

# Berechnung von Entleerungszeiten für Fallbeispiele

**T 3124**

T 3124

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006

ISBN-10: 3-8167-7259-5

ISBN-13: 978-3-8167-7259-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

## Forschungsbericht

Forschungsprojekt	<b>Berechnung von Entleerungszeiten für Fallbeispiele</b>
Auftraggeber:	<b>Deutsches Institut für Bautechnik</b> Kolonnenstrasse 30 L 10829 Berlin
DIBt Nr.	<b>ZP 52-5-4.162-1214/05</b>
Berichtsnummer KK:	514-301
Erstellt von:	Dr.-Ing. M. Kersken Dipl.-Ing. N. Waldau Dipl.-Ing. Arch. T. Hoffmann
München, den	06.09.2006

**Geschäftsführung**  
Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley  
Dipl.-Ing. (FH) Walter Schaub  
Dipl.-Ing. (FH) Udo Kirchner  
Sitz der Gesellschaft ist München  
Registergericht AG München  
HRB 104031

**Bankverbindung**  
HypoVereinsbank München  
BLZ 700 202 70  
Konto 44 101 801 41  
IBAN: DE69700202704410180141  
SWIFT (BIC): HYVEDEMMXXX

## Gliederung

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Aufgabenstellung	4
1.2	Zeitangaben	4
1.3	Definition Entleerungszeit	5
<b>2</b>	<b>Flüsse und Spurbreiten</b>	<b>6</b>
2.1	Entwicklungen in US und UK Codes	6
2.2	Konzept der Spurbreite	7
2.3	Türbreiten und Flüsse	8
2.4	Spurbreiten der MVStättV	10
2.5	Richtwerte für spezifische Flüsse	11
2.6	Besonderheiten von NFPA 101 Life Safety Code	13
<b>3</b>	<b>Berechnung der Entleerungszeiten</b>	<b>14</b>
3.1	Allgemeines	14
3.2	Eingesetzte Simulationsmodelle	15
3.2.1	Modell <i>PedGo</i>	15
3.2.2	Modell <i>ASERI</i>	16
3.2.3	Modell <i>buildingEXODUS</i>	17
3.2.4	Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verwendeten Modelle	18
3.2.5	Akzeptanz von Simulationsmodellen	18
3.3	Vorgehensweise	19
3.4	Rettungswegbreiten	19
3.4.1	Skalierung von Wegbreiten	19
3.4.2	Ausgangsindex	21
3.5	Fallbeispiele	22
<b>4</b>	<b>Globale Auswertung Versammlungsräume</b>	<b>23</b>
4.1	Allgemeines	23
4.2	Einfluss Simulationsmodell	24
4.2.1	Ergebnisvergleich ASERI Standardeinstellungen mit ASERI 40/40cm	24
4.2.2	Ergebnisvergleich ASERI und PedGo	26
4.2.3	Ergebnisvergleich PedGo und buildingEXODUS	28
4.2.4	Folgerungen	28
4.3	Verteilung der Personen auf die Ausgänge	29
4.4	Stehplätze	37
4.4.1	Anordnung der Ausgänge	37
4.4.2	Einfluss Anfangsdichte	39
4.4.3	Einfluss Ausgangsbreiten	41
4.4.4	Folgerungen hinsichtlich Entleerungszeiten in Gebäuden	45
4.5	Auswertung der Flüsse	45
4.5.1	Spezifische Flüsse	45
4.5.2	Maximale Spezifische Flüsse	46
4.5.3	Spezifische Flüsse je nach Bestuhlung	47
4.5.4	Globaler Fluss	48
4.5.5	Folgerung	50
<b>5</b>	<b>Detailauswertungen Versammlungsräume</b>	<b>52</b>
5.1	Reihenbestuhlung	52
5.1.1	Beispiel 2a_800P – im Gebäude	52
5.1.2	Beispiel 2b_A_2400P – im Gebäude	55

5.1.3	Beispiel 2b_B_2400P_4,8m – im Freien .....	59
5.1.4	Beispiel 2d – Theaterbestuhlung .....	62
5.2	Tischbestuhlung .....	64
5.2.1	Beispiel 3a_400 P_2,4m – im Gebäude .....	64
5.2.2	Beispiel 3b_1200 P_7,2m – im Gebäude .....	67
5.2.3	Vergleich der Beispiele für Tischbestuhlung (PedGo).....	69
5.3	Entleerungszeiten für Bestuhlung .....	72
<b>6</b>	<b>Detailauswertung Verkaufsstätte .....</b>	<b>72</b>
6.1	Modellierung .....	72
6.2	Ergebnisse buildingEXODUS .....	73
6.2.1	Entleerungszeiten .....	73
6.2.2	Einfluss der Rettungswegführung auf der Ladenstraße .....	76
6.2.3	Einfluss von Möblierungen innerhalb der Ladenstraße .....	77
6.2.4	Einfluss von Möblierung im großen Laden .....	80
6.2.5	Verhaltensmuster „avoid population density“ .....	81
6.3	Ergebnisse PedGo.....	82
<b>7</b>	<b>Parameterstudien.....</b>	<b>83</b>
7.1	Nicht Verfügbarkeit von Ausgängen .....	83
7.2	Einfluss Weglänge .....	85
7.2.1	Fallbeispiel 5: 30/60/90m mit 2 Ausgängen.....	85
7.2.2	Fallbeispiel 5: 30/60/90m - 1 Ausgang .....	90
7.2.3	Bestuhlung.....	91
7.2.4	Folgerung.....	92
7.3	Einfluss Reaktionsdauer .....	92
7.3.1	Fallbeispiel Verkaufsstätte.....	92
7.3.2	Folgerungen.....	93
7.4	Einfluss Personenverdichtungen / Stauungen.....	94
7.5	Anmerkung zu Personenzahlen.....	94
7.5.1	Stehplätze.....	94
7.5.2	Reihen- und Tischbestuhlung.....	95
7.5.3	Kategorien, Bestuhlungspläne.....	95
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>95</b>
8.1	Kriterien .....	95
8.2	Entleerungszeiten .....	96
8.3	Normative Vorgaben.....	96
8.4	Simulationsrechnung gegenüber Handrechnung .....	97
8.5	Begründung von Abweichungen.....	97
8.6	Optimierung von Rettungswegen .....	98
	<b>Bezeichnungen, Definitionen.....</b>	<b>99</b>
	<b>Literatur und Bezüge .....</b>	<b>100</b>
<b>Anlage 1</b>	Geometrien	
<b>Anlage 2</b>	Eingangsparameter der Simulationsberechnungen	
<b>Anlage 3</b>	Zusammenfassung der Simulationsberechnungen	

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Aufgabenstellung

Bauaufsichtliche Konzepte regeln die Selbstrettung und den Einsatz von Rettungs- und Löschmannschaften im wesentlichen über empirische Vorgaben zur Wegführung, zu den Wegbreiten und Weglängen. Bei diesen empirischen Vorgaben ist es nicht relevant, ob sie „nur“ zur Abwehr von Gefahren aufgrund Brandentwicklung oder auch aufgrund „anderer Ereignisse“ dienen. Wenn aber zunehmend Verlängerungen von Rettungswegen mit Brandschutzmaßnahmen begründet werden, sind die längeren Wege für andere Ereignisse nicht unbedingt kompensiert.

In verstärktem Maße werden Abweichungen von bauaufsichtlichen Vorschriften mit Evakuierungsberechnungen und den daraus resultierenden Zeiten begründet. Damit wird zum einen nur die Selbstrettung behandelt. Zum anderen geben für die Bewertung solcher Zeiten DIN EN 13200-1 und die Begründung zur MVStättV zwar Anhaltswerte, aber eine systematische Überprüfung von Entleerungszeiten, wie sie sich bei Anwendung von bestehenden Vorschriften ergeben, wurde bislang nicht durchgeführt.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden daher für Fallbeispiele, die hinsichtlich der Rettungswege den geltenden Vorschriften genügen, Entleerungszeiten ermittelt. D.h. die empirischen Vorgaben zur Wegführung und zu Weglängen werden für Fallbeispiele in Zeiten für die Selbstrettung übersetzt. Es ist dann zu untersuchen, ob die bisherigen Vorgaben - in Zeitangaben übersetzt - plausible Ergebnisse liefern und ob Zeitangaben als übergeordnete (alleinige) Kriterien zur Bewertung von Rettungswegen geeignet sein können.

Bei den Fallbeispielen erfolgt eine Beschränkung hauptsächlich auf Versammlungsräume, d.h. auf große Räume mit vielen Personen. Die Entleerungszeiten beziehen sich nur auf den Raum; Entleerungszeiten für ein Gebäude (d.h. der weitere Verlauf der Rettungswege bis ins Freie) werden nicht betrachtet. Des weiteren wird eine Verkaufsstätte mit Ladenstraße untersucht.

## 1.2 Zeitangaben

DIN EN 13200-1: 2003 für Zuschaueranlagen:

„Evakuierung im Notfall: Es sollte allen Zuschauern möglich sein, einen Sicherheitsplatz – [gemeint ist wohl ein sicherer Bereich] – in höchstens 8 Minuten für Bereiche im Freien und innerhalb höchstens 2 Minuten für Bereiche in Gebäuden zu erreichen“.

Begründung zur MVStättV:

„Das mit der Evakuierung im Gefahrenfall verfolgte Schutzziel kann jedoch nicht durch die Normung vorgegeben werden, sondern ist durch den Gesetzgeber zu bestimmen. Aus diesem Grund geht Absatz 4 [der Verordnung] von einer Entleerungszeit:

bei Tribünen im Freien von: 6 Minuten<sup>1</sup>  
und im Innenraum von : 2 Minuten  
aus“.

---

<sup>1</sup> auf 6 Minuten abgemindert, da DIN EN 13200-1 Fassung August 2001 bei Ansatz von 8 Minuten eine Risikobetrachtung forderte



Ein Rückstau auf dem weiteren Rettungsweg nach Verlassen des untersuchten Raumes wird nicht betrachtet. Entscheidend sind die Rettung aus dem Gefahrenbereich und das Erreichen eines sicheren Bereiches. Im Rahmen von ganzheitlichen Betrachtungen bei der Anwendung ist der weitere Verlauf der Rettungswege allerdings mit einzubeziehen.

5

Entleerungszeiten gelten für den Normalfall, in dem alle Fluchrichtungen/Ausgänge verfügbar sind.

10

Entleerungszeiten können stark vereinfachend mit Handrechenverfahren aufgrund von Durchlasskapazitäten und Laufgeschwindigkeiten, die normativ vorgegeben (z.B. NFPA 130) oder aus der Literatur entnommen sein können, abgeschätzt werden, vgl. z.B. [PM], [PAULS], [NEL]. Zunehmend kommen Simulationsmodelle zur Anwendung.

15

## 2 Flüsse und Spurbreiten

### 2.1 Entwicklungen in US und UK Codes

20

Ungeachtet der Probleme, einzelne Vorgaben aus Regelwerken isoliert zu betrachten, ist nachfolgend eine tendenzielle Zusammenstellung von angenommenen Zeiten und Flüssen in früheren und heutigen US und UK Vorschriften aufgeführt, die teilweise aus Angaben von [PAULS, SFPE] herrührt und ergänzt wurde.

	<b>Zeiten „flow time“</b>	<b>Treppen angenommene Flüsse und Bemessung</b>	<b>Horizontal angenommene Flüsse und Bemessung</b>
US Life Safety Code ab 1935	1,67 Min lt. Pauls 3,5 Min	45 Personen pro Minute je 558mm = 1,3 P/(ms)	60 Personen pro Minute je 558mm = 1,8 P/(ms)
		75 Personen je 558mm	100 Personen je 558mm
US Uniform Building Code bis 1991	lt. Pauls 2,5 bis 4 Min. <sup>4</sup>	0,3m je 50 Personen <sup>5</sup>	0,3m je 50 Personen
UK bis 1971 <sup>6</sup>	2,5 Min.	40 Personen pro Minute je 533mm = 1,3 P/(ms)	40 Personen <sup>7</sup> pro Minute je 533mm = 1,3 P/(ms)
	lt. Pauls 4 Min. auf Treppen	100 Personen je 533mm	100 Personen je 533mm
UK ab 1971 <sup>8</sup>	2,5 Min. und 8 Min. im Freien	40 Personen pro Minute je 533mm = 1,3 P/(ms)	60 Personen pro Minute je 533mm = 1,9 P/(ms)
	lt. Pauls 4 Min. und 11 Min. im Freien		
US Office Buildings		45/40 Personen pro Minute je 609mm treppab/treppauf = 1,2 / 1,1 P/(ms)	60 Personen pro Minute je 609mm = 1,6 P/(ms)
NFPA 130 1986	4 Min. vom	40 Personen pro Minute je	50 Personen pro Minute je

<sup>4</sup> abhängig von der Berücksichtigung anderer Geschosse

<sup>5</sup> für Treppen: 100% eines Geschosses + 50% des nächsten + 25% der weiteren Geschosse

<sup>6</sup> begründet mit erfolgreicher Evakuierung des Empire Palace Theatre in Edinburgh 1911 in 2,5 Min.

<sup>7</sup> nicht sicher ob 40 oder 60 Personen

<sup>8</sup> aufgrund von Todesfällen im Fußballstadion Ibrox Park in Glasgow, 1971



	<b>Zeiten „flow time“</b>	<b>Treppen angenommene Flüsse und Bemessung</b>	<b>Horizontal angenommene Flüsse und Bemessung</b>
	Bahnsteig 6 Min. zum sicheren Bereich	558mm treppab =1,2 P/(ms) min a = 1,12m	558mm = 1,5 P/(ms) min a = 0,914m (Türen) min a = 1,73m (Flure)
	lt. Pauls eher 6 Min. und 8 Min.		
NFPA 130 neu – keine unit exit width	wie vorher	treppauf/treppab 1,04 / 1,19 P/(ms)	1,49 P/(ms) Mindestmaße wie 1986
Flugzeuge FAR 25.803	1,5 Min		
Life Safety Code 1994 – keine unit exit width	3,3 Min. <sup>9</sup> lt. Pauls 3,5 Min	7,6mm je Person min a = 1,12m	5 ... 5,6mm je Person min a = 0,914m min a = 1,12m (Flure)
UK B1 ab 1991 – keine unit exit width Stand 2000	2,5 Min.	1100mm für 220 Personen min a = 1,10m	750mm für 50 Personen 850mm für 110 Personen <sup>10</sup> 1050mm für 220 Personen ab 220 Personen 5mm je Person <sup>11</sup>

**Tabelle 1:** Annahmen von Zeiten und Flüssen in früheren und heutigen US und UK Vorschriften

Zeitangaben sind zum Teil explizit, zum Teil in den Erläuterungen der betreffenden Codes enthalten.

- 5 Festzuhalten ist, dass relativ früh ein Zeitbezug hergestellt wurde, der sich dann als zu optimistisch herausgestellt hat. Daraufhin wurden nicht die Bemessungsregeln geändert, sondern die „flow times“ nach oben korrigiert. „Flow times“ beinhalten vermutlich nur die Passagezeiten ( $t_{\text{passage}}$ ) durch Türen (Querschnitte) und nicht auch Wegzeiten. Sie beziehen sich auch eher auf Handrechnungen.

10

## 2.2 Konzept der Spurbreite

Wie aus der vorigen Tabelle zu entnehmen ist, findet sich das Konzept der Spurbreite in der angelsächsischen Regelung seit 1935. Man verwendete dort den Begriff der „unit exit width“. Diese liegen zwischen

15

533mm (UK) und 558mm (US) bis zu 609mm (US office buildings).

Diesen Breiten waren Flüsse zugeordnet, z.B. 40 ... 60 Personen pro Minute je 558mm.

Allerdings wurde ca. 1994 das Konzept der „unit exit width“ in der angelsächsischen Regelung aufgegeben, weil sich zwischenzeitlich die Auffassung durchsetzte, Flüsse seien linear von der Querschnittsbreite abhängig (spezifische Flüsse – P/(ms)).

20

Anstelle der „unit exit width“ Bemessung erfolgt seit ca. 1994 eine linearen Bemessung für 5,0 ... 5,6mm je Person (für horizontale Wege). Dabei sei nach [PAULS] die Umstellung nicht aufgrund vorgegebener Entleerungszeiten vorgenommen worden, sondern allein durch Umrechnung der „alten“ Spurbreiten-Bemessung auf eine lineare Abhängigkeit.

25

<sup>9</sup> 11 Minuten für „smoke protected assembly seating

<sup>10</sup> z.B. 3 Türen mit je 850mm für 3 x 110 = 330 Personen

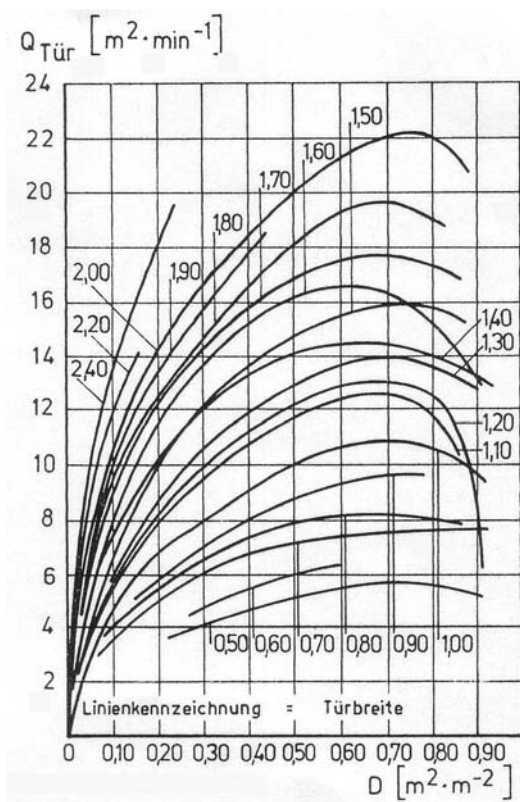
<sup>11</sup> allerdings sind Ausfallbetrachtungen gefordert

Zum Vergleich: 5,0 ... 5,6mm je Person entsprechen bei einer Türbreite von 1,2m dann 240 ... 214 Personen. Dabei werden gemäß UK-Vorschriften aber auch Ausfallbetrachtungen verlangt.

### 5 2.3 Türbreiten und Flüsse

Aufgrund dieser Entwicklungen in Großbritannien und in den USA kann erklärt werden, dass man in der neueren Literatur auf wenig Fundstellen trifft, die sich z.B. mit Flüssen in Abhängigkeit von Türbreiten befassen.

- 10 [PM] gibt für Türbreiten ab 0,5m in Schritten von 0,1m Kapazitäten von Türen  $Q$  [ $m^2/min$ ] in Abhängigkeit der Dichte [ $m^2/m^2$ ] an. Die maximale Kapazität wird ungefähr bei 0,7 [ $m^2/m^2$ ] erreicht.



- 15 **Abb. 2:** Durchlassfähigkeit von Öffnungen in Abhängigkeit von der Personenstromdichte und Türbreite (experimentelle Daten aufgrund von 2300 Messungen)

Allerdings ergibt eine Auswertung dieser Angaben von [PM] ab 0,9m einen relativ konstanten spezifischen Fluss von 1,63 P/(ms) – bei vorgenannter Dichte von 0,7 [ $m^2/m^2$ ].

20

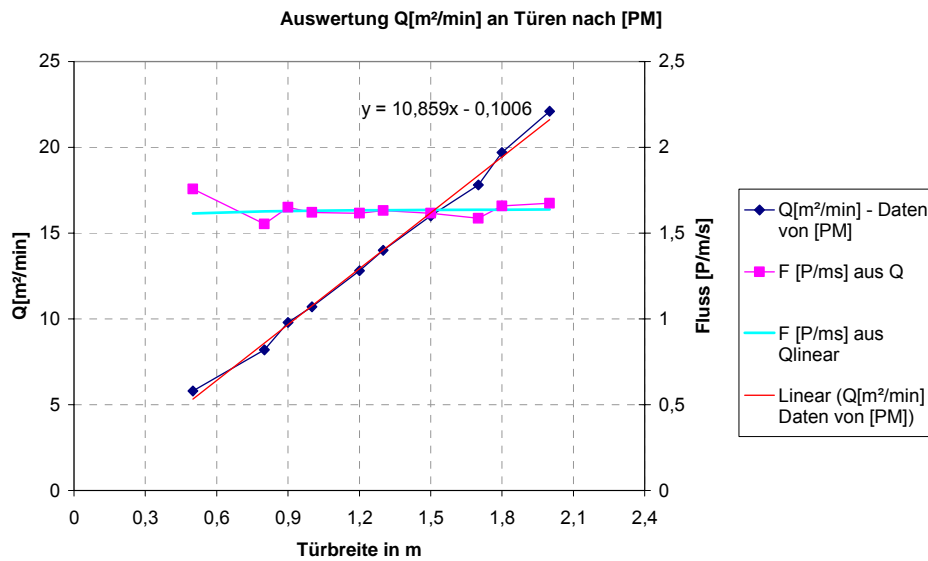


Abb. 3: Einfluss von Türbreiten auf der Grundlage von [PM]

Hinsichtlich Türbreiten gibt [PM] noch folgenden Zusammenhang:

5

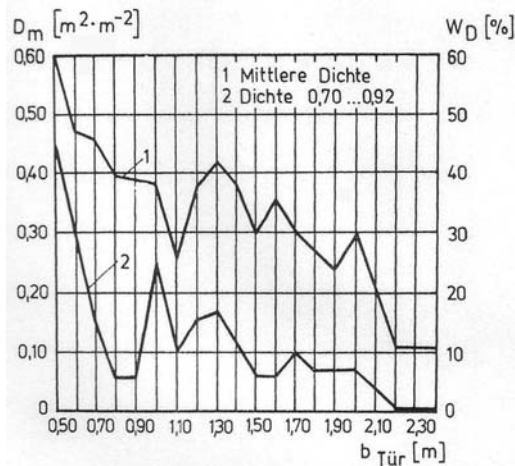


Abb. 4: Wahrscheinlichkeit mittlerer und hoher Dichten des Stromes in Türen verschiedener Breiten

Gemäß [PM]: „Die größte Dichte eines Stromes tritt gewöhnlich an den Stellen auf, wo sich der Weg plötzlich verengt. Beobachtungen von Bewegungen an Türen zeigen, dass bei annähernd gleichen Bedingungen die mittlere Dichte des Stromes mit zunehmender Türbreite abnimmt und umgekehrt mit abnehmender Türbreite zunimmt. In o.g. Abbildung wird diese Gesetzmäßigkeit durch die obere Linie dargestellt. Die untere Linie gibt die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen hoher Dichten an. Daraus folgt, dass es unter dem Gesichtspunkt einer zu erwartenden Dichte und dem damit zusammenhängenden Bewegungsverhältnis durch die Türen nicht gleichgültig ist, welche Breiten die Türen haben, auch wenn die Summe ihrer Breiten unverändert bleibt. Wie o.g. Abbildung zeigt, sind Türen mit großer Breite am geeignetsten.“

10

15

In Ermangelung besonderer Daten für Türen hat [THOM] mit dem Modell Simulex den Einfluss der Türbreiten berechnet und erhält, wie in Abb. 5 dargestellt, folgende Abhängigkeiten. Dabei

ist natürlich zu berücksichtigen, dass solche berechneten Abhängigkeiten extrem von der geometrischen Modellierung der Personen abhängen.

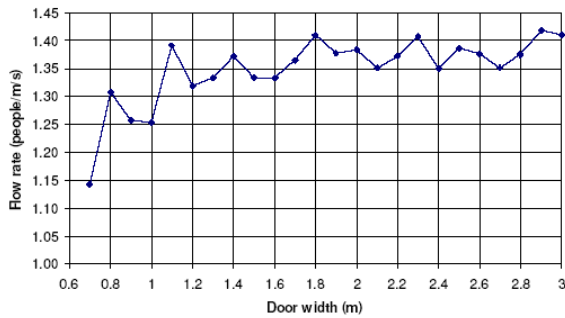
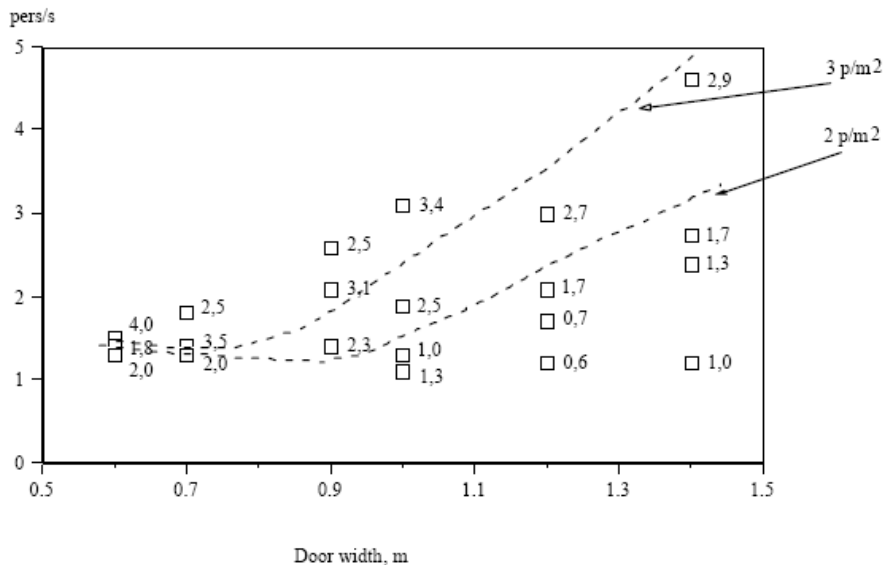


Figure 9. Graph relating doorway width to sustained flow rate

Abb. 5: Einfluss von Türbreiten gemäß [THOM] – mit Simulex berechnet

5

Das nachfolgende Diagramm ist aus einer Arbeit von [FRAN] entnommen und zeigt die Ergebnisse aus Versuchen mit Studenten:



10 Abb. 6: Einfluss von Türbreiten gemäß [FRAN] – aus Versuchen mit Studenten

Auch hier zeigt sich keine konkrete Abhängigkeit von einer Spurbreite; schätzt man spezifische Flüsse aus den Studentenversuchen, nehmen diese ab Türbreite ca. 1m zu und erreichen dennoch Werte über 3 P/(ms) bei Dichte 3 P/m².

15 **2.4 Spurbreiten der MVStättV**

Gut zu erkennen ist, dass nach § 7, Abs. 4 der MVStättV die Vorgabe:  
 100 Personen je 600mm  
 in Verbindung mit einer Passagezeit von 2 Minuten einem Fluss von  
 50 Personen pro Minute je 600mm  
 20 entspricht (gleichbedeutend mit 0,83 P/s)

In Bezug auf die Abschaffung des „unit exit width“ Konzept in Großbritannien und in den USA kann man tendenziell schließen, dass die Beachtung einer Spurbreite – auch wenn ein solches Modulmaß ein vernünftiges Konzept ist – zumindest bei diesbezüglichen Abweichungen von der MVStättV nicht allzu streng bewertet werden muss.

5

Insofern erscheint es bei bestehenden Versammlungsstätten angemessen, diese (alternativ) weiterhin mit 1m je 150 Personen nach VStättV ohne Beachtung von Spurbreiten zu bewerten. Schließlich wird die Abweichung vom Modulmaß immerhin mit 10% größeren Breiten „bestraft“ (1,2m je 200 Personen, statt 1,0m je 150 Personen).

10

## 2.5 Richtwerte für spezifische Flüsse

Der spezifische Fluss ist die Anzahl Personen, die einen bestimmten Querschnitt pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren - auch Durchflusskapazität genannt. Die Einheit ist Personen pro Meter und Sekunde ( $P/(ms)$ ).

15

So beträgt der spezifische Fluss im Rahmen der Begründung zur MVStättV mit  $t_{\text{Passage}} = 120s$

$$F = \frac{P}{a \cdot t_{\text{passage}}} = 1,39 [P/(ms)]$$

20

P... Anzahl Personen

a... Ausgangsbreite

$t_{\text{Passage}}$ ... Entleerungszeit, ohne Wegzeit

25

Genau genommen ist der spezifische Fluss ein Mittel der Handrechnung, wobei es allerdings auch Simulationsprogramme gibt, bei denen der spezifische Fluss seitens des Anwenders eingegeben wird (z.B. evacnet). Der spezifische Fluss ist darüber hinaus auch ein Kriterium für die Bewertung von Simulationsergebnissen.

30

Der spezifische Fluss (F) kann als Abhängigkeit der Personendichte ( $\rho$ ) und der Laufgeschwindigkeit (v) ausgedrückt werden:

$$F = \rho \cdot v$$

35

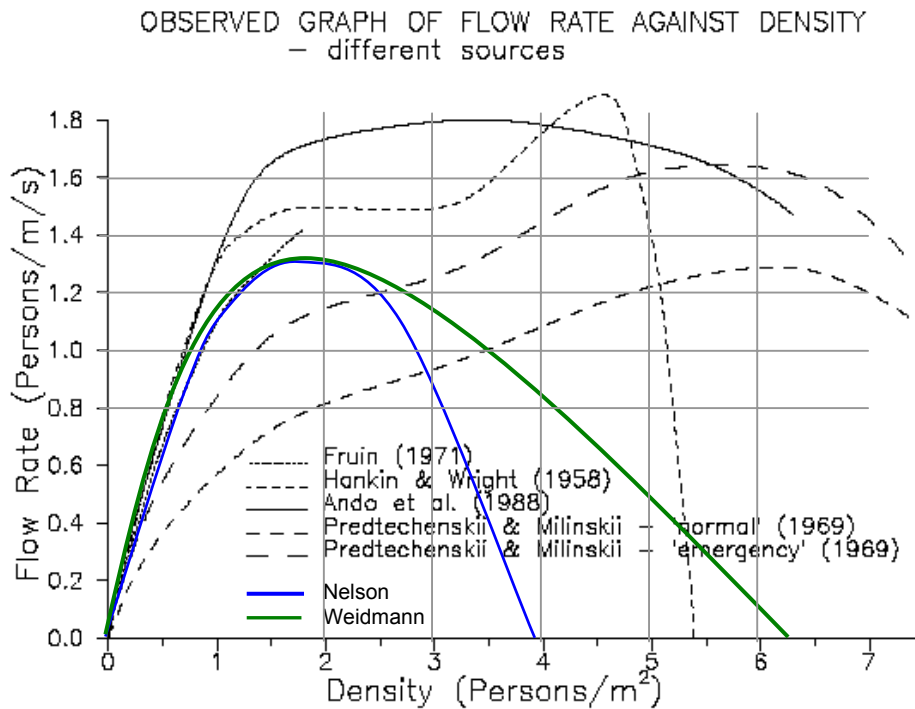
F...  $P/(ms)$

$\rho$ ...  $P/m^2$

v... m/s

Nachfolgend dargestellt ist eine Graphik, entnommen von [THOM] und ergänzt um die Beziehungen von Weidmann und Nelson.

40



**Abb. 7:** Spezifische Flüsse in Abhängigkeit von der Dichte

Gemeinsam ist allen Fundstellen eine Zunahme des Flusses mit zunehmender Dichte bis zu einem Optimum, danach nimmt der Fluss wieder ab. Unterschiede bestehen sowohl bei der optimalen Dichte (2 bis 6 P/m<sup>2</sup>) als auch bezüglich des maximalen Flusses (1,3 bis 1,8 P/(ms)), wobei es auch Fundstellen mit höheren Flüssen, insbesondere für „Gefahrensituationen“ gibt.

Im Sinne regelsetzender Angaben kann man auf die schon genannten US- oder UK-Vorschriften Bezug nehmen (Türen, horizontale Wege):

	F [P/(ms)]	
NFPA 101	1,33	indirekte Angabe
NFPA 130	1,49	direkte Angabe
UK B1	1,33	indirekte Angabe

**Tabelle 2**

wobei die Vorgaben der NFPA 130 häufig als zu optimistisch erachtet werden.

[RiM] gibt folgende Richtwerte für maximal zulässige Flüsse an (Referenz SFPE Handbook), wobei hier der Richtwert für Gänge und Türöffnungen, F = 1,3 P/(ms) relevant ist:

Art der Einrichtung	Maximaler spezifischer Fluss (P/(ms))
Treppen abwärts	1,10
Treppen aufwärts	0,88
Gänge, Türöffnungen	1,30

**Tabelle 3:** Spezifischer Fluss auf Treppen, in Gängen und Türen entnommen aus [RiM]

Gekoppelt mit dem spezifischen Fluss ist gemäß [PAULS] die anzusetzende effektive Breite – „effective width“, womit berücksichtigt wird, dass Personen geneigt sind, Abstände zu Begrenzungen einzuhalten. So werden z.B. Türbreiten um 2 x 15cm verkleinert, d.h. eine 1,2m breite Tür ist effektiv mit 0,9m, eine 2,4m breite Tür mit 2,1m anzusetzen.

5

D.h. ausgehend von einem spezifischen Fluss von 1,3 P/(ms) effektiver Breite, entspricht dies bei einer 1,2m breiten Tür einem Fluss von nur 1,0 P/(ms) tatsächlicher Breite. NFPA 130 verlangt aber nur bei Plattformen und Fluren eine Abminderung der Breite und gibt für Türen nur Mindestbreiten vor (0,91m).

10

Geht man davon aus, dass die Simulationsrechnung diesen Effekt beinhaltet, betrifft dieses Konzept nur die Handrechnung. Insofern wird auch angenommen, dass der Richtwert von [RiM] sich auf die tatsächlichen (in der Simulation angesetzten) Wegbreiten bezieht. Es wird ferner angenommen, dass der Richtwert sich auf Ergebnisse von Simulationsläufen bezieht, die mit mittleren (erwarteten) Werten für die einzelnen Parameter erhalten werden.

15

Zur Bewertung der Simulationsergebnisse wird nachfolgend der Richtwert von [RiM]

$$F = 1,3 \text{ P/(ms)}$$

herangezogen. Das bedingt zwangsläufig eine geringfügige Verlängerung der Passagezeit bei Bemessung nach MVStättV – als unterer Grenzwert für die Entleerungszeit – auf  $t_{\text{passage}} = 128\text{s}$ .

20

Natürlich ist auch eine völlig andere Interpretation der Vorgabe der MVStättV möglich und zwar als Richtwert für Berechnungen, analog zum RiMEA- Richtwert: D.h. ein *schnellerer* Fluss als 50 Personen pro Minute je 600mm bzw.

25

$$F = 1,39 \text{ P/(ms)}$$

*darf bei Berechnungen nicht angesetzt werden.*

## 2.6 Besonderheiten von NFPA 101 Life Safety Code

Bei der Sichtung von NFPA 101 wurden folgende interessante Festlegungen vorgefunden, die natürlich im Zusammenhang mit dem gesamten Regelwerk zu sehen sind, jedoch zumindest erwähnenswert sind.

30

Ausgehend von

- 5,6mm pro Person (horizontal) und 7,6mm pro Person (Treppen),  
für Versammlungsräume bis 2000 Personen erlaubt NFPA 101 für „smoke protected assembly seating“ eine abgestufte Abminderung der Dimensionierung bis auf
- 1,1mm pro Person (horizontal) und 1,5mm pro Person (Treppen)  
für Versammlungsstätten mit mehr als 25.000 Personen.

35

Im Anhang A wird erläutert, dass Ausgangsbreiten auf einer linearen Beziehung zwischen Platzzahl und „flow time“ beruhen, mit 200s für 2000 Plätze, zuzüglich 1s für je weitere 50 Plätze bis 25.000 Plätze. Bei mehr als 25.000 Plätzen ist die „nominal flow time“ begrenzt auf 660s.

40

“Nominal flow time refers to the flow time for the most able group of patrons; some groups less familiar with the premises or less able groups might take longer to pass a point in the egress system”.

45

Ferner ist die Regelung bemerkenswert, dass Haupteingänge für 50 % der Besucher dimensioniert werden sollen<sup>12</sup>.

Ein interessanter Aspekt ist auch, dass eine „Festival“- Bestuhlung (=Stehplätze) entweder auf 1000 Personen beschränkt ist, oder aber eine „approved life safety evaluation gefordert“ wird<sup>13</sup>.

Festzuhalten ist schließlich, dass die amerikanischen Codes einen geringeren Fluss auf Treppen berücksichtigen und Treppen mit einem Faktor 1,35 breiter dimensionieren als horizontale Rettungswege. Allerdings ist bei den Treppen auch die jeweils nationale Regel zu berücksichtigen, wie sich die Anzahl der Personen über Geschosse hinweg addiert.

### 3 Berechnung der Entleerungszeiten

---

#### 3.1 Allgemeines

Für die anstehenden Untersuchungen kommen nur rechnergestützte Analysemodelle in Frage. Für Personenstromanalysen gibt es, bis auf die Arbeit von [ROG], allerdings noch keine systematischen „benchmark tests“ der gängigen Programme/ Modelle, die zu entsprechenden Anpassungen führte. Somit müssen die Fallbeispiele mit verschiedenen Programmen untersucht werden.

Simulationsmodelle, die zur Berechnung der Entleerungszeiten dienen, sind in zwei große Gruppen aufgeteilt: Programme, die den makroskopischen oder mikroskopischen Ansatz nutzen. Mikroskopische Modelle (sog. „Individualmodelle“) lassen sich hinsichtlich der Berücksichtigung der Geometrie in diskrete und kontinuierliche Modelle einteilen. Ein internationaler Überblick über vorhandene Programme befindet sich auf der Homepage des National Institute of Standards and Technology<sup>14</sup>.

Bei *diskreten Modellen* werden die Laufflächen durch Gitter von Zellen dargestellt. Die Individuen können sich ebenfalls nur diskret bewegen. Die diskrete Darstellung kann insbesondere für schmale Wegbreiten zu Einschränkungen in der Geometriedarstellung führen. Die *kontinuierlichen Modelle* zeigen sich hingegen bzgl. der Darstellung der Geometrie und der Position der Personen flexibler, was allerdings zugleich zu längeren Rechnerzeiten führt.

Die Rettungswegwahl erfolgt bei den diskreten Modellen über Potentiale, die von den Ausgängen aus über die Geometrie ausstrahlen, so dass sich die Personen tendenziell in Richtung des geringeren Potentials bewegen. Den Personen können aber auch gezielt Rettungswege zugewiesen werden, so dass sich z.B. die Personenströmung zum Haupteingang gewichten lässt.

---

<sup>12</sup> Vgl. NFPA 101, Kapitel 12.2.3.6

<sup>13</sup> Vgl. NFPA 101, Kapitel 12.2.5.4.1

<sup>14</sup> Kuligowski, Erica D. / Peacock, Richard D.: A Review of Building Evacuation Models (Juli 2005), online im WWW unter URL: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05107.pdf>



Verwendet werden die gängigen Simulationsmodelle ASERI, PedGo und buildingEXODUS, welche nachfolgend kurz erläutert werden; im Übrigen sind sie in den Referenzhandbüchern beschrieben.

## 5 3.2 Eingesetzte Simulationsmodelle

### 3.2.1 Modell PedGo

Das Programm PedGo wird von der Firma TraffGo HT GmbH in Duisburg entwickelt und vertrieben. Für die, im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen, stand das Programm in der Version 2.2.4 und 2.2.5 zur Verfügung.

10

Die Grundlage bildet ein so genanntes Multi- Agenten- Modell, welches auf einem zellularen Automaten aufbaut. Somit werden Personen als Individuen mit eigenständigen Verhaltensweisen, Fähigkeiten und Zielen in diskretem Raum und diskreter Zeit repräsentiert.

15

Der zu untersuchende Grundriss wird in ein Gitter von quadratischen Zellen unterteilt. Ihre Kantenlänge ist 0,4 Meter, so dass sich eine Zellfläche von 0,16 m<sup>2</sup> ergibt. Die Personen stehen jeweils auf einer Zelle und bewegen sich im Verlauf der Evakuierung wie bei einem Brettspiel von Zelle zu Zelle in Richtung Ausgang.

20

Die Fläche der Zellen entspricht der durch wissenschaftliche Untersuchungen ermittelten Standfläche einer Person im dichten Gedränge. Die maximal mögliche Personendichte des Modells beträgt somit 6,25 P/m<sup>2</sup>.

25

Um die Eigenschaften eines Grundrisses realitätsnah berücksichtigen zu können, werden den Zellen verschiedene Funktionen zugewiesen, wie z.B. freie Zelle, Wand, Tür oder Treppe. Ausgänge werden durch Zellen, denen die Funktion „Ausgang“ zugeordnet ist, dargestellt. Jede Person, welche eine Ausgangszelle betritt, gilt als „gerettet“ und wird aus der Simulation entfernt.

30

Zur Orientierung dienen den simulierten Personen Potenziale. Ein Potenzial wird durch Werte in den Zellen charakterisiert, die sich mit zunehmendem Abstand zu den „Rettungsfeldern“ erhöhen. Es können verschiedene Routen vorgegeben und den Personen zugewiesen werden. Das Potenzial breitet sich im wesentlichen von den „Rettungszellen“ über die zugänglichen Zellen (freie, Tür- und Treppenzellen) aus. Zur Bestimmung ihrer Laufrichtung orientieren sich die Personen mithilfe der Differenz der Potenzialwerte zwischen ihrer und den Nachbarzellen.

35

Jede Person verfügt über einen individuellen Parametersatz, der ihr zu Beginn eines jeden Durchlaufs zugewiesen wird. Alle Parameter sind normalverteilt und werden durch den Mittelwert, die Standardabweichung sowie den Minimum- und Maximumwert definiert.

40

Folgende Parameter kommen zur Anwendung:

- *Laufgeschwindigkeit*: Die Anzahl der Zellen, die eine Person pro Zeitschritt (eine Sekunde) maximal zurücklegen kann.
- *Geduld*: Die maximale Zeit, die eine Person stillsteht (z.B. in Staus), bevor sie umdreht und versucht, in der entgegengesetzten Richtung einen Fluchtweg zu finden.
- *Schwanken*: Die Genauigkeit, mit der eine Person dem Potenzialverlauf folgt.

45

- *Reaktionszeit*: Die Zeit, die eine Person still steht, bevor sie auf das Evakuierungssignal reagiert und losläuft.
- *Trödelwahrscheinlichkeit*: Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person für den Rest eines Zeitschritts stehen bleibt.
- 5 - *Trägheit*: Die Trägheit, mit der eine Person ihre momentane Laufrichtung beibehält.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgt in zwei Schritten. Eine Mittelwert- Rechnung liefert nach der vorgegebenen Anzahl von Simulationsdurchläufen eine statistische Übersicht über die möglichen Ergebnisse. In einem zweiten Schritt können gezielt Einzelrechnungen wiederholt werden. Diese werden zu einer detaillierten Analyse eines Durchlaufs herangezogen.

Unterschiedliche Personendichten werden durch Dichteplots dargestellt. Eine signifikante Verdichtung tritt auf, wenn die Personendichte  $3 \text{ P/m}^2$  oder höher ist. Nach jedem Zeitschritt in der Simulation wird deshalb für alle Zellen die Dichte berechnet. Somit kann am Ende der Simulation bestimmt werden, wie häufig der Schwellwert pro Zelle überschritten wurde.

### 3.2.2 Modell ASERI

ASERI (Advanced Simulation of Evacuation of Real Individuals) wird von der Firma I.S.T. Integrierte Sicherheits-Technik GmbH in Frankfurt entwickelt und vertrieben. Für die im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen stand das Programm in den Versionen 3.3, 4.0g sowie 4.1 zur Verfügung.

Grundlage von ASERI ist eine Beschreibung der individuellen Bewegung aller Personen, wobei wesentliche Verhaltensaspekte (wie z.B. Reaktions- und Verzögerungszeiten, Wahl des Fluchtweges, Verhalten bei Staubbildung) durch probabilistische Ansätze beschrieben werden. Durch dieses Vorgehen lassen sich individuelle Eigenschaften wie Mobilität, Raumbedarf explizit berücksichtigen.

Die Gebäudegeometrie wird in allen, für den Ablauf der Evakuierung wichtigen Details berücksichtigt.

Die Richtung der individuellen Bewegung ist zunächst durch das globale Ziel der Bewegung (z.B. ein bestimmter Ausgang ins Freie) sowie die Abfolge der lokalen, auf das Ziel hinführenden, Bezugspunkte festgelegt. In ASERI wird zunächst angenommen, dass sich das globale Ziel für jede Person aus dem geometrisch kürzestmöglichen Fluchtweg ergibt. Abweichungen von diesem Weg sind möglich, falls es in Bereichen des Fluchtweges zu einer Staubbildung kommt.

Je nach gewähltem Simulationsmodus („Komfort“, „Entfluchtung“, „Gefahr“) kann die maximale Dichte, mit der sich die Personen bewegen, ausgewählt werden. Hierbei werden auch freie Randschichten berücksichtigt, d.h. die Personen bewegen sich mit einem bestimmten Abstand entlang der Elemente des Fluchtweges. Der Wert der freien Randschichten kann durch die Wahl der Verhaltensoption „Gefahr“ gegenüber dem Standardmodus „Entfluchtung“ entsprechend reduziert werden, bzw. für die Simulation einer Bewegung unter besonders komfortablen Bedingungen gegebenenfalls auch erhöht werden.

Personen sind durch ihre Schulter- und Brustbreite sowie durch ihre momentane Laufrichtung charakterisiert. Schulter- und Brustbreite können für jede Person individuell gewählt werden, entweder durch explizite Zuordnung oder durch geeignete Verteilungsfunktionen, entsprechend der zu untersuchenden Population. Durch die geeignete Wahl der effektiven Körpermaße lässt sich auch der erhöhte Raumbedarf von gehbehinderten Personen oder Personen mit Gepäck berücksichtigen. Mit ASERI kann eine maximale Dichte von  $8 \text{ P/m}^2$  erreicht werden.

### 3.2.3 Modell *buildingEXODUS*

Das Programm *buildingEXODUS*, wird von der Fire Safety Engineering Group, School of Computing & Mathematical Sciences an der Universität Greenwich entwickelt und vertrieben. Für die durchgeführten Untersuchungen stand das Programm in der Version V4.02b Level 1 zur Verfügung.

*BuildingEXODUS* ist Teil einer Familie von Evakuierungsprogrammen zu welcher auch *airEXODUS* *maritimeEXODUS* und zukünftig *railEXODUS* zählen.

Es handelt es sich wie *PedGo* um ein Netzwerkmodell („fine node network“). Der zu untersuchende Grundriss wird hier in ein Gitter von quadratischen Zellen („nodes“) mit Kantenlänge 0,5 Meter unterteilt (und somit in Zellflächen von  $0,25 \text{ m}^2$ ), die über „arcs“ miteinander verbunden sind. Jede Zelle hat Verbindung zu acht Nachbarzellen. Die Personen stehen jeweils auf einer Zelle und bewegen sich über die „arcs“ von Zelle zu Zelle in Richtung Ausgang. Die maximal darstellbare Dichte beträgt somit  $4 \text{ P/m}^2$ .

Das Programm unterscheidet zwei Simulationsmodi: „potential map“ (wurde im Rahmen der Arbeit verwendet) und „familiarity mode“.

Im „familiarity mode“ müssen ein (oder mehrere Ausgänge) den jeweiligen Individuen manuell zugewiesen werden, wohingegen die Personen im Modus „potential map“ ihre Ausgänge selbst „wählen“.

Für jede Zelle wird ähnlich wie bei *PedGo* - ausgehend von den Ausgängen - innerhalb des Netzwerks ein Potenzial errechnet („potential map“), wobei die Ausgänge hier die niedrigsten Potentiale haben und Personen nach einer Reduzierung der Potentiale streben. Hieraus ergibt sich die Standardeinstellung „kürzester Weg“.

Neben dem Wert für das Potential besitzt jede Zelle weitere Attribute wie z.B. ihren Typ (Free-Space, Stair, Seats) oder die Konzentration bestimmter toxischer Gase. Diese Merkmale haben zusätzlichen Einfluss auf das Verhalten und die Bewegung der Population. Ebenso wie für die Zellen, existieren auch für die Verbindungen (Arcs) und die Personen Parameter, durch die die Simulation beeinflusst wird.

Personen können als Individuen mit eigenständigen Verhaltensweisen, Fähigkeiten und Zielen („rule based behaviour“) in diskretem Raum und diskreter Zeit repräsentiert werden. Dabei wird das Verhalten der Personen durch folgende Interaktionsmöglichkeiten der Personen geprägt: mit anderen Personen, mit der Gebäudestruktur und mit dem Umfeld. Verhaltensmuster werden bei *buildingEXODUS* basierend auf einer Mischung aus deterministischen und stochastischen Ansatz modelliert.

Das Programm arbeitet mit fünf Teilprogrammen/ Submodellen: a) Personenmodellierung, b) Bewegungsmodellierung, c) Verhaltensmodellierung, d) Toxizitätsmodellierung und e) Gefahrmodellierung, wobei Modell d) im Rahmen der Untersuchungen nicht genutzt wurde und die vier anderen Submodelle auf den Standardeinstellungen belassen wurden.

5

### 3.2.4 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verwendeten Modelle

Alle drei Programme basieren auf einem stochastischen Modell, d.h. man erhält für identische Szenarien bei wiederholten Durchläufen unterschiedliche Ergebnisse<sup>15</sup>. Es werden daher mehrere Rechendurchläufe mit gleichen bzw. äquivalenten Anfangs- und Randbedingungen je Szenario durchgeführt, um diese statistisch zu analysieren.

10

In allen Programmen kann die Laufgeschwindigkeit der gewünschten Personengruppe definiert werden. Ebenfalls kann ein gewünschter Streubereich, in dem die Laufgeschwindigkeiten variieren, angegeben werden. Zusätzlich ist es möglich den Personen bestimmte Ausgänge zuzuweisen. Die Personen werden individuell betrachtet. Sobald die Personen den Ausgang bzw. den sicheren Bereich erreicht haben, werden diese Personen aus der Simulation herausgenommen und haben keinen Einfluss mehr auf nachfolgende Personen.

15

Der Hauptunterschied der Programme ist wie bereits beschrieben, das Modell, welches den jeweiligen Programmen zu Grunde liegt. Während die zellularen Automaten PedGo und buildingEXODUS die Abbildung der Bewegung durch eine so genannte „Hüpfregel“ realisieren, wird die Bewegung beim raumkontinuierlichen Modell ASERI durch Lösen einer „Bewegungsgleichung“ wiedergegeben.

20

Bei PedGo und buildingEXODUS sind maximale Dichte von 6,25 P/m<sup>2</sup> und 4,0 P/m<sup>2</sup> aufgrund der vorgegebenen Zellengröße vorgegeben. Höhere Dichten bis zu 8 P/m<sup>2</sup> können nur mit ASERI berücksichtigt werden. Aufgrund der modellspezifischen Vorgaben können mit den verwendeten Simulationsmodellen insofern unterschiedliche maximale Personendichten berechnet werden.

25

30

Staudrücke mit Personenkompressionen, die sich bei einem Stillstand des Personenstromes vor Engstellen z.B. durch Bogenbildung und durch nachströmende/ nachdrückende Personen entwickeln können, sind mit den hier verwendeten Modellen nicht berechenbar. Des Weiteren gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis hinsichtlich der Aussagefähigkeit von - und Kriterien für - Staudrücke.

35

### 3.2.5 Akzeptanz von Simulationsmodellen

Die Simulationsmodelle beschreiben das Verhalten von Personen während einer Evakuierung durch einen komplexen probabilistischen Ansatz. Diese Vorgehensweise ist durch empirische Studien begründet, deren Resultate zur Kalibrierung des jeweiligen Modells benutzt werden. Die Programme basieren auf einer konstanten Weiterentwicklung und Einbindung von

40

---

<sup>15</sup> Das gilt ebenso für Evakuierungsübungen. Auch dort erhält man bei wiederholten Durchläufen unterschiedliche Ergebnisse, sowohl für die Dauer als auch für den Ablauf. Allerdings spielen in diesem Fall auch Ermüdungs- bzw. Lerneffekte eine Rolle, falls man die Übungen mit den gleichen Personen durchführt. Doch auch bei unterschiedlichen Populationen mit den gleichen Charakteristika würden bei einer Übung Streuungen in den Ergebnissen auftreten.

Forschungsergebnissen. Auch das vorliegende Forschungsprojekt trägt zur Weiterentwicklung dieser Programme bei.

Jeglicher Umgang mit Evakuierungssimulationen erfordert ein profundes Verständnis für das zugrunde liegende Modell. Nur so lassen sich Ergebnisse richtig auswerten und interpretieren. So viele Informationen Simulationsprogramme auch liefern, sollte keinesfalls außer Acht gelassen werden, dass die Simulation nur einen idealisierten Fall widerspiegelt und niemals die Realität mit allen Eventualitäten nachbilden kann.

### 3.3 Vorgehensweise

Um ein statistisches Ergebnis zu erzielen, werden für jedes Fallbeispiel je nach Rechenkapazität der Simulationsprogramme 5 bis 20 Simulationsdurchläufe durchgeführt. Die Notwendigkeit der Durchführung von wiederholten Berechnungen ist offenkundig, da selbst bei kontrollierten Bedingungen niemals identische Ergebnisse bei Evakuierungsübungen mit realen Personen auftreten. Als maßgebendes Ergebnis für Auswertungen wurde hier der *Mittelwert* gewählt, um unterschiedliche Streuungen bei den Modellen zu eliminieren.

Bei den verwendeten Simulationsprogrammen werden die Grundeinstellungen nicht verändert, um eine feste und nachvollziehbare Konfigurationen für alle drei Programme zu verwenden. Besonders einzustellende Verhaltensmuster, psychologische Aspekte oder sonstige äußerlich bedingte Einflüsse wurden nach Möglichkeit ausgeschaltet.

Die Personen werden lediglich in ihrer freien Laufgeschwindigkeit angepasst: es wurde eine freie Laufgeschwindigkeit von 0,80 bis 1,60 m/s bei allen drei Modellen angenommen.

Bei den Berechnungen wird die Zeit bis Fluchtbeginn außer Acht gelassen, um den Einfluss zusätzlicher (unterschiedlicher) Modellierungen und Annahmen in den Programmen zu vermeiden. Die Detektions- und Alarmierungszeiten müssten ohnehin „extern“ vorgegeben werden. Der Einfluss von Reaktionszeiten wird punktuell geprüft, genauer: der Einfluss statistischer Streuungen bei der Reaktionszeit.

Annahmen und relevante Konfigurationen für die Berechnungen sind je nach Modell im Anhang dokumentiert.

### 3.4 Rettungswegbreiten

#### 3.4.1 Skalierung von Wegbreiten

Die geometrische Modellierung der Personen ist insbesondere in Relation zur Breite des Rettungsweges bzw. Ausgangs relevant. Dabei bestehen folgende Unterschiede:

#### **Modell**

PedGo	40cm Zellen
ASERI Standardeinstellungen	52,5/31,5cm Schulter-/Brustbreite
ASERI Variante	40/40cm Schulter-/Brustbreite
buildingEXODUS	50cm Zellen

**Tabelle 4:** Unterschiedliche geometrische Modellierung von Personen

Die Variante ASERI 40/40cm wurde nur eingeführt, um den Unterschied zwischen einer (annähernd) elliptischen Modellierung mit größerer Schulterbreite bei ASERI und einer kreisförmigen bzw. quadratischen Modellierung bei PedGo/ buildingEXODUS einzugrenzen.

- 5 MVStättV geht von einer Spurbreite von 0,6m aus und verlangt daher, dass Rettungswegbreiten nur als Vielfaches von 0,6m angerechnet werden dürfen. Ungeachtet dessen, ob
- die „wahre“ Spurbreite 0,6m beträgt oder geringer ist, oder ob
  - das Konzept einer Spurbreite überhaupt „wahr“ ist oder nicht,
- 10 können in den Netzwerkmodellen Wegbreiten und Ausgänge nur als ganzzahliges Vielfaches der Zellenbreite angegeben werden<sup>16</sup>. Durch 1,2m bis 2,4m breite Gänge oder Ausgänge „passen“ demnach je nach Modell maximal folgende Personen nebeneinander:

Modell		Maximale Personenanzahl nebeneinander bei Breite		
		1,2m	1,8m	2,4m
MVStättV	Spurbreite 60cm	2	3	4
PedGo	40cm Zellen	3	4 oder 5*	6
ASERI Standard	52,5/31,5cm	2,3	3,4	4,6
ASERI Variante	40/40cm	3	4 oder 5*	6
buildingEXODUS	50cm Zellen	2	3 oder 4*	4 oder 5*

**Tabelle 5:** Maximale Personenanzahl durch unterschiedlich breite Gänge oder Ausgänge je Modell

\* bei Aufrundung

15

Bei Aseri Standard kommt noch die Möglichkeit der Querstellung hinzu, so dass die Anzahl von Personen im Ausgangsquerschnitt auch höher liegen kann.

20

Es ist nicht ganz klar, inwiefern die Programme diese Unterschiede in der Personengeometrie inhärent berücksichtigen. Da Unterschiede in den „nutzbaren“ Breiten von bis zu 50% nicht einfach übergangen werden können, wurden Simulationen

25

- einerseits mit den „Originalbreiten“ (a) der Rettungswege und Ausgänge, also mit Personenzahlen gemäß Tabelle 5
- andererseits „mit Skalierung“ vorgenommen, indem die Rettungswege und Ausgangsbreiten der Beispiele auf die unterschiedliche Personenmodellierung abgestimmt wurden (a\*).

30

Ausgangsbreiten könnten z.B. anhand der 40cm Zellen von PedGo skaliert werden, so dass durch 2,4m Ausgangsbreite bei allen Modellen 6 Personen passen. Hier erfolgte eine Skalierung entsprechend der 60cm Spurbreite nach MVStättV, so dass durch 2,4m Ausgangsbreite bei allen Modellen 4 Personen passen.

<sup>16</sup> Die Einteilung in Zellen bewirkt effektiv eine Spurbildung. D.h., der wesentliche Unterschied zwischen einem diskreten und einem kontinuierlichen Modell ist, dass zwei Personen, in einem 2 Personen breiten Gang in einem diskreten Modell immer aneinander vorbei passen. Bei einem kontinuierlichen Modell kann eine Person im Prinzip einen Gang, der  $b=2,9 \cdot b_{\text{Person}}$  breit ist blockieren, indem sie sich in die Mitte stellt, so dass auf jeder Seite nur  $0,95 \cdot b_{\text{Person}}$  Platz ist.

Damit ergeben sich die, in der folgende Tabelle angeführten skalierte Rettungswegbreiten.

MVStättV d.h. gemäß Plan für Beispiel a=	Maximale Personenanzahl nebeneinander		
	1,2m	1,8m	2,4m
PedGo a*=	0,8m	1,2m	1,6m
ASERI Standard a*= a	1,2m	1,8m	2,4m
ASERI Variante 40/40cm, a* =	0,8m	1,2m	1,6m
buildingEXODUS a* =	1,0m	1,5m	2,0m

**Tabelle 6:** Skalierung der Ausgangsbreiten je Modell

Für die ASERI Standardeinstellungen wurde keine Skalierung vorgenommen, auch weil Personenzahlen ungefähr passen.

Wie an späterer Stelle festgestellt wird, bewirkt die Skalierung eine Erhöhung der Entleerungszeit bei PedGo im Mittel um den Faktor 1,26 und bei buildingEXODUS im Mittel um den Faktor 1,13.

### 3.4.2 Ausgangsindex

Damit die Auswertung der Ergebnisse unabhängig von einer etwaig erforderlichen Skalierung der Wegbreiten bewertet werden kann, erfolgte die Auswertung der Ergebnisse nicht in Abhängigkeit der Ausgangs- bzw. Wegbreiten, sondern anhand einer Bezugsgröße (Ausgangsindex)

$$PA = \frac{\text{Personen} \times \text{Schulterbreite}}{\text{Ausgangsbreite} *}$$

wobei bei PedGo und buildingEXODUS Schulterbreite = Zellenbreite zu setzen ist und die Ausgangsbreite, wie sie der Simulation zugrunde liegt.

Bei Schulter- und Ausgangsbreiten gemäß der MVStättV ist  
in Gebäuden PA = 100  
im Freien PA = 300

was gleichermaßen für die skalierten Ausgangsbreiten bei Bemessung gemäß MVStättV gilt. Bei ASERI (ohne Skalierung) ist dementsprechend PA=87,5 bzw. PA=264.

Der Ausgangsindex hat für die Auswertung zudem den Vorteil, dass Entleerungszeiten annähernd linear von PA abhängen ( $t_E \approx PA$ ), anstelle der ungefähr reziproken Abhängigkeit von der Ausgangsbreite ( $t_E \approx 1/a$ ).

Mit dem Ausgangsindex ist es möglich, festzustellen dass PA = 100 nach MVStättV möglicherweise bei PedGo und buildingEXODUS einem kleineren Index, bei ASERI Standardeinstellungen ggf. einem größeren Index entsprechen.

### 3.5 Fallbeispiele

Die Beispiele wurden so gewählt, dass sie möglichst der Situation entsprechen, die nach der Verordnung (MVStättV) gerade noch zulässig ist. Die Rettungsweglänge beträgt im Allgemeinen  $\leq 30\text{m}$ .

5

Bei den Beispielen ist in der Regel

- o die für Besucher nutzbare Fläche des Versammlungsraumes ein Vielfaches von  $200\text{m}^2$  (bzw.  $600\text{m}^2$ )

- o die Anzahl der Sitzplätze ein Vielfaches von 200 (bzw. 600),

10

sodass keine „verdeckten“ Sicherheiten durch Aufrunden von Ausgangsbreiten enthalten sind.

Erl.: Bei 2400 Personen ergibt sich die erforderliche Ausgangsbreite im Freien zu  $2400 \cdot 1,2/600 = 4,8\text{m}$ . Bei 2200 Personen erhält man:  $2200 \cdot 1,2/600 = 4,4\text{m}$ , die auf  $4,8\text{m}$  aufzurunden sind, so dass Ausgangsbreiten statt für  $1,2\text{m}$  je  $600$  Personen für  $1,2\text{m}$  je  $550$  Personen zur Verfügung stehen. Damit werden Entleerungszeiten für  $2200$  Personen naturgemäß kürzer sein als für  $2400$  Personen.

15

Bei Räumen mit Reihen- oder Tischbestuhlung wurden die Personenzahlen gemäß Bestuhlungsplan angesetzt<sup>17</sup>.

20

Bei der Verkaufsstätte wurden die Ausgangsbreiten anhand der Vorgabe  $0,3\text{m}$  Ausgang je  $100\text{m}^2$  Verkaufsraum ermittelt. Aus den Rettungswegbreiten wurden dann wiederum maximale Personenzahlen anhand des Schlüssels der VStättV ( $1\text{m}$  je  $150$  Personen<sup>18</sup>) rückgerechnet.

Untersucht wurden folgende Fallbeispiele<sup>19</sup>:

25

		Fläche	Personen	Ausgangsbreiten
<b>1</b>	<b>Räume ohne Bestuhlung</b>			
<b>1 a</b>	Fläche:	$1200\text{m}^2$	2400 P	3,2m bis 14,4m
	Personendichte:		3600 P	3,2m bis 21,6m
	- 2 Personen/ $\text{m}^2$ und			
	- 3 Personen/ $\text{m}^2$			
	Mit 3 Personen/ $\text{m}^2$ wird eine wahrscheinlichere Dichte bei Festivals oder Diskothekenbetrieb nachgebildet.			
	Ausgangsbreiten:			
	- gemäß MVStättV in Gebäuden und im Freien			
	- zusätzlich auch unterdimensionierte Ausgänge			
	Varianten 1a_A und 1a_B und 1a_C mit unterschiedlicher Lage/Anordnung der Ausgänge			
<b>1 b</b>	Fläche	$4800\text{m}^2$	9600 P	12,8m bis 57,6m
	Personendichte:			
	2 Personen/ $\text{m}^2$			

<sup>17</sup> entsprechend Vorgabe der PG Brandschutz am 06.04.05

<sup>18</sup> da das 2m-Mass der Vkv nicht mit dem 0,6m-Modul der MVStättV abgebildet werden kann

<sup>19</sup> Geometrie und Personenverteilung der einzelnen Fallbeispiele siehe Anlage 1.



Ausgangsbreiten:  
gemäß VStättV in Gebäuden und im Freien  
Wellenbrecher nach MVStättV angeordnet

<b>2</b>	<b>Reihenbestuhlung Konzert/Kino</b>			
<b>a</b>	im Gebäude	400m <sup>2</sup>	800 P	3,2m bis 4,8m
<b>b A</b>	im Gebäude	1434m <sup>2</sup>	2400 P	9,6m bis 14,4m
<b>B</b>	im Freien	1200m <sup>2</sup>	2400 P	3,2m bis 4,8m
<b>d</b>	Theaterbestuhlung im Gebäude	120m <sup>2</sup>	200 P	1,6m bis 2,4m
<b>3</b>	<b>Tischbestuhlung im Gebäude</b>			
<b>a</b>	Gastronomie	400m <sup>2</sup>	400 P	1,6m bis 2,4m
<b>b</b>	Gastronomie	1200m <sup>2</sup>	1200 P	4,6m bis 7,2m
<b>4</b>	<b>Verkaufsstätte mit Ladenstraße</b>			
<b>A</b>	Personendichte Läden: mit 0 bis 2 Personen/m <sup>2</sup> in der Ladestraße	5660m <sup>2</sup> 670m <sup>2</sup>	2550 P 0- 1340	17m
<b>B</b>	Ladenstraße möblierter			
<b>C</b>	Rettungsweglänge auf Ladenstraße 55m			
<b>D</b>	verschiedene Reaktionszeiten			
<b>E</b>	verbreiterte Ausgänge aus Ladenstraße			
<b>F</b>	Rettungsweglänge auf Ladenstraße 55m und verbreiterte Ausgänge aus Ladenstraße			
<b>5</b>	<b>Parameterstudie Rettungsweglängen</b>		400 P	0,8m bis 2,4m
	30m, 60m, 90m, bei unterschiedlichen Dichten			

**Tabelle 7** Fallbeispiele; Geometrie vgl. Anlage 1

In Verbindung mit unterschiedlichen Ausgangsbreiten, modifizierten Varianten („mod“) zur Vergleichmäßigung der Aufteilung und Berechnungen mit unterschiedlichen Simulationsmodellen wurden etwa 300 Berechnungen durchgeführt.

## 4 Globale Auswertung Versammlungsräume

### 4.1 Allgemeines

Bei den Beispielen mit erforderlichen Rettungswegbreiten nach MVStättV (mind. 1,20m je 200 Personen für Versammlungsräume in Gebäuden bzw. 1,20m je 600 Personen für Versammlungsräume im Freien), erhält man im Allgemeinen und unabhängig vom Simulationsmodell für alle Szenarien längere Entleerungsdauern als die in der Begründung zur MVStättV angegebenen Entleerungsdauern von 2 Minuten bzw. 6 Minuten. Dies gilt insbesondere und naturgemäß dann, wenn eine ungleichmäßige Benutzung bzw. Aufteilung der Personen auf die Rettungswege vorliegt.

Hinsichtlich der Prognostizierung der Bewegungsabläufe und Lokalisierung von Personenverdichtungen bzw. Stauungen zeigten die Programme sehr ähnliche Ergebnisse. Einerseits treten bei allen Modellen im Bereich der Ausgänge Dichten von (bis zu bzw.) über 4 P/m<sup>2</sup> auf. Andererseits wurde für alle berechneten Szenarien deutlich, dass die Wegzeit (Laufzeit) entsprechend der Weglänge im Vergleich zur Passagezeit (Stauzeit) bei Dichten von 2 bis 3 P/m<sup>2</sup> vernachlässigbar ist. Die Entleerungsdauer wird bei den vorgegebenen Szenarien somit fast ausschließlich durch die Stauzeit bestimmt.

## 4.2 Einfluss Simulationsmodell

Die berechnete Entleerungsdauer für ein und dasselbe Szenarium ist je nach angewendetem Programm sehr unterschiedlich. Sie ergibt sich im wesentlichen durch das dem Programm zugrunde liegende Modell, vgl. Kapitel 3.2. Durch die Schaffung gleichartiger Voraussetzungen infolge einer durchgeführten Anpassung der Ausgangsparameter konnten vereinzelt vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der Entleerungsdauer erzielt werden.

Wie in Abschnitt 3.4.1 ausgeführt, wurde für die Mehrzahl der Berechnungen eine Skalierung auf die Spurbreite der MVStättV (0,6m) vorgenommen<sup>20</sup>. D.h. eine Ausgangsbreite oder Gangbreite von 2,4m entspricht bei PedGo, ASERI 40/40cm und Exodus dann 4 Zellen. Damit werden naturgemäß Entleerungszeiten länger als bei Ansatz von 6 bzw. 5 Zellen.

### 4.2.1 Ergebnisvergleich ASERI Standardeinstellungen mit ASERI 40/40cm

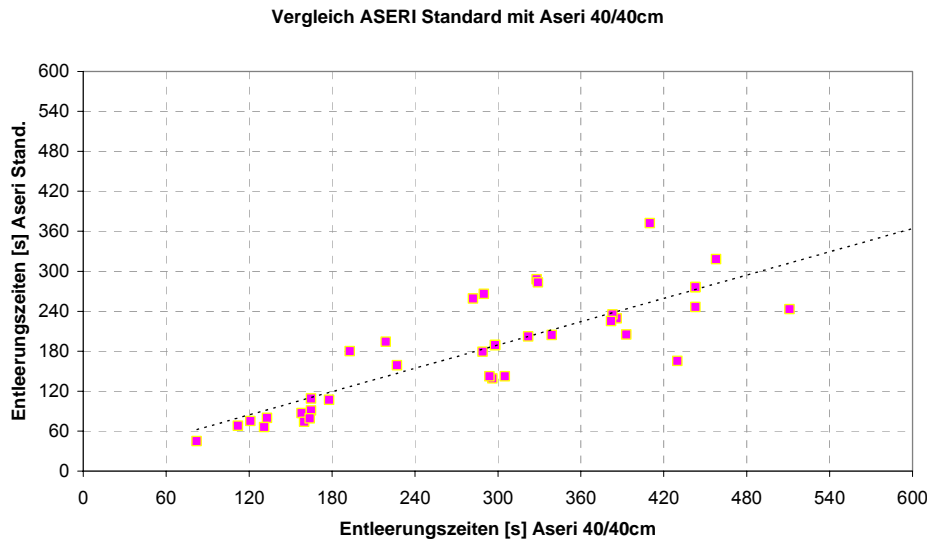
Wie schon an früherer Stelle erwähnt, wurde die Modellierung ASERI 40/40 nur vorgenommen um den Einfluss der anspruchsvolleren geometrischen Modellierung der einzelnen Personen bei der Standardeinstellung zu eliminieren, um so einen besseren Vergleich zu den anderen Programmen herzustellen.

	<b>Personen nebeneinander bei Breite 2,4m</b>	<b>Ausgangsbreite bei Berechnung</b>	<b>Personen nebeneinander bei Ausgangsbreite gemäß Berechnung</b>
ASERI Standard	4,57 bis 7,6 (quer)	2,4m - Originalbreite	4,57 bis 7,6 (quer)
ASERI 40/40cm	6,0	1,6m	4,0

**Tabelle 8:** Vergleich der Modellierung ASERI Standard und ASERI 40/40cm (skaliert)

<sup>20</sup> außer bei ASERI-StandardEinstellung

Ein globaler Vergleich der Beispiele zeigt erwartungsgemäß, dass mit der Modellierung 40/40cm längere Entleerungszeiten als mit den Standardeinstellungen berechnet werden:



5 **Abb. 8:** Ergebnisvergleich ASERI Standardeinstellungen mit ASERI 40/40cm (skaliert)

Der Unterschied nur beim Ausgangsindex, z.B. im Gebäude

ASERI Standard: 87,5

ASERI 40/40cm: 100

erklärt den Unterschied nicht.

10 Ohne Skalierung der Ausgangsbreite bei ASERI 40/40cm würde der Ausgangsindex im Gebäude bei

ASERI 40/40cm: 66

betragen, was den Unterschied verringert, aber nicht vollständig abdeckt. Zunächst kann man aber hieraus schließen, dass eine Skalierung innerhalb von ASERI zur Anpassung an unterschiedliche Personengeometrien nicht zielführend ist.

15 Wesentlicher ist wohl die, bei der Standardeinstellung mögliche Querstellung der Personen an Ausgängen – die sich jedoch offenbar je nach Fallbeispiel unterschiedlich auswirkt. Das wäre eine mögliche Erklärung für die starke Streuung. Die Modellierung bei der Standardeinstellung hat zudem offensichtlich auch Auswirkungen außerhalb des unmittelbaren Ausgangsbereichs.

20 *Vergleich Modus „Entfluchtung“ und Modus „Gefahr“*

Festzuhalten ist, dass die Berechnungen für den Modus „Entfluchtung“ durchgeführt wurden. Im Modus „Gefahr“ verkürzen sich Entleerungszeiten, wie für ein extremes Beispiel (3600 P im Freien mit Überfüllung) überprüft wurde:

25

Beispiel 1a_A		ASERI	ASERI	ASERI	ASERI
Pers.	Ausgang [m]	Standard 52/31cm „Entfluchtung“	40/40cm „Entfluchtung“	Standard. 52/31cm „Gefahr“	40/40cm „Gefahr“
3600	4,8	276	443	227	309

**Tabelle 9:** Ergebnisvergleich Modus „Entfluchtung“ und Modus „Gefahr“ – Beispiel 1a\_A

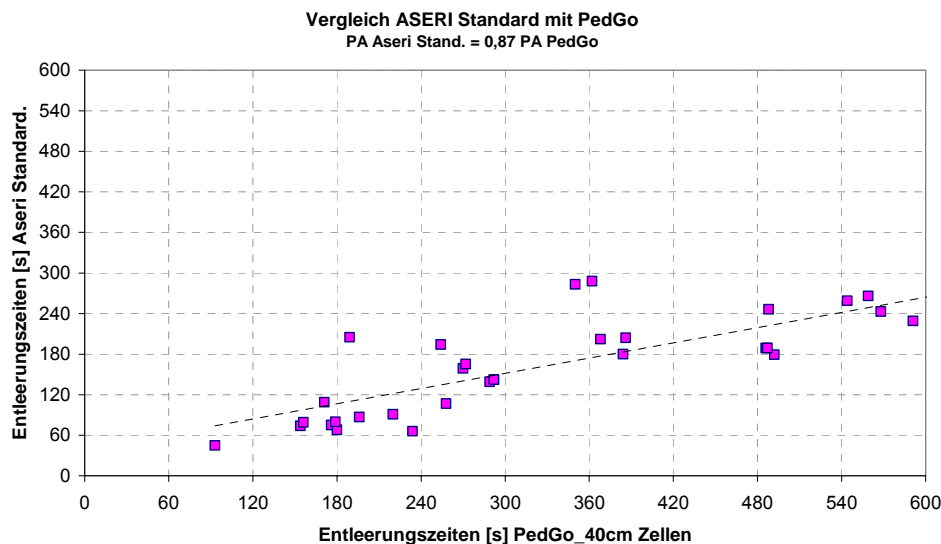
Bei der Standardeinstellung betragen im Modus „Gefahr“ die Entleerungszeiten 82% der Entleerungszeiten des Modus „Entfluchtung“; Personendichten steigen im Modus „Gefahr“ bis auf 7 Personen/m<sup>2</sup>.

- 5 Bei ASERI 40/40cm ist der Unterschied etwas größer (70%) bei Dichten im Gefahrenmodus bis zu 10 Personen/m<sup>2</sup> - wobei nochmals betont wird, dass ASERI 40/40cm eine nur für Vergleichszwecke vorgenommene Abwandlung darstellt.

#### 4.2.2 Ergebnisvergleich ASERI und PedGo

- 10 Nachfolgend ist der Vergleich ASERI Standardeinstellungen mit PedGo für Fallbeispiele dargestellt, mit den mehrfach angesprochenen unterschiedlichen Entleerungszeiten.

Im Hinblick auf den Ausgangsindex und die mögliche Querstellung an Ausgängen gelten die gleichen Ausführungen wie beim Vergleich ASERI- Standardeinstellungen und ASERI 40/40cm.  
15 Der Unterschied für Gebäude ist geringer als bei Ausgangsdimensionierung für das Freie.



**Abb. 9:** Globaler Vergleich ASERI- Standardeinstellungen mit PedGo (skaliert)

- 20 Zunächst ist es naheliegend, den Unterschied auf die möglicherweise nicht gerechtfertigte Skalierung bei PedGo zurückzuführen.

Daher ist in der nachfolgenden Abbildung der Vergleich mit PedGo mit nicht skalierten (also Original- Ausgangsbreiten) gezeigt (wobei die zugrunde liegenden Datensätze in der Abbildung  
25 kleiner sind).

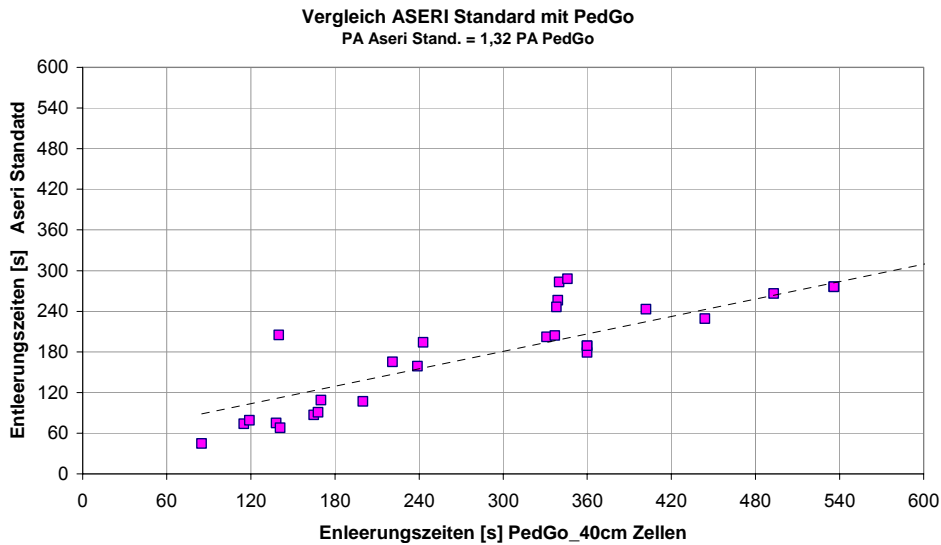


Abb. 10 Globaler Vergleich ASERI- Standardeinstellungen mit PedGo (Originalbreiten)

Eine gewisse Annäherung ist feststellbar, aber die Skalierung erklärt nicht den Unterschied.

5

Eine bessere Annäherung zwischen PedGo und ASERI erhält man, wenn bei ASERI an den Ausgängen „Zwischenräume“ modelliert werden. Bei der Modellierung von Zwischenräumen verlängern sich Zeiten bei ASERI um 20 bis 60%. Damit bleibt ASERI weiterhin schneller, aber in der Größenordnung könnten Entleerungszeiten mit ASERI im Mittel dann etwa 70% der Ergebnisse mit PedGo entsprechen bzw. umgekehrt: Die Entleerungszeiten mit PedGo wären nur mehr in der Größenordnung 30% länger.

10

Im nachfolgenden Diagramm ist die abgewandelte ASERI Modellierung 40/40cm den PedGo Daten gegenübergestellt. ASERI und PedGo Berechnungen haben den gleichen Ausgangsindex und gleiche Ausgangsbreiten; hier spielt eine Skalierung keine Rolle.

15

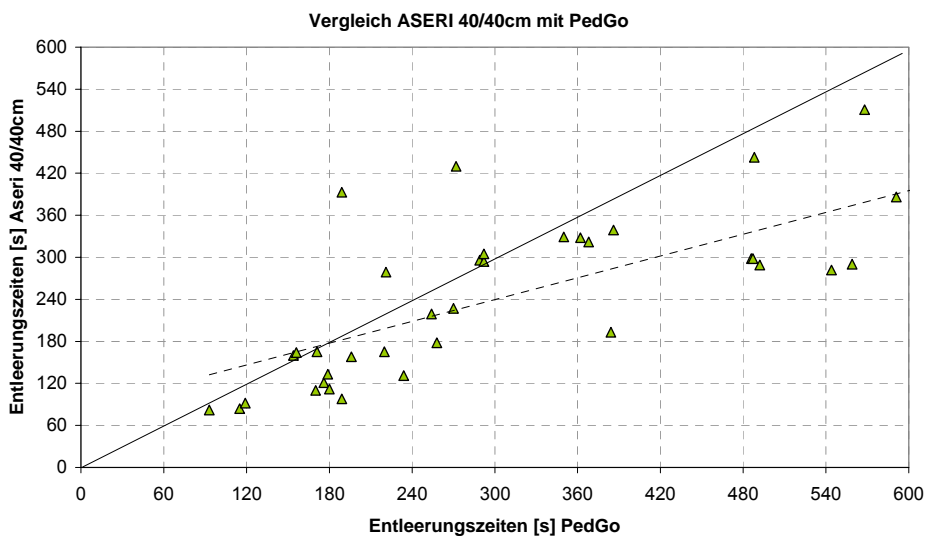


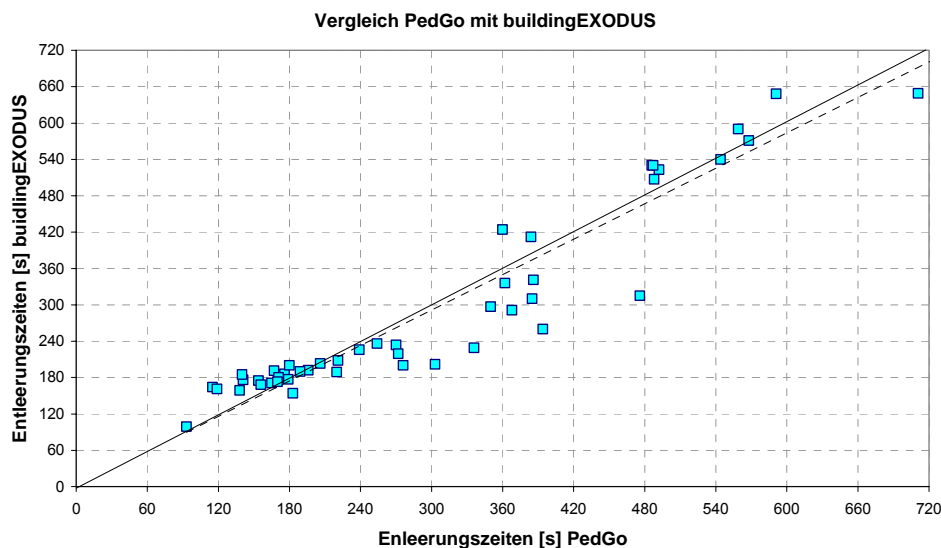
Abb. 11: Globaler Vergleich ASERI 40/40cm mit PedGo (beide skaliert)

In Abb. 11 sind mehr Datenpunkte enthalten als in Abb. 9. Eine deutliche Annäherung der ASERI 40/40cm Berechnungen an die PedGo Berechnungen (oder umgekehrt) ist zu erkennen, der Unterschied bleibt dennoch groß<sup>21</sup> mit beachtlicher Streuung. Mit Bezug auf die Streuung zwischen ASERI Standardeinstellung und ASERI 40/40cm wird das Streumaß hier jedoch relativiert. Bei Modellierung von Zwischenräumen bei ASERI, die bei ASERI 40/40cm eine Verlängerung von Entleerungszeiten von 20 bis 50% bewirken können, sind im Mittel ähnliche Ergebnisse zu erwarten.

Abgeprüft wurde punktuell auch eine Modellierung von ASERI mit 45/45cm, welche annähernd ähnliche Ergebnisse liefert wie ASERI 40/40cm.

#### 4.2.3 Ergebnisvergleich PedGo und buildingEXODUS

Die Entleerungszeiten bei PedGo und buildingEXODUS liegen relativ nahe beieinander:



15

**Abb. 12:** Vergleich PedGo mit buildingEXODUS

Ausgangsindices sind identisch. Die lineare Trendlinie deutet fast Identität an. Die gemittelten Entleerungszeiten unterscheiden sich nur um 2%. Größere Abweichungen zwischen PedGo und buildingEXODUS werden bei Bestuhlung (und auch bei der Verkaufsstätte) festgestellt. Tendenziell ist die Entleerungszeit bei PedGo etwas kürzer als bei buildingEXODUS, wenn nur die Ausgangsbreite entscheidend ist (also bei Stehplätzen) und langsamer, wenn Rettungswege über Gänge und Flure führen.

#### 4.2.4 Folgerungen

Um Programmunterschiede bei der Modellierung des Verhaltens von Personen auszublenden, wurden die Funktionen zur Modellierung weitgehend – bis auf gezielte Vergleichsberechnungen – deaktiviert. D.h. die Programme bzw. Personen verhalten sich somit deutlich weniger

<sup>21</sup> PedGo ist nur schneller als ASERI bei 1b\_9600\_57,6m und 1b\_mod\_9600\_57,6m und 1a\_C\_mod\_3600\_21,6m

„intelligent“ als programmtechnisch möglich. Dennoch ergeben die verwendeten Programme erheblich unterschiedliche Entleerungszeiten. Frühere Untersuchungen, z.B. auch die Nachrechnung einer Evakuierungsübung des Tampere-Theaters in Finnland, ergaben weit geringere Unterschiede als hier ermittelt, vgl. z.B. [WECK].

5

Plausibel scheint die Erklärung, dass je vielschichtiger die Evakuierungssituation ist (nicht nur Ausgänge, sondern auch Treppen, Flure, Foyers), umso mehr gleichen sich die Unterschiede bei den einzelnen Programmen aus. D.h. die Programme sind für komplexe geometrische Situationen, wie sie etwa bei der Evakuierung eines gesamten Gebäudes vorliegen, geeigneter als für einzelne Räume. Letztlich sind die Programme wohl auch eher für derartige Anwendungen gedacht.

10

Die Ausgänge bestimmen in diesem Fall die Gesamtentleerungsdauer, so dass die Dynamik (z.B.  $F(\rho)$ ) nahezu irrelevant wird.

15

Die Ergebnisse von PedGo und buildingEXODUS – beides diskrete Modelle – liegen relativ nahe beieinander. Größere Unterschiede sind zu verzeichnen, wenn Rettungswege über Gänge und Flure führen.

20

ASERI liefert generell geringere Entleerungszeiten. Die Unterschiede zwischen PedGo/buildingEXODUS einerseits und ASERI andererseits sind für Versammlungsräume im Freien, also bei Ausgangsdimensionierung für 300 Personen je 0,6m ausgeprägter als in Gebäuden.

25

Möglich ist auch, dass bei PedGo/buildingEXODUS Entleerungszeiten stärker von einzelnen „Nachzüglern“ geprägt werden als bei ASERI, so dass die Betrachtung von z.B. 95%-Quantilen eine weitere Annäherung von Ergebnissen bringen könnte<sup>22</sup>.

30

In jedem Fall kann festgestellt werden, dass die ursprünglich als erforderliche erachtete Skalierung von Wegbreiten zur Anpassung an die geometrische Modellierung von Personen je Programm, wohl eher nicht erforderlich ist.

35

Im Übrigen ist zu erwarten, dass Standards zur Validierung und Verifizierung von Simulationsmodellen wie sie z.B. im Rahmen des RiMEA Projektes entwickelt werden, künftig erhebliche Verbesserungen erbringen.

### 4.3 Verteilung der Personen auf die Ausgänge

40

Entscheidend für die Entleerungsdauer und die Bildung von Stauungen ist, wie sich die Personen auf die Ausgänge<sup>23</sup> verteilen. Im Rahmen eines jeden Beispiels und Programms bringt die gleichmäßige Verteilung der Personen auf die verfügbaren Ausgänge bzw. Ausgangsbreiten, die kürzeste Entleerungszeit und somit einen einfachen unteren Grenzwert.

45

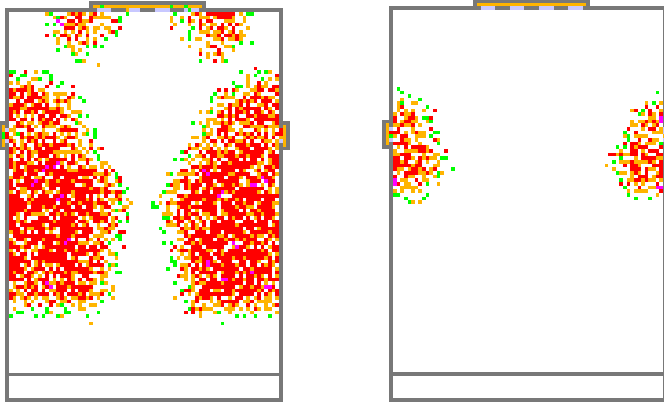
Dabei bedeutet „gleichmäßige Verteilung“: Für jeden Ausgang  $i$  mit der Breite  $a_i$ :  
 $P_i/a_i \approx \text{const.}$

bei annähernd gleichen „Durchflusseigenschaften“, sodass für jeden Ausgang annähernd die gleiche Entleerungszeit  $t_{E,i} \approx \text{const.}$  berechnet wird.

<sup>22</sup> ungeachtet der problematischen Interpretation einer 95% Quantilen bei der Entleerungszeit

<sup>23</sup> allgemeiner: Rettungswege

Alle Fallbeispiele wurden zunächst mit dem Kriterium „kürzester Weg“ berechnet, d.h. jede Person wird dem nächstgelegenen Ausgang automatisch zugeordnet. Je nach Anordnung der Ausgänge führt das Kriterium „kürzester Weg“ zu extrem ungleichmäßigen Aufteilungen der Personen auf Ausgänge, daraus ergeben sich sehr unterschiedliche Entleerungszeiten je Ausgang, was wiederum zu langen Entleerungszeiten für den betrachteten Raum führt.



**Abb. 13:** Veranschaulichung der ungleichmäßigen Aufteilung der Personen auf Ausgänge Beispiel 1a\_C

10

Die Simulationsprogramme beinhalten teilweise Optionen (z.B. über den Parameter „Geduld“ bei PedGo und buildingEXODUS oder über die Personeneigenschaft „Balance“ bei ASERI), die einen Wechsel von Personen an hoch belasteten zu gering belasteten Ausgängen bewirken.

15

Dadurch soll sichergestellt werden, dass die in Frage kommenden Ausgänge hinsichtlich der Personenzahl gleichmäßiger ausgelastet sind. Da jedoch der implementierte Mechanismus, auf Grund dessen ein „Umentscheiden“ stattfindet, für den Anwender nicht klar ersichtlich ist und je nach Programm unterschiedliche Wirkungen zeigt, wurden diese Optionen nicht genutzt. Insofern wurden die Programme gewissermaßen „absichtlich unintelligent“ gehalten.

20

Stattdessen wurden modifizierte Fallbeispiele „mod“ gerechnet, bei denen über zugeordnete Flächen oder vorgegeben Routen eine gleichmäßigere Aufteilung auf Ausgangsbreiten entsteht.

25

Nachfolgend sind einige Fallbeispiele – einmal nach dem Kriterium „kürzester Weg“, einmal mit modifizierter Zuordnung der Personen zu den Ausgängen - hinsichtlich der Personenzahlen und Entleerungszeiten je Ausgang ausgewertet.

30

ASERI, buildingEXODUS und PedGo zeigen tendenziell ähnliche Ergebnisse. Die nachfolgende dargestellte Detailauswertung wurde jedoch nur für Ergebnisläufe mit PedGo durchgeführt.

Anm.: Bei den Beispielen sind die Türbreiten je Ausgang gleich, so dass die Personenzahlen  $P_i$  anstelle von  $P_i/a_i$  dargestellt werden.



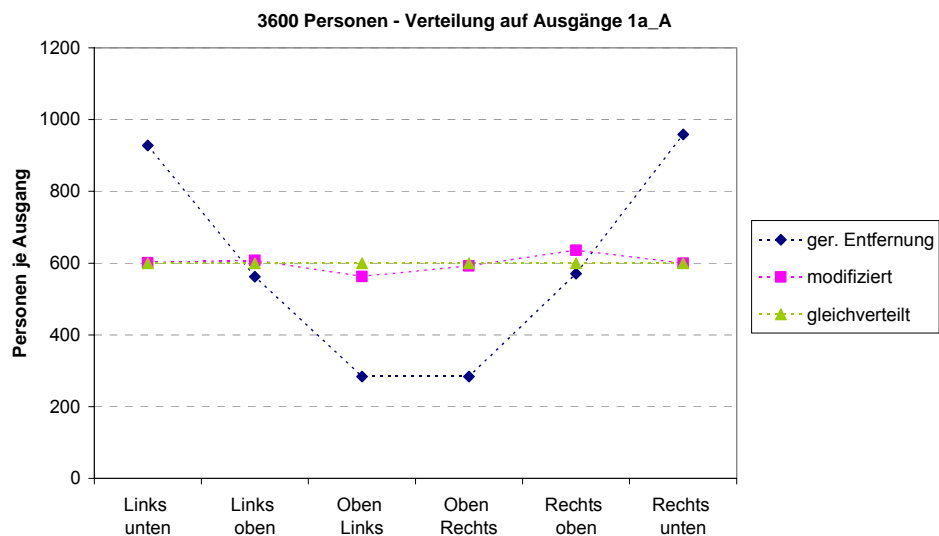
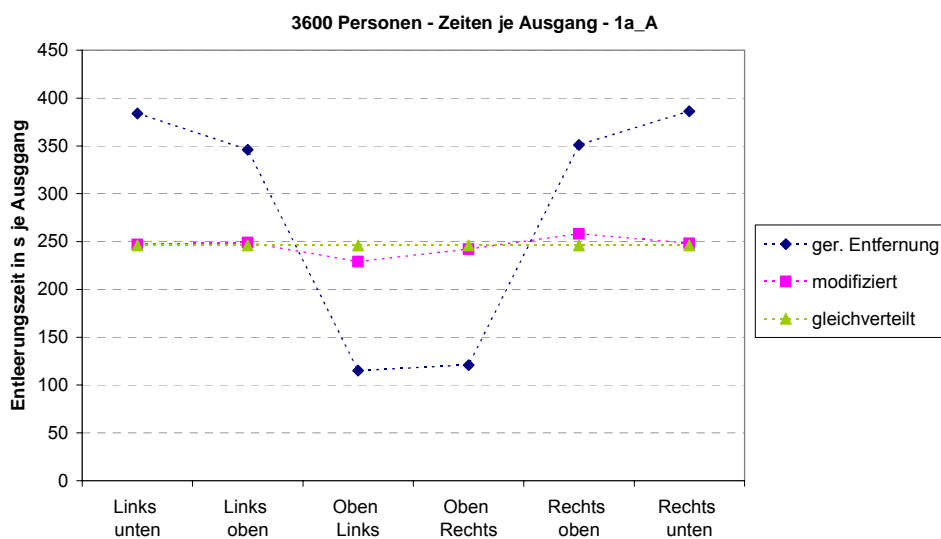


Abb. 14: Personen je Ausgang für Beispiel 1a\_A\_3600P<sup>24</sup>



5 Abb. 15: Entleerungszeiten je Ausgang für Beispiel 1a\_A\_3600P<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Ausgänge sind unterdimensioniert

<sup>25</sup> Ausgänge sind unterdimensioniert

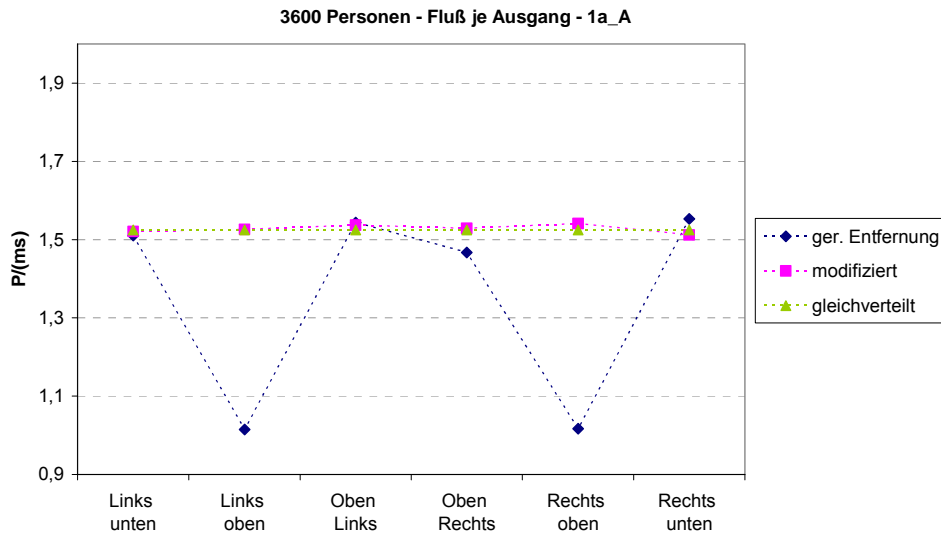
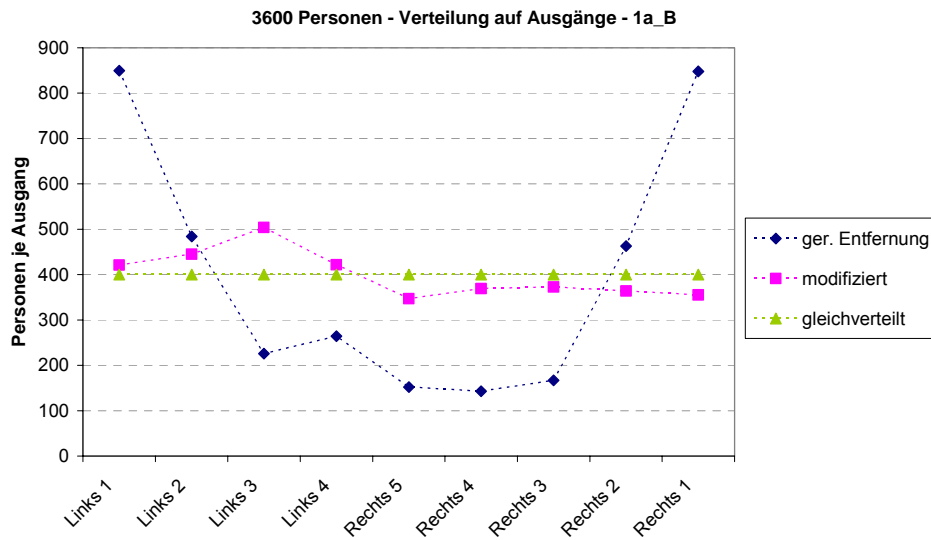


Abb. 16: Fluss je Ausgang für Beispiel 1a\_A\_3600P

5 Extreme Ungleichförmigkeiten rühren auch daher, dass unmittelbare nebeneinander liegende Ausgänge bzw. Türen nicht als Türgruppe, sondern als eigenständige Türen modelliert werden und somit die Kürzeste- Weg- Zuordnung zum einzelnen Ausgang erfolgt, vgl. z.B. die erste und letzte Tür im nachfolgenden Diagramm.



10 Abb. 17: Personen je Ausgang für Beispiel 1a\_B\_3600P

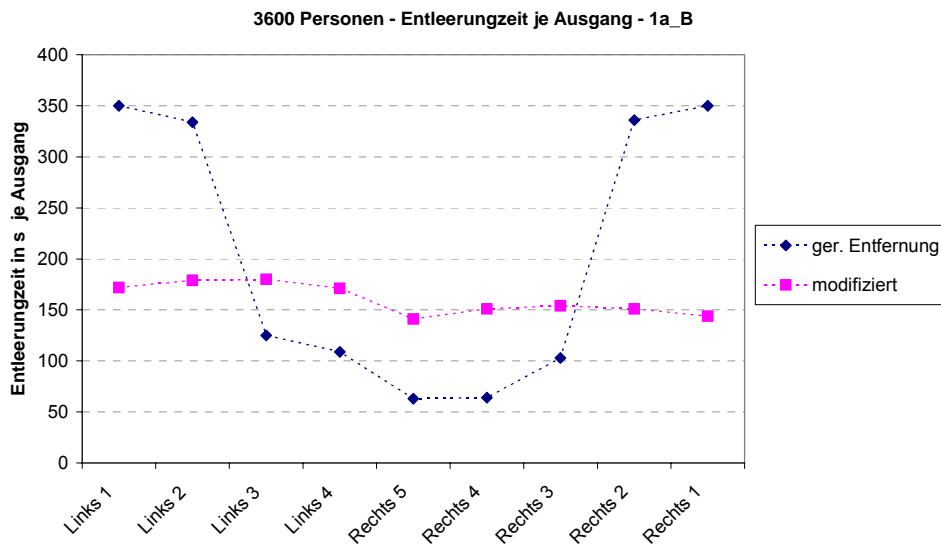
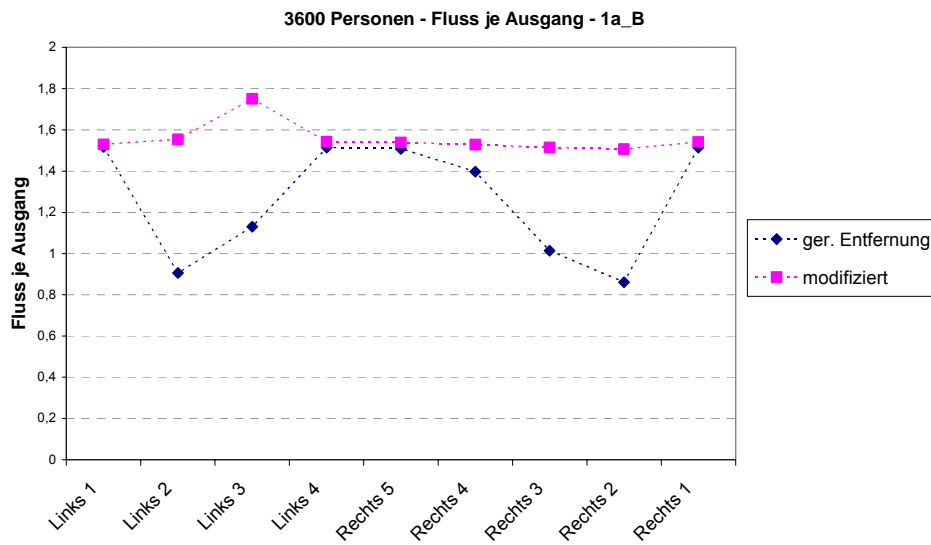


Abb. 18: Entleerungszeiten je Ausgang für Beispiel 1a\_B\_3600P



5

Abb. 19: Fluss je Ausgang für Beispiel 1a\_B\_3600P

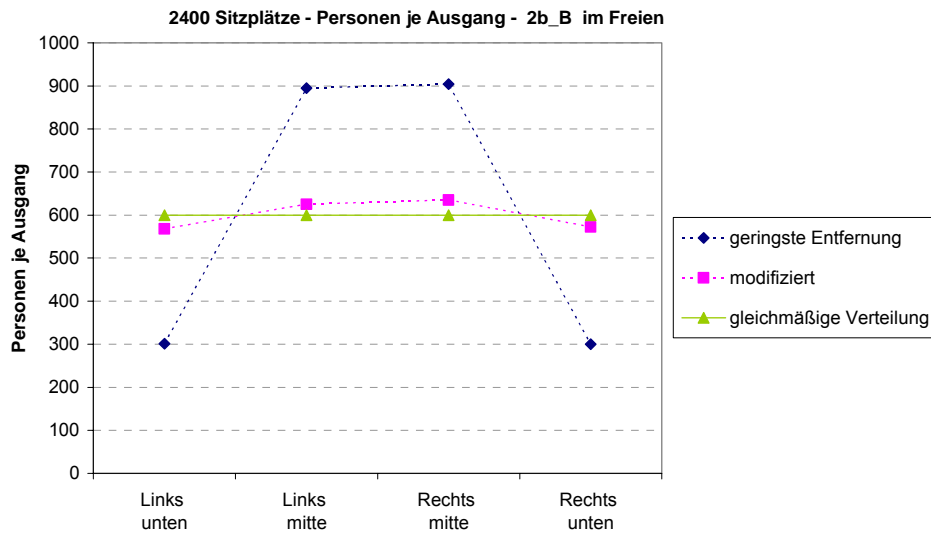
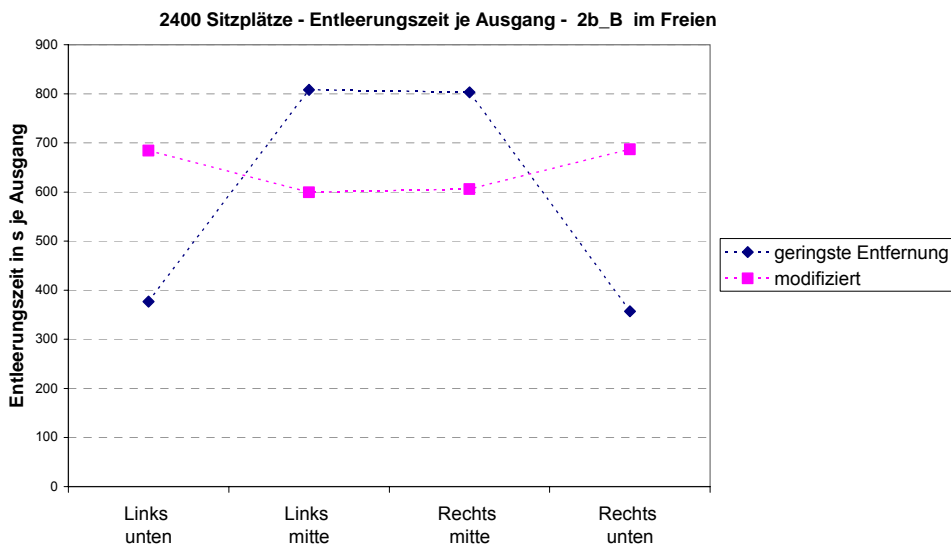


Abb. 20: Personen je Ausgang für Beispiel 2b\_B\_2400P



5 Abb. 21: Entleerungszeiten je Ausgang für Beispiel 2b\_B\_2400P

Eine von vornherein gleichmäßige Verteilung auf Ausgänge – da die Ausgänge entsprechend dem Kriterium kürzester Weg angeordnet sind – liefern etwa die Beispiele 2a und 2b\_A.

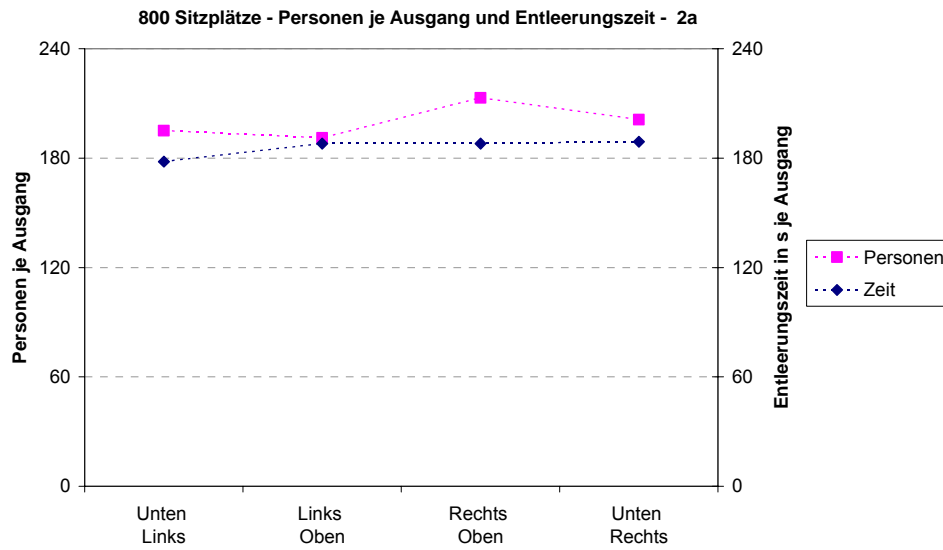
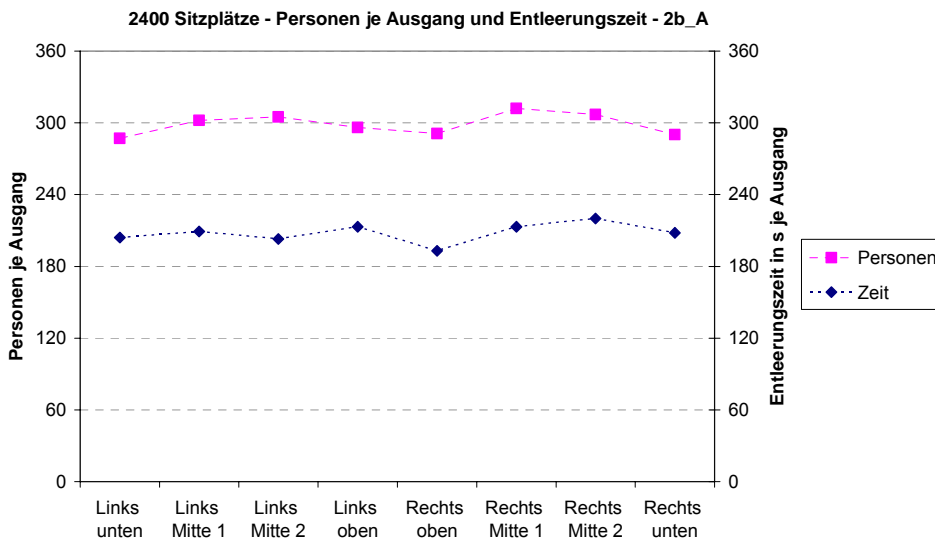


Abb. 22: Personen und Entleerungszeiten je Ausgang für Beispiel 2a\_800 P

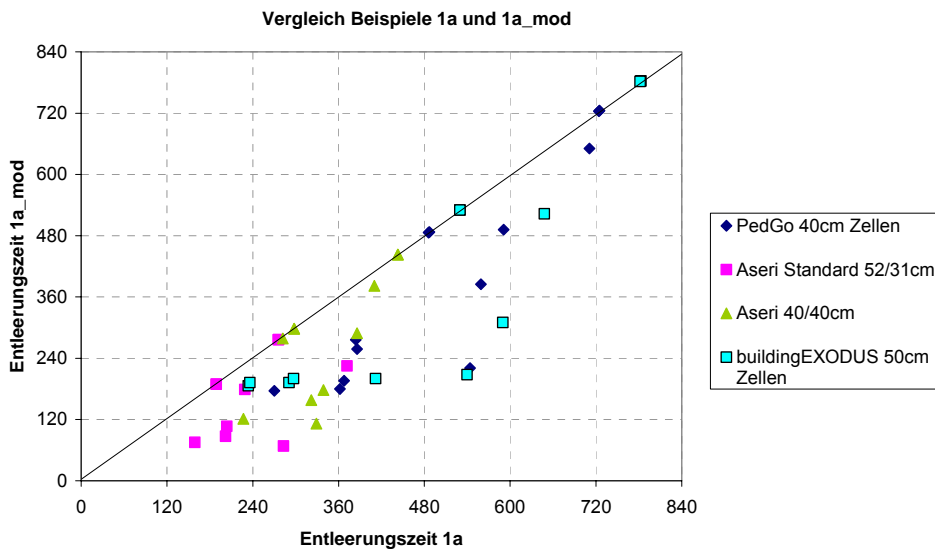


5 Abb. 23: Personen und Entleerungszeiten je Ausgang für Beispiel 2b\_A\_2400 P

Nachfolgend sind die Ergebnisse „kürzester Weg“ den modifizierten Ergebnissen gegenübergestellt. Identität besteht bei zwei (gegenüber liegenden) Ausgängen, wie sie für Fallbeispiele im Freien vorliegen.

10

Aus der Gegenüberstellung ist erkennbar, dass die Entleerungszeiten beim „kürzester Weg“ Kriterium bis zu 200% über den Entleerungszeiten bei den modifizierten Fallbeispiel liegen.



**Abb. 24:** Vergleich der Entleerungszeiten für das Kriterium „kürzester Weg“ gegenüber den modifizierten Varianten

5 Eine mögliche Masszahl zur Beschreibung der ungleichförmigen Verteilung ist folgende:

$$u = \frac{\sum |(1 - P_i/P_{i,opt})|}{\sqrt{n(n-1)}}$$

- mit  $P_{i,opt} = (a_i/a) \cdot P$
- n Anzahl der Ausgänge
  - a Summe der Ausgangsbreiten
  - $a_i$  einzelne Ausgangsbreite
  - P Gesamt-Personenzahl
  - $P_i$  Personen über Weg/ Ausgang i mit Breite  $a_i$

15 Sie entspricht dem einfachen mittleren „Fehler“ bezogen auf die optimale Aufteilung. Für die Beispiele der vorherigen Abbildungen erhält man dann folgende Masszahlen für die Ungleichförmigkeit in Prozent:

Beispiel	u in %	Beispiel	u in %
1a_A_3600	42,2%	1a_A_3600_mod	2,7%
1a_B_3600	61,7%	1a_B_3600_mod	1,1%
2b_B_2400	44,6%	2b_B_2400_mod	4,5%
		2a_800	4,0%
		2b_A_2400	2,8%

20 Zum Teil entspricht eine ungleichförmige Belastung der Ausgänge der Praxis, nicht unbedingt, weil Personen nur den nächstgelegenen Ausgang nehmen, sondern vielmehr den bekannten Weg bevorzugen, auf dem sie gekommen sind, also etwa den Haupteingang. So findet sich in amerikanischen Vorschriften die Vorgabe, dass der jeweilige Haupteingang/ Zugang für 50% der Personen auszulegen ist.

Man weiß ferner, dass ein vollständiger Ausgleich – im Sinne einer gleichmäßigen Verteilung - auf zwischenzeitlich freie Ausgänge kaum stattfindet. Ungleichförmigkeiten in der Größenordnung der ersten 3 Beispiele ( $u > 40\%$ ) sind in der Regel jedoch nicht zu erwarten (nochmaliger Hinweis: Zur besseren Vergleichbarkeit der angewendeten Modelle wurden die Programme bzw. die Personen in den Programmen bewusst unintelligent gehalten).

Hinsichtlich der Anordnung von Ausgängen enthält die (M)VStättV nur die Vorgaben,

- mindestens zwei möglichst weit auseinander und entgegengesetzt liegend
- Entfernung zu einem Ausgang nicht länger als 30m ...
- alte VStättV noch: Mehrzahl der Besucher muss sich beim Verlassen des Raums von der Bühne abwenden.

Sie enthält keine konkreten Vorgaben, wie Ausgangsbreiten zu verteilen sind und stellt es dem Planer anheim, eine plausible Aufteilung der Personen auf die Ausgänge eines Raumes vorzunehmen.

Für die praktische Anwendung kann man schließen, dass in der Regel eine Verteilung der Ausgangsbreiten unter Würdigung des Kriteriums „Zugang“ und im übrigen eine Aufteilung der Personen gemäß der kürzesten Entfernung zu bevorzugen ist um Entleerungszeiten zu minimieren.

Für Berechnungen kann man schließen, dass

- eine Aufteilung gemäß der kürzesten Entfernung tendenziell einen oberen Grenzwert
- die gleichmäßige Aufteilung von Personen auf die Ausgangsbreiten einen unteren Grenzwert

der Entleerungszeit ergibt.

Wenn bei der Berechnung, sei es

- über das Kriterium „kürzester Weg“ oder
- über zugewiesene Ausgänge

eine gleichmäßige Personenaufteilung auf Ausgänge vorliegt (bzw. für alle Ausgänge  $t_{E,i} \approx \text{const}$ ), hat man einen unteren Grenzwert errechnet. Für solche Fälle ist es angebracht – etwa im Rahmen des RiMEA-Projektes - eine Mindest-Ungleichförmigkeit vorzugeben, oder aber, resultierende Entleerungszeiten mit einem Zuschlag entsprechend zu erhöhen.

## 4.4 Stehplätze

### 4.4.1 Anordnung der Ausgänge

Die Beispiele 1a (A und B und C) unterscheiden sich geometrisch nur über unterschiedliche Anordnungen der Ausgänge. Insofern ist das Thema eng verwandt mit Abschnitt 4.3 (Verteilung der Personen auf die Ausgänge) und wird hier nur hinsichtlich der Stehplatz-Ergebnisse ausgewertet.

Berechnet wurden die Entleerungszeiten zunächst nach dem Kriterium „kürzester Weg“.

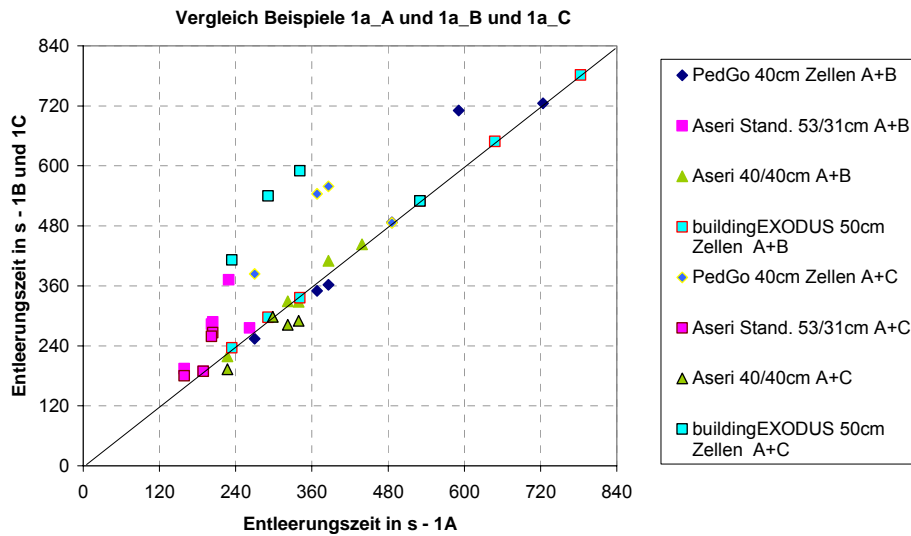


Abb. 25: Vergleich der Entleerungszeiten Beispiele 1a\_A mit den Beispielen 1a\_B und 1a\_C

Das Kriterium „kürzester Weg“ führt zu einer sehr ungleichförmigen Verteilung der Personen auf Ausgänge, insbesondere bei Beispiel 1a\_C. Insofern sind bei 1a\_C in der Regel auch längere Zeiten als bei den beiden anderen Beispielen zu verzeichnen (bis auf ASERI 40/40cm) und folglich auch ein geringerer globaler Fluss. Identität der Entleerungszeiten ist bei den Beispielen mit Ausgangsbreiten 2 x 2,4m gegeben, hier mit gleichmäßiger Verteilung auf die beiden Ausgänge.

10

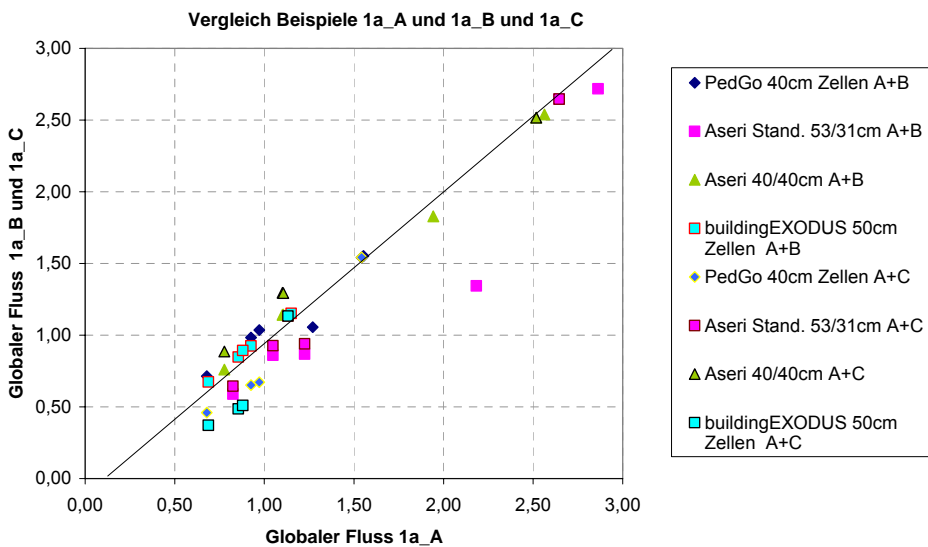


Abb. 26: Vergleich der globalen Flüsse Beispiele 1a\_A mit den Beispielen 1a\_B und 1a\_C

Für eine gleichmäßigere Verteilung der Personen auf Ausgänge wurden, wie schon mehrfach erwähnt, modifizierte Fallbeispiele „mod“ gerechnet. Nachfolgend ist das Vergleichs-Diagramm aus Abschnitt 4.3 hier nochmals wiederholt.

15



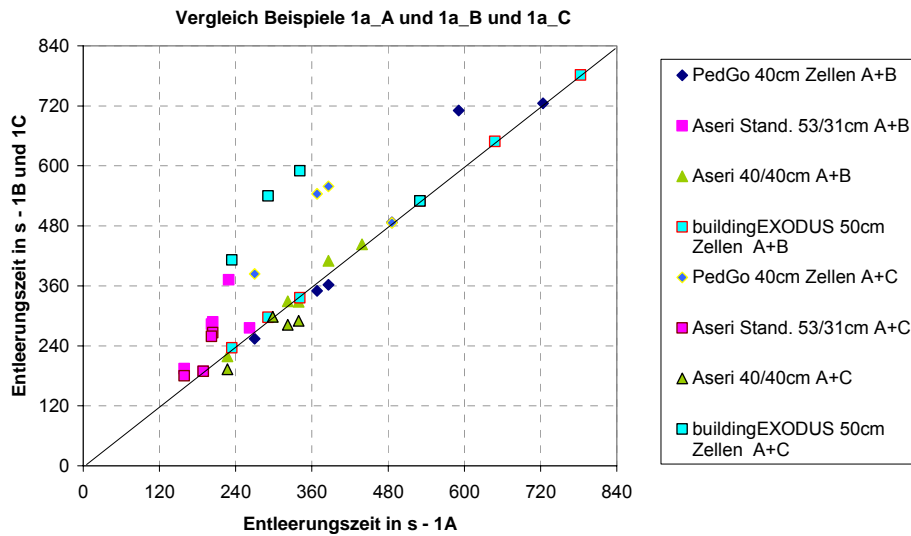


Abb. 27: Vergleich der Entleerungszeiten Beispiele 1a mit den modifizierten Beispielen 1a\_mod

5 Entleerungszeiten sind bei den modifizierten Beispielen entsprechend kürzer und globale Flüsse höher. Identität der Entleerungszeiten ist wieder bei den Beispielen mit Ausgangsbreiten 2 x 2,4m gegeben. Die Folgerungen entsprechen denen von Abschnitt 4.3

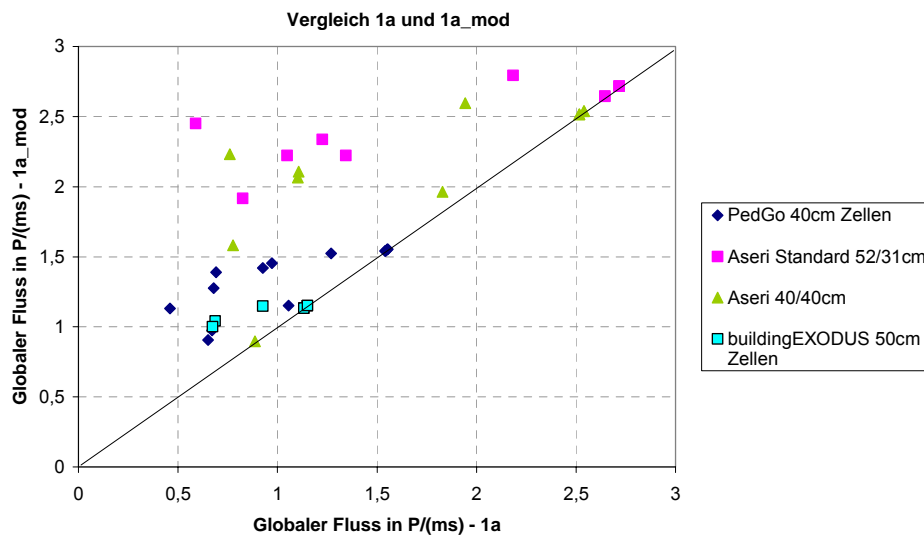


Abb. 28: Vergleich der globalen Flüsse Beispiele 1a mit den Beispielen 1a\_mod

10

#### 4.4.2 Einfluss Anfangsdichte

Mit den Beispielen 1a (1200m<sup>2</sup> - Stehplätze), die für 2 Personen/m<sup>2</sup> und 3 Personen/m<sup>2</sup>

15 gerechnet wurden, kann der Einfluss der Anfangsdichte tendenziell untersucht werden. Berücksichtigt werden selbstredend nur die Ergebnisse, bei denen für 3 Personen/m<sup>2</sup> die

Ausgangsbreiten gemäß MVStättV um den Faktor 1,5 gegenüber dem Fall 2 Personen/m<sup>2</sup> erhöht wurden (z.B. 21,6m gegenüber 14,4m).

Die Untersuchung größerer Anfangsdichten als 4 P/m<sup>2</sup> bzw. 6,25 P/m<sup>2</sup> ist mit den Programmen buildingEXODUS bzw. PedGo nicht möglich, da sie nur eine maximale Dichte von 4 bzw. 6,25 Personen je m<sup>2</sup> abbilden. Bei ASERI ist eine *Anfangsdichte* über 3 P/m<sup>2</sup> nicht möglich.

Man kann feststellen, dass Entleerungszeiten abhängig von der ursprünglichen Dichte der Personen im Raum sind; sie nehmen mit zunehmender Dichte zu.

10

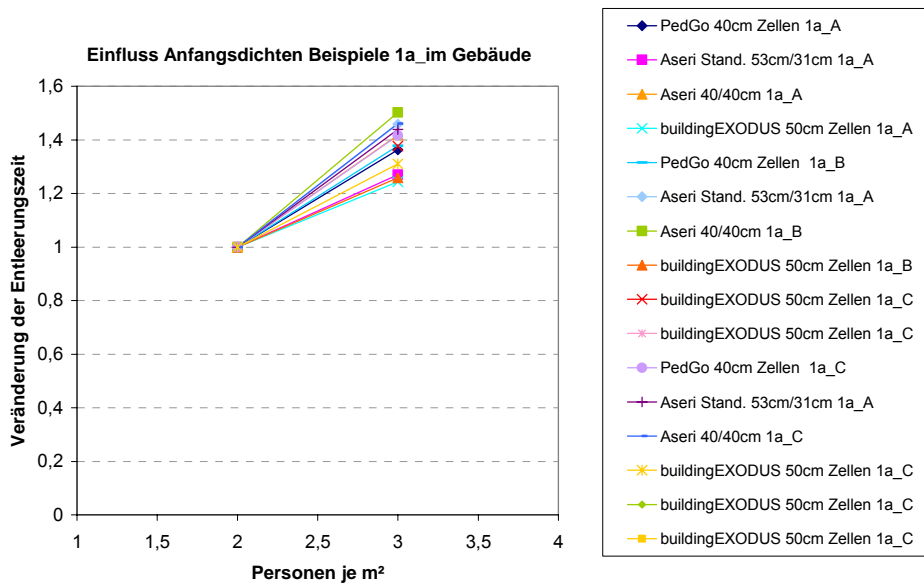


Abb. 29: Erhöhung der Entleerungszeit bei erhöhter Anfangsdichte – in Gebäuden

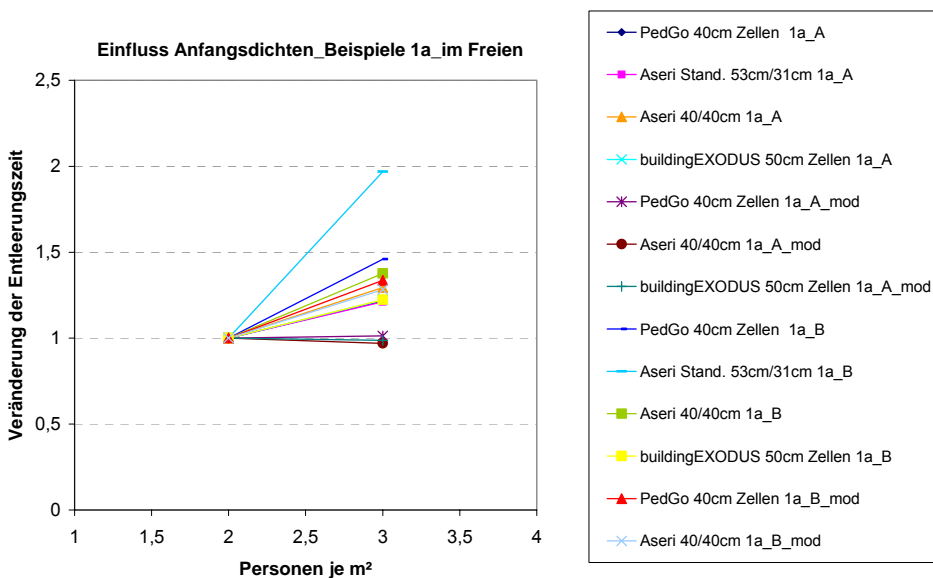


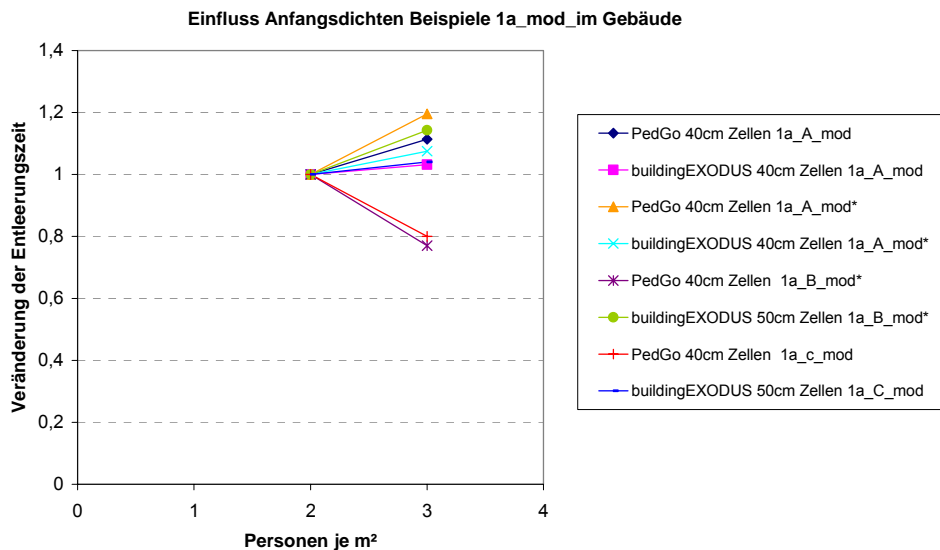
Abb. 30: Erhöhung der Entleerungszeit bei erhöhter Anfangsdichte – im Freien

15

Die Streubreite der Erhöhung der Entleerungszeit ist groß. Die Zunahme der Entleerungszeit wird bei allen Programmen beobachtet. Bei ASERI 40/40cm ist die Erhöhung etwas ausgeprägter als bei ASERI Standard. Im Übrigen kann kein systematischer Unterschied zwischen den Programmen beobachtet werden. Im Mittel wird ein Erhöhungsfaktor von 1,25 für Räume in Gebäuden und im Freien errechnet.

Eine Zunahme der Entleerungszeit mit zunehmender Dichte scheint plausibel, da allein schon die Laufgeschwindigkeiten im Raum abnehmen.

Die Erhöhung ist schwächer ausgeprägt bei gleichmäßiger Verteilung der Personen auf die Ausgänge (Varianten „mod“). Für 2 Beispiele erhält man mit PedGo eine Abnahme der Entleerungszeit – wobei eine Abminderung mit zunehmender Dichte allerdings nicht gut erklärt werden kann; mit buildingEXODUS erhält man für die gleichen Beispiele eine leichte Zunahme.



**Abb. 31:** Erhöhung der Entleerungszeit bei erhöhter Anfangsdichte – in Gebäuden, nur mod\_Beispieler

Für Nutzungen mit Dichten  $> 2P/m^2$  (vgl. auch Abschnitt 7.5) wird eine Vergrößerung von Rettungswegbreiten um einen Faktor von etwa 1,25 (0,6m je 80 Personen in Gebäuden) vorgeschlagen.

#### 4.4.3 Einfluss Ausgangsbreiten

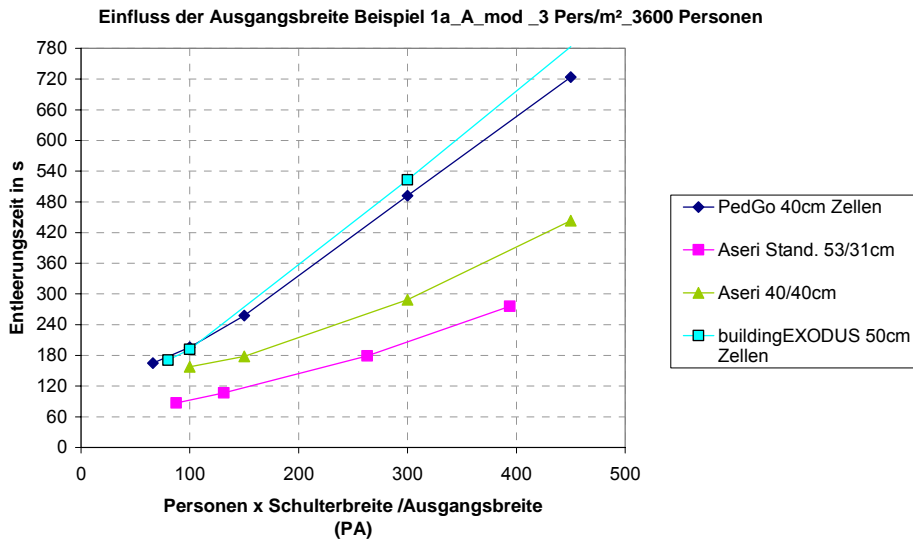
Indem die Fallbeispiele für Ausgänge im Freien und für Ausgänge im Gebäude (und Zwischenwerte, d.h. auch unterdimensionierte Ausgangsbreiten) untersucht wurden, kann der Einfluss von Ausgangsbreiten abgeprüft werden. In Gebäuden sind die Ausgangsbreiten um einen Faktor 3 gegenüber dem Freien vergrößert.

Die Ergebnisse sind wiederum in Abhängigkeit des Ausgangsindex dargestellt:

$$PA = \frac{\text{Personen} \times \text{Schulterbreite}}{\text{Ausgangsbreite} \cdot}$$

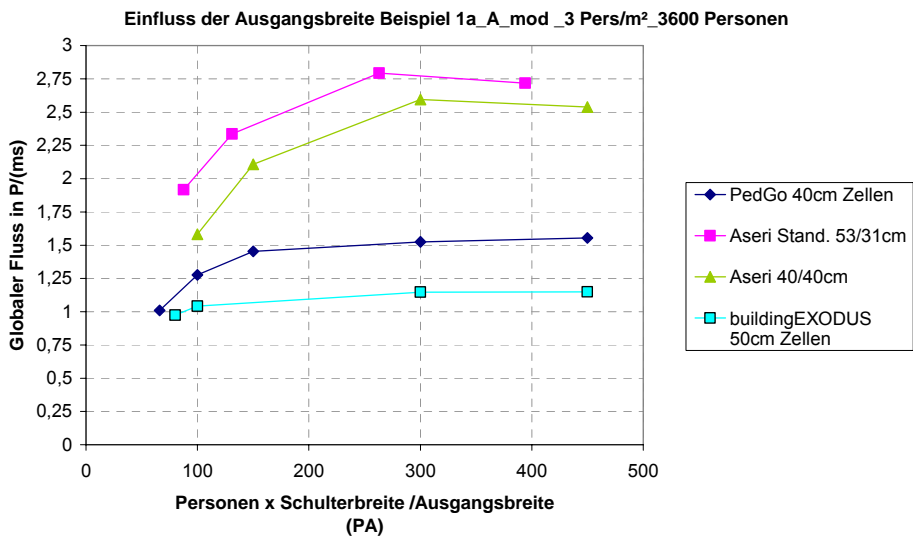
Bei annähernd gleichförmiger Verteilung der Personen auf die Ausgänge (Varianten „mod“) ergibt eine Vergrößerung der Ausgangsbreiten bei großem Ausgangsindex eine Abnahme der

Entleerungszeiten dergestalt, dass eine Vergrößerung der Ausgänge z.B. um den Faktor 1,5<sup>26</sup> die Entleerungszeit ungefähr um einen Faktor 1,5 verringert, d.h.  $t_E \sim 1/a \sim PA$ .



5 **Abb. 32:** Einfluss der Ausgangsbreite bei annähernd gleichförmiger Verteilung der Personen auf Ausgänge – 3600 Personen

Mit abnehmender Belastung der Ausgänge (d.h. großen Ausgangsbreiten, bzw. kleinem Ausgangsindex) resultiert eine Vergrößerung der Ausgänge in einer etwas geringeren Abnahme der Entleerungszeit. Das ist auch anhand des Verlaufs der globalen Flüsse zu erkennen:

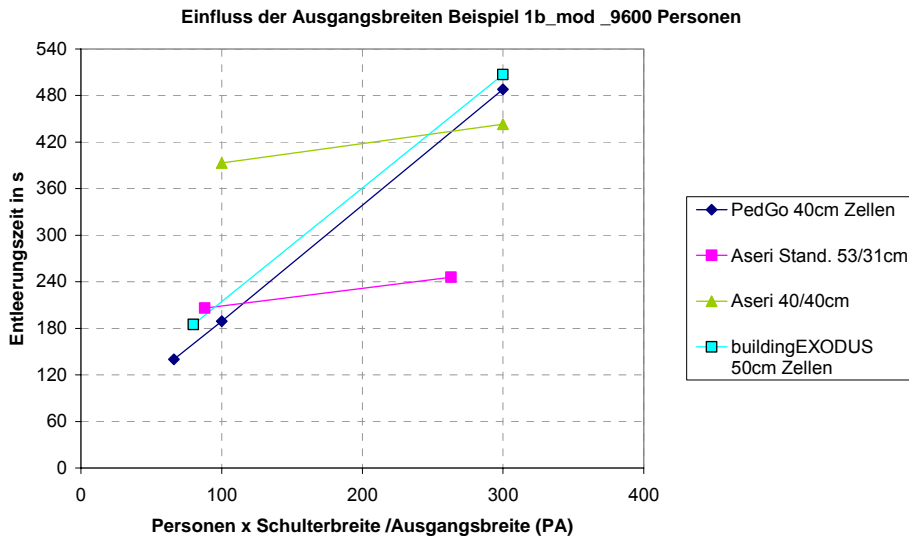


**Abb. 33:** Änderung des globalen Flusses mit der Ausgangsbreite

15 Bei großen Ausgangsbreiten (kleinem Ausgangsindex) sollte im Übrigen asymptotisch die Laufzeit erreicht werden.

<sup>26</sup> entsprechend einer Verkleinerung des Ausgangsindex um den Faktor 3

Beim Beispiel 1b\_mod mit 9600 Personen, besteht bei PedGo/ buildingEXODUS eine ähnliche Abhängigkeit wie beim vorherigen Beispiel – bei Aseri ist die Abnahme der Entleerungszeit mit abnehmenden Ausgangsindex (Zunahme der Ausgangsbreite) deutlich schwächer.

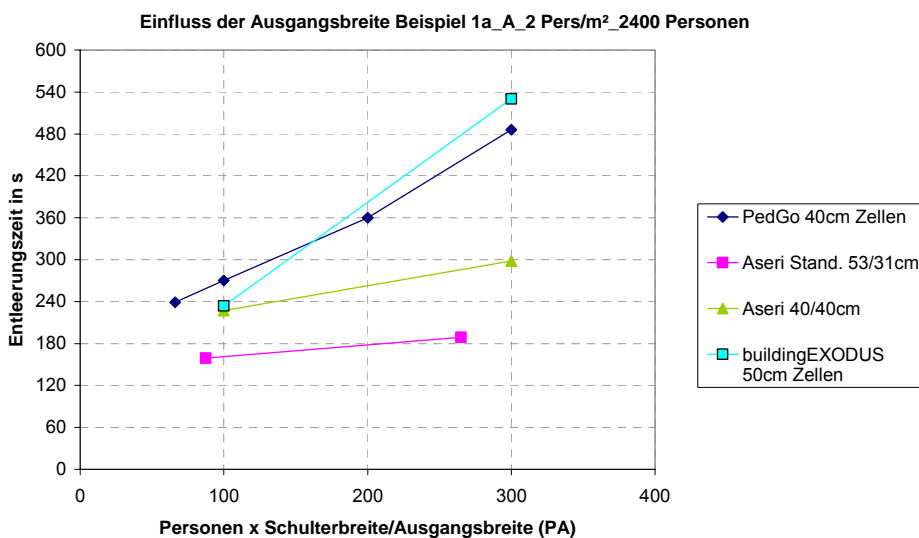


5

**Abb. 34:** Einfluss der Ausgangsbreite bei annähernd gleichförmiger Verteilung der Personen auf Ausgänge – 9600 Personen

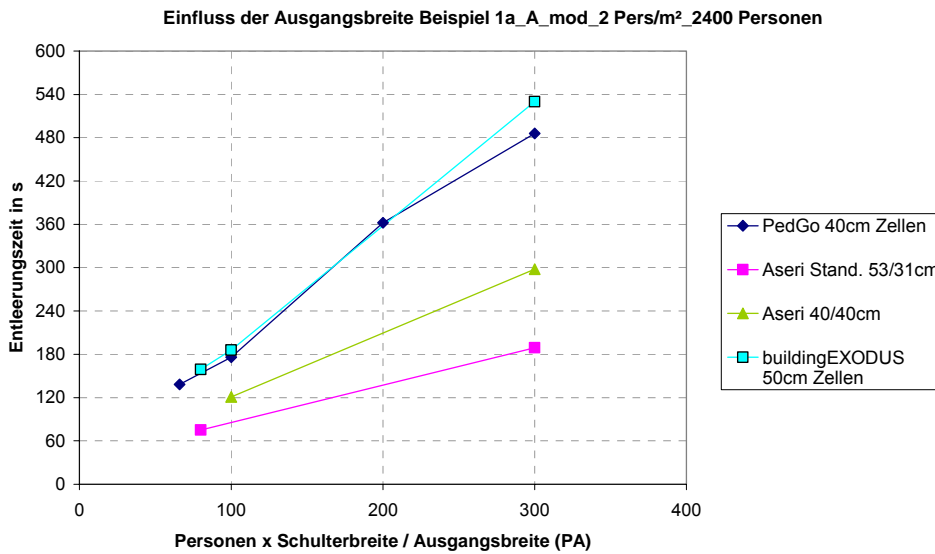
Bei ungleichförmiger Verteilung der Personen auf die Ausgänge (Varianten „kürzester Weg“) und ungünstiger Lage der Ausgänge, ist die Abnahme der Entleerungszeit mit der Zunahme der Ausgänge grundsätzlich schwächer, da zusätzliche Ausgänge aufgrund des Kriteriums „kürzester Weg“ je nach deren Lage nur schwach angenommen werden. Bei ASERI ist die Erscheinung ausgeprägter als bei PedGo/ buildingEXODUS.

10



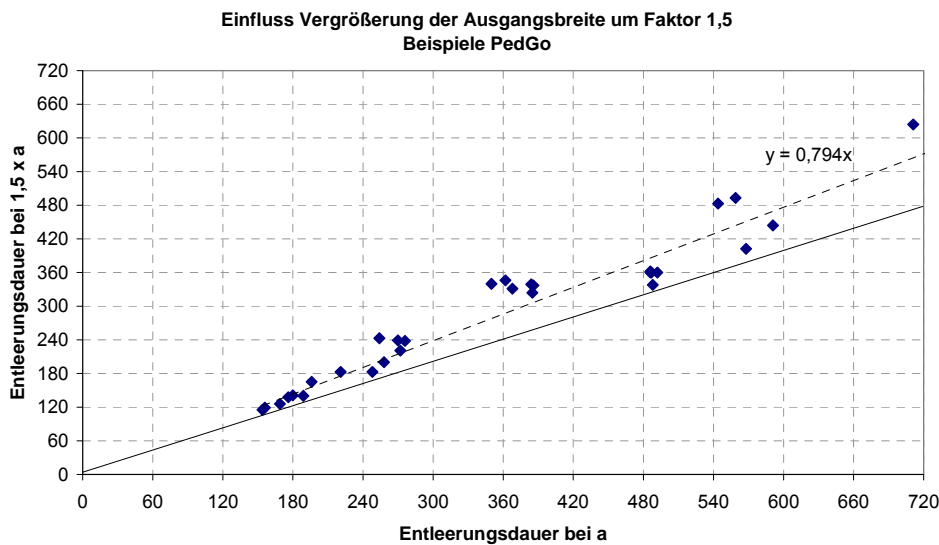
**Abb. 35:** Einfluss der Ausgangsbreite bei ungleichförmiger Verteilung der Personen auf Ausgänge – 2400 Personen

Zum Vergleich die Aufteilung bei gleichmäßigerer Verteilung:



**Abb. 36:** Einfluss der Ausgangsbreite bei gleichmäßigerer Verteilung der Personen auf Ausgänge – 2400 Personen

Abschließend ist noch die Wirkung einer Vergrößerung der Ausgangsbreite um den Faktor 1,5 speziell bei PedGo dargestellt<sup>27</sup>. Nahe der „Soll- Linie“ (erwartete Abnahme der Entleerungszeit) sind die modifizierten Beispiele und Beispiele mit nur 2 Ausgängen, weiter von der „Soll- Linie“ entfernt sind dagegen die Beispiele mit ungleichmäßiger Verteilung. Die lineare Regression ergibt für eine Vergrößerung der Ausgangsbreite um den Faktor 1,5 (= 1/0,66) eine mittlere Abminderung der Entleerungszeit auf 79% (= 1/1,26).



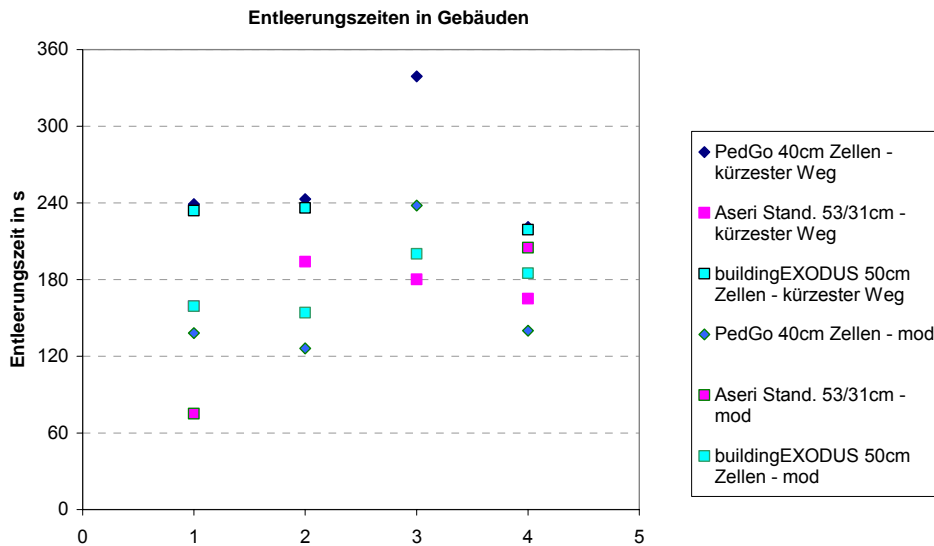
**Abb. 37** – Einfluss der Vergrößerung der Ausgangsbreite um den Faktor 1,5 bei Beispiele PedGo

Bei buildingEXODUS - mit weniger Vergleichsfällen - ergibt eine Vergrößerung der Ausgangsbreiten um den Faktor 1,2 (= 1/0,83) eine mittlere Abminderung der Entleerungszeit auf 88% (1/1,13).

<sup>27</sup> Vergleich der Ergebnisse mit skalierten und mit nicht skalierten Ausgangsbreiten (Originalbreiten)

#### 4.4.4 Folgerungen hinsichtlich Entleerungszeiten in Gebäuden

Betrachtet man nur die Fallbeispiele mit  $2P/m^2$  und mit Ausgängen, die nach MVStättV für Gebäude dimensioniert wurden, erhält man folgendes Bild für die Mittelwerte der Entleerungszeiten (Daten Aseri 40/40cm wurden nicht aufgenommen, da diese Variante nur zu Vergleichszwecken eingeführt wurde):



**Abb. 38** – Entleerungszeiten Versammlungsräume mit Stehplätzen in Gebäuden

Der Datenpunkt  $> 5$  Minuten gehören zum Beispiel 1a\_C, für welches das Kriterium „kürzester Weg“ eine unrealistische Verteilung auf Ausgänge lieferte; auch Datenpunkte  $\geq 4$  Minuten beinhalten noch relativ unrealistische Verteilungen auf Ausgänge. Entleerungszeiten  $< 2$  Minuten werden nur einmal (mit Aseri erreicht). Eine vernünftige Eingrenzung liegt bei  $t_E \leq 3,5$  Minuten.

## 4.5 Auswertung der Flüsse

### 4.5.1 Spezifische Flüsse

Bei PedGo kann anhand der Ausgabedateien der spezifische Fluss direkt je Ausgang  $i$  als zeitliches Mittel bestimmt werden (bei Aseri und buildingEXODUS ist dies nur indirekt möglich):

$$F_i = \frac{\text{Personen die den Ausgang } i \text{ benützen}}{\text{Ausgangsbreite } i \text{ [m]} \cdot \text{Zeit bis die letzte Person den Ausgang } i \text{ verlässt [s]}}$$

Geht man davon aus, dass der spezifische Fluss zeitlich veränderlich ist, ist das hier betrachtete zeitliche Mittel etwas kleiner als der, maximal am Ausgang aufgetretene Fluss, wobei dieser Aspekt im Folgenden vernachlässigt wird.

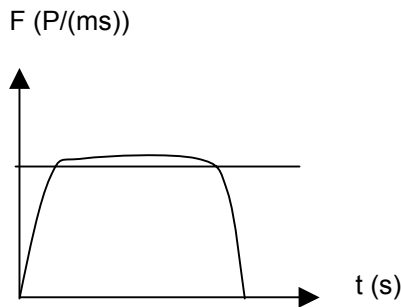


Abb. 39: Qualitative Darstellung des zeitlichen Verlaufs des spezifischen Flusses

Nachfolgend sind spezifische Flüsse an Ausgängen, wie sie mit PedGo errechnet wurden, dargestellt.

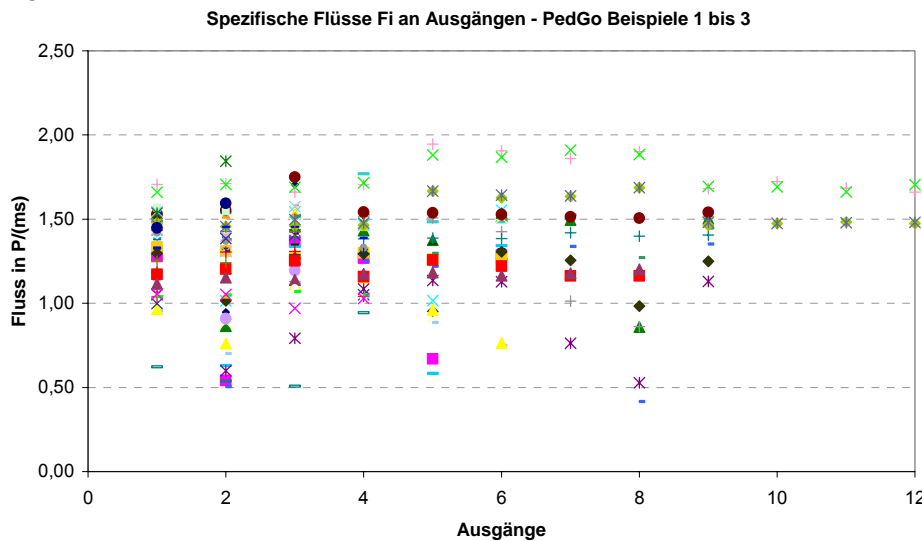


Abb. 40: Spezifische Flüsse an Ausgängen – PedGo

Die größten Flüsse sind bei Beispiel 1b\_9600P im Freien zu verzeichnen; die geringsten Flüsse bei sehr ungleichmäßiger Verteilung auf die Ausgänge und hier bei den schwach benutzten Ausgängen mit „Nachzüglern“.

#### 4.5.2 Maximale Spezifische Flüsse

Bei den Beispielen 1 wird die Entleerungszeit vom spezifischen Fluss an den Ausgängen bestimmt. Daher ist es sinnvoll, für diese Beispiele die spezifischen Flüsse in Bezug auf den Richtwert gemäß [RiM] von  $F = 1,3 \text{ P/(ms)}$  abzuprüfen.

Hierfür wurden für PedGo je Beispiel der maximale Fluss je Ausgang bestimmt, z.B.:

PedGo - spezifischer Fluss je Ausgang in P/(ms) 1a_A					
Links unten	Links oben	Oben Links	Oben Rechts	Rechts oben	Rechts unten
1,28	0,54	1,37	1,27	0,67	1,29



Man erhält folgende Einzelwerte und Mittelwerte für die spezifischen Flüsse je Ausgang und Beispiel:

<b>PedGo</b>	<b>max <math>F_i - P/(ms)</math></b>	<b>min <math>F_i - P/(ms)</math></b>	<b>mittel <math>F_i - P/(ms)</math></b>
Einzelwerte,	1,11...1,95	0,42...1,66	0,91...1,76
Mittelwerte,	1,49	1,21	1,37

**Tabelle 10:** Spezifische Flüsse je Ausgang, Bezug  $a^*$  – Beispiele 1<sup>28</sup>

5

<b>PedGo</b>	<b>max <math>F_i - P/(ms)</math></b>
Einzelwerte,	1,11...1,43
Mittelwerte,	1,29

**Tabelle 11:** Spezifische Flüsse je Ausgang, Bezug  $a^* = a$  – Beispiele 1, nur Gebäude mit  $PA=66$

Für PedGo stellt man mit Bezug auf den Richtwert von  $[RiM] F = 1,3 P/(ms)$  für die Beispiele 1 für die maximalen Flüsse ( $\max F_i$ ) fest:

- Die maximalen spezifische Flüsse liegen zwischen 1,11... 1,95  $P/(ms)$  – und somit teilweise über dem Grenzwert 1,3  $P/(ms)$
- Betrachtet man nur Gebäude, bei denen Ausgänge nach MVStättV bemessen sind und für die  $a^* = a$  ( $PA = 66$ , d.h. keine Skalierung), ist die Überschreitung des Grenzwerts weniger signifikant, (Abhängigkeit zwischen  $\max F_i$  und der Belastung der Ausgänge).

15

#### 4.5.3 Spezifische Flüsse je nach Bestuhlung

Bezieht man auch die Beispiele 2 und 3 ein, ändert sich das Gesamtbild nur geringfügig:

<b>PedGo</b>	<b>max <math>F_i - P/(ms)</math></b>	<b>min <math>F_i - P/(ms)</math></b>	<b>mittel <math>F_i - P/(ms)</math></b>
Einzelwerte	1,05 ... 1,84	0,97 ... 1,54	1,03 ... 1,69

**Tabelle 12:** Spezifische Flüsse je Ausgang – Beispiele 2 und 3

20

Stehplätze und Bestuhlung hinsichtlich der maximalen Flüsse vergleichend:

<b>PedGo – Einzelwerte</b>	<b>max <math>F_i - P/(ms)</math></b>
Stehplätze	1,11 ... 1,95
Reihen-/Tischbestuhlung	1,05 ... 1,84

**Tabelle 13:** Spezifische Flüsse je Ausgang – Beispiele 1, 2 und 3

25

Für eine systematische Auswertung zur Erfassung von Unterschieden bei der Bestuhlung liegen nicht genügend Daten vor. Der maximale spezifische Fluss ist bei Bestuhlung eher etwas kleiner als bei Stehplätzen.

<sup>28</sup> ohne 1a\_C

### 4.5.4 Globaler Fluss

Zur Beurteilung der Simulationsergebnisse wird der globale (spezifische) Fluss wie folgt bestimmt:

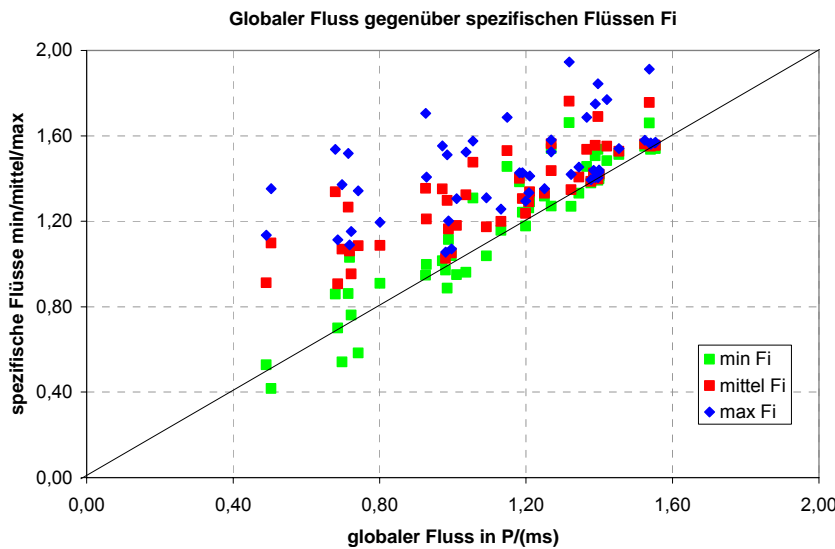
$$F_{\text{global}} = \frac{\text{Personen im betrachteten Raum}}{\Sigma \text{ Ausgangsbreiten [m]} \cdot \text{Gesamtentleerungszeit [s]}} \quad [\text{P/ms}]$$

5

Bei identischen Ausgängen und vollständig gleichmäßiger Verteilung auf die Ausgänge, ist der globale Fluss gleich dem spezifischen Fluss der einzelnen Ausgänge. Bei ungleichmäßiger Verteilung auf die Ausgänge ist der globale Fluss kleiner als der Mittelwert der Flüsse der einzelnen Ausgänge. Die Abweichung vom Mittelwert der Flüsse ist ein Indiz für die Ungleichförmigkeit der Belastung der Ausgänge.

10

Stellt man die Einzelwerte der spezifischen Flüsse gegenüber den globalen Flüssen dar, erhält man folgendes Bild:



15

**Abb. 41:** Beispiele 1+2+3: Globaler Fluss gegenüber dem jeweils kleinsten und größten spezifischem Fluss der einzelnen Ausgänge sowie dem Mittelwert der Flüsse der einzelnen Ausgänge – Bezug a\* –

20

mit folgenden Spannweiten und Mittelwerten:

Bezug a*	max $F_i$ P/(ms)	min $F_i$ P/(ms)	mittel $F_i$ P/(ms)	$F_{\text{global}}$ P/(ms)	max $F_i / F_{\text{global}}$
Einzelwerte	1,05 ... 1,95	0,42 ... 1,66	0,91 ... 1,76	0,35 ... 1,55	1,01... 2,69
Mittelwerte	1,45	1,20	1,34	1,08	1,34

**Tabelle 14:** Gegenüberstellung der spezifischen und globalen Flüsse - Beispiele 1 bis 3 PedGo

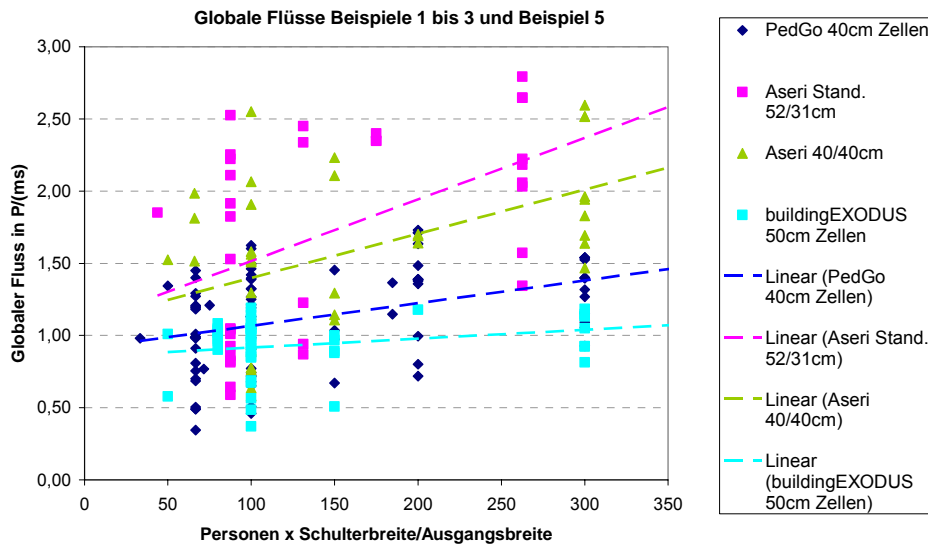
25

Das Verhältnis zwischen den maximalen spezifischen Flüssen an einem Ausgang und dem globalen Fluss für den Raum liegt hier im Mittel bei  $\max F_i / F_{\text{global}} = 1,34$  – mit großer

Spannweite, bedingt durch den großen Anteil von Beispielen mit sehr ungleichmäßiger Verteilung der Personen auf die Ausgänge.

Hieraus kann man schließen, dass einem Richtwert für den maximalen spezifischen Fluss von 1,3 P/(ms) für die hier betrachteten Beispiele im Mittel ein globaler Fluss von etwa 1,0 P/(ms) entsprechen müsste, in jedem Fall aber natürlich  $F_{global} < 1,3 P/(ms)$ .

Vergleicht man auch für die anderen Modelle – ohne Einzelauswertung der spezifischen Flüsse an Ausgängen – die globalen Flüsse erhält man:



10

**Abb. 42** Globale Flüsse bei Beispielen 1 bis 3 und 5 in Abhängigkeit von PA

Bei allen Modellen ist eine Zunahme der globalen Flüsse mit dem Ausgangsindex (d.h. mit abnehmender Ausgangsbreite) zu beobachten, mit der stärksten Ausprägung bei ASERI.

Die größten und kleinsten Einzelwerte und mittleren Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt:

**Globale Flüsse P/(ms)**

Bezug auf a*	PedGo <sup>29</sup>	ASERI Stand.	ASERI 40/40	buildingEXODUS
max $F_{global}$	1,73	2,79	2,59	1,19
min $F_{global}$	0,35	0,59	0,58	0,37
mittel $F_{global}$	1,14	1,77	1,62	0,95

**Tabelle 15:** Auswertung der globalen Flüsse in Bezug auf a\* - alle Beispiele 1 bis 3 und 5 – also auch mit sehr ungleichmäßiger Verteilung der Personen auf Ausgänge

20

<sup>29</sup> hier auch mit Beispielen 5

**Globale Flüsse P/(ms)**

<b>Bezug auf a*</b>	<b>PedGo<sup>30</sup></b>	<b>ASERI Stand.</b>	<b>ASERI 40/40</b>	<b>buildingEXODUS</b>
max F <sub>global</sub>	Beisp. 5, PA =200	1a_mod, PA=265	1a_mod, PA=265	Beisp. 5, PA=100
min F <sub>global</sub>	1a_C, PA=66	1a_B, PA=87,5	1b, PA=100	1a_C, PA=100

**Tabelle 16:** Beispiele bei denen die vorgenannten kleinsten und größten globalen Flüsse festgestellt wurden; die kleinsten Flüsse sind durchweg bei extrem ungleichmäßiger Verteilung auf Ausgänge zu verzeichnen.

5 Hierbei sind die ASERI Angaben wegen weniger Daten schwächer abgesichert, aber in der Tendenz sind erheblich höhere Flüsse als bei PedGo bzw. buildingEXODUS zu verzeichnen. Bei der Modellierung von Zwischenräumen an den Ausgängen, vgl. Abschnitt 4.2.2 verringern sich globale Flüsse auf 68... 80%, liegen dennoch deutlich über den Flüssen von PedGo und buildingEXODUS.

10 Die geringste Streuung beim globalen Fluss weist in der Standardeinstellung für Ausgänge („HMSO“) naturgemäß buildingEXODUS auf, da hier die maximal möglichen spezifischen Flüsse je Ausgang automatisch auf 1,33 P/(ms) begrenzt sind (Wert entsprechend national building code UK B1, vgl. Punkt 2.5).

15 Wird diese Begrenzung aufgehoben, erhält man entsprechend zum Teil erheblich höhere Flüsse und zugehörig geringere Entleerungszeiten, hier exemplarisch anhand der Beispiele mit den größten maximal-/ bzw. minimal- Werten untersucht:

	<b>spez. Fluss begrenzt</b> Bsp. 1-3, 5	<b>spez. Fluss begrenzt</b> Bsp.5 60m, gl. Dichte	<b>spez. Fluss unbegrenzt</b> Bsp. 5 60m, gl. Dichte	<b>spez. Fluss begrenzt</b> Bsp. 1a C 3600, 18m	<b>spez. Fluss unbegrenzt</b> Bsp.1a C 3600, 18m
max F <sub>global</sub>	1,19	F <sub>global</sub> = 1,19	F <sub>global</sub> = 2,17	F <sub>global</sub> = 0,37	F <sub>global</sub> = 0,63
min F <sub>global</sub>	0,37				
mittel F <sub>global</sub>	0,95				
t <sub>E</sub>	-	168	92	540	320

20 **Tabelle 17 -** Einfluss von nach oben begrenzten spezifischen Flüssen bei der Standardeinstellung von buildingEXODUS

25 D.h. bei Beispiel 5 (das Beispiel mit dem ohnehin höchsten Fluss) beträgt die Entleerungszeit nur noch 55% der ursprünglichen Zeit, wenn die Begrenzung nicht aktiv ist, der globale Fluss nimmt um 82% zu, bei Beispiel 1aC verringert sich die Entleerungszeit auf 60%, wohingegen der Fluss um 70% zunimmt.

**4.5.5 Folgerung**

30 Unter Berücksichtigung dessen, dass maximale spezifische Flüsse hier im Mittel 1,34 mal größer sind als die globalen Flüsse, werden mit ASERI schon sehr hohe Flüsse im Vergleich zum vorgeschlagenen Richtwert von 1,3 P/(ms) erreicht. Das gilt auch dann, wenn man den

<sup>30</sup> hier auch mit Beispielen 5

globalen Fluss direkt mit dem Richtwert vergleicht (und selbst bei Einschaltung von Zwischenräumen).

5 Aber auch für PedGo sind Flüsse höher als der Richtwert, auch wenn die Überschreitung für Gebäude, die nach der MVStättV bemessen sind, nicht signifikant ist.

Bei den diskreten Modellen mit unterschiedlichen Zellengrößen ( $a_{zelle} = 40\text{cm}$  bei PedGo bzw.  $a_{zelle} = 50\text{cm}$  bei buildingEXODUS) könnte - zusätzlich zum Richtwert für den spezifischen Fluss [P/ms] - ein Fluss, gemessen je Ausgangszelle bzw. Zellenquerschnitt sinnvoll sein:

10

$$F_{zelle} = \frac{P_{zelle}}{t_{E,zelle}} \quad \text{P/s}$$

mit  $t_{E,zelle}$  der Entleerungszeit je Zelle  
 $P_{zelle}$  Personen, die den Zellenquerschnitt passieren

Je Ausgang  $i$ , bestehend aus mehreren Zellen, beträgt der Zellenfluss im Mittel:

$$F_{i,zelle} = a_{zelle} \cdot F_i \quad \text{P/s}$$

15 mit  $F_i$  spezifischer Fluss am Ausgang  $i$  [P/ms]

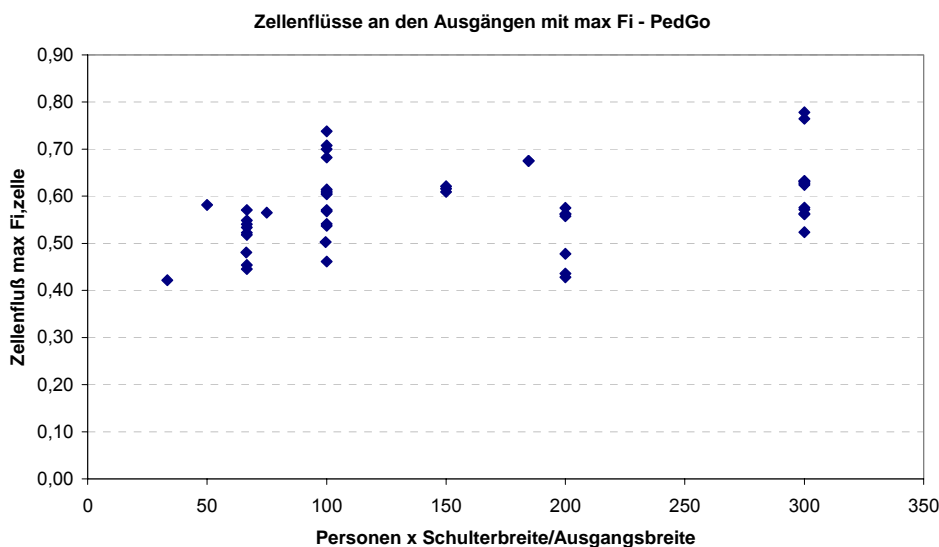
Im Rahmen von [RIM] wäre dann eine Bezugs-Zellengröße<sup>31</sup> festzulegen, mit der sich dann ein Richtwert für den Zellenfluss ergibt. Nimmt man als Bezugs-Zellengröße beispielsweise 0,6m, erhält man aus dem Richtwert für den spezifischen Fluß von  $F_i=1,3$  P/ms, folgenden Richtwert für den Zellenfluss:

20

$$F_{i,zelle} = 0,6 \cdot 1,3 = 0,78 \text{ P/s}$$

So wird dieser Wert bei den Einzelauswertungen von PedGo auch für die Ausgänge mit den maximalen spezifischen Flüssen  $\max F_i$  eingehalten, wobei der Wert 0,78 nur einmal erreicht wird.

25



**Abb. 43** Zellenflüsse bei PedGo an den Ausgängen mit maximalen spezifischen Flüssen, Beispiele 1-3

<sup>31</sup> womit nicht die Rückkehr zum „unit exit width concept“ sondern eine Anpassung für unterschiedliche Zellengrößen erreicht werden soll.

## 5 Detailauswertungen Versammlungsräume

### 5.1 Reihenbestuhlung

#### 5.1.1 Beispiel 2a\_800P – im Gebäude

Die Anordnung der Ausgänge ist in Bezug auf das Kriterium „kürzester Weg“ optimal. Die Breite der Gänge und Ausgänge beträgt 1,2m (100 Personen je 0,6m). Die maximale Weglänge beträgt 18,2m.

Mittlere Entleerungszeiten betragen

	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI	buildingEXODUS
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen
		PA=100	PA=66	PA=87,5	PA=100	PA=100
2a	800	189s	139s	-	98s	190s

In den nachfolgenden Tabellen sind für PedGo und buildingEXODUS die Daten je Ausgang bei jeweils einem Simulationslauf ausgewertet:

PedGo	Ausgang 2	Ausgang 3	Ausgang 1	Ausgang 4
PA = 100	Links Oben	Rechts Oben	Unten Links	Unten Rechts
Personen	195	191	213	201
Dauer (s)	178	188	188	189
spez. Fluss für a*	1,37	1,27	1,42	1,33
globaler Fluss für a*	1,32			

**Tabelle 18:** Detailauswertung PedGo – Beispiel 2a – PA = 100

buildingEXODUS	Ausgang 1	Ausgang 2	Ausgang 4	Ausgang 3
PA = 100	Links Oben	Rechts Oben	Unten Links	Unten Rechts
Personen	184	182	216	217
Dauer (s)	148	159	184	188
spez. Fluss für a*	1,24	1,14	1,17	1,15
globaler Fluss für a*	1,05			

**Tabelle 19:** Detailauswertung buildingEXODUS – Beispiel 2a - PA = 100

Der unterschiedliche spezifische Fluss bei den rechten und linken Ausgängen ist beim betrachteten Simulationslauf zufällig bedingt. Die Ungleichförmigkeit<sup>32</sup> beträgt bei diesen Simulationsläufen bei PedGo 4%, bei buildingEXODUS 9,7%. Die minimale Entleerungszeit kann für eine gleichmäßigere Aufteilung auf die Ausgänge für den PedGo- Simulationslauf von Tabelle 18 mit 186s (statt 189s) und für den buildingEXODUS- Simulationslauf von Tabelle 19 mit 170s (statt 188s) abgeschätzt werden.

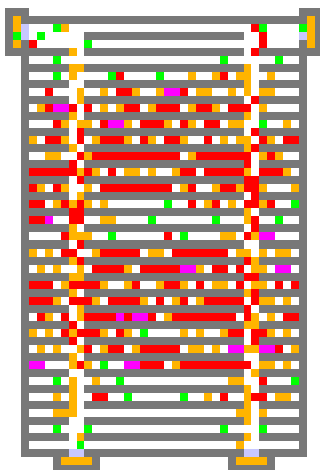
<sup>32</sup>  $u = \sum(1 - P_i/200)/\sqrt{12}$

Erl.: In der Nähe des rechnerischen Minimums ist folgende grobe Abschätzung möglich:  
Bei Annahme:

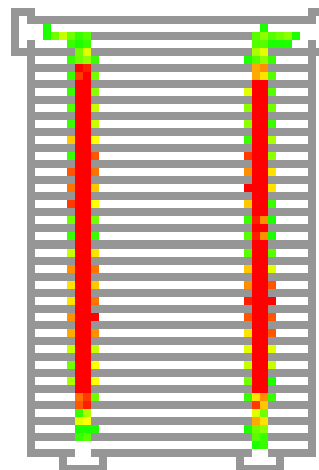
Unterschiede in den Flüssen „oben“ und „unten“ sind zufällig:	PedGo $a^* = 3,2\text{m}$	buildingEXODUS $a^* = 4,0\text{m}$
mittlerer Fluss:	$F_m = 1,35 \text{ P/ms}$	$F_m = 1,175 \text{ P/ms}$
$\min t_E = P/(F_m \cdot a^*) =$	$800/(1,35 \cdot 3,2) = 186\text{s}$	$800/(1,175 \cdot 4,0) = 170\text{s}$
Unterschiede in den Flüssen „oben“ und „unten“ sind systematisch:		
mittlerer Fluss Ausgänge „oben“:	$F_o = 1,32 \text{ P/ms}$	$F_o = 1,19 \text{ P/ms}$
mittlerer Fluss Ausgänge „unten“:	$F_u = 1,375 \text{ P/ms}$	$F_u = 1,16 \text{ P/ms}$
aus $t_{E,o} = t_{E,u}$ : $P_o = 800 \cdot F_o / (F_o + F_u) =$	392	405
$\min t_E = P_o / (F_o \cdot 2a_{o,i^*}) =$	$392 / (1,32 \cdot 1,6) = 186\text{s}$	$405 / (1,19 \cdot 2,0) = 170\text{s}$

5 Bei der Visualisierung von PedGo und buildingEXODUS fällt auf, dass die Sitzreihen im mittleren Saalbereich relativ früh entleert sind, was damit erklärt werden könnte, dass die Gänge in Saalmitte überdimensioniert sind.

10 Damit sind die mittleren Reihen schneller geräumt, mit einer nachfolgenden Verdichtung auf den Gängen in etwa den Drittelpunkten – womit sich dann die Räumung der Reihen in den Drittelpunkten verzögert.

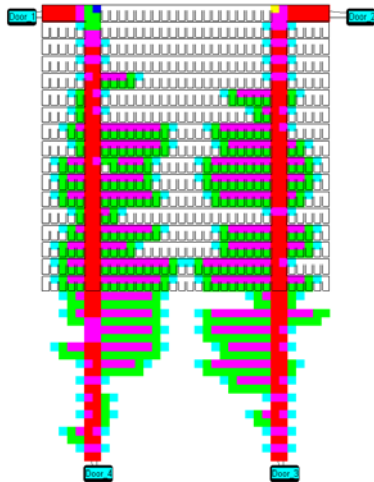


**Abb. 44:** Momentaufnahme PedGo  
Beispiel 2a\_800P\_4,8m zum Zeitpunkt  $t=60\text{s}$

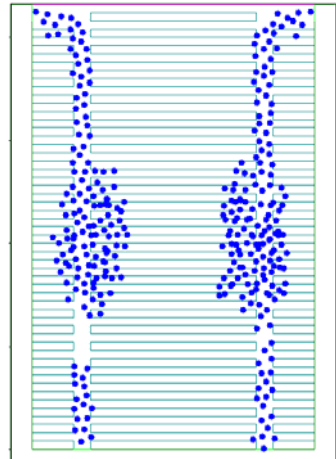


**Abb. 45:** Dichteplot bei PedGo  
Beispiel 2a\_800P\_4,8m

15 Auf allen rot dargestellten Feldern in Abb. 45 wurde die signifikante Dichte von  $3 \text{ P/m}^2$  während 10% der Gesamtentleerungsdauer überschritten, d.h. es traten signifikante Staus auf.



**Abb. 46:** Momentaufnahme Dichte buildingEXODUS – Beispiel 2a\_800P\_4,8m zum Zeitpunkt t=60s



**Abb. 47:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm Beispiel 2a\_800P\_4,8m zum Zeitpunkt t=60s

Bei ASERI sind es hingegen die mittlere Reihen mit verzögerter Entleerung, mit punktuell zu beobachtenden geringeren Dichten in den Drittelpunkten. Für beide Erscheinungsformen könnte theoretisch mit einer angepassten Gangbreite eine gleichmäßigere Entleerung herbeigeführt werden, indem die Gänge von der Saalmitte zu den Ausgängen hin sich verbreitern – aber eben nur für die planerisch vorgesehene Wegführung. Für bühnenseitige Gefahrensituationen und Wegführung „weg“ von der Bühne wäre eine solche Anpassung fatal.

Eine Staubildung an den Ausgängen ist bei PedGo und ASERI nicht festzustellen. Eine Verringerung von Entleerungszeiten ist mit breiteren Gängen zu erzielen – und zur Vermeidung einer Staubildung - dann an den Ausgängen - mit breiteren Ausgängen.

Bei buildingEXODUS ist eine Staubildung am Ausgang selbst ebenfalls nicht direkt feststellbar, hohe Dichten ziehen sich relativ gleichmäßig von den Ausgängen durch die Gänge, vgl. Abb. 46.

Eine Verbreiterung der Gänge und Ausgänge bei PedGo um den Faktor 1,5 bedingt eine Reduzierung der Entleerungszeit von 189s auf 139s (74%). Flüsse werden etwas langsamer, wie anhand des nachfolgend ausgewerteten Simulationslaufs im Vergleich zur Tabelle 18 zu erkennen ist. Bei diesem Simulationslauf ist die Ungleichförmigkeit etwas höher: 8,5%.

<b>PedGo</b>	<b>Ausgang 2</b>	<b>Ausgang 3</b>	<b>Ausgang 1</b>	<b>Ausgang 4</b>
<b>PA = 66</b>	<b>Links Oben</b>	<b>Rechts Oben</b>	<b>Unten Links</b>	<b>Unten Rechts</b>
Personen	195	204	185	216
Dauer (s)	138	131	130	189
spez. Fluss für $a^*=a$	1,18	1,29	1,19	1,29
globaler Fluss für $a^*=a$	1,2			

**Tabelle 20:** Detailauswertung PedGo – Beispiel 2a – PA = 66



5.1.2 Beispiel 2b\_A\_2400P – im Gebäude

Die Anordnung der Ausgänge ist in Bezug auf das Kriterium „kürzester Weg“ optimal. Maximale Weglängen betragen 25,5m.

5 Entleerungszeiten betragen

	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI	buildingEXODUS
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen
		PA=100	PA=66	PA=87,5	PA=100	PA=100
2b A	2400	200s	168s	91s	165s	189s

Tabelle 21: Detailauswertung Beispiel 2b\_A\_2400P

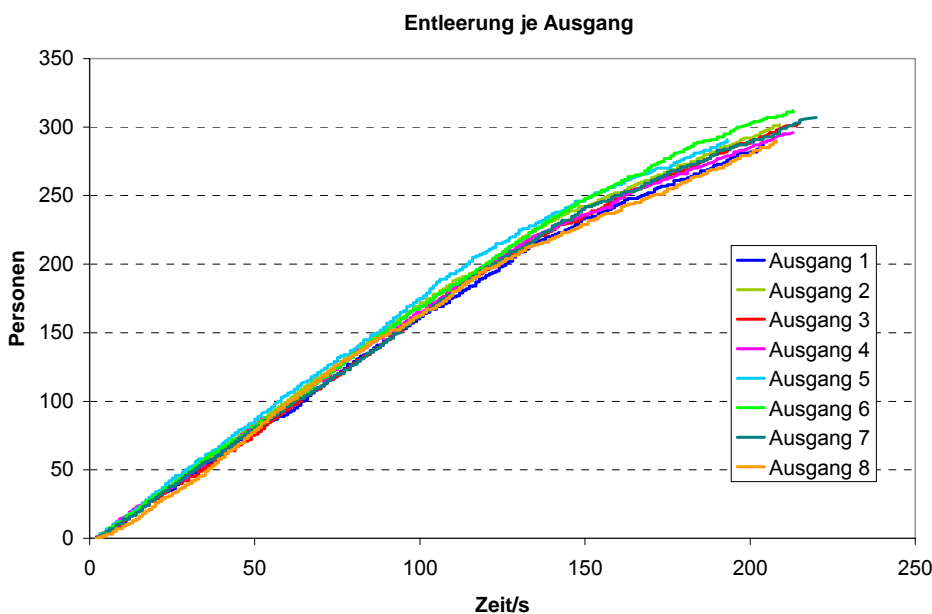


Abb. 48: Personen-Zeit-Diagramm je Ausgang – PedGo Beispiel 2b\_A\_2400 P

10

Die Detailauswertung eines Simulationslaufs von PedGo (hier mit  $t_E = 220s$ ) ergibt geringere Flüsse als beim Beispiel 2a\_800P:

PedGo	Links unten	Links Mitte 1	Links Mitte 2	Links oben	Rechts oben	Rechts Mitte 1	Rechts Mitte 2	Rechts unten
PA = 100	287	302	305	296	291	312	307	290
Dauer (s)	204	209	203	213	193	213	220	208
spez. Fluss für a*	1,17	1,2	1,25	1,16	1,26	1,22	1,16	1,16
globaler Fluss für a*	1,13							

Tabelle 22: Detailauswertung PedGo – Beispiel 2b\_A, PA = 100

15

Der Quergang nach 24 Reihen spielt bei bestimmungsgemäßer Wegführung natürlich keine Rolle.

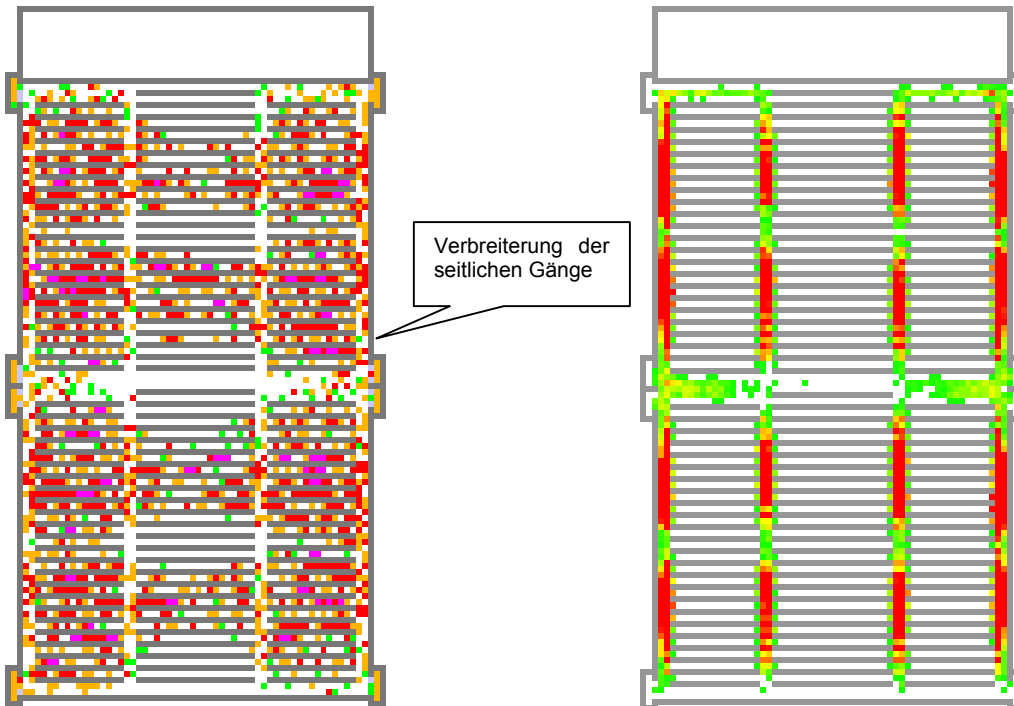
In Bezug auf die Sitzreihen ist bei der Visualisierung - wie bei 2a bei PedGo und buildingEXODUS – ebenfalls zu beobachten, dass die mittleren Reihen (hier je Block) relativ früh entleert sind.

- 5 Die Gänge wurden so dimensioniert, dass die Hälfte einer Reihe dem jeweils rechten, die andere Hälfte dem jeweils linken Gang zugeordnet wurde, unter Beachtung einer Mindestbreite von 1,2m. Die mittleren Gänge sind für 100 Personen je 0,6m, die seitlichen Gänge für etwa 50 Personen je 0,6m (wegen Mindestbreite) ausgelegt – oder anders ausgedrückt, die seitlichen Gänge können (mit 100 Personen je 0,6m) die seitlichen Blöcke vollständig aufnehmen.

10

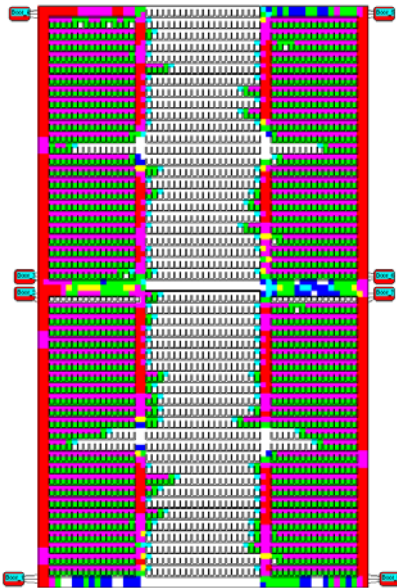
Trotz der Überdimensionierung der seitlichen Gänge ergibt sich bei der Simulation mit allen Modellen eine deutlich stärkere Belastung der seitlichen als der mittleren Gänge: Die mittleren Gänge (in Längsrichtung) werden von Personen der seitlichen Blöcke kaum angenommen und auch aus dem mittleren Block fliehen Personen durch die Reihen der seitlichen Blöcke eben auf die seitlichen Gänge – Kriterium „kürzester Weg“. Bei den Rechengängen mit buildingEXODUS

15 ergibt sich eine Nutzung dieser Gänge insofern nur in den ersten 45 s.

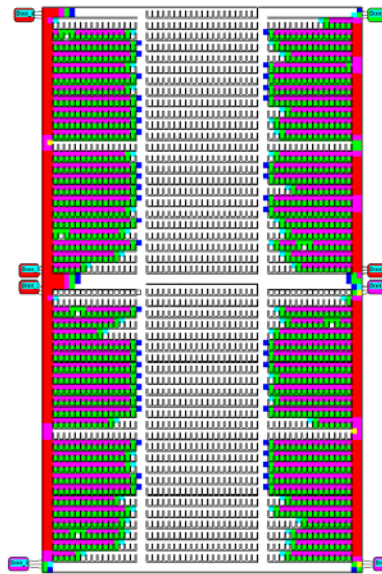


**Abb. 49:** Momentaufnahme PedGo Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=60s

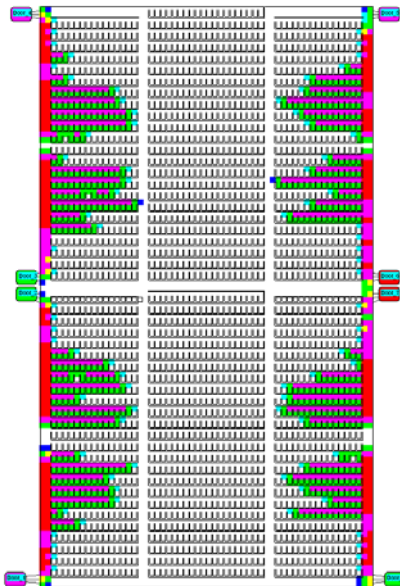
**Abb. 50:** Dichteplot bei PedGo Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=60s



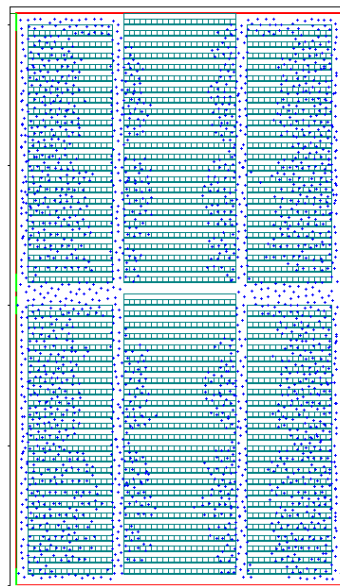
**Abb. 51:** Momentaufnahme Dichte bei buildingEXODUS Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=15s



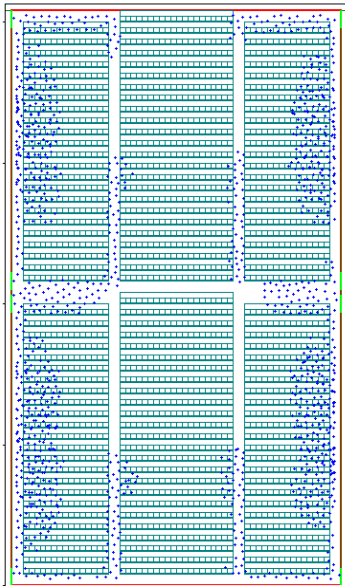
**Abb. 52:** Momentaufnahme Dichte bei buildingEXODUS Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=60s, mittlere Gänge (in Längsrichtung nicht mehr genutzt)



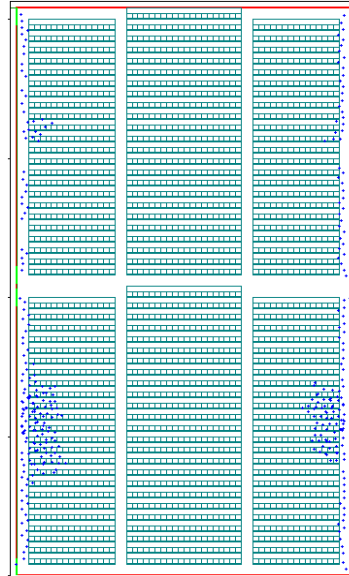
**Abb. 53:** Momentaufnahme Dichte buildingEXODUS Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=120s



**Abb. 54:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=15s



**Abb. 55:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm  
Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt t=60s



**Abb. 56:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm  
Beispiel 2b\_A\_2400P\_14,4m zum Zeitpunkt  
t=120s

Das berechnete Verhalten ist grundsätzlich plausibel. Wie stark der Effekt im Einzelfall ist, hängt vom Abstand der Sitzreihen ab, ein großer Abstand wird die Tendenz fördern, bei engen Reihen werden die mittleren Gänge eher angenommen.

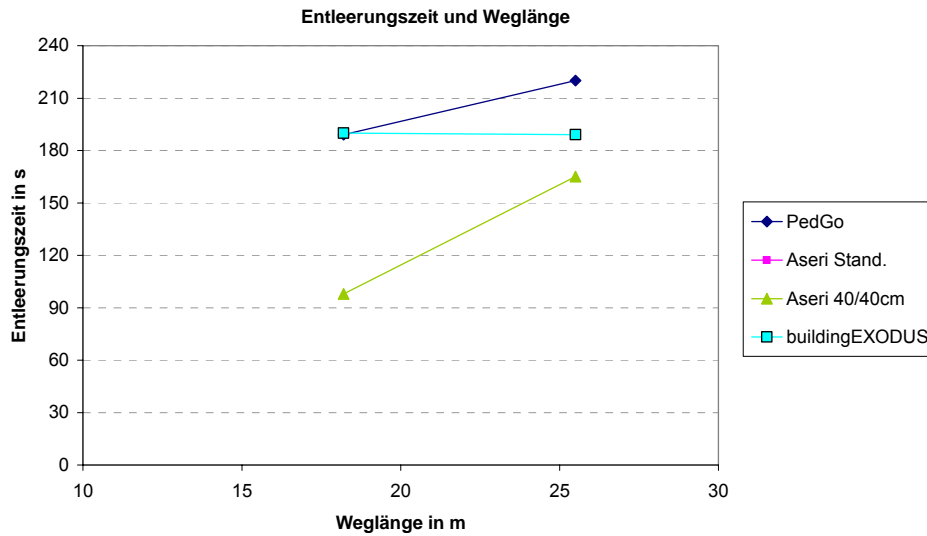
- 5 Bei der Simulation wurde die Tendenz wohl eher überschätzt; bei einer besseren Annahme der mittleren Gänge würden sich etwas kürzere Entleerungszeiten ergeben.

Fazit ist dennoch: Der kürzeste Weg ist nicht unbedingt der Weg, den der Planer avisiert hat (erst halbe Reihe, dann Gang), sondern zumindest zum Teil auch der kürzeste Weg durch die

- 10 Sitzreihen. D.h. die seitlichen Gänge sollen mindestens für die Aufnahme der seitlichen Blöcke – wie hier geschehen – dimensioniert werden.  
Bei „großem“ Abstand der Sitzreihen (Anhaltswert  $\geq 60\text{cm}$ ) empfiehlt sich eine weitere Verbreiterung der seitlichen Gänge, um Entleerungszeiten zu vermindern.

- 15 Beim Vergleich der Beispiele 2a und 2b\_A stellt man – zumindest bei PedGo und ASERI – eine deutlich höhere Entleerungszeit für das Beispiel 2b\_A fest. Bei 2a beträgt die maximale Weglänge<sup>33</sup> 18,2m und bei 2b\_A 25,5m.

<sup>33</sup> Weg durch halbe Sitzreihe + Weg auf dem Gang zum Ausgang



**Abb. 57:** Entleerungszeiten für 2a und 2b\_A aufgetragen in Abhängigkeit der Weglänge, PA = 100

5 Eine Staubildung an den Ausgängen ist bei ASERI und PedGo nicht festzustellen. Bei buildingEXODUS ist hingegen die Dichte in den Gängen geringer, zugunsten höherer Dichten an den Ausgängen. Das würde erklären, dass bei buildingEXODUS keine Abhängigkeit von der Weglänge festgestellt wird.

10 Da sowohl PedGo als auch ASERI eine Abhängigkeit zwischen Weglänge und Entleerungszeit aufzeigen, die zudem plausibel ist, wird angenommen, dass eine Abhängigkeit besteht.

15 Eine Verbreiterung der Gänge und Ausgänge bei PedGo um den Faktor 1,33<sup>34</sup> bedingt eine Reduzierung der Entleerungszeit von 200s auf 168s (84%). Ähnlich wie bei Beispiel 2a werden Flüsse etwas langsamer, wie anhand des nachfolgend ausgewerteten Simulationslaufs im Vergleich zur Tabelle 22 zu erkennen ist:

PedGo PA = 75	Links	Links	Links	Links	Rechts	Rechts	Rechts	Rechts
	unten	Mitte 1	Mitte 2	oben	oben	Mitte 1	Mitte 2	unten
Personen	280	295	306	299	299	300	313	298
Dauer (s)	157	160	168	159	158	161	166	155
spez. Fluss für a*=a	1,11	1,15	1,14	1,18	1,18	1,16	1,18	1,20
globaler Fluss für a*=a	1,11							

**Tabelle 23:** Detailauswertung PedGo – Beispiel 2b\_A, PA = 75

**5.1.3 Beispiel 2b\_B\_2400P\_4,8m – im Freien**

20 Die Auslegung der Rettungswege erfolgte so, dass die Personen möglichst „weg“ von der Bühne geführt werden, d.h. der 1. Block ist den beiden mittigen Ausgängen zugewiesen, der 2. Block den beiden hinteren Ausgängen. Die Breite der Gänge und Ausgänge beträgt 1,2m (300 Personen je 0,6m).

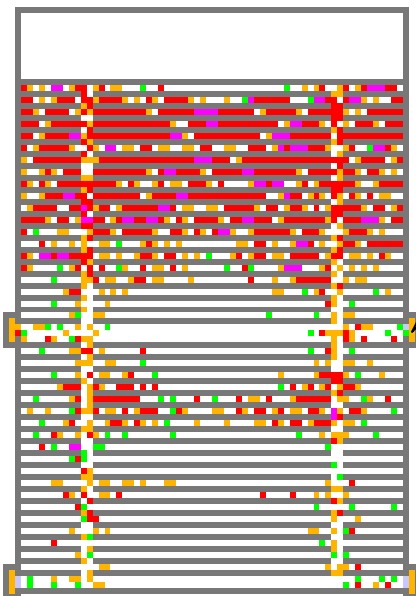
<sup>34</sup> von 8x 1,2m auf 8x 1,6m

Nach dem Kriterium „kürzester Weg“ sind die mittigen Ausgänge vollständig überlastet, da etwa die Hälfte des 2. Blocks auch die mittigen Ausgänge benutzt. Dementsprechend errechnen sich Entleerungszeiten.

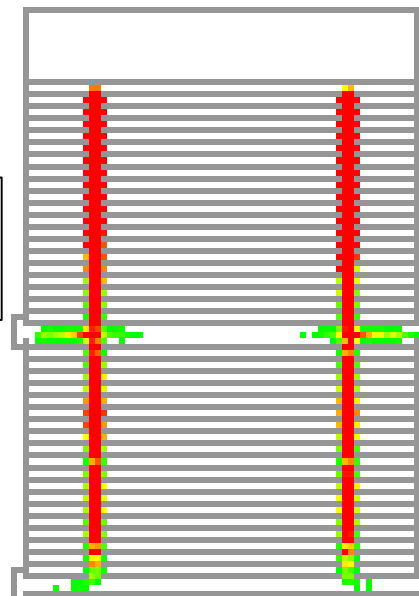
	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI	buildingEXODUS
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen
		PA=300	PA=200	PA=263	PA=300	PA=300
2b B	2400	808s	696s	317s	461s	738s
2b B mod	2400	687s	501s		322s	

5 **Tabelle 24:** Detailauswertung - Beispiel 2b\_B\_2400P\_4,8m

10 In der modifizierten Variante (mod) wurden die vorderen 2 Reihen des 2. Blocks den mittigen Ausgängen, die verbleibenden 19 Reihen den hinteren Ausgängen zugewiesen. Entleerungszeiten verringern sich bei PedGo um 15 bis 28% und bei ASERI um 30%. Praktisch wird eine solche Wegführung dann relevant, wenn tatsächlich der Weg „weg“ von der Bühne Vorteile bringt (Zugangsweg oder aufgrund der Gefahrensituation).

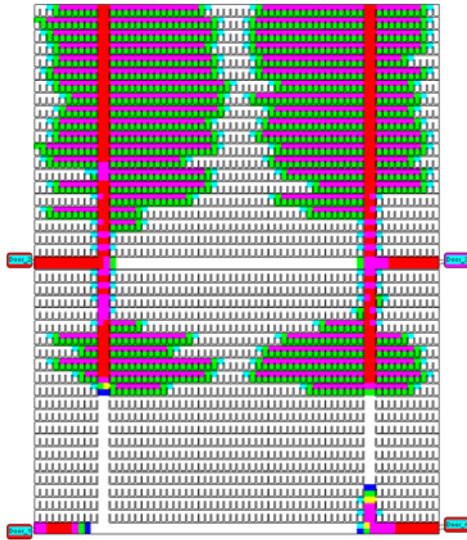


Verbreiterung der mittigen Ausgangsbreiten

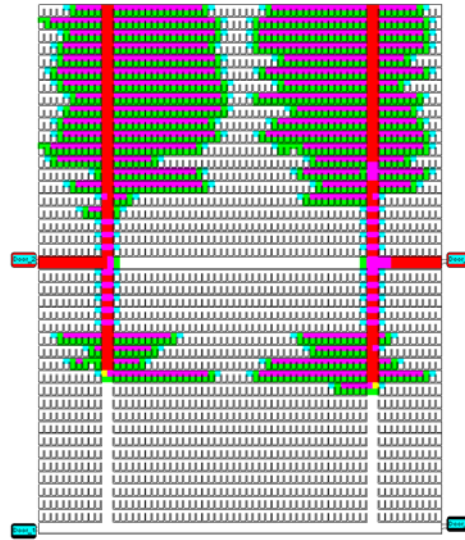


**Abb. 58:** Momentaufnahme PedGo  
Beispiel 2b\_B\_2400P\_4,8m zum Zeitpunkt t=300s

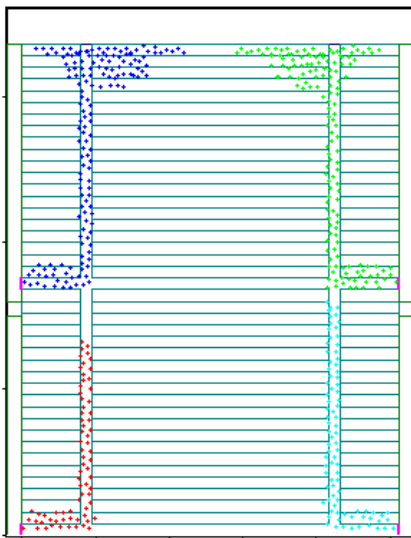
**Abb. 59:** Dichteplot PedGo  
Beispiel 2b\_B\_2400P\_4,8m



**Abb. 60:** Momentaufnahme buildingEXODUS  
2b\_B\_2400P\_4,8m\_240s



**Abb. 61:** Momentaufnahme buildingEXODUS  
2b\_B\_2400P\_4,8m\_300s



**Abb. 62:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm  
Beispiel 2b\_B\_2400P\_4,8m\_mod zum Zeitpunkt t=240s

5

Folgerung:

Gänge und Ausgänge sind so zu dimensionieren, dass beide Kriterien

- „weg“ von der Bühne (bzw. zum Eingang) und
- „kürzester Weg“

10 erfüllt sind, d.h. die mittigen Weg- und Ausgangsbreiten sind zu vergrößern.

Der Anteil des 2. Blocks, der den mittigen Ausgängen zugeordnet wird, liegt im fachlichen Ermessen. Ein Anteil von weniger als 50 % müsste über die Eingangssituation begründet sein.

Eine Verbreiterung (aller Gänge und Ausgänge) bei PedGo um den Faktor 1,5 (PA= 300 auf PA= 200<sup>35</sup>) führt zu einer Reduzierung der Entleerungszeit von 687s auf 501s (Variante mod) d.h. auf 73%.

5 **5.1.4 Beispiel 2d – Theaterbestuhlung**

Das Beispiel entspricht der Vorgabe der VStättV wonach Sitzreihen mit bis zu 50 Plätzen zulässig sind, wenn je 4 Reihen eigene Ausgänge zugeordnet sind. Geometrisch bedingt, ist die Anordnung der Ausgänge optimal. Im Beispiel sind die 4 Reihen dergestalt getrennt, dass die Ausgänge nur jeweils von den zugeordneten Reihen nutzbar sind (dazwischen: „kein Durchgang“).

Die maximale Weglänge zu den Ausgängen beträgt 17,2m.

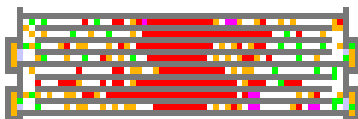
Die Ausgänge sind 1,2m breit, Ausgangsbreiten sind somit für 50 Personen je 0,6m dimensioniert. Auf die Anwendung der möglichen Erleichterung für „Räume“ < 200m<sup>2</sup> (Ausgangsbreite 0,9m statt 1,2m) wurde verzichtet.

Dementsprechend kurz sind die Entleerungszeiten:

	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI	buildingEXODUS
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen
		PA=50	PA=33,3	PA=43,8	PA=50	PA=50
2d ohne Stufengänge	200	93s	85s	45s	82s	99s
2d mit Stufengänge	200	113s				173

**Tabelle 25:** Detailauswertung - Beispiel 2d

Entleerungszeiten verlängern sich bei Anordnung von Stufengängen. Dabei erscheint die Verlängerung im Fall von Stufengängen bei PedGo plausibler als bei buildingEXODUS.



25 **Abb. 63:** Momentaufnahme PedGo – Beispiel 2d zum Zeitpunkt t=30s

Wenn zwischen den Vierer-Reihen auf dem Seitengang ein Durchgehen möglich ist, wird der erste Ausgang weniger belastet, der letzte Ausgang mehr belastet – wenn die Ausgänge nicht jeweils mittig in Bezug auf die 4 Reihen angeordnet sind. Eine nennenswerte Verlängerung der Entleerungszeit muss nicht unterstellt werden, da keine wesentliche Staubildung auftritt. Das ist auch daran erkennbar, dass eine Verbreiterung der Ausgangsbreiten bei PedGo um den Faktor 1,5 nur eine Reduzierung der Entleerungszeit auf 91% bewirkt.

Man kann definitiv schließen, dass diese Bestuhlung gegenüber anderen deutlich kürzere Entleerungszeiten und somit ein höheres Maß an Sicherheit bietet. Man mag einwenden, dass die Berechnungen keine mobilitätsbehinderten Personen berücksichtigen, wodurch

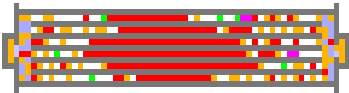
<sup>35</sup> d.h. keine Skalierung der Breiten



Entleerungszeiten verlängert würden. Das gilt aber gleichermaßen für alle anderen Berechnungen. Insofern erscheint es in jedem Fall gerechtfertigt,

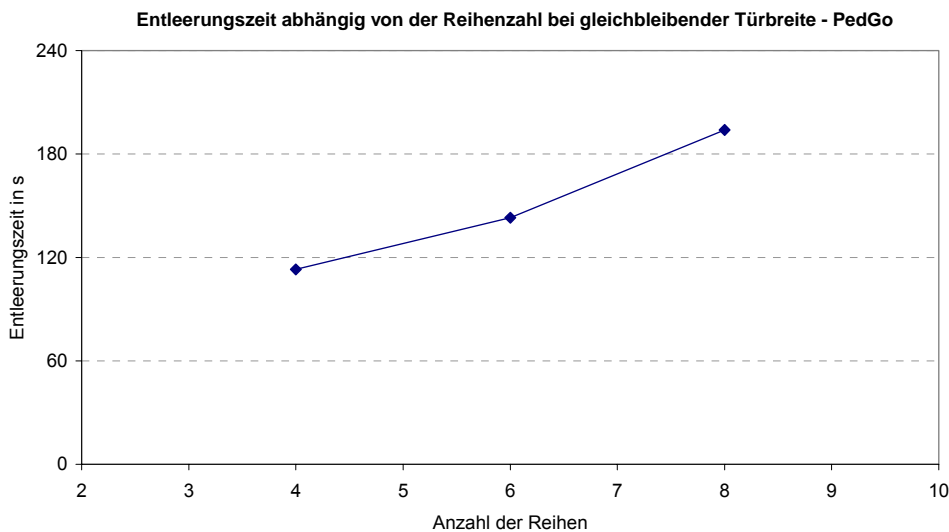
- 5 A. zumindest die Erleichterung 0,9m Ausgangsbreite statt 1,2m anzuwenden, oder  
 B. eine Erhöhung der Reihenzahl z.B. auf 6 zuzulassen, oder  
 C. mehr Sitze zwischen den Gängen zu erlauben.

Bei einer Erhöhung der Reihenzahl nach Punkt B beträgt die Entleerungszeit mit PedGo  
 bei 6 Reihen mit Stufengängen: 143 s  
 10 bei 8 Reihen mit Stufengängen: 194 s



**Abb. 64:** Momentaufnahme PedGo – Beispiel 2d mit 6 Sitzreihen zum Zeitpunkt  $t=30s$

- 15 D.h. Entleerungszeiten nehmen zwar zu, allerdings mit schwächerem Verhältnis bezogen auf die Anzahl der Reihen (gleichbedeutend mit der Personenzahl die jeweils 2 Ausgängen zugewiesen ist).



- 20 **Abb. 65** Zunahme der Entleerungszeit mit der Reihenzahl für Stufenreihen (PA= 50, 75 und 100) – PedGo

- 25 In NFPA 101 Anhang A wird im Übrigen darauf hingewiesen, dass solche Bestuhlungsformen („continental seating“) sehr kurze Entleerungszeiten bedingen (obgleich mit 5 Reihen mit bis zu 100 Sitzen gerechnet wird – allerdings jedoch mit Türbreiten 1,675m).

Diesem an sich positiven Effekt muss nach NFPA aber auch mit der weiteren Folge der Rettungswege Rechnung getragen werden, indem auch die weiteren Wege entsprechend dimensioniert werden, oder aber, entsprechende Stauräume zur Verfügung gestellt werden.

30

“A.12.2.5.5.4 The system known as continental seating has one pair of egress doors provided for every five rows<sup>36</sup> that is located close to the ends of the rows. In previous editions of the Code, such egress doors were required to provide a clear width of not less than 1675 mm (66 in.) discharging into a foyer, into a lobby, or to the exterior of the building. This continental seating arrangement can result in egress flow times (that is, with nominal flow times of approximately 100 seconds, rather than 200 seconds) that are approximately one-half as long as those resulting where side aisles lead to more remote doors. Such superior egress flow time performance is desirable in some situations; however, special attention should be given either to a comparably good egress capacity for other parts of the egress system or to sufficient space to accommodate queuing outside the seating space.”

## 5.2 Tischbestuhlung

### 5.2.1 Beispiel 3a\_400 P\_2,4m – im Gebäude

Die Einrichtung der Gastronomie erfolgte gemäß MVStättV: Entfernung von jedem Gastplatz zum mittleren Gang < 10m. Der mittlere Gang und die Ausgänge sind für 100 Personen je 0,6m dimensioniert. Die zwei Nebengänge sind für die Bedienung gedacht. Auf der „rechten“ Seite befindet sich die Schankfläche/Freifläche.

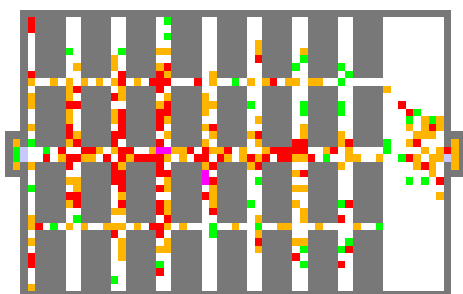
Die Personen werden entsprechend dem kürzesten Weg auf die beiden Ausgänge aufgeteilt. Eine Beeinträchtigung wegen der Stühle oder verschobener Tische wird nicht nachgebildet. Der Abstand zwischen den Tischen beträgt gemäß VStättV 1,5m. Die nutzbare Wegbreite zwischen den Stühlen wurde bei PedGo und buildingEXODUS mit 2 Zellen angesetzt. Bei ASERI beträgt die nutzbare Wegbreite entsprechend der Standardeinstellung 0,5m je Sitzreihe, bei ASERI 40/40cm 0,4m je Sitzreihe

Zu Simulationsbeginn stehen bei PedGo die Personen schon hinter ihren Stühlen, bei ASERI und buildingEXODUS noch auf den Stuhlzellen<sup>37</sup>.

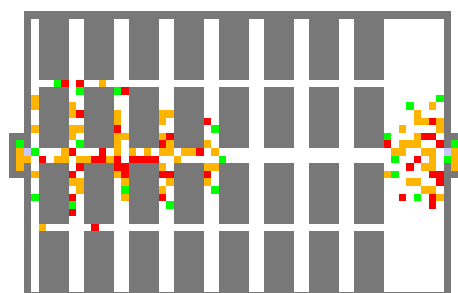
Mittlere Entleerungszeiten betragen:

	Personen	PedGo		ASERI	ASERI	buildingEXODUS
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen
		PA=100	PA=66	PA=87,5	PA=100	PA=100
3a	400	179	129	80	133	177

Tabelle 26: Detailauswertung - Beispiel 3a\_400 P\_2,4m



t = 30s

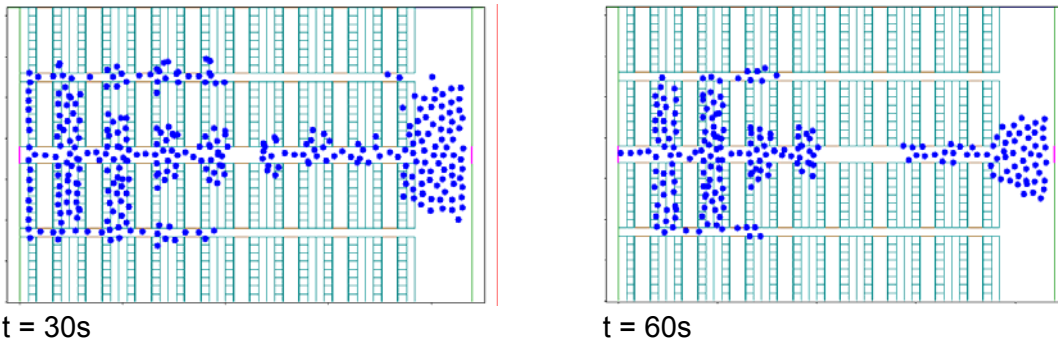


t = 60s

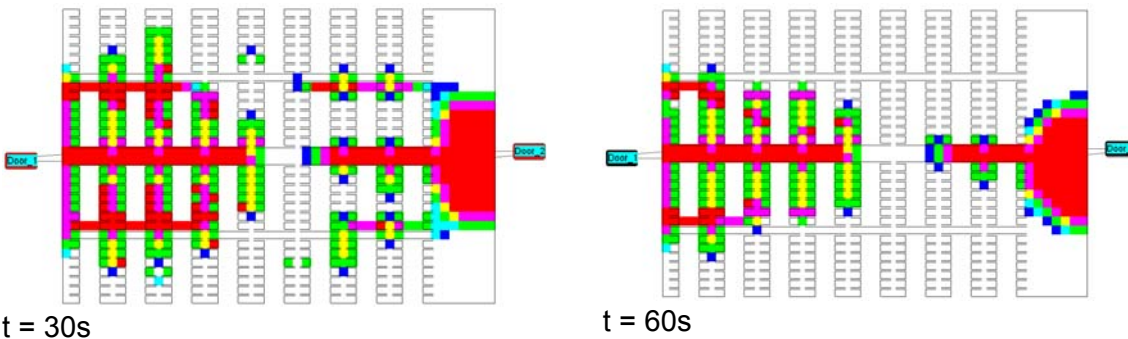
<sup>36</sup> je Reihe mit bis zu 100 Sitze

<sup>37</sup> wobei diese bei buildingEXODUS vereinfachend als „free space node“ modelliert wurden;

**Abb. 66:** Momentaufnahmen PedGo – Beispiel 3a\_400 P\_2,4m



**Abb. 67:** Momentaufnahmen ASERI 40/40cm – Beispiel 3a\_400 P\_2,4m



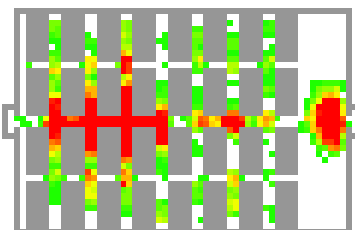
**Abb. 68:** Momentaufnahmen buildingEXODUS - 3a\_400 P\_2,4m

Die maximale Weglänge<sup>38</sup> beträgt ca. 18m.

Das Kriterium „kürzester Weg“ ergibt am Beispiel eines Simulationslaufs folgende Aufteilung und Flüsse in P/(ms):

PedGo	Ausgänge	
	links	rechts
Personen	220	180
Entleerungszeit (s)	179	122
spez. Fluss für a*	1,54	1,84
globaler Fluss für a*	1,40	

**Tabelle 27:** Spezifische und globale Flüsse je Ausgang bei PedGo – Beispiel 3a



**Abb. 69:** Dichteplot bei PedGo – Beispiel 3a\_400 P

<sup>38</sup> Weg zum mittleren Gang + Weg auf dem mittleren Gang zum Ausgang

Maßgebend für die Entleerungszeit ist die linke Raumhälfte da mehr Personen dem linken Ausgang zugeordnet sind – „kürzester Weg“.

5 Eine optimale Verteilung der Personen auf Ausgänge liegt hier vor, wenn die Personen entsprechend den Ausgangsbreiten und der spezifischen Flüsse theoretisch aufgeteilt werden. Bei der Annahme, dass sich die spezifischen Flüsse in der nachfolgend betrachteten Bandbreite nicht wesentlich ändern gilt:

10 Die Entleerungszeit bei optimaler Aufteilung der Personen auf die Ausgänge {links: 182 P} / {rechts: 218 P} kann für den PedGo- Simulationslauf gemäß Tabelle 27 mit 148s (statt 179s) abgeschätzt werden. In der Praxis ist eine höhere Belastung des rechten Ausgangs zu erwarten, wenn dieser gleichzeitig der Eingang ist. Bis zu einer geschätzten Aufteilung {links: 136 P} / {rechts: 264 P} werden Entleerungszeiten  $\leq 179$ s betragen.

15 Erläuterung:

In der Nähe des rechnerischen Minimums ist folgende grobe Abschätzung möglich:

Bei Annahme, Unterschiede in den Flüssen „rechts“ und „links“ sind systematisch:

Fluss Ausgang „links“:  $F_l = 1,54$  P/ms

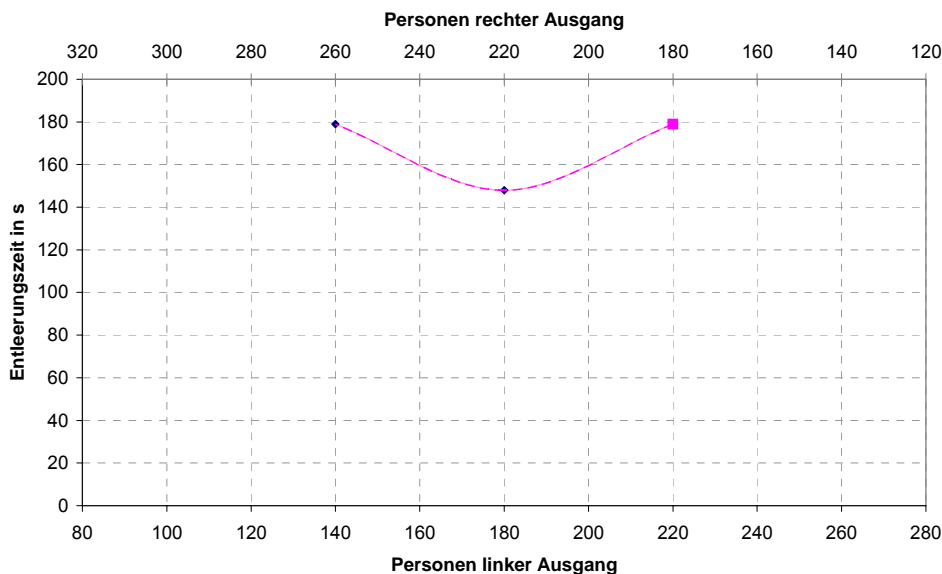
Fluss Ausgang „rechts“:  $F_r = 1,84$  P/ms

aus  $t_{E,r} = t_{E,l}$ :

$P_r = 400 \cdot F_r / (F_r + F_l) = 218$      $P_l = 182$

min  $t_E = P_r / (F_r \cdot a_r) = 183 / (1,54 \cdot 0,8) = 148$ s

25 Für 179 s:  $P_r = 1,84 \cdot 0,8 \cdot 179 = 264$



**Abb. 70:** Abgeschätzter Verlauf der Entleerungszeit anhand der spezifischen Flüsse bei geänderter Aufteilung auf die Ausgänge – Beispiel 3a, PA = 100

30

**5.2.2 Beispiel 3b\_1200 P\_7,2m – im Gebäude**

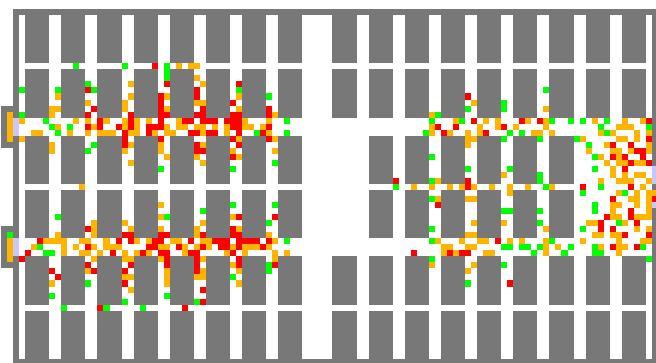
Einrichtung, Geometrie und Modellierung ist ähnlich Beispiel 3a\_400 P\_2,4m

Mittlere Entleerungszeiten betragen:

5

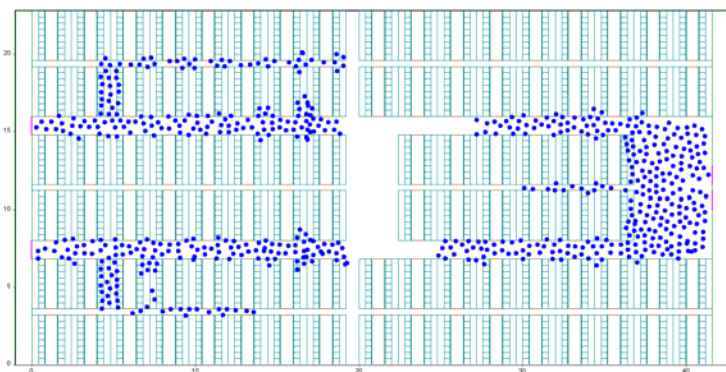
	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI
		40cm Zellen		Standard	40/40cm
		PA=100	PA=75	PA=87,5	PA=100
3b	1200	234s	155	66	131

**Tabelle 28:** Detailauswertung - Beispiel 3b\_1200 P\_7,2m



**Abb. 71:** Momentaufnahme PedGo – Beispiel 3b\_1200 P\_7,2m zum Zeitpunkt t=60s

10



**Abb. 72:** Momentaufnahme ASERI 40/40cm – Beispiel 3b\_1200 P\_7,2m zum Zeitpunkt t=60s

Die maximale Weglänge<sup>39</sup> beträgt ca. 27,3m.

15

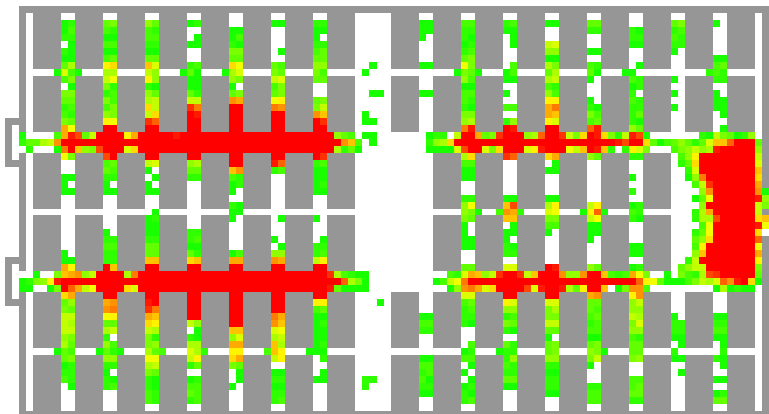
<sup>39</sup> Weg zum mittleren Gang + Weg auf dem mittleren Gang zum Ausgang

Das Kriterium „kürzester Weg“ ergibt am Beispiel eines Simulationslaufs folgende Aufteilung und Flüsse in P/(ms):

PedGo	Ausgänge		
	links 1	links 2	rechts 3+4
Personen	315	313	572
Entleerungszeit (s)	210	210	167
spez. Fluss für a*	1,25	1,24	1,43
globaler Fluss für a*		1,19	

**Tabelle 29:** Spezifische und globale Flüsse je Ausgang bei PedGo – Beispiel 3b

5



**Abb. 73:** Dichteplot bei PedGo - Beispiel 3b\_1200 P\_7,2m

Die Entleerungszeit bei optimaler Aufteilung der Personen auf die Ausgänge kann für den PedGo- Simulationslauf gemäß Tabelle 29 mit {links: 558 P} / {rechts: 642 P} mit 187s<sup>40</sup> (statt 210s) abgeschätzt werden.

In der Praxis ist eine höhere Belastung des rechten Ausgangs zu erwarten, wenn dieser gleichzeitig der Haupteingang ist. Bis zu einer geschätzten Aufteilung {links: 480} / {rechts: 720} werden Entleerungszeiten  $\leq 210$ s betragen.

<sup>40</sup> vgl. Abschnitt 5.2.1

Erl.: In der Nähe des rechnerischen Minimums ist folgende grobe Abschätzung möglich:

Bei Annahme, Unterschiede in den Flüssen „rechts“ und „links“ sind systematisch:

Fluss Ausgänge „links“:  $F_l = 1,245$  P/ms

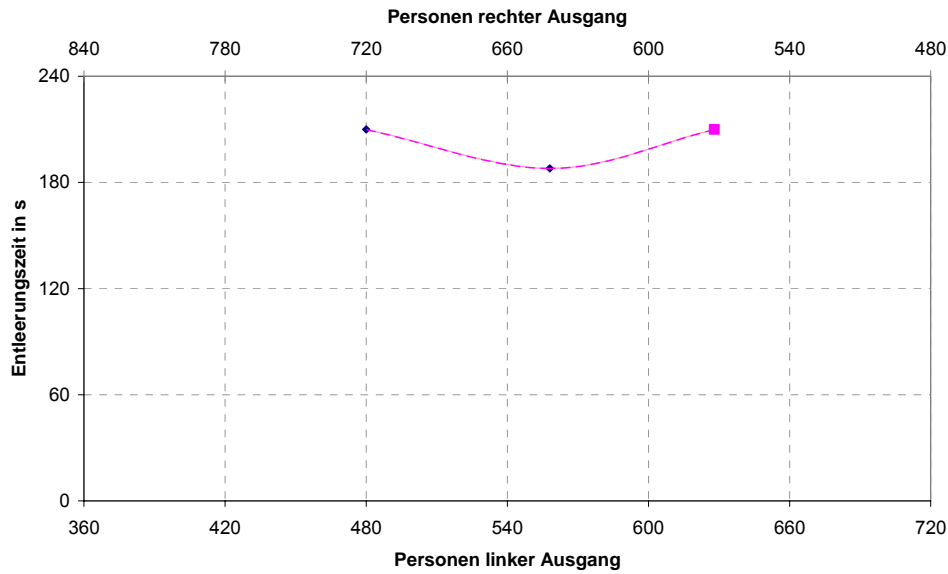
Fluss Ausgang „rechts“:  $F_r = 1,43$  P/ms

aus  $t_{E,r} = t_{E,l}$ :

$P_r = 1200 \cdot F_r / (F_r + F_l) = 642$   $P_l = 558$

$\min t_E = P_r / (F_r \cdot a_r^*) = 640 / (1,54 \cdot 2,4) = 187$ s

Für 210 s:  $P_r = 1,43 \cdot 2,4 \cdot 210 = 720$



**Abb. 74:** abgeschätzter Verlauf der Entleerungszeit anhand der spezifischen Flüsse bei geänderter Aufteilung auf die Ausgänge –Beispiel 3b, PA = 100

- 5 Wie bei Beispiel 3a nehmen Entleerungszeiten zu, wenn mehr als 628 Personen nach „links“ fliehen; die Situation ist unempfindlich gegenüber einer stärkeren Zuordnung der Personen zum rechten Ausgang (bis 720 Personen).

**5.2.3 Vergleich der Beispiele für Tischbestuhlung (PedGo)**

10 Ein Vergleich wesentlicher Parameter ist nachfolgend dargestellt:

Beispiele:	3a		3b	
Ausgangsindex PA=	100	66	100	75
Geschwindigkeiten (Zellen/s) <sup>41</sup>				
o Mittel	1,05		1,05	
o langsamste Person	0,46		0,44	
o schnellste Person	2,34		2,33	
Ungleichförmigkeit u in %	7,1%		5,4%	
Weglänge (m)	18,0		27,3	
Entleerungszeit (s)	179	129	234	155
globaler Fluss (P/(ms))	1,40	1,29	1,07	1,21

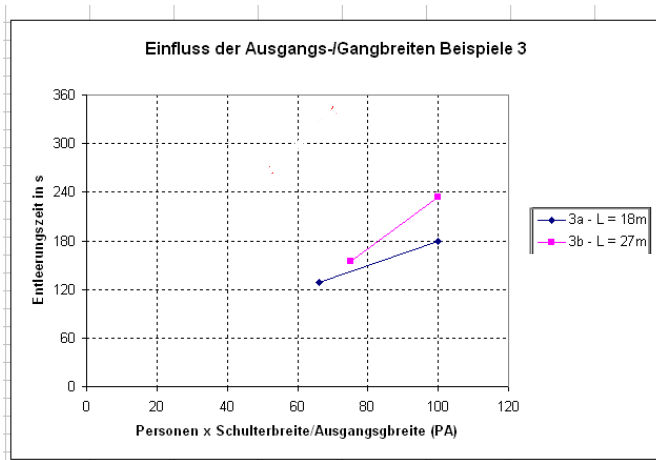
**Tabelle 30:** Detailauswertung mit PedGo – Beispiele 3a und 3b

Einfluss der Ausgangs-/Gangbreiten

- 15 Bei Ansatz der tatsächlichen Ausgangsbreite, d.h. keine Skalierung an die Zellengröße, vermindern sich die Entleerungszeiten bei den Beispielen 3a und 3b mit PedGo auf 66 bis 72%. Aus dem Vergleich der skalierten und nicht skalierten Ausgangsbreiten erhält man tendenziell

<sup>41</sup> einzelner Simulationslauf

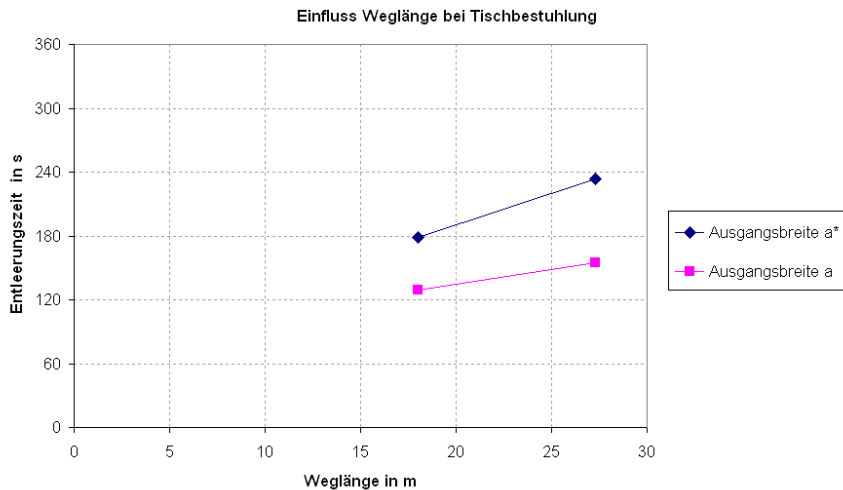
folgende Abhängigkeit, wobei sich die Beispiele hinsichtlich der Rettungsweglänge unterscheiden:



5 **Abb. 75** Einfluss der Ausgangs-/Gangbreite – Beispiele 3a und 3b, PedGo

Einfluss der Weglänge

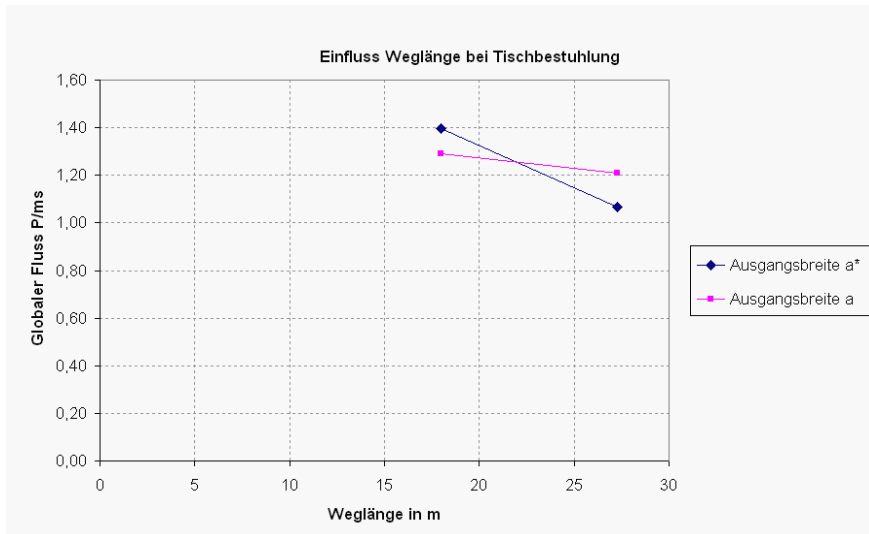
10 Wegen der Ähnlichkeit der Struktur und gleicher Geschwindigkeiten entlang der Wegstrecke, kann die gegenüber Beispiel 3a längere Entleerungsdauer bei 3b nur über die längere Weglänge erklärt werden (27,3m statt 18,0m):



15 **Abb. 76:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei Tischbestuhlung (Beispiele 3a und 3b), Bezug a\* und a (Originalbreite), PedGo

Allerdings muss einschränkend vermerkt werden, dass bei ASERI keine Abhängigkeit der Entleerungszeit von der Weglänge festgestellt wird.





**Abb. 77:** Einfluss der Weglänge auf den globalen Fluss bei Tischbestuhlung (PedGo), Bezug a und a\*

5 Mit der vorgenannten und extrapolierten Abhängigkeit des spezifischen Flusses von der Weglänge ist im Rahmen von PedGo folgende *sehr grobe* Abschätzung für diese Beispiele möglich:

10 Eine Verlängerung der Weglänge von 25m ( $F=1,25 \text{ P/(ms)}$ ) auf 30m ( $F=1,15 \text{ P/(ms)}$ ) bringt bei enger Tischbestuhlung eine Verlängerung der Entleerungszeit um 10 bis 11s bei gleichen Gang-/Ausgangsbreiten. Eine Dimensionierung für 100 Personen je 0,6m – statt 150 Personen je m – bringt eine weitere Verlängerung um annähernd 15s.

Weglänge	F(P/(ms))	Entleerungszeiten		
		150 P/m PA = 90	100 P/0,6m PA = 100	83 P/0,6m PA = 83
25m	1,25	120s	133s	
30m	1,15	130s	144s	120s

**Tabelle 31:** Einfluss der Rettungsweglänge auf die Entleerungszeit bei Tischbestuhlung

15 Anm.: Bei diesen und den folgenden Abschätzungen wurde vereinfachend  $t_E \approx 1/a$  angenommen, was nicht ganz zutreffend ist, d.h. Entleerungszeiten für  $PA < 100$  sind insgesamt etwas länger als hier angesetzt.

20 Wenn aufgrund der gemäß MVStättV geforderten Spurbreite von 0,6m und dem erforderlichen Aufrunden von Weg- und Ausgangsbreiten im Mittel für 83 Personen je 0,6m dimensioniert wird, ist die längere Weglänge kompensiert. D.h. die in der MVStättV vorgesehenen Erleichterungen gegenüber der bisherigen VStättV

Weglänge	30m <sup>42</sup>	statt 25m
Dimensionierung der Wege und Ausgänge	100P/ 0,6m	statt 150P/ 1,0m

<sup>42</sup> lichte Raumhöhe bis 5m

können zu Verlängerungen der Entleerungszeiten in der Größenordnung von bis zu 25s führen, die über das erforderliche Aufrunden von Weg- und Ausgangsbreiten ganz oder teilweise kompensiert werden.

5 Somit ist tendenziell festzuhalten, dass bei „enger“ Tischbestuhlung – wie bei der Reihenbestuhlung - die Weglänge einen Einfluss auf die Entleerungsdauer haben kann.

Längere Weglängen, die zu verlängerten Entleerungsdauern führen, können mit verbreiterten Gang- und Ausgangsbreiten kompensiert werden.

10

### 5.3 Entleerungszeiten für Bestuhlung

Für Versammlungsstätten in Gebäuden mit Reihen- und Tischbestuhlung mit Weg-/ Ausgangsbreiten, die nach der MVStättV dimensioniert sind und bei Weglängen bis 30m können  
15 Entleerungszeiten etwa mit  $t_E \leq 3,5$  Minuten eingegrenzt werden. Die Begrenzung auf 30m erfolgt wegen der unterschiedlichen Tendenzen bei PedGo und ASERI in Bezug auf den Einfluss von Weglängen.

## 20 6 Detailauswertung Verkaufsstätte

---

### 6.1 Modellierung

Untersucht wurden Entleerungszeiten aus der Hälfte einer achsensymmetrischen Verkaufsstätte mit einer Ladenfläche von insgesamt 5.660m<sup>2</sup> und einer Ladenstraßenfläche von 670m<sup>2</sup>.

25 Ausgangsbreiten wurden mit der Vorgabe aus der Vkv: 0,3m Ausgang je 100m<sup>2</sup> Verkaufsraum dimensioniert:  $5.660 \times 0,3 / 100 = 17m$  insgesamt, bzw. 8.5m in der betrachteten Hälfte. Anhand der lichten Ausgangsbreite wurden Personenzahlen mit 1m entsprechend 150 Personen nach VStättV rückgerechnet. Hieraus erhält man für eine Ladenfläche von 5.660m<sup>2</sup> dann insgesamt 2550 Personen, je Hälfte der Verkaufsstätte dann 1275 Personen.

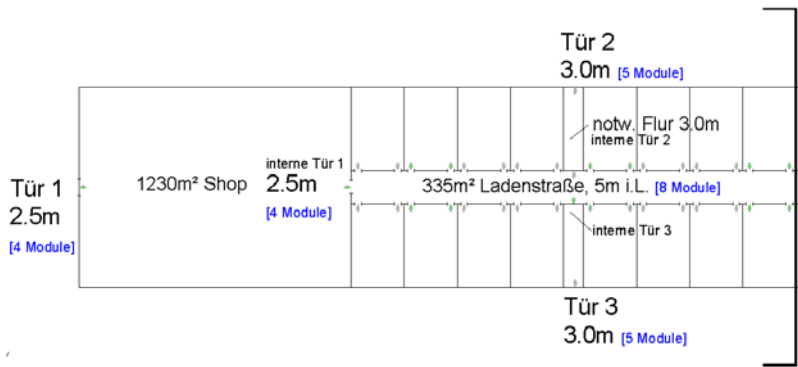
30

Dies entspricht einem Ansatz von 0.45 Personen/ m<sup>2</sup> Ladenfläche.

Rettungswege führen aus den Läden über eine Ladenstraße und notwendige Flure ins Freie, erforderliche Ausgangsbreiten wurden nach Vkv ermittelt (und in das entsprechende  
35 Spurbreitenraster skaliert<sup>43</sup>). Insgesamt stehen drei Ausgänge zur Verfügung, vgl. Abb. 78.

---

<sup>43</sup> damit werden Entleerungszeiten bei buildingEXODUS etwa um den Faktor 1,13 PedGO etwa um den Faktor 1,35 länger als ohne Skalierung



**Abb. 78:** Modell der Verkaufsstätte mit Angabe der Ausgangsbreiten, blau das Modulmaß 0.6m

Die Abhängigkeit zwischen Personenbelegung (Läden/ Ladenstraße) und Entleerungszeit wird untersucht.

Dazu werden nachfolgende Szenarien gerechnet (wobei a) und b) der Vkv/VStättV entsprechen, c) und d) gehen über diese hinaus, Reaktionsdauer jeweils = 0s.):

a) 1275 gesamt:	1275 P. in Läden,	0 P auf der Ladenstraße	PA = 91
b) 1275 gesamt:	940 P. in Läden,	335 P auf der Ladenstraße (1P/m²)	PA = 91
c) 1610 gesamt:	1275 P. in Läden,	335 P auf der Ladenstraße (1P/m²)	PA = 115
d) 2045 gesamt:	1275 P. in Läden,	770 P auf der Ladenstraße (2P/m²)	PA = 146

## 6.2 Ergebnisse buildingEXODUS

### 6.2.1 Entleerungszeiten

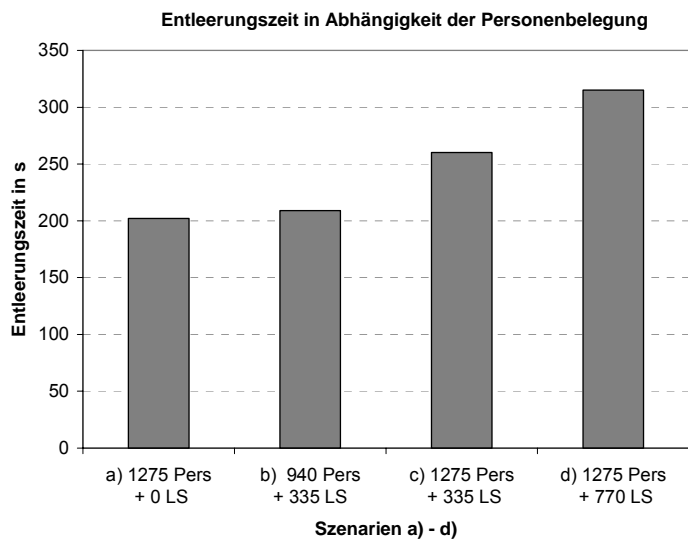
Die Mehrzahl der Berechnungen wurde mit buildingEXODUS durchgeführt.

Aus Abb. 79 lässt sich feststellen, dass die beiden „Vkv/ VStättV“- Szenarien a) und b) zu annähernd gleichen Entleerungszeiten führen – d.h. es macht fast keinen Unterschied ob sich die Personen anteilig in Läden und auf der Ladenstraße, oder eben nur in den Läden befinden.

Szenario a) hat insofern etwas geringere Entleerungszeiten, verglichen mit Fall b), da Personen zu den Hauptausgängen längere Weglängen und somit Laufzeiten haben, was zu einer gewissen Vereinzelung führt.

Zwischen Szenario a) und d) liegt eine Erhöhung der Entleerungszeit um 56% vor (bei einer Erhöhung der Personenzahl um 60%). Maßgebend ist hierbei der „Stau“ vor den Ausgängen der Ladenstraße, der relativ frühzeitig auftritt, da Personen auf der Ladenstraße die Ausgänge schnell erreichen.

Für die „Vkv/VStättV“ Szenarien a) und b) liegen die Entleerungszeiten bei ca. 3,5 Minuten.



**Abb. 79:** Einfluss Personenbelegung bei gleich bleibenden Rettungswegen (buildingEXODUS), skaliert

Flüsse	a) 1275 P/ 0LS	c) 1275 P/ 335 LS	d) 1275 P/ 770LS
$F_{\text{global}}$	0,74 P/(ms)	0,73 P/(ms)	0,76 P/(ms)
$F_{\text{spez}} \text{ Ausgang 1}$	1,12 P/(ms)	1,11 P/(ms)	1,13 P/(ms)
$F_{\text{spez}} \text{ Ausgang 2}$	0,91 P/(ms)	0,96 P/(ms)	1,01 P/(ms)
$F_{\text{spez}} \text{ Ausgang 3}$	0,92 P/(ms)	0,98 P/(ms)	1,03 P/(ms)

**Tabelle 32:** Detailauswertung mit buildingEXODUS Flüsse, Szenarien a), c) und d)

5

Globale Flüsse weichen in den untersuchten Szenarien nur geringfügig voneinander ab. Die spezifischen Flüsse von Ausgang 1 bleiben annähernd gleich<sup>44</sup>, da die Varianten diesbezüglich keine Auswirkung haben – die gleiche Anzahl von Personen nutzt den Ausgang aufgrund des Kriteriums „kürzester Weg“. Für die Ausgänge 2 und 3 nehmen die spez. Flüsse mit zunehmender Personenanzahl zu, wobei eine Erhöhung der Personen um 60% eine Erhöhung der Flüsse um etwa 11% bedingt.

10

In den Beispielen a) bis d) wurde die Verteilung der Personen im großen Laden zunächst idealer Weise gleichverteilt mit 50% auf Ausgang 1 und 50% auf den Ausgang zur Ladenstraße angenommen (im Laden befinden sich dabei 565 Personen).

15

Da Personen den Ausgang auf die Ladenstraße bevorzugen werden (angenommen, sie haben den Laden hier betreten), wurden Vergleichsrechnungen mit dem Verhältnis 10% auf Ausgang 1 (57 Personen) und 90% auf den Ausgang zur Ladenstraße durchgeführt (508 Personen).

20

Exemplarisch wurden folgende Beispiele untersucht, wobei im Vorgriff auf Abschnitt 7.3 gleichzeitig Reaktionszeiten variiert wurden:

25

Beispiel 1: Szenario c)	1610 gesamt: 1275 P. in Läden, 335	auf der Ladenstraße ( $1P/m^2$ ), $t_{\text{reaktion}} = 0s$
Beispiel 2: Szenario c)	1610 gesamt: 1275 P. in Läden, 335	auf der Ladenstraße ( $1P/m^2$ ), $t_{\text{reaktion}} = 0- 60s$
Beispiel 3: Szenario c)	1610 gesamt: 1275 P. in Läden, 335	auf der Ladenstraße ( $1P/m^2$ ), $t_{\text{reaktion}} = 0- 120s$

<sup>44</sup> Unterschiede werden mit erhöhter Anzahl an Durchläufen noch geringer;

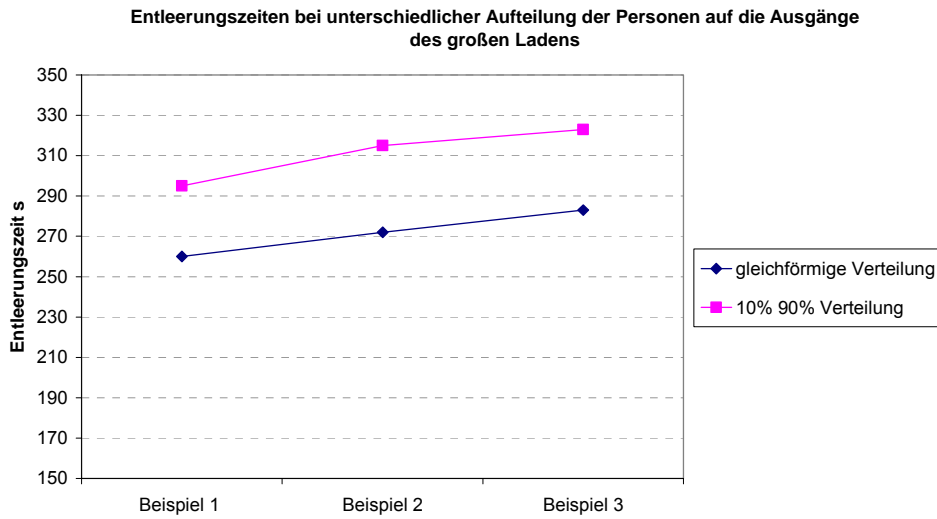
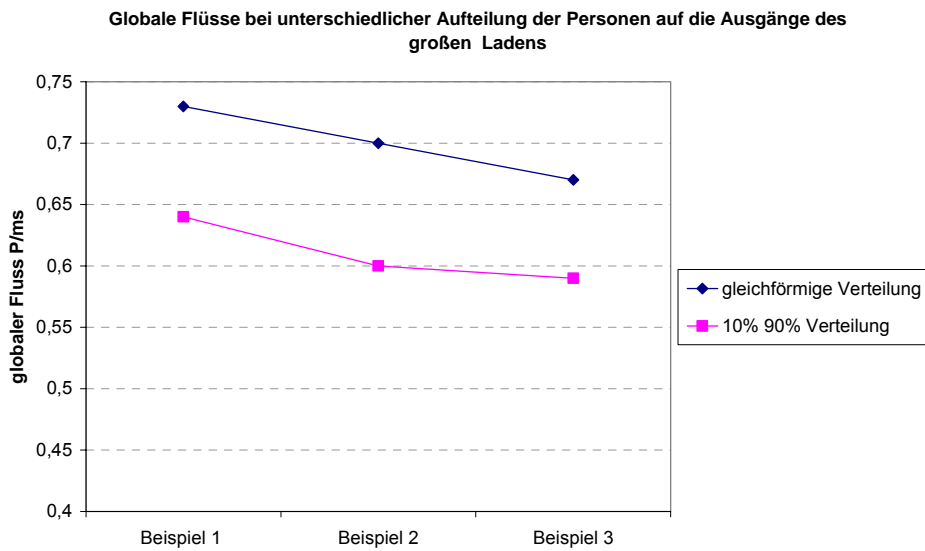


Abb. 80: Einfluss Personenbelegung auf die Entleerungszeit bei gleich bleibenden Rettungswegen



5 **Abb. 81:** Einfluss Personenbelegung auf den globalen Fluss bei gleich bleibenden Rettungswegen

Fall	in den Läden	in der Ladenstraße (t=0)	fliehen über Nebenausgang T1	fliehen über Ladenstraße und T2 + T3	Entleerungszeit
c)	1275	335	0,5 * 565	1275 + 335 – 283 = 1327	260 s
1_c)	1275	335	0,1 * 565	1275 + 335 – 57 = 1553	295 s
d)	1275	770	0,5 * 565	1275 + 770 – 283 = 1762	315 s

10 Im Mittel konnte dabei eine Erhöhung der Entleerungszeit um 14% festgestellt werden, der globale Fluss nahm in den untersuchten Fällen entsprechend um 13% ab. Insofern wird die Gesamtentleerungszeit von der Ausgangswahl aus dem großen Laden nicht unerheblich mitbestimmt, wobei der Einfluss diesbezüglich nicht kritisch bewertet werden muss.

### 6.2.2 Einfluss der Rettungswegführung auf der Ladenstraße

Um den Einfluss von unterschiedlichen Ausgangsbreiten der Ladenstraße zu untersuchen, wurden diesbezügliche Parameterstudien durchgeführt und in einem weiteren Schritt im Verhältnis zu Varianten hinsichtlich der Rettungsweglänge auf Ladenstraße gesetzt.

5

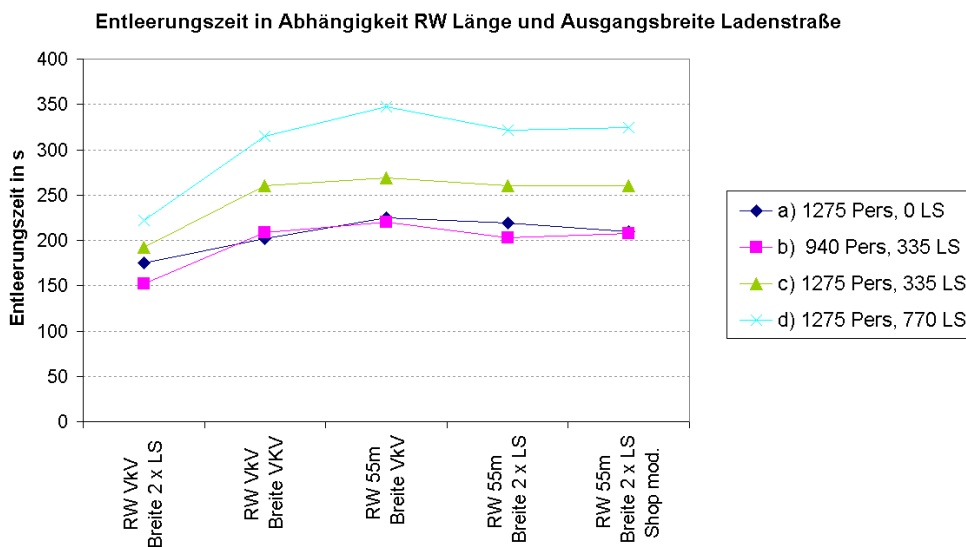
Nach Abb. 82 hat eine „Verbreiterung“ der Ausgänge aus der Ladenstraße eine merkliche Verringerung der Entleerungszeit zur Folge; hier statt  
 Ausgangsbreite = 2x 0,625 Ladenstraßenbreite  
 Ausgangsbreite = 2x Ladenstraßenbreite:

10

Eine Verbreiterung um 60% führt zu einer Verringerung der Entleerungszeit um ca. 27%.

$t_E$ / Flüsse	a) 1275 P/ 0LS Ausgang: 2x LS	c) 1275 P/ 335 LS Ausgang: 2x LS	d) 1275 P/ 770LS Ausgang: 2x LS
$t_E$	175s	192s	222s
$F_{global}$	0,73 P/(ms)	0,84 P/(ms)	0,92 P/(ms)

**Tabelle 33:** Detailauswertung mit buildingEXODUS Flüsse, Beispiele a), c) und d)



**Abb. 82:** Einfluss Rettungsweglänge auf Ladenstraße, sowie deren Ausgangsbreiten<sup>45</sup>

15

Hingegen ergibt eine Verlängerung der Rettungsweglänge auf der Ladenstraße keine signifikante Erhöhung der Entleerungszeit: Eine Verlängerung um 20m (von 35m auf 55m und ohne gleichzeitige Vergrößerung der Ausgangsbreite) resultiert in eine einer Erhöhung der Entleerungszeit um maximal 10%.

20

Die Erhöhung der Entleerungszeit liegt bei den Szenarien a) bis c) in der Größenordnung (bzw. unter<sup>46</sup>) der Zeitdifferenz, die sich aus der reinen Laufzeit entsprechend der Wegverlängerung ergibt: bei einer angenommenen Laufgeschwindigkeit von 1m/s würde die Verlängerung eben

<sup>45</sup> Anm.: bei Szenario „Shop mod.“ wurde gegenüber den Standardfällen die Breite des Ausgangs großer Laden auf die Ladenstraße modifiziert und hier in Ladenstraßenbreite gewählt (d.h. 8 anstelle von 4 Modulen). Hieraus ergeben sich keine merklichen Auswirkungen auf den Entleerungsverlauf.

<sup>46</sup> was wiederum mit einem gewissen Vereinzelnungseffekt begründet werden könnte

maximal 20 Sekunden betragen, was bei diesen Szenarien auch der Fall ist -vgl. hierzu auch Punkt 7.2.

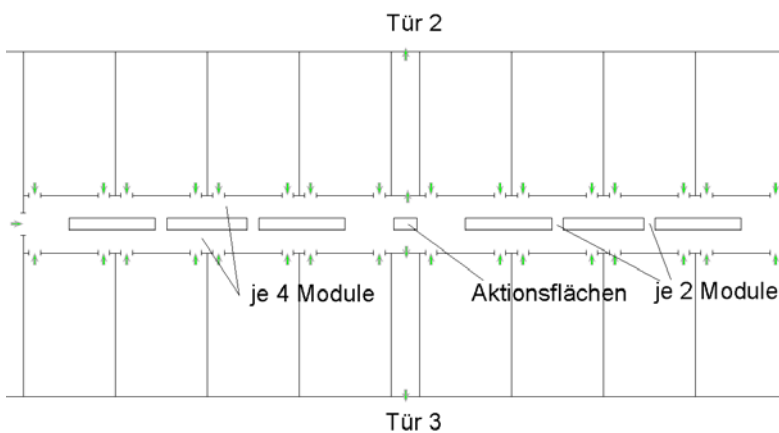
Bei dem Szenario mit der höchsten Personendichte (d)) kommen zu der reinen Laufzeitverlängerung noch die Stausituationen vor den Türen, sodass sich hier eine Zunahme der Entleerungszeit um 32 Sekunden ergibt (was aber wiederum 10% entspricht).

Bei gleichzeitiger Vergrößerung der Ausgangsbreiten können bei allen Szenarien annähernd gleiche Ergebnisse wie im „VkV/ VStättV“- Szenario erzielt werden.

Insofern kann die Vergrößerung von Ausgangsbreiten – zur Kompensation von Abweichungen bzgl. der Rettungsweglängen – eine wirksame Maßnahme sein, um (zumindest) gleiche Entleerungszeiten zu erzielen, verglichen mit Szenarien, in denen keine Abweichung vorliegt. Dies deckt sich mit den Feststellungen aus Punkt 7.2.1.

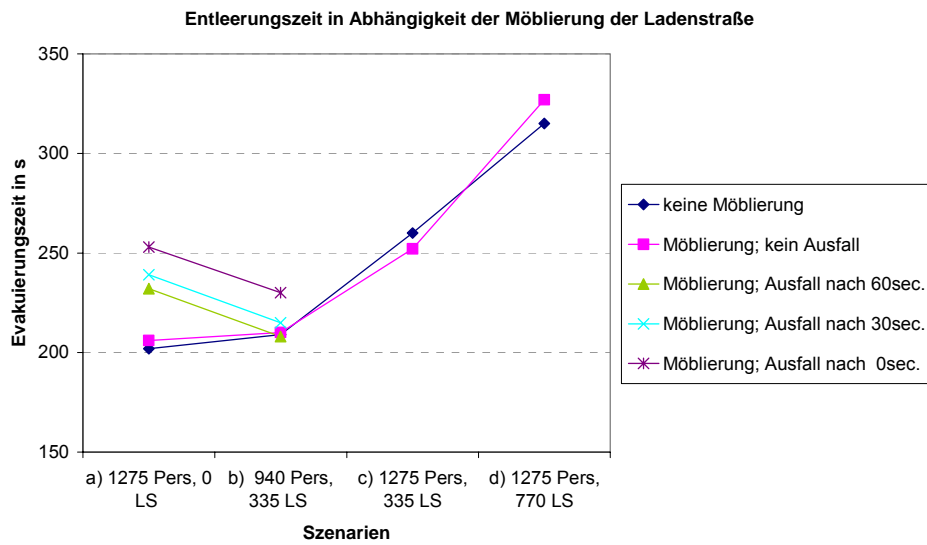
### 6.2.3 Einfluss von Möblierungen innerhalb der Ladenstraße

Neben dem Einfluss von Weglänge und Ausgangsbreite wurden Parameterstudien hinsichtlich einer etwaigen Beeinflussung der Entleerungszeit aufgrund einer Möblierung der Ladenstraße untersucht. Hierbei werden „Aktionsflächen“ in Ladenstraßenmitte angenommen, die Gesamtbreite entspricht nach wie vor den Vorgaben der VkV, d.h. die Gesamtlichte wird mittig aufgespaltet, vgl. nachfolgende Abbildung:

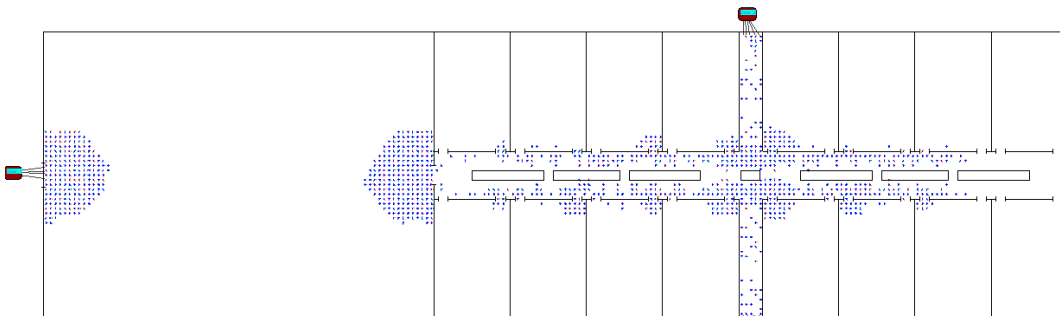


**Abb. 83:** „Aktionsflächen“ in der Ladenstraße

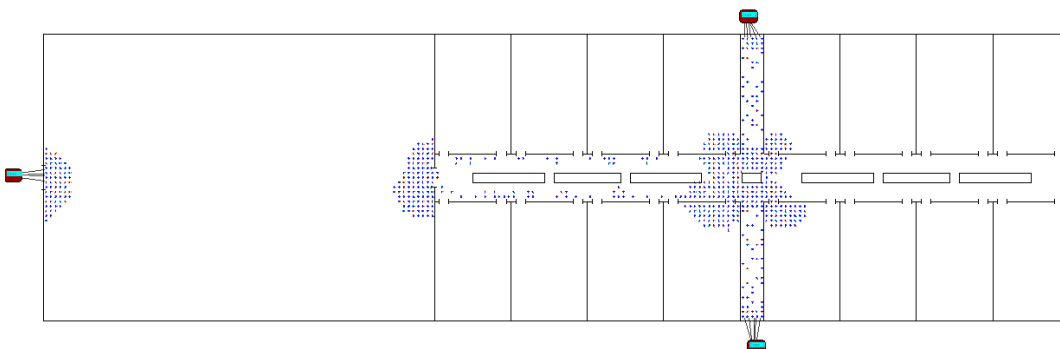
Bei den untersuchten Szenarien a)- d) lässt sich aus der „Aufspaltung“ der Ladenstraße keine Erhöhung der Entleerungszeit ableiten, vgl. Abb. 84.



**Abb. 84:** Entleerungszeit in Abhängigkeit einer Möblierung in der Ladenstraße und des Ausfalls einer Ladenstraßenhälfte



5 **Abb. 85:** Momentaufnahme Szenario a) 30 sec, Ladenstraße möbliert, buildingEXODUS



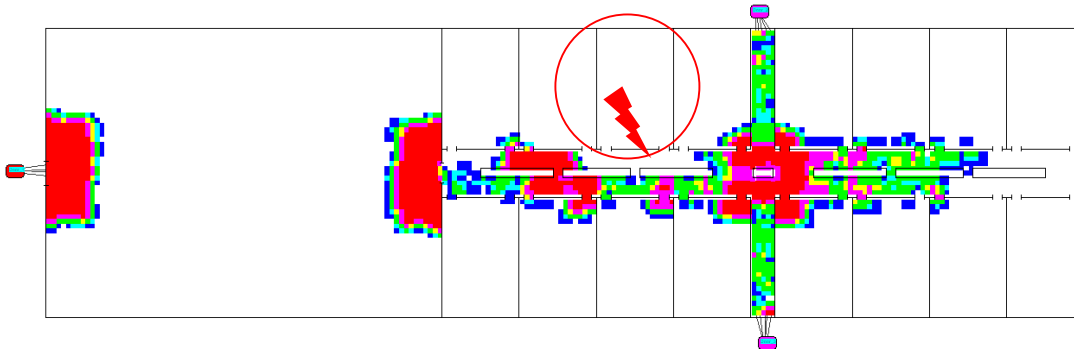
**Abb. 86:** Momentaufnahme Szenario a) 90 sec, Ladenstraße möbliert buildingEXODUS

10 D.h. das Aufstellen von Aktionsflächen im Bereich der Mall muss nicht zwingend zur Erhöhung der Entleerungszeiten führen, vorausgesetzt, die Mindestbreite der Ladenstraße nach Vkv steht noch zur Verfügung und die Lage der Flächen führt eben nicht zu einer zusätzlichen Staubildung.



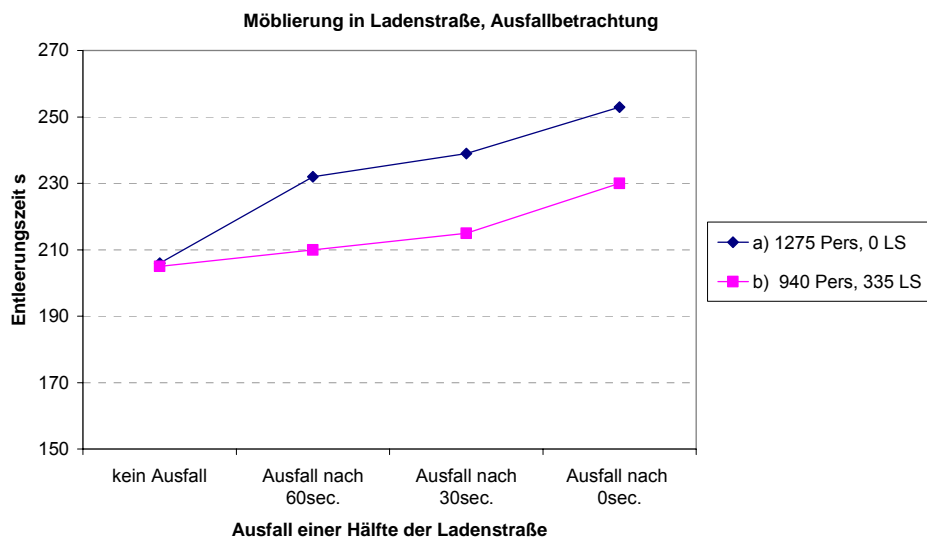
Der Effekt dass die anzusetzende effektive Breite<sup>47</sup> geringfügig kleiner wird (anstelle 2 sind dann 4 Grenzschichten von der Gesamtbreite abzuziehen), fällt prozentual nicht ins Gewicht.

Um die Auswirkung einer potentiellen Beeinflussung der Entleerung bei Ausfall einer Ladenstraßenhälfte zu untersuchen (man könnte hier unterstellen, dass sich eine Ladenstraße, die aus 2 x 0.5 Ladenstraße besteht, diesbezüglich ungünstiger verhält), wurde im markierten Laden ein Schadensereignis angenommen, welches nach 0, 30 oder 60sec. die nördliche Ladenstraßenhälfte unpassierbar macht.



**Abb. 87:** Momentaufnahme Szenario a) 30 sec, Ladenstraße möbliert; Ausfall 0sec buildingEXODUS  
 Je früher der Ausfall einer Ladenstraßenhälfte stattfindet (und diese somit nicht mehr zur Verfügung steht), desto länger werden naturgemäß die Entleerungszeiten. Der Unterschied zwischen „kein Ausfall“ und „Ausfall nach 0 sec.“ entspricht einer Zunahme der Entleerungszeit um im Mittel 19%.

Bei den Ausfallszenarien entstehen bereits im Bereich der verbleibenden Ladenstraße hohe Dichten (mit 3 P/m<sup>2</sup> und höher), sodass entsprechend der Begriffsdefinition von PedGO von einem signifikanten Stau gesprochen werden kann. Bei Szenarien ohne Ausfalluntersuchungen treten solch hohe Dichten nur direkt im Ausgangsbereich (bzw. der Rückstauzone) auf.



**Abb. 88:** Ausfallbetrachtung bei Möblierung in der Ladenstraße

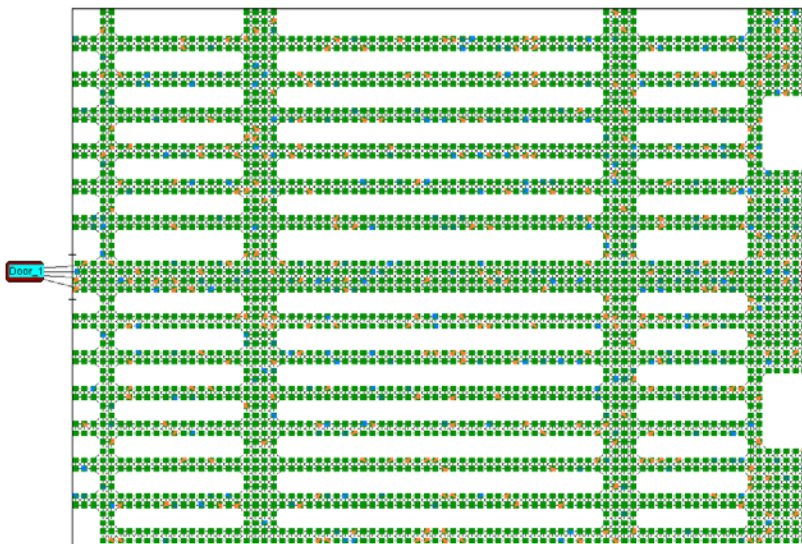
<sup>47</sup> Personen sind geneigt, Abstände zu Begrenzungen einzuhalten, vgl. Punkt 2.5;

Wie aus Abb. 96 hervorgeht, verhalten sich die Szenarien a) und b) „ähnlich“, wobei a) zu Entleerungszeiten führt, die jeweils um 11% über denen von b) liegen.

Eine Erklärung wäre dahingehend denkbar, dass die 335P Personen, die sich bei  $t_0$  in Szenario b) auf der Ladenstraße befinden (somit immerhin 26% aller Personen), von den Ausfallszenarien überhaupt nicht beeinflusst werden, da sie die betroffene Passage bereits zurückgelegt haben (Ausfall 30sec. und 60sec.) bzw. bei Ausfall 0sec. weitgehend hiervon nicht beeinflusst werden, da hier nur der Rettungsweg von 36 Personen auf der Ladenstraße betroffen ist.

#### 6.2.4 Einfluss von Möblierung im großen Laden

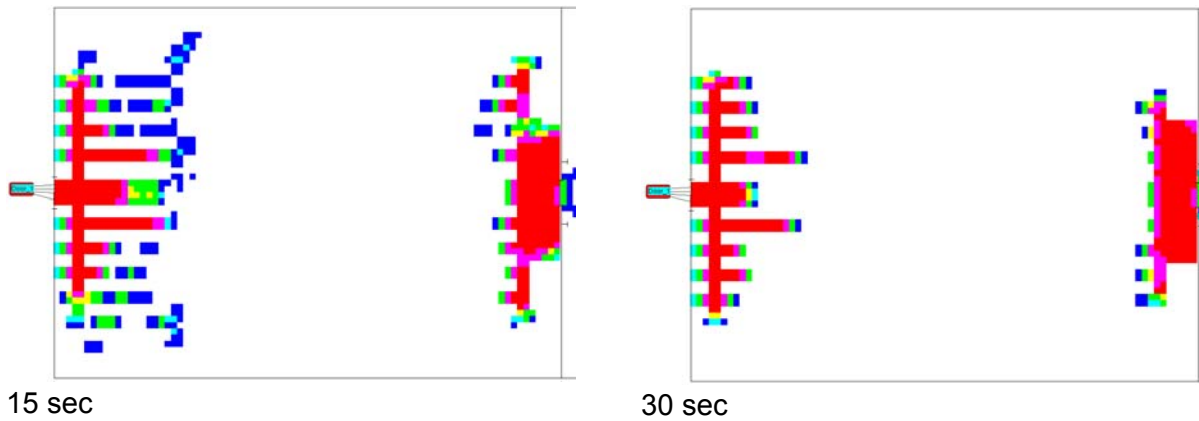
Ferner wurde eine Möblierung des großen Ladens nach Vkv mit Haupt- und Nebengängen nachgebildet, um zu prüfen, ob die entstehenden längeren Weglängen innerhalb des großen Ladens die Entleerungszeit günstig (z.B. wegen „Vereinzelung“) oder ungünstig beeinflussen.



**Abb. 89:** Einrichtung im großen Laden (weiß), Haupt- und Nebengänge (grün)

Feststellung: Eine Möblierung hat in den untersuchten Szenarien keinen Einfluss auf die Gesamtentleerungszeit, da Personen die beiden Ausgänge spätestens nach ca. 30sec. erreicht haben (eben reine Laufzeit, da Reaktionszeit = 0) und sich hier ein Rückstau bildet. Die Ausgangsbreite des Ladens/ bzw. eben die der Ladenstraße sind maßgebend.

Der spezifische Fluss von Ausgang 1 beträgt  $F_{\text{spez}} = 1,14$  und ist somit (wie erwartet) annähernd identisch wie die Flüsse aus Beispielen ohne Möblierung nach Punkt 6.2.1.

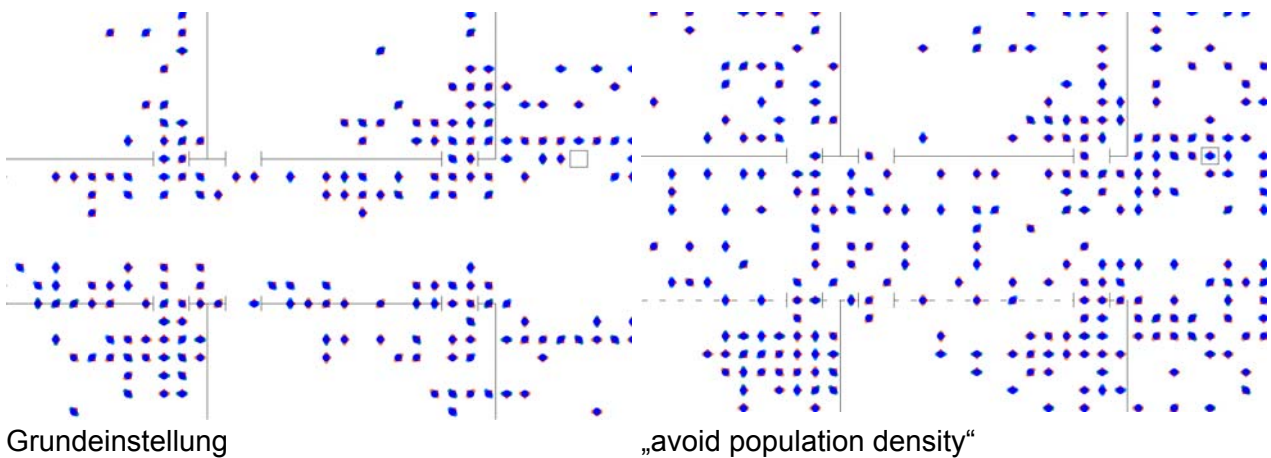


**Abb. 90:** Momentaufnahme Laden möbliert, Rückstau bei den Ausgängen, buildingEXODUS

**6.2.5 Verhaltensmuster „avoid population density“**

5 In buildingEXODUS gibt es die Möglichkeit, das Verhaltensmuster „avoid population density“ zu wählen (was bei den regulären Rechenläufen nicht getan wurde).

10 Personen nutzen dabei vorhandene Rettungswegbreiten an Engstellen effektiver, da sie sich z.B. in Kurven/ bzw. bei Kreuzungen nicht entsprechend dem Kriterium „kürzester Weg“ an Wände anlegen, sondern vielmehr die Gesamtbreite des zu Verfügung stehenden Wegelements ausnutzen.



**Abb. 91:** Momentaufnahme Ladenstraße; gleiches Szenario, unterschiedliches „Verhaltensmuster“

15 Bei den Beispielen 1 – 3 und 5 ergeben sich diesbezüglich keine Variationen, bei den Beispielen der Verkaufsstätte lassen sich in dieser Simulationsart kürzere Entleerungszeiten erzielen.

Simulationsart "avoid population density"

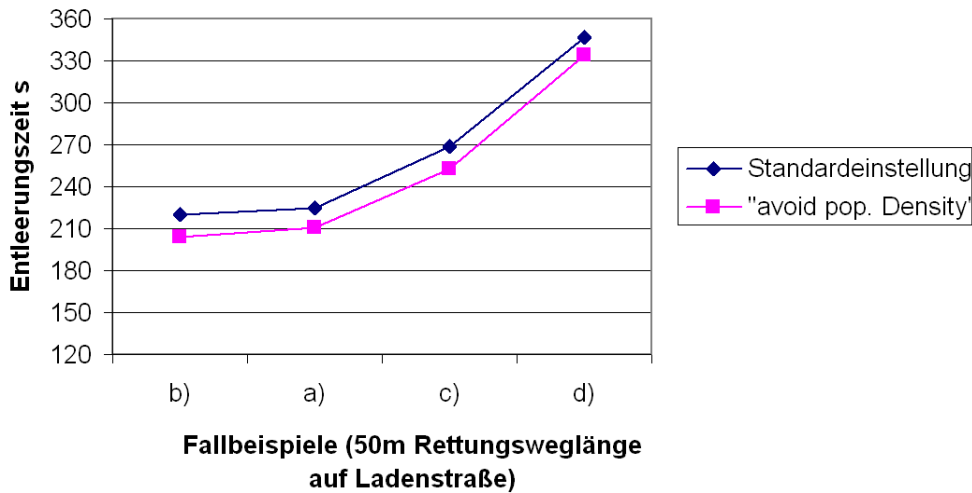


Abb. 92: Einfluss der Simulationsart „avoid population density“

Über alle betrachteten Verkaufsstättenbeispiele beträgt die Verringerung der Entleerungszeit bei diesem Modus 8%.

6.3 Ergebnisse PedGo

Mit PedGo wurden nur die 4 Grundscenarien nach Punkt 6.2.1 berechnet. Die Berechnungen, ebenfalls mit skalierten Ausgangsbreiten durchgeführt, zeigen eine ähnliche Tendenz wie bei buildingEXODUS, wobei c) und d) wieder eine Überbelegung gegenüber den „Vkv/ VStättV“-Szenarien beinhalten.

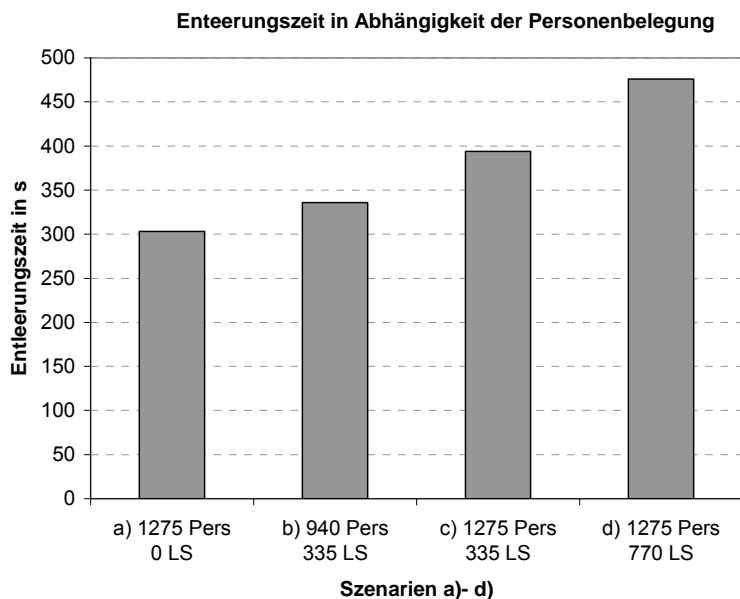


Abb. 93: Einfluss der Personenbelegung bei gleich bleibenden Rettungswegen (PedGo), PA ≥ 91

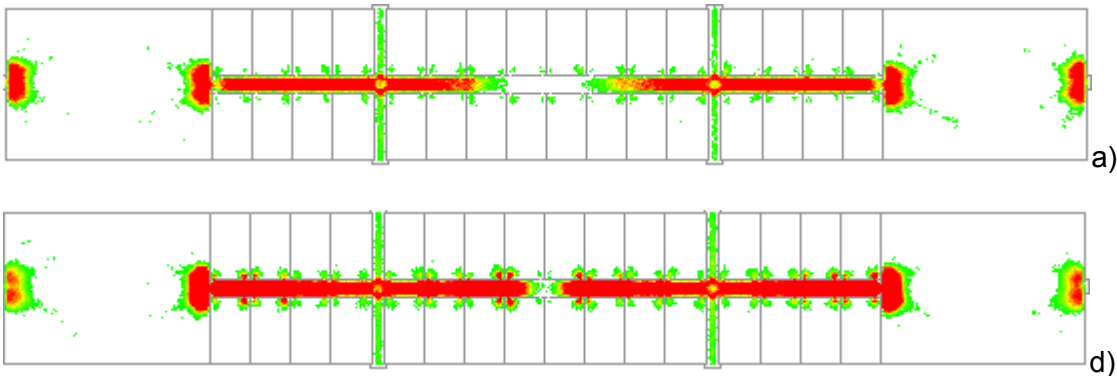
Der prozentuale Unterschied zwischen den Szenarien, ist fast identisch mit denen buildingEXODUS. Für nicht skalierte Ausgangsbreiten (Originalausgangsbreiten, d.h.  $PA \geq 60$  statt  $\geq 91$ ) verringern sich Ausgangsbreiten wiederum entsprechend.

5

Bei PedGo kommt es tendenziell eher zu einer Staubildung in den Ladenstraßen, wohingegen bei buildingEXODUS der Stau eher an den Ausgängen der Ladenstraßen auftritt (da hier ja die spez. Flüsse auf 1.33 P/ms begrenzt sind).

10

Das erklärt zum Teil auch die, unabhängig von der Skalierung<sup>48</sup>, längeren Entleerungszeiten als bei buildingEXODUS.



15

**Abb. 94** Dichtedarstellungen für Szenarien a) und d) - PedGo

Mit einer Parameterstudie wurde überprüft, ob die Anordnung von Türen am Übergang zu den Fluren eine ungünstige Auswirkung auf die Staubildung in der Ladenstraße hat<sup>49</sup>.

20

Ergebnis: Ein Verzicht auf Türen am Übergang zu den Fluren brachte nur eine Verkürzung der Entleerungszeit von 10 Sekunden.

25

Eine weitere Parameterstudie im Modus „erhöhte Geduld“ zeigte ebenfalls keinen nennenswerten Einfluss.

## 7 Parameterstudien

### 7.1 Nicht Verfügbarkeit von Ausgängen

30

Der Extremfall der ungleichförmigen Verteilung ist gegeben, wenn Ausgänge aufgrund des Schadensereignisses nicht benutzbar sind. Eine triviale Feststellung ist die, dass wenn ein Ausgang von vielen ausfällt es nahezu unerheblich ist, gegenüber dem Fall, dass in einem kleinen Raum einer von zwei Ausgängen nicht benutzbar ist (wobei die Vorgabe von mind. zwei Ausgängen eben aus diesem Grund erfolgte).

35

<sup>48</sup> damit werden Entleerungszeiten etwa um den Faktor 1,35 länger als ohne Skalierung

<sup>49</sup> bei den Untersuchungen mit buildingEXODUS waren hier immer Türen vorhanden

Britische Regeln<sup>50</sup> geben vor, dass der Ausfall eines Ausgangs (des größten Ausgangs) bei der Bemessung explizit zu berücksichtigen ist. Dabei erfolgt die Bemessung generell für 200 P/m, d.h. die Ausgangsbreiten betragen zunächst 83% (das sind 5/6 bzw. 1,0m/1,2m) der Ausgangsbreiten nach MVStättV. Wird bei 6 gleichbreiten Ausgängen, der Ausfall eines Ausgangs unterstellt, ist das gleichbedeutend mit einer Dimensionierung der Ausgänge nach MVStättV.

Betrachtet man die MVStättV Regelungen in Bezug auf den Ausfall eines von zwei Ausgängen erhält man folgende Erhöhung der Belastung des verbleibenden Ausgangs (gegenüber 166 P/m wenn beide Ausgänge verfügbar sind):

Fläche	Personenzahl bei 1P/m <sup>2</sup> und 2P/m <sup>2</sup>	erf a	erf a mit Mindestmaß	P/m des verbleibenden Ausgangs
100m <sup>2</sup>	100	0,6m	2x 0,9m	111
	200	1,2m	2x 0,9m	222
200m <sup>2</sup>	200	1,2m	2x 0,9m	222
	300	1,8m	2x 1,2m	250
	400	2,4m	2x 1,2m	333
400m <sup>2</sup>	400	2,4m	2x 1,2m	333
	600	3,6m	1,2 + 2,4m	500 o. 250
	800	4,8m	2x 2,4m	333

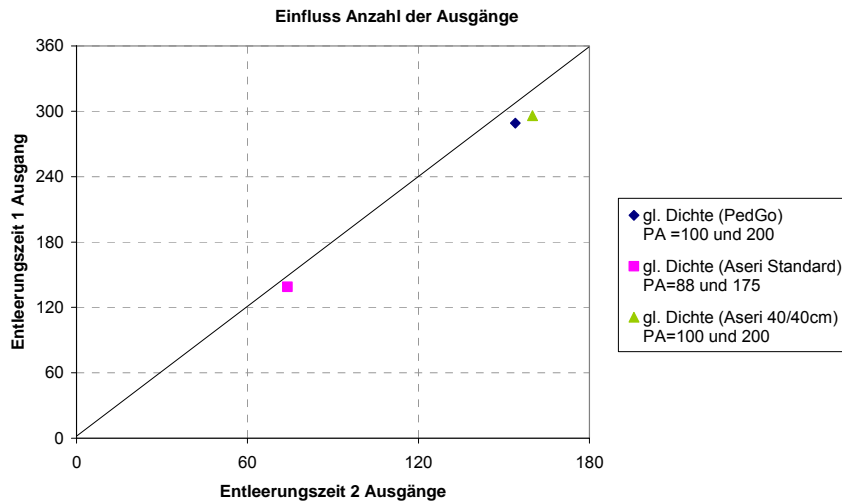
Bis 300 Personen bestehen Reserven über die Mindestbreiten, sodass die höhere Belastung des verbleibenden Ausgangs maximal 250 P/m, also das 1,5-fache der normalen Belastung beträgt.

Bei mehr als 800 Personen sind mindestens 3 Türen erforderlich, die so angeordnet sein sollten, dass höchstens 1/3 der Ausgangsbreiten gleichzeitig unbenutzbar ist; dann wären wiederum nicht mehr als 250 P/m auf die verbleibenden Ausgänge angewiesen.

Damit verbleibt der Bereich zwischen 300 und 800 Personen, für den – aufgrund dieser Überlegungen – ein anderes Sicherheitsniveau als bei kleineren oder größeren Personenzahlen besteht. Für diesen Bereich empfiehlt sich die Einrichtung breiterer Ausgänge oder von mehr als 2 Ausgängen, um den Ausfall eines Ausgangs mit ähnlicher Entleerungszeit abzudecken.

Im einfachen Beispiel 5 mit zwei Ausgängen, erhält man – bei Reduzierung auf einen Ausgang – etwa eine Verdoppelung der Entleerungszeit, aber eben nicht eine vollständige Verdoppelung; offensichtlich erhöhen sich spezifische Flüsse, vgl. auch 4.4.3. Auf dieses Situation wird unter 7.2.2 noch im Detail eingegangen.

<sup>50</sup> Building Regulations B1



**Abb. 95** – Einfluss 1 oder 2 Ausgänge, Beispiel 5

## 7.2 Einfluss Weglänge

Die Weglänge spielt eine untergeordnete Rolle, wenn Stausituationen vor den Türen für die Entleerungszeiten maßgebend sind. Das geht zunächst daraus hervor, dass die Entleerungszeiten bei den Fallbeispielen ein Mehrfaches der Laufzeit entsprechen. Bei maximaler Weglänge 30m sind es bei einer Laufgeschwindigkeit von 1m/s dann 30 Sekunden Laufzeit für die Personen mit größter Entfernung zum Ausgang; bei dieser Gegenüberstellung ist allerdings nicht berücksichtigt, dass die Geschwindigkeit mit zunehmender Dichte abnimmt.

Bei den Fallbeispielen mit Stehplätzen wurde die kürzeste Entleerungszeit beim Beispiel 1b errechnet, mit maximaler Weglänge 41m, gegenüber  $\leq 30m$  bei den anderen Beispielen, wobei hier die Ausgänge aber auch „günstig“ angeordnet sind.

Um andere Einflüsse auszuschalten, wurde ein einfaches Beispiel mit 400 Personen und jeweils zwei Ausgängen am Raumende gerechnet, mit maximaler Entfernung zum Ausgang von 30m, 60m und 90m. Die Berechnungen wurden vorwiegend mit PedGo und buildingEXODUS durchgeführt. Die Personen wurden

- einmal gleichmäßig im Raum verteilt („gleichmäßige Dichte“),
- einmal in größter Entfernung zum Ausgang mit maximaler Dichte ( $6,25 P/m^2$  bei Pedgo,  $4 P/m^2$  bei buildingEXODUS) konzentriert.

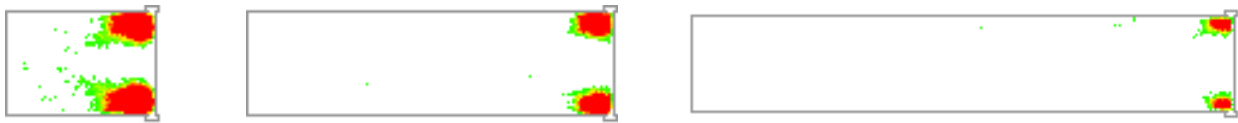
Bei gleichmäßiger Dichte verringert sich die Ausgangsdichte im Raum dann entsprechend der Weglänge ( $0,71 P/m^2$  -  $0,34 P/m^2$  -  $0,22 P/m^2$ ).

Ferner wurde der Raum einmal mit 2 Ausgängen und einmal mit nur einem Ausgang gerechnet (nur PedGo).

### 7.2.1 Fallbeispiel 5: 30/60/90m mit 2 Ausgängen

Bei diesem Fallbeispiel wird ersichtlich, dass die Rettungsweglänge zumindest bei einer gleichmäßigen Verteilung der Personen kaum einen Einfluss auf die Entleerungszeit hat. Wie

aus Abb. 96 und Abb. 98 hervorgeht, führen zudem kurze Rettungsweglängen zu einer höheren Verdichtung im Bereich der Ausgänge.



L = 30 m

$t_{\text{Entleerung}} = 154 \text{ s}$

L = 60 m

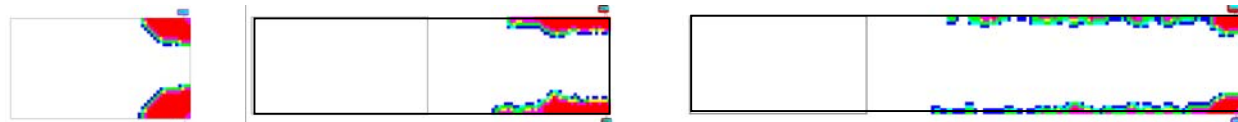
$t_{\text{Entleerung}} = 156 \text{ s}$

L = 90 m

$t_{\text{Entleerung}} = 171 \text{ s}$

**Abb. 96:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei gleichmäßiger Verteilung der Personen („gleichmäßige Dichte“) - PedGo

5



L = 30 m

$t_{\text{Entleerung}} = 175 \text{ s}$

L = 60 m

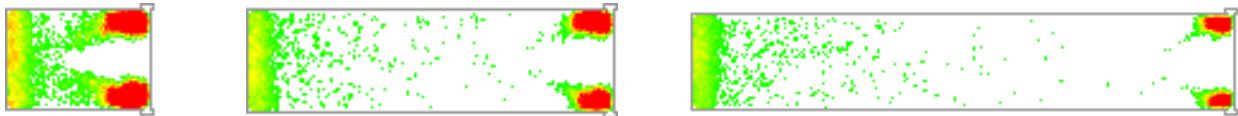
$t_{\text{Entleerung}} = 168 \text{ s}$

L = 90 m

$t_{\text{Entleerung}} = 180 \text{ s}$

**Abb. 97:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei gleichmäßiger Verteilung der Personen („gleichmäßige Dichte“) – buildingEXODUS Momentaufnahme 60sec

10



L = 30 m

$t_{\text{Entleerung}} = 167 \text{ s}$

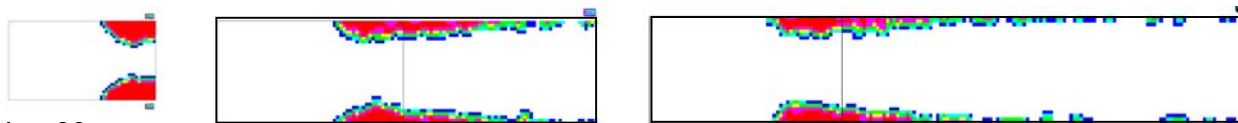
L = 60 m

$t_{\text{Entleerung}} = 206 \text{ s}$

L = 90 m

$t_{\text{Entleerung}} = 239 \text{ s}$

**Abb. 98:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei maximaler Dichte und größter Entfernung zum Ausgang („maximale Dichte“) - PedGo



L = 30 m

$t_{\text{Entleerung}} = 191 \text{ s}$

L = 60 m

$t_{\text{Entleerung}} = 203 \text{ s}$

L = 90 m

$t_{\text{Entleerung}} = 226 \text{ s}$

**Abb. 99:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei maximaler Dichte und größter Entfernung zum Ausgang („maximale Dichte“) – buildingEXODUS Momentaufnahme 60sec

15

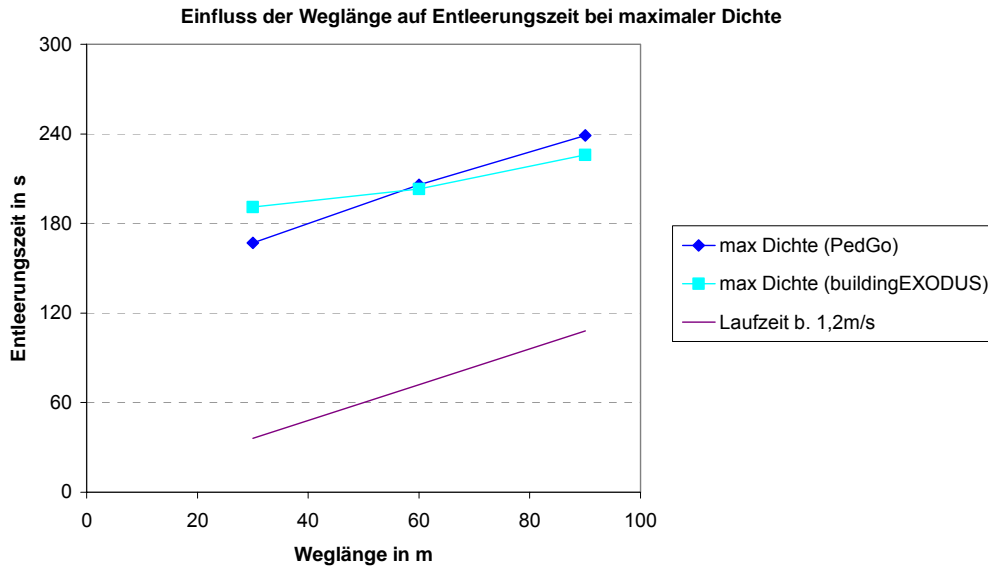
Bei Konzentration der Personen in größter Entfernung zu den Ausgängen nehmen Entleerungszeiten  $t_{\text{gesamt}}$  zu und zwar um die Größenordnung der Wegzeit  $t_{\text{lauf}}$  (also um 30, 60 oder 90 Sekunden) – vgl. nachfolgende Abbildung.

20



$t_{\text{fluss}} = \text{konst}$

$t_{\text{gesamt}} = t_{\text{fluss}} + t_{\text{lauf}}$  und  $t_{\text{lauf}} \sim l$ ,  $l$  ist die Weglänge



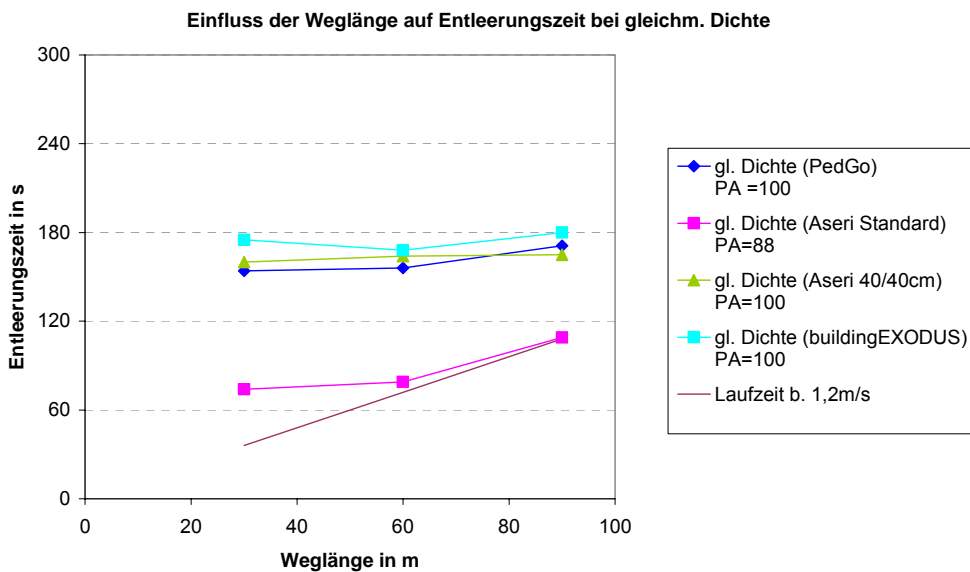
5

**Abb. 100:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei maximaler Dichte

Bei gleichmäßiger Verteilung der Personen im Raum bleiben Entleerungszeiten nahezu konstant, d.h. die „Stauzeit“ nimmt etwa im Maße der Wegzeit ab. Die größere Weglänge führt zu einer Vereinzelung der Personen an den Ausgängen.

10

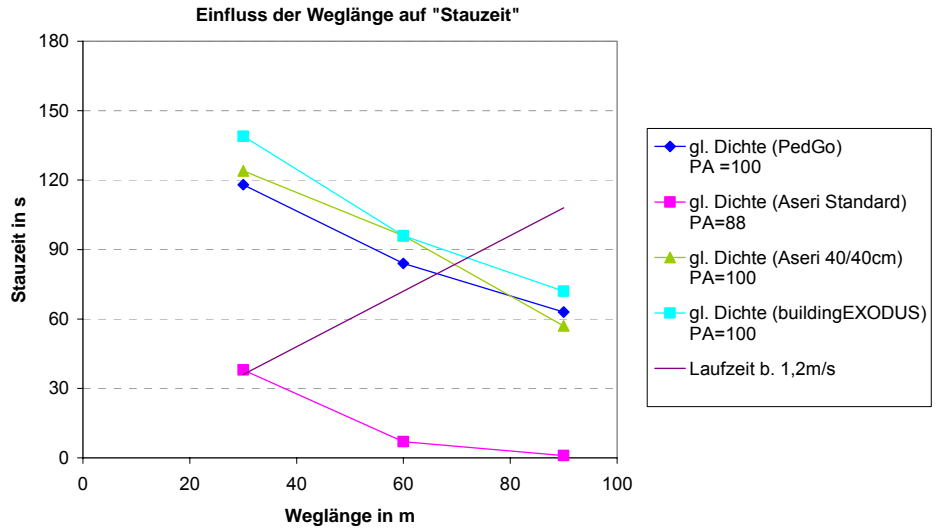
Bei ASERI Standard, hier mit größeren Ausgangsbreiten als bei den anderen Berechnungen, „hält“ dieser Effekt nur bis 60m, vgl. nachfolgende Abbildung:



15

**Abb. 101:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei gleichmäßiger Dichte

Definiert man vereinfachend eine „Stauzeit“ als Entleerungszeit minus *angenommener* Laufzeit, erhält man folgenden Zusammenhang:

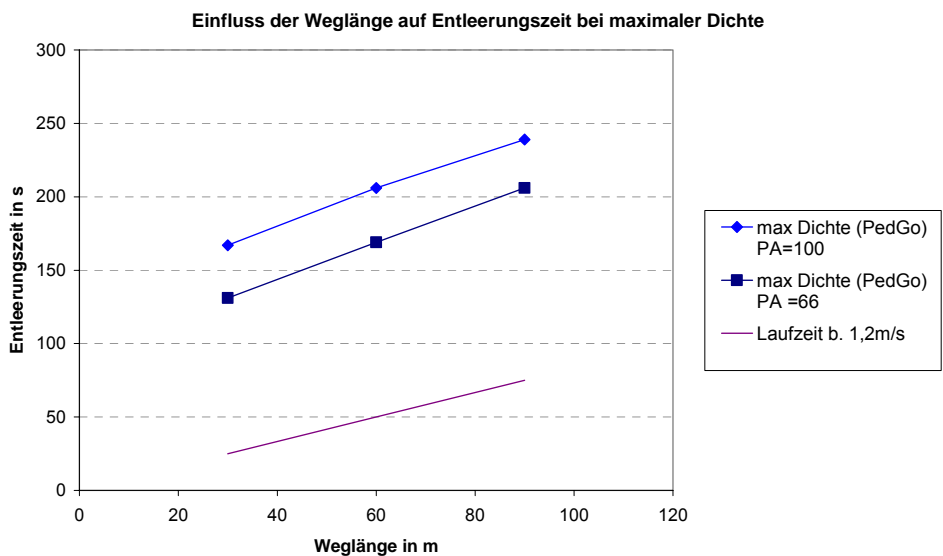


5 **Abb. 102:** Einfluss der Weglänge auf die „Stauzeit“ bei gleichmäßiger Dichte

Hinzuweisen ist darauf, dass sich die Ausgangsdichte im Raum hier entsprechend der Weglänge ( $0,71 \text{ P/m}^2$  -  $0,34 \text{ P/m}^2$  -  $0,22 \text{ P/m}^2$ ) verringert, so dass Laufzeiten sich ebenfalls etwas verringern können.

10

In einem zweiten Durchgang wurden bei PedGo und buildingEXODUS die Ausgänge etwas verbreitert (d.h. der Ausgangsindex wurde von 100 auf 66 (PedGo) bzw. 80 (buildingEXODUS) verringert, um den Einfluss angepasster Ausgangsbreiten (vgl. Abschnitt 4.4.3) zu überprüfen.



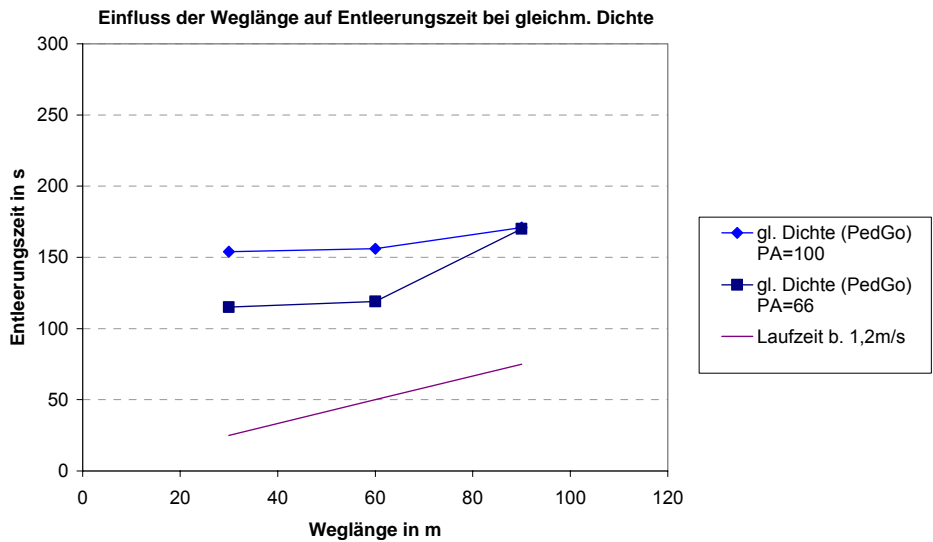
15

**Abb. 103:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei maximaler Dichte und unterschiedlichen Ausgangsbreiten- PedGo

Die Verbreiterung der Ausgänge um den Faktor 1/0,66 führt bei PedGo im Mittel zu einer Abnahme der Entleerungszeit um den Faktor 0,82 (bei 30m: 0,78, bei 90m: 0,86).

- 5 Aus Abb. 103 ist erkennbar, dass eine Verlängerung des Weges mit einer entsprechenden Verbreiterung des Ausgangs kompensiert werden kann.

Bei gleichmäßiger Dichte erhält man folgendes Bild:

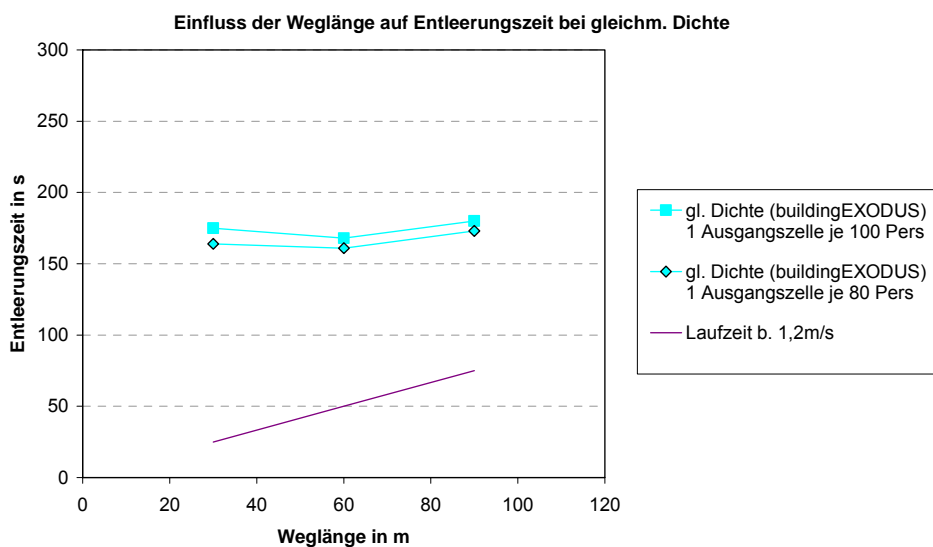


10

**Abb. 104:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei gleichmäßiger Dichte und unterschiedlichen Ausgangsbreiten - PedGo

Für 30m und 60m erhält man etwa den gleichen Zusammenhang wie bei geringerer Ausgangsbreite. Bei Weglänge 90m spielt die vergrößerte Ausgangsbreite keine Rolle mehr.

15



**Abb. 105:** Einfluss der Weglänge auf die Entleerungszeit bei gleichmäßiger Dichte und unterschiedlichen Ausgangsbreiten - buildingEXODUS

Die Verbreiterung der Ausgänge um den Faktor  $1/0,8 = 1,25$  führt bei buildingEXODUS im Mittel zu einer Abnahme der Entleerungszeit um den Faktor 0,95. Die schwächere Abnahme ist zum Teil durch die geringere Verbreiterung der Ausgänge bedingt, kann aber auch mit einer geringeren Staubildung schon beim Ausgangsindex 100 zusammenhängen.

5

**7.2.2 Fallbeispiel 5: 30/60/90m - 1 Ausgang**

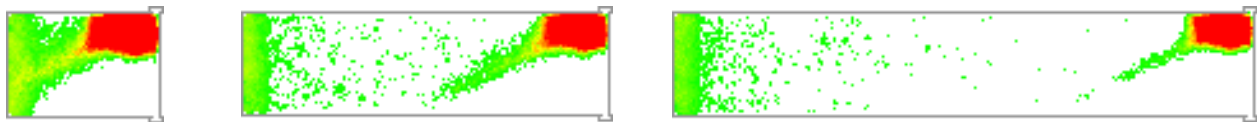
Die Reduzierung der Ausgangsbreiten durch die Nichtverfügbarkeit eines Ausgangs führt bei PedGo im Mittel zu einer Erhöhung der Entleerungszeiten um den Faktor 1,80 bei „gleichmäßiger Dichte“ und 1,69 bei „maximaler Dichte“, vgl. auch 7.1.

10



L = 30 m      L = 60 m      L = 90 m  
 $t_{\text{Entleerung}} = 289 \text{ s}$      $t_{\text{Entleerung}} = 292 \text{ s}$        $t_{\text{Entleerung}} = 292 \text{ s}$

**Abb. 106:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei gleichmäßiger Verteilung der Personen („gleichmäßige Dichte“) - PedGo



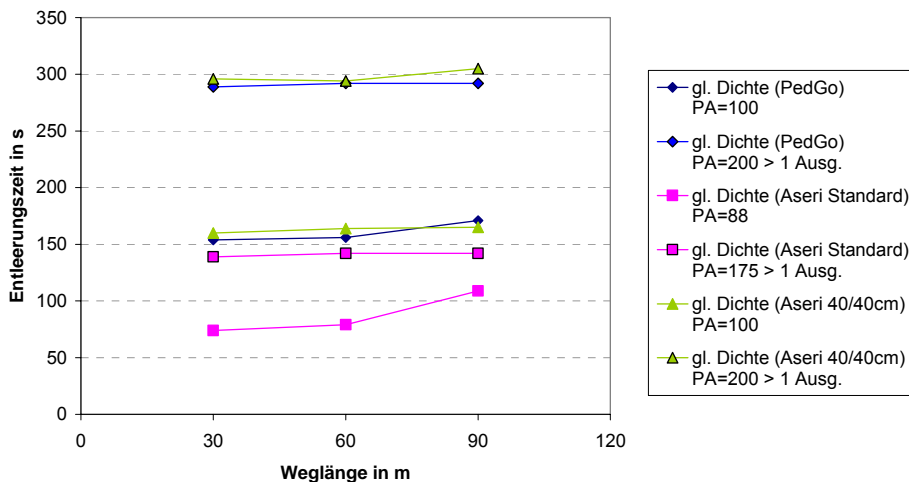
L = 30 m      L = 60 m      L = 90 m  
 $t_{\text{Entleerung}} = 306 \text{ s}$      $t_{\text{Entleerung}} = 337 \text{ s}$        $t_{\text{Entleerung}} = 368 \text{ s}$

**Abb. 107:** Entleerungszeiten und Dichteplot bei maximaler Dichte und größter Entfernung zum Ausgang („maximale Dichte“) - PedGo

15

Analog zu dem voran gegangenen Beispiel bleiben die Entleerungszeiten bei gleichmäßiger Verteilung der Personen im Raum nahezu konstant.

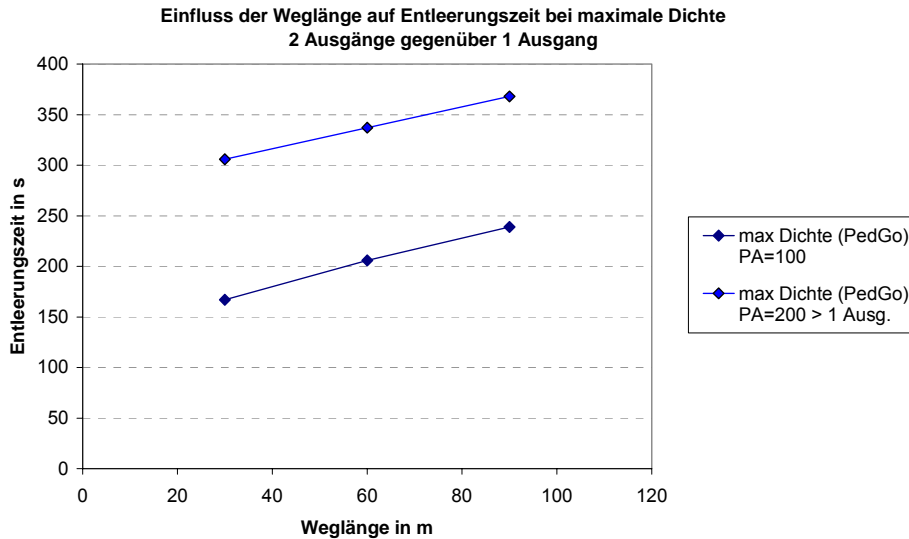
**Einfluss der Weglänge auf Entleerungszeit bei gleichm. Dichte  
 2 Ausgänge gegenüber 1 Ausgang**



20

**Abb. 108** Einfluss Weglänge und der Effekt Halbierung der Ausgänge bzw. Ausgangsbreite

Bei „maximaler Dichte“ nehmen Entleerungszeiten zu und zwar um die Größenordnung der Wegzeit (also um 30 oder 60 Sekunden). Die Stauzeit ist demnach annähernd gleich.



5 **Abb. 109** Einfluss Weglänge und Effekt Halbierung der Ausgänge bzw. Ausgangsbreite

### 7.2.3 Bestuhlung

10 Bei Bestuhlung sind die Zusammenhänge weniger eindeutig. Wenn eine Staubildung entlang des Weges zu erwarten ist, können Entleerungszeiten – auch bei „gleichmäßiger Dichte“ – durchaus von den Weglängen abhängen. So ist beim Vergleich der Beispiele 2a und 2b\_A der Unterschied zwischen den Entleerungszeiten bei PedGo und ASERI 40/40cm auch auf die längere Rettungsweglänge zurückzuführen<sup>51</sup>; dies gilt bei PedGo ebenfalls beim Vergleich von 3a und 3b.

15

	Pers.	PedGo		ASERI	ASERI	building EXODUS	Rettungsweglänge (m)
		40cm Zellen		Standard	40/40cm	50cm Zellen	
		PA=100	PA=66	PA=87,5	PA=100	PA=100	
2a	800	189	139	-	98	190	18,0
2b A	2390	220	168	91	165	189	25,5
3a	400	179	129	80	133	177	18,0
3b	1200	234	155	66	131	-	28,0

Eine Verlängerung von Rettungswegen bei Bestuhlung, die zu längeren Entleerungszeiten führt, kann mit einer Verbreiterung von Gängen kompensiert werden, vgl. auch 5.2.

20 Eine Verlängerung von Rettungswegen muss aber nicht zu einer Verlängerung von Entleerungszeiten führen, wenn die Staubildung an Ausgängen maßgebend ist; dann bewirken

<sup>51</sup> bei Exodus ist der Stau an der Tür ausgeprägter als entlang der Gänge

die Weglängen – wie beim Beispiel 5 (gleichmäßige Dichte) - eine „Vereinzelung“ an den Ausgängen.

Wegen der vielfältigen Zusammenhänge können allgemeingültige Regeln nicht angegeben werden, so dass entsprechende Nachweise im Einzelfall zu führen sind.

#### 7.2.4 Folgerung

Es ist denkbar, dass Weglängen zu Ausgängen deutlich länger sein können als nach Verordnung zulässig, wenn

- bei geringer Dichte entlang des Weges entsprechende Gehgeschwindigkeiten möglich sind, oder
- wegen Staubbildung an den Türen – die Wegzeit keinen großen Einfluss hat.

Da es unerheblich ist, ob man die zulässige Zeit „gehend“ oder an den Ausgängen „wartend“ verbringt (wobei „gehend“ u.U. zu bevorzugen ist), kann eine Wegbegrenzung für die Selbstrettung – wenn entlang des Weges keine ungünstigeren Bedingungen als am Ausgang vorliegen – nicht gut begründet werden.

Bei Stehplätzen ist in der Regel die Staubbildung an den Türen maßgebend; längere Wege können, sofern überhaupt von Einfluss, leicht mit größeren Ausgangsbreiten kompensiert werden. Bei Bestuhlung können Wegzeiten maßgebend sein; aber auch hier können fallweise längere Weglänge mit verbreiterten Gängen kompensiert werden, sodass die Dichte entlang der Wege verringert und die Gehgeschwindigkeit erhöht wird.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass Weglängen zu Ausgängen auch unter Beachtung von Eindringtiefen für Einsatzkräfte bewertet werden müssen

### 7.3 Einfluss Reaktionsdauer

Es wurden Parameterstudien mit unterschiedlichen Reaktionsdauern von  $[0 - \max t_{\text{reaktion}}]$  durchgeführt und zwar

[0 - 60s]

[0 - 120s]

[0 - Gesamtentleerungszeit<sup>52</sup>]

#### 7.3.1 Fallbeispiel Verkaufsstätte

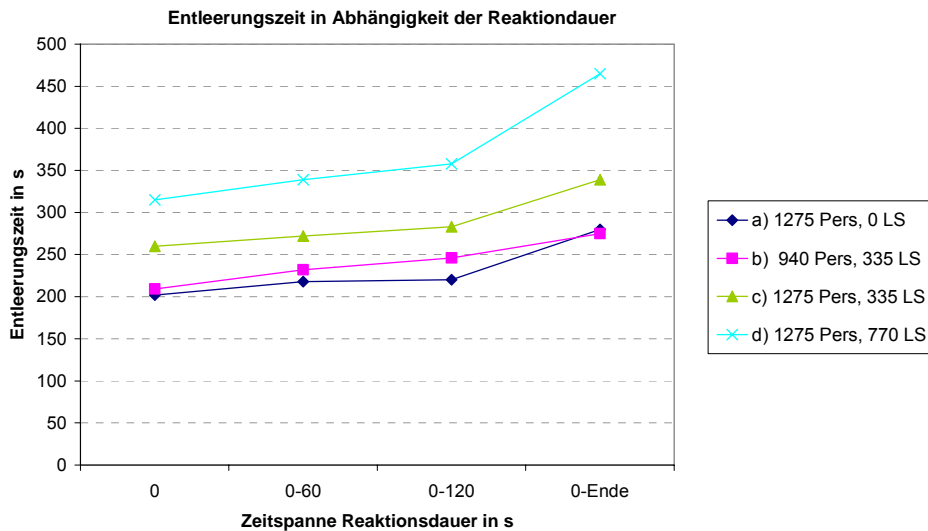
Nachfolgend dargestellt sind die Ergebnisse für die Verkaufsstätte; es wurden die Szenarien a) bis d) mit den zuvor genannten Reaktionsdauern mit buildingEXODUS simuliert.

- a) 1275 gesamt: 1275 P. in Läden, 0 auf der Ladenstraße
- b) 1275 gesamt: 940 P. in Läden, 335 auf der Ladenstraße (1P/m<sup>2</sup>)
- c) 1610 gesamt: 1275 P. in Läden, 335 auf der Ladenstraße (1P/m<sup>2</sup>)
- d) 2045 gesamt: 1275 P. in Läden, 770 auf der Ladenstraße (2P/m<sup>2</sup>)

<sup>52</sup> d.h. die Entleerungsdauer des jeweiligen Szenarios mit Reaktionsdauer = 0 s.

Wie aus Abb. 110 hervorgeht, ist ein annähernd gleichmäßiger Anstieg der Entleerungszeiten bei allen vier Szenarien zu verzeichnen. Die Zunahme beträgt bei allen Szenarien für Reaktionsdauern bis [0-120s] zwischen 8% und 18%, gegenüber dem Fall „ohne Reaktionsdauer“. Das dritte Intervall bedingt Erhöhungen von 30% bis 48%. Mit Bezug auf jeweils den Maximalwert der Reaktionsdauer ( $\max t_{\text{Reaktion}}$ ) verlängert sich die Entleerungszeit (additiv) um:

0,15 ·  $\max t_{\text{Reaktion}}$  ... 0,48 ·  $\max t_{\text{Reaktion}}$



10

**Abb. 110:** Einfluss Reaktionsdauer bei gleich bleibenden Rettungswegen – buildingEXODUS

### 7.3.2 Folgerungen

Aufgrund theoretischer Überlegungen könnten Reaktionsdauern zu einer „Vereinzelung“ dergestalt führen, dass Stauzeiten an Ausgängen und somit Entleerungszeiten verringert werden. Bei den untersuchten Beispielen wurde der Effekt nicht beobachtet.

15

Bei insgesamt geringeren Personendichten, wie bei den Fallbeispielen Verkaufsstätte, wirken sich Reaktionszeiten aber zumindest schwächer aus, als additiv aufgrund der mittleren Reaktionsdauer z.B.

20

$$t^*_{\text{Entleerung mit Reaktionsdauer}} = t_{\text{Entleerung (ohne Reaktionsdauer)}} + t_{\text{mittlere Reaktionsdauer}}$$

zu erwarten wäre. Bei früheren Anwendungen wurde festgestellt, dass bei hohen Dichten Reaktionsdauern die Entleerungszeiten stärker erhöhen, als aufgrund der mittleren oder auch der maximalen Reaktionsdauer zu erwarten.

25

Der negative Einfluss rührt auch daher, dass bei diesen Berechnungen Reaktionszeiten rein zufällig auf Personen verteilt werden, sodass Personen mit geringer Reaktionsdauer durch davor stehende Personen mit längerer Reaktionsdauer „ausgebremst“ werden.

30

Dies kann in der Simulation bis zu einer vollständigen Blockade eines Ausgangs führen, wenn Personen hier „zufällig“ mit hohen Reaktionsdauern belegt wurden.

## 7.4 Einfluss Personenverdichtungen / Stauungen

Besondere Untersuchungen zum Thema Personenverdichtungen und Stauungen wurden im Rahmen dieses Vorhabens nicht durchgeführt. Obgleich inzwischen aufgrund der Arbeiten insbesondere von [HEL] und [LAK] vertiefte Kenntnisse über das „Panikverhalten“ von Personenströmen vorliegen, gibt es keine allgemeingültigen Kriterien um kritische Situationen vorherzusagen. Natürlich ist die Personendichte ein Aspekt. Festzuhalten ist aber, dass es keine Anhaltspunkte dafür gibt, dass eine bestimmte Personendichte, etwa 4 P/m<sup>2</sup>, für sich gesehen schon ein gefährlicher Zustand ist, den es zu vermeiden gilt.

Sicherlich spielen dabei die Größe des Staus und die Verzögerung (welche berechnet werden können) eine Rolle. Jedoch wird die Zusammensetzung der Personengruppe im Stau eine weitaus größere Rolle spielen als die Personenzahl und deren Wartezeit. So wird eine Personengruppe von 200 Personen, welche z.B. einen Gottesdienst besuchen, im Stau ein anderes Verhaltensmuster aufweisen, als eine große Gruppe von Fußballfans in einem Stadion.

Klar ist, dass einfache und schnelle Evakuierungsmöglichkeiten zur Vermeidung von Stauungen beitragen.

Es wäre notwendig, quantifizierbare Kriterien zur Vermeidung von Evakuierungsverläufen, die gefährliche Personenverdichtungen ermöglichen, festzulegen.

[MEHL] schlägt diesbezüglich folgende Kriterien vor:

- die Summe der Stauzeiten bzw. Verzögerungszeiten (als Gehgeschwindigkeit kleiner als 0,3m/s) sollte nicht mehr als die Hälfte der Summe der Gehzeiten betragen,
- Stauzeiten (Einzelwerte) sollten nicht länger als 1 Minute betragen bzw.
- Verzögerungszeiten sollten nicht länger als zwei Minuten betragen.

In der Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen [RiM] gilt ein Stau als signifikant, „wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10 % der Gesamtentfluchtungsdauer überschritten wird“.

## 7.5 Anmerkung zu Personenzahlen

### 7.5.1 Stehplätze

Entsprechend MVStättV ist die Anzahl der Besucher für Stehplätze mit 2 P/m<sup>2</sup> zu bemessen. Gemäß Begründung zur MVStättV erfolgte die Festlegung von 2 P/m<sup>2</sup> als „Begrenzung der Personenzahl auf ein sicherheitsrechtlich unbedenkliches Maß“. Insofern ist nicht ganz klar, ob Bestuhlungspläne mehr Personen ausweisen dürfen, als aufgrund der genannten Bemessungsformel, auch wenn Rettungswege entsprechend ausgelegt sind.

Die in [FOR] vertretene Auffassung wird geteilt, dass für Diskotheken (und insbesondere Festivals) der Ansatz von 2 P/m<sup>2</sup> nicht immer ausreicht. In Hallenmitte kann man durchaus 5-8 P/m<sup>2</sup> beobachten, wobei die Dichte an den Seiten und besonders im hinteren Bereich (von der Bühne aus gesehen) deutlich geringer ist, aber im Mittel dennoch über 2 P/m<sup>2</sup> liegt.



So geben die UK- Building Regulations im Approved Document B in Tabelle 1 für Stehplätze („standing spectator areas“) eine Dichte von  $1/0,3 = 3,33 \text{ P/m}^2$ , New Zealand Building Code, approved Document C1-C4<sup>53</sup> eine Dichte von  $2,6 \text{ P/m}^2$  und die EN 13200-1 4, Dichten von  $7 \text{ P/m}^2$  (ohne Gänge) an. NFPA 101 nennt allerdings in Tabelle 7.3.1.2 auch nur  $1/0,65 = 1,54 \text{ P/m}^2$  („concentrated use“) und gibt in Ziffer 12.1.7 Grenzwerte für die Dichte im Sinne sicherheitstechnisch zu beachtende Maße:

Räume bis  $930\text{m}^2$  max.  $2,17 \text{ P/m}^2$   
 Räume über  $930\text{m}^2$  max.  $1,54 \text{ P/m}^2$

Umgekehrt ist ein elegantes Foyer, welches gelegentlich als Versammlungsraum genutzt werden soll, sicher anders zu behandeln als eine Diskothek.

### 7.5.2 Reihen- und Tischbestuhlung

Bei Reihenbestuhlung hat man hingegen eher „Probleme“, die seitens der MVStättV vorgegebenen  $2 \text{ P/m}^2$  geometrisch unterzubringen. Das gelingt am ehesten noch bei Stufensitzen im Freien, da die Verlustflächen durch Gänge geringer sind.

Bei Tischbestuhlung ist  $1 \text{ P/m}^2$  eigentlich auch nur mit „Biertischen“ möglich. Andererseits ist auch nicht immer vorhersehbar, ob eine Reihen- oder Tischbestuhlung realisiert wird.

### 7.5.3 Kategorien, Bestuhlungspläne

Versammlungsräume könnten in Kategorien unterteilt werden, z.B.

A	$3,0 \text{ P/m}^2$	(oder andere ordnungspolitische, realistische Obergrenze)
B	$2,0 \text{ P/m}^2$	
C	$1,5 \text{ P/m}^2$	
D	$1,0 \text{ P/m}^2$	
E	$0.5 \text{ P/m}^2$	

Allerdings wird hier die Auffassung vertreten, dass weiterhin (in erster Linie) die vom Bauherrn – in Form von Bestuhlungsplänen – angegebene Personenzahl maßgebend für die Einstufung als Versammlungsstätte und für die Dimensionierung der Rettungswege sein sollte. Der Bauherr/Betreiber ist dann (wie bisher) für die Einhaltung verantwortlich.

## 8 Zusammenfassung und Fazit

---

### 8.1 Kriterien

Es muss nicht begründet werden, dass für die Evakuierung von Räumen oder Gebäuden die Zeit ein wichtigeres Kriterium ist, als Weglängen oder Ausgangsbreiten. Der Faktor Zeit spielt für die Räumung eines Gebäudes im Brandfall, oder aus anderen sicherheitstechnischen Gründen eine wesentliche Rolle.

<sup>53</sup> table 2.2

Zeitangaben alleine reichen nicht aus, um Gefahrensituationen zu identifizieren bzw. zu vermeiden. So kann es aufgrund nicht definierter äußerer Anlässe zu Stauungen kommen, z.B. in Folge einer, in Euphorie geratenen Menschenmasse, was in weiterer Folge innerhalb von kurzer Zeit zu kritischen Staudrücken und zu Personengefährdungen führen kann.

5

Insofern ist als Schutzziel auch, oder hauptsächlich anzuführen: Die Vermeidung von Staubildungen an Durchgängen, Engstellen bzw. Ausgängen, die durch massives Schieben von Personen zu hohen Drücken (Staudrücken) führen können.

10

Zur Analyse von Personenströmen insbesondere zur Bewertung von Stauungen sollen zumindest folgende Kriterien beachtet werden:

15

- Dichten innerhalb von Stauungen,
- Größe der Staudrücke<sup>54</sup>,
- Dauer der Stauungen,
- Größe der Stauungen und
- Gesamtentleerungsdauer

20

O.g. Kriterien mit Grenzwerten für eine Quantifizierung müssen künftig sukzessive in der Fachwelt erarbeitet werden.

## 8.2 Entleerungszeiten

25

Bleibt man bei dem einfachen Kriterium der „Entleerungszeit“, gilt für die hier betrachteten Beispiele:

30

Entleerungszeiten für Räume in Gebäuden, mit Weglängen und Ausgangsbreiten nach der MVStättV können zwar nach oben tendenziell eingegrenzt werden, zumindest wenn Beispiele mit sehr ungleichmäßiger Verteilung der Personen auf Ausgänge unberücksichtigt bleiben. Je nach Programm differieren die Ergebnisse jedoch erheblich. Für Versammlungsstätten im Freien sind Spannweiten der Ergebnisse zu groß um auch nur vernünftige obere Grenzen zu ziehen.

35

Betrachtet man nur die Ergebnisse je Programm, sind streuende Ergebnisse – bei vergleichbaren Beispielen und Situationen - gut erklärbar und systematische Unterschiede bei Beispielen und Parametervariationen durchaus plausibel (bis auf wenige Ausnahmen). Innerhalb der einzelnen Programme bestehen – durchaus gerechtfertigte – Optionen zur Modellierung des Verhaltens von Personen, die hier ausgeschaltet wurden. Die Auswahl dieser Optionen hängt allein vom fachlichen Ermessen des Anwenders ab, sodass verschiedene Anwender durchaus unterschiedliche Ergebnisse, also größere Unterschiede erzeugen können. Hinzu kommen die genannten Unterschiede zwischen verschiedenen Programmen.

40

## 8.3 Normative Vorgaben

Um solche Unterschiede einzugrenzen sind normierte/vereinbarte Vorgaben erforderlich, beispielsweise für maximale Flüsse und die Verteilung der Personen auf Ausgänge (minimale

---

<sup>54</sup> zur Zeit sind keine wissenschaftlich fundierten Angaben bzw. Berechnungen betreffend Staudrücke vorhanden.

ungleichmäßige Belastung von Ausgängen). Es sind statistische Vereinbarungen für die Auswertung notwendig (Mittelwerte, Quantilen, Bemessungswerte). Hinzuzufügen sind dann Szenarien für Vergleichsrechnungen mit Angabe zulässiger Bandbreiten bei den Ergebnissen. Im Prinzip hat sich z.B. [RIM] die Erarbeitung solcher Vereinbarungen zur Aufgabe gemacht.

5

Bis zu einem Konsens der Fachwelt über solche normierte Vorgaben, erscheinen Zeitangaben als übergeordnete und alleinige Kriterien zur Bewertung von Rettungswegen derzeit jedoch noch nicht geeignet.

#### 8.4 Simulationsrechnung gegenüber Handrechnung

Nimmt man die Ausführungen im Kommentar der MVStättV als Vorgabe für ein Wertepaar [Fluss und Passagezeit]:

$$[F_s; t_{\text{passage}}] = [1,39 \text{ P}/(\text{ms}); 120\text{s}]$$

15

dann kann man diese Vorgabe so verstehen, dass *Handrechnungen* zum Ergebnis „1,2m je 200 Personen“ führen.

Andere Wertepaare können zum gleichen Ergebnis führen, z.B.

20

$$[F_s; t_{\text{passage}}] = [1,3 \text{ P}/(\text{ms}); 128\text{s}]$$

25

Für Simulationsrechnungen sind vorgegebene Flüsse Richtwerte zur Begrenzung der maximalen Flüsse an Ausgängen und Querschnitten. Bei den Simulationsrechnungen ist die Entleerungszeit  $t_E$  in der Regel größer als  $t_{\text{passage}}$ . Zum einen besteht gegenüber der Handrechnung bei Simulationsrechnungen keine strikt lineare Beziehung zwischen Zeit und Rettungswegbreite. Zum anderen sind die Personen nicht exakt entsprechend der Weg- und Ausgangsbreiten aufgeteilt. Schließlich variieren die sich ergebenden Flüsse je Ausgang bzw. Querschnitt.

30

In Verbindung mit einem Richtwert für den maximalen Fluss ist  $t_{\text{passage}}$  dann ein unterer Grenzwert für die Entleerungszeit, der bei Dimensionierung von Rettungswegbreiten nach der MVStättV nicht unterschritten werden *kann*, wenn keine Übermessung vorliegt und wenn Rettungswegbreiten entscheidend sind.

#### 8.5 Begründung von Abweichungen

Simulationsprogramme sind aber durchaus geeignet, um vergleichende Aussagen zu machen, etwa in dem Sinne:

40

„Wie verändern sich Entleerungszeiten, wenn Rettungswege abweichend von den Vorgaben der Verordnung ausgelegt werden?“ und

„Inwiefern kann eine Verlängerung von Wegen durch Verbreiterung von Wegen und Ausgängen hinsichtlich der Entleerungszeit kompensiert werden?“

45

Dabei sind Entleerungszeiten zunächst für die Situation zu berechnen, die geometrisch den Vorgaben der Verordnung entspricht. Dann sind Entleerungszeiten für die geometrisch abweichende Situation und schließlich mit der vorgesehenen Kompensation zu ermitteln. Damit

liegen dann Ergebnisse für drei geometrische Situationen vor, die eine Plausibilitätsprüfung ermöglichen.

5      Einschränkend wird vermerkt, dass eine Bewertung von Weglängen auch hinsichtlich der Eindringtiefen für die Feuerwehr erfolgen muss.

### 8.6 Optimierung von Rettungswegen

10     Die Hauptanwendung von Simulationsprogrammen ist die Optimierung von Rettungswegen und/oder die Überprüfung von Wegführungen im Hinblick auf Staubereiche und zwar nicht nur für einzelne Räume, sondern auch und insbesondere für den gesamten Wegverlauf bis zur  
15     Entspannungsfläche im Freien. Es ist möglich, Variationen der Rettungswegführung zu untersuchen um Staubereiche zu detektieren und hinsichtlich Dichte und Dauer zu bewerten und um Personenströme zu vergleichsmäßigen. Da diese Hilfsmittel zur Verfügung stehen, ist es sinnvoll, wenn nicht sogar geboten, zumindest für Versammlungsstätten ab einer bestimmten  
15     Größe Simulationsberechnungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass im Rahmen der möglichen Variationen eine optimale Lösung verwirklicht wird.

## Bezeichnungen, Definitionen

---

Symbol	Dim.	Bezeichnung	Erläuterung
a	m	Ausgangs- oder Wegbreiten	
$a_i$	m	Breite des Ausgangs i	$a = \sum a_i$
$a^*$	m	Ausgangsbreiten bei der Simulationsrechnung	bei Skalierung ist $a^* < a$ ; ohne Skalierung ist $a^* = a$
$t_E$	s	Entleerungszeit	Zeit bis die letzte Person den Raum verlassen hat = maximale Laufdauer $\max(t_{i, \text{Lauf}})$ nach [RiM])
$t_{E,i}$	s	Entleerungszeit am Ausgang i	Zeit bis die letzte Person des Ausgang i verlassen hat; $t_E = \max(t_{E,i})$
F	P/ms	spezifischer Fluss	der spezifische Fluss ist die Anzahl der Personen, die einen bestimmten Querschnitt pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren.
$F_{\text{global}}$	P/ms	globaler Fluss	der globale Fluss ist die Anzahl von Personen, die die Ausgänge eines Raumes pro Meter lichter Breite und pro Sekunde passieren.
$F_{\text{zelle}}$	P/s	Zellenfluss	der Zellenfluss ist die Anzahl von Personen, die einen Zellenquerschnitt pro Sekunde passieren.
P		Personenzahl	
PA	P	Ausgangsindex	= Personen x Schulterbreite / Ausgangsbreite

## Literatur und Bezüge

---

- [ARG] ARGEBAU: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättV). ARGEBAU – Fachkommission Bauaufsicht; Juni 2005.
- [ARG-B] ARGEBAU: Begründung und Erläuterung zur Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten. Fachkommission Bauaufsicht, Juni 2005. <http://www.is-ergebau.de>.
- [ASE1] Referenzhandbuch ASERI, Frankfurt/Main: Integrierte Sicherheits-Technik GmbH, 1999
- [ASE2] Referenzhandbuch ASERI- Update auf Version 4.0, Frankfurt/ Main: Integrierte Sicherheits- Technik GmbH, September 2005
- [EN] Europäisches Komitee für Normung (CEN): EN 13200-1: 2003 für Zuschaueranlagen – Teil 1: Kriterien für die räumliche Anordnung von Zuschauerplätzen – Anforderungen, Dezember 2003.
- [FOR] Forell, B.: Bewertung der Anforderungen der Musterversammlungsstättenverordnung (Mai 2002) hinsichtlich realistischer Evakuierungsszenarien in Diskotheken und ähnlichen Vergnügungsstätten, Fachartikel IBMB, 2004
- [FRAN] Frantzich, H., A model for performance-based design of escape routes; Lund Inst. of Technology, Dept. of Fire Safety Eng.; Report 1011, 1994
- [GAL] Galea, E.R.: buildingEXODUS V4.00, User guide and technical manual buildingEXODUS V4.0, Fire Safety Engineering Group, University Greenwich, Revision 1.0, March 2004
- [HEL] Helbing, D., Farkas, I.J., Molnár, P., Vicsek, T.; Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations: S. 21-58 in: Pedestrian and Evacuation Dynamics; Hrsg.: Schreckenberg, M., Sharma, S.D. Springer, Berlin
- Helbing, D., Farkas, I.J., Vicsek, T.; Simulating Dynamical Features of Escape Panic; Nature Volume 407, 9/2000
- [LAK] Laboba, T., Kaup, D.J., Finkelstein, N.M., Modification of the Helbig-Molnár- Farkas-Vicsek Social Force Model for Pedestrian Evolution; *SIMULATION*, Vol. 81, Issue 5, May 2005 339-352 ©2005 The Society for Modelling and Simulation International
- [MEHL] Mehl, Friedrich: Richtlinien für die Erstellung und Prüfung von Brandschutzkonzepten, in: Hosser, Dieter (Hrsg.): Praxisseminar Brandschutz bei Sonderbauten, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Heft 178, 2004
- [NEL] Nelson, B., MacLennan, H., Emergency Movement; In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Quincy, Massachusetts. 2002.
- [NEW] New Zealand Building Code, Part C1, C2, C3 and C4; 2001

- [NFPA101-1] NFPA 101: Life Safety Code, Edition 1981
- [NFPA101-2] NFPA 101: Life Safety Code, Edition 1994
- [NFPA101-3] NFPA 101: Life Safety Code, Edition 2003
- [NFPA130-1] NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, Edition 1986.
- [NFPA130-2] NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, Edition 2003.
- [PAULS] Pauls, J. Movement of People, In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Quincy, Massachusetts. 2002.
- [PED] Referenzhandbuch PedGo 2 und PedGo Editor 2. Version 2.1.0, TraffGo HT GmbH, 2005
- [PM] Predtetschenski, V.M.; Milinski, A.I.: Personenströme in Gebäuden-Berechnungsverfahren für die Projektierung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld. 1971
- [PROU] Proulx, G.: Movement of People: The Evacuation Timing. In: The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition, Quincy, Massachusetts. 2002.
- [RIM] Autorenkollektiv: Richtlinie/Leitfaden für Mikroskopische Evakuierungsanalysen, RIMEA-Projekt, Entwurf Version 2.0.0. März 2006. <http://www.rimea.de>
- [ROG] Rogsch, Ch. Vergleichende Untersuchungen zur dynamischen Simulation von Personenströmen; Diplomarbeit Bergische Universität Wuppertal, 2006
- [SCHN] Schneider, V.: Personenstromanalyse mit rechnerischen Nachweisverfahren. In: vfdb-Referat 4/ Hosser, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Entwurf Juni 2005. Braunschweig 2005.  
<http://www.ibmb.tu-braunschweig.de/index.html/brandschutz/aktivitaeten/vfdb.html>
- [THOM] Thompson, P.: Simulex: Simulated people have need too;  
[fire.nist.gov/CDPUBS/NISTSP\\_1032/Papers/Thompson\\_Paper.pdf](http://fire.nist.gov/CDPUBS/NISTSP_1032/Papers/Thompson_Paper.pdf)
- [UK] UK-Building Regulations, 2000, Approved Document B, Part B1
- [WALD] Waldau N.: Massenpanik in Gebäuden – Grundlagen von Simulationsmodellen, Planungskriterien zur Orientierung in Gebäuden bei steigender Stressbelastung, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, 2002.
- [WECK] Weckman, H., Lehtimäki, S., Männikkö, S., Evacuation of a Theatre: Exercise vs Calculation; Fire and Materials, 23, pp. 357-361, 1999

## Anlage 1

---

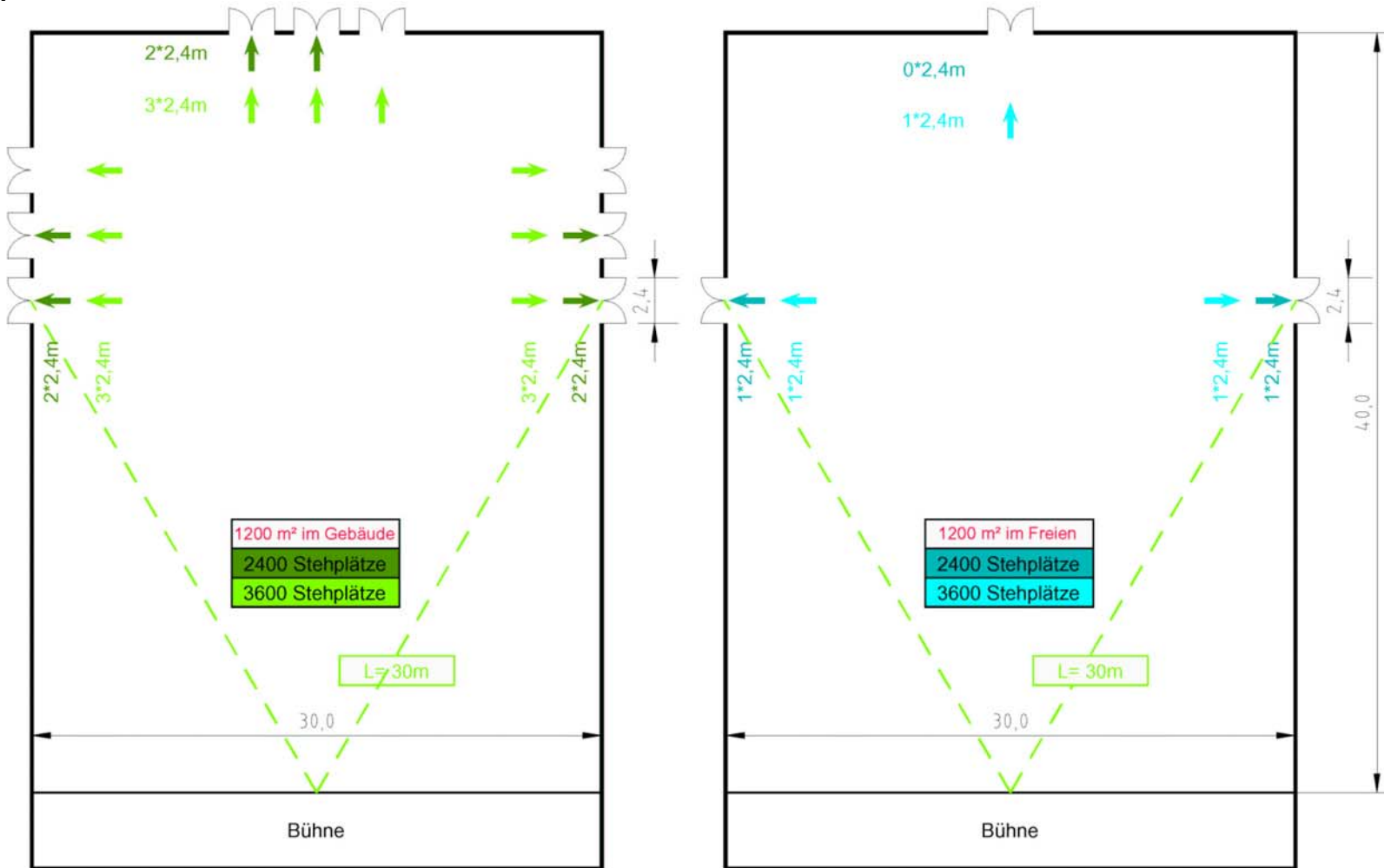
<b>Anlage 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Räume ohne Bestuhlung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Räume mit Reihenbestuhlung .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Räume mit Tischbestuhlung.....</b>	<b>16</b>
<b>4 Verkaufsstätte mit Ladenstraße .....</b>	<b>18</b>
<b>5 Parameterstudie Rettungsweglänge.....</b>	<b>19</b>



# 1 Räume ohne Bestuhlung

1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude und im Freien

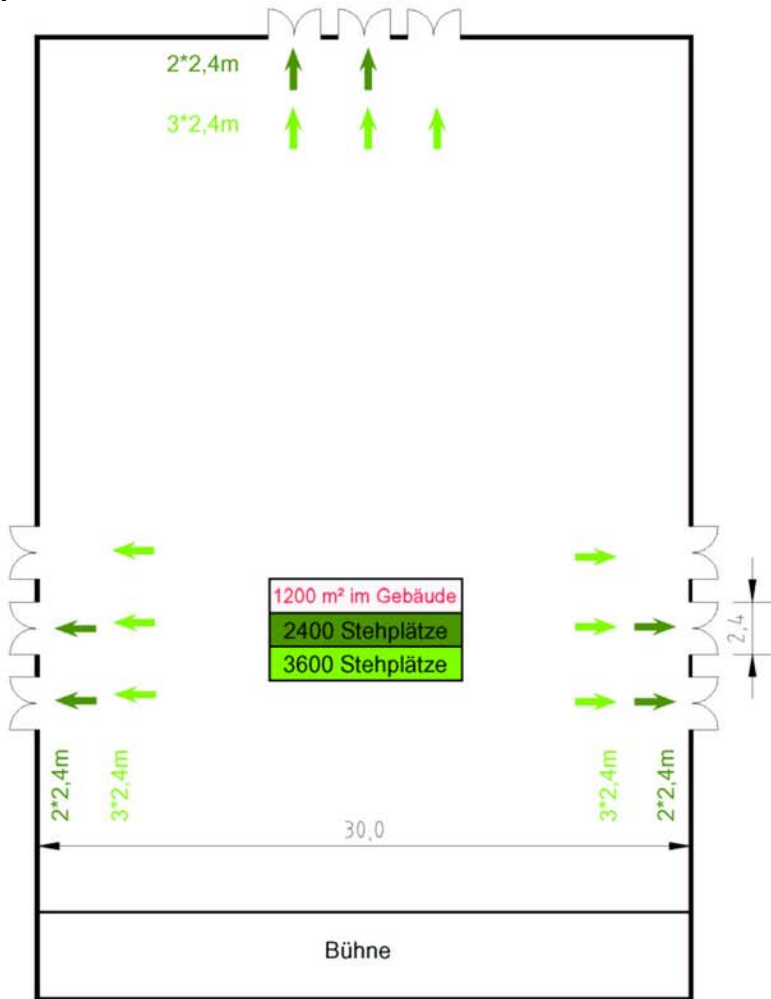
## Beispiel A



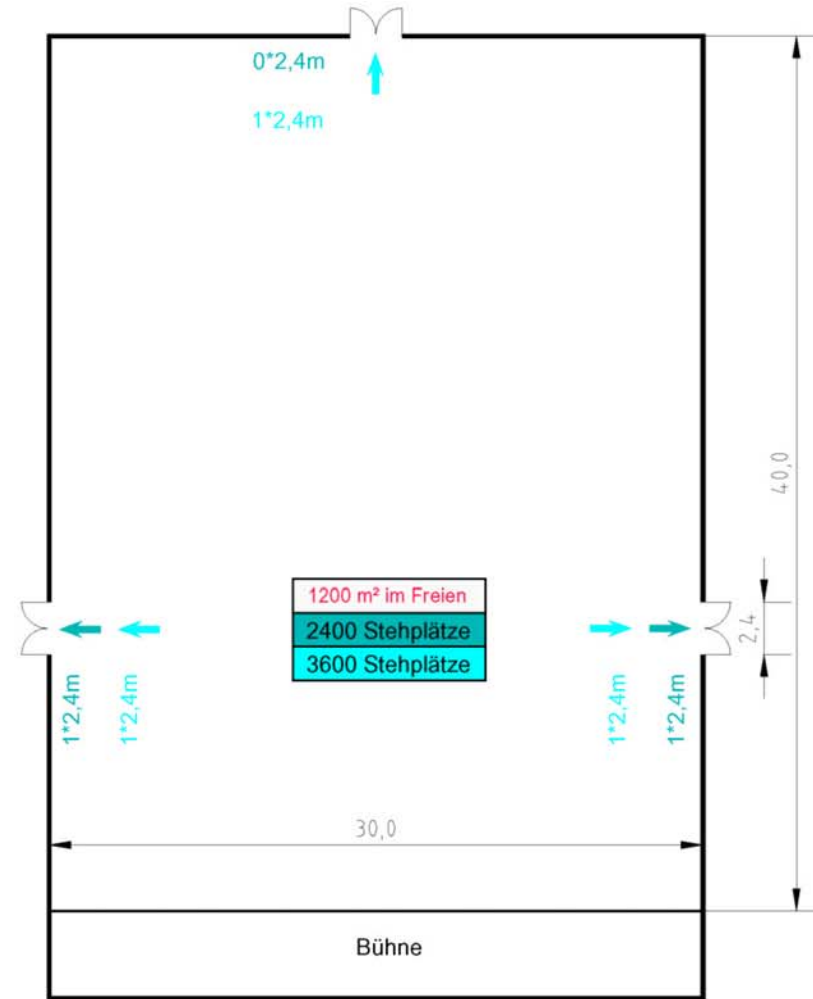
← Ausgangsbreite (im Gebäude) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=14,4m (6\*2,4m)  
 ← Ausgangsbreite (im Gebäude) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=21,6m (9\*2,4m)

← Ausgangsbreite (im Freien) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=4,8m (2\*2,4m)  
 ← Ausgangsbreite (im Freien) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=7,2m (3\*2,4m)

1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude und im Freien  
**Beispiel Amod**

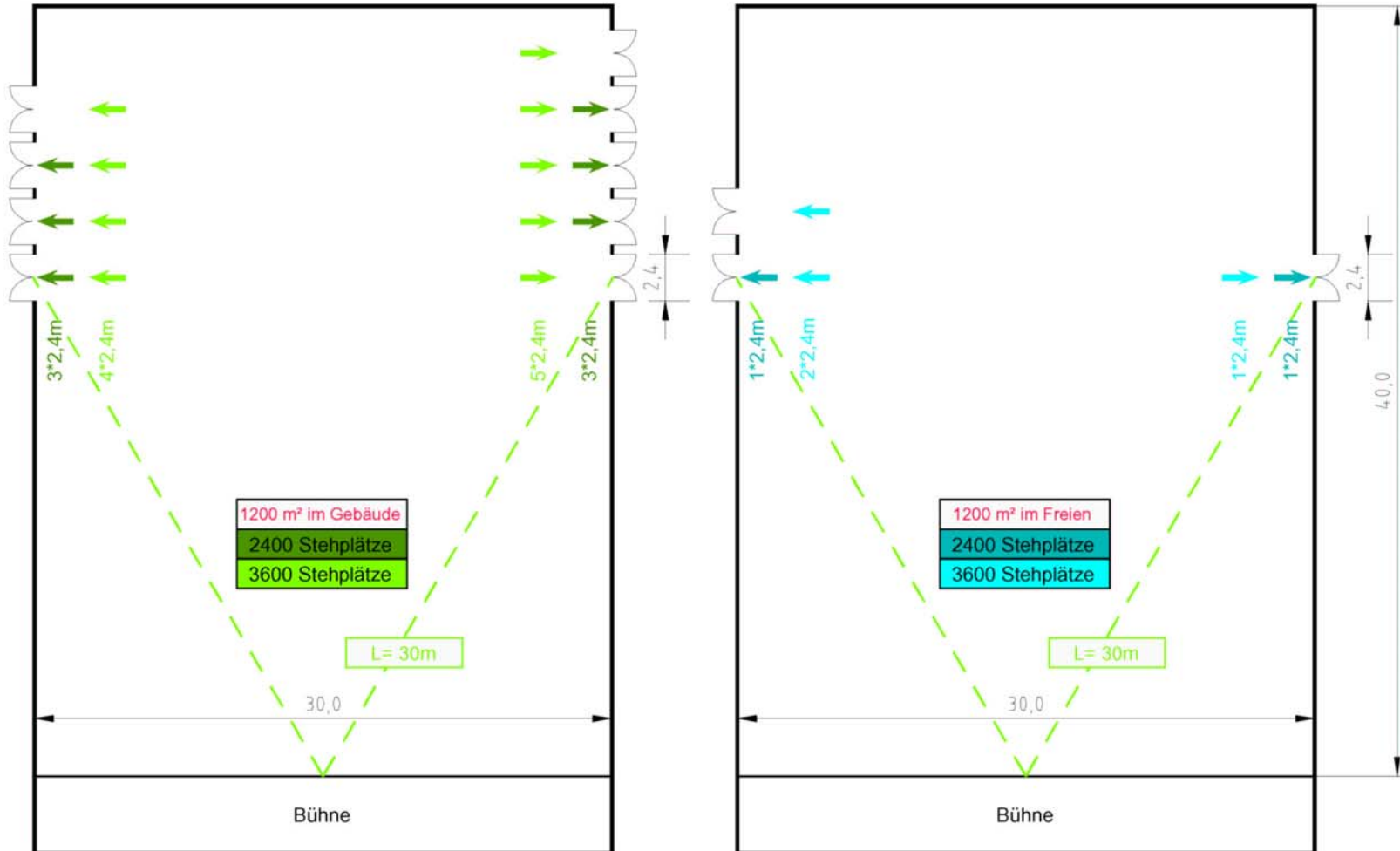


- ← Ausgangsbreite (im Gebäude) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=14,4m (6\*2,4m)
- ← Ausgangsbreite (im Gebäude) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=21,6m (9\*2,4m)



- ← Ausgangsbreite (im Freien) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=4,8m (2\*2,4m)
- ← Ausgangsbreite (im Freien) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=7,2m (3\*2,4m)

1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude und im Freien  
**Beispiel B**

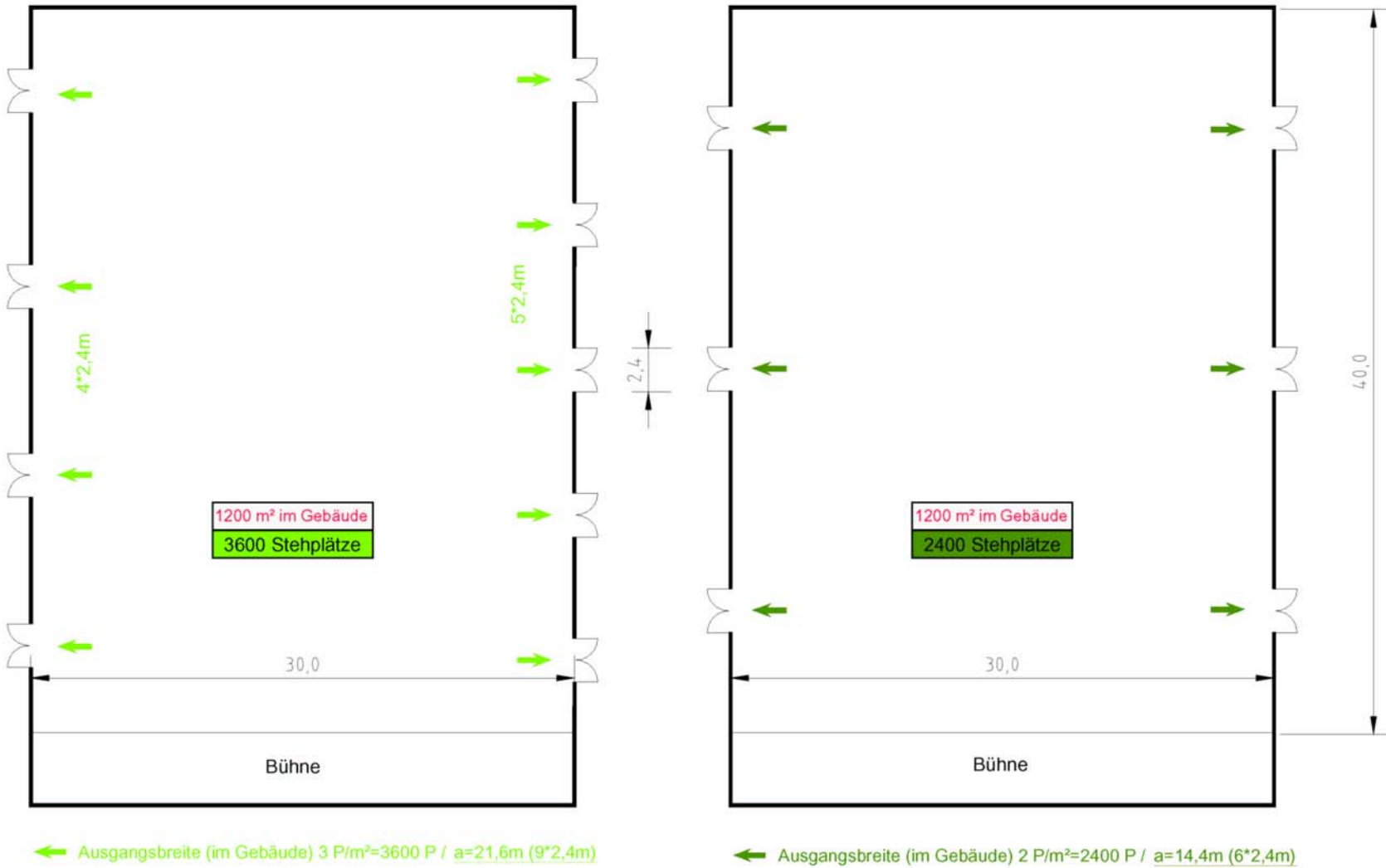


← Ausgangsbreite (im Gebäude) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=14,4m (6\*2,4m)  
 ← Ausgangsbreite (im Gebäude) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=21,6m (9\*2,4m)

← Ausgangsbreite (im Freien) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=4,8m (2\*2,4m)  
 ← Ausgangsbreite (im Freien) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=7,2m (3\*2,4m)

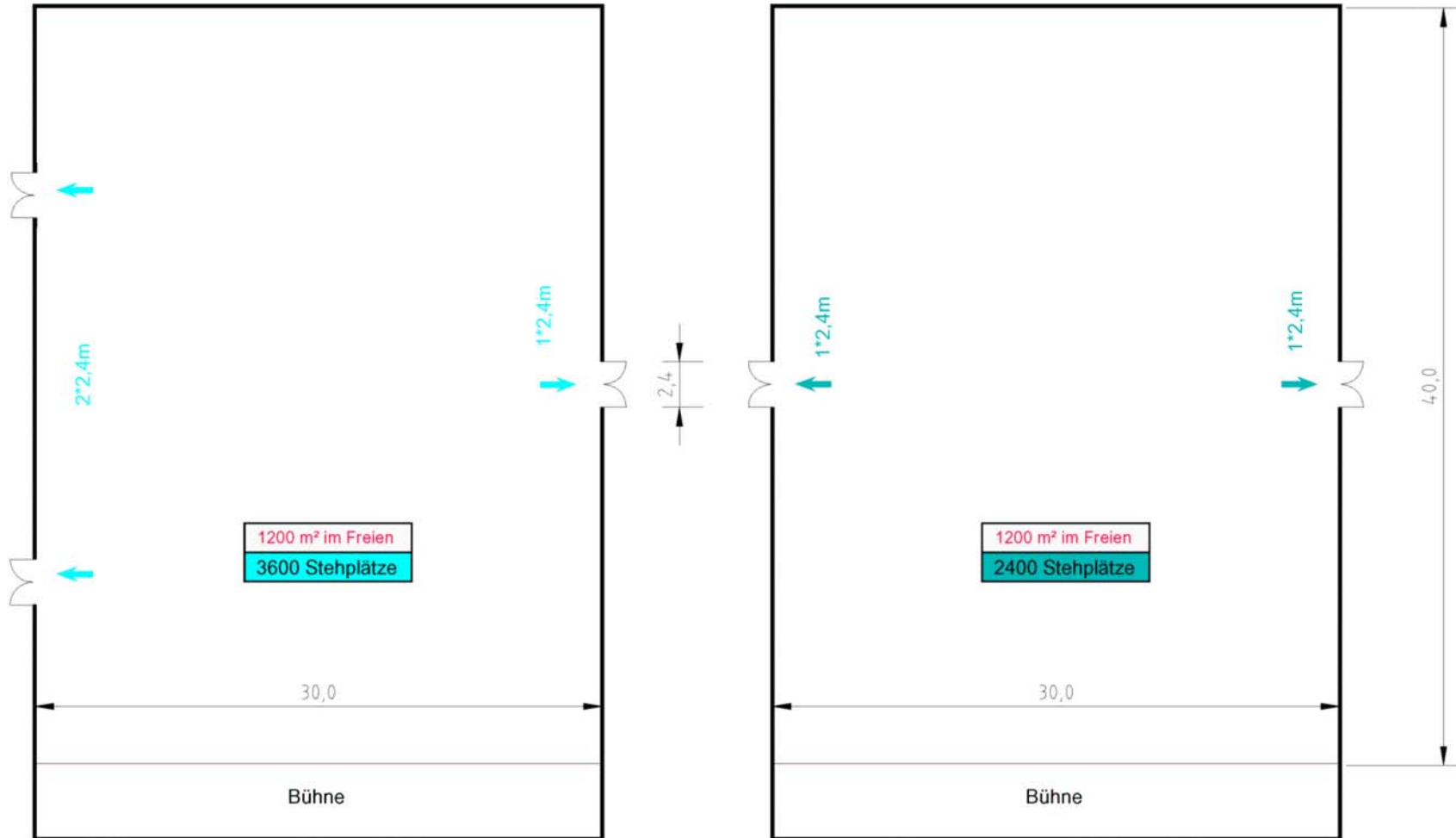
1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude

Beispiel Bmod:



1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Freien

Beispiel Bmod:

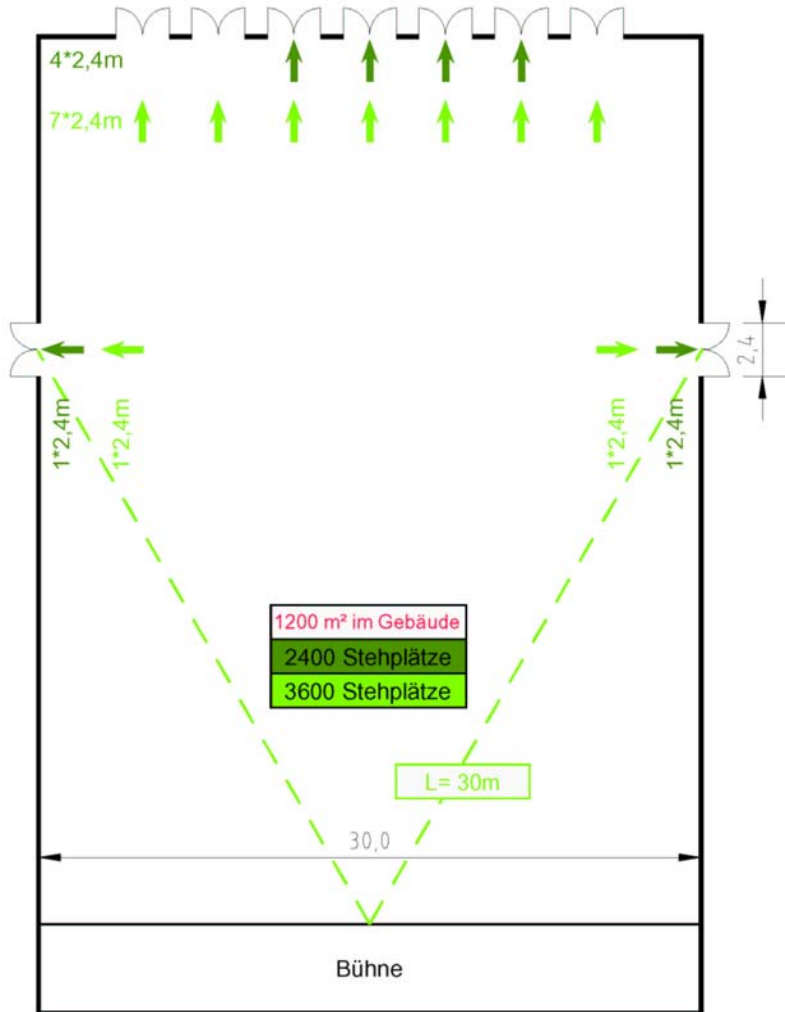


← Ausgangsbreite (im Freien) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=7,2m (3\*2,4m)

← Ausgangsbreite (im Freien) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=4,8m (2\*2,4m)

1a – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude

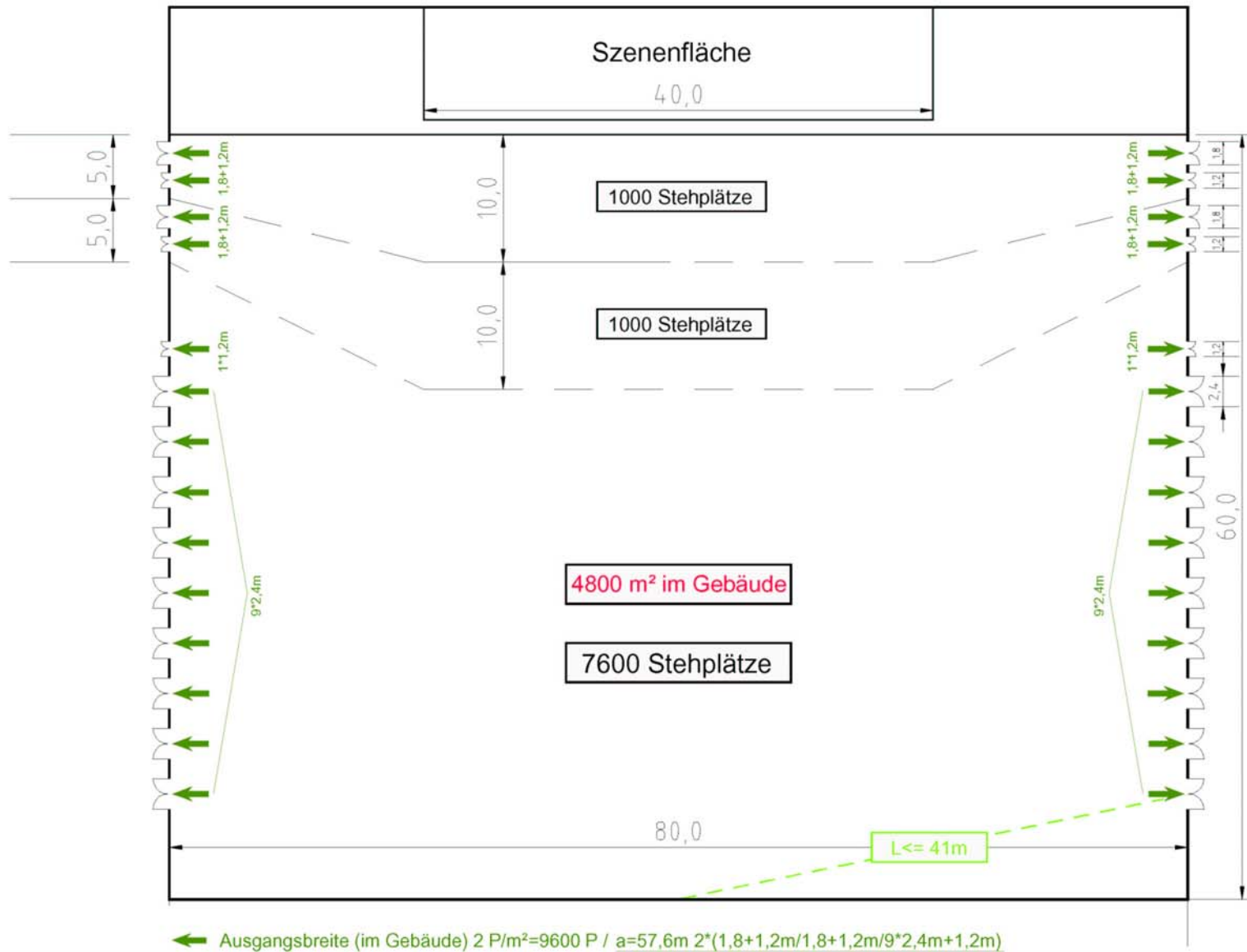
Beispiel C



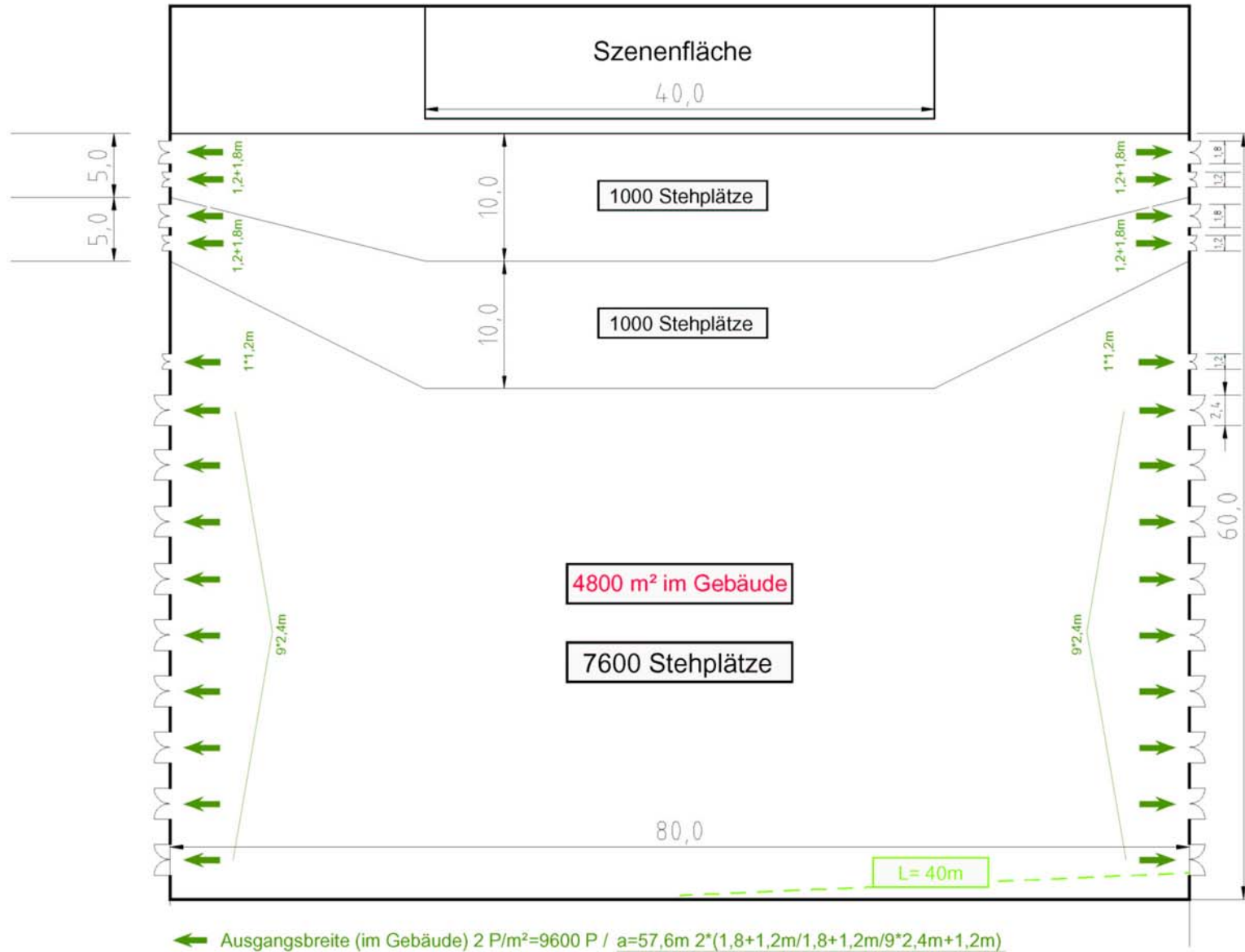
← Ausgangsbreite (im Gebäude) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=14,4m (6\*2,4m)

← Ausgangsbreite (im Gebäude) 3 P/m<sup>2</sup>=3600 P / a=21,6m (9\*2,4m)

1b - Grundfläche 4800m<sup>2</sup> - im Gebäude

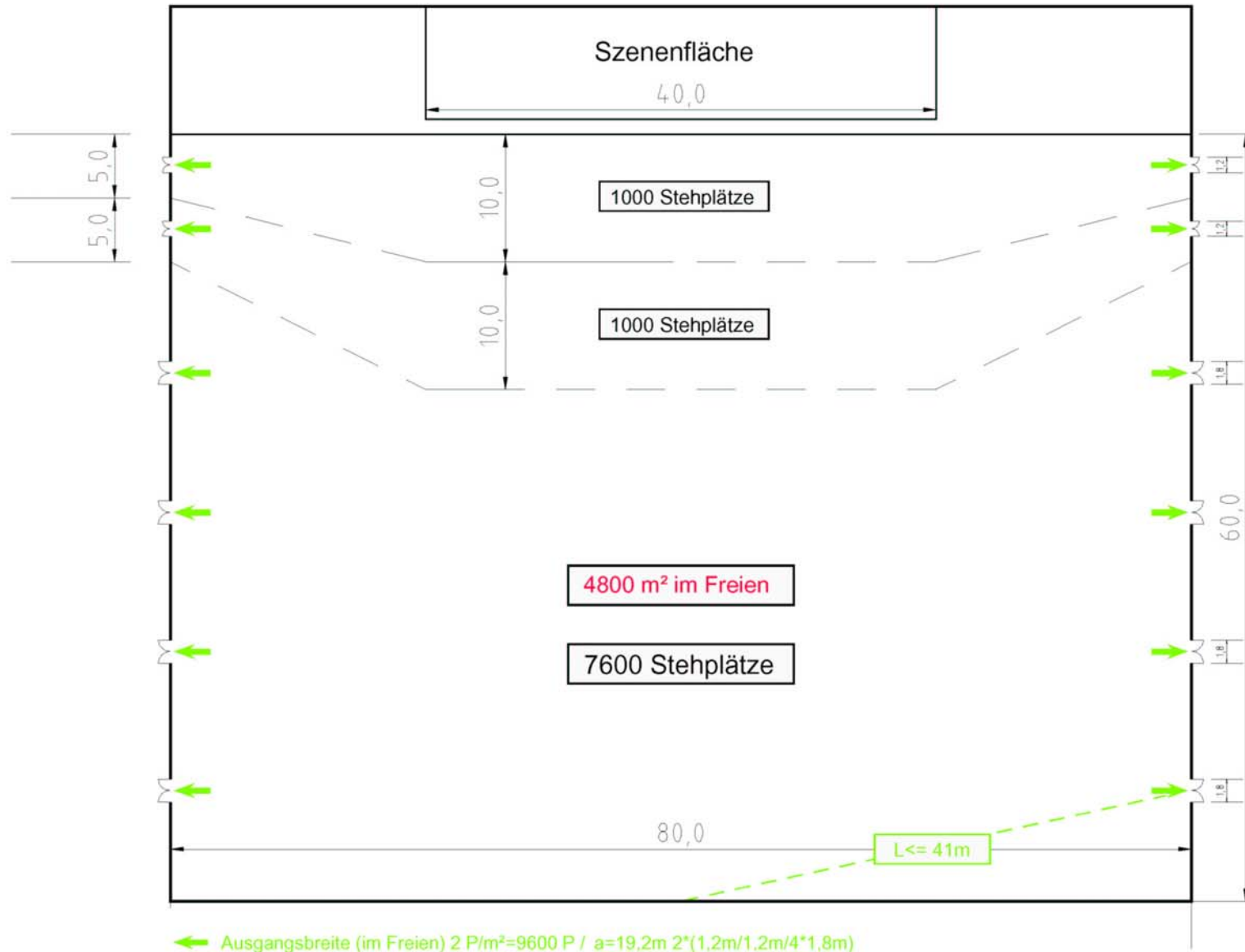


1b - Grundfläche 4800m<sup>2</sup> - im Gebäude – mod

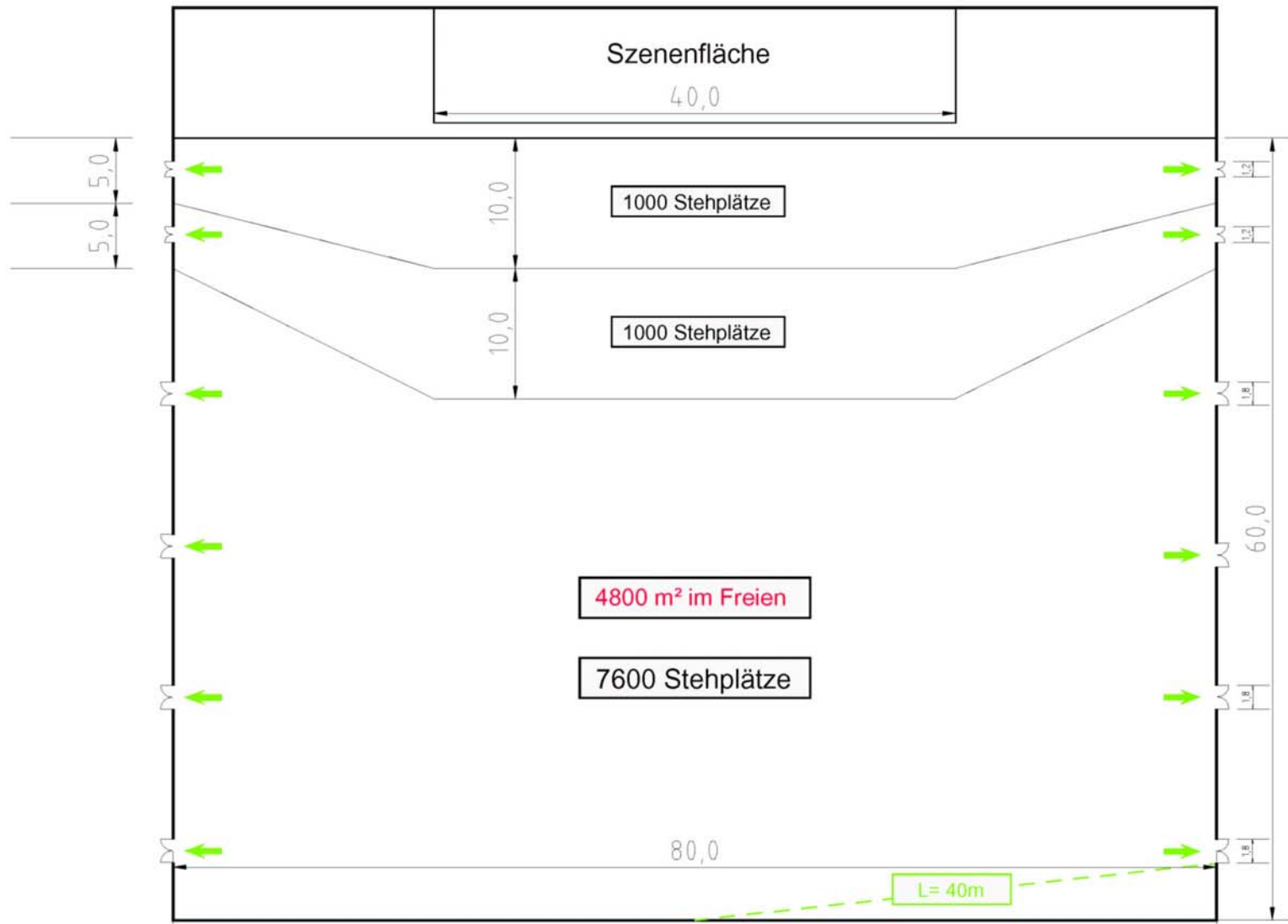




1b - Grundfläche 4800m<sup>2</sup> - im Freien



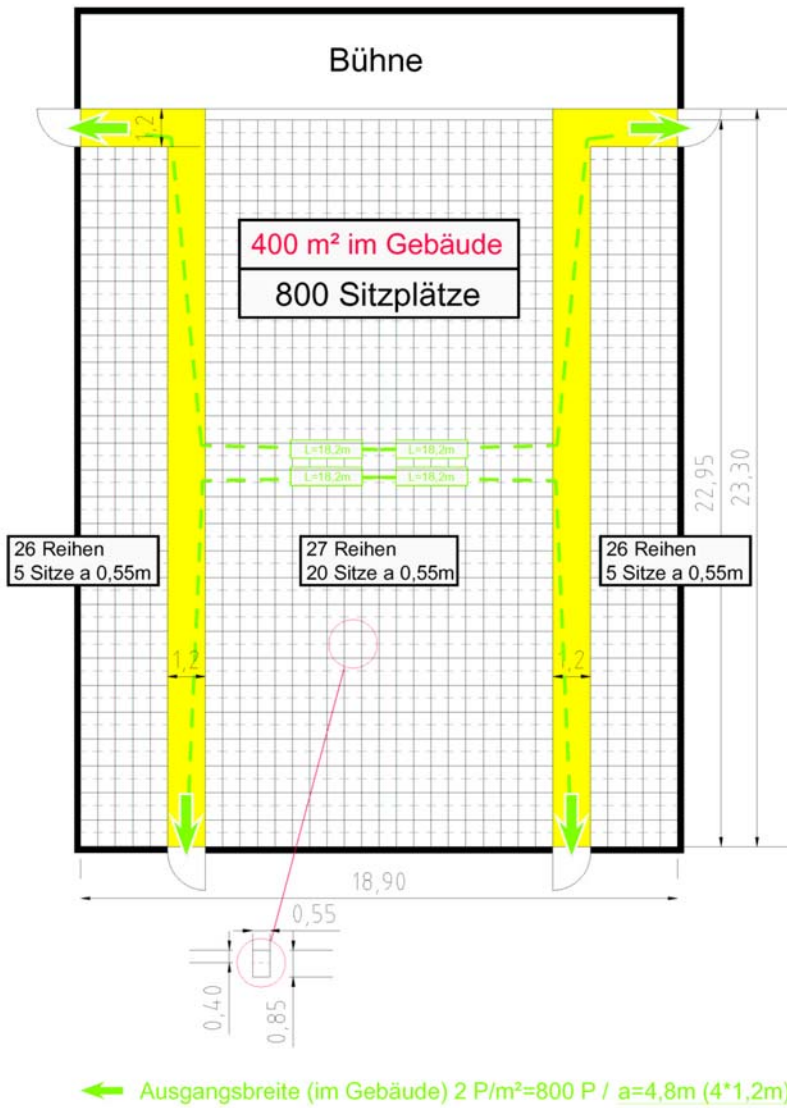
1b - Grundfläche 4800m<sup>2</sup> - im Freien mod



Ausgangsbreite (im Freien)  $2 P/m^2 = 9600 P / a = 19,2m \cdot 2 \cdot (1,2m/1,2m/4 \cdot 1,8m)$

## 2 Räume mit Reihenbestuhlung

2a – Konzert/Kino – Grundfläche 400m<sup>2</sup> - im Gebäude

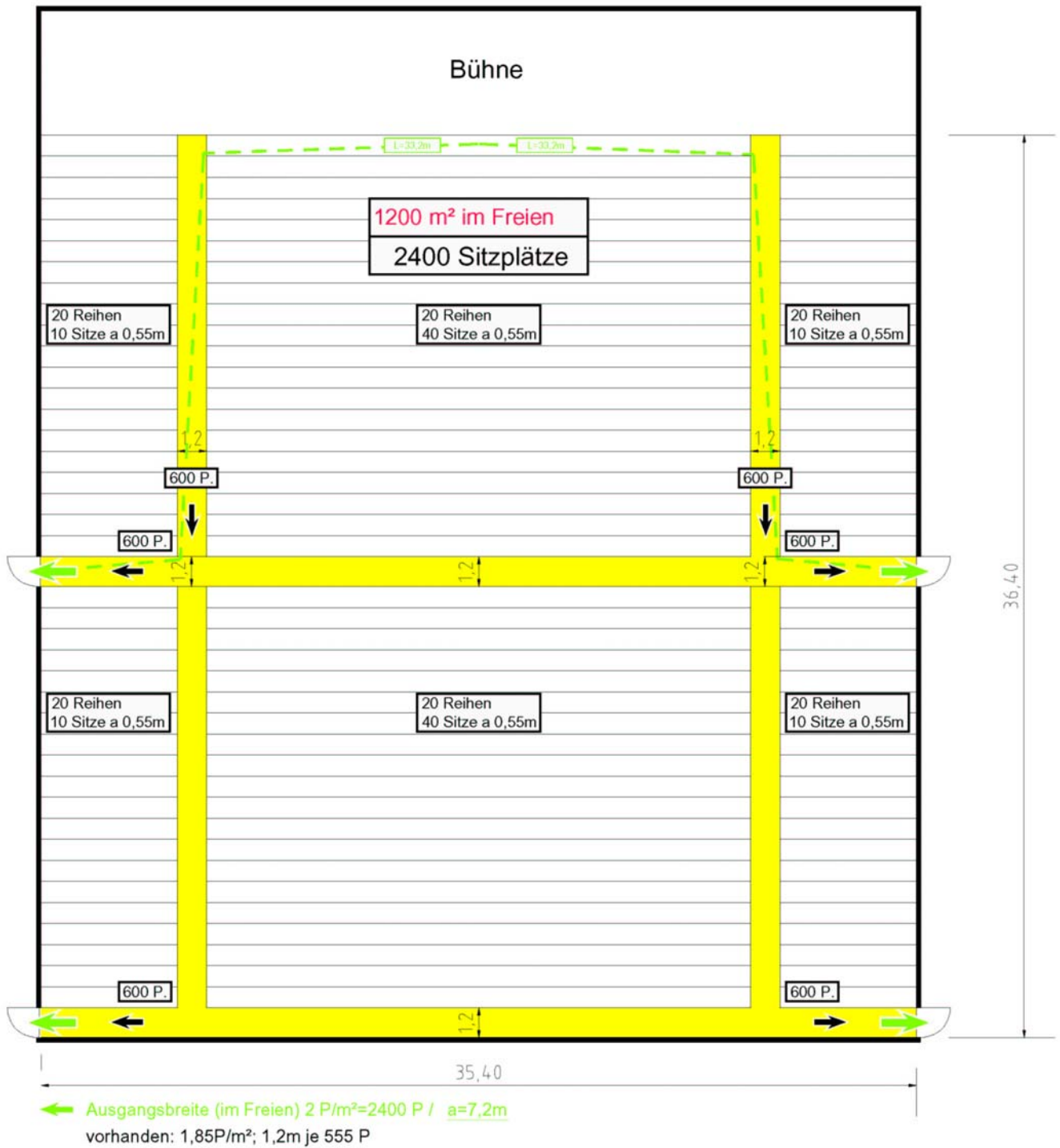


2b – Konzert/Event – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude



← Ausgangsbreite (im Gebäude) 2 P/m<sup>2</sup>=2400 P / a=14,4m  
 vorhanden: 1,67P/m<sup>2</sup>; 1,2m je 200 P

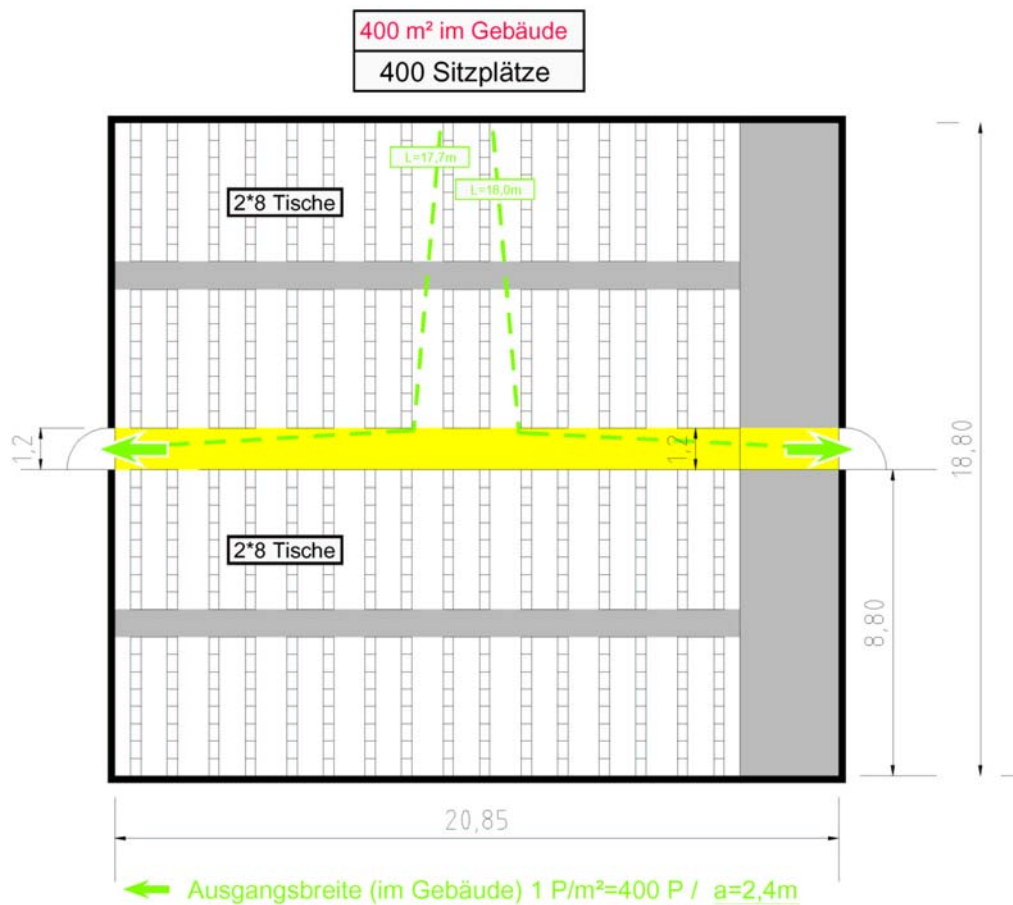
2b – Konzert/Event – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Freien





### 3 Räume mit Tischbestuhlung

3a – Grundfläche 400m<sup>2</sup> - im Gebäude



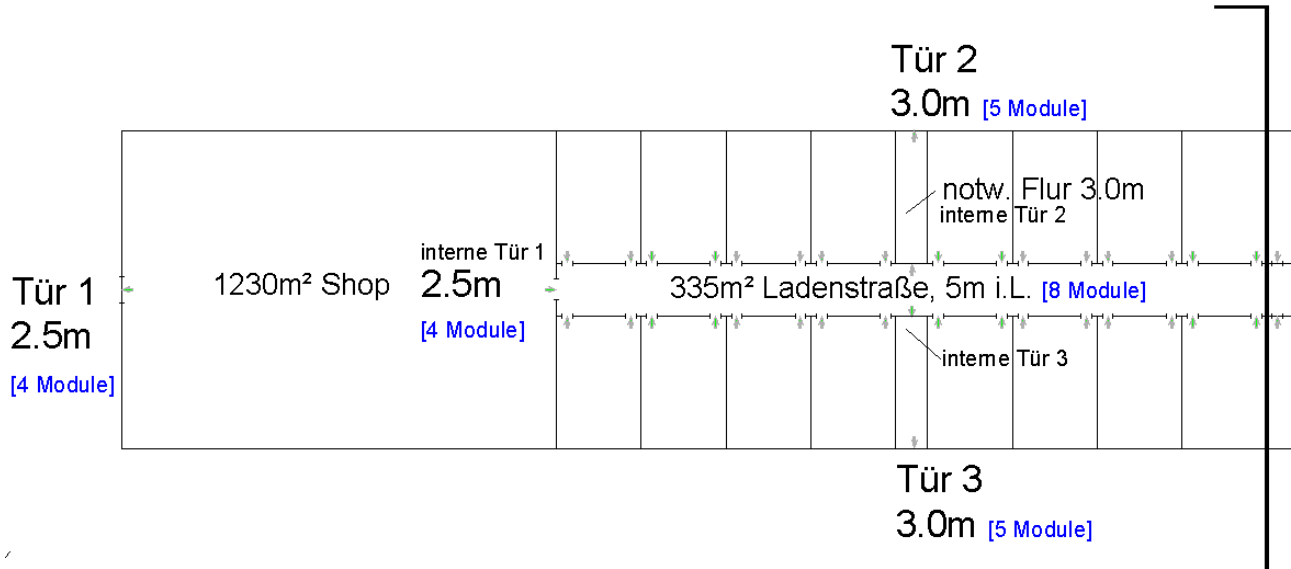
3b – Grundfläche 1200m<sup>2</sup> - im Gebäude





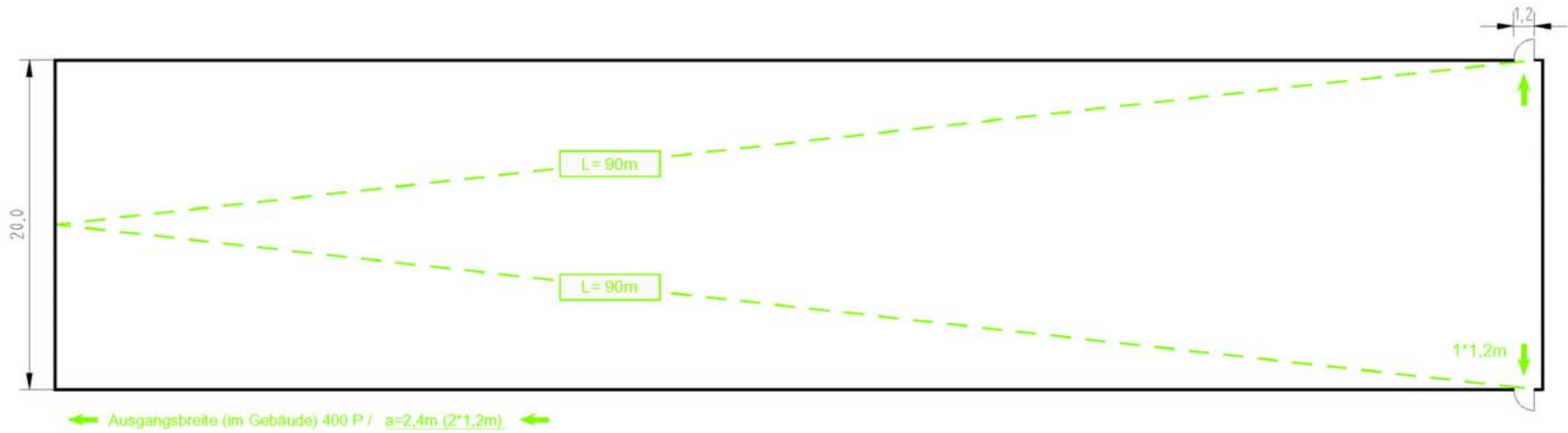
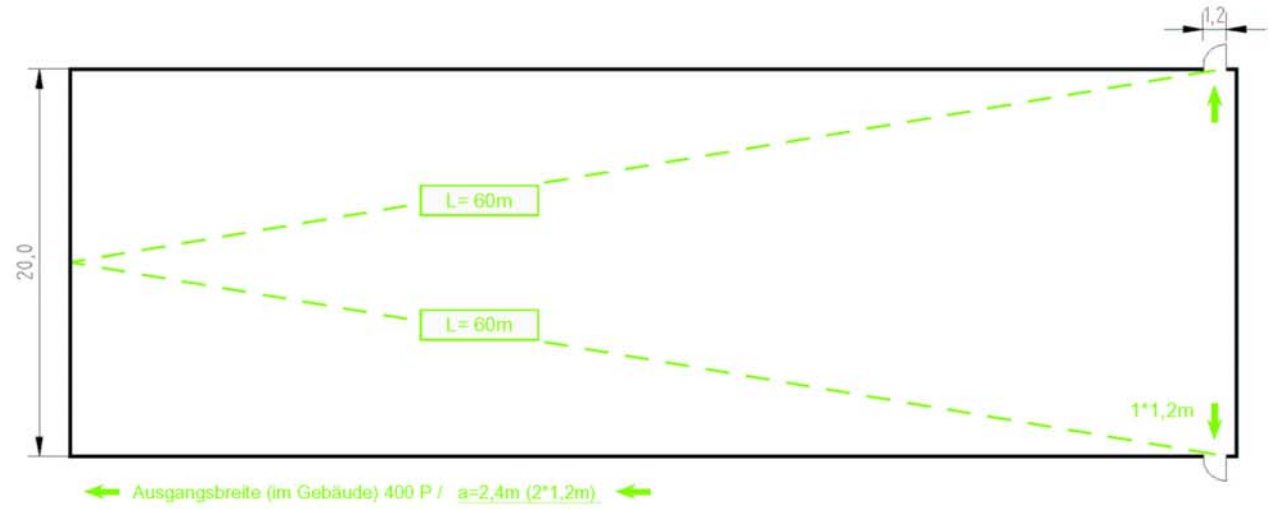
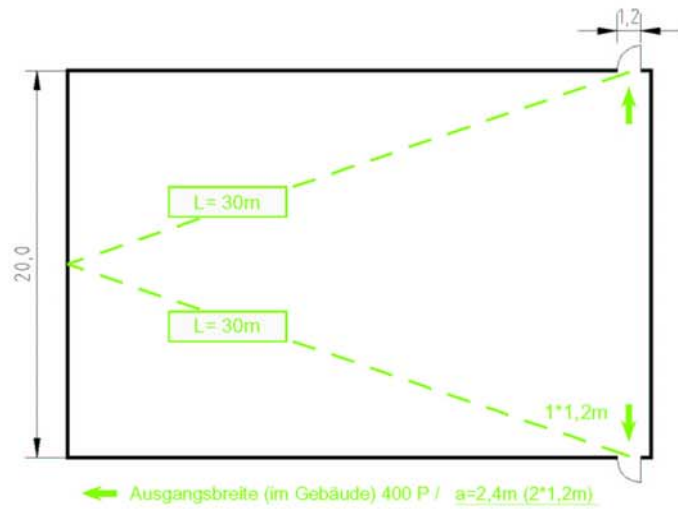
#### 4 Verkaufsstätte mit Ladenstraße

Verkaufsfläche 5560 m<sup>2</sup>  
Ladenstrassefläche 670 m<sup>2</sup>



0,5 Personen je m<sup>2</sup> Verkaufsraum  
Ausgangsbreite nach Vkv: 16,95 m

## 5 Parameterstudie Rettungsweglänge



## Anlage 2

### 1 Eingangsparmeter für Simulationsberechnungen mit PedGo

---

Die Eigenschaften der Personen werden anhand einer statistischen Normalverteilung zugewiesen. Sie stellen einen durchschnittlichen Bevölkerungsquerschnitt dar. Für die Simulationen werden die Standardeinstellungen, welche von dem Programm PedGo vorgegebenen sind, verwendet. Lediglich die Laufgeschwindigkeit und die Reaktionszeit wurden abgeändert. Nachfolgend sind die verwendeten Parameter angegeben.

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-abw.	Einheit
<b>Laufgeschwindigkeit</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	Zellen/s
Geduld	10	40	25	10	s
Schwankwahrscheinlichkeit	1	5	3	2	Zellen
<b>Reaktionszeit</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	s
Trödelwahrscheinlichkeit	0	30	15	5	%
Trägheit	1	5	3	2	%

Die Verteilung der Personen erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Die Personen wählen den rechnerisch kürzesten Weg zum nächstgelegenen Ausgang.

Aufgrund der in PedGo vorgegebenen Zellengröße von 40 x 40 cm wurden die Ausgangsbreiten, welche nach der MVStättV in 60 cm Module angegeben sind, dementsprechend angepasst. Die Ausgangsbreiten werden wie folgt angepasst.

MVStättV	PedGo
1,20 m	0,80 m
1,80 m	1,20 m
2,40 m	1,60 m

Um ein statistisches Ergebnis zu erzielen, wurde für jedes Fallbeispiel eine Mittelwertrechnung durchgeführt, die aus insgesamt 20 Simulationsdurchläufe besteht. Zur detaillierten Auswertung wurde jene Simulation wiederholt, welche die mittlere Entleerungsdauer aufweist.

### 2 Eingangsparmeter für Simulationsberechnungen mit ASERI

---

Personen sind durch ihr Gehvermögen, ihre Schulter- und Brustbreite sowie durch ihre momentane Laufrichtung charakterisiert. Schulter- und Brustbreite können für jede Person individuell gewählt werden. Die Verteilung der Personen erfolgt nach dem Prinzip der Zufallsverteilung.

Um ein statistisches Ergebnis zu erzielen, wurden für jedes Fallbeispiel 5 bis 10 Simulationsdurchläufe gerechnet

## 2.1 Personeneigenschaften ASERI - Standard

<b>Gehvermögen</b>	1,20	<b>Geschw.-Abw.</b>	0,40
<b>Schulterbreiten [m]</b>	0,525	<b>Schulterbr.-Abw.</b>	0,035
<b>Brustbreite [m]</b>	0,315	<b>Brustbr.-Abw.</b>	0,020
<b>Alarmzeit [s]</b>	0	<b>Verzögerungszeit [s]</b>	0

Die Zielbewegung entspricht dem kürzester Weg. Es werden nur solche Türen in den Auswahlprozess einbezogen, zu denen eine direkte, ununterbrochene Sichtlinie besteht.

## 2.2 Personeneigenschaften ASERI - 40/40cm

<b>Gehvermögen</b>	1,20	<b>Geschw.-Abw.</b>	0,40
<b>Schulterbreiten [m]</b>	0,40	<b>Schulterbr.-Abw.</b>	0
<b>Brustbreite [m]</b>	0,40	<b>Brustbr.-Abw.</b>	0
<b>Alarmzeit [s]</b>	0	<b>Verzögerungszeit [s]</b>	0

## 3 Eingangsparemeter für Simulationsberechnungen mit buildingEXODUS

Wie bei den beiden anderen Programmen, wurden auch bei buildingEXODUS die Standardeinstellungen belassen. Lediglich die Gehgeschwindigkeit wurde – im Sinne der Vergleichbarkeit – auf 0.8 – 1.6 m/s festgestellt.

Einstellungen der Population:

Mobility	1.0	Age (years)	20 – 60
Response Time <sup>1</sup>	0	Weight (kg)	40- 90
Drive	5 – 15	Height (m)	1.5- 2.0
Patience (s)	1 – 5	Agility	3 - 7
Fast Walk (m/s)	0.8 – 1.6	Awareness	local Potential

Auch wurden die Verhaltensoptionen in den Standardeinstellungen belassen (bis auf Untersuchungen zum Verhalten "avoid population density" nach Punkt 6.2.5).

Aufgrund der in buildingEXODUS vorgegebenen Zellengröße von 50 x 50 cm wurden die Ausgangsbreiten, welche nach der MVStättV in 60 cm Module angegeben sind, dementsprechend angepasst. Die Ausgangsbreiten werden wie folgt angepasst.

<b>MVStättV</b>	<b>buildingEXODUS</b>
1,20 m	1,00 m
1,80 m	1,50 m
2,40 m	2,00 m

Die Verteilung der Personen erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Um ein statistisches Ergebnis zu erzielen, wurden für jedes Fallbeispiel 5 bis 10 Simulationsdurchläufe gerechnet.

<sup>1</sup> außer bei Fällen nach Punkt 7.3

Anhang 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen - PedGo

	Fallbeispiel		Anzahl Personen	Reaktionsdauer (s)	Ausgangsweiten (m)		Entleerungsdauer (s)	globaler Fluss P/(ms)	spezifischer Fluss je Ausgang P/(ms)													
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	1a_A	Gebäude	2400	0	9,6	*	270	0,93	1,50	0,95	1,71	1,49	0,96	1,52								
2	1a_A	Gebäude	3600	0	14,4	*	368	0,68	1,51	0,86	1,46	1,43	1,38	1,54	1,50	0,86	1,50					
3	1a_A	Gebäude	3600	0	9,6	*	386	0,97	1,51	1,02	1,54	1,47	1,02	1,55								
4	1a_A	Gebäude	2400	0	14,4		239	0,70	1,28	0,54	1,37	1,27	0,67	1,29								
5	1a_A	Gebäude	3600	0	21,6		331	0,50	1,31	0,50	1,24	1,25	1,22	1,26	1,34	0,42	1,35					
6	1a_A	Gebäude	3600	0	14,4		337	0,74	1,33	0,63	1,34	1,29	0,58	1,34								
7	1a_A	Gebäude_mod	2400	0	9,6	*	176	1,42	1,53	1,54	1,50	1,77	1,48	1,54								
8	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	197	1,27	1,48	1,38	1,52	1,52	1,30	1,50	1,53	1,27	1,45					
9	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	9,6	*	258	1,45	1,52	1,53	1,54	1,53	1,54	1,51								
10	1a_A	Gebäude_mod	2400	0	14,4		138	1,21	1,33	1,31	1,27	1,30	1,26	1,27								
11	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	21,6		165	1,01	1,30	1,01	1,27	1,29	0,95	1,31	1,26	0,98	1,25					
12	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	14,4		200	1,25	1,32	1,32	1,35	1,32	1,35	1,32								
13	1a_A	Freie	2400	0	3,2	*	487	1,54	1,56	1,56												
14	1a_A	Freie	3600	0	4,8	*	591	1,27	1,57	1,54	1,58											
15	1a_A	Freie	3600	0	3,2	*	724	1,55	1,54	1,57												
16	1a_A	Freie	2400	0	4,8		360	1,39	1,40	1,41												
17	1a_A	Freie	3600	0	7,2		444	1,13	1,39	1,47	1,41											
18	1a_A	Freie	3600	0	4,8		536	1,40	1,41	1,43												
19	1a_A	Freie_mod	2400	0	3,2	*	486	1,54	1,56	1,56												
20	1a_A	Freie_mod	3600	0	4,8	*	492	1,52	1,56	1,58	1,55											
21	1a_A	Freie_mod	3600	0	3,2	*	724	1,55	1,54	1,57												
22	1a_A	Freie_mod	2400	0	4,8		363	1,38	1,38	1,39												
23	1a_A	Freie_mod	3600	0	7,2		361	1,39	1,42	1,44	1,42											
24	1a_A	Freie_mod	3600	0	4,8		537	1,40	1,39	1,40												
25	1a_B	Gebäude	2400	0	9,6	*	254	0,98	1,51	0,89	1,47	1,49	0,91	1,51								
26	1a_B	Gebäude	3600	0	14,4	*	350	0,71	1,52	0,91	1,13	1,51	1,51	1,43	1,01	0,86	1,51					
27	1a_B	Gebäude	3600	0	9,6	*	362	1,04	1,46	1,05	1,49	1,45	0,96	1,52								
28	1a_B	Gebäude	2400	0	14,4		243	0,69	0,95	0,70	1,11	1,04	0,89	0,75								
29	1a_B	Gebäude	3600	0	21,6		340	0,49	1,05	0,60	0,79	1,09	1,14	1,13	0,76	0,53	1,13					
30	1a_B	Gebäude	3600	0	14,4		346	0,72	0,97	0,76	1,11	1,15	0,96	0,76								
31	1a_B	Gebäude_mod	2400	0	9,6	*	169	1,48	1,55	1,51	1,49	1,55	1,51	1,54								
32	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	180	1,39	1,53	1,55	1,75	1,54	1,54	1,53	1,51	1,51	1,54					
33	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	9,6	*	248	1,51	1,55	1,51	1,57	1,58	1,54	1,54								
34	1a_B	Gebäude_mod	2400	0	14,4		126	1,32	1,38	1,34	1,40	1,38	1,37	1,39								
35	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	21,6		141	1,18	1,41	1,43	1,39	1,38	1,39	1,38	1,42	1,40	1,41					
36	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	14,4		183	1,37	1,38	1,41	1,40	1,39	1,40	1,41								
37	1a_B	Freie	2400	0	3,2	*	487	1,54	1,54	1,57												
38	1a_B	Freie	3600	0	4,8	*	625	1,20	1,16	0,91	1,19											
39	1a_B	Freie	3600	0	3,2	*	536	2,10	1,44	1,40												
40	1a_B	Freie	2400	0	4,8		360	1,39	1,41	1,40												
41	1a_B	Freie	3600	0	7,2		625	0,80	1,16	0,91	1,19											
42	1a_B	Freie	3600	0	4,8		536	1,40	1,44	1,40												
43	1a_B	Freie_mod	3600	0	4,8	*	652	1,15	1,54	1,54	1,57											
44	1a_C	Gebäude	2400	0	9,6	*	384	0,65	1,56	1,57	1,44	1,03	1,09	1,47								
45	1a_C	Gebäude	3600	0	14,4	*	545	0,46	1,57	1,55	0,55	1,21	1,50	1,42	1,43	1,50	0,37					
46	1a_C	Gebäude	3600	0	9,6	*	560	0,67	1,54	1,59	0,92	1,32	1,06	0,60								
47	1a_C	Gebäude	2400	0	14,4		339	0,49	1,18	1,17	1,09	0,85	0,93	1,06								
48	1a_C	Gebäude	3600	0	21,6		483	0,35	1,18	1,19	0,46	0,89	1,24	1,25	1,16	0,97	0,51					
49	1a_C	Gebäude	3600	0	14,4		493	0,51	1,19	1,19	0,98	0,86	1,13	0,88								
50	1a_C	Gebäude_mod	2400	0	9,6	*	276	0,91	0,15	0,33	1,53	1,25	1,25	1,51								
51	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	221	1,13	1,06	1,21	1,53	1,41	1,48	1,47	1,48	1,49	1,52					
52	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	9,6	*	386	0,97	0,38	0,59	1,53	1,25	1,26	1,51								
53	1a_C	Gebäude_mod	2400	0	14,4		238	0,70	0,16	0,34	1,19	0,90	1,05	1,21								
54	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	21,6		183	0,91	0,80	0,84	1,26	1,15	1,28	1,34	1,29	1,22	1,23					
55	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	14,4		324	0,77	0,35	0,49	1,24	1,06	1,08	1,23								
56	1b	Gebäude	9600	0	38,4	*	272	0,92														
57	1b	Gebäude	9600	0	57,6		221	0,75														
58	1b	Gebäude_mod	9600	0	38,4	*	189	1,32														
59	1b	Gebäude_mod	9600	0	57,6		140	1,19														
60	1b	Freie	9600	0	12,8	*	569	1,32	1,71	1,71	1,66	1,70	1,95	1,91	1,86	1,90	1,68	1,72	1,68	1,66		

\* skalierte Ausgangsbreite

Anhang 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen - PedGo

61	1b	Freie	9600	0	19,2		402	1,24	1,48	1,46	1,46	1,46	1,67	1,63	1,63	1,69	1,46	1,48	1,48	1,48
62	1b	Freie_mod	9600	0	12,8	*	488	1,54	1,66	1,71	1,69	1,72	1,88	1,87	1,91	1,88	1,70	1,69	1,66	1,70
63	1b	Freie_mod	9600	0	19,2		338	1,48	1,46	1,46	1,50	1,48	1,67	1,64	1,64	1,69	1,48	1,47	1,48	1,48
64	2a	Gebäude	800	0	3,2	*	189	1,32	1,37	1,27	1,42	1,33								
65	2a	Gebäude	800	0	4,8		139	1,20	1,19	1,18	1,29	1,29								
66	2b_A	Gebäude	2390	0	9,6	*	220	1,13	1,17	1,20	1,25	1,16	1,26	1,22	1,16	1,16				
67	2b_A	Gebäude	2390	0	14,4		168	0,99	1,11	1,15	1,14	1,18	1,18	1,16	1,18	1,20				
68	2b	Freie	2400	0	3,2	*	808	0,93	1,00	1,38	1,41	1,05								
69	2b	Freie	2400	0	4,8		696	0,72	1,04	1,09	1,09	1,03								
70	2b	Freie_mod	2400	0	3,2	*	687	1,09	1,04	1,30	1,31	1,04								
71	2b	Freie_mod	2400	0	4,8		502	1,00	1,04	1,05	1,07	1,05								
72	2d	Gebäude	200	0	1,6	*	93	1,34	1,33	1,45	1,45	1,39								
73	2d	Gebäude	200	0	2,4		85	0,98	1,05	1,05	0,97	1,03								
74	2d	Gebäude	300	0	1,6	*	143	1,31												
75	2d	Gebäude	400	0	1,6	*	194	1,29												
76	3a	Gebäude	400	0	3,2	*	179	0,70	1,54	1,84										
77	3a	Gebäude	400	0	4,8		129	0,65	1,45	1,59										
78	3b	Gebäude	1200	0	4,8	*	210	1,19	1,25	1,24	1,43									
79	3b	Gebäude	1200	0	7,2		155	1,08	1,29	1,31	1,41									
80	4a	Verkaufsstätte	1275	0	5,6	*	303	0,75												
81	4a	Verkaufsstätte	1425	0	5,6	*	336	0,76												
82	4a	Verkaufsstätte	1610	0	5,6	*	394	0,73												
83	4a	Verkaufsstätte	2045	0	5,6	*	476	0,77												
84	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	167	1,50												Bemerkung: maximale Dichte
85	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	154	1,62												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
86	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	206	1,21												Bemerkung: maximale Dichte
87	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	156	1,60												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
88	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	239	1,05												Bemerkung: maximale Dichte
89	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	171	1,46												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
90	5	RW Länge, 30m	400	0	2,4		131	1,27												Bemerkung: maximale Dichte
91	5	RW Länge, 30m	400	0	2,4		115	1,45												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
92	5	RW Länge, 60m	400	0	2,4		168	0,99												Bemerkung: maximale Dichte
93	5	RW Länge, 60m	400	0	2,4		119	1,40												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
94	5	RW Länge, 90m	400	0	2,4		206	0,81												Bemerkung: maximale Dichte
95	5	RW Länge, 90m	400	0	2,4		170	0,98												Bemerkung: gleichmäßige Dichte
96	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	306	0,82												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, maximale Dichte
97	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	289	0,87												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
98	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	337	0,74												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, maximale Dichte
99	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	292	0,86												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
100	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	368	0,68												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, maximale Dichte
101	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	292	0,86												Bemerkung: 1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte

\* skalierte Ausgangsbreite

### Anlage 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simualtionsberechnungen - ASERI

	Fallbeispiel		Anzahl Personen	Reaktionsdauer (s)	Ausgangsbreiten (m)		Entleerungsdauer (s)	globaler Fluss P/(ms)	Bemerkungen
1	1a_A	Gebäude	2400	0	9,6	*	227	1,10	
2	1a_A	Gebäude	3600	0	14,4	*	322	0,78	
3	1a_A	Gebäude	3600	0	9,6	*	339	1,11	
4	1a_A	Gebäude	2400	0	9,6	*	330	0,76	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
5	1a_A	Gebäude	3600	0	9,6	*	494	0,76	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
6	1a_A	Gebäude	2400	0	14,4		159	1,05	
7	1a_A	Gebäude	3600	0	21,6		202	0,83	
8	1a_A	Gebäude	3600	0	14,4		204	1,23	
9	1a_A	Gebäude	2400	0	14,4		228	0,73	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
10	1a_A	Gebäude	3600	0	14,4		327	0,76	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
11	1a_A	Gebäude_mod	2400	0	9,6	*	121	2,07	
12	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	158	1,58	
13	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	9,6	*	178	2,11	
14	1a_A	Gebäude_mod	2400	0	14,4		75	2,22	
15	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	21,6		87	1,92	
16	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	14,4		107	2,34	
17	1a_A	Freie	2400	0	3,2	*	298	2,52	
18	1a_A	Freie	3600	0	4,8	*	386	1,94	
19	1a_A	Freie	3600	0	3,2	*	443	2,54	
20	1a_A	Freie	3600	0	3,2	*	309	3,64	Modus "Gefahr"
21	1a_A	Freie	2400	0	4,8		189	2,65	
22	1a_A	Freie	3600	0	7,2		229	2,18	
23	1a_A	Freie	3600	0	4,8		276	2,72	
24	1a_A	Freie	3600	0	4,8		227	3,30	Modus "Gefahr"
25	1a_A	Freie_mod	3600	0	4,8	*	289	2,60	
26	1a_A	Freie_mod	3600	0	7,2		179	2,79	
27	1a_B	Gebäude	2400	0	9,6	*	219	1,14	
28	1a_B	Gebäude	3600	0	14,4	*	329	0,76	
29	1a_B	Gebäude	3600	0	9,6	*	328	1,14	
30	1a_B	Gebäude	2400	0	14,4		194	0,86	
31	1a_B	Gebäude	3600	0	21,6		283	0,59	
32	1a_B	Gebäude	3600	0	14,4		288	0,87	
33	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	112	2,23	
34	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	21,6		68	2,45	
35	1a_B	Freie	2400	0	3,2	*	298	2,52	
36	1a_B	Freie	3600	0	4,8	*	410	1,83	
37	1a_B	Freie	3600	0	3,2	*	443	2,54	
38	1a_B	Freie	2400	0	3,2	*	383	1,96	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
39	1a_B	Freie	3600	0	3,2	*	654	1,72	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
40	1a_B	Freie	2400	0	4,8		189	2,65	
41	1a_B	Freie	3600	0	7,2		372	1,34	
42	1a_B	Freie	3600	0	4,8		276	2,72	
43	1a_B	Freie	2400	0	4,8		235	2,13	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
44	1a_B	Freie	3600	0	4,8		385	1,95	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen

\* skalierte Ausgangsbreite (ASERI 40/40cm)

Kersken + Kirchner GmbH

### Anlage 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simualtionsberechnungen - ASERI

45	1a_B	Freie_mod	3600	0	4,8	*	382	1,96	
46	1a_B	Freie_mod	3600	0	7,2		225	2,22	
47	1a_C	Gebäude	2400	0	9,6	*	193	1,30	
48	1a_C	Gebäude	3600	0	14,4	*	282	0,89	
49	1a_C	Gebäude	3600	0	9,6	*	290	1,29	
50	1a_C	Gebäude	2400	0	14,4		180	0,93	
51	1a_C	Gebäude	3600	0	21,6		259	0,64	
52	1a_C	Gebäude	3600	0	14,4		266	0,94	
53	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	14,4	*	279	0,90	
54	1b	Gebäude	9600	0	38,4	*	430	0,58	
55	1b	Gebäude	9600	0	57,6		165	1,01	
56	1b	Gebäude_mod	9600	0	38,4	*	393	0,64	
57	1b	Gebäude_mod	9600	0	57,6		246	0,68	
58	1b	Freie	9600	0	12,8	*	511	1,47	
59	1b	Freie	9600	0	19,2		243	2,06	
60	1b	Freie_mod	9600	0	12,8	*	443	1,69	
61	1b	Freie_mod	9600	0	19,2		205	2,44	
62	2a	Gebäude	800	0	3,2	*	98	2,55	
63	2b_A	Gebäude	2390	0	9,6	*	165	1,51	
64	2b_A	Gebäude	2390	0	14,4		91	1,82	
65	2b	Freie	2400	0	3,2	*	461	1,63	
66	2b	Freie	2400	0	4,8		317	1,58	
67	2b	Freie_mod	2400	0	3,2	*	322	2,33	
68	2d	Gebäude	200	0	1,6	*	82	1,52	
69	2d	Gebäude	200	0	2,4		45	1,85	
70	3a	Gebäude	400	0	3,2	*	133	0,94	
71	3a	Gebäude	400	0	4,8		80	1,04	
72	3a	Gebäude	400	0	3,2	*	162	0,77	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
73	3a	Gebäude	400	0	4,8		128	0,65	Modellierung mit Zwischenraum vor den Ausgängen
74	3b	Gebäude	1200	0	4,8	*	131	1,91	
75	3b	Gebäude	1200	0	7,2		66	2,53	
76	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	160	1,56	gleichmäßige Dichte
77	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	164	1,52	gleichmäßige Dichte
78	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	165	1,52	gleichmäßige Dichte
79	5	RW Länge, 30m	400	0	2,4		74	2,25	gleichmäßige Dichte
80	5	RW Länge, 60m	400	0	2,4		79	2,11	gleichmäßige Dichte
81	5	RW Länge, 90m	400	0	2,4		109	1,53	gleichmäßige Dichte
82	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6	*	139	1,80	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
83	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6	*	142	1,76	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
84	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6	*	142	1,76	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
85	5	RW Länge, 30m	400	0	1,6		296	0,84	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
86	5	RW Länge, 60m	400	0	1,6		294	0,85	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte
87	5	RW Länge, 90m	400	0	1,6		305	0,82	1 Ausgang nicht verfügbar, gleichmäßige Dichte

\* skalierte Ausgangsbreite (ASERI 40/40cm)

Kersken + Kirchner GmbH



Anlage 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen - EXODUS

	Fallbeispiel		Anzahl Personen	Reaktionsdauer (s)	Ausgangsbreiten (m)	Entleerungsdauer (s)	globaler Fluss P/(ms)	Bemerkungen
1	1a_A	Gebäude	3600	0	12	341	0,88	
2	1a_A	Gebäude	2400	0	12	234	0,85	
3	1a_A	Gebäude	3600	0	18	291	0,69	
4	1a_A	Gebäude_mod	3600	0	18	192	1,04	
5	1a_A	Freie	3600	0	4	783	1,15	
6	1a_A	Freie	2400	0	4	584	1,03	
7	1a_A	Freie	3600	0	6	648	0,93	
8	1a_A	Freie_mod	3600	0	6	523	1,15	
9	1a_B	Gebäude	2400	0	12	236	0,85	
10	1a_B	Gebäude	3600	0	18	297	0,67	
11	1a_B	Gebäude	3600	0	12	336	0,89	
12	1a_B	Gebäude_mod	3600	0	18	200	1,00	
13	1a_B	Freie	3600	0	4	782	1,15	
14	1a_B	Freie	2400	0	4	530	1,13	
15	1a_B	Freie	3600	0	6	649	0,92	
16	1a_C	Gebäude	2400	0	12	412	0,49	
17	1a_C	Gebäude	3600	0	18	540	0,37	
18	1a_C	Gebäude	3600	0	18	320	0,63	max. spezifischer Fluss nicht begrenzt
19	1a_C	Gebäude	3600	0	12	590	0,51	
20	1a_C	Gebäude_mod	2400	0	12	200	1,00	
21	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	12	310	0,97	
22	1a_C	Gebäude_mod	3600	0	20,5	208	0,84	
23	1b	Gebäude	9600	0	48	219	0,91	
24	1b	Freie	9600	0	16	571	1,05	
25	1b	Freie_mod	9600	0	16	507	1,18	
26	2a	Gebäude	800	0	4	190	1,05	
27	2b_A	Gebäude	2390	0	12	189	1,05	
28	2b	Freie	2400	0	4	738	0,81	
29	2d	Gebäude	200	0	2	173	0,58	
30	3a	Gebäude	400	0	4	177	0,56	
31	4a	Verkaufsstätte	1275	0	8	202	0,79	keine Personen auf der Ladenstraße
32	4a	Verkaufsstätte	1275	0	8	199	0,80	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
33	4a	Verkaufsstätte	1425	0	8	229	0,78	150 Personen auf der Ladenstraße
34	4a	Verkaufsstätte	1610	0	8	260	0,77	335 Personen auf der Ladenstraße
35	4a	Verkaufsstätte	1610	0	8	260	0,77	335 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
36	4a	Verkaufsstätte	1610	0	8	295	0,68	335 Personen auf der Ladenstraße, Pers. in gr. Laden zu 90% auf Ladenstraße
37	4a	Verkaufsstätte	2045	0	8	315	0,81	770 Personen auf der Ladenstraße
38	4a	Verkaufsstätte	2045	0	8	320	0,80	770 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
39	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	206	0,77	keine Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert
40	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	203	0,79	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert
41	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	232	0,69	keine Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert, Ausfall 60sec.
42	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	220	0,72	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert, Ausfall 60sec.
43	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	239	0,67	keine Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert, Ausfall 30sec.
44	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8	227	0,70	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert, Ausfall 30sec.

Anlage 3 - Zusammenfassung der Ergebnisse der Simulationsberechnungen - EXODUS

45	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8		253	0,63	keine Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert, Ausfall 0sec.
46	4b	Verkaufsstätte	1275	0	8		229	0,70	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert, Ausfall 0sec.
47	4b	Verkaufsstätte	1610	0	8		252	0,80	335 Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert
48	4b	Verkaufsstätte	1610	0	8		252	0,80	335 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert
49	4b	Verkaufsstätte	2045	0	8		327	0,78	770 Personen auf der Ladenstraße, Ladenstraße möbliert
50	4b	Verkaufsstätte	2045	0	8		333	0,77	770 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", Ladenstraße möbliert
51	4c	Verkaufsstätte	1275	0	8		225	0,71	keine Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
52	4c	Verkaufsstätte	1275	0	8		211	0,76	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
53	4c	Verkaufsstätte	1610	0	8		269	0,75	335 Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
54	4c	Verkaufsstätte	1610	0	8		253	0,80	335 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
55	4c	Verkaufsstätte	2045	0	8		347	0,74	770 Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
56	4c	Verkaufsstätte	2045	0	8		334	0,77	770 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
57	4d	Verkaufsstätte	1275	0-60	8		218	0,73	keine Personen auf der Ladenstraße
58	4d	Verkaufsstätte	1425	0-60	8		232	0,77	150 Personen auf der Ladenstraße
59	4d	Verkaufsstätte	1610	0-60	8		272	0,74	335 Personen auf der Ladenstraße
60	4d	Verkaufsstätte	1610	0-60	8		315	0,64	335 Personen auf der Ladenstraße, Pers. in gr. Laden zu 90% auf Ladenstraße
61	4d	Verkaufsstätte	2045	0-60	8		339	0,75	770 Personen auf der Ladenstraße
62	4d	Verkaufsstätte	1275	0-120	8		220	0,72	keine Personen auf der Ladenstraße
63	4d	Verkaufsstätte	1425	0-120	8		246	0,72	150 Personen auf der Ladenstraße
64	4d	Verkaufsstätte	1610	0-120	8		283	0,71	335 Personen auf der Ladenstraße
65	4d	Verkaufsstätte	1610	0-120	8		323	0,62	335 Personen auf der Ladenstraße, Pers. in gr. Laden zu 90% auf Ladenstraße
66	4d	Verkaufsstätte	2045	0-120	8		358	0,71	770 Personen auf der Ladenstraße
67	4d	Verkaufsstätte	1275	0-Ende	8		280	0,57	keine Personen auf der Ladenstraße
68	4d	Verkaufsstätte	1425	0-Ende	8		275	0,65	150 Personen auf der Ladenstraße
69	4d	Verkaufsstätte	1610	0-Ende	8		339	0,59	335 Personen auf der Ladenstraße
70	4d	Verkaufsstätte	1610	0-Ende	8		378	0,53	335 Personen auf der Ladenstraße, Pers. in gr. Laden zu 90% auf Ladenstraße
71	4d	Verkaufsstätte	2045	0-Ende	8		465	0,55	770 Personen auf der Ladenstraße
72	4e	Verkaufsstätte	1275	0	10		175	0,73	keine Personen auf der Ladenstraße
73	4e	Verkaufsstätte	1275	0	10		170	0,75	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
74	4e	Verkaufsstätte	1610	0	10		192	0,84	335 Personen auf der Ladenstraße
75	4e	Verkaufsstätte	1610	0	10		170	0,95	335 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
76	4e	Verkaufsstätte	2045	0	10		222	0,92	770 Personen auf der Ladenstraße
77	4e	Verkaufsstätte	2045	0	10		210	0,97	770 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density"
78	4f	Verkaufsstätte	1275	0	10		219	0,58	keine Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
79	4f	Verkaufsstätte	1275	0	10		214	0,60	keine Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
80	4f	Verkaufsstätte	1610	0	10		260	0,62	335 Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
81	4f	Verkaufsstätte	1610	0	10		211	0,76	335 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
82	4f	Verkaufsstätte	2045	0	10		322	0,64	770 Personen auf der Ladenstraße, RW Länge 55m
83	4f	Verkaufsstätte	2045	0	10		264	0,77	770 Personen auf der Ladenstraße, Modus "avoid pop. Density", RW Länge 55m
84	5	RW Länge, 30m	400	0	2		175	1,14	gleichmäßige Dichte
85	5	RW Länge, 60m	400	0	2		168	1,19	gleichmäßige Dichte
86	5	RW Länge, 60m	400	0	2		92	2,17	gleichmäßige Dichte, max. spezifischer Fluss nicht begrenzt
87	5	RW Länge, 90m	400	0	2		171	1,17	gleichmäßige Dichte
88	5	RW Länge, 30m	400	0	2		191	1,05	maximale Dichte
89	5	RW Länge, 60m	400	0	2		203	0,99	maximale Dichte
90	5	RW Länge, 90m	400	0	2		226	0,88	maximale Dichte