

Personen- und Fahrzeuggeschwindigkeiten in Menschenmengen bei Sanitätswachdiensten

Bachelorarbeit

Fachhochschule Köln
Studiengang Rettungsingenieurwesen

Erstellt von
Philipp Knopp

Bearbeitungszeitraum 28.12.2009 – 28.02.2010

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	2
2. Abbildungsverzeichnis	3
3. Tabellenverzeichnis	4
4. Vorwort	5
5. Anlass	5
6. Der Kölner Algorithmus.....	6
7. Zielsetzung.....	7
8. Methodik	8
8.1 Literaturrecherche.....	8
8.2 Bildrecherchen.....	8
8.3 Videorecherchen.....	9
9. Definitionen.....	9
9.1 Großveranstaltung	9
9.2 Sanitätswachdienst.....	10
9.3 Personengeschwindigkeiten	10
9.4 Personendichte / Dichte des Personenstroms	10
10. Personendichten	11
10.1 Ermittlung der maximal möglichen Personendichte	11
10.1.1 Körperproportionen	11
10.1.2 Platzbedarf und maximale Personendichte	12
10.1.3 Personendichten in Abhängigkeit der Körperoberfläche	12
10.1.4 Maximale Personendichten im internationalen Vergleich.....	15
10.2 Personendichten auf Großveranstaltungen	16
10.3 Internationale Angaben zum Platzbedarf einer Person.....	17
10.3.1 Angaben aus den USA (FEMA)	17
10.3.2 Angaben aus der Schweiz.....	18
12. Personengeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichte	19
12.1 Personengeschwindigkeiten von Fußgängern	19
12.2 Personengeschwindigkeiten auf der Cranger Kirmes	21
13. Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps in Menschenmassen	24
13.1 Versuchsablauf	24
13.2 Ergebnis.....	25
13.3 Rechnerische Geschwindigkeit eines Rettungstrupps	26

13.4 Parzellierung von Großveranstaltungen.....	28
14. Geschwindigkeit eines Rettungsfahrzeuges in Menschenmassen.....	28
14.1 Gefährdung durch Rettungsfahrzeuge.....	29
14.2 Fahrzeugbedingte Gefährdungen	30
14.3 Akustische Belastung.....	30
14.3.1 Lautstärken von Sirenenanlagen.....	30
14.3.2 Grundlagen	31
14.3.3 Tatsächliche Lautstärke in Abhängigkeit der Entfernung	31
15. Zusammenfassung	32
16. Fazit.....	33
17. Quellen	34
18. Abkürzungsverzeichnis	37
19. Anhang	38
19.1 Kölner Algorithmus.....	38

2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2: Personendichte Heumarkt Köln [A2]	16
Abbildung 3: Personendichte „Deutzer Werft“ Köln [A3]	17
Abbildung 4: Abnahme der Personengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Dichte [A4]	20
Abbildung 5: Richtungsverteilung [A5]	20
Abbildung 6: Personengeschwindigkeiten bei 0,8 P/m ² [A6].....	21
Abbildung 7: Personengeschwindigkeiten bei 0,8 bis 1,2 P/m ² [A7]	22
Abbildung 8: Personengeschwindigkeiten bei 1,2 bis 1,7 P/m ² [A8]	22
Abbildung 9: Personengeschwindigkeiten bei 1,7 bis 2,5 P/m ² [A9]	22
Abbildung 10: Abnahme der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Personendichte auf der Cranger Kirmes [A10]	23
Abbildung 11: Geschwindigkeit eines Rettungstrupps [A11].....	27

3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung der Körperproportionen	13
Tabelle 2: Vergleich der Personendichte in Abhängigkeit der Körperoberfläche	14
Tabelle 3: Körperproportionen im Vergleich.....	15
Tabelle 4: Personengeschwindigkeiten/-dichten.....	23
Tabelle 5: Geschwindigkeit eines Rettungstrupps in Abhängigkeit der Personendichte.....	25

4. Vorwort

Durch meine Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft im Forschungsprojekt EVA (Risiko Großveranstaltung^o- Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettungskonzepte) in Zusammenarbeit mit der Berufsfeuerwehr Köln entschloss ich mich, in meiner Bachelorarbeit einen für das Forschungsprojekt förderlichen Themenbereich zu bearbeiten. Das Projekt EVA ist eins von 17 Verbundprojekten im Bereich „Forschung für die zivile Sicherheit, Schutz und Rettung von Menschen“. Die einzelnen Verbundprojekte werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert mit dem Ziel, neue Sicherheitslösungen auf dem Gebiet des Schutzes und der Rettung von Menschen voranzutreiben.

5. Anlass

Großveranstaltungen und Ansammlungen größerer Menschenmassen stellen die beteiligten Behörden und Hilfsorganisationen vor einen großen planerischen Aufwand. In die Planung müssen Risikofaktoren wie z.B. das Wetter (Hitze oder hohe Luftfeuchte) und suboptimale Versammlungsstätten mit einbezogen werden. Aber nicht nur der äußere Einfluss muss im Vorhinein berücksichtigt werden, sondern auch die Reaktion der Menschenmasse und wie Letztere im Notfall gesteuert werden könnte. [1]

Aussagen über die Anzahl von Besuchern einer Großveranstaltung gestalten sich zusätzlich als schwierig. Häufig ergibt sich bei der Planung die Frage, mit wie vielen Personen pro Quadratmeter gerechnet werden kann, um eine Aussage über die maximal zulässige Besucherzahl und den damit nötigen Kräfteansatz für einen Sanitätswachdienst treffen zu können. Eine Möglichkeit den Kräfteansatz für einen Sanitätswachdienst zu ermitteln, stellt der Kölner Algorithmus dar.

6. Der Kölner Algorithmus

Der Kölner Algorithmus baut auf der Methode der Bedarfsplanung auf, die auf den drei Schritten Schutzzielfestlegung, Raumplanung (Wachbezirke) und Stärkeplanung (Wachstärke) beruht. Die Stärkeplanung fußt auf empirischen Daten und ist damit einfacher anwendbar als die Berechnung der normalen statistischen Rettungsdienst-Bedarfsplanung.

Um die Häufigkeit der sanitäts- und rettungsdienstlichen Versorgungen abschätzen zu können, wird im Kölner Algorithmus davon ausgegangen, dass pro 10 Stunden Veranstaltungsdauer und 1000 Besucher im Mittel zwei sanitätsdienstliche Versorgungen nötig sind (2 ‰ pro 10 Stunden). Ein Fünftel dieser Einsätze benötigt eine rettungsdienstliche Versorgung, um potenzielle schwere gesundheitliche Schäden abzuwenden (0,4 ‰ pro 10 Stunden). Von diesen Rettungsdiensteinsätzen benötigen 10 % der Patienten eine notärztliche Versorgung zur Abwendung lebensbedrohlicher Erkrankungen (0,04 ‰ pro 10 Stunden).

Diese Richtwerte wurden anhand von Großveranstaltungen (Karneval, Love-Parade®, Kirchentag etc.) ermittelt und beinhalten einen ingenieurstypischen Sicherheitszuschlag. Diese Richtwerte können an die Veranstaltung und die Situation durch die Multiplikation von Risikofaktoren angepasst werden. Risikofaktoren entstehen hierbei durch das Wetter (Temperatur >25°C, Feuchte >50 %), das Publikum (vorwiegend Senioren oder Teenager), durch Massenphänomene wie gleichzeitige Kreislaufzusammenbrüche beim Auftritt von Künstlern oder im Zielbereich von Marathonveranstaltungen und durch suboptimale Versammlungsstätten nach der Versammlungsstättenverordnung. Eine Berücksichtigung der eigenen Erfahrungen aus früheren Veranstaltungen ist ebenfalls sehr einfach möglich.

Durch die Festlegung eines Schutzziels soll sichergestellt werden, dass eine maximale Zugriffszeit bei Notfällen eingehalten wird. In Köln beträgt diese Zeit maximal fünf Minuten, bis ein Rettungssanitäter und ein Helfer am Einsatzort eintreffen sollen. Damit wird gewährleistet, dass lebensrettende Basismaßnahmen in einer vorgegebenen Hilfsfrist (maximal die Hilfsfrist des entsprechenden Landesrettungsdienstgesetzes) eingeleitet werden und die Funktionsfähigkeit des Rettungsdienstes durch die Versorgung von

Bagatellerkrankungen und -verletzungen durch den Sanitätswachdienst sichergestellt wird.

Beim Kölner Algorithmus kommen die folgenden zwei Arbeitsweisen zur Anwendung. Als erstes erfolgt eine Gefahrenbeurteilung, die auf statistischen Erfahrungen beruht. Als zweites erfolgt die Abwehrplanung. Diese entspringt der ingenieurwissenschaftlichen Methode der Bedarfsplanung und ermittelt vereinfacht das Aufkommen von Paralleleinsätzen. Wie bereits angesprochen erfolgen nach der Schutzzielefestlegung die zwei weiteren Schritte der Raumplanung (Wachbezirke/Hilfsfristmodell) und die Stärkeplanung (Häufigkeitsmodell). Folgende Schritte sind demnach für eine vollständige Planung notwendig [10]:

1. Notwendigkeitsprüfung
2. Raumplanung: Hilfsfristmodell
3. Stärkeplanung: Häufigkeitsmodell
4. Besonderheiten
5. Führungsorganisation

Der komplette Kölner Algorithmus befindet sich im Anhang dieser Ausarbeitung.

7. Zielsetzung

Am Ziel dieser Bearbeitung steht die Beantwortung der Frage, unter welchen Voraussetzungen Personen ohne eine Gefährdung Dritter möglichst schnell bei einem medizinischen Notfall in der Menschenmenge erreicht werden können. Diesbezüglich soll eine Aussage über die Personendichten, die Personen- und die Fahrzeuggeschwindigkeiten während Großveranstaltungen getroffen werden. Durch die Bestimmung der Personendichte soll eine bessere Planung der Großveranstaltungen und eine genauere Abschätzung von Besucherzahlen erreicht werden. Mit diesen planerischen Verbesserungen kann die Gefahrenabwehr wie beispielsweise Sanitätswachdienste effektiver verteilt und Wachbezirksgrößen besser geplant werden.

8. Methodik

8.1 Literaturrecherche

Eine Literaturrecherche zu Personendichten und Personengeschwindigkeiten bzw. Personengeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichte ergab lediglich Veröffentlichungen zur Erstellung von Evakuierungsmodellen und dem Verhalten von Fußgängern hinsichtlich des benötigten Platzbedarfs zur Fortbewegung. Aussagen darüber, mit welcher Geschwindigkeit sich ein Rettungstrupp oder ein Rettungsfahrzeug bei einer bestimmten Personendichte vorwärtsbewegen kann, liegen nicht vor.

8.2 Bildrecherchen

Um Personendichten zu ermitteln, erfolgte eine umfangreiche Bildrecherche im Archiv der Berufsfeuerwehr Köln. Im Anschluss wurden auf den Bildern Flächen bestimmt, die Personen ausgezählt und eine Aussage über die Personendichte getroffen. Der Zählvorgang der Personen gestaltete sich aus folgenden Punkten schwierig: Im ersten Schritt mussten Bilder gefunden werden, auf denen es möglich war, zu erkennen, ob sich eine Person in einer Menschenmenge, innerhalb oder außerhalb einer auszählbaren Fläche befindet. Dafür musste die Aufnahme des Fotos aus einem sehr steilen Winkel und aus einer ausreichenden Höhe geschossen sein. Diese Kriterien sind nötig, damit auf den auszählenden Bildern eine große Anzahl von Köpfen ersichtlich ist.

Des Weiteren müssen Gegenstände auf den Bildern vorhanden sein, von denen die Maße bekannt sind. Ohne diese Gegenstände lässt sich keine Fläche ermitteln, auf der sich die Personen befinden, und somit auch keine Aussage über die Personendichte pro Quadratmeter treffen. Die Verzerrung der Längen in vertikaler Sichtrichtung auf einem Foto verursachten ebenfalls Probleme bei der Ermittlung der Fläche. Auch andere Projektpartner wurden mit diesen Problemen konfrontiert.

8.3 Videorecherchen

Die Problematik bei der Suche und Aufnahme von brauchbaren Videoaufnahmen ist zu vergleichen mit der Ermittlung von Fotoaufnahmen. Die Videoaufnahmen müssen möglichst senkrecht von oben auf die Personenströme gerichtet sein, um eine Auswertung vornehmen zu können. Hierbei gestaltete sich zusätzlich die Suche nach geeigneten Aufnahmeorten als schwierig.

Die bisherigen Videorecherchen ergaben, dass es kaum verarbeitbare Videoaufnahmen bei den Berufsfeuerwehren oder der vfdb gibt. Zur Feststellung, mit welcher Geschwindigkeit Personen und Personengruppen sich bewegen, erfolgten aus diesem Grund Videoaufnahmen auf der Cranger Kirmes in Herne, dem Weihnachtsmarkt und beim Karneval in Köln. Weitere Videoaufnahmen bei Großveranstaltungen sind geplant und werden nach der Fertigstellung dieser Bachelorarbeit erfolgen.

9. Definitionen

9.1 Großveranstaltung

Großveranstaltungen sind Veranstaltungen mit einer sehr großen Anzahl von Teilnehmern, wobei folgende Kennzeichen charakteristisch sind:

- "Die Veranstaltungen können von unterschiedlicher Nationalität, Sprache, sozialer Schichtung, politischer Anschauung und unterschiedlichem religiösem Bekenntnis sein und einen differenzierten kulturellen Hintergrund besitzen.
- Die Einwohner sind ebenfalls besonders involviert.
- Die Veranstaltung ist von besonderer Bedeutung für die Region, national oder sogar international.
- Meistens ist die Veranstaltung im Kern der Stadt oder auf besonderen Flächen angesiedelt.
- Großveranstaltungen erfordern eine behördliche Genehmigung sowie eine qualifizierte Zusammenarbeit der Behörden und Organisationen

mit Sicherheitsaufgaben, mit den Veranstaltern und anderen Beteiligten.“[3]

9.2 Sanitätswachdienst

Der Sanitätswachdienst stellt eine Erstversorgung von verletzten und erkrankten Personen sicher und vermittelt diese bei Bedarf an den öffentlichen Rettungsdienst weiter. Der Sanitätswachdienst erfolgt entweder auf eigenen Antrieb des Veranstalters, durch Vorschriften von übergeordneten Verbänden oder durch Auflagen von Behörden. [15]

9.3 Personengeschwindigkeiten

Als Personengeschwindigkeit wird in dieser Arbeit die Laufgeschwindigkeit einer Person verstanden. Die Personengeschwindigkeiten werden in Metern pro Sekunde angegeben, wodurch eine einfache Umrechnung in Metern pro Minute möglich ist.

9.4 Personendichte / Dichte des Personenstroms

Die Personendichte (ρ) bzw. die Dichte des Personenstroms kann aus der Anzahl der Personen N und der Bezugsfläche A in Quadratmeter definiert werden [4]:

$$\rho = \frac{N_{\text{Personen}}}{A} [1 / m^2]$$

N_{Personen} = Anzahl der Personen
 A = Bezugsfläche [m²]

Für ein besseres Verständnis werden im Folgenden die Personendichten in Personen pro Quadratmeter angegeben.

10. Personendichten

Im Folgenden wird die Ermittlung der maximal möglichen Personendichte beschrieben. Anschließend wird in dieser Arbeit, anhand einer Auszählung von Personendichten, die reelle Personendichte während einer Großveranstaltung in Köln ermittelt.

Mithilfe einer angenommenen Personendichte für eine Großveranstaltung lassen sich im Zusammenhang mit der zur Verfügung stehenden Freifläche Aussagen über die zu erwartenden Besucherzahlen treffen.

So kann durch die Multiplikation dieser beiden Angaben die Besucherzahl ermittelt werden. Die tatsächlichen Personendichten unterscheiden sich hierbei von der rechnerisch maximal möglichen Personendichte.

10.1 Ermittlung der maximal möglichen Personendichte

Die maximale Personendichte kann nach einer Veröffentlichung zur „Transporttechnik von Fußgängern“ von U. Weidmann durch Berechnung ermittelt werden. Zunächst wird an dieser Stelle jedoch auf die Grundlagen dieser Berechnungsmöglichkeit eingegangen. [5]

10.1.1 Körperproportionen

Nach U. Weidmann sind die Körperproportionen von dem Verhältnis zwischen Körpergröße und Beinlänge abhängig, wobei der Rumpf die breiteste Stelle des menschlichen Körpers darstellt. Die mittlere Körpergröße eines in Zentraleuropa lebenden Menschen (beide Geschlechter) beträgt 172,3 cm. Die Körperbreite, ohne Berücksichtigung der Kleidung, beträgt im Mittel für Mann und Frau 27 % der Körpergröße. Die Körpertiefe beträgt 13 % der Körpergröße. Diese Werte entsprechen denen eines ausgewachsenen Menschen ohne Berücksichtigung von Kindern und Jugendlichen. Bei Kindern und Jugendlichen kommt es aufgrund der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten zu andern Körperproportionen. [5] Kinder werden in den folgenden Rechnungen vernachlässigt.

10.1.2 Platzbedarf und maximale Personendichte

Betrachtet man die als Ellipse auf den Boden projizierte Fläche des menschlichen Körpers, wobei die Körpertiefe und die Körperbreite die beiden Hauptachsen darstellen, so erhält man den Mindestplatzbedarf einer Person. Dieser Mindestplatzbedarf berücksichtigt nicht die Kleidung oder eventuell

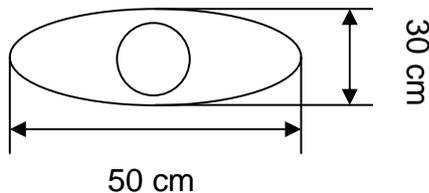


Abbildung 1: Körperproportionen
[A1]

mitgeführte Gepäckstücke und beträgt $0,085 \text{ m}^2$. Durch eine Umrechnung auf die maximale Personendichte pro Quadratmeter ergibt sich ein theoretischer Wert von $11,8 \text{ P/m}^2$. Bei diesem Wert sind die nicht auffüllbaren Zwischenräume mit

einkalkuliert. Diese Zwischenräume werden abgezogen, indem die benötigte Grundfläche als Rechteck berechnet wird. Daraus ergibt sich ein Platzbedarf von $0,11 \text{ m}^2$ und eine theoretisch maximale Personendichte von $9,3 \text{ P/m}^2$.

Werden zusätzlich die Kleidung und die Füße mit berücksichtigt, so kann mit hinreichender Genauigkeit angenommen werden, dass der Platzbedarf pro Person $0,15 \text{ m}^2$ entspricht. Umgerechnet bedeutet das eine maximale Personendichte von $6,6 \text{ P/m}^2$.

Stellt man diese Werte wie U. Weidmann als Körperproportionen dar, benötigt eine Person inklusive Kleidung und nicht ausfüllbarer Zwischenräume einen Platzbedarf in der Körperbreite von $0,5 \text{ m}$ und in der Körpertiefe von $0,3 \text{ m}$. Diese Körperbreite entspricht einem prozentualen Wert von 29% der Körpergröße und bei der Körpertiefe einem prozentualen Wert von $17,4 \%$ der angenommenen durchschnittlichen Größe eines in Zentraleuropa lebenden Menschen.

10.1.3 Personendichten in Abhängigkeit der Körperoberfläche

Eine alternative Möglichkeit, den Platzbedarf von Personen mit unterschiedlichen Körperproportionen zu vergleichen wurde in der vfdb-Zeitschrift 3/2009 beschrieben. Bei diesem Ansatz wird der Platzbedarf einer Person über die Körperoberfläche definiert.

Aus der Medizin stehen verschiedene Formeln, um die Körperoberfläche in Abhängigkeit der Körpergröße und des Körpergewichtes eines Menschen zu berechnen, zur Verfügung.

Geht man in den folgenden Berechnungen der Körperoberfläche von einem Publikum im Alter zwischen 18 und 50 Jahren aus, so ergibt sich ein durchschnittlicher Body-Mass-Index von 23. [I6] Hieraus errechnet sich eine durchschnittliche Körpergröße von 180 cm, ein Durchschnittsgewicht von 75 kg und nach unten stehenden medizinischen Formeln eine Körperoberfläche von $S = 1,94 \text{ m}^2$. Dieser Wert entspricht der Körperoberfläche einer Normperson. [5]

Berechnung der Körperoberflächen nach DuBois und Mosteller [5],[I4]:

DuBois:

$$Körperoberfläche = Gewicht^{0,425} \times Größe^{0,725} \times 0,007184$$

Körperoberfläche [m²]
Gewicht [kg]
Größe [cm]

Mosteller:

$$Körperoberfläche = \sqrt{\frac{Gewicht \times Größe}{3600}}$$

Körperoberfläche [m²]
Gewicht [kg]
Größe [cm]

Da sich die Personen jedoch hinsichtlich der Größe und des Gewichtes unterscheiden, wird in der Veröffentlichung der vfdb von folgender Verteilung ausgegangen:

Größe	Gewicht	Verteilung
190	95	10 %
185	85	20 %
180	75	25 %
175	75	25 %
170	60	20 %

Tabelle 1: Verteilung der Körperproportionen [T1]

Bei dieser Verteilung ergibt sich eine durchschnittliche Körperoberfläche von 1,94 m². Es handelt sich hierbei um eine Normverteilung.

In der nachfolgenden Tabelle werden Beispiele zur Berechnung der Auslegung von Versammlungsstätten gegeben. Hierbei wird nach der Versammlungsstättenverordnung von einer Normpersonendichte von 2 P/m² ausgegangen und die Abweichungen bei anderen „Nicht-Normpersonen“ werden im Verhältnis zur Normperson dargestellt. [2]

Körpergröße in cm	Körpermasse in kg	S	S Norm / S ist	Personen auf 1000 m ²
183	95	2,20	0,88	1762
183	90	2,14	0,91	1811
183	85	2,08	0,93	1863
160	60	1,63	1,19	2372
180	75	1,94	1	2000

Tabelle 2: Vergleich der Personendichte in Abhängigkeit der Körperoberfläche [T2]

Ersichtlich wird aus dieser Tabelle, dass größere und schwerere Personen einen höheren Platzbedarf benötigen und hierdurch die Anzahl der Personen sinkt.

Durch die Körperoberfläche ergibt sich des Weiteren die Möglichkeit, verschiedene Messungen zu vergleichen. So findet man z. B. in Japan die Angaben, dass sich an Engstellen bei Evakuierungen 8 Personen pro Quadratmeter befinden. Geht man davon aus, dass es sich bei dieser Angabe um junge schlanke Personen mit einem Körpergewicht von 55 kg und einer Körpergröße von 1,6 m handelt, so ergibt sich eine Körperoberfläche von 1,563 m² pro Person. Die gesamte Körperoberfläche der acht Personen beträgt 12,5 m². Setzt man diese ins Verhältnis der in Deutschland genannten Normperson, so würde sich eine Normpersonendichte von 6,4 P/m² ergeben.

Ein Vergleich verschiedener Messungen ist also durch die Berechnung der Körperoberflächen möglich. [2]

10.1.4 Maximale Personendichten im internationalen Vergleich

Nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes beträgt die durchschnittliche Größe der in Deutschland lebenden Männer 1,78 m und der Frauen 1,65 m. Das Verhältnis von Männern zu Frauen ist 0,96. [13] Nimmt man in der folgenden Berechnung ein Verhältnis von eins zu eins zwischen Männern und Frauen an, errechnet sich in Deutschland eine mittlere Körpergröße von 171,5 cm. [8] Bei dieser Größe ergibt sich für jede Person eine mittlere Körperbreite von 49,74 cm und eine Körpertiefe von 29,84 cm. Hieraus ergibt sich eine projizierte Fläche von 0,148 m² und eine mögliche Personendichte von maximal 6,7 P/m². In der folgenden Tabelle werden zum Vergleich die Körperproportionen verschiedener Länder verglichen. Die Angaben der Körperbreite und -tiefe stammen, ausgenommen die Angaben aus Deutschland, aus einer Veröffentlichung [6] von U. Weidmann. Die Angaben entsprechen den Mittelwerten aus weiblichen und männlichen Personen, wobei ebenfalls davon ausgegangen wurde, dass der Anteil an Frauen und Männern gleich ist.

Land	Körperbreite [in cm]	Körpertiefe [in cm]	Platzbedarf pro Person [m ²]	Max. Personen- dichte [P/m ²]
Deutschland	49,7	29,8	0,148	6,75
Schweiz	46,5	31	0,144	6,94
Frankreich	49,25	28,75	0,142	7,06
Großbritannien	47,25	31,5	0,149	6,71
Hongkong (heute China)	45,25	25,25	0,114	8,75
Japan	41,75	26	0,109	9,21

Tabelle 3: Körperproportionen im Vergleich [T3]

Über die Körpergröße ist demnach eine Berechnung des Platzbedarfes einer Person nach Nationalität möglich. Zu beachten gilt jedoch, dass die Bevölkerung besonders in den westlichen Ländern an Gewicht zunimmt. Hierdurch kommt es zu einer Veränderung der Körpertiefe, aber auch der Körperbreite. In Deutschland betrug die durchschnittliche Gewichtszunahme

bei beinahe gleich gebliebener Körpergröße innerhalb von sechs Jahren (1999–2005) bei Männern 1,6 kg und bei Frauen 0,8 kg. [8]

Demzufolge müsste nach einigen Jahren eine Anpassung der durchschnittlichen Werte für die Körpertiefe und Körperbreite erfolgen.

10.2 Personendichten auf Großveranstaltungen

Um die tatsächlichen Personendichten auf Großveranstaltungen zu ermitteln, erfolgte eine Auswertung von Bildern, die bei der Großbildübertragung der Fußball-WM an der „Deutzer Werft“ und am Heumarkt in Köln aufgenommen wurden. Auf dem ersten Bild (Abb.2) ist der Stauungsbereich am Eingang zur Großbildübertragung am Heumarkt zu erkennen. In diesem Stauungsbereich befinden sich auf einer Fläche von 23,6 m² 113 Personen. Dies entspricht einer Personendichte von 4,8 Personen pro Quadratmeter.



Abbildung 2: Personendichte Heumarkt Köln [A2]

Das zweite Bild (Abb.3) wurde während einer Übertragung eines Fußballspieles an der Deutzer Werft aufgenommen. Auf diesem Bild befinden sich auf einer Fläche von 16 Quadratmetern 61 Personen. Dies entspricht einer Personendichte von 3,8 Personen pro Quadratmeter. Diese

Personendichten sind deutlich größer, als die Angaben der Versammlungsstättenverordnung.



Abbildung 3: Personendichte „Deutzer Werft“ Köln [A3]

10.3 Internationale Angaben zum Platzbedarf einer Person

Durch Erkenntnisse der FEMA [7] und von U. Weidmann [5] zum personenbezogenen Platzbedarf kann die Personendichte auf Großveranstaltungen von einer Person innerhalb einer Menschenmenge abgeschätzt werden. Diese Erkenntnisse sind bei der späteren Ermittlung der Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps in der Menschenmenge von wichtiger Bedeutung.

10.3.1 Angaben aus den USA (FEMA)

In einer Studie von Fruin (1981), die von der FEMA in einem Bericht zum „Special Events Contingency Planning“ angewendet wird, ist der personenbezogene Platzbedarf beschrieben. Diese Angaben werden in Quadratfuß pro Person angegeben, wobei ein Quadratfuß 0,0929 Quadratmetern entspricht. Zum besseren Verständnis sind die Personendichten zusätzlich

nach jeder Aussage in Personen pro Quadratmeter angegeben. Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse dieser Studie aufgeführt [7]:

- Bei 2,94 m² pro Person bewegen sich die Personen in einem Strom mit Schrittgeschwindigkeit und es ist ihnen möglich, sich gegenseitig auszuweichen (0,34 P/m²).
- Bei 0,9 m² pro Person ist der Bewegungsfreiraum jeder Person stark eingeschränkt und die Personengeschwindigkeit nimmt merkbar ab (1,1 P/m²).
- Ist die Fläche pro Person auf 0,46 m² beschränkt, so ist die maximale Kapazität eines Durchganges z. B. in einem Theater oder Stadion erreicht. Die Personen bewegen sich nun nur noch in einer Gruppe (2,2 P/m²).
- Bei weniger als 0,46 m² pro Person wird die individuelle Bewegungsfreiheit zunehmend eingeschränkt (> 2,2 P/m²).
- Sinkt die jeder Person zur Verfügung stehende Fläche auf unter 0,3 m², so ist ein unwillkürlicher Kontakt mit anderen Personen unvermeidbar. Dieser Zustand wird von Menschen normalerweise vermieden, kommt jedoch in vollen Aufzügen und Bussen vor (> 3,3 P/m²).
- Unter 0,19 m² pro Person spricht man von einer gefährlichen Menge, wobei die psychische Belastung in der Menschenmenge zunehmend steigt (> 5,3 P/m²).

10.3.2 Angaben aus der Schweiz

Nach der Veröffentlichung von U. Weidmann [5] kommt es bei einer Personendichte von 0,3–0,45 P/m² zu einer Einschränkung der persönlichen Bewegungsfreiheit. Bei einer Personendichte von 0,75–1 P/m² ist die freie Wahl der Gehgeschwindigkeit massiv eingeschränkt und im Bereich von 1–1,5 P/m² ist die freie Wahl der Gehgeschwindigkeit nicht mehr gegeben. Bei einer Personendichte im Bereich von 1,5–2 P/m² kommt es zu einem Gedränge und daraus resultierend zu häufigen erzwungenen Richtungswechseln. Steigt die Personendichte weiter an, erfolgt die Fortbewegung der Personen nur noch stoßweise. In diesem Bereich ist das Überholen anderer

Fußgänger nicht mehr möglich. Bei einer Personendichte über 5 P/m² kommt die Masse zum Stillstand.

12. Personengeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichte

12.1 Personengeschwindigkeiten von Fußgängern

Die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Fußgängers liegt bei 1,34 m/s bei einer nicht zu berücksichtigenden niedrigen Personendichte (0 P/m²). Die Spannweite der Geschwindigkeiten liegt hierbei zwischen 0,56 m/s und 2,12 m/s. [5]

Setzt man die Personengeschwindigkeit zusätzlich ins Verhältnis zur Personendichte, so nimmt die Geschwindigkeit in einem Bereich zwischen 0,5–1 P/m² stark ab. Bei einem Wert von 5,4 P/m² kommen die Personen zum völligen Stillstand. Die Personengeschwindigkeiten nehmen hierbei jedoch nicht linear ab. Bis zu einer Personendichte von ca. 3 P/m² ist eine schnelle Abnahme der Geschwindigkeiten zu verzeichnen. Im Bereich oberhalb 3 P/m² ist die Geschwindigkeitsabnahme bis zum vollkommenen Stillstand verlangsamt. Dass die Personen bereits bei einer Personendichte von 5,4 P/m² zum Stillstand kommen, liegt an der Tatsache, dass sich bewegende Personen einen größeren Platzbedarf als stehende Personen haben. Gründe hierfür sind die Schrittlängen und das Schwanken jeder einzelnen Person beim Laufen. [5] In Abb. 4 wird der praktische Verlauf der Abnahme der Personengeschwindigkeiten aufgezeigt.

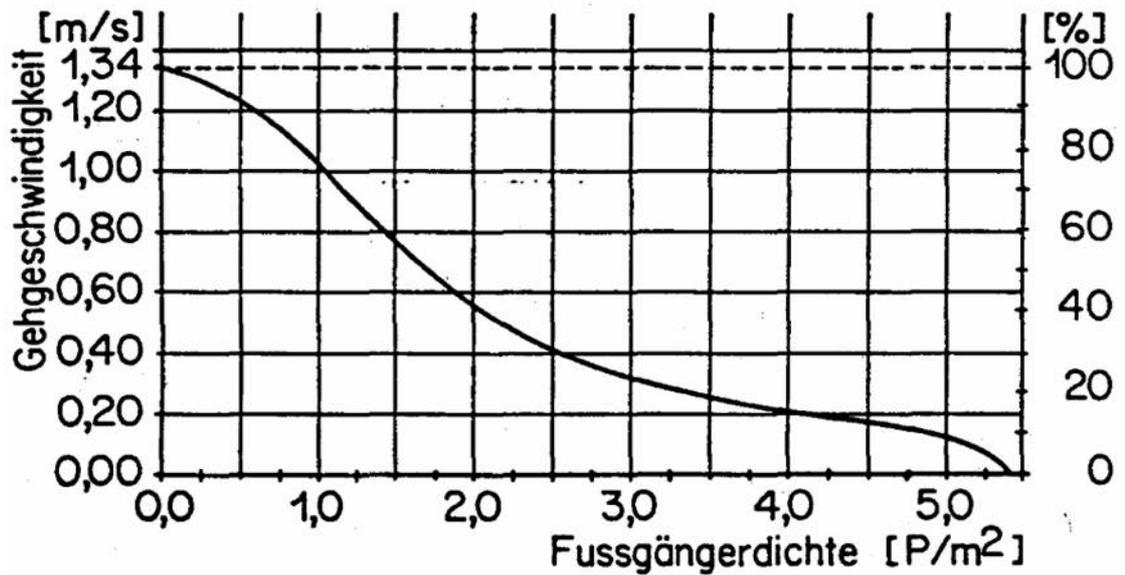


Abbildung 4: Abnahme der Personengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Dichte [A4]

Das Diagramm beschreibt Gehgeschwindigkeiten von Personen in eine Richtung in Abhängigkeit der Dichte.

Bei Gegenverkehr nimmt die Gehgeschwindigkeit ab. Bei einem Verhältnis von 10 % Strom zu 90 % Gegenstrom tritt der größte Geschwindigkeitsverlust auf.

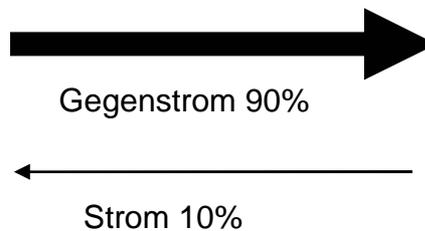


Abbildung 5: Richtungsverteilung [A5]

Diese maximale Verlustrate beträgt 14,5 % der Gehgeschwindigkeiten. Ist das Verhältnis beider Ströme gleich groß, so ergibt sich eine Verlustrate von 4 %. Dadurch, dass sich die Personenströme separieren und sich ein Rechtsverkehr einstellt, kommt es zu keinen größeren Geschwindigkeitsverlusten. [5]

12.2 Personengeschwindigkeiten auf der Cranger Kirmes

Zur Ermittlung, mit welcher Geschwindigkeit sich einzelne Personen und Personengruppen bei verschiedenen Personendichten auf Großveranstaltungen fortbewegen, wurden von der vfdb Videoaufnahmen gemacht. Hierbei wurden die gefilmten Personenströme und die Personengeschwindigkeit bei einer Personendichte zwischen 0,8 bis 2,5 Personen je Quadratmeter untersucht. Bei größeren Dichten war es nicht mehr möglich, einzelne Personen bzw. Gruppen auseinander zuhalten.

Die Personendichten und -geschwindigkeiten wurden durch händische Auszählung ermittelt. In den folgenden Diagrammen ist auf der horizontalen Achse die Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde und auf der vertikalen Achse die Gruppengröße dargestellt. Bei der Skalierung der Geschwindigkeiten ist darauf zu achten, dass aus Gründen der Darstellung die Grenzen unterschiedlich sind.

Diese Diagramme zeigen, dass die Personengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Personendichte abnimmt. Zusätzlich verlangsamt sich ein Großteil der Gruppen in Abhängigkeit zu der zunehmenden Gruppengröße. Dieser Effekt lässt sich vielleicht dadurch beschreiben, dass einzelne Personen oder auch Paare auf dem Weg zum Treffpunkt mit anderen Personen sind. Eine größere Gruppe ist häufig komplett und hat aus diesem Grund nicht mehr das Bedürfnis, sich schneller fortzubewegen. Eine weitere Erklärung könnte das Bedürfnis des Gruppenzusammenhaltes sein. Sicherlich wäre es für eine größere Gruppe auch schwerer, die Geschwindigkeit einer einzelnen Person zu erreichen.

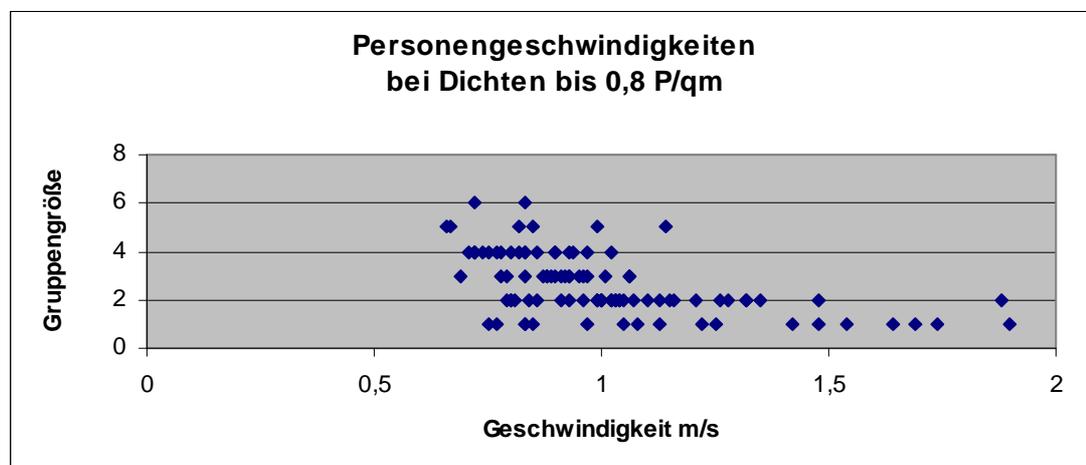


Abbildung 6: Personengeschwindigkeiten bei 0,8 P/m² [A6]

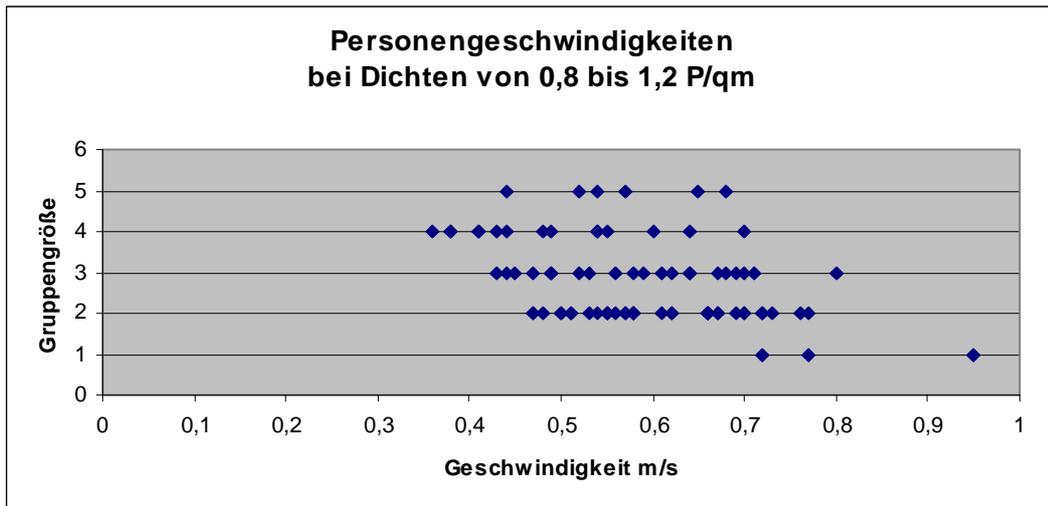


Abbildung 7: Personengeschwindigkeiten bei 0,8 bis 1,2 P/m² [A7]

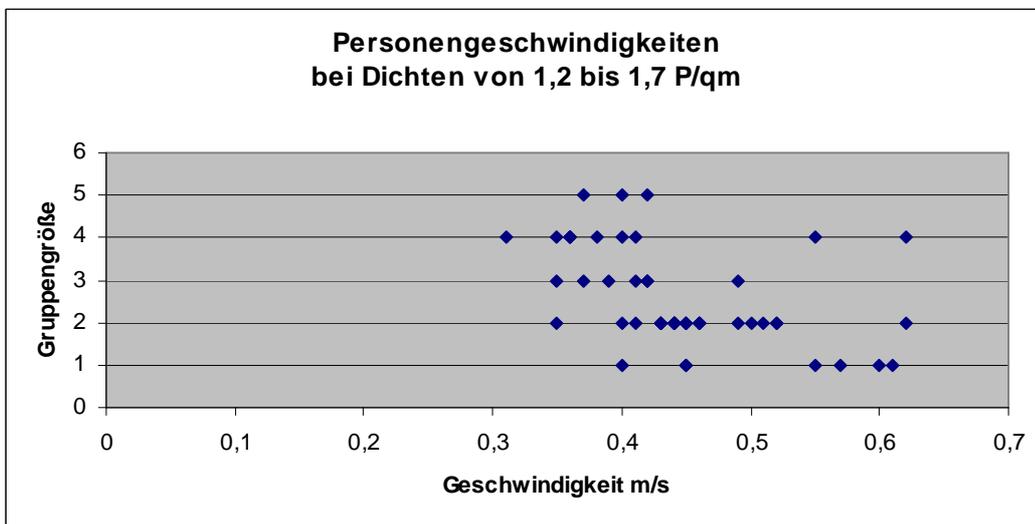


Abbildung 8: Personengeschwindigkeiten bei 1,2 bis 1,7 P/m² [A8]

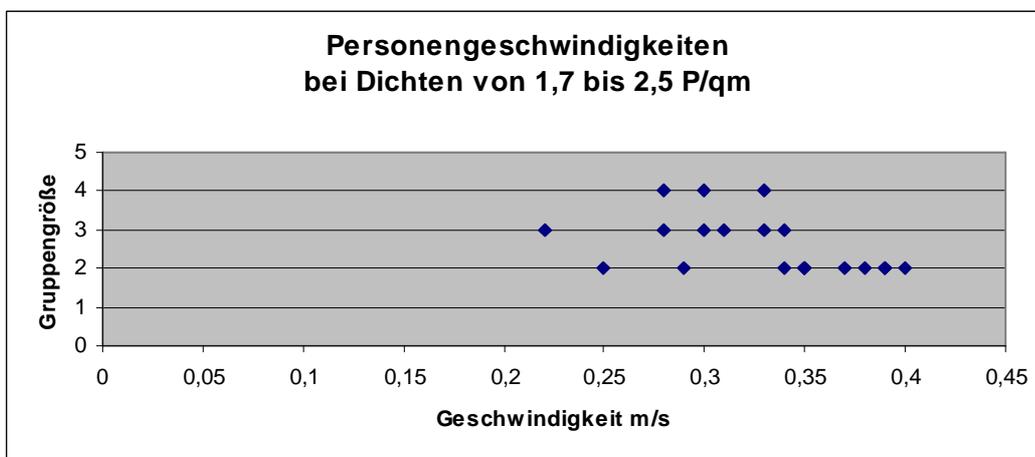


Abbildung 9: Personengeschwindigkeiten bei 1,7 bis 2,5 P/m² [A9]

Ab

Betrachtet man die mittlere Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Gruppengröße und der Dichte, so wird in der folgenden Tabelle die Abnahme der Geschwindigkeit nochmals verdeutlicht. Die Geschwindigkeit der Personen nimmt hierbei nicht linear ab.

Zur Verdeutlichung dieses Effektes wurden die Geschwindigkeiten gemittelt und die Dichten einer Zweier-, Dreier- und Vierergruppe in einem weiteren Diagramm dargestellt. Hierbei befindet sich auf der y-Achse die mittlere Geschwindigkeit [m/s] und auf der x-Achse die mittlere Personendichte [P/m²]. Eine Zweier-, Dreier und Vierergruppe wurde zur Darstellung gewählt, da hier zum einen für alle gemessenen Dichten Werte vorliegen und zum anderen diese Personengruppen beim Auszählen am besten zu erkennen waren.

Gruppe	Mittlere Geschw. (m/s) Dichte bis 0,8 P/m ²	Mittlere Geschw. (m/s) Dichte 0,8 bis 1,2 P/m ²	Mittlere Geschw. (m/s) Dichte bis 1,2 bis 1,7 P/m ²	Mittlere Geschw. (m/s) Dichte 1,7 bis 2,5 P/m ²
1er	1,23	0,82	0,52	
2er	1,08	0,61	0,45	0,35
3er	0,91	0,57	0,41	0,30
4er	0,83	0,49	0,41	0,30
5er	0,84	0,55	0,40	

Tabelle 4: Personengeschwindigkeiten/-dichten [T4]

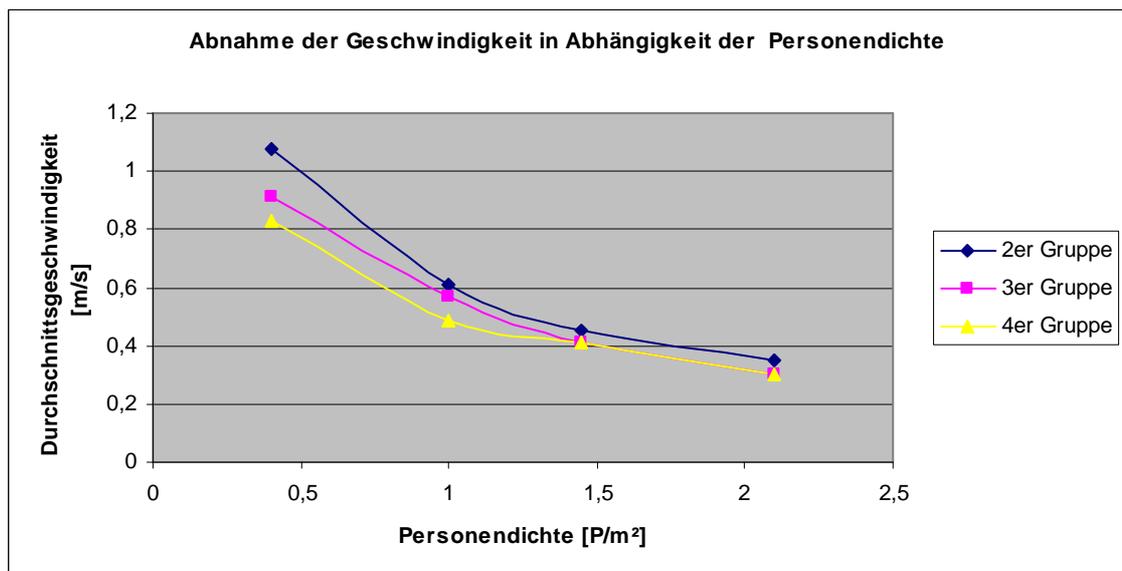


Abbildung 10: Abnahme der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Personendichte auf der Cranger Kirmes [A10]

Auf diesem Diagramm wird deutlich, dass die Geschwindigkeit einer Zweier-, Dreier- und Vierergruppe bis zu einer Dichte von 1,0–1,5 P/m² schnell abnimmt. Anschließend ist die Abnahme der Geschwindigkeit verlangsamt. Diese einzelnen Messungen stimmen mit der Aussage der FEMA überein, wonach Personen sich bei einer Dichte von 0,34 P/m² frei bewegen und danach die Bewegungsfreiheit jeder einzelnen Person zunehmend eingeschränkt wird.

13. Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps in Menschenmassen

Die Geschwindigkeit eines Rettungstrupps innerhalb einer Menschenmasse ist nur schwierig zu ermitteln. In der Literatur finden sich zu verschiedenen Personendichten Angaben zu den maximalen Personengeschwindigkeiten. Nach Weidmann ergibt sich bei einer Dichte von 1,75 P/m² eine maximale Geschwindigkeit von 0,7 m/s. Nach Fruin ist diese Geschwindigkeit auch noch bei einer Personendichte von 2,04 P/m² möglich [5]. Das Verhalten von Fußgängern ist jedoch ein anderes als das Verhalten eines Rettungstrupps in der Menschenmasse. Fußgänger sind geneigt, möglichst lange den physischen Kontakt mit anderen Personen zu vermeiden. Ein Rettungstrupp hingegen wird sich im Bedarfsfall Platz schaffen, er hat aufgrund des mitgeführten Materials (Notfallrucksack, evtl. eine Trage) einen größeren Platzbedarf. Hieraus ergibt sich die Frage, ob ein schnelleres oder langsames Vorankommen des Rettungstrupps in der Menschenmasse gegenüber einem Fußgänger möglich ist.

13.1 Versuchsablauf

Zur Untersuchung der Geschwindigkeit eines Rettungstrupps sollten an zwei Tagen Messungen während der Karnevalstage in Köln stattfinden. Die erste Messung, die am Karnevalssamstag auf der Zülpicher Straße erfolgen sollte, konnte aufgrund fehlender Menschenmassen jedoch nicht stattfinden. Eine Ursache für die fehlende Menschenmasse war sicherlich die kalte und ungewöhnlich schneereiche Wetterlage in Köln. Hierdurch hielt sich ein Großteil der Karnevalsbesucher in den dortigen Kneipen auf und feierte nicht

auf der Straße. Die zweite Messung, die erfolgreich durchgeführt wurde, erfolgte am Rosenmontag. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit wurden Menschenmassen von einem drei Mann starken Rettungstrupp, ausgestattet mit einem Notfallrucksack, durchlaufen und die Entfernung wurde in Abhängigkeit der Zeit gemessen. Hierdurch wurde die Geschwindigkeit des Rettungstrupps ermittelt. Zusätzlich wurde die Personendichte abgeschätzt, um eine Aussage über die Geschwindigkeit in Anlehnung an die Personendichte zu treffen.

13.2 Ergebnis

Bei einer Personendichte von 1,5–2 P/m² war ein Vorwärtskommen in der Menge gut möglich. Eine Begründung für das gute Vorankommen ist, dass sich hier zusätzlich Personenströme in Laufrichtung des Rettungstrupps ausgebildet hatten. Bei den höheren Personendichten war ein Vorwärtskommen nur noch schwierig möglich und ein Kontakt zu anderen Personen unvermeidbar. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Messung aufgelistet.

Strecke [m]	Dauer [min]	Geschwindigkeit [m/s]	Personendichte [P/m ²]
120	2:36	0,8	1,5–2
120	4:12	0,48	2–3
110	4:36	0,40	2–3
100	4:54	0,34	>3

Tabelle 5: Geschwindigkeit eines Rettungstrupps in Abhängigkeit der Personendichte [T5]

Dem Rettungstrupp wurde durch die Besucher in den meisten Fällen zügig Platz gemacht, wodurch ein etwas schnelleres Vorankommen in der Menge möglich wurde.

Um die Geschwindigkeit eines Rettungstrupps noch besser spezifizieren zu können, sind weitere Messungen auf Großveranstaltungen nach Fertigstellung dieser Bachelorarbeit nötig.

13.3 Rechnerische Geschwindigkeit eines Rettungstrupps

Die Festlegung der Wachbezirksgröße (Raumplanung) gestaltet sich bei der Planung der Wachbezirke als schwierig. Fehlende Angaben zu den Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps führten dazu, dass drei vereinfachte Geschwindigkeitskategorien angenommen wurden.

Danach bewegt sich ein Rettungstrupp bei sitzendem Publikum mit 100 Metern pro Minute, bei stehendem Publikum mit 50 Metern pro Minute und bei gedrängt stehendem Publikum mit 25 Metern pro Minute vorwärts. Die Abnahme der Personengeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichte gestaltet sich nicht linear.

In der Untersuchung zu Fußgängergeschwindigkeiten wurde von einer mittleren Geschwindigkeit von 1,34 m/s ausgegangen. Die Spannbreite der Geschwindigkeiten lag hierbei zwischen 0,56 m/s und 2,12 m/s. Der Wechsel vom Gehen zum Laufen liegt in einem Bereich zwischen 1,9 und 2,5 m/s. [5] Geht man davon aus, dass ein Rettungstrupp nicht rennt, jedoch zügig geht, so kann die Geschwindigkeit eines Rettungstrupps mit maximal 1,8 m/s angenommen werden.

Eine Geschwindigkeit von 1,8 m/s ist um 34 % höher als die durchschnittliche Geschwindigkeit von Fußgängern. Die Geschwindigkeit von 1,8 m/s liegt innerhalb des untersuchten Bereiches zu den Fußgängergeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichten von U. Weidmann.

Geht man des Weiteren davon aus, dass sich die Abnahme der Geschwindigkeit eines Rettungstrupps gleich wie die Abnahme der Geschwindigkeiten von Fußgängern gestaltet, so ergibt sich die gleiche s-förmige Kurve, jedoch mit einem Anfangswert von 1,8 m/s bei einer Personendichte von 0 P/m².

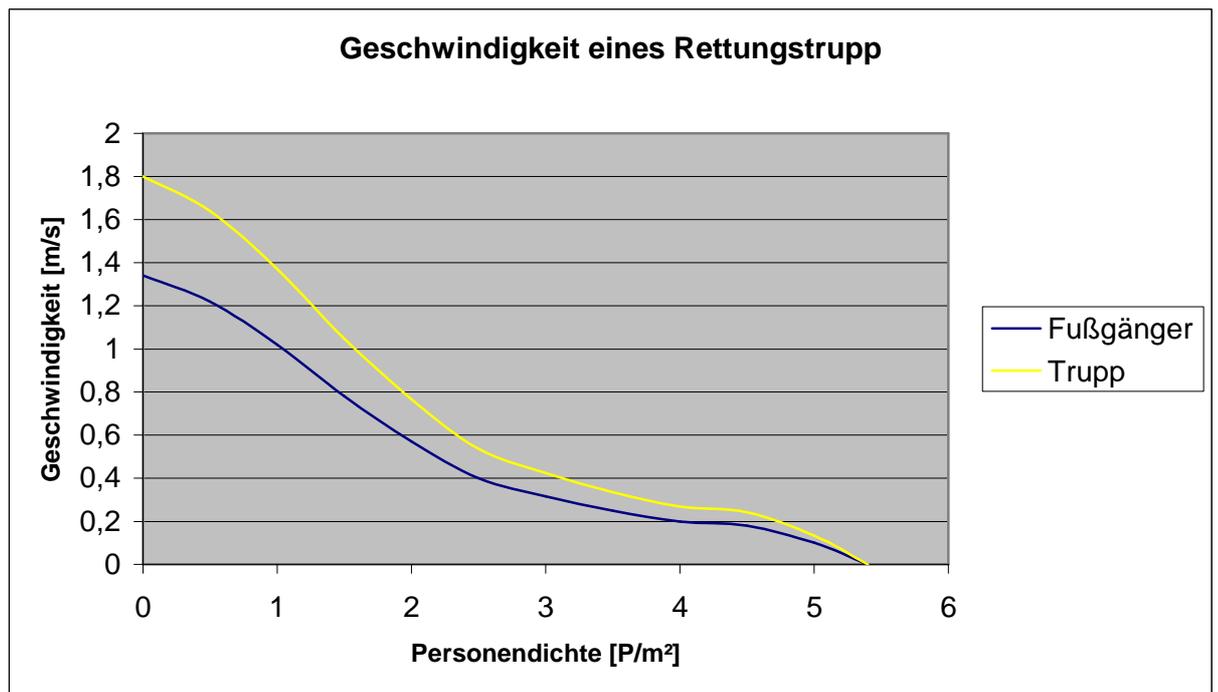


Abbildung 11: Geschwindigkeit eines Rettungstrupps [A11]

Wird bei der Raumplanung für stehendes Publikum eine Personendichte von 2 P/m² für die Berechnung der Wachbezirksgröße (Kölner Algorithmus) angenommen, so ergibt sich eine Geschwindigkeit des Rettungstrupps von 0,77 m/s bzw. 46 m/min. Nimmt man für gedrängt stehendes Publikum eine Personendichte von 3 P/m² an, so erreicht der Rettungstrupp noch eine Geschwindigkeit von 0,42 m/s bzw. 25 m/min. Die durch den Versuch zu den Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps in Menschenmassen ermittelten Werte stimmen mit den theoretisch errechneten Werten überein. Für die Planung der Wachbezirksgrößen ist demnach keine Anpassung der Geschwindigkeiten der Rettungstrupps nötig, da das Tempo mit den angegebenen Werten übereinstimmt.

Die Auszählung der Bilder von der Deutzer Werft ergaben jedoch, dass Personendichten von bis zu 4 P/m² erreicht wurden.

Aus diesem Grund scheint eine Aufteilung des Publikums in vier Kategorien für eine feinere Planung der Wachbezirke sinnvoll. Eine weitere Unterteilung in dicht gedrängtes Publikum bietet die Möglichkeit, die höheren Dichten mit zu berücksichtigen. Wird für dicht gedrängtes Publikum eine Personendichte von 4 P/m² angenommen, so ergibt sich für den Rettungstrupp noch eine maximale Geschwindigkeit von 0,27 m/s bzw. 16 Metern pro Minute.

13.4 Parzellierung von Großveranstaltungen

Zur effektiven Verteilung der UHS ist eine sinnvolle Parzellierung des Geländes der Großveranstaltung nötig. Hierdurch wird sichergestellt, dass mögliche Notfallereignisse in der vorgeschriebenen Hilfsfrist erreicht werden können.

Wird bei einer Großveranstaltung mit einer Hilfsfrist von 5 Minuten geplant, so ergeben sich bei unterschiedlichen Personendichten die maximalen Entfernungen, die in der Hilfsfrist zurückgelegt werden können. Bei Veranstaltungen mit drei Personen pro Quadratmeter darf die Strecke, die von der nächstgelegenen UHS zurückgelegt werden muss, maximal 125 Meter betragen. Bei vier Personen pro Quadratmeter beträgt diese Strecke nur noch 80 Meter.

Soll der Abstand der jeweils nächsten UHS bzw. der zu durchstreifende Wachbezirk vergrößert werden, so ist es sinnvoll, die Wachbezirke durch Stichgänge zu vergrößern. Bei ungehindertem Vorankommen des Rettungstrupps können innerhalb von fünf Minuten 500 Meter zurückgelegt werden. Zu bedenken gilt, dass der Rettungstrupp zur Personenrettung auch Abschnitte mit höheren Personendichten durchqueren muss. Die Personendichte von 2 P/m², die von der Versammlungsstättenverordnung vorgegeben ist, wird häufig überschritten.

14. Geschwindigkeit eines Rettungsfahrzeuges in Menschenmassen

Dem folgenden Abschnitt lag die Fragestellung zugrunde, ob es sinnvoll ist, Menschenmassen bei Großveranstaltungen mit Rettungsfahrzeugen zur medizinischen Notfallversorgung zu durchfahren. Am 11.11.2009 und am 11.02.2010 wurde jeweils ein Versuch durchgeführt, um die Geschwindigkeit eines Rettungswagens in einer Menschenmasse festzustellen. Hierzu wurden auf einem RTW eine Kamera installiert und eine Einsatzfahrt auf dem Heumarkt am 11.11.2009 über eine Distanz von 130 m gefilmt. Für diese Strecke wurde eine Zeit von 1 Minute und 50 Sekunden benötigt. Daraus errechnet sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,18 m/s bzw. 4,3 km/h. Die Personendichte betrug maximal 1 Person je Quadratmeter, wodurch genügend Platz vorhanden war, um eine Gasse zu bilden. Die

Besucher bewegten sich in zwei Richtungen vor dem Fahrzeug. Ein Teil der Besucher kam auf das Fahrzeug zu und machte zügig Platz. Der andere Teil bewegte sich vor dem Fahrzeug und wandte diesem den Rücken zu. Von diesen Besuchern wurde das Fahrzeug teilweise erst spät erkannt und somit die Weiterfahrt verzögert. Einige Besucher benutzten die sich bildende Gasse zum eigenen Vorteil, um ein schnelleres Vorankommen ihrerseits zu erreichen.

Am 11.02.2010 wurde eine Menschenmenge an einer Engstelle am Rheinufer durchfahren. An dieser Stelle betrug die Personendichte auf einer Länge von 30 Metern 1–1,5 P/m². Die mittlere Geschwindigkeit des Rettungsfahrzeuges betrug 1 m/s bzw. 3,6 km/h. An dieser Engstelle standen die Besucher und konnten den Weg nur frei machen, indem sie enger zusammenrückten bzw. die Masse in Längsrichtung auseinanderging. Hierbei kam das Fahrzeug kurzzeitig zum Stillstand. Wäre die zu messende Strecke länger gewesen, so wäre die gefahrene Geschwindigkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit sehr viel langsamer gewesen, da die Besucher keine Möglichkeit gehabt hätten, sich in Längsrichtung auszudehnen.

Die Signalanlage wurde nur für den Fall eingesetzt, dass Personen das Rettungsfahrzeug nicht wahrnahmen bzw. aufgrund des erhöhten Alkoholkonsums das Rettungsfahrzeug als Belustigung ansahen.

Bereits bei einer Personendichte von maximal 1 P/m² bewegt sich das Rettungsfahrzeug langsamer als ein Rettungstrupp vorwärts. Der Rettungstrupp erreicht bei dieser Dichte eine um 0,4 m/s höhere Geschwindigkeit als der Rettungswagen.

14.1 Gefährdung durch Rettungsfahrzeuge

Durch das Befahren von Menschenmassen kommt es zu einer erheblichen Gefährdung der dort anwesenden Personen. Die Umstehenden werden durch das sich bewegende Rettungsfahrzeug gefährdet und zusätzlich durch die bis zu 125 db laute Signalanlage belastet.

14.2 Fahrzeugbedingte Gefährdungen

Bei den Filmaufnahmen wurde folgendes Gefährdungspotenzial für die Besucher festgestellt:

Die Dimensionen eines Fahrzeuges werden von den Passanten oft zu gering eingeschätzt. Die sich bildende Rettungsgasse ist häufig zu schmal. Besondere Problematik tritt an Engstellen auf. Hier ist es den Besuchern jedoch aufgrund der steigenden Personendichten nicht möglich, eine größere Rettungsgasse zu bilden.

Der Abstand zwischen Besuchern und sich bewegendem Fahrzeug ist sehr gering. Es entsteht die Gefahr, Personen anzufahren bzw. Füße zu überrollen.

Ganz besonders ist herauszuheben, dass es dem Fahrzeugführer aufgrund des toten Winkels nicht möglich ist, die gesamte Längsseite des Fahrzeuges im Blick zu behalten.

14.3 Akustische Belastung

14.3.1 Lautstärken von Sirenenanlagen

Moderne Signalanlagen auf Rettungsfahrzeugen erreichen bei einem Druckluftsignalhorn eine Lautstärke von bis zu 125 db (A) und bei elektronischen Signalanlagen eine Lautstärke von bis zu 115 db (A) in einem Meter Entfernung.[1][2]

Diese Lautstärken sind bei den immer besser werden Schallisolierungen von Personenkraftfahrzeugen nötig, um eine akustische Warnung der Fahrer zu ermöglichen. Bei der Befahrung von Menschenmassen wird diese hohe Lautstärke von den Besuchern jedoch als belastend empfunden. Dies zeigt sich dadurch, dass sich viele der Besucher beim Vorbeifahren eines Rettungsfahrzeuges die Ohren zuhalten.

14.3.2 Grundlagen

Bei der Betrachtung der Lautstärke muss die Frequenz mit berücksichtigt werden. So werden hohe Frequenzen von Testpersonen als lauter empfunden als tiefe Frequenzen. Ab einem Bereich von 2000 Hz erkennt man einen beachtlichen Verstärkungseffekt der wahrgenommenen Lautstärke. Um die Lautstärken jedoch zu vergleichen, ist es üblich, dass die Lautstärke frequenzbewertet angegeben wird. Die gemessene Lautstärke wird hierzu auf die Lautstärke bei 1 kHz umgerechnet und als A-bewerteter Schalldruckpegel in db (A) angegeben. [9]

14.3.3 Tatsächliche Lautstärke in Abhängigkeit der Entfernung

Die Schmerzgrenze des menschlichen Gehörs liegt bei 134 db (A). Zu berücksichtigen gilt jedoch, dass die Lautstärkewahrnehmung sich verdoppelt bzw. halbiert, wenn der Schallpegel um 10 db (A) zu- bzw. abnimmt. In unmittelbarer Nähe zum Rettungsfahrzeug wird die Lautstärke als sehr laut empfunden. Der Schalldruck nimmt jedoch im Freien bei einer Verdopplung der Entfernung bereits um 6 db (A) ab. Die Abnahme der Lautstärke lässt sich durch folgende Formel beschreiben [9]:

$$\Delta L = \frac{b}{6} 20 \times \lg \frac{d_2}{d_1} \text{ db}$$

ΔL = Lautstärkeabnahme [db]

b = Anfangslautstärke [db]

d_1 = Anfangspunkt [m]

d_2 = Endpunkt [m]

Hieraus ergibt sich, dass der Lautstärkepegel einer 125 db (A) lauten Sirenenanlage bereits nach 30 Metern auf 95 db (A) und nach 50 Metern auf 89 db (A) abgefallen ist. Die sehr laute Belästigung der Besucher von über 100 db (A) ist nur in einem Bereich von 15 Metern vor dem Fahrzeug gegeben. Bei einem sich bewegenden Fahrzeug handelt es sich demnach nur um eine kurzzeitige akustische Belästigung der Besucher einer

Großveranstaltung. Diese Belastung ist im Rahmen der medizinischen Hilfe vertretbar. Eine gute Absprache der Einsatzleitung des Sanitätswachdienstes und der Leitstelle des öffentlichen Rettungsdienstes ist nötig. Hierdurch können unnötige Fahrten durch die Menschenmasse vermieden werden. Die Akzeptanz der Bevölkerung für den Rettungsdiensteinsatz könnte hiermit wieder gesteigert werden.

15. Zusammenfassung

Der Kölner Algorithmus bietet eine Möglichkeit zur systematischen Planung der medizinischen Gefahrenabwehr. Es kommt bei der Planung häufig zu Fragen hinsichtlich der Personendichten und der Geschwindigkeiten von Rettungstrupps bzw. Rettungsfahrzeugen in der Menschenmenge. Die Ermittlungen der Personendichte kann rechnerisch als eine auf den Boden projizierte Fläche ermittelt werden. Diese maximale Personendichte beträgt in Deutschland $6,7 \text{ P/m}^2$. Die tatsächliche Personendichte, welche anhand von Bildaufnahmen während der Fußball- WM in Köln erhoben wurde, betrug in einem Stauungsbereich $4,8 \text{ P/m}^2$. Zur Untersuchung, wie sich Personen und Personengruppen auf Großveranstaltungen verhalten, erfolgten Videoaufnahmen. In diesen Aufnahmen wurde deutlich, dass die Geschwindigkeiten der Gruppen in Abhängigkeit der zunehmenden Gruppengröße und Personendichten schnell abnimmt.

Im Anschluss an die Ermittlung der Personendichten wurde ein Zusammenhang von Fortbewegungsgeschwindigkeiten in Menschenmengen untersucht. Die Gehgeschwindigkeiten wurden Anhand von Untersuchungen zu Geschwindigkeiten von Fußgängern bei verschiedenen Dichten ermittelt. Die anfangs schnelle Abnahme der Gehgeschwindigkeiten der Fußgänger verlangsamt sich hierbei ab einer Dichte von $2,5 \text{ P/m}^2$ stark. Durch Versuche wurden die Geschwindigkeiten von Rettungstrupps in der Menschenmenge ermittelt und hierdurch festgestellt, dass diese um ca. 34 % höher als die der Fußgänger waren. Nach den Ergebnissen aus diesen Experimenten ist es möglich, Wachbezirke in Abhängigkeit der Hilfsfrist besser zu ermitteln und zu planen. Die vorhandenen Werte des Kölner Algorithmus zu den Geschwindigkeiten eines Rettungstrupps stimmen mit den ermittelten Werten überein und werden um eine Kategorie (dicht gedrängtes Publikum)

erweitert. Ein Rettungstrupp bewegt sich außerhalb einer Menschenmenge normalerweise mit maximal 1,8 m/s vorwärts. Bei einer Dichte von 4 P/m² beträgt die mögliche Gehgeschwindigkeit des Rettungstrupps noch 0,27 m/s. In weiteren Versuchen wurden die Geschwindigkeiten von Rettungsfahrzeugen in Menschenmassen ermittelt. Das Durchfahren von Menschenmassen stellt eine Gefährdung und eine akustische Belastung der Besucher dar. Mit dem Rettungswagen werden außerdem niedrigere Geschwindigkeiten erreicht als mit einem Rettungstrupp.

16. Fazit

Der Schutz und die medizinische Versorgung von Besuchern einer Großveranstaltung stellen alle beteiligten Behörden und Organisationen vor einen großen planerischen Aufwand. Die Ermittlung der Personendichten, Fahrzeuggeschwindigkeiten und Geschwindigkeiten von Rettungstrupps in Menschenmengen erleichtert diesen planerischen Aufwand. Da die Befahrung von Menschenmassen alle Beteiligten belastet, ist eine enge Absprache des Sanitätswachdienstes und des öffentlich-rechtlichen Rettungsdienstes nötig. Hierdurch kann eine unnötige Behandlung von Bagatellverletzungen und Erkrankungen durch den Rettungsdienst vermieden werden. Jedoch sind sicherlich auch Notfalleinsätze denkbar, bei denen es aufgrund des Verletzungsmusters eines Patienten sinnvoll ist, die Menschenmenge mit einem Einsatzfahrzeug zu durchfahren.

In Zukunft sind noch weitere Untersuchungen nötig, um die ermittelten Werte weiter zu spezifizieren. Da das Forschungsprojekt EVA noch zwei weitere Jahre läuft, werden noch viele Erkenntnisse zu diesem Themenbereich erforscht werden. Große Unglücke lassen sich jedoch auch durch eine sehr gute Gefahrenabwehrplanung nicht vermeiden.

17. Quellen

- 1 Online-Ausgabe: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Forschung für die zivile Sicherheit: Schutz und Rettung von Menschen; Bonn, Berlin 2009 http://www.bmbf.de/pub/schutz_rettung_von_menschen.pdf (letzter Aufruf 18.01.2010, 19:55 Uhr) [1]
- 2 Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb); Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz; Heft 3/2009, August 2009, 58. Jahrgang; S. 122–123, Dr. Dirk Oberhagemann; Berechnung der reellen Personendichte pro m² [2]
- 3 vfdb-Richtlinie 03-03 „Einsatzplanung Großveranstaltungen“ 19.10.2009 [3]
- 4 Diplomarbeit von (DII) Andreas Winkens; Analyse der lokalen Dichte in Fußgängerströmen vor Engstellen; Bergische Universität Wuppertal, Abteilung Sicherheitstechnik, 2007 [4]
- 5 Ulrich Weidmann; Transporttechnik der Fußgänger; Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau Zürich; Schriftreihe des IVT Nr. 90; 2., ergänzte Auflage; März 1993; Zürich [5]
- 6 S. Buchmueller, U. Weidmann (2006): Parameters of Pedestrians, Pedestrian Traffic and Walking Facilities, IVT-Report Nr. 132, Institute for Transport Planning and Systems (IVT), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ) [6]
- 7 Special Events Contingency Planning, FEMA, März 2005 [7]
- 8 Online-Ausgabe: Statistisches Bundesamt – Pressestelle Wiesbaden; Leben in Deutschland; Haushalte, Familien und Gesundheit –

Ergebnisse des Mikrozensus 2005; Wiesbaden; Juni 2006.
<http://www.destatis.de> (letzter Aufruf 01.02.2010, 15:40 Uhr) [8]

- 9 Hermann Henn, Gh. Reza Sinambari, Manfred Fallen; Ingenieurakustik, Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Vieweg + Teubner Verlag; 4., überarbeitete und erweiterte Auflage 2008, Wiesbaden [9]
- 10 T. Luiz, C. K. Lackner, H. Peter, J. Schmidt (Hrsg.); Medizinische Gefahrenabwehr, Urban & Fischer, 1. Auflage 2010, München [10]
- 11 M. Schreckenberg; S. D. Sharma; Pedestrian and Evacuation Dynamics; Springer Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 2002

Abbildungen

1. **Abbildung 1:** Körperproportionen, S. Buchmueller, Weidmann, U. (2006): Parameters of Pedestrians, Pedestrian Traffic and Walking Facilities, IVT-Report Nr. 132, Institute for Transport Planning and Systems (IVT), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ)Seite 3 [A1]
2. **Abbildung 2:** Quelle: Berufsfeuerwehr Köln, eigene Bearbeitung [A2]
3. **Abbildung 3:** Quelle: Berufsfeuerwehr Köln, eigene Bearbeitung [A3]
4. **Abbildung 4:** Abnahme der Personengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Dichte; Ulrich Weidmann; Transporttechnik der Fußgänger; Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau Zürich; Schriftreihe des IVT Nr. 90; 2., ergänzte Auflage; März 1993; Zürich, Seite 53 [A4]
5. **Abbildung 5:** Richtungsverteilung, eigene Erstellung [A5]
6. **Abbildung 6:** Personengeschwindigkeiten bei $0,8 \text{ P/m}^2$, erstellt von Dr. Dirk Oberhagemann, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes [A6]
7. **Abbildung 7:** Personengeschwindigkeiten bei $0,8\text{--}1,2 \text{ P/m}^2$, erstellt von Dr. Dirk Oberhagemann, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes [A7]

8. **Abbildung 8:** Personengeschwindigkeiten bei 1,2–1,7 P/m², erstellt von Dr. Dirk Oberhagemann, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes [A8]
9. **Abbildung 9:** Personengeschwindigkeiten bei 1,7-2,5 P/m², erstellt von Dr. Dirk Oberhagemann, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes [A9]
10. **Abbildung 10:** Abnahme der Personengeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Personendichte Cranger Kirmes, eigene Erstellung [A10]
11. **Abbildung 11:** Geschwindigkeit eines Rettungstrupps, eigene Erstellung [A11]

Tabellen

1. **Tabelle 1:** Körperproportionen im Vergleich, S. Buchmueller, U. Weidmann (2006): Parameters of Pedestrians, Pedestrian Traffic and Walking Facilities, IVT-Report Nr. 132, for Transport Planning and Systems (IVT), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ) Seite 4 [T1]
2. **Tabelle 2:** Verteilung der Körperproportionen, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb); Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz; Heft 3/2009, August 2009, 58. Jahrgang; S. 122–123, Dr. Dirk Oberhagemann; Berechnung der reellen Personendichte pro m² [T2]
3. **Tabelle 3:** Vergleich der Personendichte in Abhängigkeit der Körperoberfläche, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb); Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz; Heft 3/2009, August 2009, 58. Jahrgang; S. 122–123, Dr. Dirk Oberhagemann; Berechnung der reellen Personendichte pro m² [T3]
4. **Tabelle 4:** Personengeschwindigkeiten/-dichten, erstellt von Dr. Dirk Oberhagemann, Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes [T4]
5. **Tabelle 5:** Geschwindigkeit eines Rettungstrupps in Abhängigkeit der Personendichte, eigene Erstellung [T5]

Internetquellen

<http://www.maxbmartin.de> (letzter Aufruf 14.01.2010, 16:50 Uhr) [I1]

<http://www.robertlohr.de/> (letzter Aufruf 16.02.2010, 15:15 Uhr) [I2]

<http://www.welt-in-zahlen.de/laendervergleich.phtml?indicator=36>

(letzter Aufruf 01.02.2010, 15:28 Uhr) [I3]

<http://www.nierenrechner.de/korperoberflache.htm>

(letzter Aufruf 10.02.2010, 19:37 Uhr) [I4]

<http://www.drk-bedburg.de/index.php?site=swd>

(letzter Aufruf 25.02.2010, 17:05 Uhr) [I5]

<http://www.vis.bayern.de/ernaehrung/ernaehrung/uebergewicht/bmi.htm>

(letzter Aufruf 25.02.2010, 17:05 Uhr) [I6]

18. Abkürzungsverzeichnis

BBK	Bundesministerium für Bevölkerungs- und Katastrophenschutz
bzw.	beziehungsweise
FEMA	Federal Emergency Management Agency
km/h	Kilometer pro Stunde
m/s	Meter pro Sekunde
m ²	Quadratmeter
RTW	Rettungswagen
UHS	Unfallhilfsstation
vfdb	Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes
z. B.	zum Beispiel

19. Anhang

19.1 Kölner Algorithmus

Hilfstabelle zur Ermittlung des Risikofaktors

Risikofaktor	Wertebereich	
R. 1 Wetter (Temperatur>25°C, Feuchte > 50 %)	1...2	
R. 2 Publikum vorwiegend Teenager oder Senioren	1...2	
R. 3 Teenie-Effekt, Stau effekt// Marathon (-Effekt)	1...5//10	
R. 4 Suboptimale Versammlungsstätte	1...5	
R. 5 Erfahrungswerte	1...X	
Risikofaktor	2,25	
Erläuterung:		
R. 3 Massenphänomene – gleichzeitige Kreislaufzusammenbrüche durch Künstlerauftritte (Teenie-Effekt), Stau vor Engstellen (Stau effekt), Abfall der Anspannung (Marathoneffekt im Ziel-/ Erholungsbereich)		
R. 4 Suboptimale Versammlungsstätte: im Vergleich zur VstättVO fehlende Sanitär- und Klimatisierungsanlagen, höhere Personendichten, provisorische Wege und Zugänge		
R. 5 Normierungsfaktor zur Anpassung an eigene Erfahrungen mit gleicher Veranstaltung		

Haupttabelle

Prüfung	Bewertung	Erläuterung
1. Notwendigkeitsprüfung		
1.1 Abschätzung der Einsatzhäufigkeit		
1.1.1 Veranstaltungsdauer in Stunden		
1.1.2 Gleichzeitig anwesende Besucher (Maximum)	*	
1.1.3 Risikofaktor (Vorgabe=1)	*	
1.1.4 Schätzfaktor SanD	* 0,0002 Einsätze/h	E1
1.1.5 Geschätzte sanitätsdienstliche Versorgungen		
1.1.6 dto. pro Stunde (geteilt durch Zeile 1.1.1)		
1.2 Beurteilung I – Leistungsfähigkeit des Rettungsdienstes		
1.2.1 Anzahl benachbarter RTW in Hilfsfrist		
1.2.2 Mögliche Zusatzeinsätze über Veranstaltungsdauer		E2
1.2.3 Erwartete Zusatzeinsätze falls kein SanD		
Zeile 1.1.5 geteilt durch 2 (3 bei Infrastruktur)		E3
1.3 Beurteilung II – Taktische Notwendigkeit		E4
1.3.1 Maßnahme unabdingbar – mehr Zusatzeinsätze als möglich		
Zeile 1.2.2 kleiner als Zeile 1.2.3	Ja / Nein	
1.3.2 Maßnahme nach Verursacherprinzip gewollt	Ja / Nein	
1.3.3 Maßnahme nach besonderen taktischen Erwägungen (Personenschutz, örtliche / zeitliche Einsatzhäufigkeit,...)	Ja / Nein	
2. Raumplanung – Hilfsfristmodell		
2.1 Hilfsfrist auf dem Veranstaltungsgelände (Vorgabe 5 Minuten)	5 min	E5

2.2 Maximale Wachbezirksgröße				E6
2.2.1 Publikum sitzend (Bestuhlungsplan)				
	Zeile 2.1	x100m/min	...m	
2.2.2 Publikum stehend				
	Zeile 2.1	x 50m/min	...m	
2.2.3 Publikum gedrängt stehend				
	Zeile 2.1	x 25m/min	...m	
2.2.4 Vergrößerung durch Nutzung von Rädern, Krädern?				
2.3 Einteilung des Geländes in Wachbezirke				
2.3.1 Nach Bauabschnitten mit (Brand-)Abschottungen				
2.3.2 Nach maximaler Wachbezirksgröße				
2.3.3 Berücksichtigung der verkehrlichen Erreichbarkeit				
3. Stärkeplanung – Frequenzmodell				
3.1 Gefahrenbeurteilung für jeden Wachbezirk				E7
3.1.1 Veranstaltungsdauer in Stunden				
3.1.2 Gleichzeitig anwesende Besucher				
3.1.3 Risikofaktor (Vorgabe = 1)				
3.1.4 Schätzfaktor SanD			x0,0002 Einsätze/h	
3.1.5 Geschätzte sanitätsdienstliche Versorgungen			= 9	
3.2 Abwehrplanung für jeden Wachbezirk				
3.2.1 Grundschatz SanD				
	Bis 4 Einsätze pro Stunde (vgl. Zeile 3.1.5)		1 Einsatztrupp	
	Ab 4 Einsätze pro Stunde	+	1 UHS mobil (1/1)	
	Ab 6 Einsätze pro Stunde	erwäge +	1 Sanitätstrupp	
	Ab 8 Einsätze pro Stunde		UHS (1/5)	
	Ab 10 Einsätze pro Stunde		UHS (1/1/8)	
3.2.2 Erweiterter Schutz SanD				
	Tragettrupp (Sanitätstrupp) bei schwieriger Zugänglichkeit			
	Notfalltrupp bei schwieriger Zugänglichkeit			
3.3 Abwehrplanung Verstärkung Notfallrettung (RTW)				
3.3.1 SanD-Versorgungen (Zeile 1.1.5)				
3.3.2 Schätzfaktor RTW (Vorgabe 0,2)				
3.3.3 Geschätzte RTW-Einsätze				
3.3.4 Abdeckung durch Grundbedarf (Zeile 1.2.2)				
3.3.5 Notwendige Abdeckung durch Sonderbedarf				
3.3.6 Veranstaltungsdauer in Stunden (Zeile 1.1.)				
3.3.7 Mittlere Einsatzdauer in Stunden (Vorgabe 1 Stunde)				
3.3.8 Anzahl notwendiger Sonderbedarf RTW				
3.4 Abwehrplanung Verstärkung Notfallrettung (NEF)				
3.4.1. Geschätzte RTW-Einsätze (Zeile 3.3.3)				
3.4.2 Schätzfaktor (Vorgabe 0,1)				
3.4.3 Geschätzte NEF-Einsätze				
3.4.4 Veranstaltungsdauer in Stunden (Zeile 1.1.1)				
3.4.5 Mittlere Einsatzdauer in Stunden (Vorgabe 1 Stunde)				
3.4.6 Notwendige Restabdeckung durch Sonderbedarf				
3.4.7 Abdeckung durch Grundbedarf (Vorgabe 0–0,5)				
3.4.8 Anzahl notwendiger Sonderbedarf NEF				

Erläuterungen:

- E1: Statistischer aufgerundeter Erfahrungswert für Veranstaltungen ab 100 000 Teilnehmer und 10 Stunden Dauer inklusive Zu- und Abströmen: Sanitätseinsätze 2 ‰ der Teilnehmer in 10 Stunden, davon ein Fünftel Notfälle mit Transport zu einem Krankenhaus, davon ein Zehntel mit Notarzt
- E2: Beurteilung nach eigenem Ermessen über Kapazitäten innerhalb des Rettungsdienstbedarfsplans, ohne den öffentlichen Rettungsdienst unverhältnismäßig zu schwächen
- E3: Empirischer Wert
- E4: Eine Bedingung ausreichen
- E5: Eigene Festlegung des lokalen Schutzziels
- E6: Festlegung der maximalen Wachbezirksgröße nach der Bewegungsgeschwindigkeit von Sanitätstrupps
- E7: Abschätzung für jeden Wachbezirk analog zur Gesamtabschätzung unter 1.1
- E8: Zur Schreibweise für UHS (Unfallhilfsstationen) siehe Hilfstabelle Sanitätsdienststeinheiten

Hilfstabelle Sanitätsdienststeinheiten

Stufe	Mobile Einheit		Stationäre Einheit (UHS)	
	Leistung	Beispielansatz (Truppstärke 2–4)	Leistung	Beispielansatz
Bagatellerkrankung/ -verletzung	Sanitätstrupp*	Sanitätshelfer mit Sanitätstasche	Erholungsplatz	½ Sanitätshelfer mit Sanitätstasche (RR/BZ
Erkrankung/ Verletzung	Einsatztrupp**	RettSan+ RettHelf/SanHelf mit Notfallkoffer, Absaugung	Behandlungsplatz	½ RettSan ½ SanHelf KTW- Ausstattung
Notfall	Notfalltrupp	RettAss+ RettSan (evtl. Notarzt), RTW- Arbeitsgerät	Intensivplatz	Notarzt 1 RettAss 1 RettSan RTW- Ausstattung
Wenn RettSan im Einsatzabschnitt notwendig und verfügbar (siehe Schutzziele), vfdb und AGBF empfehlen für den Einsatztrupp mindestens Verbandsmaterial, Beatmungsbeutel, Absauggerät und Blutdruckmessgerät, evtl. einen automatischen externen Defibrillator				