Qualität der Information ist dabei entscheidend, da zu viele oder inkonsistente Zusatzinformationen die Orientierung erschweren, Flexibilität in der Entscheidung erzeugen und die Evakuierungszeit damit verlängern können [63, 66].

Vertrauen entsteht nicht nur durch Autorität, sondern auch durch soziale Netzwerke. Bewohner von Hochhäusern prüfen die Lage häufig über Nachbarn oder soziale Medien und vertrauen eher internen Quellen als offiziellen Stellen. Die Feuerwehr wird jedoch als besonders glaubwürdig wahrgenommen. Im Grenfell-Tower-Fall hing die Befolgung von Anweisungen wesentlich von der wahrgenommenen Kompetenz und Autorität der Einsatzkräfte sowie von klarer, begründeter Kommunikation ab [74] [75].

Organisierte Gebäudeteams wie sogenannte Floor Wardens oder Assistenzposten erhöhen die Befolgung der Evakuierungsmaßnahmen und unterstützen vulnerable Personen [60]. Studien zeigen zudem, dass soziale Signale selbstlose Handlungen auslösen. So folgen Teilnehmende eher dem Ausgang, den eine Person mit Mobilitätseinschränkung wählt, als dem von anderen Evakuierenden [76].

4.1.4 Soziale Identität und Gruppenprozesse

Neben formeller Führung spielt sozialer Einfluss eine große Rolle. „Individuals are less likely to react if others were not reacting but likely to begin evacuation if they see others evacuating.“ [25]. Das Verhalten anderer Personen dient als Orientierung. Wenn aktive Personen vorangehen und sofort evakuieren, erhöhen diese die Wahrscheinlichkeit, dass andere ihnen folgen, während passives Verhalten die Gruppenreaktion verzögert. Gruppen zeigen zudem einen höheren Zusammenhalt und treffen gemeinsame Entscheidungen, was die Evakuierung ebenfalls beschleunigen kann [25, 73]. Auch reale und virtuelle Bystander-Experimente bestätigen, dass aktives Verhalten anderer die Evakuationsentscheidung fördert, während passive Haltung sie hemmt [77]. Die Nähe und Anzahl der betroffenen Personen an einem Ausgang kann die Bewertung physischer Faktoren wie die Distanz zu einem Ausgang überlagern und die Wahl des Fluchtwegs beeinflussen [61][3].

Die Analyse der eingeschlossenen Studien zeigt, dass soziale Identität und Gruppenprozesse einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten von Menschen in Evakuierungssituationen haben. Soziale Einflüsse wie Herding, Leader-Follower-Dynamiken prägen die Entscheidungen in hohem Maße. Auch normative und informative soziale Einflüsse haben einen Effekt auf die Evakuierung, indem sich Personen bei anderen informieren, um die Situation zu beurteilen und sich anzupassen, um eine negative Bewertung des Handelns zu vermeiden. Das Verhalten, sich bei Unsicherheit der eigenen Entscheidungen an der Mehrheit zu orientieren, wird durch Mechanismen wie Social Proof verstärkt. Dabei wird das Verhalten anderer als richtig interpretiert. Während die Orientierung an der Gruppe in vielen Fällen die Evakuierung beschleunigt, birgt sie auch das Risiko von Staus durch die Wahl überfüllter Ausgänge, was zu ineffizienter Nutzung von Fluchtwegen und Verzögerungen führt [61, 78]. Gezieltes Training kann die Anfälligkeit für Herding deutlich reduzieren. In experimentellen Studien sank die Quote des „Following“ nach gezieltem Training von über 50 % auf rund 22 %, was die Wirksamkeit vorbereitender Maßnahmen unterstreicht [79].

Gruppenkohäsion spielt eine zentrale Rolle für die Dynamik der Evakuierung. Größere Gruppen reagieren oft schneller als Einzelpersonen. Die Zusammenarbeit und Kommunikation innerhalb der Gruppe beschleunigen den Beginn der Bewegung und reduzieren die Varianz im Verhalten. Allerdings kann die Geschwindigkeit der gesamten Gruppe sich auch verringern, wenn sie sich am langsamsten Mitglied orientiert, was in dicht besetzten Gebäuden zu Engpässen führen kann [25].

Auch Geschlechtsunterschiede beeinflussen das Verhalten. Während Frauen stärker dazu neigen, der Menge zu folgen, treffen Männer häufiger unabhängige Entscheidungen und sind eher bereit, eine weniger frequentierte Route zu wählen, um überfüllte Ausgänge zu meiden. Aufgrund der Tendenz, eher unabhängige strategische Entscheidungen zu treffen, haben Männer im Durchschnitt auch eine höhere Evakuierungsgeschwindigkeit. Die Zusammensetzung der Gruppe und auch die dabei wahrgenommene Rollenverteilung wirken sich somit direkt auf die Evakuierungsstrategie aus. Frauen suchen soziale Sicherheit und nehmen dabei eine kooperierende Rolle ein, während Männer als führend wahrgenommen werden [80, 81].

Agentenbasierte Modelle greifen diese Erkenntnisse auf, indem sie soziale Rollen, Hilfsbereitschaft und Gruppenkohäsion explizit abbilden. So können Szenarien simuliert werden, in denen Helfende aktiv nach verletzten Personen suchen und diese unterstützen, bevor sie selbst das Gebäude verlassen [82]. Übersichtsarbeiten betonen, dass die Integration solcher sozialen Prozesse für die realistische Abbildung von Evakuierungsdynamiken unverzichtbar ist [83].

4.1.5 Umweltfaktoren

Umweltfaktoren beeinflussen das psychologische Erleben in Evakuierungssituationen. Sie wirken sowohl auf die Wahrnehmung als auch auf die Entscheidungsfindung und die Bewegungsausführung. Zentrale Elemente sind Sichtbedingungen, Warnsignale Gebäudelayout, Notbeleuchtung sowie die Qualität.

Sichtbedingungen wie Rauch und eingeschränkte Sicht durch bauliche Faktoren gelten als besonders kritisch. Studien zeigen, dass Rauch die Wahlwahrscheinlichkeit eines Ausgangs deutlich reduziert und die Aufmerksamkeit auf stärker wahrnehmbare oder vermeintlich erreichbare Optionen verschiebt. Gleichzeitig können Notbeleuchtung und klare Beschilderung die kognitive Belastung senken und die Orientierung erleichtern. Es erweist sich, dass

Notbeleuchtung und höherer Personenfluss als positive Einflussgrößen einwirken, während Distanz und Rauch negative Folgen für die Evakuierungsentscheidungen hat [61].

Visuelle Leitsysteme in Kombination mit einfachen Formulierungen der Anweisungen fördern die Bereitschaft zu evakuieren, während überladene Informationsangebote kontraproduktiv sind [66]. Je höher die Helligkeit und die Blinkfrequenz von Leitsignalen ist, desto kürzer wird die Wahrnehmungszeit und damit die Zeit der Evakuierung. Auch die Verwendung von Grün als Signalfarbe kann die Aufmerksamkeit steigern. [68].

Die Gegebenheiten des Gebäudes und die Auslastung von Fluchtwegen beeinflussen ebenfalls die Wahl des Ausgangs. Engpässe können „fast-is-slow“-Effekte erzeugen. Eine höhere individuelle Geschwindigkeit führt zu geringerer Gesamteffizienz, wenn sich Staus durch Gruppenverhalten bilden. Study on Evacuation Behavior of Urban Underground Complex in Fire Emergency Based on System Dynamics.

Wie groß der Einfluss von Umweltfaktoren ist zeigt sich in realen Übungen. Alarm-Habituatation stellt ein Problem dar, bei dem viele Personen die Reaktion teils mehrere Minuten verzögern und auf zusätzliche Hinweise warten. Variabilität und Spontanität von Evakuierungsübungen kann Verzögerungen stark reduzieren, da sie realistischere Gegebenheiten schaffen [84, 85].

4.1.6 Vulnerable Gruppen

Als vulnerable Gruppen gelten Personenkreise, deren Wahrnehmungs-, Entscheidungs- oder Bewegungsfähigkeit im Brandfall gegenüber der Durchschnittsbevölkerung eingeschränkt ist. Dazu gehören ältere Menschen, Kinder und Jugendliche, Personen mit kognitiven oder physischen Beeinträchtigungen sowie durch andere Faktoren beeinträchtigte Personen (z.B. durch Schlaf, Intoxikation oder Medikation). Ihre Besonderheiten wirken sich über alle Phasen der Evakuierung aus und verlangen maßgeschneiderte Maßnahmen jenseits pauschaler ASET/RSET-Betrachtungen [60].

Ein signifikanter Unterschied zu nicht beeinträchtigten Personen macht sich in der Wahrnehmung und Verarbeitung von Alarmsignalen bemerkbar. Akustische Signale werden überhört oder erst deutlich verzögert wahrgenommen, visuelle Hinweise werden tendenziell schlechter erkannt und auch die daraus resultierende Entscheidungsbildung dauert zum Teil länger. In Pflegeheimen wurde eine deutlich verzögerte Antwortphase bei Hörbeeinträchtigten nachgewiesen, visuelle Beeinträchtigungen führten hier zu Orientierungsproblemen und teils zum Verbleiben in der Räumlichkeit. Die Reaktionszeiten reichten zum Teil bis zu >75 s [86]. Leitsysteme sollten die Affordanz für eingeschränkte Nutzer erhöhen. Informationsstreifen an Handläufen können nicht nur die Orientierung verbessern, sondern auch die Mobilität während der Evakuierung unterstützen. Anweisungen mit einer Kombination aus visuellen, auditiven und taktilen Informationen, hilft bei der Wahrnehmung des Signals [68, 87]. Betroffene mit physischen Einschränkungen erwarten in Hochhäusern entweder Nachbarschaftshilfe durch Tür-Klopfen, Informieren und Begleiten oder gar keine Hilfe. Das ist in der Untersuchung abhängig vom vorherrschenden sozialen Gefüge. Rollstuhlnutzende vertrauen eher auf eine persönliche Benachrichtigung von vertrauten Personen als auf rein technische Warnsignale [74].

Zu den temporär vulnerablen zählen Schlafende, Intoxikierte oder medikamentös beeinflusste. Auch von ihnen werden Gefahren langsamer bewertet. Auffällig ist, dass diese Personengruppe selten direkt aufwacht und erst spät in ein zielgerichtetes Handeln wechselt. Klar gestaltete Durchsagen mit einfacher Anweisung und wiederholter Begründung der empfoh-

lenen Handlung erhöhen die Verständlichkeit und die Befolgung [60].

Kinder, welche über ein geringes Gefahrenwissen verfügen, erkennen Rauch bzw. Feuer nicht zuverlässig als Gefahr. Ihr Verhalten wechselt zwischen angemessenen Handlungen, wie das Alarmieren anderer, und riskanten Entscheidungen, wie das Verbleiben am Brandort betreten oder die Rückkehr nach Evakuation. Die evidenzbasierte Literatur ist hier dünn und weist deutliche Lücken auf, was die Planung und Erstellung kindgerechter Instruktionen erschwert. [88]

4.2 Methodische Analyse

Nachfolgende Analyse dient der Zusammenfassung der verwendeten Methoden aus den eingeschlossenen Publikationen.

4.2.1 Studiendesigns

In der Analyse der 50 Quellen zeigt sich ein breites methodisches Spektrum, das sich in quantitative, qualitative und hybride Ansätze untergliedern lässt. Dabei dominieren die quantitativen Forschungen zur Hypothesenprüfung und Generalisierung, während qualitative Vertiefungen und Mixed-Methods-Ansätze die Theorien belegen.

Bei den quantitativen Arbeiten stellen die Modellierungs- und Simulationsstudien die größte Gruppe dar. Hierzu zählen insbesondere agentenbasierte Modelle, die individuelle Entscheidungsprozesse, zum Beispiel basierend auf Bayescher Spieltheorie, und deren kollektive Dynamik simulieren, sowie hybride Wahlmodelle [82, 89].

Experimentelle Studien, insbesondere mit immersiver Virtual Reality nutzen Head-Mounted Displays, um realitätsnahe, aber kontrollierbare und ethisch vertretbare Evakuierungsszenarien mit Variablen wie Rauch oder sozialen Hinweisen zu schaffen. Validierungsstudien zeigen, dass VR grundlegende Verhaltensmuster wie die Wahl des Ausganges und die Reaktionszeit zuverlässig abbilden können. Allerdings treten soziale Effekte insbesondere in weniger immersiven Setups abgeschwächt auftreten. Vergleiche zwischen immersiver VR, nicht immersiver VR (Desktop) und CAVE-Umgebungen untersuchen dabei das Kosten-Nutzen-Verhältnis und die ökologische Validität verschiedener Setups [70, 90].

Befragungsstudien, zum Beispiel Stated-Preference-Ansätze oder Online-Befragungen dienen primär der Erhebung von Präferenzen, Risikowahrnehmungen und Entscheidungsstrategien, hauptsächlich in hypothetischen Szenarien [61, 91].

Feldstudien und Beobachtungen realer Evakuierungen oder Evakuierungsübungen, häufig unter der Nutzung von Kameraüberwachung liefern Daten zu tatsächlichen Verhaltensabläufen wie Reaktionszeiten und Gruppenprozessen um die experimentell gewonnenen Daten zu validieren [85, 92].

Qualitative und hybride Forschungen ergänzen das quantitative Spektrum, indem sie tieferliegende Prozesse und Kontextfaktoren erschließen. Im Kontext der Forschungsfrage beleuchten sie insbesondere Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse sowie soziale Dynamiken im Evakuierungskontext [74, 93].

4.2.2 Messinstrumente und Auswertungsverfahren

Den verschiedenen Methoden folgend, sind auch die Messmethoden sehr unterschiedlich. Zur Erfassung individueller Belastungs- und Entscheidungsprozesse wurden in mehreren Arbeiten psychometrische Verfahren wie die State-Trait Anxiety Inventory (STAI) sowie Affekt-Skalen (PANAS) verwendet, häufig kombiniert mit Virtual-Reality-Szenarien oder Serious Games, um realitätsnahe Stressoren zu simulieren [62, 94, 95]. Diese Selbstberichte wurden in einigen Studien durch physiologische Messungen ergänzt, insbesondere Hautleitfähigkeit und Herzfrequenz, die als objektive Indikatoren für Stressreaktionen dienen und während der Exposition kontinuierlich erhoben wurden [62, 70, 72]. Die Kombination aus subjektiven und physiologischen Daten erlaubt eine differenzierte Analyse der zeitlichen Dynamik von Stress und Entscheidungsverhalten.

Neben experimentellen Ansätzen dominieren modellbasierte Verfahren zur Analyse von Exit- und Routenwahl. Hierbei kommen diskrete Wahlmodelle wie Mixed-Logit und Binary-Logit zum Einsatz, die auf der Random-Utility-Theorie basieren und häufig mit Stated-Preference-Daten aus VR Experimenten kalibriert wurden [61, 73, 78]. Diese Modelle berücksichtigen sowohl physische Faktoren wie Rauch, Notbeleuchtung und Distanz als auch soziale Einflüsse wie die Anwesenheit anderer Personen oder autorisierte Anweisungen [61, 64, 78]. Erweiterte Hybrid-Choice-Modelle integrieren zusätzlich latente psychologische Variablen wie Konformität, Altruismus und Risikowahrnehmung, was die Qualität der Vorhersagen deutlich verbessert [89]. Für die Prä-Evakuationsphase wurden maschinelle Lernverfahren wie Random Forest eingesetzt, die nichtlineare Effekte abbilden und in der Vorhersageleistung klassischen Logit-Modellen überlegen sind [96].

Zur Simulation komplexer Entscheidungsprozesse und sozialer Interaktionen werden agentenbasierte Modelle verwendet, die auf der Belief-Desire-Intention-Architektur (BDI) basieren. Diese Modelle bilden individuelle Ziele, Pläne und Interaktionen ab und werden zunehmend um emotionale Komponenten (EBDI) sowie Persönlichkeitsprofile erweitert, um realistischere Verhaltensmuster zu simulieren [82, 97, 98]. Vergleiche mit realen Ereignissen wie dem Station-Nightclub-Brand zeigen, dass soziale Beziehungen und Angst die Exit-Wahl und Opferzahlen maßgeblich beeinflussen [98]. Ergänzend dazu werden systemdynamische Modelle eingesetzt, die makroskopische Effekte wie Panik, Ordnung und die Wirksamkeit von Evakuierungsleitern oder Durchsagen abbilden und eine gute Übereinstimmung mit etablierten Simulationswerkzeugen wie Pathfinder oder FDS+Evac zeigen [99]. Übersichtsarbeiten betonen die Notwendigkeit einer stärkeren empirischen Validierung und die Kopplung solcher Modelle mit BIM- und Brandsimulationsdaten [100].

Virtuelle und augmentierte Realität spielen eine zentrale Rolle sowohl als Mess- als auch als Trainingsinstrument. Immersive VR-Umgebungen ermöglichen die kontrollierte Manipulation von Gefahreninformationen wie Rauch, Geräuschen und sozialen Einflüssen und werden genutzt, um Verhaltens-, Blick- und Zeitdaten sowie physiologische Parameter zu erfassen [70, 94, 95]. Studien zeigen, dass höhere Immersion die Wirkung dieser Faktoren verstärkt und Entscheidungen messbar beeinflusst [70]. Ergänzend wurden multimodale Alarmsysteme des Menschen, wie Audio, visuelle Hinweise, olfaktorische Reize getestet, die die Entscheidungssicherheit erhöhen und die Reaktionszeit verkürzen [63, 66, 68]. Eye-Tracking-Analysen identifizieren zudem relevante Blickzonen für die Gestaltung von Beschilderungen [69].

Die Auswahlverfahren für Stichproben reichen von Online-Panels und Convenience-Samples über kontrollierte Labor- und VR-Studien bis hin zu natürlichen Evakuierungsdrills mit CCTV-Auswertung [25, 73, 84, 85, 92]. Stated-Preference-Designs (Efficient oder Orthogonal) si-

chern die statistische Identifizierbarkeit der Parameter [61, 73, 78], während Feldstudien die externe Validität erhöhen und kontextabhängige Effekte wie Familiarität oder soziale Bindungen sichtbar machen [84]. Methodische Übersichten empfehlen, vulnerable Gruppen wie ältere Menschen oder Personen mit Mobilitäts- und Sinnesbeeinträchtigungen gezielt zu berücksichtigen und die Grenzen der Übertragbarkeit transparent darzustellen [65, 83, 94, 100]. Studien zu vulnerablen Populationen kombinieren häufig Befragungen zur Erfassung von Wahrnehmungs- und Entscheidungsfähigkeiten mit agentenbasierten Simulationen, um die Wirkung assistiver Technologien zu prüfen [86]. Weitere Arbeiten beleuchten das Verhalten von Kindern und Jugendlichen in Wohnungsbränden sowie die brandschutzbezogenen Wissenslücken älterer Menschen [88, 93].

4.2.3 Stichproben

Die in die Analyse einbezogenen Studien weisen eine große Heterogenität hinsichtlich ihrer Stichproben auf. Die Zusammensetzung reicht von jungen Erwachsenen und Studierenden in Labor- und Virtual-Reality-Experimenten über Teilnehmende aus der Allgemeinbevölkerung bis hin zu spezifischen Expertengruppen wie Hotelpersonal oder Feuerwehrkräften. Besonders häufig werden Studierende rekrutiert, was zu einer Überrepräsentation junger, gesunder Personen führt. Vulnerable Gruppen wie ältere Menschen oder Personen mit Mobilitäts- und Sinneseinschränkungen sind dagegen in den meisten Untersuchungen unterrepräsentiert. [73, 86, 92].

Die dokumentierten Stichprobengrößen variieren erheblich: Sie reichen von Kleinststudien mit wenigen Teilnehmenden bis hin zu groß angelegten Online-Erhebungen mit über 1.500 Personen. [61, 62, 91, 101].

Einige Arbeiten berichten zudem über die Güte ihrer Modelle. Diskrete Wahlmodelle und Mixed-Logit-Ansätze in VR- und Umfragesettings erreichen Vorhersagegenauigkeiten von bis zu 77 Prozent und McFadden's adj. R^2 -Werte um 0,29 [7] A Virtual Reality Exit Choice Experiment to Assess the Impact of Social Influence and Fire Wardens in a Metro Station Evacuation. Felddaten aus Bibliotheksdrills und Fehlalarmen erzielen Modellgenauigkeiten von etwa 85 Prozent (Cross-Validation), wobei die Mehrheitsrichtung der Crowd den stärksten Einfluss ausübt [25] Exploring occupant exit choices during fire drills and false alarm evacuations in a library.

Für präevakuative Entscheidungen zeigen maschinelle Lernverfahren wie Random-Forest eine höhere Vorhersagekraft als klassische Logit-Modelle, mit Genauigkeiten von rund 88 Prozent gegenüber 83 Prozent [35] Modelling and interpreting pre-evacuation decision-making using machine learning.

4.2.4 Modellierungsansätze

Die Analyse der eingeschlossenen Studien zeigt eine Vielzahl von Modellierungsansätzen zur Simulation des Evakuierungsverhaltens im Brandfall. Diese Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich ihrer theoretischen Grundlagen, der Abbildung psychologischer Faktoren und der Kopplung mit physikalischen Modellen.

Ein relevanter Ansatz ist die Entwicklung von Entscheidungsmodellen, die operative Empfehlungen für die Bewegung von Personen geben. Diese Modelle erweitern klassische ASET/RSET-Simulationen um kognitive Aspekte und berücksichtigen die Informationslage während der

Evakuierung [60]

Darüber hinaus werden Serious-Games-Ansätze genutzt, um Entscheidungsverhalten unter Stress zu trainieren und zu analysieren. Diese Methoden kombinieren spielbasierte Mechaniken mit psychologischen Messungen und verdeutlichen den Einfluss von Zeitdruck und sensorischer Überlastung [62]. Statistische Modelle wie Mixed-Logit und Hybrid Choice Models dienen der Vorhersage von Exit- und Routenwahl. Sie integrieren physikalische Faktoren (z.B. Rauch, Notbeleuchtung) und soziale Einflüsse wie Herdenverhalten und normative Orientierung, wobei gezeigt wird, dass soziale Faktoren in bestimmten Situationen dominieren können [61].

Agentenbasierte Ansätze wie das Belief-Desire-Intention-Modell (BDI) bilden komplexe Entscheidungsprozesse ab, indem sie Überzeugungen, Ziele und Handlungspläne verknüpfen. Erweiterungen wie Emotion-based BDI (EBDI) integrieren emotionale Zustände und Persönlichkeitsmerkmale, um Verhaltensreaktionen unter Stress realitätsnäher zu simulieren [82, 97].

Makroskopische Modelle wie System Dynamics fokussieren auf Gruppenphänomene und Rückkopplungseffekte, etwa die „fast-is-slow“-Dynamik bei erhöhtem emotionalem Stresslevel. Ergänzend dazu werden kontextbasierte Empfehlungssysteme entwickelt, die mithilfe von Sensoren im Gebäude und dynamischen Graphen in Echtzeit optimale Fluchtrouten berechnen [65, 99].

Für die Visualisierung und Validierung von Evakuierungsszenarien gewinnen immersive Technologien an Bedeutung. Virtual-Reality-Experimente ermöglichen die Erfassung von Entscheidungsprozessen unter kontrollierten Bedingungen, während Augmented Reality (AR) in Kombination mit CFD-Simulationen (FDS) eine realitätsnahe Darstellung von Rauch- und Flammenausbreitung bietet [71, 102].

4.2.5 Grenzen und Unsicherheiten

Die analysierten Studien weisen eine Reihe methodischer Einschränkungen auf, die sich in mehreren Arbeiten wiederholen und die Interpretation sowie Übertragbarkeit der Ergebnisse beeinflussen. Besonders häufig genannt wird die begrenzte Stichprobengröße und Homogenität der Teilnehmergruppen. Zahlreiche Studien arbeiteten mit kleinen Samples, die überwiegend aus jungen, gesunden Erwachsenen bestanden. Vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, Kinder oder Personen mit Mobilitätseinschränkungen sind in diesen Untersuchungen kaum vertreten. Diese Einschränkung wird in mehreren Arbeiten hervorgehoben, darunter [61, 62, 71, 92].

Ein weiterer wiederkehrender Kritikpunkt betrifft die eingeschränkte ökologische Validität. Viele Experimente basieren auf virtuellen oder hypothetischen Szenarien, die die Komplexität realer Brandsituationen nur bedingt abbilden. Nicht immersive VR-Umgebungen und Online-Befragungen vernachlässigen Faktoren wie Rauchentwicklung, Hitze, Geräusche oder soziale Dynamiken. Dies kann zu verzerrten Verhaltensmustern führen. Diese Limitation wird in den Quellen [61, 70, 71] behandelt.

Darüber hinaus basieren viele Modellierungsansätze auf vereinfachten Annahmen. Mixed-Logit-Modelle und agentenbasierte Simulationen arbeiten häufig mit statischen Umgebungen oder binären Variablen (z. B. Rauch „ja/nein“). Dynamische Faktoren wie die zeitliche Entwicklung von Feuer und Rauch oder komplexe Interaktionen zwischen Personen werden oft nicht berücksichtigt. Diese methodische Grenze wird in den folgenden Quellen diskutiert:

[61, 82, 97].

Die Integration physiologischer und emotionaler Faktoren ist in vielen Studien unvollständig. Zwar werden Stress und Angst teilweise gemessen, jedoch selten in die Modellierung einbezogen. Dies betrifft insbesondere Studien, die Entscheidungsverhalten unter Stress untersuchen, ohne eine realitätsnahe Kopplung mit Brandbedingungen vorzunehmen. Diese Limitation wird von [62, 103] genannt. Mehrere Studien basieren zudem auf hypothetischen Szenarien oder retrospektiven Selbstauskünften, was anfällig für Verzerrungen durch soziale Erwünschtheit oder eingeschränkte Erinnerungsgenauigkeit ist. Diese Einschränkung wird insbesondere in Untersuchungen zu dem Verhalten während der Reaktionszeit und Entscheidungsmustern deutlich, wie in [91] und [10] Online experiments and regression analysis of evacuation decisions in response to fire alarms und [11] Information sharing and support among residents in response to fire incidents in high-rise residential buildings.

Schließlich berichten VR- und Simulationsstudien von technischen Limitationen wie Motion Sickness, eingeschränktem Sichtfeld oder fehlender Haptik. Diese Faktoren können das Verhalten der Teilnehmenden beeinflussen und die Validität der Ergebnisse mindern. Diese Einschränkung wird unter anderem in [71] und [63] genannt.

5 Diskussion

Die durchgeführte Literaturanalyse bringt die Erkenntnisse der letzten zehn Jahre in Bezug auf wesentliche Faktoren der Verhaltensweisen während des Evakuierungs- und Fluchtverhaltens im Brandfall hervor. Die dabei hervorstechenden Faktoren beschreiben den Einfluss von Warnsignalen, die Rolle von sozialen Dynamiken und Umweltfaktoren auf das menschliche Verhalten:

Die Informationsverarbeitung von Gefahrensignalen ist geprägt durch das Erscheinungsbild der Signale. Einen großen Einfluss haben hierbei Notbeleuchtungen, die Signalfarben Grün/Weiß, die Helligkeit sowie die Blinkfrequenz. Sie begünstigen eigenständige Fluchtentscheidung und führen zu einer verbesserten Wahl des Fluchtweges. Widersprüchliche Informationen führen zu einer kognitiven Überlastung und können die Evakuierungszeit verlängern. Emotionen, Stress und Unsicherheiten sind eine natürliche Reaktion während einer Evakuierung. Angst kann die Aufmerksamkeit für Gefahrensignale erhöhen, aber auch gleichzeitig die kognitive Leistungsfähigkeit einschränken. Die Rolle von Führung, Kommunikation und Vertrauen ist maßgeblich für einen erfolgreichen Evakuierungsprozess.

Autoritäten, wie Feuerwehr und Evakuierungshelfer, sowie Personen die aktiv Verantwortung übernehmen beeinflussen die Entscheidungen der Betroffenen. Für eine gute Kommunikation sind einfache aber klare und wiederholte Anweisungen von hoher Bedeutung, während zu viele Informationen das Vertrauen in die Anweisung reduzieren. Auch soziale Prozesse, geprägt von Gruppenprozessen, prägen das Verhalten bei einer Evakuierung. Hierbei kann ein aktives Handeln von Personen dazu führen, dass die Gruppe diesem folgt, während passives Verhalten hemmend für die Bewegung der Gruppe ist. Kommt es zu Herding besteht das Risiko, dass zu viele Menschen einen einzigen Fluchtweg wählen und damit die Evakuierung durch Stau am Ausgang verhindert wird. Dieses Verhalten kann durch Training vermindert werden. Letztlich haben auch Umweltfaktoren, wie Rauch, Distanz zum nächsten Ausgang und Gestaltung der Fluchtwege einen großen Einfluss auf die Ausgangswahl der betroffenen Personen. Ältere und sensorisch beeinträchtigte Personen erkennen Gefahrensignale erst deutlich später, als gleichaltrige ohne Einschränkungen. Bei Kindern sorgt

fehlerhaftes Gefahrenwissen zu wechselhaften Entscheidungen von angemessenen Handlungen, wie das Alarmieren anderer, bis zu riskanten Entscheidungen, wie das Verbleiben am Brandursprung.

5.1 Interpretation der Ergebnisse

Die gesammelten Ergebnisse passen sich in den theoretischen Rahmen ein. So kann durch die gesammelten Erkenntnisse der aktuellen Forschung bestätigt werden, dass das Evakuierungs- und Fluchtverhalten überwiegend von rationalen Entscheidungsprozessen, angepasst an die Umgebung, geprägt ist. Auch wenn eine Orientierung am Gruppenverhalten erfolgt ist dies laut den erfassten Ergebnissen keine unüberlegte, sondern eine bewusste Entscheidung auf Grundlage sozialer Einflüsse und situativer Gegebenheiten.

Ebenfalls konnten die im theoretischen Rahmen enthaltenen Annahmen zur Auswirkung von Stress und Unsicherheiten mit den Ergebnissen aus der aktuellen Forschung belegt werden. Die „Theory of Affiliation“, das Suchen nach Vertrautem, zeigt sich in mehreren Ergebnissen, beispielsweise die Wahl des bekannten (Haupt-)ausgangs anstelle von möglicherweise näheren unbekannten Notausgängen. Hierzu wurde jedoch in enthaltenen Untersuchungen auch festgestellt, dass männliche Personen dazu neigen strategischere Entscheidung zu treffen und auch selbstständig weniger frequentierte Fluchtwege nutzen. Diese Erkenntnis betrifft die persönlichen Eigenschaften. Bezüglich dieser konnten auch Ergebnisse für vulnerable Gruppen (Kinder, Jugendliche, Ältere und physisch beeinträchtigte Personen) herausgearbeitet werden, welche so im theoretischen Rahmen, möglicherweise aufgrund von früheren methodischen Grenzen, nicht enthalten waren. Hierbei konnte festgestellt werden, dass altersspezifische Einschränkungen eine Evakuierung erschweren, angefangen bei der Wahrnehmung des Alarms, welche durch mögliche kognitive, visuelle und/oder auditive Einschränkung erschwert wird. Ebenfalls erhöhen physische Umweltfaktoren wie Treppen die Vulnerabilität dieser Gruppen, da sie oft auch körperlich eingeschränkt und auf die Hilfsbereitschaft anderer Personen bei der Evakuierung angewiesen sind.

Die Ergebnisse zu sozialen Dynamiken können auch bestätigen was im theoretischen Rahmen beschrieben wurde. Gruppenverhalten kann sowohl hemmenden als auch beschleunigenden Einfluss auf die Evakuierungszeit haben, wobei die hemmende Wirkung durch passives Verhalten oder Herding ausgelöst wird. Hierbei brachten die Ergebnisse der betrachteten Literatur hervor, dass Herdingverhalten durch gezieltes Training reduziert werden kann.

Als neue Erkenntnis aus der Theorie konnte herausgearbeitet werden, dass durch eine Eye-Tracking-Analyse festgestellt wurde, dass sich das Hauptblickfeld während einer Evakuierung auf einer Höhe von 100-150 cm befindet, was große Relevanz für die Wahrnehmung von Leitsignalen zur Evakuierung hat und somit einen direkten Übergang zwischen Wahrnehmungspsychologie und der Planung von Leitsystemen herstellt.

Insgesamt verdeutlicht die Analyse, dass die methodische Vielfalt und die Zusammensetzung der Stichproben maßgeblich die Aussagekraft der Ergebnisse bestimmen. Zusammen mit der theoretischen Vielfalt wird durch die zusätzliche methodische Vielfalt die Komplexität des Forschungsfeldes aufgezeigt. Verzerrungen in der Stichprobenwahl sind für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Brandszenarien kritisch und erfordern eine transparente Diskussion sowie die Berücksichtigung in Simulationsmodellen

VR- und AR-Technologien fungieren dabei als Brücke zwischen kontrollierter Forschung und praxisnaher Anwendung und die Berücksichtigung vulnerabler Gruppen bleibt eine zentra-

le Herausforderung für die Generalisierbarkeit der Ergebnisse. Experimentelle Ansätze erfassen detailliert individuelle Stress- und Entscheidungsprozesse und liefern modellbasierte Verfahren, belastbare Vorhersagen für kollektives Verhalten und Planungsparameter. Für die Praxis bedeutet dies, dass Verzerrungen offengelegt und die Parametrisierung vulnerabler Gruppen in Simulationen berücksichtigt werden müssen, um realitätsnahe und belastbare Empfehlungen für Evakuierungsstrategien abzuleiten.

5.2 Methodische Grenzen

Die vorliegende Arbeit beruht auf einer Suchstrategie, welche nur eine einzige Datenbank als Datenquelle benutzt. Zwar ist Scopus eine interdisziplinäre Datenbank und bietet ein weites Feld an Literatur, allerdings könnten spezifischere Datenbanken wie Psych-Info noch genauere Betrachtungen psychologischer Faktoren beinhalten, welche durch die Wahl einer einzelnen Datenbank schon ausgeschlossen sind. Trotz der limitierten Datenquellen konnte eine hohe Zahl an eingeschlossenen Publikationen gefunden werden. Das unterstützt die Beantwortung der Forschungsfrage maßgeblich, da so viele Erkenntnisse über aktuelle Methodiken und Theorien gewonnen werden konnten.

In der Beschreibung der Methodik wurde geschildert, dass die methodischen Vorgehensweisen der eingeschlossenen Publikationen hinsichtlich Qualität bewertet werden. Das erfolgte nur vereinfacht, durch die Schilderung der Übertragbarkeit auf reale Ereignisse. Die hohe Zahl der Einschlüsse ergab ein sehr heterogenes Feld an Methodiken, wodurch die Vergleichbarkeit der Studien sank. Auch wenn diese Vielfalt für die Analyse der Methoden von Vorteil war, schränkt sie die Durchführung der Methodik doch ein.

5.3 Schlussfolgerung für Forschung und Praxis

Diese Literaturanalyse bietet einige Möglichkeiten für die weitere Forschung. Aufgrund der Vielfalt der betrachteten Literatur zum aktuellen Forschungsstand und deren aufgezeigten Grenzen inhaltlichen und methodischen Grenzen, kann genau da mit der weiteren Forschung angesetzt werden.

Forschungen zur Betrachtung von Leitsignalen, in der angebrachten Höhe von 100-150 cm, können Aufschluss darüber geben, ob die Betrachtung, welche diese Erkenntnis hervorgebracht hat, tatsächlich einen Mehrwert für die Praxis hat. Dies würde sich bestätigen, wenn neue Untersuchungen mit Signalen dazu führen, dass die Signale besser wahrgenommen werden und zu schnelleren beziehungsweise effizienteren Evakuierungen führen.

Die Analyse der vorliegenden Untersuchungen liefert zudem den Hinweis darauf, dass das Verhalten von vulnerablen Gruppen bisher wenig erforscht ist. Hier könnten Forschungen in denen die Stichproben auf vulnerable Gruppen (Kinder, Jugendliche, Ältere und/oder körperlich/kognitiv beeinträchtigte Personen) begrenzt sind neue Erkenntnisse hervorbringen. Ebenfalls könnten Vergleichsstudien zwischen solchen Gruppen und Personen ohne Einschränkung den Forschungsstand bezüglich der Verhaltensunterschiede während einer Evakuierung erweitern. Auch gezielte Forschungen zu kindgerechten Verständnis- und Handlungsschulungen können einen wertvollen Mehrwert für das Feld der Verhaltensforschung im Brandfall bieten.

Eine weitere Möglichkeit zur Forschung bietet auch die methodische Analyse. Mithilfe vergleichender Experimente zwischen dem Verhalten in virtuellen Umgebungen und dem Verhal-

ten in realen Szenarien, kann untersucht werden, wie man modellierte Ansätze verbessern kann, um diese dann zur Vorhersage von menschlichem Verhalten in Evakuierungsszenarien zu benutzen. Insgesamt verdeutlicht die Analyse, dass die methodische Vielfalt und die Zusammensetzung der Stichproben maßgeblich die Aussagekraft der Ergebnisse bestimmen. Für die Praxis bedeutet dies, dass Verzerrungen offengelegt und die Parametrisierung vulnerabler Gruppen in Simulationen berücksichtigt werden müssen, um realitätsnahe und belastbare Empfehlungen für Evakuierungsstrategien abzuleiten.

6 Fazit

In dieser Arbeit werden die in den letzten zehn Jahren publizierten psychologischen Mechanismen des Evakuierungsverhaltens systematisch zusammengeführt und zugleich die methodische Qualität der zugrunde liegenden Studien bewertet. Hierfür wurde ein Methodemix aus einem theoretical review nach Cooper und einem methodological review nach Hsia angewandt. Die Recherche erfolgte in Scopus unter Anwendung des PRISMA-Verfahrens, sowie klare Ein- und Ausschlusskriterien und eine kategoriale Auswertung der Studiendesigns, Messinstrumente und Stichproben angewendet.

Auf dieser methodischen Basis lassen sich mehrere zentrale Befunde ableiten: Wiederholt identifizierte Faktoren die zu Verzögerungen führen sind unklare Informationslagen, Stress und kognitive Verzerrungen. Soziale Dynamiken können sowohl hemmend als auch beschleunigend wirken, und vertraute Fluchtwege werden bevorzugt. Zugleich zeigt die methodische Analyse eine heterogene Studienlandschaft mit Labor-/VR-Experimenten und Feldbeobachtungen, aber auch mit systematischen Lücken, insbesondere der Unterrepräsentation vulnerabler Gruppen und der begrenzten Übertragbarkeit experimenteller Befunde auf komplexe reale Ereignisse.

Vor diesem Hintergrund kann die formulierte Forschungsfrage weitgehend beantwortet werden. Es werden konkrete Mechanismen und praxisrelevante Ansatzpunkte für die Parametrisierung von Evakuierungszeiten und die Gestaltung von Alarm- und Informationssystemen geliefert. Gleichzeitig bleibt die Antwort eingeschränkt durch methodische Unsicherheiten. Es wird empfohlen, multimethodische Studien mit gezielter Einbeziehung vulnerabler Gruppen und datengetriebenen Validierungsstrategien durchzuführen, um die identifizierten Mechanismen quantitativ zu verankern und die Übertragbarkeit auf praxisnahe Brandschutzkonzepte zu erhöhen.

Literatur

- [1] M. K. Lindell und R. W. Perry, „The protective action decision model: Theoretical modifications and additional evidence,” *Risk Analysis: An International Journal*, Jg. 32, Nr. 4, S. 616–632, 2012.
- [2] E. D. Kuligowski und E. D. Kuligowski, *The process of human behavior in fires*. US Department of Commerce, National Institute of Standards und Technology ..., 2009.
- [3] R. R. Gershon, M. S. Rubin, K. A. Qureshi, A. N. Canton und F. J. Matzner, „Participatory action research methodology in disaster research: results from the World Trade Center evacuation study,” *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, Jg. 2, Nr. 3, S. 142–149, 2008.
- [4] D. Canter, J. Breaux und J. Sime, „Domestic, multiple occupancy, and hospital fires,” in *Fires and human behaviour*, Routledge, 2024, S. 117–136.
- [5] B. E. Aguirre, D. Wenger und G. Vigo, „A test of the emergent norm theory of collective behavior,” in *Sociological Forum*, Springer, Bd. 13, 1998, S. 301–320.
- [6] G. A. Klein, *Sources of power: How people make decisions*. MIT press, 2017.
- [7] D. Tong und D. Canter, „The decision to evacuate: a study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire,” *Fire safety journal*, Jg. 9, Nr. 3, S. 257–265, 1985.
- [8] Wikipedia, *List of Nightclub Fires*, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nightclub_fires, Online; Zugriff 03.01.2026.
- [9] R. F. Fahy, G. Proulx und J. Flynn, „The station nightclub fire-an analysis of witness statements,” *Fire Safety Science*, Jg. 10, S. 197–209, 2011.
- [10] R. Ono, F. Vittorino, W. Negrisolo und E. Favero, „Understanding the Human Behavior in the Kiss Nightclub Fire: Analysis of a Survey with Survivors,” *Fire Technology*, Jg. 61, Nr. 6, S. 4525–4525, 2025.
- [11] H. Cooper, *Research synthesis and meta-analysis: A step-by-step approach*. Sage publications, 2015, Bd. 2.
- [12] H. J. Hsia, *Mass communications research methods: A step-by-step approach*. Routledge, 2015.
- [13] J. Zehfuß, „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes,” *Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes eV*, 2020.
- [14] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., *DGUV Information 205-033: Alarmierung und Evakuierung*, Berlin, Germany, Oktober 2019. Adresse: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3554>.
- [15] E. D. Kuligowski, „Human behavior in fire,” in *SFPE handbook of fire protection engineering*, Springer, 2016, S. 2070–2114.
- [16] Gemeinsamer Ausschuss für Brandschutzerziehung und Brandschutzaufklärung von vfdb und DFV, *Fachempfehlung „Verhalten im Brandfall“*, PDF, Deutscher Feuerwehrverband e. V. (DFV) & Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), November 2019.
- [17] G. Ramachandran, „Exponential model of fire growth,” *Fire Safety Science*, Jg. 1, S. 657–666, 1986.

- [18] F. Rosero, „Assessment of People’s Perception of Fire Growth: A Virtual Reality Study,” 2017.
- [19] K. Fridolf und D. Nilsson, „People’s subjective estimation of fire growth: an experimental study of young adults,” *Fire safety science*, Jg. 10, S. 161–172, 2011.
- [20] M. Schonger und D. Sele, „Intuition and exponential growth: Bias and the roles of parameterization and complexity,” *Mathematische Semesterberichte*, Jg. 68, Nr. 2, S. 221–235, 2021.
- [21] S. of Fire Protection Engineers, *SFPE guide to human behavior in fire*. Springer, 2018.
- [22] E. L. Quarantelli, „Conventional beliefs and counterintuitive realities,” *Social Research: An International Quarterly*, Jg. 75, Nr. 3, S. 873–904, 2008.
- [23] E. A. der Heide, „Common misconceptions about disasters: Panic, the “disaster syndrome,” and looting,” *The first 72 hours: A community approach to disaster preparedness*, S. 340–380, 2004.
- [24] R. H. Turner und L. M. Killian, *Collective behavior*. Prentice-Hall, Inc, 1987.
- [25] A. Cuesta, O. Abreu, A. Balboa und D. Alvear, „Alone or with others: Experiments on evacuation decision making,” *Fire Safety Journal*, Jg. 120, 2021.
- [26] J. L. Bryan, „Behavioral response to fire and smoke,” *SFPE handbook of fire protection engineering*, Jg. 2, S. 42, 2002.
- [27] R. F. Fahy und G. Proulx, „Human behavior in the world trade center evacuation,” in *International Association for Fire Safety Science, Fifth International Symposium*, 1997, S. 713–724.
- [28] N. R. Johnson, W. E. Feinberg und D. M. Johnston, „Microstructure and panic: The impact of social bonds on individual action in collective flight from the Beverly Hills Supper Club fire,” *Disasters, collective behavior and social organizations*, S. 168–189, 1994.
- [29] B. E. Aguirre, M. R. Torres, K. B. Gill und H. Lawrence Hotchkiss, „Normative collective behavior in the station building fire,” *Social science quarterly*, Jg. 92, Nr. 1, S. 100–118, 2011.
- [30] M. E. Mayer, K. T. Sonodas und W. B. Gudykunst, „The effect of time pressure and type of information on decision quality,” *Southern Journal of Communication*, Jg. 62, Nr. 4, S. 280–292, 1997.
- [31] F. Ozel, „The role of time pressure and stress on the decision process during fire emergencies,” in *The Proceedings of the First International Conference on Human Behavior in Fire, sponsored by University of Ulster, Belfast, N. Ireland*, 1998.
- [32] J. G. Miller, „Information input overload and psychopathology,” *American journal of psychiatry*, Jg. 116, Nr. 8, S. 695–704, 1960.
- [33] K. Tierney, „Disaster beliefs and institutional interests: Recycling disaster myths in the aftermath of 9–11,” in *Terrorism and disaster: New threats, new ideas*, Emerald Group Publishing Limited, 2003, S. 33–51.
- [34] J. D. Sime, „Affiliative behaviour during escape to building exits,” *Journal of environmental psychology*, Jg. 3, Nr. 1, S. 21–41, 1983.

- [35] M. Fu, R. Liu und Q. Liu, „Why individuals do not use emergency exit doors during evacuations: a virtual reality and eye-tracking experimental study,” *Advanced Engineering Informatics*, Jg. 60, S. 102 396, 2024.
- [36] R. Hartson, „Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design,” *Behaviour & information technology*, Jg. 22, Nr. 5, S. 315–338, 2003.
- [37] J. L. Bryan, „SMOKE AS A DETERMINANT OF HUMAN-BEHAVIOR IN FIRE SITUATIONS,” in *Fireline*, INFOTECH PUBLICATIONS PO BOX 3922 RINCON ANNEX, SAN FRANCISCO, CA 94119, Bd. 5, 1978, S. 13–13.
- [38] P. Wood, „Fire research note 953,” *Building Research Establishment, Borehamwood, UK*, 1972.
- [39] M. Horasan und D. Bruck, „Investigation of a behavioural response model for fire emergency situations in secondary schools,” *Fire Safety Science*, Jg. 4, S. 715–726, 1994.
- [40] W. Saunders, „Gender differences in response to fires,” in *Proceedings of the Second International Symposium on Human Behaviour in Fire*, 2001.
- [41] D. Paulus, G. de Vries, M. Janssen und B. Van de Walle, „The influence of cognitive bias on crisis decision-making: Experimental evidence on the comparison of bias effects between crisis decision-maker groups,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Jg. 82, S. 103 379, 2022.
- [42] T. E. Drabek, *Human system responses to disaster: An inventory of sociological findings*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [43] H. Omer und N. Alon, „The continuity principle: A unified approach to disaster and trauma,” *American Journal of Community Psychology*, Jg. 22, Nr. 2, S. 273–287, 1994.
- [44] E. J. Langer, „The illusion of control,” *Journal of personality and social psychology*, Jg. 32, Nr. 2, S. 311, 1975.
- [45] A. Bracha und D. J. Brown, „Affective decision making: A theory of optimism bias,” *Games and Economic Behavior*, Jg. 75, Nr. 1, S. 67–80, 2012.
- [46] A. Oeberst und R. Imhoff, „Toward parsimony in bias research: A proposed common framework of belief-consistent information processing for a set of biases,” *Perspectives on Psychological Science*, Jg. 18, Nr. 6, S. 1464–1487, 2023.
- [47] B. Latane und J. M. Darley, „Group inhibition of bystander intervention in emergencies,” *Journal of personality and social psychology*, Jg. 10, Nr. 3, S. 215, 1968.
- [48] E. D. Kuligowski, *Terror defeated: occupant sensemaking, decision-making and protective action in the 2001 World Trade Center disaster*. University of Colorado at Boulder, 2011.
- [49] J. Drury, C. Cocking und S. Reicher, „Every man for himself-or for the group? How crowd solidarity can arise in an emergency: An interview study of disaster survivors,” in *Group and Intergroup Relations Pre-Conference, Society for Personality and Social Psychology 7th Annual Meeting*, 2006.
- [50] G. Proulx, „Evacuation time and movement in apartment buildings,” *Fire safety journal*, Jg. 24, Nr. 3, S. 229–246, 1995.
- [51] I. Donald und D. Canter, „Behavioural aspects of the King’s Cross disaster,” in *Fires and human behaviour*, Routledge, 2024, S. 15–30.

- [52] H. E. Cooper, P. M. Camic, D. L. Long, A. Panter, D. E. Rindskopf und K. J. Sher, *APA handbook of research methods in psychology, Vol 2: Research designs: Quantitative, qualitative, neuropsychological, and biological*. American Psychological Association, 2012.
- [53] Y. Wang, M. Kyriakidis und V. N. Dang, „Incorporating human factors in emergency evacuation–An overview of behavioral factors and models,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Jg. 60, S. 102 254, 2021.
- [54] E. Ronchi u. a., „New approaches to evacuation modelling for fire safety engineering applications,” *Fire safety journal*, Jg. 106, S. 197–209, 2019.
- [55] E. Kuligowski, „Predicting human behavior during fires,” *Fire technology*, Jg. 49, Nr. 1, S. 101–120, 2013.
- [56] E. Lueglinger und R. Renger, „Das weite Feld der Metaanalyse. Sekundär-, literatur-und metaanalytische Verfahren im Vergleich,” *kommunikation. medien*, Jg. 2, 2013.
- [57] J. Baas, M. Schotten, A. Plume, G. Côté und R. Karimi, „Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies,” *Quantitative science studies*, Jg. 1, Nr. 1, S. 377–386, 2020.
- [58] S. Elsevier, „Scopus content coverage guide,” *Amsterdam: Elsevier BV*, 2023.
- [59] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff und D. Altman, „Bevorzugte report items für systematische übersichten und meta-analysen: das PRISMA-statement,” *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, Jg. 136, Nr. 08, e9–e15, 2011.
- [60] N. E. Groner, „A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies,” *Fire safety journal*, Jg. 80, S. 20–29, 2016.
- [61] R. Lovreglio, A. Fonzone und L. Dell’Olio, „A mixed logit model for predicting exit choice during building evacuations,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Jg. 92, S. 59–75, 2016.
- [62] D. Daylamani-Zad, F. Spyridonis und K. Al-Khafaaji, „A framework and serious game for decision making in stressful situations; a fire evacuation scenario,” *International Journal of Human-Computer Studies*, Jg. 162, S. 102 790, 2022.
- [63] R. Wiltenburg, W. Hurst, F. R. Mendoza, C. Krampe und B. Tekinerdogan, „Efficacy of Smart City Data Layers in virtual reality for emergency evacuation behaviours,” *Array*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100457>.
- [64] Y. Minegishi, „Acquisition of Informal Information can Influence the Decisions of Building Occupants During a Phased Evacuation,” *Fire Technology*, S. 1–29, 2025.
- [65] J. Neto, A. J. Morais, R. Gonçalves und A. L. Coelho, „Guiding evacuees to improve fire building evacuation efficiency: hazard and congestion models to support decision making by a context-aware recommender system,” *Buildings*, Jg. 13, Nr. 12, <https://doi.org/10.3390/buildings13123038>, 2023.
- [66] J. Zeng, F. Rebelo, R. He, P. Noriega, E. Vilar und Z. Wang, „Using virtual reality to explore the effect of multimodal alarms on human emergency evacuation behaviors,” *Virtual Reality*, Jg. 29, Nr. 2, S. 1–15, 2025.
- [67] J. Shi, N. Ding und Z. Zhang, „Evacuation Decision-Making in Fire Situation: Base on Eye Movement Experiment in Physical and Virtual Environments,” *Case Studies in Thermal Engineering*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106148>.

- [68] Z. Tang, D. Zhang, J. Du, W. Bao, W. Zhang und J. Liu, „Investigation of fire-fighting evacuation indication system in industrial plants based on virtual reality technology,” *Complexity*, Jg. 2022, Nr. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2501869>.
- [69] Y.-H. Bae, Y.-C. Kim, R.-S. Oh, J.-Y. Son, W.-H. Hong und J.-H. Choi, „Gaze point in the evacuation drills: Analysis of eye movement at the indoor wayfinding,” *Sustainability*, Jg. 12, Nr. 7, <https://doi.org/10.3390/su12072902>, 2020.
- [70] Y. Zhang, D. Paes, Z. Feng, D. Scorgie, P. He und R. Lovreglio, „Comparative analysis of fire evacuation decision-making in immersive vs. non-immersive virtual reality environments,” *Automation in Construction*, Jg. 179, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106441>.
- [71] C. de Lama, C. González-Gaya und A. Sánchez-Lite, „An experimental test proposal to study human behaviour in fires using virtual environments,” *Sensors*, Jg. 20, Nr. 12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123607>.
- [72] W. Li, M. Seike, A. Fujiwara und M. Chikaraishi, „Slow walking behavior with negative emotion in smoke-filled model-scale tunnel,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, Jg. 156, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106224>.
- [73] S. Lu u. a., „A Virtual Reality Exit Choice Experiment to Assess the Impact of Social Influence and Fire Wardens in a Metro Station Evacuation,” *Fire Technology*, S. 1–24, 2025.
- [74] A. Templeton, C. Nash, L. Lewis, S. Gwynne und M. Spearpoint, „Information sharing and support among residents in response to fire incidents in high-rise residential buildings,” *International journal of disaster risk reduction*, Jg. 92, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103713>.
- [75] F. Long, A. Majumdar und H. Carter, „Understanding levels of compliance with emergency responder instructions for members of the Public involved in emergencies: Evidence from the Grenfell Tower fire,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Jg. 84, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103374>.
- [76] E. Smedberg u. a., „The impact of people with mobility limitations on exit choice,” *Fire safety journal*, Jg. 140, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103900>.
- [77] M. Kinatader und W. H. Warren, „Social influence on evacuation behavior in real and virtual environments,” *Frontiers in Robotics and AI*, Jg. 3, S. 43, 2016.
- [78] R. Lovreglio, A. Fonzone, L. Dell’Olio und D. Borri, „A study of herding behaviour in exit choice during emergencies based on random utility theory,” *Safety science*, Jg. 82, S. 421–431, 2016.
- [79] R. Liu, R. Zhu, B. Becerik-Gerber, G. M. Lucas und E. G. Southers, „Be prepared: How training and emergency type affect evacuation behaviour,” *Journal of Computer Assisted Learning*, Jg. 39, Nr. 5, S. 1493–1509, 2023.
- [80] Q. Teng, X. Wang, W. He, G. Pan und Y. Mao, „An investigation into the influence of context effects on crowd exit selection under gender difference in indoor evacuation,” *Frontiers in Psychology*, Jg. 15, S. 1417738, 2024.
- [81] J. Li und C. Liu, „Analysis of pedestrian wayfinding under herd effect in VR fire evacuation at indoor library: gender difference considered,” *Frontiers in Psychology*, Jg. 16, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1558115>.

- [82] N. YenChern, C. WaiShiang, S. KengWai, M. A. bin Khairuddin, N. bt Jali und E. ak Mit, „Developing fire evacuation simulation through BDI-based modelling and simulation,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, Bd. 2107, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2107/1/012047>.
- [83] S. K. Kasereka u. a., „Enhancing Building Safety: A Brief Review of Agent-Based Modeling for Fire Evacuation Simulation,” *Procedia Computer Science*, Jg. 257, S. 668–675, 2025.
- [84] Y. Zhang, Y. Ding, M. Chraibi und X. Huang, „Multi-scale analysis of fire and evacuation drill in a multi-functional university high-rise building,” *Developments in the Built Environment*, Jg. 21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100626>.
- [85] Y. Tong, N. W. Bode, M. Haghani und R. Lovreglio, „Exploring occupant exit choices during fire drills and false alarm evacuations in a library,” *Safety Science*, Jg. 182, S. 106708, 2025.
- [86] M. Choi, S. Lee, S. Hwang, M. Park und H.-S. Lee, „Comparison of emergency response abilities and evacuation performance involving vulnerable occupants in building fire situations,” *Sustainability*, Jg. 12, Nr. 1, S. 87, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12010087>.
- [87] J. Ryu, S.-K. Kim, H.-K. Lee, W.-H. Hong und Y.-C. Kim, „Nudge-Based Intervention for Cognitive Enhancement of Elderly in Long-Term Care Facilities During Fire Evacuation According to Urgent-Level Circumstances,” *Buildings*, Jg. 15, Nr. 8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings15081269>.
- [88] J. Mytton, T. Goodenough und C. Novak, „Children and young people’s behaviour in accidental dwelling fires: A systematic review of the qualitative literature,” *Safety science*, Jg. 96, S. 143–149, 2017.
- [89] L. Wang, Z. Zhang, S. Lu und J. Wang, „Behavior selection models of fire evacuations with the consideration of adaptive evacuation psychologies,” *Sustainability*, Jg. 16, Nr. 9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16093607>.
- [90] A. Balboa, A. Cuesta und D. Alvear, „Virtual experiments yield comparable results to physical experiments on evacuation decision-making,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, Bd. 2885, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2885/1/012094>.
- [91] A. Balboa, A. Cuesta, J. González-Villa, G. Ortiz und D. Alvear, „Online experiments and regression analysis of evacuation decisions in response to fire alarms,” *Fire safety journal*, Jg. 141, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103954>, 2023.
- [92] A. Noumeur, R. Lovreglio, M. S. Md Said, M. R. Baharudin, H. Mohamed Yusoff und M. Z. Mohd Tohir, „A study of staff pre-evacuation behaviors in a Malaysian hotel,” *Fire and Materials*, Jg. 49, Nr. 2, S. 138–161, 2025.
- [93] M. Karemaker, G. A. Ten Hoor, R. R. Hagen, C. H. van Schie, K. Boersma und R. A. Ruiter, „Elderly about home fire safety: A qualitative study into home fire safety knowledge and behaviour,” *Fire safety journal*, Jg. 124, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103391>.
- [94] H. Zou, N. Li und L. Cao, „Immersive virtual environments for investigating building emergency evacuation behaviors: A feasibility study,” in *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, IAARC Publications, Bd. 33, 2016.

- [95] S. M. F. Bernardes, F. Rebelo, E. Vilar, P. Noriega und T. Borges, „Methodological approaches for use virtual reality to develop emergency evacuation simulations for training, in emergency situations,” *Procedia Manufacturing*, Jg. 3, S. 6313–6320, 2015.
- [96] X. Zhao, R. Lovreglio und D. Nilsson, „Modelling and interpreting pre-evacuation decision-making using machine learning,” *Automation in Construction*, Jg. 113, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103140>.
- [97] C. H. Paschal, C. W. Shiang, S. K. Wai und M. A. bin Khairuddin, „Developing Fire Evacuation Simulation Through Emotion-based BDI Methodology,” *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, Jg. 6, Nr. 1, S. 45–52, 2022.
- [98] M. Valette, B. Gaudou, D. Longin und P. Taillandier, „Modeling a real-case situation of egress using BDI agents with emotions and social skills,” in *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Springer, 2018, S. 3–18.
- [99] X. Li, W. Chen, C. Wang und M. A. Kassem, „Study on evacuation behavior of urban underground complex in fire emergency based on system dynamics,” *Sustainability*, Jg. 14, Nr. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031343>.
- [100] K. Rezaeipour, V. Zaroushani und M. Amerzadeh, „Impact of Human Factors in Emergency Evacuations during Building Fires: A Systematic Review,” *Journal of Occupational Health and Epidemiology*, Jg. 14, Nr. 3, S. 194–204, 2025.
- [101] N. W. Bode und E. A. Codling, „Exploring determinants of pre-movement delays in a virtual crowd evacuation experiment,” *Fire technology*, Jg. 55, Nr. 2, S. 595–615, 2019.
- [102] J. C. Wong, P. S. Wong, R. Das, A. C. Yuen und S. C. Cheung, „Transferring Fire Modelling Sciences into Augmented Reality: A Realistic and Safe Reconstructed Fire Scenario,” *Fire*, Jg. 8, Nr. 4, S. 132, 2025.
- [103] L. Li, J. Li und Y. Ma, „Research on Fire Risk Assessment of Subway Stations Based on Mathematical Modeling and Simulation,” in *Proceedings of the 2025 International Conference on Management Science and Computer Engineering*, 2025, S. 675–682.

Erklärung zur Nutzung von künstlicher Intelligenz

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurden KI-gestützte Werkzeuge ausschließlich zur sprachlichen Überarbeitung (Rechtschreibung, Grammatik und Verständlichkeit) verwendet. Die inhaltliche Konzeption, Analyse, Auswertung und Schlussfolgerungen dieser Arbeit wurden vollständig eigenständig erarbeitet. Es wurden keine Inhalte, Argumentationen oder wissenschaftlichen Ergebnisse durch KI generiert.

7 Anhang

7.1 Rechercheprotokoll

Suchverlauf	Suchstring	Anzahl Ergebnisse
	(TITLE-ABS-KEY ("human behavior" OR behavior OR group OR psycholog*) AND TITLE-ABS-KEY (fire OR fires OR smoke) AND TITLE-ABS-KEY (panic OR stress OR decision OR "social identity" OR "risk perception") AND TITLE-ABS-KEY (evacuation OR escape)) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026	419
Suchstring 2		
Sprache Eng, De	AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")	399
open Access	AND (LIMIT-TO (OA , "all")	161
	AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Bushfire") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Bushfires") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Earthquake") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Earthquakes") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Natural Disasters") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Railroads") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Ships") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Wildfire") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Wildfires")	127
Szenario		
Population	OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD,"Animals")	124
	(TITLE-ABS-KEY ("human behavior" OR behavior OR group OR psycholog*) AND TITLE-ABS-KEY (fire OR fires OR smoke) AND TITLE-ABS-KEY (panic OR stress OR decision OR "social identity" OR "risk perception") AND TITLE-ABS-KEY (evacuation OR escape)) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bushfire") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Bushfires") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Earthquake") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Earthquakes") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Natural Disasters") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Railroads") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Ships") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Wildfire") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Wildfires") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animal") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Animals"))	124
Gesamtstring nach Ausschluss durch Keywords		

7.2 Übersicht der eingeschlossenen Publikationen

Titel (Autor*innen, Jahr)	Art der Publikation
A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies (Groner, 2016)	Article
A framework and serious game for decision making in stressful situations; a fire evacuation scenario (Daylamani-Zad et al., 2022)	Article
A mixed logit model for predicting exit choice during building evacuations (Lovreglio et al., 2016)	Article
A study of herding behaviour in exit choice during emergencies based on random utility theory (Lovreglio et al., 2016)	Article
A study of staff pre-evacuation behaviors in a Malaysian hotel (Noumeur et al., 2025)	Article
A Virtual Reality Exit Choice Experiment to Assess the Impact of Social Influence and Fire Wardens in a Metro Station Evacuation (Lu et al., 2025)	Article
Acquisition of Informal Information can Influence the Decisions of Building Occupants During a Phased Evacuation (Minegishi, 2025)	Article
Alone or with others: Experiments on evacuation decision making (Cuesta et al., 2021)	Article
An Experimental Test Proposal to Study Human Behaviour in Fires Using Virtual Environments (de Lama, González-Gaya & Sánchez-Lite, 2020)	Article
An investigation into the influence of context effects on crowd exit selection under gender difference in indoor evacuation (Teng et al., 2024)	Article
Analysis of pedestrian wayfinding under herd effect in VR fire evacuation at indoor library: gender difference considered (Li & Liu, 2025)	Article
Be prepared: How training and emergency type affect evacuation behaviour (Liu et al., 2023)	Article
Behavior Selection Models of Fire Evacuations with the Consideration of Adaptive Evacuation Psychologies (Wang et al., 2024)	Article
Children and young people's behaviour in accidental dwelling fires: A systematic review of the qualitative literature (Mytton et al., 2017)	Review
Comparative analysis of fire evacuation decision-making in immersive vs. non-immersive virtual reality environments (Zhang et al., 2025)	Article
Comparison of emergency response abilities and evacuation performance involving vulnerable occupants in building fire situations (Choi et al., 2020)	Article
Developing fire evacuation simulation through BDI-based modelling and simulation (Ng et al., 2021)	Conference Paper

Titel (Autor*innen, Jahr)	Art der Publikation
Developing Fire Evacuation Simulation Through Emotion-based BDI Methodology (Paschal et al., 2022)	Article
Efficacy of Smart City Data Layers in virtual reality for emergency evacuation behaviours (Wiltburg et al., 2025)	Article
Elderly about home fire safety: A qualitative study into home fire safety knowledge and behaviour (Karemaker et al., 2021)	Article
Enhancing Building Safety: A Brief Review of Agent-Based Modeling for Fire Evacuation Simulation (Kasereka et al., 2025)	Conference Paper
Evacuation decision-making in fire: Eye movement experiment in physical vs. virtual environments (Shi, Ding & Zhang, 2025)	Article
Exploring Determinants of Pre-movement Delays in a Virtual Crowd Evacuation Experiment (Bode & Codling, 2019)	Article
Exploring occupant exit choices during fire drills and false alarm evacuations in a library (Tong et al., 2025)	Article
Gaze Point in the Evacuation Drills: Analysis of Eye Movement at the Indoor Wayfinding (Bae et al., 2020)	Article
Guiding Evacuees to Improve Fire Building Evacuation Efficiency: Hazard and Congestion Models to Support Decision Making by a Context-Aware Recommender System (Neto et al., 2023)	Article
Immersive Virtual Environments for Investigating Building Emergency Evacuation Behaviors: A Feasibility Study (Zou, Li & Cao, 2016)	Conference Paper
Impact of Human Factors in Emergency Evacuations during Building Fires: A Systematic Review (Rezaei pour, Zaroushani & Amerzadeh, 2025)	Article
Information sharing and support among residents in response to fire incidents in high-rise residential buildings (Templeton et al., 2023)	Article
Investigating Pedestrians' Exit Choice with Incident Location Awareness in an Emergency in a Multi-Level Shopping Complex (Aghabayk, Soltani & Shiwakoti, 2022)	Article
Investigation of Fire-Fighting Evacuation Indication System in Industrial Plants Based on Virtual Reality Technology (Tang et al., 2022)	Article
Methodological approaches for use virtual reality to develop emergency evacuation simulations for training, in emergency situations (Bernardes et al., 2015)	Conference Paper

Titel (Autor*innen, Jahr)	Art der Publikation
Modeling a Real-Case Situation of Egress Using BDI Agents with Emotions and Social Skills (Valette, Gaudou, Longin & Taillandier)	Conference Paper
Modelling and interpreting pre-evacuation decision-making using machine learning (Zhao, Lovreglio & Nilsson, 2020)	Article
Multi-scale analysis of fire and evacuation drill in a multi-functional university high-rise building (Zhang, Ding, Chraibi & Huang, 2025)	Article
Nudge-Based Intervention for Cognitive Enhancement of Elderly in Long-Term Care Facilities During Fire Evacuation (Ryu, Kim, Lee, Hong & Kim, 2025)	Article
Online experiments and regression analysis of evacuation decisions in response to fire alarms (Balboa et al., 2023)	Article
Quantitative analysis of the effectiveness of real-time indoor navigation and information sharing for collaborative fire response (Wong & Lee, 2025)	Article
Slow walking behavior with negative emotion in smoke-filled model-scale tunnel (Li, Seike, Fujiwara & Chikaraishi, 2025)	Article
Social influence on evacuation behavior in real and virtual environments (Kinatader & Warren, 2016)	Article
Study on Evacuation Behavior of Urban Underground Complex in Fire Emergency Based on System Dynamics (Li, Chen, Wang & Kassem, 2022)	Article
Research on Fire Risk Assessment of Subway Stations Based on Mathematical Modeling and Simulation (Li et al., 2025)	Conference Paper
Running Cells with Decision-Making Mechanism: Intelligence Decision P System for Evacuation Simulation (Niu, Zhang, Zhang & Xiao, 2018)	Article
The impact of people with mobility limitations on exit choice (Smedberg et al., 2023)	Article
Transferring Fire Modelling Sciences into Augmented Reality: A Realistic and Safe Reconstructed Fire Scenario (Wong et al., 2025)	Article
Uncovering non-emergency-related factors in threat responses: Logistic regression analysis of online experimental data for behaviour patterns (Balboa et al., 2024)	Article
Understanding levels of compliance with emergency responder instructions for members of the Public involved in emergencies: Evidence from the Grenfell Tower fire (Long, Majumdar & Carter, 2023)	Article

Using virtual reality to explore the effect of multimodal alarms on human emergency evacuation behaviors (Zeng et al., 2025)	Article
Fire evacuation visualization in nursing homes based on agent and cellular automata (Wang, Tang, Kassem, Li & Wu, 2021)	Article
Virtual experiments yield comparable results to physical experiments on evacuation decision-making (Balboa, Cuesta & Alvear, 2024)	Conference Paper