

Fluchtwegbreiten in Treppenträumen von mehrgeschossigen Arbeitsstätten

Stephan Gabriel¹, Kersten Bux¹

baua: Fokus

Die Anzahl, Anordnung und Abmessung von Fluchtwegen in Arbeitsstätten wird in Deutschland über die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A2.3 geregelt. Der Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) führt eine Prüfung und Fortschreibung der ASR A2.3 durch. Ein bereits vorliegendes Fachgutachten [1] wurde durch weitere Untersuchungen ergänzt, um mithilfe von zwei unabhängigen mikroskopischen Simulationsmodellen noch offene Fragen zum Einfluss von Treppenbreiten, Geschosshöhen, Anzahl der Geschosse und Zahl der Personen auf die Entfluchtungszeiten bei der gleichzeitigen Entfluchtung mehrerer Etagen zu klären.

Inhalt

1	Einleitung und Hintergrund	1
2	Maßgebliche Ergebnisse des Fachgutachtens zu Treppen.....	2
3	Simulationsmodelle, Berechnungsverfahren und verwendete Programme.....	3
4	Untersuchte Variationen im Szenario Vertikale Entfluchtung.....	4
4.1	Ergebnisse für die Gesamtentfluchtungszeit	5
4.2	Entfluchtungszeiten einzelner Ebenen in Abhängigkeit von der Treppenbreite ...	7
4.3	Entfluchtungszeiten aus den Ebenen in Abhängigkeit der Anzahl der Ebene	9
4.4	Entfluchtungszeiten aus den Ebenen in Abhängigkeit von der Treppenbreite und der Geschosshöhe bei steigender Anzahl der Ebenen	11
5	Ableitung von Vorschlägen für die Arbeitsstättenregel ASR A2.3	13
6	Fazit	16
	Literatur	17

1 Einleitung und Hintergrund

Zum Schutz der Beschäftigten muss ein Arbeitgeber beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten nach § 4 Absatz 4 Arbeitsstättenverordnung Vorkehrungen treffen, damit sich die Beschäftigten bei Gefahr unverzüglich in Sicherheit bringen und schnell gerettet werden können. Ein wesentlicher Faktor ist dafür die Gestaltung von Fluchtwegen und Notausgängen. Deren Anzahl, Anordnung und Abmessung wird in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A2.3 „Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan“ konkretisiert. Die in der ASR A2.3 enthaltenen Anforderungen stammen z. T. aus früheren Richtlinien (z. B. ASR 10/1 Ausgabe September 1985, ASR 17/1.2 Ausgabe Januar 1988). Der Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) hat deshalb eine Projektgruppe mit der Prüfung und Fortschreibung der ASR A2.3

¹ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Gruppe Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit, Dresden.

beauftragt. Als Beitrag zu dieser Überarbeitung wurde im Auftrag der BAuA mit einem Fachgutachten [1] untersucht, inwieweit die Breite von Verkehrswegen, Treppen, Türen und Einengungen sowie eine zeitlich versetzte Nutzung der Fluchtwege die Entfluchtungszeiten beeinflussen. Die Bearbeitung des Fachgutachtens wurde durch die Projektgruppe Fluchtwege des ASTA fachlich begleitet und unterstützt.

Im Fachgutachten [1] konnte gezeigt werden, dass kurze Einengungen auf horizontalen Fluchtwegen kaum Auswirkungen auf die Gesamtentfluchtungszeit sowie auf die Passagezeit einzelner Personen haben. Längere Einengungen auf horizontalen Fluchtwegen, die in der Praxis beispielsweise durch Abstellen von Möbeln in Gängen vorhanden sein können, haben dagegen einen deutlichen Einfluss auf die Entfluchtungszeiten. Dies führt zu Verzögerungen bei der Entfluchtung. Die Analysen zeigen weiterhin, dass ein steter linearer Zusammenhang zwischen Fluchtwegbreite und Gesamtentfluchtungszeit besteht. Treppen im Verlauf von Fluchtwegen führen zu einer Abbremsung des Personenstromes. Besteht ein Fluchtweg aus horizontalen sowie vertikalen Elementen (Treppen), so sind die Einengungen entlang des Ganges einschließlich der in den Treppenraum mündenden Tür vernachlässigbar, da die eigentliche Flussreduktion durch die Treppen verursacht wird. Bei mehrstöckigen Gebäuden kann es ab einer bestimmten Personenbelegung der Etagen zu einem Rückstau in den Treppenträumen sowie angrenzenden Bereichen in den Etagen kommen. Die komplexen Zusammenhänge konnten hier nicht abschließend geklärt werden.

In einer ergänzenden Untersuchung wurde deshalb ein Szenario zum Einfluss von Treppenbreiten, Geschosshöhen sowie Anzahl und Personenbelegung der Geschosse auf die Entfluchtungszeiten bei der Entfluchtung mehrerer Etagen systematisch betrachtet und analysiert. Damit wurde ein Konsortium der accu:rate GmbH München und IST GmbH Frankfurt am Main beauftragt. Basis sind wiederum Berechnungen mit zwei voneinander unabhängigen mikroskopischen Simulationsmodellen sowie Vergleichsberechnungen mit makroskopischen Strömungsmodellen. Für die in der Praxis üblichen Begriffe wie Geschoss, Etage oder Stockwerk wurde bei der Erstellung des Fachgutachtens der Begriff „Ebene“ als Synonym verwendet.

Das ergänzende Szenario wurde in einer zweiten Auflage des Fachgutachtens (Anhang 2 „Ergänzung zu Szenario 4: Vertikale Entfluchtungen“ [1a]) veröffentlicht. Dieser „baua: Fokus“ fasst wesentliche Ergebnisse zusammen. Vertiefende Informationen zu Vorgehen und Ergebnissen können dem Fachgutachten entnommen werden. Damit wurden auf dem aktuellen Stand von Simulationsmodellen Beiträge insbesondere in Bezug auf die Regelung der lichten Breite von Treppen im Verlauf von Fluchtwegen in Treppenträumen von mehrgeschossigen Arbeitsstätten erarbeitet, die in die Fortschreibung der ASR A2.3 einfließen sollen.

2 Maßgebliche Ergebnisse des Fachgutachtens zu Treppen

Die Untersuchungen im Rahmen des Hauptteils des Fachgutachtens zeigen zu Treppen bereits folgende maßgebliche Ergebnisse:

- Treppen im Verlauf von Fluchtwegen führen zu einer Abbremsung des Personenstromes. Die Stufengeometrie (Treppensteigung und Treppenauftritt) hat dabei grundsätzlich einen Einfluss. Werden Treppen nach den Vorgaben der Arbeitsstättenregel ASR A1.8 Abschnitt 4.5 gestaltet, haben die in diesem Rahmen möglichen Variationen von Treppensteigung und Treppenauftritt keinen signifikanten Einfluss auf die Entfluchtung.
- Besteht ein Fluchtweg aus horizontalen sowie vertikalen Elementen (Treppen), so sind die Einengungen entlang des Ganges einschließlich der in den Treppenraum mündenden

Tür vernachlässigbar, da die eigentliche Flussreduktion durch die Treppen verursacht wird. Eine Reduktion der Türbreite im Rahmen des nach ASR A2.3 zulässigen Bereiches hat keinen signifikanten Einfluss auf die Entfluchtungszeit über die Treppe. Die lichte Treppenbreite ist der signifikante Einflussfaktor.

- Der Einfluss der lichten Treppenbreite ist auch bei mehrstöckigen Gebäuden erkennbar. So lange die Kapazität der Treppenträume es zulässt, dass eine Ebene geräumt ist, bevor die Personen aus der darüber liegenden Ebene in diese Ebene gelangen, können die Ebenen autark voneinander geräumt werden. Ab ca. 40–50 Personen pro Ebene und 1,20 m breiten Treppen bilden sich Stauungen in die Ebenen hinein aus. Sowohl eine sequenzielle Räumung als auch verzögerte Reaktionszeiten wirken sich günstig auf den Räumungsverlauf der betroffenen Ebene aus, beschleunigen aber die Gesamtentfluchtungszeit des Gebäudes nicht.

In einer weiteren Untersuchung wurden nun systematisch die Wechselwirkungen zwischen der Anzahl der Ebenen, Anzahl der Personen pro Ebene, der lichten Treppenbreiten sowie der Geschosshöhen betrachtet und analysiert. Für die Gesamtentfluchtungszeit eines Gebäudes sowie für die Entfluchtungszeiten aus den Ebenen wurden folgende Ergebnisse herausgearbeitet:

- Für die Gesamtentfluchtungszeit eines Gebäudes, also bis die letzte Person den Notausgang des Gebäudes passiert hat, zeigt das Fachgutachten einen linearen Zusammenhang. Mit jedem zusätzlichen Geschoss steigt bei gleicher Personenzahl in den Ebenen die Gesamtentfluchtungszeit linear an.
- Die Entfluchtungszeit aus einer Ebene/einem Geschoss, also bis die letzte Person die Ebene in den Treppenraum verlassen hat, ist davon abhängig, ob ein Zugang in den Treppenraum ungehindert möglich ist.
- In Abhängigkeit von der lichten Treppenbreite zeigt das Fachgutachten Werte für die Belegungen mit Personen je Ebene, bis zu denen jeweils ein „freier Fluss“ aus den Ebenen in den Treppenraum möglich ist.
- Im Bereich des „freien Flusses“ hat die Gesamtzahl der Ebenen keine Auswirkungen auf die Entfluchtungszeit jeder einzelnen Ebene.
- Ab einer bestimmten Personenbelegung der Ebenen kommt es zu einer Verdichtung des Personenstroms und einer Verringerung der Geschwindigkeiten in den Treppenträumen. Dies hat auch Auswirkungen in den Ebenen beim Zugang zum Treppenraum.
- Wird der Bereich des „freien Flusses“ verlassen, kommt es in den Ebenen zu Verzögerungen bis hin zu Stauungen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Ebenen und der Belegung der Ebenen führt dies bei gleichzeitiger Alarmierung insbesondere in den oberen Ebenen zu deutlich ansteigenden Wartezeiten, bis ein Zugang in den Treppenraum möglich ist.
- Bei Geschosshöhen in einem Bereich von 2,70 m bis 4,50 m ändert sich der Wert der Personenbelegungen der Ebenen für den Übergang von „freiem Fluss“ zu Stauungen nicht. Bei geringeren Geschosshöhen kommt es aber zu einer stärkeren Ausbildung von Stauungen und einem deutlichen Anstieg der Entfluchtungszeiten in den einzelnen Ebenen.

3 Simulationsmodelle, Berechnungsverfahren und verwendete Programme

Für die ergänzenden Untersuchungen kommt wie für den Hauptteil des Fachgutachtens eine detaillierte Parameterstudie mit den zwei verschiedenen und voneinander unabhängigen Individualmodellen, crowd:it [2] und ASERI [3], zum Einsatz. Als raumkontinuierliche mikroskopische Personenstrommodelle sind diese Programme in der Lage, kleinskalige geomet-

rische Designvariationen abzubilden (z. B. in den Fluchtweg hineinragende Türzargen). Als Individualmodelle können sie zudem mit ihrem mikroskopischen Ansatz die unterschiedliche Bewegung einzelner Personen, deren individuellen Platzbedarf und deren situativen Handlungsalternativen (z. B. Reaktionszeiten, Fluchtwegewahl) erfassen. Die beiden verwendeten Programme basieren auf den neuesten Erkenntnissen der Wissenschaft und werden fortlaufend anhand der RiMEA-Testfälle (Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen) [4] sowie der NIST-Testfälle [5] (crowd:it) bzw. der Auswertungen von Realbeobachtungen von Personenströmen in den EVA-, BASIGO- und SIKET-Projekten (ASERI) validiert [6], [7], [8], [9]. Zu Vergleichszwecken wurden außerdem Berechnungen nach gebräuchlichen makroskopischen Strömungsmodellen [10] durchgeführt. Die verschiedenen Variationen wurden jeweils mit beiden Programmen berechnet und die Ergebnisse miteinander verglichen. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung, die zusätzlich durch eine makroskopische Kapazitätsanalyse geprüft und bestätigt wurde.

Hinweis:

Die Auswertung und grafische Darstellung der ermittelten Datensätze für die Entfluchtungszeiten erfolgt mit unterschiedlichen Darstellungsarten, z. B. mit sog. „Boxplots“, Liniendiagrammen und Tabellen. Ein Boxplot zeigt den Median (waagerechte Linie) sowie den Bereich zwischen dem unteren Quartil (25 % der Werte) bis zum oberen Quartil (75 % der Werte), in dem also 50 % der ermittelten Werte liegen. Die Antennen der Boxplots kennzeichnen Minimal- und Maximalwerte innerhalb des 1,5-fachen Abstands zwischen oberem und unterem Quartil. Liegen Werte außerhalb des 1,5-fachen Abstands zwischen oberem und unterem Quartil, werden sie durch kreisförmige Markierungen oberhalb bzw. unterhalb dieser „Antennen“ als „Ausreißer“ dargestellt.

4 Untersuchte Variationen im Szenario Vertikale Entfluchtung

Aufbauend auf Szenario 4 (siehe Abschnitt 4.2.5 im Hauptteil des Fachgutachtens [1a]) wurde eine Parameterstudie durchgeführt, die die Wechselwirkungen zwischen der Anzahl der Ebenen, Anzahl der Personen pro Ebene, Geschosshöhe sowie der lichten Treppenbreiten systematisch betrachtet und analysiert.

Dabei wurden folgende Einflussgrößen auf die Entfluchtungszeit der einzelnen Ebenen und die Gesamtentfluchtungszeit des Gebäudes in ihren Variationen untersucht:

- Anzahl der Ebenen (3 bis 8 Ebenen)
- lichte Breiten der Treppen in den Treppenträumen (0,90 m bis 2,40 m)
- Personenbelegung je Ebene (20 bis 100 Personen je Ebene)
- Geschosshöhen (3,60 m sowie 2,70 m und 4,50 m für Vergleichsrechnungen)

Für die verschiedenen Kombinationen von Anzahl der Ebenen, Personenbelegung je Ebene und lichter Treppenbreite wurden für eine Geschosshöhe von 3,60 m insgesamt 864 Simulationen mit jeweils 20 statistischen Läufen durchgeführt. Mit zusätzlichen Simulationen wurde der Einfluss der Geschosshöhe für die Geschosshöhen von 2,70 m und 4,50 m beispielhaft für 50 Personen je Ebene für lichte Treppenbreiten zwischen 0,90 m bis 2,40 m untersucht.

Die Geometrie des Szenarios baut auf der Geometrie von Szenario 4 auf. In jeder Ebene wurden jeweils gleiche Grundrisse mit Büroräumen und einem Schulungsraum modelliert. Die Treppe wurde als zweiläufige gegenläufige Treppe mit Wendepodest (Richtungswechsel um 180°) modelliert (siehe Abbildung 1). Zum Szenario 4 wurden Geometrieanpassungen vorgenommen. Es war sinnvoll, das Steigungsverhältnis der Treppe anzupassen. Für die Simulationen wurde nun für die Treppen ein Treppenauftritt von 27 cm sowie für die Treppensteigung 18 cm gewählt. Daraus ergibt sich bei 20 Steigungen eine Geschosshöhe von 3,60 m. Um die

unterschiedlichen Treppenbreiten abbilden zu können und gleichzeitig die Laufwege nicht zu verändern, wurde das Gebäude von innen heraus im Bereich des Treppenhauses vergrößert. Die Breite des Zugangs aus dem Schulungsraum zum Treppenraum entspricht jeweils der gewählten Treppenbreite, um hier Nebeneffekte auszuschließen. Die Breite des Zugangs aus dem Bürotrakt zum Treppenraum beträgt bei allen Variationen 0,90 m. Die Breite des Notausgangs ins Freie im Erdgeschoss entspricht der jeweils gewählten Treppenbreite.

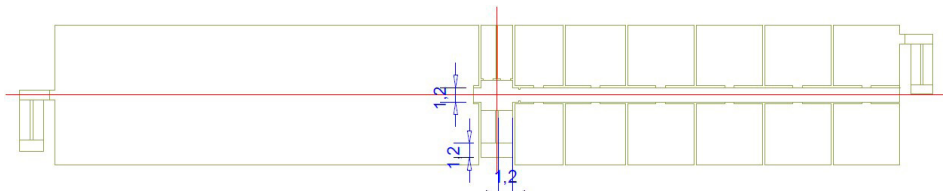


Abb.1 Grundriss einer Ebene im Treppenbereich bei 1,20 m Treppenbreite

Die in die Untersuchungen einbezogene lichte Treppenbreite von 0,90 m entspricht nicht den bauordnungsrechtlichen Anforderungen an vergleichbare Gebäude und ist im Bauordnungsrecht nur für notwendige Treppen der Gebäudeklassen 1 und 2 zulässig. Für die Untersuchungen ist diese Treppenbreite aber ein wichtiger Grenzwert und die Ergebnisse können auch zur Beurteilung von Bestandsgebäuden genutzt werden.

Die Verteilung der Personen erfolgt für Personenbelegungen mit 20, 30 und 40 Personen je Ebene gleichmäßig im Bürotrakt und im Schulungsraum. Mit Erreichen der maximalen Kapazität des Bürotrakts mit 24 Personen werden die weiteren Personen je nach Belegung dem Schulungsraum zugeordnet. Bei 100 Personen je Ebene befinden sich also 24 Personen im Bürotrakt und 76 Personen im Schulungsraum.

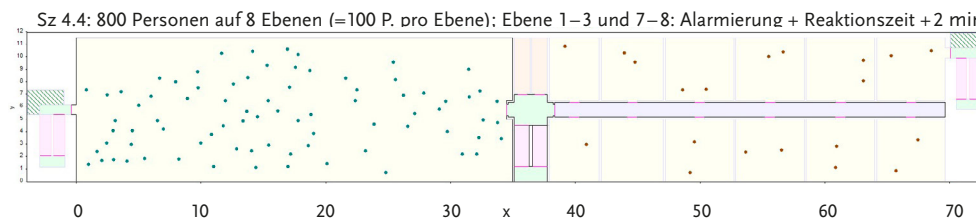


Abb. 2 Ausgangspunkt Szenario 4 – Ansicht der obersten (8.) Ebene mit 1,20 m breiten Treppen und 1,20 m breiten Podesten zwischen den Ebenen. Belegung mit 100 zufallsverteilt Personen. (ASERI)

Für die Personen wird eine Standardpopulation genutzt und bei jedem Simulationslauf zufällig in den Räumen verteilt (siehe Abbildung 2). Die Personen werden gleichzeitig alarmiert, beginnen die Flucht ohne Reaktionszeit und laufen auf den Treppen ohne Ermüdungseffekte bis ins Freie (Programmstandardverhalten).

Der Einfluss einer Entfluchtung mit Reaktionszeiten zwischen 1 und 3 min wurde im Hauptteil des Fachgutachtens [1a] im Abschnitt 4.2.5.2, der Einfluss einer sequenziellen Alarmierung im Abschnitt 4.2.5.3 dargestellt. Für andere Populationen (z. B. Kinder oder Menschen mit Behinderungen) sollte insbesondere im Übergangsbereich vom „freien Fluss“ zu Stauungen geprüft werden, ob die vorliegenden Ergebnisse übertragbar sind.

4.1 Ergebnisse für die Gesamtentfluchtungszeit

Mit den Simulationen wird für die Gesamtentfluchtungszeiten für die jeweilige Treppenbreiten bei konstanter Personenzahl je Ebene eine lineare Abhängigkeit deutlich, d. h. mit jeder zusätzlichen Ebene wächst die Gesamtentfluchtungszeit linear an (siehe Abbildung 3).

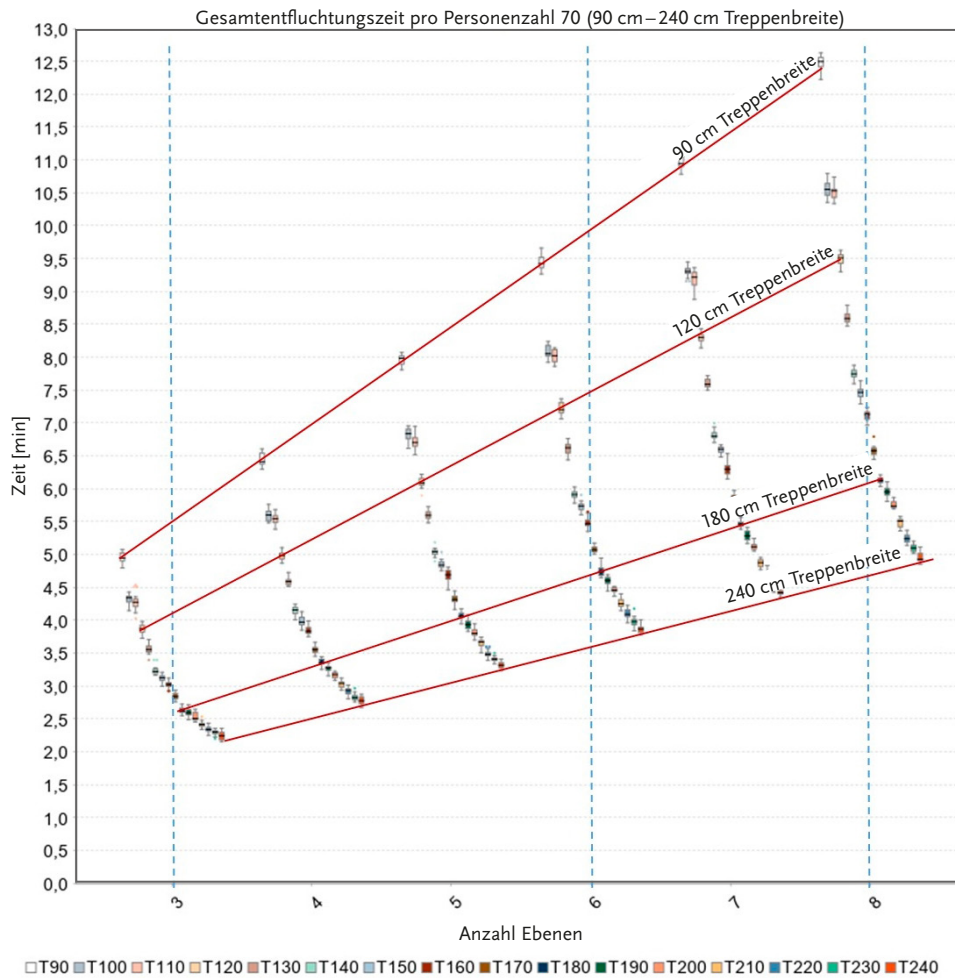


Abb. 3 Gesamtentfluchtungszeit bei Variation der Anzahl der Ebenen für 70 Personen pro Ebene. (crowd:it)

Für geringe Personenzahlen je Ebene (z. B. 20 Personen je Ebene) haben größere Treppenbreiten keine oder kaum Effekte auf die Gesamtentfluchtungszeiten (siehe Abbildung 4). Hohe Personenzahlen je Ebene und geringe (und nach den Vorschriften- und Regelwerken praktisch nicht zulässige) Treppenbreiten führen zu hohen Gesamtentfluchtungszeiten.

Für höhere Personenzahlen je Ebene führen höhere Treppenbreiten zu geringeren Gesamtentfluchtungszeiten (siehe Abbildung 4). Die Näherungskurven flachen ab, je breiter die Treppe wird. Der Sattelpunkt in den Näherungskurven bei den Treppenbreiten 1,00 m und 1,10 m ist auf die Modellierung der Körpergröße im Programm crowd:it zurückzuführen. Bis 0,90 m Treppenbreite können sich die Personen im Modell nicht überholen, ab 1,00 m geht dies unter erschwerten Bedingungen, während ab 1,20 m zwei Personen im Modell nebeneinander auf der Treppe Platz finden.

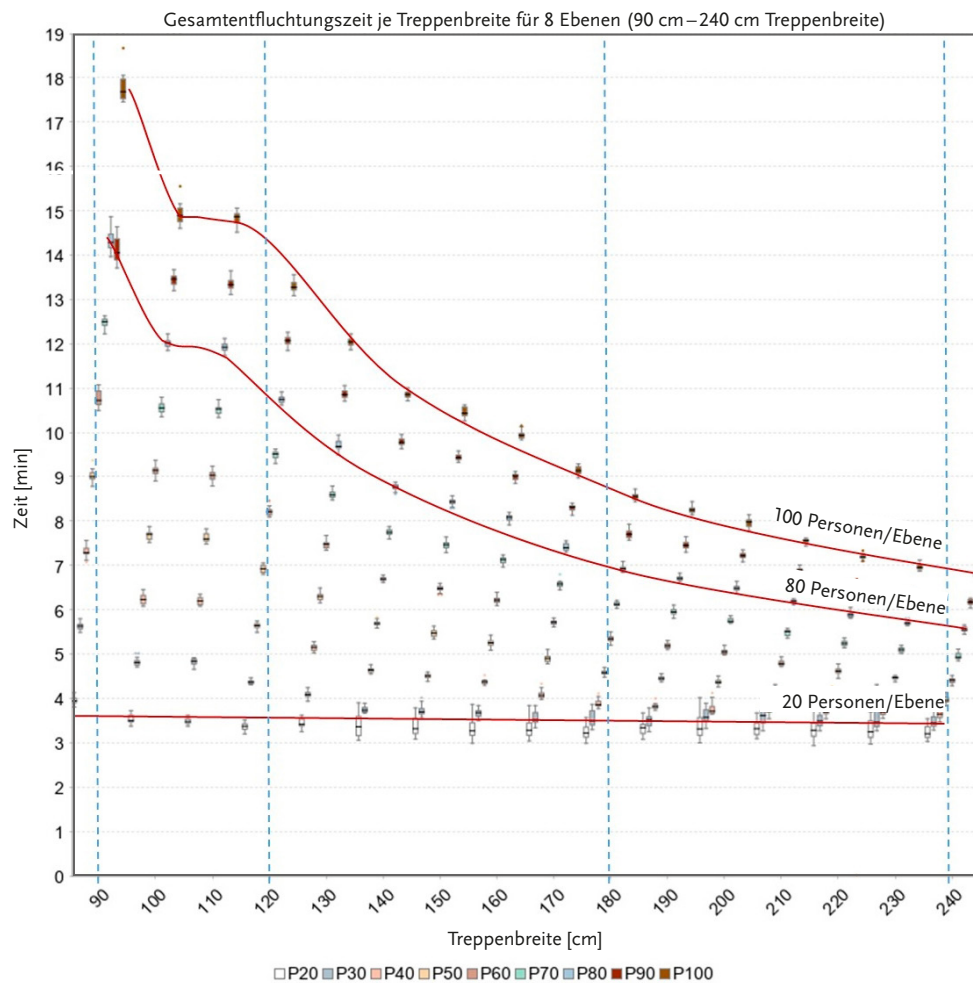


Abb. 4 Gesamtentfluchtungszeit abhängig von Personenzahl und Treppenbreite für 8 Ebenen. (crowd:it)

4.2 Entfluchtungszeiten einzelner Ebenen in Abhängigkeit von der Treppenbreite

Bei konstanter Treppenbreite sind weitgehend unabhängig von der Anzahl der Geschosse für niedrigere Personenbelegungen je Ebene (in Abbildung 5 z. B. bei 40 Personen/Ebene) die Entfluchtungszeiten je Ebene gleich – die Entfluchtungskurven für die Entfluchtungszeiten liegen übereinander. Die Entfluchtung der einzelnen Ebenen wird durch andere Ebenen nicht beeinflusst. Die Personen können beim Erreichen des Zugangs zum Treppenraum diesen ungehindert betreten.

Ab einer bestimmten Personenbelegung je Ebene (siehe z. B. Abbildung 5 ab 50 Personen/Ebene) fächern sich bei konstanter Treppenbreite die Entfluchtungskurven für die Entfluchtungszeiten je Ebene auf. Für einzelne Ebenen steigen die Entfluchtungszeiten deutlich an. Mit einer zunehmenden Anzahl der Ebenen steigen die Entfluchtungszeiten weiter an.

Der Treppenraum hat sich mit zunehmender Personenbelegung kontinuierlich bis zur Kapazitätsgrenze gefüllt und die Personen bewegen sich im Treppenraum in einem gleichmäßigen Strom. Ein Zugang aus der Ebene in den Treppenraum wird durch andere Personen im Treppenraum erschwert. Gleichzeitig ist die Geschwindigkeit des Personenstroms auf der Treppe geringer als die individuelle Gehgeschwindigkeit. Dies führt mit wachsender Personenbelegung je Ebene zu wachsenden Verzögerungen und zu Stauungen in den Ebenen.

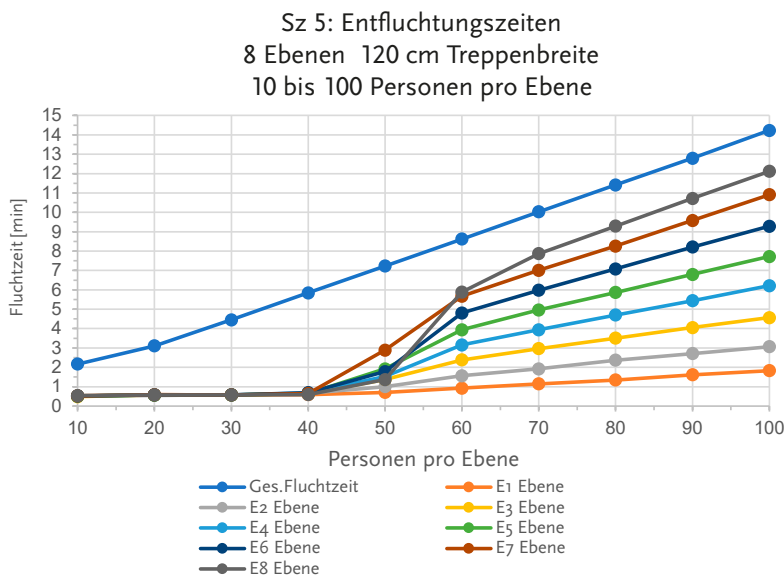
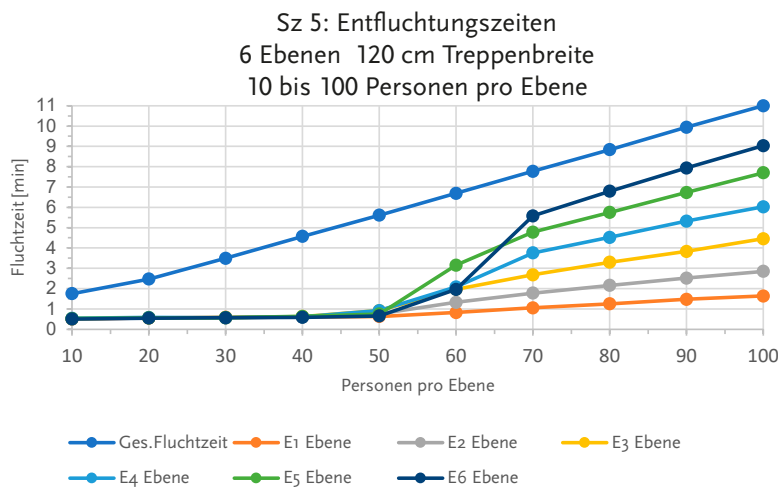
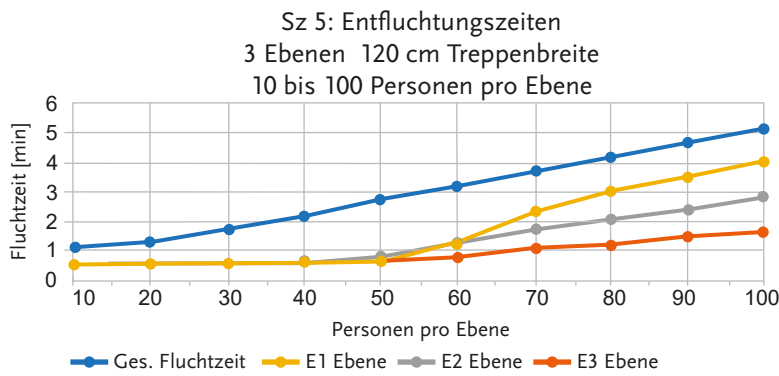


Abb. 5 Mittlere maximale Entfluchtungszeiten aus der Ebene über alle Simulationläufe für 3, 6 und 8 Ebenen bei 1,20 m Treppenbreite mit 10 bis 100 Personen pro Ebene (ASERI)

Dies bedeutet, dass ein Teil der Personen verzögert aus dem Flur in den gesicherten Bereich des Treppentraums gelangt. Dies kann grundsätzlich in engen Grenzen toleriert werden, wenn Gefahrenbereiche zügig verlassen und entsprechende Gesamtentfluchtungszeiten eingehalten werden können. Gefahren erwachsen z. B. daraus, wenn während Verzögerungen

oder Stauungen in den Ebenen die Tür zum Treppenraum geöffnet ist und hier im Falle eines Brandes Rauch in den Treppenraum eindringen kann oder Personen Gefahrenbereiche nicht rechtzeitig verlassen können.

Zur Plausibilitätsüberprüfung wurden Simulationen zusätzlich durch eine Kapazitätsanalyse mit einem mikroskopischen Modell überprüft, siehe Abschnitt A3 im Anhang 2 des Fachgutachtens [1a]. Dabei wurden entsprechend den Ingenieurmethoden des Brandschutzes verschiedene Parameter festgelegt und unterschiedliche Personendichten im Treppenraum betrachtet. Die Ergebnisse der beiden Simulationsprogramme (ASERI und crowd:it) für die Entfluchtungszeiten der Ebenen sind aufgrund unterschiedlicher Modellierungen zwar nicht identisch, ihre Wertebereiche und auch die der Kapazitätsanalyse liegen aber in einem plausiblen Bereich.

4.3 Entfluchtungszeiten aus den Ebenen in Abhängigkeit der Anzahl der Ebene

Im Abschnitt A2.4 des Anhangs 2 [1a] wird der Einfluss der Anzahl der Ebenen untersucht. Dazu werden „mittlere maximale Entfluchtungszeiten“ aus den Rechenwerten durch eine statistische Auswertung der Simulationsergebnisse ermittelt. Für jede Ebenenanzahl (3, 4...8) wurden in Kombination mit der jeweiligen Personenbelegung (10, 20...100) pro Ebene und für jede Treppenbreite 20 Simulationsläufe ausgeführt. Pro Simulationslauf gibt es eine Person, die als letzte die Ebene verlässt und für diesen Fall die maximale Entfluchtungszeit benötigt. Aus den so ermittelten 20 maximalen Entfluchtungszeiten wird dann der Mittelwert gebildet. Dieser Wert wird für alle Treppenbreiten ermittelt. Im Anschluss wird die Treppenbreite mit dem höchsten Wert nach diesem Verfahren ausgewählt und im Fachgutachten diese Zeit als „mittlere maximale Entfluchtungszeiten“ bezeichnet. Typischerweise ist dies der Wert für die geringste Treppenbreite (d. h. hier 0,90 m). In wenigen Fällen kann dies für einzelne Ebenen auch eine größere Treppenbreite sein, da die im Treppenraum befindlichen Personen dort tendenziell andere Bewegungsmuster bevorzugen. Dadurch können die Entfluchtungszeiten aus der Ebene für breitere Treppenräume auch länger ausfallen. Damit sind die Tabellen 1 und 2 unabhängig von der Treppenbreite.

Im Fachgutachten wurden die Werte farblich gekennzeichnet. Alle Werte für „mittlere maximale Entfluchtungszeiten“ kleiner 1 min sind grün, über 2 min rot und dazwischen gelb gekennzeichnet. Die Farben wurden im Fachgutachten so gewählt, da dort von den Fachgutachtern eine Entfluchtungszeit aus den Ebenen bis 1 min als insgesamt sicher eingeschätzt wurde. Der Übergangsbereich (gelb) mit Werten zwischen 1 bis 2 min trifft nur für wenige Varianten zu (siehe Tabelle 1) und ist zudem nicht bei allen Variationen vorhanden. Die Entfluchtungszeiten im roten Bereich steigen danach rasch in einem Bereich über 2 min an.

Es können deshalb klar zwei Bereiche (grün und rot) getrennt werden. Bei niedrigeren Personenbelegungen – hier bis 40 Personen je Ebene – ist die Entfluchtung für jede Ebene unabhängig von der Anzahl der Ebenen, d. h. der Zutritt zum Treppenraum ist in allen Ebenen ungehindert möglich. In allen Ebenen liegen hier die Entfluchtungszeiten im Mittel unter 1 min und entsprechen damit einem zurückgelegten Weg von maximal 35 m Fluchtweglänge und individueller Geschwindigkeit im unteren Bereich der Geschwindigkeitsverteilung (siehe Abbildung 3.1 in [1a]).

Tab. 1 Mittlere maximale Entfluchtungszeit in Minuten bei 3-5 Ebenen in Abhängigkeit von der Anzahl der Personen pro Ebene (ASERI)

Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3
3	10	0,5	0,6	0,5
3	20	0,6	0,6	0,6
3	30	0,6	0,6	0,6
3	40	0,6	0,7	0,6
3	50	0,8	1,1	1,4
3	60	1,0	1,7	2,4
3	70	1,2	2,1	2,9
3	90	1,4	2,5	3,4
3	90	1,7	2,8	3,9
3	100	1,9	3,2	4,4

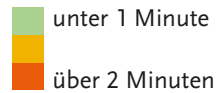
■ unter 1 Minute
■ über 2 Minuten

Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3	E4
4	10	0,5	0,6	0,6	0,5
4	20	0,6	0,6	0,6	0,6
4	30	0,6	0,6	0,6	0,6
4	40	0,6	0,7	0,7	0,6
4	50	0,7	1,3	1,6	2,0
4	60	1,0	1,7	2,5	3,2
4	70	1,2	2,1	3,0	3,9
4	90	1,4	2,5	3,6	4,6
4	90	1,6	2,8	4,2	5,3
4	100	1,8	3,2	4,7	6,0

Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3	E4	E5
5	10	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6
5	20	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5	30	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5	40	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6
5	50	0,8	1,1	1,8	2,3	2,0
5	60	1,0	1,7	2,5	3,3	4,0
5	70	1,2	2,1	3,1	4,0	4,9
5	90	1,4	2,5	3,6	4,8	5,8
5	90	1,6	2,9	4,1	5,5	6,7
5	100	1,9	3,2	4,7	6,3	7,6

Tab. 2 Mittlere maximale Entfluchtungszeit in Minuten bei 6-8 Ebenen in Abhängigkeit von der Anzahl der Personen pro Ebene (ASERI)

Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3	E4	E5	E6
6	10	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
6	20	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	30	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	40	0,6	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6
6	50	0,8	1,2	1,8	2,1	2,7	2,4
6	60	1,0	1,7	2,5	3,3	4,1	4,8
6	70	1,2	2,1	3,0	4,0	5,0	5,9
6	90	1,4	2,5	3,6	4,8	6,0	7,0
6	90	1,6	2,8	4,1	5,5	6,9	8,1
6	100	1,9	3,2	4,7	6,2	7,9	9,2



Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
7	10	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
7	20	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
7	30	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
7	40	0,6	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6
7	50	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0	3,2
7	60	1,0	1,7	2,4	3,3	4,1	5,0	5,6
7	70	1,2	2,1	3,1	4,0	5,0	6,1	6,9
7	90	1,4	2,5	3,6	4,8	6,0	7,2	8,2
7	90	1,6	2,9	4,2	5,5	7,0	8,4	9,5
7	100	1,8	3,2	4,7	6,2	7,9	9,5	10,8

Ebenen	Pers./Ebene	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
8	10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
8	20	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
8	30	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
8	40	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6
8	50	0,8	1,2	1,7	2,0	2,6	3,5	3,6	3,4
8	60	1,0	1,7	2,5	3,3	4,1	4,8	5,7	6,5
8	70	1,2	2,1	3,1	4,0	5,0	6,0	7,1	8,0
8	90	1,4	2,4	3,6	4,7	6,0	7,2	8,4	9,5
8	90	1,6	2,8	4,2	5,5	6,9	8,4	9,8	11,0
8	100	1,9	3,2	4,7	6,2	7,9	9,4	11,1	12,4

4.4 Entfluchtungszeiten aus den Ebenen in Abhängigkeit von der Treppenbreite und der Geschosshöhe bei steigender Anzahl der Ebenen

Aus den Rechenwerten der Variationen wurde der Einfluss der Treppenbreite bei einer konstanten Personenbelegung ermittelt. Beispielfhaft dargestellt wird für 3, 6 und 8 Ebenen bei einer Geschosshöhe von 3,60 m und einer Belegung mit 50 Personen je Ebene deutlich, dass die Entfluchtungskurven aller Ebenen ab einer Treppenbreite von 1,30 m übereinanderliegen

(siehe Abbildung 6). Dieser Übergangswert ist unabhängig von der Anzahl der Ebenen. Bei geringeren Treppenbreiten steigen die Entfluchtungszeiten z. T. deutlich an. Die Effekte der Verzögerungen und Stauungen sowie Erhöhung der Entfluchtungszeiten bei geringen Treppenbreiten sind mit zunehmender Anzahl der Ebenen stärker ausgeprägt.

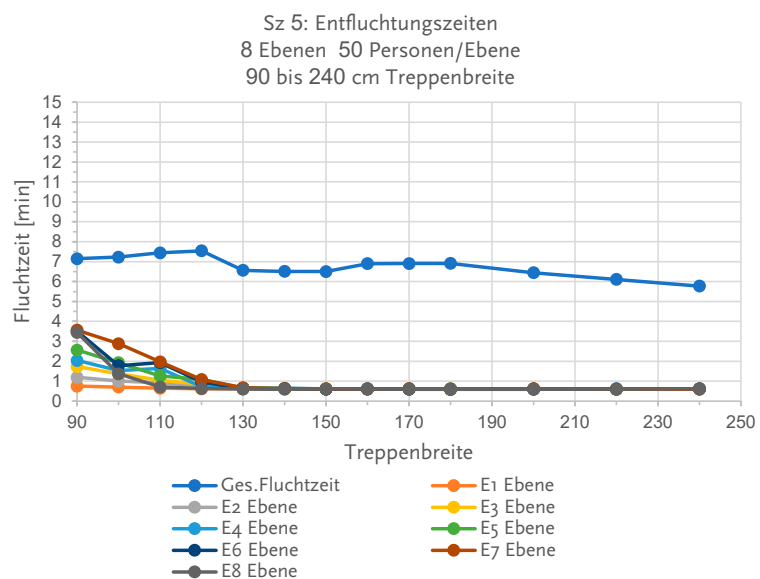
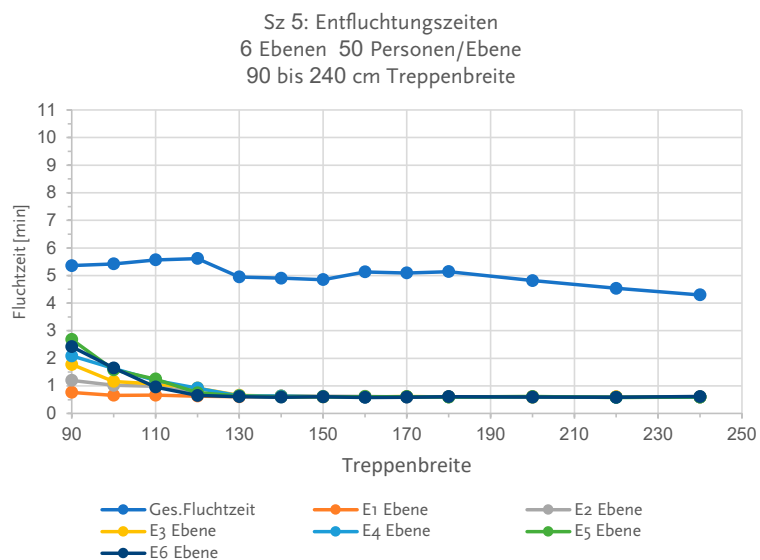
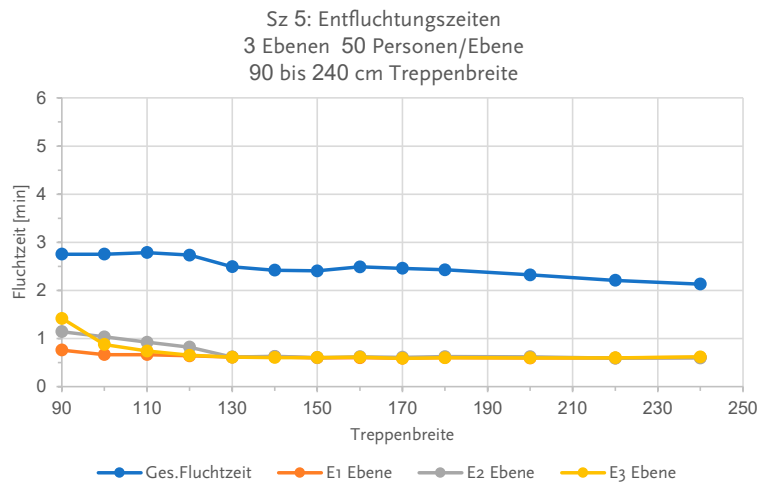


Abb. 6 Mittlere maximale Entfluchtungszeiten über alle Simulationsläufe für 3, 6 und 8 Ebenen für 50 Personen/Ebene bei Treppenbreiten von 0,90 m bis 2,40 m (ASERI)

Der Einfluss der Geschosshöhe wurde beispielhaft für Geschosshöhen von 2,70 m und 4,50 m untersucht (siehe Abbildung 7). Demnach ändert sich im Vergleich zu 3,60 m Geschosshöhe das dargestellte Muster (siehe Abbildung 6) auch dann nicht, wenn die Geschosshöhe variiert wird. Bei der Geschosshöhe von 2,70 m sind aber die Effekte der Verzögerungen und Stauungen in den Ebenen bei niedrigen Treppenbreiten viel deutlicher ausgeprägt. Die Entfluchtungszeiten aus den Ebenen sind hier deutlich höher und bauen sich erst in einem Bereich von 1,20 m zu 1,30 m Treppenbreite ab. Dies legt nahe, den in Abschnitt 4.3 für 3,60 m Geschosshöhe dargestellten „gelben“ Übergangsbereich mit angemessener Sicherheit zu bewerten.

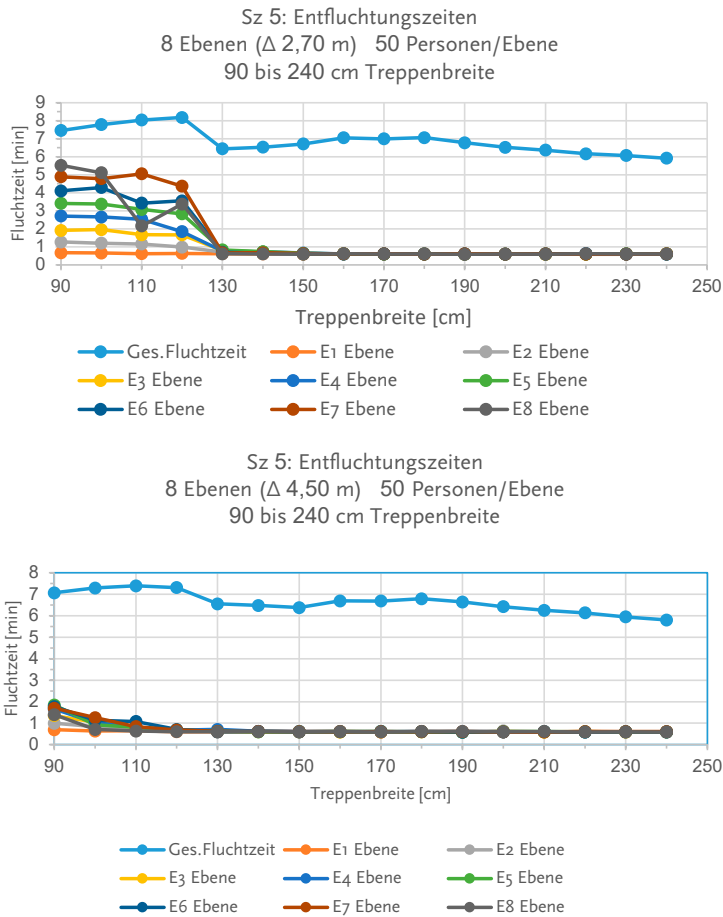


Abb. 7 Entfluchtungszeiten in Abhängigkeit der Treppenbreite bei 8 Ebenen und 50 Personen/Ebene bei veränderter Geschosshöhe (2,70 m und 4,50 m) (ASERI)

5 Ableitung von Vorschlägen für die Arbeitsstättenregel ASR A2.3

Auf Basis des Fachgutachtens wurden in der BAuA Vorschläge für die Fortschreibung der ASR A2.3 erarbeitet. Neben einer Anpassung der Tabelle 1 der ASR A2.3 (siehe Abschnitt 4.3 in [1a]) sollen hier der Praxis zusätzliche Bewertungsmöglichkeiten insbesondere für Fluchtwegbreiten in Treppenträumen von mehrgeschossigen Arbeitsstätten angeboten werden.

Ein praktischer Hintergrund ist die Kritik am sogenannten „Pyramideneffekt“ der Tabelle 1 der ASR A2.3, der bei Treppen nach unten mit einer in jedem Geschoss zunehmenden Anzahl der Personen im Einzugsgebiet einer Treppe formal zu zunehmenden lichten Treppenbreiten führen müsste. Der „Pyramideneffekt“ besteht insbesondere bei wachsender Anzahl der Geschosse, insbesondere in Hochhäusern. Die Hochhausrichtlinien im Bauordnungsrecht [11] der Bundesländer schreiben hier Mindestbreite von 1,20 m vor. Für die Bewertung von Flucht-

wegen in Treppenräumen von Hochhäusern, aber auch in anderen Bestandsgebäuden fehlten im Bereich des Arbeitsschutzrechts bislang praktikable Regelungen in der ASR A2.3.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass im vorliegenden Fachgutachten eine typische geometrische Gestaltung untersucht wurde, in der Praxis aber eine Vielzahl anderer baulicher Lösungen vorhanden sind. Umfassende Berechnungen wurden für die Geschosshöhe von 3,60 m durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Fachgutachten [1a] in Anh. 2, Tab. 6 und Anh. 2, Tab. 7 zusammengefasst dargestellt. Vergleichende Berechnungen für die Geschosshöhe 2,70 m zeigen in Bezug auf eine Ableitung von Vorschlägen für die ASR A2.3, dass die für Geschosshöhe 3,60 m ermittelten Werte für Treppenbreiten <1,30 m bei niedrigen Geschosshöhen nicht direkt anwendbar sind (siehe Abbildung 7, Verzögerungen oder Stauungen in den Ebenen ab Treppenbreiten kleiner 1,30 m).

Grundgedanke ist, zusätzlich zum Prinzip der Tabelle 1 ASR A2.3 mit akzeptierten Wartezeiten das Prinzip des „freien Flusses“ anzuwenden, bei dem bei der Entfluchtung in allen Ebenen alle Personen ungehindert Zugang zum Treppenraum haben. Das Fachgutachten zeigt, dass dieser Bereich klar abgrenzbar ist und den im Fachgutachten gemittelten Entfluchtungszeiten von 0,6 min entspricht. Die im Fachgutachten zunächst vorgenommene Skalierung grün, gelb und rot wird deshalb hier nicht weiterverfolgt.

Aus Anh. 2, Tab. 6 und Anh. 2, Tab. 7 [1a] wurden in einem ersten Schritt den Personenbelegungen je Ebene jeweils die geringste Treppenbreite für 3 und 8 Ebenen zugeordnet, ab der gemittelte Entfluchtungszeiten von 0,6 min berechnet wurden (siehe Tabelle 3). Die Werte für 3 und 8 Ebenen stimmen weitgehend überein (siehe Tabelle 3). In einem nächsten Schritt wurde ein Vorschlag abgeleitet, der das Zusammenwirken mit dem Bauordnungsrecht sowie in der Praxis übliche Maße für lichte Treppenbreiten berücksichtigt, z. B. bei 60 Personen/Ebene wurde anstatt 1,70 m das übliche Rastermaß von 1,80 m verwendet.

Tab. 3 Ableitung eines Vorschlags für Treppenbreiten für das Prinzip „freier Fluss“ in Abhängigkeit der Anzahl Personen pro Ebene

Personen/ Ebenen	Ebenen						Breite Treppe [cm] Anh. 2, Tab. 7 [1a] Aseri, Ebenenhöhe 3,60 m		
	3	4	5	6	7	8	3 Ebenen 0,6 min	8 Ebenen 0,6 min	Vorschlag „Freier Fluss“
	Anzahl insgesamt Personen nach ASR A2.3 Tabelle 1								
20	60	80	100	120	140	160	90	90	100
30	90	120	150	180	210	240	90	90	100
40	120	160	200	240	280	320	100	110	120
50	150	200	250	300	350	400	130	140	140
60	180	240	300	360	420	480	170	170	180
70	210	280	350	420	490	560	240	240	240
80	240	320	400	480	560	640			
90	270	360	450	540	630	720			
100	300	400	500	600	700	800			

Im linken Teil der Tabelle ist die Anzahl der Personen, die sich insgesamt in einem Gebäude bzw. dem Einzugsgebiet einer Treppe aufhalten, in Abhängigkeit der Personenbelegung [Personen/Ebene] und der Anzahl Ebenen dargestellt. Dabei ist der durch Tabelle 1 der ASR A2.3 erfasste Bereich mit bis zu 400 Personen im Einzugsgebiet der Treppe in Grau hinterlegt. Dies zeigt bereits, dass mit dem Vorschlag für Treppenbreiten für das Prinzip „freier Fluss“

neue Bewertungen möglich sind, die für Personenzahlen und Treppenbreiten gemäß Tabelle 1 der ASR A2.3 bislang nicht möglich waren.

Um die Unterschiede zu verdeutlichen, wurden Treppenbreiten entsprechend Tabelle 1 ASR A2.3 und für den oben abgeleiteten Vorschlag für Treppenbreiten für das Prinzip „freier Fluss“ zusammengestellt (siehe Tabelle 4). Der Ansatz „freier Fluss“ ist, wie gezeigt wurde, unabhängig von der Gesamtzahl der Ebenen. Die Unterschiede des Vorschlags für Treppenbreiten für das Prinzip „freier Fluss“ zu Tabelle 1 der ASR A2.3 ergeben sich insbesondere für eine höhere Anzahl der Ebenen, wo der „Pyramideneffekt“ bereits für 20 Personen je Ebene zu einer größeren Treppenbreite für Fluchtwege führt (siehe Tabelle 4, z. B. 1,20 m statt neu 1,00 m). Andererseits wird aber auch deutlich, dass bei Gebäuden mit 3 und 4 Ebenen bereits ab 50 Personen/Ebene die Treppenbreite nach ASR A2.3 geringer ist als die Breite nach dem Vorschlag (z. B. 1,20 m statt neu 1,80 m). Das Fachgutachten zeigt, dass es bei Anwendung der Tabelle 1 der ASR A2.3 bei hohen Personenbelegungen ab ca. 80 Personen/Ebene zu Wartezeiten in den Ebenen kommt, die in jenem Konzept aber akzeptiert werden.

Mit dem Prinzip „freier Fluss“ ergibt sich eine alternative Bewertungsmöglichkeit für höhere Gebäude mit geringeren Treppenbreiten. Bei z. B. 30 Personen/Ebene und 6 Ebenen wäre nach Tabelle 1 ASR A2.3 eine Treppenbreite von 1,80 m nötig im Vergleich zu 1,00 m nach dem Vorschlag für einen „freien Fluss“. Im Konzept der Tabelle 1 der ASR A2.3, das in der Praxis bewährt ist, werden geringe Stauungen und Wartezeiten wie bisher akzeptiert. Obwohl sich nach dem Prinzip „freier Fluss“ geringere Treppenbreiten ergeben können, ist dies keine Minderung des Schutzniveaus, da die im Vorschlag abgeleiteten Maße einen „freien Fluss“ ermöglichen, bei dem bei einer Entfluchtung alle Personen in allen Ebenen ungehindert Zugang zum Treppenraum haben.

Tab. 4 Fluchtwegbreiten nach Tabelle 1 der ASR A2.3 im Vergleich zum Vorschlag für Treppenbreiten für das Prinzip „freier Fluss“

Personen/ Ebene	Ebenen						Vorschlag „Freier Fluss“	
	3	4	5	6	7	8	Personenbelegung [Personen/ Ebene]	Treppenbreite [cm]
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
20	120	120	120	120	120	120	20	100
30	120	120	120	180	180	180	30	100
40	120	120	120	180	180	240	40	120
50	120	120	180	180	240	240	50	140
60	120	180	180	240			60	180
70	180	180	240				70	240
80	180	240	240					
90	180	240						
100	180							

Ein häufig genannter Praxisfall sind Hochhäuser, die über ein Sicherheitstreppehaus von 1,20 m lichter Treppenbreite verfügen und bei denen aufgrund der Nutzflächen eine Personenbelegung mit ca. 50 Personen je Etage möglich ist. Diese Konstellation liegt nicht im Bereich der o. g. Werte für das Prinzip des „freien Flusses“. Das Fachgutachten [1a] zeigt im Hauptteil im Abschnitt 4.2.5.3 für 1,20 m lichte Treppenbreite und 3,63 m Geschosshöhe den grundsätzlichen Einfluss einer sequenziellen Alarmierung, bei der zunächst nur die von einem Brand betroffene Etage sowie die unmittelbar darunter und darüber liegende Etage

alarmiert und entfluchtet werden. Demnach kommt den Personen dieser Etagen eine sequenzielle Alarmierung zugute, da sie rasch den Gefahrenbereich verlassen können. Zudem ist die Tür zum Treppenraum nach kurzer Zeit geschlossen und es kann z. B. kein Rauch infolge eines Brandes dort eindringen.

Für eine Geschosshöhe von 2,70 m zeigt Abbildung 8, dass bei einer sequenziellen Entfluchtung von 3 Ebenen bei einer Belegung mit 50 Personen je Ebene und bis zu einer Treppenbreite von 1,20 m innerhalb von weniger als 1 min alle Personen den Gefahrenbereich verlassen können. Insofern ist für solche Fälle, wo in Kombination aus Personenbelegung der Ebenen und Treppenbreiten bei gleichzeitiger Alarmierung ein „freier Fluss“ nicht möglich ist, eine sequenzielle Entfluchtung eine mögliche Lösung für ein sicheres Verlassen einer mehrgeschossigen Arbeitsstätte.

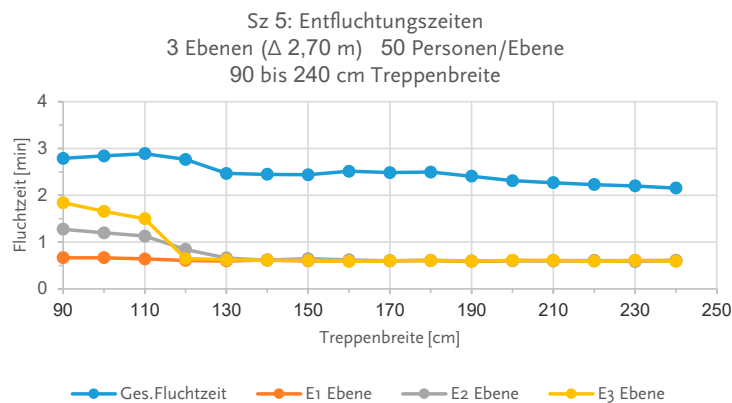


Abb. 8 Entfluchtungszeiten in Abhängigkeit der Treppenbreite bei 3 Ebenen und Ebenenabstand 2,70 m (ASERI)

6 Fazit

Auf Basis des Fachgutachtens [1a] mit den ergänzenden Untersuchungen zu Fluchtwegbreiten in Treppenträumen von mehrgeschossigen Arbeitsstätten können praxisgerechte Regelungen abgeleitet werden und als Grundlage in die Fortschreibung der ASR A2.3 einfließen.

Für eine Bemessung und Bewertung der lichten Breite von Treppen als Teil von Fluchtwegen können neben dem Kriterium „maximale Anzahl der Personen im gesamten Einzugsgebiet einer Treppe“ auch die Kriterien „sequenzielle Alarmierung“ sowie „freier Fluss“ beim Zugang zum Treppenraum in Abhängigkeit von der Personenbelegung in den Ebenen angewendet werden. Das Kriterium „freier Fluss“ kann insbesondere mit zunehmender Anzahl von Ebenen und gleichmäßiger Personenbelegung verwendet werden.

Es ist damit zu rechnen, dass mit diesen Vorschlägen nicht alle Fälle der Praxis mit verallgemeinerten Regelungen erfasst werden können. Hier bleibt auch weiterhin der Weg einer Gefährdungsbeurteilung des jeweiligen Einzelfalls, z. B. mit Ingenieurmethoden des Brandschutzes oder spezifischen Personenstromsimulationen. Auch sollte für spezifische Nutzergruppen (z. B. Kinder oder Menschen mit Behinderungen), die von der in den Simulationen genutzten Standardpopulation abweichen, jeweils geprüft werden, ob die Ergebnisse des Fachgutachtens übertragbar sind.

Neben der Funktion als Fluchtweg haben Treppen weitere Funktionen, z. B. als Verkehrsweg oder als sozialer Raum, die bei der Planung von Treppen in Arbeitsstätten ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

Literatur

- [1] BAuA, Hrsg., 2020. Fachgutachten – Fluchtwege in Arbeitsstätten – Einfluss von Breite, Treppen, Türen und Einengungen auf die Entfluchtung. 1. Aufl. Dortmund: Herausgeber
- [1a] BAuA, Hrsg., 2020. Fachgutachten – Fluchtwege in Arbeitsstätten – Einfluss von Breite, Treppen, Türen und Einengungen auf die Entfluchtung. 2. ergänzte Aufl. Dortmund: Herausgeber. Verfügbar unter: www.baua.de/fluchtwege
- [2] www.accu-rate.de/en/software-crowd-it-en
- [3] ASERI – Referenz- und Benutzerhandbuch, IST GmbH, 1993 – 2019
- [4] Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen, Version 3.0.0, 10. März 2016, https://rimeaweb.files.wordpress.com/2016/06/rimea_richtlinie_3-0-0_-_d-e.pdf
- [5] Kuligowski, E. D., et. al (2013): The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation models, Technical Note 1822, Natl. Inst. Stand. Technol., Gaithersburg, MD.
- [6] R. Könnecke, V. Schneider: Risk management at major events – Study of behavioral aspects and implementation into the ASERI microscopic evacuation model, 5th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED), Gaithersburg, MD USA, 8. – 10. März 2010
- [7] V. Schneider, R. Könnecke: Microscopic modelling of crowd movement at major events, Proceedings Interflam 2010, Fire Science & Engineering Conference, Nottingham, UK, July 2010
- [8] R. Könnecke, V. Schneider: BaSiGo: Safety of Large Scale Events - Crowd flow modeling of ingress and egress scenarios, Transportation Research Procedia Vol. 2, 2014, Seiten 501 – 506
- [9] V. Schneider, R. Könnecke: Occupants with mobility impairments and social groups in design calculations, 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire, Cambridge, UK, 28 – 30. September 2015
- [10] Predtechenskii, V.M., Milinskii, A.I., (1978). Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. Amerind Publishing, New Delhi, Translation of: Proektirovanie Zhdaniis Uchetom Organizatsii Dvizheniya Lyudskikh Potokov. Stroizdat Publishers, Moscow, 1969
- [11] Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern (Muster-Hochhaus-Richtlinie - MHHR) Fassung April 2008, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2012