

# Bergische Universität Wuppertal

Fachbereich D - Abteilung Sicherheitstechnik

Lehr- und Forschungsgebiet  
Computersimulation für Brandschutz und Fußgängerverkehr



## Bachelor Thesis

**Personenführung auf Tribünen - Historische Entwicklung und  
Vergleich ausgewählter Bundesliga Stadien**

<b>Student:</b>	Tobias M. Meier
<b>Studiengang:</b>	Bachelor of Science, Sicherheitstechnik
<b>Hochschullehrer:</b>	Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Armin Seyfried
<b>Betreuer:</b>	Sebastian Burghardt, M.Sc.
<b>Abgabe:</b>	16.05.2011

# Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht sind.

Tobias M. Meier

Wuppertal, den 16. Mai 2011

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Bachelor-Thesis beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Professor Armin Seyfried, sowie meinem Betreuer Sebastian Burghardt für die zahlreichen Ratschläge und die sehr gute Betreuung.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Michael Krabbe (ESPRIT arena) sowie der Fortuna Düsseldorf bedanken, welche mir die Durchführung der Feldversuche in der ESPRIT arena ermöglicht haben. Bedanken möchte ich mich auch bei den Personen, die mich bei der Durchführung dieser Feldversuche tatkräftig unterstützt haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Historische Entwicklung deutscher Fußballstadien</b>	<b>3</b>
2.1	Entwicklungen in der Bauweise . . . . .	3
2.2	Beispiel: Ballspielverein Borussia 09 e. V. Dortmund . . . . .	7
2.3	Anstieg der Besucherkapazität . . . . .	10
2.4	Zwischenergebnis . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Fußgängerdynamik</b>	<b>16</b>
3.1	Dichte . . . . .	16
3.2	Fluss . . . . .	16
3.3	Fundamentaldiagramm . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Vorgaben für Personenführung auf Tribünen</b>	<b>18</b>
4.1	Gesetzliche Vorgaben . . . . .	18
4.1.1	Musterbauordnung . . . . .	18
4.1.2	Muster-Versammlungsstättenverordnung . . . . .	19
4.2	DIN EN 13200 . . . . .	21
4.3	Vorgaben der Fußballverbände . . . . .	21
4.3.1	DFB . . . . .	21
4.3.2	UEFA . . . . .	21
4.3.3	FIFA . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Vergleiche ausgewählter Fußball-Bundesligastadien</b>	<b>23</b>
5.1	Bestimmung der Rettungswegebreiten im Tribünenbereich . . . . .	24
5.2	Abschätzung der Räumungszeiten anhand der Flussgleichung . . . . .	31
5.3	Feldversuche . . . . .	32
5.3.1	Allgemeine Informationen . . . . .	32
5.3.2	Messverfahren . . . . .	34
5.3.3	Ergebnisse . . . . .	37
5.4	Vergleich der abgeschätzten Räumungszeiten mit empirischen Ergebnissen .	44
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>46</b>

# Tabellenverzeichnis

5.1	Verfügbare Stadien in „Google Street View“ (Stand: 03/2011) [10], [5]. . .	25
5.2	Ermittelte Werte der ausgewählten Stadien. . . . .	28
5.3	Übersicht der durchgeführten Feldversuche. . . . .	38

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Entwicklung der Besucherkapazität am Beispiel der BVB-Stadien. . . . .	8
2.2	Entwicklung der Kapazität. . . . .	11
2.3	Modell des Deutschen Stadions. Quelle: csu-lichtenhof.de . . . . .	12
3.1	Fundamentaldiagramm für horizontale Wege nach Weidmann [20]. . . . .	17
5.1	Darstellung der Allianz Arena im „Google Street View“-Modus in „Google Maps“. . . . .	24
5.2	Ausgewählte Mundlöcher mit dazugehörigen Sitzen (hier: Bsp. BayArena). . . . .	25
5.3	Ausmessen in „Google Street View“. . . . .	26
5.4	Ermittelte Raten im Vergleich, sowie Darstellung eventueller Messfehler. . . . .	30
5.5	Abgeschätzte Räumungszeiten und Vorgaben der MVStättV im Vergleich. . . . .	31
5.6	Die untersuchten Mundlöcher in der ESPRIT arena. Quelle: ESPRIT arena . . . . .	33
5.7	Die untersuchten Mundlöcher während des Spieles am 27.02.2011. . . . .	34
5.8	Mundloch 31/32 mit ausgerichteten Messlinien. . . . .	35
5.9	Schematische Darstellung der Messlinien und der Kamerapositionierung . . . . .	36
5.10	Zeitlicher Verlauf der Messung 13-1 in Form $J_S(t)$ und $\rho(t)$ . . . . .	39
5.11	Zeitlicher Verlauf der Messung 27-1 in Form $J_S(t)$ und $\rho(t)$ . . . . .	40
5.12	Zeitlicher Verlauf der Messung 27-2 in Form $J_S(t)$ und $\rho(t)$ . . . . .	40
5.13	Zeitlicher Verlauf der Messung 27-3 in Form $J_S(t)$ und $\rho(t)$ . . . . .	41
5.14	Das Fundamentaldiagramm der vier Messungen. . . . .	43
5.15	Vereinigung der drei Personenströme direkt vor dem Mundloch (hier: 36/37). . . . .	45

# 1 Einleitung

In der Bevölkerung hat das Bedürfnis nach Sicherheit schon immer einen hohen Stellenwert eingenommen. Bei aktuellen Umfragen [9] zu den Werten im Wandel der Zeit belegt das Sicherheitsbedürfnis einen deutlichen ersten Platz. Gleichzeitig ist das Interesse an Massenveranstaltungen ungebrochen. Ausgelöst durch die Fußballweltmeisterschaft der Herren in Deutschland 2006 wurde Public-Viewing zu einem wichtigen Bestandteil im internationalen Fußballgeschehen. Dass diese Events mit mehreren hundert tausend Menschen auch eine entsprechende Gefahr darstellen, ist nicht erst seit des tragischen Unglücks bei der Loveparade in Duisburg im Juli 2010 bekannt. Die hierbei verstorbenen und verletzten Menschen haben diese Gefahr jedoch wieder mehr in das Bewusstsein der Menschen gerufen.

Die schnelle und sichere Evakuierung von Gebäuden stellt bei deren Planung sowie Betrieb nach wie vor eine große Herausforderung dar. Deshalb ist die Evakuierungsforschung auch im 21. Jahrhundert noch wichtiger Bestandteil der Sicherheitstechnik. Für diese Forschung bieten sich große Stadien und Arenen ganz besonders an, da diese wöchentlich von entsprechenden Menschenmassen aufgesucht werden. Hinzu kommt, dass hier seit vielen Jahren die Sicherheit einen sehr hohen Stellenwert eingenommen hat. So heißt es zum Beispiel in dem Buch „Fußballstadien: Technische Empfehlungen und Anforderungen“ [2] der FIFA (frz. Fédération Internationale de Football Association) zum Thema Sicherheit:

„Wie luxuriös und komfortabel ein Stadion ausgestattet werden kann, hängt von den verfügbaren Mitteln ab. Ungeachtet der finanziellen Möglichkeiten muss das Stadion jedoch ein sicherer Ort für alle Personen sein, die die Anlage betreten [...].“

Im ersten Teil dieser Arbeit (Kapitel 2) wird die Entwicklung im deutschen Stadienbau betrachtet. Hierbei wird die Veränderung in der Bauweise, von dem einfachen Rasenplatz bis hin zur modernen „Fußball-Hightech-Arena“ des 21. Jahrhunderts, dargelegt. Ebenfalls werden die entsprechenden Einflüsse, wie beispielsweise die NS-Zeit oder die in Deutschland stattgefundenen Fußballweltmeisterschaften, aufgezeigt und erläutert. Auch wird in diesem Teil der Frage nachgegangen, ob Fußballstadien im Laufe der Zeit immer größer geworden sind oder sich seit Jahren ein Maximum der Kapazität herauskristallisiert hat.

Der zweite Teil (Kapitel 5) beschäftigt sich mit dem Vergleich ausgewählter Bundesliga-Stadien. Hierbei wurde untersucht, ob es Unterschiede bei der Personenanzahl im Bezug auf die Mundlochbreite (in Fußballstadien werden die Notausgänge in den Tribünen als Mundloch bezeichnet) und somit der Räumungszeit gibt. Hierzu wurden acht Stadien, welche mittels „Google Street View“ vermessen wurden, und die ESPRIT arena in Düsseldorf miteinander verglichen. Zusätzlich wurden Feldversuche in der ESPRIT arena durchgeführt, um die real auftretenden Personenflüsse und -dichten mit Literaturangaben vergleichen zu können.

## 2 Historische Entwicklung deutscher Fußballstadien

Sportstadien sind keine Entwicklung des 20. Jahrhunderts, denn schon bei den ersten Olympischen Spielen 776 v. Chr. in Olympia wurden Erdwälle erschaffen, um eine möglichst gute Sicht auf das Spielfeld zu ermöglichen [11]. Auch das Amphitheatrum Flavium - das Kolosseum in Rom – 80 n. Chr. erbaut, bot Platz für über 73.000 Zuschauer [1].

In der nachfolgenden Untersuchung erfolgt eine Beschränkung auf die historische Entwicklung der deutschen Fußballstadien. Diese haben sich im Laufe der Zeit in Form, Größe, Verwendungszweck sowie Fassungsvermögen sehr verändert. Um diesen Wandel im Anforderungsprofil nachvollziehen zu können, ist es notwendig, ihre geschichtliche Entwicklung zu betrachten.

### 2.1 Entwicklungen in der Bauweise

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Mannschaftssportart Namens „Fußball“, welche in Großbritannien entstand, auch in Deutschland immer beliebter. Es gründeten sich im ganzen Land eine Vielzahl von Fußballvereinen. Diese entwickelten sich im Laufe der Zeit teilweise sogar bis hin zur Aktien-Gesellschaft (z.B. FC Bayern München AG).

In der nachfolgenden Aufzählung wird versucht die Entwicklung der deutschen Fußballstadien in unterschiedliche Epochen einzuteilen und anhand derer die geschichtliche Veränderung im Bezug auf die Bauweise darzustellen.

#### 1900 - Vereinsplatz

Der Vereinsplatz bestand aus einer Wiese mit zwei einfachen Fußballtoren, welche das

Spielfeld darstellten. Zu Beginn fanden die Spiele oftmals auf einfachen Rasenflächen in Parkanlagen statt. Als erste Ausbaustufe erfolgte die Umzäunung des Platzes, was gleichzeitig mehrere Vorteile mit sich brachte. Auf der einen Seite wurden weniger unbeteiligte Passanten vom Ball getroffen, und auf der anderen Seite konnte man Eintrittsgelder verlangen. Diese Einnahmen stellen einen wichtigen Teil der Finanzierung der Fußballvereine dar. Hinzu kam, dass die Umzäunung des Platzes ebenfalls eine Voraussetzung zum Aufstieg in die Bezirksklasse war. Auch der Bau von Kassenhäuschen und Umkleidehütten begann in dieser Epoche der Fußballplätze. Um immer größer werdenden Zuschauerzahlen einen guten Blick auf das Spielfeld zu ermöglichen, schüttete man Erdwälle (als Vorläufer der Tribünen) um die Spielfläche auf.

### **1920 - Volksstadien und -parks**

Ab 1920 begann man in ganz Deutschland damit, Volksstadien und Volksparks zu errichten. Diese wurden so geplant und gebaut, dass sie für viele Sportarten nutzbar waren. In den meisten Fällen gab es eine Rundrennbahn mit einer großen Wiesenfläche und anderen Sportbereichen im Inneren. Bei diesen Anlagen stand die Leichtathletik im Vordergrund, wobei Fußballspiele auf der Rasenfläche im Inneren der Rundrennbahn stattfinden konnten. Für die Zuschauer errichtete man Tribünen mit Terrassenstufen um die Rennbahn und vereinzelt gab es die ersten überdachten Tribünen. Diese waren jedoch meistens als Stehplatztribünen ausgeführt.

### **1930 - Stadien im Nationalsozialismus**

Zu Beginn der nationalsozialistischen Diktatur wurden viele Stadien, nun Kampfbahnen genannt, errichtet. Hierbei handelte es sich vorwiegend um sehr prunkvolle und wuchtige Bauwerke wie beispielsweise das Olympia-Stadion in Berlin oder auch das „Deutsche Stadion“, welches in Nürnberg geplant war (siehe Seite 11). Hinzu kamen Umbenennungen wie zum Beispiel in „Adolf Hitler Kampfbahn“ und die Verwendung als Propaganda-Plätze, was den Sport etwas in den Hintergrund rücken ließ. Gleichzeitig hat man die Stadien zur Juden-Deportation oder als Pogrom-Stätte vieler Orts zweckentfremdet.

### **1945 - Trümmerstadien**

Nach Kriegsende reparierte man die zerstörten Stadien vielerorts wieder notdürftig. So wurden z.B. Bombenkrater auf dem Spielfeld verfüllt und Schäden an den Gebäuden beho-

ben. Aber auch völlig neue Stadien errichtete man mit dem Schutt der zerbombten Städte, was zu einem Symbol des Wiederaufbaus wurde. In den darauffolgenden Jahren begann man ebenfalls, vermehrt Flutlichtanlagen zur Beleuchtung des Spielfeldes, zu installieren.

### **1974 - Fußballweltmeisterschaft in Deutschland**

Vor der Fußballweltmeisterschaft der Männer (WM) 1974 mussten viele Stadien ausgebaut werden, um das von der FIFA geforderte Fassungsvermögen von 60.000 Besuchern erreichen zu können. Auch neue Stadien, welche extra für die WM errichtet wurden, waren Austragungsorte bei dieser WM. Hierbei handelte es sich teilweise erstmals um „reine“ Fußballstadien (vgl. Volksstadien und -parks).

### **1989 - Taylor-Report als Folge versch. Katastrophen**

Auf Grund verschiedener Katastrophen bei Fußballspielen in den europäischen Nachbarstaaten, welche mehrere Todesopfer und eine große Anzahl Verletzter forderten, fertigte eine englische Untersuchungskommission den sog. „Taylor-Report“ [17] - einen Untersuchungsbericht - an. Die dort geforderten Veränderungen (Stehplatzverbot, Schaffung von Entfluchtungsmöglichkeiten von der Tribüne auf das Spielfeld usw.) fanden nicht nur in England sondern teilweise auch in Deutschland Anwendung. Sowohl die UEFA (frz. Union des Associations Européennes de Football) als auch die FIFA schrieben vor, bei allen zukünftigen internationalen Spielen (WM, EM etc.), nur noch Sitzplätze anzubieten (Bei nationalen Begegnungen sind Stehplätze in Deutschland bis heute nicht untersagt).

#### **Hillsborough-Katastrophe**

Im April 1989 kam es im Hillsborough-Stadion in Sheffield zu einer Katastrophe, bei der 96 Fans starben und 766 verletzt wurden. Fünf Minuten vor Anpfiff drängten 10.000 Liverpool-Fans am Eingang in Richtung Tribüne. Auf Grund des hohen Druckes entschied der unerfahrene Einsatzleiter der Polizei den Zugang zur Stehkurve zu öffnen, worauf hin die Menschenmasse in den bereits vollen Fanblock drängte. Die Tore im Zaun zwischen Fanblock und Spielfeld wurden nicht geöffnet, sodass es am Zaun zu etlichen Opfern wegen des zu hohen Druckes kam [14].

#### **Heysel-Katastrophe**

Im Heysel-Stadion in Brüssel kam es im Mai 1985 nach Ausschreitungen von

Fußballfans zu einer folgenschweren Katastrophe. Nachdem mehrere hundert Liverpool-Fans den eigentlich als neutral geplanten Block Z zwischen den beiden Fangruppen stürmten, flüchteten die, durch Korruption im Kartenverkauf in dem Block befindlichen Juventus-Fans, auf die andere Seite des Blockes. Viele von ihnen wurden gegen die dort vorhandene Mauer gedrückt, welche wenig später einbrach und 39 Todesopfer unter sich begrub. 454 weitere Personen wurden zum Teil schwer verletzt. Die Mauer war baufällig, die Abschränkung (Maschendrahtzaun) zwischen den Fan-Blocks nicht ausreichend, es fehlte an Sicherheitspersonal in den Blocks und die Zuschauer konnten nicht auf das Spielfeld flüchten [12].

### **Valley-Parade-Katastrophe**

Das Lagern von Papierabfällen unter einer Holztribüne im Valley-Parade-Stadion in Bradford, welche vermutlich durch eine Zigarette in Brand geraten sind, führten zu einer Katastrophe mit 56 Toten und 265 Verletzten. Die schnelle Brandausbreitung auf der Holztribüne, verschlossene Fluchtwege und das schwierige Überwinden der Mauer zwischen Tribüne und Spielfeld führten dazu, dass viele Menschen ums Leben kamen. Die meisten von ihnen verstarben an der Flammeneinwirkung und nicht an einer Rauchgasvergiftung [24].

### **2000 - Multifunktionsarenen**

Zur Jahrtausendwende entstand ein Trend zu sogenannten „Multifunktionsarenen“ welche, im Gegensatz zu reinen Fußballstadien, dafür ausgelegt wurden, unterschiedlichste Veranstaltungsarten beherbergen zu können. Da Fußballspiele meist nur am Wochenende stattfinden, versucht man mit der Vermarktung von Konferenzräumen und Hotelzimmern, das Stadion auch unter der Woche rentabel betreiben zu können. Arenen mit komplett schließbarem Dach, beheizbaren Tribünenbereichen sowie auswechselbaren Bodenbelägen der Spielfläche (Bsp.: VELTINS-Arena, Gelsenkirchen) machen auch die modernen Arenen selbst vielseitig nutzbar. Ebenfalls wurden für die Fußballspiele vermehrt VIP-Sitzplätze und VIP-Lounges errichtet.

### **2006 - Fußballweltmeisterschaft in Deutschland**

Vor Beginn der Fußballweltmeisterschaft 2006 wurden bei den meisten Austragungsstätten Umbauten notwendig, um die aktuellen FIFA-Vorgaben von 60.000 Sitzplätzen realisieren zu können. Bei der letzten WM im Land war dies noch aus einer Kombination von Sitz- und Stehplätzen möglich.

Anhand der Aufteilung in die acht Epochen wird die historische Entwicklung der deutschen Fußballstadien ersichtlich. Sie zeigt, wie unterschiedliche Einflüsse, wie beispielsweise Katastrophen, politische Anforderungen und das Ziel der Rentabilität die Stadienlandschaft in der Bundesrepublik verändert haben.

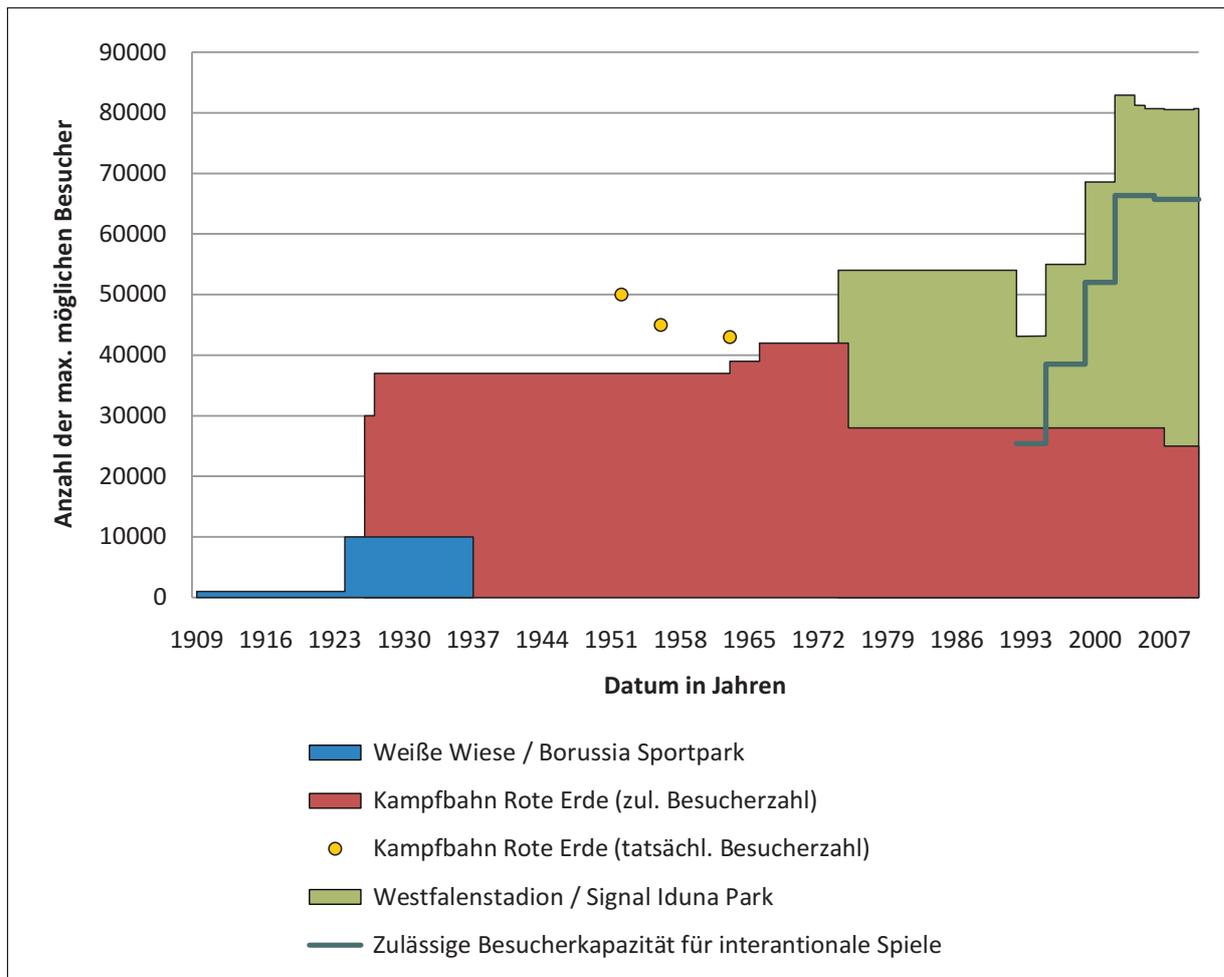
## **2.2 Beispiel: Ballspielverein Borussia 09 e. V. Dortmund**

Am Beispiel der Stadien des „Ballspielverein Borussia 09 e. V. Dortmund“ (BVB) wird erläutert, wie sich das Fassungsvermögen im Laufe der Zeit entwickelte. Diese Entwicklung ist in Diagramm 2.1 zusammenfassend dargestellt. Zu erkennen ist das Fassungsvermögen der einzelnen Spielstätten im Verhältnis zu den Jahren, welches durch Umbaumaßnahmen an- und abstieg. Ebenfalls sind die tatsächlichen Besucherzahlen bei einigen Spielen aufgeführt, welche über dem zugelassenen Fassungsvermögen lagen. Die dunkel grüne Linie kennzeichnet die zulässige Besucherkapazität des Westfalenstadions bei internationalen Spielen auf Grund des Stehplatzverbotes.

Der BVB hat im Laufe seiner Vereinsgeschichte, seit seiner Gründung Anfang des 20. Jahrhunderts, unterschiedliche Stadien als Spielstätten verwendet. Die nachfolgenden Erläuterungen, der einzelnen Stadien und deren Entwicklung, gibt Aufschluss über die in Diagramm 2.1 zu erkennenden Veränderungen.

### **Weißer Wiese / Borussia Sportpark**

Nach der Gründung des Vereins 1909 fanden die ersten Spiele auf einem abschüssigen Acker in der Nähe des Borsigplatzes und kurze Zeit später auf dem städtischen Ballspielplatz Weißer Wiese statt. Zum Aufstieg in die Bezirksklasse wurden 1924 umfangreiche Baumaßnahmen, wie dem Bau einer Mauer um den Platz, der Errichtung von Umkleide-



**Abb. 2.1:** Entwicklung der Besucherkapazität am Beispiel der BVB-Stadien.

und Kassenhäuschen sowie die Vollendung von Zuschauerwällen notwendig. Hierdurch stieg die Besucherkapazität, des nun „Borussia Sportpark“ genannten Stadions, auf ca. 10.000 Plätze an [25].

### Kampfbahn Rote Erde

Als Teil des Dortmunder Volksparkes wurde 1926 das Stadion „Kampfbahn Rote Erde“ mit einem Fassungsvermögen von 30.000 Zuschauern (2.200 Sitzplätze) errichtet. Bereits 1927 erfolgte der erste Umbau, bei dem durch Halbierung der Stufenbreite in den Stehrängen die Zuschauerzahl auf 37.000 Zuschauer erhöht werden konnte. Der BVB musste auf Weisung des NS-Regimes 1937 vom „Borussia Sportpark“ zur Kampfbahn umziehen, welche bis dato von anderen Fußballvereinen (welche zu diesem Zeitpunkt erfolgreicher waren) genutzt wurde. Nach Kriegsende zählte man 96 Bombentrichter auf dem Gelände, welche schnell wieder gefüllt wurden. Zum Europapokal Achtelfinale 1956, wel-

ches 45.000 Zuschauer besuchten, wurde eine Flutlichtanlage installiert. Auch der Europacup 1963 lockte 43.000 Zuschauer an, obwohl offiziell nur 39.000 zugelassen waren. Nachdem 1965 eine Sitztribüne aus Holz erbaut und 1966 diese durch eine Stahlrohrtribüne ergänzt wurde, erhöhte sich das Fassungsvermögen auf 42.000 Plätze. Trotz dem Umbau war das Fassungsvermögen für den mittlerweile national und international erfolgreichen BVB nicht mehr ausreichend und wurde zum Standortnachteil. Nachdem der BVB 1974 in das neue Westfalenstadion umzog, wurden die Tribünen aus 1955/56 wieder abgebaut und das Stadion wurde zu einem Leichtathletikstadion mit einem Fassungsvermögen von 28.000 Plätzen. Nach der Sanierung im Jahr 2007 verringerte sich das Fassungsvermögen des Stadions erneut auf nun insgesamt 25.000 Plätze [23].

### **Westfalenstadion / SIGNAL IDUNA PARK**

Das als reines Fußballstadion erbaute Westfalenstadion wurde 1974 (WM 74) eingeweiht und verfügte über 54.000 Plätze (16.500 Sitzplätze, 37.500 Stehplätze). Im Sommer 1992 wurde, auf Grund der FIFA/UEFA-Vorgabe (nur noch Sitzplätze bei internationalen Spielen, siehe Abschnitt 2.1), ein Teil der Stehplätze in Sitzplätze umgewandelt. Nach dem Umbau standen 25.400 Sitzplätze und insgesamt nur noch 43.175 Plätze zur Verfügung. Dies wurde 1995 durch einen weiteren Ausbau des Stadions um 12.000 neue Sitzplätze auf ein Gesamtvolumen von 55.000 Plätzen erhöht. Im Jahre 1999 erfolgte der Ausbau der Nord-Südtribüne. Hierdurch erhöhte sich die Sitzplatzzahl auf 52.000 und inklusive Stehplätze ergab sich ein Fassungsvermögen von 68.600. Durch die Schließung der Stadionecken zwischen den Tribünen im Jahr 2002, erhöhten sich die Gesamtplätze auf 82.932 und für internationale Spiele standen 66.343 Plätze zur Verfügung, sodass Dortmund als Austragungsort für die Fußball-WM 2006 (Mindestanforderung: 60.000 Sitzplätze) geeignet war. Im Zuge der WM-Vorbereitung wurden weitere Umbaumaßnahmen notwendig (Installation eines elektronischen Zugangssystems, Umbau des VIP-Bereiches, Aufwertung der Behindertengerechten-Plätze, Umbau der Spielerkabinen sowie der sanitären Einrichtungen), welche die Gesamtkapazität auf 81.264 Zuschauer reduzierten. Auf Grund der Beschwerde eines Familienvaters, welcher durch die hohe Zuschauerdichte seine Kinder gefährdet sah, bestand die Bezirksregierung Arnsberg darauf, mehr Freiflächen im Stehplatzbereich der Südtribünen zu schaffen. Hierdurch soll evtl. notwendigem Sanitätspersonal der Zugang zu den Zuschauern erleichtert und die ggf. notwendige Räumungszeit im

Falle einer Evakuierung verkürzt werden. Fortan standen nur noch 80.708 Plätze (65.718 Sitzplätze) zur Verfügung. Diese wurden 2008 durch den Wegfall einer Sitzplatzreihe, wegen schlechter Sicht auf das Spielfeld, verringert sowie der Umwandlung eines Sitzplatzblockes in einen Stehplatzblock im Jahr 2010 leicht vergrößert. Hierdurch ergibt sich 2011 ein aktuelles Gesamtvolumen von 80.720 Plätzen, wovon 65.614 Plätze (Sitzplätze) für internationale Spiele zur Verfügung stehen [22].

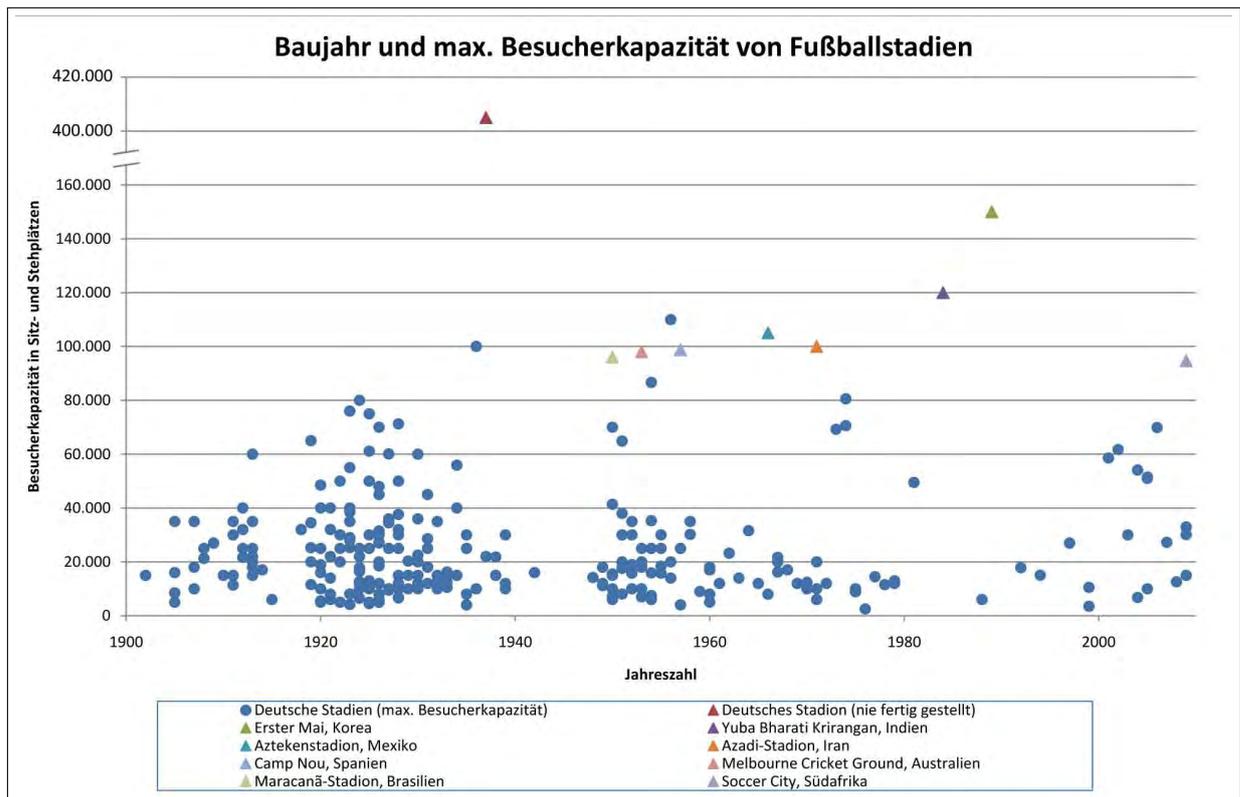
Fußballstadien haben sich im Laufe der Zeit in Form und Größe sehr gewandelt. Dies ist durch die Anpassung an sich ständig ändernde Anforderungen seitens der Fußballvereine zu erklären. Am Beispiel der BVB-Stadien wird diese Entwicklung sehr gut ersichtlich. Man erkennt, wie das Stadion in den Jahren passend zu dem Verein mitgewachsen ist. Der BVB, einer der erfolgreichsten Bundesliga-Fußballvereine, verfügt über ein entsprechend großes Stadion, welches auch heute den strengen Auflagen (Sitzplätze) internationaler Spiele gerecht wird.

### **2.3 Anstieg der Besucherkapazität**

In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie sich die Besucherkapazität von Fußballstadien im Laufe der Zeit entwickelt hat. Es wird untersucht, ob neue Stadien größer (im Sinne des Fassungsvermögens) sind als ältere Stadien und somit die Aussage „Es werden immer größere Fußballstadien gebaut.“ zutrifft. Hierbei werden vorwiegend die deutschen Stadien betrachtet, wobei der Vergleich mit anderen Fußballstadien der Welt auch berücksichtigt wird.

Als Datengrundlage dieser Untersuchung dient das Buch „Das große Buch der deutschen Fußballstadien“ von Werner Skrentny [16], welches 289 Fußballstadien sowie deren Geschichte beinhaltet. Zu jedem aufgeführten Stadion sind die dazugehörigen Eckdaten, wie der aktuelle Name des Stadions, das Eröffnungsdatum und das aktuelle Fassungsvermögen angegeben. Diese Daten wurden zusammengetragen und im Diagramm 2.2 grafisch dargestellt.

Auf der Abszissenachse sind die Baujahre (Eröffnungsdatum) und auf der Ordinatenachse die (nach Skrentny) maximal erreichte Besucherkapazität aufgelistet. In der Quelle



**Abb. 2.2:** Entwicklung der Kapazität.

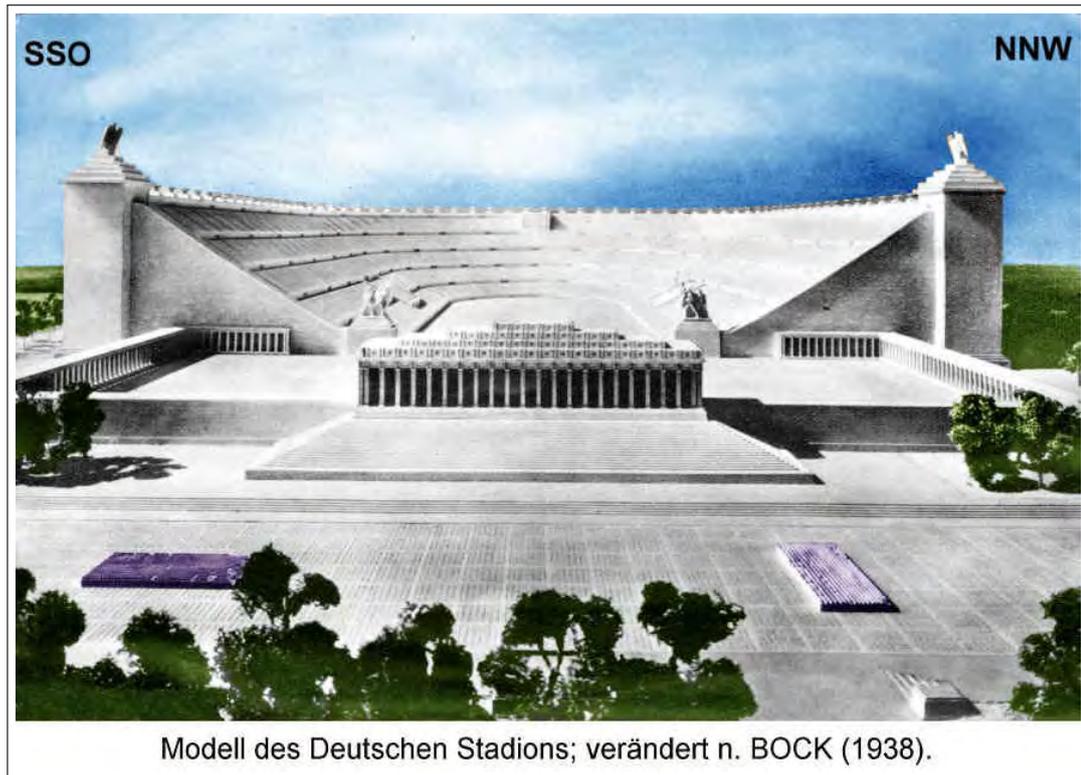
wurde teilweise zwischen Fassungsvermögen heute und früher unterschieden. Da diese Unterscheidung nicht konsequent und oft zu stark von der individuellen Geschichte des Stadions abhängt, wurde in die Datengrundlage immer der höchste Kapazitätswert übernommen.

Die deutschen Stadien sind mit blauen Punkten dargestellt, wobei jeder Punkt für mindestens ein Stadion (Überlagerung der Punkte bei Stadien mit gleichen Eckdaten möglich) steht. Für den internationalen Vergleich wurden mit farbig unterschiedlichen Dreiecken ebenfalls die acht größten Fußballstadien der Welt (Stand: 03.2011) aufgeführt.

Ebenfalls mit einem Dreieck in dunkelrot ist das „Deutsche Stadion“ aufgeführt, welches jedoch nie fertig gestellt wurde.

### Deutsches Stadion

Auf dem Reichsparteitagsgelände in Nürnberg sollte das „Größte Stadion der Welt“ mit insgesamt 405.000 Plätzen entstehen (siehe Abbildung 2.3). Es sollte, so die Vorstellung Hitlers, zum Zentrum des Weltsportes werden: „1940 finden die Olympischen Spiele noch einmal in Tokio statt. Aber danach, da werden



**Abb. 2.3:** Modell des Deutschen Stadions. Quelle: csu-lichtenhof.de

sie für alle Zeiten in Deutschland stattfinden, in diesem Stadion [...]“. Um dieses großenwahnsinnige Ziel und die gewünschte Zuschauerzahl realisieren zu können, sollten Rolltreppen und Expressaufzüge die Zuschauer schnell zu ihren Plätzen bringen. Mit Kriegsende wurden die Arbeiten eingestellt, sodass die ausgehobene Baugrube mit Wasser voll lief und heute den Silbersee bildet.

Bei Betrachtung des Diagramms 2.2 erkennt man die Historische Entwicklung aus Abschnitt 2.1 wieder. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gibt es in Deutschland noch sehr wenige Stadien, sodass vielerorts neue Stadien errichtet wurden. Diese Bauphase wurde in den Jahren 1914 – 1918 durch den 2. Weltkrieg unterbrochen und anschließend fortgeführt. In der NS-Zeit wurden die bis dato beiden größten deutschen Stadien (Olympiastadion Berlin, Deutsches Stadion Nürnberg) errichtet, wobei in der Zeit des 2. Weltkrieges (1939 – 1945) fast keine neuen Stadien entstanden. Nach Kriegsende wurden neue Stadien errichtet, bis der Bedarf an ihnen landesweit gedeckt war. Zu den olympischen Sommerspielen 1972 und zur Fußball-WM 1974 wurden drei entsprechend dimensionierte Stadien (Olympiastadion München 1972, Parkstadion Gelsenkirchen 1974, Westfalenstadion Dortmund

1974) errichtet, woraufhin eine Flaute folgte, welche erst durch die Fußball-Euphorie im Zuge der WM 2006 wieder behoben wurde.

Betrachtet man die maximale Besucherkapazität im Bezug auf die Jahreszahl, so fällt auf, dass hier nicht der vermutete Trend zu sehen ist. Die größten deutschen Stadien haben zum Großteil eine Eröffnung vor 1974 erlebt, und nicht wie vermutet erst in den letzten Jahren.

Da jedoch immer die jemals größte Kapazität eines Stadions erfasst wurde und die Entwicklung des SIGNAL IDUNA PARK (siehe Abschnitt 2.2) zeigt, dass sich die Kapazität durch Aus- und Umbauten häufig verändert hat, muss die Frage gestellt werden, wie aussagekräftig dieses Ergebnis ist. Hierzu betrachten wir weitere beispielhafte Kapazitätsentwicklungen:

- Anstieg der Besucherkapazität im Laufe des Stadionbetriebes
  - Millerntor-Stadion Hamburg  
(früher: 20.725 Plätze, heute: 23.201 Plätze)
  - Scholz-Arena Aalen  
(früher: 9.000 Plätze, heute: 11.183 Plätze)
  - BayArena Leverkusen  
(früher: 22.500 Plätze, heute: 30.210 Plätze)
  
- Reduzierung der Besucherkapazität im Laufe des Stadionbetriebes
  - Easy Credit Stadion Nürnberg  
(früher: 71.238 Plätze, heute: 46.780 Plätze)
  - Paul-Janes-Stadion Düsseldorf  
(früher: 36.000 Plätze, heute: 8.698 Plätze)
  - Olympiastadion Berlin  
(früher: 100.000 Plätze, heute: 74.064 Plätze)

Die hier aufgezählten drei Beispiele je Entwicklungsverlauf sollen lediglich diese Kapazitätsentwicklung dokumentieren. Die gleichmäßige Verteilung, zwischen Anstieg und Reduzierung, trägt jedoch. Verteilungsmäßig fand bei der deutlichen Mehrheit der Stadien im Laufe der Zeit eine Reduzierung der Zuschauerkapazität statt. Diese Reduzierung hat unterschiedliche Gründe, welche wie folgt benannt werden können:

- Umwandlung von Steh- in Sitzplätze auf Grund der FIFA / UEFA Vorgaben, wodurch die Kapazität verringert werden muss, da Sitzplätze mehr Platz benötigen.
- Steigerung von Komfort der Stadien: Wegfall von Plätzen mit schlechter Sicht, Umbau in VIP-Bereiche (größere Sitze) etc.
- Sinkendes Interesse an regionalen Fußballvereinen, Besucherzulauf bei den wenigen großen Vereinen der 1. und 2. Bundesliga.

Ein Ausbau, sprich eine Steigerung der Kapazität, erfolgte lediglich wenn der Fußballverein entsprechend erfolgreich gewesen ist und die Besucherzahlen somit über das vorhandene Fassungsvermögen hinaus gestiegen sind. Alternativ stieg das Fassungsvermögen, wenn das Stadion Austragungsort einer Fußball-WM werden sollte.

### **2.4 Zwischenergebnis**

Fußballstadien in der Bundesrepublik haben sich im Laufe der Zeit einem stetigen Wandel unterzogen. Die entsprechenden Gründe hierfür sind unterschiedlicher Art und mit den entsprechenden Entwicklungen in Politik und Gesellschaft verknüpft. Besonders die NS-Zeit, die Weltkriege sowie die beiden Fußballweltmeisterschaften haben die Stadienlandschaft nachhaltig verändert. Diese Entwicklungen zeigen sich sowohl im Bereich der Ausstattung der Stadien, als auch in der Eröffnung neuer Stadien.

Eine allgemeingültige Zunahme des Fassungsvermögens der Stadien im Laufe der Zeit konnte widerlegt werden. Lediglich die wenigen großen Stadien der Bundesliga-Vereine besitzen zum heutigen Zeitpunkt sehr große Fassungsvermögen.

Die Aufteilung der Besucher auf Unter- und Oberränge stellte keine besondere Neuerung dar. So wurde diese Bauweise bereits in antiken Arenen (z.B. Kolosseum) verwendet und fand auch in entsprechend großen deutschen Stadien Anwendung.

Die Besucher bekommen heute mehr Komfort in den Fußballstadien in Form von Sitzplätzen, VIP-Bereichen etc. geboten als zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Hierdurch werden höhere Einnahmen (Sitzplätze teurer als Stehplätze) erzielt. Parallel gibt es jedoch in den meisten Stadien wieder Stehplatzbereiche, da die schlechte Stimmung auf den Sitzplätzen durch die Fangruppen beanstandet wurde.

Der aktuelle Boom bezüglich Fußball-Großveranstaltungen ist vorwiegend bei den Spielen der Fußballnationalmannschaft zu erkennen. Da in absehbarer Zeit weder eine EM noch eine WM in Deutschland stattfinden wird, ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren kein großer Anstieg der Kapazität erfolgen wird. Die vorhandenen Fußballstadien sind während den Bundesligaspielen oft nur bei den Top-Mannschaften ganz ausverkauft [21], sodass hier noch eine entsprechende Entwicklungsmöglichkeit vorhanden ist ohne das Ausbauten notwendig sind. Hinzu kommt, dass in einem zu leeren Stadion, vielleicht sogar ausschließlich mit Sitzplätzen, keine entsprechende Stimmung aufkommt.

Nach Meinung des Verfassers ist nicht davon auszugehen, dass die großen Stadien in den nächsten Jahren eine deutliche Zunahme des Fassungsvermögens erfahren werden. Gestützt wird diese Vermutung durch Beispiele wie den Bau der Allianz-Arena (eröffnet: 2005; Fassungsvermögen: 69.901) in München, welche keine wirkliche Steigerung des Fassungsvermögens, im Vergleich zu dem Münchner Olympiastadion (eröffnet: 1972; Fassungsvermögen: 69.250) im Olympiapark, darstellt. Hingegen wird es im Komfort-Bereich noch einige Steigerungen geben, da dies, in Kombination mit Stehplatzbereichen, ein lukratives Geschäft für die Stadienbetreiber darstellt (siehe z.B. Allianz Arena, München).

# 3 Grundlagen der Fußgängerdynamik

Zum Verständnis der nachfolgenden Abschnitte sind einige Grundlagen der Fußgängerdynamik notwendig, welche hier kurz erläutert werden.

## 3.1 Dichte

Die Dichte  $\rho$  gibt an, wie viele Personen  $N$  sich auf einer Fläche  $F$  befinden.

$$\rho = \frac{N}{F} \left[ \frac{1}{\text{m}^2} \right] \quad (3.1)$$

Sie kann auch über den individuellen Platzbedarf  $A$  einer Person auf Grund ihrer Statur, Kleidung und Gepäck (z.B. Koffer, Kind auf dem Arm) abgeleitet werden. Es gilt:

$$\rho = \frac{1}{A} \left[ \frac{1}{\text{m}^2} \right] \quad (3.2)$$

Predtetschenski und Milinski geben in ihrem Handbuch [15] eine Tabelle an, in der ein möglicher individueller Platzbedarf angegeben ist.

## 3.2 Fluss

Der Fluss  $J$  gibt an, wie viele Personen  $\Delta N$  in einer Zeitspanne  $\Delta t$  eine definierte Messlinie passiert haben. Hierbei wird  $\Delta t$  durch  $time_{out}$  und  $time_{in}$  bestimmt.

$$J = \frac{\Delta N}{t_{out} - t_{in}} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \left[ \frac{1}{\text{s}} \right] \quad (3.3)$$

$t_{out}$ : Zeit wann die erste Person die Messlinie überschreitet.

$t_{in}$ : Zeit wann die letzte Person die Messlinie überschreitet.

Der Personenfluss lässt sich auch anhand der sog. Flussgleichung darstellen; als Produkt aus Dichte  $\rho$ , Geschwindigkeit  $v$  und Breite  $b$ .

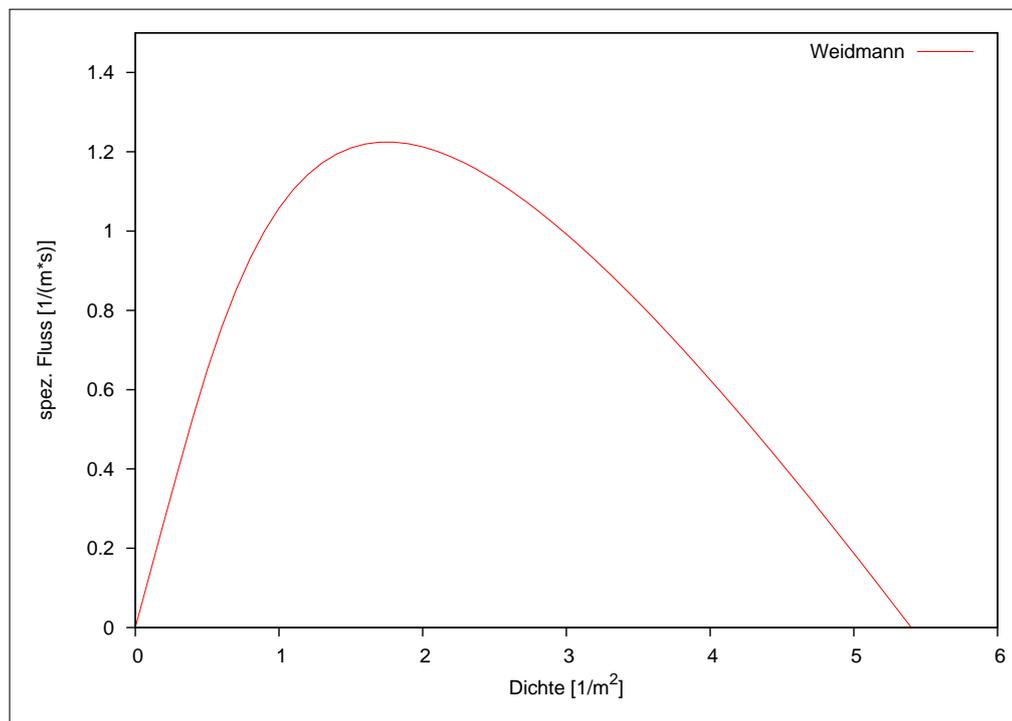
$$J = \rho \cdot v \cdot b \left[ \frac{1}{s} \right] \quad (3.4)$$

Mit dem spezifischen Fluss  $J_S$  wird der Fluss pro Einheitsbreite angegeben:

$$J_S = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot b} = \frac{J}{b} = \rho \cdot v \left[ \frac{1}{m \cdot s} \right] \quad (3.5)$$

### 3.3 Fundamentaldiagramm

Mit einem Fundamentaldiagramm (siehe 3.1) wird die empirische Beziehung zwischen Dichte und Fluss  $J(\rho)$  beschrieben. Mit der Flussgleichung 3.4 können auch andere Darstellungsweisen (z.B.  $J_S(\rho)$ ) erstellt werden. Es existieren für die verschiedenen Anlagentypen (horizontale Wege, Treppen etc.) unterschiedliche Fundamentaldiagramme.



**Abb. 3.1:** Fundamentaldiagramm für horizontale Wege nach Weidmann [20].

Anhand des Fundamentaldiagrammes wird ersichtlich, welcher maximale Fluss möglich ist und bei welcher Dichte der Fluss zum Erliegen kommt (Stau).

# 4 Vorgaben für Personenführung auf Tribünen

Für die Personenführung auf Tribünen in Fußballstadien gelten unterschiedliche Vorschriften und Normen. Sie sind zum Teil staatlicher Natur und zum Teil aus dem Vorschriftenwerk der entsprechenden Fußballverbände. Aber auch die Normungsinstitute haben sich der Thematik angenommen.

Ziel dieses Kapitels ist nicht die Zusammenfassung und Erläuterung der einzelnen Vorschriften, sondern lediglich eine Vermittlung der im weiteren Verlauf dieser Arbeit notwendigen Grundlagen. Hierbei erfolgt eine Beschränkung auf die später benötigten Details.

## 4.1 Gesetzliche Vorgaben

Durch den föderalen Staatsaufbau in Deutschland gibt es in jedem Bundesland eine eigene Bauordnung, sowie eine Sonderbau-, bzw. Versammlungsstättenverordnung. Da im Rahmen dieser Arbeit Stadienbauten in der gesamten Bundesrepublik betrachtet werden, wird nachfolgend nur die „Musterbauordnung“ und die „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten“ betrachtet. Beide Vorschriften wurden durch die Bauministerkonferenz (ARGEBAU) erarbeitet und sollen zur Vereinheitlichung der Bauordnungsgesetzgebung der einzelnen Länder beitragen.

### 4.1.1 Musterbauordnung

Die Musterbauordnung (MBO) gilt generell gemäß § 1 „für bauliche Anlagen und Bauprodukte“ und somit auch für Fußballstadien. Sie beschäftigt sich jedoch hauptsächlich

mit dem Wohnhausbau und beinhaltet zum Beispiel Anforderungen im Bezug auf die Gestaltung, die Bauausführung und die Bauprodukte.

Fußballstadien werden gemäß § 2, Absatz 4 als Versammlungsstätten den Sonderbauten zugeordnet. Bezüglich der Rettungswegebreite schreibt die MBO lediglich in § 36, Absatz 2 vor:

Notwendige Flure müssen so breit sein, dass sie für den größten zu erwartenden Verkehr ausreichen. [...]

Weiter werden in der MBO bezüglich der Rettungswege die baulichen Anforderungen und die geforderte Anzahl der Fluchtwege sowie Treppen definiert. Eine Spezifizierung der Anforderungen bzgl. der Rettungswegebreiten erfolgt in der Versammlungsstättenverordnung der einzelnen Länder (siehe 4.1.2).

### **4.1.2 Muster-Versammlungsstättenverordnung**

Ergänzend zu den (Landes-)Bauordnungen werden die speziellen Anforderungen für Versammlungsstätten in der „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten“ (kurz: Muster-Versammlungsstättenverordnung MVStättV) charakterisiert. Sie gilt gemäß § 1 Absatz 1 für den Bau und Betrieb von:

- Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen, welche einzeln oder insgesamt mehr als 200 Besucher fassen;
- Versammlungsstätten im Freien mit mehr als 1.000 Besuchern;
- Sportstadien mit mehr als 5.000 Besuchern.

Zur Bestimmung der Besucheranzahl sieht die MVStättV in § 1 Absatz 2 folgende Bemessung vor:

1. für Sitzplätze an Tischen: ein Besucher je  $m^2$  Grundfläche,
2. für Sitzplätze in Reihen und Stehplätze: zwei Besucher je  $m^2$  Grundfläche,
3. für Stehplätze auf Stufenreihen: zwei Besucher je laufendem Meter Stufenreihe,
4. bei Ausstellungsräumen: ein Besucher je  $m^2$  Grundfläche.

In Abschnitt zwei der Verordnung werden die Anforderungen an die Rettungswege weiter charakterisiert. Die Bemessung der Rettungswege erfolgt in § 7. Dort heißt es im Absatz vier bzgl. der Rettungswegebreite:

Die Breite der Rettungswege ist nach der größtmöglichen Personenzahl zu bemessen. Die lichte Breite eines jeden Teiles von Rettungswegen muss mindestens 1,20 m betragen. Die lichte Breite eines jeden Teiles von Rettungswegen muss für die darauf angewiesenen Personen mindestens betragen bei

1. Versammlungsstätten im Freien sowie Sportstadien 1,20 m je 600 Personen,
2. anderen Versammlungsstätten 1,20 m je 200 Personen.

Staffelungen sind nur in Schritten von 0,60 m zulässig. [...]

Der Erläuterung zur MVStättV vom Juni 2005 ist zu entnehmen, dass hiermit eine Entleerungszeit von 6 Minuten bei Tribünen im Freien und von 2 Minuten bei Veranstaltungsstätten im Inneren vorgesehen ist. Weiter heißt es:

[...] Durch eine Türöffnung in der Breite des Ausgangsmoduls von 1,20 m können also jeweils zwei Personen gleichzeitig den Raum verlassen; 100 Personen benötigen dafür ca. eine Minute. Für das Verlassen eines Raumes durch ein 0,60 m Modul benötigen also ca. 50 Personen eine Minute. [...]

Im dritten Abschnitt werden sowohl die Besucherplätze als auch die Einrichtungen der Besucher definiert. Für das weitere Verständnis dieser Arbeit ist die geforderte Breite der Sitzplätze von Bedeutung. Sie ist mit einer Breite von mindestens 0,50 m im § 10 Absatz 3 definiert.

Mit der Abschränkung und der Blockbildung in Sportstadien mit mehr als 10.000 Besuchern beschäftigt sich § 27 der Verordnung. Hierin wird vorgeschrieben, dass zwischen den Besucherplätzen und dem Innenbereich eine Abschränkung in Höhe von mindestens 2,20 m mit jeweils 1,8 m breiten Toren bei allen Stufengängen zu errichten sind. Von diesen Vorgaben kann jedoch abgesehen werden, wenn in dem Sicherheitskonzept nachgewiesen werden konnte, dass abweichende Abschränkungen unbedenklich sind.

### **4.2 DIN EN 13200**

Die DIN EN 13200 beschreibt Kriterien für Zuschaueranlagen auf europäischer Ebene. Sie ist insgesamt in sechs Teile unterteilt. Im ersten Teil der Norm wird ein Mindestmaß für die seitliche Abschränkung (Mitte bis Mitte) eines Einzelsitzes von 0,45 m gefordert. In Anmerkung 2 zu dieser Forderung wird jedoch eine Mindestbreite von 0,50 m empfohlen. Sofern keine nationalen Forderungen bezüglich der Fluchtwegebreite existieren, hält der Anhang E der DIN EN 13200-1 entsprechende informative Werte vor, welche angewandt werden können. Für die Evakuierung im Notfall sieht die Norm, im Gegensatz zur Muster-Versammlungsstättenverordnung, jedoch eine höchst zulässige Räumungszeit von Bereichen im Freien von 8 statt 6 Minuten vor. Bei geschlossenen Gebäuden sowie der Mindestbreite eines Ausganges von 1,20 m herrscht Einklang mit der nationalen Vorschrift.

### **4.3 Vorgaben der Fußballverbände**

#### **4.3.1 DFB**

Der DFB (Deutscher Fußball-Bund e.V.) hat mit seinem Stadionhandbuch eigene Anforderungen an den Bau und Betrieb von Fußballstadien formuliert. Bezüglich der Rettungswegebreite sind die Werte mit denen der MVStättV identisch. Der DFB unterscheidet jedoch ganz klar zwischen Stadien, deren Dach über dem Spielfeld nicht geschlossen werden kann und anderen geschlossenen Bereichen (Versammlungsräumen), was besonders bei Stadien mit schließbarem Dach zum tragen kommt. Weiter fordert der DFB Sitzplätze mit einer Mindestbreite von 0,50 m [4].

#### **4.3.2 UEFA**

In den Vorschriften der UEFA sind keine Angaben im Bezug auf die geforderte Berechnung der Rettungswegebreite sowie der Mindestbreite der Sitzplätze enthalten. Jedoch sind bei Spielen der UEFA keine Stehplätze zugelassen, sodass diese entweder nicht belegt werden dürfen oder zu Sitzplätzen umgebaut werden müssen [19].

### **4.3.3 FIFA**

Auch die Vorschriften der FIFA zeigen bzgl. der betrachteten Größen keine besonderen Anforderungen und verweisen auf die nationalen Vorschriften. Auch hier sind lediglich Sitzplätze erlaubt [7].

# 5 Vergleiche ausgewählter Fußball-Bundesligastadien

Die Räumungszeit einer Tribüne hängt im Evakuierungsfall von einer Vielzahl von Faktoren ab. Neben der Motivation und der Mobilität der zu evakuierenden Personen spielt die Komplexität des Gebäudes eine entscheidende Rolle. Wissenschaftlich wird die benötigte Räumungszeit (*RSET* – Required Safe Egress Time) wie folgt definiert:

$$REST = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e \quad (5.1)$$

$t_d$ : Zeit zw. Brandbeginn und Branddetektion

$t_a$ : Zeit zw. Branddetektion und Alarmierung

$t_o$ : Zeit zw. Alarmierung und der Entscheidung der Nutzer zur Räumung

$t_i$ : Zeit zw. der Entscheidung der Nutzer zur Räumung und Räumungsbeginn

$t_e$ : Zeit zw. Räumungsbeginn und Räumungsende

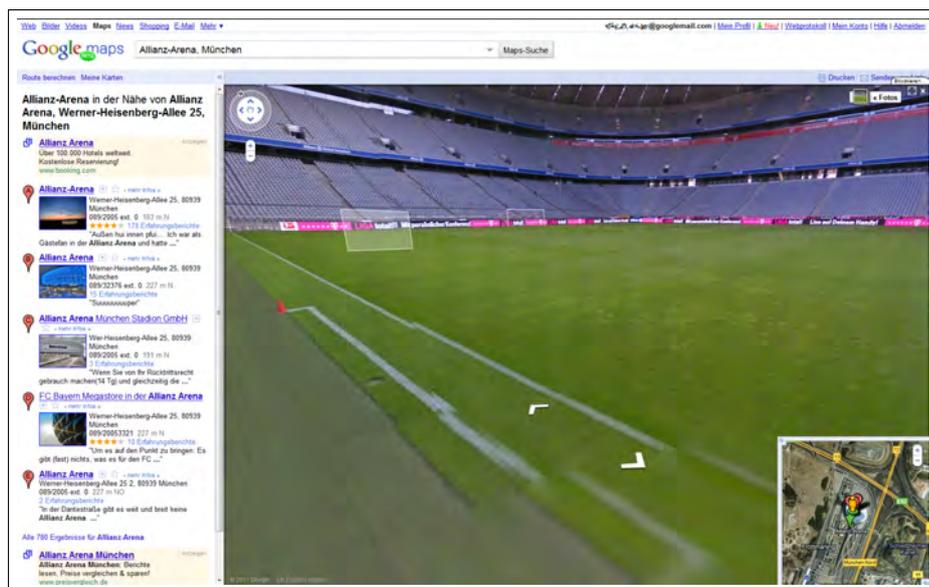
Die Zeit zwischen Brandbeginn und Branddetektion ( $t_d$ ), sowie die Verzögerungszeit ( $t_a + t_o + t_i$ ) werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Es wird lediglich die Zeit zwischen Räumungsbeginn und Räumungsende ( $t_e$ ) untersucht, welche maßgeblich vom spezifischen Fluss abhängig ist (siehe Kapitel 3.2). Dieser ist wiederum durch die benötigte Zeit  $t$ , die Breite  $b$  des Ausgangs sowie die Personenanzahl  $N$  definiert (siehe Formel 3.5).

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Mundlochbreiten sowie die Personenanzahl in je zwei Blöcken unterschiedlicher Bundesligastadien ermittelt. Es folgt eine Abschätzung

der benötigten Räumungszeit anhand der Flussgleichung sowie die Validierung der Ergebnisse mittels durchgeführter Feldversuche.

## 5.1 Bestimmung der Rettungswegebreiten im Tribünenbereich

Zur Bestimmung der Rettungswegebreiten im Tribünenbereich wurden die Panoramabilder von „Google Street View“ verwendet. „Google Street View“ ist ein Teil von „Google Maps“, dem Kartendienst von dem Suchmaschinenbetreiber „Google Inc.“. Hierin werden seit dem 02. November 2010 insgesamt zehn Stadien der Fußballbundesliga (siehe Tabelle 5.1) in 360-Grad-Panoramabildern dargestellt. Diese, mit dem Internetbrowser abgerufenen Panoramabilder (siehe Abbildung 5.1), erlauben die Betrachtung der Tribünen und Mundlöcher, in Form eines virtuellen Rundganges, im Innenbereich des Stadions.

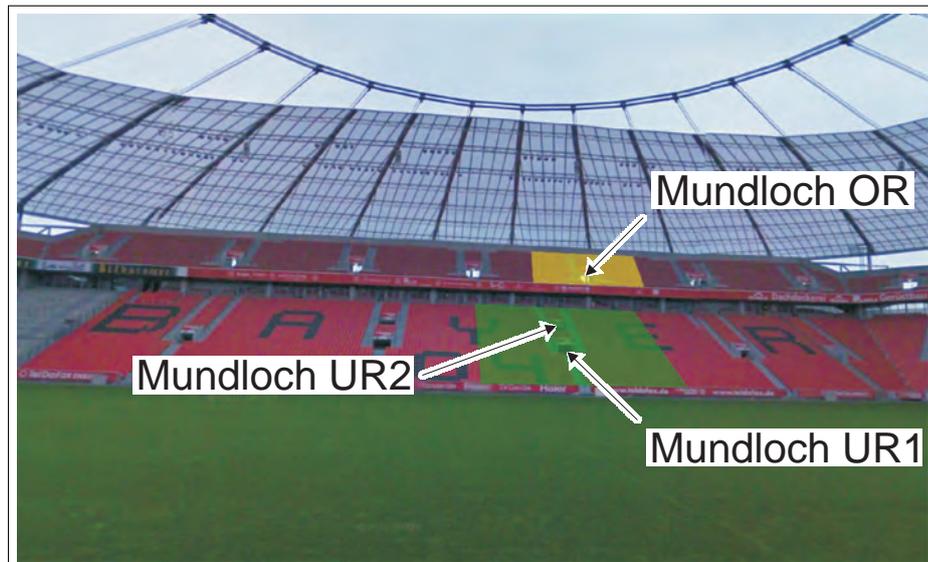


**Abb. 5.1:** Darstellung der Allianz Arena im „Google Street View“-Modus in „Google Maps“.

Für diese Untersuchung wurde bei jedem untersuchten Stadion je ein Mundloch im Ober- und Unterrang gewählt, sodass hier eventuelle Unterschiede ersichtlich werden. Um möglichst große Zuschauerblöcke zu untersuchen und eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können, wurde bei allen Stadien die Tribünen gegenüber der Trainerbank ausgewählt (siehe Bild 5.2) und untersucht.

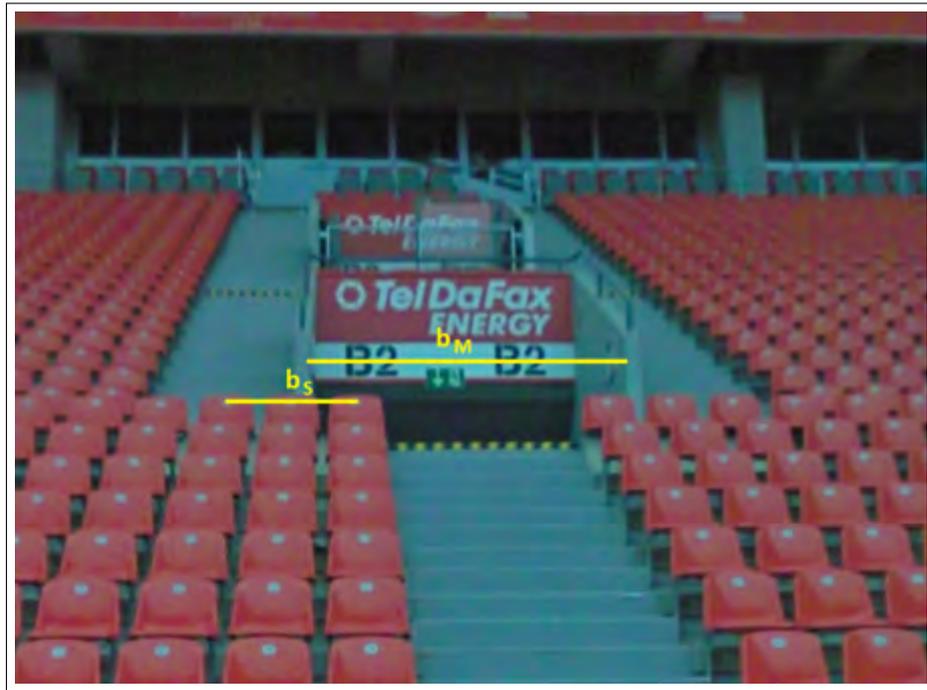
**Tab. 5.1:** Verfügbare Stadien in „Google Street View“ (Stand: 03/2011) [10], [5].

Stadion	Standort	Eröffnung	Fassungsvermögen in Steh- und Sitzplätzen
Allianz Arena	München	2005	69.901
AWD-Arena	Hannover	1954	49.000
badenova-Stadion	Freiburg	1954	24.000
BayArena	Leverkusen	1958	30.210
Fritz-Walter-Stadion	Kaiserslautern	1920	48.500
Imtech Arena	Hamburg	1953	57.000
Millerntor-Stadion	Hamburg	1963	24.487
RheinEnergieStadion	Köln	1975	50.000
Signal Iduna Park	Dortmund	1974	80.720
Veltins-Arena	Gelsenkirchen	2001	61.673



**Abb. 5.2:** Ausgewählte Mundlöcher mit dazugehörigen Sitzen (hier: Bsp. BayArena).

Zur Bestimmung der Rettungswegebreite wird das entsprechende Mundloch möglichst frontal in „Google Street View“ herangezoomt, sodass sowohl das Mundloch, als auch die es umgebenden Sitzreihen, gut zu erkennen sind. Ein hiervon erstellter Screenshot wird mit einem Grafikprogramm geöffnet und dort vermessen. Hierfür wird der Abstand zwischen Sitzmittelpunkten aus einer Reihe von drei nebeneinander angeordneten Sitzen bestimmt. Ebenfalls wird das betrachtete Mundloch selbst vermessen (siehe Bild 5.3).



**Abb. 5.3:** Ausmessen in „Google Street View“.

Durch die Formel 5.2 kann aus den Pixel-Werten, unter Einbeziehung der Annahme, dass alle Sitze eine Breite von 0,5 m haben<sup>1</sup> (siehe Seite 20), die reale Breite des Mundloches bestimmt werden.

$$b = \frac{1\text{m}}{b_S} \cdot b_M \quad [\text{m}] \quad (5.2)$$

- $b$ : reale Breite des Mundloches in Meter
- $b_S$ : gemessene Breite der Sitze in Pixel
- $b_M$ : gemessene Breite des Mundloches in Pixel

<sup>1</sup>Dieser Wert konnte durch Messungen des Verfassers der Sitzbreite in der ESPRIT arena verifiziert werden.

Alle gewonnenen Werte werden, gemäß der 0,6-Meter Staffelung aus den entsprechenden Vorschriften (siehe Kapitel 4 auf Seite 18), gerundet. Hierbei erfolgte eine konservative Rundung.

Bei manchen Mundlöchern, vermehrt im Oberrang, ist ein entsprechendes Heranzoomen nicht mehr in einer akzeptablen Auflösung möglich. Hier wurde auf Fotoaufnahmen von den Seiten des Online-Bilderdienstes „Flickr“ [8] zurückgegriffen. Das Messverfahren wurde analog angewandt.

Die „AWD Arena“ in Hannover und das „Millerntor-Stadion“ in Hamburg wurden in der weiteren Untersuchung nicht berücksichtigt, da entweder kein Mundloch im Oberrang zu erkennen war oder es nur einen sehr kleinen Unterrang gibt.

Um die entsprechende Anzahl der zu dem Mundloch gehörenden Sitzplätze zu ermitteln, wurde auf die Seiten der Ticket-Anbieter zurückgegriffen. Dort kann in jedem untersuchten Stadion jeder Sitzplatz einzeln gebucht werden, sodass das Zählen der Plätze als sehr genau anzusehen ist.

In Tabelle 5.2 sind alle ermittelten Werte für die einzelnen Stadien und die entsprechenden Ränge aufgeführt. Zusätzlich zu den acht untersuchten Stadien mit Datengrundlage „Google Street View“ wurde ebenfalls die ESPRIT arena in Düsseldorf aufgeführt, in der es dem Verfasser möglich war, vor Ort die Mundlochbreite genau zu ermitteln. In der rechten Spalte der Tabelle ist die Anzahl an Personen pro 0,6m des zugehörigen Mundloches aufgelistet. Bei einigen Stadien sind mehrere Mundlöcher in einem Rang vorhanden. Die dort ermittelten Breiten (z.B. Signal Iduna Park: 2,4 m und 1,8 m) wurden zur Berechnung der Rate addiert. Hierbei wurde in der BayArena im Unterrang nur ein Mundloch berücksichtigt, da das obere Mundloch (Mundloch UR2: siehe Abbildung 5.2) mit einem Zaun verschlossen ist und nicht zur Verfügung steht (siehe Abbildung 5.3). Die speziellen Evakuierungskonzepte der einzelnen Stadien sind dem Verfasser nicht bekannt und konnten somit keinerlei Berücksichtigung finden. Daraus folgt jedoch, dass die ermittelten Raten mit Vorsicht zu betrachten sind. Beispielsweise hätte eine zusätzliche Entfluchtung auf das Spielfeld (siehe Beispiel: Evakuierung Bernabéu-Stadion 2004), eine deutliche Reduzierung der Rate zur Folge.

**Tab. 5.2:** Ermittelte Werte der ausgewählten Stadien.

Stadion (Standort)	Dach	Rang	Sitzplatz- anzahl	Mundlochbreite in m	Rate in $\frac{\text{Pers.}}{0,6\text{ m}}$
Allianz Arena (München)	offen	Unterrang	692	1,8	231 ± 43
		1. Oberrang	599	1,2	300 ± 125
badenova-Stadion (Freiburg)	offen	Unterrang	1.365	2,4	341 ± 36
		Oberrang	915	2,4	229 ± 24
BayArena (Leverkusen)	offen	Unterrang	1.468	2,4 (und 2,4)	367 ± 38
		Oberrang	458	2,4	115 ± 12
Fritz-Walter-Stadion (Kaiserslautern)	offen	Unterrang	1.589	2,4 und 1,8	227 ± 8
		Oberrang	1.244	1,8 und 1,8	207 ± 10
Imtech Arena (Hamburg)	offen	Unterrang	653	2,4	163 ± 17
		Oberrang	1.027	3,0	205 ± 14
RheinEnergieStadion (Köln)	offen	Unterrang	1.416	4,8	177 ± 5
		Oberrang	1.052	4,2	150 ± 5
Signal Iduna Park (Dortmund)	offen	Unterrang	2.240	2,4 und 1,8	320 ± 11
		Oberrang	1.566	3,6	261 ± 12
Veltins-Arena (Gelsenkirchen)	schließbar	Unterrang	925	3,0	185 ± 12
		Oberrang	596	2,4 und 1,8	85 ± 3
ESPRIT arena (Düsseldorf)	schließbar	Unterrang	912	2,4	228 ± 24
		Oberrang	1.040	2,4	260 ± 27

**Evakuierung Bernabéu-Stadion 2004**

Im Dezember 2004 wurde das spanische Bernabéu-Stadion auf Grund einer anonymen Bombendrohung, welche der baskische Separatistenorganisation Eta zugeschrieben wird, evakuiert. Nachdem der Schiedsrichter auf Anweisung der Polizei das Spiel abpiff, erfolgte über Lautsprecher die Evakuierungsaufforderung „Wir bitten Sie, das Stadion geordnet zu verlassen!“ an das Publikum. Alle 75.000 Besucher verließen über die Mundlöcher sowie das Spielfeld in knapp zehn Minuten geordnet das Stadion [13].

Bei der Ermittlung der Mundlochbreiten (siehe Abschnitt 5.1) sind Messfehler durch das angewendete Messverfahren sowie die durchgeführte Rundung auf 0,6 m-Schritte möglich. Die Ermittlung der Sitzplätze ist hingegen als genau anzusehen. Da die Rate (Personen pro 0,6 m) sowohl mit der Sitzplatzanzahl als auch der fehlerbehafteten Mundlochbreite berechnet wird, muss eine mögliche Fehlerfortpflanzung berücksichtigt werden. Die Abweichung des Ergebnisses (Rate) durch die fehlerbehaftet Eingangsgröße (Mundlochbreite) kann mittels der Taylorreihe<sup>2</sup> abgeschätzt werden. Für den vorliegenden Fall ergibt sich folgende Formel zur Fehlerabschätzung:

$$\Delta f = \left| -\frac{N}{x^2} \right| \cdot \Delta x \quad (5.3)$$

$\Delta f$ : Der abgeschätzte Fehler

$N$ : Die ermittelte Personenanzahl (Sitzplatzanzahl) in dem Rang

$x$ : Die Mundlochbreite in dem Rang

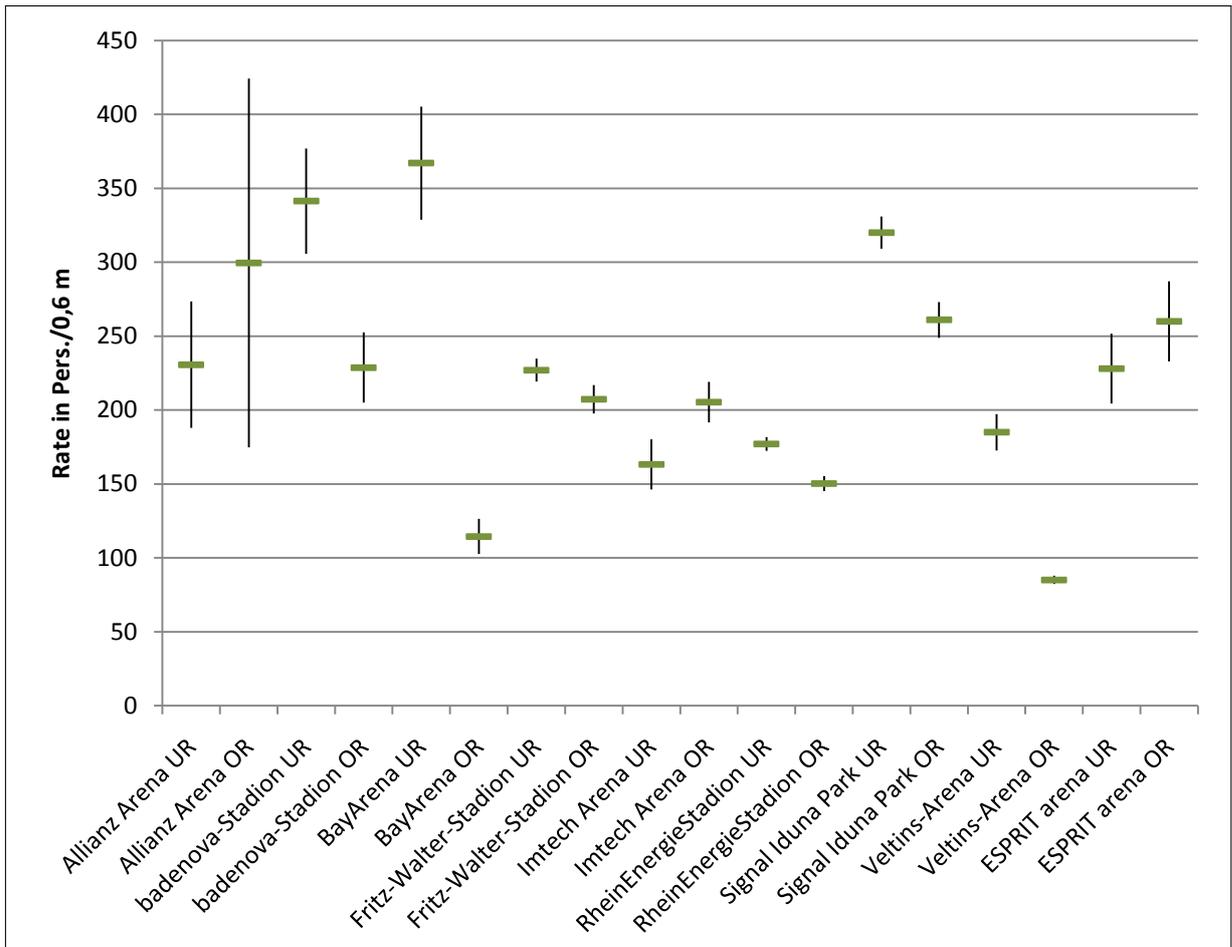
$\Delta x$ : Der maximale Fehler der Mundlochbreite (0,6 m)

Die mögliche Fehlerspanne ist ebenfalls in der Tabelle 5.2 dargestellt und wurde auf das Verhältnis - Personen pro 0,6 m umgerechnet.

Die ermittelten Raten weisen eine Spannweite von 85 bis 367 Personen pro 0,6 m auf. Diese Differenz wird in Abbildung 5.4 sichtbar. Zusätzlich sind auch die möglichen Fehlerspannen der einzelnen Ränge dargestellt.

---

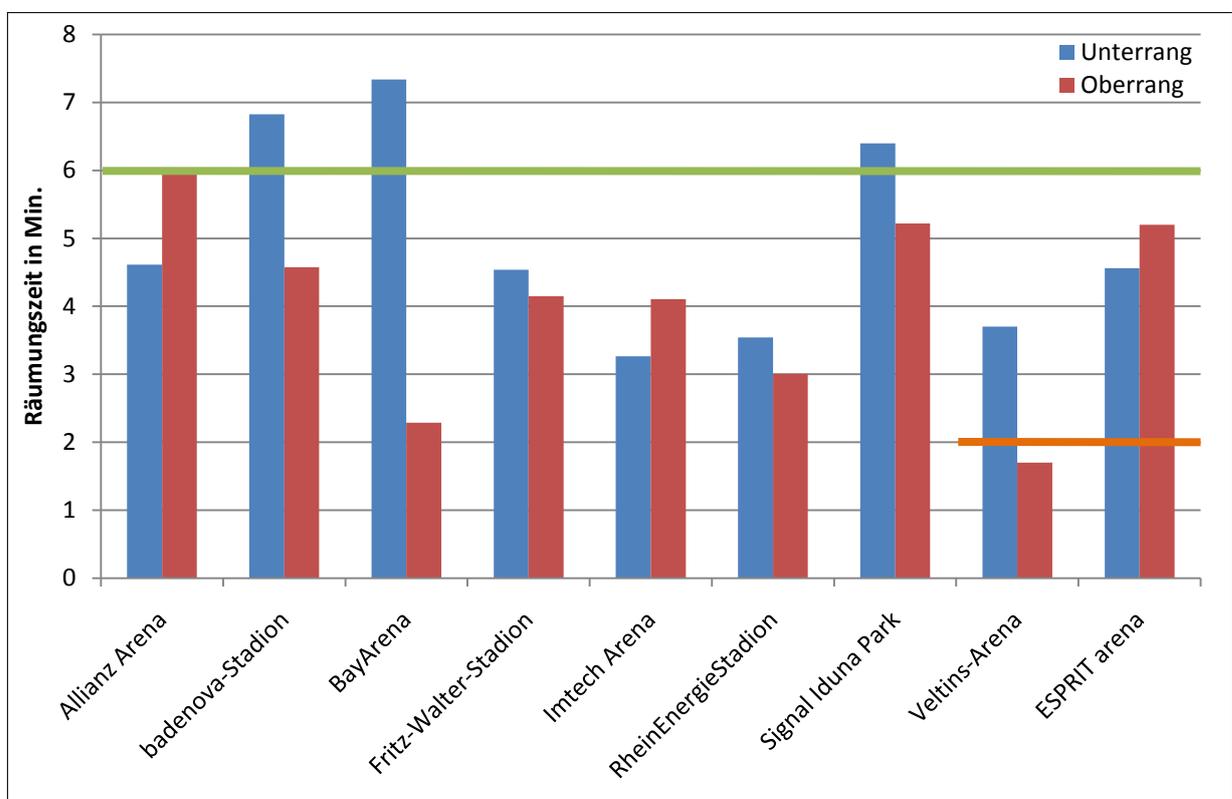
<sup>2</sup>Fehlerfortpflanzung mittels Taylorreihe siehe: <http://de.wikipedia.org/wiki/Fehlerfortpflanzung>



**Abb. 5.4:** Ermittelte Raten im Vergleich, sowie Darstellung eventueller Messfehler.

## 5.2 Abschätzung der Räumungszeiten anhand der Flussgleichung

Anhand der Vorgaben in der MVStättV, welche eine Räumung von 100 Personen in einer Zeit von einer Minute durch einen 1,2 Meter breiten Ausgang vorsehen, lässt sich der spezifische Fluss  $J_S$  errechnen. Dieser durch die Flussgleichung errechnete spezifische Fluss beträgt, gemäß den genannten Vorgaben, gerundet  $1,39 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ . Anhand dieses Wertes werden die Räumungszeiten in den untersuchten Stadien mit den gewonnenen Werten aus Abschnitt 5.1 ermittelt.



**Abb. 5.5:** Abgeschätzte Räumungszeiten und Vorgaben der MVStättV im Vergleich.

Die Ergebnisse sind in Diagramm 5.5 dargestellt. Pro Stadion wurde die benötigte Räumungszeit jeweils im untersuchten Unter- und Oberrang aufgetragen, was die deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Stadien sichtbar macht. Mit der grünen, horizontalen Linie ist die durch die MVStättV vorgegebene Räumungszeit bei Tribünen im Freien von 6 Minuten und mit der orangenen Linie die Räumungszeit im Innenraum geschlossener Räume dargestellt. Dies ist für die Veltins-Arena sowie die ESPRIT arena

relevant, da diese über ein schließbares Dach verfügen, welches aus dem offenen Stadion eine geschlossene Versammlungsstätte macht. Die Räumungszeiten im Unterrang (blau dargestellt) sind, wie bereits in Abschnitt 5.1 dargestellt, jedoch vorsichtig zu betrachten. Es ist davon auszugehen, dass durch eine Entfluchtung auf das Spielfeld diese Zeiten erheblich verringert werden können. Wenn die Evakuierungskonzepte der drei Stadien, welche die sechs Minuten-Vorgabe nicht erfüllen, eine solche Entfluchtung vorsehen, ist davon auszugehen, dass die gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden können. Ebenfalls ist bei der Gelsenkirchener und der Düsseldorfer Arena davon auszugehen, dass eine Entfluchtung des Unterranges auf das Spielfeld vorgesehen ist. In diesem Fall ist anzunehmen, dass auch dort die gesetzlichen Vorgaben erfüllt werden. Die Räumungszeit der ESPRIT arena im Oberrang verändert sich dadurch jedoch nicht, da eine Evakuierung vom Oberrang auf das Spielfeld nicht möglich ist. Dieser hohe Zahlenwert lässt auf eine Mischkalkulation der Rettungswegebreite, auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen (offene und geschlossene Arena), welches bei dem Genehmigungsverfahren akzeptiert wurde (vgl. Thomas 2011 [18]), schließen.

### 5.3 Feldversuche

#### 5.3.1 Allgemeine Informationen

Um die in der MVStättV angenommenen Werte auf ihre Realitätsnähe zu überprüfen, wurden eigene Messungen in Form von Feldversuchen durchgeführt. Dies erfolgte bei Spielen von Fortuna Düsseldorf in der ESPRIT arena.

##### **ESPRIT arena (früher: LTU arena)**

Die 2005 eröffnete Multifunktionsarena in der Landeshauptstadt Düsseldorf bietet Platz für 54.500 Besucher und ist somit das acht größte Fußballstadion Deutschlands. Neben Fußballspielen (Heimmannschaft: Fortuna Düsseldorf) finden auch diverse Konzerte und andere Show-Acts in der mit einem schließbaren Dach ausgerüsteten Arena statt [6].

Die Messungen wurden bei zwei Spielen der 2. Bundesliga durchgeführt. Die erste Messung, welche am 13.02.2011 stattfand, erfolgte nach der Begegnung von „Fortuna

Düsseldorf“ gegen den „FC Ingolstadt 04“, welche sich mit einem 3:1 trennten. Hierbei entstanden die Videoaufnahmen 13-1, 13-2 und 13-3, wobei 13-2 und 13-3 leider nicht verwertbar sind. Auf Grund einer Unterbrechung der Energieversorgung (Stromversorgung über Netzteile), wurde die Räumung nach der „Humba“ (Fanritual bei einem Sieg) nicht mehr aufgezeichnet.

Die Aufnahmen 27-1, 27-2 und 27-3 wurden am 27.02.2011 bei der Begegnung „Fortuna Düsseldorf“ gegen den „VfL Osnabrück“ (2:1) aufgezeichnet. Bei Beginn dieses Spieles kam es jedoch zu einem Zwischenfall. Ein Knallkörper explodierte vor der Düsseldorfer Fankurve und verletzte dabei mehrere Medienvertreter, was zu folge hatte, dass auf die obligatorische „Humba“ nach dem Spiel, verzichtet wurde. Dies führte dazu, dass sich der Block nach dem Abpfiff nach kurzer Verzögerung leerte.

An beiden Spieltagen herrschten Temperaturen von unter 10 °C, was zur Folge hatte, dass nahezu alle Personen Winterkleidung trugen. Bei der Begegnung am 27.02.2011 kam ein leichter Regenfall hinzu.

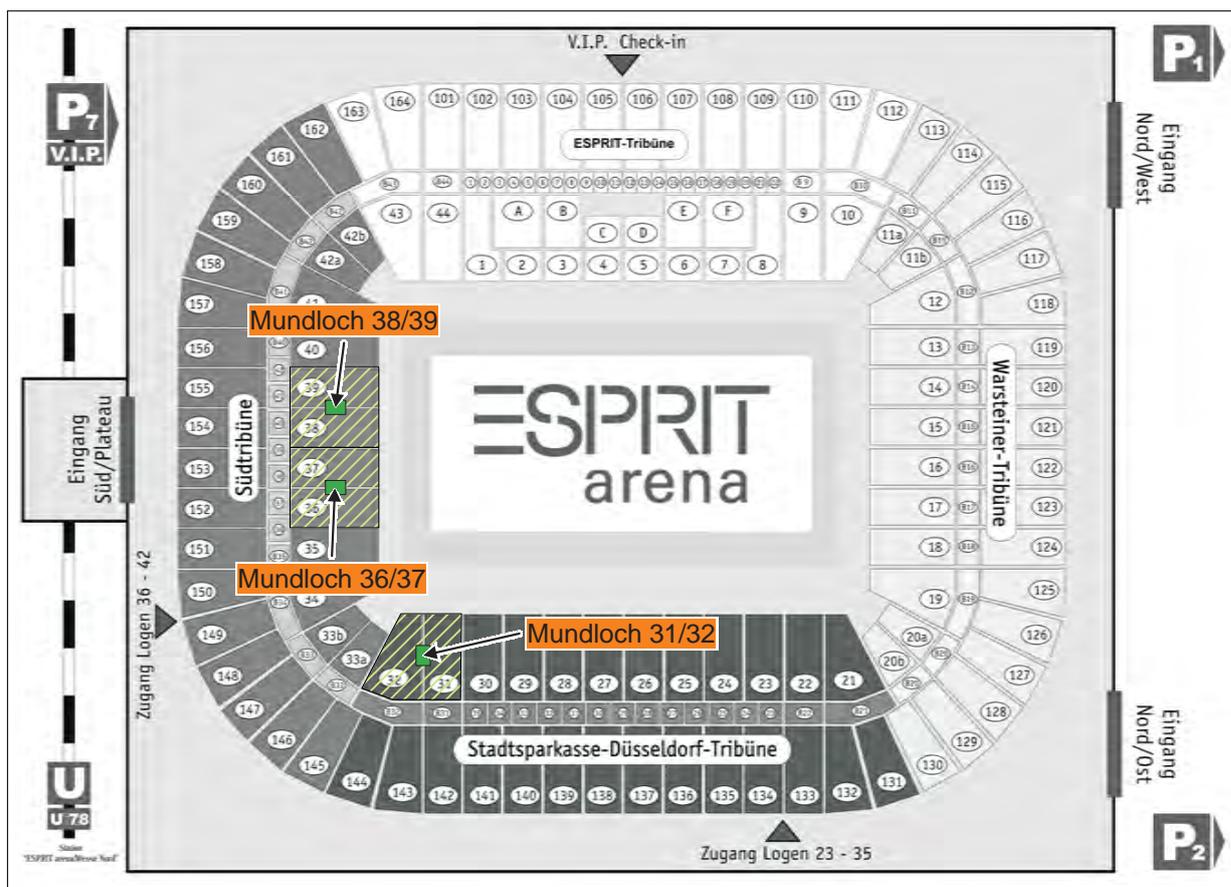
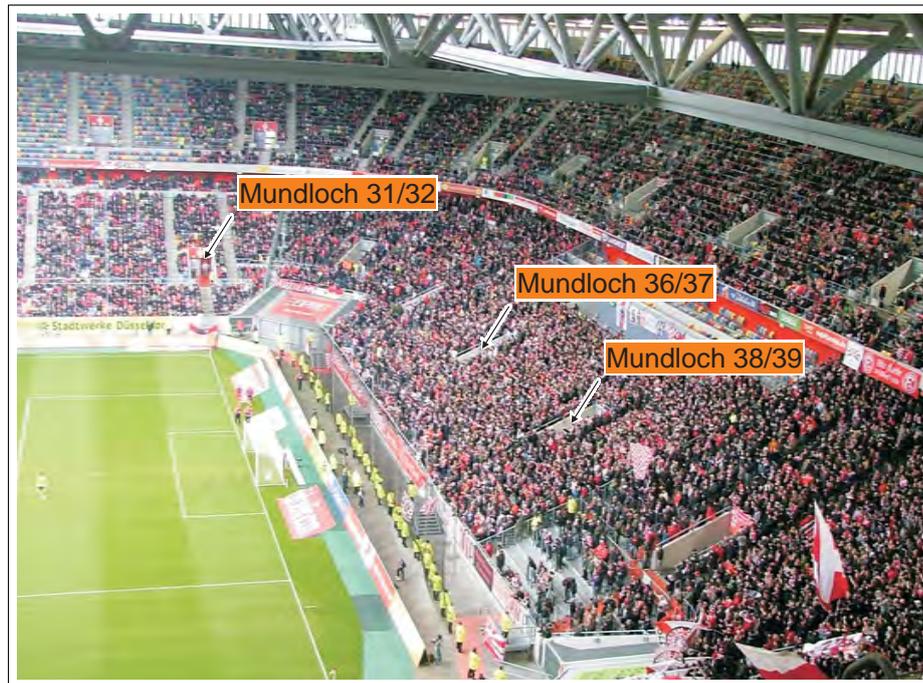


Abb. 5.6: Die untersuchten Mundlocher in der ESPRIT arena. Quelle: ESPRIT arena



**Abb. 5.7:** Die untersuchten Mundlöcher während des Spieles am 27.02.2011.

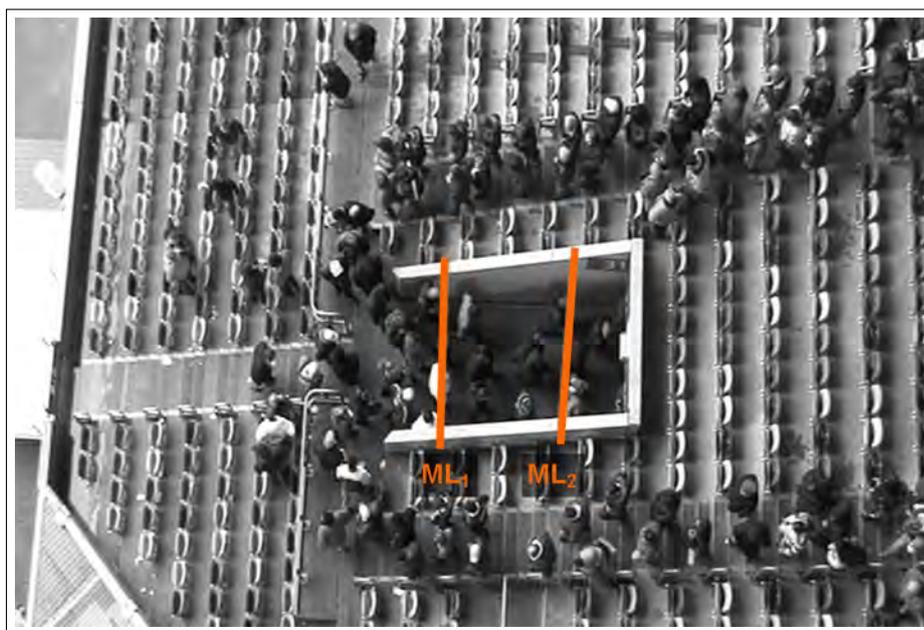
Die Messungen wurden jeweils an dem Mundloch der Sitzplatzblöcke 31/32, sowie an den beiden Mundlöchern der Stehplatzblöcke 36/37 und 38/39 durchgeführt (siehe Abbildung 5.6). Diese Auswahl erfolgte deshalb, da diese Blöcke die höchste Personenanzahl während der Spiele versprachen. Alle drei Mundlöcher besitzen mit einer Breite von 2,6 m die gleiche Geometrie, welche sich am Ende jedes Mundloches durch eine zweiflügelige Tür auf 2,4 m reduziert. Lediglich die Anzahl und Anordnung der Besucher (Steh- und Sitzplätze) sind unterschiedlich. Auch der Zustrom erfolgt bei allen drei Mundlöchern über jeweils drei 1,2 m breite Treppen, wobei bei der Stehplatztribüne auch Personenströme über die Stehplätze zu beobachten sind. Bei einer Evakuierung ist jedoch davon auszugehen, dass dies auch auf den Sitzplatztribünen passieren wird (vgl. Evakuierung des Bernabéu-Stadions 2004 [26]).

### 5.3.2 Messverfahren

Um die Räumung der Tribüne aufzuzeichnen, wurde über jedem der drei Mundlöcher (siehe Abschnitt 5.3.1) eine handelsübliche Videokamera (25 fps) installiert. Diese Installation erfolgte auf dem Catwalk, einem Wartungssteg unter dem Dach der Tribüne. Hierbei

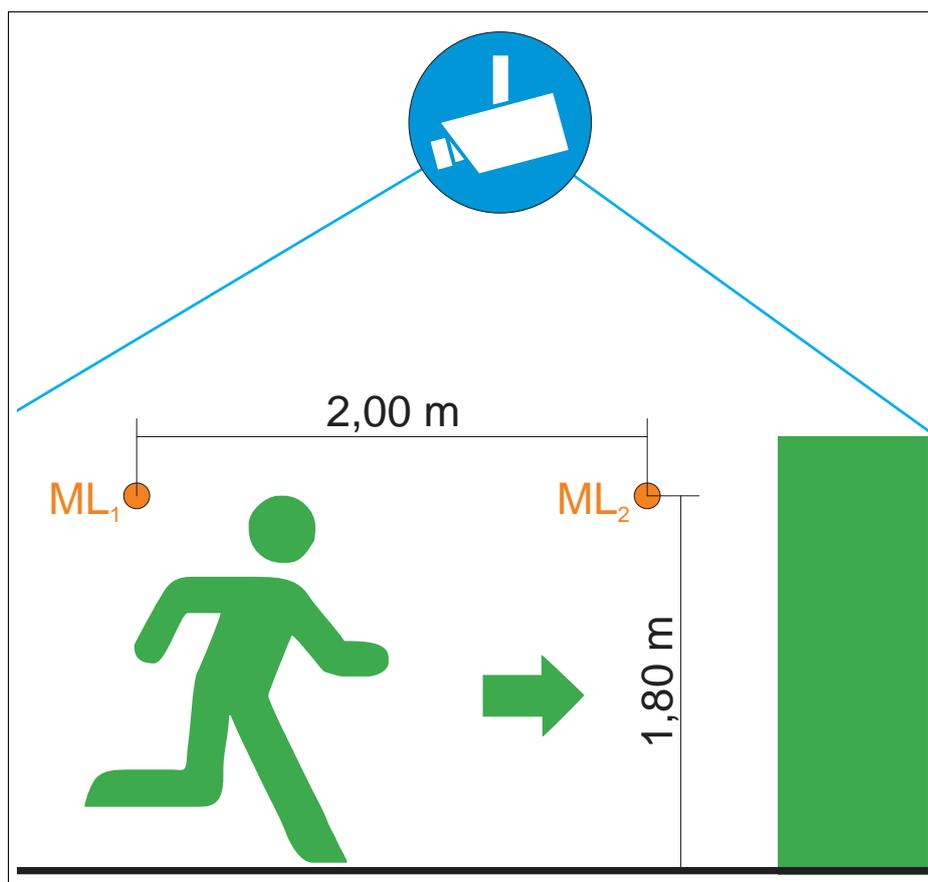
wurden die Kameras möglichst im rechten Winkel zu den Gängen in den Mundlöchern ausgerichtet, sodass eine Videoaufzeichnung in Vogelperspektive entstand.

Um im späteren Verlauf der Auswertung die Dichte bestimmen zu können, wurden vor Spielbeginn vier Markierungen in jedem untersuchten Mundloch mit der Hand angehalten. Durch diese Markierungen wurden mittels Videobearbeitungsprogramm Messlinien ( $ML_1$  und  $ML_2$ ) gelegt und auf das Auswertevideo übertragen (siehe Abbildung 5.8). Die Messlinien haben einen Abstand von 2,00 m und sind in einer Höhe von 1,80 m angebracht, was in etwa der Durchschnittsgröße eines erwachsenen Mannes entspricht (siehe Abbildung 5.9). Die somit durch die beiden Messlinien und die Wände des Mundloches begrenzte Fläche beträgt  $4,8 \text{ m}^2$ . Wie in Abbildung 5.8 zu erkennen ist, sind die beiden Linien im Auswertevideo nicht parallel, was durch die schräge Perspektive der Kamerapositionierung zu erklären ist.



**Abb. 5.8:** Mundloch 31/32 mit ausgerichteten Messlinien.

Um die Dichte im Mundloch bestimmen zu können, ist es notwendig zu ermitteln, wann eine Person das Messfeld betritt (Überschreitung  $ML_1$ ) und dieses wieder verlässt (Überschreitung  $ML_2$ ). Für den spezifischen Personenfluss ist das Überschreiten einer Messlinie (hier:  $ML_2$ ) zu erfassen. Dies erfolgte mittels eines Videoschnittprogrammes indem das aufgezeichnete Video frameweise betrachtet und jeder Messlinienübertritt einer Person in ein Tabellenkalkulationsprogramm notiert wurde. Eine Identifizierung der Personen



**Abb. 5.9:** Schematische Darstellung der Messlinien und der Kamerapositionierung

fand dabei jedoch nicht statt, sodass nur ermittelt wurde, wann eine beliebige Person eine Messlinie überschreitet. Eine personenbezogene Zeiterfassung ist mit den verwendeten technischen Mitteln schwer möglich und würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

Die ermittelten und framegenauen Ein- und Austrittszeiten wurden anschließend mit einem Makro (siehe Burghardt 2009 [3]) ausgewertet. Durch die sich im Messfeld befindende Personenanzahl wird die Dichte (vgl. Abschnitt 3.1) zu jedem Frame ermittelt. Die Bestimmung des Personenflusses erfolgt an der zweiten Messlinie  $ML_2$  und wird anschließend in den spezifischen Fluss umgerechnet. Ebenfalls wird mittels des Makros die für jedes  $\Delta frames^3$  gemittelte Dichte bestimmt.

Die bei diesem Verfahren auftretenden Messabweichungen untersuchte Burghardt in seiner Master Thesis [3]. Er wies nach, dass die Standardabweichung bei dieser Methode gering ist und vernachlässigt werden kann. Durch das framegenaue Auszählen der Messlinienüberschreitungen, im Vergleich zu Burghardt (sekundengenaue Ausmessung), ist davon auszugehen, dass Abweichungen hier noch geringer sind und werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

### 5.3.3 Ergebnisse

Nachfolgend werden die gewonnenen Messergebnisse dargestellt und entsprechend erläutert. Dies erfolgt durch das Auftragen der Kenngrößen  $\rho$  und  $J_S$  in Abhängigkeit der Zeit separat für jede Messung. Ebenfalls werden alle gewonnen Messwerte in einem Fundamentaldiagramm  $J_S(\rho)$  dargestellt. In Tabelle 5.3 sind die durchgeführten Feldversuche noch einmal detailliert zusammengestellt. Neben der Zuordnung zu den entsprechenden Mundlöchern sind in der Tabelle auch die in der Auswertung betrachtete Zeit sowie die während dieser Zeit gemessene Personenanzahl, welche die Tribüne über das Mundloch verlässt, notiert. Eine „Humba“, wie in Abschnitt 5.3.1 bereits erwähnt, fand nur bei den Messungen am 13.02.2011 statt.

In Abbildung 5.10 sind die Messwerte aus 13-1, welche den Zeitraum kurz nach Abpfiff des Spieles bis zur kompletten Leerung der Tribüne (bis auf wenige einzelne Besucher) beschreibt, zu sehen. Hierbei fällt auf, dass sowohl der spezifische Fluss als auch die

---

<sup>3</sup> $\Delta frames$  entspricht ca. einer Zeit von fünf Sekunden. Genauere Beschreibung siehe Burghardt 2009 [3]

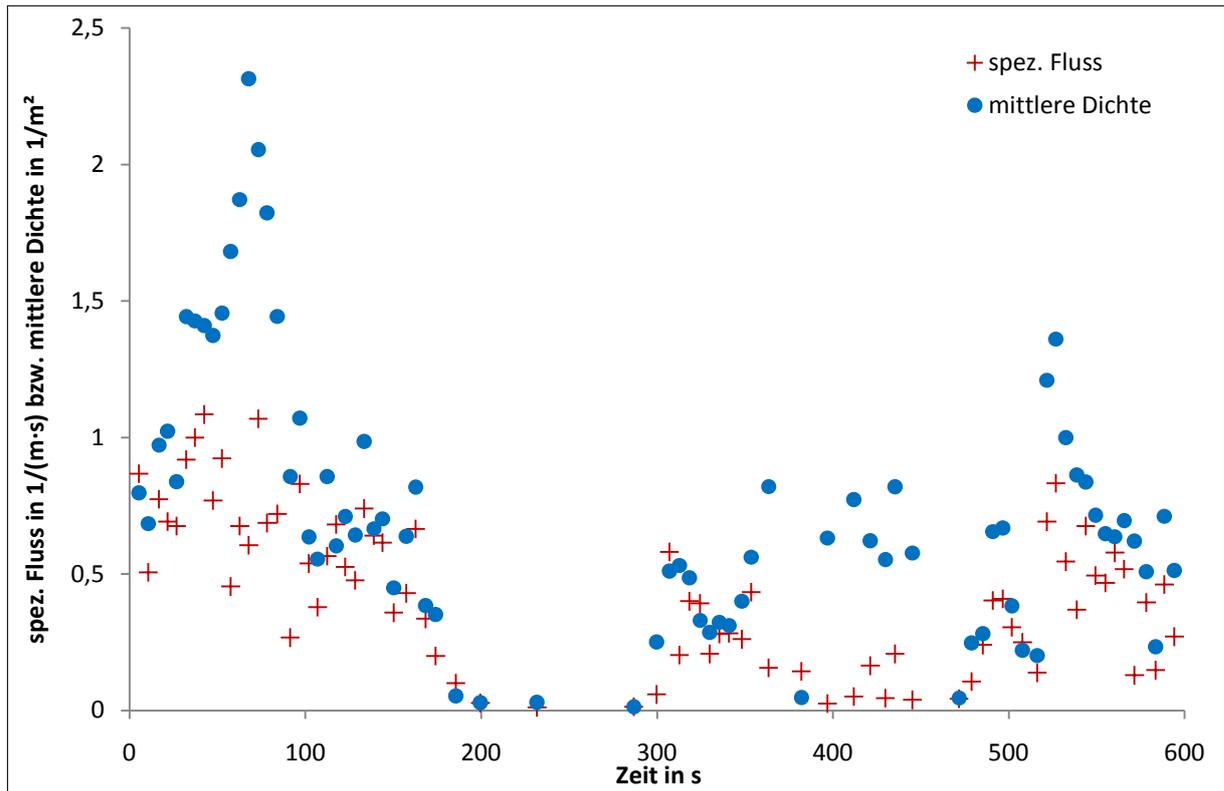
**Tab. 5.3:** Übersicht der durchgeführten Feldversuche.

Messung	Datum	Mundloch	Tribünenart	gemessene Personen $N$	betrachtete Zeit $t$ in s	Humba
13-1	13.02.2011	31/32	Sitzplatz	499	599,28	ja
27-1	27.02.2011	31/32	Sitzplatz	610	599,32	nein
27-2	27.02.2011	36/37	Stehplatz	615	576,48	nein
27-3	27.02.2011	38/39	Stehplatz	878	476,04	nein

mittlere Dichte, bei Beginn der Messung bereits bei ca.  $0,8 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$  bzw.  $\frac{1}{\text{m}^2}$  liegen, was einen Personenfluss bereits zu Beginn der Messung erkennen lässt. Dieser steigt zuerst auf den Maximalwert von ca.  $2,3 \frac{1}{\text{m}^2}$  bei der mittleren Dichte, sowie ca.  $1,1 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$  beim spezifischen Fluss an und geht anschließend (Sekunde 190) gegen Null zurück. Es folgt eine Phase in der nur wenige einzelne Personen den Block verlassen. Zwischen 300 und 360 Sekunden nach Beginn der Messung verlassen kleinere Personengruppen die Tribüne durch das Mundloch. Anschließend bleiben viele Fans auf dem Heimweg im Mundloch stehen und verfolgen die „Humba“ aus dem Messfeld heraus. Dies erklärt die mittlere Dichte von bis zu  $1,0 \frac{1}{\text{m}^2}$  bei einem Fluss von unter  $0,3 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ . Anschließend (ca. ab Sekunde 500) verlassen die restlichen Zuschauer (bis auf wenige einzelne Besucher) die Tribüne. Hierbei beträgt die maximale mittlere Dichte  $1,5 \frac{1}{\text{m}^2}$ . Der maximale spezifische Fluss liegt bei etwa  $0,9 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ .

Die bei der Messung 13-1 erfasste Personenanzahl von 499 Personen (ca. 70% der Gesamtkapazität des Blockes) zeigt über die Dauer von fast zehn Minuten, nach subjektiver Beurteilung im Bereich des Mundloches keinen Stau. Einige Fans haben die Tribüne bereits vor Abpfiff des Spieles verlassen (der Block war zu fast 100% belegt) und die restliche Menge teilt sich, auf Grund der „Humba“ auf mehrere Räumungsphasen auf. Die Räumung geschieht ohne erkennbar große Motivation in geordnetem Ablauf.

Bei den Ergebnissen von Messung 27-1, welche in Abbildung 5.11 dargestellt sind, ist ein ähnlicher Verlauf wie bei der Messung 13-1 zu erkennen. Nach Spielende beginnt eine erste Besucherwelle die Tribüne zu verlassen, welcher eine zweite Welle nach Absage (27-1) der „Humba“ folgt. Dies führt insgesamt auf Grund der kürzeren Pause zwischen den beiden Wellen zu einer zügigeren Entleerung. Der Block war an diesem Spieltag ebenfalls zu fast 100% besetzt. Bei dieser Messung wurden 610 Personen bei Überschreitung des



**Abb. 5.10:** Zeitlicher Verlauf der Messung 13-1 in Form  $J_S(t)$  und  $\rho(t)$ .

Messfeldes erfasst, was ca. 88 % der Blockkapazität entspricht. Die Motivation und der geordnete Ablauf der Räumung ist ähnlich dem vom 13.02.2011 und stellt anscheinend das typische Verhalten für Sitzplatztribünen im Normalfall dar.

In den Abbildungen 5.12 und 5.13 werden jeweils die Ergebnisse der beiden Stehplatzmundlöcher dargestellt. Bei beiden Mundlöchern wurde erst nach Absage der „Humba“ mit der Messung begonnen, da vorher nur wenige kleine Gruppen die Tribünen verlassen haben.

Bei der Messung 27-2 (siehe Abbildung 5.12) ist zu erkennen, dass der spezifische Fluss schnell auf ca.  $0,86 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$  ansteigt und diesen stationären Zustand bis zum Ende der Räumung konstant beibehält. Die mittlere Dichte steigt bei dieser Messung sofort stark an und erreicht nach ca. 58 Sekunden ihren Maximalwert von ca.  $4,0 \frac{1}{\text{m}^2}$ . Anschließend bricht sie kurzzeitig ein, was damit zu Begründen ist, dass bis zu diesem Zeitpunkt lediglich einer der beiden Türflügel am Ende des Mundloches geöffnet war. Die Öffnung des zweiten Türflügels durch einen Ordner des Sicherheitsdienstes führt zu einem kurzzeitigen Ein-

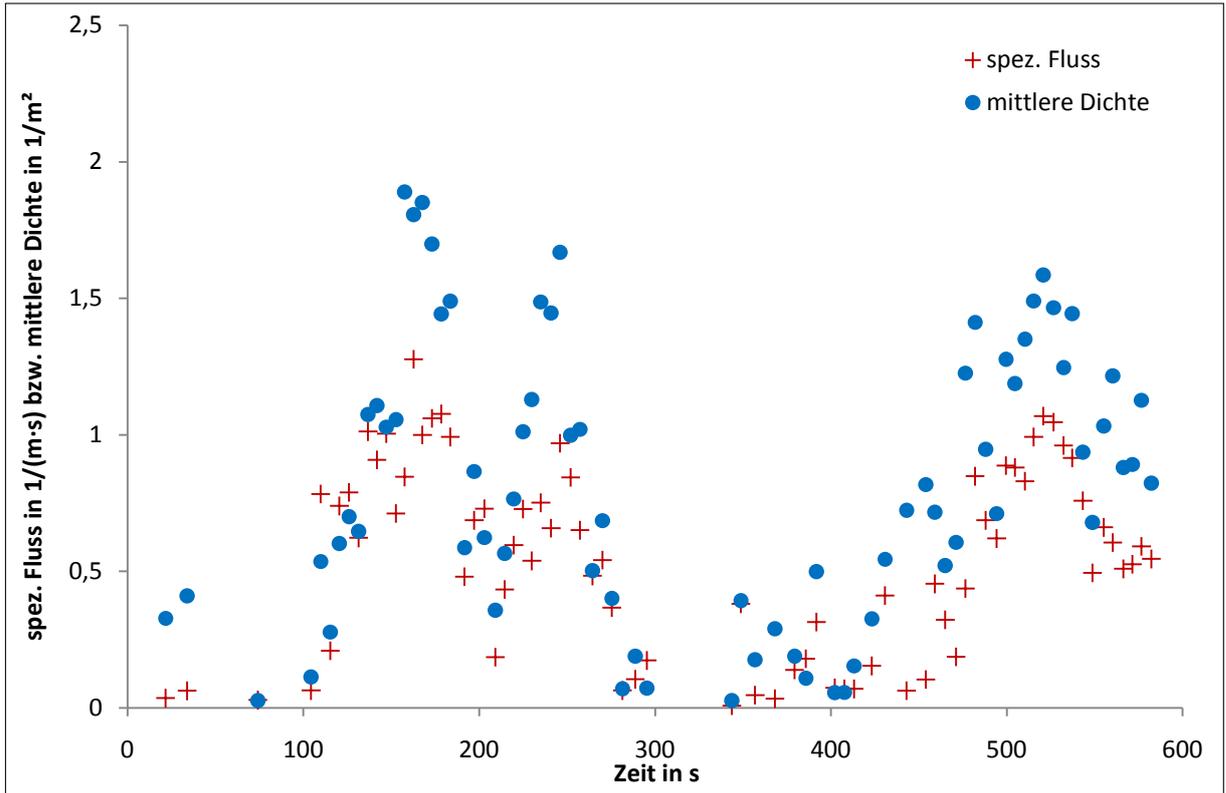


Abb. 5.11: Zeitlicher Verlauf der Messung 27-1 in Form  $J_S(t)$  und  $\rho(t)$ .

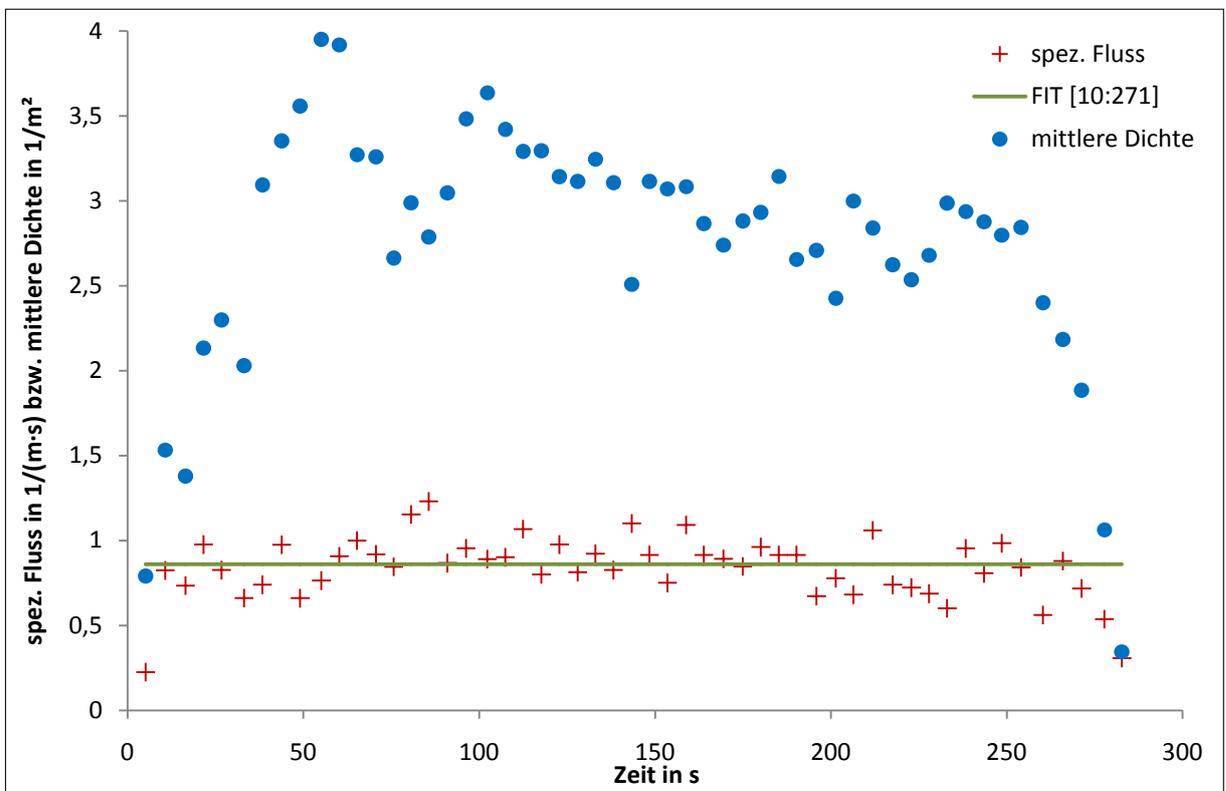
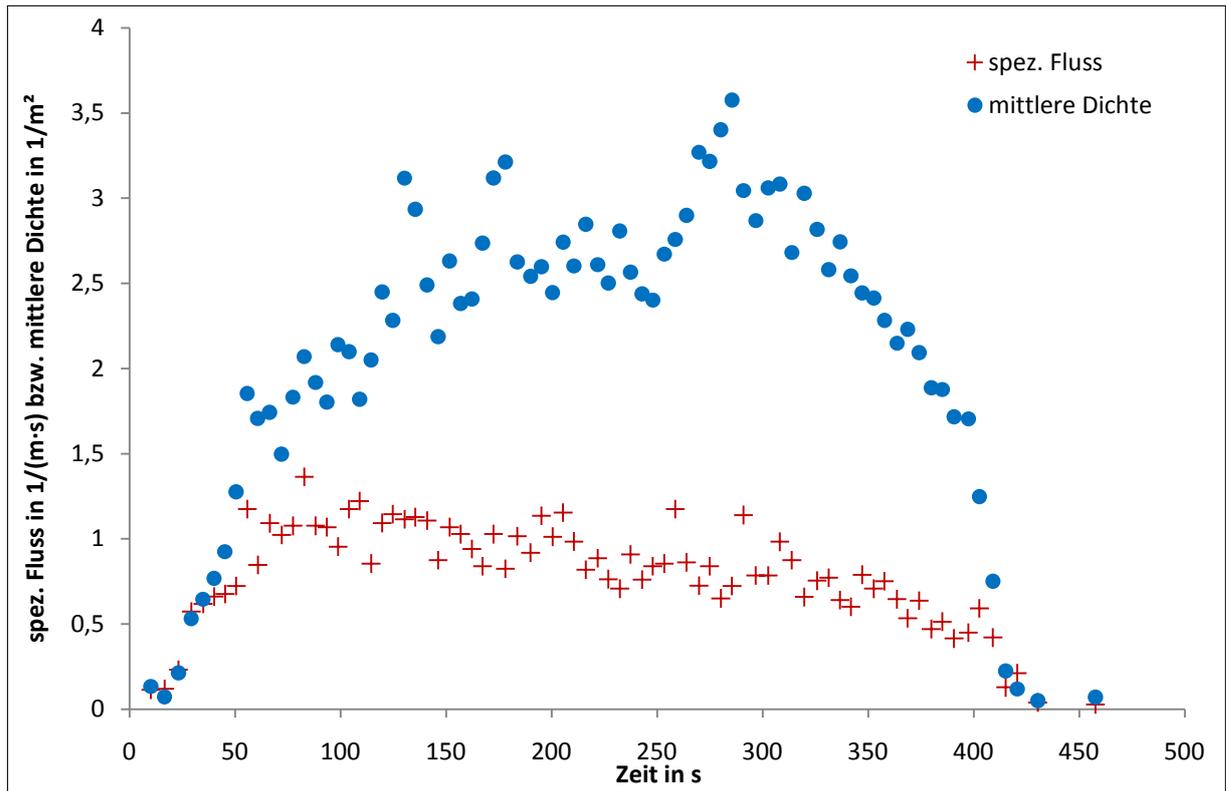


Abb. 5.12: Zeitlicher Verlauf der Messung 27-2 in Form  $J_S(t)$  und  $\rho(t)$ .



**Abb. 5.13:** Zeitlicher Verlauf der Messung 27-3 in Form  $J_S(t)$  und  $\rho(t)$ .

bruch der Dichte, welche anschließend (Sekunde 100) wieder leicht ansteigt. Im weiteren Verlauf der Messung bis ca. Sekunde 250 schwankt die Dichte in einem Bereich von  $2,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  und  $3,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  mit abnehmender Tendenz, bis sie stark auf Null abfällt.

Diese abnehmende Tendenz ist damit zu begründen (subjektiv), dass die Personen, welche eine hohe Motivation zeigen, die Tribüne zeitnah zu verlassen, sich schon vor Räumungsbeginn in Mundlochnähe bewegen. Durch die zu Beginn der Räumung hohe Anzahl dieser hoch motivierten Personen entsteht zuerst eine hohe Dichte, welche anschließend abnimmt, da immer weniger Personen mit hoher Räumungsmotivation sich auf der Tribüne befinden. Die restlichen Personen zeigen (subjektiv) eine geringere Motivation, die Tribüne schnellstmöglich zu verlassen.

Im zeitlichen Verlauf der Messung 27-3 (siehe Abbildung 5.13) steigt der spezifische Fluss ebenfalls schnell an. Jedoch erreicht er höhere Werte und ist nicht so konstant wie bei der Messung 27-2. Nach seinem Maximalwert von knapp  $1,5 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$  beginnt er gleich wieder schwach zu sinken, bis er gegen Ende der Räumung ebenfalls auf Null abfällt. Auch bei der mittleren Dichte besteht ein Unterschied zur Messung 27-2. Sie steigt flacher

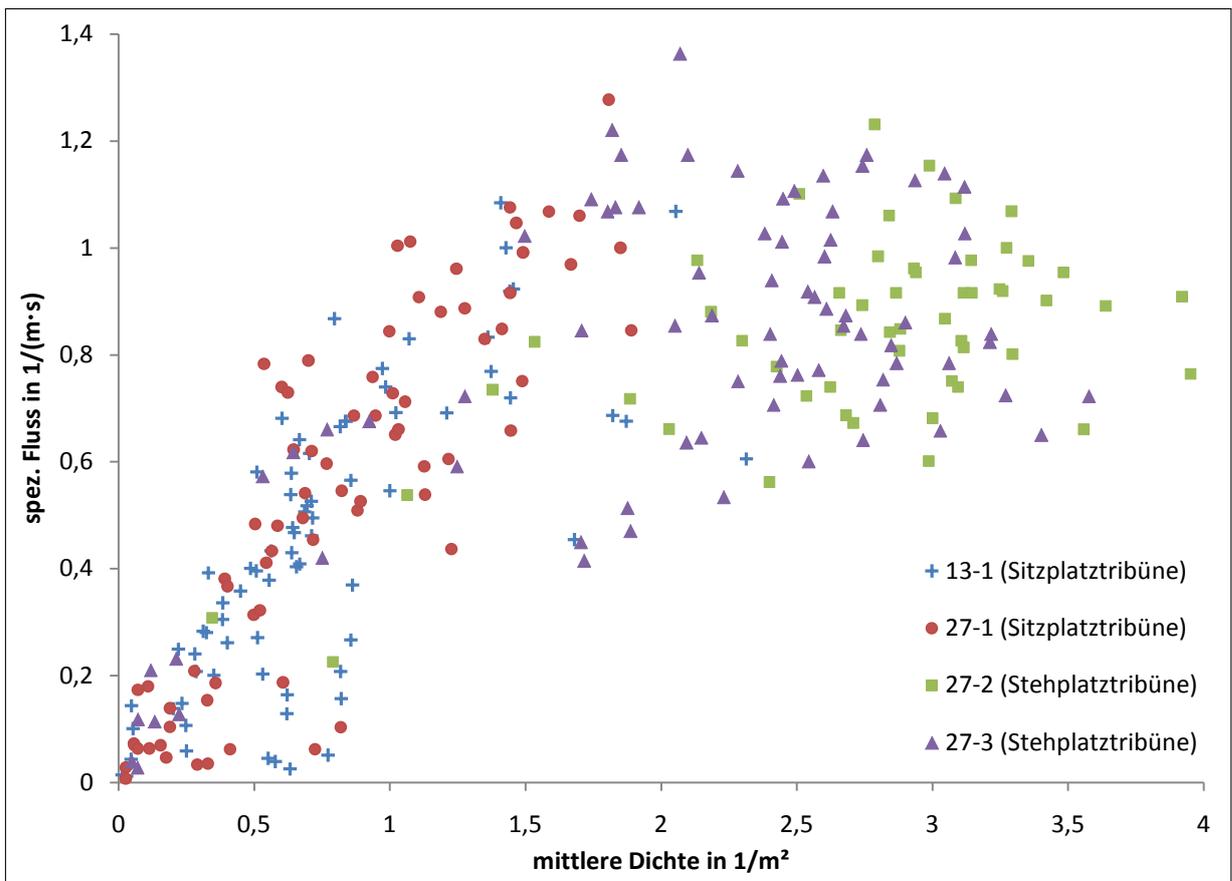
an und erreicht erst nach 130 Sekunden ein vergleichbares Niveau wie bei dem anderen betrachteten Stehplatzmundloch. Bei der Betrachtung des Videos ist zu erkennen, dass bis zu diesem Zeitpunkt neben dem Ordner des Sicherheitsdienstes auf der einen Seite des Mundloches auf der anderen Seite ebenfalls Personen stehen, welche sich gegen den Strom (in Richtung Tribüne) bewegen möchten. Dieses Vorhaben wird ca. 130 Sekunden nach Beginn der Messung aufgegeben und die Personen strömen mit dem Strom aus dem Mundloch. Nun steht fast die gesamte Breite des Mundloches (Verengung durch den Ordner im Mundloch bleibt bestehen) zur Verfügung. Eine Erhöhung der mittleren Dichte im Zeitraum von 260 bis 290 Sekunden ist subjektiv auch auf dem Video wahrnehmbar. Jedoch ist hierfür keine Grund zu erkennen. Möglicherweise stagniert der Abfluss der Personen hinter der Tür am Ende des Mundloches. Dieser Bereich ist jedoch auf der Videoaufnahme nicht einsehbar. Nachdem dieser Maximalwert von über  $3,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  erreicht ist, fällt die mittlere Dichte anschließend auf Grund des Räumungsendes stark ab.

Generell ist zu beobachten, dass die Motivation des Verlassens der beiden Stehplatztribünen höher zu sein scheint. Es kommt im Gegensatz zum Sitzplatzmundloch zu einem kleinen Gedränge.

Bei allen vier durchgeführten Messungen gibt es Personen, die sich entgegen der Fluchtrichtung durch das Mundloch in Richtung Tribüne bewegen. Diese Bewegungen wurden nicht gezählt. Ebenfalls gibt es Personen, welche die  $ML_2$  auf diese Weise überschreiten, dann im Messfeld stehen bleiben und nach einer kurzen Zeit umkehren und das Mundloch in Richtung Ausgang verlassen. Hierbei überschreiten sie zweimal die  $ML_2$ , jedoch nicht die  $ML_1$ , was ebenfalls zu keiner Erfassung dieser Personen führt. Bei den erfassten Fußballfans, welche sich durch das Messfeld bewegen, kommt es bei vereinzelt dazu, dass sie in dem Mundloch stehen bleiben und erst nach einer gewissen Zeit ihren Weg fortsetzen.

Die ermittelten Messwerte wurden ebenfalls in einem Fundamentaldiagramm (siehe Abbildung 5.14) dargestellt. Hierin sind recht gute Übereinstimmungen zwischen den beiden Messungen an den Sitzplatzmundlöchern (13-1 und 27-1), aber auch zwischen den Messwerten der Stehplatzmundlöcher (27-2 und 27-3) zu erkennen.

Trotz des unterschiedlichen zeitlichen Verlaufes der Messungen 13-1 und 27-1 scheint der Zusammenhang aus mittlerer Dichte und spezifischem Fluss bei beiden Messungen



**Abb. 5.14:** Das Fundamentaldiagramm der vier Messungen.

relativ gleich zu sein. An dem Sitzplatzmundloch konnte an beiden Tagen keine höhere mittlere Dichte als  $2,3 \frac{1}{\text{m}^2}$  festgestellt werden.

Generell ist festzustellen, dass bei den Stehplatzmundlöchern höhere Dichten als bei den Sitzplatzmundlöchern ermittelt wurden. Bei den beiden Stehplatzmundlöchern konnte eine maximale mittlere Dichte von knapp  $4,0 \frac{1}{\text{m}^2}$  ermittelt werden. Der durchschnittliche maximale spezifische Fluss liegt bei allen vier Messungen etwa bei  $1,2 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ .

Bei den Messungen 13-1, 27-1 und 27-3 ist bis zu einer mittleren Dichte von ca.  $1,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  ein linearer Anstieg des spezifischen Flusses zu sehen. Die mittleren Dichten der drei Messungen haben in diesem Bereich einen ähnlichen spezifischen Fluss. Die Messung des anderen Stehplatzmundloches (27-2) lässt ebenfalls einen linearen Anstieg des spezifischen Flusses erkennen, jedoch ist dieser Anstieg flacher als bei den anderen drei Messungen. Ebenfalls sind bei der Messung 27-2 deutlich weniger Messwerte in dem niedrigen Dichtebereich vorhanden.

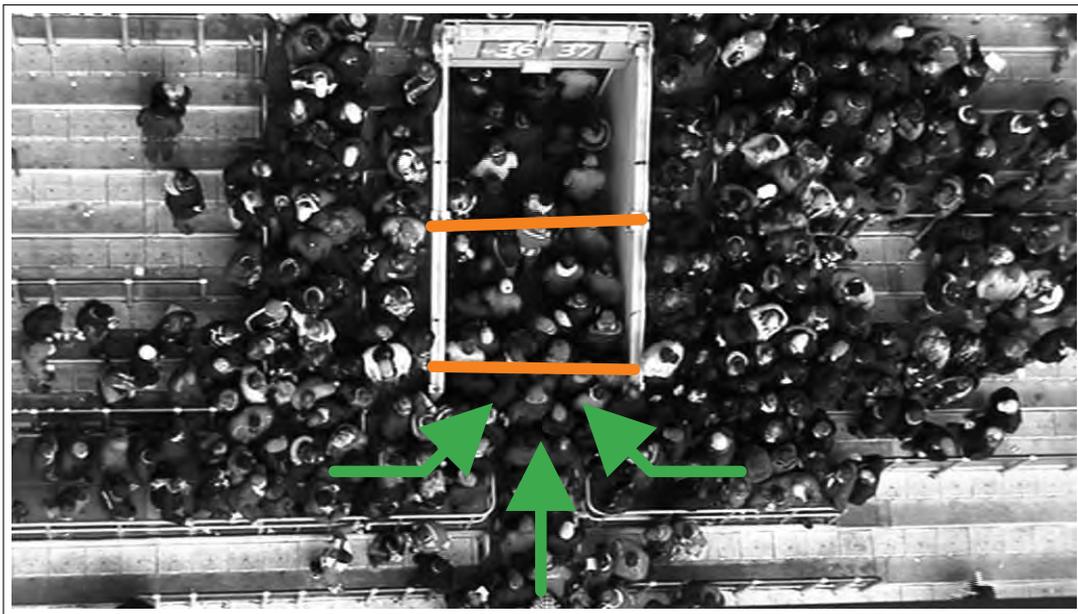
In dem Bereich mit einer mittleren Dichte zwischen  $0,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  und  $0,9 \frac{1}{\text{m}^2}$  gibt es jedoch abweichende Werte von den linearen Anstiegen. Dies ist vermutlich damit zu begründen, dass Personen im Mundloch freiwillig stehen geblieben oder langsamer gegangen sind. Auch der weitere Verlauf oberhalb einer mittleren Dichte von  $1,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  zeigt zwischen den ermittelten Werten der beiden Stehplatzmundlöcher einen ähnlichen Verlauf. Ab einer Dichte von ca.  $3,5 \frac{1}{\text{m}^2}$  lässt sich eine abfallende Tendenz des spezifischen Flusses erahnen.

## **5.4 Vergleich der abgeschätzten Räumungszeiten mit empirischen Ergebnissen**

Vergleicht man die in der MVStättV vorgegebenen Angaben zur Ermittlung der Räumungszeit mit den empirischen Ergebnissen, so stellt man gewisse Differenzen fest. Durch die Vorgabe in der MVStättV ergibt sich, wie in Abschnitt 5.2 bereits genannt, ein spezifischer Fluss von  $1,39 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ . In den durchgeführten Messungen bei normalen Räumungen nach Spielende konnte jedoch nur an einem Mundloch (38/39) kurzfristig dieser spezifische Fluss festgestellt werden. Bei einer richtigen Evakuierung, bei der von einer höheren Motivation auszugehen ist, wird er vermutlich höher liegen als unter den untersuchten Normalbedingungen. Kommt es auf Grund der gesteigerten Motivation jedoch zu stärker-

ren Stauungen, nimmt der Fluss ab und es dauert erheblich länger als in der MVStättV angenommen. In wie weit sich die in dem Mundloch stehen bleibenden Personen auf die Räumungszeit auswirken ist leider nicht ersichtlich.

Beim Betrachten der Videos ist jedoch zu erkennen, dass die Vereinigung der drei Personenströme (Reduzierung von drei mal 1,2 m auf insgesamt 2,6 m) direkt vor dem Mundloch (siehe Abbildung 5.15), zur Reduzierung des Flusses führen. Im Mundloch selbst ist nur noch ein homogener Personenstrom erkennbar (subjektiv).



**Abb. 5.15:** Vereinigung der drei Personenströme direkt vor dem Mundloch (hier: 36/37).

Die im Rahmen dieser Arbeit abgeschätzten Räumungszeiten sind somit vorsichtig zu betrachten. Der zur Berechnung herangezogene Wert des spezifischen Flusses von  $1,39 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$  konnte in den durchgeführten Feldversuchen nicht konstant nachgewiesen werden.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich die Bauweise von Fußballstadien im Laufe der Zeit sehr verändert hat. Die größten und aufwändigsten Stadien entstanden während der NS-Zeit oder vor Fußballweltmeisterschaften in Deutschland. Die Veränderung in der Besucherkapazität der einzelnen Stadien lässt sich nicht, wie anfangs vermutet, mit einer Aussage wie „Fußballstadien werde im Laufe der Zeit immer größer“ beschreiben. Viel mehr ist bei einem Großteil der Stadien eine gegenteilige Entwicklung festzustellen. Nur die Stadien der derzeit erfolgreichen Bundesligavereine sowie die ehemaligen WM-Austragungsorte haben in den letzten Jahren eine Steigerung der Besucherkapazität erfahren können. Somit ist der Erfolg des Fußballvereins sehr eng mit der Entwicklung des Stadions verbunden. Neben der Veränderung des Fassungsvermögens wurde der Komfort in den Stadien in den letzten Jahren, gerade in den modernen Multifunktionsarenen, gesteigert. Dieser Trend hält nach wie vor an.

Es ist davon auszugehen, dass das maximale Fassungsvermögen nicht wesentlich steigen wird, da leere Stadien bei normalen Bundesligaspielen keine Stimmung aufkommen lassen und die nächste WM oder EM in Deutschland nicht absehbar ist. Im Komfort- und Luxusbereich ist das Ende der Fahnenstange sicherlich noch nicht erreicht.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass wir heute in den modernen und komplexen Gebäuden einer Multifunktionsarena versuchen, eine Evakuierungszeit von unter sechs Minuten zu erreichen. Das Amphitheatrum Flavium in Rom, welches mittlerweile fast 2.000 Jahre alt ist, konnte man nach aktuellen Berechnungen in nur fünf Minuten vollständig räumen [1]. Auch dort gab es bereits Fan-Shops, VIP-Bereiche und eine multifunktionale Nutzung (vgl. N24-Dokumentation [27]).

Der Vergleich ausgewählter Bundesligastadien zeigte große Unterschiede in Bezug auf Zu-

schauerplätze pro Mundlochbreite. Auch ein Zusammenhang mit dem Baujahr ist nicht auszumachen. So ist sowohl das Stadion mit der höchsten als auch das Stadion mit der niedrigsten Räumungszeit erst wenige Jahre alt. Das angewendete Messverfahren und die Tatsache, dass die einzelnen Evakuierungskonzepte der betrachteten Stadien nicht bekannt sind, führen dazu, dass die Werte vorsichtig zu betrachten sind. Jedoch zeigen sie eine entsprechende Tendenz auf. Für die normale Entleerung nach einer Veranstaltung sind zusätzliche Ausgänge jedoch nicht vorgesehen, sodass die ermittelten Raten in diesen Fällen die Unterschiede gut darstellen.

Bei den durchgeführten Feldversuchen konnten keine entsprechend hohen spezifischen Flüsse nachgewiesen werden, sodass der Eindruck entsteht, dass die angegebenen Werte in der Realität nicht erreicht werden könnten. Aber auch hier ist zu hinterfragen, in wie fern diese Daten mit einer realen Evakuierung zu vergleichen sind. Es sind wesentlich mehr Messungen dieser Art notwendig, um hier eine Aussage mit entsprechender Qualität liefern zu können. Ebenfalls sind hier Aufnahmen unterschiedlicher Stadien erforderlich, da die anzutreffenden Geometrien teils sehr unterschiedlich sind. Dies ist jedoch in der vorgegebenen Bearbeitungszeit dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Weiter wäre ein anschließender Vergleich der ermittelten Werte mit den Ergebnissen des Hermes-Projektes<sup>1</sup> interessant.

---

<sup>1</sup>siehe: <http://www2.fz-juelich.de/jsc/appliedmath/ped/projects/hermes>

# Literaturverzeichnis

- [1] BORCHERS, Detlef ; KURI, Jürgen: WM 2006: Fußball ist eine Frage der Technik. In: *heise online* (2006). <http://www.heise.de/newsticker/meldung/WM-2006-Fussball-ist-eine-Frage-der-Technik-176141.html>
- [2] BROWN, Jim ; DELMONT, Ron ; BOTTA, Charles ; RUBEN, Reddy ; RAGAIN, Ed ; BEYNON, Murray ; DUNNE, Frank (Hrsg.): *Fussballstadien: Technische Empfehlungen und Anforderungen*. FIFA, 2007 (4. Auflage). – ISBN 978-3-9523264-3-5
- [3] BURGHARDT, Sebastian: *Analyse und vergleichende Untersuchung zum Fundamentaldiagramm auf Treppen*, Bergische Universität Wuppertal, Master Thesis, 2009
- [4] DFB: *Stadionhandbuch*. 2009
- [5] DFL DEUTSCHE FUSSBALL LIGA: *Stadion-Guide*. <http://www.bundesliga.de/de/liga/stadien/index.php>. Version: 2011. – [Online; Stand 16. März 2011]
- [6] ESPRIT ARENA: *A bis Z - Fakten und Zahlen*. [http://www.espritarena.de/de/list/3\\_2\\_0/content](http://www.espritarena.de/de/list/3_2_0/content). Version: 2011. – [Online; Stand 11. Mai 2011]
- [7] FIFA: *Sicherheitsreglement*. 2008
- [8] FLICKR: *flickr – die wahrscheinlich beste Online-Fotoplattform der Welt*. <http://www.flickr.com/>. Version: 2011. – [Online; Stand 25. April 2011]
- [9] GASPAR, Claudia: Werte im Wandel: das Sicherheitsbedürfnis steigt. In: *GfK-Nürnberg e.V.* (2010)
- [10] GOOGLE INC.: *Google Street View-Galerie – Fußballstadien in Deutschland*. <http://maps.google.de/intl/de/help/maps/streetview/gallery/index.html#fuballstadien>. Version: 2011. – [Online; Stand 16. März 2011]

- [11] GUTTMANN, Allen: Sports spectators from antiquity to the renaissance. In: *Journal of Sport History* 8 (1981), Nr. 2, S. 5–27
- [12] MURAS, Udo: *WELT online: Ein bißchen Frieden nach der Tragödie von Heysel*. [http://www.welt.de/print-welt/article563540/Ein\\_bisschen\\_Frieden\\_nach\\_der\\_Tragedie\\_von\\_Heysel.html](http://www.welt.de/print-welt/article563540/Ein_bisschen_Frieden_nach_der_Tragedie_von_Heysel.html). Version: 2005. – [Online; Stand 13. April 2011]
- [13] N-TV: *Bombenalarm bei Real Madrid – Im Januar wird zu Ende gespielt*. <http://www.n-tv.de/sport/Im-Januar-wird-zu-Ende-gespielt-article75729.html>. Version: 2004. – [Online; Stand 22. April 2011]
- [14] PENTZ, Jannik ; KÖSTER, Philipp: Fußballtragödie von Hillsborough - Tod am Zaun. In: *einestages.spiegel.de* (2009). [http://einestages.spiegel.de/static/topicalbumbackground/3962/tod\\_am\\_zaun.html](http://einestages.spiegel.de/static/topicalbumbackground/3962/tod_am_zaun.html)
- [15] PREDTETSCHENSKI, W. M. ; MILINSKI, A. I.: *Personenströme in Gebäuden – Berechnungsmethoden für die Projektierung*. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, 1971
- [16] SKRENTNY, Werner (: *Das große Buch der deutschen Fußballstadien*. Göttingen : Verl. Die Werkstatt, 2010. – 398 S. – ISBN 978–3–89533–668–3
- [17] TAYLOR, Peter: *The Hillsborough Stadium Disaster – Final Report / Secretary of State for the Home Department*. 1990. – Forschungsbericht
- [18] THOMAS, Maike: *Personenströme auf Tribünen - Vergleichende Untersuchung mit makroskopischen und mikroskopischen Modellen*, Bergische Universität Wuppertal, Master Thesis, 2011
- [19] UEFA: *Stadioninfrastruktur-Reglement*. 2010
- [20] WEIDMANN, Ulrich: *Transporttechnik der Fussgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturstudie)*. ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, 1993. – Forschungsbericht
- [21] WIELAND, Torsten: *Die Zuschauerstatistik*. <http://koenigsblog.net/2010/05/20/die-zuschauerstatistik-ixvii/>. Version: 2010. – [Online; Stand 09. Mai 2011]

- [22] WIKIPEDIA: *Signal Iduna Park* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Signal\\_Iduna\\_Park&oldid=87384111](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Signal_Iduna_Park&oldid=87384111).  
Version: 2011. – [Online; Stand 11. April 2011]
- [23] WIKIPEDIA: *Stadion Rote Erde* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Stadion\\_Rote\\_Erde&oldid=86368314](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Stadion_Rote_Erde&oldid=86368314).  
Version: 2011. – [Online; Stand 10. April 2011]
- [24] WIKIPEDIA: *Valley-Parade-Feuerkatastrophe* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Valley-Parade-Feuerkatastrophe&oldid=84936019>.  
Version: 2011. – [Online; Stand 13. April 2011]
- [25] WIKIPEDIA: *Weißer Wiese* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wei%C3%9Fe\\_Wiese&oldid=83387739](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wei%C3%9Fe_Wiese&oldid=83387739).  
Version: 2011. – [Online; Stand 10. April 2011]
- [26] YOUTUBE: *Desalojo del Santiago Bernabéu por amenaza de bomba (El Día Después)*.  
<http://www.youtube.com/watch?v=TKemcZahubM>. Version: 2004. – [Online; Stand 23. April 2011]
- [27] YOUTUBE: *Dokumentation: Das Kolloseum in Rom. N24*. <http://www.youtube.com/watch?v=0t0jCgv53Uo>. Version: 2007. – [Online; Stand 21. April 2011]