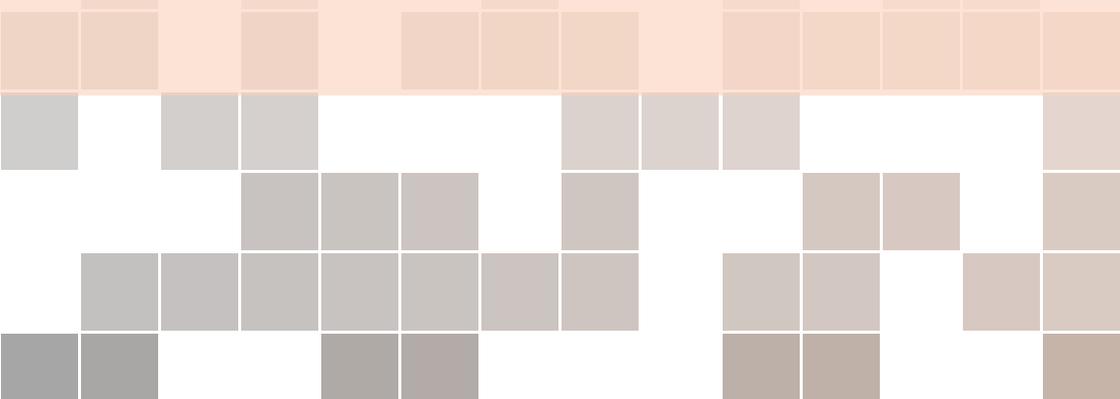


Menschen in Bewegung

Personenströme verstehen, lenken und leiten



Copyright © 2020

PUBLISHED BY MALETO

WWW.MALETO.DE/MIB

Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Erste Auflage, März 2020



Inhaltsverzeichnis

Vorwort 9

Einleitung 11

I

Grundlagen

1 Motivation und Verhalten 19

1.1 Bedürfnisse, Ziele und Handlungen 20

1.1.1 Bindung, Lust, Kontrolle 20

1.1.2 Handlungssteuerung 24

1.1.3 Quellen des Erlebens und Verhaltens 26

1.1.4	Motivationspsychologie für Fußgänger	28
1.2	Sicherheit, Wohlbefinden und Komfort	35
1.2.1	Messung von Sicherheit	35
1.2.2	Einflüsse auf Sicherheit und Komfort	39
1.3	Kollektives Verhalten	39
1.3.1	Unerwartetes und gefährliches Verhalten	41
1.3.2	Modellierung kollektiven Verhaltens	42
2	Individuelle Bewegung	51
2.1	Grundlagen individueller Lokomotion	52
2.1.1	Individuelle Entwicklung	52
2.1.2	Standfestigkeit und Stabilität	53
2.1.3	Individuelle Unterschiede	55
2.1.4	Bewegungspfade (Trajektorien)	57
2.2	Die Bewegung des Menschen in seiner Umwelt	65
2.2.1	Kraft, Energie und Leistung	66
2.2.2	Temperatur, Tages- und Jahreszeit, Höhe	68
2.2.3	Treppen, Türen und Rampen	70
2.3	Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit	71
2.3.1	Statistische Verteilung der Laufgeschwindigkeit	71
2.3.2	Gruppengröße und Laufgeschwindigkeit	74
3	Kollektive Bewegung	77
3.1	Dichte und Fluss	78
3.1.1	Konstanter räumlicher Abstand und Zellularautomat (diskreter Raum)	83
3.2	Forschungsergebnisse zu Personenströmen	84
3.2.1	Empirische Fluss-Dichte-Relation	87
3.2.2	Bewegung auf Treppen und durch Türen	88

3.2.3	Staudruck	91
3.3	Sicherheit von und in Menschenmengen	91
3.3.1	Der Begriff „Massenpanik“ in den Medien	92
3.3.2	Mögliche Gefahren und Beeinträchtigungen ..	95
3.3.3	Prävention und Intervention	99

II

Besucherströme

4 Leiten und Lenken 111

4.1 Vorbereitung: Planung und Risikobewertung 113

4.1.1 Planung einer sicheren Besucherleitung und -lenkung
113

4.1.2 Risikobewertung 127

4.1.3 Vorkehrungen 137

4.2 Durchführung 149

4.2.1 Notfallplanung und -maßnahmen 149

4.2.2 Beobachtung der Besucherströme 157

4.2.3 Kommunikation 162

4.3 Nachbereitung 172

4.3.1 Ziele 172

4.3.2 Zeitpunkt 173

4.3.3 Inhalt 174

5 Berechnungsverfahren 177

5.1 Einfache Berechnungsverfahren 178

5.1.1 Kapazitätsanalyse 178

5.1.2 Flussgleichung 181

5.2 Simulationsverfahren 181

5.2.1 Kontinuierliche Modelle 182

5.2.2 Zellularautomaten 187

5.3	Modellparameter	193
-----	-----------------	-----

III Verkehr und Räumung

6	Fußgängerverkehr	197
6.1	Fußgängerverkehrsplanung	199
6.1.1	Fahrgastwechsel	201
6.1.2	Warteschlangen	203
6.1.3	Absperrungen	203
6.2	Beweger und Verkehrsanlagen	203
6.2.1	Beschilderung	209
6.3	Forschungsergebnisse	209
7	Evakuierung	215
7.1	Räumungsphasen	216
7.1.1	Phasen einer Räumung	216
7.1.2	Auslegungsergebnisse	218
7.2	Berechnung der Evakuierungszeit	220
7.2.1	Detektion und Alarmierung	222
7.2.2	Reaktionszeit	223
7.2.3	Bewertung der Evakuierungssicherheit	225
7.3	Forschungsergebnisse	232
7.3.1	Individuelle Strategie	233
7.3.2	Räumungsübungen	235
7.3.3	Berichte zu Unglücksfällen	236

Anhang

Literatur	241
------------------------	------------

Referenzen	257
Bücher	257
Artikel	261
Index	267



Vorwort

Die Dynamik von Fußgängern und Menschenmengen ist ein faszinierendes und wichtiges Forschungsgebiet. Und es hat große Bedeutung für die Praxis. Das zeigt sich nicht zuletzt daran, dass es bei Veranstaltungen oder im Personenverkehr häufig zu Gedränge kommt.

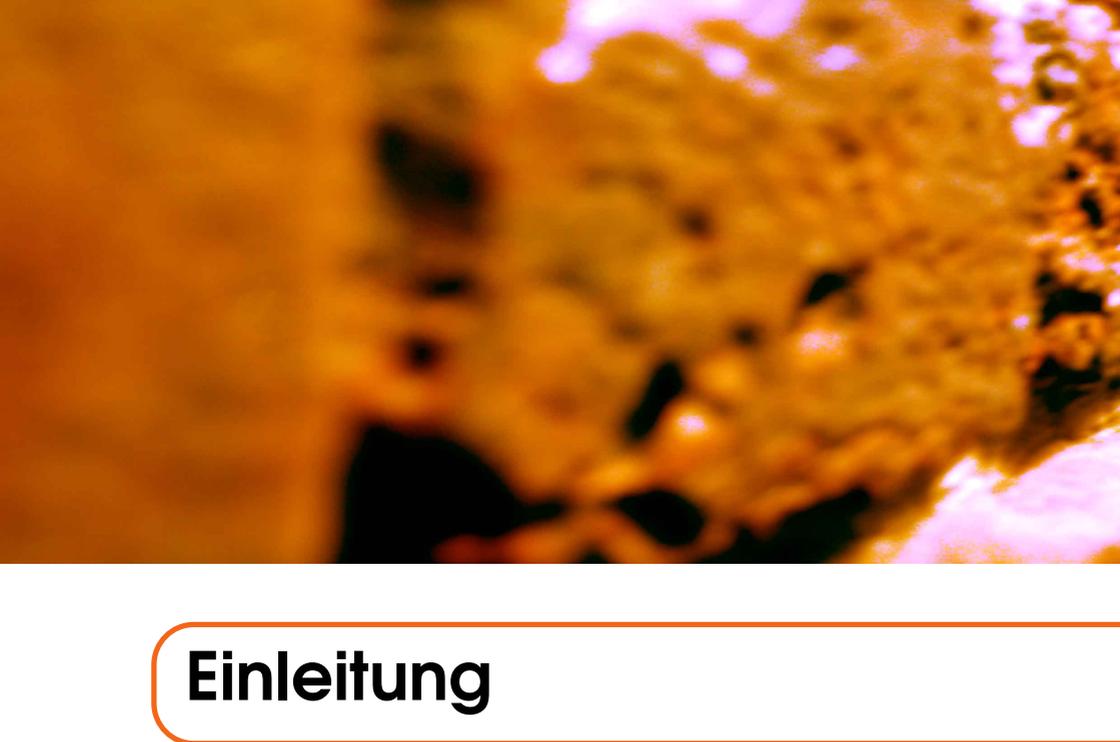
Zu erkennen, wann ein Gedränge gefährlich wird, ist eine mögliche Anwendung der hier vorgestellten Erkenntnisse und Methoden. Eine zweite Anwendung ist die Dimensionierung von Anlagen für den Fußgängerverkehr. Dadurch können Überlastungen vermieden und die Beeinträchtigung der individuellen Bewegungsfreiheit und des Komforts so gering gehalten werden, wie möglich.

Das Buch wendet sich an Brandschutzplaner, Verkehrsplaner, Bei-

treiber und Verantwortliche für Versammlungsstätten und Leiter von Veranstaltungen, die sich mit einem der folgenden Themen befassen (*Anwendungsgebiete*):

- Brandschutz: Evakuierung und Räumung
- Veranstaltungen: Besucherströme und Sicherheit
- Verkehrsanlagen: Fahrgastwechsel und Kapazitäten
- Fußgängerverkehr: Dimensionierung von Gehwegen, Ein- und Ausgängen, etc.

Wir haben uns große Mühe gegeben, alle relevanten Aspekte zu erfassen und aktuelle, umfassende und korrekte Informationen bereit zu stellen. Dennoch sind Fehler unvermeidlich. Wir sind dankbar für jeden Hinweis auf Ungenauigkeiten und Verbesserungsmöglichkeiten. Sie können die Quelldateien unter <http://www.maleto.de/mib> herunterladen. Dort finden Sie auch (falls erforderlich) Errata und Korrekturen.



Einleitung

Das Buch gliedert sich in sieben Kapitel. Im ersten Kapitel werden *Motivation und Handlungssteuerung* beschrieben. Für die Entwicklung der Lokomotion sind Neugier und Orientierungsbedürfnis die zentralen Antriebe. Bewegung ist aber auch Voraussetzung für die Erreichung von Zielen. Danach folgen die Beschreibung *individueller* (Kapitel 2) und *kollektiver Bewegung* (Kapitel 3). Damit sind die Grundlagen beschrieben (Teil I). Die Kapitel in Teil II widmen sich der Anwendung, der *Sicheren Besucherleitung und -Lenkung* (Kapitel 4), den *Berechnungsverfahren* (Kapitel 5) und deren Anwendung (in Kombination mit den Grundlagen aus Teil I) auf bestimmte Fragestellungen: *Fußgängerverkehr* (Kapitel 6), also z.B. Berufspendler im Bahnhof und beim Ein- und Ausstieg in Züge, Busse, U-Bahnen usw.,

und in Kapitel 7 der Bewegung von Menschen von einer Gefahr weg, also der *Räumung* von Gebäuden, Fahrzeugen oder größerer Gebiete.

Wir haben uns entschieden, uns bei der Auswahl der Themen und dem Schreiben des Buches an drei Kriterien zu orientieren:

- Beschränkung auf *gesichertes und überprüftes Wissen* (wissenschaftlicher und anwendungspraktischer Konsens, → *Stand von Wissenschaft und Technik*)
- *Vollständigkeit der Beschreibung*, so dass alle Schritte ohne Rückgriff auf weitere Literatur nachvollziehbar sind. Wo Quellen angegeben sind, dienen sie dem interessierten Leser als Einstieg in eine weitergehende Beschäftigung. Und sie zeigen natürlich auch die Urheberschaft der genannten Ideen oder Erkenntnisse.
- *Nützlichkeit*. Die dargestellten Erkenntnisse und Methoden sollen dem Leser helfen, die Aufgaben zu lösen, die ihm in seiner Arbeit begegnen.

Um die Inhalte leicht nachschlagen zu können, finden Sie am Ende des Buches einen ausführlichen Index. Wer also eine Antwort auf eine ganz bestimmte Frage sucht, kann dort direkt das betreffende Stichwort nachschlagen. Desgleichen sind die zentralen Begriffe im Glossar am Ende des Buches noch einmal alphabetisch aufgelistet. Begriffe, die im Vorkommen, sind mit → BEGRIFF gekennzeichnet. Auch wenn die Information einzelner Abschnitte für einen schnellen Überblick ausreichend sein mag, empfehlen wir dennoch, zumindest das entsprechende Kapitel zu lesen, um die einzelnen Formeln oder Verfahren in einen größeren Zusammenhang einordnen zu können.

Inhalt des Buches

Nachfolgend wird der Inhalt der sieben Kapitel

1. „Motivation und Verhalten“

2. „Die Bewegung eines Menschen“
3. „Die Bewegung vieler Menschen“
4. „Planung und sichere Durchführung von Veranstaltungen“
5. „Berechnungsverfahren“
6. „Verkehr“
7. „Räumung“

kurz dargestellt.

Motivation und Handlungssteuerung

Selbstverständlich lässt sich die Dynamik von Fußgängern nicht auf einfache Bewegungen reduzieren. Das gilt in mehrfacher Hinsicht. Zum einen braucht es für ein umfassendes Verständnis die Dimension „Psychologie“. Man muss nicht im Detail wissen, was ein Mensch denkt oder fühlt, um zu wissen, wie und wohin er oder sie sich bewegt. Doch dass man das menschliche Verhalten verstehen muss, wenn man die Bewegung verstehen will, liegt auf der Hand. Das heißt, man muss die Ziele kennen, die das Verhalten und die Bewegung leiten. Hinzu kommt, dass sich Menschen in der Gruppe oder Menge manchmal anders verhalten, als wenn sie alleine sind.

Die Bewegung eines Menschen

Anthropometrie und Physiologie bilden die Grundlagen des Verständnisses der Bewegung. Wie groß sind Menschen und wie schnell können sie sich bewegen? Wie ist es um Ausdauer und Ermüdung bestellt. Wie anstrengend ist es, sich treppauf und treppab, auf Rampen und unebenen Oberflächen zu bewegen. All diese Fragen werden im dritten Kapitel gestellt und beantwortet.

Planung und sichere Durchführung von Veranstaltungen

Die Planung und sichere Durchführung von Veranstaltung beruht auf einer rechtzeitigen und sorgfältigen Vorbereitung. Hierzu

gehört eine Bewertung der möglichen Risiken und entsprechender Vorkehrungen. Hinzu kommt die Planung und Vorbereitung für Notfälle (Notfallpläne, Evakuierungspläne, etc.). Während der Veranstaltung sind Kommunikation und Überwachung zentrale Elemente einer umfassenden Sicherheitskultur. Schließlich gehört hierzu auch, nach dem Ende einer Veranstaltung die Ereignisse und Erfahrungen zu dokumentieren und auszuwerten.

Die Bewegung vieler Menschen

Die soziale Dimension wirkt in mehrere Richtungen: Sie erhöht die Komplexität menschlichen Verhaltens. Komplexe soziale Gefüge sind das Charakteristikum menschlicher Gemeinschaft. Auf der anderen Seite ist das Verhalten einer Gruppe von Menschen oft einfacher vorherzusagen als das Verhalten eines einzelnen Menschen. Das könnte an einem „Herdentrieb“ oder an „Gruppenzwang“ liegen. Es hat aber auch und vor allem mit dem „Gesetz der großen Zahl“ zu tun. Denn bei einer Menschenmenge genügt es oft, das Verhalten „im Mittel“ zu kennen. Es ist schwer zu sagen, ob z.B. eine Person innerhalb der nächsten 15 Minuten zur Toilette gehen wird, ohne dass man näheres weiß. Bei einer Gruppe von 100 Personen in einem Restaurant ist eine solche Vorhersage (also z.B. wie viele Personen die Toilette innerhalb der nächsten 15 Minuten aufsuchen werden) schon einfacher. Dies vor allem dann, wenn man auf Erfahrungen aus der Vergangenheit zurückgreifen kann. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Bewegung von Menschenmengen.

Berechnungsverfahren

Nachdem sich die ersten drei Kapitel mit den Grundlagen, psychologischen oder sozialen Aspekten beschäftigt haben, wenden sich die Kapitel 4 bis 7 in Teil II den anwendungspraktischen Fragen zu. Dabei geht es zunächst um die generellen Möglichkeiten der Berechnung von Personenströmen. Die wichtigsten Größen

stellen hier Dichte, Geschwindigkeit und Fluss dar, die durch die grundlegende Formel: $\text{Fluss} = \text{Dichte} \cdot \text{Geschwindigkeit}$ miteinander verknüpft sind. Da die Geschwindigkeit mit der Dichte absinkt, gibt es einen optimalen Wert für diese, bei dem der Fluss am höchsten ist, die Kapazität. Das Bestreben von Architekten, Planern und Betreibern muss es also sein, die notwendige Kapazität bereit zu stellen. Das bedeutet: Die maximale Nachfrage soll jederzeit bedient werden können.

Verkehr

Nachdem in Teil I die Grundlagen dargestellt wurden, werden in Teil II diesem und dem nächsten Kapitel zwei konkrete Anwendungsbereiche besprochen: Verkehr und Räumung. Verkehr umfasst dabei all die Bewegungen, die in Nicht-Notfall-Situationen ablaufen, also Zugang, Zirkulation und Ausgang. Die Fußgängeranlagen, die hier in Betracht kommen können ganz unterschiedlichen Zwecken dienen: Pendlerverkehre, aber auch Freizeit und Vergnügen. Es geht also um Bahnhöfe und Flughäfen, Veranstaltungs-, Versammlungs- und Verkaufsstätten, aber auch Schulen oder Bürogebäude, so denn dort die Anzahl der Personen so groß ist, dass von Menschenmengen gesprochen werden kann.

Räumung

Räumung und Evakuierung sind die Situationen, bei denen die Kapazität von Fußgängeranlagen und Wegelementen häufig häufig über einen erfolgreichen Ausgang entscheiden.

Wie Sie mit dem Buch arbeiten können

Das Buch ist sowohl für die Einarbeitung in das Themengebiet als auch für die praktische Anwendung geeignet. Wenn Sie sich mit dem Buch in das Themengebiet „Personenströme“ einarbeiten wollen, dann können Sie die Kapitel 6, 7 und 8 durchlesen.

Eine zweite Möglichkeit mit dem Buch zu arbeiten ist die Planung eines Ereignisses. Hierzu müssen sie zum ersten wissen, wie sich die Personenströme in die Gesamtplanung einfügen. Hierbei geht es natürlich vor allem und zuerst um die Planung einer sicheren Veranstaltung. Bei der Erstellung eines „Sicherheitskonzepts“ spielen eine ganze Reihe von Faktoren eine Rolle, die in diesem Buch nicht behandelt werden (siehe hierzu die Einleitung zu Kapitel 7). Das heißt: dieses Buch befasst sich mit der Dimensionierung von Fußgängeranlagen und mit der sicheren und komfortablen Leitung und Lenkung von Personenströmen. Dies ist ein Teil der Planung einer reibungslosen oder komfortablen Veranstaltung. Die in diesem Buch genannten Faktoren müssen sich also in ein übergeordnetes Konzept (z.B. das „Veranstaltungskonzept“ oder „Sicherheitskonzept“ einfügen, für Details siehe Kapitel 7).



Grundlagen

1 Motivation und Verhalten 19

- 1.1 Bedürfnisse, Ziele und Handlungen
- 1.2 Sicherheit, Wohlbefinden und Komfort
- 1.3 Kollektives Verhalten

2 Individuelle Bewegung 51

- 2.1 Grundlagen individueller Lokomotion
- 2.2 Die Bewegung des Menschen in seiner Umwelt
- 2.3 Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit

3 Kollektive Bewegung 77

- 3.1 Dichte und Fluss
- 3.2 Forschungsergebnisse zu Personenströmen
- 3.3 Sicherheit von und in Menschenmengen



1. Motivation + Verhalten

Dieses Kapitel umreißt die Quellen menschlichen Erlebens und Verhaltens. Daraus lassen sich Schlussfolgerungen für die menschliche Bewegung ziehen. Für die langfristigen Entscheidungen, z.B. die, eine Veranstaltung zu besuchen, spielen Bedürfnisse eine zentrale Rolle. Daher wird die gegenseitige Verflechtung von Bedürfnissen, Werten und Zielen auf der einen Seite und Gewohnheiten, Temperament und Anreizen auf der anderen Seite dargestellt. Welche Seite das Verhalten bestimmt (Top-down versus Bottom-up Steuerung) wird maßgeblich durch die äußeren Umstände, den durch sie verursachten Stress und die Fähigkeit zur Stressbewältigung beeinflusst.

Die phänomenale Beschreibung konzentriert sich auf Auswahl von Aktivitäten, die Planung von Aktivitätsketten und Rou-

ten und die Umsetzung dieser Pläne in Bewegung. Kennt man die Ziele (z.B. im Verkehr oder bei einer Veranstaltung), dann kann man vorhersagen oder zumindest im Nachhinein verstehen und erklären, wohin sich Menschen bewegen. Die Leitung und Lenkung von Besucherströmen setzt daher das Verständnis der Bedürfnisse, Ziele und Motive der Besucher voraus.

Zwei der entscheidenden Bedürfnisse bei der Nutzung von Verkehrsmitteln und -anlagen, dem Besuch einer Veranstaltung oder Versammlung oder dem Laufen auf Gehwegen oder in Gebäuden sind dabei Sicherheit und Komfort. Das Verständnis dafür, wie Sicherheit und Komfort individuell wahrgenommen werden und wie man sie fördern und beeinflussen kann werden im zweiten Abschnitt vermittelt. Der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit kollektivem Verhalten und Ansätzen zu seiner Modellierung.

1.1 Bedürfnisse, Ziele und Handlungen

1.1.1 Bindung, Lust, Kontrolle

Menschliches Verhalten erwächst aus Wünschen und Motiven. Diese Motive wiederum sind bewusst wahrgenommene Bedürfnisse. Nach Grawe (2004) gibt es vier grundlegende Bedürfnisse (siehe Abbildung 1.1 on the facing page). Diese Grundbedürfnisse sind angeboren und allen Menschen eigen. Die Menschen unterscheiden sich jedoch darin, wie die einzelnen Grundbedürfnisse bei ihnen ausgeprägt sind, einmal von Geburt an (Temperament) und durch ihre Sozialisation (Charakter).

1. Lust (und Vermeidung von Unlust) – Sicherheit, Komfort
2. Bindung – Zusammenbleiben in der Gruppe, Finden von Angehörigen oder Freunden, Teil einer Fangruppe sein, ...
3. Kontrolle und Orientierung – Information, Ortskenntnis, Bewegungsfreiheit, ...
4. Selbstwerterhöhung – Leistung, Anerkennung
Dabei fallen in die erste Kategorie „Lust“ (bzw. Vermeidung

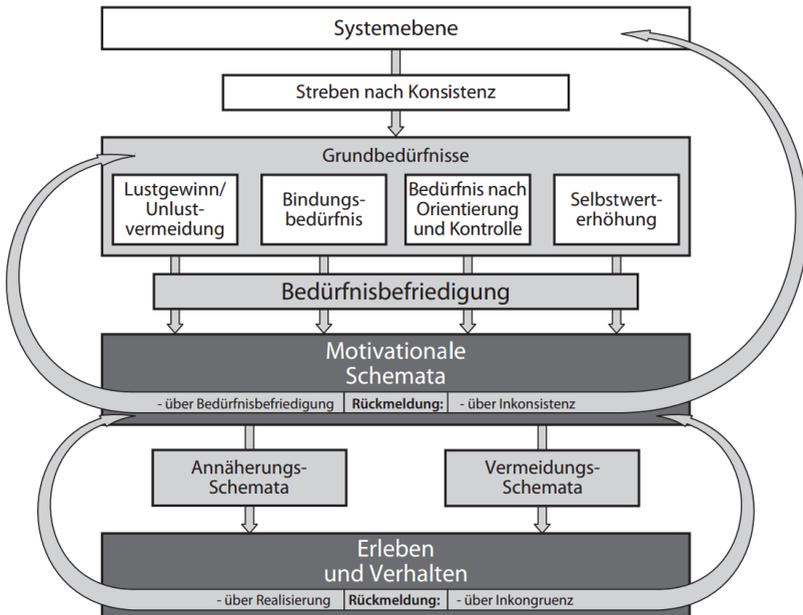


Abbildung 1.1: Orientierung, Lust, Bindung und Selbstwerterhöhung sind nach Grawe, 2004 die zentralen menschlichen Bedürfnisse.

von „Unlust“ auch die körperlichen Bedürfnisse (Triebe). Die Bedürfnisse sind durchgängig positiv formuliert. Sie beinhalten aber auch die Vermeidung ihrer Frustration. D.h. aus ihnen folgen Annäherungsziele und Vermeidungsziele. Für die Bewegung von Fußgängern und Menschenmengen – und damit auch für die Leitung und Lenkung von Besucherströmen – sind die ersten drei Kategorien besonders wichtig.

Lustgewinn und Unlustvermeidung

Der Lustgewinn ist eine treibende Kraft, die uns dazu motiviert, Konzerte, Fußballspiele, Kinos oder Theater aufzusuchen. Dabei wollen wir möglichst zügig und komfortabel an unser Ziel kommen und uns dabei wohlfühlen („Unlustvermeidung“, siehe Abbildung 1.3 on page 37).

Sicherheit und Komfort treten oft erst dann ins Bewusstsein, wenn die Umgebungsbedingungen widrig geworden sind. Sie führen dann zu Vermeidungszielen (Vermeidung von Unlust). Komfortable und sichere Umgebungsbedingungen werden oft nicht bewusst wahrgenommen. Das hängt damit zusammen, dass in unkomfortablen oder unsicheren Situationen Aufgaben bewältigt werden müssen, an denen das Arbeitsgedächtnis beteiligt ist (System der Objekterkennung nach Kuhl (2010)). Befinden sich die Umgebungsvariablen im sicheren und komfortablen Bereich, dann ist dies nicht erforderlich, sondern das Verhalten wird „intuitiv“ gesteuert. In Abbildung 1.3 ist dargestellt, in welchen Bereichen sich für verschiedene Umgebungsbedingungen Wohlbefinden (und damit Lust) und Unwohlsein (und damit Unlust) einstellt. Darüber hinaus kann es insbesondere bei dichterem Gedränge (siehe Abschnitt 1.3.1) zu einem Verlust der Kontrolle über die eigene Bewegung kommen. Dann ist neben dem Lust- auch das Kontrollbedürfnis frustriert, was zu erhöhtem Stress führt.

Bindung

Bindung spielt eine entscheidende Rolle bei vielen Freizeitaktivitäten, denn die Besucher kommen zu Fußballspielen und Konzerten zumeist in Gruppen. Diese Gruppen bleiben zusammen und die mittlere Laufgeschwindigkeit sinkt mit der Gruppengröße (siehe Kapitel 3). In Notfallsituationen und bei äußeren Gefahren werden soziale Bindungen besonders wichtig (Mawson, 2007). Schließlich sind Kontrolle und Orientierung entscheidend für die Bewegung in einer fremden Umgebung, wie sie z.B. Versammlungsstätten für viele Besucher darstellen. Das gilt in gleicher Weise für Verkehrsanlagen wie Flughäfen und Bahnhöfe, so dass dort der Beschilderungsplanung eine sehr hohe Bedeutung zukommt (Wenzel, 2003).

Im Fußballstadion beispielsweise geht es vor allem um Zugehörigkeit (als Fan einer Mannschaft und als Mitglied der Fangemeinschaft). Ähnliches gilt bei einem Rockkonzert. Die Fans bilden eine Gemeinschaft und es entsteht ein Zusammengehörigkeitsgefühl.

Kontrolle

Kontrolle wird durch die Auswahl der Ziele, das Fassen von Plänen und deren Umsetzung (Handlungssteuerung) verwirklicht (vgl. Abbildung 1.2 on page 29). Die Auswahl von Zielen ist bei der Bewegung die Auswahl von Aktivitäten, die Planung besteht in der Wahl der Reihenfolge und des Ortes von Aktivitäten („Aktivitätskette“) und der Routenwahl. Die Umsetzung erfordert die Erstellung einer „mentalen Karte“ der geometrischen Umgebung (einschließlich von Hindernissen) und die Navigation durch die Umgebung (einschließlich der Reaktion auf Hindernisse, andere Menschen, ...).

Kontrolle und Orientierung können bei der Bewegung in einer fremden Umgebung und in Gegenwart viele anderer Menschen leicht verloren gehen. Durch die damit verbundene Frustration

entsteht Stress. Die Folgen für die Handlungssteuerung werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

1.1.2 Handlungssteuerung

Wie werden aus Bedürfnissen und Motiven Ziele und Handlungen abgeleitet? Wie werden Aktivitätsketten und Routen gewählt und geplant? Eine einfache Unterteilung der Handlungssteuerung gliedert sich in drei Ebenen:

Wählen von Zielen. Bei der Bewegung von Menschenmengen und Fußgängerverkehr sind das räumliche Ziele (bestimmte Orte) verknüpft mit Aktivitäten. Beispiele sind: „sicher und komfortabel zur Arbeit, nach Hause, zur Veranstaltung, ...“ kommen. Der Zeithorizont bewegt sich i.a. im Rahmen von Stunden.

Planen Die Wahl der Verkehrsmittel und die mittelfristigen Entscheidungen: Reihenfolge der Aktivitäten und Orte (Aktivitätskette und Routenwahl) (z.B. „Aufzug oder Treppe“) auf einer Zeitskala von einigen Minuten.

Umsetzen Gemeint sind hier die „automatischen“ Handlungen („intuitive Verhaltenssteuerung“, solange bis die Umweltvariablen „Unlust“ signalisieren), die sich auf einer Zeitskala von Sekunden abspielen. (z.B. „links oder rechts“ ausweichen, die Suche nach dem Handlauf auf der Treppe, das Ein- und Aussteigen am Bahnsteig etc.)

Im sogenannten *Rubikonmodell* von Heckhausen (2010) wird eine Handlung in vier Phasen eingeteilt:

1. Wählen (strategisch)
2. Planen (taktisch)
3. Handeln (operativ)
4. Bewerten

Die erste und letzte Phase bilden die Motivationsphase, die zweite und dritte die Volitionsphase. Besonders ist hier die Bewertungsphase, die zur Motivationsphase gezählt wird. Die strikte

Trennung zwischen Motivations- und Volitionsphase ist jedoch für unsere Zwecke nicht von Bedeutung und daher reicht für das Verhalten von Verkehrsteilnehmern und insbesondere Fußgängern die Einteilung in die drei genannten Phasen (Wählen, Planen und Umsetzen), wie sie in Abbildung 1.2 on page 29 dargestellt ist. Rheinberg (2008) schreibt hierzu:

Inzwischen liegt ein deskriptives Modell vor, das allen bislang behandelten Prozessen ihren Platz zuweist und unser Handeln in seiner „natürlichen“ Sequenz von Motivations- und Volitionsphasen beschreibt. Es handelt sich um das sogenannte *Rubikonmodell* Heckhausen, 2010. Den Namen bezieht das Modell von dem Fluss, den Cäsar 49 v.Chr. nach langem Abwägen überschritt, womit unwiderruflich der Bürgerkrieg eröffnet war. Die Würfel waren gefallen, und ab jetzt ging es nur noch um die bestmögliche Realisation des gefassten Entschlusses. Diese scharfe Zäsur zwischen der Phase des Abwägens und der Phase nach der Entscheidung für eine bestimmte Handlung ist das wohl wichtigste Merkmal des Modells. Alle Prozesse vor der Entscheidung, also vor der Rubikonüberquerung, sind motivationaler Art. Die Prozesse danach sind bis zur Handlungsbeendigung volitionaler Art.

Der Wille ist nur dann erforderlich, wenn es Widerstände zu überwinden gilt Rheinberg, 2008:

Im allgemeinen erhöhen sich die Realisierungschancen einer Intention, wenn man in spezifischen *Vorsätzen* festlegt, unter welchen genauen Bedingungen und zu welchen Zeitpunkten wie im einzelnen gehandelt werden soll. Sind solche Vorsätze deutlich

genug herausgearbeitet, so setzt bei Eintreten dieser Bedingungen die Handlung wie von selbst und ohne aktuellen Willensaufwand ein. Diese Beobachtung hatte übrigens bereits Lewin und Lang, 2012, S. 377 gemacht.

Exkurs: die Erklärung von Missgeschicken oder Unglücksfällen

In dieser Einteilung nach Handlungsphasen (*Wählen, Planen, Umsetzen*) lassen sich Missgeschicke oder Unglücksfälle auf den ersten Blick meist der operativen Phase (*Umsetzen*) zuordnen. Das kann z.B. ein Hindernis sein, das man „übersieht“ und dem man daher nicht mehr ausweichen kann. Das ist der unmittelbare Grund für das Stolpern. Ein anderes Beispiel ist die „zu späte Reaktion“ als Grund dafür, dass man eine andere Person anprempelt. Es gibt aber auch noch mittelbare Gründe. Denn was auf den ersten Blick oft außer Acht gelassen wird ist die Umgebung, die nicht von der Person selbst gestaltet und beeinflusst wird. Diese gehört z.T. ebenso zu den mittelbaren Einflussfaktoren – man denke nur an Beleuchtung, Wegweiser und Markierungen – wie die ersten beiden Phasen *Auswahl* und *Planung*. Denn das Missgeschick am Ende der Aktivitätskette ist auch Folge dieser beiden. Sowohl eine andere Wahl als auch eine andere Planung (sowie eine andere Umwelt) hätten es vermeiden können. Daran wird deutlich, dass für eine vollständige Erklärung alle drei o.g. Phasen sowie mittelbare und unmmittelbare Gründe berücksichtigt werden müssen.

1.1.3 Quellen des Erlebens und Verhaltens

Wir hatten in Abschnitt 1.1.1 on page 20 gesehen, dass sich die Motivation aus vier Grundbedürfnissen speist, die sich aufgrund persönlicher Erfahrungen und Vorlieben und abhängig von der Umgebung in Handlungen manifestieren. Der Grund menschli-

chen Verhaltens ist also vor allem in der Befriedigung von Bedürfnissen zu suchen. Wie Handlungen ausgewählt und umgesetzt werden, wurde in Abschnitt 1.1.2 on page 24 gezeigt, in dem es vor allem um die drei Schritte *Wählen*, *Planen* und *Umsetzen* ging. In diesem Abschnitt schließlich sollen die übrigen Quellen des Erlebens und Verhaltens beleuchtet werden, die neben den Grundbedürfnissen bestimmen, was wir tun (*Wählen*) und wie wir es tun (bewusstes *Planen* und unbewusstes oder automatisches *Umsetzen*). Kuhl, 2010 nennt die folgenden sieben „Quellen des Erlebens und Verhaltens“ (wobei die in Abschnitt 1.1.1 on page 20 genannten Grundbedürfnisse hier unter Punkt 5 „Motive“ genannt sind:

1. Gewohnheiten (automatische Steuerung)
Erlernte Handlungsmuster, die automatisch abgerufen werden können;
2. Temperament (Aktivierung und Erregung)
Bereitschaft für motorische Aktivierung und sensorische Erregung
3. Affekt
negative oder positive Besetzung von Anreizbedingungen
4. Stressbewältigung
Stress kann zu Regression führen, dann können Motive nicht wahrgenommen und Ziele nicht umgesetzt werden (Top-down- versus Bottom-up-Steuerung)
5. Motive
affektive Bewertung von Situationen für Basismotive auf Bedürfniskongruenz; emotionale Wertigkeit der Ziele;
6. Kognition (Denken und Fühlen, Ziele)
Ziele als kognitive Repräsentation angestrebter Handlungsergebnisse¹

¹Kuhl (2010) versteht unter Kognition alle Prozesse der Repräsentation von Information (Wahrnehmung, Gedächtnis, Aufmerksamkeit); unter Repräsentation eine Abbildung, die eine eindeutige Beziehung zum Abgebildeten

7. Bewußtsein und Wille (Selbstkontrolle, Selbstregulation, Volition)

Integration von Emotion, Motivation und Kognition; Reflexion über Ziele und Werte

so wird deutlich, dass die ersten beiden eher die *Umsetzung*, die nächsten beiden die *Planung* und die die letzten drei die *Auswahl* betreffen.

Da der *Umsetzungs*-Phase Ziel und Weg bereits feststehen, sind die Möglichkeiten der Einflussnahme von außen auf *repressive Maßnahmen* beschränkt. Die Beeinflussung der Besucher im Sinne einer Umentscheidung (z.B. Umleitung) findet früher statt: während der *Auswahl*- oder der *Planungs*-Phase statt (vgl. Abbildung 1.2 on the next page).

Kuhl (2010, Seite 399) grenzt die Begriffe *Motiv*, *Ziel* und *Absicht* folgendermaßen voneinander ab:

Motive sind vorbegrifflich verankert und richten die Aufmerksamkeit auf bedürfnisrelevante Situationen;

Ziele sind die Repräsentationen angestrebter Ergebnisse; und

Absichten sind Repräsentationen von schwierig auszuführenden Handlungen.

Das automatische Abrufen von Verhaltensmustern (Gewohnheitsbildung) ist für die Handlungsfähigkeit bei Schadensereignissen im Sinne der Übung und Vorbereitung von großer Bedeutung. Evakuierungs- und Notfallübungen dienen gerade dem Zweck, „Vorsätze“ für den Notfall zu bilden, die dann automatisch ablaufen.

1.1.4 Motivationspsychologie für Fußgänger

Die bisher in diesem Kapitel gewonnenen Erkenntnisse zu den *Grundbedürfnissen* als Antriebsquelle des Menschen, der Transformation dieser inneren „Energie“ in sichtbares Verhalten (Wäh-

aufweist.

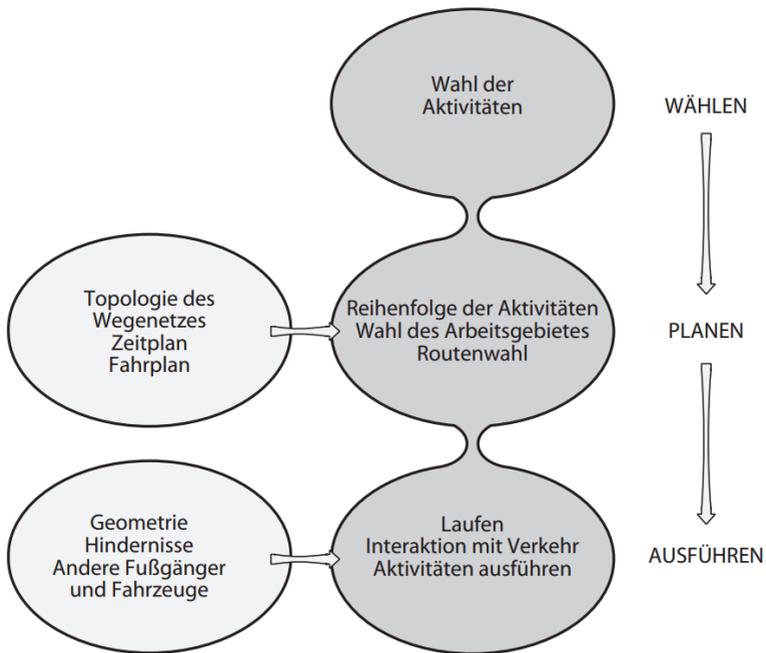


Abbildung 1.2: Verschiedene Ebenen bei der Modellierung von Personenströmen (nach Daamen, 2004).

len, Planen, Umsetzen) und zu Einflussgrößen auf das Erleben und Verhalten (Gewohnheiten, Temperament, Affekt, Stress, Motive, Kognition und Wille) haben natürlich auch „praktische“ Konsequenzen. Sie bilden eine Grundlage die weiteren Kapitel dieses Buches. Menschliche Bewegung hat nicht nur Ursachen (Umwelteinflüsse) sondern auch Gründe (die sich auf den genannten sieben Ebenen des Erlebens und Verhaltens finden lassen). Ist dies für die individuelle Bewegung oft noch unmittelbar klar, gerät es manchmal schon bei der Beschreibung kollektiver Bewegung aus dem Blick. Dann kann der Eindruck entstehen, als ob es sich um „Stömungsmechanik“ handele (sogenannte „hydraulische Modelle“ für Personenströme). Umso mehr gilt das natürlich für die im zweiten Teil des Buches beschriebenen Anwendungsgebiete: Besucherlenkung und -leitung, Berechnungsverfahren für Personenströme, Planungssgrundlagen für den Fußgängerverkehr und Räumung und Evakuierung. Die menschlichen Bedürfnisse, ihre Umsetzung in Verhalten und die Ebenen des Erlebens und Verhaltens müssen immer mit berücksichtigt werden.

Entscheidend ist dann natürlich die Frage, wie Umwelt und Person zusammenwirken. Wie lässt sich das Verhalten beeinflussen? Für die Leitung und Lenkung von Besucherströmen ergeben sich zwei verschiedene Möglichkeiten: Einflussnahme auf die Personen oder Gestaltung der Umgebung. Für die Personen ist die direkte Einflussnahme auf die beiden Phasen *Wählen* und *Planen* beschränkt. Einfluss auf die Phase *Umsetzen* hat man indirekt durch die Gestaltung der Umgebung.

Einflussnahme von außen

Eine direkte Einflussnahme auf die Personen (im Sinne von Lenkung oder Leitung, also „crowd management“ von außen findet im ersten („Wählen“) oder zweiten Schritt („Planen“) statt.

Einfluss auf die Wahl Mit der Änderung des Ziels ändert sich auch der Plan. Ggf. kann auf einen früheren Plan zurück

gegriffen werden, z.B. dann, wenn die Aktivität früher bereits ausgeführt wurde. Manche Aktivitätsketten sind soweit automatisiert, dass sie keiner Planung bedürfen (z.B. nach Hause fahren).

Einfluss auf die Planung Das Ziel bleibt bestehen, aber es wird auf einem anderen Weg (möglicherweise einem „Umweg“) erreicht. Das ist wichtig bei Maßnahmen der Besucherlenkung und -leitung. Es muss den Besucher klar sein (und klar vermittelt werden), dass eine Wartezeit oder eine Umleitung nicht das Ziel in Frage stellt.

Dichtes Gedränge und Stress

Verhalten ist eine Funktion von Umwelt und Persönlichkeit $V = f(P, U)$ Ein Aspekt, der bei der Bewegung von Menschenmengen und kollektivem Verhalten generell bedeutsam werden kann ist der vergleichsweise geringe Einfluss individueller Unterschiede. Das bedeutet nicht, dass die Unterschiede verschwinden („Deindividuation“), sondern eben, dass sie aufgrund der geringeren Bewegungsfreiheit und vorher bewusst getroffener Festlegungen, weniger Einfluss auf das individuelle Verhalten haben. Daraus resultiert dann eine Angleichung des Verhaltens. Für hohe Personendichten und dichtes Gedränge zeigt sich dieses Phänomen besonders deutlich: *Frustration und Stress – Stressbewältigung* Stress wurde in Abschnitt 1.1.3 on page 26 als eine Dimension für die Beschreibung des Erlebens und Verhaltens beschrieben. Äußere Einflüsse, die zur Frustration von Bedürfnissen (Verlust von Kontrolle, Unlust, Trennung von Angehörigen) führen, erzeugen negativen Affekt und Stress.

Die Fähigkeit zur Stressbewältigung entscheidet darüber, ob die Top-down Steuerung aufrecht erhalten bleibt (also Werte, Ziele, Motive) oder ob Bottom-up gesteuert wird (Gewohnheiten, Temperament, Affekte). *Individuelle Unterschiede* Der bedeutsamste individuelle Unterschied ist also bei dichtem Gedränge die Fähig-

keit zur Stressbewältigung. Je höher der Stress (entweder durch die aversiven äußeren Umstände oder aufgrund der geringen oder verringerten Fähigkeit zur Stressbewältigung, möglicherweise auch durch Einfluss von Alkohol oder Drogen), desto stärker bestimmen Gewohnheiten, Affekt und Temperament das Verhalten. *Temperament und Affekt* Temperament ist der angeborene Teil des affektiven Erlebens. Dies äußert sich in der Bewegung (motorische Aktivierung) und der Empfindlichkeit der Sinneswahrnehmung (sensorischen Erregung). Affekte werden neben dem Temperament aber auch durch affektive Schemata beeinflusst. Das heißt, die affektive Reaktion ist z.T. erlernt. Die affektiven Schemata stellen allerdings das Ergebnis vieler Erfahrungen und Erlebnisse dar und können nur langfristig verändert werden.

Gewohnheiten spielen für die Handlungssteuerung in Stresssituationen eine wichtige Rolle. Das liegt daran, dass bei großem Stress (also z.B. dichtem Gedränge oder hoher Lautstärke) die Verhaltenssteuerung vor allem „von unten nach oben“ durch Gewohnheiten, Affekt und Temperament erfolgt. Das Ziel von Training und Übung ist u.a. die Ausbildung hilfreicher Gewohnheiten. Dies betrifft vor allem die Ordner und anderes Personal. Darauf wird in Kapitel 4 on page 111 detailliert eingegangen.

Top-down Steuerung funktioniert bei guter *Stressbewältigung*. Dann sind die folgenden drei Quellen handlungsleitend: *Werte* (reflektierte Erfahrung und Erlebnisse), *Ziele* (Kognition) und *Motive* (Emotion)

Nach Abschluss der Wahl-Phase ist der „Rubikon“ überschritten.

Wie bereits oben ausgeführt, gibt es Hinweise auf eine strikte Trennung zwischen der Phase *Wählen* und den Phasen *Planen* und *Umsetzen*. Nach Abschluss des Abwägens und wenn die Entscheidung einmal getroffen ist, geht es um die bestmögliche Umsetzung des gefassten Entschlusses. Dies betrifft die beiden

Phasen *Planen* und *Umsetzen*. Man kann sie also der taktischen und operativen Handlungsebene zuordnen (im Gegensatz zur strategischen Ebene des Abwägens und Entscheidens). Auch wenn die strikte Trennung der Phasen empirisch nicht nachweisbar sein sollte, so lässt sich doch anhand dieses Modells veranschaulichen, dass sich eine Menschenmenge in Bewegung nicht einfach anhalten lässt. Die größten Einflussmöglichkeiten hat man auf der Ebene der Routenwahl (vgl. Abbildung 1.2 on page 29). Eine Einflussnahme auf die Umsetzung des Plans im Sinne eines Aufhaltens der Ausführung ist also i.a. nur mit repressiven Mitteln („Crowd Control“) möglich. Die Variante „Leitung und Lenkung“ ist dem vorzuziehen Kemp, 2011.

Anders zu handeln setzt eine neue Entscheidung voraus Diese Entscheidung findet auf der strategischen Ebene statt oder beinhaltet eine Umplanung (auf der taktischen Ebene, vgl. Abbildung 1.2 on page 29). Damit muss entweder ein anderes Ziel ausgewählt werden oder das Ziel muss auf einem anderen Weg oder an einem anderen Ort erreicht werden (Umplanung).

Das kann z.B. bedeuten:

- „Bring dich in Sicherheit!“ (neues Ziel, neuer Plan)
- „Ich hole mir doch keine Bratwurst in der Halbzeitpause.“ (Verkürzung der Aktivitätskette)
- „Der Ausgleich ist gefallen. Ich muss zurück ins Stadion.“ (neues Ziel, Plan ist bereits vorhanden)
- ...

Beispiel: Krönung Nikolaus II., 18.05.1866, Russland

Zur Krönung des russischen Zars Nikolaus II. sollten 400.000 Geschenke verteilt werden, in der Nacht zuvor hatten sich bereits 500.000 Personen versammelt. Es gab das Gerücht, dass die Geschenke bereits verteilt würden. Die Menschen drängten nach vorn. Augenzeugen berichten, dass Tote in der Menschenmenge nicht umfallen konnten. Die Dichte war also enorm.

Beispiel: „The Who Concert Stampede“ (1978)

Beim Einlass zu einer Veranstaltung ist das Ziel der Besucher ihr jeweiliger Platz. Dabei ist es für die Besucher von Konzerten von großer Bedeutung, ob der Platz von Vorne herein zugewiesen ist, oder ob sie sich durch frühes Kommen den besten Platz ergattern können.

Im Jahre 1978 kam es bei einem Konzert der Band „The Who“ in Cincinnati zu einem Gedränge am Einlass. Hierfür gab es verschiedene Gründe. Einer der Gründe war, dass es ein sogenanntes „festival seating“ gab (Comission, 1978). Es gab also keine nummerierten Plätze, sondern wer zuerst kam, konnte sich seinen Platz aussuchen. Der Bericht der Untersuchungskommission (Comission, 1978) empfahl daher (unter anderem), dass es zukünftig kein „festival seating“ mehr geben sollte, sondern, dass die Plätze nummeriert und vorher zugewiesen werden sollten.

Beispiel: „Autogrammstunde DSDS“ (2011)

Bei einer Autogrammstunde im CentrO Oberhausen kam es zu dichtem Gedränge. Im Gegensatz zu einem Brandereignis war hier zunächst keine Gefahr vorhanden. Die mögliche Belohnung war außerdem „gering“ (dies hängt natürlich sehr stark von der subjektiven Einschätzung ab). Dennoch war die Motivation der Besucher so hoch, dass sie massiv zum Ort des Ereignisses hin drängten und es dabei zu Verletzungen kam. Das Verhalten war also nicht-kooperativ und „egoistisch“ in dem Sinne, dass ohne eigene unmittelbare Gefährdung andere Personen durch das kollektive Verhalten gefährdet wurden und zu Schaden kamen.

Beispiel: Anschlag auf die Londoner U-Bahn (2005)

In London gab es im Jahre 2005 terroristische Anschläge auf die U-Bahn. Das Verhalten, das dabei beobachtet wurde, war durchweg kooperativ. Die Schlussfolgerung von Drury, Cocking und Reicher (2009) lautet, dass dies gerade wegen der drohenden Gefahr so war.

Beispiel: Eröffnung Mediamarkt Berlin

Bei der Eröffnung eines Elektronikmarktes im Einkaufszentrum Alexa in Berlin wurden Waren zu sehr günstigen Preisen angeboten („Lockangebote“). Der Ansturm war so groß (ca. 5.000 Personen), dass Teile der Einrichtung zerstört wurden. Der Laden musste sogar geschlossen werden um die Situation wieder kontrollieren zu können.

1.2 Sicherheit, Wohlbefinden und Komfort

Was bedeuten die bisher in diesem Kapitel angestellten Überlegungen für die Planung und Durchführung von Veranstaltungen, für den Betrieb von Versammlungsstätten oder für die Brandschutzplanung? Zum einen geht es darum, den Besuchern einer Veranstaltung, den Fahrgästen im Bahnhof oder Zug oder den Benutzern eines Gebäudes den möglichst ungehinderten, freien und komfortablen Zugang und Aufenthalt zu gewähren. Es geht aber auch um die Sicherheit von Nutzern und Besuchern im Alltag und bei einem Notfall (z.B. dem Brand eines Gebäudes). Diese Kriterien lassen sich als Sicherheit und Komfort zusammenfassen. Dabei wird der Sicherheit, zumal in gesetzlichen Regelungen natürlich Vorrang eingeräumt.

1.2.1 Messung von Sicherheit

Die Frage, wann eine Situation als unsicher oder unbequem empfunden wird, ist daher für die Planung von Besucherströmen

(„crowd management“) zentral. Die Einflüsse, die das Wohlbefinden bestimmen und beeinträchtigen können sind in Abbildung 1.3 on the facing page dargestellt. Es werden Zonen der „Behaglichkeit“, „Erträglichkeit“, „Lästigkeit“ und „Unerträglichkeit“ unterschieden. Für die Bewertung der Bewegung einer größeren Anzahl von Menschen (z.B. im Pendlerverkehr) wird oft das von Fruin für den Fußgängerverkehr entwickelte bzw. adaptierte² „Level-of-service“ Konzept herangezogen (*Highway Capacity Manual* 1994). Für die Dimension *Personendichte* in Abbildung 1.3 on the next page ist der unsichere Bereich durch LoS *F* definiert. Für die Bewegung auf Gehwegen wird LoS *F* bei 2,2 P/qm erreicht, für Treppen bei 2,8 P/qm (entsprechend den Kategorien *F1*, *F2* und *F3* in Tabelle 6.1 on page 200).

Vergleicht man Abbildung 1.4 und Tabelle 6.1, so fällt auf, dass in der Tabelle weitere Buchstaben hinzugekommen sind. In Fruins Konzept gibt es einen LoS A bis F für Gehwege und einen für Wartebereiche (also stehende Menschen). Diese beiden sind in Tabelle 6.1 on page 200 integriert, so dass sich die Gütegrade A bis I ergeben.

In der nachfolgenden Aufzählung sind die in Abbildung 1.3 benutzten Begriffe zum einen der Skala *komfortabel*, *sicher* und *unsicher* und zum anderen dem „Level of Service“ A bis F (siehe Abbildung 1.4 zugeordnet).

- Komfortabel - Kategorie A und B: behaglich
- Sicher - Kategorie C und D: erträglich bis lästig
- unsicher - Kategorie F: unerträglich

Damit kann die Qualität einer Verkehrsanlage für Fußgänger gemessen werden, nämlich anhand der Personendichte. Die persönliche Wahrnehmung einer Person wird aber selbstverständlich nicht nur von der lokalen Personendichte, d.h. vom Ausmaß des Gedränges, abhängen. Neben diesem und anderen objektiv messbaren Kriterien, spielen persönliche Präferenzen eine wichtige

²Das Konzept wurde zuerst für den Autobahnverkehr entwickelt.

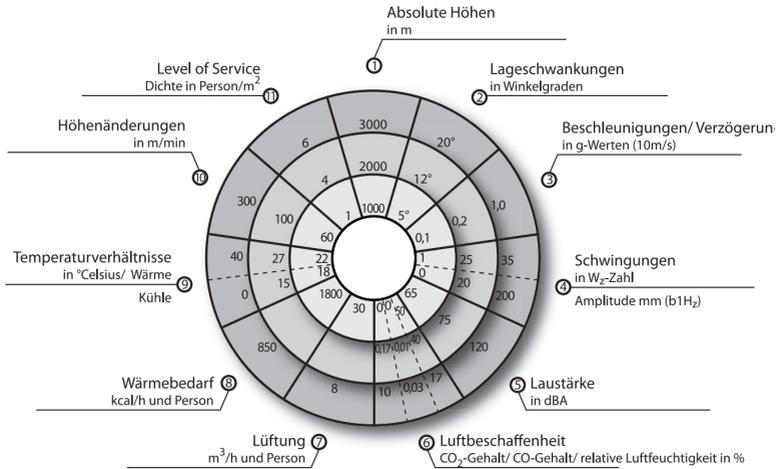


Abbildung 1.3: Das Wohlbefinden („Behaglichkeit“ hängt von zahlreichen äußeren Umständen ab (Sektoren in der Abbildung). Außerdem ist es hier in die Bereiche „behaglich“, „erträglich“, „lästig“ und „unerträglich“ eingeteilt. Der äußere Umstand (Umgebungseinfluss) „Personendichte“ ist hier nicht unmittelbar repräsentiert, wirkt aber direkt auf Lageschwankungen, Beschleunigungen und Lautstärke.

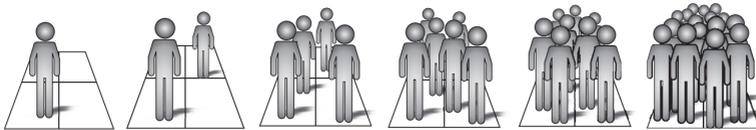


Abbildung 1.4: Der *Level of Service* (die Leistungsfähigkeit) beschreibt zunächst einmal ein Leistungs- oder Qualitätsniveau. Es wird i.a. anhand der Dichte (in Personen pro qm) definiert. Hier ist der LoS A bis F für gehende Menschen (Gehwege) nach der ursprünglichen Einteilung von J. J. Fruin, 1971, S. 74 gezeigt.

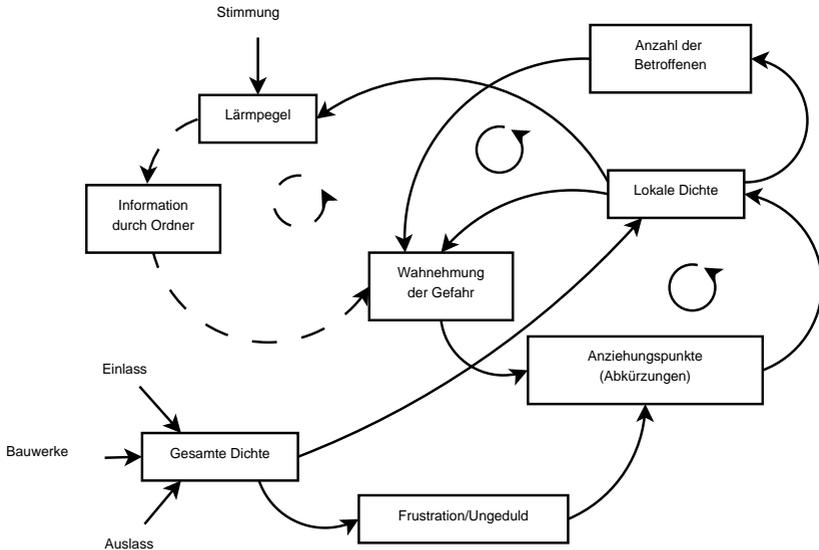


Abbildung 1.5: Die einzelnen Wirkfaktoren für das Wohlbefinden (und damit auch die Sicherheit) von Personen in Menschenmengen) beeinflussen sich gegenseitig auf unterschiedliche Weise. Durch geschlossene Kreise sich gegenseitig verstärkender Einflüsse kann es zu einer Aufschaukelung kommen, die, sobald sie in Gang gesetzt ist, nur noch schwer zu beeinflussen ist. Blätte und Mamrot, 2010

Rolle.

1.2.2 Einflüsse auf Sicherheit und Komfort

Die für die Sicherheit und den Komfort von Besuchern und Nutzern relevanten Einflüsse lassen sich in vier Kategorien unterteilen ISO, 1999: Geometrie, Population, Gefahren und Umgebung. Die in Abbildung 1.3 on page 37 gezeigten Parameter beschreiben Umgebungs- oder Umwelteinflüsse. Die Personendichte beeinflusst jedoch direkt die Faktoren „Lageschwankungen“, „Beschleunigungen“ und „Lautstärke“, des weiteren (insbesondere in geschlossenen Räumen), die Belüftung (den Sauerstoffgehalt der Luft) und durch die bei hohen Personendichten durch Körperkontakt entstehenden Kräfte auch die Atmung³ Durch sich gegenseitig verstärkende Einflüsse kann es zu einer Aufschaukelung kommen (siehe Abbildung 1.5). Diese sind sehr schwer zu „beherrschen“, wenn sie einmal in Gang gekommen sind. Daher ist es notwendig, solche Rückkopplungs-Schleifen in der Planung zu erkennen und beim Entwurf eines Veranstaltungs-, Sicherheits- oder Brandschutzkonzeptes entsprechende Maßnahmen vorzusehen. Für eine tiefer gehende Diskussion der architektonischen Aspekte für Planung von Fußgängeranlagen, Verkehrswegen, Veranstaltungen usw. sei z.B. auf Nathalie Waldau, 2002, Knoflacher, 2007, Westphal, 1971, Oeding, 1963, Weidmann, 1992, Buchmüller, 2007 und die dort genannten Referenzen verwiesen.

1.3 Kollektives Verhalten

Insbesondere in großen Menschenmengen treten Phänomene auf, die als kollektives Verhalten bezeichnet werden. So können bei Fußballspielen oder Konzerten, Störungen von einzelnen Gruppen ausgehen, in denen sich die Teilnehmer anders verhalten als

³Das kann bis zu drohender Erstickenngsgefahr reichen, wenn die Atmung durch das Zusammenpressen des Brustkorbs stark behindert wird.

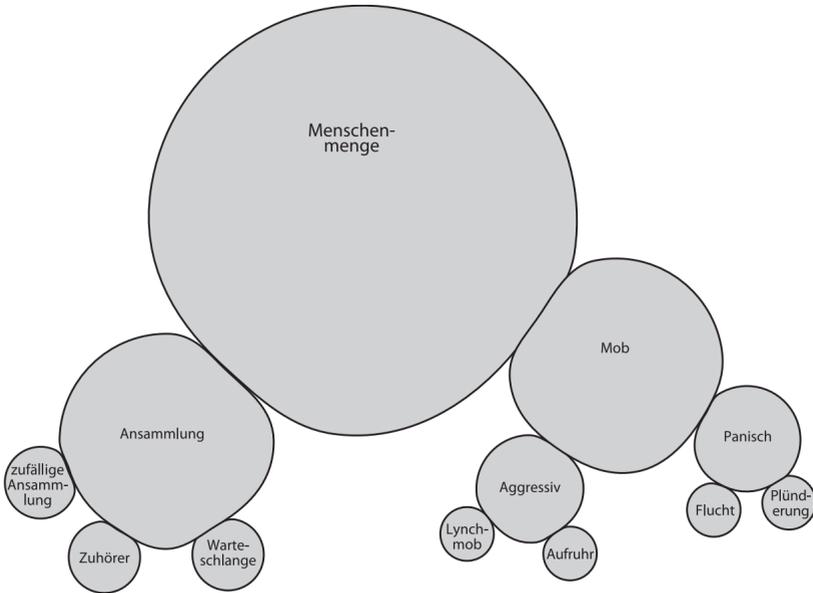


Abbildung 1.6: Gruppen lassen sich anhand vieler Kriterien systematisieren. Die Abbildung zeigt diejenigen Gruppen, die zu einer bestimmten Zeit am gleichen Ort sind (Menschenmengen, englisch „crowds“). Diese lassen sich grob in Ansammlungen und „Mobs“ einteilen, je nach Aggressionspotential. R. Forsyth, 1999

wenn sie alleine wären. Das kann die Sicherheit einer Veranstaltung gefährden. Daran lässt sich zwar mit Mitteln der Planung und Leitung von Besucherströmen („crowd management“) nicht unmittelbar etwas ändern. Es ist aber möglich, z.B. durch Absperrmaßnahmen eine Trennung verschiedener Gruppen zu erreichen.

1.3.1 Unerwartetes und gefährliches Verhalten

Myers (1999) schreibt in seinem Lehrbuch der Sozialpsychologie zusammenfassend am Ende des Kapitels über den „Einfluss von Gruppen“:

Wenn ein hohes Maß an sozialer Erregung und diffuse Verantwortlichkeit zusammen kommen, kann das dazu führen, dass Menschen ihre normalen Beschränkungen aufgeben und ihre Individualität verlieren. Solche eine „Deindividuation“ ist besonders dann wahrscheinlich, wenn sich Menschen als Teil einer anonymen Menge fühlen und Kostüme oder versteckende Kleidung tragen. Das Resultat ist verringerte Selbstwahrnehmung und Selbstkontrolle und ein erhöhter Einfluss der unmittelbaren Situation, sei es negativ oder positiv. Myers, 1999 (Übersetzung: HK)

Die in Abbildung 1.6 dargestellte Systematik ist hilfreich bei der Unterscheidung zwischen Maßnahmen der Leitung und Lenkung von Besucherströmen („crowd management“) und der direkten Einflussnahme mit repressiven oder restriktiven Maßnahmen („crowd control“). Die sichere und komfortable Leitung von Besucherströmen ist eine Aufgabe der Planung und Lenkung (also des „crowd management“). Die Kontrolle von Fangruppen oder die Verhinderung von Ausschreitungen ist davon klar zu unterscheiden und soll im weiteren nicht näher betrachtet werden. Die Begriffe „crowd control“ und „crowd management“ korrespondieren mit der Unterscheidung „polizeiliche“ versus „nicht-polizeiliche Gefahrenabwehr“. Weitere Informationen zum Thema „crowd control“ lassen sich z.B. European Parliament Directorate General for Research, 2000 entnehmen. Es ist in jedem Fall besser, während der Planung und des Entwurfs Maßnahmen vorzusehen, um gefährliche oder unkomfortable Situationen gar

Crowd behaviour simulation	Agent = Individual	Context		Cognition			Focus	Behaviour
		Physical	Social	Physical	Intentional	Functional		
Johnsson (1977)	+	-	+	-	-	-	Understanding	Consensus
Granovetter (1978)	+	-	-	-	+	-	Methodology	Collective behaviour riot
Threshold model								
Feinberg (1988)	+	-	+	-	-	-	Understanding	Role agitators on consensus
Tarnow (1996)	+	+	+	-	-	-	Understanding	Group conformity & violence
Phase model								
Tucker (1999)	+	+	-	-	-	-	Reproduce	Arc & ring patterns
Still (2000)	+	+	+	+	-	-	Reproduce	Emergent behaviour
Legion								
Therakomen (2001)	+	+	+	+	+	-	Understanding	Movement in urban space
Mouse.class								
Jager (2001)	+	+	+	+	+	-	Understanding	Cluster, fight, approach-avoidance
Musse (1997)	+	+	+	-	+	-	Reproduce	Group inter-relation, collision avoidance
Epstein (2002)	+	+	+	+	-	-	Methodology	Civil violence
Silverman (2002)	+	+	+	+	+	-	Methodology	Crowd tipping
Game theoretic agents								
Patten (2004)	-	-	+	-	-	-	Reproduce	Group violence
Epidemic theory								
Helbing (2005)	+	+	+	-	-	-	Reproduce	Pedestrian movement, Evacuation
Social forces model								
Mosler (2005)	+	-	+	+	+	-	Understanding	Escalation processes
PAX model								
Nguyen (2005)	-	+	+	-	+	-	Reproduce	Interaction civilians-military
Cognitive crowd model								
Fridman (2009)	+	+	+	+	-	+	Reproduce	Pedestrian movement, social comparison
Wijermans (2011)	+	+	+	+	-	+	Understanding	Behaviour dynamics
CROSS model								

Abbildung 1.7: Liste von Modellen für die Simulation des Verhaltens von Menschenmengen. Wijermans, 2011

nicht erst entstehen zu lassen. Die Steuerung und Lenkung von Personenströmen während eines Ereignisses sollte den unvermeidbaren Fällen vorbehalten bleiben, entweder, weil Leitung und Lenkung alleine nicht genügt (z.B. bei Hooliganismus) oder weil ein unvorhergesehenes Ereignis oder ein unvorhergesehener Verlauf dies zur Abwehr einer akuten Gefahr erfordert.

1.3.2 Modellierung kollektiven Verhaltens

Die in Kapitel 5 on page 177 vorgestellten Verfahren und Simulationen sind Modelle (bzw. Implementierungen von Modellen) kollektiven Verhaltens. Sie decken aber nur einen Teilaspekt des kollektiven Verhaltens, nämlich die kollektive Bewegung (im Verkehr oder beim Betreten, Verlassen oder Räumen eines Gebäudes oder einer Veranstaltung) ab.

Tabelle 1.1: Modelle für die Simulation von Gruppenverhalten nach Wijermans, 2011 (Bedeutung der Abkürzungen: A: Agent, Kx: Kontext, Kg: Kognition, Fok: Fokus; iv: individuell, p: physikalisch, s: sozial, i: intentional, f: funktional; V: Verständnis, M: Methode, R: Reproduktion/Nachbildung). Weitere Erläuterungen und Referenzen siehe dort.

Modell	A			Kx			Kg			Fok	Verhalten
	iv	p	s	p	i	f	p	i	f		
Johnson	+	-	+	-	-	-	-	-	-	V	Konsens
Granov.	+	-	-	-	+	-	-	-	-	M	Koll. Verh.
Feinberg	+	-	+	-	-	-	-	-	-	V	Gruppen
Tarnow	+	+	+	-	-	-	-	-	-	V	Gruppen
Tucker	+	+	-	-	-	-	-	-	-	R	Bogen/Ring
Still	+	+	+	+	-	-	-	-	-	R	Emergenz
Legion	+	+	+	+	+	-	-	-	-	V	Urban
Jager	+	+	+	+	+	-	-	-	-	V	Cluster, Kampf
Musse	+	+	+	-	+	-	-	-	-	R	Gruppen
Epstein	+	+	+	+	-	-	-	-	-	M	Gewalt
Silverman	+	+	+	+	+	-	-	-	-	M	Auflauf
Patten	-	-	+	-	-	-	-	-	-	R	Gewalt
Helbing	+	+	+	-	-	-	-	-	-	R	Evakuierung
PAX	+	-	+	+	+	-	-	-	-	V	Eskalation
Cogn. Crowd	+	+	+	+	-	+	-	-	-	R	Soz. Bewgg.
Wijermans	+	+	+	+	-	+	-	-	-	V	Dyn. Verhalt.

Eine Liste von Modellen, die für diverse Formen kollektiven Verhaltens entwickelt wurden, ist in Abbildung 1.1 on the preceding page gezeigt. Hier ist das ganze Spektrum kollektiven Verhaltens berücksichtigt (siehe Abbildung 3.9 on page 107). Die Modelle für die Fußgängerbewegung und Evakuierung (in Tabelle 1.1 on the preceding page) sind die von Dirk Helbing, Illés Farkas und Tamás Vicsek (2000) und Still (2000) genannt) sind dabei ein möglicher Fokus. Auch die Meinungsbildung und andere Gruppenphänomene wurden mit Hilfe von Modellen untersucht. Der Klasse von Modellen, deren Fokus auf der Fußgängerbewegung liegt, ist in Kapitel 5 on page 177 ein eigener Abschnitt 5.2 on page 181 *Simulationsverfahren* gewidmet.

Bausteine kollektiven Verhaltens

Clark McPhail (1991) gibt verschiedene Sequenzen kollektiven Verhaltens an. Er unterteilt diese in drei Kategorien Schweingru-ber und C. McPhail, 1999:

Orientierung

1. Rudelbildung
2. Bogenbildung
3. Starren
4. Wachen

Rufe

1. Oh, Ah, Uh
2. „Ja“-Rufe
3. Buhen
4. Pfeifen
5. Gezische
6. Lachen
7. Jammern, Klagen

Sprechen

1. Sprechchöre
2. Singen

3. Beten
4. Rezitation
5. Flehen

Kollektive Gesten

1. römischer Gruß (mit ausgestreckter Hand)
2. Solidarischer Gruß (erhobene Faust)
3. obszöne Geste („Stinkefinger“)
4. „Nummer 1“ (ausgestreckter Zeigefinger)
5. „Peace“ / „Victory“ (Zeige- und Mittelfinger gespreizt)

Kollektive Bewegung

vertikal

1. Sitzen
2. Stehen
3. Springen
4. Beugen
5. Knien

horizontal

1. Gruppen
2. Schlangen
3. Gewoge
4. Marschieren
5. Rennen

manuell

1. Applaus
2. Klatschen
3. Schnippen
4. winken
5. Dinge werfen

Wie auch bei den Modellen für kollektives Verhalten umfasst der Gegenstand dieses Buches nur einen Teil der vielen möglichen kollektiven Verhaltensweisen, namentlich die *horizontale Bewegung*. Für die in Kapitel 4 on page 111 beschriebene sichere

Collective orientation	Collective vocalization	Collective verbalization
1. Clustering	1. Ooh-, ahh-, ohhing	1. Chanting
2. Arcing, ringing	2. Yeaing	2. Singing
3. Gazing, facing	3. Booing	3. Praying
4. Vigiling	4. Whistling	4. Reciting
	5. Hissing	5. Pledging
	6. Laughing	
	7. Wailing	
Collective gesticulation (nonverbal systems)		
1. Roman salute (arm extended forward, palm down, fingers together)		
2. Solidarity salute (closed fist raised above shoulder level)		
3. <i>Digitus obscenus</i> (fist raised, middle finger extended)		
4. #1 (fist raised shoulder level or above, index finger extended)		
5. Peace (fist raised, index finger and middle finger separated and extended)		
6. Praise or victory (both arms fully extended overhead)		
Collective vertical locomotion	Collective horizontal locomotion	Collective manipulation
1. Sitting	1. Pedestrian clustering	1. Applauding
2. Standing	2. Queuing	2. Synchroclapping
3. Jumping	3. Surging	3. Finger snapping
4. Bowing	4. Marching	4. Grasping, lifting, waving object
5. Kneeling	5. Jogging	5. Grasping, lifting, throwing object
6. Kowtowing	6. Running	6. Grasping, lifting, pushing object

Abbildung 1.8: Kategorisierung kollektiven Verhaltens nach Schweingruber und C. McPhail (1999).

Besucherleitung und -lenkung spielen aber viele der anderen kollektiven Phänomene eine Rolle, z.B. die kollektive Ausrichtung (Bogenbildung, siehe auch Abbildung 3.10 on page 108).

Ansteckende Furcht und Fluchtreflex

Gelder u. a. (2004) untersuchte die Reaktion von Probanden auf verschiedene Körperausdrücke (vgl. Abbildung 1.9 on the next page).

Beim Betrachten von Bildern, die Furcht ausdrücken (Abbildung 1.9 on the facing page) werden

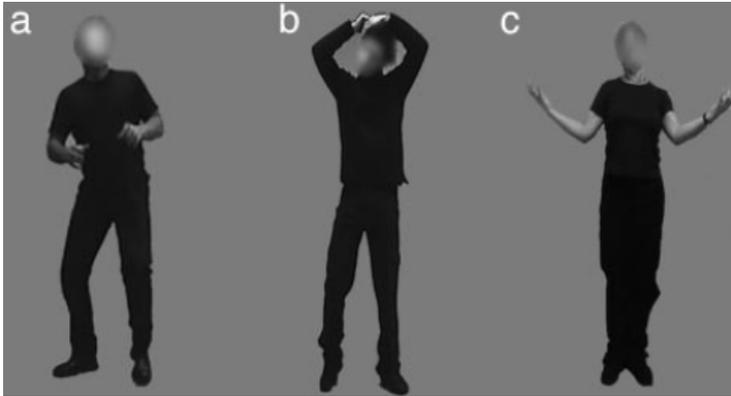


Abbildung 1.9: Gelder u. a. (2004) nutzte verschiedene Körperausdrücke zur Untersuchung der Wirkung auf die entsprechenden Gehirnregionen. Der Ausdruck „Furcht“ aktivierte Hirnregionen, deren Aktivität mit Emotionen „und der motorische Steuerung korreliert.

Gehirnregionen aktiviert, die emotionale Information verarbeiten. [...] Beim Betrachten von Bildern, die andere, emotional neutrale, Gesten darstellen, ist dies nicht der Fall. Beim betrachten von Bildern, die freudige Emotion ausdrücken, werden nur visuelle Gebiete aktiviert. Darüber hinaus werden im ersten Fall (Furcht) auch Gebiete aktiviert, die Aktion repräsentieren und der motorischen Steuerung dienen. Das Zusammenwirken dieser aktivierten Regionen stellt möglicherweise einen Mechanismus für ansteckende Furcht dar. Das geschieht automatisch und ohne rationale Verarbeitung (Schlussfolgern). Das ist analog zu früheren Beobachtungen für furchtsame Gesichtsausdrücke. (Übersetzung: HK)

Es geschieht folgendes:

- die emotionale Verarbeitung findet statt; und
- motorische Aktivität wird vorbereitet.

Das zeigt, dass eine so etwas wie einen Fluchtreflex (oder auch Kampfreflex) gibt, der automatisch gesteuert wird. Dieser wird auch von Schmalzl (2005) in seiner Definition von Panik angeführt:

Panik ist ein angstmotiviertes Fluchtverhalten, das dem eigenen Überleben dient, wenn plötzlich und unerwartet eine Gefahr auftritt, gegen die keine ausreichenden Vorkehrungen getroffen wurden, dabei unmittelbare Lebensgefahr angenommen wird und dennoch Rettung möglich erscheint, wenn auch nur schwer und nicht für alle erreichbar, zumal meist fehlende oder falsche Informationen die Lageeinschätzung erschweren.

Zu der Frage „Kann die Polizei Panik verhindern“ schreibt Schmalzl (2005):

Wenn Panik zu einem gewichtigen Teil auf bauliche oder organisatorische Fehlplanungen zurückzuführen ist, reduzieren sich die polizeilichen Einflussmöglichkeiten von vorneherein. Eine Menschenmenge, die sich an einem viel zu engen Ausgang staut, lässt sich mit polizeilichen Mitteln nicht verhindern. Was man allenfalls tun kann, betrifft die Gefahrenprävention und die rechtzeitige kommunikative Einwirkung. Prävention beginnt konsequenterweise bei der polizeilichen Mitsprache, wenn es um die Bauplanung und Ausrichtung von Großveranstaltungen geht. (...) Um aber nicht selbst von der eigenen Angst und Panik übermannt zu werden und um überhaupt zu wissen, was im Ernstfall zu tun ist, bedarf es guter

mentaler und praktischer Vorbereitung in entsprechenden Schulungsmaßnahmen.



2. Individuelle Bewegung

Nachdem im vorherigen Kapitel die **Motivation und Handlungssteuerung** besprochen wurden, geht es in Kapitel 2 um die physikalische Beschreibung der Bewegung und deren physiologische Voraussetzungen und Beschreibung. Grupe u. a. (2005) Neben „Weg und Zeit“ und „Leistung und Energie“ werden auch „Treppen, Türen und Rampen“, die baulichen und technischen „Module“ der Umwelt aus denen Anlagen für den Fußgängerverkehr aufgebaut sind, behandelt. Das Ziel dieses Kapitels ist es, die körperlichen Grundlagen zusammen zu tragen und zu verstehen, wie sich eine Person bewegt, wie sie einem Hindernis oder einer anderen Person ausweicht und wo die Belastungsgrenzen liegen.

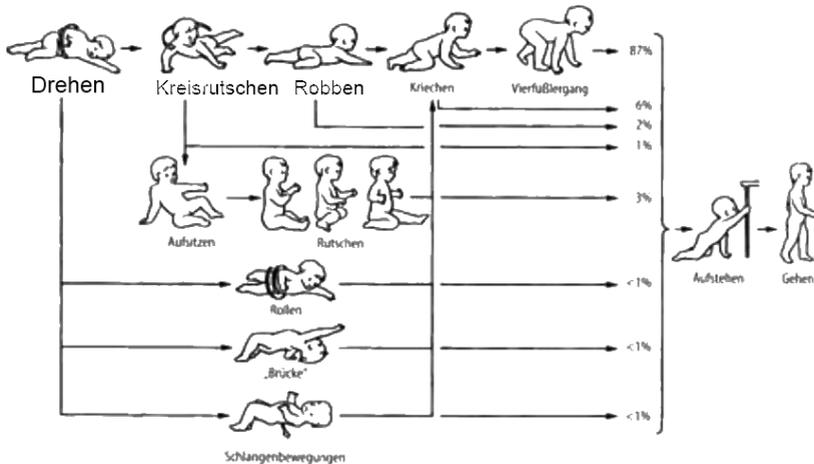


Abbildung 2.1: Die menschliche Lokomotion entwickelt sich mit dem Alter individuell. (Largo, 2011, S. 36)

2.1 Grundlagen individueller Lokomotion

In diesem Abschnitt werden die Aspekte dargestellt, die die Bewegung eines einzelnen Menschen betreffen. Dabei geht es um die Bewegung in einem elementaren Sinn, also um das Zurücklegen einzelner Wegabschnitte. Welcher Weg gewählt wurde und wann und wie dieser zurückgelegt wird hier als bereits getroffene Entscheidung vorausgesetzt. Wegabschnitte

2.1.1 Individuelle Entwicklung

Wie in Abbildung 2.1 gezeigt ist, entwickelt sich die Fähigkeit zur Fortbewegung mit dem Alter auf individuell unterschiedliche Weise. Neugeborene können sich nicht selbst fortbewegen und lernen dann innerhalb der ersten ein bis zwei Jahre, auf zwei Beinen aufrecht zu laufen. Robben und Kriechen Das beginnt mit dem Strampeln. Als nächstes folgt normalerweise das Drehen um

die horizontale Achse (vom Rücken auf den Bauch und zurück) und danach um die vertikale Achse. Die Fortbewegung führt über das Robben und Kriechen zum Krabbeln. Schließlich lernt das Kleinkind, sich hoch zu ziehen, zu stehen und zu laufen. Der Drang sich fortzubewegen und schließlich laufen zu lernen, erwächst aus der Neugier und dem Bedürfnis seine Umwelt zu erkunden und zu kontrollieren. Kontrolle und Orientierung Dieser Lernprozess ist mit vielen Frustrationen verbunden und gelingt nur durch intensive Anstrengung, was auf eine sehr hohe Motivation schließen lässt. Dieser Gedankengang unterstützt die These, dass es sich beim Explorationsbedürfnis und der Neugier um angeborene Bedürfnisse bzw. Neigungen handelt. In dem Modell von Grawe (2004), der vier Grundbedürfnisse postuliert (siehe Abbildung 1.1 on page 21), ist dies das Grundbedürfnis nach *Kontrolle und Orientierung*.

2.1.2 Standfestigkeit und Stabilität

Der aufrechte Gang des Menschen hat den Vorteil, dass er zu einem größeren Überblick verhilft. Zum anderen – und das ist entscheidend – sind die Hände frei. Aufrechter Gang Das ermöglicht ihren vielfältigen Gebrauch, vor allem für die Benutzung von Waffen und Werkzeugen. Der aufrechte Gang, der Gebrauch von Werkzeugen, das ausgeprägte Sozialleben des Menschen und die Entwicklung der Sprache haben sich parallel entwickelt und sind nach Grupe u. a. (2005) eng miteinander verzahnt.

Die Bewegung auf zwei Beinen hat aber auch Nachteile: Die Kippkanten beim Stehen auf vier Beinen liegen auch auf einer geneigten Oberfläche oder bei einer äußeren Krafteinwirkung so, dass der Schwerpunkt unterstützt ist und der Körper nicht kippt. Beim aufrechten Gang auf zwei Beinen ist das schwieriger. Er führt daher leichter zu Stürzen. Gleichgewicht Der Überblick ist zwar bei aufrechtem Gang größer. Übersieht man jedoch ein Hindernis, so kommt man ggf. aus dem Gleichgewicht. Das geschieht

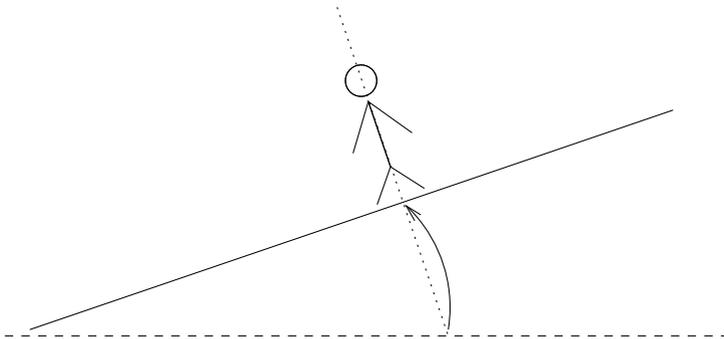


Abbildung 2.2: Die Standsicherheit ist dann gegeben, wenn der Schwerpunkt unterstützt ist. Das gilt auch für die menschliche Bewegung. Ohne Handlauf oder seitliche Abstützung kann ein Mensch ab einer gewissen Neigung sein Gleichgewicht nicht mehr halten. Er muss also entweder einen Ausfallschritt machen, um den Schwerpunkt zu verlagern oder er droht, zu stürzen.

immer dann, wenn der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt wird und sein Lotfußpunkt nicht auf sondern neben der durch die Füße gebildeten Standfläche liegt (siehe Abbildung 2.2).

Das kann bei seitlicher Krafteinwirkung geschehen (schubsen), durch die Trägheit, wenn die Füße nicht nachkommen oder hängen bleiben (Stolpern) oder bei einer Neigung oder Schwanken des Untergrunds (auf der Kirmes, auf Schiffen, etc.). Schwerpunkt Normalerweise wird die Stabilität, d.h. die fortwährende Unterstützung des Schwerpunkts, durch das erlernte Gleichgewichtsverhalten erreicht. Der Mensch ist also unbewusst und automatisch ständig damit beschäftigt, sein Gleichgewicht aktiv zu halten.

2.1.3 Individuelle Unterschiede

Die Persönlichkeit kann auf den in Kapitel 1 on page 19 genannten sieben Ebenen beschrieben werden:

1. Gewohnheiten
2. Temperament
3. Affekt
4. Stress
5. Motivation
6. Kognition
7. Selbst

Auf diesen Ebenen finden sich die psychologischen Unterschiede zwischen verschiedenen Menschen wieder. Daneben gibt es natürlich auch noch Unterschiede in der Konstitution. Beides zusammen macht die der *Person* zugehörigen Einflussfaktoren auf das Verhalten und die Bewegung aus. Hinzu kommen die Einflüsse der *Umwelt*. Eine Reihe weiterer Faktoren sind weder für alle Personen an einem Ort gleich noch sind sie über die Zeit hinweg für eine Person konstant, wie die oben genannten Persönlichkeitseigenschaften. Zu diesen individuellen und zeitlich veränderlichen Einflussgrößen auf das Verhalten und die Fortbewegung gehören u.a.

- Gepäck
- Gehbehinderung
- Ermüdung

Diese wirken sich unmittelbar auf die Laufgeschwindigkeit aus. Eine besondere Rolle spielt hierbei die Ermüdung, weil sie im Laufe der Zeit zunimmt, d.h. die Laufgeschwindigkeit sinkt immer weiter bis die Ermüdung so groß ist, dass eine Pause eingelegt werden muss, die Geschwindigkeit also auf null sinkt. Darüber hinaus erhöht sich je nach den individuellen Bedürfnissen und vor allem mit dem Gebrauch von Hilfsmitteln für die Fortbewegung auch der Platzbedarf. Dies ist in Abbildung 2.5 veranschaulicht.

Die weitere Darstellung in diesem Kapitel folgt Weidmann

Tabelle 2.1: Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit vom Zweck (Quelle: Weidmann, 1993). Die Daten sind so skaliert, dass der Mittelwert bei 1,34 m/s liegt.

Nutz und Werksverkehr	1,61 m/s
Pendlerverkehr	1,49 m/s
Einkaufsverkehr	1,16 m/s
Touristik und Freizeitverkehr	1,10 m/s

(1993). Zunächst werden weitere Faktoren, die die Fortbewegung beeinflussen, benannt und quantifiziert. Der Einfluss wurde vor allem an der Laufgeschwindigkeit gemessen. So ist in Tabelle 2.1 die Abhängigkeit der mittleren Laufgeschwindigkeit vom Zweck der Reise oder Fortbewegung dargestellt. Freizeit Touristik

Diese Unterschiede finden sich auch in den für verschiedene Städte und Stadtbezirke gefundenen Unterschiede zwischen den Laufgeschwindigkeiten wider. Bei den Städten rührt ein Teil der Beobachtungen von der unterschiedlichen Hauptnutzung her. So findet sich in Städten mit einem hohen Anteil an Einpendlern oder einer hohen Zentralität (d.h. viele überregionale Versorgungsfunktionen wie Geschäfte und Dienstleistungen) ein höherer Anteil an „Berufsverkehr“.

Mit dem *Zweck* des Fußgängerverkehrs ist einer der wichtigsten *kurzfristigen und veränderlichen* individuellen Unterschiede in der Laufgeschwindigkeit genannt. Der wichtigste *dauerhafte und unveränderliche* Unterschied in der Leistungsfähigkeit und Gehgeschwindigkeit rührt vom Alter her. Dies ist in Abbildung 2.3 on the next page aufgetragen. Im Alter von 10 bis 60 Jahren liegt die Laufgeschwindigkeit über dem Durchschnitt von 1,34 m/s. Danach sinkt sie ab und liegt mit 80 Jahren bei ca. 0,6 bis 0,7 m/s, also bei der Hälfte des durchschnittlichen Wertes. Es handelt sich bei den angegebenen Geschwindigkeiten um den Durchschnitt vieler Beobachtungen. D.h., es wurde nicht nach

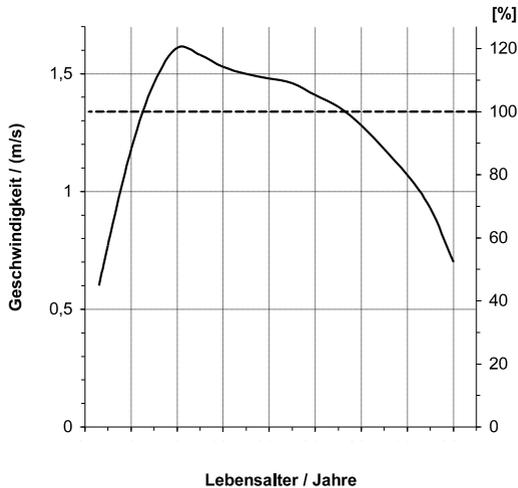


Abbildung 2.3: Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit vom Alter. Die Kurve ist so skaliert, dass sich ein Mittelwert von 1,34 m/s ergibt. (aus Weidmann, 1992)

unterschiedlichen Zwecken der Fortbewegung unterschieden.

2.1.4 Bewegungspfade (Trajektorien)

Abstrahiert man von den Details der Bewegung und beschreibt die momentane Position eines Menschen durch einen Punkt (z.B. den Lotfußpunkt des Schwerpunkts), dann kann man die Bewegung als Pfad (Trajektorie) beschreiben (siehe Abbildung 2.6 on page 60). Die Bewegung von Menschen unterscheidet sich dabei grundlegend von dem, was in Physik und Mechanik als Bewegungsgesetze bekannt ist. Weder das *Trägheitsprinzip* Trägheitsprinzip noch das dritte Newtonsche Axiom *actio = reactio* gelten hier. Menschen verfügen über einen inneren Antrieb und ein Energieresservoir, das genutzt wird, um eine konstante Bewegungsge-

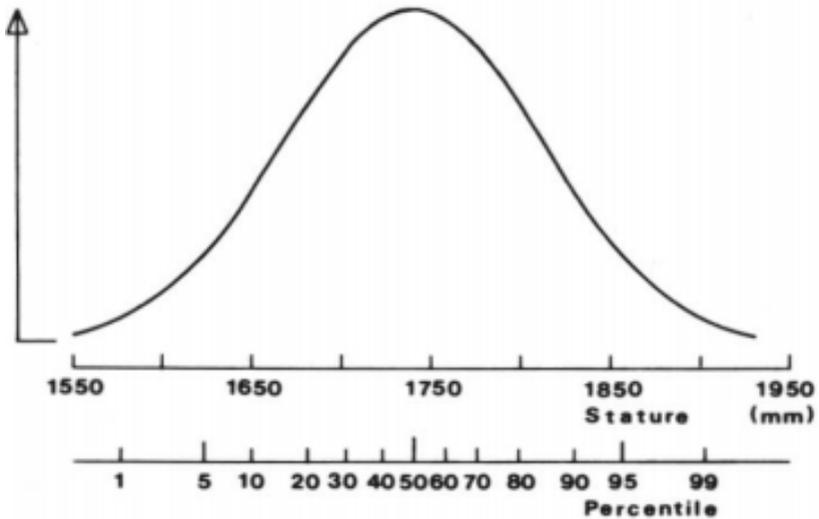


Abbildung 2.4: Die Körpergröße ist statistisch verteilt. Aufgrund der vielfältigen zufälligen Einflussfaktoren ergibt sich nach dem zentralen Grenzwertsatz (E. Kreyszig, 1999) eine Normalverteilung (Glockenkurve) für die Wahrscheinlichkeitsdichte (entnommen aus Still, 2000).

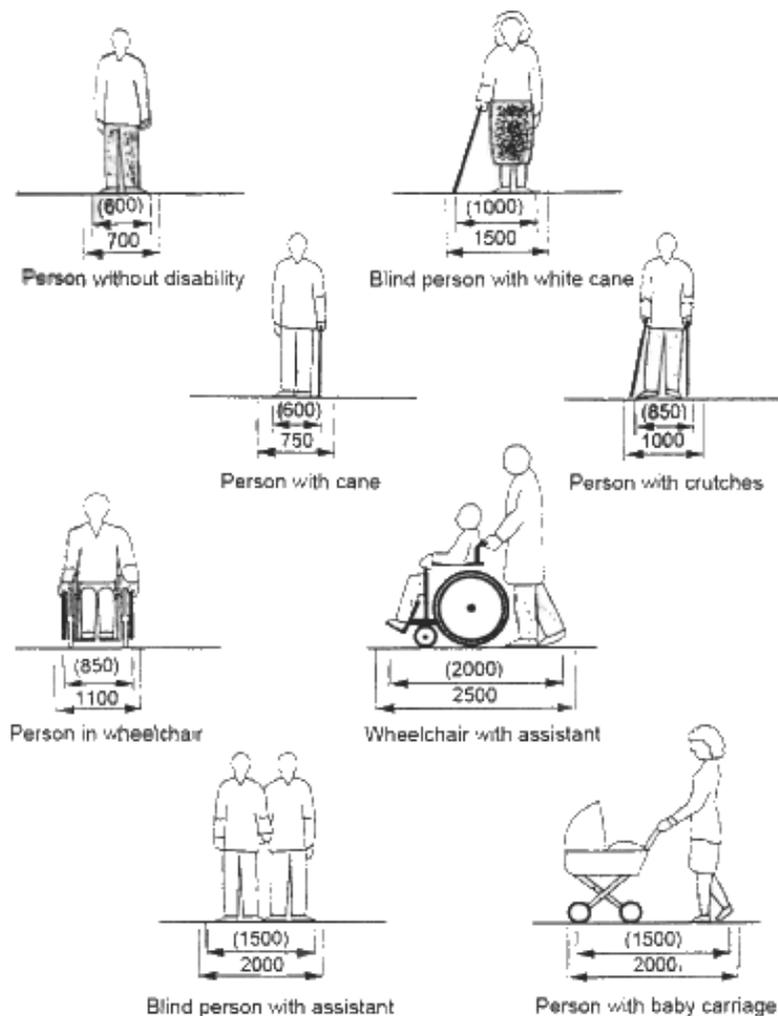


Abbildung 2.5: Menschen brauchen für die Fortbewegung unterschiedlich viel Platz. K. Ackermann, Bartz und Feller, 1997; Buchmüller, 2007

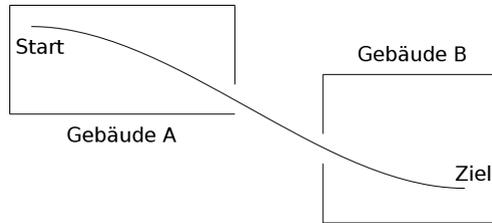


Abbildung 2.6: Bewegungspfad einer Person von Gebäude A ins Gebäude B. Der Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt t ist bei $v = \text{const.}$ durch $s(t) = s(0) + v * t$ gegeben.

schwindigkeit aufrecht zu erhalten. Im wesentlichen wird dabei die innere Energie in Wärmem umgewandelt, die an die Umwelt abgegeben wird. Zwar lässt sich für einfache Fälle die Anziehung eines Ortes (d.h. das Bewegungsziel) durch eine Kraft beschreiben. Aber da weder das Superpositionsprinzip, noch Trägheitsprinzip oder „*actio = reactio*“ gelten, kann das Kräftemodell immer nur für einen kleinen Bereich wie einen einzelnen Raum angewandt werden. Um die Bewegung in einem Gebäude oder auf einer Veranstaltung zu beschreiben, muss ein Satz von Verhaltensregeln definiert werden. Dies wird auch daran deutlich, dass für die Berechnung oder Simulation von Verkehrsnetzen Kräfte Modelle keine Rolle spielen. Hier wird aufgrund der Größe der betrachteten Szenarien oft auf Warteschlangenmodelle oder Fahrzeugfolgemodelle zurück gegriffen.

Trägt man in einem Diagramm auf der Rechtsachse den zurückgelegten Weg auf, so kann man auf der Hochachse die dafür benötigte Zeit auftragen und erhält ein Weg-Zeit-Diagramm, wie es in Abbildung 2.7 on the next page gezeigt ist. Die Steigung des Graphen im Diagramm ist die Geschwindigkeit: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (bei abschnittsweiser konstanter Geschwindigkeit). Aus dem Weg-Zeit-Diagramm lässt sich auf einen Blick ablesen, an welchen Stellen eine Person schneller (größere Steigung, d.h. steilerer

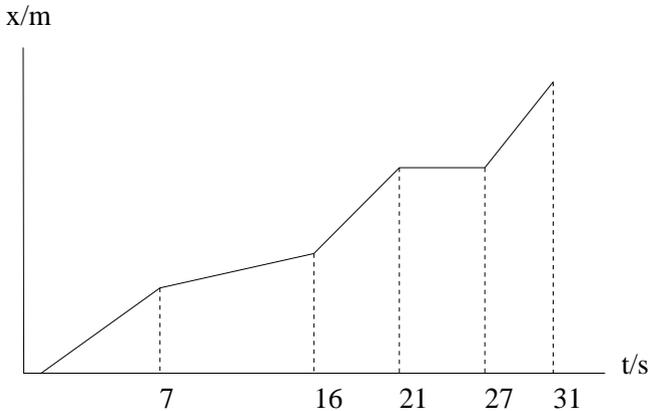


Abbildung 2.7: Weg-Zeit-Diagramm für eine Bewegung mit abschnittsweise konstanter Geschwindigkeit.

Anstieg des Graphen) oder langsamer (kleinere Steigung, also flacherer Anstieg) läuft. Im ersten Abschnitt bewegt sich die Person mit der Geschwindigkeit von $1,6\text{m/s}$, im zweiten Abschnitt mit $0,8\text{m/s}$, im dritten mit $2,0\text{m/s}$. Im vierten Abschnitt steht die Person für 6 Sekunden (zwischen Sekunde 21 und 27). Die letzten zwei Meter legt sie in vier Sekunden zurück, also wieder mit einer Laufgeschwindigkeit von 2m/s . Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist in diesem Beispiel $\langle v \rangle = s / t = 31\text{m}/17\text{s} \approx 2\text{m/s}$. Die spitzen Klammern stehen für die Mittlung über die Zeit.

Allgemein ergibt sich die Geschwindigkeit aus der Steigung der Kurve.¹ Für den gesamten zurückgelegten Weg ergibt sich die mittlere Geschwindigkeit als das Verhältnis des gesamten zurückgelegten Weges zur dafür benötigten Zeit.

$$\langle v \rangle = \frac{s_{\text{Ziel}}}{t_{\text{Ziel}}} \quad (2.1)$$

¹Die Steigung einer Kurve ist kann mit Hilfe der ersten Ableitung nach der Zeit berechnet werden.

Für eine genauere Betrachtung, wie sie z.B. für die Dimensionierung von Zugängen zu Veranstaltungsstätten benötigt wird, ist es häufig erforderlich, verschiedene Phasen zu unterscheiden. Im einfachsten Fall sind das:

1. Anreise
2. Aufenthalt
3. Abreise

Dann ist es sinnvoll, die Phasen separat zu betrachten. Weiterhin unterteilt sich z.B. der Anreiseweg i.a. in mehrere Abschnitte. Die Zeit für die Anreise kann dann als Summe der Zeiten für die einzelnen Wegabschnitte ausgedrückt werden. Bei zwei Wegabschnitten:

$$t^{\text{Anreise}} = t_1^{\text{Anreise}} + t_2^{\text{Anreise}} = s_1^{\text{Anreise}}/v_1 + s_2^{\text{Anreise}}/v_2 \quad (2.2)$$

oder im allgemeinen Fall mit n Wegabschnitten

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n = s_1/v_1 + s_2/v_2 + \dots + s_n/v_n. \quad (2.3)$$

Diese Form der Darstellung eignet sich gut für die Darstellung von Aktivitätsketten (vgl. Abbildung 1.2). Dies gilt sowohl für Alltagssituationen wie die An- und Abreise zu einer Veranstaltung als auch für Notfallsituationen. Für die Berechnung von Evakuierungsdauern können die Flucht- und Rettungswege entsprechend in Wegabschnitte eingeteilt werden. Die Details einer solchen Vorgehensweise werden in Kapitel 7 on page 215 behandelt.

Routenplanung und Aktivitätsketten

Bei der Routenplanung wird der Weg in einzelne Abschnitte eingeteilt. Ein Abschnitt verbindet zwei Aktivitäten. Diese können in das Weg-Zeit-Diagramm eingetragen werden. An markanten Punkten (Wegmarken oder Kilometersteinen) oder am Ort der Aktivität wird die vergangene Zeit notiert (normalerweise als vergangene Zeit seit dem Start). Die vergangene Zeit lässt sich leicht in die Uhrzeit umrechnen, indem man einfach den Startzeitpunkt addiert.

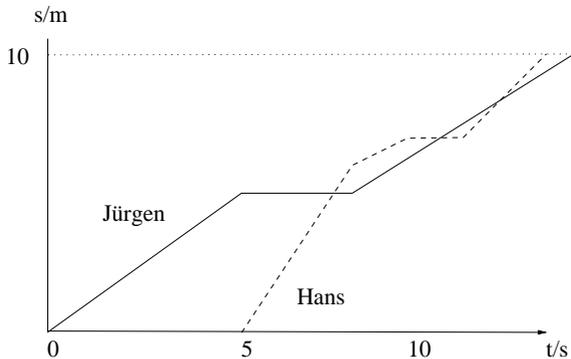


Abbildung 2.8: Weg-Zeit-Diagramm für die Bewegung zweier Personen (Hans und Jürgen) mit abschnittsweise konstanter Geschwindigkeit.

Das graphische Verfahren kann auch verwendet werden, um festzustellen, ob sich zwei Personen oder Personengruppen begegnen. Dazu zeichnet man die beiden Trajektorien in das Weg-Zeit-Diagramm ein und prüft, ob sie sich schneiden. Das ist in Abbildung 2.8 gemacht. Der Übergang von Personen zu Personengruppen ist unter der Annahme, dass die Bewegung der Gruppe homogen ist, direkt möglich. Homogen bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Abstand zwischen Personen innerhalb der Gruppe konstant ist und auch die Personendichte sich nicht ändert, so dass die Gruppe immer die gleiche Fläche in Anspruch nimmt. Eine Personengruppe wird dann im Weg-Zeit-Diagramm durch zwei Linien dargestellt. Die obere Linie stellt die erste, die untere Linie die letzte Person der Gruppe dar.

Wenn sich die beiden Weg-Zeit-Kurven für Hans und Jürgen schneiden, dann begegnen sie sich. Das ist in unserem Beispiel (Abbildung 2.8 viermal der Fall. Jürgen läuft früher los (das ist der Zeitpunkt 0). Er ist zu diesem Zeitpunkt 10m vom „Ziel“ entfernt. Hans läuft erst nach fünf Sekunden los. Er ist aber schneller

als Jürgen und überholt ihn bei $t = 7\text{s}$. Hans steht zu diesem Zeitpunkt, fasst sich dann aber ein Herz und rennt los, so dass er Jürgen wieder überholt (bei $t = 10,5$ Sekunden, 5m vor dem Ziel). Jürgen macht da gerade eine Pause. Dann rennt Jürgen los, überholt Hans, der daraufhin noch einmal Gas gibt, um Jürgen kurz vor dem Ziel zu überholen und ihn in einem Foto-Finish mit einer Sekunde Vorsprung zu schlagen. Hans kommt nach 15 Sekunden ins Ziel, Jürgen nach 16 Sekunden.

Man kann auf diese Weise auch feststellen, wie viele Menschen zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort sind. Das ist genau die Anzahl der Weg-Zeit-Kurven für einen bestimmten Punkt im Weg-Zeit-Diagramm, falls jede Person als eigener Linienzug eingezeichnet wird. Falls man Personengruppen einzeichnet, lässt sich die Anzahl der Personen anhand der Fläche und Dichte des Personenstroms ermitteln. Die Breite des Personenstroms entspricht dabei der Breite des aktuellen Wegelements. Die Länge des Personenstroms kann als senkrechter Abstand zwischen den beiden Linien, die den Personenstrom repräsentieren aus dem Weg-Zeit-Diagramm abgelesen werden.

Genauso lässt sich feststellen, wo die Personen zu einem bestimmten Zeitpunkt sind. Dazu genügt es, eine senkrechte Linie einzuzeichnen (vorausgesetzt, die Zeit wird nach rechts angetragen). Und schließlich kann man auch feststellen, wann welche Person an einem bestimmten Ort ist. Dazu genügt es, die Schnittpunkte der Trajektorien mit einer waagrechten Linie zu suchen. Z.B. sind in Abbildung 2.8 beide zur gleichen Zeit bei $s = 5\text{m}$ (d.h. fünf Meter vorm Ziel). Jürgen bleibt an dieser Stelle zum Zeitpunkt $t = 10$ Sekunden für eine Sekunde stehen und Hans überholt ihn genau dort zum Zeitpunkt $t = 10,5$ Sekunden (man denke sich eine waagrechte Linie, die die Hochachse bei $t = 5\text{s}$ schneidet).

2.2 Die Bewegung des Menschen in seiner Umwelt

Menschen sind autonome Agenten. Sie werden nicht von außen bewegt, sondern bewegen sich von sich aus, indem sie innere Energie in mechanische Arbeit und schließlich Wärme umwandeln. Und dennoch beeinflusst die Umwelt die Bewegungsfähigkeit und die tatsächliche Bewegung mittelbar. Die Beeinflussung der Bewegung geschieht vor allem durch die *geometrischen* Randbedingungen, d.h. das, was man aus dem Plan eines Gebäudes oder der Karte eines Geländes ablesen kann. Dazu gehören Wegbreiten, Steigungen, die Beschaffenheit von Oberflächen u.a. Faktoren. Alle möglichen Einflussfaktoren für die Bewegung von Menschenmengen werden von I. M. O. IMO, ohne Datum; ISO, 1999 zu folgenden vier Kategorien zusammengefasst.

- Population
- Geometrie
- Umwelt
- Gefahr

Individuell

Geschlecht, Alter, Größe, Gesundheitszustand, Erholungsgrad, Charakter, Temperament, Stimmungslage, Zeitdruck, Stress, Belastung durch Gepäck, Behinderungen

Begleitumstände

Verkehrszwecke, Jahrs- und Tageszeit, Witterung, Klima, Höhenlage über Meer, Länge des Weges

Verkehrsanlage

Steigung von Rampen, Steigung und Schrittmaße von Treppen, Zustand der Oberfläche, Attraktivität der Umgebung, Straßenbelastung bei Fahrbahnüberquerungen

2.2.1 Kraft, Energie und Leistung

Die Grenze für die Steigung der Trajektorien im Weg-Zeit-Diagramm für die Bewegung zu Fuß ist die maximale Laufgeschwindigkeit, die ein Mensch erreichen kann. Diese liegt bei ungefähr 10 Metern pro Sekunde. Die schnellsten Menschen legen 100m in etwas weniger als 10 Sekunden zurück. 100 m Lauf Ein Spitzenathlet kann die Marathonstrecke von ca. 42 km in etwa zwei Stunden zurücklegen. Damit sind über längere Strecken Geschwindigkeiten von ungefähr 20 km pro Stunde möglich. Marathon ²

Das entspricht ungefähr dem vierfachen der o.g. mittleren Gehgeschwindigkeit von 1,34 m/s (20 km/h = 20/3,6 m/s = 5,6 m/s und 1,34 m/s = 3,6 * 4/3 km/h = 4,8 km/h).

Je länger die Strecke ist, desto niedriger ist die Durchschnittsgeschwindigkeit. Woran liegt das? Die chemische Energie, die im Blut, in den Muskeln und der Leber gespeichert ist (in Form von Zucker und Stärke) wird bei der Bewegung in mechanische Arbeit umgesetzt. Zur Fortbewegung (z.B. zur Überwindung der Reibung) ist eine Kraft F erforderlich. Je länger der Weg ist, desto größer ist bei konstanter Kraft die notwendige Energie:

$$W = F \cdot s = F \cdot v \cdot t \quad (2.4)$$

Die chemische Energie, die in den Depots des Körpers gespeichert ist, wird in mechanische Arbeit umgewandelt und diese geht vollständig durch Reibung „verloren“, d.h. sie wird in Wärme umgewandelt. Nur in Ausnahmefällen spielt auch eine Erhöhung von potentieller Energie oder Lageenergie eine Rolle. Die Ermüdung besteht nun vereinfacht gesprochen darin, dass die leicht zugänglichen Energiedepots (Zucker im Blut und in der Leber) nach und nach aufgebraucht werden. Beim Marathonlauf bedeutet das, dass die Energie nur dadurch bereit gestellt wird, dass

² „m/s“ lassen sich in „km/h“ „umrechnen“, indem man sie mit 3,6 multipliziert, also z.B. 5m/s = 3,6 · 5km/h = 18km/h.

2.2 Die Bewegung des Menschen in seiner Umwelt 67

Fett „verbrannt“ wird. Die leicht zugänglichen Depots reichen in diesem Fall nicht aus. Ist alle Energie aufgebraucht, dann ist keine Bewegung mehr möglich (Erschöpfung). In dieser vereinfachten Darstellung sind die Stoffwechselprodukte, die bei der Energieumwandlung entstehen, nicht berücksichtigt. Sie spielen für die Argumentation aber auch keine Rolle, denn es geht hier nur um grundlegende Zusammenhänge. Die Energiegewinnung wird mit länger andauernder Anstrengung immer aufwändiger. Die in den Muskeln gespeicherte Energie und der Blutzucker sind leicht verfügbar, die Stärke in der Leber muss erst mobilisiert werden. Die Bereitstellung der Energie in den Fettdepots dauert am längsten. Energieresservoirs

Doch nicht nur die Energie insgesamt, sondern auch die pro Zeiteinheit verfügbare Energie ist begrenzt. Diese maximal mögliche Arbeit, die in einer bestimmten Zeit geleistet werden kann, wird Leistung genannt. Der Zusammenhang zwischen Leistung (P), Arbeit (W), Kraft (F), Weg (s), Zeit (t) und Geschwindigkeit (v) ist wie folgt:

$$P = W/t = F \cdot s/t = F \cdot v. \quad (2.5)$$

Leistung (physikalisch) Hieran wird unmittelbar deutlich, dass eine höhere Geschwindigkeit bei konstanter Kraft nur durch einen höheren Leistungseinsatz erreicht werden kann. Ein Mensch ist in der Lage etwa 200 Watt maximal mechanisch zu leisten (z.B. beim Fahrrad fahren). Hinzu kommt ca. 200 Watt an Wärmeleistung. Bei körperlicher Anstrengung (ergeben sich damit pro Tag (24 h):

$$E = 24 \text{ h} \cdot 0,2 \text{ kW} = 4,8 \text{ kWh} = 17,28 \text{ MJ} = 4100 \text{ kcal} . \quad (2.6)$$

Diese 4100 kcal sind die Dauerleistungsgrenze (schwere körperliche Arbeit). Diese ist ungefähr doppelt so hoch, wie der Ruheumsatz (Grundumsatz). Dauerleistungsgrenze Für Frauen

liegt der Grundumsatz bei ca. 250 kJ/h, für Männer bei 300 kJ/h. Das sind 85 W. Hinzu kommen bei einer anstrengenden Tätigkeit wie Bergsteigen ca. 3 MJ/h, also 0.85 kW.

Tabelle 2.2: Energieverbrauch beim Gehen für unterschiedliche Geschwindigkeiten Knoflacher (2007, Seite 28)

	Energieverbrauch in kcal/Minute	Relation zum Auto Faktor
Gehen 4 km/h	4,3	2
Gehen 6 km/h	6,5	3
Laufen 12 km/h	13	6
Laufen 20 km/h	24	12
Autofahren	1,8-2	1

2.2.2 Temperatur, Tages- und Jahreszeit, Höhe

Etwa 40% der Energie wird für die automatisierten Leistungen verbraucht. Diese bedürfen keiner Willensanstrengung und sind über den Tag hinweg praktisch konstant. Das bedeutet, dass am Tiefpunkt der physiologischen Leistungsfähigkeit, der um drei Uhr nachts erreicht wird, diese 40% der Leistungsfähigkeit abgerufen werden. Im normalen Tagesverlauf kommt zu den automatisierten Leistungen die physiologische Leistungsbereitschaft hinzu, die am frühen Vormittag ihren Höhepunkt erreicht und dann ca. 25% der gesamten Leistungsfähigkeit erreicht. Leistungsfähigkeit

Bei sportlicher oder sonstiger außergewöhnlicher körperlicher Anstrengung wird auf die Einsatzreserven zurück gegriffen. Diese können willkürlich abgerufen werden und umfassen ca. 25% der gesamten Leistungsfähigkeit. Schließlich gibt es noch die autonom geschützten Reserven, die durch Stress oder Affekte mobilisiert werden. Autonome Reserve Sie können nicht willentlich

2.2 Die Bewegung des Menschen in seiner Umwelt 69

abgerufen werden und schwanken im Tagesverlauf je nach Höhe der Einsatzreserven und physiologischen Leistungsbereitschaft. Die autonom geschützte Reserve ist dementsprechend nachts am größten und am frühen Vormittag am geringsten.

Da der menschliche Körper seine Temperatur in einem engen Bereich konstant halten muss, muss die bei der Bewegung erzeugte Wärme durch Konvektion, Strahlung oder Verdunstung abgegeben werden. Übersteigt die Umgebungstemperatur den Regelbereich der Körpertemperatur, so ist ein Wärmeausgleich nicht mehr möglich und so droht der Hitzetod. Sinkende Temperaturen können dagegen durch erhöhte Aktivität (Zittern, Schlottern) ausgeglichen werden. Gelingt dies nicht mehr, so droht der Kältetod.

Die Windgeschwindigkeit beeinflusst die Ausdehnung der ruhenden Grenzschicht über der Haut und damit das Wärmeübertragungsvermögen (durch Konvektion, Strahlung und Verdunstung). Eine hohe Luftfeuchtigkeit erschwert die Verdunstung des Schweißes. Diese ist allerdings selbst bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% noch möglich, solange die Außentemperatur über der Hauttemperatur liegt.

Die persönliche Empfindung kann dabei deutlich variieren. So empfinden je etwa 20% der Befragten eine Temperatur von 25 Grad Celsius als zu warm bzw. zu kalt. Der Anteil der Personen, die diese Temperatur als behaglich empfanden, lag bei 60% und war höher als bei allen anderen Temperaturen Weidmann, 1993. Behaglichkeit

Da der individuelle Einfluss auf die Außentemperatur begrenzt ist, sinkt mit zunehmender Temperatur die körperliche Leistungsfähigkeit. Die Dauerleistungsgrenze sinkt bei Temperaturen über 25 Grad Celsius auf etwa 85% des „Normalwertes“ (bei 20 Grad Celsius). Bei tieferen Temperaturen kann die Dauerleistungsgrenze sogar steigen, da dem Energieverlust durch entsprechende Bekleidung entgegen gewirkt werden kann.

2.2.3 Treppen, Türen und Rampen

Die Laufgeschwindigkeit hängt von der Art des Wegabschnittes ab (J. Fruin, 1971; Predtetschenski und Milinski, 1971). Dies ist analog zur angenommenen Fahrtgeschwindigkeit beim Routenplaner im Auto: sie ist für „Autobahn“ höher als für „Bundesstraße“ und für diese wiederum höher als für „Landstraße“. Bei der Bewegung zu Fuß ist die Anzahl der Wegtypen und Unterscheidungen bei weitem größer als für Autos.

- Steigung
- Oberfläche
- Vorhandensein von Handläufen

Die Bewegung auf Treppen ist zunächst einmal durch die Verlangsamung der Laufgeschwindigkeit gekennzeichnet. Eine besondere Herausforderung besteht dabei für Menschen mit Behinderungen oder Mobilitätseinschränkungen. Außerdem ist auf Treppen eine deutliche Ermüdung erkennbar.

Rampen haben gegenüber Treppen den Vorteil, dass sie (bei nicht zu großer Steigung, nach D. I. f. N. DIN (ohne Datum): 6%) auch von Rollstuhlfahrern benutzt werden können. Außerdem haben sie ggf. eine höhere Leistungsfähigkeit als Treppen. Das ergibt sich aus dem Vergleich der Laufgeschwindigkeit auf Treppen und Rampen bzw. der entsprechenden Fundamentaldia-gramme (Buchmüller, 2007; Weidmann u. a., 2012).

Die Bewegung durch Türen wurde vor allem im Hinblick auf deren Kapazität untersucht. Das greift das Konzept des spezifischen Flusses auf. Es ist z.B. üblich, einen maximalen spezifischen Fluss anzunehmen. Hier werden Werte von 1,33 Personen pro Meter und Sekunde (HSE, 2000) genannt. Die zugrunde liegende Annahme ist, dass die Kapazität einer Tür linear mit der Breite zunimmt. Pauls (2006) nennt einen Wert von 1,0 Personen pro Sekunde für eine 910mm breite Tür. Das bedeutet auch, dass es keinen bestimmten Wert für die Breite gibt, bei der der Durchfluss (die Kapazität) sprunghaft zunimmt. Selbstverständlich gilt dies

2.3 Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit 71

nur bis zu einer gewissen unteren Grenze, bei der eine einzelne Person nicht mehr durch die Tür passen würde.

2.3 Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit

In den bisherigen Abschnitten dieses Kapitels wurde vor allem die Fortbewegung zu Fuß (Lokomotion) und der Einfluss der Umgebung und verschiedener Umweltfaktoren auf Fortbewegung und Leistungsfähigkeit behandelt. Im folgenden Abschnitt geht es um die Details der Bewegung und deren quantitative Beschreibung. Die entscheidende Meßgröße zur Beschreibung der Bewegung stellt hierbei die (mittlere) Laufgeschwindigkeit dar.

2.3.1 Statistische Verteilung der Laufgeschwindigkeit

Die Laufgeschwindigkeit kann, wie die meisten physiologischen Größen, am besten mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden. Ob man eine analytische Funktion benutzt, um sie an die gemessenen Daten zu fitten, ist in erster Linie eine Frage der Praktikabilität, solange es keine besonderen Gründe für Annahmen über die Form der Verteilung gibt.

Weidmanns Literaturlauswertung

Weidmann (1992) hat mehr als 150 Literaturquellen zu anthropometrischen und physiologischen Daten ausgewertet. Seine Studie enthält Informationen zur Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit von physiologischen Parametern wie der Größe (Körperhöhe bzw. -länge) der Personen, Alter und Geschlecht, zur Verteilung von Körperlängen und anderen Parametern in der Bevölkerung, zum Raumbedarf beim Stehen und Gehen, Leistungsfähigkeiten von Anlagen für den Fußgängerverkehr (Level of Service). Viele der angegebenen Resultate (so z.B. das Fundamentaldiagramm $v(D)$ und $f(D)$) sind Mittlungen über die in der Literatur

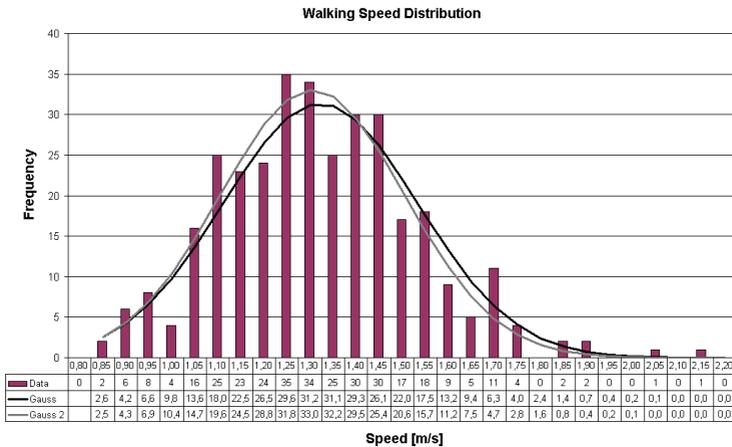


Abbildung 2.9: Laufgeschwindigkeitsverteilung für die Fußgängerbrücke auf der Weltausstellung (Expo) 2000 in Hannover.

gefundenen Werte aus verschiedenen Quellen. Es werden Fundamentaldiagramme für die Bewegung in der Ebene und auf Treppen unterschieden. Die mittlere freie Laufgeschwindigkeit aller in den von Weidmann (1992) ausgewerteten Quellen ist $1.34\text{m/s} \pm 0.26\text{m/s}$ (Mittelwert \pm Standardabweichung). Mit der Annahme einer Normalverteilung lässt sich damit die Verteilung der Laufgeschwindigkeiten in der Durchschnittsbevölkerung angeben. Etwa 70% der individuellen freien Laufgeschwindigkeiten liegen demnach zwischn 1,08 m/s und 1,6 m/s.

Weltausstellung 2000: Fußgängerbrücke

Vergleichbare Ergebnisse finden sich in Klüpfel, 2003. Diese sind in Abbildung 2.9 und 2.3 on page 74 dargestellt.

Die Messung der Laufgeschwindigkeit auf der Fugängerbrücke umfasste 700 Personen. Die Brücke war flach, d.h. es gab keine Steigung. Fußgängerbrücke EXPO Das Messgebiet war ein

2.3 Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit 73

Quadrat von $7 \times 7 \text{ m}^2$. Insgesamt betrug die Breite der Brücke 14m. Die Länge der Brücke war um ein vielfaches größer als die Breite. Die Laufgeschwindigkeit wurde aus $v_i = l/\Delta t_i$ errechnet. Dabei ist Δt_i die Zeit zum Durchlaufen des Quadrats (von einer Kante zur gegenüberliegenden Kante). Aufgrund der geringen Dichte gab es keine Einschränkungen der Bewegungsfreiheit durch andere Fußgänger. An die Daten wurde eine Normalverteilung gepasst. Der Mittelwert für die Laufgeschwindigkeit war $\mu = \langle v_x \rangle = 1,3 \text{ m/s}$ und die Standardabweichung $\sigma = 0.21 \text{ m/s}$. Das dritte Moment der Verteilung $E(x^3 - \langle x^3 \rangle)$ ist $0.41 (\text{m/s})^3$. Das zeigt, dass die Verteilung nicht symmetrisch sondern leicht schief in Richtung des Ursprungs ist. Die Parameter für die zweite Fitkurve in Abbildung 2.9 on the preceding page sind $\mu = 1.28 \text{ m/s}$ und $\sigma = 0.2 \text{ m/s}$.

Maxwell-Boltzmann Theorie

L.F. Henderson (1971) hat aus der Maxwell-Boltzmann Theorie für die Kinetik idealer Gase Verteilungen für die die Laufgeschwindigkeit von Fußgängern abgeleitet und diese anhand empirischer Daten kalibriert. Im Fall der gerichteten Bewegung sind die Geschwindigkeiten normalverteilt.

$$f(v_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{v_x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

Der Mittelwert ist $\mu = \langle v_x \rangle$ Die Parameter für die Laufgeschwindigkeiten von Studenten auf dem Campus sind $\mu = 1.44 \text{ m/s}$ und $\sigma = 0.228 \text{ m/s}$. Für einen Zebrastreifen ergaben sich $\mu = 1.53 \text{ m/s}$ und $\sigma = 0.201 \text{ m/s}$.

Andere Autoren haben schiefe Normalverteilungen für die Geschwindigkeit vorgeschlagen (P. Werenskiold, 1998). Dort ist jedoch die analytische Form nicht angegeben und es gibt daher Mehrdeutigkeiten. Zusätzlich zur Asymmetrie müsste die Wahrscheinlichkeitsdichte (PDF, probability density function) bekannt

Tabelle 2.3: Die Laufgeschwindigkeit sinkt mit der Gruppengröße (Expo 2000, Hannover). Die Messstrecke war 7 m.

Personen	Häufigkeit	Laufgeschwindigkeit
1	95	1.38 m/s
2	149	1.28 m/s
3	59	1.24 m/s
4	17	1.24 m/s
5	10	1.22 m/s
6	2	1.10 m/s
	700	1.30

sein, um die Ergebnisse mit den vorher genannten vergleichen zu können. Weitere Angaben zu Laufgeschwindigkeiten gibt Oeding, 1963.

2.3.2 Gruppengröße und Laufgeschwindigkeit

Schließlich ist zu erwarten, dass die Laufgeschwindigkeit einer Gruppe maßgeblich durch die Leistungsfähigkeit ihres langsamsten Mitglieds beeinflusst wird. Demnach sollte die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit mit der Gruppengröße abnehmen. Die auf der Weltausstellung (Expo) 2000 in Hannover ermittelten Daten zur Laufgeschwindigkeit auf der Fußgängerbrücke wurden in Klüpfel, 2003 auch hinsichtlich des Einflusses der Gruppengröße ausgewertet. Dabei hat sich gezeigt, dass die Laufgeschwindigkeit mit der Gruppengröße abnimmt, was nicht überrascht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

Mehrere Personen wurden zu einer Gruppe zusammengefasst, wenn der Abstand zwischen ihnen die ganze Zeit über in der Größenordnung von 1 m lag und sie mit der gleichen Geschwindigkeit und in der gleichen Formation liefen. D.h., die Personen gehörten zu einer Gruppe. Tabelle 2.3 zeigt, dass die Laufgeschwindigkeit

2.3 Forschungsergebnisse zur Laufgeschwindigkeit 75

keit mit der Gruppengröße abnimmt. Gruppen mit mehr als 6 Personen wurden nicht beobachtet.



3. Kollektive Bewegung

Die Bewegung vieler Menschen ist in mancher Hinsicht einfacher zu beschreiben als die Bewegung eines Menschen. Das kommt zum einen daher, dass sich statistische Einflüsse i.a. „herausmitteln“. Das heißt, zufällige Einflüsse wirken nicht alle in die gleiche Richtung. Es ist also schwierig, vorherzusagen, ob eine einzelne Person in der nächsten Stunde zur Toilette gehen wird. Weiß man aber, wie häufig ein Mensch am Tag zur Toilette geht, dann kann man relativ genau sagen, wie viele von 100 Menschen in der nächsten Stunde zur Toilette gehen werden. Dieses „Gesetz der großen Zahl“ besagt im wesentlichen, dass die Summe voneinander unabhängiger Zufallsgrößen normalverteilt ist, die Wahrscheinlichkeitsdichte) also graphisch dargestellt eine Glo-

ckenkurve ergibt.¹ Diese Art der statistischen Betrachtung lässt sich ganz allgemein für alle für die Beschreibung der menschlichen Bewegung relevanten Parameter (Eingangsgrößen oder unabhängigen Variablen) und Meßgrößen (Ausgangsgrößen oder abhängigen Variablen) anwenden.

3.1 Dichte und Fluss

Für das Beispiel des Bahnhofs im vorherigen Kapitel entstand beim Aussteigen zwangsläufig eine hohe Dichte am Bahnsteig. Dies ergibt sich aus der begrenzten Fläche des Bahnsteigs und der hohen Zahl an Aussteigern während des Berufsverkehrs. Zum einen entsteht Gedränge also aufgrund der begrenzten Fläche. Zum anderen übersteigt die Nachfrage oft die Kapazität. Das ist z.B. bei einer Treppe, die vom Bahnsteig in die Bahnhofshalle führt, der Fall. Hier kommt es dann zu einem Stau. Meist gibt es dann vor den Ausgangstüren noch einmal Gedränge, dies allerdings nur dann, wenn sich viele Menschen in der Bahnhofshalle befinden. In unserem Beispiel des „frühen Zuges“ Beispiel: Bahnhof (Abschnitt 3.2) wird es dazu nicht kommen, da sich der Personenstrom wenn er die Ausgangstüren (aus dem Bahnhof ins Freie) erreicht, schon so weit entzerrt hat, dass die Kapazität der Ausgangstüren leicht ausreicht, um den Personenstrom ungehindert durchzulassen.

Damit sind wir beim entscheidenden Konzept dieses Kapitels angelangt: der *Kapazität*. Die Kapazität ist der maximal mögliche Personenstrom (Fluss) für ein bestimmtes Wegelement Kapazität

$$K = \max_D(F). \quad (3.1)$$

¹Für die mathematisch interessierte Leserin sei auf E. Kreyszig, 1999 für eine Herleitung verwiesen.

Das bedeutet, mehr Personen kommen nicht durch. Bei der Tür des Zuges ist die *Nachfrage*, d.h. die Anzahl der Personen die gleichzeitig durch wollen, größer als die Kapazität. Daher kommt es zu einem Stau. Das entscheidende Staukriterium ist also:

Stau

Die Kapazität hängt natürlich von der Breite des Wegelements (z.B. der Treppe oder Tür) ab. Im allgemeinen ist die Kapazität einer Tür der Breite $2b$ doppelt so groß wie die Kapazität einer Tür der Breite b . Um diesen Zusammenhang konsistent zu erfassen, führt man die spezifische Kapazität ein. Sie ist auf die Breite bezogen: $k = K/b$. Der Zusammenhang zwischen spezifischer Kapazität und spezifischem Fluss f ist dementsprechend

$$k = \max_D(f). \quad (3.2)$$

Zusammengefasst ergeben sich folgende Gleichungen für Kapazitäten und Flüsse:

$$K = \max_D(F) \quad (3.3)$$

$$K = k \cdot b \quad (3.4)$$

$$F = f \cdot b \quad (3.5)$$

Wobei die Symbole K , k , F und f für die Kapazität, die spezifische Kapazität (auf die Breite bezogen), den Fluss und den spezifischen Fluss stehen:

K : Kapazität (maximale Zahl von Personen pro Sekunde, Minute oder Stunde)

k : spezifische Kapazität (maximale Zahl von Personen pro Sekunde, Minute oder Stunde und Meter)

F : Fluss (Zahl von Personen pro Sekunde, Minute oder Stunde, immer kleiner als K)

f : spezifischer Fluss (Zahl von Personen pro Sekunde, Minute oder Stunde und Meter, immer kleiner als f)

f(D) bei konstantem Zeitabstand

Das Fundamentaldiagramm stellt den Zusammenhang zwischen der Personendichte D und der mittleren Laufgeschwindigkeit v graphisch dar. Dabei gilt für den Zusammenhang zwischen spezifischem Fluss $f(D)$ und Geschwindigkeit $v(D)$:

$$f = D \cdot v. \quad (3.6)$$

Hiermit lässt sich das $v(D)$ Fundamentaldiagramm (Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Dichte) in ein $f(D)$ Fundamentaldiagramm (Fluss in Abhängigkeit von der Dichte) umrechnen. In den nächsten Abschnitten werden einige einfache Modelle für die Ableitung solcher Fundamentaldiagramma vorgestellt.

Bei konstanter Zeitlücke gilt für den Abstand im Raum:

$$\Delta d = v \cdot \Delta t \quad (3.7)$$

wobei Δt den zeitlichen Abstand (Zeitlücke) bezeichnet (z.B. 0,5 Sekunden). Für die Dichte gilt dann:

$$D = \frac{1}{A} = \frac{1}{(\Delta d + l) \cdot b} \quad (3.8)$$

mit der Länge eines Fußgängers l und der Breite b . Mit $\Delta d = v \cdot \Delta t$ ergibt sich:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{A/b - l}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \cdot \left(\frac{1}{D \cdot b} - l \right) \quad (3.9)$$

Diese $1/D$ Abhängigkeit der Geschwindigkeit oberhalb einer gewissen Grenzdichte D^* ist in Abbildung 3.1 on page 102 gezeigt. Unterhalb von D^* (bei kleinen Dichten) beeinflussen sich die Fußgänger nicht gegenseitig und für die Geschwindigkeit gilt $v = v_0$. Die Fußgänger bewegen sich also mit der freien Laufgeschwindigkeit.

$$v(D) = \begin{cases} v_0 & \text{für } D \leq K/v_0 \\ K/D & \text{für } D > K/v_0 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$f(D) = \begin{cases} v_0 \cdot D & \text{für } D \leq K/v_0 \\ K & \text{für } D > K/v_0 \end{cases} \quad (3.11)$$

In Abbildung 3.1 on page 102 sind die entsprechenden Graphen von $v_{ws}(D)$ und $f_{ws}(D)$ gezeigt. Dabei wurde $v_0 = 1,33\text{m/s}$, $D_{\max} = 4P/\text{qm}$ und $K = 2,66P/\text{m/s}$ gewählt. Damit ist $D^* = \frac{K}{v_0} = 2P/\text{qm} = \frac{D_{\max}}{2}$. Selbstverständlich können K und v_0 auch anders gewählt werden, so dass D^* nicht genau „in der Mitte“ liegt. Mit diesen Werten lässt sich auch die Zeitlücke Δt ausrechnen:

$$\Delta t_{WS} = \frac{s}{v} = \frac{1}{D^* \cdot b} = \frac{1}{D^* \cdot b \cdot v_0} = 0,63\text{s} \quad (3.12)$$

wobei für die Breite einer Person $b = 0,6\text{m}$ verwendet wurde und für D^* der Wert von $2 P/\text{qm}$. Bei einer vorgegebenen Zeitlücke von 1s ergäbe sich auf ähnliche Weise ein Wert für D^* von $1,26 P/\text{qm}$ (bei $v_0=1,33 \text{ m/s}$) oder aber (bei $D^*=2P/\text{qm}$) ein Wert von $v_0=0,83 \text{ m/s}$ für die freie Laufgeschwindigkeit.

Lineare Abnahme der Geschwindigkeit mit der Dichte

Im vorherigen Abschnitt wurde das Warteschlangenmodell auf der Grundlage einer konstanten Zeitlücke abgeleitet. Dann sinkt die Geschwindigkeit erst aber der Dichte K/v_0 , vorher ist sie „frei“ (also $v = v_0$). Das einfachste Modell mit einer dichteabhängigen Geschwindigkeit ist deren lineare Abnahme mit der Dichte.

$$v_{\text{lin}}(D) = v_0 \cdot \left(1 - \frac{D}{D_{\max}}\right) \quad (3.13)$$

Löst man diese Gleichung nach D auf, so erkennt man, dass auch die Dichte mit zunehmender Geschwindigkeit linear abnimmt, d.h., dass der Abstand proportional zur Geschwindigkeit ist.

$$D = \left(1 - \frac{v}{v_0}\right) \cdot D_{\max}. \quad (3.14)$$

Schließlich ergibt sich für den Graphen des Flusses eine nach unten geöffnete Parabel:

$$f(D) = v_0 \cdot \left(D - \frac{D^2}{D_{\max}}\right) \quad (3.15)$$

In Abbildung 3.2 ist der Zusammenhang zwischen der Dichte und der Geschwindigkeit für die lineare Abnahme der Geschwindigkeit mit der Dichte aufgetragen. Die Geschwindigkeit nimmt linear mit der Dichte von v_0 auf 0 ab. Für die maximale Dichte wurde wiederum $D_{\max} = 4P/qm$ und für die freie Geschwindigkeit $v_0 = 1,33\text{m/s}$ angenommen. Die Kapazität ist dann $k = f(D^*) = v_0/2 \cdot D_{\max}/2 = 1,33\text{ P/m/s}$. Sie ist also gerade halb so groß wie für den Fall der konstanten Zeitlücke (Warteschlangenmodell) mit gleicher maximaler Dichte und gleicher freier Laufgeschwindigkeit.

Da $\tilde{v}(\tilde{D}) = 1 - \tilde{D}$ ist ergibt sich für den normierten Fluss $\tilde{f} = f/f_{\max}$ (mit $f_{\max} = D_{\max} \cdot v_{\max}$):

$$\tilde{f} = \tilde{D} - \tilde{D}^2 \quad (3.16)$$

Das Fundamentaldiagramm in Abbildung 3.2 (unten) ist symmetrisch um den Wert $\tilde{D} = 1/2$. Der maximale normierte Fluss ist $\tilde{f} = 1/4$. Daraus ergibt sich für den Fluss $f = \frac{1}{4} \cdot v_{\max} \cdot D_{\max}$.

Beispiel

Mit den Werten $v_{\max} = 2\text{m/s}$ und $D_{\max} = 5\text{ Personen/m}^2$ ergibt sich $f_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 2\text{m/s} \cdot 5\text{ Personen/m}^2 = 2,5\text{ Personen/m/s}$.

Unrealistisch ist dabei allerdings die Abnahme der Geschwindigkeit mit der Dichte auch für kleine Dichten. Denn dort spielt das Abstandsverhalten noch gar keine Rolle, da genügend Platz ist. Daher ist es realistischer, zwei verschiedene Regimes anzunehmen, wie es im Warteschlangenmodell (konstante Zeitlücke) getan ist. Unterhalb einer gewissen Dichte D^* ist die Geschwindigkeit konstant. Der Fluss ist die durch die Kapazität nach oben begrenzt. Das kommt erst oberhalb von D^* zum tragen.

3.1.1 Konstanter räumlicher Abstand und Zellularautomat (diskreter Raum)

Das Abstandsverhalten lässt sich einfach veranschaulichen, wenn man den Raum in diskrete Abschnitte, sogenannte Zellen einteilt. Ein auf dieser Annahme basierendes Modell nennt man auch Zellularautomat. Mit einer solchen Diskretisierung ergibt sich für den einfachsten Fall, dass eine Person in einer Sekunde genau eine Zelle weiter gehen kann. Zellularautomat

$$v(D) = \begin{cases} v_0 & \text{für } D < \frac{1}{2} \cdot D_{\max} \\ v_0 \cdot (1 - D/D_{\max}) & \text{für } D \geq \frac{1}{2} \cdot D_{\max} \end{cases} \quad (3.17)$$

Multipliziert man die Geschwindigkeit mit der Dichte (so dass man gemäß der Formel $f = D \cdot v$ den spezifischen Fluss erhält) so sieht man, dass in diesem Fall das Fundamentaldiagramm für den spezifischen Fluss durch folgende abschnittsweise lineare Funktion beschrieben werden kann:

$$f(D) = \begin{cases} v_0 \cdot D & \text{für } D < \frac{1}{2} \cdot D_{\max} \\ v_0 \cdot (1 - D/D_{\max}) & \text{für } D \geq \frac{1}{2} \cdot D_{\max} \end{cases} \quad (3.18)$$

Das $f(D)$ -Fundamentaldiagramm kann aus einer Symmetrieüberlegung abgeleitet werden. Besetzte und nicht-besetzte Zellen sind gleichwertig. Daher darf sich das Fundamentaldiagramm nicht

ändern, wenn man besetzte und unbesetzte Zellen miteinander vertauscht und die Bewegungsrichtung umkehrt. Es muss also symmetrisch um $\tilde{D} = 1/2$ sein. Für $D < \tilde{D}$ gilt aber $v(\tilde{D}) = 1$ und daher $f(\tilde{D} = D)$. Die Form des Fundamentaldiagramms für den $v_{\max} = 1$ -Zellularautomaten ist also ein Dreieck mit der Spitze bei $D = 1/2D_{\max}$ ($\tilde{D} = 1/2$). Der maximale Fluss ergibt sich zu $f(D^*) = \tilde{f}(\tilde{D}^*) = \frac{1}{2} \cdot v_0 \cdot D_{\max}$, wobei $\tilde{f}^* = 1/2$.

Das CA Modell beruht auf einem konstanten räumlichen Mindest-Abstand. Dieser ist genau die Länge eines Fußgängers. Oberhalb der Dichte $D^* = \frac{D_{\max}}{2}$ ist das dann auch der tatsächliche Abstand, unterhalb von D^* ist der tatsächliche Abstand größer.

Die beiden $v(D)$ -Diagramme für das Warteschlangenmodell und den CA sehen einander ähnlich. Für den CA sinkt die Geschwindigkeit oberhalb von D^* schneller, da der konstante Abstand im Raum (bei $v > 0$, bei $v = 0$ gilt $\Delta l = 0$) einer überproportional wachsenden Zeitlücke entspricht. Das heißt, für den CA ist der zeitliche Abstand bei großen Dichten größer als bei kleinen Dichten. Beim Warteschlangenmodell sinkt hingegen der räumliche Abstand mit zunehmender Dichte.

3.2 Forschungsergebnisse zu Personenströmen

In den oben beschriebenen Formeln für das Fundamentaldiagramm ist keine Aussage über die Form des Personenstroms enthalten. In erster Näherung wurde die Dichte als homogen angenommen. Dies bedeutet, dass die Dichte überall (über die betrachtete Fläche hinweg) und zu jeder Zeit konstant ist. Beobachtet man Personenströme in der Realität, z.B. die Pendler, die aus einem Zug aussteigen und sich über die Treppe und die Wartehalle durch den Bahnhof zum Ausgang bewegen, so stellt man fest, dass sich ein Personenstrom typischerweise mit der Zeit auflockert. Das kommt daher, die die Personen unterschiedlich schnell laufen. Zum einen sind sie einfach unterschiedlich alt

und leistungsfähig. Die eine läuft schneller, der andere ist in irgendeiner Weise in seiner Mobilität eingeschränkt. Zum anderen ist die Motivation der Menschen unterschiedlich. Sie verfolgen unterschiedliche Ziele und haben es daher unterschiedlich eilig. Dabei ist ein Pendlerstrom weitgehend homogen. Unter anderen Umständen ist die Inhomogenität von Personenströmen i.a. größer (z.B. bei einem Straßenfest, auf dem Weihnachtsmarkt).

Tabelle 3.1: Zusammenfassung empirischer Daten zur menschlichen Bewegung. Weitere Hinweise zur Laufgeschwindigkeit auf Treppen können in (H. Frantzych, 1996) und (E. Graat, C. Midden und P. Bockholts, 1999) gefunden werden.

Umgebung	Daten	Resultat
Gehweg	Geschwindigkeit	$\langle v \rangle = 1.34 \text{ m/s}$ Weidmann, 1992
Stadt	Geschwindigkeit	$\langle v \rangle = 1.19 \text{ m/s}$ J. J. Fruin, 1971
Campus	Geschwindigkeit	$\langle v \rangle = 1.53 \text{ m/s}$ (L.F. Henderson, 1971)
Zebrastreifen	Geschwindigkeit	$\langle v \rangle = 1.44 \text{ m/s}$ (L.F. Henderson, 1971)
Gehsteig	Dichte	$D_{\max} = 5.4P/\text{m}^2$ Weidmann, 1992
Stadt	Fluss	$f(D), D \approx 1P/\text{m}^2$ J. J. Fruin, 1971
Pendler	$v(\text{Alter})$	Abb. 2.3 Ando, Ota und Oki, 1988
Schulhof	Geschwindigkeit	Geschlechtsunterschiede

Weiter auf der nächsten Seite

Umgebung	Daten	Resultat
		L.F. Henderson, 1972
Flugzeug	Evakuierungszeit	kritische Breite Muir, 1996
Schiffe	Verhalten	Panik ist extrem selten J. Harbst und F. Madsen, 1996
Treppen	aufwärts/abwärts	$l_{\text{gap}} \geq 0.25 \text{ m}$, v_{\uparrow} , v_{\downarrow} H. Frantzych, 1996
Übersicht Gehswege		J. J. Fruin, 1971; <i>Highway Capacity Manual</i> 1994; Weidmann, 1992
Gebäude		(Pauls, 2006; Predtetschenski und Milinski, 1971)
Schiffe	(Vorschriften)	T_{Evak} Schreckenbergs und Sharma, 2002

Beispiel: Auflockerung Pendlerstrom

Als Beispiel betrachten wir die Bewegung einer Menschenmenge, die z.B. aus einem Regionalzug aussteigt. Nehmen wir an, es ist der erste Zug am Morgen, so dass der Bahnhof weitgehend leer ist. Aus dem Zug steigen die Leute „gleichmäßig“ (d.h. mit einer konstanten Rate von x Personen pro Minute) aus. Wie kommen die Menschen aus dem Bahnhof heraus? Um diese Frage zu beantworten, soll zunächst einmal zusammen getragen werden, welche Phänomene man bei der Bewegung eines Personenstroms ohne äußere Einflüsse beobachten kann: Auflockerung

1. Auflockerung, d.h. die Dichte nimmt ab, der Personenstrom zieht sich in die Länge
2. Trennung von schnellen und langsamen Personen durch Überholen

D.h., wenn sich die Menschenmenge durch einen langen Gang

bewegt, dann wird er sich deutlich auflockern, weil die langsamen Personen nach einiger Zeit viel weiter hinten sind als die schnellen Personen. Außerdem werden die Personen den Abstand voneinander soweit vergrößern, dass sie um sich herum eine Komfortzone schaffen. Im Zug, beim Aussteigen und unmittelbar danach ist das nicht möglich, weil das Gedränge zu groß ist. In diesem Gedränge kommt es dann auch oft zu ungewolltem (d.h. nicht beabsichtigtem) Körperkontakt. Ist genug Raum vorhanden, so wird dieser vermieden, weil er als unaangenehm empfunden wird. Diese Auflockerung des Personenstroms ist schematisch in Abbildung 3.4 dargestellt.

3.2.1 Empirische Fluss-Dichte-Relation

Die Bedeutung der Geschwindigkeits-Dichte-Relation für die Beschreibung der Fußgänerbewegung bei größeren Personendichten wurde bereits im vorherigen Abschnitt herausgearbeitet. Daher rührt auch der Begriff *Fundamentaldiagramm* für dessen graphische Darstellung. Empirisch zeigt sich der in Abbildung 3.7 gezeigte Zusammenhang. Der analytische Ausdruck ist gegeben durch:

$$v(D) = v_{\text{free}} \left[1 - e^{-\gamma \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_{\text{max}}} \right)} \right], \quad (3.19)$$

$$f(D) = v(D) \cdot D = 1.34 \cdot D \left[1 - e^{-\gamma \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_{\text{max}}} \right)} \right], \quad (3.20)$$

Der Fitparameter γ errechnet sich zu 1.913. Die zweite Gleichung (Fluss-Dichte-Relation) wurde mit Hilfe der Gleichungen 3.19 und 3.20 aus der ersten berechnet:

$$f(D) = f(v(D)) = \frac{v(D)}{\frac{1}{D_{\text{max}}} - \frac{\ln(1 - \frac{v(D)}{v_0})}{\gamma}}. \quad (3.21)$$

Weitere Fluss-Dichte-Relationen finden sich in in *Highway Capacity Manual* 1994; Pauls, 2006. Predtetschenski und Milinski (1971) hat umfangreiche Experimente und Beobachtungen zu Personenströmen in verschiedenen Geometrien angestellt. Weitere Details hierzu werden in Kapitel 6 on page 197 präsentiert Die so genannten *makroskopischen Modelle* nutzen diese fundamentalen Beziehungen zwischen Dichte und Fluss und Geschwindigkeit, um z.B. Evakuierungsdauern zu berechnen. Makroskopische Modelle

Empirische Beobachtungen zum Einfluss der Breite einer Tür oder eines Korridors auf den spezifischen Fluss lassen sich in der Literatur kaum finden. Wird der spezifische Fluss gemäß $f = F/b = D \cdot v$ errechnet, so liegt dem die Annahmen zu Grunde, dass er nicht wesentlich von der Breite abhängt. Diese Annahme hat sich in neuesten Untersuchungen als richtig erwiesen (für einen Überblick siehe Andreas Schadschneider u. a., 2009). Damit kann zum einen der spezifische Fluss als Eingangsgröße genutzt werden, um den Fluss gemäß

$$F = f \cdot b \quad (3.22)$$

für ein beliebiges Wegelement zu berechnen. Das heißt, eine Einteilung in Module, wie sie z.B. die Versammlungsstättenverordnung vorsieht, ist nicht erforderlich. Der Fluss steigt nicht in Stufen mit der Breite sondern „jeder Zentimeter zählt“.

3.2.2 Bewegung auf Treppen und durch Türen

Experimente, die in Schweden durchgeführt wurden, widmeten sich der Laufgeschwindigkeit auf Treppen H. Frantzich, 1996 (treppauf und treppab). Hier wurden auch Wendeltreppen untersucht. Wendeltreppe

Frühere Studien von Predtetschenski und Milinski (1971) und J. Fruin (1971) konzentrierten sich vor allem auf Fluss-Dichte-Relationen, die aus Beobachtungen gewonnen wurden. H. Frant-

zich, 1994 ermittelte den Zusammenhang zwischen Dichte und Abstand unter kontrollierten Laborbedingungen. Die Teilnehmerinnen waren Studenten im Alter von 20 bis 30 Jahren. Der Abstand zum Vordermann kann gemäß nachfolgender Gleichung in eine lokale Dichte umgerechnet werden.

$$D_{\text{lokal}} = \frac{1}{l_{\text{Abstand}}}, \quad (3.23)$$

wobei l_{Abstand} den Platzbedarf einer Person in Laufrichtung beinhaltet. Für einen Abstand von etwa 0.25 m (der minimale Abstand, der während der Experimente beobachtet wurde) ergab sich Körperkontakt. Diese 0.25 m korrespondieren bei einer Treppenbreite von 60 cm mit einer maximalen Dichte von $D_{\text{lokal}}^{\text{max}} = 6.7 \text{ m}^{-2}$. Hier ist eine Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Dichte erforderlich, denn die globale Dichte enthält Mittelungseffekte und sagt daher weniger über Situation aus als die lokale Dichte. Die lokale und globale Dichte sind nur bei einer absolut gleichmäßigen Verteilung der Personen im Raum (bzw. auf der betrachteten Fläche) identisch.

Die Laufgeschwindigkeit war im Bereich von 0,5 bis 2,5 m nicht vom Abstand zwischen den Personen abhängig. Dies gilt für eine schmale Treppe und Laufrichtung treppab ($0,72 \pm 0,29 \text{ m/s}$). Das gleiche Ergebnis wurde für breitere Treppen beobachtet ($0,69 \pm 0,15 \text{ m/s}$) und auch für Laufrichtung treppauf ($0,51 \pm 0,10 \text{ m/s}$ für eine enge und $0,56 \pm 0,14 \text{ m/s}$ für eine breite Treppe). Der minimale Abstand zwischen zwei Personen von 0,25 m ergibt eine Dichte von 2 P/qm , der Abstand von 1,25 m entsprechend $0,4 \text{ P/qm}$. Daher widersprechen diese Ergebnisse der Annahme, dass sich für Treppen ein Fundamentaldiagramm erstellen lässt, dass von der Form her dem für die Ebene in Abbildung 3.7 on page 106 gleicht.

(Weidmann, 1992) gibt für Treppen folgende Zusammenhän-

ge an:

$$v_{\text{horizontal}} = c \cdot [1 - e^{-\gamma(1/D - 1/D_{\text{max}})}], \quad (3.24)$$

mit $c = 0.61$ und $\gamma = -3.7$ treppauf und $c = 0.69$ und $\gamma = -3.8$ treppab.

Möglicherweise unterscheidet sich die Bewegung auf Treppen deutlich von der Bewegung in der Ebene. Insbesondere könnte eine Art „Synchronisierung“ hier eine Rolle spielen. Eine solche kann bei Pendlerströmen an Bahnhöfen und U-Bahnhöfen beobachtet werden. Dichte Menschenmengen bewegen sich hier oft mit erheblicher Geschwindigkeit. Die Einteilung in Stufen kann hier durchaus eine solche Synchronisierung begünstigen. Schließlich finden sich in dem Bericht von H. Frantzich (1996) viele nützliche Hinweise zur Aufnahme und Auswertung von Videos von Personenströmen. Videoauswertung

Die Bewegung durch Türen wurde hauptsächlich mit Blick auf deren Kapazität untersucht. Anwendung finden solche Ergebnisse z.B. für die Evakuierungsberechnung. So kann z.B. aus dem maximalen spezifischen Fluss von 1.33 P/ms HSE, 2000 der Flussanteil (siehe Kapitel 7) der Evakuierungszeit berechnet werden.² Wie bereits erwähnt liegt dem die Annahme zu Grunde, dass der Fluss kontinuierlich mit der Breite steigt, es also insbesondere keine Sprünge bei gewissen Breiten (Modulbreiten) gibt. Natürlich gilt eine solche Annahme nur oberhalb einer Mindestbreite, die durch die Körperabmessungen gegeben ist. Eine Engstelle muss mindestens so breit sein, dass eine Person hindurch passt.

Der Fluss auf Treppen wurde von (E. Graat, C. Midden und P. Bockholts, 1999) untersucht. Hierbei wurden unterschiedliche Treppenwinkel betrachtet (siehe Abbildung 3.8). Der spezifische

²Pauls (2006) suggests a value of 1.0 P/s for a door of width 910mm and moderate flow conditions.

Fluss steigt für steilere Treppen (38°) schneller an (für zunehmende Dichten) als für flachere Treppen (30°).

3.2.3 Staudruck

Eine wesentliche Gefahr bei Gedränge besteht darin, dass große Drücke bzw. Kräfte entstehen können. D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000. Dort wird ein „Druck“ von 4.450 N/m angegeben. Hierbei handelt es sich also eher um eine Kraft pro Länge. Das ergibt dann Sinn, wenn man davon ausgeht, dass diese Kraft z.B. auf Wellenbrecher wirkt. Pro Meter wirkt dann also eine Kraft von etwa 5 kN . Geht man davon aus, dass auf einer Fläche mit einer Länge von 10 m und einer Breite von 1 m bis bei dichtem Gedränge bis zu 50 Personen ($D = 5 \text{ P/qm}$) stehen, dann ist die Kraft pro Person (d.h. der Beitrag, den eine einzelne Person, die nach vorne drängt, zur Gesamtkraft als Überlagerung aller individuellen Kräfte liefert):

$$K_{\text{individuell}} \approx \frac{5 \text{ kN}}{50} = 100 \text{ N} \quad (3.25)$$

Der Wert von 5 kN/m erscheint also plausibel. Die Gefahr besteht nun darin, dass bei sehr dichtem Gedränge derart hohe Kräfte auf die Personen wirken, die vorne gegen eine Absperrung gedrückt werden, dass diese mit Atemnot zu kämpfen haben und zu ersticken drohen, weil sie Quetschungen des Brustkorbs erleiden. O. Ackermann u. a., 2012

3.3 Sicherheit von und in Menschenmengen

Dieser Abschnitt stellt einige Überlegungen zur *Sicherheit von Menschenmengen* dar. Dazu gehören insbesondere der Begriff *Massenpanik*, der vor allem in den Medien häufig gebraucht wird, die möglichen Gefahren, die in größeren Menschenmengen entstehen können und die Möglichkeiten der Prävention und

Intervention im Falle einer „Panik“ (=hoher Stress und keine Einflussmöglichkeit). Alle drei Themen werden im Lichte der Besucherlenkung und -leitung bei Veranstaltungen ausführlich in Kapitel 4 on page 111 behandelt.

3.3.1 Der Begriff „Massenpanik“ in den Medien

Beispiele für den Gebrauch von „Panik“ und Massenpanik

Am 13.10.2011 wurde im heute-journal über ein Erdbeben in Indonesien berichtet: „Einheimische und Touristen liefen in Panik auf die Straße.“ Der Begriff „Panik“ wird also im Grunde genommen für jede Art von Flucht (Selbstrettung) gebraucht. Zu sehen war in dem Beitrag, wie Menschen auf die Straße liefen und sich dort vor dem Erdbeben „in Sicherheit“³ brachten.

Solche Berichte sind allgegenwärtig. Fast jeden Tag kann man in den Medien von „Panik“ hören oder über sie lesen. Daher ist es auf der einen Seite sinnvoll, diesen Begriff (insbesondere im Sinne von Panikprävention) zu verwenden. Auf der anderen Seite bedarf er einer Eingrenzung, damit er sinnvoll gebraucht werden kann. Bevor wir also zur Panikprävention kommen, werden im nächsten Abschnitt sieben Mythen vorgestellt, die zwar weit verbreitet, aber dennoch irrig sind.

Die 7 Mythen der Massenpsychologie

Die sieben Mythen der Massenpsychologie betreffen das Verhalten von Menschen in Mengen und bei Stress. Die Vorstellung, dass sich Menschen in der Masse

1. irrational,
2. emotional,
3. suggestibel,
4. destruktiv,

³Die Anführungszeichen sind deshalb gesetzt, weil der weitere Verlauf in dem Beitrag nicht betrachtet wurde. Daher ist nicht klar, ob die Straße in diesem Fall ein *sicherer Bereich* war.

5. spontan,
6. anonym und
7. uniform

verhalten ist in der medialen Darstellung weit verbreitet (Clark McPhail, 1991; Wijermans, 2011). Das gilt übrigens auch für einführende Lehrbücher der Sozialpsychologie (Schweingruber und Wohlstein, 2005). Es gibt allerdings keine empirischen Hinweise darauf, dass sich Menschen in Gefahrensituationen vor allem „irrational“ verhalten. (Abrahams, 1994; Clarke, 2002; P.G. Wood, 1990; Sime, 1990) Normalerweise ist das Verhalten subjektiv und aus der individuellen Perspektive betrachtet sinnvoll. Das gilt z.B. für Menschen, die bei einem Brand aus dem Fenster springen. Dieses Verhalten ist nicht irrational sondern die bessere von zwei schlechten Alternativen. Ähnlich verhält es sich, wenn Menschen aufgrund ihrer eingeschränkten Information Entscheidungen treffen, die von außen betrachtet irrational erscheinen. Daraus lässt sich ableiten, dass die für die Rechenverfahren und Berechnungsmethoden, die in den Kapiteln 4 bis 7 vorgestellt werden, auch in Gefahrensituationen oder unter Stress gültig sind.

Es ist hilfreich, zwei verschiedene Bilder gegenüberzustellen, eines, das von den Massenmedien geprägt wird – das der verwirrten und hilflosen Opfer – und ein anderes Bild, das sehr viel besser mit der Forschungsliteratur übereinstimmt – das der aktiven Überlebenden. Diese Bilder müssen in einen Zusammenhang eingefügt werden. Nach einem Unglücksfall, so die Überzeugung, entstehe soziales Chaos. Dieses „Chaos“ lasse sich an einem schnellen Anstieg irrationalen sozialen Verhaltens erkennen – Panik ist der hierfür am häufigsten verwendete Begriff. Oder aber, die Menschen seien „erstarrt“ und nicht in der Lage, auf eine Notfall- oder Krisensituation zu reagieren. Diese Effekte führten dann zu

„Opfern“, die in ihrer Entscheidungsfähigkeit stark eingeschränkt seien und deren lange Zeit unterdrückte kriminelle und anti-soziellen Tendenzen nun zu Tage träten. [...]

Wie bereits gesagt, ergibt die Forschung und eine gründliche Beobachtung ein anderes Bild: das der aktiven Überlebenden.

Übersetzung HK Rodríguez, 2007, Seite xviii

Ähnliche Beobachtungen wurden für Notfallsituationen auf Fahrgastschiffen J. Harbst und F. Madsen, 1996 gemacht.

Zuschreibung von Gründen bei Unglücksfällen

In der nachfolgenden Tabelle 3.2 on the next page sind nach der in der Quelle gemachten Zuschreibung denen nach einer alternativen Definition zugeteilt. Die alternative Definition lautet:

Panik Personen flüchten basierend auf einer plötzlich erscheinenden persönlichen oder "durch andere Personen weitergeleiteten" Ängst. Die Personen verhalten sich dabei unüberlegt. Der Grund der Fluchtbewegung kann durch einen Außenstehenden nicht nachvollzogen werden.

Gedränge Während der Bewegung werden die Personen aufgrund externer Einflüsse (Hindernisse, Engstellen) abgebremst, so dass dadurch die Personen gegeneinander drücken.

Flucht Personen entfernen sich vom Unglücksort. Der Tod bzw. die Verletzung wird durch zusätzliche Ereignisse ausgelöst, z. B. umher fliegende Trümmer.

Stampede Personen bewegen sich in eine Richtung. Aufgrund der Eigendynamik kann die Personenmenge nicht abbremsen und zum Stillstand kommen.

Weitere Details finden sich in (Rogsch u. a., 2010).

Tabelle 3.2: Ursachen für Massenunglücke Rogsch u. a., 2010

Kategorie	Zuschreibung	Alternativ
Gedränge	16	35
Gedränge/Stampede	1	12
Gedränge/Panik	0	3
Stampede	62	11
Stampede/Chaos	1	0
Stampede/Panik	4	8
Stampede/unklar	0	2
Panik	20	2
Panik/unklar	1	2
Panik/Chaos	1	0
Unklar	17	38
Stampede/Gedränge/Panik	4	4
Stampede/Gedränge/unklar	0	2
Flucht	0	2
Panik/Flucht/Selbstrettung	0	1
Gesamt	127	127

3.3.2 Mögliche Gefahren und Beeinträchtigungen

Gedränge

Im vorherigen Abschnitt wurde die Bedeutung der freien Bewegung und Beweglichkeit für Wohlbefinden und Sicherheit der Besucher einer Veranstaltung betont. Für den sicheren Ablauf und das positive Erleben eines Events muss also jederzeit und überall gewährleistet sein, dass sich die Menschen frei und ungehindert bewegen können.⁴ Sobald eine Beeinträchtigung der

⁴Das schließt natürlich die Bereiche aus, die nicht für Besucher vorgesehen sind.

Bewegungsfreiheit auftritt, erzeugt das Stress und wenn sie massiv ist, so dass kein Fortkommen mehr ist, können gefährliche Situationen entstehen.

Wenn das massive Gedränge offensichtlich ist, dann sind die Einflussmöglichkeiten bereits sehr eingeschränkt. Das hängt damit zusammen, dass die Bewegung von Menschen einer gewissen Trägheit unterliegt. Information muss erst „ankommen“ und verarbeitet werden, bevor sie zu Verhaltensänderungen führen kann. Außerdem können positive Rückkopplungen auftreten (vgl. Abbildung 1.5 on page 38). Das bedeutet: dichtes Gedränge führt zur höherer Lautstärke und Stress. Dies wiederum führt zu weniger Überblick und einem noch größeren Drang, der Enge zu entkommen. Das kann so weit eskalieren, dass Menschen zu Fall kommen und sich „verknäueln“. Ein solches massives Gedränge löst sich dann erst nach längerer Zeit bzw. durch den Einsatz von Rettungskräften wieder auf.

Es muss also vermieden werden, dass Beeinträchtigungen der Bewegungsfreiheit müssen deshalb möglichst früh erkannt werden. Denn dann ist es möglich, entsprechende Gegenmaßnahmen früh genug zu ergreifen. Das kann z.B. bedeuten, dass man die fehlende „Kommunikation von vorne nach hinten“ durch Ansagen mit einem Megafon ersetzt und hinten nachdrängende Besucher oft weiter vorne entstehende Gefahren hinweist. Es kann auch bedeuten, dass man den Zugang zum Veranstaltungsgelände zeitweilig drosselt oder dass man Notausgänge öffnet, Personenströme umleitet etc. Natürlich ist das bei einem komplexen Veranstaltungsablauf schwierig. Daher sollen im folgenden einige einfache Daumenregeln gegeben werden, die ohne komplexe technische Hilfsmittel auskommen. Indikatoren

Eine Einschränkung der Bewegungsfreiheit lässt sich u.a. an folgenden Kriterien erkennen:

- Stocken des Personenstroms
- Deutlich sichtbare laterale (seitliche) Bewegung – „Auf der

Stelle treten.“

- „Stop and Go“ Wellen

Warnsignale

Alle drei Phänomene sollten möglichst (für die Besucher) nicht unerwartet auftreten. Das bedeutet, dass es natürlich beim Einlass zu Warteschlangen kommen kann. Doch dann ist es sinnvoll, die Besucher über evtl. Wartezeiten zu informieren und zu unterhalten. Das gleiche gilt z.B. nach dem Verlassen eines Stadions am Bahnhof oder U-Bahnhof. Hier ist eine ständige Information der Besucher, die durchaus unterhaltsam sein kann, der beste Weg um Unruhe und Stress zu vermeiden.

Insbesondere starke Schwankungen der Laufgeschwindigkeit und der Laufrichtung (Stop and Go) und wellenartige Bewegungen der Menschenmenge sind ein ernstes Warnsignal. Werden diese beobachtet, sind vom Ordnungsdienst gezielte und wirksame Maßnahmen zu treffen, so dass die Situation zügig entschärft wird. Geschieht dies nicht, so droht unter Umständen die Gefahr, dass starke Kräfte auf Personen einwirken und es zu erheblichen Verletzungen bis hin zu Atemnot kommt.

Wetterereignisse

Plötzliche Wetterumschwünge, insbesondere Regen- oder Hagelschauer, können Besucher dazu veranlassen, plötzlich und überstürzt Unterstände aufzusuchen. Reichen diese nicht aus, dann kann es hier zu Gedränge kommen. Dabei sind Wetterereignisse allenfalls in einem lokalen Sinne plötzlich. Bei geeigneter vorheriger Information kann eine Gefährdung, wie sie gerade beschrieben wurde, ausgeschlossen werden. Dazu ist eine ständige Überwachung der Wetterlage vor Ort erforderlich, so dass eine ausreichende Vorwarnzeit erreicht wird. Bei bevorstehenden extremen Wetterereignissen ist eine rechtzeitige Räumung erforderlich. Dabei ist es häufig schon ausreichend, wenn die Personen sich in ihre Fahrzeuge begeben.

Technische Ereignisse

Technische Ereignisse können bei einer Veranstaltung leicht zu stressigen und in der Folge (wenn keine entsprechenden Vorbereitungen getroffen wurden) auch zu panikartigen Situationen führen. Hierzu zählen z.B. der Brand von Kabeln oder Friteusen, der Umsturz eines Lautsprecherastes oder einer Videoleinwand bis hin zum möglichen Einsturz von Zelten oder fliegenden Bauten. Natürlich ist die vordringliche Maßnahme hier die Vermeidung solcher technischer Zwischenfälle. Dennoch können sie nicht unter allen Umständen ausgeschlossen werden. Denkbar sind im Falle eines Zwischenfalls folgende Maßnahmen:

1. Rettung und Sicherung
2. Beruhigendes Einwirken auf Umstehende
Das schließt die ständige Information der Besucher mit ein. Eine solche Information muss sich in kurzen Abständen (mindestens jede Minute) wiederholen.
3. Teilweise Räumung
4. Räumung

Auch hier ist zum einen eine rasche und umfassende Information der direkt und indirekt betroffenen Besucher wichtig. Das ist dient auch dazu, die Entstehung von Gerüchten zu vermeiden. Manchmal wird empfohlen, keine Informationen über Gefahren an das Publikum zu geben, da sonst Unruhe oder „Panik“ entstehen würde. Auch hierfür gibt es keine Anhaltspunkte in der Forschungsliteratur. Wiederum gilt der Merksatz: „Die Gefahr entsteht nicht durch die Panik, sondern die Panik durch die Gefahr.“ Die Besucher haben ein Recht auf eine eigene Einschätzung und umfassende Information. Es ist davon auszugehen, dass sie sich gerade bei äußerer Gefahr eher kooperativ Verhalten. Wer weiß, welche Gefahr besteht und sich darauf einstellen kann der empfindet deutlich weniger Stress als derjenige, der das nicht weiß. Erst dann, wenn bei großer Gefahr keine Handlungsoptionen mehr vorhanden sind, kann so etwas wie „Panikstarre“

entstehen. Hierfür sind aber i.a. beide Gründe Voraussetzung: Gefahr und Beschränkung der Handlungsoptionen.

Begehrlichkeiten (Belohnungen)

Bislang haben wir Situationen betrachtet, die vor allem durch die Entstehung von Vermeidungszielen (also „weg von“) gekennzeichnet sind. Die Gefahr dichten Gedränges und in der Folge panikartige Zustände können aber auch durch Attraktionen oder Belohnungen hervorgerufen werden. Das kann eine Autogrammstunde sein oder generell der Einlass zu einer Veranstaltung. Dabei geht es ja nicht darum, dass die Menschen vor einer Gefahr fliehen. Im Gegenteil: sie wollen hin oder hinein. Panikartiges Verhalten beim Streben nach "Belohnungen oder der Vermeidung geringer Schäden wird gelegentlich auch mit dem Englischen Begriff "crowd craze" bezeichnet. Wenn es „Belohnungen“ wie Giveaways, Autogramme, Gutscheine, etc. gibt, dann muss sichergestellt sein, dass diese für alle Besucher ausreichen. Dies gilt beispielsweise auch für Unterstände bei Regen oder die Einlasskapazität von Stadien (alle Besucher sollten rechtzeitig zu Spielbeginn im Stadion sein können).

Begehrlichkeiten sind Bestandteil einer jeden Veranstaltung bzw. eines jeden Events. Es geht daher nicht darum sie zu reduzieren oder gar zu vermeiden, sondern darum, von vorneherein mit ihnen zu planen und auch auf evtl. Abweichungen vom vorgesehenen Ablauf vorbereitet zu sein.

3.3.3 Prävention und Intervention

Pajonk und Dombrowsky (2006) schreiben zur *Panikprävention* bei Einsatzkräften:

Panikprävention beginnt individuell und im Kopf
Mentale Einsatzpläne sind geeignet, die Schreckphase drastisch zu begrenzen und eine innere, psychische Distanz zum Geschehen herzustellen, aus der

heraus jene kühle Ruhe möglich wird, die man zum angemessenen Handeln braucht.

Dort wird folgende Definition für Panik entwickelt Pajonk und Dombrowsky, 2006:

Panik, so könnte man nach all dem definieren, ist eine Reaktion auf die Wahrnehmung einer Chancenreduktion „auf null“ in dem Sinne, dass den Handelnden rapide und radikal alle Chancen abhanden kommen, eine lebensbedrohliche Situation nach eigenen Bedingungen positiv beeinflussen zu können.

Die Gefahr besteht nun darin, dass durch die „Panik“ eine Fluchtbewegung ausgelöst wird, die zu hohen Personendrücken (siehe Abschnitt 3.2.3 on page 91) bzw. Kräften führen kann. Pajonk und Dombrowsky, 2006

Nach Quarantelli⁵ entsteht bei Panik eine Fluchtbewegung, die immer weg von der (vermuteten) Gefahrenquelle liegt bzw. dorthin führt, wo auch die anderen hin laufen. Je nach Gegebenheit und Größe der Veranstaltung dauert die eigentliche Fluchtbewegung häufig nicht länger als 15-30 min.

Dies ist die Zeit, in der in der Regel die meisten Opfer zu beklagen sind. Besonders kleine und schwache Personen werden vor Türen und an Absperrungen gequetscht („Flaschenhalseffekt“) bzw. es wird, wenn sie zu Boden gehen, über sie hinweggetrampelt.

Für die Intervention von außen geben Pajonk und Dombrowsky (2006) folgende Hinweise:

⁵Quarantelli EL (1999) Disaster related social behaviour: summary of 50 years of research findings. Disaster Research Center, University of Delaware (1999)

- klare, eindeutige und laute (!) Lautsprecherdurchsagen,
- ein Gelassenheit und Routine ausdrückender weiterer Ablauf (ggf. sogar die unbeeindruckte Fortsetzung eines Fußballspiels trotz Panik auf den Rängen),
- eine überraschende oder schockartige Intervention (z. B. durchdringender, schriller Pfeifton),
- der Einsatz von Ritualen wie lautes Gebet oder das Einspielen klassischer Musik,
- das Stellen einer einfachen Aufgabe, die die Aufmerksamkeit bindet (z. B. „Helfen Sie den Kindern!“).

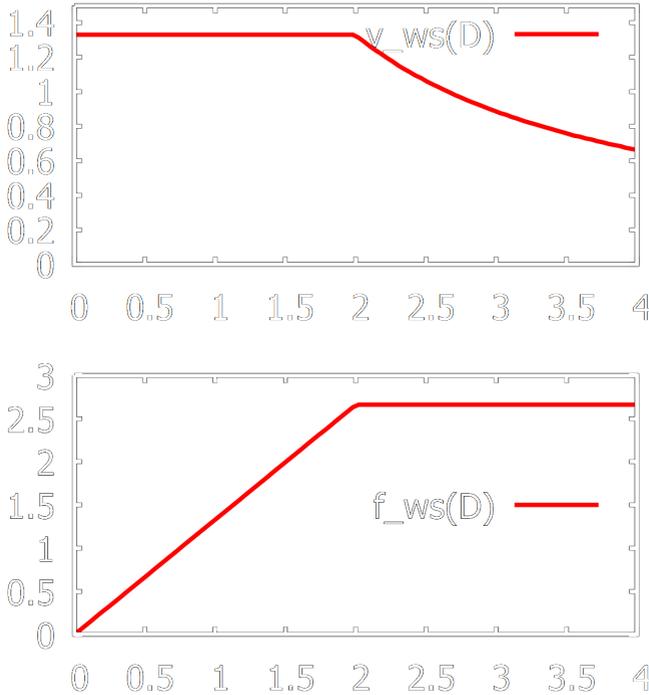


Abbildung 3.1: $v(D)$ - und $f(D)$ -Diagramm des Warteschlangenmodells. Solange der Zustrom kleiner ist als die Kapazität (maximaler Ausstrom), ist die Geschwindigkeit maximal. Danach ergibt sich für die Kapazität eine Abhängigkeit gemäß Gleichung 3.13 on page 81. 2,4 P/m/s, die freie Laufgeschwindigkeit ist 1,2 m/s. Damit ergibt sich eine „kritische Dichte“ $D^* = K/v_{\text{frei}} = 2P/qm$. Unterhalb dieser Dichte ist $v = v_0$ und $f = v \times D$, oberhalb ist $f = k$ und $v = k/D$.

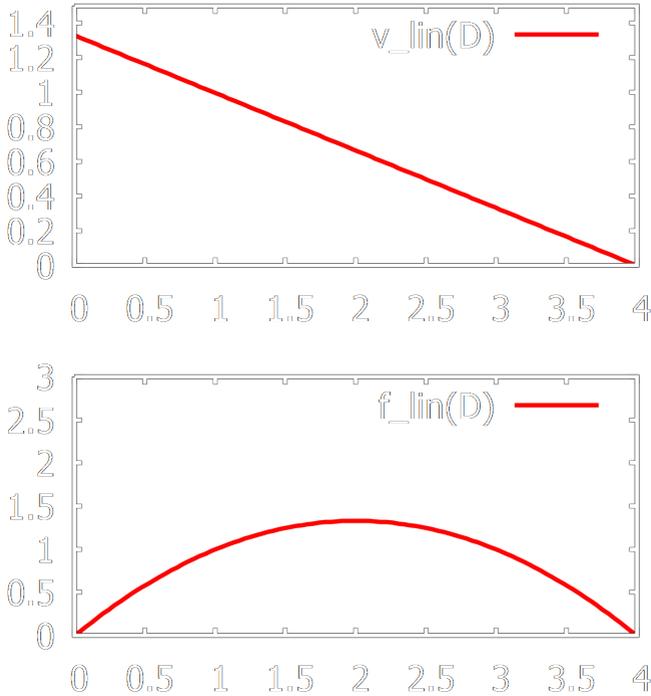


Abbildung 3.2: Lineares $v(D)$ -Diagramm (oben) und $f(D)$ -Diagramm (unten). Die Geschwindigkeit nimmt linear mit der Dichte ab. Die zugehörige analytische Beziehung ist Gleichung 3.16 on page 82. Die untere Kurve ergibt sich gemäß Gleichung 3.6 on page 80, also durch Multiplikation von $v(D)$ (obere Kurve) mit D .

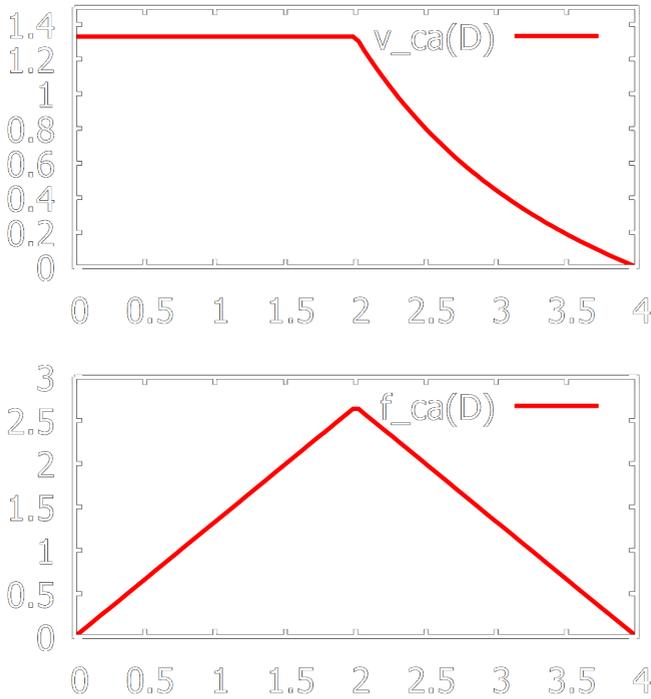


Abbildung 3.3: Fundamentaldiagramm für den 1D CA mit $v_{\text{frei}} = 1$.

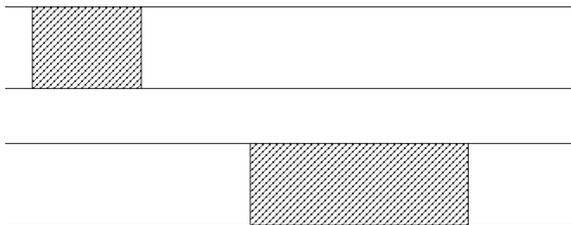


Abbildung 3.4: Auflockerung des Personenstroms mit der Zeit (schematische Darstellung)

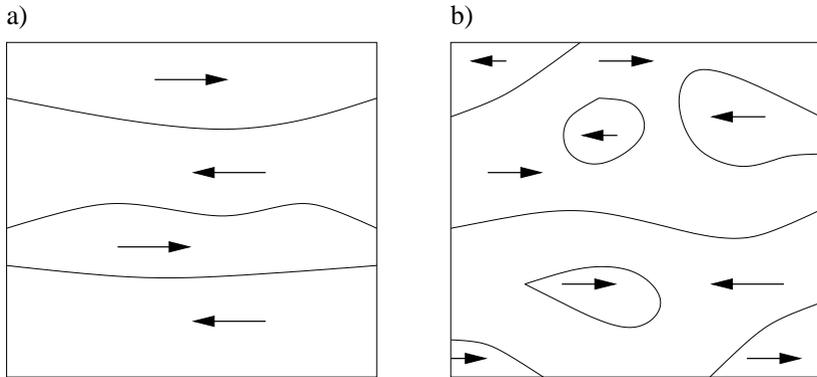


Abbildung 3.5: Spurbildung bei Gegenstrom.

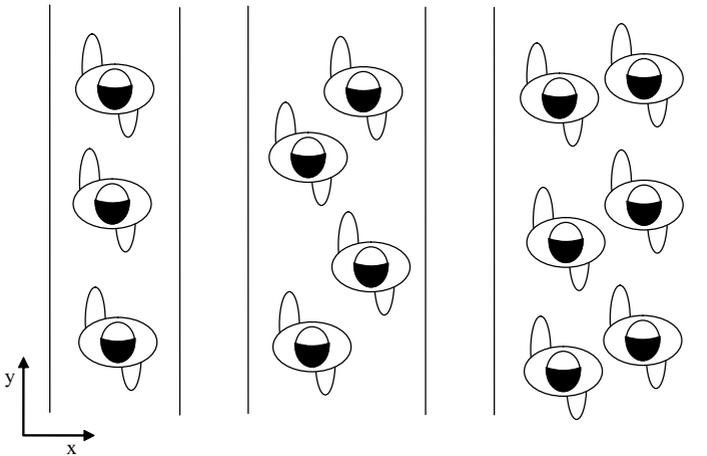


Abbildung 3.6: Reißverschlussseffekt nach Seyfried, Steffen u. a. (2005). Dieser Effekt erklärt, warum der spezifische Fluss linear (und nicht in Stufen) mit der Breite eines Durchgangs ansteigt.

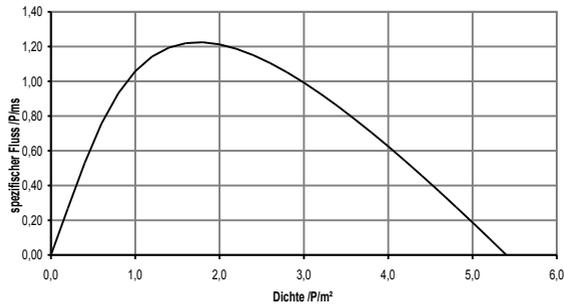


Abbildung 3.7: Fluss-Dichte Relation für die Bewegung von Menschenmengen. Die Kurve ist an empirische Daten angepasst. Die Formel findet sich im Text Weidmann, 1992.

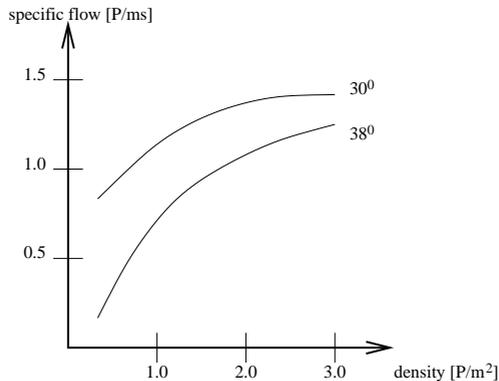


Abbildung 3.8: Fluss-Dichte Relation für die Bewegung auf Treppen. Die Abhängigkeit von der Steigung der Treppe ist größer für geringe Personendichten. Die Versuche wurden in einem niederländischen Fußballstadion durchgeführt. Der Einfluss der Motivation auf die Laufgeschwindigkeit wurde ebenfalls untersucht E. Graat, C. Midden und P. Bockholts, 1999.

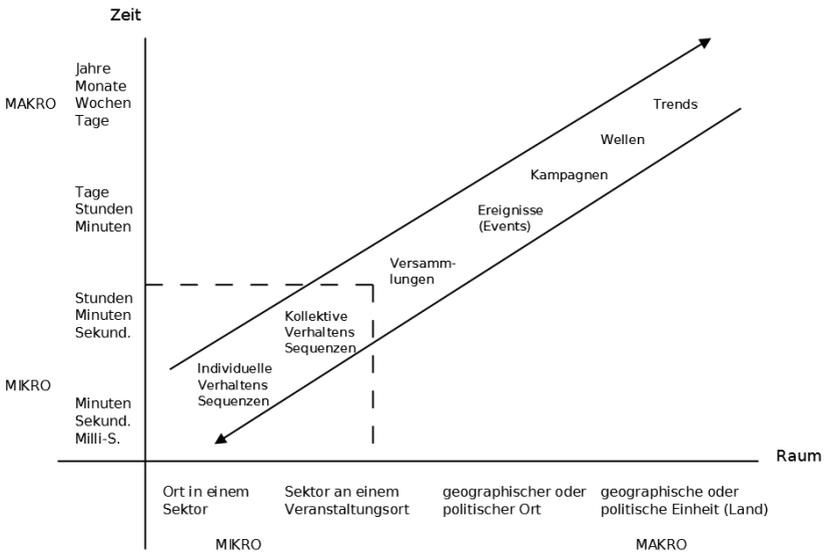


Abbildung 3.9: Zeitliche und Räumliche Dimension bei der Kategorisierung von Gruppenphänomenen Clark McPhail (1991)

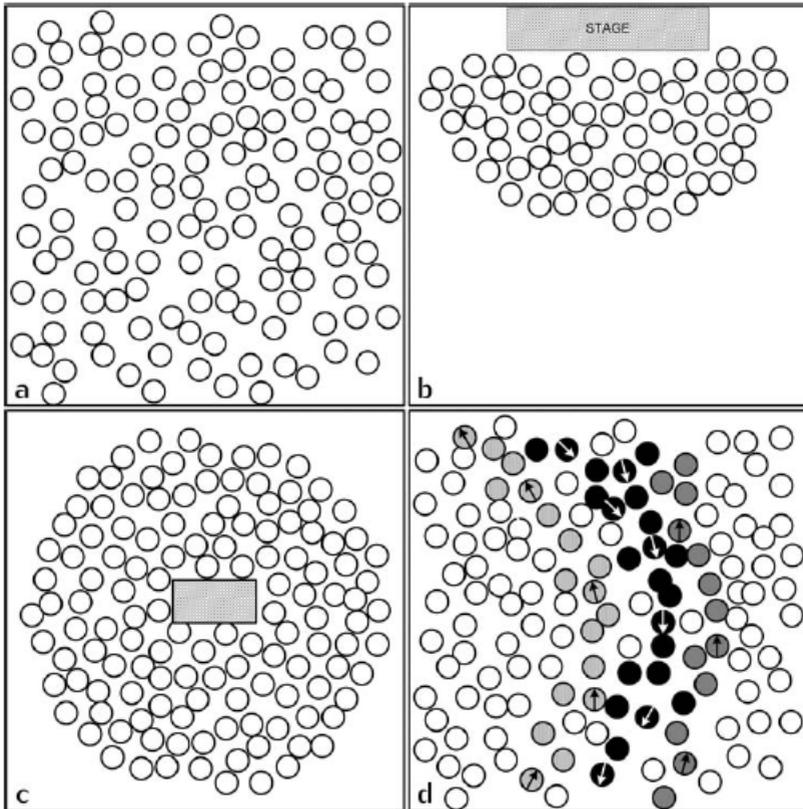
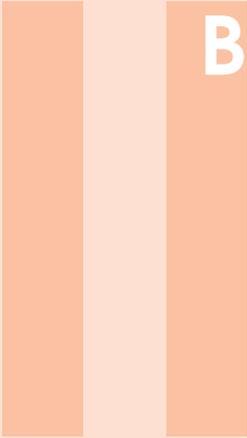


Abbildung 3.10: Typische Menschenmengen: a) ungeordnet, b) vordere Bühne, c) Bühne in der Mitte, d) Bogenbildung. (nach Wijermans, 2011)



Besucherströme

4 Leiten und Lenken 111

- 4.1 Vorbereitung: Planung und Risikobewertung
- 4.2 Durchführung
- 4.3 Nachbereitung

5 Berechnungsverfahren 177

- 5.1 Einfache Berechnungsverfahren
- 5.2 Simulationsverfahren
- 5.3 Modellparameter



4. Leiten und Lenken

In diesem Kapitel wird die Sicherheit von Besuchern bei Großveranstaltungen behandelt. Die Darstellung folgt (HSE, 2000) der eine Erweiterung des Kapitel über die Leitung und Lenkung von Besucherströmen („Crowd Management“) des „Purple Guide“ (HSE, 1999) darstellt. Weitere Hinweise finden sich in Challenger, 2009.

- Veranstaltungen, seien es Sportveranstaltungen oder andere, in Fußballstadien und anderen Stadien oder Hallen;
- Veranstaltungen an Orten, die nicht als Versammlungsstätte gebaut oder geplant wurden wie Parks oder Industrieanlagen, z.B. Flugschauen, Flohmärkte, u.ä.; und
- Veranstaltungen auf Straßen oder Plätzen, wie Märkte, Umzüge, Neujahrsfeste, u.ä.

Dieses Kapitel gliedert sich in die Abschnitte:

1. **Planung für die Sicherheit von Menschenmengen**
Beinhaltet die Identifikation wichtiger Meilensteine in der Veranstaltungsplanung. Die Vorkehrungen müssen ausreichend sein, um die Besucher sicher zu leiten („crowd management“). Sie müssen außerdem an die erwartete Besucherzahl angepasst sein. Planung umfasst die Recherche von Hintergrundinformationen zur vorausschauenden Analyse und zur Bewertung von Risiken und benötigt ausreichend Zeit, um Pläne zu formulieren und anzupassen.
2. **Bewertung von Risiken**
Beschreibt, wie Gefahren für die Sicherheit der Besucher systematisch erkannt werden können. Zu diesen Gefahren zählen Stolpern und Schwanken. Es werden Schritte aufgezeigt, wie man die Schwere eines Problems einschätzen und entscheiden kann, wie es gelöst werden kann. Abhängig vom Ergebnis der Risikobewertung, müssen ggf... die Planungen angepasst werden.
3. **Vorsichtsmaßnahmen treffen**
Beispiele für praktische Maßnahmen, die potenzielle Gefahren verringern können, die in der Risikobewertung identifiziert wurden. Das schließt die Auswahl und Ausbildung von Ordnern und Helfern mit ein.
4. **Notfallpläne und -maßnahmen**
Punkte, die bei der Notfallplanung hinsichtlich der sicheren Leitung der Besucher beachtet werden müssen, z.B. bei einem Feuer oder einer Bombendrohung. Notfallpläne für die Leitung der Besucherströme sind sehr wichtig, da sich ggf. eine große Anzahl von Personen plötzlich und schnell bewegt oder bewegen muss. Daher drohen Gedränge oder Überfüllung.
5. **Kommunikation**
Beschreibt die Bedeutung guter Kommunikation anhand

praktischer Beispiele. Klare und eindeutige Informationen der Besucher kann helfen, gefährliche Situationen zu vermeiden. Gute Kommunikation innerhalb der Ordner und Helfer trägt zu einer schnellen und angemessen Reaktion bei, wenn Probleme entstehen.

6. Beobachtung der Besucherströme

Dient der Umsetzung der Pläne und der Überprüfung, dass sie korrekt umgesetzt wurden. Falls es zu einem gefährlichen Gedränge kommt, kann dies durch die Beobachtung der Besucherströme frühzeitig erkannt und es können Maßnahmen eingeleitet werden. Hier werden praktikable Ansätze der Zählung und Beobachtung von Besucherströmen aufgezeigt.

7. Auswertung

Formale Bewertung des Sicherheits- und Notfallpläne. Das kann eine Nachbesprechung sein, aber auch Teil einer Untersuchung nach einem gefährlichen Gedränge oder Unfall. Auf dieser Grundlage können Planungen angepasst werden. Durch regelmäßige Auswertung sollen die Standards für die Besuchersicherheit verbessert und soll sicher gestellt werden, dass die Vorsichtsmaßnahmen aktuell und wirksam sind.

4.1 Vorbereitung: Planung und Risikobewertung

4.1.1 Planung einer sicheren Besucherleitung und -lenkung

Erste Schritte

In einem ersten Schritt muss sichergestellt sein, dass das ins Auge gefasste Veranstaltungsgelände für die Art der Veranstaltung geeignet ist. Hierzu muss die Anzahl der erwarteten Besucher im Vorhinein möglichst genau bekannt sein. Diese kann anhand folgender Kriterien bestimmt werden:

- Besucherzahl bei früheren Veranstaltungen am gleichen Ort
- Besucherzahl bei ähnlichen Veranstaltungen an einem anderen Ort
- vorgesehene Publizität, d.h. Darstellung, Bekanntmachung und Werbung in den Medien
- Vorverkauf
- der Einfluss von Feiertagen, Schulferien oder gutem/schlechtem Wetter
- ob bestimmte Tage besonders geschäftig sein werden, z.B. der erste oder letzte Tag einer Veranstaltung
- ob bestimmte Zuschauer kommen, weil sie besondere Attraktionen sehen wollen
- ein Aufschlag für eine unerwartet hohe Besucherzahl

Art der Besucher

Kinder, Menschen mit Behinderung oder speziellen Bedürfnissen und ältere Personen bedürfen einer besonderen Betrachtung. Menschen besuchen außerdem Veranstaltungen häufig in Gruppen, so z.B. in der Familie. Sie wollen nicht voneinander getrennt werden. Das gilt besonders im Notfall.

Musiker u.a. können einen großen Einfluss auf die Besucher haben, wenn sie z.B. in die Menge springen oder aber, indem sie die Menge beruhigen, wenn es zu Gedränge oder Wellenbewegungen kommt. Verschiedene „Acts“ ziehen verschiedene Leute an, so dass es zu erheblichen Besucherströmen auf dem Veranstaltungsgelände kommen kann. Gedränge, Trampeln oder Atemnot und Erstickungen sind mögliche Gefahren, die aus der Bewegung der Menge heraus entstehen können. Es muss daher gewährleistet sein, dass diese Gefahren rechtzeitig erkannt werden, z.B. durch Kameras oder Ordner und klar sein, wer die Befugnis hat, unmittelbare Maßnahmen zu ergreifen. Das kann z.B. bedeuten, die Veranstaltung zu unterbrechen, falls Menschen in Gefahr sind.

Hin und wieder weg

Planung des Verkehrs umfasst:

- Wo sind die nächstgelegenen Bushaltestellen und Bahnhöfe? Reichen die üblichen Takte aus?
- Wo sind Parkplätze für Autos und Busse?
- Reicht die Kapazität der Parkplätze aus?
- Reicht die Kapazität der Straßen und Gehwege aus, um die erwarteten Verkehrs- und Personenströme zu bewältigen?
- Gibt es weitere Veranstaltungen in der Nähe?
- Gibt es Baustellen? Baustellen auf den Zufahrtswegen können zu einem späten Ansturm führen.

Eignung des Veranstaltungsgeländes

Folgendes muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein:

- Leitung und Lenkung aller Besucher, die gleichzeitig auf dem Gelände sind und Vermeidung von Gedränge;
- sicherer Zugang zum und sicheres Verlassen des Geländes; und
- sicheres Verlassen im Notfall (Räumung).

Eignung des Geländes

Daher bemisst sich die maximale Anzahl der Besucher anhand folgender vier Faktoren:

- die Zeit für das Betreten des Geländes;
- die Zeit für das Verlassen des Geländes;
- Räumungszeit; und
- Fläche für den Aufenthalt.

Jeder dieser Faktoren ergibt i.a. eine andere maximale Personenzahl. Die maximal zulässige Personenzahl für eine sichere Veranstaltung ist die niedrigste dieser vier Zahlen. Bei der Berechnung müssen Flächen für Versorgungseinrichtungen (wie Toiletten), Stände und Lager u.ä. natürlich abgezogen werden. Die Kapazität bemisst sich anhand der Nettofläche und Nettobreiten bzw. effektiven Breiten (siehe z.B. DiNenno, 2006, Kap. 3

für die Berechnung von effektiven Breiten bei Durchgängen). In jedem Fall darf die Anzahl der Besucher bei einer Veranstaltung zu keiner Zeit die gemäß Evakuierungsplan bzw. Flucht- und Rettungswegbreiten maximal erlaubte Personenzahl überschreiten. Weitere Hinweise hierzu finden sich im Kapitel 7. Die Breite der Flucht- und Rettungswege bemisst sich nach der Versammlungsstättenverordnung des Bundeslandes, in dem die Veranstaltung stattfindet Löhr und Gröger, 2011; Starke, Scherer und Buschhoff, 2007.

Die Verteilung der Besucher auf dem Veranstaltungsgelände ist natürlich nicht gleichmäßig. Anhand des Ablaufs der Veranstaltung (wann finden die attraktiven „Acts“ statt?, etc.) müssen folgende Kapazitäten im Verlauf des Tages bzw. der Veranstaltung sicher gestellt sein:

- Kapazität des Geländes
- Ein- und Ausgänge
- Notausgänge und Flucht- und Rettungswege
- Unterstützung von Menschen mit Behinderung
- Unterstützung von Menschen mit besonderen Bedürfnissen
- Wartung und Funktionsfähigkeit der Einrichtung zur Lenkung, Leitung und Steuerung der Besucherströme (z.B. Drehkreuze)
- Infrastruktureinrichtungen wie Toiletten und Informationsstände bzw. Ordner und Hilfskräfte, die Auskunft erteilen können
- Zugang zu Erste-Hilfe-Einrichtungen
- Zugang von Sicherheitskräften und Rettungskräften von außen (Feuerwehr, Rettungsdienst, Polizei, ggf. andere)
- Vorkehrungen für schlechtes Wetter
- Vorkehrungen, falls Wartungs- oder Bauarbeiten auf dem Gelände vorgenommen werden müssen

Die Fläche, die für die Besucher zur Verfügung steht, ist ein wichtiger Faktor. So muss bei einem Popkonzert mehr Fläche zur

Verfügung stehen als bei einer Sportveranstaltung, da hier die Besucher

Unerwartet hoher Andrang

Falls die Möglichkeit besteht, dass mehr Besucher kommen als erwartet, sind zwei Maßnahmen erforderlich:

1. Ein Verfahren, das es erlaubt, die Anzahl der Personen, die zum Veranstaltungsort und die Anzahl der Personen, die auf das Veranstaltungsgelände gelangen, zu begrenzen. Das erfordert eine enge Abstimmung mit der Polizei und den Verkehrsbetrieben während der Planung und unmittelbar vor und zu Beginn der Veranstaltung; und
2. Vorkehrungen, die eine genaue Beobachtung (und möglichst Zählung) der Besucher ermöglichen.

Zu diesen Vorkehrungen und Maßnahmen gehören:

- Zugang nur mit Eintrittskarte (auch dann, wenn der Eintritt frei ist). Die Besucher müssen sich also in jedem Fall vorher registrieren.
- Die Werbemaßnahmen müssen so geplant werden, dass die Botschaft „Zugang nur mit Eintrittskarte“ vermittelt wird.
- Die Werbekampagne muss darauf hinweisen, dass diese Regel („Zutritt nur mit Karte“) ohne Ausnahme umgesetzt wird.
- Umleitungsmaßnahmen (in Abstimmung mit der Polizei)
- In Abstimmung mit den Verkehrsbetrieben können Durchsagen gemacht werden, die an Haltestellen und Bahnhöfen, die für die Anreise genutzt werden, auf die Überfüllung der Veranstaltung hinweisen;
- Lokale Radiosender können Hinweise zur momentanen Situation auf dem Veranstaltungsgelände durchsagen.

Information, die im Vorhinein gesammelt werden sollte

Folgende Informationen sind hilfreich bei der Beurteilung:

- Erfahrungen von ähnlichen Orten oder Veranstaltungen;

- Probleme, die bei früheren Nachbesprechungen gesammelt wurden; (siehe auch Abschnitt ??)
- Berichte von früheren Vorfällen (siehe auch das „Kommentierte Literaturverzeichnis“ im Anhang 7.3.3);
- Erfahrungen von laufenden Veranstaltungen, die zu einer ähnlichen Jahres- oder Tageszeit stattfinden; und
- Erfahrungen bei früheren Verzögerungen.

Es ist empfehlenswert, falls möglich andere Veranstaltungen gleicher oder ähnlicher Art zu besuchen. Bei einigen Veranstaltungen werden die Vorkehrungen und Sicherheitsmaßnahmen durch Auflagen der lokalen Behörden (also Kommune, Bauaufsicht und Feuerwehr) umfangreich festgelegt. Dies gilt insbesondere für Großveranstaltungen. Allerdings ist dieser Begriff rechtlich nicht eindeutig bestimmt. AGBF, 2008; AGBF, 2009; AGVS, 2012.

In jedem Fall sollten folgende Personen, Organisationen und Behörden eingebunden werden:

- der Eigentümer;
- die Kommune (Ordnungsamt, Straßenverkehrsamt, Bauaufsicht, ...)

In vielen Kommunen gibt es inzwischen einen Ansprechpartner für Veranstalter

- Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienst;
- Verkehrsbetriebe;
- andere Veranstalter, die zur gleichen Zeit oder in der Nähe Veranstaltungen planen;
- Anwohner (das gilt besonders für Umzüge);
- Dienstleister (Ordnungsdienste, Rettungsdienste, Händler, ...); für die Wachdienste u.a. siehe die AGVS Checkliste AGVS, 2012 und die AGBF Checkliste AGBF, 2008
- Experten für Brandschutz (Brandschutzkonzepte), Standsicherheit, Arbeitsschutz, Evakuierungssicherheit, Veranstaltungssicherheit (Sicherheitskonzepte), etc.;

- andere Unterauftragnehmer: für Zaunanlagen (Hinweise zu den Zauntypen gibt Abschnitt 7.3.3 und Branddirektion München, 2011);

Organisation der Vorbereitungen

Ab der Entscheidung, dass die Veranstaltung stattfindet, sollten regelmäßige Planungssitzungen abgehalten werden, an der alle beteiligten Parteien teilnehmen. Von Anfang an müssen die Rollen und Verantwortlichkeiten für die Besuchersicherheit in normalen und Notfallsituationen klar definiert sein. Wenn viele Menschen beteiligt sind, ist eine enge Zusammenarbeit und gute Kommunikation (siehe Abschnitt 4.2.3) erforderlich.

Die in Besprechungen getroffenen Vereinbarungen müssen klar und möglichst sofort dokumentiert werden, damit Missverständnisse vermieden werden.

Die Verantwortung von Betreiber und Veranstalter ist in den Versammlungsstättenverordnungen der Länder geregelt (Löhr und Gröger, 2011; Starke, Scherer und Buschhoff, 2007 (siehe hierzu auch Abschnitt 7.3.3)). Die Verantwortung für die Versammlungsstätte kann für die Zeit der Veranstaltung auf den Veranstalter übertragen werden.

Der Veranstalter trägt die Verantwortung für die Sicherheit der Besucher. Es kann jedoch sinnvoll sein, einen Mitarbeiter mit der Wahrnehmung der Aufgaben der Besucherleitung und -lenkung zu betrauen. Dabei muss sichergestellt sein, dass zu jedem Zeitpunkt ein entscheidungsbefugter Ansprechpartner zur Verfügung steht. Der Mitarbeiter sollte in der Lage sein, folgende Aufgaben wahrzunehmen:

- Sachverstand und Rat bei Fragen der Besucherleitung und -lenkung und zur Eignung des Geländes während des Planungsprozesses;
- Begutachtung des Geländes und Entwicklung von Verfahren und Maßnahmen für die Besucherleitung und -lenkung

Checkliste für die Eignung der Veranstaltungsstätte

- Ist die Veranstaltungsstätte in einem guten und sicheren Zustand? Gilt dies insbesondere für Böden, Treppen und die Beleuchtung?
- Wurden Müll und brennbare Materialien entfernt bzw. sind diese sicher gelagert?
- Ist die Notfallsausrüstung in einem guten Zustand? Funktionieren Notbeleuchtung, Feuerlöscher, Brandmeldeanlage, Feuerlöscheinrichtungen, Rauchmelder, etc. sicher und zuverlässig?
- Sind die Notausgänge offen und frei von Hindernissen, gefährlichen oder brennbaren Materialien und Gegenständen?
- Sind alle Wegweiser, Schilder und Informationstafeln an ihrem vorgesehenen Platz und gut sicht- und lesbar?
- Sind die öffentlichen Transportmittel für den An- und Abreiseverkehr ausreichend? Reichen sie für die vorgesehene Anzahl an Besuchern aus und können sie auch Spitzenbelastungen bewältigen?
- Sind die Parkplätze ausreichend? Sind entsprechende Vorkehrungen für Wegweisung und Einweisung getroffen? Sind die Wege von den Parkplätzen zur Veranstaltung ausreichend dimensioniert und vor, während und nach der Veranstaltung gut beleuchtet?
- Gibt es genügend Ein- und Ausgänge und genügend Bewegungsflächen und Wege innerhalb der Veranstaltungsstätte (d.h. Straßen, Bedienungsgänge, Treppen, Flure)? Sind diese für die erwarteten Besucherzahlen ausreichend dimensioniert? Gilt dies auch, wenn die Besucher nicht gleichmäßig anreisen und ankommen, sondern plötzlich und in Massen?
- Gibt es Vorkehrungen, wie mit drängelnden Personen (Staudruck) an Ein- oder Ausgängen umgegangen werden soll?
- Ist die Lautsprecheranlage (Klangqualität) ausreichend, so dass es nicht zu einem Gedränge vor der Bühne kommen kann?
- Ist das Fassungsvermögen der Veranstaltungsstätte ausreichend? Wurden Vorkehrungen getroffen, damit es nicht zu einer Überfüllung kommen kann?
- Haben Sie die möglichen Gefahrenstellen identifiziert und überprüft? Das können z.B. folgende sein:
 - Wege, die sich verjüngen oder verengen oder Stellen, an denen Besucher sich sammeln, warten oder sich treffen; dort kann es zu Stauungen kommen;
 - Engstellen wie Treppen, Fahrtreppen, Aufzüge, Tunnel oder Brücken;
 - Stellen, an denen Besucher anstehen (müssen), wie z.B. Schalter, Theken oder Informationstafeln; oder
 - attraktive und beliebte Stände, Buden, Attraktionen, Ausstellungsflächen, Imbiss- oder Getränkestände.
- Ist die Sicherheit von Menschen und Gruppen mit besonderen Bedürfnissen gewährleistet (z.B. Kinder, Menschen mit Behinderung, ältere Besucher)?
- Sind die Notausgänge und Flucht- und Rettungswege im Notfall schnell und sicher zu benutzen?
- Ist der Zugang für die Ersthelfer leicht und schnell möglich?
- Sind besondere Gefahren, die von der Art der Veranstaltung herrühren identifiziert und berücksichtigt worden? Wurde z.B. die Gefahr des Ertrinkens als solche erkannt, wenn es sich um eine Veranstaltung handelt, die am Wasser stattfindet?

Abbildung 4.1: Checkliste 01 - Eignung der Veranstaltungsstätte.

- Untersuchung von Vorfällen, die mit Gedränge zusammenhängen.

Der Verantwortliche für die Besucherlenkung hat dafür Sorge zu tragen, dass ausreichende viele und qualifizierte Ordner anwesend sind, so dass alle Maßnahmen für den normalen Verlauf und im Notfall unverzüglich umgesetzt werden können. Die Ordner müssen sorgfältig ausgewählt und eingewiesen werden. Ausbildung und Einweisung sind auch deshalb sehr wichtig, weil sich Gedränge sehr schnell aufbauen kann und ein schnelles Eingreifen des Sicherheits- und Ordnungsdienstes erfordert.

Wenn der Ordnungsdienst an einen externen Dienstleister vergeben wird, muss sichergestellt sein, dass die externen Ordner ausreichend für die ihnen übertragenen Aufgaben qualifiziert sind.

Aufzeichnungen

Aufzeichnungen sind auf Grund verschiedener gesetzlicher Bestimmungen erforderlich. Hierzu gehören der Arbeitsschutz, sozialversicherungsrechtliche Vorschriften, u.a. Darüber hinaus sollte bzw. muss mit Bezug zur Besuchersicherheit folgendes aufgezeichnet werden:

- Einweisung der Mitarbeiter
- Arbeitsplatzbeschreibungen
- ggf. Übertragung der Betreiberverantwortung
- Protokolle über die Inaugenscheinnahme des Geländes
- Übergabeprotokolle
- Abnahmeprotokolle
- Checklisten
- etc.

Diese Aufzeichnungen können später auch in die Nachbereitung (Abschnitt ?? einfließen.

Verhalten der Besucher

Die Einflüsse auf das Verhalten von Menschenmengen zu kennen, ist die Grundlage für eine gute Beschilderung und die Leitung und Lenkung der Besucher. Das dient sowohl der Sicherheit als auch dem Komfort der Besucher. Die Vorkehrungen und Maßnahmen für die vielfältigen Verhaltensweisen müssen möglichst früh in der Planung umfassend berücksichtigt werden.

Die Ziele und Wünsche der Besucher

Ziele und Wünsche sind die entscheidenden Bestimmungsgründe für das Verhalten (zu den Grundlagen siehe Kapitel 1). Hieraus ergibt sich, wann die Besucher eintreffen und die Veranstaltung wieder verlassen, welche Wege und Transportmittel sie Wählen, wo sich die Menschen auf dem Veranstaltungsgelände aufhalten, usw. Z.B. können Besucher:

- Früh anreisen, um besonders gute Plätze zu erlangen. Sind sie einmal dort, werden sie diese bevorzugten Bereiche nur zögerlich verlassen, auch dann, wenn sie dazu aufgefordert werden
- In nicht dazu vorgesehenen Bereichen parken. Das können z.B. Zufahrten für Feuerwehr, Rettungsdienste oder Lieferverkehre sein.
- In der Nähe von Ein- und Ausgängen auf Freunde oder Verwandte warten und damit den Besucherstrom behindern.
- Dem kürzesten oder schnellsten Weg folgen anstatt der Beschilderung.
- Schnell die Richtung ändern, z.B. Fans, die ein Musikkonzert vorzeitig verlassen können zurückkehren, wenn sie ein beliebtes Stück hören.

Das Wissen und die Erfahrungen der Besucher

Menschen, die mit der Veranstaltungsstätte nicht vertraut sind benötigen mehr Hilfe und mehr Hinweise. Sie neigen dazu, der Menge zu folgen, die Hauptwege zu benutzen und sich an den

zentralen Orten zu sammeln. Das kann dazu führen, dass die Besucher ungleichmäßig auf dem Gelände verteilt sind. Unerfahrene Besucher kennen oft alternative Eingänge oder Wege nicht, die sie im Falle von hoher Nachfrage und starken Andrangs benutzen könnten. Diejenigen, die mit dem Gelände vertraut sind, benutzen oft Abkürzungen und folgen nicht den ausgeschilderten Wegen. Besucher kennen ggf. die Notausgänge nicht. Daher benutzen sie oft die Wege, auf denen sie gekommen sind, die sie am besten sehen oder erkennen können oder mit denen sie anderweitig vertraut sind (Abe, 1986. D.h., sie benutzen nicht unbedingt die nächstliegenden oder schnellsten Ausgänge bei einer Räumung.

Orientierungshilfen für Besucher

Die Orientierung der Besucher kann durch Hinweise und Skizzen auf der Rückseite der Eintrittskarten verbessert werden. Weitere Maßnahmen sind prominent platzierte Übersichtstafeln und -karten (innerhalb und ggf. außerhalb der Veranstaltungsgeländes) und eine gut strukturierte Beschilderung (siehe hierz auch das Kapitel 6 zu Fußgängerverkehr und Wenzel, 2003). In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass Veranstaltungsstätten und Freigelände nachts sehr viel anders wirken können als während des Tages. Besucher können daher die Orientierung verlieren, wenn sie tagsüber ankommen und in der Nacht oder bei Dunkelheit abreisen.

Die Erwartungen der Besucher

Die Erwartungen der Besucher, die diese mit zur Veranstaltung bringen, beeinflussen das Verhalten unter bestimmten Umständen maßgeblich:

- Besucher betrachten bestimmte Eingänge als die „offiziellen“ oder Haupteingänge. Möglicherweise ist das der direkte Weg vom Parkplatz zu dem Teil des Geländes oder der Veranstaltungsstätte, den sie besuchen wollen.

- Wenn Rauch oder Spezialeffekte Teil einer Veranstaltung sind (z.B. bei einem Feuerwerk, Kunstnebel), reagieren die Menschen langsamer falls es tatsächlich aufgrund eines Feuers zu Rauchentstehung kommt.

Falls zu erwarten ist, dass gewälttätige Besucher kommen, sind hierfür besondere Maßnahmen zu treffen. Dies umfasst insbesondere die Installation von Absperrungen und Trennungen Branddirektion München, 2007; Challenger, 2009; European Parliament Directorate General for Research, 2000. Details zur Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen finden sich in (Maurer und Peter, 2005).

Bestimmte Verhaltensweisen lassen sich auch zur Verbesserung von Sicherheit und Komfort nutzen. Hat sich z.B. einmal eine Warteschlange gebildet, neigen ankommende Besucher dazu, sich in sie einzureihen.

Emotionen

Die Gefühle der Besucher (wie Aufregung, Verzweiflung, Aggression, Hysterie, usw.) beeinflussen ihr Verhalten. Menschen, die unbedingt zu einer Veranstaltung wollen, können am Eingang ein Gedränge verursachen (siehe hierzu auch die Beispiele in Abschnitt 3.3.2. Diejenigen Zuschauer, die nicht mit der Darbietung oder dem Ausgang eines Spiels zufrieden sind, könnten sich aggressiv, beleidigend oder nicht-kooperativ verhalten.

Kollektives Verhalten

Das Verhalten von Einzelnen in einer Menschenmenge kann durch das Verhalten anderer beeinflusst werden. Das aggressive Verhalten Einzelner kann z.B. Andere dazu verleiten, es ihnen nachzutun. Menschen in einer größeren Gruppe oder Menge verhalten sich manchmal anders als wenn sie alleine wären und tun Dinge, die sie alleine nicht täten. So kann z.B. die Frustration bei großem Gedränge, langen Schlangen oder Verzögerungen dazu führen, dass Menschen Barrieren oder Zäune überklettern. Das

kann dann wiederum zu Gedränge in anderen Bereichen führen. Wenn Personen Zugang zu einem nicht zugänglichen Bereich erlangen und darauf durch den Ordnungsdienst nur zögerlich oder nachlässig reagiert wird, kann dies Nachahmer finden. Der daraus entstehende unkontrollierte Besucherstrom kann eine Überfüllung und andere Gefahren nach sich ziehen.

In der frühen Phase einer Notfallsituation kann das Verhalten der Menge durch Individuen beeinflusst werden, die 'Experten' zu sein scheinen oder wissen, was zu tun ist. Ein Einzelner oder eine Gruppe, die bestimmt auftreten oder handeln (z.B. das Gelände durch einen nahe gelegenen Ausgang verlassen, offensichtlich eine Warnung als Fehlalarm ignorieren) können eine weiter reichende Reaktion der Menge veranlassen. Daher ist es sinnvoll, wenn Angestellte und insbesondere Ordner einzelnen Bereichen zugewiesen sind und dafür Sorge tragen, dass diese im Notfall zügig geräumt werden.

Information

Menschen suchen i.a. nach klaren, eindeutigen Informationen und Hinweisen. Sie wollen wissen, wie sie sich verhalten sollen. Das gilt z.B. für das Essen und Rauchen auf einem Gelände und für die Frage, ob eine bestimmte Tür ein Eingang, Ausgang oder beides ist. Wenn diese Informationen und Hinweise nicht gegeben werden, dann formulieren die Besucher ihre eigenen Regeln. Grundlage sind dann frühere Erfahrungen und das Verhalten anderer, wie z.B. das Anstellen in einer Schlange, das Parken auf Zufahrtswegen, das Benutzen von Abkürzungen, usw.

Daher ist der sinnvolle Gebrauch von Schildern und Lautsprechern ganz besonders wichtig.

Sicht- und hörbare Information (d.h. Warnungen, Hinweise, Richtungsangaben) sind in einem Notfall überlebenswichtig, da die Situation häufig unübersichtlich und nicht vertraut ist. Autoritätspersonen wie Feuerwehrleute, Ordner oder auch Sängerinnen

oder DJs finden in einem solchen Fall wahrscheinlich leichter Gehör und ihre Anweisungen werden befolgt.

Beziehung zwischen den Angestellten (Ordnern) und Besuchern

Die Besucher sind dann entspannt, wenn sie sich gut aufgehoben fühlen. Das heißt: die Organisation der Veranstaltung einschließlich An- und Abreise funktioniert möglichst reibungslos. Das schließt Toiletten, Verpflegung und Information mit ein. Die Besucher halten sich dann eher an Anweisungen und Vorgaben, wenn die Beziehung zwischen den Angestellten und Ordnern und dem Publikum gut ist. Daher muss die Kommunikation (Weitergabe von Information und Aufnahme von Rückmeldungen, also in beide Richtungen) effektiv sein, so dass Missverständnisse vermieden werden und es keinen Grund für Beschwerden gibt.

Die Einstellungen des Publikums zu bestimmten Maßnahmen kann von den Erwartungen abweichen, z.B. dann, wenn die Besucher keine Einlasskontrollen erwartet hatten. Das kann zu Aggressionen führen.

Weitere Informationen

Sie finden auf den Seiten der vfdb unter

<http://www.vfdb.de/Veroeffentlichungen.159.0.html>

ein Arbeitsblatt und Software zum „Kölner Algorithmus“, der die Bemessung von Sicherheits- und Rettungsdienst ermöglicht. Eine ausführliche Darstellung gibt Maurer und Peter, 2005. Dort wird auch die polizeiliche Gefahrenabwehr besprochen.

Das ÖISS hat ein Handbuch herausgegeben Gattermann, N. Waldau und Schreckenberger, 2006, das umfangreiche Checklisten zur Bewertung von Risiken und zur Planung von Großveranstaltungen enthält. Auch die Schweizer Stiftung Risikoversicherung hat ein „Handbuch Veranstaltungssicherheit“ herausgegeben Wid-

Checkliste für die Planung	
<ul style="list-style-type: none">• Pläne und Zeichnungen: maßstäbliche Pläne der Veranstaltungsstätte einschließlich temporärer Einrichtungen und Installationen; diese müssen an alle verantwortlichen Mitarbeiterinnen verteilt werden.• Kalender für Termine und Besprechungen Details aller Termine und Besprechungen vor (pre-production), während und nach (post-production, Nachbesprechung) der Veranstaltung	<ul style="list-style-type: none">• Kalender für Besichtigungen/Prüfungen<ul style="list-style-type: none">• Details der Überprüfung der Eignung des Geländes (Begehung)• Kontrollen während des Aufbaus• Kontrollen während der Veranstaltung• Übersicht der Genehmigungen Details aller Genehmigungen, Lizenzen, Zertifikate, Prüfberichte und Urkunden, die für die rechtlich erforderlich sind

Abbildung 4.2: Checkliste 02 - Strategische Planung.

mer u. a., 2005, das ebenfalls zahlreiche Checklisten erhält. Das Handbuch ist im Internet verfügbar.

4.1.2 Risikobewertung

Prinzipien der Risikobewertung

Die Risikobewertung beginnt mit einer gründlichen Betrachtung der möglichen Gefahren. Risiko ist die Wahrscheinlichkeit (gering bis hoch) das aufgrund der bestehenden Gefahren jemand verletzt wird. Daher muss die Risikobewertung alle Aspekte der Veranstaltung umfassen, einschließlich der An- und Abreise. Dabei werden auch unwahrscheinliche Ereignisse mit einbezogen, z.B. dass ein Besucher aufgrund von Flüssigkeitsmangel einen Schwächeanfall erleidet oder „größere“ Ereignisse wie ein Feuer, eine Bombendrohung oder der Einsturz einer Tribüne. Alle Orte, an denen sich eine größere Anzahl von Besuchern aufhalten können und wo es zu Gedränge kommen kann, müssen sorgfältig analysiert werden, so z.B. Wartebereiche vor dem Einlass.

Die wichtigste Entscheidung bei der Risikobewertung ist, ob eine Gefahr signifikant ist oder nicht, d.h., ob sie näher betrachtet werden muss. Anschließend sind geeignete Maßnahmen zu treffen, um das Risiko soweit zu verringern, dass es akzeptabel ist.

1. Schritt 1: Identifikation von Gefahren
2. Schritt 2: Wer könnte geschädigt werden und wie?

3. Schritt 3: Auswertung der Risiken: Sind die Maßnahmen ausreichend? (D.h. senken sie das Risiko soweit, dass es akzeptabel ist?)
4. Schritt 4: Dokumentation der Ergebnisse
5. Schritt 5: Überprüfung der Bewertung und Anpassung (falls erforderlich)

Wiederum finden sich detailliertere Hinweise in (Gattermann, N. Waldau und Schreckenber, 2006, Onlineapplikation: Risiko-einschätzung).

Schritt 1: Gefahren identifizieren

Um den Überblick zu behalten, sollten triviale Ereignisse oder Aktivitäten bei der Identifikation von Gefahren ignoriert werden. Stattdessen geht es um solche Gefahren, die zu schweren Schäden, Verletzungen oder einer größeren Zahl Betroffener führen können, z.B. das Zusammenströmen („Trichter“) von Besuchern am Eingang, das zu Stau und Gedränge führt.

Hilfreich sind die Einschätzung von Mitarbeitern, Berichte über Unglücksfälle (siehe auch Abschnitt 7.3.3), die Dokumentation früherer Veranstaltungen oder die Rückmeldung von Besuchern. Es gibt Gefahren, die von der Menge ausgehen können und solche, die vom Gelände ausgehen. Eine Gefahr kann z.B. entstehen, wenn neue Verkaufsstände, die vorher nicht geplant waren, hinzukommen.

Gefahren, die von der Menge ausgehen können

- Gedränge zwischen Leuten;
- Drücken gegen feste Hindernisse wie Barrieren;
- Trampeln über Menschen, die sich gebeugt haben oder gestürzt sind;
- Wellenbewegungen, Schwanken oder ein Ansturm;
- aggressives Verhalten, insbesondere zwischen rivalisierenden Fangruppen;
- Gefährliches Verhalten, das Klettern auf Aufbauten, steile

Abhänge hinunter rennen oder das Werfen von Gegenständen

Gefahren, die vom Gelände ausgehen

- Abrutschen oder Stolpern aufgrund mangelnder Beleuchtung oder Bodenunebenheiten;
- Fahrzeuge, die die gleichen Wege benutzen wie die Besucher;
- Menschen, die stecken bleiben, z.B. Rollstuhlfahrer in einer Menge;
- Einsturz einer baulichen Anlage, z.B. eines Zauns oder einer Absperrung;
- Menschen, die gegen Anlagen wie heiße Friteussen o.ä. in einem Imbissstand gedrückt werden;
- Buden, die im Weg stehen und bei großem Andrang zu Gedränge führen;
- Warteschlangen, die in Laufwege hineinragen; Branddirektion München, 2011; Messerer, 2011
- Sich kreuzende Personenströme (z.B. in der Nähe von Toiletten)
- Versagen von Infrastruktur, z.B. Drehkreuze
- Feuerquellen, wie Kochausrüstung

Eine Möglichkeit, die Gefahren zu sortieren ist die folgende Liste mit fünf Kategorien:

1. Art der Veranstaltung
Welche Besucher kommen und wie verhalten sie sich? Welche Verhaltensweisen könnten zu Problemen führen?
2. Eignung des Veranstaltungsortes
3. Leitung und Lenkung von Besucherströmen
Sind die getroffenen Maßnahmen ausreichend?
 - (a) Klare Rollenverteilung und Verantwortlichkeiten
 - (b) Anweisungs- und Kommunikationsstrukturen
 - (c) Kooperation und Koordination während der Organi-

sation

(d) Ausreichende Überwachung der Besucherströme

(e) Ausreichende Anzahl qualifizierter Ordner

4. Gefährliche Gegenstände und Substanzen

5. Wenn etwas passiert

Wie würde die Veranstaltung gestört? Welche neuen Gefahren entstehen dadurch? Ein Notfall, z.B. ein Feuer, kann die Räumung des Geländes erfordern. Dadurch können neue Gefahren entstehen.

Auch eine kleinere Störung, wie die Verspätung von Zügen, kann zu einer erheblichen Gefahr anwachsen.

Welche Szenarien können die Veranstaltung stören?

- Notfall
- Unfall
- Abschluss eines Teils des Geländes
- Schließung einer Einrichtung in der Nähe
z.B. eines nahe gelegenen Bahnhofes
- Verzögerung oder Absage
z.B. verspäteter Anstoss eines Fußballspiels
- Störung bei der An- oder Abreise
z.B. ein Verkehrsstau auf der Hauptanreisestraße
- Stromausfall
- öffentliche Unruhe
- Versagen eines Systems oder von Teilen der Ausrüstung
z.B. verschlossenes Tor, Ausfall von Aufzügen
- Wetter
z.B. ein plötzlicher Wetterumschwung oder „schlechtes Wetter“: zu warm, zu kalt, starker Regen oder Schneefall, Wind, usw.

Schritt 2: Wer kann geschädigt werden?

Dieser Schritt soll helfen zu verstehen, wodurch die Gefahren verursacht werden und wer durch sie geschädigt werden kann.

Das kann helfen, die richtigen Vorkehrungen zu treffen.

Wie können Menschen geschädigt werden (was sind die Ursachen)?

Eine Gefahr kann durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren entstehen, einschließlich der Eignung des Geländes, dem Publikum und dessen Verhalten, die Vorkehrungen zur Besucherleitung und -lenkung und dem Vorhandensein gefährlicher Substanzen. Einige Ursachen sind nicht sofort ersichtlich. Stauungen können auftreten, weil ein Hindernis im Weg ist, weil die Kapazität eines Wegelements zu gering ist oder wegen eines Umkehrpunktes (Eignung des Geländes), weil sich Menschen an einer bestimmten Stelle versammeln oder dort warten (Verhalten des Publikums) oder weil zu viele Menschen in eine bestimmte Richtung geleitet werden (Besucherleitung und -lenkung). Eine andere Möglichkeit könnte sein, dass ein Fußballspiel zu Ende ist, das in der Nähe stattfindet und die Menschen von dort nach dem Spiel auf das Veranstaltungsgelände kommen. Wenn das Gefahr durch das Verhalten des Publikums mitverursacht wird, dann ist es erforderlich zu verstehen, wie es zu diesem Verhalten kommt (siehe Abschnitt 4.1.1 on page 113 und Kapitel 1 on page 19).

Wer könnte geschädigt werden?

Das können alle im Publikum sein oder diejenigen, die für längere Zeit einem massiven Gedränge ausgesetzt sind (vgl. Tabelle 6.1). Ein weiteres Kriterium ist die maximale Anzahl der Geschädigten. Besteht die Gefahr nur für die Personen, die unmittelbar betroffen sind oder auch für diejenigen, die sich in der unmittelbaren oder näheren Umgebung aufhalten? Kinder, junge Menschen, Menschen mit speziellen Bedürfnissen oder Menschen mit Behinderung und ältere Menschen sind besonders gefährdet. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass eigene Mitarbeiter oder Mitarbeiter von Unterauftragnehmer betroffen sind, insbesondere diejenigen, die sich um Gefahren und Probleme kümmern müs-

Tabelle 4.1: Beispiel Risikobewertung: Stürzen auf einer Treppe

Gefahr	Menschen stolpern auf einer Treppe
Ursache	Besucher drängeln; Unzureichende Beleuchtung; Konstruktionsmängel der Treppe
Betroffene	Menschen, die gestoßen werden, können die Treppe hinab stürzen. Andere könnten auf sie trampeln. Junge und ältere Menschen sind besonders gefährdet.

Tabelle 4.2: Beispiel Risikobewertung: Stolpern bei dichtem Gedränges

Gefahr	Menschen stolpern aufgrund dichten Gedränges
Ursache	Fehleinschätzung der Attraktivität; Unerwartete Bewegung der Menge; Zögerliches Eingreifen bei aggressivem oder verantwortungslosem Verhalten
Betroffene	Diejenigen in der Menge und am Rand der „Welle“.

sen (Sicherheits- und Ordnungsdienst).

Schritt 3: Risiken bewerten

Im nächsten Schritt müssen die Risiken bewertet und muss entschieden werden, ob die vorhandenen Maßnahmen ausreichen oder ob weitere Vorkehrungen erforderlich sind.

Risiken bewerten

Das Ziel ist hier, zu entscheiden, wie hoch das Risiko ist, wenn die existierenden Vorkehrungen mit eingerechnet werden. Auf dieser Grundlage können die verschiedenen Risiken bewertet

werden und es kann festgelegt werden, wie wichtig die einzelnen Maßnahmen zur Risikominimierung sind.

Da sich das Risiko aus dem Produkt Wahrscheinlichkeit und Schaden ergibt:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \cdot \text{Schadensausmass} \quad (4.1)$$

müssen beide Faktoren bestimmt werden. Zur Eintrittswahrscheinlichkeit gehört, dass ein bestimmtes Ereignis stattfindet und dass ein Schaden entsteht. Nicht alle Gefahren führen immer zu einem Schaden. So wird ein kreuzender Personenstrom oder ein Hindernis i.a. erst dann zum Problem, wenn starker Andrang herrscht.

Das Schadensausmaß ergibt sich aus den möglichen Folgen eines Ereignisses. Diese können von einer geringfügigen Verletzung einer einzelnen Person bis hin zum Tod mehrere Menschen reichen. Hier muss auch die Umgebung berücksichtigt werden. So wird ein Unfall eines Fußgängers mit einem Fahrzeug auf einer vielbefahrenen Hauptstraße i.a. sehr viel schwerwiegender sein als auf einer ruhigen Seitenstraße, auf der nur langsam gefahren wird.

Indem für alle relevanten Risiken die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß berechnet werden, kann das gesamte Risiko bestimmt werden. Eine Möglichkeit ist, für Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß Skalen von 1 („sehr wahrscheinlich“ bzw. „hoch“) bis 3 („unwahrscheinlich“ bzw. „niedrig“) zu nutzen und dann diese miteinander zu multiplizieren, um das Risiko zu erhalten. Damit ergeben sich Werte von 1 bis 9 für die einzelnen Risiken. Diese können dann in Gruppen eingeteilt werden, z.B. „grün“ für Werte von 1 bis 3, „gelb“ für Werte von 4 bis 6 und „rot“ für Werte von 7 bis 9. Weitere Details hierzu finden sich z.B. in Gattermann, N. Waldau und Schreckenber, 2006. Risiken können auch mit Hilfe von Matrizen klassifiziert werden (siehe z.B. Hosser, 2009). Hier ergibt sich z.B. bei einer Skala von 1 bis 3 für

das Schadensausmaß und einer Skala von 1 bis 3 für die Eintrittswahrscheinlichkeit eine 3x3-Matrix. Akzeptable Risiken liegen dann links unten, inakzeptable rechts oben. Sehr geringe Risiken sind dadurch gekennzeichnet, dass sowohl Schadensausmaß als auch Eintrittswahrscheinlichkeit gering sind, mittlere dadurch, dass eine der beiden Größen gering ist und hohe Risiken sind dadurch gekennzeichnet, dass sowohl Eintrittswahrscheinlichkeit als auch Schadensausmaß groß sind.

Sind die Vorkehrungen ausreichend?

Eine Gefahren können bereits unter Kontrolle sein, entweder durch entsprechende Maßnahmen, z.B. die Anbringung von Beleuchtung an einer Treppe oder durch die äußeren Umstände, z.B. indem der Eingang durch die Straßenlampen ausreichend beleuchtet wird. Ziel ist es also, die geeigneten Vorkehrungen und Maßnahmen zu identifizieren und zu entscheiden, ob die vorhandenen ausreichen oder ob weitere ergriffen werden müssen. Funktionieren die Vorkehrungen? Der tatsächliche Zustand kann von der Planung abweichen. Das ist ein häufiger Grund für unerkannte Risiken.

Können die Vorkehrungen versagen? So könnten z.B. Drehkreuze durch Vandalismus beschädigt, durch Abnutzung oder durch den Defekt von einzelnen Teilen schwergängig werden. Die Lenkung und Leitung der Besucherströme könnte dadurch beeinträchtigt werden, dass Mitarbeiter des Ordnungsdienstes sich ihrer Rollen und Verantwortlichkeiten nicht klar sind oder dass die Kommunikation nicht funktioniert.

Um zu entscheiden, ob die getroffenen Vorkehrungen ausreichen, kann zunächst eine grobe Risikobewertung gemacht werden. Alltägliche Risiken können dabei ignoriert werden. So stellt die Bordsteinkante bei einem Straßenfest ein Risiko dar. Es ist aber nicht höher als bei einem sonntäglichen Spaziergang. Das gilt allerdings nur so lange, wie kein Gedränge zu erwarten ist. Der

Grund ist, dass die Besucher die Bordsteinkante nicht mehr sehen können. Daher muss dann dieses Risiko genauer betrachtet werden.

Was muss noch getan werden?

Sind alle gesetzlichen Vorschriften eingehalten? Z.B. müssen Flucht- und Rettungswegpläne nach DIN 4844, eine Brandschutzordnung nach DIN 14096 und ggf. Feuerwehrpläne nach DIN 14095 vorhanden sein. Weitere Informationen zu den Inhalten von Sicherheitskonzepten finden sich in (AGBF, 2008; AGBF, 2009; AGVS, 2012; Gattermann, N. Waldau und Schreckenberger, 2006; Maurer und Peter, 2005). Standards zur Berechnung von Personenströmen finden sich in (DIN, 2012-04; RiMEA, 2009).

Alle verhältnismäßigen Maßnahmen zur Verringerung der Risiken (also der Eintrittswahrscheinlichkeit, des Schadensmaßes oder beider) sollten ergriffen werden. Verhältnismäßig bezieht sich auf die Zeit, den Aufwand, die Kosten und allgemein die Schwierigkeiten, die in Kauf genommen werden müssen, um das Risiko zu reduzieren. Je größer das Risiko ist, desto höher ist der verhältnismäßige Aufwand. Wenn ein Risiko gering ist, dann ist ein hoher Aufwand zur Risikoreduktion unverhältnismäßig. Bei dieser Abwägung sind Größe oder finanzielle Möglichkeiten des Veranstalters kein Hinderungsgrund. Verhältnismäßig bezieht sich also nicht auf diese beiden Aspekte.

Bei der Auswahl der Maßnahmen genießen hohe Risiken Priorität. Dabei sollte zuerst geprüft werden, ob die Risiken komplett ausgeschlossen werden können. Das kann entweder dadurch erreicht werden, dass die Gefahrenquelle selbst oder die Gründe für das Schadensereignis ausgeschlossen werden. Wenn Fahrzeugen die Zufahrt zum Veranstaltungsgelände während der Veranstaltung verwehrt wird, dann ist das Risiko „Unfälle von Fußgängern mit Fahrzeugen“ dadurch eliminiert.

Falls es nicht mit verhältnismäßigem Aufwand möglich ist,

das Risiko auszuschließen, dann ist das Ziel, es zu kontrollieren. Eine Möglichkeit ist die Verringerung der Wahrscheinlichkeit, eine andere die Verringerung der Schwere und eine dritte der Schutz der Menschen vor der Gefahr. Bei einer Oldtimer-Show, die als Teil eines Straßenfestes stattfindet, mussten die Autos eine Stunde vor Beginn des Festes gebracht und durften frühestens eine Stunde nach Ende des Festes wieder abgeholt werden. Weitere mögliche Vorkehrungen werden in Abschnitt 4.1.3 on the facing page erläutert.

Beispiel: Eingang an einer vielbefahrenen Straße

Liegen Ein- und Ausgänge eines Veranstaltungsgeländes oder Stadions in der Nähe einer vielbefahrenen Straße, so besteht die Gefahr, dass eine Warteschlange beim Einlass auf die Straße zurück reicht. Es besteht also die Gefahr eines Personenunfalls an der Straße. Um das zu verhindern, können z.B. Gitter oder Absperrungen (für die Eignung verschiedener mobiler Zäune siehe (Branddirektion München, 2007)). Aufgrund des erheblichen möglichen Schadens (Verletzung von Personen durch vorbeifahrende Autos) sind auswändige Maßnahmen wie die Errichtung von Zäunen oder Absperrungen in diesem Fall verhältnismäßig.

Schritt 4: Ergebnisse dokumentieren

Die Dokumentation sollte mindestens folgende Punkte umfassen:

- Die signifikanten Risiken;
- Die getroffenen Vorkehrungen;
- Die verbleibenden Risiken, einschließlich derjenigen Besuchergruppen, die einem besonderen Risiko ausgesetzt sind;
- Die Folgerungen aus der Risikobewertung, einschließlich der Maßnahmen zur weiteren Verringerung des Risikos (vgl. auch die Ausführungen zu *Notfallmaßnahmen* in Abschnitt 4.2.1 on page 149).

Die Dokumentation kann gedruckt oder elektronisch vorlie-

gen, solange sie den Verantwortlichen, den Mitarbeitern und den Genehmigungsbehörden leicht zugänglich ist und vor und während der Veranstaltung zur Verfügung steht.

Einige der Risiken sind möglicherweise schon an andere Stelle identifiziert worden (z.B. in einem Brandschutzkonzept oder im Sicherheitshandbuch). Des weiteren können Sicherheitsvorkehrungen bereits in Technischen Richtlinien oder Handbüchern o.ä. beschrieben sein. Diese Information muss in der Dokumentation nicht wiederholt werden. Stattdessen sollte sie als Verweis aufgenommen werden.

Schritt 5: Bewertung prüfen und anpassen

Wenn es Änderungen der Planung oder der äußeren Umstände gibt, muss die Risikobewertung entsprechend angepasst werden:

- Größere Änderungen am Gelände, z.B. Parkplätze auf Wiesen, die aufgrund von Nässe nicht benutzt werden können;
- Änderungen des Veranstaltungskonzepts, z.B. die kurzfristige Hinzunahme von Fahrgeschäften oder Schaustellern;
- Vorfälle bei anderen Veranstaltungen, die auf die geplante Veranstaltung übertragbar sind und die weitere Vorkehrungen erforderlich machen.

4.1.3 Vorkehrungen

Die im vorherigen Abschnitt identifizierten Risiken können durch geeignete Vorkehrungen reduziert werden. Solche Vorkehrungen, die der Sicherheit der Besucher während der Veranstaltung dienen, werden in diesem Abschnitt beschrieben. Dabei können nicht alle möglichen Umstände erfasst werden. Es werden vor allem zwei Arten von Vorkehrungen behandelt: solche, die das Veranstaltungsgelände betreffen und Vorkehrungen für die erwarteten Besucherströme.

Checkliste für die Risikobewertung	
<p>Folgende Fragen sind für die Erkennung von Gefahren und die Bewertung des Risikos hilfreich:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kann die Besucherzahl kontrolliert, gesteuert oder genau vorhergesagt werden? • Kennen sich die Besucher auf dem Gelände aus? Kennen Sie die Veranstaltungsstätte und die Veranstaltung? • Zieht die Veranstaltung eine große Menge an Besuchern an? • Handelt es sich um eine besonders emotionale Veranstaltung oder ein besonders emotionales Publikum? • Kommen vor allem männliche oder weibliche Besucher oder ist das Publikum gemischt? • Kommen die Besucher einzeln, als Familie oder in kleinen oder großen Gruppen? • Auf welche Weise kümmern Sie sich um Menschen oder Gruppen von Menschen mit Behinderung? 	<ul style="list-style-type: none"> • Wie lange dauert die Veranstaltung? • Auf welche Weise beeinflussen die Künstler und die Darbietungen die Besucher? • Auf welche Weise beeinflussen mediale Darbietungen (Musik, Video) oder Installationen (Masten, Leinwände, Lautsprecher) die Sicherheit der Besucher? • Rechnen Sie mit aggressivem Verhalten? Das könnten sowohl rivalisierende Besuchergruppen untereinander sein als auch Besucher gegenüber Ihren Mitarbeitern. • Sind Eindringlinge, ungebetene oder ungeladene Gäste zu erwarten? • Gibt es Alkohol? • Ist es wahrscheinlich, dass Besucher kommen, die unter Drogeneinfluss stehen? • Gibt es zur gleichen Zeit andere Veranstaltungen, die in der Nähe stattfinden?

Abbildung 4.3: Checkliste 03 - Risikobewertung.

Vorkehrungen auf dem Gelände

Falls möglich, sollten die Ankunft und Abreise in Phasen erfolgen. Das kann u.a. erreicht bzw. begleitet werden durch folgende Maßnahmen:

- Günstigerer Eintritt während der Randzeiten;
- Unterhaltung vor und nach der eigentlichen Veranstaltung;
- Den Ablauf von „Events“ so planen, dass sie sich sinnvoll überschneiden;
- Frühe Ankunft und späte Abreise sind dann attraktiv, wenn es gute Verpflegungs- und Aufenthaltsmöglichkeiten gibt. Falls möglich, sollte es Plätze geben, an denen mitgebrachte Speisen und Getränke verzehrt werden können und Sitzgelegenheiten zum Ausruhen (Ruhezonen).

Transport

Bushaltestellen, Haltepunkte für Bahnen und Parkhäuser müssen ausreichend sein, um die erwartete Besucherzahl fassen bzw.

bedienen zu können. Dabei ist zu beachten, dass ausreichend Zeit zwischen dem Ende der Veranstaltung und der Abfahrt von Zügen und Bussen zur Verfügung steht.

Die Besucher können zur Anreise mit dem ÖPNV animiert werden, wenn es kombinierte Tickets gibt, d.h., wenn die Eintrittskarte auch gleichzeitig als Fahrkarte für An- und Abreise gilt. Für den Fall, dass die Parkplätze oder die Haltestellen entfernt vom Veranstaltungsgelände liegen, sollte ein Shuttle-Service eingerichtet werden.

Parkplätze

Die durchgängige, schlüssige und verständliche (eindeutige und gut sichtbare) Beschilderung der Parkplätze trägt wesentlich zu einer entspannten Anreise und zur behinderungsfreien Lenkung des Verkehrs bei. Die Ausführungen im Abschnitt 6.2.1 on page 209 gelten auch hier. Vor allem sollten Haltestellen für den Ein- und Ausstieg (Busgruppen und ggf. private PKW) nicht unmittelbar am Eingang platziert werden. Das verringert die Gefahr von Verkehrsstauungen. Kordons mit Park- und Halteverbotszonen an und in der Nähe von Rettungswegen und Sperrungen dort wo eine unerwünschte Kreuzung mit Personenströmen zu erwarten wäre sind wirksame Vorkehrungen. Diese müssen Zonen müssen deutlich beschildert sein, einschließlich der Warnhinweise auf Maßnahmen (Entfernen von Fahrzeugen) und Strafen. Es kann sinnvoll sein, den Rat der Polizei zu diesen Interventionen am Tag der Veranstaltung einzuholen.

Zufahrts- und Zugangswege

Straßen und Wege für den Fahrzeug- und den Personenverkehr sollten, soweit möglich, vollständig voneinander getrennt sein. Für Motorsportveranstaltungen sind besondere Vorkehrungen erforderlich. Die Rettungswege für Einsatzfahrzeuge und -kräfte müssen klar beschildert und diesen bekannt sein. Außerdem ist eine ausreichende Beleuchtung erforderlich und ggf. Schranken

(bei Straßen) oder Geländer (bei Wegen) um Stürze zu verhindern. Folgende Kriterien sollten erfüllt sein:

- Direkte Wege, um zu verhindern, dass die Besucher nach Abkürzungen suchen, wie z.B. das Überqueren von Straßen oder das Laufen auf Straßen, auf denen Autos fahren;
- Einbahnstraßensystem, um gegenläufige Personenströme zu verhindern;
- Personenströme trennen, z.B. getrennte Wege für Besucher, die vom Bahnhof kommen und Besucher, die von Parkplätzen kommen. Diese Maßnahme kann auch der Trennung rivalisierender Fangruppen dienen;
- Wege sollten weder starke Krümmungen oder Kehrungen aufweisen, noch sollten sie schmaler werden. An solchen Punkten besteht die Gefahr, dass Familien oder Gruppen getrennt werden oder aus den Augen verlieren. Sie müssen dann an anderer Stelle warten oder suchen, was weitere Stauungen verursachen kann.
- Zugangswege, die für Rollstuhlfahrer geeignet sind, also ebenerdig oder mit Rampen, die eine maximale Steigung von 7% aufweisen.

Für diejenigen Besucher, die vor Öffnung des Veranstaltungsgeländes anreisen, sollten Toiletten und andere Versorgungseinrichtungen außerhalb des Geländes vorhanden sein. Das kann auch helfen, den Andrang an anderer Stelle zu verringern.

Ein- und Ausgänge

Um die Besucherströme am Eingang zu leiten, sollten sowohl Abschränkungen als auch Ordner eingesetzt werden. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die Warteschlangen sich nicht auf Durchgangswege zurückstauen. Es sollte immer eine Möglichkeit geben, dass Menschen, die nicht länger warten wollen, sich nicht gegen den Strom bewegen müssen, um den Wartebereich zu verlassen.

Schalter für den Kartenverkauf und die -abholung, Attraktionen oder Anlagen, Informationsstände und -tafeln, etc. sollten nicht in der Nähe des Eingangs stehen.

Ein- und Ausgänge für Menschen mit Behinderungen müssen deutlich ausgeschildert sein. Falls eine größere Anzahl von Menschen mit Behinderung erwartet wird, sollte es für diese separate Eingänge bzw. Türen geben. Das verhindert Konflikte mit anderen Besucherströmen.

Warteschlangen auf Straßen sind nur dann zulässig, wenn ausreichend Platz für die Fußgänger und den motorisierten Verkehr zur Verfügung steht. Außerdem muss die Warteschlange durch Absperrungen vom Verkehr getrennt sein. Falls das nicht oder nur schwer möglich ist, sollte der Wartebereich verlegt werden.

Weisen Sie die Besucher darauf hin, dass sie erst dann auf das Gelände oder in die Veranstaltungsstätte gehen sollen, wenn alle Türen vollständig geöffnet sind. Sobald die Besucher hinein oder hinaus gehen, müssen die Türen ständig geöffnet sein und in dieser Position festgestellt werden. Falls es Türen oder Durchgänge gibt, die nicht benutzt werden dürfen, dann müssen diese mit entsprechenden Schildern („Kein Durchgang“, „Kein Eingang“, „Kein Ausgang“) gekennzeichnet werden.

Auf dem Gelände

Die Zugänge zum Veranstaltungsgelände sollten nicht direkt zu attraktiven Orten wie den Bereich unmittelbar vor der Bühne führen. Andernfalls könnten die Besucher direkt dort stehen bleiben und es bildet sich ein Rückstau in den Einlassbereich.

Gedränge und Schieben von hinten sind vorhersehbar, wenn die Veranstaltung einen Höhepunkt hat. Das kann zu hohen Drücken und Dichten führen. Stehplätze sind hier besonders gefährdet. Das kann z.B. geschehen wenn

- das Publikum nach vorne drängt, weil der Hauptact bei einem Konzert beginnt;

- eine große Zahl von Besuchern von einer Attraktion oder Aufführung zu einer anderen gelangen will; oder
- die Besucher nach vorne drängen, weil sie durch Beifall oder Rufe aufmerksam geworden sind und eine besser Sicht anstreben.

Wellenbrecher dienen dazu, solche Bereiche, wo eine besondere Gefahr durch hohe Personendrucke entstehen kann, zu entschärfen. Das gilt für den Bereich vor der Bühne oder den Stehbereich auf Sportplätzen und in Stadien (Starke, Scherer und Buschhoff, 2007).

Zuschauerplätze

Die Planung von Zuschauerbereichen sollte so sein, dass alle Plätze eine gute Sicht bieten. Das bedeutet, dass es eine ununterbrochene Sichtlinie zu allen Bereichen der Bühne gibt. Das reduziert die Gefahr, dass die Besucher schieben oder drängen, um eine bessere Sicht zu erlangen. Videoleinwände können so platziert werden, dass sie die Besucher von besonders vollen Bereichen weglenken.

Für Rollstuhlfahrer müssen besondere Plätze reserviert werden, die ihnen eine freie Sicht auf alle Bereiche der Bühne ermöglichen. Gleichzeitig dürfen Rollstühle nicht die Gänge oder Ausgänge blockieren.

Sitzplätze

Der Abstand zwischen den Sitzreihen muss ausreichend bemessen sein, so dass ein freier Durchgang möglich ist. Bei einer temporären Bestuhlung müssen in einer Versammlungsstätte, die unter die VStättVO fällt, die Stühle miteinander verbunden sein Lühr und Gröger, 2011; Starke, Scherer und Buschhoff, 2007.

Zäune

Verschiedene mobile Absperrungen sind im kommentierten Literaturverzeichnis auf Seite 241 aufgelistet. Die Branddirektion

München (2007) hat eine Handreichung hierzu erstellt. Fest installierte Zäune helfen, den unerlaubten Zugang zu unterbinden und unterstützen die sichere Besucherleitung und -lenkung. Für große Veranstaltungen im Freien kann die Länge des benötigten Zaunes erheblich sein. Daher muss der Zaunbau frühzeitig geplant und organisiert werden.

Barrieren

Bereiche unmittelbar vor Notausgängen müssen freigehalten werden. Das kann durch Absperrungen oder Zäune geschehen oder durch Blickschutz. Z.B. können Bereiche neben der Bühne, die als Flucht- und Rettungsweg vorgesehen sind, dadurch frei gehalten werden, dass seitlich an der Bühne ein Sichtschutz angebracht wird.

Durch eine ausreichende Zahl von Infrastruktureinrichtungen (Erfrischungsstände, Toiletten, Informationsstände, Wartebereiche, Sammelpunkte) kann verhindert werden, dass durch lange Schlangen vor solchen Ständen der freie Personenstrom auf Durchgangswegen behindert wird.

Attraktionen (z.B. Fahrgeschäfte) und temporäre Bauten (z.B. Bühnen, Stände, Aussichtsplattformen, o.ä.) können Ein- und Ausgänge versperren oder die Zufahrt für Einsatzfahrzeuge behindern. Daher muss kontrolliert werden, ob ausreichend Platz vorhanden ist, so dass die Besucher frei um sie herum strömen und Einsatzfahrzeuge ungehindert (auch während der Hauptzeit und bei größerem Andrang) um sie herum fahren können.

Die genannten temporären Bauten sowie fest eingebaute Anlagen müssen vor, während und nach der Veranstaltung auf ihre Sicherheit und Standfestigkeit hin geprüft werden. Das gilt auch für die Ausrüstung, die zu ihrem Betrieb erforderlich ist und schließt die Funktionsfähigkeit für den Zweck, für den sie bestimmt sind, ein. Das ist für ein- und mehrtägige Veranstaltungen gleichermaßen wichtig.

Die Personen, die solche Prüfungen vornehmen, müssen ausreichend qualifiziert und erfahren sein. Die Prüfungen sollten systematisch und planmäßig erfolgen, d.h. es muss einen festgelegten Ablauf und Kriterien, einen Zeitplan und eine Dokumentation geben. Hierfür müssen ausreichend Zeit und Personal zur Verfügung stehen.

Vorkehrungen für Besucherströme

Für die Besucherleitung und -lenkung müssen ausreichend viele Ordner zur Verfügung stehen. Bei großen Veranstaltungen kann es notwendig sein, einen Verantwortlichen für die Besucherleitung und -lenkung („Crowd Manager“) zu benennen. Ihm sind dann entsprechend Verantwortliche für einzelne Bereiche und Abschnitte unterstellt.

Der Ordnungsdienst und Sanitätswachdienst dient auch der Unterstützung von Polizei und anderer Einsatz- und Rettungskräfte. Wenn die Art oder Größe der Veranstaltung die Anwesenheit der Polizei erfordert müssen die Zusammenarbeit, Aufgaben und Verantwortlichkeiten und Kommunikationsstrukturen im Vorhinein geklärt werden (Branddirektion München, 2011). Zu den Pflichten des Ordnungsdienstes gehört es:

- die Lage und Anordnung des Veranstaltungsgeländes zu kennen und die Besucher hierüber, über den Ablauf der Veranstaltung, die vorhandenen Einrichtungen, usw. informieren zu können;
- die Lage von Ein- und Ausgängen und Erste-Hilfe-Stationen zu kennen;
- Überfüllung und starkes Gedränge in allen Bereichen durch Leitung und Lenkung zu verhindern, besonders am Anfang und Ende der Veranstaltung;
- Gänge und Ausgänge jederzeit freizuhalten und zu verhindern, dass Besucher auf Stühle oder Mobiliar steigen;
- rüdes Verhalten zu verhindern und jeder Störung und jedem

- Vorfall sofort nachzugehen;
- dafür zu sorgen, dass sich kein Müll ansammelt, der eine Brandquelle darstellen könnte;
 - mit übergeordneten Verantwortlichen zu kommunizieren;
 - die Pläne und Vorkehrungen zur Räumung des Geländes zu kennen, zu verstehen und anwenden zu können, einschließlich evtl. verschlüsselter Nachrichten und spezielle Aufgaben im Fall einer Räumung übernehmen zu können;
 - die Besucherströme an Stellen zu überwachen, an denen starkes Gedränge oder Überfüllung drohen;
 - parkende Fahrzeuge zu kontrollieren und den Verkehr zu leiten.

Die Stellen, an denen Ordner eingesetzt werden sollen und die Anzahl der benötigten Ordner müssen im Vorhinein festgelegt werden. Die Anzahl muss für den normalen Ablauf und Notfallsituationen ausreichend sein. An den zentralen Stellen wie Ein- und Ausgängen, in der Nähe der Bühne und auf Durchgangswegen müssen genügend Ordner stationiert werden.

Die Anleitung der Ordner und Mitarbeiter erfolgt von der Leitungszentrale der Veranstaltung aus. Die Kommunikation (siehe Abschnitt 4.2.3 on page 162) muss dabei zu jeder Zeit reibungslos funktionieren.

Die Ordner müssen durch entsprechende Kleidung (z.B. Westen oder Leibchen) leicht erkennbar sein und die Funktion ausweisen („Platzanweiser“, „Verkehrslenkung“, „Ordner“, „Sicherheitsdienst“, etc.). Außerdem sollten die Mitarbeiter entsprechende Ausweise tragen.

Die Mitarbeiter müssen so ausgebildet sein und eingewiesen werden, dass sie ihre Aufgaben effektiv erledigen können. Die Art der Ausbildung und Einweisung hängt von der jeweiligen Aufgabe ab. Die Einweisung und Anweisungen müssen schriftlich dokumentiert werden. Mitarbeiter mit Aufgaben geringeren Umfangs (z.B. Einweisung von Fahrzeugen auf die Parkplätze)

müssen ggf. nicht alle Elemente der Unterweisung absolvieren.

Die Kommunikationswege müssen vor der Veranstaltung erläutert werden. Das gilt insbesondere für die Kommunikation im Notfall. Es wird empfohlen, dass die Mitarbeiter eine schriftliche Anweisung erhalten, die auch einen Plan des Geländes enthält. Bewährt haben sich hier Taschenkarten im Format DIN A6. Das verringert die Gefahr von Fehlinterpretationen.

Alle Mitarbeiter mit Leitungsaufgaben müssen besonders für das Verhalten in Notfällen ausgebildet sein und eingewiesen werden. Die Einweisung umfasst auch die Grenzen des Verantwortungsbereichs. Hier ist eine Abstimmung mit den Rettungsdiensten und BOS in der Planungsphase erforderlich. Die Mitarbeiter müssen über die Kommunikationswege, -mittel und -strukturen informiert sein und die Funktion und Aufgaben der Leitzentrale kennen. Ein ausreichender Teil der verantwortlichen Mitarbeiter sollte in Maßnahmen der Ersten Hilfe, insbesondere der Herz-Lungen-Wiederbelebung, ausgebildet sein.

Wenn der Ordnungsdienst durch einen Unterauftragnehmer bereit gestellt wird, so sind folgende Punkte zu prüfen:

- Sind ausreichende Haftpflicht- und andere Versicherungen vorhanden?
- Gibt es interne Gesundheits- und Sicherheitsrichtlinien?
- Sind ausreichend viele Mitarbeiter mit den notwendigen Qualifikationen vorhanden?
 - Brandschutz- und Evakuierungshelfer;
 - Ersthelfer bei medizinischen Notfällen;
 - Kommunikation;

Um die ausreichende Qualifikation der Mitarbeiterinnen eines Unterauftragnehmers zu prüfen, sind folgende Überprüfungen durchzuführen:

- Ausbildungsnachweise;
- Übungsfälle um den Ausbildungs- und Kenntnisstand zu bewerten;

- Werden die vorgeschriebenen Vorgehensweisen eingehalten?

Regeln durchsetzen

Die Hausordnung (z.B. in Bezug auf alkoholische Getränke, Drogen, Waffen, ...) muss unbedingt durchgesetzt werden. Falls erforderlich:

- diskutieren Sie die Vorkehrungen mit der Polizei und erwägen sie die Polizei um Anwesenheit zu bitten;
- erwägen Sie die Möglichkeit von Strafen. Das kann z.B. ein Verweis vom Gelände (Hausrecht) oder der Ausschluss von zukünftigen Veranstaltungen (Stadionverbot) sein;
- machen Sie die Folgen gefährlichen Verhaltens bekannt: Unfälle, Verletzungen, Einsturz von Aufbauten, etc.)

Überprüfen der Vorkehrungen

Regelmäßige Überprüfungen und Inspektionen sorgen dafür, dass die getroffenen Vorkehrungen wirksam bleiben. Sind die Vorkehrungen wie geplant umgesetzt worden? Das betrifft z.B. den Standort von Verkaufsständen oder Fahrgeschäften. Solche Überprüfungen sollten vor dem Einlass stattfinden und auch regelmäßig während der Veranstaltung. Die Mitarbeiter, die diese Überprüfungen durchführen, müssen die notwendige Kompetenz besitzen. Falls bei diesen Überprüfungen Probleme auftauchen, muss genug Zeit vorhanden sein, um sie zu lösen. Mit den Überprüfungen muss also frühzeitig begonnen werden, so dass ggf. ausreichend Zeit für Nachbesserungen bleibt.

Während der Veranstaltung müssen alle Wege, einschließlich Rettungswege freigehalten werden. Die entsprechenden Schilder müssen während der gesamten Dauer der Veranstaltung gut sichtbar und lesbar sein. Es muss außerdem dafür gesorgt werden, dass sich auf Durchgangswegen, an Ausgängen oder auf Flucht- und Rettungswegen kein Müll ansammelt.

Der Umgang mit Störungen

Störungen können z.B. folgende Ursachen haben:

- Versagen von Anlagen, z.B. Lautsprecheranlagen;
- Überfüllung, z.B. durch die späte Ankunft vieler Besucher; oder
- Verhalten der Besucher, z.B. drängeln und schieben, frühes Verlassen der Veranstaltung, zurückkehrende Besucher.

Diese möglichen Störungen sollten bei der Risikobewertung erfasst werden. Anschließend müssen Maßnahmenpläne entwickelt werden, um auf diese zu reagieren und sie zu beheben. Für jede der Störungen sind zusätzliche Ressourcen (d.h. Mitarbeiter und Material, z.B. Megaphone, mobile Zaunanlagen (Branddirektion München, 2007), etc.) erforderlich. Diese müssen bereit stehen. Die Mitarbeiter spielen eine Schlüsselrolle bei der Beherrschung von Störfällen. Sie müssen dementsprechend ausgebildet und eingewiesen sein.

Alle betroffenen Mitarbeiter müssen mit den Vorgehensweisen bei Störfällen vertraut sein. Besprechungen oder Unterweisungen können dies sicherstellen. Übungen mit inszenierten Störfällen können ein probates Mittel sein, um die Verfahrens- und Vorgehensweisen, die für Stör- und Notfälle vorgesehen sind, zu testen und zu üben.

Bei großen Veranstaltungen werden oft *Sicherheitszonen* eingerichtet. Falls Überfüllung oder starkes Gedränge drohen, können Besucher in diese Zonen umgeleitet werden. Die Einrichtung solcher Sicherheitszonen bedarf einer gründlichen Planung, die vor der Veranstaltung mit den Behörden, der Polizei und dem Rettungsdienst erläutert werden sollte.

Die Planung für den Notfall wird in Abschnitt 4.2.1 on the facing page behandelt.

Checkliste für die Sicherheit der Besucher	
<p>Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Werden die Besucher umfassend und ausreichend informiert? • Sind Ihre Mitarbeiter und andere Beteiligte (z.B. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste, Ordnungsamt) ausreichend informiert? • Gibt es klare und eindeutige Kommunikationswege? Dies gilt sowohl für Besucher als auch für Mitarbeiter und Dritte. • Welche Besucher werden erwartet? Was wissen Sie bereits über die Veranstaltung und den Veranstaltungsort? • Wie wirken sich Lage und Geometrie der Veranstaltungsstätte auf die Sicherheit aus? Wie kann den Besuchern geholfen werden, sich zurecht zu finden? • Welche Wegweisungen, Ratschläge, Warnungen oder andere allgemeine Informationen benötigen die Besucher? • Wo und zu welchem Zeitpunkt benötigen die Besucher diese Informationen? • In welcher Weise soll die Information darge- 	<p>boten werden.</p> <p>Vorsichtsmaßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sind ausreichend Ordner vorhanden (einschließlich derer, die für die Leitung der Personenströme zuständig sind)? • Sind die Mitarbeiter richtig ausgebildet und vorbereitet? • Gibt es Vorkehrungen, um die Einhaltung der Hausordnung und Regeln sicherzustellen (z.B. bezüglich Alkohol, Drogen, Waffen)? <p>Personenströme beobachten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gibt es entsprechende Vorkehrungen um mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen? • Können alle Bereiche zuverlässig überwacht werden? Gibt es hierfür genug Personal? • Gibt es festgelegte Beobachtungspunkte, von denen aus alle Teile des Veranstaltungsgeländes gut beobachtet werden können? • Kann lokale Information zuverlässig und vollständig an eine zentrale Stelle weiter gegeben werden? Das kann z.B. ein Lagezentrum oder Kontrollraum sein.

Abbildung 4.4: Checkliste 04 - Besuchersicherheit.

4.2 Durchführung

Trotz einer sorgfältigen Planung und Vorbereitung können unerwartete Ereignisse eintreten und es kann zu Notfällen kommen. Hierfür müssen Vorkehrungen getroffen und Pläne ausgearbeitet werden, damit im Notfall schnelle Entscheidungen und Maßnahmen möglich sind.

4.2.1 Notfallplanung und -maßnahmen

Was ist ein Notfall?

Der Begriff Notfall meint eine Situation, in der Sicherheits- oder Rettungskräfte (Polizei, Feuerwehr oder Rettungsdienst) aktiv eingreifen müssen oder in der eine Räumung des Geländes oder eines Teilbereichs notwendig wird. Das sind Situationen, in denen ernsthafte Risiken bestehen und Verletzungen oder Schäden drohen und die ein sofortiges und zielgerichtetes Eingreifen erfor-

dern, das über die Fähigkeiten der Mitarbeiter des Veranstalters hinausgeht.

Ein Notfall kann z.B. durch ein Feuer oder eine Explosion ausgelöst werden. Es kann sich auch um eine Bombendrohung, den Einsturz eines Bauwerks (Sitze, Bühne, Tribüne, Fahrgeschäfte, ...) handeln oder dem Austritt gefährlicher Stoffe (z.B. ein Leck in einer Gasleitung) oder unvorhergesehenes schlechtes Wetter (z.B. Hagel, Sturzregen, Überflutung, Sturm).

Die Bedeutung der Besucherleitung und -lenkung für die Notfallplanung liegt darin, dass Überfüllung und Gedränge zu Notfallsituationen führen kann. Beispiele sind die Überlastung von Absperrungen oder Barrieren, Brücken oder Übergängen oder das Verhalten des Publikums. Gleichzeitig erschweren Überfüllung und Gedränge den Einsatz der Hilfskräfte

Maßnahmen zur Bewältigung eines Notfalls

Die Maßnahmen hängen von den Ergebnissen der Risikobewertung und den Besprechungen mit Dritten ab:

- Sicherheits- und Ordnungsbehörden¹;
- Bauaufsicht und Feuerwehr;
- Rettungsdienste, Krankenhäuser, Sanitätsdienst (auf dem Gelände);
- Polizei;
- Eigentümer, Betreiber, Sicherheitsfirmen;
- Schausteller und Händler, die auf dem Gelände ausstellen oder verkaufen;
- Brandschutzplaner, Ingenieurbüros;
- andere Veranstalter in der Nähe;
- Nahverkehrsunternehmen.

Insbesondere andere Veranstalter und Nahverkehrsunternehmen

¹Ordnungsbehörde im Sinne des Ordnungsbehördengesetzes (OBG) ist der Hauptverwaltungsbeamte (HVB), also der Bürgermeister, Oberbürgermeister oder Landrat.

können von einem Notfall und der darauf folgenden Evakuierung unmittelbar betroffen sein.

In diesem Abschnitt werden die Aspekte der Notfallplanung und -maßnahmen behandelt, die mit der Besucherleitung und -lenkung zusammen hängen. Das dient der Verringerung der mit Überfüllung und Gedränge verbundenen Risiken. Eine generelle Behandlung des Themas *Notfallmaßnahmen* findet hier nicht statt. Informationen hierüber können anderen Quellen entnommen werden, z.B. (Gattermann, N. Waldau und Schreckenber, 2006; Widmer u. a., 2005).

Wichtig ist vor allem, dass schriftliche Notfallpläne vorliegen, die darlegen, wie in einem Notfall zu verfahren ist, wer welche Rollen einnimmt und wie die Verantwortlichkeiten geregelt sind. Kopien dieser Unterlagen müssen allen leitenden Mitarbeitern, Aufsichtspersonen, Ordnern und auch Außenstehenden (Sicherheits- und Rettungsdiensten, Ordnungsbehörde, Feuerwehr, Unterauftragnehmern, Schaustellern, Händlern) jederzeit und leicht zugänglich zur Verfügung stehen. Die vorgesehenen Maßnahmen müssen in Besprechungen erläutert und wiederholt werden. Sie sollten auch praktisch geübt werden. Das trägt dazu bei, dass sie im Notfall sicher und wirksam umgesetzt werden können. Grundlegende Maßnahmen und Verfahrensweisen sollten auf Taschenkarten gedruckt werden, die an alle Mitarbeiterinnen ausgegeben werden. Notfallmaßnahmen sollten alle in den folgenden Absätzen behandelten Punkte abdecken.

Informieren der Rettungsleitstelle

Legen Sie fest, wer diese Aufgabe übernimmt und wer sie dann übernimmt, wenn die hierzu bestimmten Personen abwesend sind. Diese Verantwortlichkeiten müssen klar geregelt werden.

Die Behörden müssen sobald wie möglich informiert werden. Im Falle einer Bombendrohung ist das unmittelbar nach Eingang der Drohung bzw. nach dem Auffinden eines verdächtigen

Gepäckstücks. Neben Feuerwehr und Polizei müssen ggf. auch die Stellen informiert werden, die für die Untersuchung eines Unfalls zuständig sind. Entsprechende Checklisten, die diese notwendigen Informationen und Adressaten abfragen, sollten alle verantwortlichen Mitarbeiter bei sich tragen. Zusätzlich sollten sie an Kontrollpunkten etc. hinterlegt werden. Der Inhalt dieser Checklisten sollte mindestens folgende Punkte umfassen:

- die genaue offizielle Adresse des Veranstaltungsorts;
- die Art des Notfalls, Unfalls oder Vorfalls und dessen Ausmaß, falls bekannt;
- die Zufahrtswege und den Anfahrtspunkt; der vorher festgelegte Anfahrtsweg und -punkt ist möglicherweise aufgrund der Umstände des Notfalls nicht mehr möglich;
- alle Informationen über Gefahren, insbesondere gelagerte Gefahrstoffe;
- die Information sollte systematisch an alle betroffenen Mitarbeiterinnen und Außenstehende weitergegeben werden; es muss klar sein, wer informiert wird und in welcher Reihenfolge.

Kommunikation mit den Mitarbeitern

Die Notfallmaßnahmen unterscheiden sich je nach Schwere des Ereignissen. Dies kann von der Übelkeit oder Verletzung einer Person bis hin zu einem Großschadensereignis reichen, das eine sofortige Räumung erfordert. Daher müssen bereits während der Planung Personen benannt werden, die autorisiert sind, die Veranstaltung abzubrechen. Da jeder Schritt auf dem Kommunikationsweg eine mögliche Quelle von Missverständnissen, Unterbrechungen oder Verzögerungen ist, sollten der Weg einer solchen Warnung möglichst kurz sein.

Stellen Sie sicher, dass es ein System für die Information der Mitarbeiter und derjenigen Außenstehenden gibt, die in die Notfallplanung eingebunden sind. Es muss klar sein, wer informiert

wird und in welcher Reihenfolge. Die Information muss zuerst an die Mitarbeiter gehen, so dass diese sich in Position bringen können. Erst dann sollte das Publikum informiert werden, so dass die Mitarbeiter und Ordner in der Lage sind, die plötzlich ansteigenden Personenströme zu lenken. Das kann entweder über Funk geschehen oder über entsprechende Codes, die über die ELA ausgegeben werden. Dieses Verfahren kann auch verwendet werden, um die Mitarbeiter und Ordner dazu aufzufordern, sich den Funksprüchen zuzuwenden, die Kontrollpunkte aufzusuchen oder die Leitzentrale über die interne Telekommunikation (Telefon) zu kontaktieren.

Der Inhalt dessen, was den Mitarbeitern gesagt wird, muss vorher festgelegt sein. Das kann z.B. folgende Punkte beinhalten: die Art des Notfalls, den Ort und das betroffene Gebiet, die Verfahren, die zu befolgen sind und Information darüber, welche Fluchtwege und Notausgänge benutzt werden sollen.

Kommunikation mit den betroffenen Besuchern

Es muss entschieden werden, was den Besuchern zur Information über den Notfall gesagt wird und wann. Ob alle Besucher der Veranstaltung zugleich angesprochen werden, hängt von der Art des Notfalls ab.

In der für sie unvertrauten Situation, können die Besucher leicht unsicher werden. Einige Besucher sind vielleicht besorgt, Freunde oder Verwandte zu finden. Oder sie rufen zu Hause an. Art und Inhalt der Durchsage können diese Sorgen ansprechen und das Verhalten der Besucher beeinflussen.

Kurze und klare Anweisungen sind hier besonders hilfreich. Sie sollten positiv formuliert sein, also z.B. „Nutzen Sie die Treppen!“ und nicht „Benutzen Sie nicht die Aufzüge!“. Die Durchsagen sollten höflich, bestimmt und ruhig sein. Es ist wichtig, dass die Information so vorgetragen wird, dass sie eine beruhigende Wirkung hat.

Das kann folgendermaßen geschehen:

- Durchsagen vom Band;
- gesprochene Durchsagen;
- Ansagen durch Ordner (mit Hilfe von Megaphonen);
- akkustische Alarmierung;
- Informationstafeln, Bidschirme, etc.

Der Inhalt kann u.a. folgendes sein:

- welche Ausgänge genutzt werden sollen und wo sie sich befinden;
- wo die Sammelstellen liegen;
- der Grund für die Anweisungen (z.B. „Um eine Überfüllung des Abschnitts A zu vermeiden, nutzen Sie bitte ...“);
- die Versicherung, dass ein evtl. Ausfall kompensiert wird, das heißt, dass der Eintrittspreis erstattet oder die Vorführung verschoben wird;
- wo sich die Treffpunkte für Menschen befinden, die sich aus den Augen verloren haben;
- die Verfügbarkeit von Toiletten und Telefonen außerhalb des Geländes;
- Information zu Verkehrsmitteln, Haltestellen und Fahrplänen.

Räumung

Die Besucher neigen dazu, das Gelände über die bekannten Ausgänge zu verlassen. Das kann dazu führen, dass diese überlastet sind. Daher sind klare Hinweise und eine Lenkung notwendig. Es muss sichergestellt werden, dass alle Ausgänge genutzt werden. Falls an einzelnen Ausgängen Gedränge entsteht, kann es notwendig werden, dort weitere Ordner einzusetzen.

Besucher mit Mobilitätseinschränkungen benötigen Hilfe im Falle einer Räumung. Dazu gehören, Erwachsene mit kleinen Kindern oder Kinderwagen, Menschen mit Behinderungen oder Verletzungen (Gehhilfen), usw. Diese Unterstützung hilft den

Betroffenen, verringert aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass es während der Räumung zu Behinderungen oder zu Gedränge kommt. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, Absperrungen zu errichten, Schilder aufzustellen und den Ordnungsdienst und die Polizei zu unterstützen, damit ankommende Besucher möglichst schnell informiert werden und wieder umkehren.

Falls es sich um ein unübersichtliches oder großes Veranstaltungsgelände handelt, oder falls die Ausgänge weit entfernt liegen, kann es sinnvoll sein, die Besucher dazu aufzufordern, sichere Bereiche auf dem Gelände aufzusuchen. Von dort aus können sie in Gruppen zu den Ausgängen weitergeleitet werden (Sammelphase und Räumungsphase).

Mitarbeiterinnen und Ordner benötigen klare Anweisungen für den Fall, dass Besucher den Anweisungen nicht Folge leisten wollen. Falls die Zeit es erlaubt, sollten die Ordner herausfinden, was der Grund ist. Die Besucher könnten einen Hinterungsgrund haben, der leicht zu klären ist, oder um ein verborgenes Problem wissen, z.B. einen blockierten Ausgang. Falls die Weigerung Einzelner die Sicherheit anderer Besucher gefährdet, sollte eine Abschnittsleiterin oder leitende Angestellte zu Hilfe gerufen werden. Falls akute Gefahr besteht, sollte hierauf jedoch keine Zeit verschwendet und zu wirksamen Maßnahmen gegriffen werden (Nothilfe).

Für die Rettungsdienste muss ein Anfahrtsweg freigehalten werden. Das verhindert, dass es zu einem Wettbewerb mit dem Abreiseverkehr oder anderem Verkehr kommt oder dass sich die Menschen, die das Gelände verlassen und anfahrende Rettungsfahrzeuge gegenseitig behindern.

Sammelstellen

Sichere Sammelstellen sind entscheidend für eine sichere Räumung. Stellen Sie sicher, dass es ausreichend viele und große Sammelbereiche gibt, die entsprechend beschildert sind. Sie müs-

sen von empfindlichen oder gefährdeten Bereichen weit genug entfernt sein. Das sind: Stellen an denen brennbare oder toxische Substanzen gelagert werden oder im Falle einer Bombendrohung auch Parkhäuser. Die Sammelstellen müssen auch im Veranstaltungsprogramm, auf den Karten des Geländes und auf Informations- und Übersichtsplänen leicht erkennbar eingezeichnet sein.

Die Menschen an den Sammelstellen müssen mit folgendem versorgt werden:

- Informationen über die Schließung von Parkhäusern, Verfügbarkeit von Toiletten, Telefonzellen, Treffpunkten, usw.;
- aktuelle und wiederholte Informationen darüber, was geschieht, was der Grund für die Räumung ist, welche Maßnahmen getroffen werden, ob und wann damit zu rechnen ist, dass das Gelände wieder geöffnet wird, ob die Veranstaltung fortgesetzt wird, usw.

Die Information kann über die Lautsprecheranlage durchgegeben werden. Sie kann aber auch durch Ordner oder Mitarbeiter (z.B. per Megaphon) durchgegeben werden. Das hilft den anderen Mitarbeiterinnen, ihrer Arbeit ohne häufige Unterbrechung durch informationssuchende Menschen nachzugehen.

Falls abzusehen ist, dass es durch die große Anzahl abreisender Besucher zu Verkehrsstauungen kommen kann, muss der Verkehr geleitet und gelenkt werden. Andernfalls kann er die Anfahrt von Einsatz- und Rettungsfahrzeugen behindern. Die Abreise muss dann in Phasen erfolgen.

Wieder öffnen der Veranstaltung

Hinsichtlich der Wiederöffnung sind folgende Punkte zu bedenken:

- Können die Besucher innerhalb kurzer Zeit sicher das Gelände wieder betreten?
- Wie werden sich die Besucher bei Schließung und Wieder-

Checkliste „Störungen“	
<p><i>Wurden alle möglichen Szenarien berücksichtigt, die die Veranstaltung stören oder beeinträchtigen könnten?</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wurden alle Beteiligten über die Planung für eventuelle Notfälle informiert? (städtische Behörden, Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste, Verkehrsbetriebe) • Wurden mögliche Unterbrechungen und Notfälle in der Risikobewertung berücksichtigt? • Sind Vorkehrungen für den Fall von Unter- 	<p>brechungen, Störungen oder Notfälle getroffen?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstehen die Mitarbeiterinnen und Angestellte von Dienstleistern die Vorkehrungen, Abläufe und vorgesehenen Maßnahmen? • Wurden die Abläufe eingeübt (trainiert) und in Besprechungen wiederholt und gefestigt? • Haben Sie Übungen (z.B. mit Puppen oder Attrappen) durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Vorkehrungen funktionieren?

Abbildung 4.5: Checkliste 05 - Störungen.

öffnung verhalten?

- Sind Transportmittel vorhanden, um die Besucher nach dem geplanten Ende der Veranstaltung nach Hause zu bringen?
- Erstattung von Eintrittskarten.

Das erneute Öffnen des Geländes muss nach vorher festgelegten Regeln ablaufen. Es gilt zu verhindern, dass durch die vielen Menschen, die schnell und gleichzeitig wieder auf das Gelände wollen, ein gefährliches Gedränge entsteht. Die Ordner müssen auf Position sein, bevor das Publikum das Veranstaltungsgelände wieder betritt. An Engstellen muss der Besucherstrom durch die Ordner so gelenkt werden, dass ein möglichst gleichmäßiger Strom entsteht oder dass sich geordnete Warteschlangen bilden.

4.2.2 Beobachtung der Besucherströme

Die Beobachtung der Besucherströme ist ein elementarer Baustein für die sichere Leitung und Lenkung. Hierdurch können Probleme wie Gedränge frühzeitig erkannt werden. Außerdem kann durch die Beobachtung sicher gestellt werden, dass die Sicherheitsvorkehrungen wie geplant funktionieren und greifen.

Effektive Überwachung kann helfen, Überfüllung zu vermeiden und längerfristige Maßnahmen zur Korrektur von Problemen,

die durch Fehlplanung, organisatorische Fehler oder die Wegeführung verursacht sind, zu korrigieren. Hierbei sind die folgenden drei Aspekte besonders wichtig:

- die Gesamtbesucherzahl, um zu verhindern, dass die Kapazität des Geländes überschritten wird;
- die Verteilung auf dem Gelände, um zu vermeiden, dass es zu lokaler Überfüllung kommt;
- die Erkennung möglicher Schwierigkeiten, um zu verhindern, dass es zu Auseinandersetzungen zwischen Besuchergruppen oder anderen Eskalationen kommt, die dann zu Gedränge und Überfüllung führen können.

Beobachtungsgebiete

Als Teil der Risikoanalyse wurden diejenigen Stellen identifiziert, die besonders anfällig für Überfüllung oder Gedränge sind. Diese müssen besonders beobachtet werden. Das könnten folgende Stellen sein:

- Ein- und Ausgänge;
- Stehplätze und -bereiche, dort kann es zu Wellenbewegungen oder Vorwärtsdrängen kommen;
- beliebte Stände, Attraktionen, Ausstellungen oder Imbissbuden (Verkaufsstände für Getränke und Speisen) o.ä.;
- Engstellen (z.B. Treppen, Rolltreppen, Aufzüge);
- Bereiche, in denen sich Besucher anstellen;
- umschlossene oder räumlich beschränkte Bereiche.

Hilfsmittel

Zählgeräte

Zählgeräte können dabei helfen, die Anzahl der Besucher bei der Veranstaltung oder auf dem Veranstaltungsgelände abzuschätzen. Die Zählgeräte müssen so eingerichtet werden, dass sie darüber Auskunft geben, wie schnell die Besucher zur Veranstaltung kommen (Fluss, siehe Kapitel 5 on page 177) und ob und wann damit zu rechnen ist, dass ein bestimmtes Gebiet (z.B. eine vorher fest-

gelegte Zone) voll ist.

Beispiele für Zählgeräte sind:

- Handzähler Diese können an Eingängen verwendet werden, um doppelte Zählungen auszuschließen;
- Ausgabe von Armbändern, um den Zugang zu bestimmten Bereichen, wie z.B. Stehbereiche bei Musikveranstaltungen, zu regeln. Die Überfüllung dieser Bereiche kann verhindert werden, indem nur eine beschränkte Anzahl von Armbändern ausgegeben wird;
- Drehkreuze, die mit automatischen Zählern verbunden sind; und
- Computergesteuerte oder -gestützte Systeme, die mit Sensoren an den Zugangspunkten verbunden sind.

Bei manchen Veranstaltungen kommen und gehen die Besucher während des gesamten Tages. Folgende Zählverfahren sind für Veranstaltungsgelände mit keiner klaren Begrenzung (z.B. Straßenfeste, Umzüge, Bahnhöfe, Einkaufszentren, etc.) geeignet.

- stichprobenartige Zählung an Ein- und Ausgängen um die Besucherzahl bei der Veranstaltung oder auf dem Gelände zu schätzen;
- Zählung von KfZ und Bussen, die zur Veranstaltung kommen und Zählung oder Schätzung der belegten Parkplätze und der Anzahl Personen pro PkW und Bus;
- Überwachungskameras oder Mitarbeiter an Punkten mit guter Übersicht können die Besucherströme beobachten und die Besucherzahl schätzen (sinnvoll ist die Markierung bestimmter definierter Flächen von einigen Quadratmetern, deren Belegung leicht und schnell gezählt werden und dann hochgerechnet werden kann);
- Schätzung der Besucherzahl auf der Grundlage des Vorverkaufs, Fahrplänen (Taktfrequenz) und Fahrkartenverkauf und der Erfahrungen aus früheren Veranstaltungen.

Ordner in der Menge

Ordner in der Menge sind in der Lage, die Stimmung aus erster Hand zu erfahren. Sie können die Gesichter der Besucher beobachten, Anzeichen von Stress und Anspannung erkennen. Ordner können außerdem vor Ort Unterstützung leisten, gefährliches Verhalten unterbinden (z.B. das Springen auf Stühle oder „crowd surfing“). Besucher können bereits durch die Anwesenheit des Ordnungsdienstes von solchen Verhaltensweisen abgehalten werden.

Wenn Beobachter an Stellen mit guter Übersicht aufgestellt werden, dann ist darauf zu achten, dass sie ein ausreichend großes Gebiet überblicken können und freie Sicht haben.

Die Beobachter können auch Rundgänge über das Gelände machen. Das ist dann angezeigt, wenn sich Gedränge und Überfüllung nur langsam an bestimmten Punkten entwickeln. Hier können bestimmte Kontrollbereiche, die in regelmäßigen überprüft werden müssen, zugeteilt werden.

Falls die Beobachtung der Besucherströme von Mitarbeitern durchgeführt wird, die gleichzeitig auch andere Aufgaben haben, wie z.B. die Kontrolle von Eintrittskarten, dann muss sicher gestellt sein, dass ausreichend Zeit für die erste Aufgabe zur Verfügung steht. Andernfalls, d.h., falls diese nicht möglich ist, sollten separate und zusätzliche Mitarbeiter für die Beobachtung der Besucherströme während der Stoßzeiten zur Verfügung stehen.

Videoüberwachung

Überwachungskameras können an einigen Stellen angebracht sein oder aber das gesamte Gelände überwachen. Im zweiten Fall werden diese meist ferngesteuert und verfügen über einen großen Zoom. Videoüberwachung ermöglicht den Überblick über Bereiche wie Eingänge, An- und Abfahrtswege und direkt vom Kontrollraum aus.

Solche Systeme können Informationen darüber liefern, wie sich die Personen auf das Gelände verteilen und sind hilfreich bei der Besucherleitung und -lenkung und der Koordinierung der entsprechenden Maßnahmen. Videoüberwachung ist besonders für solche Bereiche nützlich, die nur von mehreren Standpunkten aus einsehbar sind. Sie kann jedoch nicht die Lenkung durch Ordner vor Ort ersetzen und stellt eine Ergänzung eines gut organisierten Ordnungsdienstes dar.

Das System aus Kameras und Monitoren muss regelmäßig gewartet und seine Funktion überprüft werden. Für den Fall eines Stromausfalls muss es Alternativen geben. Für größere Veranstaltungen kann eine Notstromversorgung erforderlich sein.

Eine Kombination aus den verschiedenen beschriebenen Systemen bringt Vorteile mit sich. So kann z.B. eine Videoüberwachung an festen Standpunkten zusammen mit Beobachtern an ausgezeichneten Punkten und Ordnern, die regelmäßig über das Gelände gehen, die Sicherheit der Besucher am besten gewährleisten.

Schätzen der Besucherzahl

Für die Schätzung der Besucherzahl sind folgende Indikatoren nützlich:

- der Abstand zwischen den Personen;
- die Anzahl der Personen in einem kleinen Bereich (z.B. zwischen vier Säulen), die dann auf einen größeren Bereich hoch gerechnet werden kann;
- Flussrate in einen Bereich hinein oder aus diesem heraus (z.B. die Anzahl von Personen, die eine bestimmte markierte Stelle oder einen bestimmten Durchgang passieren);

Für das Erkennen von Veränderungen im Verhalten der Besucher sind folgende Anhaltspunkte hilfreich:

- Anzeichen von Stress oder Unruhe;
- Schieben, Drängeln und Stoßen; und

- Schreien oder andere Anzeichen für schlechte Stimmung oder Aufregung.

4.2.3 Kommunikation

Kommunikation und Überwachung sind die entscheidenden Maßnahmen während der Veranstaltung. Wenn alle Planungen abgeschlossen und Pläne erstellt und alle Vorkehrungen getroffen sind, dann wird durch eine effektive und klare Kommunikation und durch die Überwachung der Besucherströme und des Besucherverhaltens bei der Veranstaltung gewährleistet, dass die Besucher auf der Veranstaltung sicher sind und dass Störungen oder Beeinträchtigungen schnell und angemessen behoben werden.

Der Veranstalter und seine Mitarbeiter, sowie andere Mitarbeiter (z.B. von Subunternehmern, Fahrgeschäften, Schausteller, etc.) spielen hierbei eine entscheidende Rolle.

Kommunikation mit dem Publikum

Kontrolle und Orientierung sind ein Grundbedürfnis (siehe Abschnitt 1.1 on page 20). Wenn versäumt wird, die richtige Information frühzeitig an das Publikum zu geben, können die Besucher schnell unsicher werden. Zum Beispiel können sie stehen bleiben oder langsamer werden, um sich zu orientieren. Oder die Besucher ändern plötzlich die Richtung, weil sie nicht wissen, wohin genau sie gehen müssen. All das kann dazu führen, dass Besucherströme behindert werden oder dass es zu Gedränge kommt.

Personen, die Schwierigkeiten haben, an die notwendigen und gewünschten Informationen zu kommen, können schnell unzufrieden werden, sich enttäuscht fühlen oder gar aggressiv reagieren. Sie werden dann möglicherweise auch weniger kooperativ beim Befolgen von Anweisungen des Ordnungsdienstes sein.

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten (Kanäle) mit dem Publikum zu kommunizieren. Tabelle 4.3 on page 165 enthält eine Übersicht. Welche Möglichkeiten auch immer genutzt werden:

es muss sicher gestellt sein, dass die Kommunikationssysteme genaue, aktuelle und relevante Informationen weiter geben. Das heißt z.B., die Information, dass bestimmte Karten ausverkauft sind oder eine Attraktion vorübergehend geschlossen wird. Falls damit zu rechnen ist, dass es eine größere Gruppe von angehörigen einer bestimmten ethnischen Gruppe anwesend ist, dann müssen die Informationen auch in anderen Sprachen als Deutsch bereit gestellt werden.

Kommunikation ist entscheidend für die Besucherleitung und -lenkung:

- Besucher auffordern, alternative oder wenig benutzte Wege zu nutzen
- Hinweise auf wenig genutzte Ein- und Ausgänge
- Selektive Information für Besucher, die aus verschiedenen Richtungen kommen, um diese zu bestimmten Wegen, Ein- und Ausgängen zu leiten.

Die folgende Information sollte, falls möglich, den Besuchern im Voraus zur Verfügung stehen:

- Fahrpläne, Haltestellen, etc., sowie Treffpunkte, Hausordnung, Verbote und Regeln können auf die Eintrittskarten oder Faltblätter gedruckt werden;
- Informationstafeln an den Eingängen können die Besucher darüber informieren, welche Gegenstände, wie z.B. Eintrittskarten, sie bereit halten sollen. Das gilt auch für verbotene Gegenstände, die nicht mitgebracht werden dürfen. Dadurch können Stauungen und Wartezeiten beim Einlass verringert werden.
- Eine Pressemitteilung, Flugblätter oder Werbeanzeigen können die lokale Bevölkerung informieren.

Die Besucher müssen sofort informiert werden, wenn eine Veranstaltung verschoben wird oder es Verspätungen oder Stauungen im Verkehr gibt. Hierzu können Informationstafeln, Lautsprecher oder auch Megaphone genutzt werden. Hierzu gehören

auch Informationen darüber, welche Maßnahmen getroffen werden, um die Besucher zu unterstützen. Bei Abendveranstaltungen kann es ein, dass die Besucher anreisen, während es noch hell ist. Bei der Abreise in der Dunkelheit kann es ggf. zu Orientierungsschwierigkeiten kommen.

Stellen Sie sicher, dass alle Schilder, insbesondere diejenigen, die dem Brandschutz und der Evakuierung dienen, auch von Personen erkannt werden können, die nur eingeschränkt sehen können oder farbfahlsichtig sind. Gerade für diese Personen sind klare und gut verständliche Durchsagen wichtig. Personen mit Hörbehinderungen und eingeschränkter Hörfähigkeit sind auf die visuelle Information angewiesen. Diese muss klar und detailliert sein.

Interne Kommunikation

Vorfälle die mit Gedränge und der Bewegung von Menschenmengen zusammen hängen, können sehr schnell entstehen. Effektive Kommunikation ermöglicht es, darauf schnell und koordiniert zu reagieren.

Leitstelle

Der Informationsfluss muss der Mitarbeiter untereinander muss während des normalen Betriebs und in Notfallsituationen gewährleistet sein. Eine zentrale Leitstelle kann dabei helfen:

- ein Gesamtbild des Geländes zu gewinnen, z.B. zu der Anzahl der Besucher, Länge von Warteschlangen und ernste Vorfälle;
- die Maßnahmen und Aktivitäten des Ordnungsdienstes zu koordinieren; und
- die Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen, Sicherheits- und Wachdiensten und externen Beteiligten zu koordinieren.

Für kleine Veranstaltungen kann die Leitstelle aus dem Büro eines leitenden Mitarbeiters mit entsprechenden Kommunikationsein-

richtungen (Telefon und Funkgerät), den notwendigen Plänen und Verfahrensweisen bestehen. Bei einer Veranstaltung im Freien kann es sich z.B. um ein Zelt handeln. Für ein Straßenfest oder einen Umzug sollte eine „ausgezeichnete Stelle“ (z.B. der Beginn oder das Ende der Zugstrecke) gewählt werden, um dort eine Leitstelle einzurichten.

Tabelle 4.3: Kommunikation mit dem Publikum.

Art der Kommunikation	Bemerkung
Karten, Faltblätter, Poster, Werbemittel	Kann Informatin über Verkehrsmittel und den Zugang zum Gelände enthalten. Regeln und Verbote. Broschüren für Anwohner bei Umzügen: Parken, Empfehlungen für Ausweise.
Schilder	Ausreichend groß, klar lesbar und richtig positioniert. Das schließt Warnschilder ein („Rauchen verboten“, „Notausgang“, usw.) und Informationsschilder (z.B. Richtungshinweise, Lagepläne, Hausordnung).
Tafeln und elektronische Anzeigetafeln	Hier kann wichtige Information angezeigt werden: Verbot von Flaschen oder Dosen oder Rauchverbot. Verspätungen von Bussen oder Zügen, die Öffnung alternativer Eingänge oder die Hinweise für den Notfall können hier weiter gegeben werden.

Weiter auf der nächsten Seite

Art der Kommunikation	Bemerkung
Lautsprecheranlagen	Das System muss klar, hörbar und verständlich sein. Es kann benutzt werden, um die Besucher zu informieren, Anweisungen zu geben und zu leiten. Hierdurch kann der Ordnungsdienst entlastet werden, indem sich Nachfragen aufgrund von Verspätungen oder Änderungen erübrigen. Diejenige oder derjenige, der die Durchsagen macht, sollte eine beruhigende Stimme und Tonfall haben.
Direkte Ansprache	Eine gute Möglichkeit, spezifische Hilfestellung, Hinweise und Anweisungen an einzelne Besucher oder kleinere Besuchergruppen zu geben, ist die direkte Ansprache durch den Ordnungsdienst. Das gilt für den Normalbetrieb und für Notfallsituationen. Die Information sollte klar, deutlich und genau sein.
Informationsschalter	Hier können spezielle Fragen beantwortet, sowie Hilfe geleistet oder Wegbeschreibungen gegeben werden.
Regionale oder überregionale Radio-/TV-Sender	Auf diesem Weg können Anreisempfehlungen (z.B. bestimmte Routen) gegeben, Informationen über Änderungen des Ablaufs oder Veranstaltungsortes und kurzfristige Hinweise wie z.B. Unwetterwarnungen (für Veranstaltungen im Freien) bereit gestellt werden.

Eine große Veranstaltung wird dem gegenüber einen speziell eingerichteten Kontrollraum benötigen. Dort befinden sich dann

Monitore für Überwachungskameras, usw. Ein Kontroll- oder Lageraum ist insbesondere in Notfallsituationen hilfreich, um die Maßnahmen der Mitarbeiter, des Ordnungsdienstes und externer Hilfs- und Rettungsdienste zu koordinieren.

Falls eine häufige Kommunikation mit Außenstehenden, wie z.B. einem externen Ordnungsdienst, notwendig ist, sollte ein gemeinsamer Kontrollraum eingerichtet werden. Eine Alternative ist, zwei getrennte Räume in unmittelbarer Nähe einzurichten oder eine zwischen beiden Standleitung einzurichten.

Für die Lage und Einrichtung des Kontrollzentrums sollte folgendes beachtet werden:

- Abstand zu möglichen Gefahrenquellen oder Gebieten mit hohen Risiken;
- Der Zugang muss kontrolliert werden und sollte nur für ausgewiesene Personen möglich sein;
- Wenn mehrere elektrische Geräte vorhanden sind, muss entsprechend ein Feuerlöscher vorgehalten werden;
- Die Spiegelung natürlicher und künstlicher Lichtquellen auf Bildschirmen und Anzeigegeräten sollte soweit wie möglich verringert werden.
- Die Umgebungsgeräusche sollten soweit wie möglich reduziert werden, so dass eine ungestörte Kommunikation möglich ist;
- Alle erforderlichen Gegenstände und Hilfsmittel müssen leicht zugänglich und erreichbar sein;
- Ggf. sollte eine Notstromversorgung und redundante Kommunikations-, Überwachungs- und Beleuchtungssysteme eingerichtet werden;
- Für den Fall eines Ausfalls oder Notfalls sollte ein Ausweichraum identifiziert worden sein.

Kommunikationswege

Für öffentliche Veranstaltungen sind vielfältige Kommunikationswege verfügbar. Diese reichen von einfacher mündlicher Kommunikation bis hin zu Funk- und Telekommunikationsanlagen. Beispiele sind in Tabelle 4.4 on the facing page. Die Systeme müssen so ausgewählt werden, dass sie für die Art der Veranstaltung geeignet sind. Sie müssen eine klare Kommunikation ermöglichen und effektiv und zuverlässig funktionieren. Die Kommunikationssysteme müssen regelmäßig überprüft und getestet werden.

Während der Veranstaltung müssen auch die Systeme beobachtet und überwacht werden, einschließlich der einfachen mündlichen Kommunikationswege. So kann z.B. der technische Leiter oder Verantwortliche für Veranstaltungstechnik mit einem Funkgerät ausgerüstet werden, dass während der Veranstaltung bzw. während der Dienstzeit angeschaltet bleibt.

Für den möglichen Ausfall elektronischer Kommunikationsgeräte und -anlagen sollten Vorkehrungen getroffen werden. Das kann folgendes beinhalten:

- Ersatzgeräte, Mobiltelefone oder Funkgeräte;
- Megaphone, falls die ELA ausfällt;
- bei größeren Veranstaltungen eine Notstromversorgung für die ELA.

Tabelle 4.4: Kommunikationswege bei öffentlichen Veranstaltungen.

Kommunikationswege	Wie er genutzt werden kann
Besprechungen, Nachbesprechungen	Informationen über die Sicherheit des Publikums, Notfallmaßnahmen, Besucherleitung und -lenkung vor der Veranstaltung bereit stellen. Nach der Veranstaltung können mit Hilfe von Rückmeldungen und Kommentaren Erkenntnisse und Beobachtungen zum Betrieb und ggf. zu Evakuierungsmaßnahmen gesammelt werden.
Zuruf, Handsignale	Wenn Mitarbeiter sich gegenseitig sehen können bzw. bei lauten Umgebungsgereuschen
Elektrische Lautsprecheranlage (ELA)	Neben der Möglichkeit, das Publikum anzusprechen, können hierüber auch Durchsagen gemacht werden oder es können verschlüsselte Hinweise an die Mitarbeiter und den Ordnungsdienst gegeben werden.
Telefon	Wenn Mitarbeiter an festen Punkten stationiert sind (z.B. Drehkreuze) oder für die Kommunikation im Notfall (z.B. an Notausgängen) eignen sich auch Telefone. Ebenso können Telefone für die regelmäßige Rückmeldung (z.B. bei Rundgängen) genutzt werden.

Weiter auf der nächsten Seite

Kommunikationswege	Wie er genutzt werden kann
Funkgeräte / Mobiltelefone	Wenn das Einsatzgebiet groß ist, wenn eine genau Koordinierung oder die schnelle Kommunikation mit anderen Kollegen oder Leitstellen erforderlich ist, können Mobiltelefone oder Funkgeräte eingesetzt werden.

Kommunikationsverfahren

Es müssen klare Verfahrens- und Vorgehensweisen für die Kommunikation vorhanden sein: Welche Information wird

- wann, (Anlass)
- von wem, (Sender)
- an wen, (Empfänger)
- auf welchem Weg (Kanal)

weiter gegeben. Hierz sollten entsprechende Verfahrensanleitungen niedergeschrieben werden. Für einen Funkspruch bedeutet das:

- Wer ruft?
- Was ist der aktuelle Standort?
- Die Nachricht
- Bestätigung (Wiederholung) der Nachricht

Damit keine Verwirrung über die Bezeichnung von Örtlichkeiten auf dem Gelände auftritt, sollten diese klar benannt oder nummeriert werden. Hierzu kann für größere Gelände im Freien ein Rater mit Zahlen und Buchstaben verwendet werden. Daraus ergeben sich dann Zonen von z.B. A1 bis Z30. Um sicherzustellen, dass alle Kommunikationsaufgaben effektiv ausgeführt werden, können entsprechende Checklisten vorbereitet werden. Eine Checkliste für den Notfall gibt vor, wer in welcher Reihenfolge kontaktiert werden muss.

Einige Kommunikationswege sollten wichtigen Fällen und

Aufgaben vorbehalten sein. Das bedeutet, dass ein Funkkanal nur für den Sanitätsdienst oder Sicherheitswachdienst reserviert ist.

Bei einer Veranstaltung mit vielen Beteiligten wie einem Umzug oder Straßenfest sollten standardisierte Funksprüche und Nachrichten verwendet werden. Das gilt für den Ordnungsdienst wie auch die Ansprache der Besucher. Hierdurch werden Missverständnisse und widersprüchliche Informationen und Anweisungen vermieden.

Kommunikation mit Dritten

Entscheiden Sie, wer bei Notfällen oder in anderen Situationen, die rasches Handeln erfordern, für die Koordination verantwortlich ist. Das gilt insbesondere für die Aufgabe, die Sicherheitsbehörden, andere Veranstaltungen in der Nähe, die Verkehrsbetriebe und andere Außenstehende zu informieren. Falls spezielle Vorkehrungen für den Personentransport getroffen werden müssen, halten Sie während der Planung und Veranstaltung ständigen Kontakt zu den entsprechenden Anbietern, der Polizei und den Verkehrsbehörden.

Die Verkehrslage kann die Pläne der Besucher für An- und Abreise beeinflussen. Bleiben Sie in Kontakt mit der Polizei oder Automobilverbänden, um aktuelle Informationen zur Verkehrslage zu erhalten.

Stellen Sie sicher, dass eine reibungslose Kommunikation mit Bahn, Bus und Straßen- oder U-Bahn-Betreibern vorhanden ist (z.B. eine Standleitung per Telefon). Falls z.B. Züge verspätet sind, sollte das den Besuchern mitgeteilt werden. Falls Ihre Veranstaltung den An- und Abreiseverkehr anderer Veranstaltungen beeinflusst, stellen Sie sicher, dass die anderen Veranstalter hierüber Kenntnis haben.

4.3 Nachbereitung

Die Vorbereitungen, Vorkehrungen und Maßnahmen während der Veranstaltung müssen ausgewertet und dokumentiert werden. Das dient der Verbesserung der Planung, der Sicherstellung der Effektivität von Vorkehrungen und der Überprüfung von Maßnahmen für den Notfall.

Die Auswertung kann sich entweder auf ein bestimmtes Ereignis (ein Fußballspiel, ein Straßenfest) oder aber auf einen bestimmten Zeitraum beziehen (bei einem Konferenz-Zentrum, einem Einkaufszentrum oder einem Bahnhof).

Die Auswertung kann dazu beitragen, Bereiche zu erkennen, die geändert werden müssen. Das gilt auch für die möglicherweise geänderten Bedürfnisse der Besucher. Auf diese Weise können auch Verbesserungsmöglichkeiten erkannt werden, die die Wettbewerbsfähigkeit des Veranstaltungsortes erhöhen. Die Struktur der Auswertung kann den Abschnitten und Unterabschnitten in diesem Kapitel folgen.

4.3.1 Ziele

Die Ziele der Auswertung und Dokumentation sind:

- Die Mitarbeiter zu beteiligen und sie zu ermuntern, ihre Erfahrungen und Besorgnisse einzubringen und zu diskutieren;
- Änderungen der Veranstaltung zu erkennen und dafür Sorge zu tragen, dass berücksichtigt werden, z.B. die Personalstruktur, die Art und Zusammensetzung des Publikums, zeitlich befristete Veränderungen durch Bauarbeiten und Umbaumaßnahmen, usw.;
- Die Gründe für evtl. Schwierigkeiten, Vorfälle oder Unfälle zu identifizieren, die während einer Veranstaltung auf dem Gelände vorgefallen sind. Das bezieht sich auch auf solche Vorfälle, die zu Verletzungen oder Schäden hätten führen können („Beinahe-Unfälle“);

- Möglichkeiten zur Verbesserung der Besuchersicherheit zu finden;
- Rückmeldungen von denjenigen zu erhalten, die an der Durchführung der Veranstaltung oder dem Betrieb der Veranstaltungstätte beteiligt sind.

Die Schlussfolgerungen oder wichtigsten Punkte der Auswertung, sowie die Erfolge und Fehler sollten für alle Teilnehmerinnen zusammengefasst werden. Das ist hilfreich, um diese zu motivieren, die gefundenen Verbesserungsmöglichkeiten umzusetzen.

4.3.2 Zeitpunkt

Die Auswertung sollte sobald wie möglich nach der Veranstaltung stattfinden. Dann sind die Erinnerungen und Eindrücke noch im Gedächtnis.

Falls viele der Mitarbeiterinnen kurz nach der Veranstaltung gehen, kann unmittelbar nach der Veranstaltung eine schnelle und kurze Nachbesprechung stattfinden. Der Bericht über diese Kurzbesprechung kann dann Teil einer späteren umfangreichen Nachbesprechung sein. Manche Veranstalter führen unmittelbar am Ende der Veranstaltung eine kurze Abschlussbesprechung durch. Die Punkte, die dabei zur Sprache kommen, fließen dann in die Vorbereitung der nächsten Veranstaltung ein. Die Pläne und Verfahren werden dementsprechend überarbeitet.

Welche Art der Nachbereitung auch immer gewählt wird: es sollte vor Beginn der Veranstaltung festgelegt sein, wann und wie die Nachbesprechung durchgeführt wird. Die Art des Umgangs mit Kritik bzw. Mängeln kann ebenfalls zu diesem Zeitpunkt bereits festgelegt werden. Für Veranstaltungsorte bzw. Versammlungs- oder Verkaufsstätten, die regelmäßig genutzt werden, wie z.B. Einkaufszentren, sollten regelmäßige Besprechungen zur Besuchersicherheit und zur Besucherleitung und -lenkung stattfinden, z.B. monatlich, quartalsweise oder ggf. jährlich. Auf

jeden Fall sollte immer dann, wenn ein Vorfall oder Unfall registriert wurde, eine entsprechende Nachbereitung, Auswertung und Dokumentation (einschließlich verbesserter Vorkehrungen und Maßnahmen) stattfinden. Das gleiche gilt, wenn Veränderungen in der Architektur oder im Ablauf geplant sind.

4.3.3 Inhalt

Teilnehmerinnen

Alle Beteiligten an der Veranstaltung sollten auch an der Nachbesprechung teilnehmen. Wenn möglich, sollten diejenigen Vertreter der Unternehmen, Behörden und Organisationen teilnehmen, die den besten Überblick über den Ablauf und alle Aspekte der Veranstaltung haben.

Eine Vorbereitung der eigenen Mitarbeiterinnen, die an der Nachbesprechung und Rückschau teilnehmen, kann deren Effektivität verbessern. Für eine große Veranstaltung kann es sinnvoll sein, mehrere Gruppen zu bilden, deren Ergebnisse dann in einem weiteren Schritt zusammen getragen werden.

Informationsquellen

Die verschiedenen Möglichkeiten, welche Punkte in der Nachbereitung aufgegriffen werden sollten, sind unten aufgelistet. Das Vorgehen sollte regelmäßig überprüft und ggf. auf den neuesten Stand gebracht werden.

- Kurzbesprechung nach der Veranstaltung; falls die Veranstaltung über mehrere Tage geht, können auch die Aufzeichnungen von Mitarbeiterbesprechungen und die dort gemachten Kommentare und Mitteilungen genutzt werden;
- ein Berichtssystem ermöglicht es, die Vorschläge von Mitarbeiterinnen und Besucherinnen aufzuzeichnen;
- ein solches Berichtssystem lässt sich auch für die Erfassung von Vorfällen, Beinahe-Unfällen und Servicemängeln einrichten;

- Sicherheitsinspektionen und Inspektionen des Arbeitsschutzes durch eigene Angestellte oder externe Inspektoren. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:
- Die Wirksamkeit der Pläne, der Risikobewertung, Vorkehrungen, Maßnahmen und Verfahrensweisen. Das kann z.B. heißen: Wie gut hat die neue Verfahrensweise zur Weitergabe von Informationen der Ordner an die Abschnittsleiter und deren Reaktion auf eine Anfrage funktioniert?. Oder: haben die neuen Absperrungen ihren Zweck erfüllt?;
- Hinweise auf Probleme, z.B. Stellen, an denen es Gedränge gab, plötzliche Bewegung von Menschenmassen, Beschwerden des Publikums. Für jeden Vorfall muss der nächstliegende Grund und der mittelbare Grund festgestellt werden.

Nach der Nachbesprechung

Auf der Grundlage der gesammelten Informationen, kann eine Nachbesprechung und Nachbereitung helfen, die Vorkehrungen und Maßnahmen für die Besuchersicherheit zu bewerten. Es kann sowohl notwendig sein, die Vorkehrungen und Maßnahmen zu verbessern, als auch eine Neubewertung der Risiken vorzunehmen. In jedem Fall muss festgelegt werden, wer für eine einzelne Maßnahme verantwortlich ist, wann sie als erfolgreich abgeschlossen gilt und wer das kontrolliert und bis wann sie umgesetzt werden soll.

Für die zukünftigen Planungen müssen die Nachbesprechung und Nachbereitung dokumentiert werden. Insbesondere dann, wenn die verantwortlichen Mitarbeiterinnen wechseln, ist diese Dokumentation ein entscheidender Baustein der Qualitätssicherung.



5. Berechnungsverfahren

In diesem Kapitel geht es um die mathematischen Verfahren zur Berechnung der Bewegung von Menschen. Dazu wird zunächst ein einfaches Berechnungsverfahren, die sogenannte Kapazitätsanalyse vorgestellt. Dieses lässt sich sowohl für Räumungszeitberechnungen als auch für die generelle Berechnung von Dauern, z.B. für den Einlass bei einer Veranstaltung, für Fahrgastwechsel oder Pendlerströme am Bahnhof einsetzen. In den weiteren Abschnitten werden komplexere „Handrechenverfahren“ (die für die Ausführung mit Papier und Bleistift, erweitert um Hilfsmittel wie Tabellenkalkulationsprogramm oder Taschenrechner gedacht sind) und Simulationsverfahren vorgestellt. Zwar lassen sich auch Simulationsverfahren im Prinzip „per Hand“ berechnen, indem man die einzelnen Schritte durchführt. Doch ist dies praktisch

unmöglich, so dass für die Simulationsmodelle ein Computerprogramm erforderlich ist. Abschließend wird dargestellt, wie die Eingabeparameter für die Berechnungs- und Simulationsverfahren bestimmt und dokumentiert werden können.

5.1 Einfache Berechnungsverfahren

5.1.1 Kapazitätsanalyse

Das einfachste Berechnungsverfahren, das eine schnelle Abschätzung von Räumungszeiten ermöglicht, ist eine Kapazitätsanalyse, auch bekannt als „Fluss durch die Tür“-Verfahren. Das Verfahren wurde unter anderem in Seyfried und Holl, 2009 vorgestellt.

Zuerst ist der Personenfluss¹ F durch eine Tür zu ermitteln (aus eigenen Erfahrungswerten) oder ein vorgegebener Wert anzunehmen. Ist der spezifische Personenfluss f bekannt, so kann der Personenfluss F wie folgt berechnet werden:

$$F = f \cdot b \quad (5.1)$$

Dabei werden die folgenden Größen verwendet:

$$F : \text{(gesamter) Personenfluss in P/s} \quad (5.2)$$

$$f : \text{spezifischer Personenfluss in P/(m} \cdot \text{s)} \quad (5.3)$$

$$b : \text{Breite der Tür (oder aller Türen insgesamt) in m} \quad (5.4)$$

Hierbei ist anzunehmen, dass der Personenfluss F linear ansteigt, d.h. eine Staffelung von Türbreiten wie in der Musterversammlungsstättenverordnung *Musterverordnung über den Bau*

¹Der maximal mögliche Personenfluss durch eine oder mehrere Türen wird auch als Kapazität der Tür(en) bezeichnet, hierdurch ergibt sich der Name *Kapazitätsanalyse*.

und Betrieb von Versammlungsstätten: MVStättV 2005 wird nicht angenommen. Der Fluss nimmt linear (und kontinuierlich) mit der Breite zu. Dieser Sachverhalt ist durch zahlreiche Experimente belegt Kretz, 2007; Rupperecht, 2006, wird jedoch seit mehr als 100 Jahren kontrovers diskutiert Fischer, 1933 Dieckmann, 1911.

Ist der Personenstrom F bekannt, so kann die Räumungszeit $t_{\text{Räumung}}$ berechnet werden:

$$t_{\text{Räumung}} = \frac{N}{F} \quad (5.5)$$

Dabei haben die Symbole folgende Bedeutung:

$t_{\text{Räumung}}$: Räumungszeit

N : Anzahl der Personen

Bei der Berechnung der Räumungszeit $t_{\text{Räumung}}$ wird davon ausgegangen, dass der Laufweg bis zum Erreichen der Tür eine untergeordnete Rolle spielt, er wurde deshalb vernachlässigt. Anders ausgedrückt heißt dies, dass die Personen bei Beginn der Räumung schon an der Notausgangstür stehen. Soll nun bei weitläufigeren Gebäuden oder Anlagen zusätzlich der Laufweg bis zur Tür berücksichtigt werden, so ist hierzu die Hilfe eines Fundamentaldiagramms notwendig. Das Fundamentaldiagramm zeigt auf, wie schnell Personen sich bewegen, abhängig von der sie umgebenden Dichte D . Die Dichte D in P/m^2 gibt an, wie viele Personen sich auf einer bestimmten Fläche stehen. Befinden sich bspw. 300 Personen auf einer Fläche von 100m^2 , so beträgt die Dichte $D \approx 3 \text{ P}/\text{m}^2$. Aus einem vorgegebenen Fundamentaldiagramm, das bekannteste ist das Fundamentaldiagramm nach Weidmann (1993), kann die Laufgeschwindigkeit v bei vorgegebener Dichte D abgelesen werden. Die Zeit berechnet sich nach:

$$t_{\text{Weg}} = \frac{v}{s} \quad (5.6)$$

mit

$$t_{\text{Weg}} : \text{Zeit bis zum Erreichen des Ausgangs in } s \quad (5.7)$$

$$v : \text{Laufgeschwindigkeit - dichteabhängig - in } m/s \quad (5.8)$$

$$s : \text{Wegstrecke bis zum Ausgang in } m \quad (5.9)$$

Bei der Wegstrecke ist hierbei eine der Situation entsprechende Wegstrecke zu wählen die die Personen im Mittel zurücklegen bis sie den Ausgang erreichen. Um das Verfahren dichteunabhängig zu gestalten, kann auch bei der Laufgeschwindigkeit v die freie Laufgeschwindigkeit der Personen eingesetzt werden, im Mittel beträgt diese ca. 1,34 m/s, dies ist jedoch ein grober Richtwert, der entsprechend nach oben oder unten abweichen kann, so laufen bspw. jüngere Personen im Mittel schneller als ältere Personen. Die Annahme der freien Laufgeschwindigkeit beruht auf der Annahme, dass Personen die sich am Anfang des Personenstroms befinden, nicht durch andere Personen beeinflusst werden und somit sich frei fortbewegen können. Der Unterschied freie Laufgeschwindigkeit - dichteabhängige Laufgeschwindigkeit spielt jedoch eine untergeordnete Rolle in der gesamten Berechnung, da die Personen die meiste Zeit im „Stau vor der Tür“ verbringen als mit dem Zurücklegen des Laufweges zur Tür; somit kann die vereinfachte Annahme der freien Laufgeschwindigkeit v mit 1,34 m/s als gerechtfertigt angesehen werden.

Wurde nun die Zeit bis zum Erreichen des Ausgangs t_{Laufweg} ermittelt, so kann diese zur Räumungszeit t_{Evak} addiert werden, so dass die Gesamtträumungszeit t_{Gesamt} .

$$t_{\text{Bewegung}} = t_{\text{Fluss}} + t_{\text{Laufweg}} \quad (5.10)$$

mit

$$t_{\text{Bewegung}} : \text{Zeit für die Bewegung} \quad (5.11)$$

$$t_{\text{Fluss}} : \text{Flusszeit (Wartezeit)} \quad (5.12)$$

$$t_{\text{Lauf}} : \text{Laufzeit (ohne Warten)} \quad (5.13)$$

Die so ermittelte gesamte Bewegungszeit t_{Bewegung} gibt nun einen ungefähren Schätzwert an, in dem die Personen die zu untersuchenden Umgebung verlassen haben. Durch Umstellen der oben aufgeführten Gleichungen 5.1, 5.5, 5.6 und 5.10 kann ebenfalls berechnet werden wie viele Personen sich in einer Umgebung aufhalten dürfen, wenn diese in einer bestimmten Zeit geräumt werden soll, bspw. „wie viele Personen dürfen sich in der Halle X aufhalten, wenn diese innerhalb von 5 Minuten geräumt sein soll.“

5.1.2 Flussgleichung

5.2 Simulationsverfahren

In den vergangenen beiden Jahrzehnten hat das Gebiet der Fußgängerdynamik immer weiter an Bedeutung gewonnen. Dies rührt vor allem vom enormen Zuwachs der Stadtbevölkerung, des Massentransits und der Massenveranstaltungen her. Dementsprechend wurden eine ganze Reihe von Simulationsprogrammen für die Berechnung von Personenströmen entwickelt *Benutzerhandbuch Aseri, Version 4.6* 2008; Galea u. a., 2004; Kemloh Wagoum und Seyfried, 2011; Korhonen u. a., 2010; *Handbuch PedGo 2, PedGo Editor 2* 2005; *Simulex User Guide, Virtual Environment 5.9* 2011 bzw. adaptiert Raney und Nagel, 2006.

Im Sinne des heutigen Standes der Technik werden zur Berechnung von Evakuierungszeiten für Gebäude hauptsächlich mikroskopische Modelle verwendet. Mikroskopisch bedeutet hierbei, dass jede einzelne Person innerhalb eines Gebäudes modelliert wird, je nach Modell hat die entsprechende Person indi-

viduelle Parameter, die sie von anderen modellierten Personen unterscheidet. Mögliche Parameter sind beispielsweise

- freie Gehgeschwindigkeit (Wunschgeschwindigkeit),
- Reaktionszeit,
- Körpergröße,
- Gewicht,
- Alter und
- zu erreichendes Ziel.

Da die Parameter modellspezifisch sind, gibt es Modelle mit mehr oder weniger Parametern, eine Beschränkung besteht grundsätzlich nicht.

Andreas Schadschneider u. a., 2009.

Bei den mikroskopischen Modellen wird zwischen

- kontinuierlichen und
- diskreten

Modellen unterschieden. *Kontinuierlich* bedeutet hierbei, dass die modellierten Personen prinzipiell jede Position im Raum erreichen können, solange es beispielsweise die Körpergröße zulässt. *Diskret* dagegen bedeutet, dass die zu untersuchenden Gebäude oder Flächen in diskrete Flächen eingeteilt werden, meist handelt es sich hierbei um quadratische Zellen der Größe 40×40 cm. Personen bewegen sich in diesem Fall von Zelle zu Zelle, Positionen zwischen den einzelnen Zellen können nicht erreicht werden

5.2.1 Kontinuierliche Modelle

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei kontinuierlichen Modellen um Modelle, in denen jede modellierte Person jeden Punkt in einem Raum erreichen kann, solange dies nicht von anderen Faktoren wie beispielsweise Körperumfang eingeschränkt wird. Bei den kontinuierlichen Modellen gibt es sogenannte *regelbasierte* Modelle und sogenannte *kraftbasierte* Modelle. *Regelbasierte* Modelle basieren hierbei auf einer Grundlage von Regeln, bei-

spielsweise „wenn Abstand zur vorne laufenden Person $<$ Grenzwert, starte Überholvorgang“. Diese einzelnen Regeln sind recht starr, jedoch spiegeln sie je nach Detaillierungsgrad recht gut die Realität wieder. *Kraftbasierte* Modelle hingegen benutzen einen physikalischen Ansatz wie beispielsweise Magnetkräfte, um die Personen durch einen Raum zu bewegen. Hierzu werden einzelne Theorien der Physik im Hinblick auf Fußgängerdynamik modifiziert und angewandt. Im Gegensatz zu den *regelbasierten* Modellen werden hier keine „Aktionen“ wie Überholvorgänge durch Grenzwerte ausgelöst, sie ergeben sich vielmehr automatisch durch Lösung der zugrunde liegenden Gleichungen. Eines der bekanntesten *kraftbasierten* Modelle ist das Social Force Modell D. Helbing, 1991; D. Helbing, 1997; D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000; D. Helbing und Johansson, 2009; D. Helbing und Molnár, 1995; D. Helbing und T. Vicsek, 1999; Molnar, 1995, das im Folgenden vorgestellt wird. Ein *regelbasiertes* Modell ist beispielsweise das Programm Simulex P. Thompson, 1997; P.A. Thompson und E. Marchant, 1994; P. A. Thompson und E. W. Marchant, 1995, dessen Grundlagen werden hier jedoch nicht näher erläutert.

Social Force Modell

Das von Helbing et al. D. Helbing, 1991; D. Helbing, 1997; D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000; D. Helbing und Johansson, 2009; D. Helbing und Molnár, 1995; D. Helbing und T. Vicsek, 1999; Molnar, 1995 entwickelte Social Force Modell ist ein raumkontinuierliches Modell, das auf der Annahme basiert, dass Personen durch sogenannte „soziale Kräfte“ und „physische Kräfte“ sich ihren Weg durch ein Gebäude oder eine Menschenmenge suchen, wie beispielsweise auf Weihnachtsmärkten oder im Winter- bzw. Sommerschlussverkauf. Das hier vorgestellte Modell entspricht den Vorgaben in D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000.

Die Grundannahme des Modells besteht darin, dass aus der Anzahl der vorhandenen Personen N eine Person i mit der Masse m_i sich mit ihrer Wunschgeschwindigkeit v_i^0 in eine bestimmte Richtung \mathbf{e}_i^0 bewegt, beispielsweise Richtung Ausgang. Um ihre Wunschgeschwindigkeit und -richtung zu erreichen, versucht die Person ihre aktuelle Richtung und Geschwindigkeit \mathbf{v}_i innerhalb einer charakteristischen Zeit τ_i anzupassen. Diese Zeit kann auch als Zeitschrittweite des Modells angesehen werden, nach der die nächste „Bewegung“ der Person berechnet wird. Gleichzeitig versucht die entsprechende Person von anderen Personen und Wänden einen geschwindigkeitsabhängigen Abstand bewahren. Verglichen mit der Realität bedeutet dies, dass schneller laufende Personen einen größeren Abstand zum Vordermann halten als langsam gehende Personen, dies gilt ebenfalls für den Abstand zur Wand. Diese beiden Kräfte werden von Helbing et al. D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000 als „interaction forces (interagierende Kräfte)“ \mathbf{f}_{ij} für Kräfte zwischen Personen und \mathbf{f}_{iW} für Wände bezeichnet. Somit kann die Geschwindigkeitsänderung mit Hilfe der Beschleunigungsgleichung wie folgt beschrieben werden:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij} + \sum_W \mathbf{f}_{iW} . \quad (5.14)$$

Die Änderung der Position $\mathbf{r}_i(t)$ ist durch den Geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}_i(t) = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt}$ gegeben.

Die psychologisch bedingte Tendenz zweier Personen i und j sich „nicht zu nahe zu kommen“ wird durch die sogenannte „interaction force“

$$\left[A_i e^{\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}} \right] \mathbf{n}_{ij} \quad (5.15)$$

wiedergegeben; A_i und B_i sind hierbei frei wählbare Konstanten. Der Abstand zwischen den Körpermittelpunkten der Personen i und j wird durch $d_{ij} = \|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j\|$ wiedergegeben, $\mathbf{n}_{ij} =$

$\begin{pmatrix} n_{ij}^1 \\ n_{ij}^2 \end{pmatrix} = \frac{(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)}{d_{ij}}$ ist der normalisierte Vektor, der von Person j zu Person i zeigt. Beide Personen berühren einander, sobald der Wert von d_{ij} kleiner ist als die Summe der beiden Körperradien r_i und r_j , d. h. $r_{ij} = (r_i + r_j) > d_{ij}$. In diesem Fall treten zwei weitere Kräfte auf: die sogenannte „body force (Körperkraft)“, die als $k(r_{ij} - d_{ij})\mathbf{n}_{ij}$ definiert ist und damit die Verformung der Körper wiedergibt und die sogenannte „sliding force (Gleitkraft)“ $\kappa(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij}$, welche eine tangentielle Bewegung verhindert, falls die Person i näher an die Person j gerät. Hierbei ist $\mathbf{t}_{ij} = \begin{pmatrix} -n_{ij}^2 \\ n_{ij}^1 \end{pmatrix}$ die tangentielle Richtung und $\Delta v_{ji}^t = (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i) \cdot \mathbf{t}_{ij}$ die tangentielle Geschwindigkeitsdifferenz, die Faktoren k und κ sind hierbei große empirische Konstanten. Werden diese Kräfte nun zu einer Formel zusammengefasst, so ergibt sich

$$\mathbf{f}_{ij} = \left[A_i e^{\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}} + kg(r_{ij} - d_{ij}) \right] \mathbf{n}_{ij} + \kappa g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij} . \quad (5.16)$$

Es ist zu beachten, dass die Funktion $g(x) = 0$ sobald sich die Personen nicht mehr berühren, d. h. $d_{ij} > r_{ij}$. Findet eine Berührung statt, so erhält die Funktion den Wert des Arguments, also $r_{ij} - d_{ij}$.

Die Annahmen, die für den Abstand zwischen zwei Personen gemacht wurden, gelten sinngemäß auch für den Abstand zu Wänden W . d_{iW} ist der Abstand zur Wand, \mathbf{n}_{iW} die Richtung rechtwinklig (senkrecht) zur Wand und \mathbf{t}_{iW} die tangentielle Richtung dazu. Somit ergibt sich für den Einfluss der Wände folgende Kraft:

$$\mathbf{f}_{iW} = \left[A_i e^{\frac{r_i - d_{iW}}{B_i}} + kg(r_i - d_{iW}) \right] \mathbf{n}_{iW} - \kappa g(r_i - d_{iW}) (\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{t}_{iW}) \mathbf{t}_{iW} . \quad (5.17)$$

Helbing et al. geben in ihrer Veröffentlichung D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000 folgende Werte für die Parameter an:

$$m_i = 80\text{kg} \text{ (Masse eines durchschnittlichen Fußballfans)} \quad (5.18)$$

$$\tau_i = 0,5\text{s} \quad (5.19)$$

$$A_i = 2 \cdot 10^3\text{N} \quad (5.20)$$

$$B_i = 0,08 \quad (5.21)$$

$$k = 1,2 \cdot 10^5 \text{kgs}^{-2} \quad (5.22)$$

$$\kappa = 2,4 \cdot 10^5 \text{kgm}^{-1} \text{s}^{-1} \quad (5.23)$$

$$2r_i : \text{gleichverteilt im Intervall}[0,5\text{m}, 0,7\text{m}] \quad (5.24)$$

Zusätzlich kann zu den Kräften ein Fluktuationsparameter ξ addiert werden sowie Parameter zum Gruppenverhalten, so dass die entsprechende Person auch anderen Personen folgt. Diese Parameter werden hier jedoch nicht weiter diskutiert, weitere Informationen können z. B. aus Apel, 2004; D. Helbing und Molnár, 1995 entnommen werden.

Eine eher umgangssprachlich vereinfachte Formulierung des Modells lautet:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{f}_i^{(pers)} + \mathbf{f}_i^{(soc)} + \mathbf{f}_i^{(phys)} \quad (5.25)$$

wobei

- $\mathbf{f}_i^{(pers)}$ die „persönliche (treibende) Kraft“ darstellt, also die Kraft, die von der Person selbst ausgeht und mit der sie ihre Wunschrichtung und -geschwindigkeit erreicht,
- $\mathbf{f}_i^{(soc)}$ die „soziale Kraft“ darstellt, d. h. die Kraft, die beim Annähern an Personen entsteht und
- $\mathbf{f}_i^{(phys)}$ die „physische Kraft“ darstellt mit der die Person daran gehindert wird, an Wände zu laufen.

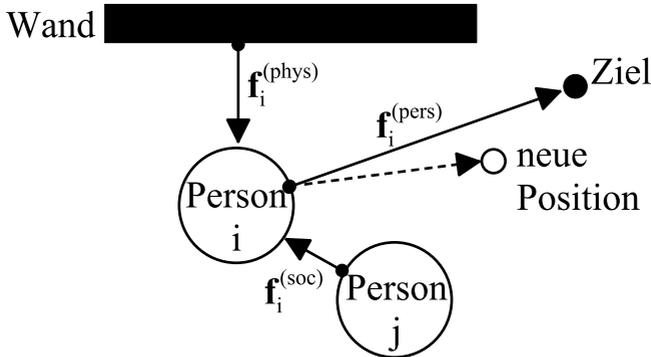


Abbildung 5.1: Möglicher Verlauf der Kräfte $f_i^{(pers)}$, $f_i^{(soc)}$ und $f_i^{(phys)}$ für eine Person i

Generalized Centrifugal Force Modell

Das Generalized Centrifugal Force Modell stellt eine Entwicklung auf der Grundlage empirischer Daten dar. D.h., besonderes Augenmerk wurde auf Kalibrierung und Validierung gelegt.

5.2.2 Zellularautomaten

Zellularautomaten (Cellular Automata, CA) sind regelbasierte dynamische Modelle, die diskret in Zeit, Raum und der Zustandsvariablen sind, die Zustandsvariable selbst entspricht hierbei der Geschwindigkeit. Diskret in der Zeit bedeutet, dass die Position der einzelnen Personen innerhalb einer fest definierten Zeitspanne (einem Zeitschritt) neu bestimmt wird. Dies wird mit sogenannten Updatealgorithmen durchgeführt, prinzipiell sollte dies ein paralleler bzw. synchroner Update sein, d. h. die Personen bewegen sich alle gleichzeitig und nicht nacheinander. Der Zeitschritt selbst entspricht einer natürlichen Zeitskala Δt , er kann auch zur Kalibrierung des Modells genutzt werden, um Vorhersagen bezogen auf Evakuierungszeiten zu treffen.

Zellularautomaten basieren auf einer konstanten und regel-

mäßigen Gitterstruktur, eine Zelle des Gitters entspricht dem Platzbedarf einer Person in der Realität (40×40 cm Klüpfel, 2003), kleinere Zellgrößen sind jedoch ebenfalls möglich Kirchner, Klüpfel u. a., 2004 und führen zu einer besseren Diskretisierung des Raumes. Weiterhin kann eine Zelle jeweils nur durch eine Person belegt werden (Ausschlussprinzip), bei kleineren Zellen gilt dies nicht mehr (z. B. 20×20 cm), da in diesem Fall vier Zellen von einer Person belegt werden. Der Ansatz des Ausschlussprinzips und der Unverformbarkeit der Personen spiegelt somit eine gewisse „Privatsphäre“ wieder.

Die Bewegung der Personen von einer zur anderen Zelle wird normalerweise durch Regeln wiedergegeben, die Übergangswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Zellen beinhalten. Vereinfacht gesagt wählt die Person immer die Zelle, die die höchste Wahrscheinlichkeit hat, die Zielzelle zu sein, da sie beispielsweise näher am Ausgang liegt. Die Bestimmung dieser Wahrscheinlichkeit ist auch die Grundlage für die Unterscheidung einzelner Modelle. Auch kommt es auf unterschiedliche Nachbarschaftsbeziehung an, es wird hierbei unterschieden zwischen der *von Neumann Nachbarschaft* und der *Moore Nachbarschaft*. Bei Verwendung einer *von Neumann Nachbarschaft* dürfen sich die Personen nur zu den Zellen bewegen, die an der Ursprungszelle seitlich direkt anliegen (verglichen mit dem Schachspiel handelt es sich um die Zugbewegung eines Turmes in das nächste Feld), bei Verwendung einer *Moore Nachbarschaft* darf eine Bewegung auch in die über Eck anliegenden Zellen erfolgen (beim Schachspiel wäre dies die Bewegung eines Läufers in ein nächstes Feld), siehe hierzu auch Abbildung 5.2.

Als eines der ersten Zellularautomatenmodelle zur Fußgängersimulation gilt das Modell von Gipps und Marksjö (1985) Die Zellularautomatenmodelle basieren auf einem Regelsatz zur Wahl der nächsten Zelle, z.B.:

- die entsprechende Wunschgehrichtung,

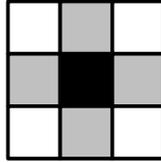


Abbildung 5.2: Darstellung der *von Neumann* und der *Moore Nachbarschaft* für eine Zelle. Ausgehend von der schwarzen Zelle werden die grauen Zellen als *von Neumann Nachbarschaft* bezeichnet, bei weiterer Hinzunahme der weißen Zellen ergibt sich eine *Moore Nachbarschaft*

- Interaktionen mit anderen Personen und
- Interaktionen mit Gebäudebestandteilen wie Wände und Türen.

Gipps-Marksjö Modell

Das Modell von Gipps und Marksjö (1985) wurde aus dem Ansatz heraus entwickelt, dass die vorherrschenden Computer noch nicht sehr leistungsstark (im Vergleich zu heutigen Computern) waren. Durch die Verwendung des diskreten Ansatz eines Zellulautomaten war es möglich, auch mit den damaligen Computern dieses Modell in annehmbarer Zeit zu berechnen. Als Zellgröße wurde 50×50 cm gewählt und es wurde schon damals ein Ansatz von „sozialen Kräften“ gewählt; hierzu wurde jeder Zelle ein Wert zugewiesen, der auf der Nähe der Zelle zu anderen Personen basierte. Zudem wurde mit Hilfe eines Potentialfeldes die Richtung zum Ziel (dem Ausgang) vorgegeben. Durch Addition der jeweiligen Werte einer Zelle wurde die jeweils nächste Zeilzelle bestimmt (*Moore Nachbarschaft*). Um unterschiedliche Geschwindigkeiten zu repräsentieren wurden Personen mit beispielsweise einer Wunschgeschwindigkeit von 2 m/s in einem Zeitschritt ($= 1 \text{ s}$) vier mal bewegt, Personen mit nur einer Wunschgeschwindigkeit von 1 m/s dagegen nur zwei mal. Um

Kollisionen zu vermeiden wurde ein sequentieller Update genutzt, der auch als D'Hondt Update angesehen werden kann.

Blue-Adler Modell

Das von Blue und Adler 1998 veröffentlichte Modell V. J. Blue und J. L. Adler, 1998 basiert in seinen Grundzügen auf einer Variante des Nagel-Schreckenberg-Modells für Straßenverkehr Nagel und Schreckenberg, 1992. Personen verhalten sich hierbei ähnlich wie auf einer mehrspurigen Straße, d. h. in ihrer Vorwärtsbewegung führen sie eine Art „Spurwechsel“ durch. Das Modell selbst besteht aus fünf Regeln, wobei sich die ersten vier Regeln mit dem Auswählen der entsprechenden „Spur“ beschäftigen, in der fünften Regel wird untersucht, wie weit sich die entsprechende Person fortbewegen kann. Durch die einzelnen Regeln wird sichergestellt, dass keine Kollisionen entstehen, da ein Paralleler Update durchgeführt wird. Um verschiedene Geschwindigkeiten zu repräsentieren, werden die Personen in drei unterschiedliche Klassen eingeteilt:

- Klasse A: maximal 3 Zellen Vorwärtsbewegung pro Zeitschritt (ca. 1,30 m)
- Klasse B: maximal 2 Zellen Vorwärtsbewegung pro Zeitschritt (ca. 0,85 m)
- Klasse C: maximal 4 Zellen Vorwärtsbewegung pro Zeitschritt (ca. 1,80 m)

Als Kantenlänge einer Zelle wurde hierbei 18 inches (0,457 m) gewählt. Die von Blue und Adler durchgeführten Untersuchungen zeigten auf, dass eine Verteilung von (Klasse A / Klasse B / Klasse C) = (90 % / 5 % / 5 %) das Fundamentaldiagramm für Fußgänger am besten reproduziert. In späteren Veröffentlichungen werden zusätzlich bidirektionale (Gegenstrom) V. Blue und J. Adler, 2000a und kreuzende V. Blue und J. Adler, 2000b Personenströme hinsichtlich ihrer Modellierung untersucht.

Floor Field Modell

Das Floor Field Modell Burstedde, Kirchner u. a., 2002; Burstedde, Klauck u. a., 2001; Kirchner, 2002; Kirchner und A. Schadschneider, 2002; A. Schadschneider, 2002 basiert auf der Annahme, dass die Übergangswahrscheinlichkeit auf eine Nachbarzelle nicht mehr nur durch eine statische Funktion gegeben ist, sie variiert vielmehr dynamisch aufgrund der Personen, die sich vor anderen Personen zum Ziel bewegen. Die Grundlage dessen ist der aus der Natur bekannte Prozess der Chemotaxis Ben-Jacob, 1997, der z. B. von Insekten (beispielsweise Ameisen) genutzt wird, um einander den Weg zu einer Futterstelle mitzuteilen; hierdurch ergeben sich die sogenannten „Ameisenkolonnen“, welche eine gewisse Ähnlichkeit mit menschlichen Verhalten haben. Die sogenannte „Linienbildung“ bei bidirektionalen Strömen kann beispielsweise auf Plätzen oder Wegen mit hoher Dichte festgestellt werden, siehe hierzu Abbildung 5.3. Die Richtung der Per-



Abbildung 5.3: Linienbildung bei Gegenstromsituationen. Die gelbe Linie zeigt die Grenze zwischen den beiden den Personenströmen, aufgenommen 2005 auf der „Hohe Straße“ während des Weltjugendtags in Köln (Foto: Tobias Kretz)

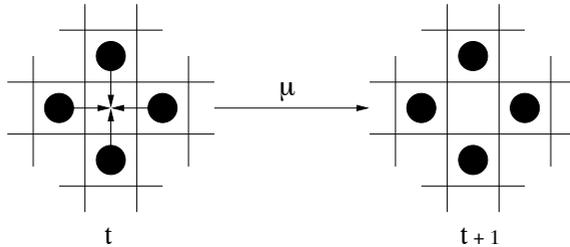


Abbildung 5.4: n

Keine Bewegung auf eine Zielzelle basierend auf dem Friction Parameter μ Kirchner, Nishinari und A. Schadschneider, 2003

sonen wird bei dem Modell durch die sogenannten „floor fields“ wiedergegeben, hierbei handelt es sich um die Ausbreitung eines Feldes, die an einem bestimmten Punkt im Raum (meistens am Ausgang) startet. Durch eine höhere Intensität des Feldes am Ausgang als in weiter entfernten Bereichen bewegen sich die Personen in Richtung der Zellen mit der höheren Intensität. Beim Floor Field Modell wird hierbei unterschieden zwischen dem „static floor field“ S_{ij} , das sich unabhängig von Personen im Raum ausbreitet und das keine Änderung während der Zeit erfährt, und dem „dynamic floor field“ D_{ij} , welches auf der Bewegung der Personen im Raum basiert. Vereinfacht kann gesagt werden, dass das dynamische Feld an den Stellen eine erhöhte Intensität hat, an denen sich mehr Personen bewegen. Durch Kopplung der beiden Felder kann eine realitätsnahe Bewegung von Personen erzeugt werden. Da das Modell mit einem *Parallelen Update* arbeitet, werden entstehenden Konflikte, d. h. mehrere Personen wollen auf die gleiche Zielzelle, durch den sogenannten „friction parameter“ μ gelöst. Es hat sich gezeigt Kirchner, Nishinari und A. Schadschneider, 2003, dass es bestimmte Vorteile hat, wenn nicht alle Konflikte aufgelöst werden, d. h. keine Person darf sich auf die Zielzelle bewegen, siehe hierzu auch Abbildung 5.4.

5.3 Modellparameter

In den voran gegangenen Abschnitten wurden eine Reihe von Modellen für die Berechnung und Simulation von Personenströmen vorgestellt (RiMEA, 2009). Außer bei den einfachen Berechnungsverfahren lässt sich normalerweise die vollständige Beschreibung des Modells nicht in eine Auswertung oder ein Gutachten mit aufnehmen. Das ist ein Grund dafür, dass einfache Modelle wie die Kapazitätsanalyse für eine Plausibilitätsprüfung ihre Berechtigung behalten werden, auch wenn ihre Anwendungsmöglichkeiten begrenzt sind. Gleichzeitig müssen auch komplexere Berechnungen und Simulationen möglich sein. Sie finden ihre Anwendung gerade dann, wenn umfangreiche oder detaillierte Fragen beantwortet werden müssen.

Um z.B. einer Genehmigungsbehörde aber auch dem Betreiber oder Bauherren die Beurteilung der Ergebnisse zu ermöglichen, müssen die Eingangsgrößen und die charakteristischen Eigenschaften des verwendeten Modells und Verfahrens (z.B. des Simulationsprogramms) nachvollziehbar und möglichst vollständig beschrieben werden. Hierfür gibt es – zumindest für den Bereich der Evakuierungsanalysen – die „Richtlinie für mikroskopische Enfluchtungsanalysen“ (RiMEA) (RiMEA, 2009). Sie enthält in einem Anhang auch Testfälle, anhand derer Simulationsprogramme validiert werden können.

Verkehr und Räumung

6 Fußgängerverkehr 197

- 6.1 Fußgängerverkehrsplanung
- 6.2 Beweger und Verkehrsanlagen
- 6.3 Forschungsergebnisse

7 Evakuierung 215

- 7.1 Räumungsphasen
- 7.2 Berechnung der Evakuierungszeit
- 7.3 Forschungsergebnisse



6. Fußgängerverkehr

In den vorherigen Kapiteln wurden die Bewegung einer einzelnen Person (Kapitel 2) und vieler Menschen (Mengen oder Massen) im Kapitel 3 untersucht. Außerdem haben wir im Kapitel 5 verschiedene Verfahren kennen gelernt, um die Bewegung einzelner Menschen oder vieler Menschen „vorherzusagen“. Zusammen mit den in Kapitel 1 dargestellten Erkenntnissen aus der Motivationspsychologie lassen sich damit auch komplexere Anwendungsfälle beherrschen.

Als Fußgängerverkehr soll das bezeichnet werden, was im Alltag stattfindet, weitgehend selbst bestimmt und was die Bewegung zu Fuß angeht auch ungeregelt ist. Regelungen gibt es natürlich z.B. im Straßenverkehr (Fußgängerampeln, Zebrastreifen, etc.) und auch bei Anlagen der Verkehrsinfrastruktur (Flughäfen,

Bahnhöfe, Bushaltestellen, etc.). Dennoch ist im Gegensatz zum Autoverkehr mit Spuren, Abbiegestreifen, Auf- und Abfahrten, Verkehrsregeln und -schildern, der Fußgängerverkehr weitgehend unreglementiert. Wo es Schilder gibt, da dienen sie meist der Information und sind meist nicht – wie im Straßenverkehr – Gebots- und Verbotsschilder.

1. Fußwege und Gehsteige;
2. Fahrgastwechsel und Fluggastwechsel (auf Bahnhöfen, Fähren, an Flughäfen, etc.); und
3. Rolltreppen (Fahrtreppen), Fahrbänder, Aufzüge, usw.

Weitere mögliche Kategorisierungen sind z.B. nach An- und Abreise und Aufenthalt in einem Gebäude oder bei einer Veranstaltung (im englischen: ingress, egress, and circulation). All das soll hier unter Verkehr zusammen gefasst werden. Räumung und Evakuierung stellen also in dieser Betrachtungsweise einen Sonderfall des Verkehrs da, das notfallmäßige Verlassen eines Gebäudes, einer Veranstaltung oder eines Gebietes (im englischen „emergency egress“).

1. Eingang
2. Aufenthalt
3. Ausgang

Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt auf der Bewegung zu Fuß von A nach B. Dabei ist der multi-modale Verkehr eingeschlossen. Multi-modal bedeutet, dass verschiedene Wege einer „Reise“ auf unterschiedliche Art zurück gelegt werden, also z.B. mit dem Auto, dem Fahrrad, zu Fuß, mit der Bahn, dem Bus usw. Der Fußweg spielt dabei eine besondere Rolle, weil er bei allen anderen Fortbewegungsarten zumindest am Anfang und Ende vorkommt. Wenn also z.B. viele Menschen ein Stadion besuchen, dann Reisen sie zwar mit dem Auto oder ÖPNV an, sie betreten aber das Stadion zu Fuß. Es ist also entscheidend für das Funktionieren des Verkehrskonzepts, wie die Fußwege geplant sind und genutzt werden. Auch kommt z.B. beim Einlass

häufig zu Engpässen und Wartezeiten, da die Eintrittskarten geprüft und Kontrollen durchgeführt werden. Es bilden sich also Warteschlangen.

Im folgenden sollen also die unterschiedlichen Einflussgrößen auf den Fußgängerverkehr, sein Zusammenhang mit den anderen Verkehrsmitteln, die Hilfsmittel, die Charakteristika und Planungs- und Entwurfsprinzipien für Fußgängeranlagen umrissen werden. An der ein oder anderen Stelle muss die detaillierte Diskussion unterbleiben. Es finden sich aber dort in jedem Fall Verweise auf weiterführende Literatur und auch die wichtigsten Ergebnisse.

6.1 Fußgängerverkehrsplanung

In der Abbildung 6.2 ist der Planungsprozess abgebildet.

Das „Level of Service“ Konzept ist in Abbildung 1.4 illustriert. Es teilt anhand der Dichte die Leistungsfähigkeit von Verkehrsanlagen (für Fußgänger) in die Kategorien A bis F ein.

- K1** Möglichkeit zur freien Geschwindigkeitswahl
- K2** Häufigkeit eines erzwungenen Geschwindigkeitswechsels
- K3** Zwang zur Beachtung anderer Fußgänger
- K4** Häufigkeit eines erzwungenen Richtungswechsels
- K5** Behinderung bei Querung eines Fußgängerstromes
- K6** Behinderung bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung
- K7** Behinderung beim Überholen
- K8** Häufigkeit unbeabsichtigter Berührungen

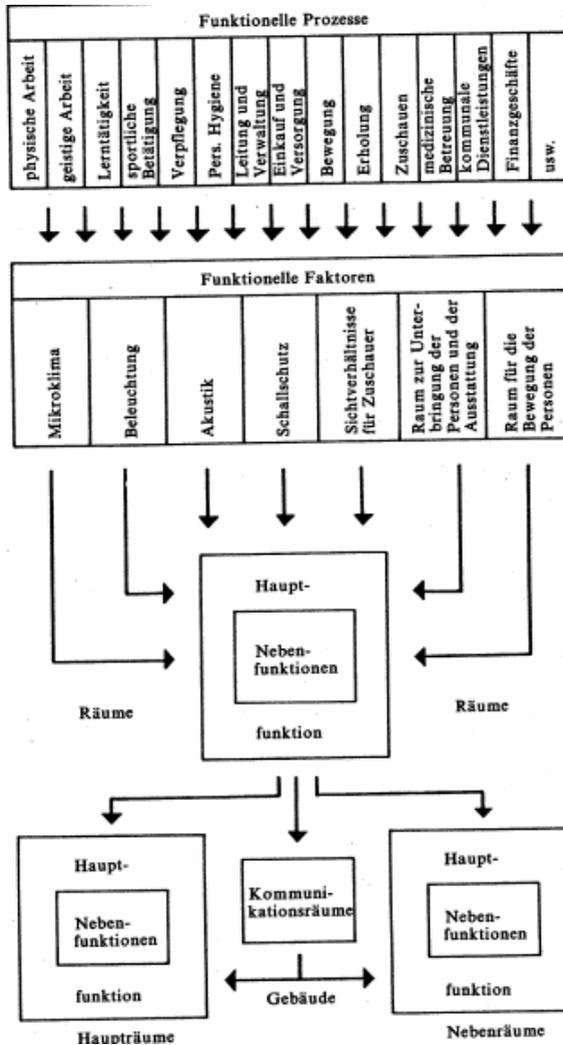


Abbildung 6.1: Planungsprozess nach Predtetschenski und Milinski (1971).

Tabelle 6.1: Kriterien für die Bestimmung des Level of Service. „+“ steht für gut, „=“ für teilweise und „-“ für nicht erfüllt (entwickelt auf der Grundlage von Weidmann, 1993). Die Kategorien A bis F von Fruin J. J. Fruin, 1971, S. 74 werden hier in Unterkategorien aufgeteilt, so dass sich eine gewisse Vergleichbarkeit ergibt.

LOS	Dichte P/m ²	Kriterien K1	Charakterisierung							
			K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
										absolut freie Bewegung
A2	0.10-0.30	+	+	=	+	+	+	+	+	freie Bewegung
B1	0.30-0.45	=	+	=	=	=	=	=	=	schwache Behinderung
B2	0.45-0.60	=	=	=	=	-	-	-	+	mäßige Behinderung
C1	0.60-0.75	-	-	-	=	-	-	-	+	starke Behinderung
C2	0.75-1.00	-	-	-	-	-	-	-	+	dichter Verkehr
D1	1.00-1.50	-	-	-	-	-	-	-	=	mäßiges Gedränge
E1	1.50-2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	starkes Gedränge
F1	2.00-3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	dichtes Gedränge
F2	3.00-4.00	-	-	-	-	-	-	-	-	sehr dichtes Gedränge
F3	4.00-5.40	-	-	-	-	-	-	-	-	massives Gedränge

6.1.1 Fahrgastwechsel

Der Fahrgastwechsel im Öffentlichen Personenverkehr ist einer der bestimmenden Faktoren für die Aufenthaltsdauer eines Zuges oder Busses am Bahnhof oder der Haltestelle. Hierbei können durch die Türkonfiguration, die Öffnungs- und Schließzeiten für die Türen, die Information der Fahrgäste („Der Ausstieg befindet sich in Fahrtrichtung links.“) und vor allem den möglichst stufenfreiem Ein- und Ausstieg deutliche Verbesserungen bei Sicherheit, Geschwindigkeit und Komfort erzielt werden. Eine umfangreiche

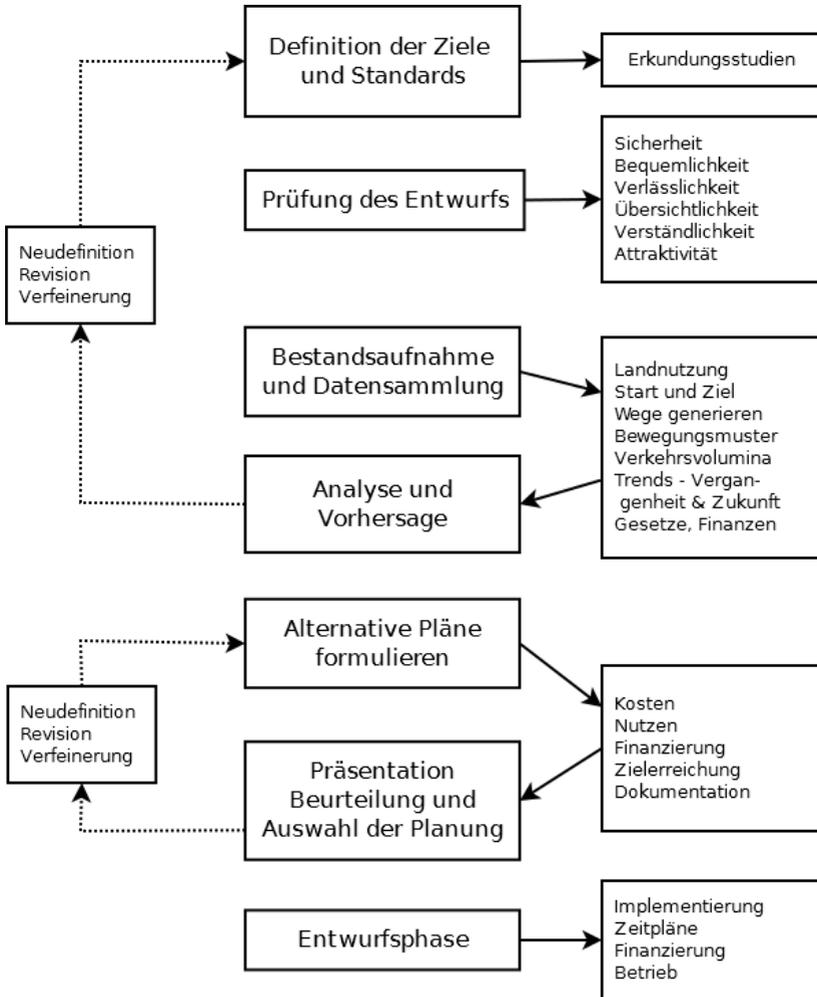


Abbildung 6.2: Planungsprozess nach J. J. Fruin (1971).

Untersuchung zu den genannten und weiteren Themen stammt von Weidmann Weidmann, 1993.

6.1.2 Warteschlangen

Warteschlangen treten immer dann auf, wenn die Kapazität einer Engstelle oder Serviceeinrichtung überschritten wird, d.h. die Nachfrage überschreitet das Angebot. Dann bildet sich ein Stau oder eine Warteschlange. Dabei wird der Begriff Warteschlange i.a. dann verwendet, wenn die „Engstelle“ auch das Ziel ist, also z.B. ein Verkaufsstand, der Einlass zu einer Veranstaltung o.ä.

6.1.3 Absperrungen

Branddirektion München, 2007 beschreibt eine Reihe von mobilen Absperrungen und Zaunanlagen, deren Anwendungsbereiche, Einsatzmöglichkeiten und Eignung. Im Abschnitt 7.3.3 sind die in der Publikation genannten Zauntypen und mobilen Absperrungen aufgelistet.

6.2 Beweger und Verkehrsanlagen

Unter Beweger kann man Hilfsmittel zur Erhöhung der Geschwindigkeit zusammenfassen, die keine Verkehrsmittel i.e.S. sind:

1. Aufzüge
2. „Rolltreppen“ (technisch: Fahrtreppen)
3. Fahrbänder

Solche Beweger können durch eine Leistungsfähigkeit charakterisiert werden. Sie kommen üblicherweise dort zum Einsatz, wo größere Distanzen oder Höhendifferenzen überwunden werden müssen. Hinzu kommt, dass sie den barrierefreien Zugang zu Gebäuden oder baulichen Anlagen gewährleisten.

Für die Verkehrsanlagen gelten die in Kapitel 2 und 3 dargestellten Grundlagen für die Bewegung zu Fuß. Zum einen hängt die Laufgeschwindigkeit von der Umgebung ab. Sie ist also in der Ebene anders als auf Treppen, Rampen, Fahrtreppen, usw. Als weiterer Einfluss kommt die Dichte hinzu. Generell gilt, dass die Laufgeschwindigkeit ab einem gewissen Schwellwert (optimale

Dichte) mit der Dichte abnimmt. Daher nimmt der Fluss (Personen pro Minute) mit der Dichte zunächst zu. Überschreitet die Dichte die optimale Dichte, dann nimmt der Fluss mit der Dichte ab.¹

Bezeichnet man die optimale Dichte mit D^* , so ist die Kapazität K gegeben durch $K = F(D^*) = f(D^*) * b$. Die Breite des Wegelements ist dabei mit b bezeichnet. Ein größerer Personendurchfluss ist also nicht möglich. Denn bei weiter zunehmender Dichte sinkt der Fluss unter die Kapazität (wegen der abnehmenden Laufgeschwindigkeit). Wie für die einfache Bewegung in der Ebene gilt also auch allgemein (d.h. für Fahrtreppen, Fahrbänder, Treppen, Rampen, etc.) die Aussage, dass der Fluss durch die Kapazität nach oben begrenzt ist. Die Kapazitätsanalyse ist also auch dann anwendbar, wenn es sich um ganz unterschiedliche Wegelemente einschließlich technischer „Beweger“ handelt.

Bei der Kapazitätsanalyse gilt es zu ermitteln, an welcher Stelle die Zeit für den Durchstrom der Personen am größten ist. Dazu muss man die Kapazitäten der einzelnen Wegelemente kennen und die Anzahl der Personen, die dort hindurchkommen (Nachfrage). Natürlich ist die Annahme, dass die Nachfrage statisch ist, d.h. dass die Personenströme sich im Laufe der Zeit nicht „von selbst“ auflockern, eine Vereinfachung. Dennoch bleibt das Ergebnis auch mit dieser Vereinfachung gültig, denn eine Auflockerung des Personenstroms „auf gerader Strecke“ hat eine Verringerung der Nachfrage (des Zustroms $F_{zustrom}$) zur Folge und führt damit im Zweifel zu einer kürzeren Gesamtdauer. Die Kapazitätsanalyse hat aber zum Ziel, eine maximale Dauer zu ermitteln, d.h. sie trifft eine Aussage darüber, wie lange es höchstens dauert, bis alle Personen den vorgesehenen Weg zurück gelegt haben.

Auf diesen Aspekt soll hier noch näher eingegangen werden:

¹Das gilt nur dann, wenn die Funktion $f(D)$ streng monoton fällt. Dies ist i.a. der Fall und wird im weiteren vorausgesetzt.

Für jedes Wegelement wird bei der Kapazitätsanalyse ein Zustrom $F_{Zustrom}$ und Abstrom $F_{Abstrom}$ (gemessen in Personen pro Sekunde) ermittelt.² Dabei gilt: der Abstrom kann nicht größer sein als der Zustrom und er kann nicht größer sein als die Kapazität. Man kann dann den Zustand einer Veranstaltung oder eines Gebäudes für einen bestimmten Zeitabschnitt darstellen, indem man die Nachfrage an allen Wegelementen aufträgt. Die zeitliche Entwicklung für z.B. die nächsten Minuten lässt sich dann mit den beiden genannten Regeln ($F_{Abfluss} \leq F_{Zufluss}$ und $F_{Abfluss} \leq K$) berechnen. Dies gilt natürlich zunächst nur solange, wie sich die angenommenen Nachfragen nicht ändern, d.h. solange keine Personenströme zusammenkommen, Engstellen passiert werden, Personen sich umentscheiden, die Richtung wechseln, etc., also nur für eine kurze Zeit.

²Je nach Anwendungsfall lassen sich die Werte auch in Personen pro Minute, pro Stunde oder pro Tag angeben.

Dauer für das Verlassen einer Veranstaltung – Kapazitätsanalyse

In einfachen Fällen (einfach im Sinne der Wahl des Weges) wie dem Verlassen einer Versammlungsstätte nach dem Ende einer Veranstaltung lässt sich die Kapazitätsanalyse „statisch“ durchführen. Kennt man den Aufenthaltsort aller Personen (z.B. gemäß Bestuhlungsplan) und das Ziel ihrer Bewegung (die Sammelstellen außerhalb des Gebäudes), dann kann für den zeitlichen Ablauf folgende Annahme getroffen werden: „Alle Personen bewegen sich auf den ausgeschilderten Fluchtwegen zu den Sammelstellen außerhalb des Gebäudes“ oder alternativ: „Es werden nur die Personen betrachtet, die sich auf den gekennzeichneten Fluchtwegen zu den Sammelstellen bewegen. Die berechnete Dauer bezieht sich nur auf diese Personen.“. Unter dieser Annahme ist es möglich, die die Bewegungszeit zu berechnen. Die Gesamtzeit ergibt sich dann aus der in Kapitel 7 dargestellten Formel.

Die Fluchtwegen lassen sich für den Fall der Räumung für jede Sammelstelle als Baum darstellen mit dem Sammelpunkt als Wurzel. In diesem Bild sind die Personen die Blätter, die sich dann auf den Zweigen und Ästen zur Wurzel hin bewegen. Ein noch treffenderes Bild ist das einer Murbelbahn (pro Sammelstation). Bei viskoser Reibung, die mit der Geschwindigkeit zunimmt, rollen die Murbeln mit konstanter Geschwindigkeit ins Tal (zum Sammelpunkt). An den Engstellen bildet sich eine Schlange, die sich langsam auflöst. Die Annahme ist hier, dass alle Murbeln gleichzeitig losrollen und dass sie bis zur Engstelle den gleichen Weg haben, also gleichzeitig dort ankommen. Ist das nicht der Fall, so kommt es an der Engstelle möglicherweise zu keiner Stauung. Die Bewegungszeit ist dann die längste der Zeiten für das Laufen des Weges zuzüglich der Wartezeit an den Engstellen.

Kommt es zu keinen Stauungen, so ist die Gesamtzeit allein durch die längste Laufzeit gegeben. Das ist bei sehr geringen Dichten der Fall. Bei hohen Dichten hingegen ist die Wartezeit entscheidend. Ein Beispiel hierfür ist das Verlassen eines vollen Veranstaltungssaales. Bei einer Lauflänge von z.B. 20m bis zur nächsten Ausgangstüre beträgt die Laufzeit ca. 20 Sekunden. Gehen 200 Personen durch eine 1,20m breite Tür hindurch, so ergibt sich bei einer Kapazität von $1,2P/m/s$:

$$t_{\text{Stau}} = \frac{N}{b \cdot K} = 139 \text{ Sekunden} \approx 2,3 \text{ Minuten.} \quad (6.1)$$

Diese Vorgehensweise lässt sich auch auf Pendlerströme, Fahrgastwechsel, den Zugang zu Veranstaltungen etc. erweitern. Dabei ist zu beachten, dass sich immer nur eine „Zeitscheibe“ betrachten lässt, also z.B. Minute 50 bis 55. Streng genommen gelten die Annahmen nur solange die Nachfrage (der Zustrom) an jedem Wegelement konstant ist. Sobald sich der Zustrom ändert (weil z.B. zwei Personenströme zusammen kommen) muss neu gerechnet werden. Das gezeigte Beispiel der Räumung (mit der Sammelstelle als Wurzel eines Baumes) stellt einen Sonderfall dar, weil dort alle Personen gleichzeitig loslaufen (Annahme!) und weil der Zustrom an jeder Stelle einfach als Summe der Abströme an den „flussaufwärts“ oder weiter oben gelegenen Wegelementen betrachtet wird. Auch das stellt eine Vereinfachung dar, die nur bei vollkommen symmetrischen Geometrien gilt. Im Bild des Baumes: Wenn der Baum spiegelsymmetrisch zu jeder der senkrechten Achsen durch die Gabelungen ist. Das muss dann sowohl für die Längen als auch für die Breiten gelten. Treffen diese Voraussetzungen nicht zu, so handelt es sich um Annahmen. Man vernachlässigt gewissermaßen die Assymmetrien und irrt „auf der sicheren Seite“. Denn die Annahme, dass die Personen jeweils gleichzeitig an einer Engstelle ankommen (in dem Sinne,

dass die Nachfrage dort gleich der maximal möglichen Nachfrage ist) führt auf jeden Fall zu einer längeren Gesamtdauer.

Diese Vorgehensweise ist bei der Berechnung von Räumungsdauern gerechtfertigt, wenn man eine Abschätzung für die maximal mögliche Zeit haben will. Allerdings betrifft diese Maximalaussage nur die Annahmen bezüglich der Nachfragen an den einzelnen Engstellen (Wegelementen). Gleichzeitig wird auch die Annahme gemacht „Alle Personen laufen gleichzeitig los.“ Gerade in Fällen, wo die Vorbereitungszeit („pre-movement time“ oder „pre-evacuation activities“) die entscheidende Rolle spielt, ist das eine nicht zulässige Vereinfachung, die das Gesamtergebnis in Frage stellt. In diesem Sinne handelt es sich dann wiederum nicht um eine Abschätzung nach oben („Wie lange dauert es höchstens?“) sondern nach unten („Wie lange dauert es mindestens?“). Die Kapazitätsanalyse ist also nur unter bestimmten Umständen anwendbar und es muss klar herausgearbeitet werden, welche Annahmen zugrunde gelegt wurden.

Wir haben als Beispiel für eine Anwendung der Kapazitätsanalyse die Räumung eines Gebäudes oder einer Veranstaltungsstätte betrachtet. Dies ist ein Beispiel für ein einfaches verkehrliches Problem. Zwar kann die Geometrie in diesem Fall beliebig komplex sein, doch ist aufgrund der Situation die Berechnung vergleichsweise einfach. Das rührt daher, dass das Ziel für alle Personen gleich ist: „ein sicherer Bereich“. Darüber hinaus gibt es im allgemeinen keine sich trennenden Personenströme. Zwar vereinigen sich im Räumungsfall oft Personenströme auf dem Weg zum Ausgang hin. Das Gegenteil ist aber nicht der Fall. Daher ergibt sich eine vergleichsweise einfache Berechnung. Das Wegenetz kann durch einen Baum dargestellt werden, an dessen Wurzel der Ausgang liegt.

6.2.1 Beschilderung

6.3 Forschungsergebnisse

Dieser Abschnitt stellt empirische und experimentelle Daten zum *Fußgängerverkehr* übersichtsartig dar. Dabei wird zwischen empirischen Beobachtungen (Feldstudien) und experimentellen Untersuchungen (unter *Laborbedingungen*) unterschieden.

Feldstudien wurden u.a. zu Verhaltensmustern von Fußgängern (Nachfrage über den Tag verteilt, Tagesganglinien); Experimente wurden unter kontrollierten Laborbedingungen zu Spurbildung, Gegenstrom, der Abhängigkeit des Flusses F (vgl. Abschnitt 3.1 on page 78 von der Breite eines Durchgangs und dem Zusammenströmen von Personen aus mehreren Richtungen in einen Ausgang (Mundloch) durchgeführt. Bei Experimenten wird eine Variable (die unabhängige Variable) variierte, während alle anderen Einflussgrößen konstant gehalten werden. Gemessen wird dann die Veränderung der *abhängigen Variablen*. Eine weitere Dimension zur Unterscheidung der Forschungsergebnisse ist *Alltag* vs. *Notfall*. Die sich daraus ergebenden Kombinationen zur Einteilung von Forschungsergebnissen sind in Abbildung 6.3 on page 213 dargestellt.

Dabei ist die Verbindung zwischen den empirischen Ergebnissen und einer Theorie des Fußgängerverkehrs eine dreifache:

1. Kalibrierung (Parameterwert)

Einstellung der Entscheidungsregeln bei diskreten Modellen oder der Parameter im System nichtlinearer Differentialgleichungen im Sozialen Kräfte Modell. Das wichtigste Beispiel ist die freie Laufgeschwindigkeit - in Abhängigkeit vom Lebensalter ($v_{\max}^i = f(\text{age}, \dots)$); (für die Parameterwahl bei den Berechnungsverfahren siehe auch Abschnitt 5.3 on page 193;

2. Validierung des Modells

Messung fundamentaler Zusammenhänge wie der zwischen

Dichte und Fluss in der Simulation. Bei \rightarrow *mikroskopischen Modellen* ist dieser Zusammenhang ein Simulationsergebnis; bei \rightarrow *makroskopischen Modellen* wird der Fluss in Abhängigkeit von der Dichte vorgegeben (vgl. Kapitel 5 on page 177 - wird also für die Kalibrierung des Modells genutzt).

3. Validierung von Simulationsergebnissen

Evakuierungsübungen und Ergebnisse von realen Evakuierungen können genutzt werden, um Simulationsergebnisse zu validieren (für Verweise auf Untersuchungsberichte und Berichte von Evakuierungsübungen siehe 7.3.3 on page 241).

Randbedingungen

Sowohl bei Feldstudien als auch bei Experimenten ist es wichtig, möglichst viele der Randbedingungen zu können und möglichst konstant zu halten (bzw. Beobachtungen unter vergleichbaren und möglichst konstanten Bedingungen durchzuführen). Der Grund hierfür ist, dass damit den Zusammenhang (Korrelation) zwischen einer *abhängigen* und einer *unabhängigen* Variablen zu ermitteln. Die Beschreibung der Umgebung bei Beobachtungen (Feldstudien) oder des experimentellen Aufbaus sollte folgende Punkte umfassen:

- Population;
- Geometrie (Grundriss, maßstäblich, möglichst als CAD-Plan);
- Gefahren;
- Stressfaktoren;
- Informationen, die den Teilnehmern gegeben wurden;
- Kenntnisstand der Teilnehmer über Ziel und Ablauf;
- Vertrautheit der Teilnehmer mit dem Gebäude oder Gelände;
- Vorkenntnisse der Teilnehmer;

- Umgebungseinflüsse: Licht, Schall, usw. (siehe Abbildung 1.3);
- Ablauf der Übung oder des Experiments (idealerweise als Drehbuch);

Für Feldstudien ist die Beschreibung oft weniger ausführlich, hauptsächlich weil die entsprechenden Faktoren nicht gemessen oder ermittelt werden können.

Korrelationen und Kausalität

Korrelationen begründen keine Kausalität. Wenn zwei Ereignisse (z.B. die Alarmierung durch eine Sprachdurchsage und eine kurze Reaktionszeit) immer zusammen auftreten, dann muss die eine nicht die Ursache für die andere sein. Ein kausaler Zusammenhang lässt sich dann vermuten, wenn das eine Ereignis immer vor dem anderen auftritt, wenn der Zusammenhang statistisch signifikant ist (also insbesondere ein zufälliger Zusammenhang ausgeschlossen werden kann) und wenn die Hypothese (in diesem Fall „eine Alarmierung durch Sprachdurchsage führt zu geringeren Reaktionszeiten als eine Alarmierung mit einem Sirenenton“) *valide* (die anderen Einflussfaktoren sind gleich), *reliabel* (wiederholt) und *objektiv* (unabhängig vom Beobachter) beobachtet werden kann. Schließlich muss die Hypothese ausreichend vielen Falsifizierungsversuchen standhalten. In dem genannten Beispiel könnte die Hypothese z.B. dadurch falsifiziert werden, dass (bei sonst gleichen Umgebungsfaktoren) eine Form des Signaltons gefunden wird (z.B. eine in Frequenz, Sequenz, Lautstärke oder auf andere Weise modulierte Tonfolge), die der Sprachdurchsage überlegen ist. Das hieße, dass die Alarmierung per Signalton zu kürzeren Reaktionszeiten führte als die Sprachdurchsage. Eine solche Falsifizierung führt i.a. nicht zum Verwerfen der Hypothese, sondern zu ihrer Verfeinerung (Feyerabend, 1970; Kuhn, 1970; Lakatos, 1970. Im Beispiel „Alarmierung“ wäre das eine genauere Beschreibung der Kriterien wann eine Sprachdurchsage zu kürzeren Zeiten führt (Wortlaut, Schlüsselbegriffe, vom Band

oder „live“, Tonfall, Länge, ...) und wann der Signalton (Frequenz, Klangfarbe, Länge, Modulation, Lautstärke, Sequenz, ...).

Beobachtete Phänomene

Die Phänomene, die bei empirischen Studien beobachtet wurden, sind in Tabelle 3.1 on page 85 zusammengestellt. Sie können in vier Bereiche unterteilt werden:

- Oszillationen an Engstellen bzw. pulsierende Ströme an Türen, die in beide Richtungen begangen werden ((D. Helbing, 2004)
- Spurbildung (K. Yamori, 2001) (siehe Abbildung 3.5 on page 105);
- Kreisförmige Bewegung S.A.H. AlGadhi, H.S. Mahmassani und R. Herman, 2002 und die Ausbildung stabiler Bewegungsmuster
- Stauwellen für hohe Dichten ($D \approx 8 P/m^2$) (Pauls, 2006) (Johannson, 2004) und Dichtefluktuationen; und
- Muster (siehe Abbildung 3.10 on page 108).

Schwierigkeiten bei der Durchführung von Experimenten

Die Durchführung von Experimenten für Fußgängerverkehr ist schwierig. Die Gründe sind:

Objektivität Das hängt z.B. damit zusammen, dass \rightarrow *Objektivität* eine möglichst automatische und vom Auswerter unabhängige Analyse erfordert. Dies wurde erst in den letzten Jahren zufriedenstellend möglich, vor allem durch die automatische Auswertung von Videosequenzen (Andreas Schadschneider u. a., 2009; Seyfried und Holl, 2009, und Verweise) möglich.

Reliabilität Außerdem erfordert das Kriterium \rightarrow *Reliabilität* eine möglichst hohe Anzahl an Durchgängen, um statistisch verlässliche Aussagen zu erhalten (Seyfried und Holl, 2009). Aus dem gleichen Grund ist eine möglichst große Anzahl an Probanden wünschenswert. Bei einer manuellen

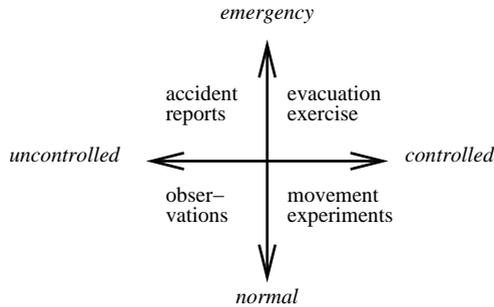


Abbildung 6.3: Empirische Daten (Feldstudien und Experimente) können in erster Annäherung anhand der Skalen *kontrolliert/unkontrolliert* und *Notfall/Alltag* eingeteilt werden.

Auswertung von Experimenten lassen sich beide Anforderungen nur mit sehr hohem Aufwand (Zeit und Geld, Arbeitskraft) gleichzeitig erfüllen. Daher sind erst in den letzten Jahren Experimente mit einer hohen Teilnehmerzahl (mehrere Hundert) durchgeführt und detailliert ausgewertet worden. Detaillierte Auswertung meint hier die Ermittlung von → *Trajektorien* (siehe hierzu auch Kapitel 2 on page 51).

Validität Um sicherzustellen, dass auch tatsächlich der ins Auge Zusammenhang gemessen wird → *Validität*, muss die Korrelation zwischen zwei Größen gemessen werden (→ *unabhängiger Variable* und → *abhängiger Variable*). Das bedeutet aber auch, dass möglichst alle anderen veränderlichen Einflussgrößen konstant gehalten werden sollten. Dies gilt im Prinzip für alle in der Liste weiter oben 6.3 on page 211 genannten Faktoren.



7. Evakuierung

Im Falle einer Räumung und Evakuierung ist das Schutzziel die Sicherheit und Unversehrtheit der Besucher, Fahrgäste und Angestellten, kurz gesagt: aller Personen, die sich in einem Gebäude, einem Fahrzeug, auf einem Schiff oder bei einer Veranstaltung aufhalten. Diese wird vor allem durch ein zügiges und gefahrloses Verlassen des gefährdeten Bereichs gewährleistet. Ein entscheidendes Kriterium ist hierbei die Gesamtdauer für das gefahrlose Verlassen des gefährdeten Bereichs und das Erreichen eines sicheren Bereichs. Eine Räumung lässt sich in vier Phasen einteilen, die im Detail im Abschnitt 7.1.1 on the next page betrachtet werden. In Abschnitt 7.2 on page 220 werden Methoden zur Berechnung der Räumungszeit diskutiert und in Abschnitt 7.3 on page 232 Forschungsergebnisse zu den verschiedenen methodi-

schen, juristischen und praktischen Aspekten der Berechnung von Räumungszeiten vorgestellt.

7.1 Räumungsphasen

7.1.1 Phasen einer Räumung

Der Ablauf einer Räumung von der Entstehung einer Gefahr (Schadensereignis, z.B. Brand) bis zum Abschluss der Räumung (d.h. bis zu dem Zeitpunkt zu dem alle Personen einen sicheren Bereich erreicht haben, lässt sich in vier Phasen einteilen. Die individuelle Räumungsdauer $t_{\text{Räumung}}$, d.h. die Zeitspanne von der Entstehung des Schadensereignisses bis zu dem Zeitpunkt, zu dem eine bestimmte Person den sicheren Bereich erreicht hat, setzt sich dementsprechend aus vier Summanden zusammen.

$$t_{\text{Räumung}} = t_{\text{Detektion}} + t_{\text{Alarmierung}} + t_{\text{Reaktion}} + t_{\text{Flucht}} \quad (7.1)$$

Die Gesamträumdauer ist dann definitionsgemäß die Zeit, bis die letzte Person in Sicherheit ist. Das heißt, $t_{\text{Räumung}}^{\text{Gesamt}}$ ist das Maximum der nach Gleichung 7.1 ermittelten Zeiten.

$$t_{\text{Räumung}}^{\text{Gesamt}} = \max_{i=1 \dots N} t_{\text{Räumung}}^i \quad (7.2)$$

Dabei bezeichnet der Laufparameter i eine bestimmte Person und N ist die Gesamtzahl der zu evakuierenden Personen. Im weiteren Verlauf soll der Einfachheit halber auf den Hochindex „Gesamt“ bei den Zeitangaben verzichtet werden. Wenn also von $t_{\text{Räumung}}$ die Rede ist, dann ist damit $t_{\text{Räumung}}^{\text{Gesamt}}$ gemeint.

In Abbildung 7.1 on the next page ist der Räumungsverlauf für ein Hochhaus graphisch dargestellt. Die einzelnen Linien geben den Verlauf für jeweils ein Stockwerk an. Da hier die „Bewohner“ eines Stockwerks als homogene Gruppe angenommen wurden, gilt das für die Bestimmung der Gesamtdauer nach Gleichung 7.2 gesagte analog. Das Maximum lässt sich hier sehr leicht ablesen:

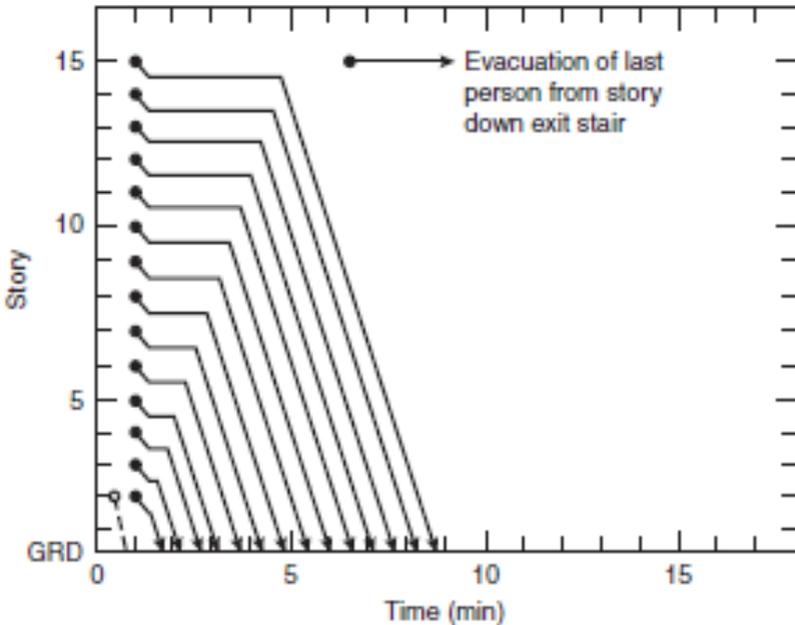


Abbildung 7.1: Phasen einer Räumung

Es ist der Schnittpunkt der am weitesten rechts liegenden Kurve mit der Zeitachse, also ca. 9 Minuten.

Die Auswertung von Schadensereignissen in Versammlungsstätten wie Vergnügungsstätten und in Sport-, insbesondere Fußballstadien zeigt, dass gefährliche Umstände einerseits aus der Gefahr selbst (z.B. einem Brand) entstehen, andererseits aber auch durch den Bewegungsvorgang hervorgerufen werden können. Entsprechend ist für die Personensicherheit in Versammlungsstätten nachzuweisen, dass

- für alle Gebäudenutzer die Zeit $t_{\text{verfügbar}}$ bis zum Eintritt gefährdender Umstände durch ein Gefahrenszenario länger ist als die Zeit $t_{\text{Räumung}}$ bis zum Erreichen eines gesicher-

- ten Bereiches; und
- die sonstigen Bedingungen des Räumungsvorgangs zu keiner Personengefährdung führen.

7.1.2 Auslegungsergebnisse

Wie in der Einleitung erwähnt, müssen sich die Planungen und Berechnungen von Flucht- und Rettungswegen und die Maßnahmen im Evakuierungsfall in ein übergeordnetes Konzept, also insbesondere das Brandschutzkonzept bei Sonderbauten oder das Sicherheitskonzept bei Veranstaltungen einfügen. Dies wird an der von der AGBF erarbeiteten Checkliste für Sicherheitskonzepte ersichtlich AGBF, 2008:

1. Einleitung
2. Krisenmanagement / Krisenteam / Krisenstab
3. Verfahren bei sicherheitsrelevanten Störungen
4. **Evakuierung / Räumung**
5. Massenanfall von Verletzten (MANV)
6. Personaleinsatzkonzept des Ordnungsdienstes
7. Personaleinsatzkonzept des Sanitätsdienstes
8. Personaleinsatzkonzept des Brandsicherheitswachdienstes (SWD)
9. Anhänge
 - (a) Checklisten
 - (b) Brandschutzordnung nach DIN 14096
 - (c) ggf. Feuerwehrpläne nach DIN 14095
 - (d) Flucht- und Rettungspläne nach DIN 4844

Die Checkliste ist im Internet verfügbar. Nähere Angaben im Literaturverzeichnis AGBF, 2008. Das Papier weist ausdrücklich darauf hin, dass es auch zur Wahrung der Chancengleichheit verschiedener Betreiber und Veranstalter beitragen, d.h. verlässliche Informationen über Umfang und Anforderungen eines Sicherheitskonzepts geben will. Denn die genannten Anforderungen sind z.T. mit hohem Aufwand verbunden und sollten daher mög-

lichst vorhersehbar und einheitlich (je nach Art und Größe der Veranstaltung) auferlegt werden. Das Sicherheitskonzept sollte also die in der Checkliste aufgelisteten Punkte behandeln. Außerdem muss über das Sicherheitskonzept Einvernehmen mit Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst, Ordnungsamt und ggf. anderen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben hergestellt werden. In einigen Städten wurde hierzu ein einheitlicher Ansprechpartner benannt, an den sich Betreiber und Veranstalter wenden können.

Entscheidend für den Inhalt dieses Kapitels ist an der obigen Liste, dass nur der vierte Punkt „Evakuierung / Räumung“ unmittelbar mit Personenströmen zu tun hat. Daran lässt sich erkennen, dass die in diesem Buch behandelten Themen nicht das ganze Spektrum dessen abdecken, was für ein „Sicherheitskonzept“ an Wissen erforderlich ist. Die Evakuierung als „ultima ratio“ ist eine Maßnahme, die dann ergriffen wird, wenn eine Gefahr für die Sicherheit der Besucher besteht, die anders nicht beherrscht werden kann. Die Evakuierung ist eine Maßnahme der Gefahrenabwehr unter anderen. Sie ist nur in der Minderzahl der Schadensereignisse erforderlich, in den Fällen, in denen das Ereignis nicht mehr beherrscht werden kann oder zumindest die Gefahr droht. Die meisten Schadensereignisse können ohne eine Räumung des Gebäudes oder der Veranstaltungsstätte bewältigt werden.

Brandereignisse für die Sicherheit von Versammlungssätten die „Bemessungs“-Schadensfälle. Die entsprechende Gesetz- und Normgebung nahm ihre Anfänge mit den Theaterbränden im 19. Jahrhundert. Damals wie heute ging die größte Gefahr für die Besucher von Versammlungsstätten (insbesondere in Gebäuden) von Bränden aus. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert und Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Regelungen zur Erhöhung der Sicherheit eingeführt (z.B. der „eiserne Vorhang“). Diese Maßnahmen waren erfolgreich, so dass heute in Versamm-

lungsstätten die Feuersicherheit sehr hoch ist und in den letzten Jahrzehnten in Deutschland nur wenige Verletzte oder Tote durch Brandereignisse zu beklagen waren. Diese Beobachtung gilt nicht nur für Versammlungsstätten, sondern für alle „Sonderbauten“ (z.B. Verkaufsstätten, Schulen und Bürohochhäuser).

Zur gleichen Zeit ist aber die Tendenz festzustellen, dass die Besucherzahl und die Größe von Versammlungs- und Verkaufsstätten zunehmen. Dies stellt besondere Anforderungen an die Organisation im Normal- wie im Notfall. Die Flucht- und Rettungswege können u.U. in Einzelfällen nicht mehr gemäß der präskriptiven Richtlinien bemessen werden. Hier muss dann bei einer Überschreitung von Vorgaben nachgewiesen werden, dass dennoch (z.B. mit Hilfe von Kompensationsmaßnahmen) das gleiche Sicherheitsniveau erreicht wird wie in einem vergleichbaren Gebäude, dass solche Abweichungen oder Überschreitungen (in der Bauordnung „Erleichterungen“ genannt) nicht aufweist. Diese Vorgehensweise kann man als „Methode des äquivalenten Sicherheitsniveau“ bezeichnen.

7.2 Berechnung der Evakuierungszeit

Für eine ingenieurgemäße Beurteilung der Bemessung von Flucht- und Rettungswegen in Versammlungsstätten stehen verschiedene Modelltypen zur Simulation von Schadensereignissen (Brandzenarien) und Räumungsverläufen zur Verfügung. Zudem sind Annahmen zu den Randbedingungen und insbesondere zum Personenverhalten zu treffen. Für den eigentlichen Nachweis der Sicherheit der flüchtenden Personen stellt sich die Frage nach dem relevanten Nachweiskriterium und dessen zahlenmäßigen Beurteilungswert. Der Räumungsvorgang lässt sich in einzelne Zeitabschnitte unterteilen, die hintereinander betrachtet werden sollen (vgl. Gleichung 7.1). Der Ablauf einer Räumung lässt sich in vier Phasen einteilen, die sich für die einzelnen Personen

teilweise überschneiden können:

- $t_{\text{Detektion}}$ von Beginn bis zur Detektion des Brandes,
- t_{Alarm} von Detektion bis zum Auslösen des Gebäudealarms,
- t_{Reaktion} von Auslösen des Alarms bis zum Beginn der konkreten Fluchtbewegung und
- t_{Flucht} von Beginn der Fluchtbewegung bis zum Erreichen eines sicheren Bereiches

Die ersten beiden Phasen sind für alle Personen gleich, die dritte und vierte Phase sind individuell. Hier gibt es dann auch Überschneidungen, d.h. eine Person kann bereits „auf der Flucht“ sein, bevor eine andere Person überhaupt reagiert hat. Das hängt von den individuellen Eigenschaften und Kenntnissen ab, die die Interpretation der Warnung und die Entscheidungsfindung beeinflussen (siehe 1 on page 19 für eine genauere Diskussion dieser Faktoren).

Zur Abschätzung der einzelnen Summanden der Gleichung 7.1 werden im weiteren Methoden und Daten dargestellt. Zunächst soll aber noch auf die individuelle Entscheidung zur Evakuierung eingegangen werden. Die individuelle Strategie kann natürlich auch sein, auf Hilfe zu warten. Diese Entscheidung hängt von der Art des Gebäudes und der eigenen Mobilität ab (siehe Abbildung 7.4). In diesem Fall handelt es sich dann nicht um eine Selbstrettung, sondern um eine Fremdrettung. Wolf, 1999
Im weiteren soll die Fremdrettung nicht betrachtet werden. Die dargestellten Verfahren und Ergebnisse beziehen sich auf die Selbstrettung. Für die Berechnung von Dauern für die Fremdrettung sei z.B. auf Wolf (1999) verwiesen. Das bedeutet, dass eine Bestimmung der Gesamtdauer mit den nachfolgend dargestellten Methoden nur dann möglich ist, wenn es sich überhaupt um eine Selbstrettung handelt.

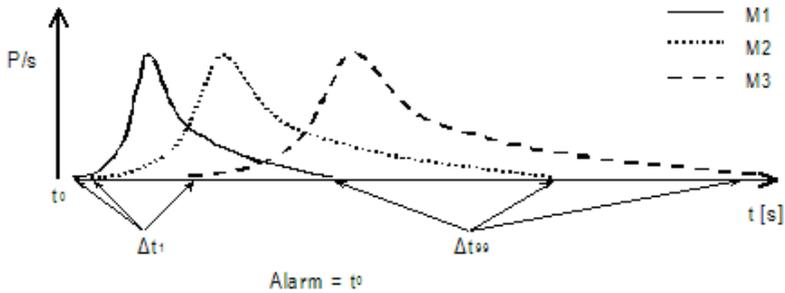


Abbildung 7.2: Alarmierungszeit

7.2.1 Detektion und Alarmierung

Die Zeitspanne $t_{\text{Detektion}}$ hängt vom Brandszenario und der Ausstattung des Gebäudes mit automatischen Brandmeldern ab. Das Intervall t_{Alarm} hängt von den technischen Gegebenheiten ab. Falls die Brandmeldeanlage auf eine ständig besetzte Stelle aufgeschaltet ist, darf zur Vermeidung von Falschalarmen je nach Regelwerk eine Erkundungszeit von bis zu 3,5 Minuten D.A. Purser, 1995 bzw. 10 Minuten Hosser, 2009 bis zur Weiterleitung bzw. Gebäudealarmierung vorgesehen werden. Falls ein Gebäude betrachtet wird, in dem keine automatische Brandmeldeanlage mit interner Alarmierung installiert ist oder falls die Personen im Aufenthaltsraum direkt auf Branderscheinungen reagieren, gehen die Zeitspannen $t_{\text{Detektion}}$ und t_{Alarm} im nächsten Zeitintervall t_{Reaktion} auf. Die beiden Summanden Detektion und Alarmierung müssen üblicherweise geschätzt werden. Das bedeutet, dass für diese Zeiten Parameter aus Tabellen abgelesen werden. Diese sind z.B. als t_1 und t_{99} angegeben, so dass in einem Prozent der Fälle eine kleinere und in einem Prozent eine größere Zeit ($>t_{99}$) zu erwarten ist.

Tabelle 7.1: Detektions- und Alarmierungszeit je nach Brandmeldesystem (BMS) und Art der Alarmierung (Alarm).

BMS	Alarm	t_1	t_{99}
auto	sofort	0	1
auto	zentral	1	3
lokal	manuell	3	-

7.2.2 Reaktionszeit

Die Reaktionszeit t_{Reaktion} hat häufig einen bedeutenden Anteil an der Gesamtdauer $t_{\text{Räumung}}$. Sie umfasst:

- die Zeit bis zum Wahrnehmen des Alarms durch die gefährdeten Personen;
- die Zeit zur Interpretation der Wahrnehmung und Entscheidung, die Veranstaltung oder das Gebäude zu verlassen oder die im nächsten Punkt genannten Handlungen auszuführen; und
- die Zeit für Handlungen, die nicht der unmittelbaren Flucht dienen (Untersuchung der Umgebung, Brandbekämpfung, Warnen oder Suchen von Personen etc.).

Da es um Reaktion im weiteren Sinne geht, wird für t_{Reaktion} häufig auch der englische Begriff „Pre-Movement-Time“ verwendet. Die Reaktionszeiten sind für jede Person individuell verschieden und lassen sich durch Log-Normal-Verteilungen idealisieren, so dass Fraktilwerte der jeweils reagierenden Personen pro Zeiteinheit angegeben werden D.A. Purser, 1995; Hosser, 2009.

So ist t_1 beispielsweise der Zeitpunkt nach der Alarmierung, an dem 1% der Personen den Fluchtvorgang gestartet hat. Rechnerisch macht es keinen Unterschied, ob Personen bereits in einem Stau stehen oder noch gar nicht reagiert haben. Deshalb kann die Zeit als charakteristische Reaktionszeit verwendet werden, bei der genauso viele Personen pro Zeiteinheit reagieren wie Personen pro Zeiteinheit den Aufenthaltsraum verlassen können. Hierzu

Tabelle 7.2: Reaktionszeiten nach Nutzungsart (in Minuten).

Nutzung	A1	A2	A3
Büros			
Arbeitsstätten			
Schulen			
Hochschulen	<1	3	> 4
Geschäfte			
Museen			
Freizeiteinrichtungen			
Versammlungssätten	< 2	3	> 6
Wohnheime			
Wohngebäude	< 2	4	> 5
Hotels und Pensionen	< 2	4	> 6
Krankenhäuser und Pflegeheime	< 3	5	> 8

wird in der Praxis häufig das 1%-Fraktile genommen. Nachzügler müssen zusätzlich berücksichtigt werden, wenn die Stauzeit im Aufenthaltsraum kleiner ist als die Differenz $t_{9} - t_{1}$. Aus Tabelle 7.1 wird auch der prinzipielle Einfluss der Alarmierungsart bzw. des Brandschutzmanagements auf die Reaktionszeiten deutlich.

In Tabelle 7.1 sind für verschiedene Nutzungen und Alarmierungsstandards Anhaltswerte für charakteristische Reaktionszeiten nach Hosser, 2009 wiedergegeben. Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung von t_{Reaktion} wurde von D.A. Purser, 1995; D.A. Purser und M. Bensilium, 2001 entwickelt und ist ebenfalls im vfdb-Leitfaden Hosser, 2009 zu finden (evtl... Verfahren darstellen, einige Tabellen, Parameter A (Alarmierung) anders definiert, denn eigentlich Brandmeldung). (vgl. BS7974-6, 2004, nach D.A. Purser, 1995)

Falls im Bereich der Alarmierung bzw. des Brandschutzmanagements nur Mindeststandards erfüllt werden, bieten beide Verfahren Reaktionszeiten in der Form „größer als“ an, die für

eine ingenieurgemäße, konservative Abschätzung nicht verwendbar sind.

Falls ein Szenario betrachtet wird, bei dem die Personen im Aufenthaltsraum direkt auf Branderscheinungen reagieren, gehen die Zeitspannen $t_{\text{Detektion}}$ und t_{Alarm} in t_{Reaktion} auf. Zur Abschätzung der Reaktionszeiten von Personen in Abhängigkeit bestimmter Brandkenngrößen wie Flammenerscheinungen oder Verrauchung liegt derzeit noch keine Methodik vor. Hier sind konservative Annahmen zu treffen. Die Bestimmung des letzten Summanden t_{Bewegung} lässt sich mit unterschiedlich komplexen Handrechnungen bzw. computergestützten Evakuierungsmodellen durchführen, auf die in Kapitel 5 on page 177 eingegangen wurde.

7.2.3 Bewertung der Evakuierungssicherheit

Wie oben dargestellt ist bzgl. der Evakuierungssicherheit sowohl die Räumungsdauer $t_{\text{Räumung}}$ als auch die Sicherheit des Bewegungsvorgangs zu betrachten. Bezüglich der Räumungsdauer werden hier Akzeptanzkriterien im Falle eines Brandes betrachtet.

Akzeptanzkriterien für die Evakuierungssicherheit im Brandfall

Die folgenden Kriterien stehen zur Verfügung und werden innerhalb von ingenieurgemäßen Nachweisen verwendet:

- a) die Höhe der raucharmen Schicht,
- b) die Qualität der raucharmen Schicht, insbesondere
 - 1) die optische Dichte pro Weglänge bzw. die Erkennungsweite der Rettungswegbeschilderung
 - 2) die Auswirkungen toxischer Gase und
- c) thermische Einwirkungen aus Wärmestrahlung und Konvektion

zu a) - Höhe der raucharmen Schicht

Das offensichtlichste und am einfachsten nachvollziehbare Kriterium ist die Höhe der raucharmen Schicht. Zur Selbstrettung sind je nach Stärke der Stratifizierung, Raumhöhe und erforderlicher Sicherheitszuschläge typischerweise Schichthöhen von 2,5 m bis 3,5 m nachzuweisen (Forell, 2010). Die Höhe der raucharmen Schicht ist ein wesentlicher Ausgabeparameter der einfachen sogenannten Zonenmodelle, die häufig noch für die Brandsimulation verwendet werden. Die moderneren und komplexeren Feldmodelle (CFD-Modelle) geben den Parameter auf Grund von Auswertungen des Schichtungsverlaufs über die vertikale Koordinatenachse aus, wobei auch der Einfluss von Raumströmungen berücksichtigt werden kann. Die Höhe der raucharmen Schicht ist im Allgemeinen ein konservatives, d.h. früh anschlagendes Kriterium für die Personensicherheit. Das Kriterium beruht nur auf der Auswertung physikalischer Brandphänomene und nicht auf Betrachtungen zu (individuellen) Schadenswirkungen.

zu b) - Qualität der raucharmen Schicht

Um die Ausdehnung einer raucharmen Schicht nachzuweisen sind gegebenenfalls Nachweise für die Qualität der raucharmen Schicht erforderlich. Dies ist erforderlich in Fällen mit geringer Stratifizierung, d.h. geringen Temperaturunterschieden zwischen Heiß- und Kaltrauchschicht, so dass relativ viel Rauchgasanteile in die raucharme Kaltgasschicht gelangen. Zusätzlich gilt es bei Entrauchungskonzepten, die auf Rauchverdünnung basieren (z.B. in Großgaragen oder Tunnel), da dadurch Heiß- und Kaltgasschicht gezielt vermischt werden. Ein weiterer Betrachtungsfall sind sehr konservative (auslegungsüberschreitende) Brandszenarien, bei denen die Höhe der raucharmen Schicht nicht über die ganze Räumungsdauer nachgewiesen werden kann. Auf Grund physikalischer Zusammenhänge, die z.B. in (Hosser, 2009) erläutert werden, korrelieren die optische Dichte pro Weglänge bzw.

Erkennungsweite miteinander, so dass sich mit beiden Kriterien gleichwertige Aussagen treffen lassen. Zur Ermittlung der Kriterien sind neben physikalischen Aspekten auch lichttechnische und chemische Überlegungen zum Verbrennungsvorgang erforderlich. Je nach Höhe der zu erkennenden Objekte im Raum kann das Kriterium b1) optische Dichte pro Weglänge bzw. die Erkennungsweite auch noch vor der Höhe der raucharmen Schicht angeschlossen werden. Für die Bewertung der b2) akuten Brandgastoxizität sind physikalische, chemische und physiologische Aspekte zu berücksichtigen. Nachweiskriterien zur Toxizität sind nicht konservativ. Sie dürfen nur in wohl begründeten Fällen bzw. bei sehr konservativen Szenarien verwendet werden. Das einfache Ersetzen von konservativen Kriterien wie der raucharmen Schichthöhe durch Toxizitätsnachweise würde zu einer Herabsetzung des Sicherheitsniveaus führen. Der Vorteil der Verwendung von Toxizitätsnachweisen liegt darin, dass sie auf Grund der Berücksichtigung chemischer und physiologischer Aspekte prinzipiell am besten zur Risikoquantifizierung geeignet sind. International akzeptierte Kriterien zur Bewertung der akuten Brandgastoxizität sind die Fractional Effective Dose (FED) für die narkotisch wirkenden Gase und die Fractional Irritant Concentration (FIC) für die Reizgase.

zu c) - Thermische Einwirkungen

Die thermischen Wirkungen aus Wärmestrahlung und Konvektion sind insbesondere im Flammennahbereich sowie eventuell hinsichtlich der Heißgasschicht zu betrachten. In die Berechnung gehen vor allem physikalische Aspekte ein.

Akzeptanzkriterien für die Sicherheit des Bewegungsvorgangs

Die Akzeptanzkriterien für Entfluchtungszeiten und die während einer Entfluchtung auftretenden Personendichten ergeben sich mittelbar aus dem akzeptablen Risiko.

Neben der Bestimmung der Fluchtzeiten ist der Nachweis ei-

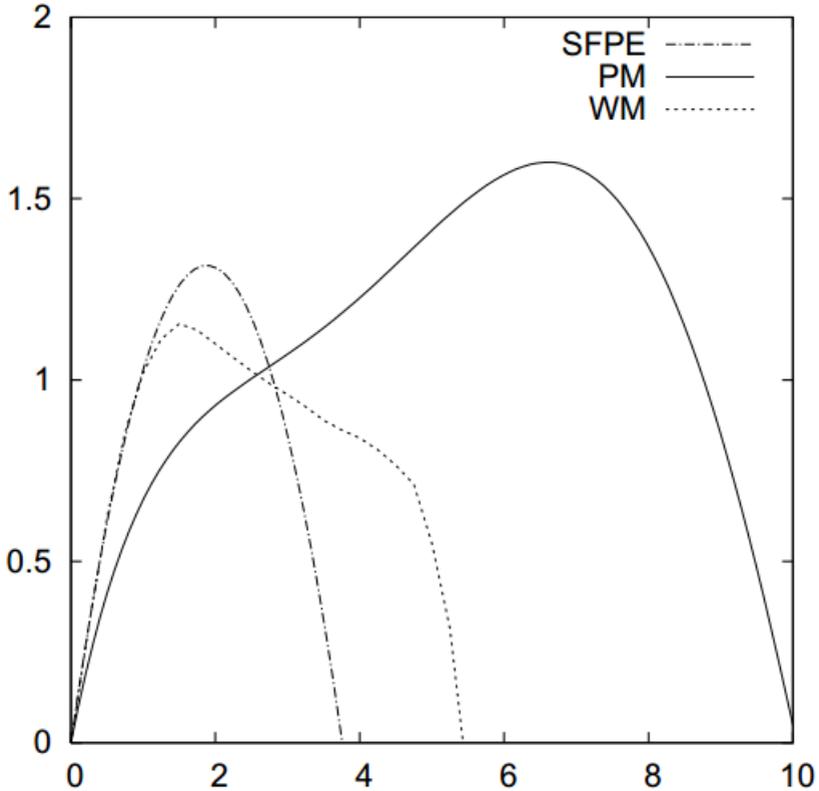


Abbildung 7.3: Fundamentaldiagramme nach SFPE, PM und Weidmann DiNenno (2006), Predtetschenski und Milinski (1971) und Weidmann (1993). Nach rechts ist die Dichte in P/qm und nach oben der spezifische Fluss in $P/m/s$ aufgetragen (Seyfried, Rupprecht u. a., 2005).

nes sicheren Räumungsverlaufs ebenfalls Hauptziel der ingenieurgemäßen Räumungsnachweise. Da ein Räumungsvorgang ohne Staus oder Verzögerungen bei größeren Personenzahlen praktisch nicht möglich ist, lassen sich Kriterien diskutieren (Mehl, 2006) wie

- a) maximale Fluchtzeiten aus dem Gefahrenbereich bzw. aus dem Gesamtgebäude,
- b) keine Staus (nach Verlassen des Primärraums) bzw. an gefährlichen Stellen,
- c) maximale Länge von Strecken oder Zeitintervallen, innerhalb derer nur sehr langsame Gehgeschwindigkeiten (bzw. analog sehr hohe Personendichten) erreicht werden,
- d) Maximaldauer, bis eine Person sich vom Sitzplatz / der Anfangsposition wegbewegen kann, und/oder
- e) maximale Staudrücke bzw. maximal an einem Stau beteiligte Personenzahlen.

Für einige dieser Kriterien sind konkrete Werte vorgeschlagen worden, wobei diese in aller Regel durch keinerlei Studien zum (Panik-)Verhalten von Personen belegt sind.

Zu a) - maximale Fluchtzeiten

Auf Grund der zahlreichen Einflüsse auf die Räumungszeit kann sinnvoller Weise nur ein Grenz-/Richtwert für die Fluchtzeit diskutiert werden. In der MVStättV werden hier zwar keine Vorgaben gemacht, doch wurde in der Erläuterung zur MVStättV 2002 die noch aktuelle Rettungswegbemessung mit Zielwerten für Fluchtzeiten (dort "Entleerungszeiten", ohne Berücksichtigung von Reaktionszeiten) von 2 Minuten aus Innenräumen bzw. von 6 Minuten aus Tribünen im Freien begründet. Der dabei angenommene Fluss von $1,39 \text{ P}/(\text{m} \cdot \text{s})$ stützt sich dabei auf die europäische Normung weitere Hinweise in RiMEA, 2009, (Anhang). Die Fluchtzeiten sind allerdings nur bei einem optimalen Verlauf einschließlich der optimalen (nicht realen) Aufteilung der

Personenströme auf die Rettungswege einzuhalten.

Insofern ist der Vorschlag von Mehl (2006) für maximale Fluchtzeiten praxisnäher:

1. rechnerische Fluchtzeit aus Räumen: $t_{\text{Flucht}} \approx 2 - 3$ Minuten
2. rechnerische Fluchtzeit aus Gebäuden: $t_{\text{Flucht}} \approx 6 - 8$ Minuten (8 Minuten als Extremwert)

Diese Werte sind allerdings nicht wissenschaftlich begründet, sondern beruhen auf nationalen Erfahrungen und Entwicklungen des Baurechts. So zeigt auch der Vergleich Forell, 2005 der Bemessung nach MVStättV mit europäischen Regelwerken zur Rettungswegauslegung, dass die sich ergebenden rechnerischen Fluchtzeiten aus Aufenthaltsräumen ca. um den Faktor 3 variieren. Fluchtzeiten nach MVStättV liegen dabei eher im hinteren Mittelfeld.

zu b) - keine Staus

Diese Forderung wird durch reine Anwendung der baurechtlichen Anforderungen nicht erreicht, da hier nur auf die Mindestbreite der Rettungswege abgehoben wird, ohne z. B. den geringeren spezifischen Fluss auf Treppen zu berücksichtigen. So können vor Treppen Stauungen auftreten, die sich z. B. mit dem einfachen, dynamischen Strömungsmodell nach Predtetschenski und Milinski (1971) (P+M) identifizieren lassen. Bei der Vereinigung von Personenströmen können ebenfalls Stauungen entstehen, die je nach Komplexität des Vorgangs (z. B. bei verschiedenen Startzeiten) am besten mit einem Individualmodell untersucht werden können (wobei die Vereinigung von Personenströmen nicht immer nach einheitlichen Mustern erfolgt bzw. modelliert wird Rogsch, 2006).

zu c) - maximale Strecken und Dauern

Auch hierzu hat Mehl (2006) einen Vorschlag gemacht:

1. die Summe der Stauzeiten bzw. Verzögerungszeiten (als Gehgeschwindigkeit kleiner 0,30 m/s) sollte nicht mehr als

- die Hälfte der Summe der Gehzeiten betragen,
2. Stauzeiten (Einzelwerte) sollten nicht länger als eine Minute betragen bzw.
 3. Verzögerungszeiten sollten nicht länger als zwei Minuten betragen.

In die gleiche Richtung wie c1) bzw. c3) gehend hat das Autorenkollektiv der Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RiMEA, 2009) einen „signifikanten Stau“ definiert. Ein signifikanter Stau liegt demnach vor, wenn eine lokale Dichte von 4 P/m^2 länger als 10% der Räumungszeit ("Gesamtfluchtungsdauer") überschritten wird. Dieses Kriterium wurde aus einem IMO Richtlinienentwurf [20] zur Evakuierung von Fahrgastschiffen übernommen. Während sich Mehls Vorschlag auf eine Grenzgeschwindigkeit bezieht, bezieht sich die RiMEA (2009) auf eine Grenzpersonendichte. Wird Mehls Vorschlag auf das Modell nach Predtetschenski und Milinski (1971) bezogen (angenommene Personenprojektionsfläche von $0,113 \text{ m}^2/\text{P}$, „Übergangsstraßenkleidung“), erhält man eine maximale Personendichte von $3,6 \text{ P/m}^2$ unter „Normalbedingungen“ (vgl. Abbildung 7.3 on page 228) bzw. $6,1 \text{ P/m}^2$ unter „Gefahrenbedingungen“. Der Wert von 4 P/m^2 nach RiMEA (2009) liegt zwar dazwischen, doch machen die stark schwankenden Werte für die Fundamentalbeziehungen die Schwierigkeit bei der Festlegung einer maximalen Personendichte deutlich. Diese Problematik gilt besonders für diskrete Individualmodelle, bei denen die darstellbare Personendichte zusätzlich von der Zellengröße (s. o.) abhängt. Eine minimale Gehgeschwindigkeit ist damit aus Autorensicht das bessere, weil allgemeinverbindlichere Kriterium. Die zeitlichen Dimensionen betreffend, sind die Kriterien 3.1 und 3.3 von Mehl einfacher einzuhalten als RiMEA (2009). Die gravierendsten Staus (Kriterium 3.2) treten üblicher Weise an den Ausgängen von Versammlungsräumen auf. Der zeitliche Verlauf hängt hier maßgeblich von der Verteilung der Reaktionszeiten der Personen ab. Zur Anwendung

der vorgestellten Kriterien in der Genehmigungspraxis liegen den Autoren keine Referenzen vor.

Zu d) und e) - maximale Reaktionszeit und maximaler Staudruck

Zu diesen Kriterien sind bisher keine Vorschläge bekannt. Die Maximaldauer bis zum Verlassen der Anfangsposition ist eine Sonderform der Stauzeit, die besonders bei Personen in Sitzreihen oder auf Tribünen auftreten kann. Die Berechnung von Staudrücken und der daraus resultierenden Maximalpersonenzahlen wäre wünschenswert, da hier das eigentliche Problem der Personengefährdung liegt. Ansätze hierzu sind bei Kemp, 2010; Kemp, 2011 zu finden. Entsprechende Methoden haben bisher noch keinen Einzug in die Ingenieurpraxis gefunden. Insgesamt kann für den Nachweis eines sicheren Fluchtverlaufs festgestellt werden, dass es hier einige Ansätze für Nachweiskriterien gibt, die teilweise auch in Individualmodellen implementiert sind. Ein quantitativer Nachweis ist noch außer Sicht, da die diskutierten Richtwerte weder ausreichend belegt sind, noch die Modelle diese Werte konsistent bestimmen können. Gegenüber der reinen Anwendung des materiellen Baurechts kann die Berücksichtigung der genannten Kriterien aber zur Optimierung von Rettungswegverläufen beitragen.

7.3 Forschungsergebnisse

Die Begriffe *Räumung* und Evakuierung unterscheiden sich gemäß dem Sprachgebrauch der Feuerwehren und Rettungsdienste: bei einer Evakuierung wird das gefährdete Gebiet geplant und für eine unbekannte Dauer verlassen. Das schließt die Unterbringung und Verpflegung der evakuierten Personen in einer Notunterkunft ein. Das Ziel einer Räumung ist dagegen nicht eine Notunterkunft, sondern ein sicherer Bereich. Das kann ein Sammelpunkt

außerhalb eines Gebäudes, ein Schutzraum in einem Tunnel oder auch ein anderer Brandabschnitt innerhalb eines Gebäudes sein (siehe Abbildung 7.4 on the next page. Letzteres kommt insbesondere bei einem Schadensereignis (z.B. einem Brand) in einem Krankenhaus zum Tragen (Wolf, 1999).

7.3.1 Individuelle Strategie

Je komplexer das Gebäude ist und je stärker die individuelle Mobilität eingeschränkt ist, Gebäude ohne fremde Hilfe zügig zu verlassen und sich in Sicherheit zu bringen. Das führt zu der Einteilung in vier verschiedene Strategien bzw. Verhaltensweisen Abrahams, 1994:

- Schnelles Verlassen ohne fremde Hilfe (Selbstrettung);
- Langsames Verlassen (ggf. mit fremder Hilfe anderer Bewohner, Selbstrettung);
- Schutz im Gebäude suchen; und
- auf Hilfe warten.

Eine lange Reaktionszeit spiegelt auch einen zögerlichen Entscheidungsprozess wider. Dies beruht u.a. darauf, dass die Situation unvertraut ist und somit kein Erfahrungswissen zum Umgang mit der Situation vorliegt, aus dem schnelle heuristische Entscheidungsregeln abgeleitet wurden G. Gigerenzer, P.M. Todd und ABC research group, 1999; Gigerenzer, 2011. Das ist ein Grund, warum Training und Übung die Räumungsdauer und damit das Risiko zu Schaden zu kommen, deutlich verringern kann.

Richtungswahl bei einer Evakuierungsübung

Abe (1986) hat das Routenwahlverhalten bei einer Räumungsübung untersucht. Der Alarm wurde ausgelöst und künstlicher Rauch erzeugt. Die Teilnehmer waren nicht darüber informiert, dass es sich um eine Übung handelt. Anschließend wurde erfragt, was die hauptsächliche Motivation für die Routenwahl und die Wahl des benutzten Ausgangs war. Folgende Antworten wurden

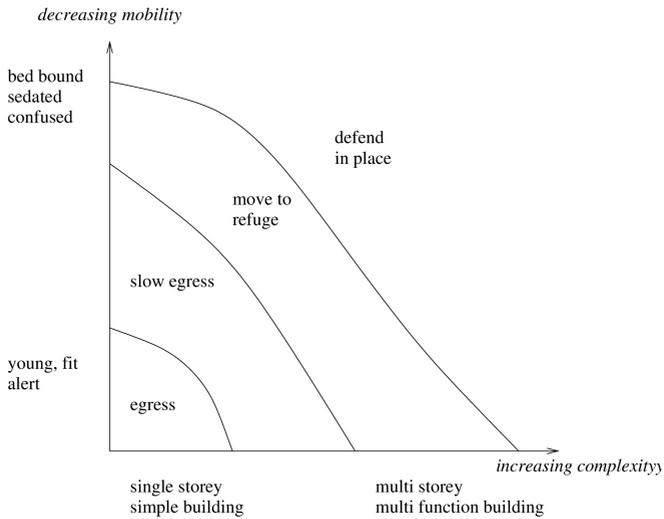


Abbildung 7.4: „Fliehen“ oder „Schutz suchen“ bei einem Brandereignis in einem Gebäude. Je komplexer das Gebäude ist und je geringer die individuelle Mobilität, desto schwieriger ist es für den Einzelnen, sich zurecht zu finden.

(geordnet nach ihrer Häufigkeit) gegeben:

1. den Notausgangsschildern, den Durchsagen über Lautsprecher oder den Anweisungen der Mitarbeiterinnen folgen (53.3%);
2. den nächstgelegenen Ausgang wählen (24.7%);
3. vor Feuer oder Rauch fliehen, die Richtung weg von der Gefahr einschlagen (12%);
4. anderen Personen folgen (6.7%);
5. den bekannten Ausgang nutzen (1.7%);
6. ein helles Fenster in der Nähe der Tür ansteuern (1.0%).
7. es gab kein Gedränge an der Tür (0.7%); oder
8. andere.

Bemerkenswert ist, dass nicht in erster Linie der „gewohnte Ausgang“ als der attraktivste angegeben wurde.

7.3.2 Räumungsübungen

Räumungsübungen wurden für Fahrzeuge, Schiffe, Bauwerke und verschiedene Gebäudearten durchgeführt.

- Flugzeuge (H. Jungermann und C. Göhlert, 2000; M. Owen u. a., 1998; Muir, 1996),
- Züge E.R. Galea und J.M. Perez Galparsoro, 1994,
- Fahrgastsschiffe (A.G. Wood, 1997; J. Harbst und F. Madsen, 1996; MCA, 1997),
- Wohngebäude, Bürogebäude und öffentliche Gebäude (G. Proulx, 1995; Weckman, Lehtimäki und Männikkö, 1999).

Die Bedingungen unter denen die Übungen durchgeführt wurden, variieren stark. Dies gilt z.B. für die Teilnehmerinnen und die Art des Gebäudes. Ein maßgeblicher Faktor ist die Vertrautheit mit dem Gebäude, die sich natürlich bei Wohn- und Bürogebäuden ganz anders darstellt als bei Einkaufszentren, öffentlichen Gebäuden etc. Für Pflegeheime und Seniorenresidenzen wurden für die Reaktionszeiten (Zeit vor dem Beginn des Verlassens des Gebäudes) Werte von bis zu 30 Minuten am Tag berichtet. In

der Nacht kann es noch zu deutlich längeren Werten kommen, so dass – besonders in Wohngebäuden – der entscheidende Faktor für die Sicherheit der Bewohner das Vorhandensein von Rauchwarnmeldern ist.

Manchmal müssen die Besucher auch erst durch Feuerwehrleute aufgefordert werden, das Gebäude zu verlassen. Das gilt insbesondere dann, wenn keine Gefahrensignale zu sehen, zu riechen oder zu hören sind (G. Proulx, 1995). Die Repräsentation eines solchen Verhaltens in den Berechnungsverfahren und Simulationen geschieht in erster Linie über die Reaktionszeit (t_{Reaktion}^i , siehe Gleichung 7.1 on page 216).

7.3.3 Berichte zu Unglücksfällen

Panik bei Brandereignissen

Gelegentlich wird auch im Zusammenhang mit Brandereignissen von „Panik“ gesprochen. Canter (1990) weist die Vorstellung, dass es bei Brandereignissen leicht zu „Panik“ kommen kann zurück. Er weist darauf hin, dass Verhalten, das von außen oder im Nachhinein betrachtet „irrational“ erscheint, gute Gründe hat. Auch G. Proulx (1995) hat keine Hinweise auf „Fluchtpanik“ gefunden. Vielmehr stützen ihre Untersuchungen die These, dass Personen bei sehr großer Gefahr eher lethargisch werden. Das deckt sich mit der Definition von „Panik“, die von Pajonk und Dombrowsky, 2006 entwickelt wurde und in Abschnitt 3.3.3 on page 99 dargestellt ist.

Daher wird in Modellen für die Bewegung erhöhter Stress bei unmittelbarer Gefahr mit einer höheren Streubreite von Parametern wie der individuellen freien Laufgeschwindigkeit v_{max}^i oder der Reaktionszeit t_{Reaktion}^i (in Gleichung 7.1 on page 216 oder mit Hilfe von stochastischen Parametern wie *Nervosität* D. Helbing, I. Farkas und T. Vicsek, 2000 berücksichtigt).

Eine Übersicht von Unglücksfällen aus den vergangenen Jahrzehnten (einschließlich solcher in Fußballstadien hat Dirk Hel-

bing (2004) zusammengestellt. Hinweise, wie Fußballstadien sicher betrieben werden können, finden sich in (HSE, 2000; H. HSE und Executive, 1999).

Untersuchungsberichte

Die Beschränkungen der Erkenntnisse, die aus Evakuierungsübungen gewonnen werden können, liegen vor allem darin, dass dort kein mit einer wirklichen Gefahrensituation vergleichbares Stressniveau vorhanden ist. Es ist also nicht ohne weiteres möglich, aus Evakuierungsübungen Rückschlüsse auf das Verhalten in wirklichen Gefahrensituationen zu ziehen.

Untersuchungsberichte oder Befragungen bieten die Möglichkeit, solche Informationen zu erhalten. Anekdotische Berichte von Betroffenen müssen allerdings mit Vorsicht betrachtet werden. Die Erinnerung an die Ereignisse kann z.B. durch Fernsehberichte beeinflusst sein. Der Abruf von Erinnerungen aus dem Gedächtnis ist ein konstruktiver Prozess. Nichtsdestotrotz sind solche Berichte hilfreich, insbesondere wenn mehrere voneinander unabhängige Quellen zur Verfügung stehen oder wenn es einen offiziellen Untersuchungsbericht gibt (Comission, 1978; *The High-Speed Craft MS Sleipner Disaster 26 November 1999* 2000; Taylor, 1990). Denn sie können Erkenntnisse über die Routenwahl und andere Verhaltensweisen liefern. Untersuchungen belegen, dass die Unterscheidung zwischen „rationalem“ und „irrationalem“ Verhalten nicht geeignet ist, um die Reaktion auf Havarien oder anderen Unglücken auf Fahrgastschiffen zu verstehen (J. Harbst und F. Madsen, 1996).



Literatur

In diesem Abschnitt werden Quellen nach verschiedenen Kriterien geordnet aufgelistet. Dies reicht von der Sprache (deutsch und englisch) über die Art der Infrastruktur (Gebäude, Fahrzeuge, Flugzeuge, Schiffe, sonstige) und den Anwendungsfall (Alltagsverkehr oder Evakuierung) bis zu formalen Kriterien (Bücher, graue Literatur, Untersuchungsberichte, Dissertationen und Diplomarbeiten). Für die „graue Literatur“ sind URLs angegeben, falls bekannt.

Deutschsprachige Bücher und Berichte

Die folgenden zehn Bücher sind aktuelle (Stand 2013) im Buchhandel erhältlich und vertiefen die in diesem Buch behandelten

Themen.

1. Weidmann u. a., 2012 - Transporttechnik der Fußgänger. Ausführliche Zusammenstellung der Grundlagen des Bewegung und Dimensionierung von Fußgängeranlagen
2. K. Ackermann, Bartz und Feller, 1997 - Behindertengerechte Verkehrsanlagen. Notwendige Breiten, Beschilderung, Steigung von Rampen, etc.
3. Wenzel2011 - Handbuch Beschilderungsplanung. Prinzipien einer verständlichen und übersichtlichen Beschilderung.
4. Predtetschenski und Milinski, 1971 - Umfangreiches Berechnungsverfahren, Neuauflage als Beilicke, 2010
5. Friedl und Scelsi, 2004 - Gebäuderäumungen: Organisation von Übungen (Evakuierungshelfer, etc.)
6. Löhr und Gröger, 2011 - Standardkommentar zur Versammlungsstättenverordnung
7. Badke-Schaub, Hofinger und Lauche, 2008 - Human Factors
8. Müller, 2009 - Handbuch Evakuierung Maßnahmen für den Evakuierungsfall, Planung und Vorbereitung (Evakuierungshelfer, etc.), Berechnungsbeispiele nach Predtetschenski und Milinski, 1971
9. Maurer und Peter, 2005 - Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen
10. Starke, Scherer und Buschhoff, 2007 - Guter Einstieg in die Versammlungsstättenverordnung

Berichte, Leitfäden usw., die z.B. von Bund oder Ländern, Kommunen, Behörden, Verbänden Vereinigungen, etc. herausgegeben werden, aber i.a. nicht über den Buchhandel erhältlich sind. Zwei nützliche Datenbanken, die solche Berichte nachweisen, sind: <http://www.opengrey.org> Die folgenden Broschüren und Leitfäden sind zumeist frei erhältlich bzw. können beim Autor bezogen werden.

- vfdb-Leitfaden „Ingenieurmethoden“ Hossler, 2009

- Weidmann (1992) (erhältlich auf www.ped-net.org)
- U. Weidmann (1994)
- RiMEA (2009) (erhältlich auf www.rimea.de)
- DIN Spec DIN, 2012-04 „Grundlagen mikroskopischer Enfluchtungsanalysen“ (ein Destillat aus RiMEA, 2009)
- Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz bei Großveranstaltungen Branddirektion München, 2007
- Mobile Sicherheitsabsperungen für Veranstaltungen Branddirektion München, 2011
- Sicherheitskonzepte (Checkliste) AGBF, 2009 (siehe auch Abschnitt).
- Einsatzplanung Großveranstaltungen AGBF, 2008

Abschlussarbeiten

Hier werden einige Abschlussarbeiten von Hochschulen (Dissertationen, Diplomarbeiten oder Masterarbeiten) beispielhaft genannt. Die Auflistung ist gezwungenermaßen subjektiv und erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Abschlussarbeiten können z.B. über die Technische Informationsbibliothek Hannover recherchiert und oft auch direkt herunter geladen werden.

- Schultz, 2010 - u.a. lokaler Algorithmus zur exakten Berechnung des euklidischen Abstands für komplexe Geometrien
- Klüpfel, 2003 - umfangreiche Informationen zur Evakuierung von Fahrgastschiffen.
- Kretz, 2007 - F.A.S.T Modell, Übersicht zu Unglücksfällen
- Still, 2000 - Crowd Dynamics, extensive overview
- Otto, 2005 - Anwendung von Predtetschenski und Milinski, 1971 und Simulationsprogrammen auf ein Hörsalgebäude www.traffgo.ht/de/research/studies
- Hebben, 2006 - Leitfaden für Evakuierungsberechnungen, Vergleich PedGo, Simwalk, Simulex, Aseri www.traffgo.

- [ht/de/research/studies](http://www.ht.de/research/studies)
- Rogsch, 2006 - Einfache Testfälle zum Vergleich verschiedener Evakuierungssimulationsprogramme (Aseri, Exodus, PedGo, Simulex) www.ht.de/research/studies
 - Geoerg (2012) - Vergleich von Aseri, PedGo, VisWalk

Gesetze und Verordnungen

Hier sind die im Text genannten Gesetze und Verordnungen noch einmal aufgelistet. Für eine graphische Übersicht der einschlägigen Verordnungen und Gesetze und ihre Einordnung in den rechtlichen Gesamtrahmen siehe Starke, Scherer und Buschhoff, 2007.

- MusterBauOrdnung (MBauO)
- Sonderbauverordnung (NRW) - enthält Abschnitte zu Versammlungsstätten, Beherbergungsstätten, Verkaufsstätten, Hochhäuser und Garagen
- MSchulBauRiLi
- MVkStättVO (z.B. 30cm Fluchtwegbreite je 100qm Fläche)
- Muster-VStättVO
- MHochHausRiLi
- MusterGarVO
- Richtlinie Fliegende Bauten

Englischsprachige Bücher und Berichte

Maßgebliche englischsprachige Publikationen sind u.a.:

- Tubbs und Meacham, 2007 - viele Beispiele zu „Lösungen für den Entwurf von Flucht- und Rettungswegen“ (egress design solutions)

- J. J. Fruin, 1971 - Klassiker, auf den der „level of service“ für Fußgänger zurückgeht
- *Highway Capacity Manual* 1994 - Kapitel 13: Leistungsfähigkeit von Anlagen für den Fußgängerverkehr
- DiNenno, 2006 - „Verhalten im Brandfall“ (3-12), „Bewegung von Menschen: Die Evakuierungszeit“ (3-13) und „Bewegung im Notfall“ (3-14)
- Kemp, 2010 - *Case Studies in Crowd Management*
- HSE, 2000 - *Managing Crowds Safely*
- HSE, 1999 - *Event Safety Guide (Purple Guide)*
- DCMS, 2008 - *Guide for Safety at Sports Ground (Green Guide)*
- Challenger, 2009 „Crowd Management“
(1) *Guidance and Lessons Identified*, PDF, 147 Seiten – *Crowd Management, Emergency Situations, Crowd Simulation, Types of Crowds, Crowd Behaviours*; (2) *Supporting Evidence*, PDF, 326 Seiten – *Very Large Scale Crowd Events, Heathrow Terminal 5, Literature Review*; (3) *Simulation Tools*, PDF, 58 Seiten – "Legion", "Myriad", "Mass Motion" (4) *Supporting Documentation*, PDF, 79 Seiten – *Methodology (Literature Review and Expert Interviews, References*.
<http://preview.tinyurl.com/challenger2009>
- Kemp, 2011 - *Review of Crowd Management Procedures*
- Clark McPhail, 1991 - *Myth of the Madding Crowd*
- Mawson, 2007 - *Mass Panic and Social Attachment*

Schiffe, Flugzeuge, Züge, Verkehrsanlagen

Am Rande seien einige einschlägige Richtlinien und Verordnungen für Verkehrsmitteln genannt:

- SOLAS IMO, 2000 - „Safety of Life at Sea“ - umfassende Regelungen zur Sicherheit von Fahrgastschiffen auf See

- FSS Code *International Code For Fire Safety Systems (FSS Code)* 2000 - Ausführungsbestimmungen zu SOLAS zur Feuersicherheit auf Schiffen
- MSC.1/Circ.1238 - Beschreibt die Durchführung der von SOLAS geforderten „Evakuierungsanalyse im frühen Entwurfsstadium“ (für neue und bestehende Fahrgastschiffe)
- MSC.1/Circ.1166 (HSC) - Evakuierungsanalyse für Hochgeschwindigkeitsfähren
- Federal Aviation Administration (FAA) FAA, 1990 - Definiert die 90 Sekunden-Regel für die Evakuierung (bei Übungen) von Flugzeugen
- Eisenbahnbundesamt (2001) *Leitfaden für den Brandschutz in Personenverkehrsanlagen der Eisenbahnen des Bundes* 2001 - u.a. Regelungen zur Evakuierung von Bahnsteigen
- Richtlinie der DB „Personenbahnhöfe planen“ - u.a. mit einem Verfahren (Kapazitätsanalyse) zur Berechnung der Evakuierung Bahn, 2012
- Westphal Westphal, 1971 - Personenströme auf Bahnhöfen, einschließlich Leistungsfähigkeit von Fahrtreppen

Unglücksfälle und Untersuchungsberichte

Hier sind beispielhaft Hinweise zu den in den letzten Jahren intensiv diskutierten Unglücksfällen aufgelistet. Die Auflistung ist wiederum zwangsläufig subjektiv und unvollständig. Sie greift – wie gesagt – nur einige Fälle, die besondere Aufmerksamkeit erfahren haben, beispielhaft heraus.

- Mocken, 1999 - Brandkatastrophe am Düsseldorfer Flughafen
Insbesondere die abschließenden Betrachtungen zu den rechtspolitischen Konsequenzen (neue Gesetze und Verordnungen) sind von Interesse für die in diesem Buch diskutierten Themengebiete.

- Loveparade: Gutachten K. Still Keith G. Still, 2011
Nennt als Ursache für die Loveparade-Katastrophe den nicht ausreichenden (zu engen) Zugang zum Gelände, die nicht für die vorhergesagte Nachfrage (die Anzahl der Personen pro Stunde) ausreichen.
- Taylor, 1990 - Der Untersuchungsbericht zum Hillsborough Unglück Wikipedia.
- Commission, 1978 - Untersuchungsbericht zum Unglück im Riverside Colloseum (Cincinnati), 1978 („The Who Concert Stampede“) Ein Vergleich von „The Who“ und „Hillsborough“ findet sich in Kemp, 2010.
- „Station Night Club“, Rhode Island, NY, USA
- *The High-Speed Craft MS Sleipner Disaster 26 November 1999 2000* - Hochgeschwindigkeitsfähre „MS Sleipner“

Simulationssoftware

Die Anzahl der Programme, die für die Simulation von Personenströmen entwickelt wurden, sind Legion. Es ist an dieser Stelle weder möglich noch sinnvoll, einen vollständigen Überblick geben zu wollen. Stattdessen werden wir auf solche Übersichten verweisen. Um den Anspruch zu erfüllen, das dieses Buch gelesen und genutzt werden kann, ohne Sekundärliteratur hinzuzuziehen, werden wir dennoch auf die in Deutschland zur Zeit gängigsten Programme hinweisen. Die Auswahlkriterien sind dabei folgende: Wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist, dann wurde das Programm in die nachfolgende Liste aufgenommen: (1) Das Programm wurde oder wird in Deutschland entwickelt; oder (2) Es hat eine deutsche Benutzeroberfläche; oder (3) Es gibt ein deutschsprachiges Handbuch oder eine deutschsprachige Dokumentation; oder (4) Es gibt deutschsprachige Unterstützung (Support).

Diesen Kriterien genügen: Aseri, OpenPedSim, PedGo, Viswalk, Simwalk und Z-Evac. Von diesen Programmen ist für Aseri,

PedGo und Vissim kommerzieller Support erhältlich. Z-Evac und OpenPedSim sind Open Source Programme, so dass man den Quellcode (von www.sourceforge.net) herunterladen kann. Zu den bekanntesten englischsprachigen Programmen gehören Simulex, buildingExodus, Pathfinder und FDS+Evac. Das letztere ist ein OpenSource Programm. Im Abschnitt 7.3.3 on page 243 werden einige Arbeiten aufgelistet, die Vergleiche zwischen Simulationsprogrammen enthalten.



Glossar

A

AGBF Arbeitsgemeinschaft der Berufsfeuerwehren

AGVS Arbeitsgemeinschaft Veranstaltungssicherheit

Agent ist ein Konzept aus der Informatik zur Beschreibung eigenständiger und aktiver Objekte. Im BDI-Schema werden die Agenten anhand ihrer Überzeugungen (beliefs), Wünsche (desires) und Absichten (intentions) definiert. Ein Agent ist autonom und interagiert mit seiner Umwelt und den anderen Agenten. In der Simulation von Fußgängerverkehr sind die Fußgänger die Agenten.

Agression physisches oder sprachliches Verhalten das darauf abzielt, einen anderen Menschen zu verletzen. Gemäß dieser Definition ist es möglich, seine Ziele nachdrücklich zu

verfolgen, ohne aggressiv zu sein.

Akzeptables Risiko Dasjenige Risiko, das gesellschaftlich akzeptiert ist. Bei Einhaltung aller Gesetze und Vorschriften verbleibt ein Risiko; dieses ist das akzeptable Risiko.

Alarmierungszeit Zeitspanne zwischen der Entdeckung eines auslösenden Ereignisses und dem Auslösen des Entfluchtungssignals (Alarm oder Sprachdurchsage als Aufforderung zur Evakuierung)

Attraktion Anziehungspunkt. Eine Attraktion kann eine materielle oder immaterielle Belohnung (die Nähe zu einem Star oder ein Autogramm sein). Attraktionen können zu Gedränge führen.

B

Bauliche Anlage mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlage DIN, 2012-04

Bestätigungfehler Tendenz, bei der Überprüfung von Annahmen (z.B. bei der Planung) solche Hinweise zu bevorzugen (d.h. nach ihnen zu suchen), die die Annahme bestätigen.

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)

sind all diejenigen Behörden und Organisationen, die für die vorbeugende oder abwehrende, polizeiliche oder nicht-polizeiliche Gefahrenabwehr zuständig sind, also insbesondere Feuerwehr, (i.a. als Teil der Ordnungsbehörde, d.i. i.a. die Stadt, die Gemeinde oder der Kreis), die Polizei, Hilfsorganisationen wie DRK, JUH, etc., THW, usw.

BOS Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

Brandschutz wird eingeteilt nach vorbeugendem - dieser dann als technischer oder organisatorischer - und abwehrendem Brandschutz.

C

Chaos Hängt die zeitliche Entwicklung eines → DYNAMISCHEN SYSTEMS sehr empfindlich von den Anfangsbedingungen ab, so ist sie nicht vorhersagbar. Das liegt an der unvermeid-

lichen Unsicherheit in der Bestimmung oder Kontrolle der Anfangsbedingungen.

→ POSITIVE VERSTÄRKUNG kann zu solch einer Aufschaukelung (→ LAWINENEFFEKT) führen. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird mit Chaos ein großes Durcheinander, eine unübersichtliche Situation oder ähnliches bezeichnet.

D

Detektionszeit Zeitspanne vom Beginn des auslösenden Ereignisses (z. B. Brand) bis zu seiner Entdeckung

Dynamisches System Mathematisches Objekt zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung eines realen Systems (z.B. aus der Biologie, Physik, Soziologie). Eine Veranstaltung kann ein solches System sein (vgl. Abbildung 1.5 on page 38).

E

Entfluchtung selbstständiges "In-Sicherheit-Bringen" von Personen aus einem gefährdeten Bereich

Entfluchtungszeit Maximum aller individuellen Entfluchtungszeiten für einen Entfluchtungsablauf.

Evakuierung Die organisierte (und daher geplante) und zeitlich unbestimmte Verlegung des Lebensmittelpunktes aus akut gefährdetem in sicheres Gebiet. Jörg Schmidt, 25.06.2009

Evakuierungshelfer arbeiten mit den Brandschutzhelfern und dem Brandschutzbeauftragten zusammen. Ihre Aufgaben und Ernennung sind im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und den Unfallverhütungsvorschriften geregelt.

F

FlBauRi Richtlinie Fliegende Bauten

Fluchtweg bauliche Einrichtung, durch die eine sichere Wegführung für Personen geschaffen wird, damit diese von einem beliebigen Punkt in der baulichen Anlage zu einem sicheren Ort gelangen

freie Laufgeschwindigkeit Geschwindigkeit der Personen bei

sehr geringer lokaler Personendichte (nahe Null)

Freifläche offene oder umschlossene, nicht überbaute Fläche, die z. B. als Versammlungsstätte genutzt werden kann

G

Gerücht Information die mündlich weitergegeben wird, aber nicht gesichert ist. Um die mit Gerüchten verbundene Verunsicherung der Besucher zu vermeiden, ist regelmäßige und klare Information notwendig.

H

I

individuelle Entfluchtungszeit Summe der allgemeinen Detektions- und Alarmierungszeit sowie der individuellen Reaktions- und Laufzeit.

individuelle Laufzeit Zeitspanne, die eine Person benötigt, um von ihrer anfänglichen Position zu einem sicheren Ort (Sammelplatz, anderer Brandabschnitt, Ausgang oder Ähnliches) zu gelangen

individuelle Reaktionszeit Zeitspanne zwischen dem Auslösen des Entfluchtungssignals und dem Beginn der Entfluchtung einer einzelnen Person. Die individuelle Reaktionszeit schließt die Wahrnehmung von Hinweisen, das Erteilen und Aufnehmen von Anweisungen und die Durchführung aller anderen Tätigkeiten vor Beginn der Entfluchtung ein.

K

Kapazität Die Kapazität ist der maximale Fluss gemessen in Personen pro Sekunde. Er ist also immer auf ein konkretes Wegelement bezogen, da er sich als Produkt aus der spezifischen Kapazität und der Breite ergibt.

Kollektives Verhalten Koordiniertes Verhalten in einer Menschenmenge.

Komfort Individuelles Empfinden der aktuellen Situation und Umwelt und der dadurch erzeugen Lust- und Unlustgefühle (auch: Wohlbefinden) → LEVEL OF SERVICE; → Abb. 1.3

L

Lawineneffekt Aufschaukelung eine Variablen aufgrund → POSITIVER RÜCKKOPPLUNG (vgl. Abbildung 1.5 on page 38)

LoS Level of Service

Level of Service Bestimmung des Qualitätsniveaus einer Verkehrsanlage (z.B. für den Fußgängerverkehr). Meist wird die Dichte (gemessen in Personen pro Quadratmeter) als Qualitätskriterium herangezogen.

M

Massenanfall von Verletzten (MANV)

mikroskopische Entfluchtungsanalyse rechnergestützte Analyse von selbstständigen Personenbewegungen hin zum sicheren Ort, bei der jede Person individuelle Bewegungen anhand individueller Parameter, Fähigkeiten und/oder Verhaltenseinstellungen basierend auf rechnergestützten Algorithmen ausführt Die Bewegung jeder einzelnen Person wird dargestellt.

makroskopische Berechnungsverfahren Flussrechnungen (z. B. Predtetschenski & Milinski Predtetschenski und Milinski, 1971, die Personenströme wie Flüssigkeitsströme behandeln

Menschenmenge Mehrere Personen, die sich zur gleichen Zeit am gleichen Ort befinden und deren Aufmerksamkeit auf das gleiche Ziel oder Objekt gerichtet ist (z.B. die Besucher einer Veranstaltung, die Teilnehmer einer Demonstration, usw.).

P

Personenbelegung Anzahl der Personen in der zu untersuchenden baulichen Anlage entsprechend der jeweiligen Nutzung, die für die Analyse der Fluchtwege berücksichtigt wird

Positive Rückkopplung Wechselseitige (ringförmige) Verstärkung und Aufschaukelung von zwei oder mehr Variablen

eines DYNAMISCHEN SYSTEMS; führt zum LAWINENEFFEKT (vgl. Abbildung 1.5 on page 38)

Q

Qualitätsstandard Qualitatives oder quantitatives Maß für den Komfort, die Sicherheit, Nützlichkeit oder Leistungsfähigkeit (englisch: *Level of Service – LoS*)

R

Räumung Das spontane (ungeplante) Verlassen eines gefährdeten Gebietes oder Bereichs. Anlass: kurzfristige Bedrohung (z.B. Bombenfund). Daran kann sich die Verlegung in ein Betreuungsobjekt für unbestimmte Zeit (siehe Evakuierung) anschließen.

Risiko Produkt aus Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit; zu unterscheiden von Unsicherheit, die nicht quantifiziert werden kann. Zur Bestimmung des Risikos muss man also ermitteln, welche Schäden entstehen können und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie entstehen.

S

SBauVO (NRW) Sonderbauverordnung Nordrhein-Westfalen
SchulBauRi Schulbaurichtlinie

sicherer Bereich Bereich am Ende des Fluchtweges, in dem Menschen und Tiere vor den Einwirkungen des Schadensereignisses geschützt sind und durch Helfer oder Einsatzkräfte versorgt werden können Ein sicherer Bereich kann sowohl innerhalb eines Gebäudes als auch außerhalb eines Gebäudes angeordnet werden. Die Fläche eines sicheren Bereiches muss für die max. zu erwartende Anzahl von flüchtenden Personen und deren Versorgung ausreichen.

signifikante Entfluchtungszeit Zeit eines Ensembles von (Gesamt-) Entfluchtungszeiten, die größer als oder gleich einem festzulegenden Schwellwert ist

signifikante Stauung Stocken eines Personenstroms oberhalb eines Schwellenwertes bis hin zum zeitweisen Stillstand

Standardabweichung Maß für die Streuung der Verteilung (Schätzung der Varianz der Grundgesamtheit) und somit die Streubreite einer statistischen Verteilung

statistische Auswertung zur Bewertung unterschiedlicher Konstellationen während der Entfluchtung, bei der Agenten (Personen) mit unterschiedlichen Eigenschaften zufällig im Zeitablauf auf dann auch andere Agenten treffen, ist eine ausreichende Zahl von Simulationsläufen durchzuführen. Erst die Verteilung der hierbei gewonnenen Resultate ermöglicht eine fundierte Beurteilung der Entfluchtungssituation. Im Sinne einer statistischen Analyse ergeben sich:

Schutzziel gemäß MBO sind Schutzziele Leben und Gesundheit von Mensch und Tier und Eigentum.

Sicherer Bereich derjenige Bereich, an dem die Personen bei einer Räumung oder Evakuierung in Sicherheit sind. Siehe z.B. DIN-SPEC-91284.

V

Verantwortlicher für Veranstaltungstechnik

VkStättVO Verkaufsstättenverordnung

Versamlungsstätte → bauliche Anlage, Teil baulicher Anlagen, die für die Zusammenkunft einer größeren Zahl von Menschen bei Veranstaltungen, insbesondere erzieherischer, wirtschaftlicher, geselliger, kultureller, politischer, sportlicher oder unterhaltender Art, bestimmt ist (siehe auch → Musterversamlungsstättenverordnung)

VStättVO Versamlungsstättenverordnung

Z

Zuschauereffekt Die Beobachtung, dass eine Person weniger hilfsbereit ist, wenn es weitere Zuschauer gibt.



Referenzen

Bücher

- Abe, K. (1986). *The Science of Human Panic*. (in Japanese). Tokyo: Brain Publ. Co. (siehe Seiten 123, 233).
- Ackermann, Kurt, Christian Bartz und Gabriele Feller (1997). *Behindertengerechte Verkehrsanlagen: Planungshandbuch für Architekten und Ingenieure*. 1. Auflage. Düsseldorf: Werner. ISBN: 3-8041-1054-1 (siehe Seiten 59, 242).
- Beilicke, Gert, Herausgeber (2010). *Personenströme in Gebäuden: Berechnungsmethoden für die Projektierung*. 1., Aufl. Leipzig: Beilicke Brandschutz Verlag. ISBN: 978-3-942578-01-1 (siehe Seite 242).
- Canter, D., Herausgeber (1990). *Fires and Human Behaviour*. 2nd. London: David Fulton Publishers (siehe Seite 236).

- Dieckmann, D. (1911). *Die Feuersicherheit in Theatern*. München: Jung (siehe Seite 179).
- DiNenno, Philip J. (2006). *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3. ed., [Nachdr.] Quincy und Mass: NFPA, National Fire Protection Association [u.a.] ISBN: 0-87765-451-4 (siehe Seiten 115, 228, 245).
- E. Kreyszig (1999). *Advanced Engineering Mathematics*. 7. Auflage. New York: Wiley (siehe Seiten 58, 78).
- Feyerabend, Paul (1970). *For and Against Methode*. New York: Wiley (siehe Seite 211).
- Friedl, Wolfgang J. und Angelo Scelsi (2004). *Gebäuderäumungen: Organisation von Übungen ; Vorbereiten für den Ernstfall ; Profi-Tipps zur praktischen Durchführung*. 1. Auflage. Stuttgart: Boorberg. ISBN: 3415032523 (siehe Seite 242).
- Fruin, J.J. (1971). *Pedestrian Planning and Design*. New York: Metropolitan Association of Urban Designers und Environmental Planners (siehe Seiten 70, 88).
- Fruin, John J. (1971). *Pedestrian Planning and Design*. Elevator Books: Elevator Books (siehe Seiten 37, 85, 86, 200, 202, 245).
- G. Gigerenzer, P.M. Todd und the ABC research group (1999). *Simple Heuristics that make us Smart*. New York, Oxford: Oxford University Press (siehe Seite 233).
- Gigerenzer, Gerd (2011). *Bauchentscheidungen*. München: dtv (siehe Seite 233).
- Grawe, Klaus (2004). *Neuropsychotherapie*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe. ISBN: 3-8017-1804-2 (siehe Seiten 20, 21, 53).
- Grupe, G. u. a. (2005). *Anthropologie*. Springer Verlag (siehe Seiten 51, 53).
- Heckhausen, Jutta (2010). *Motivation und Handeln: Mit 45 Tabellen ; [+ online specials]*. 4. Auflage. Springer-Lehrbuch. Berlin [u.a.]: Springer. ISBN: 978-3-642-12692-5 (siehe Seiten 24, 25).

- Helbing, D. (1997). *Verkehrsdynamik*. Springer (siehe Seite 183).
- IMO, Herausgeber (2000). *Safety of Life at Sea (SOLAS)*. consolidated edition. London: Bath Press. Kapitel II-2/28-1, Seite 209 (siehe Seite 245).
- Kemp, Chris (2010). *Case studies in crowd management, security and business continuity*. Entertainment Technology Press. ISBN: 1904031633 (siehe Seiten 232, 245, 247).
- Knoflacher, Hermann (2007). *Grundlagen der Verkehrs- und Siedlungsplanung: Verkehrsplanung*. Wien: Böhlau. ISBN: 9783205776260 (siehe Seiten 39, 68).
- Kuhl, Julius (2010). *Lehrbuch der Persönlichkeitspsychologie: Motivation, Emotion und Selbststeuerung*. Psychlehrbuchplus. Göttingen [u.a.]: Hogrefe. ISBN: 978-3-8017-2239-5 (siehe Seiten 22, 27, 28).
- Kuhn, Thomas (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. New York: Wiley (siehe Seite 211).
- Lakatos, Imre (1970). *The Structure of Scientific Research Programs*. New York: Wiley (siehe Seite 211).
- Largo, Remo H. (2011). *Kinderjahre*. 21. Auflage. München: Piper (siehe Seite 52).
- Lewin, Kurt und A. Lang (2012). *Feldtheorie in den Sozialwissenschaften: Ausgewählte theoretische Schriften*. 1. Aufl., Faks.-Ausg. der dt.-spr. Erstausg. von 1963. Psychologie Klassiker. Bern: Huber. ISBN: 9783456850764 (siehe Seite 26).
- Löhr, Volker und Gerd Gröger (2011). *Bau und Betrieb von Versammlungsstätten – Kommentar zur Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättV 2005) einschließlich der darauf beruhenden landesrechtlichen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften*. 3. Auflage. BB-Kommentar. Frankfurt am M: Verl. Recht und Wirtschaft. ISBN: 9783800514892 (siehe Seiten 116, 119, 142, 242).

- Maurer, Klaus und Hanno Peter (2005). *Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen*. Edewecht [u.a.]: Stumpf + Kossendey. ISBN: 9783932750946 (siehe Seiten 124, 126, 135, 242).
- Mawson, Anthony R. (2007). *Mass panic and social attachment: The dynamics of human behavior*. Aldershot u. a.: Ashgate. ISBN: 075464880X (siehe Seiten 23, 245).
- McPhail, Clark (1991). *The myth of the madding crowd*. Social institutions and social change. New York und NY: de Gruyter. ISBN: 0202303756 (siehe Seiten 44, 93, 107, 245).
- Müller, Klaus (2009). *Handbuch Evakuierung: Maßnahmen im Brand- und Katastrophenfall*. Berlin: Schmidt. ISBN: 9783503116188 (siehe Seite 242).
- Myers, David G. (1999). *Social psychology*. 6. Auflage. Boston: McGraw-Hill. ISBN: 0072902175 (siehe Seite 41).
- Oeding, Detlef (1963). *Verkehrsbelastung und Dimensionierung von Gehwegen und anderen Anlagen des Fussgängerverkehrs*. Band 22. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Bonn: Bundesminister für Verkehr Abteilung Strassenbau (siehe Seiten 39, 74).
- Predtetschenski, W.M. und A.I. Milinski (1971). *Personenströme in Gebäuden – Berechnungsmethoden für die Modellierung*. Köln-Braunsfeld: Müller (siehe Seiten 70, 86, 88, 200, 228, 230, 231, 242, 243, 253).
- R. Forsyth, D. (1999). *Group Dynamics*. 3. Auflage. Belmont, CA: Wadsworth Publishing. Kapitel 15 (siehe Seite 40).
- Rheinberg, Falko (2008). *Motivation*. 7. Auflage. Band 6. Grundriss der Psychologie. Stuttgart: Kohlhammer. ISBN: 978-3-17-020551-2 (siehe Seite 25).
- Rodríguez, Havidán (2007). *Handbook of disaster research*. Handbooks of sociology and social research. New York und NY: Springer. ISBN: 9780387739526 (siehe Seite 94).
- Starke, Hartmut H., Harald Scherer und Christian A. Buschhoff (2007). *Praxisleitfaden Versammlungsstättenverordnung: Ein*

- Anwendungshandbuch für Berufspraxis, Ausbildung, Betrieb und Verwaltung*. 2., überarb. Berlin: XEMP Extra Entertainment Media Publ. ISBN: 9783938862148 (siehe Seiten 116, 119, 142, 242, 244).
- Tubbs, Jeffrey S. und Brian J. Meacham (2007). *Egress design solutions: A guide to evacuation and crowd management planning*. Hoboken und NJ: Wiley. ISBN: 9780471719564 (siehe Seite 244).
- Weidmann, Ulrich u. a. (Sep. 2012). *Transporttechnik der Fußgänger: Eigenschaften, Dimensionierung, Anlagengestaltung*. 1. Auflage 2012 ca. 208 Seiten, Format 17 x 24 cm, broschiert zahlreiche Abbildungen, Erscheinungstermin: September 2012. Zürich: vdf Hochschulverlag. ISBN: 978-3-7281-3456-1 (siehe Seiten 70, 242).
- Wenzel, Patrick (2003). *Handbuch Beschilderungsplanung*. Books on Demand (siehe Seiten 23, 123).
- Wolf, NN (1999). *Evakuierung von Krankenhäusern*. Wuppertal: Verlag (siehe Seiten 221, 233).

Artikel

- Ackermann, O. u. a. (Mai 2012). „Krankenhausnotaufnahme als kritische Schnittstelle beim MANV“. In: *Notfall+ Rettungsmedizin* 15 (4), Seiten 313–318 (siehe Seite 91).
- Ando, K., H. Ota und T. Oki (1988). „Forecasting the Flow of People“. In: *Railway Research Review* 45. (in Japanese), Seiten 8–14 (siehe Seite 85).
- Badke-Schaub, Petra, Gesine Hofinger und Kristina Lauche (2008). „Human factors“. In: *Human Factors*, Seiten 3–18 (siehe Seite 242).
- Ben-Jacob, E. (1997). „From snowflake formation to growth of bacterial colonies. Part II. Cooperative formation of complex

- colonial patterns.“ In: *Contemp. Phys.* 38, Seite 205 (siehe Seite 191).
- Blätte, Hans-Jochen und Detlef Mamrot (2010). „Loveparade Duisburg 2010: Vorschlag zu einer neuen Planungsmethode für Veranstaltungen mit Katastrophenpotenzial“. In: *vfdb Zeitschrift* 2010.4, Seiten 193–195. (Besucht am 25.04.2012) (siehe Seite 38).
- Blue, V. J. und J. L. Adler (1998). „Emergent Fundamental Pedestrian Flows From Cellular Automata Microsimulations“. In: *Transportation Research Record* 1644, Seiten 29–36 (siehe Seite 190).
- (2000a). „Cellular automata microsimulation of bi-directional pedestrian flows“. In: *Transp. Res. Rec., Jrl. Transp. Res. Brd.* 1678, Seite 135 (siehe Seite 190).
- (2000b). „Modeling four-directional pedestrian movements“. In: *Transp. Res. Rec., Jrl. Transp. Res. Brd.* (siehe Seite 190).
- Burstedde, C., K. Klauk u. a. (2001). „Simulation of pedestrian dynamics using a 2-dimensional cellular automaton“. In: *Physica A* 295, Seite 507. URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0102397> (siehe Seite 191).
- Clarke, Lee (fall 2002). „Panic: Myth or Reality?“ In: *contexts*. panic is not a useful scientific concept (siehe Seite 93).
- D. Helbing (1991). „A Mathematical Model for the Behavior of Pedestrians“. In: *Behavioral Science* 36, Seiten 298–310 (siehe Seite 183).
- D.A. Purser und M. Bensilium (2001). „Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations“. In: *Safety Science* 38.2 (siehe Seite 224).
- DCMS (2008). „Guide to Safety at Sports Grounds: Green Guide“. In: (Besucht am 23.04.2012) (siehe Seite 245).
- Drury, J., C. Cocking und S. Reicher (2009). „The nature of collective resilience: Survivor reactions to the 2005 London

- bombings“. In: *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 27.1, Seiten 66–95 (siehe Seite 35).
- E. Graat, C. Midden und P. Bockholts (1999). „Complex evacuation; effects of motivation level and slope of stairs on emergency egress time in a sports stadium“. In: *Safety Science* 31, Seiten 127–141 (siehe Seiten 85, 90, 106).
- E.R. Galea und J.M. Perez Galparsoro (1994). „A Computer-Based Simulation-Model For The Prediction Of Evacuation From Mass-Transport Vehicles“. In: *Fire Safety Journal* 22.4, Seiten 341–366 (siehe Seite 235).
- Forell, Burkhard (15. Juni 2010). „Stand der Brandschutzingenieurmethoden zum Nachweis der Personensicherheit Teil 1: Gesamtkonzept und Bestimmung der verfügbaren Räumungszeit“. In: *S+S Report* 2010.3, Seiten 23–27 (siehe Seite 226).
- G. Proulx (1995). „Evacuation time and movement in apartment buildings“. In: *Fire Safety Journal* 24, Seiten 229–246 (siehe Seiten 235, 236).
- Gelder, Beatrice de u. a. (Nov. 2004). „Fear fosters flight: A mechanism for fear contagion when perceiving emotion expressed by a whole body“. In: *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101.47, Seiten 16701–16706. URL: <http://www.pnas.org/cgi/reprint/101/47/16701> (siehe Seiten 46, 47).
- Gipps, P. G. und B. Marksjö (1985). „A micro-simulation model for pedestrian flows“. In: *Mathematics and Computers in Simulation* 27, Seiten 95–105 (siehe Seiten 188, 189).
- Helbing, D., I. Farkas und T. Vicsek (2000). „Simulating dynamical features of escape panic“. In: *Nature* 407, Seite 487. URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0009448> (siehe Seiten 91, 183, 184, 186, 236).
- Helbing, D. und P. Molnár (1995). „Social force model for pedestrian dynamics“. In: *Phys. Rev. E* 51, Seiten 4282–4286. DOI: 10.1103/PhysRevE.51.4282 (siehe Seiten 183, 186).

- Helbing, D. und T. Vicsek (1999). „Optimal self-organization“. In: *NJP* 1, Seite 13.1 (siehe Seite 183).
- Helbing, Dirk, Illés Farkas und Tamás Vicsek (2000). „Simulating Dynamical Features of Escape Panics“. In: *Nature* 407.6803, Seiten 487–490 (siehe Seite 44).
- K. Yamori (2001). „Going with the Flow: Micro-Macro Dynamics in the Macrobehavioral Patterns of Pedestrian Crowds“. In: *Psychological Review* 105.3, Seiten 530–557 (siehe Seite 212).
- Kemloh Wagoum, Armel Ulrich und Armin Seyfried (2011). „Modelling dynamic route choice of pedestrians to assess the criticality of building evacuation“. In: arXiv:1103.4080. URL: <http://arxiv.org/abs/1103.4080> (siehe Seite 181).
- Kirchner, A., H. Klüpfel u. a. (2004). „Discretization effects and the influence of walking speed in cellular automata models for pedestrian dynamics“. In: *J. Stat. Mech.*, P10011. URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0410706> (siehe Seite 188).
- Kirchner, A., K. Nishinari und A. Schadschneider (2003). „Friction effects and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics“. In: *Phys. Rev. E* 67, Seite 056122. URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0209383> (siehe Seite 192).
- Kirchner, A. und A. Schadschneider (2002). „Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics“. In: *Physica A* 312, Seite 260. URL: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0203461> (siehe Seite 191).
- L.F. Henderson (1971). „The statistics of crowd fluids“. In: *Nature* 229, Seiten 381–383 (siehe Seiten 73, 85).
- (1972). „Sexual differences in human crowd motion“. In: *Nature* 240, Seiten 353–355 (siehe Seite 86).

- M. Owen u. a. (1998). „AASK – aircraft accident statistics and knowledge: a database of human experience in evacuation, derived from aviation accident reports“. In: *Aero. J.* 102, Seiten 353–363 (siehe Seite 235).
- Muir, Helen (1996). „Effects of motivation and cabin configuration on emergency aircraft evacuation behavior and rates of egress“. In: *Intern. J. Aviat. Psych.* 6.1, Seiten 57–77 (siehe Seiten 86, 235).
- Nagel, K. und M. Schreckenberg (1992). „A cellular automaton model for freeway traffic“. In: *Jrl. Physique I* 2, Seite 2221. DOI: 10.1051/jp1:1992277 (siehe Seite 190).
- Pajonk, F. G. und W. R. Dombrowsky (2006). „Panik bei Großschadensereignissen“. In: *Notfall + Rettungsmedizin* 9.3, Seiten 280–286. DOI: 10.1007/s10049-006-0812-4. (Besucht am 04.05.2012) (siehe Seiten 99, 100, 236).
- Raney, B. und K. Nagel (2006). „An improved framework for large-scale multi-agent simulations of travel behavior“. In: *Towards better performing European Transportation Systems* 1.1, Seiten 305–347 (siehe Seite 181).
- Schmalzl, Hans-Peter (2005). „Rette sich wer kann!": Einige Anmerkungen zum Phänomen der kollektiven Panik“. In: *Deutsche Polizei* 2005.11, Seiten 29–31 (siehe Seite 48).
- Schweingruber, D. und C. McPhail (1999). „A method for systematically observing and recording collective action“. In: *Sociological methods & research* 27.4, Seite 451 (siehe Seiten 44, 46).
- Schweingruber, D. und R.T Wohlstein (2005). „The madding crowd goes to school: Myths about crowds in introductory sociology textbooks“. In: *Teaching Sociology* 33.2, Seiten 136–153 (siehe Seite 93).
- Seyfried, Armin und Stefan Holl (2009). „Kapazitätsberechnungen“. In: *vfdB Zeitschrift* 2009 (siehe Seiten 178, 212).

- Seyfried, Armin, Tobias Rupperecht u. a. (2005). „New insights into pedestrian flow through bottlenecks“. In: *J. Stat. Mech.*, P10002. URL: <http://arXiv:physics/0702004v2> (siehe Seite 228).
- Thompson, Peter A. und Eric W. Marchant (1995). „A Computer Model for the Evacuation of Large Buidling Populations“. In: *Fire Safety Journal* 24, Seiten 131–148 (siehe Seite 183).
- Weckman, H., S. Lehtimäki und S. Männikkö (1999). „Evacuation of a theatre: Exercise vs calculations“. In: *Fire and Materials* 23.6, Seiten 357–361 (siehe Seite 235).

Index

- abhängige Variable, *siehe* Variable (abhängige)
- Abstand
 interpersonal
 auf Treppen, 89
- Actio und Reactio, 57
- AGBF, 249
- Agent, *siehe* Multi Agenten System
- Agression, 249
- AGVS, 249
- Aktivitäten, *siehe* Aktivitätsketten
- Akzeptables Risiko, *siehe* Risiko (akzeptables)
- Alarmierungszeit
 (Glossar), 250
- Armbänder
 Zugangsbeschränkung, 159
 Zugangskontrolle, 159
 zur Verhinderung von Überfüllung, 159
- Aseri, 244
- Attraktion, 250
- Aufrechter Gang, 53
- Auswertung
 seeNachbereitung, 172
- Autogrammstunde, 34

- Bandindex, *siehe* Spurbildung)
- Bauliche Anlage, 250
- Beobachtung, 158
- Beschilderung, 123
- Bestätigungsfehler, 250
- Besucherzahl
frühere Veranstaltungen, 160
Hochrechnung von definierten Flächen, 160
Schätzung, 159
Taktfrequenz des ÖPNV, 160
Vorverkauf, 160
- Betreiberverantwortung, 119
- Bewegung
auf Treppen, 88
durch Türen, 90
- bi-directionaler Fluss, *siehe* Personenstrom
- BOS, 250
- Brandschutz, 250
- Breite
effektive, 116
- buildingExodus, 244
- CentrO, 35
- Chaos, 250
- Checkliste
Auswertung, *siehe* Nachbereitung
- Checklisten, 127
- Codes, 153
- confirmation bias, 250
- crowd control, 42
- Crowd Management, 111, 245
crowd management, 42
- Detektionszeit
(Glossar), 251
diskrete Zeit, *siehe* Zeitskala
diskreter Raum, *siehe* Raum
- Drehkreuze
automatische Zählung, 159
- Drittes Newtonsches Axiom, 57
- DSDS, 35
- EBA, 246
- effektive Breite, 116
- Eisenbahnbundesamt, *siehe* EBA
- ELA, 153
- Empirische Daten
Klassifizierung (Abbildung), 213
empirische Untersuchungen
Abgrenzung zu Experimenten, 209
Fußgängerverkehr, 209
- Entfluchtung, 251
- Erwartungen
von Besuchern, 123
- Evakuierung, 251
Flugzeug, 235
individuelle Strategien, 233
Schiff, 235
- Evakuierungshelfer, 251
- Exodus, 244
- Experimente

- Fußgängerverkehr, 209
- Explosion
 - Notfall, 150
- Expo, *siehe* Weltausstellung
- FAA, 246
- Fangruppen
 - Trennung, 40
- Feldstudien
 - Fußgängerverkehr, 209
- Feuer
 - Notfall, 150
- Feuerwerk, 124
- Fläche
 - zugängliche, 116
- FIBauRi, 251
- Fliegende Bauten, 251
 - Richtlinie, 244
- Flucht
 - individuelle Strategie
 - Gebäudekomplexität, 233
- Fluchtreflex, 48
- Fluchtweg, 251
- Flugzeuge
 - 90 Sekunden Regel, 246
- Fluss
 - global, *siehe* globaler Fluss
 - lokal, *siehe* lokaler Fluss
 - spezifisch, *siehe* spezifischer Fluss
 - spezifischer, *siehe* spezifischer Fluss
- Fluss-Dichte Relation, 106
- Forschungsergebnisse
 - Einteilung, 209
 - Fußgängerverkehr, 209
 - Räumung, 232
- Frantzych, 88
- Fremdrettung, 221
- Frustration
 - augrund langer Wartezeiten, 125
- FSS Code, 246
- Fußballstadien
 - sicherer Betrieb, 237
 - Unglücksfälle, 237
- Fußballstadion
 - Bewegung auf Treppen, 106
- Fundamental Diagramm
 - empirisch, 106
- Fundamentaldiagramm, *siehe* Fluss-Dichte Relation
 - empirisch, 87
- Gaußverteilung, *siehe* Verteilung
- Gebäudeevakuierung
 - Flucht vs Warten, 233
 - Supermarkt
 - Übung, 233
- Gefahrenabwehr, 250
- Generalized Centrifugal Force
 - Modell, 187
- Gerücht, 252
- gesamter Fluss, 178
- Geschwindigkeits-Dichte-Relation, 87
- Gipps

- Modell, 189
 Gleichgewicht
 schiefe Ebene, 53
 Stehen, 53
 Green Guide, 245
 Großveranstaltung, 118
 Großveranstaltungen
 Gefahrenabwehr, 124
 Gruppen
 räumliche und zeitliche Ka-
 tegorisierung (Abbil-
 dung 3.9), 92
 Gruppengröße
 Einfluss auf die Laufgeschwin-
 digkeit, *siehe* Laufge-
 schwindigkeit
 Handzähler, *siehe* Zählgeräte
 HCM, *siehe* Highway capacity
 manual
 Helbing, *siehe* Soziales Kräfte
 Modell
 Highway Capacity Manual (HCM),
 88
 Hillsborough, 247
 horizontale Bewegung
 als kollektives Verhalten,
 45
 HSC, 246
 Impedanz, *siehe* bi-directionaler
 Fluss
 Information, 126
 auf Eintrittskarten, 163
 der lokalen Bevölkerung,
 164
 Informationstafeln, 164
 interpersonaler Abstand, *siehe*
 Abstandsverhalten
 Intervention, 100
 Körpergröße
 Häufigkeitsverteilung (Ab-
 bildung), 58
 Kalibrierung
 von Eingabeparametern, 209
 Kapazität, 252
 Definition, 78
 Kapazitätsanalyse, 178
 Kino, *siehe* Gebäudeevakuie-
 rung
 Kippkante, 53
 Klettern
 über Zäune, 125
 Kollektives Verhalten
 (Glossar), 252
 Komfort, 252
 Komfort, Wohlbefinden, 252
 Kommunikation, 162
 Krönung Nikolaus II., 33
 kreisförmige Bewegung
 bei Fußgängern, 212
 Kunstnebel, 124
 Laborbedingungen, 209
 Laufgeschwindigkeit
 Abhängigkeit von der Grup-
 pengröße, 74

- Laufgeschwindigkeit
 Einfluss der Gruppengröße, 74
 freie
 (Glossar), 251
 Häufigkeitsverteilung, 71
 Fußgängerbrücke, 73
 Studenten (Campus), 73
 Verteilung
 Gaußsche Glockenkurve, 74
 schief normal (Glockenkurve), 74
 Zebrastreifen, 73
- Lawineneffekt, 253
- Legion
 Software, 245
- Leistungsfähigkeit, 199
- Lethargie, 236
- Level of Service, 199
- Literaturübersicht, 209
- Lockangebote
 Gedränge, 35
- Lokalisierung
 Abschnittsnummern, 170
- Lokomotion
 Entwicklung (Kindheit), 52
- London, 35
- Loveparade, 247
- makroskopische Berechnungsverfahren, 253
- Makroskopische Modelle, 88
- MANV, *siehe* Massenansturm von Verletzten
- MAS, *siehe* Multi Agenten System
- Mass Motion
 Software, 245
- Massenansturm von Verletzten (MANV)
 (Glossar), 253
- Massenpanik, 245
- MC Simulation, *siehe* Monte-Carlo Simulation
- MES, *siehe* Marine Evacuation System
- mikroskopische Entfluchtungsanalyse, 253
- Monitoring, 158
- MSCCirc1238, 246
- Multi-Agenten Systeme
 Agent, 249
- Mundloch, 209
- Myriad
 Software, 245
- Nachbereitung
 Checkliste, 172
- Nachbesprechung
 Dokumentation, 175
- Nettofläche, 116
- Nikolaus II.
 Krönung, 33
- Notfall
 Definition, 150

- Eingreifen der Rettungs-
kräfte, 150
- Vorkehrungen, 138
- Objektivität, 212
- Ordnungsbehörde, 250
- Ordnungsdienst
 - bei Großveranstaltungen,
144
 - Einteilung in Abschnitte,
144
- Organisationskommittee, 119
- Orientierungshilfen für Besu-
cher, 123
- Panik
 - Definition
 - Schmalzl, 48
 - Definition (Pajonk.2006),
100
 - Fluchtreflex, 100
 - Intervention, 101
 - Nervosität (Parameter), 236
 - Prävention, 100
- Parkplätze
 - Belegung
 - Besucherschätzung, 159
- PDF, *siehe* Probability Densi-
ty Function
- PedGo, 244
- Personenzählung
 - offene Veranstaltung, 159
- Phänomene
 - Menschenmengen
 - Klassifizierung, 212
- Planungskomitee, 119
- Positiver Rückkopplung, 253
- Potenzialeausbreitung
 - Algorithmus
 - euklidischer Abstand, 243
- Prävention, 100
- Predtetschenski, 88, 242
- Probability Density Function
(PDF), *siehe* Wahrschein-
lichkeitsdichte
- Pufferzonen, 148
- Purple Guide, 111, 245
- Räumung, 254
 - Gebäude
 - Übungen, 235
 - individuelle Strategie, 233
 - Zug, 235
- Radiodurchsagen, 117
- Raumbedarf
 - Fußgänger, 106
- Reaktionsmuster
 - Erwartungen, 124
- Registrierungspflicht, 117
- Reliabilität, 212
- Richtungswahl
 - Evakuierungsübung, 233
- Risiko, 254
 - akzeptables, 250
- Risikobewertung, 127
- Riverside Colloseum, 247
- Routenwahl

- Evakuierungsübung, *siehe*
Richtungswahl (Eva-
kuierungsübung)
- SBauVO (NRW), 254
- SchulBauRi, 254
- Selbstrettung, 221
- Sheffield, 247
- Sicherer Bereich, 255
- sicherer Bereich, 92
(Glossar), 254
- Sicherheitsniveau
äquivalentes, 220
- Sicherheitszonen, 148
- signifikante Stauung
(Glossar), 254
- Simulex, 244
- social force model, *siehe* So-
ziales Kräfte Modell
- Social Force Modell, 183
- SOLAS, 245
- Spezialeffekt, 124
- spezifischer Fluss, 178
Abhängigkeit von der Brei-
te, 88
- Spurbildung, 105
- Straßenfest
Personenzählung, 159
- Supermarkt
Evakuierung, 233
- Synchronisierung
auf Treppen, 90
- Tür
- Einfluss auf die Bewegung,
90
- Tag und Nacht, 123
- Taschenkarten, 146
- Taylor Report, *siehe* Hillsbo-
rough247
- Technischer Leiter, *siehe* Ver-
antwortlicher für Ver-
anstaltungstechnik
- The Who Konzert, 247
- THW (Technisches Hilfswerk),
250
- Trägheitsprinzip, 57
- Trennung von Fangruppen, 40
- Treppen, 88
Laufgeschwindigkeit
nach Weidmann, 90
Steigung, 106
- Treppenwinkel
influence on walking speed,
106
- Trichtereffekt, 128
- Umzüge
Personenzählung, 159
- unabhängige Variable, *siehe* Va-
riable (unabhängige)
- Unglücksfälle
Gebäude, 237
Stadien, 237
- Validierung, 209
von Berechnungsmodellen,
210

- von Simulationsergebnissen, 210
- Variable
 - abhängige, 209
 - unabhängige, 209
- Verantwortlicher für Veranstaltungstechnik, 255
- Verantwortung
 - Übertragung, 119
- Verkehrsbetriebe, 117
- Verkehrszählung, 159
- Vertrautheit
 - Ausgänge, 233
- Verzögerung, 118
- Videoauswertung, 90

- Wahrscheinlichkeitsdichte, 74
- Weidmann, 87
- Weltausstellung, 73
- Wendeltreppe, 88
- Westphal, 246

- Zählgeräte
 - Beispiele, 159
 - computergestützt, 159
 - Drehkreuze, 159
 - Handzähler, 159
- Zuschauereffekt, 255
- Zutritt nur mit Karte, 117