



# Evakuierung großer Personenströme

## 6. Stuttgarter Brandschutztag

Dr.-Ing. Henry Portz – Dipl.-Ing. für Brandschutz  
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für vorbeugenden Brandschutz,  
Brandbekämpfung, Explosionsschutz, Brand- und Explosionsursachen  
Vom Eisenbahn-Bundessamt anerkannter Prüfer für brandschutztechnische Nachweise

Sachverständigen-gesellschaft Dr. Portz mbH  
Benzstr. 45, 70736 Fellbach  
Telefon: 0711 514535  
Telefax: 0711 511564  
[www.dr-portz-brandschutz.de](http://www.dr-portz-brandschutz.de)



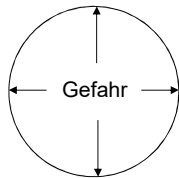
## 1 Risikofaktoren bei Großveranstaltungen

- Hohe Personenzahl
- Ortsunkundige Personen
- Alkoholkonsum
- Personenverdichtungen.



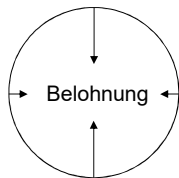
## 2 Beispiele für die Verdichtung von Personenansammlungen

### 2.1 Verdichtungsursachen



Personen entfernen sich von der Gefahrenstelle und verdichten sich

- in der Menschenmenge
- an Raumgrenzen
- an Ausgängen.



Personen streben eine Belohnung an und verdichten sich am Belohnungsort/Attraktion.

3



### 2.2 Beispiele für Brandgefahren

Ein 1860 vollständig aus Holz errichtetes **Theater in Madrid** war **Ende des 19. Jh.** auf Elektrizität umgestellt worden.

Am 22. September 1928 hatten sich **3200** Zuschauer eingefunden. Da verursachte ein Kurzschluss hinter der Bühne ein Feuer.

Menschen werden niedergetrampelt, die Ausgänge sind blockiert. Das Theater brennt bis auf die Grundmauern nieder. Im Rauch sterben 110 Menschen.

4



In der Nacht zum **30. Oktober 1998**, gegen 0:30 Uhr brach in einer **Göteborger Diskothek** ein Feuer aus. Der 300 m<sup>2</sup> große Saal, der für 150 Personen zugelassen ist, ist mit rund **400** Besuchern überfüllt.

Die Notausgänge sind mit Möbeln verstellt, der einzige Ausgang ist sofort verstopft. **61** Menschen überleben den Brand nicht.

5



### **2.3 Beispiele für Belohnungssituationen**

#### **18.05.1886, Russland, Feld von Chodynka [1, 2, 3, 4]**

Zur Krönung des russischen Zars Nikolaus II. sollten Geschenke verteilt werden. Es hatten sich **500 000** Personen versammelt. Durch das Gerücht, dass die Geschenke bereits verteilt würden, strömte die Menschenmenge auf das entsprechende Feld.

Augenzeugen berichten, dass Tote in der Menschenmenge nicht umfallen konnten, da es zu eng war.

Es starben **1 389** Menschen. Weitere 1 300 wurden verletzt.

6



#### **12.04.2004, Indien, Park bei Lucknow [1, 5, 6, 7]**

Auf der Geburtstagsfeier eines Politikers sollten kostenlose Gewänder an indische Frauen verteilt werden. Ca. **10 000** Frauen kamen zu dieser Verteilung.

Das Unglück wurde verursacht, als diese zu den Ausgabestellen strömten.

Es starben **21** Frauen.

7



#### **2.4 Loveparade in Duisburg, 24.07.2010**

Veranstaltungsort: Gelände des ehemaligen Hauptgüter- u. Rangierbahnhofs, Fläche: 230 000 m<sup>2</sup>

Besucherzahl: - 250 000 genehmigt  
- 485 000 über Tag verteilt erwartet  
- Informationen über 1, 4 Mio.

Kritische Personenverdichtungen: im Zugangsbereich, im Tunnel und auf einer Rampe

**21** Menschen starben an massiver Brustkompressionen.

8



## 2.5 Gefahr durch Facebook-Partys

### In Deutschland

Datum	Ort	Anzahl der Teilnehmer	Bemerkungen
03.06.2011	Hamburg	1 600	100 Polizeikräfte inkl. Pferdestaffel 11 Festnahmen wg. Körperverletzung u. Sachbeschädigung Mehrere Verletzte
17.06.2011	Aachen	500	1 800 Zusagen Schnelle Auflösung durch die Polizei
18./19.06.2011	Wuppertal	800	100 Beamte im Einsatz / 41 Festnahmen 16 Verletzte 3 Strafanzeigen

9



### In der Welt

Datum	Ort	Anzahl der Teilnehmer	Bemerkungen
Mai 2010	Nantes Frankreich	10 000	<b>1 Toter</b> (Sturz von Brücke, Trunkenheit (2,4 Promille)) <b>90 Verletzte</b> 41 Festnahmen
23.05.2010	Paris Frankreich	50 000	50 000 Zusagen, Party wurde im Vorfeld abgesagt
07.10.2010	Harpenden England	21 000	21 000 Zusagen, Absage der Party
Mai 2011	Sydney Australien	200 000	200 000 Zusagen, Party wurde durch Polizei abgesagt

10



### 3 Personendichten und Bewegungsformen

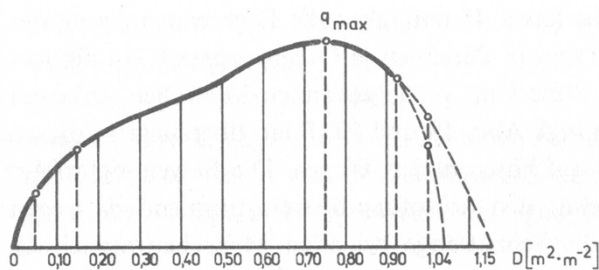
Die Personenstromdichte ( $D$ ) berechnet sich nach /8/:

$$D = \frac{P \cdot f}{b \cdot l_{Strom}} = \frac{P \cdot f}{A}$$

Es bedeuten:

- $P$  = Personenzahl
- $f$  = projizierte Grundrissfläche einer Person [m<sup>2</sup>/P]
- $b$  = Strombreite [m]
- $l_{Strom}$  = Stromlänge [m]
- $D$  = Personenstromdichte [m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>]
- $A$  = Personenstrom Fläche [m<sup>2</sup>]

11



$$q = D \cdot v \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

frei	frei strömend	eingeschränkt			mit Kräfteinwirkungen	
	ohne gegenseitiger Berührung	mit gegenseitigem Kontakt	zusammenhängend	mit Formänderungen	mit Zusammenrückungen	

Bereiche für die Bewegungsformen von Personenströmen nach Predtetschenski und Milinski /8/

12



Dichte D [m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> ]	Bewegungsform	Anzahl der Personen pro m <sup>2</sup> (Erwachsener in Sommerkleidung, 0,1 m <sup>2</sup> /Person)	Beurteilung
0 - 0,15	frei strömend	0 - 1,5	
0,15 - 0,40	ohne gegenseitige Berührung	1,5 - 4	2 Personen/m <sup>2</sup> unbedenklich, VStättVO
0,40 - 0,75	mit gegenseitigem Kontakt	4 - 7,5	6 Personen/m <sup>2</sup> Grenzbereich zwischen freiwilliger und erzwungener Dichte > 6 Personen/m <sup>2</sup> Kompressions- wellen sind möglich
0,75 - 0,92	zusammenhängend	7,5 - 9,2	8 Personen/m <sup>2</sup> Stehplätze im Bus
0,92 - 1,15	Formänderung	9,2 - 11,5	

13



#### 4 Druck in Menschenmengen

Im Juni 2010 wurden an der Landesfeuerweherschule in Bruchsal Versuche durchgeführt. Diese lassen sich nach Dr. Oberhagemann /10, 11/ wie folgt zusammenfassen:

##### Versuchsaufbau:

Mit Feuerwehrleuten, die gegen die Sperre mit 4,4 m<sup>2</sup> anliefen und anschließend weiterdrückten, wurden statische und dynamische Druckverläufe gemessen.

14



### Ergebnis

Kritische Drücke werden in Menschenmengen ab 6 Personen/m<sup>2</sup> aufgebaut.

Es zeigten sich Kurven mit einer Druckspitze und einem anschließenden Dauerdruck.

Druckspitzen: 11 bis 40 bar  
Dauerdrücke: 4 bis 15 bar.

### Maximale lokale Drücke

- 3...4 andrückende Personen hintereinander entsprechen 1,20 m
- bei 8,4 Personen/m<sup>2</sup> → 38 Personen
- A = 4,5 m<sup>2</sup>
- Druck in der Mitte: 15 bar.

15



## 5 Berechnung der Evakuierungszeit

### Zeiten im Evakuierungsverlauf

Nichtphysikalische Zeiten /9/			physikalisch notwendige Räumungszeit	
Wahrnehmung der Gefahrensituation	Interpretation der Wahrnehmung	Handlungen, die nicht unmittelbarer Flucht dienen (Untersuchung der Umgebung, Brandbekämpfung, Warnen oder Suchen von Personen)	einzelne Laufzeiten	Wartezeiten im Stau

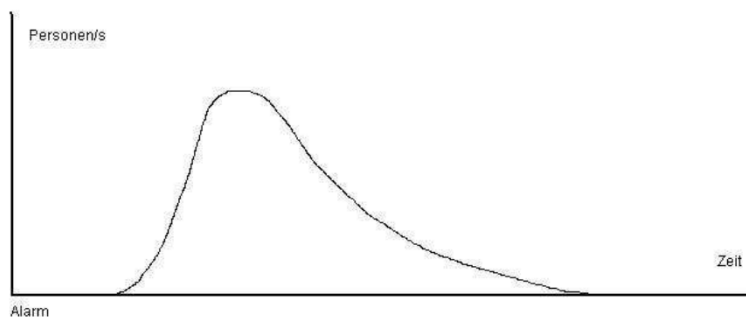
16





## 5.1 Ermittlung der nichtphysikalischen Zeiten

Die individuellen Reaktionszeiten innerhalb einer Personengruppe folgen typischerweise folgender Verteilung:



17



Berechnungen zu den Zeiten ergeben sich aus dem VdB-Leitfaden /9/.  
In die Berechnung der Reaktionszeit gehen ein:

- Wachsamkeit (wach, schlafend, med. betreut, Transport)
- Vertrautheit (vertraut, unvertraut, betreut)
- Dichte (niedrig, hoch)
- Alarmierungssystem
- Gebäudekomplexität
- Brandschutzmanagement.

Als Ergebnis werden Reaktionszeiten von 0,5...> 40 Minuten berechnet.

18



## 5.2 Modellbeispiel für die Ermittlung der physikalischen Zeiten

Berechnung der physikalischen Evakuierungszeiten			
Empirische Formeln für die Kapazitätsanalyse	Analytische Verfahren	Hydraulische Modelle	Simulationsmodelle
z. B. NFPA 130	z. B. Building Code Neuseeland	z. B. Predtetschenski/ Milinski	z. B. Exodus Pedgo ASERI

19



## 5.3 Modell nach Predtetschenski/Milinski /8/

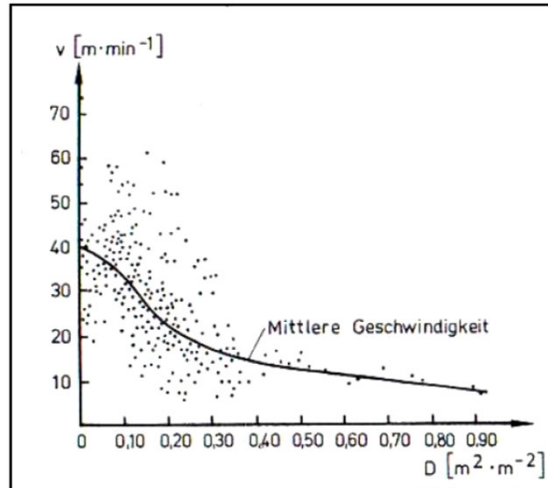
### 5.3.1 Modellgrundlage

- theoretische Untersuchungen und praktische Experimente an Personenströmen aus der ehemaligen Sowjetunion
- 7 000 Personenstrombeobachtungen von 3 sowjetischen Institutionen.

20



### 5.3.2 Bewegungsgeschwindigkeit



Ergebnisse praktischer Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit von Personenströmen über Treppen aufwärts

21



### 5.3.3 Passierzeit

Passierzeit:	$t = \frac{P \cdot f}{b \cdot v \cdot D}$
Staukriterium:	$q_{i+1} = \frac{b_i}{b_{i+1}} \cdot q_i > q_{\max}$
Stau: $q_{i+1} > q_{\max}$	kein Stau: $q_{i+1} \leq q_{\max}$
Wartezeit im Stau an der Engstelle: $t_E$	Laufzeit ohne Stau: $t$
$t_E = \frac{P \cdot f}{b \cdot v \cdot D_{\max}}$	$t = \frac{P \cdot f}{b \cdot v \cdot D}; \quad D = \frac{P \cdot f}{b \cdot l}$
	$t = \frac{P \cdot f \cdot b \cdot l}{b \cdot v \cdot P \cdot f}$
	$t = \frac{l}{v(D)}$

22



$b$	Strombreite, Wegbreite	[m]
$b_i$	Wegbreite im Abschnitt i	[m]
$b_{i+1}$	Wegbreite im Abschnitt i+1	[m]
$D$	Personenstromdichte	[m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ]
$D_{\max}$	maximale Personenstromdichte ( $D_{\max} = 0,92$ )	[m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ]
$f$	projizierte Personenfläche	[m <sup>2</sup> /P]
$l$	maximale Lauflänge	[m]
$P$	Personenzahl	[P]
$q_i$	Bewegungsintensität im Abschnitt i	[m min <sup>-1</sup> ]
$q_{i+1}$	Bewegungsintensität im Abschnitt i+1	[m min <sup>-1</sup> ]
$q_{\max}$	maximal mögliche Bewegungsintensität	[m min <sup>-1</sup> ]
$t$	Zeit	[min]
$t_E$	Zeit an der Engstelle	[min]
$v$	Gehgeschwindigkeit	[m min <sup>-1</sup> ]

23



## 5.4 Grenzbetrachtungen

### 5.4.1 In Versammlungsräumen

Entfernung zum nächsten Ausgang:  $\leq 60$  m (Grenzkriterium)

Personenfläche (Mitteleuropäer):  $0,1 \text{ m}^2$

Personenzahl/Ausgangsbreite:  $200 \text{ P}/1,2 \text{ m}$

Dichte (D):  $2 \text{ P}/\text{m}^2$ ;  $0,2 \text{ P m}^2/\text{m}^2$

Fläche:  $14.400 \text{ m}^2$

Personen: 28.800

Gesamtbreite der Ausgänge:  $172,8 \text{ m}$

max. Bewegungsgeschwindigkeit  $v(D) = 39,84 \text{ m min}^{-1}$

$t_{\text{ph,L}} = 1,5 \text{ min}$

$t_{\text{ph,E}} = 2,1 \text{ min}$

Seitenlänge  $120 \text{ m}$

24



### 5.4.2 Im Freien Personenzahl nach VStättVO

Entfernung zum nächsten Ausgang: keine Festlegung in der VStättVO  
der gesamte Umfang dient als Ausgangsbreite

Limitierung nur durch Ausgangsbreite: 600 P/1,20 m

Personenfläche: 0,1 m<sup>2</sup>

Dichte (D): 2 P/m<sup>2</sup> ; 0,2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>

Fläche (A): 1.000.000 m<sup>2</sup>

Personen: 2.000.000

Breite der Ausgänge: 4.000 m

max. Bewegungsgeschwindigkeit  $v(D) = 39,84 \text{ m min}^{-1}$

Physikalische Evakuierungszeit

$t_{ph,L} = 12,6 \text{ min}$

$t_{ph,E} = 6,3 \text{ min}$

Maximale Lauflänge: 500 m

25



## 6 Schlussfolgerungen

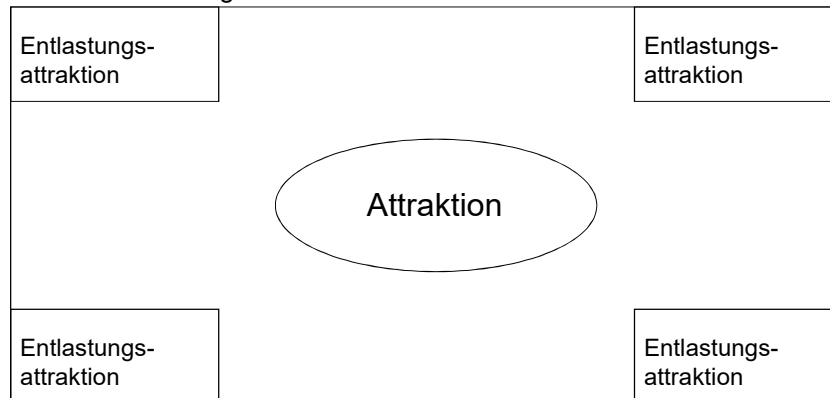
1. Unstrukturierte Großveranstaltungen (z. B. Facebook) müssen ab einer gefährlichen Größenordnung verhindert werden um Menschenleben zu retten. Die Grenze ist letztlich durch die Politik festzulegen. Sie könnte entsprechend internationale Erfahrungen zwischen 10 000 und 20 000 Personen liegen.
2. Bei strukturierten Großveranstaltungen muss der Veranstalter die Randbedingungen, die für die Sicherheit notwendig sind, nachweisen.
3. Eine Personendichte von 2 Personen/m<sup>2</sup> sollte global betrachtet nicht überschritten werden.
4. Lokale Verdichtungen sollen 6 Personen/m<sup>2</sup> nicht überschreiten

26



Lokale Verdichtungen treten bei Ein-/Ausgängen, an Belohnungszentren/ Attraktionen und bei Gegenströmung auf.

Die Verdichtung an Belohnungszentren kann durch entlastende Attraktionen erfolgen.



27



Lokale Verdichtungen können auch durch Vermeiden von zeitlichen Begrenzungen der Belohnung vermieden werden:

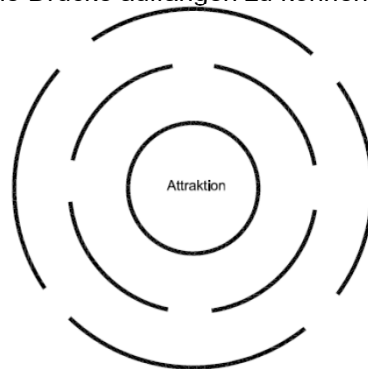
- falsch: „10 Minuten Freibier am Südausgang“
- richtig: „Freibier an allen Ständen“  
(ggf. mit einer längeren zeitlichen Dauer).

28

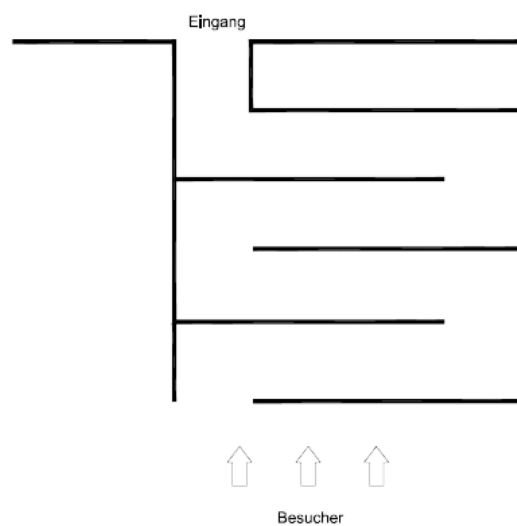


Die Flächen im Bereich der Belohnungszentren sollten parzelliert werden, um Dichten von weniger als 6 Personen/m<sup>2</sup> sicherzustellen.

Um Kraftadditionen zu vermeiden, sind an Zu- und Abgängen sowie im Bereich von Belohnungszentren Schikanen zu errichten. Diese sollten nicht weiter als 10 m voneinander entfernt sein. Die Schikanen müssen stabil sein, um die Drücke auffangen zu können.



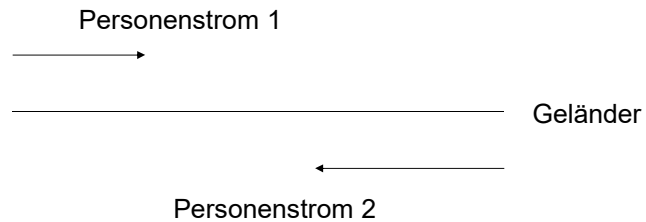
29



30



## Gegenstrom



31



5. Um Panik zu vermeiden, sind kurze Evakuierungszeiten sicherzustellen, dazu sind
  - maximale Rettungsweglänge (30 – 60 m in Versammlungsräumen),
  - minimale Fluchtbreiten (200 P/1,2 m bzw. 600 P/1,2 m),
  - Maßnahmen zur Verkürzung der Reaktionszeit festzulegen.
6. Es ist sinnvoll, in der VStättVO auch maximale Rettungsweglängen für das Freie festzulegen
7. Ab ca. 1 000 Personen sollten Evakuierungsberechnungen erfolgen.
  - Belohnungszentren müssen in die Simulation einbezogen werden. Das erfordert gründliche Absprache mit dem Veranstalter.
  - Eine entsprechende Regelung in der VStättVO wäre sinnvoll.

32





## Quellenverzeichnis

- /1/ Christian Rogsch: Aus der Geschichte lernen – Ursache für Massenerlöcke, VfDB-Tagung 2011, Berlin
- /2/ Hermsdorf – regionale, am 14.05.1896 erfolgte die Krönung von Nikolaus II – den letzten russischen Zaren, 2008, <http://www.hermsdorf-regional.de/persolichkeiten/opel-russe/Kroenung.html>
- /3/ Schelajew, J. Schelajew, E., Semjonow, N.: Nikolaus II. Der letzte russische Zar. Bechtermünz, Augsburg, 2000. ISBN: 3-82890-270-7
- /4/ Wikipedia. The Free Encyklopedia; Khodynka. 24. Februar 2008, 07:27 UTC
- /5/ Guardian.co.uk, Twenty-one people crushed to death in crush for free saris 13. April 2004;  
<http://www.guardian.co.uk/international/story/0,3604,1190523,00.htm>
- /6/ The New York Times. Hopping for free saris, 21 Indien woman die in Stampede, 13. April 2004;  
<http://www.nytimes.com/2004/04/13/international/asia/13SARI.html?ex=1397188800&eu=2122615ea83359bc&ei=5007>

33



- /7/ Times online, stampede for free saris leaves 21 dead, 13. April 2004  
<http://www.timesonline.co.uk/tol/news/world/artice822051.ece>
- /8/ W. M. Predtetschenski, A. I. Milinski: Personenströme in Gebäuden. – Staatsverlag der DDR, Berlin, 1971
- /9/ Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes – Technischer Bericht, VfDB TB 04-01.-2. Aufl. Mai 2009 – Hrsg.: Vereinigung der Förderung des deutschen Brandschutzes e. V. (VfDB), Dietmar Hosser – Altenberge; Braunschweig: VfDB, 2009
- /10/ D. Oberhagemann, J. Neutz, A. König, N. Eisenreich, F. Weller: Bestimmung der Drücke in Menschenmengen – VfDB-Zeitschrift (2010) 4. S. 2004...2005
- /11/ D. Oberhagemann: Risiko Großveranstaltungen – Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettungskonzepte, VfDB-Tagung 2011, Berlin

34