

## INTERNATIONALER VERGLEICH DER BEMESSUNG VON RETTUNGSWEGEN IN VERSAMMLUNGSSTÄTTEN

Burkhard Forell

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln

### EINLEITUNG

Gefahrensituationen in Versammlungsstätten führen immer wieder zu teilweise hohen Opferzahlen. Aufgrund hoher Personendichten und zusätzlicher Faktoren waren Diskotheken und ähnliche Vergnügungsstätten in der Vergangenheit besonders betroffen [1]. Die Vulnerabilität einer Versammlungsstätte bei Gefahrensituationen wie Bränden hängt wesentlich von der benötigten Zeit für die Selbstrettung ab. Allgemein akzeptierte Richtwerte für Räumungszeiten oder Rettungswegbreiten pro Person existieren nicht. Stattdessen hat jedes Land eigene Erfahrungen mit dem Betrieb von Vergnügungsstätten einschließlich aufgetretener (Brand-)Ereignisse, die sich in den Regelwerken in unterschiedlich hohen Anforderungen an die Rettungswegbemessung niederschlagen.

In Tabelle 1 werden die in diesen Vergleich einbezogenen Länder, Länderkürzel und jeweiligen Regelwerke genannt.

Die Räumungszeit besteht aus der Reaktionszeit der Personen und der Fluchtzeit für den Bewegungsvorgang

$$t_{\text{Reaktion}} + t_{\text{Flucht}} = t_{\text{Räumung}} \quad (1)$$

Die Reaktionszeit schließt je nach Szenario ebenfalls die Branderkennungs- und Alarmierungszeit mit ein und hängt von vielen Kriterien ab, die nicht durch die Bauordnungen und Regelwerke abgedeckt sind. Deshalb werden im Folgenden zunächst nur die Fluchtzeiten unterschiedlicher Länder verglichen, die sich als Funktion der Bemessung der Rettungswege – insbesondere der verfügbaren Rettungswegbreite in Bezug auf die darauf angewiesene Personenzahl – darstellen lassen. Danach werden zusätzliche Anforderungen an die Bemessung von Rettungswegen verglichen. Anforderungen an anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen sind im Anhang aufgeführt.

### UNTERSUCHUNGSANSATZ

Als Referenzversammlungsstätte wird ein ebenerdiger Versammlungsraum mit Stehplätzen bei homogener Personendichte betrachtet. Die Ausgangstüren sind die relevanten Engpässe im Rettungsweg. Die Fluchtzeit  $t_{\text{Flucht}}$  bis in den sicheren Bereich besteht aus der Laufzeit und der Stauzeit. Für die letzte den Raum verlassende Person entspricht die Fluchtzeit der Durchströmzeit der Tür (Bild 1).

Tabelle 1 Betrachtete Länder, Länderkürzel und jeweilige Regelwerke

Land	Abk.	Verwendetes Gesetz/Regelwerk
Österreich/Wien	Aut	Gesetz betreffend Lage, Beschaffenheit, Einrichtung und Betrieb von Veranstaltungsstätten (Wiener Veranstaltungsstättengesetz) (1999)
England, Wales	GBr	Building Regulations 2000, Approved Document B - Fire safety (Ed. 2006, amended 2007)
Deutschland	Deu	Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (MVStättV), Juni 2005
Italien	Ita	Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo, Decreto Ministeriale. 19.08.1996
Luxemburg	Lux	Prescriptions de sécurité incendie Dispositions générales "Bâtiments moyens", ITM-SST 1502.1, Februar 2009 Dispositions Spécifiques "Salles de Spectacles", ITM-SST 1507.1, Februar 2009
Schweden	Swe	Regelsamling för byggande - Boverkets byggregler (BBR). BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. 2011:26, Oktober 2011
Schweiz	CHe	Brandschutzrichtlinie Flucht- und Rettungswege, VKF, AEAI, 10.10.2008
USA	USA	NFPA 101 Life Safety Code, 2009

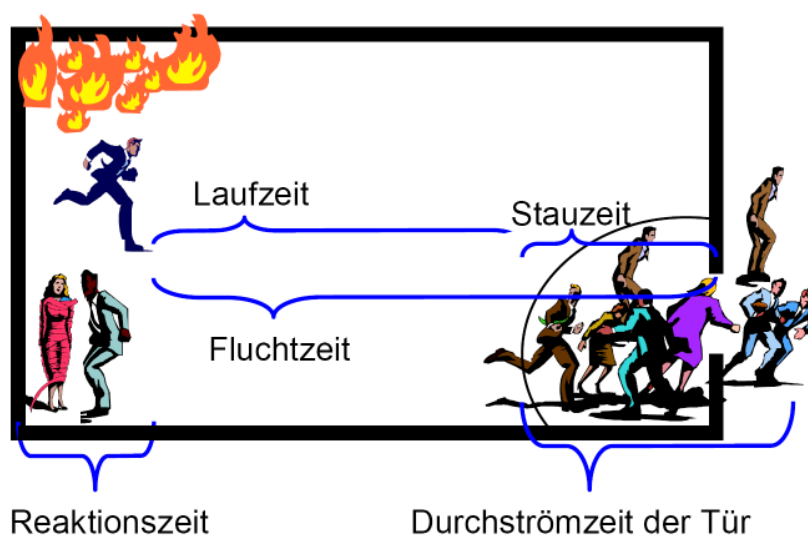


Bild 1 Räumungsvorgang schematisch

Die Fluchtzeiten ergeben sich aus den Anforderungen in den jeweiligen Regelwerken. Sie hängen ab von

- der Mindestanzahl der Ausgangstüren,  $n$ ,
- der Mindestbreite der Türen,  $w_{\min}$ ,
- der Bemessungspersonenanzahl,  $N$  und
- dem Anstieg der Rettungswegbreite pro Person.

Für eine gegebene Raumgröße ist die Mindestbreite des Rettungsweges  $w_{\text{tot}}$  durch die

- Mindestanzahl und die Mindestbreite der Ausgangstüren bzw. des Rettungsweges oder
- durch die Bemessungspersonenzahl mal der Rettungswegbreite pro Person bestimmt.

Für kleine Versammlungsräume ist in der Regel das erste Kriterium relevant für die Bemessung, während für größere Räume das zweite Kriterium die Auslegung entscheidet. Deshalb hängt die Fluchtzeit  $t_{\text{Flucht}}$  aus einem Versammlungsraum von der Raumgröße  $A$  ab

$$t_{\text{Flucht}}(A) = N(A) / \sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i(w) \quad (2)$$

wobei  $F_i$  der spezifische Fluss des Personenstroms durch eine Ausgangstür  $i$  ist, der von der Türbreite  $w_i$  abhängt.

## PERSONENSTRÖME DURCH ENGSTELLEN

Zum Verhalten von Personenströmen durch Engstellen und die dabei vorliegenden Flüsse  $f$  [p/s] bzw. spezifischen Flüssen  $F$  [p/(s m)] sind bereits seit Jahren Arbeiten veröffentlicht worden, z. B. [2] bis [7]. Im Rahmen dieses Vergleichs wird von einem einfachen Ansatz ausgegangen, der die empirischen Erkenntnisse berücksichtigt, dass

- ab einer bestimmten Breite von Ausgängen und Rettungswegen der spezifische Fluss  $F$  praktisch unabhängig von der Wegbreite  $w$  ist [2], [6] sowie
- für schmale Ausgangsbreiten das Auftreten von dynamischen Bogenbildungen und Verstopfungen verstärkt beobachtet wird und dadurch der spezifische Fluss  $F(w)$  im zeitlichen Durchschnitt reduziert wird [2] bis [5].

Aus diesem Grund wird für größere Räume in der deutschen Versammlungsstättenverordnung unter Bezug auf die Europäische Norm für Zuschauertribünen [8] eine Mindestbreite der Ausgänge von  $w_{\min} = 1,20$  m gefordert. Dieser

Wert wurde ebenfalls in den Arbeiten von Peschl [3] und Müller [5] vorgeschlagen, um Bogenbildungen und Verstopfungen an den Türen zu vermeiden. In der DIN EN 13200 [8] sowie der Begründung der Versammlungsstättenverordnung [9] wird für Türen mit  $w \geq 1,20$  m von einem spezifischen Fluss von

$$F_{w \geq 1,20 \text{ m}} = 1,39 \text{ p}/(\text{s} \cdot \text{m}) \quad (3)$$

ausgegangen, der hier übernommen wird (Bild 2).

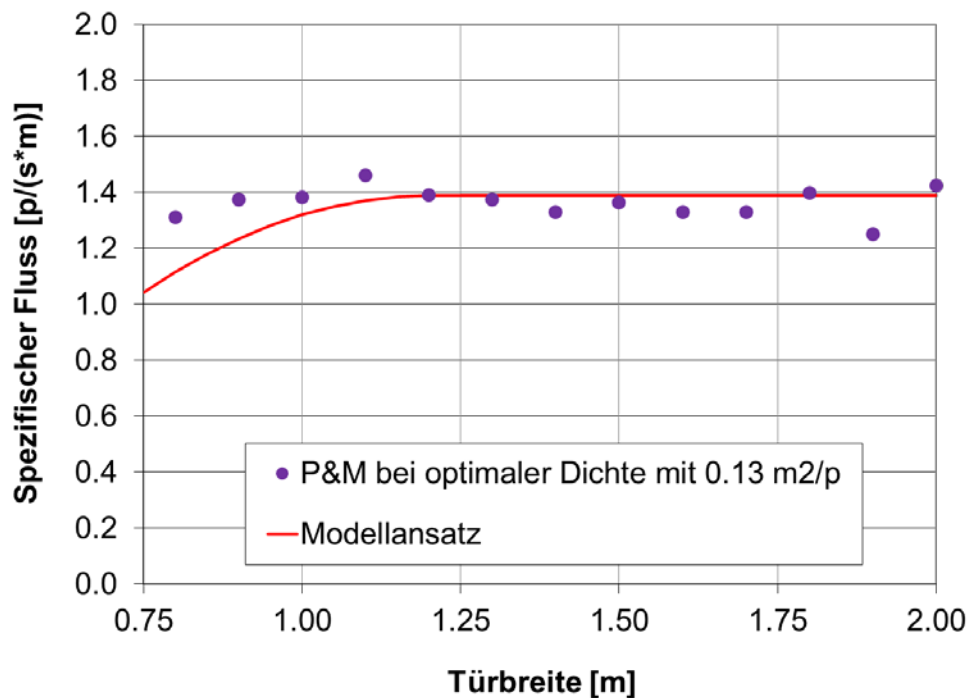


Bild 2 Gewählter spezifischer Fluss  $F$  in Abhängigkeit der Ausgangsbreite  $w$  im Vergleich mit den Daten von Predtetschenski und Milinski [2] bei optimalem Fluss (Projektionsfläche  $0,13 \text{ m}^2/\text{p}$ )

Für Türbreiten zwischen  $0,75 \text{ m} < w < 1,20 \text{ m}$  wird in dieser Arbeit ein empirischer Zusammenhang verwendet, der in Bild 2 im Vergleich zu den Daten von Predtetschenski und Milinski [2] für das Maximum des Flusses dargestellt ist. Zur Berücksichtigung der in den Daten von Predtetschenski und Milinski nicht erfassten Bogenbildung und Verstopfung [3], [5] wurde der Fluss  $F$  bei Türbreiten  $w < 1,20 \text{ m}$  gegenüber den Daten [2] deutlicher reduziert. Die Korrelation lautet

$$F_{0,75 \text{ m} < w < 1,20 \text{ m}} = -1,715 w^2 + 4,115 w - 1,080 \quad [\text{p}/(\text{s} \cdot \text{m})] \quad (4)$$

## VERGLEICH DER BEMESSUNGSPARAMETER

### Mindestbreite der Ausgangstüren

In Tabelle 2 sind die Mindestbreite  $w_{\min}$  der Ausgangstüren sowie die dabei maximal erlaubte Besucherzahl  $N$  dargestellt. Die geringen Türbreiten  $w < 1,20$  m, für die die mit Gl. (4) bestimmten spezifischen Flüsse eingesetzt werden, kommen nur für relativ kleine Versammlungsräume zur Anwendung.

Tabelle 2 Mindesttürbreite  $w_{\min}$  in Abhängigkeit der Besucherzahl bzw. Raumgröße

Land	Mindesttürbreite	erlaubt bis
Österreich/Wien	1,00 m	120 Personen
England, Wales	0,75 m	60 Personen
Deutschland	0,90 m	100 m <sup>2</sup>
Italien	0,90 m	100 Personen
Luxemburg	0,90 m	90 Personen
Schweden	0,80 m	150 Personen
Schweiz	0,90 m	200 Personen
USA	0,81 m	162 Personen

### Bemessungspersonendichten für Vergnügungsstätten

Die Bemessungspersonenzahl ist jeweils das Produkt aus Versammlungsraumfläche  $A$  mal Bemessungspersonendichte. In Tabelle 3 sind die Personendichten für den Anwendungsfall „Vergnügungsstätten“ dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Streuung zwischen 1,2 und 4,0 p/m<sup>2</sup>.

### Erforderliche Rettungswegbreite pro Person

In einigen Ländern wird ein diskreter Anstieg der Rettungswegbreiten in Schritten von 0,60 m (Deutschland, Italien, Schweiz) oder 0,40 m (Österreich/Wien) gefordert. Der diskrete Ansatz soll dabei die Formierung von Spuren berücksichtigen (Tabelle 4).

Die angelsächsischen Länder haben sich vom diskreten Ansatz verabschiedet und verwenden – wie Luxemburg und Schweden – einen kontinuierlichen Anstieg der Rettungswegbreiten (vgl. z. B. Bild 2 zur Empirie der Fragestellung). Der resultierende Anstieg pro Person liegt zwischen 0,5 cm und 1,0 cm, wobei dieser Wert in Bezug zur Bemessungspersonendichte (Tabelle 3) zu sehen ist. Besonders hervorzuheben sind der Wiener und Luxemburger Ansatz, bei denen für die ersten 300 Personen ein breiterer Rettungsweg erforderlich wird als für über 300 hinausgehende Personen.

Tabelle 3 Bemessungspersonendichte für Vergnügungsstätten

Land	Dichte	Anwendungsbereich
Österreich/Wien	3,00 p/m <sup>2</sup>	Versammlungs- und Vergnügungsstätten mit ebenen Stehplatzbereichen
England, Wales	2,00 p/m <sup>2</sup>	Vergnügungsstätten, Hallen
Deutschland	2,00 p/m <sup>2</sup>	Versammlungs- und Vergnügungsstätten mit ebenen Stehplatzbereichen
Italien	1,20 p/m <sup>2</sup>	Ballsäle, Diskotheken
Luxemburg	3,00 p/m <sup>2</sup>	Diskotheken, Ballsäle, Mehrzweck-Versammlungsräume
Schweden	2,50 p/m <sup>2</sup>	Tanzräume, Vergnügungsstätten für Stehende und Sitzende
Schweiz	4,00 p/m <sup>2</sup>	Diskotheken, Popkonzerte ohne Bestuhlung
USA	2,71 p/m <sup>2</sup> 1,54 p/m <sup>2</sup>	Versammlungsräume bis 929 m <sup>2</sup> hohe Ausnutzung ohne Bestuhlung

Tabelle 4 Erforderliche Rettungswegbreite pro Person bei kontinuierlichem (k) oder diskretem (d) Anstieg

Land	Ansatz	Wegbreite pro Person	k/d
Österreich/Wien	fixe Werte 0,40 m / 60 p	bis 0,78 cm bis 300 P. 0,67 cm ab 300 P.	d, 0,4 m
England, Wales	0,005 m / 1 p	0,50 cm ab 220 P.	k
Deutschland	0,60 m / 100 p	0,60 cm	d
Italien	0,60 m / 50 p	0,60 cm	d
Luxemburg	0,0100 m / 1 p 0,0075 m / 1 p	1,00 cm bis 300 P. 0,75 cm ab 300 P.	k
Schweden	0,0067 m / 1 p	0,67 cm	k
Schweiz	0,60 m / 100 p	0,60 cm	d
USA	0,005 m / 1 p	0,50 cm	k

## ERGEBNISSE

### Ausgangsbreite in Abhängigkeit der Fläche eines Versammlungsraums

Die aufsummierte Rettungswegbreite  $w_{\text{tot}}$  aller Ausgänge als Funktion der Fläche  $A$  von Vergnügungsstätten ist in Bild 3 dargestellt. Für große Räume führt ein kontinuierlicher (k) Ansatz zu einem linearen Anstieg und ein diskreter (d) Ansatz zu einem stufenförmigen Anstieg von  $w_{\text{tot}}$ . Die erforderlichen Breiten zeigen für die verschiedenen betrachteten Länder eine deutliche Streuung von etwa einem Faktor drei auf. Für große Räume werden die breitesten Rettungswege in den Ländern Luxemburg und der Schweiz erforderlich.

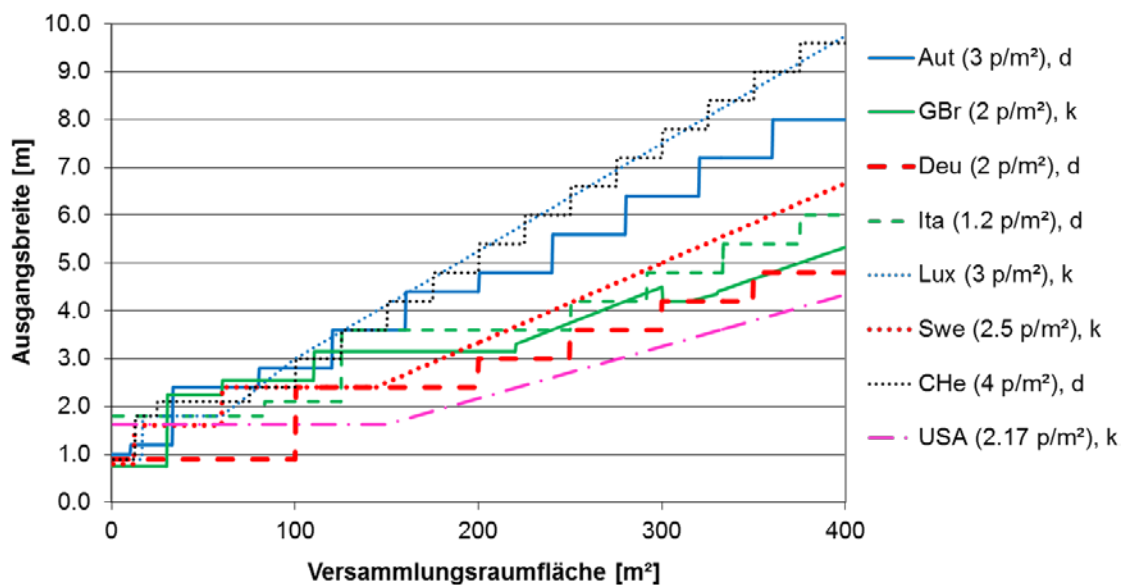


Bild 3 Gesamtrittungswegbreite  $w_{\text{tot}}$  in Abhängigkeit der Fläche  $A$  eines Versammlungsraums

### Fluchtzeiten aus Vergnügungsstätten bei Bemessungspersonendichte

Aus den zur Verfügung stehenden Rettungswegbreiten, dem anzusetzenden Fluss und der Bemessungspersonendichte lassen sich auslegungsgemäße Fluchtzeiten  $t_{\text{Flucht}}$  bestimmen, die von der Fläche  $A$  des Versammlungsraumes abhängen. Bei mehr als einem Rettungsweg wurde von einer optimalen Verteilung der Personen auf die Rettungswege ausgegangen. Der Verlauf der Fluchtzeiten  $t_{\text{Flucht}}$  ist in Bild 4 dargestellt.

Es lässt sich jeweils ein für kleine Räume geltender Bereich erkennen, für den die Fluchtzeit durch die Mindestanzahl der Ausgänge und die Mindesttürbreite bestimmt wird. Für große Räume wird die auslegungsgemäße Fluchtzeit durch die erforderliche Rettungswegbreite pro Person (Tabelle 4) unter Berücksichtigung der Bemessungspersonendichte (Tabelle 3) bestimmt. Mit Ausnahme von Deutschland (3 min) und den USA (2,9 min) sind die maximalen Fluchtzeiten aus kleinen Räumen kürzer als aus großen Räumen. Der Verlauf für die

### 3.5

USA stellt auch das Maximum der auslegungsgemäßen Fluchtzeiten im Ländervergleich dar, während in den übrigen Ländern Fluchtzeiten bis zu zwei Minuten erreicht werden. Die Streuung zwischen auslegungsgemäßen Fluchtzeiten aus Versammlungsräumen der gleichen Fläche liegt bei 300 %.

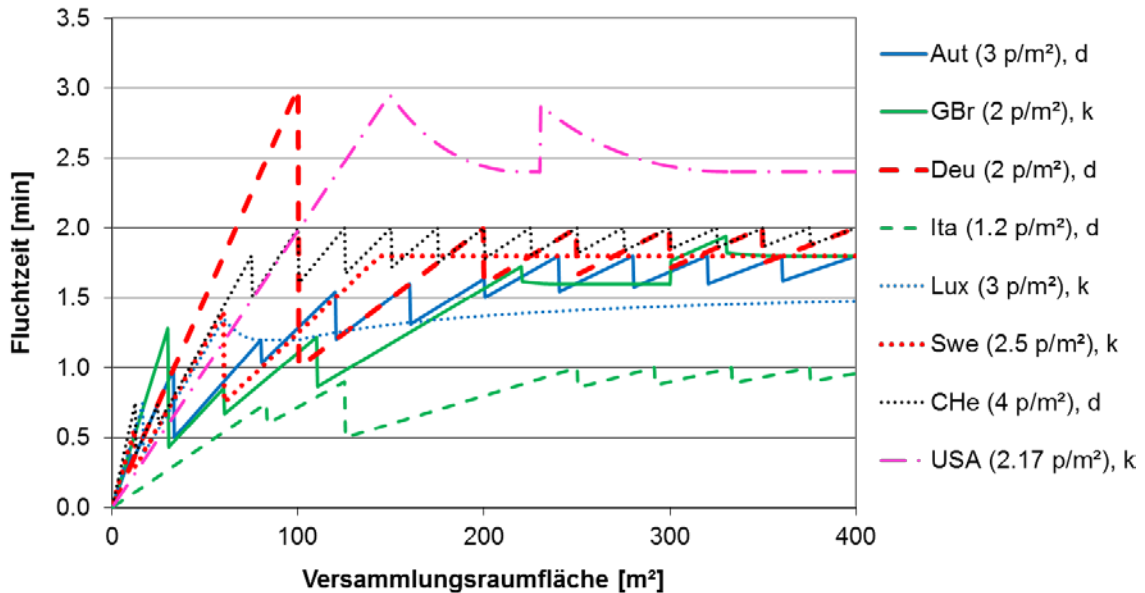


Bild 4 Fluchtzeiten  $t_{\text{Flucht}}$  als Funktion der Versammlungsraumfläche  $A$  bei Bemessungspersonendichte

Fluchtzeiten aus Vergnügungsstätten bei einer einheitlichen Personendichte von vier Personen pro Quadratmeter

Die Fluchtzeiten aus Versammlungsräumen werden deutlich von den unterschiedlichen Bemessungspersonendichten (Bild 5) beeinflusst. Wenn allerdings davon ausgegangen wird, dass die Bereitschaft bzw. das Verhalten von Besuchern, sich in Vergnügungsstätten zu bestimmten Personendichten zu formieren, in den betrachteten Ländern gleich ist, kann von einer einheitlichen realen Personendichte in Vergnügungsstätten ausgegangen werden.



Bild 5a-c Veranschaulichte Personendichten von (a)  $2 \text{ p/m}^2$  und (b)  $4 \text{ p/m}^2$  verglichen mit (c) einer typischen Situation in einer gut besuchten Vergnügungsstätte



Der Bemessungswert von  $2 \text{ p/m}^2$  (Bild 5a) wird für gut besuchte Vergnügungsstätten als zu gering angesehen (Bild 5c); stattdessen wird der auch in der Schweiz verwendete Wert von  $4 \text{ p/m}^2$  (Bild 5b) für realitätsnäher gehalten.

Die sich bei einer einheitlichen Dichte von  $4 \text{ p/m}^2$  ergebenden Fluchtzeiten  $t_{\text{Flucht}}$  als Funktion der Fläche einer Vergnügungsstätte sind in Bild 6 dargestellt. Mit Ausnahme der Schweiz ergibt sich für alle betrachteten Länder ein Anstieg der Fluchtzeit unter realitätsnahen Bedingungen.

Durch die erhöhten Personendichten erreichen die realitätsnahen Fluchtzeiten Spitzen oberhalb von fünf Minuten (Deutschland, USA). In anderen Ländern (Österreich, Luxemburg, Schweden, Schweiz) werden Fluchtzeiten von weniger als drei Minuten erreicht. Die Streuung der minimalen und maximalen Fluchtzeiten für eine gegebene Versammlungsraumfläche liegt wieder bei ca. 300 %.

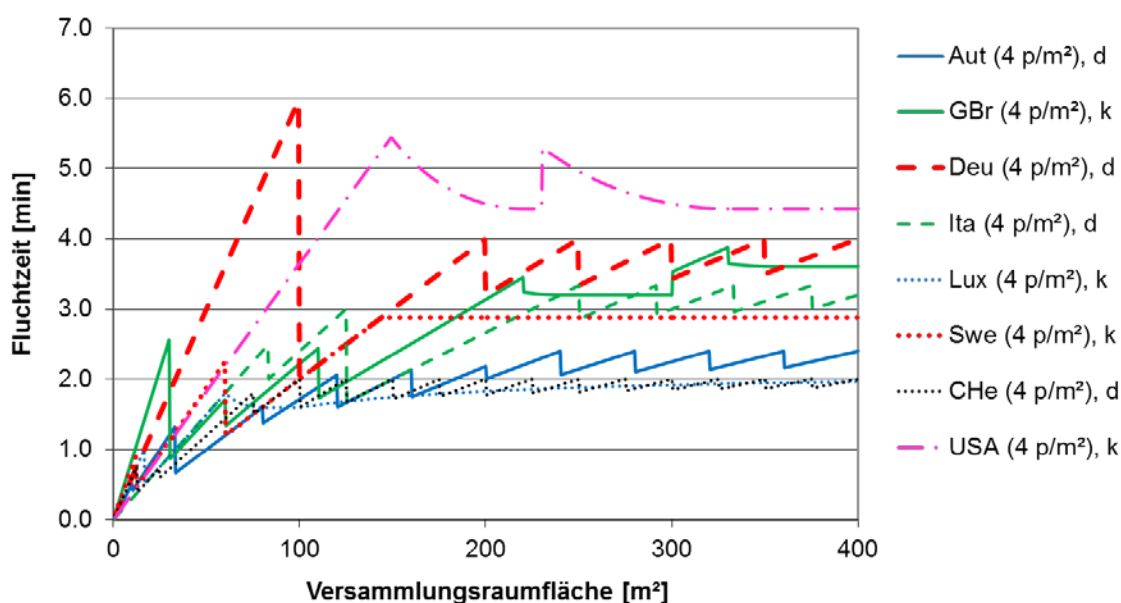


Bild 6 Fluchtzeiten  $t_{\text{Flucht}}$  als Funktion der Versammlungsraumfläche  $A$  bei einheitlicher Personendichte von  $4 \text{ p/m}^2$

## EINIGE WEITERE UNTERSCHIEDE IN DER RETTUNGSWEGBEMESSUNG

Die Fluchtzeiten wurden für ein typisches und einfaches Szenario bestimmt, um eine gute Vergleichbarkeit zu erzielen. In den meisten Ländervorschriften existieren weitere Anforderungen, von denen im Folgenden einige dargestellt werden. Falls nicht näher erläutert, beziehen sich die Anforderungen immer auf Diskotheken und ähnliche Vergnügungsstätten.

### Bemessung von notwendigen Treppen

Die obigen Betrachtungen gelten für Rettungswege in der Ebene. Führen die Rettungswege über Treppen, müssen nach einigen Regelwerken breitere Wege

vorgesehen werden, um den geringeren spezifischen Fluss auf Treppen [2] zu kompensieren, damit diese keine Engpässe darstellen.

In Österreich/Wien, England, Wales, Deutschland und Schweden müssen Treppen nicht breiter als die horizontalen Rettungswege ausgelegt werden.

Das italienische Regelwerk erfordert je eine Modulbreite von 0,60 m pro 50 Personen, wenn die Lage des Versammlungsraumes bis +/- 1 m vom Straßenniveau abweicht, pro 37,5 Personen, wenn der Niveauunterschied +/- 7,5 m beträgt und pro 33 Personen bei einem Niveauunterschied von größer 7,5 m.

In Luxemburg werden an Stelle der Rettungswegbreite von 1 cm pro Person für horizontale Rettungswege auf Treppen abwärts 1,25 cm/p und bei Treppen aufwärts 2 cm/p gefordert.

In der Schweiz wird bei Evakuierung über Treppen ebenfalls die Fluchtrichtung berücksichtigt: Während bei Räumung aus einem Erdgeschoss eine Modulbreite von 0,60 m für 100 Personen gefordert wird, sind es aus einem Obergeschoss 60 Personen und aus einem Untergeschoss 50 Personen.

In den USA werden Treppenräume ebenfalls breiter bemessen als horizontale Rettungswege.

#### Bemessungspersonenzahl bei mehrgeschossigen Versammlungsstätten

Falls Versammlungsräume verschiedener Geschosse an ein Treppenhaus angeschlossen sind, werden in einigen Ländervorschriften Abschläge bei der Bestimmung der Gesamtbemessungspersonenzahl zugestanden. Dabei wird argumentiert, dass nicht alle Geschosse gleichzeitig geräumt werden bzw. der Treppenraum einen Puffer bildet.

Für Österreich/Wien, Luxemburg und die Schweiz sehen die Regelwerke keine Abschläge für die Bemessung der Treppen vor. Für Deutschland sieht die MVStättV ab 2002 ebenfalls keine Abschläge vor, wie es noch die alte VStättVO von 1978 ermöglichte [9].

In England und Wales wird für Versammlungsstätten von einer „simultaneous evacuation“ (im Gegensatz zur „phased evacuation“) ausgegangen. Allerdings werden auch bei der gleichzeitigen Evakuierung Abschläge in der Bemessungsbreite der Treppen gemacht, wenn eine gegebene Zahl von Personen nicht nur auf einem Geschoss, sondern auf verschiedenen Geschossen verteilt ist. Bei der Evakuierung in Phasen sind weitere Abschläge möglich.

Im Regelwerk für Italien müssen für die Auslegung der Rettungswegbreiten die beiden aufeinanderfolgenden Geschosse mit der höchsten Personenbelegung berücksichtigt werden.

In Schweden sind Abschläge möglich, falls die Räumungen auf verschiedenen Geschossen nicht gleichzeitig einsetzen.

In den USA muss nur das Geschoss mit der höchsten Personenbelegung berücksichtigt werden, wenn die Voraussetzung gegeben ist, dass der Rettungsweg in Laufrichtung nicht schmaler wird.

#### Mindestanzahl von Ausgängen aus Besucherbereichen

Die Mindestanzahl der Ausgänge aus Versammlungsräumen variiert ebenfalls: Während in allen Vorschriften in Abhängigkeit der Bemessungspersonenzahl bzw. Raumgröße mindestens ein zweiter baulicher Rettungsweg gefordert wird, wird in einigen Vorschriften mit steigender Personenzahl bzw. Raumgröße auch explizit ein dritter und weitere Ausgänge gefordert.

In Österreich/Wien werden für Räume ab 100 Personen zwei Ausgänge ins Freie bzw. zu Hauptverkehrswegen gefordert. Weitere Redundanzanforderungen können sich über Weglängenbegrenzungen ergeben.

In England und Wales wird bis 60 Personen ein Ausgang gefordert, zwischen 60 und 600 Personen sind drei und ab 601 Personen vier Ausgänge erforderlich. Der Sprung von einem auf drei Ausgänge resultiert daher, dass bei mehr als einem notwendigen Ausgang der breiteste Ausgang für die Bemessung als ausgefallen angesehen werden muss.

In Deutschland wird ab einer Aufenthaltsraumfläche von mehr als 100 m<sup>2</sup> ein zweiter Ausgang gefordert. Weitere Redundanzanforderungen können sich über Weglängenbegrenzungen ergeben.

In Italien werden bis 150 Personen mindestens zwei Ausgänge verlangt; darüber hinaus sind drei Ausgänge notwendig.

Für Luxemburg wird ab 50 Personen ein zweiter Ausgang gefordert. Ab 500 Personen sind drei Ausgänge erforderlich, danach jeweils pro 500 Personen ein weiterer Ausgang.

In Schweden werden ab 30 Personen zwei Ausgänge, ab 151 Personen drei Ausgänge und ab 1001 Personen vier Ausgänge gefordert.

Für die Schweiz ist die Errichtung nur eines Ausgangs aus einem Versammlungsraum bis zu 50 Personen möglich. Darüber hinaus müssen mindestens zwei Ausgänge vorhanden sein. Für die notwendige Anzahl von Treppenanlagen gelten weitere Bestimmungen.

In den USA sind für bis zu 600 Personen zwei separate Rettungswege, zwischen 600 und 1000 Personen drei und ab 1000 Personen vier Rettungswege erforderlich.

## DISKUSSION

Kurze Fluchtzeiten reduzieren das Risiko des Auftretens von personengefährdenden Bränden sowie von Verletzungen innerhalb des Räumungsvorgangs. Eine für alle möglichen Schadensereignisse ausreichend kurze Fluchtzeit lässt sich allerdings nicht allgemein definieren, da sich Brände mit unterschiedlichen, im Vorhinein nicht nach oben abgrenzbaren Geschwindigkeiten entwickeln. Die Frage „*Wie schnell ist schnell genug?*“ lässt sich deshalb nur in Bezug auf das nicht ausgewiesene, aber implizit gesellschaftlich akzeptierte Restrisiko beantworten.

Der postulierte qualitative Zusammenhang zwischen Räumungszeit und Personenrisiko ist in Bild 7 dargestellt. Für sehr kurze Räumungszeiten ist das Risiko sehr klein. Diesem Restrisiko kann z. B. ein explosionsartig verlaufender Brand entsprechen. Wenn sich die Räumungszeiten verlängern, erhöht sich das Risiko zunächst nur geringfügig, da immer noch nur sehr wenige potenzielle Szenarien in der Lage sind, ein gefährliches Ereignis hervorzurufen. Je länger die Räumungszeit aber wird, desto häufiger sind Szenarien zu erwarten, die zu einer Personengefährdung führen. Das Risiko wird in diesem Bereich viel deutlicher durch Änderungen der Räumungszeit beeinflusst. Von großem Interesse ist die Frage, an welchen Punkt des Bildes 7 sich die jeweilige Bemessung befindet, d. h. wie elastisch das Risiko auf Änderungen der Räumungszeit reagiert. Bezogen auf die deutsche MVStättV wurden in [10] und [11] für das zuvor beschriebene einfache Szenario Berechnungen angestellt. Diese hatten zum Ergebnis, dass sich bei einer Verdopplung der Räumungszeit das Personenrisiko um ca. eine Größenordnung erhöht. Insgesamt befindet sich das errechnete Personenrisiko im gesellschaftlich akzeptierten Bereich [11], wobei die Spitzen der Fluchtzeiten besonders bei 100 m<sup>2</sup> sowie 200 m<sup>2</sup> (vgl. Bilder 4 und 6) zu einer deutlichen Erhöhung des Personenrisikos führen.

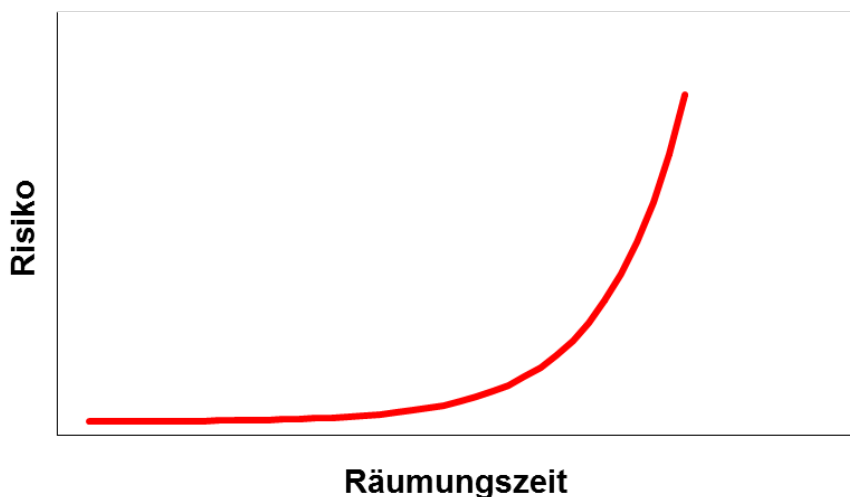


Bild 7 Qualitativer Zusammenhang zwischen Räumungszeit und Personenrisiko für eine Versammlungsstätte

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Bemessung von Rettungswegen aus Versammlungsstätten ist in verschiedenen Ländern unterschiedlich komplex geregelt, wobei jeweils ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse zum Verhalten von Personen und zu Personenbewegungen in Gebäuden in unterschiedlichem Maße berücksichtigt werden. Bezüglich einer anzustrebenden maximalen Räumungszeit stehen ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse nur sehr begrenzt zur Verfügung, sodass die Auslegung hier auf historischen Erfahrungen sowie politischen Erwägungen in den jeweiligen Ländern beruht und zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führt. Aufgrund des hohen Einflusses der Räumungszeiten auf das Niveau der Personensicherheit in Versammlungsstätten ist von einer starken Streuung des Sicherheitsniveaus im internationalen Vergleich auszugehen.

Für das oben betrachtete einfache Szenario ist bezogen auf das Bemessungsergebnis der deutschen MVStättV festzustellen, dass

- die Fluchtzeiten sowohl für die auslegungsgemäße (Bild 4) als für die realitätsnahe Räumung (Bild 6) im internationalen Vergleich eher lang sind. Nur für die USA, in denen für Vergnügungsstätten grundsätzlich Sprinkler vorgeschrieben sind (Anhang), ergeben sich längere Fluchtzeiten.
- aufgrund der im Vergleich zu anderen Ländern ebenfalls nur durchschnittlich hoch angesetzten Bemessungspersonendichte die realitätsnahen Räumungszeiten ebenfalls im hinteren Bereich liegen und
- insbesondere für kleine Versammlungsräume knapp unterhalb  $A = 100 \text{ m}^2$  die Räumungszeiten einen absoluten Maximalwert erreichen, der in keiner anderen betrachteten Länderregelung auftritt und der zu einem erhöhten Personenrisiko führt.

Bezogen auf die verschiedenen Bemessungsregeln zeigt der Vergleich, dass die deutsche MVStättV hier sehr einfach und übersichtlich gehalten ist. Bestimmte Faktoren, die in anderen Regelwerken berücksichtigt werden und die in der Regel auch ingenieurwissenschaftlich abgesichert sind, berücksichtigt die MVStättV nicht:

- Kleinere Räume erfordern auf Grund des geringeren Verrauchungsvolumens prinzipiell kürzere Räumungszeiten als große Räume [10], [11]. Die Anforderungen für Wien und für Luxemburg berücksichtigen dieses explizit durch den unterschiedlichen Breitenbedarf pro Person (Tabelle 4). Für die übrigen Bemessungsregeln ergibt sich die Berücksichtigung aus dem Produkt aus Mindestbreite und Mindestanzahl von Ausgängen. Gemäß MVStättV ist allerdings bis  $A = 100 \text{ m}^2$  nur eine Tür von 0,90 m Breite erforderlich, was zu einer Erhöhung der Räumungszeit führt.
- Die Berücksichtigung der Höhenlage eines Versammlungsraumes bzw. die Kompensation eines reduzierten spezifischen Personenflusses auf Treppen [2]

Gemäß der Mehrheit der betrachteten Regelwerke müssen Treppen breiter bemessen werden als horizontale Rettungswege (s.o.).

- Die Verwendung des ab der MVStättV 2002 eingeführten Modulkonzeptes mit einem diskreten Anstieg der erforderlichen Rettungswegbreite entspricht nicht den Beobachtungsergebnissen von Personenströmen und kann unter Einhaltung einer Mindestwegbreite von 1,2 m durch eine kontinuierliche Bemessung abgelöst werden (vgl. Bild 2 und Tabelle 4).
- Der geringe Bemessungswert der Personendichte von 2 p/m<sup>2</sup> wird in der Praxis für Vergnügungsstätten wie Diskotheken häufig nicht eingehalten (vgl. Bild 5c). Innerhalb des persönlichen Abstandsgefühls der meisten Besucher von Diskotheken wird eine Personendichte von ca. 4 p/m<sup>2</sup> offensichtlich als Teil des Veranstaltungserlebnisses gewollt und sollte auch zu Grunde gelegt werden.

## DANKSAGUNG

Der Autor bedankt sich bei Dr. Cornelius Albrecht, Dieter Brein, Erica Ciapini, Gary Daniels, Svante Einarsson, Daniel Nilsson, Monika Oswald, Frank Röhl und Karl Wallasch für die Zurverfügungstellung und Interpretation der verschiedenen internationalen Regelwerke.

## LITERATUR

- [1] Forell, B. (2004): Brandschutz in Diskotheken und ähnlichen Vergnügungsstätten - Bewertung der Anforderungen der Musterversammlungsstättenverordnung (Mai 2002) hinsichtlich realitätsnaher Evakuierungsszenarien. vfdb-Zeitschrift (53), Nr. 2, S. 95-103.
- [2] Predtetschenski, V. M.; Milinski, A. I. (1971): Personenströme in Gebäuden - Berechnungsverfahren für die Projektierung. Rudolf Müller Verlag, Köln-Braunsfeld.
- [3] Peschl, I. (1971). Untersuchungen über das Benehmen von großen Menschenmengen bei der Strömung durch Türen und Engpässe in Panik- oder Gedrängesituationen. VDI – Zeitschrift, Nr. 113, S. 13 – 16, Düsseldorf.
- [4] Pauls, J. L. (1980): Effective Width Model for Evacuation Flow in Buildings. In: Engineering Applications Workshop, Proceedings, Society of Fire Protection Engineers, Boston, USA.
- [5] Müller, K. (1981): Zur Gestaltung und Bemessung von Fluchtwegen für die Evakuierung von Personen aus Bauwerken auf der Grundlage von Modellversuchen. Dissertation, Universität Magdeburg.
- [6] Hoogendoorn, S. P.; Daamen, W. (2005): Pedestrian behavior at bottlenecks. Transportation Science Vol. 39 No. 2, S. 147 - 159, Baltimore.

- [7] Kretz, T.; Grünebohm, A.; Schreckenberger, M. (2006): Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. Journal of Statistical Mechanics, P10014.
- [8] DIN EN 13200:2004-05: Zuschaueranlagen – Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen – Anforderungen.
- [9] ARGEBAU: Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten. Fachkommission Bauaufsicht, Juni 2005. <http://www.is-ergebaut.de>
- [10] Forell, B. (2007): Niveau der Personensicherheit von Versammlungsstätten - Nachweis nach vfdb-Leitfaden. 56. vfdb Jahresfachtagung, Leipzig, 21 - 23 Mai, S. 294-317.
- [11] Forell, B.; Hosser, D. (2010): Assessment of Occupant Safety in Places of Assembly. 11<sup>th</sup> International Seminar on Fire Protection. German Fire Protection Association (vfdb). 8. und 9. Juni, Leipzig.

## ANHANG

### ANFORDERUNGEN AN DEN ANLAGENTECHNISCHEN BRANDSCHUTZ IN DISKOTHEKEN UND ÄHNLICHEN VERGNÜGUNGSSTÄTTEN

Anforderungen an anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen wie Rauchabzüge oder automatische Brandbekämpfungseinrichtungen variieren ebenfalls von Land zu Land. Diese sind teilweise in der Lage, unterschiedliche Anforderungen an die Rettungswegbemessung zu kompensieren. Falls im Folgenden nicht näher erläutert, beziehen sich die Anforderungen immer auf Diskotheken und ähnliche Vergnügungsstätten in Erdgeschosslage.

In der Verordnung für Österreich/Wien befinden sich für Diskotheken (als „sonstige Veranstaltungsstätten“) keine expliziten Forderungen zu automatischen Löschanlagen oder zu Rauchabzugsanlagen.

In England und Wales werden für eingeschossige Gebäude keine Anforderungen an die Installation von automatischen Löschanlagen gestellt. Die maximale Versammlungsraumgröße in mehrgeschossigen Gebäuden ist 2000 m<sup>2</sup> ungesprinkelt und gesprinkelt 4000 m<sup>2</sup>. Besondere Anforderungen an die Verwendung von Rauchabzügen bestehen nur für Atrien und mehrgeschossige Versammlungsstätten.

In Deutschland müssen Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen von insgesamt mehr als 3600 m<sup>2</sup> Grundfläche mit einer automatischen Feuerlöschanlage ausgestattet sein, es sei denn, die Versammlungsräume sind jeweils nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> groß. Darüber hinaus gelten weitere Anforderungen z. B.

in Abhängigkeit der Geschosslage. Anforderungen an die Entrauchung bestehen ab 200 m<sup>2</sup> Raumfläche, wobei von 200 m<sup>2</sup> bis 1000 m<sup>2</sup> eine pauschale Auslegung der RWA stattfindet und darüber eine Bemessung auf 2,5 m raucharme Schichthöhe vorzunehmen ist.

In Italien werden Sprinkleranlagen erst ab einer Brandbelastung von 50 kg/m<sup>2</sup> gefordert; bei Verwendung der Anlagen in Vergnügungsstätten wie Diskotheken dürfen die Rettungswege von 50 m auf 70 m verlängert werden. Ähnliches gilt für den Einsatz von Entrauchungsanlagen.

In Luxemburg müssen in Diskotheken, Ballsälen und Mehrzweck-Versammlungsräumen ab einer Raumgröße von 300 m<sup>2</sup>, in Kellergeschossen ab 150 m<sup>2</sup>, grundsätzlich maschinelle Rauchabzüge, die automatisch angesteuert werden, installiert werden. Automatische Löschanlagen können durch die zuständigen Behörden verlangt werden.

In Schweden und der Schweiz werden für Versammlungsräume keine generellen Anforderungen an anlagentechnische Maßnahmen erhoben. Anforderungen an die Rauchfreihaltung gelten vor allem für Rettungswege.

In den USA werden für Diskotheken und ähnliche Vergnügungsstätten als Folge der Brandkatastrophe in Warwick im Februar 2003 mittlerweile grundsätzlich Sprinkleranlagen gefordert. Für bestehende Vergnügungsstätten gilt die Anforderung ab 100 Personen.