

Analyse senden an:	email@rimea.de
Betreff:	Analyse

Absender:	
Name:	Dr. Angelika Kneidl
Unternehmen:	accu:rate
Adresse:	Goethestraße 28
Land, PLZ, Ort:	Deutschland, 80336 München
URL:	www.accu-rate.de
E - Mail:	info@accu-rate.de
Datum:	29.Jan..2024

Softwaredaten	
Programmname:	crowd:it
Hersteller:	accu:rate GmbH
Version:	2.27.x

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Einleitung RiMEA	4
2	Test 1 – Beibehalten der vorgegebenen Geschwindigkeit in einem Gang	5
2.1	Testvorschrift	5
2.2	Modell	5
2.3	Dokumentation	5
3	Test 2 & 3 – Einhaltung der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit auf Treppen (Treppenmodell)	7
3.1	Testvorschrift	7
3.2	Modell	7
3.3	Dokumentation	7
4	Test 2 & 3 – Einhaltung der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit auf Treppen (Scaled Areas)	9
4.1	Testvorschrift	9
4.2	Modell	9
4.3	Dokumentation	9
5	Test 4 – Messung des Fundamentaldiagramms	11
5.1	Testvorschrift	11
5.2	Modell	11
5.3	Dokumentation	11
6	Test 5 – Reaktionszeiten	13
6.1	Testvorschrift	13
6.2	Modell	13
6.3	Dokumentation	13
7	Test 6 – Bewegung um eine Ecke	15
7.1	Testvorschrift	15
7.2	Modell	15
7.3	Dokumentation	15
8	Test 7 – Zuordnung der demographischen Parameter	17
8.1	Testvorschrift	17
8.2	Modell	17
8.3	Dokumentation	18

9	Test 8 – Parameteranalyse	20
9.1	Testvorschrift	20
9.2	Modell	20
9.3	Dokumentation	21
10	Test 9 – Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum	24
10.1	Testvorschrift	24
10.2	Modell	25
10.3	Dokumentation	25
11	Test 11 – Wahl des Rettungsweges	27
11.1	Testvorschrift	27
11.2	Modell	27
11.3	Dokumentation	28
12	Test 12 – Auswirkung von Engstellen	30
12.1	Testvorschrift	30
12.2	Modell	30
12.3	Dokumentation	30
13	Test 13 – Stau vor einer Treppe	33
13.1	Testvorschrift	33
13.2	Modell	33
13.3	Dokumentation	33
14	Test 14 – Routenwahl	36
14.1	Testvorschrift	36
14.2	Modell	36
14.3	Dokumentation	36
15	Test 15 – Bewegung einer großen Menge Personen um eine Ecke	39
15.1	Testvorschrift	39
15.2	Modell	39
15.3	Dokumentation	40

1 Einleitung

1.1 Einleitung RiMEA

Nachfolgend zusammengefasst sind die Ergebnisse der Analyse durch **accu:rate GmbH** mit dem Simulationsprogramm **crowd:it**. Die durchgeführten Testfälle sind in der durch das RiMEA-Projekt entwickelten *Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen* [RiM14] erläutert.

2 Test 1 – Beibehalten der vorgegebenen Geschwindigkeit in einem Gang

2.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass eine Person mit einer definierten Gehgeschwindigkeit einen Gang in der sich daraus ergebenden Dauer durchquert [RiM14].

Parameter	Wert
Ganglänge [m]	40
Gangbreite [m]	2
Anzahl der Durchläufe	100
Gehgeschwindigkeit [m/s]	0.46 - 1.61 [Wei92]

Tabelle 1: Testvorgaben [RiM14]

2.2 Modell

Der Gang sowie die Gehgeschwindigkeit wurden nach den Vorgaben (siehe Tabelle 1) modelliert. Es wurde pro Simulationslauf eine Person generiert, um keine Seiteneffekte bezüglich Abbremsverhalten und Dichte zu erhalten.

2.3 Dokumentation

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, erreicht die Person in jedem der 100 Simulationsläufe fast die vorgegebene Geschwindigkeit.

Der Test verifiziert, dass Personen mit vorgegebenen Geschwindigkeiten im Simulator mit vorgegebenen Geschwindigkeiten simuliert werden können.

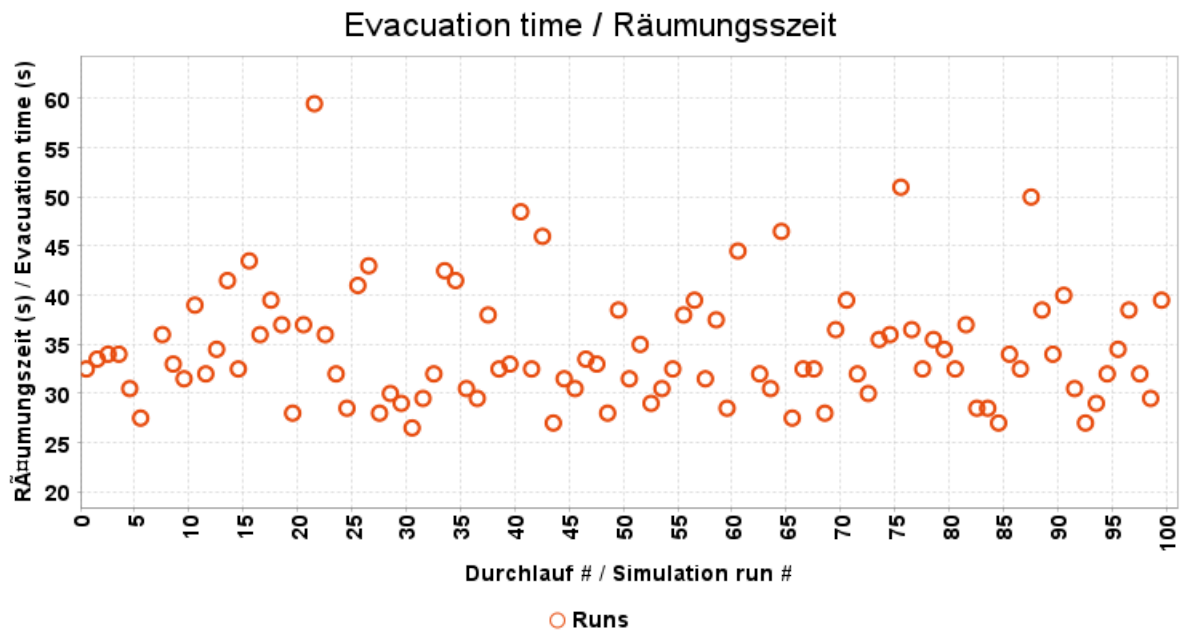


Abbildung 1: Laufzeit aller Agenten

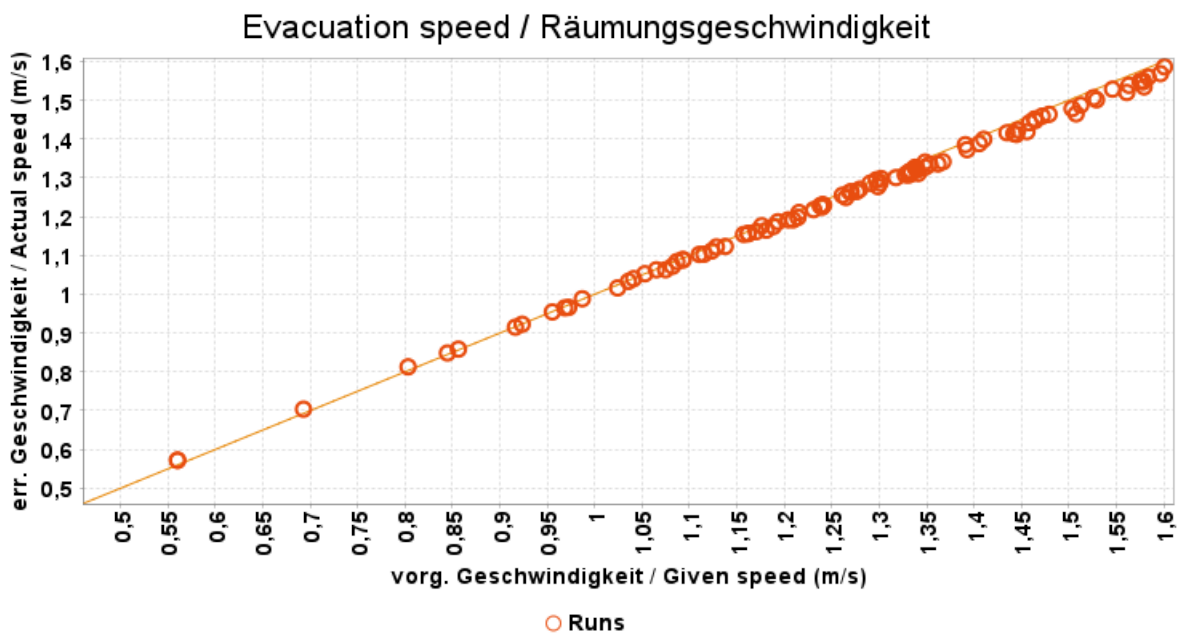


Abbildung 2: Vergleich zwischen vorgegebener und erreichter Geschwindigkeit der Agenten

3 Test 2 & 3 – Einhaltung der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit auf Treppen (Treppenmodell)

3.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass eine Person mit einer definierten Gehgeschwindigkeit eine Treppe in einer entsprechenden Dauer hinauf geht [RiM14].

Wir führen die Tests 2 und 3 zusammen und betrachten zwei Möglichkeiten, Treppen in crowd:it abzubilden: skalierte Bereiche sowie mit einem Treppenmodell [GK15]. In diesem Test weisen wir das Abbremsverhalten über das Treppenmodell nach.

Parameter	Wert
Treppenlänge [m]	10
Treppenbreite [m]	2
Anzahl der Durchläufe	100
Gehgeschwindigkeit [km / h]	[Wei92]

Tabelle 2: Testvorgaben [RiM14]

3.2 Modell

Treppen werden wie in [GK15] abgebildet. Das Szenario wurde wie in Table 2 vorgeschrieben modelliert. Insgesamt wurden fünf verschiedene Treppensteigungen mit 26 Stufen und Tiefen von 260mm, 270mm, 280mm, 290mm und 300mm, getestet [DIN15]. Die Treppe besteht aus 26 Stufen, um eine stabile Messung zu ermöglichen. Die Stufenhöhe wird konstant auf 170mm gesetzt.

3.3 Dokumentation

Abbildung 3 bestätigt, dass das Treppenmodell die Agenten in Abhängigkeit der Stufentiefe und -höhe der jeweiligen Treppe unterschiedlich stark abbremst. Hinweis: Das Treppenmodell verzögert die Agenten damit nicht alle um den gleichen Faktor; vielmehr werden Agenten, die schneller in der Ebene gehen, verhältnismäßig stärker auf den Treppen aufgrund der kürzeren Schrittweite abgebremst.

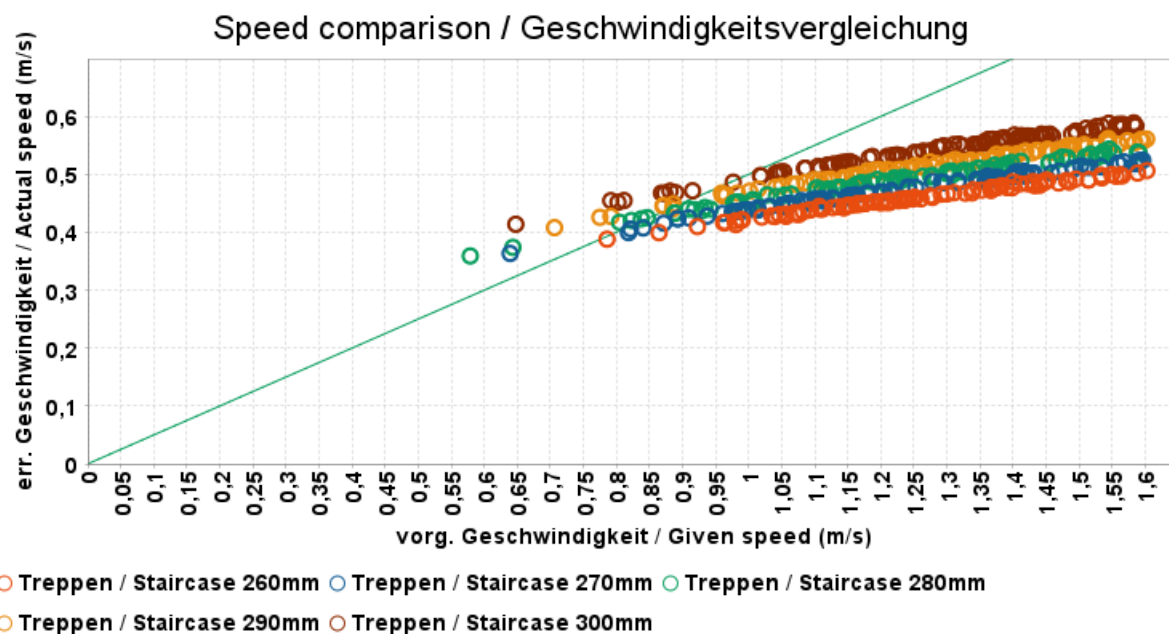


Abbildung 3: Agentengeschwindigkeiten im Vergleich zu ihren Sollgeschwindigkeiten für verschiedene Treppentypen

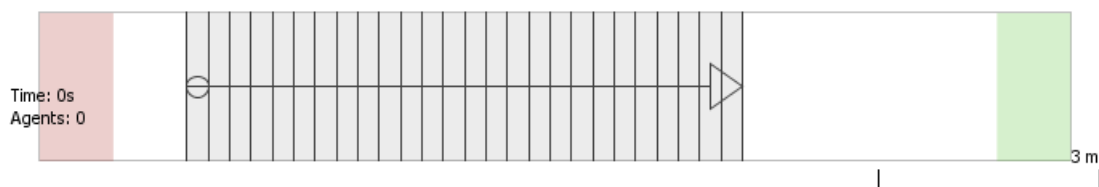


Abbildung 4: Screenshot des Szenarios

4 Test 2 & 3 – Einhaltung der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit auf Treppen (Scaled Areas)

4.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass eine Person mit einer definierten Gehgeschwindigkeit eine Treppe in einer entsprechenden Dauer hinab geht [RiM14]. Wie in Test 2 bereits beschrieben, testen wir die beiden Möglichkeiten, Treppen in crowd:it abzubilden. Hier untersuchen wir den Effekt von skalierten Bereichen.

Parameter	Wert
Treppenlänge [m]	10
Treppenbreite [m]	2
Anzahl der Durchläufe	100
Gehgeschwindigkeit [km / h]	[Wei92]

Tabelle 3: Testvorgaben [RiM14]

4.2 Modell

Skalierte Bereiche nehmen die gewünschte Gehgeschwindigkeit des Agenten als Eingabe und reduzieren die Geschwindigkeit des Agenten um den angegebenen Faktor. Um zu zeigen, dass die Agenten mit unterschiedlichen Faktoren korrekt abgebremst werden, setzen wir die Werte auf 0,5, 0,6 und 0,7. Das heißt, der Agent wird auf $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{5}$ und $\frac{7}{10}$ seiner gewünschten Geschwindigkeit abgebremst.

4.3 Dokumentation

Abbildung 5 zeigt, dass die Agenten innerhalb der skalierten Bereiche korrekt abgebremst werden.

Speed comparison / Geschwindigkeitsvergleich

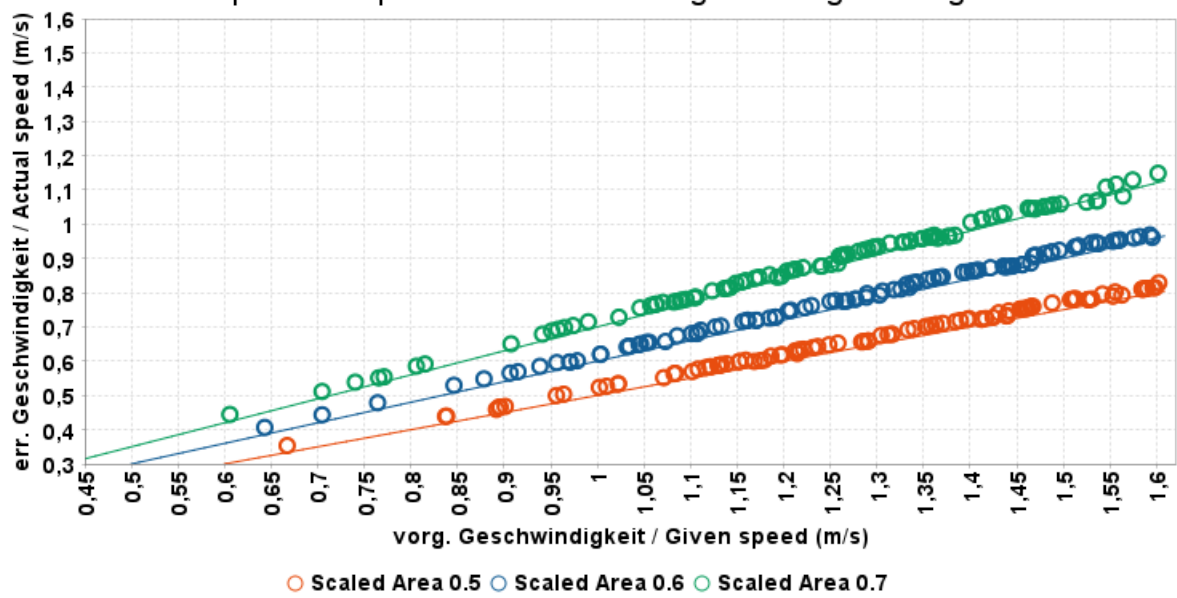


Abbildung 5: Agentengeschwindigkeiten im Vergleich zu ihren Sollgeschwindigkeiten für verschiedene Treppentypen

5 Test 4 – Messung des Fundamentaldiagramms

5.1 Testvorschrift

Zu zeigen ist, wie sich die mittlere Geschwindigkeit einer Personengruppe in einem Korridor verändert, wenn die Personendichte verändert wird. Dafür wird der Korridor mit unterschiedlichen Personendichten gefüllt. Dies soll anhand des Fundamentaldiagramms dargestellt werden. Die Geschwindigkeit und die Dichte soll in drei Messkacheln gemessen und über den gesamten Messhorizont von 50 Sekunden gemittelt werden.

Parameter	Wert
Korridorlänge [m]	1000
Korridorbreite [m]	10
Größe der Messkacheln [m × m]	2 × 2
Messdauer [s]	50
Personendichten [Pers / m ²]	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5

Tabelle 4: Testvorgaben [RiM14]

5.2 Modell

Das Szenario wurde exakt nach den Vorgaben konstruiert.

Zur Messung unterschiedlicher Personendichten wurden mehrere Simulationen mit jeweils unterschiedlicher Personenanzahl durchgeführt. Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Fluss in x-Richtung durch den Korridor anhand einer Messlinie in der Mitte des Korridors bei 500 m
- Dichte innerhalb eines Messquadrats von 10 x 10 m symmetrisch um die Messlinie

Die Messwerte werden nach Vorschrift über die Messzeit (50 Sekunden) gemittelt.

5.3 Dokumentation

Für den Personenfluss zählen wir alle Personen, die die Messlinie von links nach rechts überqueren. Die Anzahl der Personen wird über 10 Sekunden gemittelt dann auf die spezifische Flussrate umgerechnet.

Für die Dichteberechnung zählen wir im Messquadrat alle Personen, die entweder im Quadrat stehen oder mit dem Messquadrat überlappen. Diese werden dann anteilig dazugerechnet. Dazu wird die Schnittfläche hinzugerechnet.

Damit ist jeder in Abbildung 6 dargestellte Datenpunkt eine Mittlung aller Werte über die gesamte Messdauer von 50 Sekunden nach 10 Sekunden Einschwingphase.

Zum Vergleich haben wir die Weidmann-Kurve [Wei92] mit dargestellt:

$$v = 1.34 \cdot \delta \cdot \left(1 - e^{-1.913 \cdot \left(\frac{1}{\delta} - \frac{1}{5.4}\right)}\right) \quad (1)$$

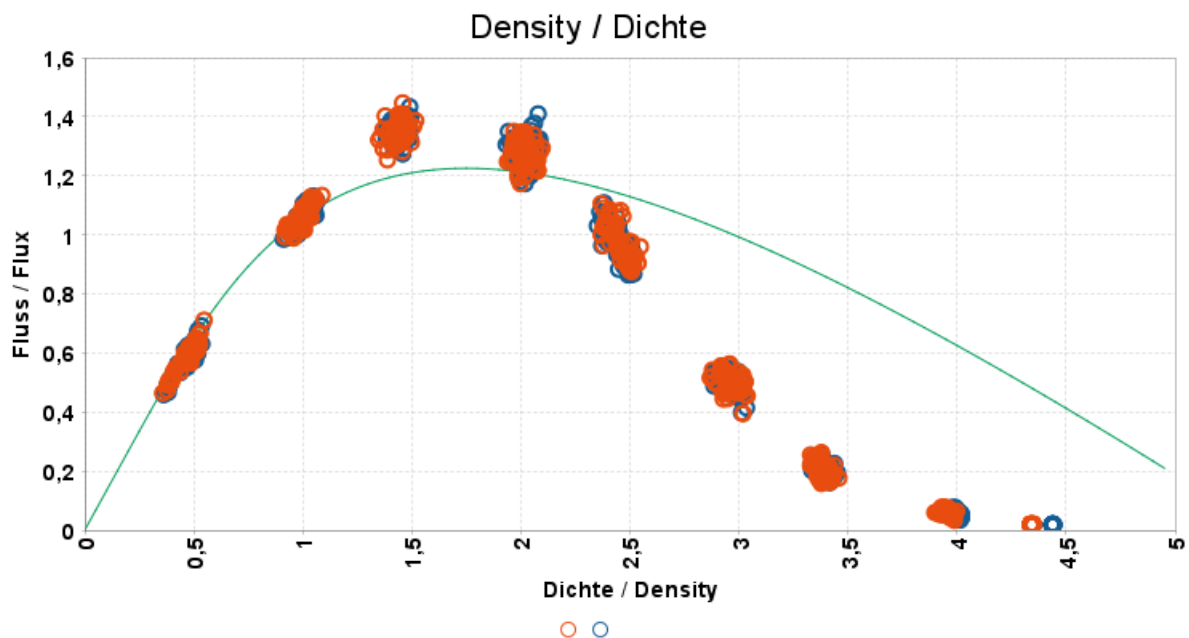


Abbildung 6: Fundamentaldiagramm

Test 4 zeigt, dass crowd:it in der Lage ist, größere Dichten abzubilden und die dadurch resultierende Abbremsung der Agenten zu simulieren. Je höher die Dichten, desto geringer werden die Geschwindigkeiten, so wie es das Fundamentaldiagramm vorgibt. Die Simulation trifft die Weidmann Kurve bis Dichten von 2.5 Pers/qm sehr gut, bei höheren Dichten nimmt der Fluss in der Simulation stärker ab als bei der Weidmann Kurve. Wir betrachten den Test 4 somit als bestanden.

6 Test 5 – Reaktionszeiten

6.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass in einer Personengruppe mit unterschiedlichen Reaktionsdauern jede Person zu einer passenden Zeit startet. Dies soll innerhalb eines Raums mit einem Ausgang modelliert werden [RiM14].

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	100
Anzahl der Simulationsläufe	10
Reaktionsdauerverteilung [s]	$U[1, 100]$
Raumgröße [m × m]	8×5
Ausgangsbreite [m]	1

Tabelle 5: Testvorgaben [RiM14]

6.2 Modell

Es wurde ein Raum mit den vorgeschriebenen Maßen erstellt.

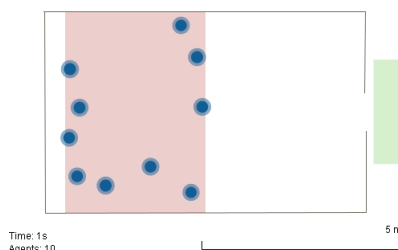


Abbildung 7: Screenshot des Szenarios

6.3 Dokumentation

Wie sehr gut zu sehen ist, starten die Personen in regelmäßigen Abständen aufsummiert über alle 10 Simulationsläufe. Um noch zu verifizieren, dass sie tatsächlich gleichverteilt zwischen und 100 Sekunden starten, wurde ein Test auf Gleichverteilung nach dem Kolmogorov-Smirnov -Einstichprobentest gewählt. Damit ist es möglich zu testen, ob eine Stichprobe einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung entspricht. Die Reaktionszeiten sind nach diesem Test gleichverteilt zwischen 1 und 100 Sekunden

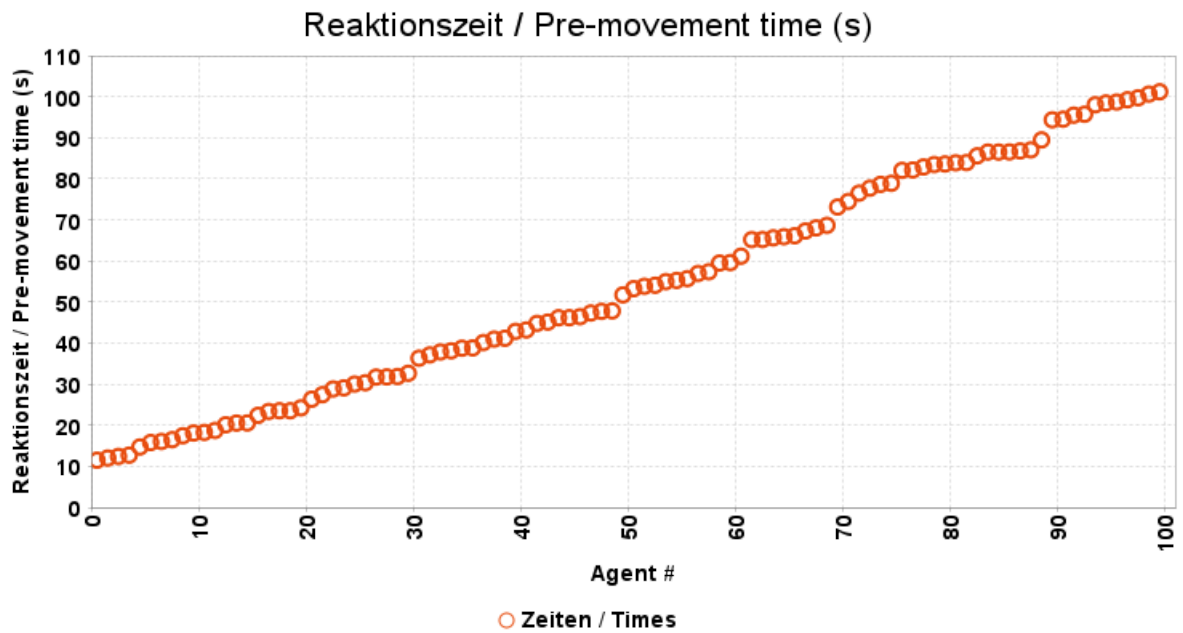


Abbildung 8: Reaktionszeiten

Der Test ist also nach dem gewählten Verfahren, das für eben solche Fragestellungen anerkannt und am verbreitetsten ist, bestanden. Der p-Wert für einen Kolmogorov-Smirnov Test gegen die Nullhypothese, dass die Reaktionszeiten gleichmäßig verteilt sind, ist ungefähr 0.47. (Wäre der p-Wert unter 0,05, hätten wir ein starkes Argument gegen die Nullhypothese.)

Parameter	Wert
pValue	0.47

Tabelle 6: Ergebnisse

Wir erachten Test 5 als bestanden; es ist möglich, Personen gleichverteilt in vorgegebenen Zeitintervallen starten zu lassen.

7 Test 6 – Bewegung um eine Ecke

7.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass eine Personengruppe eine Ecke erfolgreich umrundet, ohne die Wände zu durchqueren [RiM14].

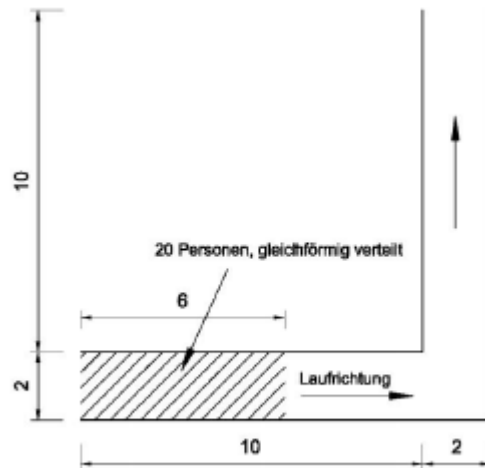


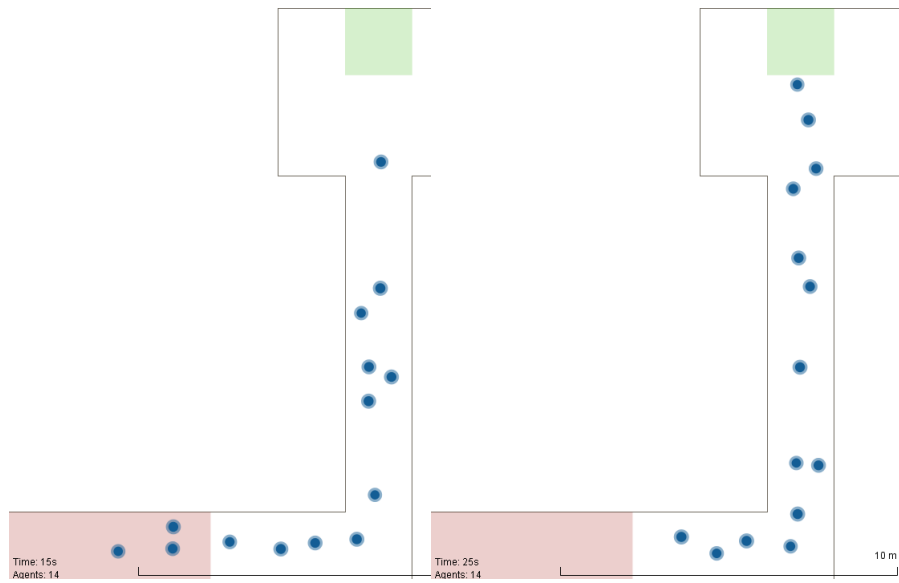
Abbildung 9: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m] [RiM14]

7.2 Modell

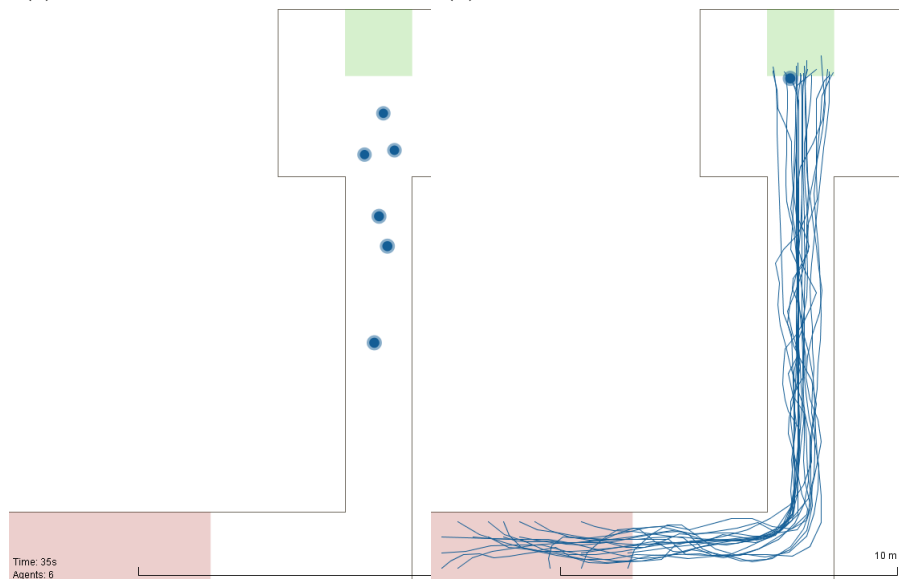
Der Flur wurde wie in Abbildung 9 dargestellt konstruiert, das Ziel befindet sich in einem kleinen Raum am Ende des Flurs (grün). Die Agenten werden nicht alle anfangs platziert, sondern werden innerhalb von 20 Sekunden gleichverteilt generiert.

7.3 Dokumentation

Die Abbildungen 10a, 10b, 10c und 10d zeigen, dass die Personen keine Wände durchlaufen und innerhalb des Korridors bleiben.



(a) Screenshot nach 15 Sekunden (b) Screenshot nach 25 Sekunden



(c) Screenshot nach 35 Sekunden (d) Screenshot (Alle Laufwege)

Abbildung 10: Screenshots der Simulation

8 Test 7 – Zuordnung der demographischen Parameter

8.1 Testvorschrift

Gehgeschwindigkeiten werden in einer aus 50 Personen bestehenden Personengruppe wie folgt verteilt:

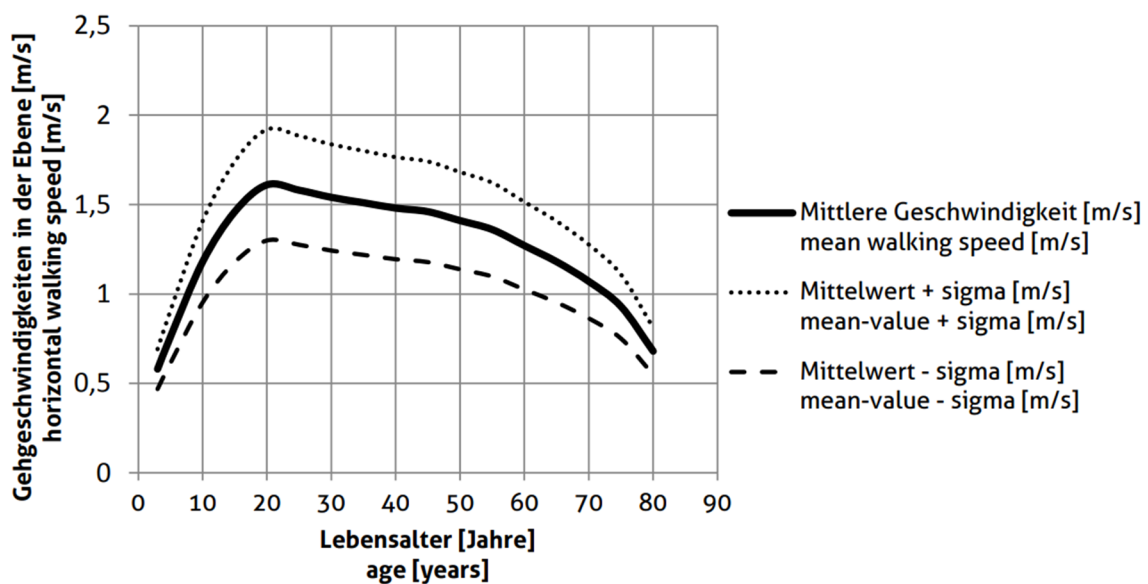


Abbildung 11: Gehgeschwindigkeit in der Ebene in Abhängigkeit des Alters, in Anlehnung an Weidmann [Wei92]

Zu zeigen ist, dass die Verteilung der Gehgeschwindigkeiten in der Simulation mit der Grafik vereinbar ist [RiM14].

8.2 Modell

Wir simulieren einen Korridor, der 70m lang und 20m breit ist (siehe Abbildung 12). Die Agenten werden zeitlich so erzeugt, dass es nicht zu Stauungen kommt. Insgesamt werden 50 Personen simuliert mit den in Tabelle 7 dargestellten Verteilungen.



Abbildung 12: Screenshot des Szenarios

Altersgruppe	Anzahl	Min. [m/s]	Max. [m/s]
10-20	10	1.30	1.91
21-30	10	1.25	1.83
31-40	10	1.20	1.78
41-50	10	1.15	1.69
51-60	10	1.02	1.50
61-70	10	0.86	1.28

Tabelle 7: Vorgegebene Gehgeschwindigkeiten der Altersgruppen [RiM14]

8.3 Dokumentation

Die Gehgeschwindigkeiten berechnen sich durch den gesamten zurückgelegten Weg geteilt durch die dafür benötigte Zeit. Die zurückgelegten Wege werden in den einzelnen Zeitschritten summiert.

Wie in Abbildung 13 zu sehen ist, befinden sich alle Werte im Rahmen der Testvorgabe, wie sie in Abbildung 11 zugrundegelegt werden. Damit betrachten wir den Test als bestanden.

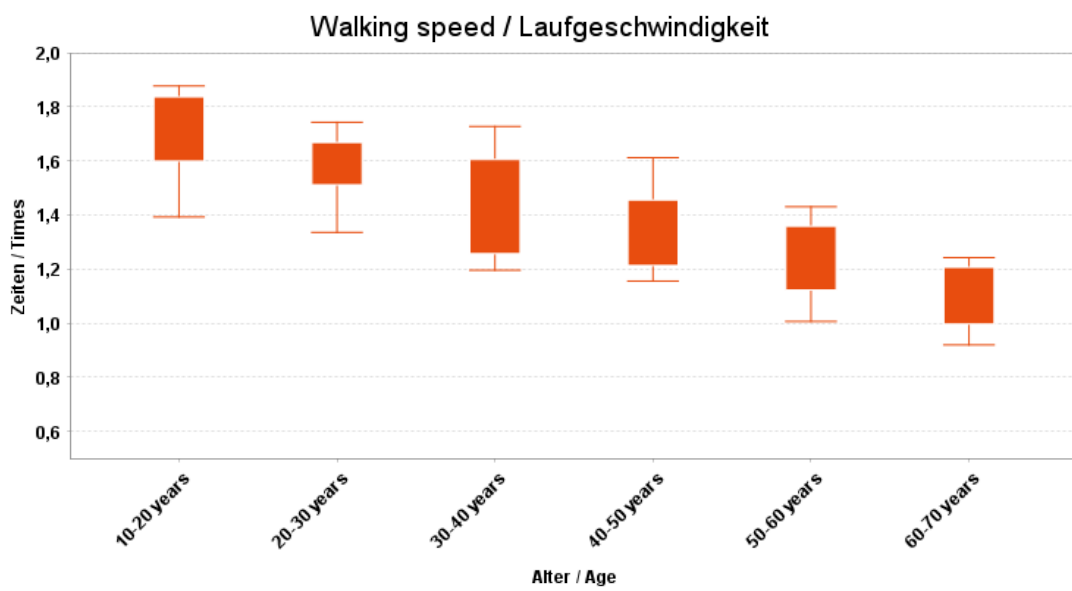


Abbildung 13: Geschwindigkeiten der Personen

9 Test 8 – Parameteranalyse

9.1 Testvorschrift

Es wird die Räumung eines dreistöckigen Gebäudes simuliert und die dafür benötigte Zeit analysiert.

Hierfür sollen unterschiedliche Modellparameter variiert und der Einfluss auf die Räumungszeit gemessen werden. Pro Simulationslauf wird jeweils ein Parameter verändert, während die übrigen Parameter gleich bleiben; die Variation kann auf zwei verschiedene Arten geschehen:

- Parameter wird deterministisch gewählt.
- Parameter wird statistisch um einen festen Mittelwert verteilt.

Das Gebäude soll wie folgt konstruiert werden: Der zweite Stock unterscheidet

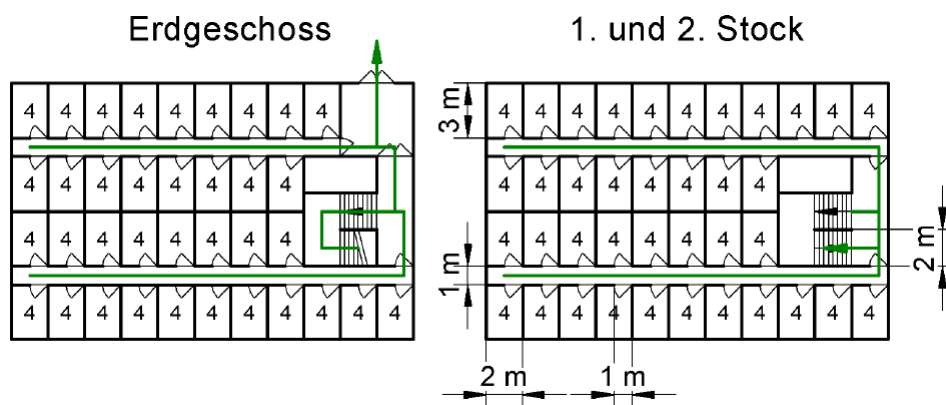


Abbildung 14: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m]

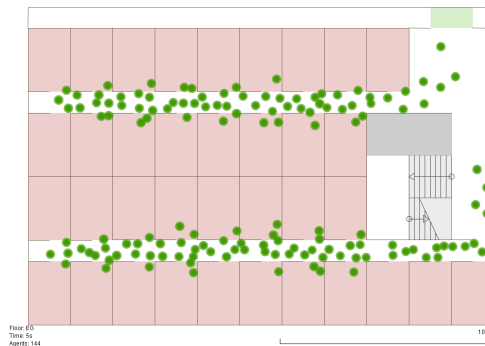
sich vom ersten Stock nur dadurch, dass keine Treppe existiert, die ins obere Stockwerk führt.

Die Auswirkungen von Parameterveränderungen auf die Räumungszeit sollen dokumentiert werden [RiM14].

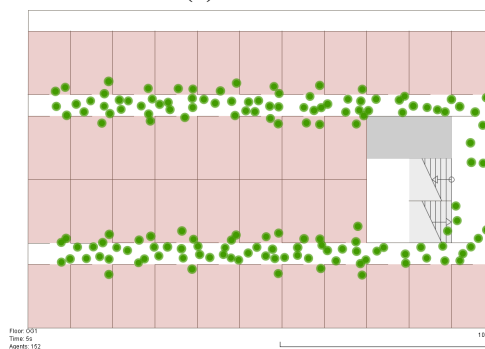
9.2 Modell

Das Gebäude wurde nach den vorgegebenen Maßen konstruiert.

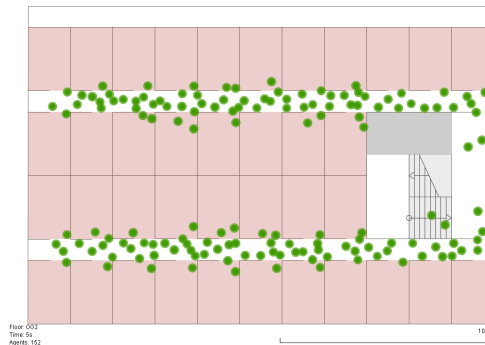
Die Parametereinstellungen werden in der Dokumentation näher erläutert.



(a) Ebene 0



(b) Ebene 1



(c) Ebene 2

Abbildung 15: Screenshot der Räumung des Gebäudes

9.3 Dokumentation

Die Tabelle 16 gibt einen Überblick über die zu den jeweiligen Einstellungen gehörenden Räumungszeiten.

Standard gibt hierbei die Referenz an mit folgenden Standardwerten:

- Geschwindigkeit v : min: 0.46m/s, max: 1.61m/s, Standardabweichung: 0.26

- Wahrnehmungsradius (**Perception radius**): 2.0m
- Körperradius (**Torso radius**): 0.2m
- Gruppen (**With Groups**): nein
- Stufentiefe (**tread size**): 0.25m

Perception radius stellt den Wahrnehmungsbereich dar, innerhalb dessen andere Agenten wahrnehmen.

Die Gehgeschwindigkeit v kann fest gewählt oder statistisch verteilt werden. Beide Varianten wurden simuliert.

Bei der Einstellung **With groups** bewegen sich die Agenten in Zweier- oder Dreiergruppen oder als Einzelpersonen durch das Szenario. Die Verteilung sieht wie folgt aus:

- Einzelpersonen: 34%
- Zweiergruppen: 33%
- Dreiergruppen: 33%

Die Räumungszeiten sind in Abbildung 16 dargestellt.

Die Zweier- und Dreiergruppen haben keinen signifikanten Einfluss auf die Räumungsdauer. Dies kann damit begründet werden, dass die Gruppen auf den Treppen aufgrund der hohen Dichte getrennt werden und dann alleine den Rest des Weges bis zum Ausgang laufen.

Der **Perception radius** hat nur eine sehr marginale Auswirkung auf die Räumungszeit.

Die Stufentiefe **tread width** hat ebenfalls einen sehr geringen Einfluss auf die Räumungszeit.

Der **Torso radius** hat einen großen Einfluss auf die Räumungszeit: Wie zu erwarten ist die Räumungszeit höher, umso größer der Platzbedarf eines einzelnen Agenten ist.

Die Geschwindigkeit hat ebenfalls einen Einfluss auf die Räumungszeit: Die Räumungszeit nimmt ab, je höher die Wunschgeschwindigkeit der Agenten ist.

Es gibt im Simulationsmodell also Parameter, die Einfluss auf die Räumungszeit eines dreistöckigen Bürogebäudes haben und die Räumungsdauer verändern.

Damit ist der Simulator in der Lage, unterschiedliche Anforderungen an die Population umzusetzen und unterschiedliche Szenarien abzubilden.

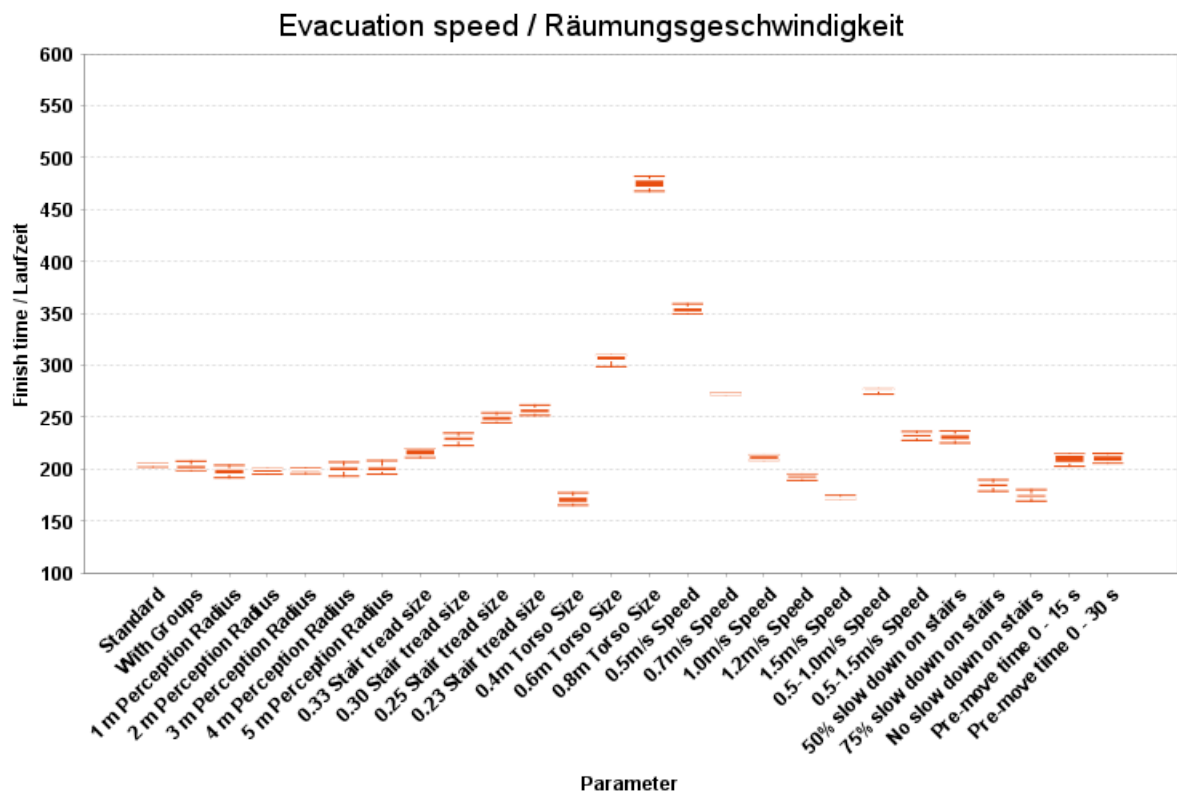


Abbildung 16: Unterschiedliche Laufzeiten abhängig der gewählten Parameter

10 Test 9 – Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum

10.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass die Räumungszeit variiert, abhängig davon, ob ein Raum vier Türen oder zwei Türen hat [RiM14].

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	1000
Reaktionsdauervertelung [s]	0
Gehgeschwindigkeit [m/s]	[Wei92]
Raumgröße [m × m]	30 × 20
Ausgangsbreite [m]	1
Distanz zwischen Wände und Quelle [m]	2

Tabelle 8: Testvorgaben [RiM14]

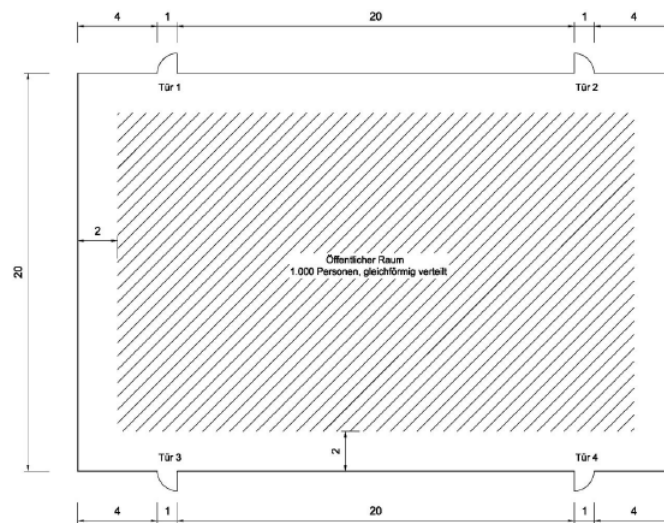


Abbildung 17: Szenariovorgabe, Einheiten in [m]

Es sollen die Räumungszeiten beider Szenarien miteinander verglichen werden. Erwartet wird, dass Szenario 2 ungefähr doppelt so lange für die Räumung benötigt [RiM14].

10.2 Modell

Der Raum wurde gemäß den Vorgaben modelliert und die Gehgeschwindigkeiten statistisch über die Population verteilt.

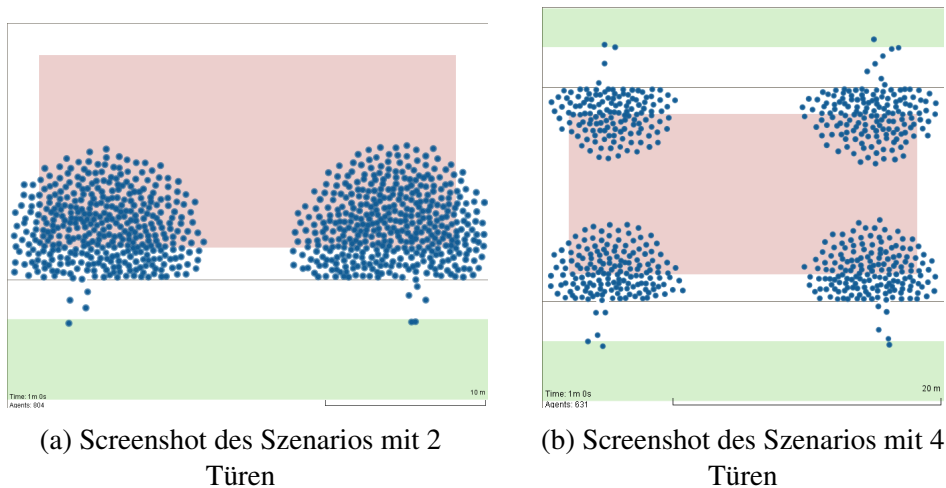


Abbildung 18: Screenshots zu Test 9

10.3 Dokumentation

Szenario	Räumungszeit [s]
4 Türen, dynamische Flutung	142.55
2 Türen, dynamische Flutung	280.10
4 Türen, ohne dynamische Flutung	143.25
2 Türen, ohne dynamische Flutung	285.70

Tabelle 9: Testvorgaben [RiM14]

Die Räumung dauert mit dynamischer Flutung über 4 Türen 51.0% im Vergleich zur Räumung über 2 Türen. Ohne dynamischer Flutung benötigt die Räumung über 4 Türen 51.0% im Vergleich zur Räumung über 2 Türen.

In diesem Test wurden beide Szenarien mit und ohne dynamische Flutung simuliert. Die dynamische Flutung hat den Effekt, dass sich Agenten besser ausweichen, ist aber auch rechenintensiver. Deshalb wurde getestet, ob der Simulator die Vorgaben in beiden Varianten besteht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Test bestanden ist und die Räumungszeiten sich in beiden Fällen verdoppeln.

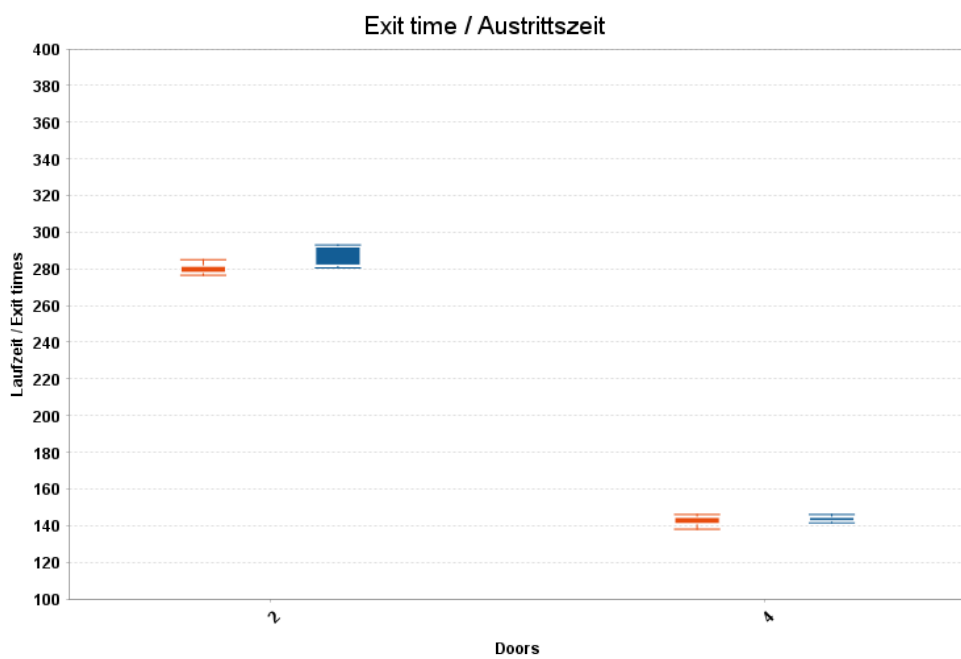


Abbildung 19: Laufzeiten für Agenten, die 2 oder 4 Türen benutzt haben. Blau ist mit einem statischen Flutungsfeld. Orange ist mit einem dynamischen Flutungsfeld.

11 Test 11 – Wahl des Rettungsweges

11.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass sich bei einer Räumung des in Abbildung 20 dargestellten Raums die meisten Personen für Ausgang 1 entscheiden.

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	1000
Reaktionsdauerverteilung [s]	0
Gehgeschwindigkeit [m/s]	[Wei92]
Raumgröße [m × m]	30 × 20
Ausgangsbreite [m]	1
Distanz zwischen Wände und Quelle [m]	2

Tabelle 10: Testvorgaben [RiM14]

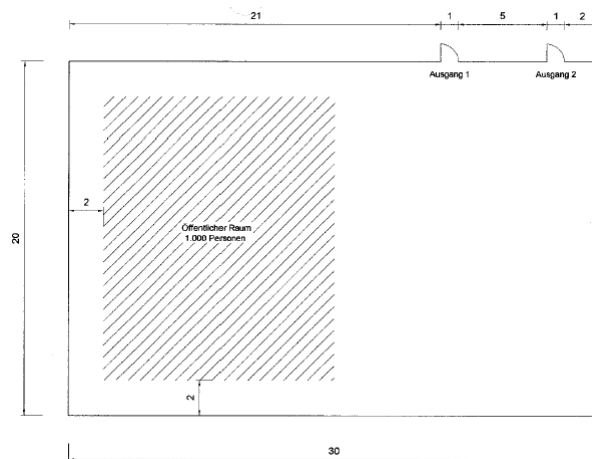


Abbildung 20: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m]

11.2 Modell

Der Raum wurde nach den Vorgaben modelliert und die Personen alle zu Beginn der Simulation in den Raum gesetzt.

Die Personen besitzen keine Reaktionszeit und die Gehgeschwindigkeiten wurden gemäß der Vorschrift verteilt.

11.3 Dokumentation

Wie in den Abbildungen 21a, 21b und 21c zu sehen ist, bildet sich der deutlich größere Stau vor Ausgang 1, jedoch entscheiden sich einige Agenten für den zweiten Ausgang. Wir haben die Simulation sowohl mit dynamischem Navigationsfeld (Tabelle 11) als auch mit statischem Navigationsfeld (Tabelle 12) durchgeführt.

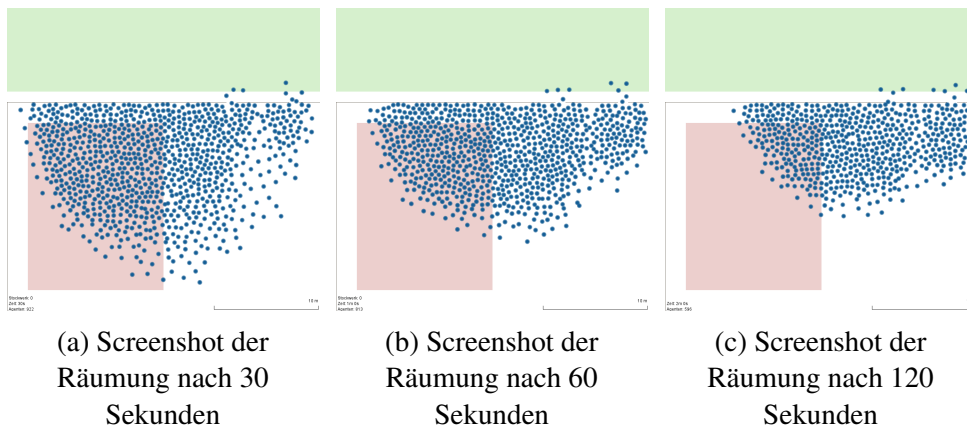


Abbildung 21: Screenshot der Räumung des Raumes

Exit	Anzahl
1	521
2	478

Tabelle 11: Ergebnisse für eine dynamische Entscheidungsfindung

Exit	Anzahl
1	544
2	455

Tabelle 12: Ergebnisse für eine statische Entscheidungsfindung

Dies zeigt, dass es dem Simulator möglich ist, Personen “dynamisch“ entscheiden zu lassen, welchen Weg sie wählen. In dieser Simulation entscheiden sich die Agenten für den Weg, mit dem sie am schnellsten das Ziel erreichen. Test 11 wird als bestanden betrachtet.

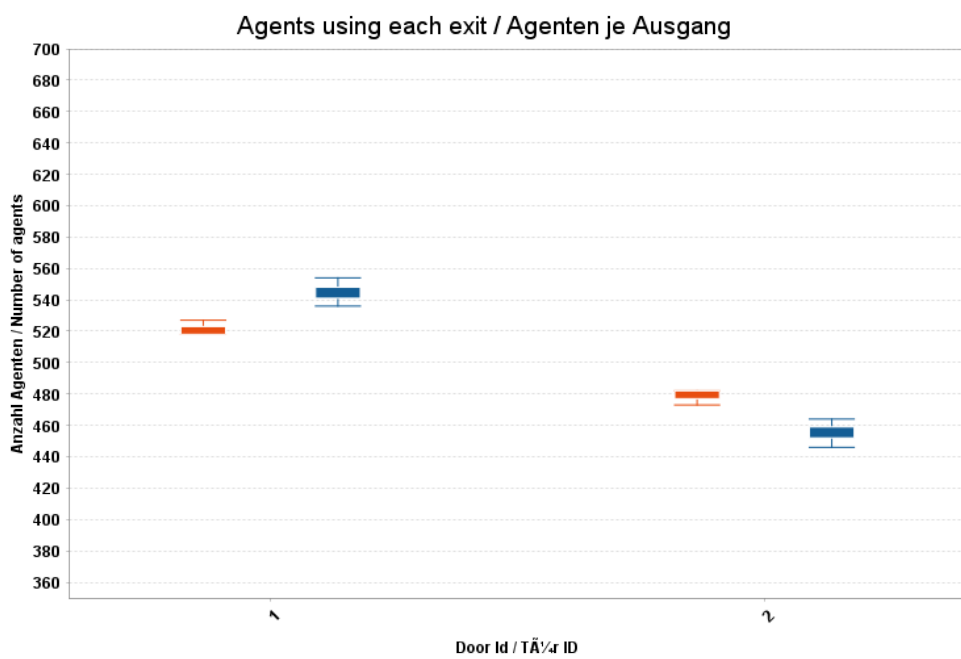


Abbildung 22: Anzahl von Agenten, die Tür 1 und 2 benutzt haben. Blau zeigt das statische Flutungsfeld. Orange zeigt das dynamische Flutungsfeld.

12 Test 12 – Auswirkung von Engstellen

12.1 Testvorschrift

Nachzuweisen ist, dass sich bei der Leerung des Raums über einen zweiten Raum - wie in Abbildung 23 dargestellt - nur im ersten Raum ein Stau bildet. Es soll also insbesondere gezeigt werden, dass es in Raum 2 zu keiner Staubildung kommt. Die Personen bewegen sich ohne Reaktionszeit sofort in Richtung Ausgang. Des Weiteren sollen ihre Gehgeschwindigkeiten gemäß [Wei92] verteilt sein [RiM14].

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	150
Reaktionsdauervertelung [s]	0
Korridorgröße [m × m]	1 × 5
Gehgeschwindigkeit [m/s]	[Wei92]

Tabelle 13: Testvorgaben [RiM14]

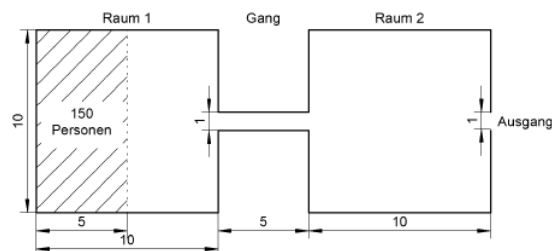


Abbildung 23: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m]

12.2 Modell

Das Szenario wurde nach den vorgegebenen Maßen konstruiert, das Ziel befindet sich ein wenig außerhalb des zweiten Raumes. Die Gehgeschwindigkeiten wurden wie vorgegeben den Agenten zugewiesen.

12.3 Dokumentation

Wie in den Abbildungen 25a - 25d erkennbar ist, kommt es im ersten Raum zu einem Stau. Durch den engen Durchgang wird die Flussrate der Personen so reduziert, dass sich im Anschluss keine Staus mehr ausbilden.

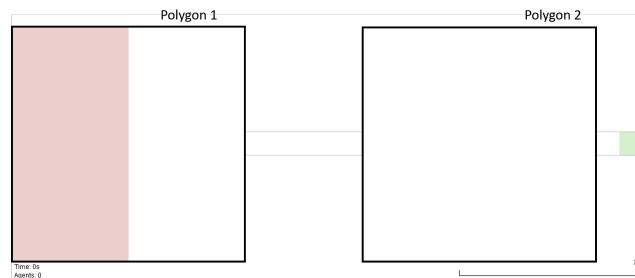


Abbildung 24: Modell des Szenarios, Screenshot bei Simulationsbeginn

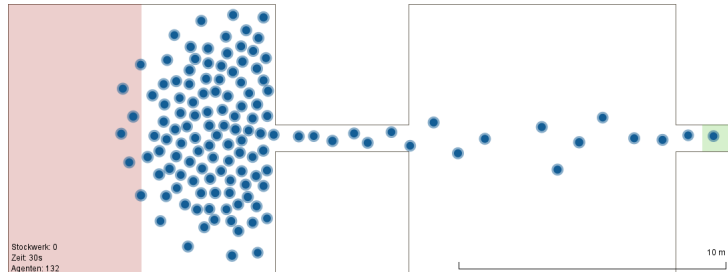
Dies wird insbesondere in Abbildung 25d deutlich: es ist zu erkennen, dass der zweite Raum gar nicht ganz genutzt werden muss. Die rote Einfärbung in der Heatmap vor dem letzten Ausgang bedeutet eine geringere Gehgeschwindigkeit der Agenten. Das resultiert aus dem kurzen Abbremsverhalten, um den Ausgang zu passieren. Ein Stau bildet sich nicht aus.

Es konnte gezeigt werden, dass sich nach der Engstelle keine Stauungen mehr ausbilden, da die Agenten verlangsamt und vereinzelt wurden. Sobald es möglich ist, erhöhen sie ihre Gehgeschwindigkeit wieder.

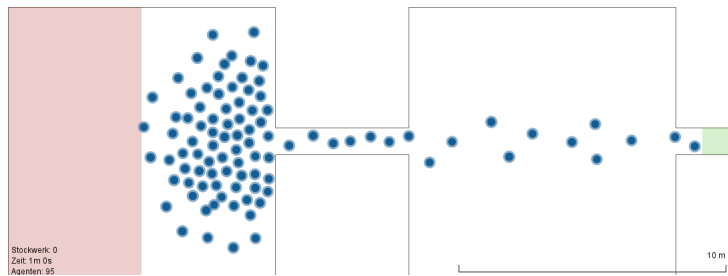
Polygon	Durchschnittliche Zeit [s]
Polygon 1 (vor dem Gang)	65.65
Polygon 2 (vor dem zweiten Gang)	9.29

Tabelle 14: Ergebnisse

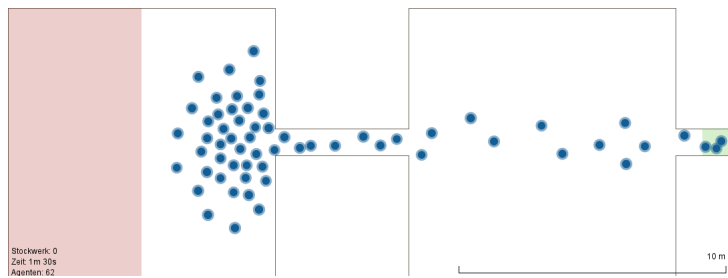
Wir betrachten den Test 12 als bestanden.



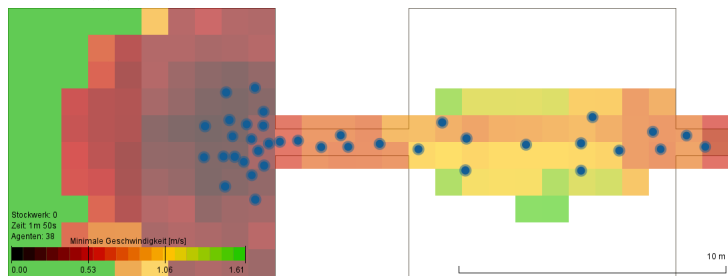
(a) Screenshot der Simulation nach 30 Sekunden



(b) Screenshot der Simulation nach 60 Sekunden



(c) Screenshot der Simulation nach 90 Sekunden



(d) Screenshot der Simulation nach 110 Sekunden mit einer Geschwindigkeitsheatmap

Abbildung 25: Screenshots der Simulation

13 Test 13 – Stau vor einer Treppe

13.1 Testvorschrift

Zu zeigen ist, dass sich bei der Leerung des Raumes wie in Abbildung 26 dargestellt, sich zunächst ein Stau vor dem Gang und dann ein zusätzlicher vor der Treppe bildet.

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	150
Reaktionsdauervertelung [s]	0
Korridorgröße [m × m]	2 × 12
Gehgeschwindigkeit [m/s]	[Wei92]

Tabelle 15: Testvorgaben [RiM14]

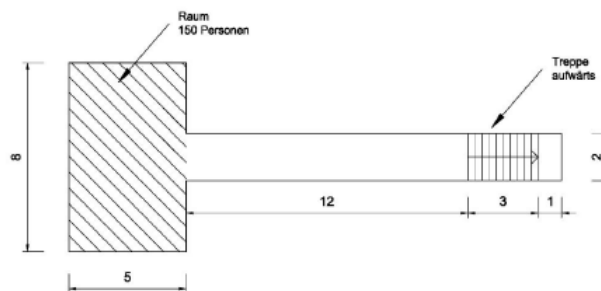


Abbildung 26: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m]

Da der Gang eine Engstelle darstellt, wird ein Stau am Ausgang des Raumes in den Gang erwartet. Zudem soll sich am Fuß der Treppe ein zweiter Stau bilden, der mit der Zeit anwächst [RiM14].

13.2 Modell

Das Szenario wurde nach den Vorgaben konstruiert und die Gehgeschwindigkeiten über die Population verteilt.

13.3 Dokumentation

Wie in den Abbildungen 28a - 28e zu erkennen ist, bildet sich ein Stau vor dem Ausgang des Raumes. Vor der Treppe werden die Personen leicht abgebremst, da die Personen auf der Treppe abgebremst werden und damit der Fluss verringert.

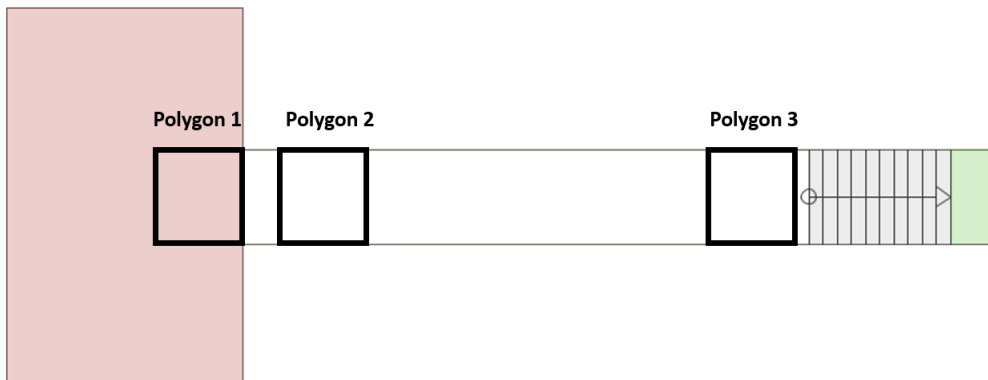


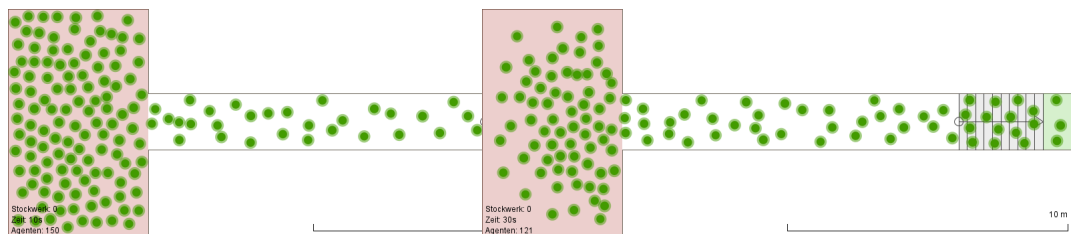
Abbildung 27: Modell des Szenarios, Screenshot bei Simulationsbeginn (Polygone sind nicht maßstabsgetreu, sondern Indikatoren)

Die Abbildungen zeigen, dass sich ein Rückstau vor der Treppe bildet. Um diesen Stau zu quantifizieren, haben wir drei Messpolygone (siehe Abbildung 27) platziert und die Traversierungszeiten gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Polygon	Durchschnittliche Zeit Δt [s]
Polygon 1	65.65
Polygon 2	9.29
Polygon 3	4.8

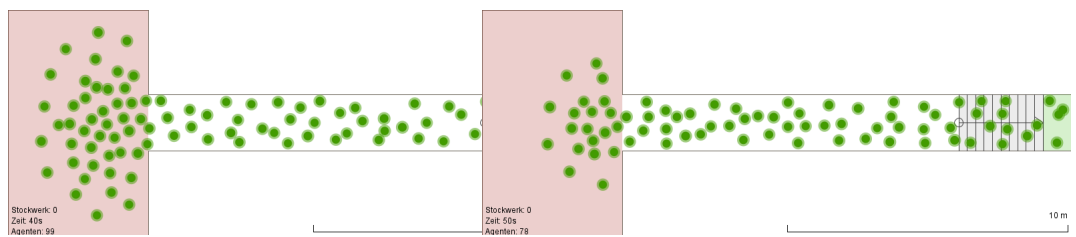
Tabelle 16: Ergebnisse

Wir betrachten den Test 13 als bestanden.



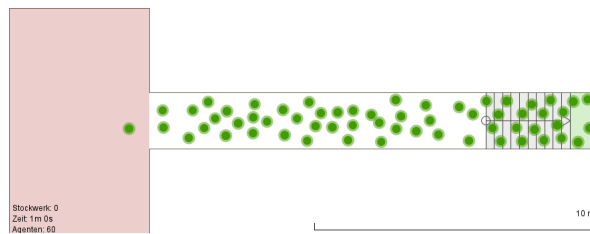
(a) Screenshot der Simulation nach 10 Sekunden

(b) Screenshot der Simulation nach 20 Sekunden



(c) Screenshot der Simulation nach 30 Sekunden

(d) Screenshot der Simulation nach 50 Sekunden



(e) Screenshot der Simulation nach 60 Sekunden mit einer Heatmap

Abbildung 28: Screenshots der Simulation

14 Test 14 – Routenwahl

14.1 Testvorschrift

Personen sollen vom Start im Obergeschoss zu einem Ziel im Obergeschoss laufen. Sie haben zwei Wege zur Wahl: Einer führt über eine Treppe zuerst ins Erdgeschoss und dann wieder zurück ins Obergeschoss zum Ziel. Der zweite Weg befindet sich komplett im Obergeschoss, allerdings ist dieser Weg deutlich länger als der Erste.

Zu dokumentieren ist die Wegewahl der Agenten [RiM14].

14.2 Modell

Das Szenario wurde wie in Abbildung 29 konstruiert.

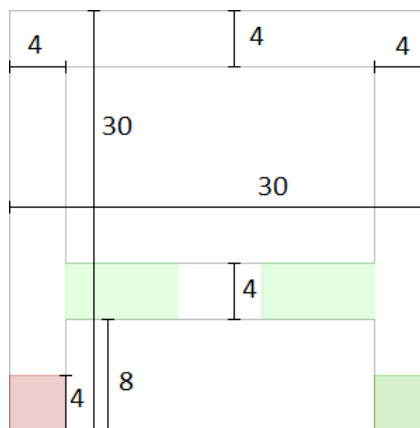


Abbildung 29: Konstruktion des Szenarios, Einheiten in [m]

Die Personen werden über die ersten 10 Sekunden der Simulation verteilt in den Startbereich gesetzt. Es werden folgende Einstellungen bzgl. des Verhaltens der Personen vorgenommen: einmal sollen sie sich den zeitlich schnellsten Pfad, einmal den kürzesten Pfad suchen.

14.3 Dokumentation

Betrachten wir zuerst den Fall, bei dem sich die Personen den schnellsten Weg suchen.

In diesem Szenario wählen einige Personen den langen Weg. Dieser ist für sie schneller, da sich viele Agenten auf den Treppen aufhalten. In den Abbildungen

Parameter	Wert
Anzahl der Personen	150
Reaktionsdauerverteilung [s]	0
Gehgeschwindigkeit [m/s]	[Wei92]
Abbremsfaktor der Treppen	0.4

Tabelle 17: Testvorgaben [RiM14]

30a, 30b und 30c wird dies visualisiert. Betrachten wir nun den Fall, bei dem sich

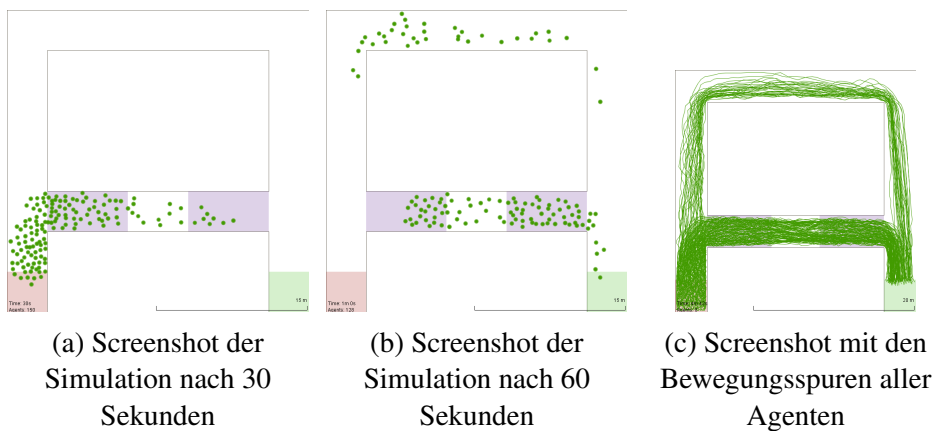


Abbildung 30: Screenshots der Simulation

die Personen den kürzesten Weg suchen, visualisiert in den Abbildungen 31a, 31b und 31c. Wie insbesondere in Abbildung 31c erkennbar ist, wählt keine Person den langen Weg.

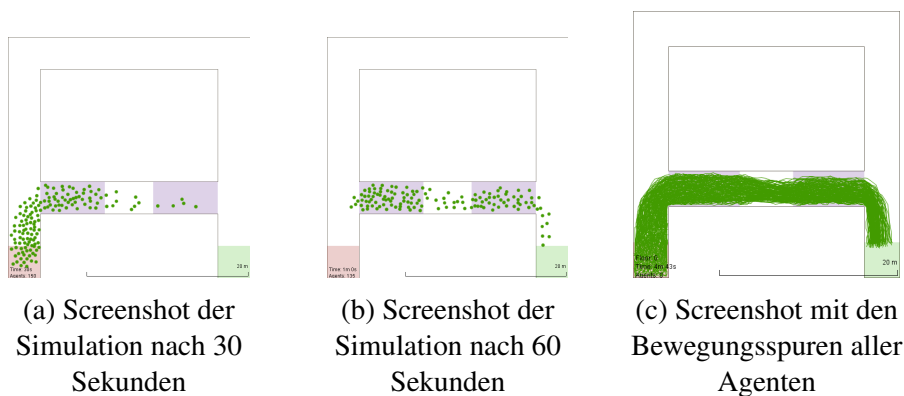


Abbildung 31: Screenshots der Simulation

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es im Simulator möglich ist, die Agenten den schnellsten und/oder den kürzesten Weg wählen zu lassen.

Bei der Entscheidung für den schnellsten Weg reagieren die Personen auf den Stau, der sich an der Treppe bildet. Einige wählen dann den längeren Weg ohne Stau, über den sie schneller an ihr Ziel kommen.

Bei der Entscheidung für den kürzesten Weg ist es den Personen egal, ob sich an den Treppen ein Stau bildet. Da es sich hierbei um den kürzesten Weg handelt, wählen alle Agenten diesen.

Pfad	Statistik	Anzahl Agenten
shorter route	min.	127
shorter route	max.	132
shorter route	avg.	128
longer route	min.	18
longer route	max.	23
longer route	avg.	21

Tabelle 18: Ergebnisse bei Wegewahl nach schnellstem Weg

Pfad	Statistik	Anzahl Agenten
shorter route	min.	150
shorter route	max.	150
shorter route	avg.	150
longer route	min.	0
longer route	max.	0
longer route	avg.	0

Tabelle 19: Ergebnisse bei Wegewahl nach kürzestem Weg

15 Test 15 – Bewegung einer großen Menge Personen um eine Ecke

15.1 Testvorschrift

Getestet werden soll, wie sich die Bewegung von Personen um eine Ecke auf die Räumungszeit auswirkt. Dafür werden 500 Personen in einen 20m breiten Korridor gesetzt. Im ersten Szenario sollen diese nach 34m um die Ecke gehen und sind dann nach 10m am Ziel. Dies wird verglichen mit zwei Szenarien, in denen die Länge eines geraden Korridors einmal dem kürzesten Weg um die Ecke entspricht und einmal dem längsten (74,5m vs. 44m). Wie in Abbildung 32 in Form des gestrichelten Viertelkreis gezeigt, liegt ein Augenmerk auch darauf, wie die Personen den Kurvenbereich ausfüllen.

Die Gehgeschwindigkeiten sollen gemäß [Wei92] verteilt sein und die Agenten sollen keine Reaktionszeit besitzen.

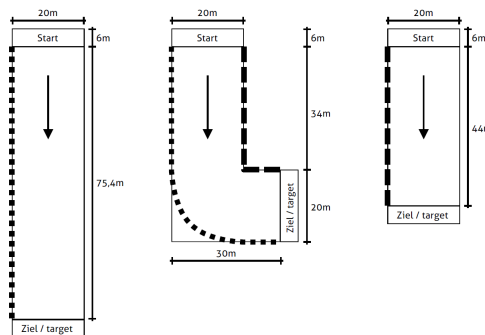


Abbildung 32: Vorgabe des Szenarios

In der Dokumentation sollen die Gesamtzeiten zwischen den verschiedenen Szenarien verglichen werden. Als Ergebnis wird erwartet, dass die Räumung des kurzen Korridors am schnellsten ist, die des langen Korridors am längsten und das Szenario mit der Ecke in der Mitte liegt. Gezeigt wird dies sowohl am Räumungsgraphen (Abbildung 33), der die Wegezeiten aller Agenten misst, sowie über die Screenshots zu den Zeitpunkten 25, 45, 70, 80, 95 und 120 Sekunden [RiM14].

15.2 Modell

Die Gänge wurden nach den Vorgaben simuliert, wobei in jedem Szenario noch ein 6m breiter Zielbereich angehängt wurde. Dieser beeinflusst die Ergebnisse des Tests nicht.

Die Gehgeschwindigkeiten wurden über die Population wie vorgegeben verteilt.

15.3 Dokumentation

Die Abbildungen 34a - 36e sind Screenshots der Simulationen zu den vorgeschlagenen Zeiten pro Szenario.

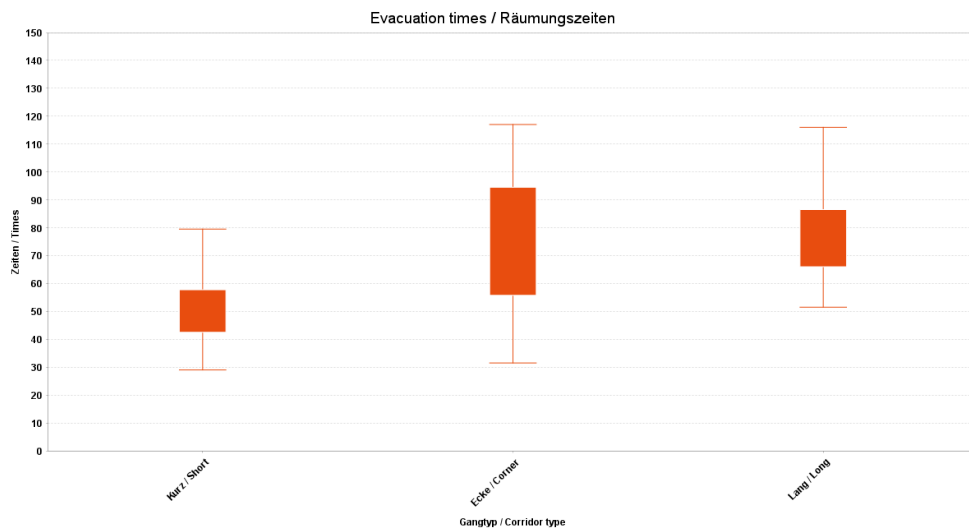
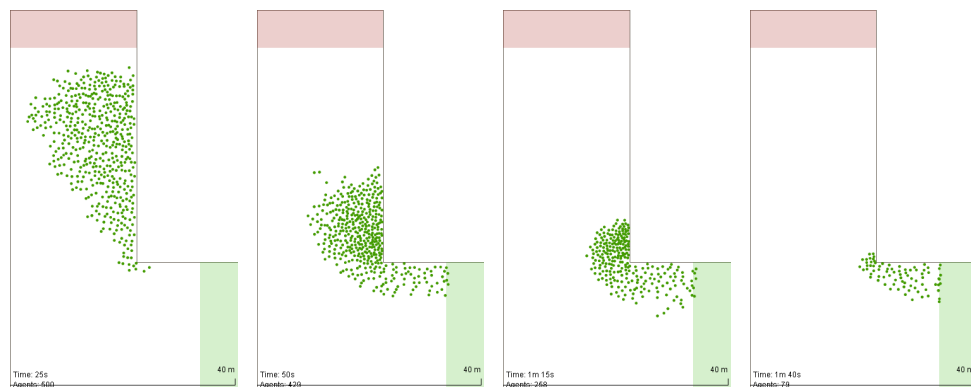


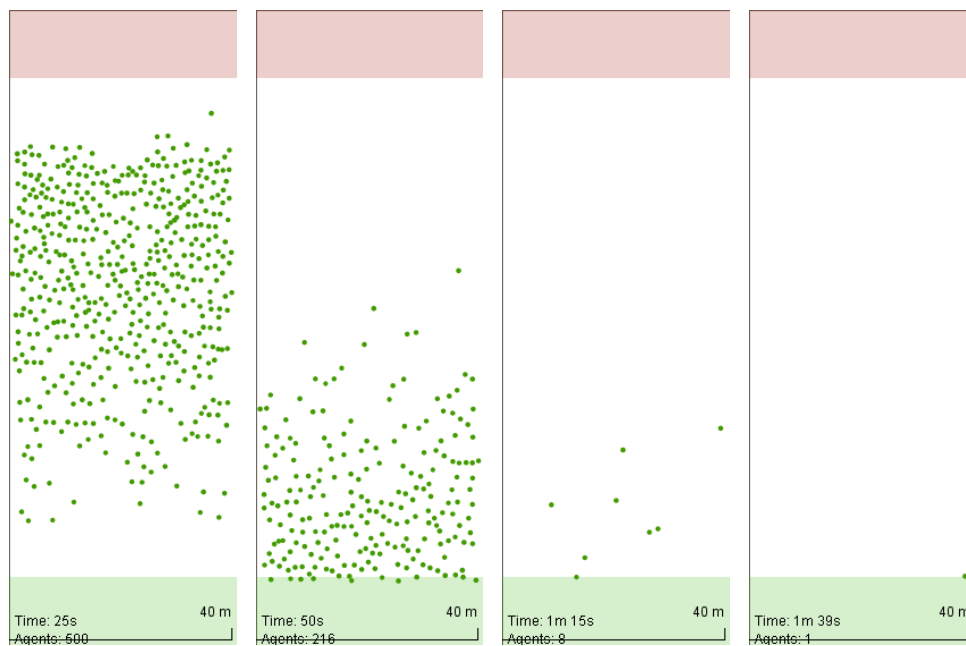
Abbildung 33: Räumungszeiten



- (a) Screenshot der Simulation nach 25 Sekunden
- (b) Screenshot der Simulation nach 50 Sekunden
- (c) Screenshot der Simulation nach 75 Sekunden
- (d) Screenshot der Simulation nach 100 Sekunden

Abbildung 34: Screenshots der Simulation des Flurs mit Ecke

Abbildung 33 zeigt die Räumungszeit pro Agent pro Szenario.



(a) Screenshot der Simulation nach 25 Sekunden

(b) Screenshot der Simulation nach 50 Sekunden

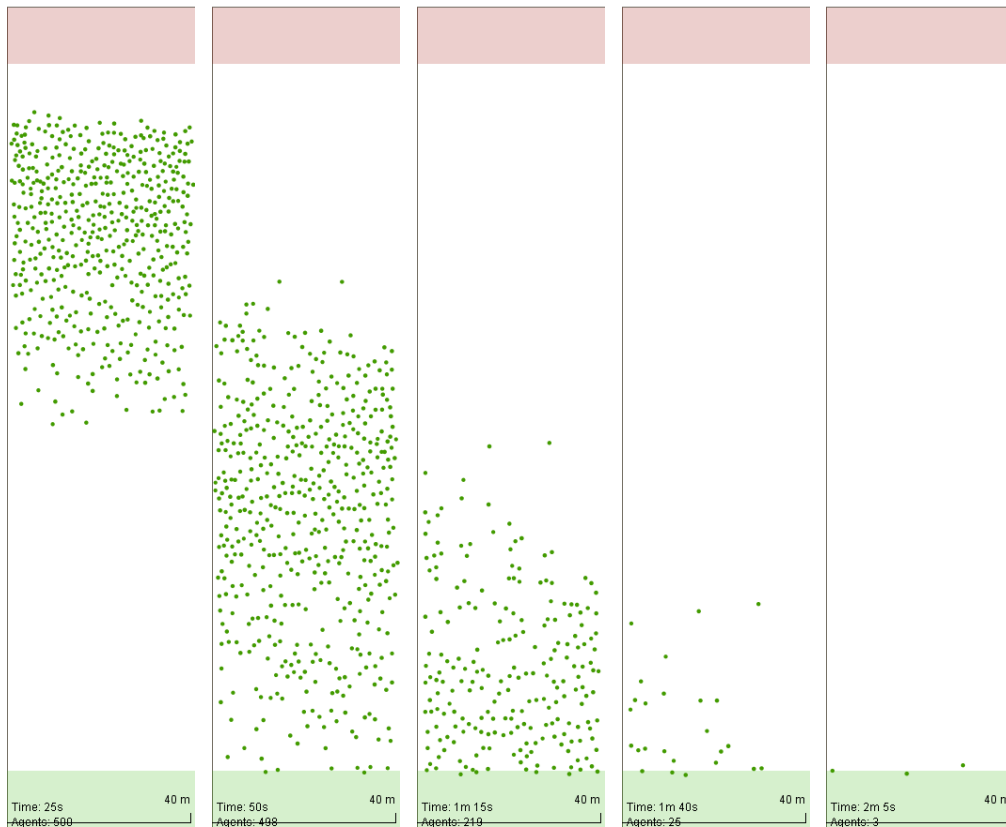
(c) Screenshot der Simulation nach 75 Sekunden

(d) Screenshot der Simulation nach 100 Sekunden

Abbildung 35: Screenshots der Simulation des geraden, kurzen Flurs

Es zeigt sich, dass sich der lange Korridor und die Ecke sich in der Räumungszeit kaum unterscheiden, die Räumungszeiten des Szenarios mit Ecke insgesamt zwischen den Räumungszeiten der Szenarien mit kurzem und langem Korridor liegen. Die Simulation des Szenarios mit dem kurzen Flur ist deutlich schneller, was ja auch Sinn macht, da die Wege kürzer sind.

Da alle vorgeschriebenen und optionalen Auswertungen gemacht wurden und realistische Ergebnisse hervorgebracht haben, ist auch Test 15 als bestanden zu erachten.



(a) Screenshot der Simulation nach 25 Sekunden
 (b) Screenshot der Simulation nach 50 Sekunden
 (c) Screenshot der Simulation nach 75 Sekunden
 (d) Screenshot der Simulation nach 100 Sekunden
 (e) Screenshot der Simulation nach 125 Sekunden

Abbildung 36: Screenshots der Simulation des geraden, langen Flurs

Literatur

- [DIN15] DIN. *Stairs in buildings - Terminology, measuring rules, main dimensions - 18065*. 2015.
- [GK15] Felix Dietrich Gerta Köster, Daniel Lehmborg. Is slowing down enough to model movement on stairs? *Traffic and Granular Flow*, Nootdorp:27 – 30, 2015.
- [RiM14] RiMEA. *Richtlinie für mikroskopische Entfluchtungsanalysen*, volume 3.0 (Entwurf). Rimea e.V., 2014.
- [Wei92] Ulrich Weidmann. *Transporttechnik der Fußgänger*. IVT, 1992.