

# Beurteilung der Räumung und Evakuierung von Personen aus Gebäuden

Ing. Manfred Ruhrhofer & Ing. René Schweitzer

FSE Ruhrhofer & Schweitzer OEG

A-3100 St. Pölten • Linzer Straße 16

Tel. 0 27 42 / 2 11 14 • Fax 0 27 42 / 3 19 85 • [www.fse.at.tf](http://www.fse.at.tf)

• FSE

**J**eder Mensch hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit. Dieser Grundsatz findet sich bereits im Artikel 2 der Europäischen Menschenrechtskonvention, welche in nationales Recht in Form des Bundesgesetzes BGBl. 210/1958 umgesetzt wurde. Diesen Grundsatz zu gewährleisten zählt somit zu den grundlegenden Aufgaben des Staates, zu deren Erfüllung er mit geeigneten Gesetzen verpflichtet ist. In zahlreichen Bundes- wie auch Landesgesetzen sind daher Regelungen enthalten, um die Sicherheit von Menschen auch im Gefahrenfall (z. B. bei einem Brandereignis) sicher zu stellen. Die Umsetzung dieses primären Schutzzieles erfolgt vor allem durch die einzelnen Landesbauordnungen, der Gewerbeordnung aber auch durch das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz.

Darin sind u.a. Regelungen hinsichtlich der Fluchtwege sowie allenfalls erforderlicher Alarm- und Brandschutzeinrichtungen beinhaltet. Diesen Regelungen kommt infolge des Trends im Bauwesen, Gebäude und bauliche Anlagen immer größer und höher zu bauen, vermehrt Bedeutung zu. Auch die Konzentration an Sachwerten sowie Personen, stieg in letzter Zeit immer mehr an. Wie bekannt ist, beanspruchen die Bewegungsflächen der Menschen in Gebäuden bis zu 30 % der Nettogrundrissfläche (NGF). Folglich sind die Abmessungen und Anordnungen der Verkehrswege, welche großteils auch als Fluchtwege zur Verfügung stehen können, auch aus wirtschaftlicher Sicht zu betrachten.

**Für die Beurteilung der Flucht von Personen sind 2 Begriffe wesentlich:**

## Räumung und Evakuierung

Unter **Räumung** versteht man das schnelle IN - SICHERHEIT - BRINGEN von Personen aus einem akut gefährdeten Bereich oder wenn die Gefahr noch nicht endgültig abschätzbar ist, d.h. ungeordnetes Verlassen eines Gebietes nach Aufforderung.

Unter **Evakuierung** versteht man das längerfristige Verbringen aus einem gefährdeten oder zerstörten Bereich in einen intakten Bereich mit gleichwertigen Versorgungsmöglichkeiten aufgrund einer übergeordneten Entscheidung, d.h. geordnete Verlegung von Menschen und Tieren aus einem gefährdeten Bereich (Gebiet).

Folgt man diesen beiden Definitionen, so sind für jeden dieser beiden Fälle gesonderte Maßnahmen vorzubereiten, welche jedoch aufeinander abzustimmen sind. Bei der Erstellung eines Räumungs- bzw. Evakuierungskonzeptes sind auch die Einsatzkräfte einzubinden, da diese im Einsatzfall hiervon auch betroffen sind. Untersuchungen aus Brandberichten sowie Forschungen haben gezeigt, dass Personen in Gefahrensituationen (Brand und andere Katastrophenfälle) oft hinsichtlich des Verlassens von Gefahrenstellen keine vernünftigen Entschlüsse fassen. Es kommt zu einem panikartigem Verhalten.

Panik ist eine unvernünftige Verhaltensweise von Menschen die auftritt, ansteckt und in einer Kettenreaktion abläuft. Sie wird in den meisten Fällen nicht durch wirkliche und als echt erkannte Gefahren ausgelöst, sondern häufig durch imaginäre oder tatsächliche maßlos überschätzte Gefahren. Einschränkend ist dazu zu bemerken, dass nicht jede Situation zur Panik führen muss, jedoch jede Gefahrensituation zwangsläufig eine Bewegung von Personen unter Einfluss dieser Gefahrensituation erzeugt, die als Bewegung unter Gefahrenbedingungen bezeichnet werden kann. Sie unterscheidet sich wesentlich von der normalen Bewegung.

## Räumungs- und Evakuierungsmodelle

Es gibt international verschiedene Räumungs- bzw. Evakuierungsmodelle, welche für die Beurteilung des Fluchtverhaltens von Personen verwendet werden. Mit diesen Modellen ist es u.a. möglich, die relevanten Zeitskalen im Sinne des Verhältnisses aus verfügbarer und erforderlicher Fluchtzeit (z. B. hinsichtlich Verrauchung im Brandfall) genauer zu bestimmen.

**Man unterscheidet diese Modelle im Wesentlichen in nachstehende 3 Hauptkategorien:**

1. Empirisch abgeleitete Relationen zur Kapazitätsanalyse
2. Hydraulische Modelle (Strömungsmodelle)
3. Individualmodelle

Zu 1. Bei der Kapazitätsmethode wird u. a. die Kapazität eines Notausganges sowie eines Fluchtweges (z. B. Flur) festgestellt. Dabei wird ausgegangen von der Anzahl an Personen, welche pro Zeiteinheit den Notausgang bzw. den Fluchtweg passieren können.

Diese Anzahl wird mit der effektiven Breite der Wegeinheit multipliziert. Das Produkt daraus ist der eigentliche maximal mögliche Personenstrom, welcher nun entsprechend der angegebenen Zeiteinheit den Notausgang bzw. den Fluchtweg innerhalb der Zeiteinheit passieren kann.

Diese Methode berücksichtigt jedoch in keiner Weise die komplizierten Vorgänge der Personenströme (z. B. verschmelzen von Personenströme - siehe Abb. 1) bis zum Erreichen der gesicherten Fluchtbereiche bzw. des Freien. Diese Methode wird daher zum Großteil für Abschätzungen verwendet.

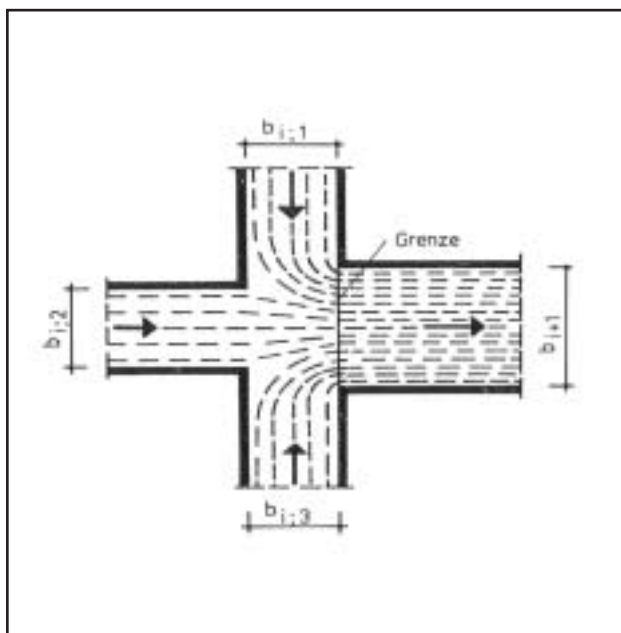


Abb.1: Verschmelzen von Personenströme

Zu 2. Bei den Strömungsmodellen handelt es sich um mathematische Berechnungsverfahren, die aufbauend auf die abgeleiteten Relationen zur Kapazitätsanalyse, erweiterte Kapazitätsanalysen bis hin zu rechnergestützten Netzwerksanalysen ermöglichen. Um sich diese Modelle besser vorstellen zu können, könnte man von einer Flüssigkeit, welche sich in einem Rohrleitungsnetz befindet, ausgehen. Die Fließgeschwindigkeit - nunmehr Fortbewegungsgeschwindigkeit genannt, hängt jedoch vor allem von der Personenstromdichte ab.



Abb. 2: Darstellung eines Individualmodelles

Zu 3. Bei den Individualmodellen, werden die einzelnen Personen, auch innerhalb der Personenströme in Form einer Ellipse (siehe Abb. 2), abgebildet. Als Parameter für die Räumung bzw. Evakuierung werden auch die körperlichen Eigenschaften (z. B. Größe, Mobilität) sowie das Verhaltensmuster der Personen angegeben.

Die Individualmodelle beschreiben die Bewegung der Personen in einer zwei- bis dreidimensionalen Geometrie. Diese Modelle zeigen sehr realistisch den Räumungs- bzw. Evakuierungsablauf, werden jedoch derzeit vor allem nur bei unterschiedlichen Personentypen sowie bei komplexen Geometrien eingesetzt. Vereinzelt gibt es bereits auch Individualmodelle, worin Auswirkungen eines Brandes z. B. durch Wärmestrahlung, Sichtweiten etc. Berücksichtigung finden (z. B. Aseri). Inwieweit diese Modelle auf wissenschaftlich abgesicherte Grundlagen basieren, wird sich erst in den nächsten Jahren zeigen.

## Reaktionszeiten

In großen Gebäuden wie Einkaufszentrum oder Versammlungsstätten, ignorieren die darin sich aufhaltenden Personen häufig den Brandalarm und fahren weiter mit ihren normalen Aktivitäten fort. Die Ursache liegt zum Teil darin, dass häufige Fehl- bzw. Täuschungsalarme vorliegen und zum anderen Teil, dass die Gefahr eines Brandes völlig unterschätzt wird. Letztlich ist das menschliche Verhalten im Gefahrenfall, mit allen seinen unterschiedlichen Facetten, ein wesentlicher Einflussparameter für die Personensicherheit. Bei sämtlichen Räumungs- und Evakuierungsmodellen ist ein großer Unsicherheitsfaktor, nämlich bis die betroffenen Menschen sich der Gefahr bewusst werden, vorhanden. Diesen Zeitraum vom Erkennen der Gefahr bis zum Beginn der Flucht nennt man Reaktionszeit.

**Auf der nachstehenden Tabelle 1 sind Reaktionszeiten abhängig von der Art des Warnsystems sowie dem „Brandschutz-Training“ nach [9] als Richtwerte angegeben:**

Warnsystem	Reaktionszeit [min]		
	gute Reaktionszeit mit Räumungs- und Evakuierungsübungen	durchschnittliche Reaktionszeit	schlechte Reaktionszeit ohne Räumungs- und Evakuierungsübungen
A 1 = Alarmsirene	< 4	7	> 10
A 2 = Alarmsirene mit auf und abschwellenden Ton	< 3	5	> 7
A 3 = Alarmsirene mit auf und abschwellenden Ton sowie einer zusätzlichen Informationsnachricht	< 2	3,5	> 5
A 4 = A 2 jedoch mit zusätzlichem optischen Informationssystem (z.B. mittels Bildschirmen)	< 1	2	> 3

Tabelle 1: Reaktionszeiten

Dies ist bei sämtlichen Räumungs- und Evakuierungsmodellen entsprechend zu berücksichtigen.

### Empfehlungen für die Praxis

Die Bewegungsgeschwindigkeit ist direkt abhängig von der Dichte der Menschenmenge der Wegart und der Intensität. Je größer die Dichte der Menschenmenge ist, umso langsamer ist die Bewegung.

Bei einer gleichzeitigen Bewegung einer Menschenmenge in einer einheitlichen Richtung entsteht ein Personenstrom. Dieser Strom hat eine Länge  $I_{Strom}$  und eine Breite  $b - 2b$  (siehe Abb. 3).

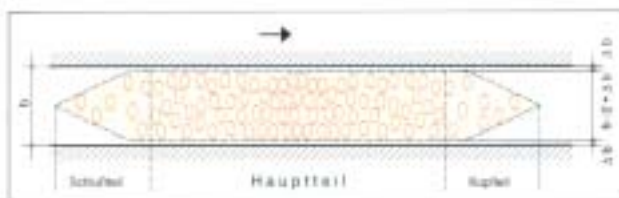


Abb. 3: Darstellung Personenstrom

Die Form dieses Stromes ist ähnlich der einer Zigarre. Am Kopf bzw. am Ende sind jedoch in Relation zu dem Mittelteil des Stromes deutlich weniger Personen. Die Größe dieses Stromes hängt von der Dichte  $D$  ab sowie der Menschenmenge  $P$  ab, die diesen Strom bilden. Unter der Dichte  $D$  versteht man das Verhältnis der Anzahl der Menschen zur Flächeneinheit des Stromes.

$$D = P/b * I_{Strom}$$

Die Dichte  $D$  wird angegeben in Personen pro Quadratmeter Verkehrsfläche  $S_{Strom}$ . Die Abmessungen der Menschen hängen stark von physischen Werten, dem Alter und der Kleidung ab. Auf der nachstehenden Tabelle 2 sind gemittelte Werte von Menschen unterschiedlichen Alters und Kleidung angegeben.

Der sich bewegende Personenstrom hat eine bestimmte Bewegungsgeschwindigkeit  $v$  und wird gekennzeichnet durch die Durchlassfähigkeit  $Q$ , das ist die Menschenmenge  $P$ , die in einer Zeiteinheit den zugehörigen Wegabschnitt durchläuft.

Die Bewegung durch Gefahrenbedingungen ist durch eine höhere Intensität gekennzeichnet. Die erhöhte Intensität des Prozesses beruht zum größten Teil auf der nervlichen Erregung der Menschen und ihrem Bestreben, möglichst schnell der Gefahr zu entfliehen.

Infolge dessen vergrößert sich die Bewegungsgeschwindigkeit und die ursprüngliche Planmäßigkeit der Bewegung (Bewegung unter normalen Bedingungen) wird durch die Versuche des Menschen, die vor ihnen gehenden Menschen zu überholen, gestört. Das stört auch die Stabilität des Stromes, verursacht die Bildung stark verdichteter Abschnitte auf dem Wege. Mit zunehmender Entfernung des Stromes vom Gefahrenort verringert sich das Bewegungstempo stufenweise und nähert sich der normalen Bewegungsgeschwindigkeit, an dem Ort bzw. in dem Augenblick, wo die Gefährdung nicht mehr wahrgenommen wird.

Alter, Bekleidung und Gepäck der Person	Fläche m <sup>2</sup>
Kind	0,04 ... 0,06
Jugendlicher	0,06 ... 0,09
Erwachsener	
in Sommerkleidung bzw. Hausbekleidung	0,100
in Übergangsstraßenkleidung	0,113
in Winterstraßenkleidung	0,125
Erwachsener in Übergangsstraßenkleidung	
mit leichtem Gepäck (z. B. Aktentasche)	0,180
mit einem Koffer	0,240
mit Rucksack	0,260
mit schwerem Gepäck (z. B. zwei Koffer)	0,390
mit einem Kind an der Hand	0,200
mit einem Kind auf dem Arm	0,260
mit einem Kind an der Hand (einschl. Gepäck)	0,320

Tabelle 2: Zusammenstellung der unterschiedlich beanspruchten Flächen

### Bewegung durch Öffnungen bzw. Engstellen

Bei der Bewegung eines Personenstromes durch eine Öffnung oder eine Engstelle kommt es sehr oft zu einer erhöhten Dichte  $D$  eines Personenstromes  $P$  (siehe Abb. 4 und 5).

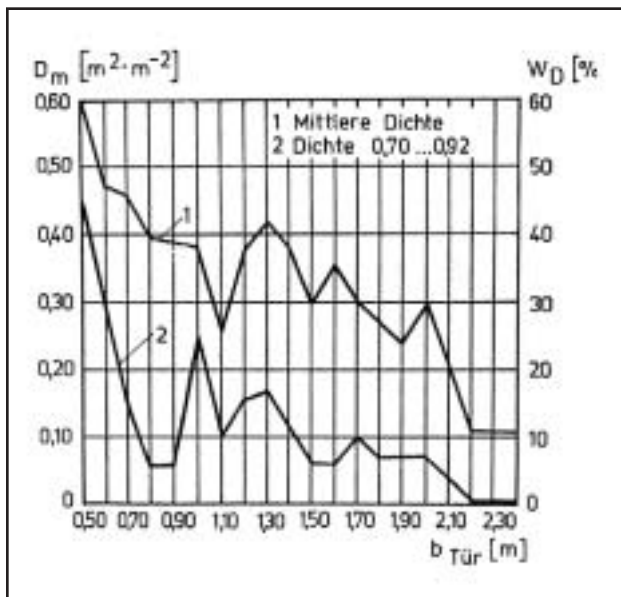


Abb. 4: Auftretenswahrscheinlichkeit mittlerer und hoher Dichten des Stromes in Türen verschiedener Breiten

Weiters wurde festgestellt, in diesem Zusammenhang, dass die mittlere Dichte mit zunehmender Türbreite abnimmt und mit abnehmender Türbreite zunimmt. In einer Gefahrensituation kann es sehr rasch, wenn sich die Personenstromdichte in und unmittelbar vor der Öffnung den Maximalwert von  $D_{max}$  0,92 nähert, zu einer Stauung vor der Öffnung bzw. Engstelle kommen. Sofern keine Gefahrenmomente vorliegen, stellt dies noch kein Problem dar. Gefährlich ist dies jedoch sehr wohl, wenn Menschen rasch flüchten wollen. Dann nämlich nimmt das Durchlassvermögen der Öffnung bzw. der Engstelle ab und es entsteht ein Menschenpfropfen um die Öffnung bzw. Engstelle (siehe Abb. 5). Die Erfahrung von Schadensfällen zeigt, dass vor allem bei diesen Stellen Unfallhäufigkeitspunkte liegen. Erkenntnisse von Dr. Ing. Müller (3) haben u. a. gezeigt, dass zur Ableitung von Personen außerhalb von Bauwerken nach den Ausgängen ins Freie Abstrom-

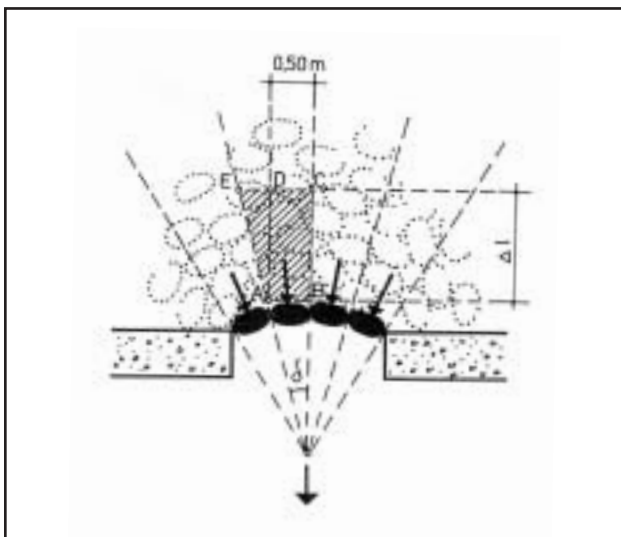


Abb. 5: Schema der Bogenbildung bei einer Öffnung

sektoren anzulegen sind. Oftmals in der Praxis vorzufindende Freiflächen, in Rechteckform, entsprechen nicht der Realität. Erfahrungen zeigen, dass sich im Gefahrenfall Personen nach Verlassen eines Brandobjektes von diesem entfernen und erst nach sicherem Abstand ihre Bewegungsgeschwindigkeit auf ein Minimum reduzieren bzw. stehen bleiben (eine Entfernung von 15 bis 20 m von Ausgängen aus Gebäuden sollte angesetzt werden). In dieser Entfernung sollten erst Stauplächen vorgesehen werden.

## Zusammenfassung

Aufgrund der angeführten Berechnungen kann neben der Räumungs- bzw. Evakuierungszeit ermittelt werden, welche Stellen für eine Verzögerung des Bewegungsablaufes verantwortlich sind bzw. wo die festgesetzten Grenzdichten überschritten werden. Gewöhnlich werden diejenigen Wegabschnitte verbreitert, auf denen die Bewegungsgeschwindigkeiten des Personenstromes niedrig sind und deren Verbreiterung zu keiner wesentlichen Erhöhung der Kosten für das Gebäude führt. Andernfalls wäre es jedoch auch denkbar und sinnvoll, sofern die Analyse der Berechnung dies ergibt, die Verminderung von Breiten etc. zuzulassen. Bereits bei der Projektierung von Gebäuden und baulichen Anlagen ist den Fluchtwegen gesondert Bedeutung zukommen zu lassen. Die Gestaltung rein nach den gesetzlichen Vorgaben ist bei großen und komplexen Bauwerken, in welchen sich größere Menschenansammlungen aufhalten, nicht zielführend, da diese für Regelfälle ausgelegt wurden.

## Literaturverzeichnis

- [1] „Erarbeiten Sie Konzepte zur Warnung, Personenrettung und Evakuierung für Gebäude mit großen Menschenansammlungen, insbesondere Verwaltungs- und Laborgebäude“ Abschnittsarbeit von René Pulst - Flughafenfeuerwehr Frankfurt am Main vom 30. 04. 1999
- [2] „Anwendung von Simulationen bei der brandschutztechnischen Prüfung im Baugenehmigungsverfahren“ von DI Klaus Jürgen Czech - Baurecht & Brandschutz-Symposium 12. 02. 1998, Frankfurt am Main
- [3] „Evakuierung von Personen aus Gebäuden“ Brandschutz 1/98, Verlag Kohlhammer von Dr. Ing. Klaus Müller - Brandschutz- und Katastrophenschutzschule Heyrothsberge
- [4] „Personenströme in Gebäuden; Berechnungsmethoden für die Projektierung“ von W. M. Predtetschenski und A. J. Milinski, Staatsverlag der DDR; 1. Auflage 1971
- [5] „Die Berechnung der Personenströme als Grundlage für die Bemessung von Gehwegen in Gebäuden und um Gebäude“ Dissertation TU Wien 1984 von Arch. DI Dr. Ezel Kendik
- [6] „Sinnvolle Evakuierung?“ von Uwe Friedrich und Matthias Pfaff - Brandschutz 6/98, Verlag Kohlhammer
- [7] „Modelle für die Flucht und Rettung von Personen“ von Dr. Ing. Volker Schneider beim 9. Internationalen Brandschutz-Symposium - München 25. und 26. Mai 2001 der VFDB
- [8] „Verhalten von Personen bei Evakuierung“ von Guylène Proulx beim 9. Internationalen Brandschutz-Symposium - München 25. und 26. Mai 2001 der VFDB
- [9] FEG, Fire Engineering Guidelines, Fire Code Reform Centre, Sidney, Australien 1996. ▶