



## Dynamik von Personenströmen in Sportstadien

Sebastian Burghardt

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institute for Advanced Simulation (IAS)  
Jülich Supercomputing Centre (JSC)

# **Dynamik von Personenströmen in Sportstadien**

Sebastian Burghardt

Schriften des Forschungszentrums Jülich

IAS Series

Volume 18

---

ISSN 1868-8489

ISBN 978-3-89336-879-2

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xi
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau	2
1.3 Forschungsprojekt «HERMES»	3
<b>2 Historische Entwicklung der Fußballstadien</b>	<b>5</b>
2.1 Vom Vereinsplatz zur Multifunktionsarena	5
2.2 Historische Entwicklung der Besucherkapazität	9
2.3 Aktuelle Verordnungen und Normen	11
2.4 Vergleich von Ausgangsbreiten im Tribünenbereich	14
<b>3 Methodik</b>	<b>19</b>
3.1 Feldstudien und Experimente unter Laborbedingungen	19
3.2 Extrahieren von Trajektorien	20
3.3 Messmethoden	21
3.3.1 Makroskopische Analyse	21
3.3.2 Mikroskopische Analyse	23
3.3.3 Vergleich der Messmethoden	24
<b>4 Leistungsfähigkeit von Treppen</b>	<b>27</b>
4.1 Stand des Wissens	27
4.1.1 Planungshandbücher	28
4.1.1.1 Predtetschenski und Milinski: «Personenströme in Gebäuden»	28
4.1.1.2 Weidmann: «Transporttechnik der Fußgänger»	30
4.1.1.3 Nelson und Mowrer: «Emergency Movement»	32
4.1.1.4 Fruin: «Pedestrian Planning and Design»	34
4.1.1.5 Vergleich der Fundamentaldiagramme	36
4.1.2 Experimentelle Daten	39
4.2 Eigene Experimente	41
4.2.1 Aufbau und Geometrie	42
4.2.2 Feldstudien	46
4.2.3 Experimente unter Laborbedingungen	47
4.2.3.1 Stationärer Zustand	48
4.2.3.2 Fundamentaldiagramm	49
4.2.3.3 Kartendarstellung der Basisgrößen	51
4.3 Zusammenfassung	53

<b>5</b>	<b>Fußgängerverkehr auf Tribünen</b>	<b>55</b>
5.1	Einleitung . . . . .	55
5.2	Unterschiedliche Personenführung auf Tribünen . . . . .	56
5.3	Eigene Experimente . . . . .	58
5.3.1	Experimente unter Laborbedingungen . . . . .	59
5.3.1.1	Aufbau und Geometrie . . . . .	59
5.3.1.2	Analyse . . . . .	62
5.3.1.3	Unterschiedliche Tribünenneigung . . . . .	64
5.3.1.4	Positionierung von Ordnern . . . . .	65
5.3.1.5	Verhältnis der akkumulierten Breiten der Zuwege zur Ausgangs- breite . . . . .	67
5.3.1.6	Unterschiedliche Startdichte . . . . .	68
5.3.1.7	Personendichte im Mundloch . . . . .	68
5.3.2	Feldstudien . . . . .	69
5.3.2.1	ESPRIT arena in Düsseldorf . . . . .	70
5.3.2.2	BORUSSIA-PARK in Mönchengladbach . . . . .	72
5.4	Zusammenfassung . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Validierung von Computersimulationen</b>	<b>77</b>
6.1	Übersicht zu FDS+Evac . . . . .	78
6.1.1	Bewegungsmodell der Agenten . . . . .	79
6.1.2	Einstellungen . . . . .	81
6.2	Simulation und Vergleich einfacher Geometrien . . . . .	82
6.2.1	Korridor . . . . .	83
6.2.1.1	Trajektorien . . . . .	83
6.2.1.2	Fundamentaldiagramm . . . . .	84
6.2.1.3	Kartendarstellung der Basisgrößen . . . . .	85
6.2.2	T-Kreuzung . . . . .	86
6.2.2.1	Trajektorien . . . . .	86
6.2.2.2	Fundamentaldiagramm . . . . .	87
6.2.2.3	Kartendarstellung der Basisgrößen . . . . .	88
6.2.3	Ecke . . . . .	90
6.2.3.1	Trajektorien . . . . .	90
6.2.3.2	Fundamentaldiagramm . . . . .	91
6.2.3.3	Kartendarstellung der Basisgrößen . . . . .	92
6.3	Simulation und Vergleich ausgewählter Experimente auf der Tribüne . . . . .	94
6.3.1	Unterrang . . . . .	95
6.3.1.1	Experiment MU5 . . . . .	95
6.3.1.2	Experiment MU1 . . . . .	96
6.3.1.3	Experiment MU1v2 . . . . .	97
6.3.2	Oberrang . . . . .	98
6.3.2.1	Experiment MO5 . . . . .	98
6.3.2.2	Experiment MO1 . . . . .	99
6.3.2.3	Experiment MO1v2 . . . . .	99
6.4	Zusammenfassung . . . . .	100
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>103</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>111</b>

Die Auslegung und Dimensionierung von Rettungswegen im Tribünenbereich beeinflusst maßgeblich den gesamten Räumungsprozess eines Fußballstadions. Um den Fußgängerverkehr auf Tribünen gezielt untersuchen zu können, wurden Experimente unter Laborbedingungen mit bis zu 300 Personen in der ESPRIT arena in Düsseldorf durchgeführt. Ergänzend fanden Feldstudien in demselben Stadion und dem BORUSSIA-PARK in Mönchengladbach statt. Im ersten Teil der Dissertation wird eine umfassende Literaturrecherche zur Fußgängerdynamik auf Treppen präsentiert. Basierend auf präzisen Trajektorien aus den eigenen Experimenten erfolgt die Herleitung des Fundamentaldiagramms. Die räumliche Abhängigkeit der Basisgrößen Geschwindigkeit, Dichte und spezifischer Fluss auf einer Treppe wird analysiert. Verschiedene Auswirkungen auf den Personenfluss und die Dichte im Mundloch – Steh- oder Sitzplatzbereich, unterschiedliche Tribünenneigung, Positionierung von Sicherheitspersonal – werden im zweiten Teil der Arbeit quantifiziert. Aufbauend auf dieser Datenbasis und den gewonnenen Erkenntnissen erfolgt im letzten Teil der Dissertation die Validierung einer Computersimulation. Es wird verdeutlicht, welche Aspekte bei der Validierung eines raumkontinuierlichen Modells zu berücksichtigen sind. Der Vergleich von Simulationsergebnissen mit experimentellen Daten liefert Rückschlüsse auf die Realitätsnähe der verwendeten Software.

Diese Publikation wurde vom Jülich Supercomputing Centre (JSC) herausgegeben, einem Teilinstitut des Institute for Advanced Simulation (IAS). Das IAS vereint Simulationswissenschaften und Supercomputing unter einem Dach. Es umfasst diejenigen wissenschaftlichen Institute des Forschungszentrums Jülich, die Simulationen auf Supercomputern als vorrangigste Forschungsmethode verwenden.