

vfdlb

**Technischer Bericht**

**TB 13-01**

März 2012

(Überprüft Dez.  
2017)

# **Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen**

herausgegeben von Dr. Dirk Oberhagemann

1. Auflage März 2012

**Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB)  
der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.**

Postfach 4967, 48028 Münster

**Haftungsausschluss:** Dieses Dokument wurde sorgfältig von den Experten der vfdb erarbeitet und vom Präsidium der vfdb verabschiedet. Der Verwender muss die Anwendbarkeit auf seinen Fall und die Aktualität der ihm vorliegenden Fassung in eigener Verantwortung prüfen. Eine Haftung der vfdb und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

**Vertragsbedingungen:** Die vfdb verweist auf die Notwendigkeit, bei Vertragsabschlüssen unter Bezug auf vfdb-Dokumente die konkreten Leistungen gesondert zu vereinbaren. Die vfdb übernimmt keinerlei Regressansprüche, insbesondere auch nicht aus unklarer Vertragsgestaltung.

**Inhalt:**

1. Einleitung
2. Gefährdungsanalyse
3. Statische Dichten und ihr Gefährdungspotential
  - 3.1. Durchschnittliche Dichten auf einem Veranstaltungsgelände
  - 3.2. Berechnung der reellen Personendichte
4. Gefährdungen von Menschen durch Menschen
5. Personenstromanalysen
  - 5.1. Einfache Personenströme
  - 5.2. Personenströme ohne Gegenstrom
  - 5.3. Personenströme mit Gegenstrom
6. Das "Vier Stufen Modell" des Staus
7. Personenstromanalysen mit Simulationsmodellen
8. Verhalten von Rettungskräften in Personenströmen
9. Bemessung des Sanitätswachdienstes und der rettungsdienstlichen Verstärkung
10. Anwendungsbeispiele

Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB)

der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.

Postfach 4967, 48028 Münster

## **1. Einleitung**

Großveranstaltungen sind bei der Bevölkerung sehr beliebt. Sie ziehen immer mehr Besucher an, die Ereignisse, wie Konzerte oder Fußballspiele, erleben und teilen wollen. Die Konsequenz ist, dass bei solchen Veranstaltungen viele Menschen auf engem Raum zusammenkommen. Ohne Informationen über die zu erwartende Besucherzahl und das mögliche Besucherverhalten ist die erfolgreiche Planung solcher Veranstaltungen und eine Kalkulation der Einsätze von Rettungskräften kaum möglich.

Die vfdB koordinierte zu diesem Thema von März 2009 bis Februar 2011 ein Forschungsprojekt im Rahmen des Sicherheitsforschungsprogramms der Bundesregierung. Ziel des Projektes waren Planungsgrundlagen zur Verbesserung von Risikobewertungen, Evakuierungsmodellen und Rettungskonzepten.

Spätestens seit der Loveparade in Duisburg ist das Risiko von Großveranstaltungen und insbesondere die Thematik der Personendichten sowie der Personenströme und deren Lenkung (Crowd Management) in den Fokus der Betrachtungen gerückt. Diese Themen sind zwei wichtige Aspekte in einer Gefährdungsanalyse für Großveranstaltungen. Die Analysen der Personendichten und der Personenströme sind sowohl lokal für begrenzte Räume als auch übergreifend für das gesamte Veranstaltungsgelände einschließlich der Zu- und Abwege zu betrachten.

## **2. Gefährdungsanalyse**

Grundlage einer Gefährdungsanalyse ist die Veranstaltungsbeschreibung. In der Veranstaltungsbeschreibung werden u.a. die Art und die Anzahl der erwarteten Besucher erläutert. Weiterhin sind die Sollfunktionen der Veranstaltung beschrieben, also die Attraktionen, deren Funktionsweisen sowie die zeitliche Abläufe. Diese Sollfunktionen sind der Grund für die Besucher zur Veranstaltung zu kommen. Ausfälle, zeitliche Verschiebungen oder verringerte Angebote haben dabei schon erhebliche Einflüsse auf das Besucherverhalten und die Besucherströme.

Die Branddirektion München hat in einer Veröffentlichung (1) zum Thema „Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz bei Großveranstaltungen“ die im Rahmen einer Gefährdungsanalyse zu berücksichtigenden möglichen Schadensfälle aufgeführt, die ggf. um veranstaltungsspezifische Szenarien ergänzt werden können. Dabei können nach einer ersten Überprüfung die nichtzutreffenden Fälle vernachlässigt werden.

- Gedränge in Räumen bzw. auf dem Gelände
- Überfüllung von Räumen bzw. des Geländes
- Brand
- Gasausströmung
- Unfälle (z. B. Fahrgeschäfte, Motorsportveranstaltungen, Stuntshows, Tiere)
- Einsturz von Bauteilen
- Unwetter (z. B. Starkregen, Sturm, Hagel, Gewitter)
- Stromausfall und sonstige technische Störungen
- Gefahr durch gewaltbereite Besucher/Teilnehmer (z. B. Hooligans, Extremisten)
- Bedrohung einzelner schutzbedürftiger Personen
- Amokfahrt (einschließlich Flugobjekt)
- Unkonventionelle Spreng- und/oder Brandvorrichtung (USBV); ggf. mit Folgeanschlag
- USBV mit radioaktiven Stoffen („Dirty Bomb“)
- Amoklauf mit Waffen
- Massenerkrankung (z. B. Lebensmittelvergiftung)
- Anschlag mit radioaktiven/nuklearen Stoffen
- Anschlag mit chemischen Stoffen
- Ausfall öffentlicher Personennahverkehr (z. B. durch Personenschäden)
- Ausfall Individualverkehr (z. B. Unfall auf Zu-/Abfahrtswegen)
- Ausfall besucherrelevanter Infrastruktur (z. B. Schankanlage, Kassen, WC)

Neben den denkbaren Schadensfällen müssen auch die normalen Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. So spielen bei allen Veranstaltungen im Freien die Witterungsbedingungen immer eine erhebliche Rolle. Regen kann einen Einfluss auf die Flucht- und Rettungswege haben. Sonne und Temperatur haben einen Einfluss auf den Kreislauf und führen ggf. zur Dehydrierung. Somit müssen entsprechende Vorkehrungen zur Trinkwasserversorgung berücksichtigt werden und ggf. schattige Ruhezone vorhanden sein. Niederschlag und Glätte können insbesondere in Verbindung mit rutschigem Untergrund (z.B. Kopfsteinpflaster) zu vermehrten Stürzen führen. Im Kölner Algorithmus wird dieses im Risikofaktor berücksichtigt.

Häufige Ursachen für Schadensfälle in der Vergangenheit waren Gedränge in und Überfüllung von Veranstaltungsabschnitten. Diese Punkte im Vorfeld einer Veranstaltung zu beurteilen, während einer Veranstaltung einzuschätzen und entsprechende vorbeugende und

beeinflussende Maßnahmen abzuleiten ist häufig ein kritischer und schwieriger Punkt im Rahmen eines Sicherheitskonzeptes. Die folgenden Kapitel greifen diese Aspekte daher als Schwerpunkt auf.

### 3. Statische Dichten und ihr Gefährdungspotential

In Deutschland gibt es zwei genehmigte Personendichten. Dies sind auf der einen Seite die bekannten 2 Personen pro Quadratmeter ( $P/m^2$ ) aus der Versammlungsstättenverordnung und auf der anderen Seite acht Stehplätze/ $m^2$  in Bussen gemäß Straßenverkehrs-Ordnung (StVO). Dabei wird die Personendichte von 8  $P/m^2$  politisch noch als sicher eingestuft (2,3), ist wissenschaftlich jedoch nicht vertretbar.

Neben der genehmigten Personendichte stellt sich die Frage nach der kritischen Personendichte, ab der eine akute Gefährdung von Personen nicht mehr ausgeschlossen werden kann.

Betrachtet werden soll zunächst die maximale Personendichte pro  $m^2$ . Nach Weidmann (4) hat ein Zentraleuropäer einen Mindestplatzbedarf von  $0,085 m^2$ . Dieser ergibt sich aus einer Projektion des menschlichen Körpers auf den Boden in Form einer Ellipse.

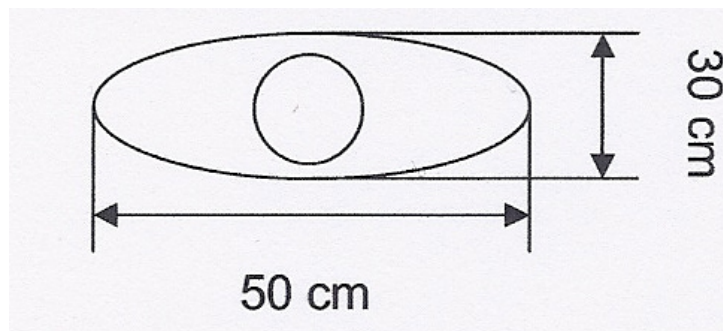


Abb. 1: Körperproportionen nach Weidmann

Theoretisch ergibt sich hieraus ein Wert von  $11,8 P/m^2$ , wenn die nicht auffüllbaren Zwischenräume mitberechnet werden. Wenn diese Zwischenräume abgezogen werden und die Grundfläche als Rechteck angenommen wird, so ergibt sich ein Platzbedarf von  $0,11 m^2$  und eine maximale Personendichte von  $9,3 P/m^2$ . Unter Berücksichtigung von Kleidung und Füßen erhöht sich der Platzbedarf auf  $0,15 m^2$  und die maximale Dichte sinkt auf  $6,6 P/m^2$ . Die maximale mögliche Personendichte wird also zwischen 7 und  $9 P/m^2$  liegen. Führt man

diese Berechnung jedoch für einen durchschnittlichen Japaner durch, so ergibt sich eine maximale Dichte von  $9,2 \text{ P/m}^2$  an Stelle  $6,6$ .

### **3.1. Durchschnittliche Dichten auf einem Veranstaltungsgelände**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zahlreiche Bilddokumente von Veranstaltungen ausgewertet. Bezüglich der gemessenen Personendichten muss zwischen einer freiwilligen Dichte und einer erzwungenen Dichte unterschieden werden. Bei einer freiwilligen Dichte stehen die Personen auf einem bestimmten Raum ohne äußere Krafteinwirkungen eng zusammen. Hier liegen die maximal beobachteten Dichten zwischen  $5$  und  $6 \text{ P/m}^2$ . Bei den meisten Veranstaltungen lagen die maximal beobachteten Dichten jedoch nicht über  $4 \text{ P/m}^2$ . Auf die gesamte Veranstaltungsfläche bezogen kann man dann von einer durchschnittlichen Dichte von unter  $2 \text{ P/m}^2$  ausgehen, da immer Bereiche mit einer deutlich geringeren Dichte vorhanden sind.

Hieraus ableiten kann man auch die maximalen Besucherzahlen einer Veranstaltung. Für eine Abschätzung benötigt man die frei verfügbare Veranstaltungsfläche und die mittlere Verweilzeit der Besucher. Dabei ist die verfügbare Veranstaltungsfläche nicht die insgesamt zur Verfügung stehende Fläche sondern die Nettofläche. Von der gesamten Fläche müssen also die Flächen für Aufbauten und Flucht- und Rettungswege abgezogen werden.

Die Erfahrungen mit allen analysierten frei zugänglichen Veranstaltungen haben gezeigt, dass die offiziell bekanntgegebenen Besucherzahlen mindestens um einen Faktor  $2$  über den tatsächlichen Besucherzahlen liegen, wenn man eine Dichte von  $2 \text{ P/m}^2$  zugrunde legt. Die lokalen Dichten bei einer Veranstaltung schwanken jedoch erheblich von kleiner  $0,5$  bis zu  $5-6 \text{ P/m}^2$ . Forderungen nach einer durchgehenden maximalen Besucherdichte von höchstens  $2-3 \text{ P/m}^2$  sind daher bei insbesondere bei frei zugänglichen Veranstaltungen eher theoretisch und in der Praxis nicht realisierbar. Dabei sind höhere Dichten an sich auch nicht unbedingt mit einer Gefährdung gleichzusetzen sondern teilweise auch durch das Publikum gewünscht. Bei der Einschätzung der Gefährdung muss allerdings immer die Beschaffenheit des Geländes mitberücksichtigt werden. So ist z.B. bei Regen und schlüpfrigem Untergrund bereits eine Personendichte von  $2 \text{ P/m}^2$  als zu hoch zu beurteilen. Weiterhin müssen auf dem Gelände alle Arten von Stolperfallen soweit vermieden werden, dass die Geschwindigkeit einer Entfluchtung nicht oder nur unwesentlich verringert wird. Stolperfallen führen somit auch zu einer Verringerung der zulässigen Personendichte. Dies gilt nicht nur für die statischen Dichten sondern auch für die Dichten in Personenströmen. Die Videoanalysen belegen, dass sich die Personendichten innerhalb von  $1-2$  Minuten erheblich verändern können und

Schwankungen von 0,5 bis 2 P/m<sup>2</sup> möglich sind. Je nachdem ob der einzelne Besucher sich in einer Besucherverdichtung oder in einem leereren Abschnitt befunden hat, resultieren hieraus die individuellen Einschätzungen zur Fülle bei der Veranstaltung.

Die folgenden Bilder zeigen Beispiele von bei Veranstaltungen gemessenen Personendichten.

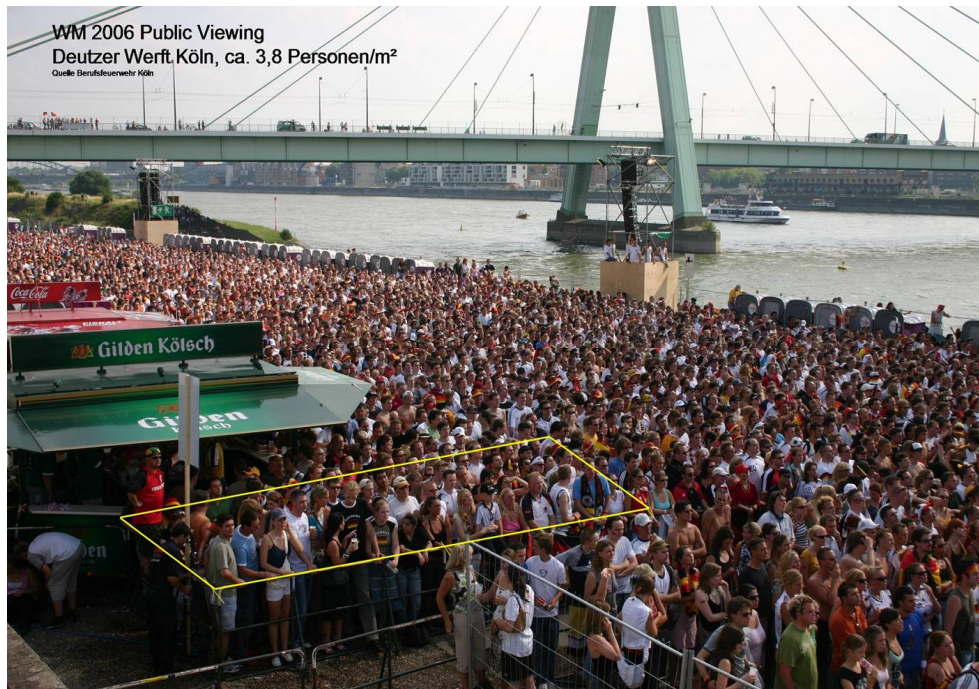


Bild 1: Public Viewing Fußball WM 2006 (3,8 P/m<sup>2</sup>)



Bild 2: Public Viewing Fußball WM 2006 (5,0 P/m<sup>2</sup>)

### 3.2. Berechnung der reellen Personendichte

Personendichten werden aus zwei Gründen benötigt. Zum Einen erfordert die Versammlungsstättenverordnung eine Berechnung der maximal zulässigen Besucherzahl. Zum anderen sind die tatsächlichen Personendichten bei Großveranstaltungen von Interesse, um Aussagen über Besucherzahlen, damit verbundene Personenströme sowie über die Einsatzhäufigkeiten des Sanitätswachdienstes machen zu können. Die Versammlungsstättenverordnung verfolgt dabei nicht den Ansatz „Wieviele Personen eine bestimmte Fläche aufnehmen könnte“, sondern den Ansatz „Wieviele Personen ohne eine Gefährdung aufgenommen werden können“ also einer Begrenzung der Personenzahl auf ein sicherheitsrechtlich unbedenkliches Maß. Hierbei ist in Deutschland der Ansatz von  $2 \text{ P/m}^2$  festgelegt. In anderen Ländern gibt es hierzu zum Teil deutlich höhere oder niedrigere Werte (5). Betrachtet man die Personendichten ab dessen Wert eine deutliche Gefährdung vorliegt z.B. an Engstellen bei Evakuierungen, so werden in Deutschland häufig  $6 \text{ P/m}^2$  verwendet. Messungen in Japan gehen jedoch von bis zu  $8 \text{ P/m}^2$  aus (6).

Wie realistisch oder wie hilfreich ist also die Angabe der Personenzahl pro  $\text{m}^2$  bzw. kann die Personenanzahl ohne Berücksichtigung der Eigenschaften der Personen verwendet werden?

Einen Ansatz zur Charakterisierung von Personen liefert die Medizin. So beschäftigt sich eine Methode mit der Berechnung der Körperoberfläche (S). Anhand empirischer Daten konnten einige Formeln zur Abschätzung der Körperoberfläche ausgehend von Körpergewicht und Körpergröße gewonnen werden. Ein Ansatz ist die Formel von Mosteller (7):

$$S = \sqrt{\frac{L \times M}{3600}}$$

Hierbei sind S die Körperoberfläche in  $\text{m}^2$ , L die Länge in cm und M das Gewicht in kg.

Geht man davon aus, dass es sich bei den Personen gemäß Versammlungsstättenverordnung um schlanke Personen mit einem Body-Mass-Index (BMI) von 23 handelt, so wäre eine  $P_{\text{Norm}}$  1,80 m groß und hätte ein Gewicht von 75 kg. Dieser Ansatz wird auch bei der Auslegung von Fahrstühlen verwendet. Diese  $P_{\text{Norm}}$  hat eine Körperoberfläche S von 1,94. Die beiden nachfolgenden Bilder zeigen jeweils eine Personendichte von  $4 \text{ P/m}^2$  und das entsprechende Verhältnis zur  $P_{\text{Norm}}$  von 4,3 bzw. 4,9.





Bilder 4 und 5: Personendichte von 4 Personen pro Quadratmeter

Um zu beschreiben, wie viele Personen eine Fläche aufnehmen kann, müssen also immer die Eigenschaften der Personen berücksichtigt werden. Eine Anwendung des Ansatzes auf reale Verhältnisse zeigt das nächste Bild.



Bild 6: Personendichte an einer Einlasskontrolle

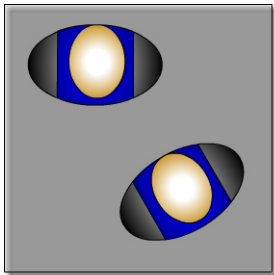
Auf diesem Bild versammeln sich in der eingezeichneten Zone 109 Personen. Bei einer Fläche von  $27 \text{ m}^2$  entspricht dieses einer Personendichte von 4 Personen.

Die durchschnittliche Körperoberfläche  $S$  beträgt 1,94. Bei der gemessenen Verteilung handelt es sich also um eine  $P_{\text{Norm}}$  Verteilung.

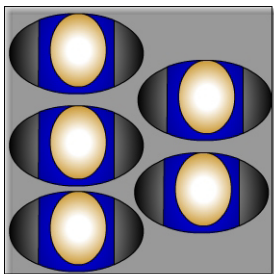
Wendet man den Ansatz auf die von Shimada und Naoi [6] gemessenen bis zu  $8 \text{ P/m}^2$  an und nimmt bei den japanischen Studenten und Studentinnen eine durchschnittliche Körpergröße von 1,60 m bei einem durchschnittlichen Gewicht von 55 kg an, so ergibt sich eine  $P_{\text{Norm}}$  Personendichte von  $6,4 \text{ P/m}^2$ . Der Ansatz ermöglicht also auch eine Vergleichbarkeit verschiedener Messungen.

#### 4. Gefährdungen von Menschen durch Menschen

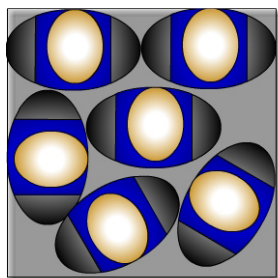
Um eine Abschätzung über das physikalische Verhalten bei unterschiedlichen Dichten (7) ( $\text{P/m}^2$ ) zu bekommen, soll im Folgenden versucht werden, vom Verhalten der einzelnen Person auf das Verhalten eines mit Personen angefüllten Quadratmeters zu schließen und von dort aus auf eine größere Fläche, um abzuschätzen, ab wann es für die in einem Verdichtungsgebiet befindlichen Personen gefährlich werden kann.



Bei einer Personendichte von  $2 \text{ P/m}^2$  sind diese Menschen völlig „entkoppelt“. Diese Flächenbelegung hat keinerlei Auswirkung auf die Fläche davor oder dahinter. Ein Sturz ist wegen der Entkopplung zu anderen Personen folgenlos.

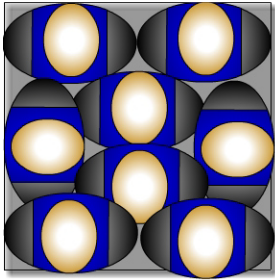


Bei einer Personendichte von  $5 \text{ P/m}^2$  bleibt noch ausreichend Raum zwischen den Menschen, um sich, wenn auch eingeschränkt, zu bewegen. Die Menschen können z.B. durch einen Ausfallschritt oder und durch ein Ausweichen und ein Entgegenstemmen die auftretenden Kräfte aufnehmen. Die Wirkung nach außen ist noch „Null“, oder beschränkt dämpfend für von außen einwirkende Kräfte.



Bei  $6 \text{ P/m}^2$  kann ein Einzelner in der Gruppen sich durchaus noch bewegen und mit einer Schiefelage Kräfte auf die Nachbarn ausüben. Allerdings wird mit zunehmender Dichte ein Auspendeln der auftreten Kräfte unmöglich, weil fast kein Bewegungsspielraum mehr für die einzelnen Personen bleibt. Der Ausfallschritt wird durch die Beine des Vorder-Seiten oder Hintermanns begrenzt. Wenn einer strauchelt, werden sich die Kräfte der einzelnen Person, die ebenfalls straucheln, aufaddieren

und die Kraft an die nächste Fläche weitergegeben (ca.  $100 \text{ N} * 6 \text{ Personen} = \text{ca. } 500 - 600 \text{ N}$  aus einem Quadratmeter).



In diesem Beispiel sind 8 Personen auf dem Quadratmeter dargestellt. Durch „Quetschen“ und „Schrägstellen“ ist diese Flächenbelegung erreichbar. Theoretisch können bis zu  $8.2 \text{ P/m}^2$  erzielt werden. Bei dieser Dichte stehen die Menschen stabil senkrecht. Durch Reibung an der Kleidung wird eine gewisse Stabilität erreicht. Allerdings können dynamische Auswirkungen von außen dieses in sich stabile Gebilde destabilisieren. Diese Dichten  $\geq \text{P/m}^2$  werden allerdings nur erreicht, wenn Druck von außen auf die Menschen einwirkt und ein Ausweichen durch äußere Begrenzungen nicht möglich ist.

Die kritische Dichte für einen sich dynamisch entwickelnden Kompressionsprozess liegt bei etwa  $6 \text{ P/m}^2$ . Eine durch äußere Personendrucke erzwungene Personendichte von  $6,2 \text{ P./m}^2$  wurde z.B. während der Loveparade in Dortmund im Bahnhof gemessen.

Nun ist die Wirkung eines einzigen Quadratmeters für eine Massenveranstaltung nicht dafür ausschlaggebend, ob Menschen zu Schaden kommen oder gar getötet werden. Dazu müssen Grenzbereiche überschritten werden, die etwa wie folgt abgeschätzt werden können:

- a. Ersticken: Das Einatmen wird durch eine Muskelbewegung im Zwerchfell (das Zwerchfell wird nach unten gezogen) oder durch das Heben des Brustkorbes mechanisch initiiert. Verhindert ein äußerer Druck diese Muskelbewegungen, so kann der Mensch nicht mehr atmen. Nach drei Minuten wird das Gehirn irreversibel geschädigt, wenig später erfolgt der Exitus. Die Grenzbereiche für den noch ertragbaren Druck dürften bei  $2 - 3 \text{ kN / m}^2$  liegen. Das sind etwa  $800 - 900 \text{ N}$  auf den Brustkorb. Nimmt man an, dass die einzelnen Vektoren der Kräfte, die aus den Flächen resultieren nicht alle die gleiche Richtung haben, dann reichen  $2 - \text{maximal } 4 \text{ m}^2$  an Wirkfläche aus, das sind etwa  $10 - 12$  Reihen an Menschen, um in der vordersten Reihe den potenziell tödlichen Druck aufzubauen. Dieser Druck müsste dann über längere Zeit bestehen bleiben.

- b. Mechanische Zerstörung der Organe: Diese Zerstörungen dürften unterhalb eines Wertes von 10 kN eintreten. Dieser Wert würde theoretisch erreicht, wenn etwa 120 Menschenreihen hintereinander stehen und nach vorne drücken.

Risikominderung:

- a. Die vorhandenen Flächen müssen in der Umgebung der zu erwartenden Attraktionen (z.B. Bühnen) unterteilt werden. In den einzelnen Partitionen dürfen Dichten von 5-6 P/m<sup>2</sup> nicht überschritten werden.
- b. Die Zu- und Abwege können mit Wellenbrechern versehen werden, um eine Addition der Kräfte zu verhindern. Die Wellenbrecher sollten dann nicht weiter als 10 m voneinander entfernt stehen. Dabei ist im Einzelfall zu berücksichtigen, dass bei Rettungswegen diese noch für die Besucher erkennbar sind und der Personenfluss nicht beeinträchtigt wird.

Die Wellenbrecher müssen geeignet sein, entsprechende Drücke abzuhalten. Dabei sind z.B. Bauzäune keine Wellenbrecher. Bauzäune dienen lediglich der Abgrenzung von Geländeabschnitten und haben eine gewisse Lenkungsfunktion für die Besucher oder eine verkehrsberuhigende Funktion. Sie stellen in diesem Sinne auch keine Baumaßnahme dar, da sie bereits bei niedrigen Drücken umgeworfen werden. In allen Bereichen, in denen Drücke zu erwarten sind können sie durch die Stolpergefahr bei einem umgestürzten Element zu einer Erhöhung der Gefährdung führen. Die Branddirektion München hat hierzu eine Übersicht über die Eignung „Mobiler Sicherheitsabspernung für Veranstaltungen“ erstellt (8).

Der Grenzwert für eine kritische Personendichte liegt bei ca. 6,0 P/m<sup>2</sup>, also im Übergangsbereich zwischen der freiwillig akzeptierten Dichte und der erzwungenen Dichte. Problematisch werden ab hier die Freiheitsgrade der Personen, mit denen sie erzwungenen externen Kräften ausweichen bzw. diese Kräfte abfangen können. Ab einer Dichte von 6,0 P/m<sup>2</sup> sind Ausweischritte und –bewegungen kaum mehr möglich. Die Personen geben die entstehenden Kräfte an benachbarte Personen weiter. Der Nachbar kann diese Kräfte durch seine eigene Instabilität verstärken. Dadurch entstehen Bereiche mit erhöhter Personendichte (Kompressionen), die als Welle sichtbar sich in der Menschenmenge mit einer dichteabhängigen Geschwindigkeit fortbewegen. Im günstigen Fall lösen sich diese Kompressionen in Bereichen mit niedriger Personendichte wieder schadlos auf.

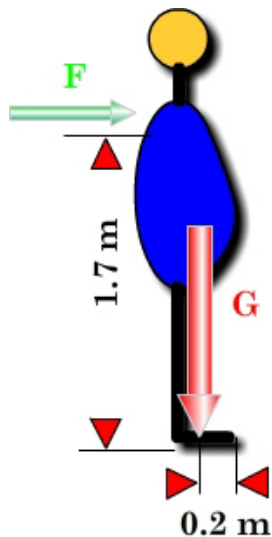
Das nachfolgende Bild veranschaulicht eine solche Strömung in Menschenmengen. Es wurde während der Loveparade in Duisburg aufgenommen. Auf dem Gelände wurden die Floats zu einem bestimmten Zeitpunkt angehalten. Nach einer gewissen Zeitspanne verdichteten sich die Personenmengen um den Bereich der Floats. Als die Floats wieder anfuhr, mussten die Personen vor den Floats zur Seite ausweichen. Diese erzwungenen Kräfte setzten sich als Wellenbewegung in den eng stehenden Besuchern fort.



Bild 6: Wellenbewegungen bei der Loveparade

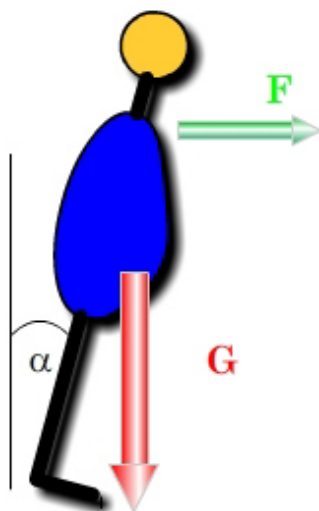
Man erkennt die Wellenbewegung vom Wagen weg, die in diesem Fall von einer Wellenbewegung in entgegengesetzter Richtung begleitet wird. Die Personen zwischen den Druckwellen sind Scherspannungen ausgesetzt, die zum Sturz oder zu Atemproblemen führen können. Diese Spannungen dauerten in dem Beispiel jedoch nur wenige Sekunden an.

Hierzu sollen an dieser Stelle noch einige physikalische Überlegungen (7) eingefügt werden.



„Der symbolisierte Mensch (Figur) ist in der Realität kein „starres“ Gebilde, sondern etwas in sich Bewegliches, das auch noch durch Interaktionen seine physikalischen Eigenschaften verändern kann. Ein Beispiel für diese „intelligente“ Veränderung der Eigenschaft ist z.B. der Ausfallschritt nach vorne oder hinten oder eine Schwerpunktverlagerung durch Neigung des Körpers, um die auf den Körper wirkenden Momente aufzufangen. Diese Reaktionen sind aber nur dann möglich, wenn der Korpus oder die Beine ausreichend Raum haben, um die notwendigen Ausgleichsbewegungen auszuführen.

Die Asymmetrien bei der nun folgenden vereinfachten Stabilitätsbetrachtung sollen vernachlässigt werden. Zwar sind die stabilisierenden Momente für eine Kraft von vorne geringer, weil der Schwerpunkt des Körpers näher an der Verse liegt und zur Seite etwas größer, weil noch etwas Bewegungsfreiheit für einen Seitwärtsschritt für die Beine bleibt. Dafür gibt es statistische Größenunterschiede und unterschiedliche Höhen für die angreifenden Kräfte usw. Auch stehen die Figuren nicht aufgereiht, sondern sind in einem gewissen Winkel zueinander oder sind sogar um 180 Grad verdreht. Insofern kann angenommen werden, dass die im Einzelfall vorhandene Asymmetrie bei mehreren zufällig auf einer Fläche stehenden Personen wieder ausgeglichen wird.



Die Figur im Bild beginnt zu kippen, wenn  $F \cdot 1.7 > G \cdot 0.2$ . (1.7 m angenommene Schulterhöhe, 0.2 m angenommener Abstand des auf die Standebene projizierten Schwerpunktes zur Fußspitze (Drehpunkt)). Beim 75 kg „Normmenschen“ wären das erstaunlich wenige 88 N. Wenn die Figur kippt, verringert sich die notwendige Kraft zur Fortsetzung des Kippvorganges mit größer werdendem Kippwinkel, weil der projizierte Schwerpunkt an die Fußspitze heranrückt. Ab einem Kippwinkel von etwa  $\tan \alpha = 0,2/130$  ( $9 - 10^\circ$ ) fällt die Figur um, auch ohne äußere Kraft-Einwirkung.

Bei einem Kippwinkel, der über diesen kritischen Punkt hinausgeht, kann die Figur eine wachsende eigene Kraft auf ein Objekt (Wand, andere Figur) ausüben.

Die relevante Kraft, die auf eine andere Figur ausgeübt werden kann, ist etwa:  $F = G \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha$ . Die kritischen 88 N für den Nachbarn bei unserem Normmenschen werden dann bei einem Winkel von etwa 15 Grad Schrägstellung erreicht. Das heißt, stünden alle in einer Reihe, würde nicht nur einer, sondern alle umfallen und dabei theoretisch etwa bis 45 Grad Neigung eine wachsende Kraft/Figur (bis 345N) ausüben können (das berühmte Spiel mit den Dominosteinen).

Nun muss man in der Realität allerdings einige Einschränkungen machen, denn der reale Mensch ist nicht starr, er wird also bereits vor einem Winkel von 45 Grad „einknicken“. Auch Reibungseffekte bei den aneinanderreibenden Kleidern oder Größen und Gewichtsunterschiede usw. verändern das Ergebnis und es bedarf sicherlich noch einiger Forschungen und Überlegungen, um dieses sehr einfache Bild, der Realität besser anzupassen.“

## **5. Personenstromanalysen**

Personenstromanalysen sind Teil des Crowd Managements. Sie helfen dabei, mehr über die Besucherverteilung auf einem Gelände und das Anreise- und Abreiseverhalten zu erfahren. Damit geben sie u.a. Hinweise für die Auslastung des ÖPNV. Sie ermöglichen auch, Ursachen für Störungen, Unregelmäßigkeiten und Stausituationen zu entdecken. Letztendlich kann mit ihnen auch eine Aussage über das Besucherverhalten und die Besucherstruktur erfolgen. Detaillierte Personenstromanalysen ermöglichen eine Prognose von Stausituationen und eine rechtzeitige Reaktion. Sie ermöglichen Rückschlüsse auf die Art der Besuchergruppen. Sie dienen zur Analyse von Unregelmäßigkeiten im Veranstaltungsablauf und damit bei wiederkehrenden Veranstaltungen als Planungsinstrument.

Nachfolgend werden verschiedene gemessenen Besucherströme und mögliche Rückschlüsse vorgestellt. Die Veranstaltungsbeschreibung und die gemessenen Datensätze sind unter <http://www.vfdb.de/Veroeffentlichungen.159.0.html> abrufbar.

### **5.1. Einfache Personenströme**

Zur Verdeutlichung eines Personenstroms soll zunächst ein einfaches Beispiel dienen. Bei einem Fußballstadion findet nach der Personenkontrolle durch Ordner eine Ticketkontrolle statt. Hierzu steckt der Besucher sein Ticket in einen Leseschlitz und das Drehkreuz wird freigegeben. Die Daten wurden im Kölner Stadion aufgenommen. Der Besucher hat sein Ticket in der Hand und das Drehkreuz arbeitet automatisch. Daher ist von einem

gleichmäßigen Durchlass auszugehen. Störungen können auftreten, wenn das Ticket nicht zur Hand ist oder ein Teil des technischen Systems versagt. In dem folgenden Diagramm ist der relativ konstante Personenfluss von 20 Personen pro Minute über einen Beobachtungszeitraum von 7 Minuten aufgezeigt.

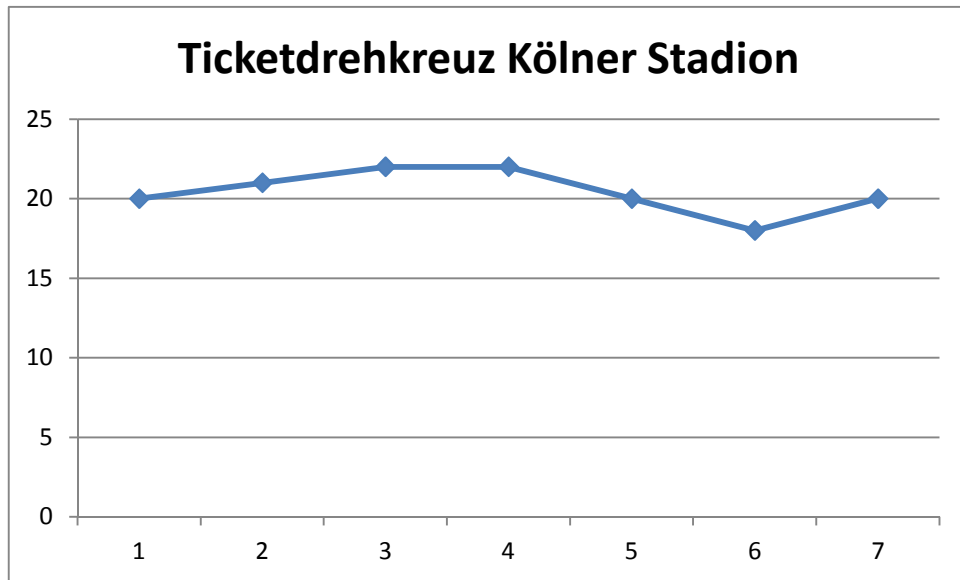


Abb. 3.: Personenstrom durch ein Drehkreuz. (Anzahl der Personen pro Minute gegen die Zeit in Minuten)

## 5.2. Personenströme ohne Gegenstrom

Komplexere aber dennoch einfach strukturierte Personenströme finden zum Ende einer Veranstaltung statt. Diese Art der Veranstaltung kann in einer Versammlungsstätte stattfinden oder auf einem Freigelände. Die Besucher zeigen während der Veranstaltung kein ausgeprägtes Strömungsverhalten, da das Ziel der Besucher die Beobachtung der Veranstaltung ist. Am Ende der Veranstaltung gehen die Besucher zu den Haltestellen des ÖPNV oder zu den Parkplätzen. Zu Beginn des Abströmens bildet sich meistens eine Spitze im Personenstrom aus, die durch die schnell gehenden Besucher, die zuerst den Transportpunkt erreichen wollen, hervorgerufen wird. Anschließend verläuft der Besucherstrom gleichmäßig und nimmt in der Summe ständig ab.

Als Beispiel soll der Besucherstrom während der Kölner Lichter im Jahr 2010 dienen. Betrachtet wurden die Besucher, die vom rechtsrheinischen frei zugänglichen Gelände in Richtung S-Bahnhof und Hauptbahnhof strömten. Die Aufnahmen wurden von der Hohenzollernbrücke gemacht.



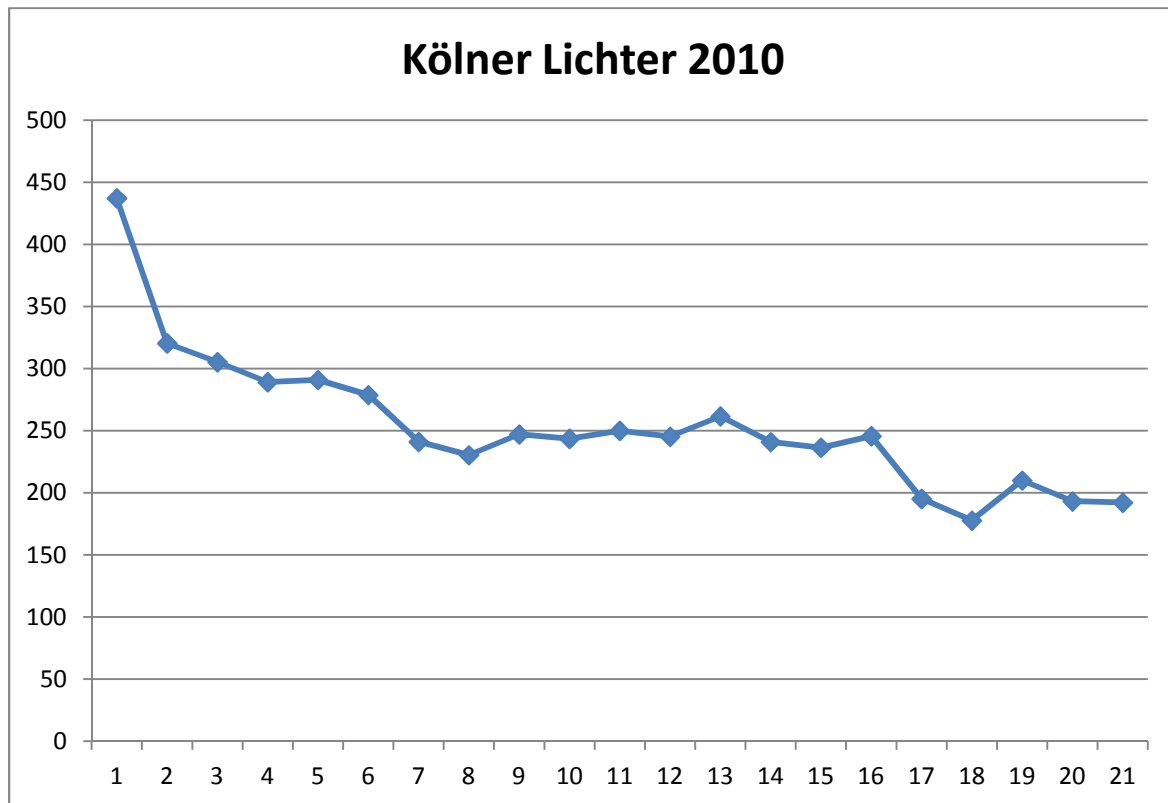


Abb. 4.: Personenstrom beim Veranstaltungsende der Kölner Lichter. (Anzahl der Personen pro Minute gegen die Zeit in Minuten)

Beobachtet wurde über einen Zeitraum von 20 Minuten das Abströmverhalten von ca. 5.300 Besuchern. Die Personenstromanalyse zeigt, dass es keine Auffälligkeiten gibt. Das Abströmen vom Gelände verläuft reibungslos mit kontinuierlich sinkenden Zahlen. Der Personenstrom wird bei Veranstaltungsende stark gelenkt. Sämtliche Kreuzungen und Querwege werden durch mit Personal besetzte Absperrungen vermieden. Dies hat eine insgesamt etwas längere Wegstrecke für die Teilnehmer zur Folge, bewirkt aber einen extrem gleichmäßigen Besucherstrom der somit zur gleichmäßigen Belastung der Bahnhöfe beiträgt.

### 5.3 Personenströme mit Gegenstrom

Die komplexesten Personenströme kommen bei Veranstaltungen vor, bei denen die Besucher im Gegenstrom laufen können. Die Mischung aus ankommenden und abwandernden Besuchern kann Störungen im Strömungsverhalten in beiden Richtungen aufzeigen.

Typische Beispiele für Veranstaltungen bei denen Personenströme mit Gegenstrom auftreten sind Kirmes Veranstaltungen, Stadtfeste vom Altstadtfest bis zur Kieler Woche sowie alle Veranstaltungen mit einem kontinuierlichen Programm. Bei geringen Personendichten unter  $1 \text{ P/m}^2$  bildet sich dabei noch kein typischer Gegenstrom aus, da die Personen ihren Weg noch frei wählen können. Ab einer Personendichte von  $1 \text{ P/m}^2$  bildet sich der Rechtsverkehr aus. Dabei kann man im Gegenstrom ca. 0,5 Meter von der verfügbaren freien Wegstrecke abziehen, da sich an der Berührungsstelle der Ströme zunächst eine Lücke herausbildet.

Als erstes Beispiel einer solchen Veranstaltung soll die Cranger Kirmes aus dem Jahr 2009 dienen. Das gesamte Ausstellungsgelände hat eine Fläche von ca. 110.000 qm. Der Kirmesplatz, also der innere Kern des Geländes, hat eine Lauffläche von 21.303 qm. Diese Fläche wird von jedem Besucher durchlaufen.

Bei einer Personendichte von  $2 \text{ P/m}^2$  würden ca. 42.600 Personen auf dieser Fläche Platz finden. Bei einer Auslastung der Fahrgeschäfte von ca. 90% würden gleichzeitig ca. 11.000 Personen in den Geschäften Platz finden. Die nachfolgenden Bilder geben einige Eindrücke.





Bild 9 und 10: Personendichten im Gegenstrom

Im Gegensatz zu einer stehenden Menge ist die Personendichte bei einer sich bewegendem Menge geringer, da die für eine Schrittlänge benötigte Fläche hinzugerechnet werden muss.. Selbst bei einer sehr niedrigen Schrittgeschwindigkeit beträgt die maximale beobachtete Personendichte  $2,5 \text{ P/m}^2$ .

Bei unterschiedlichen Besucherdichten wurden die Personengeschwindigkeiten für unterschiedliche Gruppenstärken der Personen ermittelt. Während sich bei Personendichten bis  $1,5 \text{ P/m}^2$  die Geschwindigkeiten noch deutlich unterscheiden, nähern sich die Geschwindigkeiten ab einer Dichte von ca.  $1,5 \text{ P/m}^2$  deutlich an. Die einzelnen Freiheitsgrade, d.h. die Entscheidungsmöglichkeiten einer Gruppe gehen in der Personenmenge unter. Selbst Rollstuhlfahrer oder Kinderwagen haben nun die gleiche Geschwindigkeit wie der durchschnittliche Besucher.

So ergeben sich z.B. für niedrige Personendichten die folgenden Verteilungen.

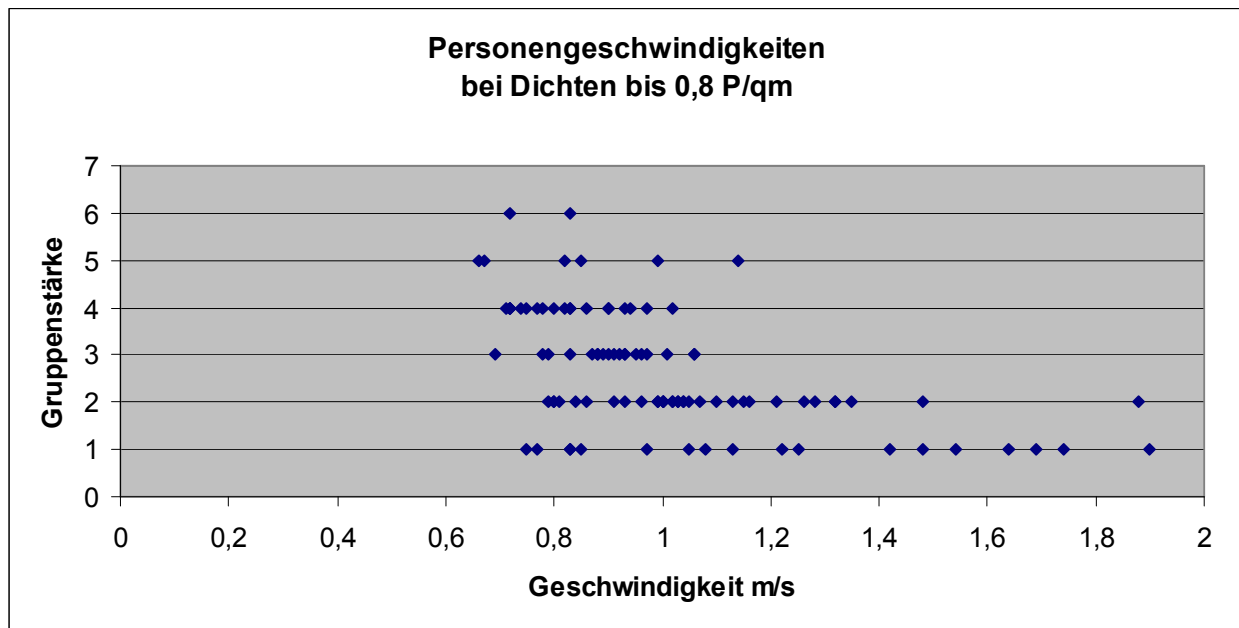


Abb. 5: Gemessene Personengeschwindigkeiten bei Dichten bis 0,8 P/m<sup>2</sup>

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

Tabelle 1: Mittlere Personengeschwindigkeiten für unterschiedliche Personengruppen

Um in Simulationsrechnungen Personengruppen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten berücksichtigen zu können, ist eine Angabe über die prozentuale Verteilung der Gruppen auf einem Veranstaltungsgelände hilfreich. Diese Verteilung wurde für die Kirmes in Soest und Crange ermittelt.

Gruppe	Anzahl		Personen		% - Anteil an den	
	Soest/Crange		Soest/Crange		Personen	Soest/Crange
1er	133	171	133	171	5 %	3 %
2er Gruppe MM	114	273	228	546	8 %	8 %
2er Gruppe MW	406	1057	812	2174	27 %	34 %
2er Gruppe WW	202	328	404	656	14 %	10 %
3er Gruppe	199	410	597	1230	20 %	19 %
4er Gruppe	129	275	516	1100	17 %	17 %
5er Gruppe und größer	53	119	265	595	9 %	9 %
Gesamt	1236	2663	2955	6472		

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung von Personengruppen auf einer Kirmes

Man erkennt, dass die prozentualen Verteilungen bei beiden Veranstaltungen annähernd gleich sind.

Auf der Soester Allerheiligenkirmes wurden im Jahr 2010 zwei aufeinanderfolgende Tage vom selben Beobachtungsstandort untersucht und entsprechende Personenstromanalysen erstellt. Die Besonderheit ist, dass am ersten Beobachtungstag (Freitag) um 20:00 Uhr ein Feuerwerk stattfand. Es müssten sich also signifikante Unterschiede zum Samstag herausstellen, da hier der durch die zusätzliche Attraktion bedingte Gegenstrom entsprechend wegfiel.

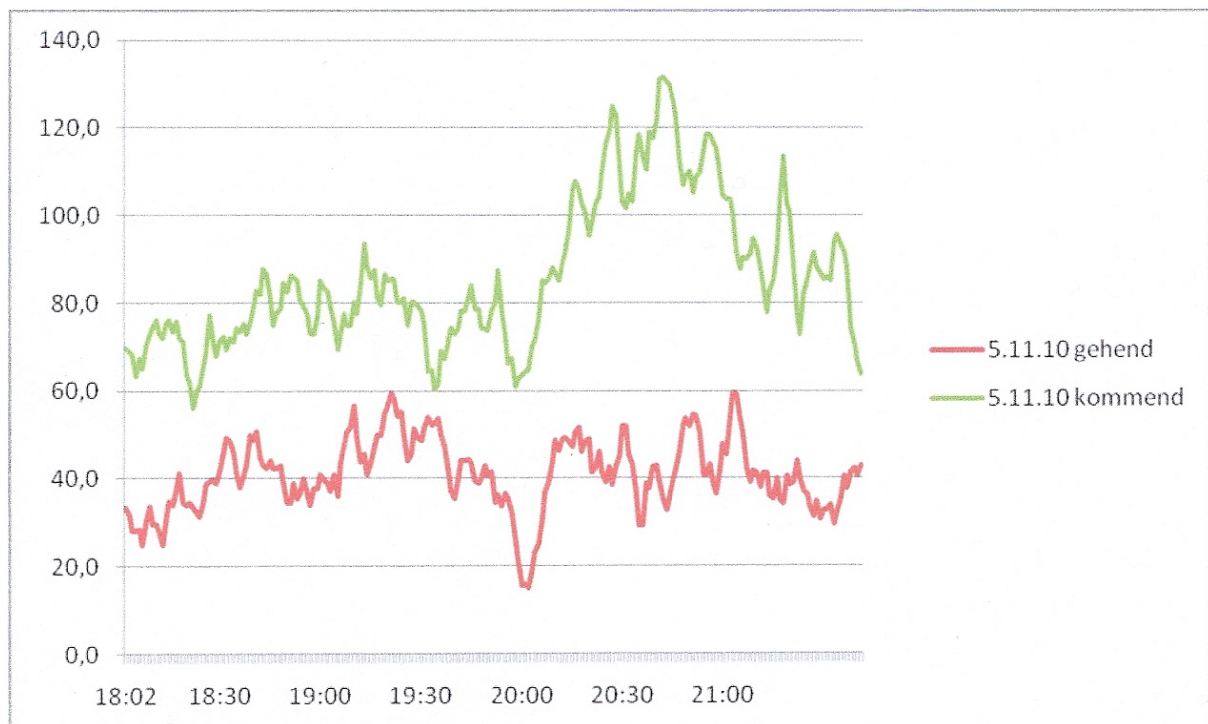


Abb. 6: Personenströme Soester Allerheiligenkirmes 5.11.2010

Der ankommende Besucherstrom resultiert überwiegend auf Besucher, die mit dem ÖPNV anreisen. Am Bahnhof ist auch der zentrale Busbahnhof gelegen, den alle Busse aus der Umgebung von Soest anfahren. Das Feuerwerk findet hinter dem Bahnhof auf einem Freigelände statt und kann vom Bereich um den Busbahnhof beobachtet werden. Der gesamte Beobachtungszeitraum umfasst 3,5 Stunden. Deutlich sichtbar ist der ansteigende Besucherstrom (Rot) von 18:00 Uhr bis 19:30 Uhr, verursacht durch die Besucher, die vom Kirmesgelände Richtung Bahnhof und damit zum Feuerwerk strömen. Dieser Besucherstrom kommt ab 19:50 nahezu zum Erliegen. Entsprechend setzt um 20:30 Uhr, also mit Beendigung des Feuerwerks ein erhöhter Besucherstrom zum Kirmesgelände ein. Weiterhin sind ab 20:45 Uhr einige Spitzen bei den ankommenden Besuchern zu erkennen.

Am Samstag, den 6.11.2010 war das Wetter weniger regnerisch und die Gesamtzahl der Besucher war deutlich erhöht.

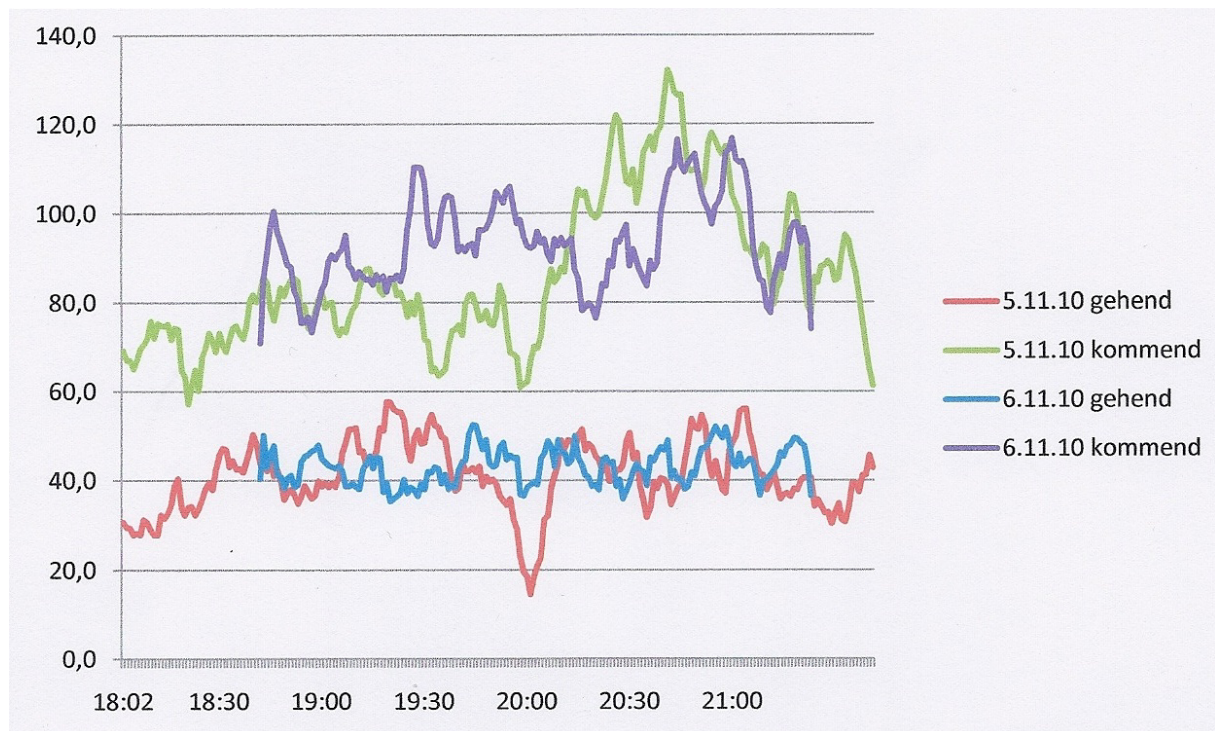


Abb. 7.: Personenströme Soester Allerheiligenkirmes 5./6.11.2010.

Bei den gehenden Besuchern zeigen sich keine Unterschiede im Personenstrom an den beiden Tagen. Das lässt einen Rückschluss auf die Besucherstruktur zu. Die Besucherströme wurden in der Zeit von 18:00 Uhr bis 21:30 Uhr gemessen. In dieser Zeit ist der Besucherstrom für beide Tage nahezu identisch. Bei der gehenden Besuchergruppe handelt es sich um Schaulustige, die eine geringere Verweilzeit aufweisen. Die Hauptgruppe der Kirmesbesucher bleibt über 5-6 Stunden und geht erst in den späten Abendstunden zurück. Der Besucherstrom und damit die Besuchermenge der Schaulustigen ist an beiden Tagen konstant. Die erhöhte Besucherzahl geht ausschließlich auf die Besuchergruppe mit einer hohen Verweilzeit zurück.

Bemerkenswert in dem Diagramm sind die annähernd identischen drei Spitzen in der Zeit von 20:45 Uhr bis 21:15. Die leichte Parallelverschiebung ist auf die höhere Personendichte und die damit verbundene geringere Personengeschwindigkeit zurückzuführen, da der Weg vom Bahnhof zum Beobachtungspunkt ca. 30 Minuten benötigt. Hierbei handelt es sich um ein „hausgemachtes“ Problem durch den ÖPNV. Zu diesen Zeitpunkten ist am Busbahnhof zufällig ein erhöhtes gleichzeitiges Eintreffen von Bussen zu verzeichnen. Die Folge sind Besucherspitzen auf dem Gelände, die teilweise an engeren Stellen zu Stausituation im Besucherfluss führen. Durch eine Optimierung des Fahrplans können diese vermieden werden.

Die Anwendung von Personenstromanalysen soll weiterhin am Beispiel der Loveparade in Duisburg im Jahr 2010 verdeutlicht werden. Bei der Loveparade wurden die Besucher vom Bahnhof ankommend auf einer Weststrecke und einer Oststrecke zum Veranstaltungsgelände geführt. Dies hat grundsätzlich den Vorteil, dass die Besucher eine gewisse Strecke bis zum Veranstaltungsgelände laufen müssen. Würde die Veranstaltung direkt am Bahnhof stattfinden, würde es am Ausgang des Bahnhofs zu Stausituationen kommen.

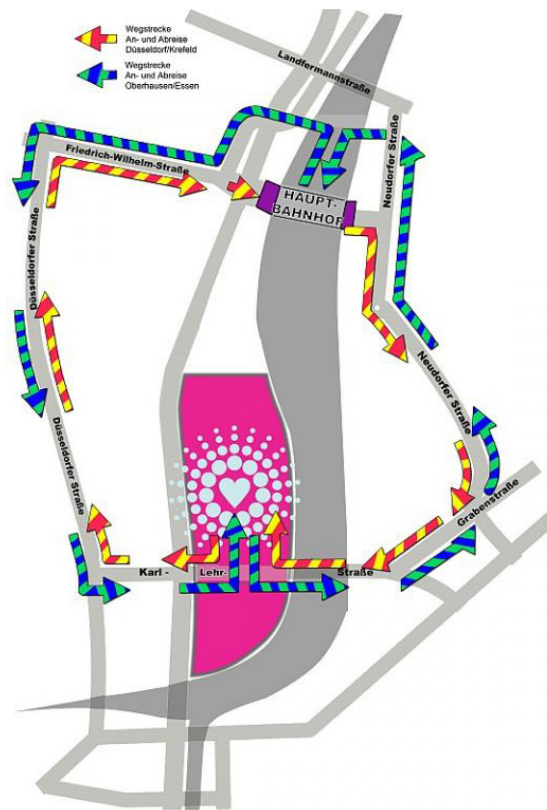


Abb. 8: Strömungswege Loveparade. (Die linke Seite entspricht der Westseite)

Ausgewertet wurde der Besucherstrom vom Westausgang des Bahnhofs in die Stadt. Hierzu liegen zwei Videoaufzeichnungen vor. Die erste Aufzeichnung betrifft den Zeitraum von 11:17 Uhr bis 13:55 Uhr in dem ca. 40.000 Personen die Messtrecke passierten und der Zeitraum von 14:41 Uhr bis 15:13 Uhr, in dem ca. 5.500 Personen die Messtrecke passierten.



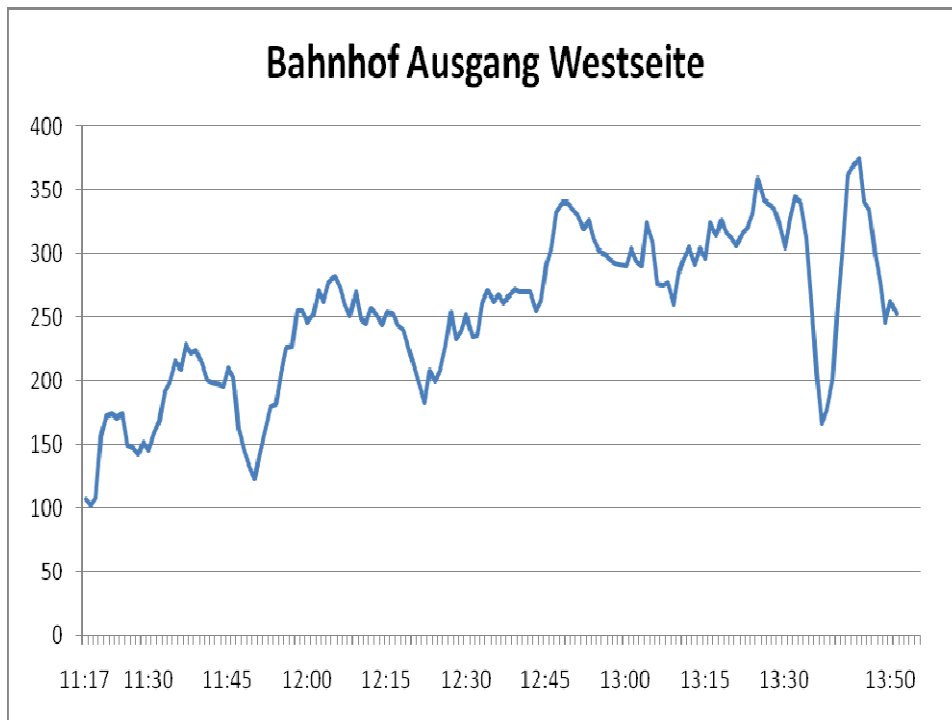


Abb. 9.: Personenstrom vom Bahnhof in die Stadt. Erste Beobachtung.

Der mittlere Personenstrom steigt vom Beginn der Messungen bis zum Veranstaltungsbeginn um 14:00 Uhr ständig an, wobei ab 12:45 ein ungefähr konstanter Wert erreicht wurde. Die kleineren Schwankungen sind sicherlich auf die Zugfrequenzen zurückzuführen. Auffällig sind die beiden Einbrüche um 11:50 Uhr und um 13:40 Uhr, bei denen der Besucherstrom für ca. 5 Minuten halbiert wird. Hierfür muss eine Ursache im System vorliegen, die allerdings nicht bekannt ist.

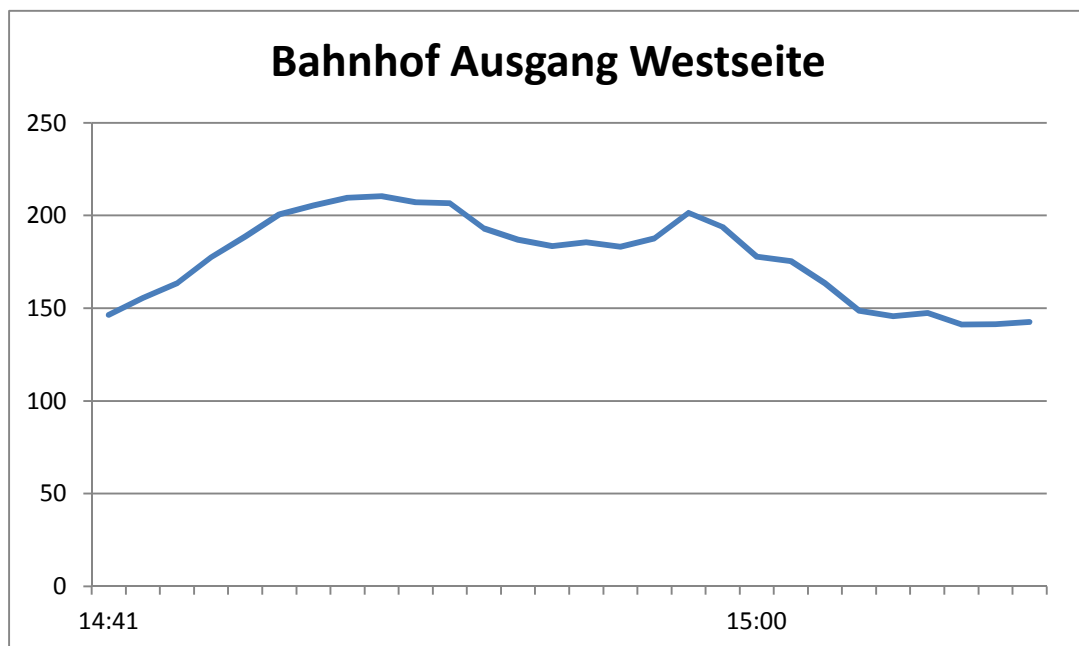


Abb. 10.: Personenstrom vom Bahnhof in die Stadt. Zweite Beobachtung.

Deutlich sichtbar ist der relativ gleichmäßige Verlauf des Besucherstroms. Auffällig im Vergleich zum Besucherstrom aus der Abbildung 5 ist jedoch der wesentlich geringere durchschnittliche Wert. Während in der ersten Beobachtung der Mittelwert noch bei ca. 300 Personen pro Minute lag, liegt in dieser Beobachtung der Mittelwert bei ca. 175 Personen. Auch hierzu muss ein Grund vorliegen. Im Einsatztagebuch heißt es hierzu um 14:40 „Der Westteil des HBF ist total überfüllt. Ankommende Gäste werden vorläufig über den Ostteil aus dem HBF geführt.“ Die Personenstromanalyse erkennt also externe Eingriffe und kann diese nachweisen.

Die Besucher wurden anschließend durch einen Westtunnel und einen Osttunnel auf das Veranstaltungsgelände geführt. Die Tunnel waren jeweils am Eingang durch Einlassschleusen begrenzt, wobei grundsätzlich 16 Schleusen zur Verfügung standen aber ab 13:00 Uhr nur noch 6 Schleusen geöffnet waren.

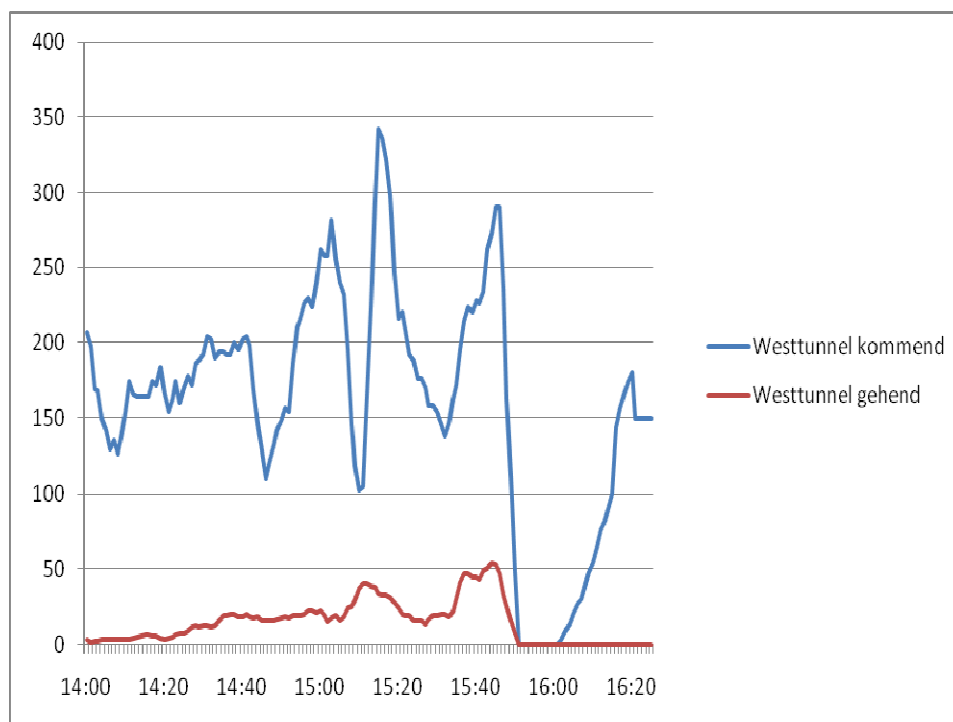


Abb. 11.: Personenstrom durch den Westtunnel zum Veranstaltungsgelände

Offensichtlich ist der abrupte Abbruch des Personenstroms um 15:50 mit der Errichtung der Polizeisperre. Aber auch vorher weist der Besucherstrom zahlreiche Unregelmäßigkeiten auf, die alle unterschiedliche Ursachen haben. Um 14:47 fährt z.B. ein Polizeiwagen von der Stadt

zum Gelände. Die Durchfahrt führt im Tunnel nicht zu Problemen, bedeutet aber das in dieser Zeit ca. 400. Besucher weniger den Tunnel passieren konnten. 400 Besucher bedeuten gleichzeitig einen höheren Rückstau vor den Schleusen in der Größenordnung von ca. 200 m<sup>2</sup> (Bei angenommenen 2 P/m<sup>2</sup>). Der kurzfristige Rückgang um 15:15 kann auf die Anordnung des Crowd Managers zurückgehen, weitere Schleusen zu schließen. Allerdings war dieser Eingriff nur kurzfristig und mündete in einer anschließenden Besucherspitze, da anscheinend nun die Schleusen durchbrochen wurden. Insgesamt ist die Besuchersteuerung sehr schwankend. Der Abstrom steigt kontinuierlich an.

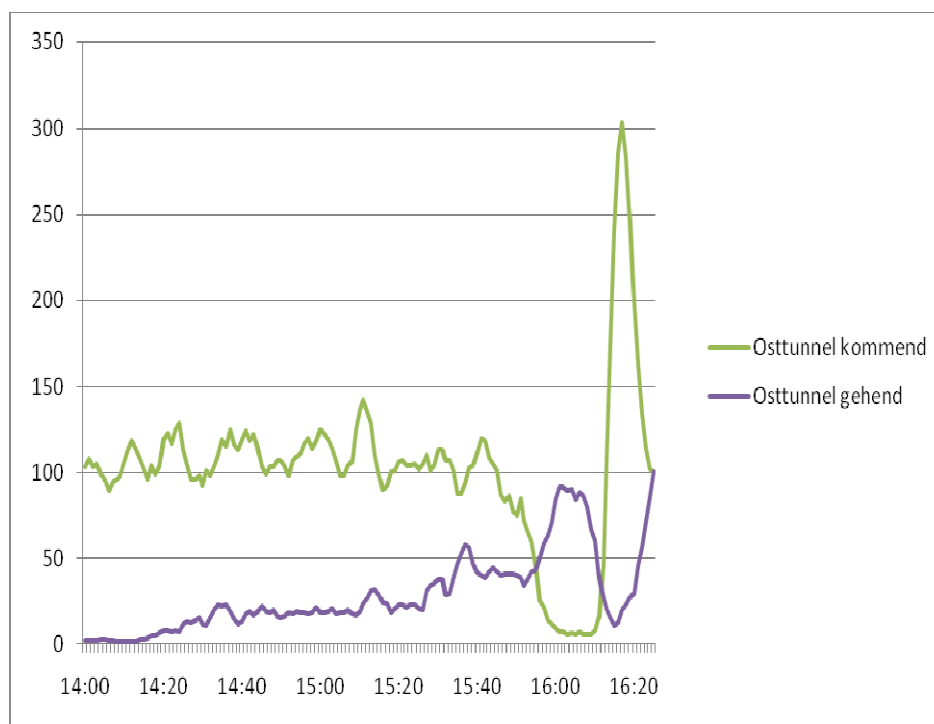


Abb. 12.: Personenstrom durch den Osttunnel zum Veranstaltungsgelände

Im Gegensatz zum Westtunnel ist der Besucherstrom im Osttunnel weitgehend konstant. Der Verlauf der gehenden Besucher steigt ebenfalls ständig an, wobei ein Spitzenwert um 15:14 Uhr erreicht wird. Hier fand der Wachwechsel auf der Rampe statt. Die abfahrenden Fahrzeuge wurden von zahlreichen Besuchern zum Verlassen des Geländes genutzt, indem sie hinter den Fahrzeugen herliefen. Die Spitze ab 16:00 erklärt sich dadurch, dass die Besucher vom Gelände aus noch in den Osttunnel gehen konnten. Hier befand sich die Polizeisperre am Tunnelleingang. Dementsprechend war im Tunnel ausreichend Platz für die gehenden Besucher vorhanden.

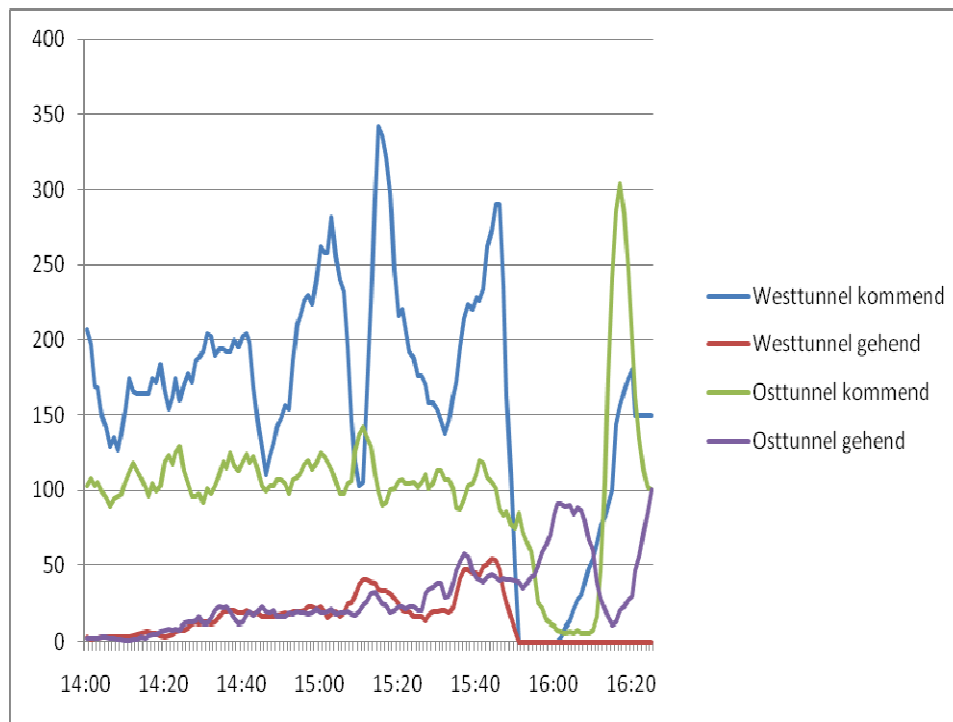


Abb. 13.: Personenströme durch die Tunnel zum Veranstaltungsgelände.

Vergleicht man die Datensätze aus den beiden Tunneln, so lässt sich sagen, dass die Ordner an den Einlassschleusen unterschiedlich gearbeitet haben. Die Ostseite hat die Besucher gleichmäßig bei einem relativ geringen Besucherstrom eingelassen. Die Ordner auf der Westseite konnten dies nicht gewährleisten. Ein gleichmäßiger Besucherstrom kam nie zustande. Betrachtet man die Besucherströme vom Bahnhof Westseite und vom Tunneldurchgang Westseite, so muss man feststellen, dass für den gesamten Veranstaltungsraum also Bahnhof, Stadt, Gelände nie ein abgestimmtes Crowd Management oder Crowd Control System existiert hat. Die Besucherströme vom Bahnhof waren um 15:00 bereits größer als die Besucherströme, die auf das Gelände gelassen wurden. Dies musste unweigerlich zu erheblichen Staus im Stadtbereich führen, die wiederum mit Aggressionspotential und kritischen Situationen verbunden sind.

Wesentlich für die Planung von Veranstaltungen, insbesondere für solche die sich über eine größere Fläche erstrecken, ist die Berücksichtigung der Personenströme auf dem gesamten Gelände. Eine ausschließliche Konzentration auf den Kern des Veranstaltungsgeländes führt zu Fehleinschätzungen. Die Personenströme sind dabei hoch dynamische Prozesse. Situationen an einem Beobachtungspunkt können sich innerhalb kurzer Zeitabschnitte deutlich verändern. Eine statische Besucherbeobachtung im Sinne einer Aussage „Die Fläche x hat einen Füllgrad von 80%“ ist für eine Reaktion in einer angemessenen Zeit nicht

hilfreich. Eine dynamische Beobachtung im Sinne einer Aussage „an dem Punkt x kann in 30 Minuten ein Personenstrom von 400 Personen/Minute erwartet werden“ ermöglicht eine zeitnahe Reaktion der Ordner und Einsatzkräfte.

## **6. Das „Vier Stufen Modell“ des Staus**

Zur Bildung eines Staus gibt es verschiedene Theorien. Bei den meisten Ansätzen wird im Rahmen von Versuchen die Personendichte im Personenstrom ständig erhöht, bis sich ein Stau ausbildet. Dieser ergibt sich durch eine ständig verringerte Schrittlänge, die schließlich ein weiteres Gehen unmöglich macht. Dabei gehen diese Ansätze davon aus, dass bei Personendichten ab  $5 \text{ P/m}^2$  im Personenstrom ein Stau auftritt. Eine solche Dichte konnte jedoch bei Veranstaltungen nur in Druckwellen beobachtet werden.

Es gibt eine Vorstufe ohne Staugefahr bei Personenströmen bis zu  $1,5 \text{ P/m}^2$ . Personen zeigen eindeutiges Gruppenverhalten, d.h. die unterschiedlichen Gruppenstärken bewegen sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Ab einer Personendichte von  $1,5 \text{ P/m}^2$  gleichen sich die Geschwindigkeiten der einzelnen Gruppen immer mehr einander an, bis annähernd gleiche Gehgeschwindigkeiten erreicht werden.

Die erste Stufe des Staus wird ab einer Personendichte von ca.  $2 \text{ P/m}^2$  erreicht. Das Gruppenverhalten ist nun aufgehoben und alle Personen bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit. Eine einzelne Person besitzt keine Freiheitsgrade mehr, d.h. ihr Verhalten wird durch das Verhalten der gesamten Gruppe bestimmt. Optisch lässt sich diese Stufe durch das Gehverhalten erkennen. Es kommt zu einem „Watschelschritt“, d.h. der Oberkörper schwankt von rechts nach links und die Füße werden nicht mehr ausschließlich in Gehrichtung gesetzt sondern mit der Seitwärtsbewegung kombiniert.

Bei der zweiten Stufe des Staus und einer Personendichte von 2 bis  $3 \text{ P/m}^2$  kommt es im Vergleich zu der ersten Phase zu Störungen. Störungen sind dabei alle Ereignisse, die ein kurzfristiges Abstoppen des Personenstroms verursachen. Ein Beispiel zeigt das nächste Bild, bei dem sich drei Personen quer zum Personenstrom bewegen und so eine kurzfristige Unterbrechung des Personenflusses erzwingen.



Bild 11: Störung im Personenstrom

Die Art der Störung kann dabei vielfältig sein. Es können Personen sein, die abstoppen, um Kontakt zu einem anderen Gruppenmitglied aufzunehmen. Ein Gegenstand kann zu Boden gefallen sein oder eine Attraktion am Wegesrand kann z.B. durch einen Lautsprecherdurchsage die Aufmerksamkeit erregt haben.

Eine weitere Störung mit Stauanreiz sind stehende Personen am Wegesrand. Als Beispiel soll eine Veranstaltung dienen, die an zwei Tagen beobachtet wurde.

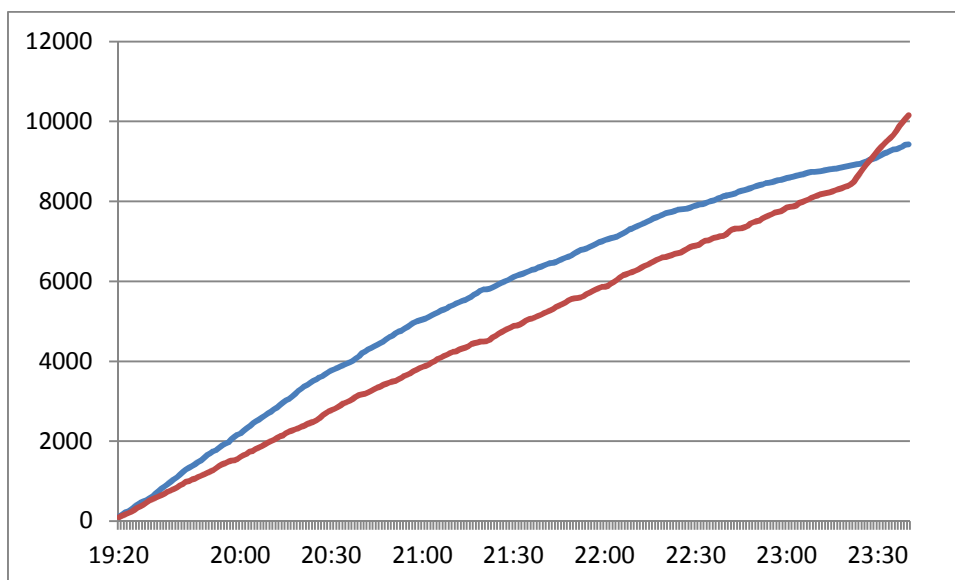


Abb. 14 : Kommende (Blau) und gehende Besucher (Rot) über die Zeit (Tag 1)

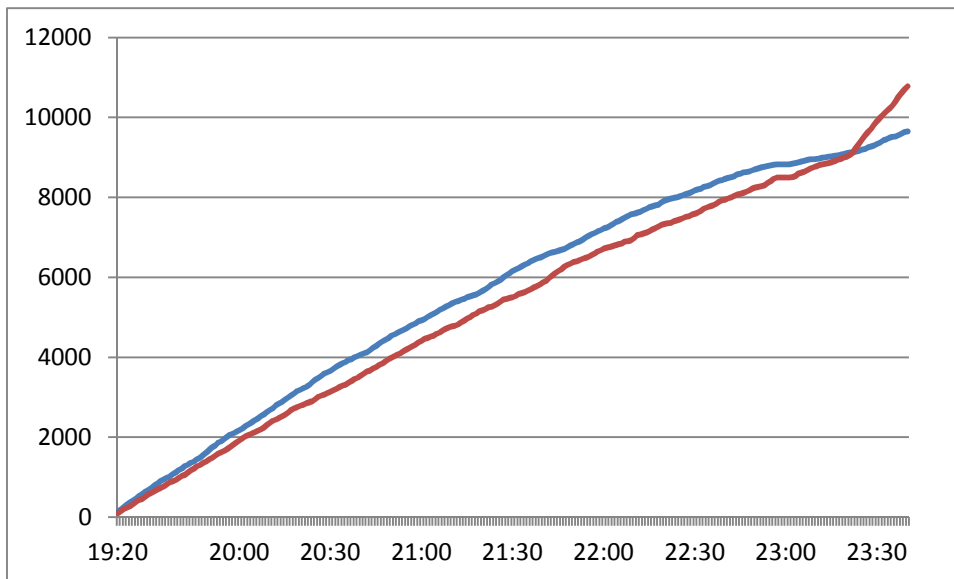


Abb. 15 : Kommende (Blau) und gehende Besucher (Rot) über die Zeit (Tag 2)

An beiden Tagen kommen auf der ausgemessenen Wegstrecke über einen Zeitraum von 4 Stunden ca. 9.500 Besucher an und ca. 10.500 Besucher verlassen das Gelände. (Vor 19:00 waren bereits Besucher anwesend). Im Prinzip ist damit die Veranstaltung an beiden Tagen gleich. Dennoch kam es an dem einen Tag nur zu geringen Störungen im Besucherstrom und am anderen Tag zu erheblichen Störungen. Der Grund liegt in der Verweilzeit und der Anreisezeit der Besucher. Aus den beiden Besucherströmen kann einfach die Differenz zwischen kommenden und gehenden Besuchern gebildet werden. Diese Differenzen sind im folgenden Bild dargestellt. An dem einen Tag muss das Gelände in der Spitze ca. 1.300 überwiegend stehende Besucher aufnehmen und an dem anderen Tag lediglich 500 Besucher.

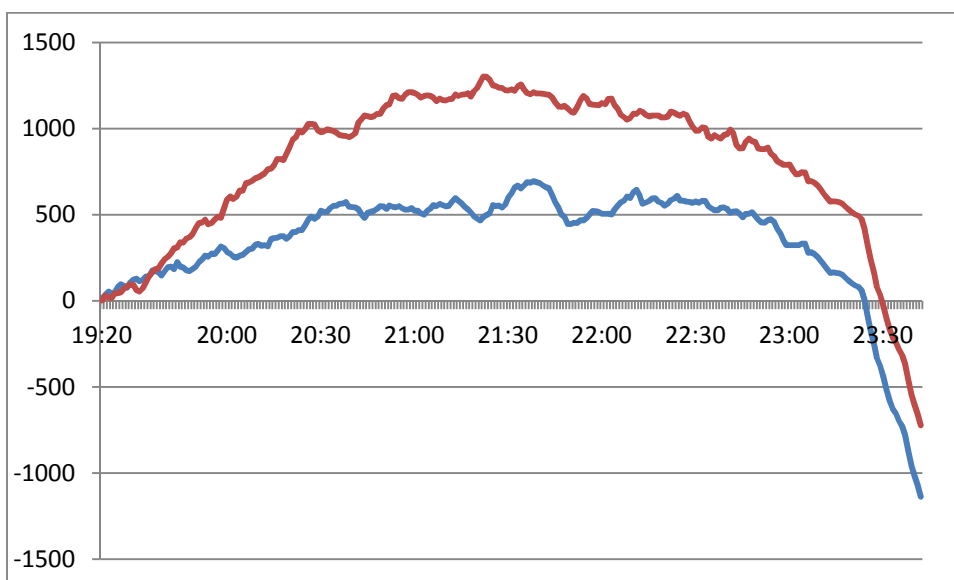


Abb. 16 : Differenz zwischen kommenden und gehenden Besuchern

Diese Besucher führen zu Verengungen in der frei verfügbaren Wegbreite und bieten somit Anreize zur Staubildung. Von Bedeutung ist dabei die verfügbare Wegbreite und deren Kapazität. Die Kapazitäten können über einen einfachen Ansatz berechnet werden (19).

Besucher pro Minute = Zeit (In Sekunden) \* Breites des Weges (m) \* Personen pro  $m^2$  \* Mittlere Gehgeschwindigkeit

Setzt man für die Personendichte und die mittlere Gehgeschwindigkeit die Werte aus der Tabelle 1 ein, so erhält man z.B. für eine Wegbreite von 5 Metern folgendes Diagramm.

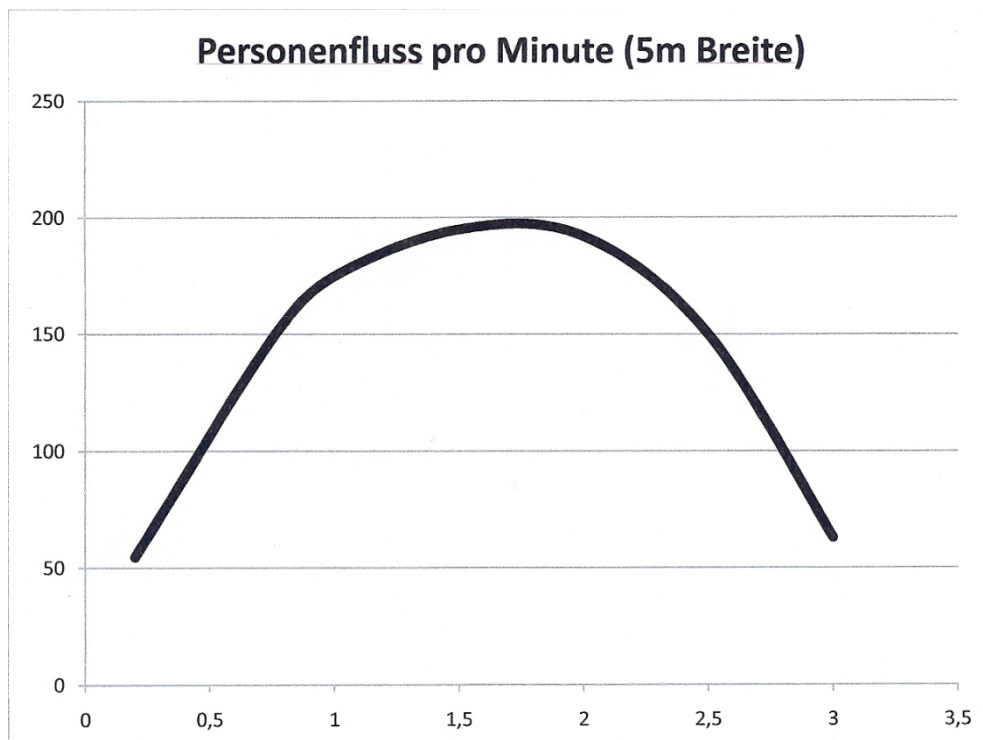


Abb. 17 : Personenfluss pro Minute für unterschiedliche Personendichten.

Ein Weg von 5 Metern Breite kann also einen maximalen Personenfluss von ca. 200 Personen/Minute aufnehmen, wobei die Kapazität über eine relativ breite Personendichte von 1 bis 2  $P/m^2$  konstant ist. Wird also in einer Personenstromanalyse ein Spitzenwert von 200 Personen/Minute gemessen, sollte die freie Wegbreite auf dem Gelände mindestens 5 Meter betragen. Die in dem Beispiel gezeigten stehenden und verweilenden Besucher verringern die freie Wegbreite, erhöhen damit die Dichte und bieten letztendlich einen Stauanreiz.

Die dritte Stufe des Staus ist schließlich der teilweise Stillstand der Besucherströme. Dies bedeutet an sich noch keine Gefährdung der Besucher, Ein Stau ist bei verschiedenen Veranstaltungen durchaus gewollt und gehört zum Charakter der Veranstaltung (Ansonsten war nichts los in diesem Jahr). Dieser Stau zeichnet sich durch die Dauer (ca. 1 bis 5



Minuten) und durch eine stehende Personendichte von 3 -5 P/m<sup>2</sup> aus, da ein Sozialabstand gewahrt bleibt. Anschließend löst sich dieser Stau wieder auf. Diese Art von Stau bildet sich meistens an Attraktionen bzw. wird durch Attraktionen hervorgerufen. Bei diesen Attraktionen kann es sich um jede Art von „Top Act“ handeln, also z.B. ein neues Fahrgeschäft auf einer Kirmes, um eine Band bei einem Stadtfest oder auch um einen Bierstand, wenn der Getränkeverkauf in Richtung des freien Gehweges stattfindet. Wanderbewegungen können aber auch durch den Wegfall von Attraktionen hervorgerufen werden. Dies ist der Fall, wenn sich Reizfunktionen ändern. Eine Band macht z.B. eine Pause oder die Ausleuchtung auf einem Gelände wird verändert. Wenn also aus Lärmschutzgründen ab einer bestimmten Uhrzeit die Beschallung verändert wird, müssen die zu erwartenden Wanderbewegungen im Sicherheitskonzept berücksichtigt werden.

Auf dem nächsten Bild ist ersichtlich, wie groß eine stehende Personenmenge an einer Attraktion werden kann und welchen Einfluss sie damit auf den freien Gehweg hat.



Bild 12: Stehende Personenmenge an einem Getränkestand (Oberhalb der Linie)

Die Akzeptanz eines solchen Staus hängt zum Einen von der Dauer des Staus ab und zum Anderen ganz wesentlich von den Informationen. Haben z.B. die wartenden Besucher eine freie Sichtlinie zur Stauursache oder kommen noch Besucher entgegen bzw. ist noch eine geringfügige Fortbewegung möglich.

Können diese Rahmenbedingungen nicht mehr eingehalten werden oder geht die Staudauer über den Akzeptanzbereich hinaus, kommt es zur vierten Stufe oder der kritischen Stufe des

Staus. Charakteristisch in der Personenstromanalyse sind hierfür anticyclische Personenströme der kommenden und gehenden Besucher, d.h. entweder können noch Personen zum Gelände gehen oder Personen können das Gelände verlassen. Das Gelände ist im Prinzip überfüllt. Ein Beispiel für einen solchen Personenstrom zeigt das nächste Bild.

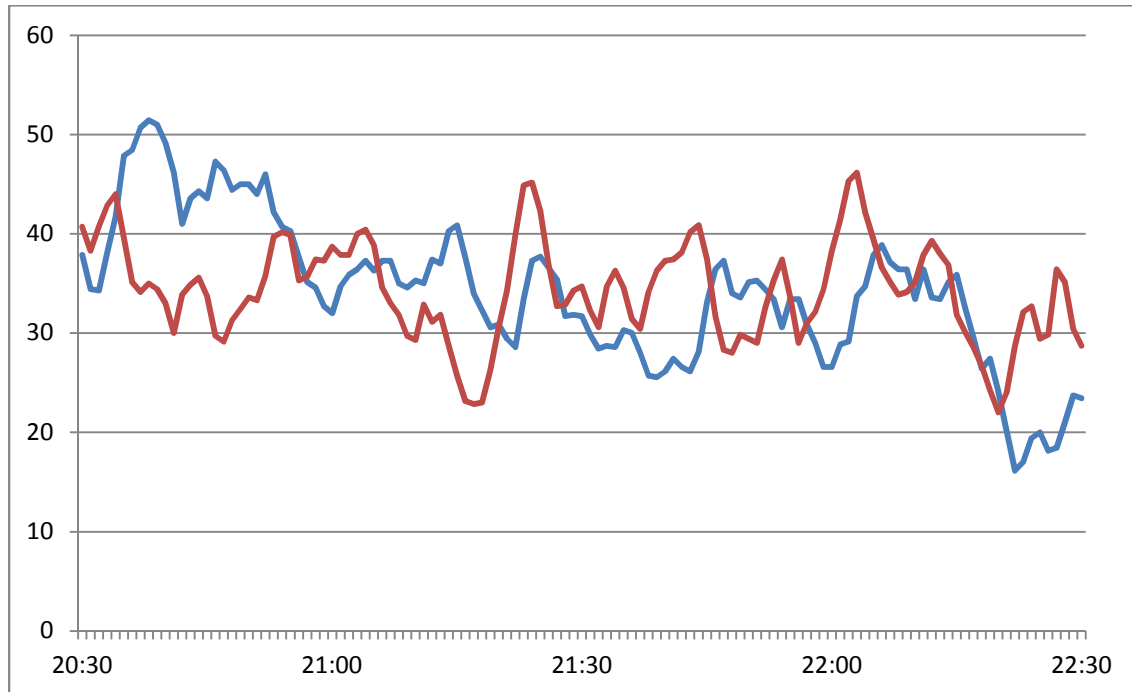


Abb. 18: Anticyclische Strömung von gehenden und kommenden Besuchern

Was in solchen Situationen passieren kann, verdeutlicht die folgende Bilderreihe. Gekennzeichnet ist eine Person, die einen Bierkrug in die Höhe hält. Die Person geht zunächst bis zu einem Punkt vorwärts. Dann tritt eine Druckwelle gehender Besucher auf, die nicht zu stoppen und der nicht auszuweichen ist. Als Folge wird die gekennzeichnete Person rückwärts „gegangen“. Kommt es in einer solchen Situation zu einem Stolpern, werden in der Folge weitere Stürze eintreten und die Personen werden auf dem Boden liegend überlaufen. Die Personendichte in der Spitze der abgehenden Besucherwelle liegt dabei schon bei  $6 \text{ P/m}^2$  und zeigt Wellenbewegungen.



Bild 13: Erzwungene Bewegung eines Besuchers durch Gegenstrom

## 7. Personenstromanalysen mit Simulationsmodellen

Die in den Abschnitten 5 und 6 entwickelten Schlussfolgerungen lassen sich auch durch entsprechende Simulationsrechnungen stützen. Dazu ist es notwendig, sogenannte mikroskopische Evakuierungsmodelle (auch Individualmodelle genannt) einzusetzen, welche die Bewegung einzelner Personen beschreiben. Nur so können - unter Berücksichtigung relevanter baulicher Umgebungseinflüsse, individueller Merkmale und Verhaltensoptionen (Körpergröße, Zielvorgaben, Gruppenbildung, etc.) sowie gegebenenfalls auch organisatorischer Maßnahmen (Handlungsanweisungen, mobile Sperren, etc.) - Situationen untersucht werden, die zu erhöhten Personendichten führen.

So wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Risiko Großveranstaltungen – Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettungskonzepte - EVA“ Simulationsrechnungen mit dem Personenstrom-Modell ASERI für einige der hier aufgeführten Veranstaltungen durchgeführt, sowohl für den stark frequentierten störungsfreien Ablauf als auch für hypothetische Notfallsituationen mit anschließender (Teil-)Räumung des betroffenen Geländes. Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch ein Räumungsszenarium für die Cranger Kirmes. Anfangs befinden sich 55.000 Besucher auf dem Veranstaltungsgelände (Bild 14). Fünf Minuten nach Beginn der Räumung haben sich auf den vom Gelände wegführenden Straßen verdichtete Personenströme gebildet.

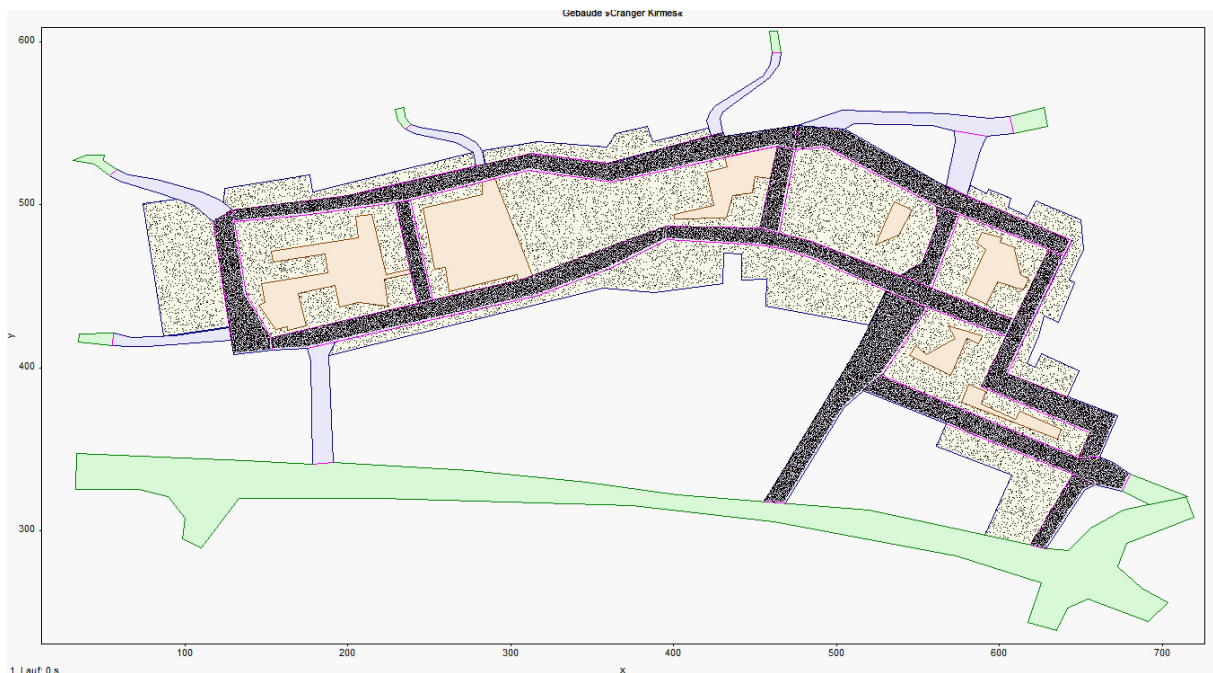


Bild 14: 55.000 Besucher Verteilt auf dem Gelände der Cranger Kirmes

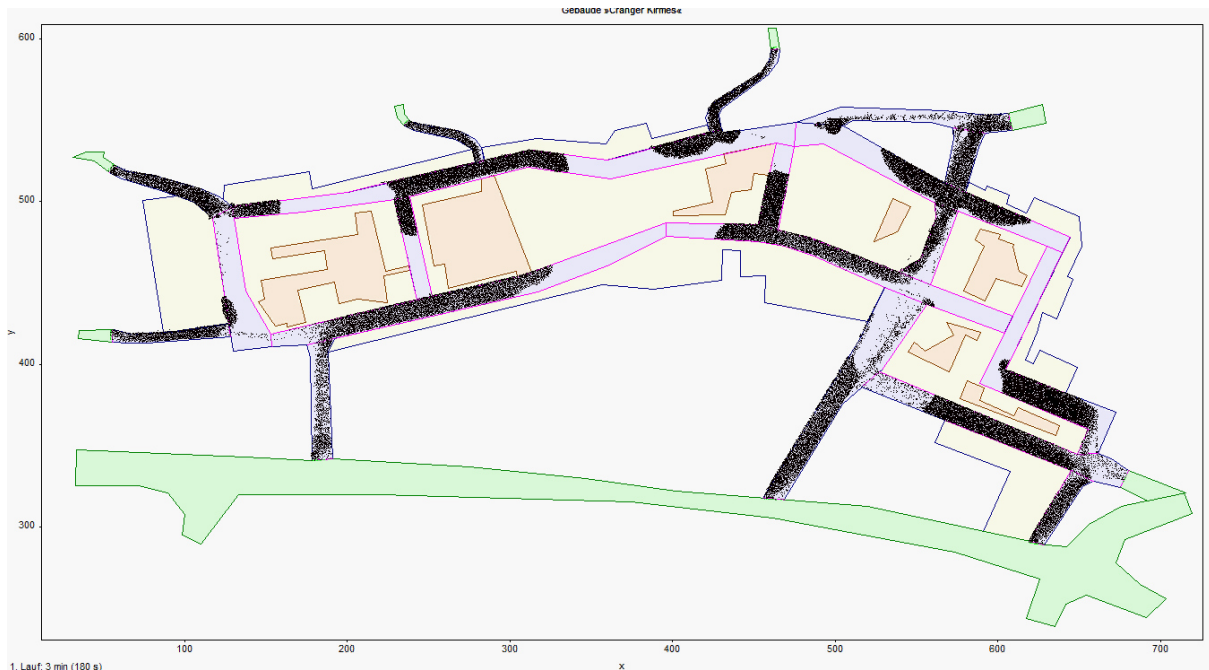
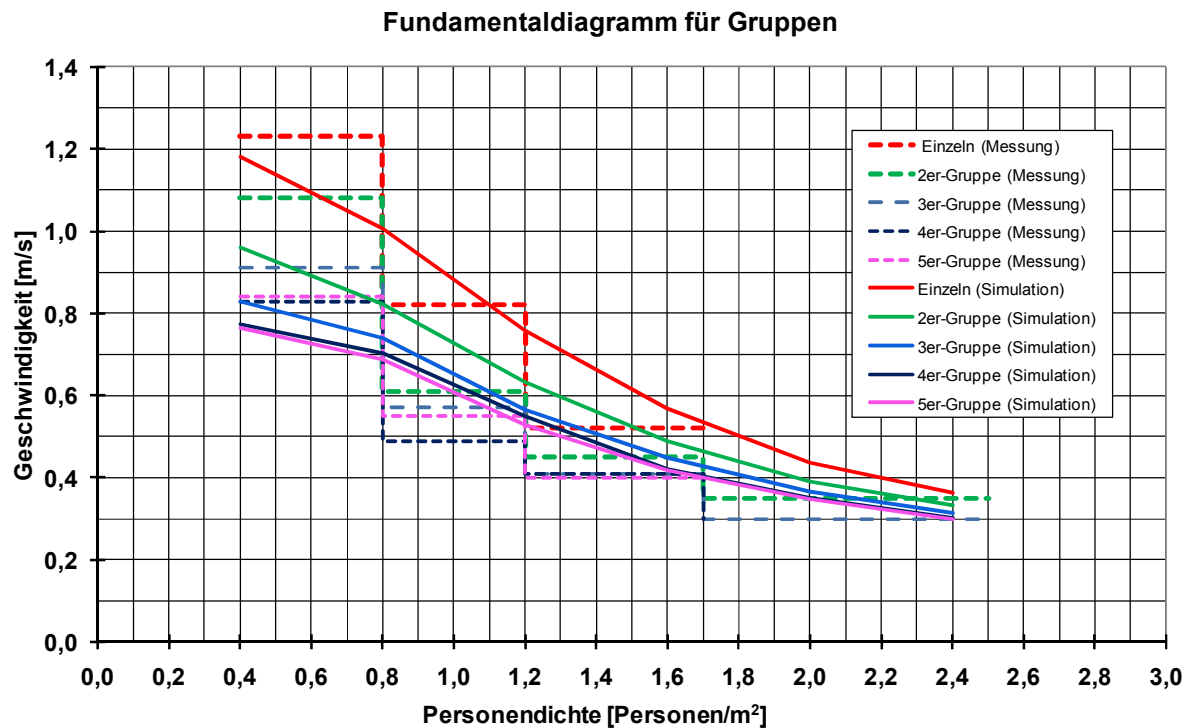


Bild 15: Verdichtung der Personenströme auf den vom Veranstaltungsgelände wegführenden Straßen 5 Minuten nach Beginn der Räumung

Die in den Abschnitten 5 und 6 beschriebene Gruppenbildung mit ihren Auswirkungen auf den Personenstrom sowie das Phänomen des Gegenstroms waren ebenfalls Gegenstand der Weiterentwicklung des Personenstrom- und Evakuierungsmodells ASERI im Rahmen des EVA-Projektes. Unter anderem konnte dabei die in Abschnitt 5 beschriebene Abhängigkeit der effektiven Fortbewegungsgeschwindigkeit bzw. des Personenflusses von der Personendichte (das sogenannte Fundamentaldiagramm) durch numerische Simulationen bestätigt werden (Bild 16).

Um das Ausmaß des Gruppenzusammenhalts zu bestimmen, ist die Art der sozialen Beziehung der Gruppenmitglieder untereinander von Bedeutung. In dem Modell ASERI werden die folgenden Beziehungsarten unterstützt: gegenseitig positiv (Freunde, Paare), gegenseitig negativ, asymmetrisch (z.B. Eltern - Kind oder Vorgesetzter - Untergebener) und neutral. Die Art der Beziehung bestimmt den tolerablen interpersonellen Abstand der noch nicht zu einem Zerfall bzw. einer Aufspaltung der Gruppe führt. Eine gute Übereinstimmung mit empirischen Daten wurde für ein Beziehungsmuster von 50 % gegenseitig positiv und 50 % neutralen Wechselbeziehungen erzielt.



**Bild 16: Fundamentaldiagramm (Simulation und Beobachtung) für unterschiedliche Gruppengrößen**

Simulationsmodelle können also bereits in der Planungs- und Vorbereitungsphase einer Veranstaltung einen wichtigen Beitrag zum Erkennen und Vermeiden von Engpass- und Stausituation, bei der Abschätzung des Gefahrenpotentials vorhandener Engstellen und bei der Optimierung der Personenströme im Sinne eines effizienten "crowd managements" leisten. Der Einsatz von Simulationsprogrammen vor Ort während einer Veranstaltung mit einer fortlaufenden Aktualisierung der Prognosen durch aufgenommene Daten befindet sich zurzeit noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase.

## 8. Verhalten von Rettungskräften in Personenströmen

Unter welchen Voraussetzungen Personen ohne eine Gefährdung Dritter möglichst schnell bei einem medizinischen Notfall in der Menschenmenge erreicht werden können war Gegenstand einer Untersuchung im Rahmen einer Bachelorarbeit von Knopp (12) aus der nachfolgend zitiert wird.

In der Literatur finden sich zu verschiedenen Personendichten Angaben zu den maximalen Personengeschwindigkeiten. Nach Weidmann ergibt sich bei einer Dichte von 1,75 P/m<sup>2</sup> eine maximale Geschwindigkeit von 0,7 m/s. Nach Fruin ist diese Geschwindigkeit auch noch bei einer Personendichte von 2,04 P/m<sup>2</sup> möglich [13]. Das Verhalten von Fußgängern ist jedoch

ein anderes als das Verhalten eines Rettungstrupps in der Menschenmasse. Fußgänger sind geneigt, möglichst lange den physischen Kontakt mit anderen Personen zu vermeiden. Ein Rettungstrupp hingegen wird sich im Bedarfsfall Platz schaffen, er hat aufgrund des mitgeführten Materials (Notfallrucksack, evtl. eine Trage) einen größeren Platzbedarf.

Zur Untersuchung der Geschwindigkeit eines Rettungstrupps wurden an einem Rosenmontag in Köln Messungen durchgeführt. Zur Ermittlung der Geschwindigkeit wurden Menschenmassen von einem drei Mann starken Rettungstrupp, ausgestattet mit einem Notfallrucksack, durchlaufen und die Entfernung wurde in Abhängigkeit der Zeit gemessen. Hierdurch wurde die Geschwindigkeit des Rettungstrupps ermittelt. Zusätzlich wurde die Personendichte abgeschätzt, um eine Aussage über die Geschwindigkeit in Anlehnung an die Personendichte zu treffen. Bei einer Personendichte von 1,5–2 P/m<sup>2</sup> war ein Vorwärtskommen in der Menge gut möglich. Eine Begründung für das gute Vorankommen ist, dass sich hier zusätzlich Personenströme in Laufrichtung des Rettungstrupps ausgebildet hatten. Bei den höheren Personendichten war ein Vorwärtskommen nur noch schwierig möglich und ein Kontakt zu anderen Personen unvermeidbar. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Messung aufgelistet.

Strecke (m)	Dauer (Min)	Geschwindigkeit (m/s)	Personendichte (P/m <sup>2</sup> )
120	2:36	0,80	1,5 – 2,0
120	4:12	0,48	2,0 – 3,0
110	4:36	0,40	2,0 – 3,0
100	4:54	0,34	> 3,0

Tabelle 2: Geschwindigkeit eines Rettungstrupps in Abhängigkeit von der Personendichte

Dem Rettungstrupp wurde durch die Besucher in den meisten Fällen zügig Platz gemacht, wodurch ein etwas schnelleres Vorankommen in der Menge möglich wurde. Wird bei der Raumplanung für stehendes Publikum eine Personendichte von 2 P/m<sup>2</sup> für die Berechnung der Wachbezirksgröße angenommen, so ergibt sich eine Geschwindigkeit des Rettungstrupps von 0,77 m/s bzw. 46 m/min. Nimmt man für gedrängt stehendes Publikum eine Personendichte von 3 P/m<sup>2</sup> an, so erreicht der Rettungstrupp noch eine Geschwindigkeit von 0,42 m/s bzw. 25 m/min.

Wird für dicht gedrängtes Publikum eine Personendichte von 4 P/m<sup>2</sup> angenommen, so ergibt sich für den Rettungstrupp noch eine maximale Geschwindigkeit von 0,27 m/s bzw. 16 Metern pro Minute.

Nimmt man die gemessenen Werte der Cranger Kirmes (Tabelle 1) zur Grundlage, so ergibt sich für eine sich bewegende Personengruppe eine Geschwindigkeit eines Rettungstrupps von ca. 0,35 bis 0,40 m/s bzw. 20 bis 25 Metern pro Minute.

Da eine relativ Hohe Personendichte nicht über eine längere Strecke homogen vorhanden ist, kann man für die Berechnung der Hilfsfristen und der erreichbaren Wegstrecken einen Wert von 25 Metern pro Minute ansetzen.

Einsatzfahrzeuge fahren durch eine Personenmenge von bis zu 1 P/qm ohne Probleme mit einer Schrittgeschwindigkeit von 6 bis 10 km/h oder 100 bis 170 Metern pro Minute. Zahlreiche Personen nutzen dabei den Platz hinter dem fahrenden Fahrzeug zur Erhöhung ihrer eigenen Geschwindigkeit. Bei einer Personendichte von ca. 1,5 P/m<sup>2</sup> beträgt die Geschwindigkeit noch ca. 3,5 km/h oder 60 Meter pro Minute. Ab einer Dichte von ca. 1,5 P/m<sup>2</sup> bewegt sich das Rettungsfahrzeug langsamer als ein Rettungstrupp vorwärts. Hinzu kommt, je nach Veranstaltungsart, eine mögliche Gefährdung alkoholisierter Besucher durch das Einsatzfahrzeug. Ab dieser Personendichte bietet der Einsatz eines Rettungsfahrzeuges oder eines Polizeifahrzeuges im Vergleich zu einem Fußtrupp keinen Nutzen.

## **9. Bemessung des Sanitätswachdienstes und der rettungsdienstlichen Verstärkung**

Die folgenden Ausführungen stammen aus einer Veröffentlichung (Knopp, P. und Schmidt, J.) (14) auf der vfdb Homepage. Hier können auch die Berechnungen von Musterbeispielen eingesehen werden. Außerdem steht der Kölner Algorithmus als Software kostenlos als Download zur Verfügung. <http://www.vfdb.de/Veroeffentlichungen.159.0.html>

Um die Bemessung zur sanitätsdienstlichen und rettungsdienstlichen Versorgung bei einer Großveranstaltung vorzunehmen, ist es sinnvoll, nach einem Algorithmus vorzugehen. Algorithmen und die dazugehörigen Checklisten bieten den Vorteil, dass sie die Vorgehensweise vereinheitlichen, einen Mindestumfang der Planung und eine Mindestqualität der Planung festlegen (15).

Im Folgenden werden der Kölner Algorithmus (Veröffentlichung 2006) (16) und der Algorithmus nach Klaus Maurer (Veröffentlichung 1994/Überarbeitet 1999) (17) verglichen.



## Algorithmus nach Klaus Maurer

Die am weitesten verbreitete und bekannteste Veröffentlichung ist der Algorithmus nach Klaus Maurer. Klaus Maurer entwickelte in den 1990er Jahren einen Algorithmus, welcher auf einem Punktesystem basiert. Mit der Hilfe vorgegebener Hilfstabellen ist es dem Anwender möglich, mittels eines Punktwerts ein Gesamtrisiko für eine Großveranstaltung zu ermitteln. Im Folgenden kann mit Hilfe einer weiteren Tabelle der nötige Kräfteansatz für die medizinische Betreuung abgelesen werden. (15) (18)

Risikofaktoren, welche von einer Großveranstaltung ausgehen, werden von Klaus Maurer in die folgenden fünf Gruppen zusammengefasst:

- Die Besucherzahl (zulässige und tatsächliche)
- Den Veranstaltungsort in geschlossenen Räumen oder im Freien
- Die Gefahrenneigung nach Art der Veranstaltung
- Die Beteiligung prominenter Persönlichkeiten mit Sicherheitsstufe
- Berücksichtigung polizeilicher Erkenntnisse (17)

Die zulässige und tatsächliche Besucherzahl stellen hierbei einen wesentlichen Faktor für das von einer Großveranstaltung ausgehende Risiko dar. Durch die Beurteilung der maximal zulässigen Besucher wird das Risiko beschrieben, welches vom Ort der Veranstaltung ausgeht. Die maximal zulässige Besucherzahl zur Beurteilung des Risikos durch die Veranstaltung kann durch bauseitige Auflagen, Bestuhlung, zugelassene Sitz- oder Stehplätze bzw. im Freigelände mit 4 Personen pro Quadratmeter ermittelt werden. Im Folgenden findet eine Zuordnung von Punktwerten statt. Hierbei werden die Punktwerte wie folgt vergeben:

Bis 500	Besucher	1 Punkt
Bis 1000	Besucher	2 Punkte
Bis 1500	Besucher	3 Punkte
Bis 3000	Besucher	4 Punkte
Bis 6000	Besucher	5 Punkte
Bis 10000	Besucher	6 Punkte
Bis 20000	Besucher	7 Punkte

Für jeweils weitere 10000 Besucher erhöht sich der Punktwert um 1 Punkt. Findet die Veranstaltung in einem Gebäude statt, so wird der ermittelte Punktwert verdoppelt.

Das Risiko, welches durch die Anwesenheit der Besucher selbst entsteht, wird über die Ermittlung der tatsächlich oder der zu erwartenden Besucherzahlen beschrieben. Diese Besucherzahl kann durch die verkauften Karten, Erfahrungswerte oder die zur Verfügung stehende Freifläche (hier mit zwei Personen pro Quadratmeter) ermittelt werden. Je volle 500 Besucher wird ein Punkt vergeben.

Um im Anschluss die Gefahrenneigung nach der Art der Veranstaltung anzupassen, wird ein Bewertungsfaktor vergeben, welcher das Risiko durch Multiplikation dieses Faktors auf die jeweilige Veranstaltung anpasst.

Für die Anwesenheit prominenter Persönlichkeiten mit Sicherheitsstufe wird für jeweils fünf Personen ein Punktwert von zehn Punkten vergeben.

Sollten zusätzlich polizeiliche Erkenntnisse über eine Gewaltbereitschaft der Besucher vorliegen, so werden noch einmal zusätzliche 10 Punkte addiert. (17)

Nach der Erfassung aller Risikofaktoren kann das Gesamtrisiko einer Großveranstaltung errechnet werden. Im Anschluss wird der benötigte Einsatzkräftebedarf in Abhängigkeit des Gesamtrisikos aus einer Übersicht ermittelt.

Vorteile des Algorithmus nach Klaus Maurer sind, dass dieser Algorithmus einfach anzuwenden, nachweisbar und reproduzierbar ist. Jedoch ist dieser Algorithmus sehr starr, was die Einbindung von eigenen Erfahrungen erschwert und hierdurch zu Unsicherheiten bei erfahrenen Benutzern führt.

Die räumliche Ausdehnung einer Veranstaltung kann nicht in die Berechnung mit eingezogen werden, wodurch die Planung bei Paraden oder Umzügen nur schwer möglich ist. Des Weiteren werden räumliche Gegebenheiten wie beispielsweise Gebäudeabschnitte nicht mit berücksichtigt, womit einer notwendigen Verstärkung der Sanitätsdienstkräfte nicht Rechnung getragen wird. (15)

## **Kölner Algorithmus**

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

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

Diese Richtwerte wurden anhand von Großveranstaltungen (Karneval, Love Parade, Kirchentag etc.) ermittelt und beinhalten einen ingenieurstypischen Sicherheitszuschlag. Analog zum Algorithmus nach Klaus Maurer können diese Richtwerte an die Veranstaltung und die Situation durch die Multiplikation von Risikofaktoren angepasst werden. Jedoch wurden die Risikofaktoren durch die Berücksichtigung des Wetters, Massenphänomenen und Besucherballungen erweitert. Eine Berücksichtigung der eigenen Erfahrungen aus früheren Veranstaltungen ist ebenfalls sehr einfach möglich.

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

Beim Kölner Algorithmus kommen die folgenden zwei Arbeitsweisen zur Anwendung. Als erstes erfolgt eine Gefahrenbeurteilung, welche auf statistischen Erfahrungen beruht. Als

zweites erfolgt die Abwehrplanung. Diese entspringt der ingenieurwissenschaftlicher Methode der Bedarfsplanung und ermittelt vereinfacht das Aufkommen von Parallel-Einsätzen. Wie bereits oben angesprochen erfolgen nach der Schutzzielefestlegung die zwei weiteren Schritte der Raumplanung (Wachbezirke/Hilfsfristmodell) und die Stärkeplanung (Häufigkeitsmodell). Folgende Schritte sind demnach für eine vollständige Planung notwendig:

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

## **10. Anwendungsbeispiele**

Veranstaltungen im Freien sind häufig mit Einlasskontrollen verbunden. Diese Kontrollen können dazu dienen, die Personenzahl zu zählen und damit die Besucheranzahl zu begrenzen oder sie dienen der Gepäck- und Ticketkontrolle. In den meisten Fällen haben diese Kontrollen eine Breite von 60 cm (Manchmal 50 cm). Die Anzahl der Kontrollen und Besetzung durch einen Ordnungsdienst haben einen wesentlichen Einfluss auf einen möglichst störungsfreien Zufluss zum Veranstaltungsgelände.

Rein theoretisch hat eine Eintrittskontrolle eine maximale Kapazität von maximal ca. 4.000 Personen pro Stunde (P/Std). Messdaten von Veranstaltungen sind kaum vorhanden bzw. veröffentlicht. Der bereits erwähnte Ticketautomat im Fußballstadion hatte eine Kapazität von maximal 1.200 P/Std. Für eine Auslegung unter Berücksichtigung eines Ordnungsdienstes kann man annehmen, dass der Durchlass auf 25% reduziert wird, d.h. die Kapazität sinkt auf 1.000 P/Std. Diese Kapazität kann durch einen verstärkten Einsatz an Ordnungskräften gesteigert werden. Bei großen Veranstaltungen mit zahlreichen Einlässen kann ein Ordner mit einem Megaphon die Besucher in weniger belastete Bereiche umleiten. Die Durchlässe können mit einer Doppelreihe an Ordnungskräfte ausgestattet werden. Direkt am Einlass kontrollieren dann z.B. männliche Ordnungskräfte ausschließlich die männlichen Besucher einschließlich der Gepäckstücke. Weibliche Besucher werden durchgeleitet und werden in einem gewissen Abstand von weiblichen Ordnungskräften kontrolliert.

Auf jeden Fall muss die Anzahl der Einlasskontrollen dem erwarteten Personenstrom angemessen sein, d.h. Wartezeiten von mehreren Minuten sollten vermieden werden. Für den Fall, dass der Besucherstrom für einen gewissen Zeitraum höher als erwartet ist, müssen entsprechende Ausweichflächen vor den Einlasskontrollen vorhanden sein. Wichtig ist auch eine Kommunikationsmöglichkeit mit den Besuchern. Durchsagen wie z.B. „Die Wartezeit beträgt im Moment ca. 15 Minuten“ dienen der Information und somit der Vermeidung eines Gedränges.

Bei bestimmten Veranstaltungen, z.B. bei einem Public Viewing eines Fußballspiels kann es dazu kommen, dass der Veranstaltungsraum mit der erlaubten Personendichte von 2 Pers/m<sup>2</sup> gefüllt ist und sich noch eine deutliche Anzahl von Personen vor den Einlasskontrollen befindet. Grundsätzlich sollte eine solche Situation vermieden werden, indem z.B. bereits durch Durchsagen im ÖPNV darauf hingewiesen wird „Der Platz X ist bereits gefüllt. Weitere Besucher können nicht eingelassen werden“. Eine Problematik mit den wartenden Besuchern ergibt sich dadurch, dass der Bereich des Public Viewing teilweise leer aussieht. Die anwesenden Besucher orientieren sich zur Leinwand und die hinteren Bereiche erscheinen relativ leer. Dies führt bei den wartenden Besuchern zu einer Unruhe. Im Rahmen der Gefahrenabschätzung muss nun beurteilt werden, ob die Gefährdung durch Gedränge vor den Einlasskontrollen oder eine höhere Personendichte auf dem Gelände die geringere Gefährdung darstellt. Grundsätzlich kann das Gelände auch eine Personendichte von ca. 2,5 P/m<sup>2</sup> ohne Probleme aufnehmen (In Abhängigkeit von der Breite der Flucht- und Rettungswege). In diesem Fall wäre also ein verlangsamer weiterer Einlass die sicherere Lösungsmöglichkeit.

*Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben „Risiko Großveranstaltungen – Planung, Bewertung, EVakuierung und Rettungskonzepte - EVA“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Sicherheitsforschungsprogramm der Bundesregierung unter dem Förderkennzeichen 13N10300 im Bereich „Schutz und Rettung von Menschen“ gefördert.*

## Literaturverzeichnis:

- (1) Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz bei Großveranstaltungen.  
Eine Handreichung für Sicherheitsbehörden, Polizei und Brandschutzdienststellen  
Landeshauptstadt München, Kreisverwaltungsreferat HA IV – Branddirektion,  
Einsatzvorbeugung Stand: 29.12.2010
- (2) Antwort der Bundesregierung vom 26.9.2008 auf eine Kleine Anfrage. Drucksache  
16/10400
- (3) Antwort des Hessischen Ministers für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung  
vom 4.10.2007 auf eine kleine Anfrage. Drucksache 16/7579
- (4) Ulrich Weidmann; Transporttechnik der Fußgänger; Institut für Verkehrsplanung,  
Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau Zürich; Schriftreihe des IVT Nr. 90; 2.  
Ergänzte Auflage; März 1993.
- (5) Forell, B., Seidenspinner, R. Hosser, D. Quantitative Comparison of International  
Design Standards of Escape Routes in Assembly Buildings. PED 2008. 4th  
International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Wuppertal 27th –  
29th February 2008
- (6) Shimada, T., Naoi, H. An Experimental Study of the Evacuation Flow of Crowd  
including Wheelchair Users. Fire Science and Technology Vol. 25, No. 1 (2006) 1-14
- (7) Hans-Jochen Blätte, Persönliche Mitteilungen, 2011
- (8) Mobile Sicherheitsabspernung für Veranstaltungen. Veröffentlichung der  
Branddirektion München.  
<http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd50vorb/b57downl/IMoSiVe.pdf>
- (9) Aus: Panik bei Großschadensereignissen. F. G. Pajonk<sup>1</sup> · W. R. Dombrowsky<sup>2</sup> (1  
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Universitätsklinikum des Saarlandes,  
Homburg/Saar, 2 Katastrophenforschungsstelle, Universität Kiel). Notfall  
Rettungsmed 2006 · 9:280–286. DOI 10.1007/s10049-006-0812-4. Online publiziert:  
13. April 2006
- (10) Elliot, D.; Smith, D.; Football stadia disasters in the United Kingdom –  
learning from the tragedy; Industrial & Environment, Heft 3/1993, S. 205-229
- (11) Dr. Dirk Oberhagemann<sup>1</sup>, Jochen Neutz<sup>2</sup>, Andreas König<sup>2</sup>, Dr. Norbert  
Eisenreich<sup>2</sup>, Franz Weller<sup>3</sup> (1 vfdb e.V.; 2 Fraunhofer Institut für chemische

Technologien; 3 Weller&Herden GmbH). Bestimmung der Drücke in Menschenmengen. vfdb-Zeitschrift Heft 4/2010

- (12) Philipp Knopp, Bachelorarbeit Fachhochschule Köln Studiengang Rettungsingenieurwesen, Personen- und Fahrzeuggeschwindigkeiten in Menschenmengen bei Sanitätswachdiensten, 2010
- (13) Special Events Contingency Planning, FEMA, März 2005
- (14) Philip Knopp, Dr. Jörg Schmidt. Der Kölner Algorithmus im Vergleich zum Maurer- Schema, Februar 2010,  
[http://www.vfdb.de/download/Vergleich\\_Maurer\\_Koelner\\_Algorithmus.pdf](http://www.vfdb.de/download/Vergleich_Maurer_Koelner_Algorithmus.pdf)
- (15) T. Luiz, C.K. Lackner, H. Peter, J. Schmidt (Hrsg.); Medizinische Gefahrenabwehr, Urban& Fischer, 1. Auflage 2010, München
- (16) vfdb-Richtlinie 03/03 „Einsatzplanung Großveranstaltungen“, November 2010
- (17) Maurer K., Rettungsdienstliche Planung und Betreuung von Großveranstaltungen, 1999
- (18) Pelka P, Bemessung von Sanitätswachdiensten auf Großveranstaltungen, Bachelor-Arbeit FH Köln, 11/2005 [2]
- (19) Holl, S., Seyfried, A. Validität von Evakuierungssimulationen, vfdb-Zeitschrift Heft1/2010

### **Bildnachweis:**

Bild 1, Quelle Feuerwehr Köln, bearbeitet durch vfdb

Bild 2, Quelle Feuerwehr Köln, bearbeitet durch vfdb

Bild 3, Quelle vfdb

Bild 4, Quelle vfdb

Bild 5, Quelle Feuerwehr Dortmund, bearbeitet durch vfdb

Bild 6, Videomitschnitt Loveparade 2011, bearbeitet durch FhG-ICT

Bild 7, Quelle vfdb

Bild 8, Quelle vfdb

Bild 9 und 10, Quelle vfdb

Bild 11, Quelle vfdb

Bild 12, Quelle vfdb

Bild 13, Quelle vfdb