

Analyse der Testfälle der Rimea-Richtlinie mit PTV Viswalk

Zeitraum der Durchführung der Tests	November 2020
Version der Richtlinie	3.0.0
Verwendete Software	PTV Viswalk
Version der Software	2021 SP 02
Hersteller der Software	PTV Group
	Haid und Neu Straße 15
	76131 Karlsruhe
	info@ptvgroup.com
	https://www.ptvgroup.com/
Bearbeiter	Dr. Tobias Kretz
	PTV Group
	Haid und Neu Straße 15
	76131 Karlsruhe
	Tobias.Kretz@ptvgroup.com

For the English language version of this document please scroll down.

Inhalt

Vorbemerkungen.....	3
Test 1 Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit in einem Gang.....	4
Test 2 - Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppauf.....	5
Test 3 - Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppab.....	7
Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes	8
Test 5 - Reaktionsdauer.....	12
Test 6 - Bewegung um eine Ecke.....	14
Test 7 - Zuordnung der demographischen Parameter	16
Test 8 - Parameteranalyse.....	19
Test 9 - Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum.....	24
Test 10 - Zuweisung von Rettungswegen.....	26
Test 11 - Wahl des Rettungsweges.....	28
Test 12 - Auswirkung von Engstellen.....	32
Test 13 - Stau vor einer Treppe.....	34
Test 14 - Routenwahl.....	36
Test 15 - Bewegung einer großen Menge Fußgänger um eine Ecke.....	38
Literaturverzeichnis.....	40

Vorbemerkungen

Der RiMEA e.v. („Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungssimulation“) hat eine Richtlinie publiziert (RiMEA), die 15 Testfälle enthält zum Zweck Fußgängersimulationssoftware für den Anwendungszweck der Entfluchtungssimulation einer elementaren Überprüfung zu unterziehen.

PTV Viswalk simuliert Fußgänger mit einer Variante des Social Force Modells. In diesem wird der Raum kontinuierlich abgebildet. Zeitlich erfolgt eine Diskretisierung in Schritten von 0,05 Sekunden, d.h. 20 Simulationszeitschritte pro Sekunde.

Die simulierten Fußgänger („Agenten“) besitzen eine vom Anwender in Form einer Verteilung vorzugebende Wunschgeschwindigkeit. Die Agenten versuchen ihre tatsächliche Geschwindigkeit an diese Wunschgeschwindigkeit nach Betrag und Richtung anzupassen. Dies erfolgt auch in Abwesenheit anderer Agenten mit einer gewissen Trägheit, d.h. nicht momentan, wodurch sich Abweichungen tatsächlicher mittlerer Geschwindigkeiten und Zeiten von erwarteten Werten ergeben können.

Agenten können während der gesamten Simulation ins Modell eingesetzt werden. Anwender definieren die Menge an Agenten, die in einem Zeitintervall eingesetzt werden soll. Die Verteilung auf die einzelnen Zeitschritte übernimmt die Software. Beim Einsetzen erhalten die Agenten eine zufällige Orientierung und Geschwindigkeit 0. Solche Standard-Einstellungen können mit Hilfe von Skripten geändert werden. Auf den Einsatz von Skripten wurde aber mit Blick auf die Verständlichkeit der Modelle weitgehend verzichtet.

Die Parameter des Social Force Modells können vom Anwender verändert werden. Agenten vom gleichen Typ haben identische Parameterwerte mit Ausnahme der Wunschgeschwindigkeit, welche immer als Verteilung über eine (Sub-)Population definiert wird.

In diesem Dokument werden Begrifflichkeiten verwendet, die sich spezifisch auf Objekte, Daten oder Funktionen Viswalks beziehen. Soweit notwendig wird die Funktion erläutert. In vielen Fällen sind die Bezeichner aber selbstsprechend genug um die Funktion ausreichend präzise zu verstehen, und so den jeweiligen Inhalt nachvollziehen zu können, so dass eine detaillierte Erläuterung häufig entfallen kann, was zur Übersichtlichkeit beiträgt. Um dies zu unterstützen werden solche *Begriffe hervorgehoben*.

Die modellierten Testfälle können als Teil der Demo-Version von der Homepage der PTV Group heruntergeladen und mit dieser ausgeführt werden.

<https://www.ptvgroup.com/de/loesungen/produkte/ptv-viswalk/demoversion/>

Hier sind Videoanimationen aller Testfälle zu sehen: <https://youtu.be/tq1hoQt0fkU>

Test 1 Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit in einem Gang

Wortlaut der Testdefinition

Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person in einem 2m breiten und 40m langen Gang mit einer definierten Gehgeschwindigkeit die Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Setzt man als Ungenauigkeiten 40 cm (Körperabmessung, für die Zeit 1 Sekunde (Reaktionszeit) und für die Geschwindigkeit 5% an, so ergibt sich mit einer typischen Fußgängergeschwindigkeit von 1,33 m/sec die folgende Anforderung: Die Geschwindigkeit sollte auf einen Wert zwischen 4,5 und 5,1 km/h eingestellt werden. **Die Reisezeit sollte bei eingestellten 1,33 m/sec im Bereich 26 bis 34 Sekunden liegen.**

Modellierung

Das Modell wurde gemäß der Anforderung (Geometrie, Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten) erstellt. Um während eines einzigen Simulationslaufs viele Agenten simulieren zu können und trotzdem zu garantieren, dass diese sich nicht gegenseitig beeinflussen wurden Vorkehrungen getroffen (eine *Querverkehrsstörung* lässt immer nur einen Agenten passieren, bis ein Mindestabstand gegeben ist). Die Messung der Reisezeit erfolgt durch eine *Reisezeitmessung*.

Durchführung und Anmerkungen

Es wurden 1.000 Agenten – verteilt über 25 simulierte Stunden – ins Modell eingesetzt. Beim Einsetzen sind die Fußgänger in Ruhe und müssen erst auf ihre Wunschgeschwindigkeit beschleunigen. Da der Einsetzort allerdings deutlich vor der Zeitmessung liegt, kann davon ausgegangen werden, dass alle Agenten ihre Wunschgeschwindigkeit tatsächlich erreichen.

Ergebnisse

Von 1.000 Agenten bewältigte der schnellste die 40 Meter lange Messstrecke in 28,2 s, der langsamste benötigte 32,0 Sekunden, was Geschwindigkeiten zwischen 1,250 und 1,418 m/s entspricht. Durchschnitt und Median lagen beide bei 30,0 Sekunden. **Die Anforderung der Testdefinition ist damit erfüllt.** Abbildung 1 zeigt die Quantile der Reisezeiten für die Messstrecke. Zu den äquidistanten Quantilen zeigen sich nahezu äquidistante Reisezeiten.

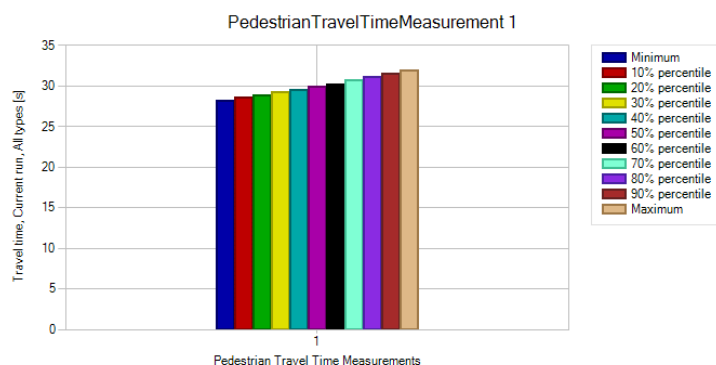


Abbildung 1: Quantile der Reisezeiten

Test 2 - Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppauf

Wortlaut der Testdefinition

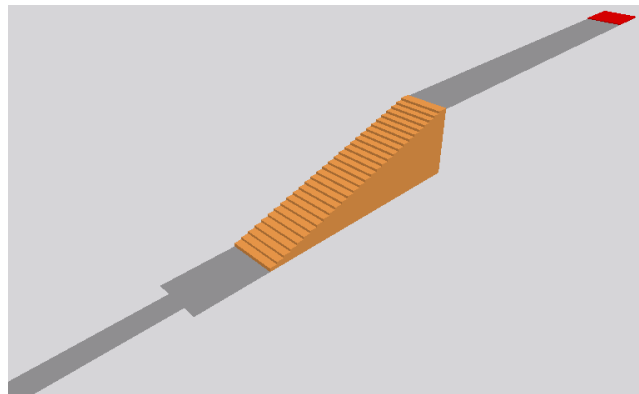
Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person auf einer 2m breiten und 10m langen (gemessen entlang der Schräge) Treppe mit einer definierten Gehgeschwindigkeit diese Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Die Überlegungen von Test 1 gelten entsprechend mit angepassten Werten für Strecke, Dauer und Geschwindigkeit.

Modellierung

Im Vergleich zu Test 1 wird ins Modell eine 2 m breite, 9,539 m lange und 3 m hohe Treppe eingesetzt. Die Länge entlang der Steigung beträgt somit 10 m.

Eingesetzt werden die Agenten ins Modell mit derselben Wunschgeschwindigkeitsverteilung wie in Test 1. Da diese für Treppen unüblich hoch ist, kommt auf der Treppe eine andere Verteilung zum Einsatz mit welcher Vertikalgeschwindigkeiten zwischen 0,2 und 0,4 m/s resultieren, vergleiche (Kretz, 2017). Somit ist zu erwarten, dass der Weg vom Betreten bis zum Verlassen der Treppe zwischen 7,5 und 15,0 Sekunden dauern wird. Beim Betreten der Treppe bremsen die Agenten durch die Reduzierung der Wunschgeschwindigkeit ab. Auch dieser Vorgang dauert eigentlich einige Simulationszeitschritte, was das Simulationsergebnis mit Blick auf das angestrebte Ziel weniger eindeutig machen würde. Deswegen wird auf der Treppe nicht nur die Wunschgeschwindigkeit angepasst, sondern auch der Wert von Parameter τ auf $\tau=0,05$ s gesetzt, wodurch die Anpassung der Geschwindigkeit auf die neue Wunschgeschwindigkeit ohne Verzögerung erfolgt.



Die Messung der Reisezeit erfolgt in diesem Fall durch eine *Flächenauswertung*, die die gesamte Treppe und nur diese abdeckt.

Durchführung und Anmerkungen

Wie in Test 1.

Ergebnisse

Die kleinste gemessene Reisezeit beträgt 7,50 s, die größte 15,05 s, der Median 10,05 s und der Durchschnitt 10,40 s. **Die Werte entsprechen somit der Erwartung.** Dass in Abbildung 2 die Zeitabstände bei den oberen Quantilen größer werden, ist eine Folge davon, dass die Wunschgeschwindigkeiten gleichverteilt sind, die Reisezeiten sich aber aus den Inversen der Geschwindigkeiten ergeben.

Test 2 - Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppauf

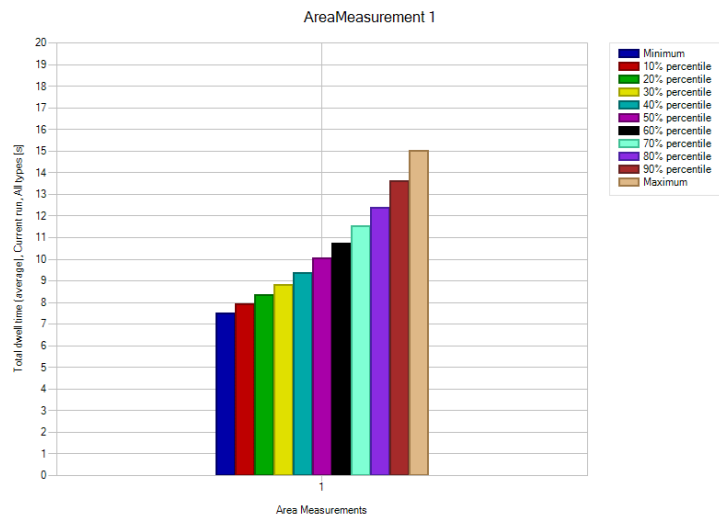


Abbildung 2: Quantile der Reisezeiten.

Test 3 - Beibehalten der vorgegebenen Gehgeschwindigkeit treppab

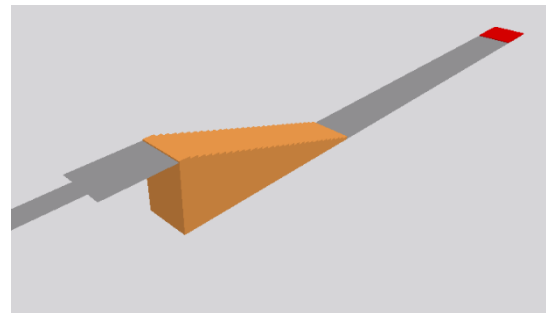
Wortlaut der Testdefinition

Es soll nachgewiesen werden, dass eine Person auf einer 2m breiten und 10m langen (gemessen entlang der Schräge) Treppe mit einer definierten Gehgeschwindigkeit diese Entfernung in der entsprechenden Dauer zurücklegt.

Die Überlegungen von Test 1 gelten entsprechend mit angepassten Werten für Strecke, Dauer und Geschwindigkeit.

Modellierung

Es wird dasselbe Modell wie in Test 2 verwendet mit dem Unterschied, dass die Höhen der *Ebenen* vertauscht wurden und dass – um noch einen neuen Aspekt einzubringen – für die Abwärtsbewegung auf einer Treppe eine andere Wunschgeschwindigkeitsverteilung (1,0 ... 1,67 m/s) gesetzt wurde. Daraus ergibt sich die Erwartung, dass die Reisezeiten über die Treppe hinweg zwischen 6 und 10 Sekunden liegen sollten.



Durchführung und Anmerkungen

Wie Test 2

Ergebnisse

Die gemessenen Reisezeiten entsprechen genau der Erwartung wie Abbildung 3 zeigt.

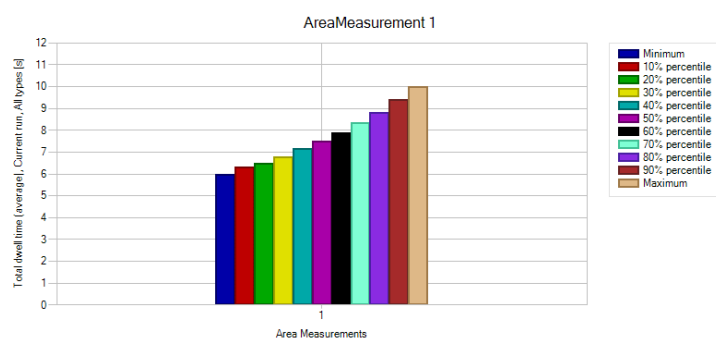


Abbildung 3: Quantile der Reisezeiten

Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes

Wortlaut der Testdefinition

Es soll die gezeigte Abbildung (Abbildung [...]) modelliert werden (Korridor, 1.000 m lang, 10m breit). Es gibt drei Messstellen (2 x 2m), wobei die gepunktete Messstelle die Hauptmessstelle ist, die beiden anderen grauen Messstellen dienen als Kontrollmessstellen.

Der Korridor ist mit unterschiedlichen Personendichten mit möglichst gleicher freier Gehgeschwindigkeit zu füllen (bspw. 1,2 – 1,4m/s): 0,5 P/m², 1 P/m², 2 P/m², 3 P/m², 4 P/m², 5 P/m² und 6 P/m².

An den Messstellen ist nun bei der vorgegebenen Dichte die Durchschnittsgeschwindigkeit der Personen über einen Zeitraum von 60 Sekunden zu ermitteln, die ersten 10 Sekunden können als „Einschwingvorgang“ vernachlässigt werden. Aus den Ergebnissen (Geschwindigkeit bei vorgegebener Dichte) können die entsprechenden Fundamentaldiagramme erstellt werden, wobei für den Personenfluss die Umrechnung Fluss = Geschwindigkeit * Dichte zugrunde gelegt wird.

Um sicherzustellen, dass auch das Fundamentaldiagramm bei einer „Linienbewegung“ durch das Programm wiedergegeben wird, ist der Korridor soweit in seiner Breite zu verkleinern, dass die Personen sich nur hintereinander bewegen können und ein Überholen nicht möglich ist

Modellierung (breiter Korridor)

Das Modell des breiten Korridors wurde geometrisch wie vorgegeben erstellt.

Durchführung und Anmerkungen (breiter Korridor)

Um verschiedene Dichten zu vermessen wurde nicht innerhalb eines Simulationslaufs zu unterschiedlichen Zeiten gemessen, sondern in mehreren Simulationsläufen genau eine Messung in der Zeit 60 ... 120 Sekunden vorgenommen. Dabei wurde vermittle einer *Attributänderung* die initiale mittlere Dichte in jedem Simulationslauf um 0,1/m² (entspricht 1.000 Agenten) erhöht. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die vermessene Population in ihrer Zusammensetzung der eingesetzten entspricht, bzw. es wird der Effekt vermieden, dass zum Ende der Simulation schnellere Agenten (mit höherer Wunschgeschwindigkeit) an der *Flächenmessung* zunehmend unterrepräsentiert sind.

Gemessen wurde neben der Dichte die Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Korridorachse (*SpeedX*). Die Sequenz der Simulationsläufe wurde beendet, wenn die initiale Personendichte so hoch war, dass *SpeedX* negativ wurde, d.h. wenn die Agenten zurückweichen, um der hohen Personendichte vor sich zu entgehen¹.

Simulation und Messung wurden fünf Mal durchgeführt, mit folgenden Populationen:

- IMO 30-50 Jahre (50:50 m:w)
- IMO <30 Jahre (50:50 m:w)
- IMO Gesamtpopulation wie in (IMO, 2016) Tabellen 3.1 und 3.5 spezifiziert.

¹ Solche Situationen können sich aus der Simulation selbst nicht ergeben, sie können nur initial präpariert werden, weswegen sie auch "Garden of Eden states" genannt werden (Schadschneider & Schreckenberg, 1998).

Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes

- Je 16% der Alters- und Geschlechtsgruppen nach Weidmann sowie je 2% (m/w) mobilitätseingeschränkte Personen nach Weidmann. Dies ist eine Annäherung an die Rimea-Standardpopulation nur ohne Schwerpunkt im mittleren Alter.
- 4,8 km/h (1,33 m/s) für alle Agenten

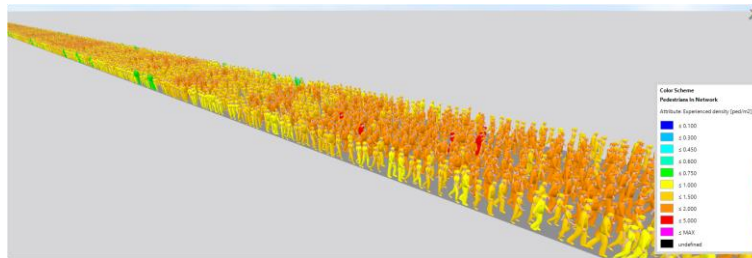


Abbildung 4: Screenshot bei $t=60$ s mit der "Weidmann"-Konfiguration an der Kapazität und Farbgebung gemäß individuell momentan erlebter Umgebungsdeichte.

Ergebnisse (breiter Korridor)

Abbildung 5 **zeigt den Zusammenhang der Geschwindigkeit von der Flächendichte der Agenten**. „Geschwindigkeit“ bezieht sich dabei nur auf die Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Längsachse des Korridors, d.h. Querbewegungen, die einen Agenten dem Ziel nicht näherbringen, werden ignoriert.

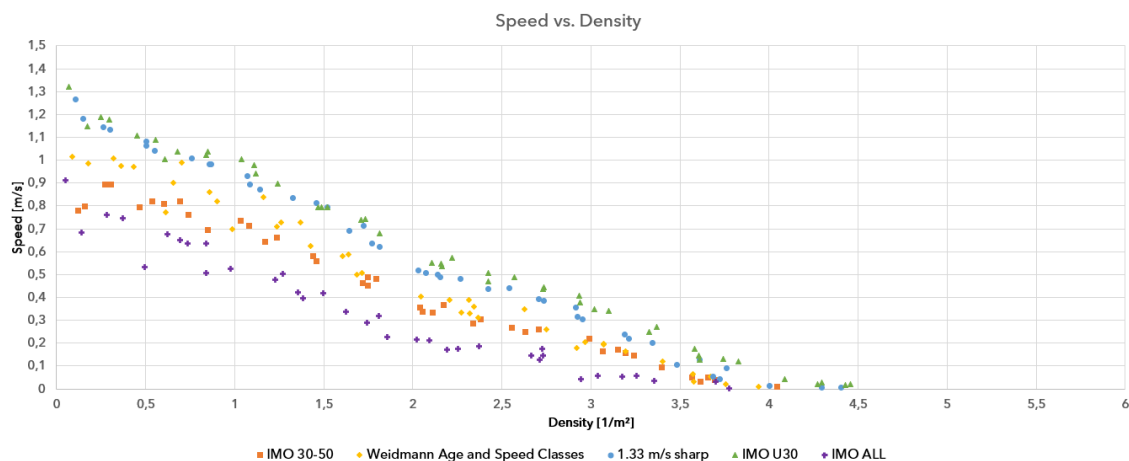


Abbildung 5: Abhängigkeit der Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Längsachse des Korridors von der Personendichte.

Abbildung 6 **zeigt den Zusammenhang zwischen Fluss (als Produkt aus Geschwindigkeit und Dichte) und Dichte** zu den fünf verwendeten Wunschgeschwindigkeitsverteilungen nebst Angaben aus der Literatur (empirische Angaben aus (Fruin, 1971), Richtlinienvorgabe aus (Hurley, 2015) sowie Näherungskurve an Werte aus zahlreichen Studien wie in (Weidmann, 1993) angegeben)². Außer den Wunschgeschwindigkeiten wurden keine weiteren Eingabe-Parameter variiert. Zur Anwendung kamen die voreingestellten Standard-Parameter von PTV Viswalk.

² Um Missverständnissen auszuschließen: In Abbildung 6 beziehen sich die Bezeichner („IMO 30-50“ etc.) ausschließlich auf die für die Simulation verwendeten Wunschgeschwindigkeitsverteilungen. Die dargestellten Fundamentaldiagrammdaten ergeben sich in dieser Weise aus der Simulation mit PTV Viswalk. Zu den verwendeten Geschwindigkeitsverteilungen gibt es in der Literatur keine Angaben über einen zu erwartenden Verlauf des Fundamentaldiagramms. Deswegen werden zum Vergleich andere Quellen herangezogen.

Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes

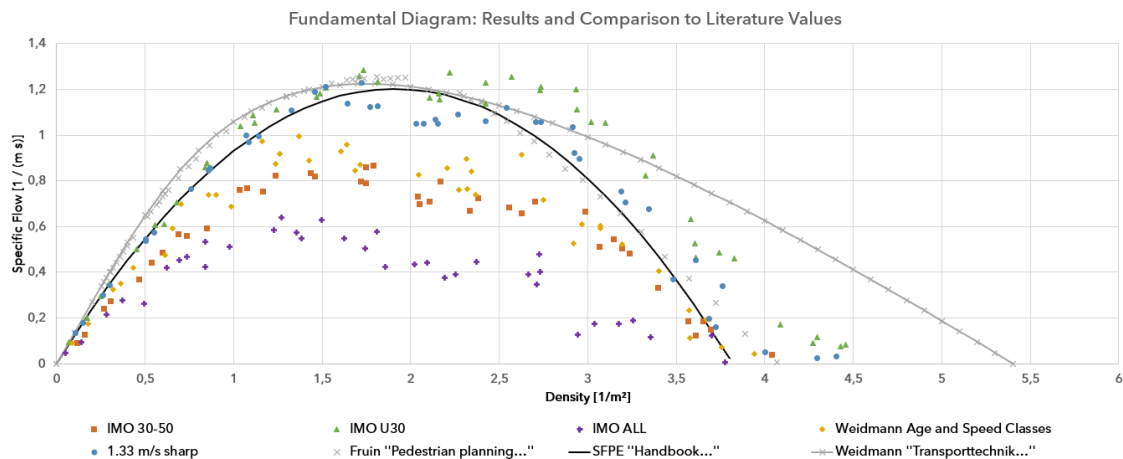


Abbildung 6: Simulationsergebnisse (farbige Punkte) im Vergleich mit Literaturangaben (Linien in Graustufen).

Die drei aus der Literatur herangezogenen Fundamentaldiagramme sind im Vergleich zu weiteren Fundstellen in der Literatur als konservativ (vergleichsweise geringer Fluss bei gegebener Dichte) zu bezeichnen, wie man in der in (Kretz, 2019) gegebenen Übersicht erkennen kann. Die Simulationsergebnisse sind nochmals ein wenig konservativer, was zum einen an den konservativen Vorgaben in (IMO, 2016) über anzunehmende Gehgeschwindigkeiten liegt, zum anderen an den Standard-Parameterwerten für das Social Force Modell in PTV Viswalk. Die Voreinstellungen in PTV Viswalk sind somit für die Simulation einer Situation mit repräsentativer Auswahl der Population aus einer Industrienation als „konservativ realistisch“ zu bezeichnen. Für spezielle Situationen wären die Parameter anzupassen. Mit den Standardwerten würden Entfluchtungszeiten aus einer Universität – mit vornehmlich jungen Menschen – sehr wahrscheinlich überschätzt, die Entfluchtungszeiten aus einem Altenheim hingegen sehr wahrscheinlich unterschätzt.

Modellierung (1d)

Weiterhin wird der 10 m breite Korridor verwendet. Die Agenten werden nun jedoch mit Hilfe eines *Scripts* exakt in der Mitte des Korridors eingesetzt und mit anfänglicher Orientierung exakt in Richtung der x-Achse, d.h. in Richtung Ziel. Beim *Laufverhalten* wird das Zufallselement abgeschaltet (der Wert des Attributs *noise*) wird auf 0 gesetzt. Auf diese Weise haben alle y-Koordinaten (für Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung) initial und im gesamten Verlauf der Simulation den Wert Null. Die eindimensionale Bewegung bleibt somit erhalten ohne dass die Agenten mit Hilfe von Wänden auf die eindimensionale Bewegung eingeschränkt werden müssten.

Durchführung und Anmerkungen (1d)

Mit Hilfe des *Scripts* werden die Agenten in exakt gleichen Abständen in die Simulation eingesetzt. Ebenfalls identisch gewählt sind die *Wunschgeschwindigkeiten* der Agenten mit 4,8 km/h bzw. 1,33 m/s. Neben dem abgeschalteten Zufallselement sind dies zwei weitere künstliche Bedingungen. Allerdings ist auch die Situation der Bewegung eine künstliche. Diese Konfiguration eignet sich daher weniger für einen Vergleich mit empirischen Daten denn mit analytischen Überlegungen zum Bewegungsmodell.

Das Fundamentaldiagramm wird auch in diesem Fall mit Hilfe eines *Mehrfach-Simulationslaufs* aufgezeichnet. Drei *Attributänderungen* erhöhen die initiale Dichte pro Simulationslauf um 0,1/m, errechnen daraus den initialen Abstand der Agenten als Kehrwert sowie die

Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes

Anzahl der Agenten so, dass initial eine Strecke von 1.000 m mit Agenten im gewünschten initialen Abstand gefüllt wird.

Die eigentliche Messung findet auf einer *Flächenmessung* in der Mitte des 1.000 Meter langen Korridorabschnitts statt entlang dessen initial Agenten eingesetzt werden. Die *Flächenmessung* ist 2 m lang, ihre Breite wurde allerdings auf 1 m reduziert. Auf diese Weise entspricht der gemessene Zahlenwert der Personenflächendichte dem Zahlenwert der Personenstreckendichte. Die Messung findet im Zeitintervall [60 ... 120) Sekunden der Simulation statt. Zu dieser Zeit haben die Agenten die für die gegebene Dichte mögliche Geschwindigkeit erreicht, die Startwelle kann die *Flächenmessung* jedoch noch nicht erreicht haben, denn hierfür müsste sie sich mit über 4 m/s stromaufwärts bewegen.

Ergebnisse (1d)

Abbildung 7 zeigt die **Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Flusses von der Dichte**.

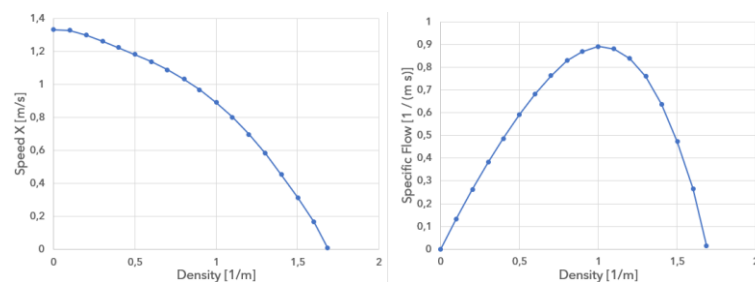


Abbildung 7: Geschwindigkeit vs. Dichte (links) und Spezifischer Fluss vs. Dichte (rechts) für den 1d-Fall ("Entenmarsch")

Test 5 – Reaktionsdauer

Wortlaut der Testdefinition

Zehn Personen in einem Raum der Größe 8m x 5m mit einem 1m breiten Ausgang, der sich in der Mitte der 5m langen Wand befindet. Setze die Reaktionsdauern wie folgt: gleichverteilt zwischen 10s und 100s. **Verifiziere, dass jede Person zu einer passenden Zeit startet.**

Modellierung

Das Modell wurde wie beschrieben implementiert.

Da es in Viswalk keine einfache Möglichkeit gibt automatisiert den Zeitpunkt zu vermessen zu dem ein Agent zu gehen beginnt und um erweiterte Möglichkeiten zu schaffen den Test nicht zu bestehen, wurde ein abgewandeltes Modell erstellt ...

- ... mit 10.000 Agenten
- ... mit 1.000-facher Grundfläche
- ... mit einer Zielfläche, die die gesamte Fläche einschließt. Der Zeitpunkt des „Loslaufens“ ist dadurch identisch mit dem Zeitpunkt der Ankunft am Ziel und damit dem Verlassen der Simulation, was mit Standardfunktionalität gemessen werden kann.

Diese Variante zu implementieren ist möglich, weil ein Agent in Viswalk nicht nur seine Zielfläche erreichen muss, sondern im Verlauf seiner *Route*, welche beliebig viele sequenziell abzugehende *Routenpunkte* („Zwischenziele“) haben kann, auch am Ziel der *Route* angekommen sein muss. Sollte ein Agent beispielsweise auf dem Weg zu einem *Routenpunkt* zufällig über die *Fläche* des *Routenzieles* laufen, verlässt der Agent die Simulation nicht, sondern setzt seinen Weg fort.

Durchführung und Anmerkungen

Das kleine Modell wurde zehn Mal mit unterschiedlichen Zufallszahlen simuliert. Die Simulation mit dem großen, modifizierten Modell wurde nur einmal ausgeführt.

Ergebnisse

Kleines Modell: Bei 10 Simulationsläufen wurde kein Agent beobachtet, der außerhalb des Zeitintervalls [10...100] Sekunden loslief.

Großes Modell: Abbildung 8 zeigt wie die Anzahl der Agenten im Modell im Lauf der Zeit abnimmt, wie Agenten also im Lauf der Zeit loslaufen. Diese Anzahl nimmt zwischen 10 und 100 Sekunden linear ab, ohne dass eine Abweichung von der Linearität zu erkennen wäre.

Die Verteilung der Reaktionsdauern entspricht somit der Erwartung.

Test 5 – Reaktionsdauer

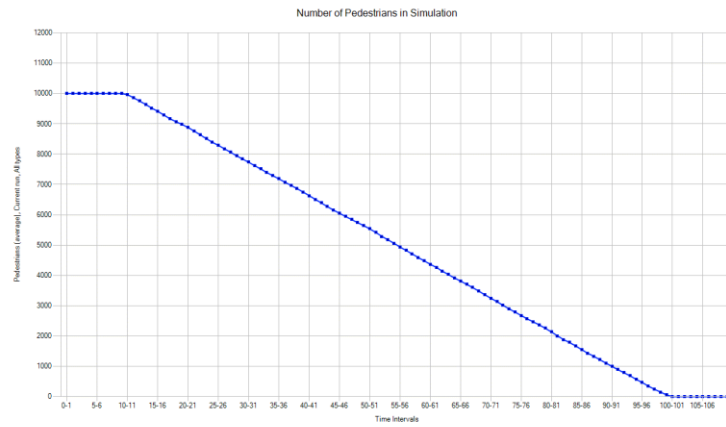


Abbildung 8: Anzahl Agenten im Simulationsmodell im Verlauf der Zeit.

Test 6 - Bewegung um eine Ecke

Wortlaut der Testdefinition

Zwanzig Personen, die sich auf eine nach links abbiegende Ecke zu bewegen (vgl. Abbildung [...]) werden diese erfolgreich umrunden, **ohne Wände zu durchqueren**.

Modellierung

Das Modell wurde wie vorgegeben implementiert. Die Population entspricht der dritten Population wie in Kapitel Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes angegeben, d.h. der „näherungsweise Rimea-Standard-Population“.

Durchführung und Anmerkungen

Eine visuelle Überprüfung, dass sich die Agenten an die ausgewiesenen begehbaren *Flächen* halten, lässt sich in einem Simulationslauf einfach durchführen. Um die Überprüfung in größerem Umfang zu ermöglichen wurde das Modell um eine *Reisezeitmessung* ergänzt, die an der Zuflussfläche beginnt und genau am Knick des Korridors endet, siehe Abbildung 9. Die Annahme ist, dass Agenten, die durch die Wände abkürzen diese *Fläche* nicht betreten würden und somit nicht von der *Reisezeitmessung* gezählt würden. Die *Reisezeitmessung* hat dabei keinen Einfluss auf die Simulation. Insbesondere nimmt das Ziel der *Reisezeitmessung* nicht Funktion eines Zwischenziels ein, welches die Agenten zunächst ansteuern bevor sie sich dem eigentlichen Ziel zuwenden.

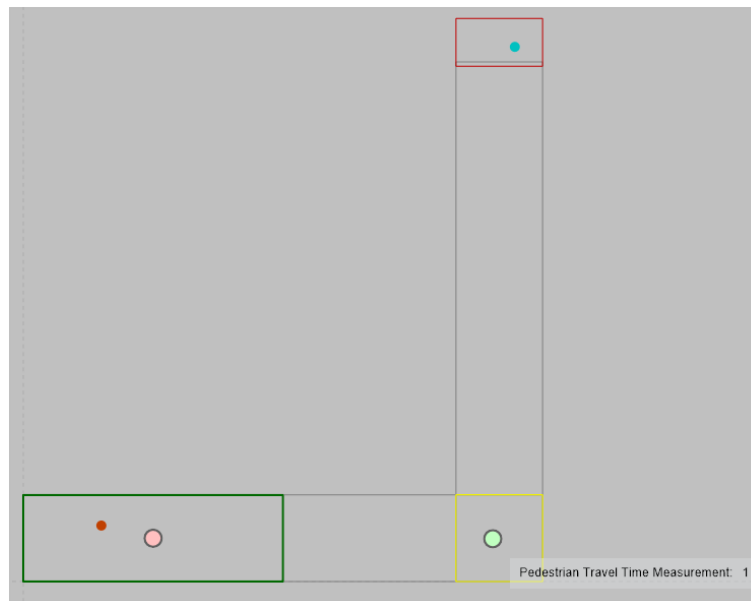


Abbildung 9: Modell mit Reisezeitmessung. Beginn der Messung ist auf der grün umrandeten Fläche, Ende auf der gelb umrandeten Fläche.

Ergebnisse

Bei visueller Überprüfung war **ersichtlich, dass alle 20 Agenten die Ecke erwartungsgemäß umrunden**. Bei 1.000 von 1.000 Simulationsläufen war die kleinste durch die *Reisezeitmessung* gemessene Agentenanzahl 20. Somit haben **in jedem Lauf alle 20 Agenten den ersten Korridorabschnitt erwartungsgemäß bis zum Ende abgelaufen** und sich erst dann „nach Norden“ gewandt.

Test 6 - Bewegung um eine Ecke

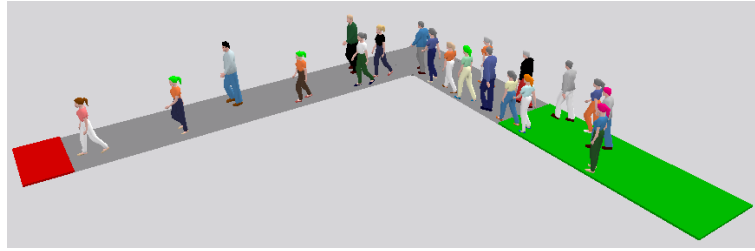


Abbildung 10: Screenshot der Simulationsanimation

Test 7 - Zuordnung der demographischen Parameter

Wortlaut der Testdefinition

Wähle gemäß Abbildung [...] eine aus erwachsenen Personen bestehende Gruppe und verteile die Gehgeschwindigkeiten über eine Population von 50 Personen. **Zeige, dass die Verteilung der Gehgeschwindigkeiten in der Simulation mit der Verteilung in der Tabelle vereinbar ist.**

Modellierung

Abbildung 2 der Rimea-Richtlinie stellt den Verlauf der mittleren freien Gehgeschwindigkeit sowie Standardabweichung über das Lebensalter dar. Sie ist damit eine unvollständige Angabe zur Verteilung der freien Gehgeschwindigkeiten einer Population. Zur Vollständigkeit fehlt eine Angabe über die Alterszusammensetzung der Population.

Tabelle 1 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen, wie sie für dieses Dokument näherungsweise aus Abbildung 2 der Rimea-Richtlinie 3.0.0 abgelesen wurden. Für jüngste und ältesten Altersklassen ist wegen der starken Entwicklung innerhalb der Altersklasse eine präzise Rekonstruktion aus Abbildung 2 schwierig. Erforderlich wäre eine feinere Klassifizierung als je 10 Jahre. Deswegen und weil die genauen Werte der Geschwindigkeit nicht im Mittelpunkt dieses Tests stehen, wurden alle Werte nur näherungsweise mit Augenmaß abgelesen. Außerdem wird für diesen Test eine Beschränkung auf die Altersklassen im Berufsleben vorgenommen (15 bis 65 Jahre). Die entsprechenden fünf Altersklassen werden gleichgewichtet berücksichtigt.

Altersspanne	Mittelwert [m/s]	Standardabweichung [m/s]
[5..15)	1,2	0,4
[15..25)	1,6	0,3
[25..35)	1,55	0,3
[35..45)	1,5	0,25
[45..55)	1,4	0,25
[55..65)	1,25	0,25
[65..75)	1,1	0,2
[75..85)	0,7	0,1
[85..95)	0,2	0,05

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen näherungsweise abgelesen aus Abbildung 2 der Rimea-Richtlinie 3.0.0.

Gemäß Tabelle 1 und unter der Annahme auf das Intervall $[0 \dots 3,0]$ m/s beschränkter Gaußscher Normalverteilungen ergeben sich die kumulierten Geschwindigkeitsverteilungen wie in Abbildung 11: Kumulierte Wunschgeschwindigkeitsverteilungen je 10-Jahre-Altersintervall wie sie sich näherungsweise (!) aus Abb. 2 der Rimea-Richtlinie 3.0.0 ergeben. Abbildung 11 gezeigt.

Als kombinierten Verlauf der fünf gleichgewichteten Alterskategorien $[15..25)$ bis $[55..65)$ ergibt sich die kumulierte Verteilung wie in Abbildung 12 gezeigt. Hierfür wurden differenzielle Anteile $< 0,001$ in einem Intervall von 0,1 m/s vernachlässigt, wodurch sich die Beschränkung auf das Intervall $[1,8 \dots 9,0]$ km/h bzw. $[0,5 \dots 2,5]$ m/s ergibt.

Test 7 - Zuordnung der demographischen Parameter

Die empirischen freien Gehgeschwindigkeiten werden mit der Wunschgeschwindigkeit des Social Force Modells identifiziert und zu diesem Zweck eine entsprechende Verteilung in Viswalk definiert.

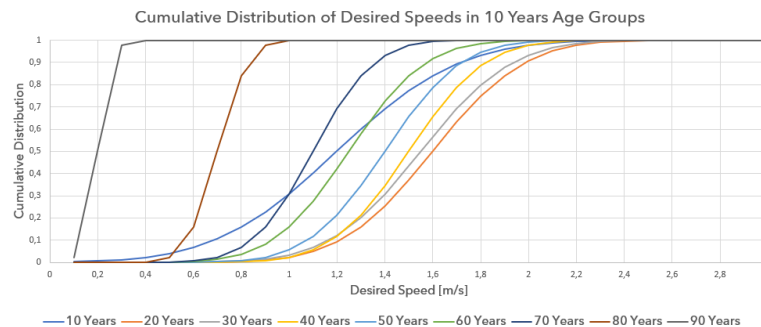


Abbildung 11: Kumulierte Wunschgeschwindigkeitsverteilungen je 10-Jahre-Altersintervall wie sie sich näherungsweise (!) aus Abb. 2 der Rimea-Richtlinie 3.0.0 ergeben.

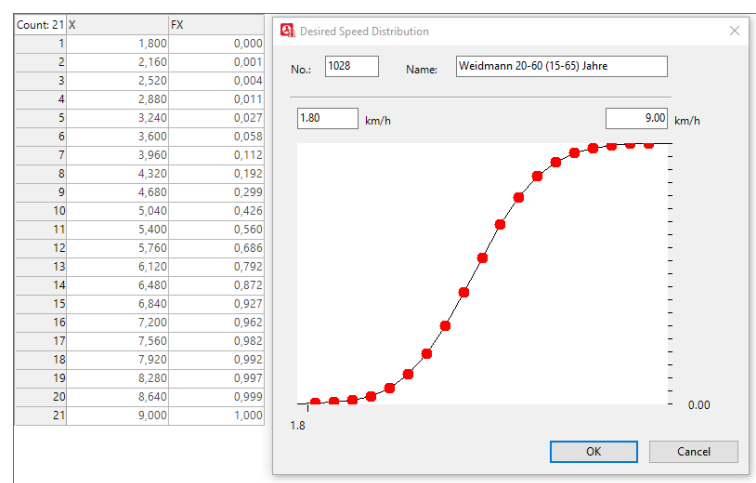


Abbildung 12: Kombinierte kumulierte Wunschgeschwindigkeitsverteilung der Altersklassen 20-60, d.h. der Altersjahre 15 bis 65 Jahre.

Die Geometrie des Simulationsmodells ist strukturell einfach. Die Agenten bewegen sich gerade so weit durch das Modell, dass ihre Wunschgeschwindigkeit gemessen werden kann.

Durchführung und Anmerkungen

10.000 Agenten werden im Lauf von 20.000 Simulationssekunden eingesetzt und bewegen sich wenige Meter durch das Modell. Dabei wird ihre Wunschgeschwindigkeit in einer Ausgabedatei (*Flächenmessungsrohdaten*) dokumentiert.

Ergebnisse

Abbildung 13 zeigt, dass die Verteilung der gemessenen Werte sich nicht von der Verteilung der vorgegebenen Werte unterscheiden lässt.

Test 7 - Zuordnung der demographischen Parameter

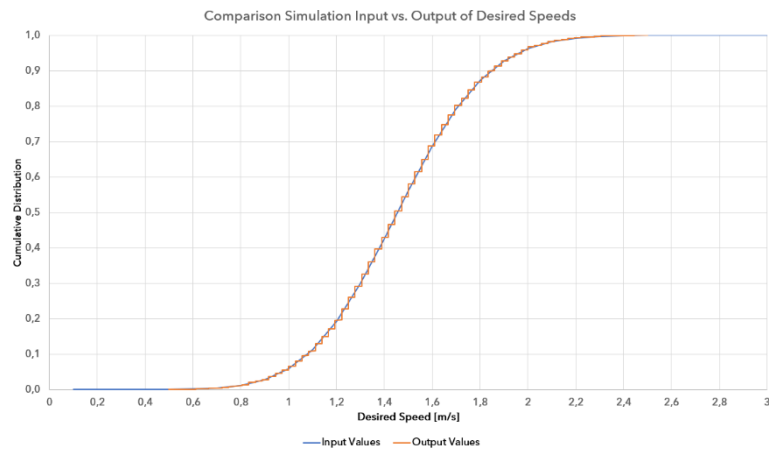


Abbildung 13: Vergleich von Eingabe- und Ausgabewerten der Wunschgeschwindigkeit. Die Stufung der Ausgabewerte kommt dadurch zustande, dass die Werte nur mit einer Nachkommastelle ausgegeben wurden. Dadurch können beide Kurven überhaupt erst unterschieden werden.

Test 8 - Parameteranalyse

Wortlaut der Testdefinition

Die Parameteranalyse dient dazu, die Auswirkungen der in der Simulation verwendeten Parameter darzustellen. Für den in Abbildung [...] gezeigten dreistöckigen Testgrundriss **soll aufgezeigt werden, wie sich die Gesamtentfluchtungsdauer verändert, wenn einzelne Personenparameter variiert werden**. Dies ist für jeden einzelnen Parameter zu wiederholen, wobei die restlichen Parameter auf feste Standardwerte eingestellt werden. Der untersuchte Parameter soll dabei jeweils einmal für alle Personen gleich sein (z.B. Geschwindigkeit aller Personen: 0,5 m/s, 0,75 m/s, 1,0 m/s,...) und einmal statistisch gleich verteilt um einen festen Mittelwert variiert werden (z.B. Geschwindigkeit: 0,75 m/s, 0,5-1,0 m/s, 0,25-1,25 m/s,...).

Die Ergebnisse sind schriftlich in Graphen festzuhalten und werden auf der RiMEA-Homepage für jeden frei zugänglich abgelegt.

Im 2. Stock gibt es keine Treppe nach oben mehr. Er unterscheidet sich hierin vom 1.Stock.

Modellierung

Das Modell wurde wie beschrieben aufgebaut.

Die folgenden Parameter sollen variiert werden:

Parameter	Beschreibung
tau	Relaxationszeit des Driving Force Terms im Social Force Model (SFM)
ReactToN	Anzahl Agenten, die bei der Berechnung der Kraft berücksichtigt werden sollen.
A soc iso	Basiswert der abstoßenden Kraft zwischen Agenten der Circular Specification des SFM, siehe (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
B soc iso	Skala der Reichweite der Circular Specification Kraft (Mittelpunkt zu Mittelpunkt), siehe (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
lambda	Basiswert der Unterdrückung einer exakt von hinten wirkenden Circular Specification Kraft
A soc mean	Basiswert der abstoßenden Kraft zwischen Agenten der Elliptical Specification II des SFM, siehe (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
B soc mean	Skala der Reichweite der Elliptical Specification II Kraft (Oberfläche zu Oberfläche), siehe (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
VD	Extrapolationszeit für Relativgeschwindigkeit (wird in Publikation Δt genannt), siehe (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
noise	Basiswert der Zufallskraft auf Agenten, die einige Zeit lang deutlich langsamer als ihre Wunschgeschwindigkeit sind.
SidePref	bevorzugte Ausweichseite im Gegenverkehr

Wunschgeschwindigkeit	Wunschgeschwindigkeit zur Verwendung im Driving Force-Term des SFM
Hindernisabstand	Tiefe der Zone, die Agenten in der Nähe von <i>Hindernissen</i> meiden. Dies ist kein Attribut eines Agenten, sondern seines aktuellen Routen(zwischen)ziels
Durchmesser	Durchmesser des Körpers eines Agenten. Ergibt sich als Mittelwert aus Länge und Breite der Agenten welche um Länge und Breite des verwendeten <i>2d/3d-Modells</i> verteilt sind.
Zeitschritte pro Sekunde	Die Simulation verläuft zeitlich diskret. Die Bewegung der Agenten erfolgt unveränderlich 20 mal pro Sekunde. Allerdings kann die Frequenz für Routenwahl, Zuflüsse, etc. vom Anwender mit Hilfe dieses Parameters bestimmt werden.
Gittergröße für Umgebungssuche	Da grundsätzlich jeder Agent mit jedem anderen in der Simulation interagieren kann, wäre eigentlich zu erwarten, dass die Rechendauer mit dem Quadrat der Anzahl Agenten wächst. Um eine lineare Abhängigkeit zu erreichen, wird das Modell in „Funkzellen“ aufgeteilt. Agenten melden sich beim Betreten einer Funkzelle an, beim Verlassen ab. Der Suchraum für Nachbarn, die eine Kraft aufeinander ausüben könnten, kann dadurch auf die momentane Funkzelle eines Agenten sowie die unmittelbaren Nachbarzellen beschränkt werden ohne dass größere Fehler gemacht werden mit Blick auf die Agenten, die eigentlich berücksichtigt werden müssten (vergleiche Parameter <i>ReactToN</i>). Je kleiner die Funkzellen definiert werden, umso schneller läuft die Simulation, umso eher bleiben aber relevante Kräfte unberücksichtigt.

Dabei sind die ersten 10 Einträge Bestandteil des *Laufverhaltens* der Agenten. Im *Laufverhalten* existiert keine Variation oder Verteilung, sondern je Parameter ein einzelner fester Wert. Ein *Laufverhalten* wird einem *Fußgängertyp* zugewiesen. Innerhalb eines *Fußgängertyps* variieren die ersten 10 Einträge somit nicht. Ein *Fußgängertyp* wären üblicherweise „Frauen“ oder „Männer (30-50 Jahre)“. D.h. für die ersten 10 Einträgen gibt es in der Regel in einer Simulation nur wenige unterschiedliche Werte, standardmäßig, d.h. wenn an den Voreinstellungen der Population nichts verändert wird, jeweils nur einen einzigen.

Die *Wunschgeschwindigkeit* kann Agenten an einem *Zufluss* hingegen immer nur in Form einer Verteilung zugewiesen werden. Standardmäßig sind dies die beiden Verteilungen für 30 bis 50-jährige Frauen und Männer gemäß (IMO, 2016). Eine Verteilung kann auch als nur aus einem einzigen Wert bestehend definiert werden.

Die Körpergröße der Agenten („Durchmesser“) bestimmt sich standardmäßig aus Verteilungen um die Abmessungen der acht verwendeten *2d/3d-Modelle*

Der *Hindernisabstand* ist eine Eigenschaft der Navigationsfelder (der „Potentiale“). Er bestimmt die Entfernung bis zu der die Fläche bei der Berechnung der Felder als größer angenommen wird, als sie eigentlich ist, wodurch im Effekt eine abstoßende Wirkung entsteht, die über die Richtung der *Wunschgeschwindigkeit* (und nicht etwa als explizite Kraft) vermittelt wird.

„Zeitschritte pro Sekunde“ und „Gittergröße für Umgebungssuche“ sind keine Modellattribute im eigentlichen Sinn, sondern Parameter die Rechengeschwindigkeit und Genauigkeit der numerischen Implementierung (mit dem analytischen, kontinuierlichen Modell als Referenz) gegeneinander abwägen.

Zur Modellierung wird der *Szenariomanager* von PTV Viswalk verwendet. Zunächst wird das Modell mit allen Attributen auf Standardwerten aufgebaut und als „Szenario 1“ erstellt. Anschließend wird das Basismodell für jede Parameteränderung aufs Neue geändert und das resultierende Modell als neues *Szenario* gespeichert. Am Ende stehen auf diese Weise 33 Szenarien:

- Szenario 1 mit allen Parametern auf Standardwerten.
- Für jeden der oben angegebenen Parameter ein Szenario in dem der Wert nach unten und ein Szenario in dem er nach oben abweicht.
- Für die *Wunschgeschwindigkeit* zusätzlich je ein Szenario in dem alle Agenten den Mittelwert der Voreinstellungen zugewiesen bekommen („scharfe Verteilung“) und ein Szenario mit breiterer Verteilung.

Der Parameter „Durchmesser“ spielt eine Sonderrolle: standardmäßig gibt es kontinuierliche Verteilungen um acht diskrete Werte. Für den Fall kleinerer (bzw. größerer) Werte wurde der kleinste (bzw. größte) dieser Werte ohne Verteilung verwendet.

Die folgenden Zahlenwerte wurden verwendet:

Parameter	Voreingest. Wert bzw. Verteilung	kleiner	größer
tau	0,4	0,2	0,8
ReactToN	8	4	16
A soc iso	2,72	1,36	5,44
B soci iso	0,2	0,1	0,4
lambda	0,176	0	0,4
A soc mean	0,4	0,2	0,8
B soc mean	2,8	0,5	5
VD	3	1	5
noise	1,2	0	2
SidePref	none	left	right
Wunschgeschwindigkeit	IMO 30-50 (mit 1:1 m:w)	75%	150%
Hindernisabstand	0,5	0	1
Durchmesser [cm]	38,3; 40,0; 43,2; 44,1; 51,3; 51,5; 51,9; 52,0	38,3	52,0
Anzahl Simulationschritte	10	5	20
Nachbarschaftsgrid	5	2,5	10

Zusätzlich außerdem: Sowie 4,04 km/h (1,12 m/s) als scharfe *Wunschgeschwindigkeitsverteilung* und 2:1 Mischung der kleineren und größeren *Wunschgeschwindigkeitsverteilungen* für die verbreiterte *Wunschgeschwindigkeitsverteilung*

Durchführung und Anmerkungen

Für jedes *Szenario* werden 100 Simulationsläufe durchgeführt, was durch die Ablaufsteuerung des *Szenariomanagers* Szenario für Szenario automatisiert erfolgen kann. Die

eigentliche Messung erfolgt über eine *Flächenmessung*, die das gesamte Erdgeschoss abdeckt. Als Ergebnis verwendet wird der größte Wert des Ergebnisattributs *Ausfahrzeit*.

Ergebnisse

In der folgenden Tabelle **wird** für jedes *Szenario* die kleinste, durchschnittliche und größte **Entfluchtungsdauer** aus 100 Simulationsläufen **angegeben**.

Num.	Szenario Name / Beschreibung	Min.	Mittel	StAbw	Max.
1	Standardwerte	352,5	363,70	5,24	378,7
2	tau kleiner	213,1	220,72	3,05	228,0
3	tau größer	610,9	631,50	9,94	661,5
4	ReactToN kleiner	308,8	320,28	4,45	333,8
5	ReactToN größer	418,2	433,65	6,45	448,8
6	A soc iso kleiner	277,8	287,75	4,60	299,8
7	A soc iso größer	429,1	443,38	6,13	459,7
8	B soc iso kleiner	281,6	291,35	4,60	305,1
9	B soc iso größer	497,6	514,50	7,72	533,8
10	lambda kleiner	390,2	405,71	5,91	424,9
11	lambda größer	300,4	309,88	4,72	323,9
12	A soc mean kleiner	289,4	296,58	3,75	307,3
13	A soc mean größer	510,5	539,72	10,69	564,5
14	B soc mean kleiner	255,9	264,38	3,65	276,2
15	B soc mean größer	383,5	399,99	6,27	415,7
16	VD kleiner	386,5	401,16	6,04	416,9
17	VD größer	327,2	338,78	4,77	351,1
18	noise kleiner	363,6	379,16	6,10	394,9
19	noise größer	337,0	347,47	5,32	360,6
20	Side pref. links	341,3	351,86	4,75	363,4
21	Side pref. rechts	352,6	365,93	5,82	380,5
22	Wunschgeschwindigkeit kleiner	578,3	598,18	9,35	622,0
23	Wunschgeschwindigkeit größer	178,2	184,29	2,73	190,6
24	Wunschgeschwindigkeit scharf	330,5	336,85	2,74	343,1
25	Wunschgeschwindigkeit breiter verteilt	355,0	390,43	20,4	436,0
26	Hindernisabstand kleiner	353,2	366,85	5,81	381,6
27	Hindernisabstand größer	357,3	367,97	4,89	380,5
28	Durchmesser kleiner	296,2	309,87	5,09	320,0
29	Durchmesser größer	393,5	408,08	5,98	425,1
30	Weniger Zeitschritte pro Sekunde	354,8	366,10	5,42	378,4
31	Mehr Zeitschritte pro Sekunde	349,60	362,62	5,57	375,15
32	Nachbarschaftsgrid kleiner	332,7	344,10	4,95	356,0
33	Nachbarschaftsgrid größer	388,7	400,20	5,55	413,5

Die Entfluchtungsdauer erlaubt nur sehr begrenzt Rückschlüsse auf Details des Simulationsgeschehens. Gleiche Werte in unterschiedlichen *Szenarien* bedeuten nicht zwangsläufig, dass sich auch das Geschehen im Gebäude während der Simulation ähnlicher ist als im Vergleich mit anderen *Szenarien*. Und wenn der kleinste und der größte Wert sich für ein

Test 8 - Parameteranalyse

Szenario nur wenig unterscheiden, heißt dies nicht, dass der Parameter allgemein wenig Einfluss hat. Das hier vorliegende Szenario enthält z.B. keine Situationen mit gegenläufigen Strömen. Entsprechend können Parameter, deren Wert sich besonders bei diesen auswirkt, nur wenig wirksam werden.



Abbildung 14: Screenshot aus einem der Simulationsläufe.

Test 9 - Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum

Wortlaut der Testdefinition

Ein öffentlicher Raum mit vier Ausgängen und 1.000 gleichförmig in dem Raum verteilten Personen (vgl. Abbildung [...]). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Abbildung [...] mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 1.000 Personen.

Schritt 1: Zeichne die Zeit auf, zu der die letzte Person den Raum verlässt.

Schritt 2: Tür 1 und Tür 2 werden versperrt und Schritt 1 wird wiederholt

Das erwartete Ergebnis ist eine ungefähre Verdopplung der Zeit zum Verlassen des Raums.

Modellierung

Das Modell bzw. die beiden Modell-Varianten werden wie beschrieben implementiert. Die Zielfläche umfasst den Raum so, dass sie von allen Türen gleichen Abstand hat. Hierdurch steuert jeder Agent in der Simulation die Tür an, die seiner momentanen Position am nächsten ist. Die Population entspricht der dritten im Kapitel Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes aufgeführten Population, d.h. der näherungsweise Rimea-Standardpopulation.

Durchführung und Anmerkungen

Es werden 100 Simulationsläufe durchgeführt.

Ergebnisse

Es werden die Quantile in Schritten von 10% betrachtet. Im Vergleich der beiden Modellvarianten **liegen die Entfluchtungsdauern für den Fall mit nur zwei Türen über alle Quantile hinweg zwischen 83% und 92% über den Werten des Falls mit vier Türen** wie man in Abbildung 15 erkennen kann. Dass nicht ein voller Faktor 2 erreicht wird, ist realistisch, denn gegen Ende des Vorgangs nimmt der Fluss ab, wie z.B. (Geoerg, 2012) aus empirischen Untersuchungen berichtet (siehe z.B. Abb. 24 dort), auch in (Kretz, Grünebohm, & Schreckenberg, 2006) wird berichtet, dass die Zeitlücken zwischen aufeinanderfolgenden Fußgängern in einem Engstellenexperiment im Lauf der Zeit etwas größer werden (Abb. 2). Insofern die Abnahme des Flusses unabhängig von der Anzahl der zuvor durch eine Engstelle gegangenen Fußgänger ist, ist der Zeitaufschlag im Vergleich zum Fall unverminderten Flusses in beiden Modellvarianten gleich anzunehmen, wodurch sich als Erwartung ein Wert kleiner 2 für das Verhältnis der Entfluchtungsdauern ergibt.

Test 9 - Eine Menschenmenge verlässt einen großen öffentlichen Raum

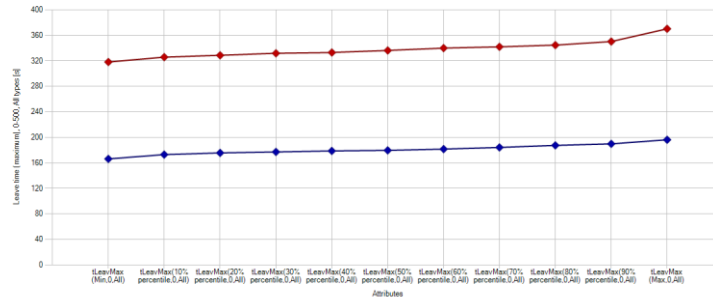


Abbildung 15: Entfluchtungsauern der Quantile (bezogen auf Simulationsläufe) in Schritten von 10%.

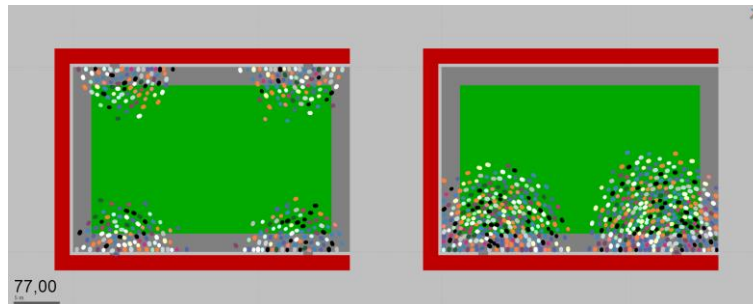


Abbildung 16: Screenshot zum Zeitpunkt da in Summe beider Fälle noch 1.000 Agenten in der Simulation sind.

Test 10 - Zuweisung von Rettungswegen

Wortlaut der Testdefinition

Konstruiere die Sektion eines Ganges wie in Abbildung [...] mit einer Population von erwachsenen Personen aus Abbildung [...] mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 23 Personen. Die Personen in den Räumen 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 und 10 sind dem Hauptausgang zugewiesen, alle übrigen Personen dem sekundären Ausgang. **Das erwartete Ergebnis ist, dass alle zugewiesenen Personen zu den entsprechenden Ausgängen gehen.**

Modellierung

Das Modell wurde wie beschrieben aufgebaut, siehe Abbildung 17. In jedem Raum liegt eine *Routenentscheidung*, an der genau eine *Route* zum geforderten Ausgang hängt. Außerdem wurde von jedem Raum zu jedem der beiden Ausgänge je eine *Reisezeitmessung* erstellt. Mit *Reisezeitmessungen* können auch Agenten gezählt werden, die die *Reisezeitmessung* vollenden, die sich also zunächst im Bereich der Fläche mit dem Start der *Reisezeitmessung* und irgendwann später im Verlauf der Simulation im Bereich des Ziels der *Reisezeitmessung* befinden.

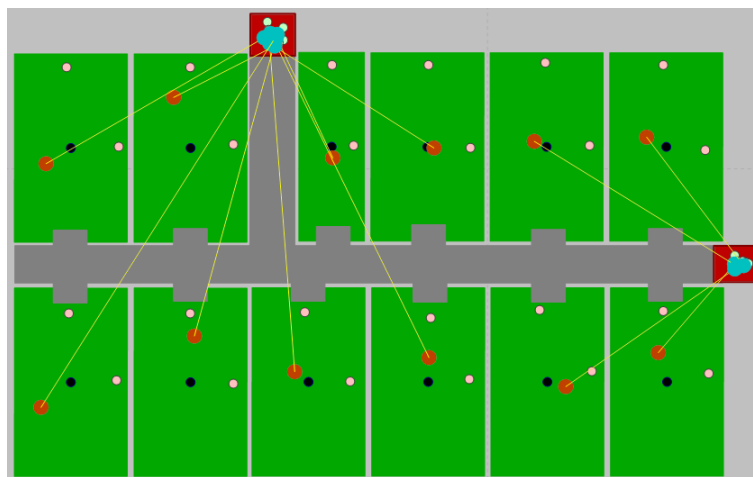


Abbildung 17: Modell für Testfall 10.

Durchführung und Anmerkungen

Die Simulation wurde 1.000 Mal mit unterschiedlichen Zufallszahlen durchgeführt.

Ergebnisse

Für 1.000 Simulationsläufen **konnte – gestützt auf die 12 Reisezeitmessungen – verifiziert werden, dass die Agenten dem zugewiesenen Rettungsweg gefolgt sind.** In drei der 1.000 Simulationsläufe kam es vor, dass ein Agent, der in einem anderen Raum gestartet ist, einen Raum betreten und so die *Reisezeitmessung* ausgelöst hat und in Folge bei zwei *Reisezeitmessungen* gezählt wurde. Für die Simulationsläufe der drei betroffenen Zufallszahlengeneratorstartwerte wurde das korrekte Befolgen des zugewiesenen Rettungsweges für alle Agenten „manuell“ verifiziert.

Test 10 - Zuweisung von Rettungswegen



Abbildung 18: Screenshot aus einem der Simulationsläufe

Test 11 – Wahl des Rettungsweges

Wortlaut der Testdefinition

Ein öffentlicher Raum verfügt über 2 Ausgänge: Ausgang 1 und Ausgang 2 (vgl. Abbildung [...]). Wähle eine Population von erwachsenen Personen aus Abbildung [...] mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 1.000 Personen. Der Raum soll von links her mit der maximal möglichen Dichte besetzt werden. **Das erwartete Ergebnis ist, dass die Personen den näheren Ausgang 1 zwar bevorzugen und in diesem Bereich Stauungen auftreten, jedoch einzelne Personen auch den alternativen Ausgang 2 benutzen.**

Modellierung

In diesem Fall entscheiden Details der Modellierung maßgeblich über das Ergebnis. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Varianten modelliert und die Ergebnisse dargestellt. Eine naheliegende erste Idee wäre eine *Routenentscheidung* auf der Zuflussfläche zu platzieren mit zwei *Routen* von denen je eine durch eine der beiden Türen geht. Die *relativen Belastungen* könnten beliebig gewählt werden und würden das Türwahlverhältnis bestimmen. Agenten würden ihre *Route* direkt nach dem Einsetzen probabilistisch wählen und anschließend dem entsprechenden Ausgang zustreben. Diese explizite Art der Zuweisung ist jedoch offensichtlich nicht im Sinn dieses Testfalls. Zudem wäre es auf diese Weise möglich (sogar üblich), dass Agenten, die in der „südlichen“ Hälfte beginnen die „westliche“ Tür nehmen, Agenten, die in der „nördlichen“ Hälfte starten hingegen die „östliche“ Tür, d.h. es würden sich in großer Anzahl Trajektorien kreuzen. Aus diesen beiden Gründen wurden vier andere Möglichkeiten modelliert.

Damit die Routenwahl implizit erfolgen kann, darf es nur eine einzige *Route* geben, die zu einer Zielfläche führt. Auf den beiden Türen darf kein *Routenzwischenpunkt* platziert werden.

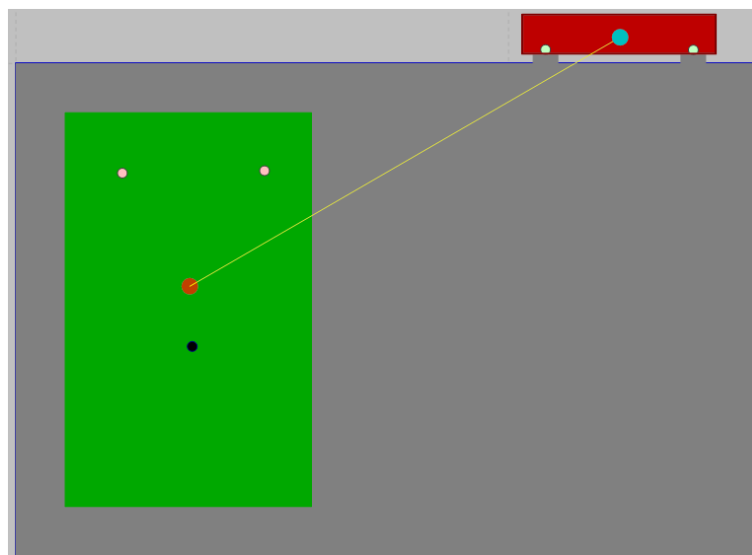


Abbildung 19: Variante 1. Agenten werden auf der grünen Fläche eingesetzt, allen wird die gleiche (einzige) Route zugewiesen.

Die Breite der Einsetzfläche ergibt sich aus der für weiteren Zufluss maximal erlaubten Agentendichte von 6,25 / m²: $1000 / 6,25 / 16 \text{ m} = 10 \text{ m}$.

Für die erste Variante wird die Zielfläche direkt außerhalb des Raumes in einem Abstand von 40 cm gelegt. Sie erstreckt sich von Tür zu Tür, siehe Abbildung 19. Agenten bekommen unmittelbar nach dem Einsetzen auf der grünen *Fläche* eine (die einzige) Route zugewiesen, die sie zur roten *Fläche* streben lässt. Dabei wird der räumlich kürzeste Weg bevorzugt. Dass Agenten dennoch Tür 2 benutzen, kann nur deswegen passieren, weil sie unterwegs von anderen Agenten so (nach „Osten“) abgedrängt werden, dass der Weg durch Tür 2 plötzlich der kürzere Weg ist.

Dasselbe Prinzip des räumlich kürzesten Weges bestimmt die Türwahl in Variante 2. Nur wird in diesem Fall die (rote) Zielfläche so gedreht, dass ihre dem Raum zugewandte Kante orthogonal zur Verbindungslinie vom Mittelpunkt der (grünen) Einsetzfläche zum Mittelpunkt zwischen den beiden Türen ausgerichtet ist, siehe Abbildung 20. Dadurch ist für einen großen Teil der Agenten gleich zu Beginn der Weg durch Tür 2 der kürzere. Wegewahl nach dem Prinzip des kürzesten Weges sollte auf diese Weise ein sehr ausbalanciertes Verhältnis ergeben.

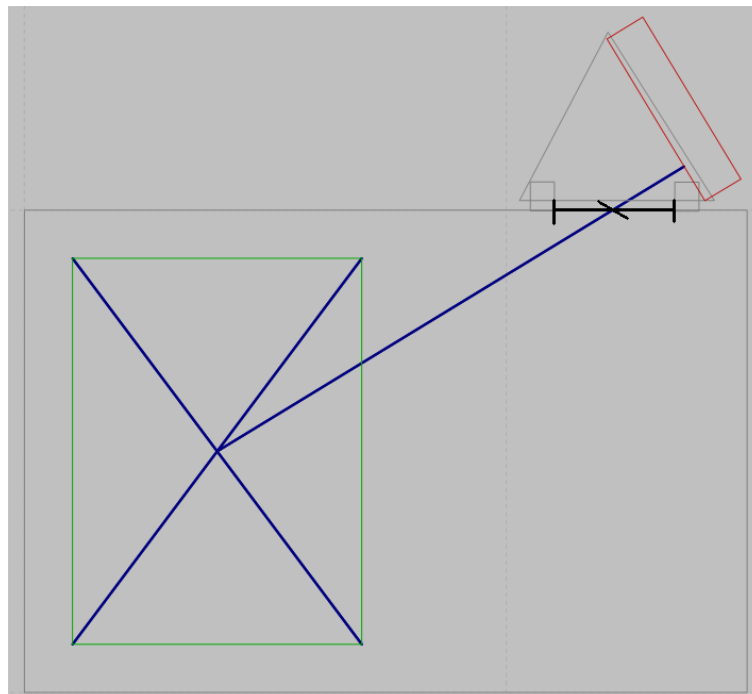


Abbildung 20: Variante 2. Die Zielfläche wird im Vergleich zu Variante 1 gedreht. Die blauen und schwarzen Linien veranschaulichen das Konstruktionsprinzip der Geometrie.

Variante 3 entspricht geometrisch und allen anderen Aspekten wieder Variante 1 mit der Ausnahme, dass das *dynamische Potential* für das *Routenziel* aktiviert ist. Dies führt dazu, dass Agenten nicht mehr dem kürzesten Weg (wenigste Meter) folgen möchten, sondern dem Weg – so kann man es zumindest interpretieren – der vermuteten frühesten Ankunft am Ziel (wenigste Sekunden), Details zu dieser Methode sind u.a. in (Kretz, et al., 2011) dokumentiert.

In Variante 4 wird eine explizite Zuweisung zu einer der beiden Türen vorgenommen. Zu diesem Zweck werden zwei *Flächen* zum Modell hinzugefügt, siehe Abbildung 22. Auf jeder der beiden *Flächen* wird eine *Teilroutenentscheidung* mit je nur einer *Teilroute* angelegt. Jede *Teilroute* hat ein Zwischenziel auf einer der beiden Türen. *Teilroutenentscheidungen* werden wirksam, wenn Agenten die zugehörige *Fläche* betreten. Im Gegensatz zu

einer Routenzuweisung gleich zu Beginn wird durch die geometrische Konstruktion erreicht, dass die Türwahl „vernünftig“ gemäß der aktuellen Position eines Agenten erfolgt.

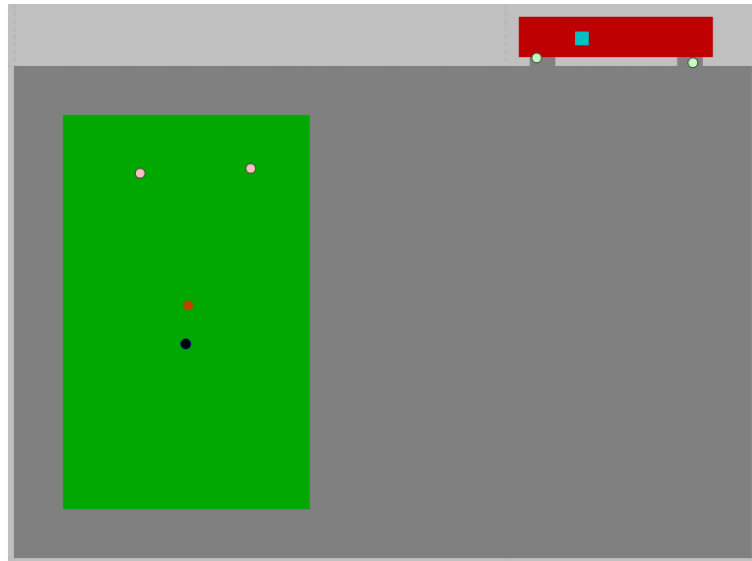


Abbildung 21: Variante 3. Das dynamische Potential ist aktiviert, zu erkennen am quadratischen Marker des Routenziels.

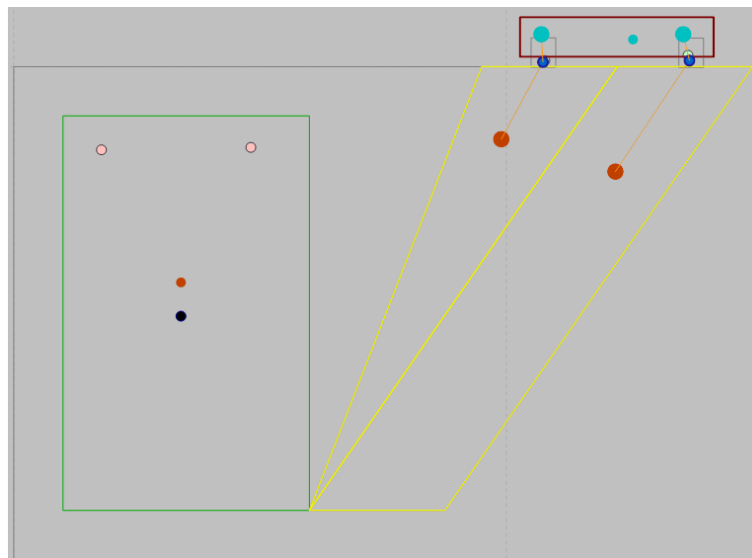


Abbildung 22: Variante 4. Durch die Modellierung werden im Effekt Agenten innerhalb der gelb markierten Flächen der entsprechenden Tür fest zugeordnet.

Die Population entspricht der dritten Population wie in Kapitel Test 4 - Messung des Fundamentaldiagrammes angegeben, d.h. der „näherungsweisen Rimea-Standard-Population“.

Durchführung und Anmerkungen

Alle vier Varianten werden in einem gemeinsamen Modell erstellt. Es werden 100 Simulationsläufe ausgeführt. Vermittels *Reisezeitmessungen* wird gezählt, wie viele Agenten die Türen jeweils nutzen.

Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse. Interessant ist, dass mit der zweiten Variante mehr Agenten Tür 2 benutzen. Das liegt daran, dass zunächst ein gemeinsamer Stau um beide Türen zusammen entsteht. Während der Lebensdauer des Staus verändert sich seine Form hin zu einer mehr symmetrischen Verteilung bezüglich der beiden Türen. Wenn der Stau nach und nach abfließt, wird Tür 1 irgendwann nicht mehr genutzt, weil sie für alle im Raum verbliebenen Agenten einen Umweg darstellt. Dies könnte korrigiert werden, indem die Orientierung der Zielfläche angepasst wird. Dies wurde hier nicht gemacht, um zu demonstrieren, wie sehr die Entscheidung über die Türwahl von der Orientierung des Ziels (oder in einem größeren Modell auch Zwischenziels) außerhalb des Raumes abhängt.

Variante	Tür 1	Tür 2
1	860 872,9 $\pm$ 4,4 884	116 127,1 $\pm$ 4,4 140
2	383 390,7 $\pm$ 4,1 402	598 609,3 $\pm$ 4,1 617
3	632 647,9 $\pm$ 5,0 659	341 352,1 $\pm$ 5,0 368
4	645 658,4 $\pm$ 5,2 671	329 341,6 $\pm$ 5,2 355

Tabelle 2: Min, Durchschnitt und Max der Anzahl Agenten, die die jeweilige Tür in den vier Varianten benutzt haben.

Test 12 - Auswirkung von Engstellen

Wortlaut der Testdefinition

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einem weiteren Raum verbunden ist (vgl. Abbildung [...]) und fülle ihn wie gezeigt mit einer Population von 150 erwachsenen Personen (Gehgeschwindigkeit gemäß Abbildung [...]). Die Reaktionsdauer betrage 0s.

Da der Personenstrom durch den Gang begrenzt wird, **darf es nur in Raum 1 zu einem Stau kommen und in Raum 2 nicht.**

Solange in der Frage, ob am Eingang zu Raum 2 nicht doch ein Stau entstehen kann, keine Entscheidung auf empirischer Basis getroffen werden kann, sollte Test 12 nicht im Sinne eines Ausschlusskriteriums behandelt werden, sondern lediglich Modellverhalten dokumentieren.

Modellierung

Bei dieser Aufgabenstellung stellt sich die Frage, wie präzise zu unterscheiden ist, ob sich ein Stau bildet oder nicht. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, wurde die Geometrie in zwei weiteren Varianten modelliert, die jeweils nur eine Engstelle haben, siehe Abbildung 23. Die Idee ist, die Frage nach dem Stau von der Frage nach einer nicht präzise bestimmten räumlichen Häufung von Agenten auf die Frage nach Reisezeiten bzw. Verlustzeiten umzuformulieren.

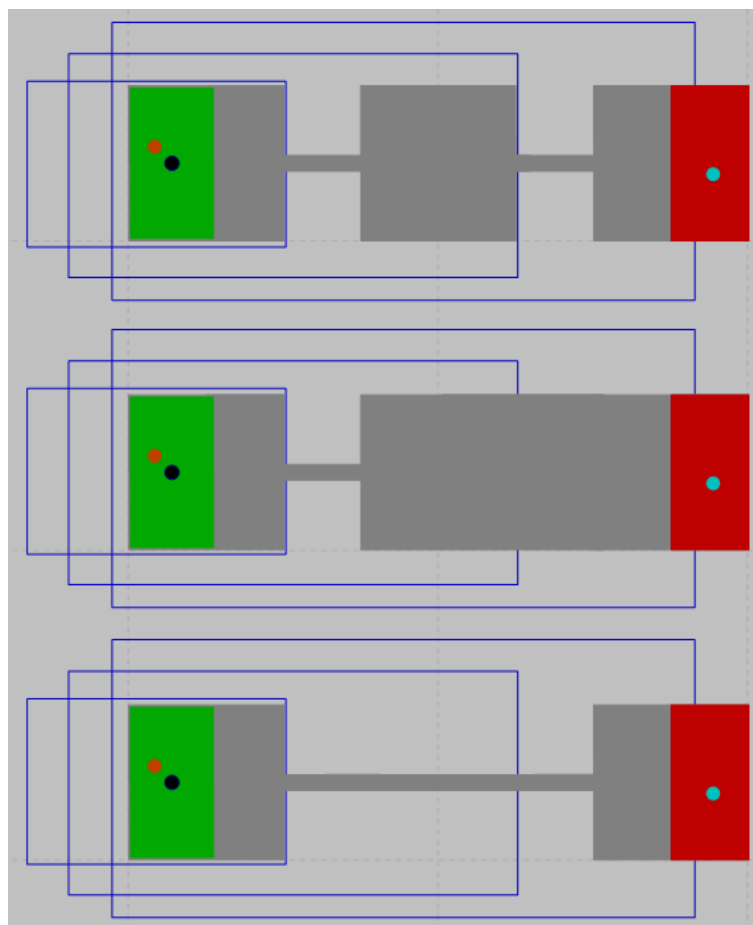


Abbildung 23: Geometrie des Tests mit Vergleichsgeometrien.

In Abbildung 23 sind neben der Geometrie auch für jede Variante je drei blaue Rechtecke markiert, welche *Flächenmessungen* markieren. Für diese *Flächenmessungen* wird die größte *Ausfahrtzeit* genannte Größe ($t_{LeaveMax}$) dokumentiert, d.h. die Zeit zu der der letzte Agent die jeweilige *Flächenmessung* verlässt.

Durchführung und Anmerkungen

Es werden 100 Simulationsläufe durchgeführt.

Ergebnisse

Tabelle 3 zeigt die Zeiten zu denen der letzte Agent die *Flächenmessungen* verlassen hat. Testvariante 2 weist größere Zeiten auf als die Geometrie des Tests und Testvariante 1. Die kleinsten Zeiten sind für die Geometrie des Tests und Testvariante 1 sehr ähnlich. Bei den Mittelwerten und den Maxima zeigt Testvariante 1 jedoch um wenige Sekunden kleinere Werte. Das bedeutet, dass die zweite Engstelle in Test 12 eine „Chance“ auf einen weiteren Zeitverlust bietet, die jedoch nicht in jedem Fall „genutzt“ wird. Es kommt immer wieder (aber nicht immer) vor, dass Agenten durch ungenügende Koordination vor der zweiten Engstelle Zeit verlieren. Dazu passen auch die größeren Standardabweichungen der Mittelwerte für Test 12 im Vergleich zu Testvariante 1. **Das entspricht nicht vollständig der Anforderung des Testfalls, ist aber ein plausibles Resultat.**

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
Test 12	144,0	180,3	200,4
	$167,2 \pm 9,7$	$208,1 \pm 10,8$	$230,0 \pm 11,4$
	188,8	231,8	253,5
Testvariante 1	145,9	180,6	199,2
	$164,3 \pm 8,0$	$201,8 \pm 9,5$	$222,1 \pm 10,6$
	185,3	225,8	248,7
Testvariante 2	160,5	200,7	222,4
	$181,6 \pm 9,0$	$223,3 \pm 9,7$	$245,1 \pm 10,1$
	203,5	246,6	269,8

Tabelle 3: Min, Durchschnitt und Max der Zeitpunkte zu denen der jeweils letzte Agent die Messfläche in den 100 Simulationsläufen verlassen hat.

Test 13 - Stau vor einer Treppe

Wortlaut der Testdefinition

Konstruiere einen Raum, der durch einen Gang mit einer Treppe verbunden ist (vgl. Abbildung [...]) besetzt wie gezeigt mit einer Population von erwachsenen Personen aus Abbildung 2 mit sofortiger Reaktion und verteile die Gehgeschwindigkeiten auf eine Population von 150 Personen.

Das erwartete Ergebnis ist, dass ein Stau am Ausgang des Raumes auftritt, der einen stetigen Fluss im Gang erzeugt. Zusätzlich wird ein Stau am Fuß der Treppe erwartet, der mit der Zeit wachsen sollte, da der Fluss über die Treppe kleiner ist, als der durch den Gang.

Modellierung

Das Modell wird wie beschrieben aufgebaut. Als überwundener Höhenunterschied der Treppe wird 1,5 m angenommen. Auf der *Treppe* kommt keine abweichende *Wunschgeschwindigkeitsverteilung* zum Einsatz. Die *Wunschgeschwindigkeit* in horizontaler Projektion sollte deswegen um gut 10% kleiner sein als die *Wunschgeschwindigkeit* in der Ebene.

Durchführung und Anmerkungen

Es werden 30 Simulationsläufe ausgeführt. Die Staumessung erfolgt in diesem Fall räumlich indem für *Gitterzellen* mit einer Abmessung von 20 x 20 cm² je ein Dichtewert je Fünf-Sekunden-Intervall (d.h. ermittelt wird die mittlere Dichte im Zeitverlauf des Intervalls) und Simulationslauf berechnet wird. Anschließend wird der Dichtewert für jedes Zeitintervall über die Simulationsläufe gemittelt.

Ergebnisse

Nur per Augenschein lässt sich im einzelnen Simulationslauf kaum ein Rückstau feststellen, weil die Dichte im Korridor vor der Treppe generell recht hoch ist. Bei Durchsicht der einzelnen Zeitintervalle im Mittel der Simulationsläufe lässt sich dann allerdings doch eindeutig erkennen, dass für die Zeitintervalle ab 35 Sekunden die Dichte direkt an der Treppe größer ist als weiter stromaufwärts, siehe Abbildung 24. Der Stau wächst für einige Sekunden an, kann aber freilich nicht beliebig anwachsen, da der Zustrom von Agenten von hinten recht bald endet und der Stau dann wieder abgebaut wird. Wenn alle Agenten gleiche *Wunschgeschwindigkeiten* haben und auf der Treppe explizit reduzierte Wunschgeschwindigkeiten zur Verwendung kommen, zeigt sich der Effekt wie in Abbildung 25 deutlicher.

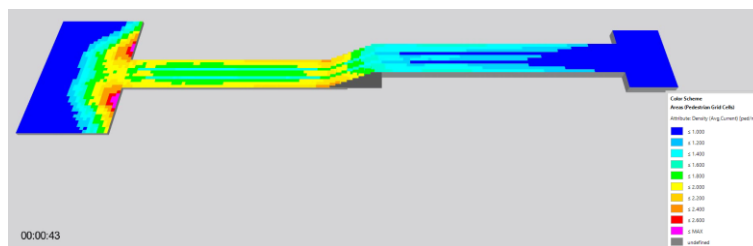


Abbildung 24: Dichte-Plot für das Zeitintervall [40..45) Sekunden im Mittel von 30 Simulationsläufen.

Test 13 - Stau vor einer Treppe

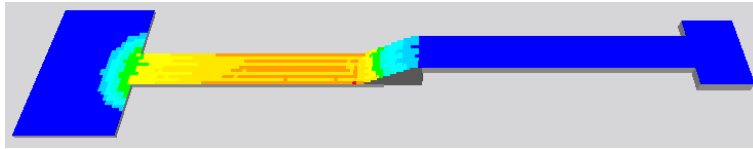


Abbildung 25: Abweichende Dichteverteilung durch scharfe Geschwindigkeitsverteilung und eigener Verteilung mit explizit reduzierten Wunschgeschwindigkeiten auf der Treppe.

Test 14 – Routenwahl

Wortlaut der Testdefinition

Startbereich (in der nachfolgenden Abbildung [...] mit „Start“ gekennzeichnet) und Zielbereich („Ziel“) sind durch zwei Treppen(dunkelgrau) und einen Gang im Erdgeschoss und durch einen (längeren) Gang im Obergeschoss miteinander verbunden.

Nehmen die Fußgänger eine kürzere Route über ein anderes Stockwerk oder bleiben sie auf der längeren Route auf einem Stockwerk? (Dokumentiere: „kurz“, „lang“, „gemischt“, oder „konfigurierbar“)

Modellierung

Das Szenario wird wie vorgegeben modelliert, allerdings in vier Varianten, die die *Routen* betreffen.

- 1) Nur eine *Route*, die direkt Start und Ziel verbindet.
- 2) Zwei *Routen*, die jeweils einen *Zwischenpunkt* auf der jeweils mittleren *Fläche* haben (den beiden Korridoren, die von „West“ nach „Ost“ verlaufen).
- 3) Nur einer *Route*, die einen *Zwischenpunkt* auf der *Fläche* im Untergeschoss hat.
- 4) Zwei *Routen*, von denen eine Start und Ziel direkt verbindet, die andere hingegen einen *Zwischenpunkt* im Untergeschoss hat.

Wo es mehr zwei *Routen* gibt, sind die Wahlwahrscheinlichkeiten 50:50.

Die *Flächen* im Untergeschoss sind einer eigenen *Ebene* zugeordnet. Da in diesem Beispiel keine begehbaren Bereiche übereinander liegen, wäre es auch möglich alles in einer *Ebene* zu modellieren und den *Flächen* nur unterschiedlichen Höhenversatz zuzuweisen, so dass in der 3d-Darstellung ein identisches Bild entsteht. Die Wegewahl der Agenten würde in diesem Fall teilweise anders ausfallen. Diese Variante wäre jedoch mit erheblich mehr Aufwand verbunden als ein *Routenzwischenziel* geeignet zu erstellen, um einen identischen Effekt zu erreichen.

Durchführung und Anmerkungen

Es wird so simuliert, dass in jeder Variante im Mittel ein Agent je Sekunde eingesetzt wird. So entsteht ein kontinuierlicher Strom

Ergebnisse

Die Wegewahl ergibt sich folgendermaßen in den Varianten

- 1) Die Agenten nehmen alle den längeren Weg ohne das Stockwerk zu wechseln.
- 2) Die Agenten verteilen sich 50:50 auf beide Wege.
- 3) Alle Agenten nehmen den kürzeren Weg über das Untergeschoss.
- 4) Die Agenten verteilen sich 50:50 auf beide Wege.

Dieses Ergebnis passt zur Angabe, dass in Viswalk Agenten Stockwerkswechsel vermeiden, wenn es einen Weg ohne Stockwerkswechsel gibt³. **Im Sinne der Aufgabenstellung ist die Voreinstellung somit „lang“, grundsätzlich ist die Wegewahl aber „konfigurierbar“.**

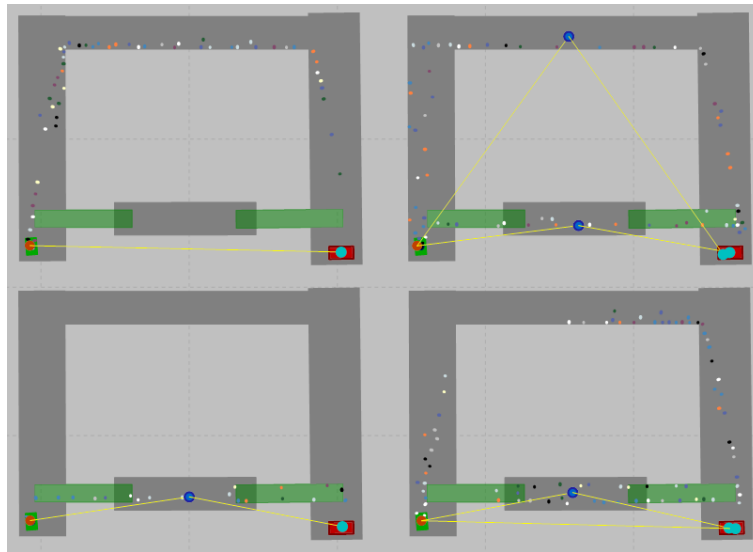


Abbildung 26: Die vier Varianten (nummeriert v.l.n.r. und v.o.n.u.) mit Routen und Agenten.

³ Sofern ein Stockwerkswechsel erforderlich ist und Treppen, Rolltreppen und Aufzüge vorhanden sind, hängt die Wegewahl von Details der Geometrie ab (immer unter Berücksichtigung möglicher Zwischenpunkte der Routen).

Test 15 – Bewegung einer großen Menge Fußgänger um eine Ecke

Wortlaut der Testdefinition

Mit Test15 soll aufgezeigt werden, inwieweit die Bewegung von Personen um eine Ecke einen Einfluss auf die berechnete Evakuierungszeit hat. Nähere Hintergrundinformationen können aus den Veröffentlichungen[...]und [...]entnommen werden.

Konstruiere drei Geometrien wie in [...] dargestellt. In dem Startbereich („Start“) befinden sich 500 Personen. Dieser Bereich ist je nach gewähltem Programm entsprechend auszuführen. Für jede Geometrie ist die gleiche Personengruppe zu wählen, so dass die Ausgangsbedingungen für alle drei Geometrien identisch sind. Das Ziel ist der mit „Ziel“ gekennzeichnete Bereich.

Durch den Vergleich der Ergebnisse (Zeitdauer, bis alle Personen das Ziel erreicht haben) kann festgestellt werden, in wie weit eine Ecke einen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat, da die rechte Abbildung den kürzesten Weg darstellt und die linke Abbildung den längsten Weg. Im Idealfall liegt das Ergebnis der „Ecke“ zwischen den beiden Ergebnissen für den geraden kürzesten bzw. längsten Weg.

Modellierung

Das Modell wurde wie beschrieben aufgebaut. Die abknickende Geometrie wurde jedoch zweimal erstellt, um sie einmal ohne *dynamisches Potential* (nur *statisches Potential*; Standardmethode) und einmal mit *dynamischem Potential* (verfügbar für genau diesen Anwendungsfall; siehe (Kretz, 2009), (Kretz, et al., 2011)) simulieren zu können.

Die Population entspricht ungefähr der Rimea-Standardpopulation, d.h. es sind sowohl sehr geringe als auch hohe *Wunschgeschwindigkeiten* vertreten.

Durchführung und Anmerkungen

Es wurden 100 Simulationsläufe durchgeführt.

Ergebnisse

In 5 Sekunden-Intervallen wurde in jeder der vier Geometrien separat gezählt, wie viele Agenten das Ziel erreichen (*Destination Count* bzw. Ankunftsfluss). Der Durchschnitt der 100 Simulationsläufe ist in Abbildung 27 gezeigt.

Es ist gut zu erkennen, dass das Maximum des Ankunftsflusses für die geraden Geometrien am größten ist. Dass der Ankunftsfluss für den kurzen geraden Korridor im Maximum (ca. 11,8/s) höher ist als für den langen geraden Korridor (ca. 9,2/m/s) liegt an der großen Dispersion der Wunschgeschwindigkeiten der gewählten Population.

Noch größer ist allerdings der Unterschied zwischen der Variante mit *statischem Potential* und jener mit *dynamischem Potential*. Während mit dem *statischen Potential* im Maximum ein Ankunftsfluss von 3,2/s erreicht wird, sind es mit dem *dynamischen Potential* ca. 7,0/s. Dabei wird das Maximum in beiden Fällen nach 60 Sekunden Simulation erreicht. Simuliert man mit *statischem Potential* reduziert die Ecke somit die Kapazität auf ein Viertel bis ein Drittel, mit *dynamischem Potential* um deutlich weniger als die Hälfte im Vergleich zum geraden Korridor. Ursache hierfür ist, dass mit *dynamischem Potential* Agenten die Richtung ihrer *Wunschgeschwindigkeit* so anpassen, dass sie Bereiche mit hoher Agentendichte

Test 15 – Bewegung einer großen Menge Fußgänger um eine Ecke

meiden, ohne dass hierfür die Kräfte des Social Force Modells erforderlich wären. Deren Effekt kommt hinzu und dient auf kleinerer räumlicher Skala primär der Kollisionsvermeidung.

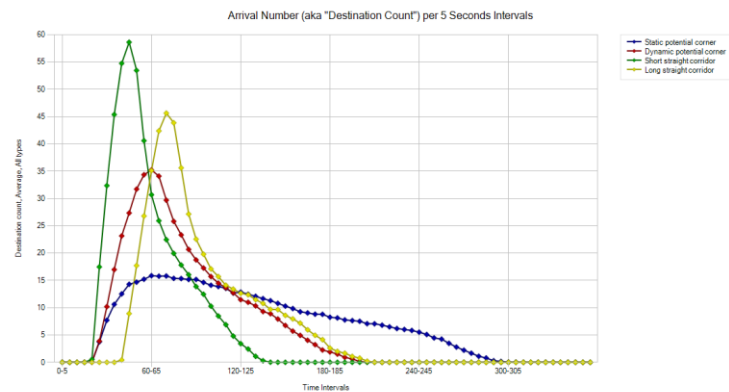


Abbildung 27: Ankünfte je 5-Sekunden-Intervall für die vier Varianten.

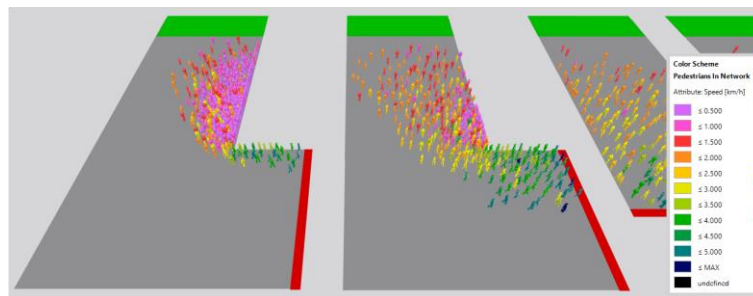


Abbildung 28: Simulation bei $t=60$ s. Die Agenten sind gemäß aktueller Geschwindigkeit eingefärbt.

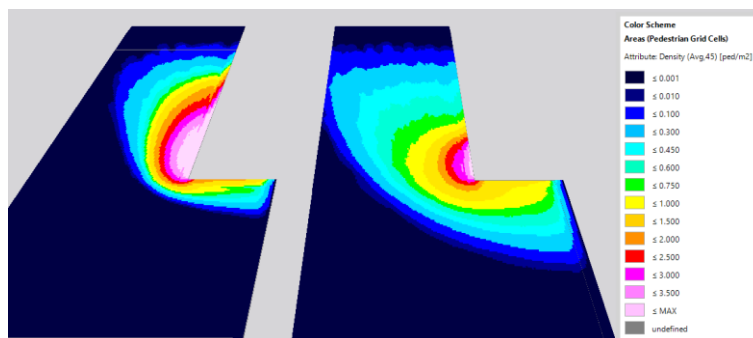


Abbildung 29: Dichtebasierte „Heatmaps“ für Zeitintervall 45-75 Sekunden im Mittel von 10 Simulationsläufen.

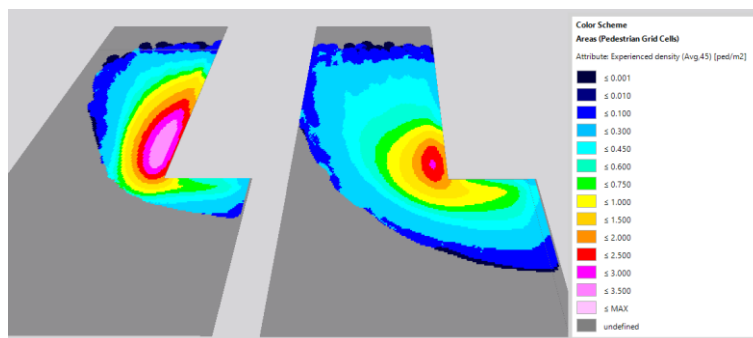


Abbildung 30: „Heatmaps“ bezüglich der individuell erlebten Umgebungsdichte. für Zeitintervall 45-75 Sekunden im Mittel von 10 Simulationsläufen.

Literaturverzeichnis

- Fruin, J. (1971). *Pedestrian planning and design*.
- Geoerg, P. (2012). *Vergleichende Untersuchung zur Beurteilung von Fluchtwegsituationen mittels computergestützter Evakuierungssimulation anhand charakteristischer Grundgeometrien [Master-Thesis]*. Magdeburg.
- Hurley, M. (Ed.). (2015). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer.
- IMO. (2016). *IMO MSC/Circ. 1533 - Revised Guidelines on evacuation analyses for new and existing passenger ships*. London: International Maritime Organization (IMO).
- Johansson, A., Helbing, D., & Shukla, P. (2007). Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data. *Advances in complex systems*, pp. 271-288. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/220301682>
- Kretz, T. (2009). The use of dynamic distance potential fields for pedestrian flow around corners. *Prepared and Accepted for "First International Conference on Evacuation Modeling and Management" (ICEM 09)*, (p. arXiv:0906.2667). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/45856799>
- Kretz, T. (2017). *Some Notes on Pedestrian Walking Speeds on Stairs*. online: ResearchGate.net. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/316430629>
- Kretz, T. (2019). *An overview of fundamental diagrams of pedestrian dynamics*. ResearchGate.net. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/336286296>
- Kretz, T., Große, A., Hengst, S., Kautzsch, L., Pohlmann, A., & Vortisch, P. (2011). Quickest paths in simulations of pedestrians. *Advances in Complex Systems*, pp. 733-759. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/51916028>
- Kretz, T., Grünebohm, A., & Schreckenberg, M. (2006). Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, p. P10014. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/2177226>
- RiMEA. (n.d.). *rimea.de*. Retrieved from [rimea.de: https://rimea.de/de/rimea-projekt/richtlinie-fuer-mikroskopische-entfluchtungsanalysen/](https://rimea.de/de/rimea-projekt/richtlinie-fuer-mikroskopische-entfluchtungsanalysen/)
- Schadschneider, A., & Schreckenberg, M. (1998). Garden of Eden states in traffic models. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, p. L225. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/241443718>
- Weidmann, U. (1993). *Transporttechnik der Fußgänger*. Zürich: ETHZ. Retrieved from <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/242008>

Analysis of the Test Cases of the Rimea Guideline with PTV Viswalk

Period of execution of the tests	November 2020
Version of the policy	3.0.0
Software used	PTV Viswalk
Version of the software	2021 SP 02
Manufacturer of the software	PTV Group
	Haid and Neu Straße 15
	76131 Karlsruhe
	info@ptvgroup.com
	https://www.ptvgroup.com/
Agent	Dr. Tobias Kretz
	PTV Group
	Haid and Neu Straße 15
	76131 Karlsruhe
	Tobias.Kretz@ptvgroup.com

Content

Preliminary remarks.....	3
Test 1 Maintaining the specified walking speed in a corridor.....	4
Test 2 - Maintaining the specified walking speed up stairs.....	5
Test 3 - Maintaining the specified walking speed down stairs.....	7
Test 4 - Measurement of the fundamental diagram.....	8
Test 5 - Premovement time	12
Test 6 - Movement around a corner.....	14
Test 7 - Allocation of demographic parameters	16
Test 8 - Parameter Analysis.....	19
Test 9 - Crowd of people leaving a large public space.....	23
Test 10 - Allocation of escape routes.....	25
Test 11 - Choice of escape route.....	27
Test 12 - Effect of bottlenecks	31
Test 13 - Congestion in front of a flight of stairs	33
Test 14 - Choice of route.....	34
Test 15 - Movement of a large crowd of pedestrians around a corner.....	36
Bibliography.....	38

Preliminary remarks

The RiMEA e.v. initiative ("Rimea is a German acronym meaning "Guideline for Microscopic Evacuation Simulation") has published a guideline (RiMEA) that contains 15 test cases for the purpose of subjecting pedestrian simulation software to an elementary review for the use case of evacuation simulation.

PTV Viswalk simulates pedestrians with a variant of the Social Force model. In this, space is represented continuously. In time, a discretization takes place in increments of 0.05 seconds, i.e. 20 simulation time steps per second.

The simulated pedestrians ("agents") have a desired speed to be specified by the user in the form of a distribution. The agents try to adjust their actual speed to this desired speed for value as well as direction. This happens with a certain inertia, i.e. not instantaneously, which may result in deviations of actual mean speeds and times compared to expected values, even in the absence of other agents.

Agents can be inserted to the model throughout the simulation. For this, users define the amount of agents to be inserted during a time interval. The software does the distribution of the individual time steps. When inserted, the agents get a random orientation and speed 0. Such default settings can be changed using scripts. However, to keep models comprehensible, the use of scripts was mostly dispensed.

The parameters of the Social Force model can be changed by the user. Agents of the same type have identical parameter values except for the desired speed, which is always defined as a distribution over a (sub)population.

This document uses terms that are specific to objects, data, or Viswalk functions. Where necessary, the function is explained. In many cases, however, the identifiers are self-speaking enough to understand the content, so that a detailed explanation can often be omitted. To support this, such terms are *highlighted*.

The modeled test cases are part of the demo version which can be downloaded from PTV Group homepage.

<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-viswalk/demo-version/>

Here are video animations of all test cases: <https://youtu.be/tq1hoQt0fkU>

Test 1 Maintaining the specified walking speed in a corridor

Text of the test definition

It is to be proven that a person in a 2 m wide and 40 m long corridor with a defined walking speed will cover the distance in the corresponding time period.

If 40 cm (body dimension), 1 second (premovement time) and 5% (walking speed) are set as imprecise values, then the following requirement results with a typical pedestrian speed of 1.33 m/sec: the speed should be set at a value between 4.5 and 5.1 km/h. ***The travel time should lie in the range of 26 to 34 seconds when 1.33 m/sec is set as the speed.***

Modeling

The model was created according to the requirement (geometry, distribution of desired speeds). In order to be able to simulate many agents during a single simulation run and still guarantee that they do not affect each other, precautions have been taken (a *Priority Rule* allows only one agent to pass until a minimum distance is given). The measurement of travel time is carried out by means of a *Travel time measurement*.

Execution and comments

There were 1,000 agents- spread over 25 simulated hours - inserted into the model. When inserted, the pedestrians are at rest and must accelerate to their desired speed. However, since the place of insertion is well ahead of the time measurement, it can be assumed that all agents actually reach their desired speed.

Results

From 1,000 agents the fastest needed 28.2 s, the slowest 32.0 seconds for the 40 meter long measurement track which corresponds to speeds between 1,250 and 1,418 m/s. Average and median were both 30.0 seconds. ***The requirement of the test definition is thus met.*** Figure 1 the quantiles of travel times for the measurement distance. With the equidistant quantiles there are almost equidistant travel times.

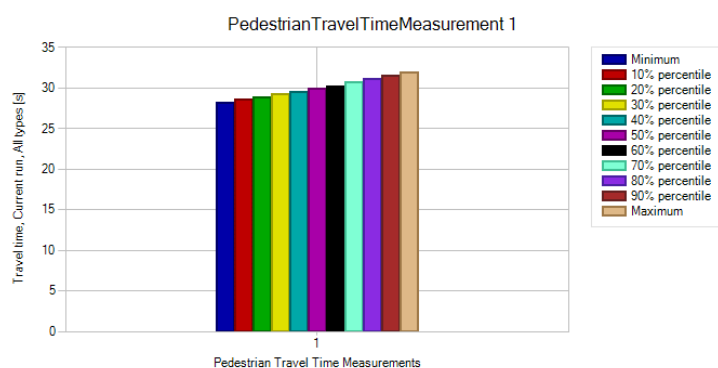


Figure 1: Quantiles of travel times

Test 2 - Maintaining the specified walking speed up stairs

Text of the test definition

It is to be proven that a person on a 2 m wide and 10 m long (measured along the slope) staircase will cover this distance in the corresponding time period with a defined walking speed.

The considerations from test 1 apply accordingly with adjusted values for route, duration and speed.

Modeling

Compared to Test 1, a 2 m wide, 9.539 m long and 3 m high staircase is placed in the model. The length along the slope is thus 10 m.

The agents are inserted into the model with the same desired speed distribution as in test 1. Since this is unusually high for stairs, a different distribution is used on the stairs, with which vertical speeds between 0.2 and 0.4 m/s result, compare.

(Kretz, 2017) It is expected that the journey from entering to leaving the stairs will take between 7.5 and 15.0 seconds. When entering the stairs, the agents slow down by reducing the desired speed. This process also takes some simulation time steps, which would make the simulation result less clear with regard to the desired goal. Therefore, not only the desired speed is adjusted on the stairs, but also the value of parameter τ is set to $\tau=0.05$ s, whereby the speed is adjusted to the new desired speed without delay.

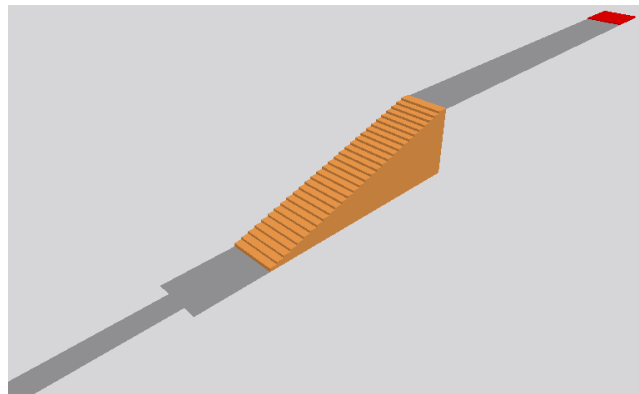
In this case, the travel time is measured by means of an *Area measurement* covering the entire stairs and only these.

Execution and comments

As for Test 1.

Results

The smallest recorded travel time is 7.50 s, the largest is 15.05 s, the median is 10.05 s and the average is 10.40 s. The fact that in Figure 2 upper quantiles are increasing is a consequence of the fact that the desired speeds are equally distributed, but the travel times result from the inverses of the speeds.



Test 2 - Maintaining the specified walking speed up stairs

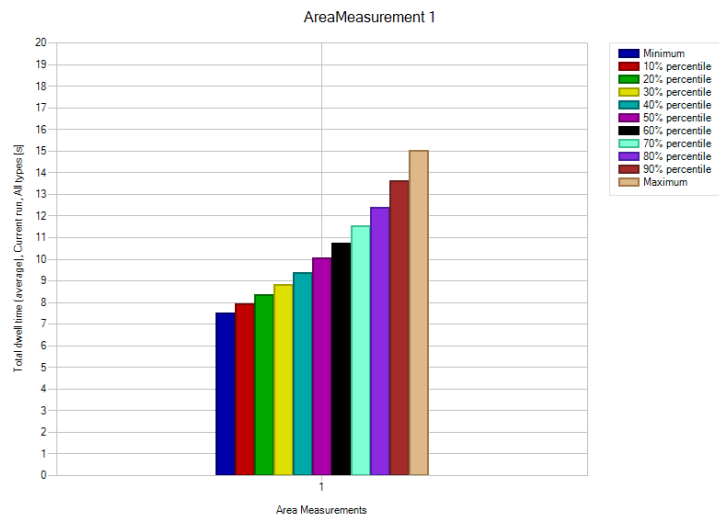


Figure 2: Quantiles of travel times.

Test 3 - Maintaining the specified walking speed down stairs

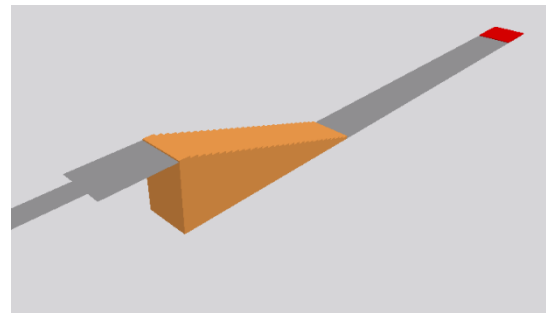
Text of the test definition

It should be proven that a person on a 2 m wide and 10 m long (measured along the slope) staircase covers this distance in the corresponding time period with a defined walking speed.

The considerations from test 1 apply accordingly with adjusted values for route, duration and speed.

Modeling

The same model is used as in Test 2, with the difference that the heights of the *levels* have been swapped and that, to add a new aspect, a different *Desired speed distribution* for the downward movement on a staircase is different (1.0 ... 1.67 m/s). This leads to the expectation that travel times across the stairs should be between 6 and 10 seconds.



Execution and comments

As for Test 2

Results

The measured travel times correspond exactly to the expectation as shown in Figure Figure 3

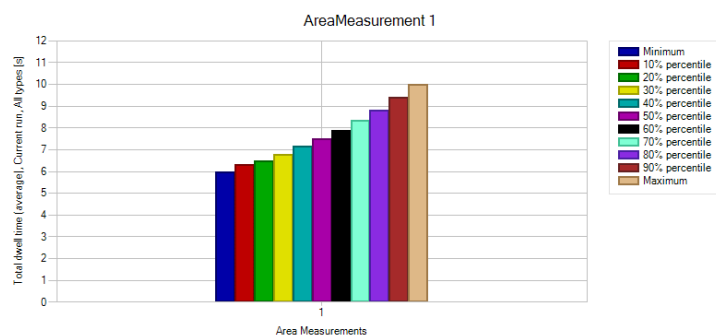


Figure 3: Quantiles of travel times

Test 4 - Measurement of the fundamental diagram

Text of the test definition

The figure shown below ([...]) is to be modelled (corridor 1000 m long, 10 m wide). There are three measuring points (2 x 2 m), the dotted of which is the main measuring point, with the other two grey measuring points functioning as control measuring points.

The corridor is to be filled with different densities of persons with an equal as possible free walking speed (for example 1.2 – 1.4 m/s): 0.5 P/m², 1 P/m², 2 P/m², 3 P/m², 4 P/m², 5 P/m² and 6 P/m².

At the measuring points, the average speed of persons over a period of 60 seconds is to be determined for the specified density. The first 10 seconds can be ignored as a "transient response". From the results (speed at the specified density), the corresponding fundamental diagrams can be created, with the calculation flow = speed * density taken as a basis for the flow of persons.

To ensure that the fundamental diagram is also reflected in a "line movement" by the program, the corridor must be reduced in width to such an extent that the persons can only move one after the other and overtaking is not possible

Modeling (wide corridor)

The model of the wide corridor was created geometrically as given.

Execution and comments (wide corridor)

In order to measure at different densities, it was not measured within a simulation run at different times, but in several simulation runs with exactly one measurement in the time interval 60 ... 120 seconds. By means of an *Attribute modification*, the initial mean density in each simulation run was increased by 0.1/m² (equivalent to 1,000 agents). This ensures that the measured population in its composition corresponds to the one inserted at simulation start, and avoids the effect that at the end of the simulation faster agents (with higher desired speed) are increasingly under-represented in the *Area measurement*.

In addition to density, the velocity component in the direction of the corridor axis (*SpeedX*) was measured. The sequence of simulation runs was terminated when the initial density of people was so high that *SpeedX* became negative, i.e. when the agents retreat to avoid the high density of people in front of them.¹

Simulation and measurement were performed five times, with the following populations:

- IMO 30-50 years (50:50 m:w)
- IMO <30 years (50:50 m:w)
- IMO total population as specified in (IMO, 2016) Tables 3.1 and 3.5.
- 16% of the age and gender groups according to Weidmann as well as 2% (m/f) of persons with reduced mobility according to Weidmann. This comes close to the standard Rimea population only without a center of gravity in middle age.
- 4.8 km/h (1.33 m/s) for all agents

¹ Such situations cannot arise from the simulation itself, they can only be prepared initially, which is why they are also called "Garden of Eden states" (Schadschneider & Schreckenberg, 1998).

Test 4 - Measurement of the fundamental diagram

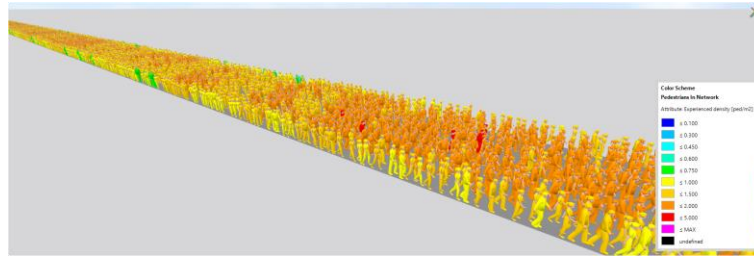


Figure 4: Screenshot at $t=60\text{ s}$ with the "Weidmann" configuration at capacity and coloring according to individually currently experienced ambient dikes.

Results (broad corridor)

Figure 5 shows the relationship of the speed of the area density of the agents. "Speed" refers only to the velocity component in the direction of the longitudinal axis of the corridor, i.e. transverse movements that do not bring an agent closer to the destination are ignored.

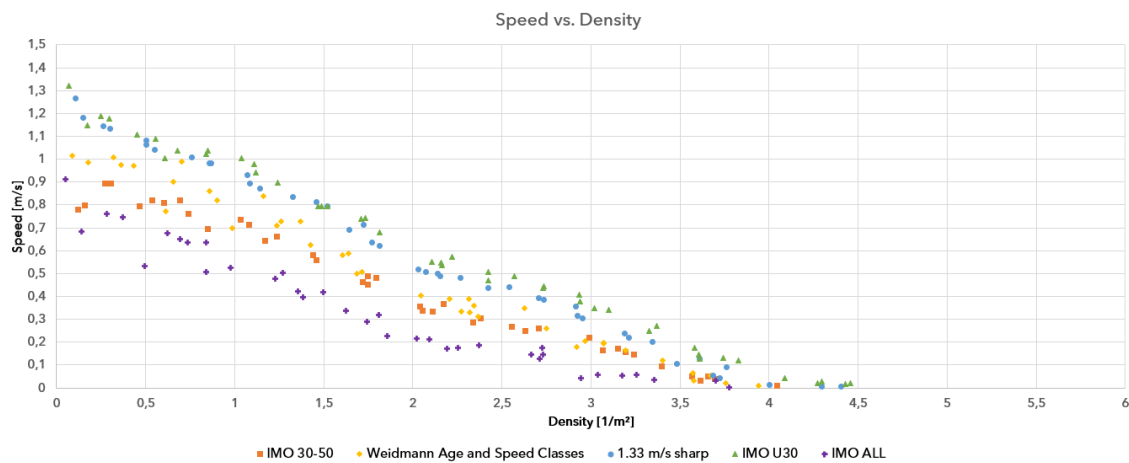


Figure 5: Dependence of the velocity component in the direction of the longitudinal axis of the corridor on the density of agents

Figure 6 shows the relationship between flow (as a product of speed and density) and density to the five desired speed distributions used, together with information from the literature (empirical data from (Fruin, 1971), guideline specification from (Hurley, 2015) and approximation curve to values from numerous studies as indicated in (Weidmann, 1993)²). Apart from the desired speeds, no other input parameters were varied. The default parameters of PTV Viswalk were used.

The three fundamental diagrams used in the literature are to be described as conservative (comparatively low flow at given density) compared to other references in the literature, as can be seen in the overview (Kretz, 2019). The simulation results are again a little more conservative, which is partly due to the conservative specifications in (IMO, 2016) for expected walking speeds, and on the other hand to the standard parameter values for the social force model in PTV Viswalk. The presets in PTV Viswalk are therefore to be described as "conservatively realistic" for the simulation of a situation with representative selection of the population from an industrialized nation. For special situations, the parameters would

² To avoid misunderstandings: In Figure 6 the identifiers ("IMO 30-50" etc.) refer exclusively to the desired speed distributions used for the simulation. The displayed fundamental diagram data is derived from the simulation with PTV Viswalk. There is no information in the literature on the speed distributions used on an expected course of the fundamental diagram. Therefore, other sources are used for comparison.

Test 4 - Measurement of the fundamental diagram

have to be adjusted. The standard values would most likely overestimate escape times from a university – with mainly young people – but would most likely underestimate the escape times from a nursing home.

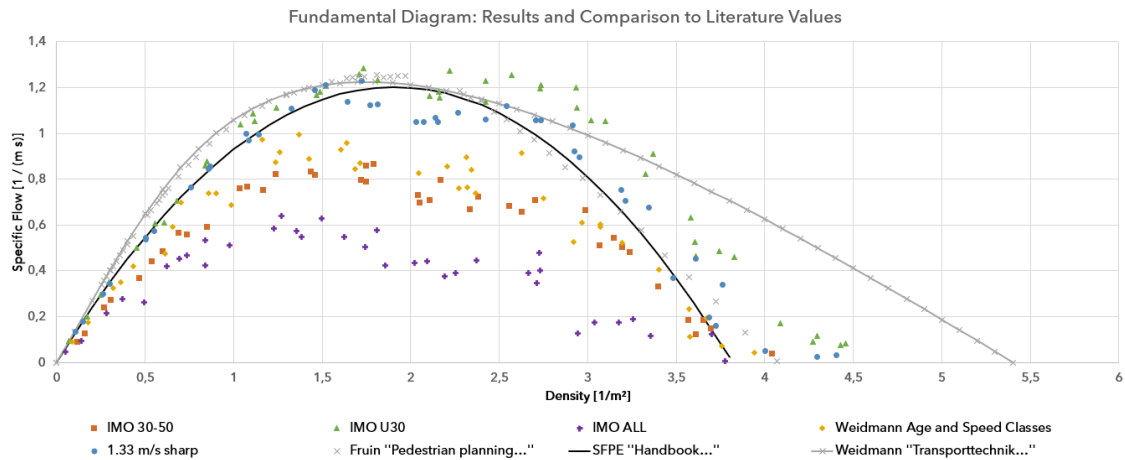


Figure 6: Simulation results (colored dots) compared to literature (lines in grayscale).

Modeling (1d)

The 10 m wide corridor is used unchanged. However, the agents are now inserted with the help of a *script* exactly in the middle of the corridor and with initial orientation exactly in the direction of the x-axis, i.e. towards the destination. At the *Walking behavior* the random element (the value of the *noise* attribute) is set to 0. In this way, all y coordinates (for position, velocity, and acceleration) are initially as well as throughout the simulation zero. The one-dimensional movement is thus maintained without the agents having to be confined to the one-dimensional movement with the help of walls.

Execution and comments (1d)

With the help of the *script*, the agents are inserted into the simulation at identical distances. Also identically selected are the *desired speeds* of the agents with 4.8 km/h or 1.33 m/s. In addition to the disabled random element, these are two more artificial conditions. However, the situation of the movement is also an artificial one. This configuration is therefore less suitable for comparison with empirical data than with analytical considerations of the motion model.

Also in this case, the fundamental diagram is recorded using a *Multi-run*. Three *Attribute modifications* increase the initial density per simulation run by 0.1/m, calculating the initial distance of the agents as the inverse and the number of agents so that initially a stretch of 1,000 m is filled with agents at the desired initial distance.

The actual measurement takes place on an *Area measurement* in the middle of the 1,000 metre long corridor section instead of using agents along it. The *Area measurement* is 2 m long, but its width has been reduced to 1 m. In this way, the measured numerical value of the density of persons corresponds to the numerical value of the person line density. The measurement takes place in the time interval [60 ... 120) seconds of simulation. At this time, the agents have reached the possible speed for the given density, but the starting wave cannot yet have reached the *Area measurement*, because for this it would have to move upstream at more than 4 m/s.

Test 4 - Measurement of the fundamental diagram

Results (1d)

Figure 7 *shows the dependence of speed and flow on density.*

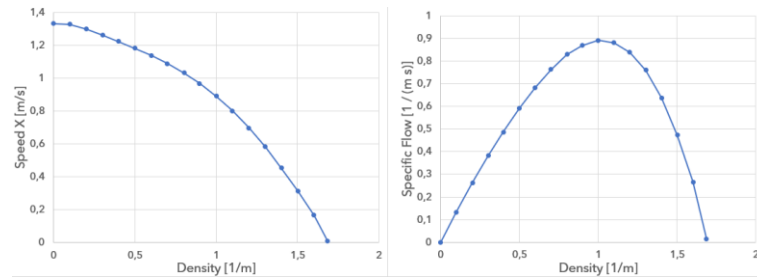


Figure 7: Speed vs. Density (left) and Specific Flow vs. Density (right) for the 1d Case ("Duck March")

Test 5 - Premovement time

Text of the test definition

Ten persons in a room measuring 8 m x 5 m with a 1 m wide exit situated in the middle of the 5 m long wall. Set the premovement times as follows: uniformly distributed between 10 s and 100 s. **Verify that each person starts at an appropriate time.**

Modeling

The model has been implemented as described.

Since in Viswalk there is no feature to automatically measure the time at which an agent starts moving and to create additional chances to not pass the test, a modified model has been created ...

- ... with 10,000 agents
- ... with 1,000 times the footprint
- ... with a destination area that encloses the entire ground. The time when starting to move is then identical to the time of arrival at the destination and thus leaving the simulation, which can be measured with standard functionality

Implementing this variant is possible because an agent in Viswalk must not only reach its destination area, but must also have arrived at the *Route destination*, which can have any number of *Route locations* ("intermediate destinations"). For example, if an agent by chance runs over the *Area* of the *Route destination* on the way to a *Route location*, the agent does not leave the simulation, but continues on its route.

Execution and comments

The small model was simulated ten times with different random numbers. The simulation with the large, modified model was performed only once.

Results

Small model: No agent was observed for 10 simulation runs that were outside the time interval [10 ... 100] seconds.

Large model: Figure 8 agents in the model decreases over time, so how agents run over time. This number decreases linearly between 10 and 100 seconds without any visible deviation from linearity. **The distribution of pre-movement times durations is therefore in line with expectations.**

Test 5 - Premovement time

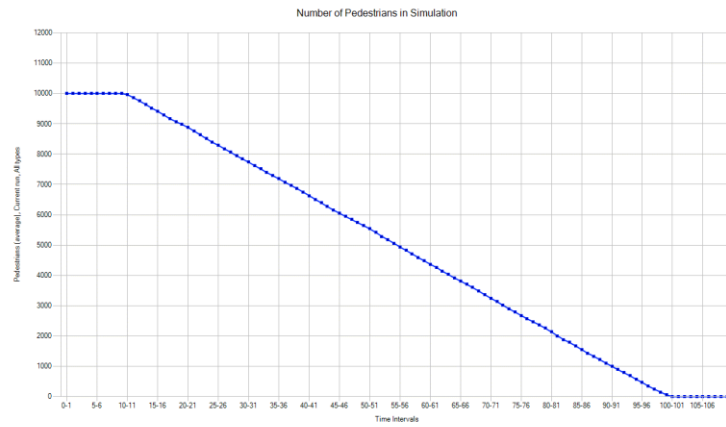


Figure 8: Number of agents in the simulation model over time.

Test 6 - Movement around a corner

Text of the test definition

Twenty persons moving towards a corner which turns to the left (cf. Figure 5) will successfully go around it ***without passing through walls***.

Modeling

The model was implemented as specified. The population corresponds to the fourth population as indicated in Chapter Test 4 - Measurement of the Fundamental Test 4 - i.e. the "approximate Rimea Standard Population".

Execution and comments

A visual check that the agents adhere to the designated walkable *area* is easy to perform in a simulation run. In order to allow for larger-scale verification, the model has been supplemented by a *Travel time measurement* that starts at the input area and ends exactly at the corner of the corridor, see Figure Figure 9. The assumption is that agents that shorten through the walls would not enter this *area* and thus would not be counted by the *Travel time measurement*. The *Travel time measurement* has no influence on the simulation. In particular, the destination of the *Travel time measurement* does not function as an intermediate destination, which the agents first approach before turning to the actual destination.

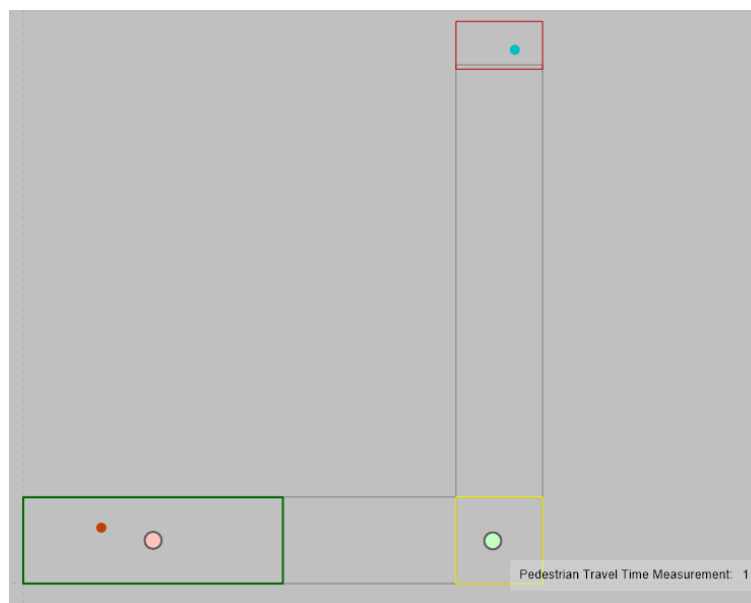


Figure 9: Model with travel time measurement. The start of the measurement is on the green bordered area, its end on the yellow bordered area.

Results

Visually it ***it was apparent that all 20 agents circumnavigated the corner as expected***. In 1,000 out of 1,000 simulation runs, the smallest number of agents measured by *travel time measurement* was 20. Thus, ***in each run, all 20 agents completed the first section of the corridor as expected to the end*** and only then turned "to the north".

Test 6 - Movement around a corner

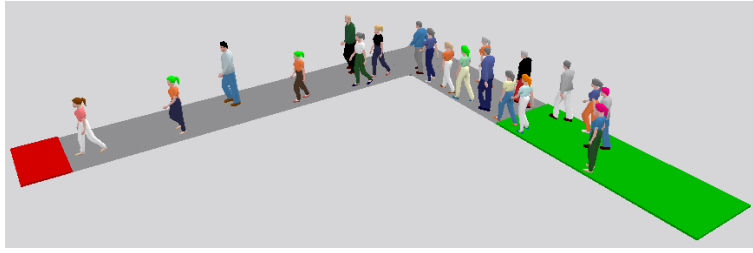


Figure 10: Screenshot of simulation animation

Test 7 – Allocation of demographic parameters

Text of the test definition

Select a group consisting of adult persons in accordance with Figure 2 and distribute the walking speeds over a population of 50 persons. **Show that the distribution of walking speeds in the simulation is consistent with the distribution in the table.**

Modeling

Figure 2 of the Rimea guideline shows the course of the mean free walking speed and standard deviation over age. It is therefore an incomplete indication of the distribution of the free walking speeds of a population. For completeness it lacks information on the age composition of the population.

Table 1 shows mean values and standard deviations, as read approximately for the purpose of this document from Figure 2 of Rimea guideline 3.0.0. For the youngest and oldest age groups, a precise reconstruction from Figure 2 is difficult due to the strong development within the age group. A finer classification than 10 years per year would be required. Therefore, and because the exact values of speed are not the focus of this test, all values were read only approximately. In addition, this test is limited to the age groups in working life (15 to 65 years). The corresponding five age groups are taken into account uniformly.

Age range	Mean [m/s]	Standard deviation [m/s]
[5..15)	1,2	0,4
[15..25)	1,6	0,3
[25..35)	1,55	0,3
[35..45)	1,5	0,25
[45..55)	1,4	0,25
[55..65)	1,25	0,25
[65..75)	1,1	0,2
[75..85)	0,7	0,1
[85..95)	0,2	0,05

Table 1: Mean values and standard deviations approximate from Figure 2 of Rimea guideline 3.0.0.

According to Table 1 and assuming Gaussian normal distributions, within and limited to the interval [0 .. 3.0] m/s, the cumulative velocity distributions are as shown in Figure 11: Cumulative desired speed distributions per 10-year age interval as they are approximate (!) from Fig. 2 of Rimea guideline 3.0.0. Figure 11

Uniformly combined from the five age categories [15..25) to [55..65), the cumulative distribution results as shown in Figure 12. For this purpose, differential shares <0.001 for an interval of 0.1 m/s were neglected, which results in a limitation to the interval [1.8 .. 9.0] km/h or [0.5 .. 2.5] m/s.

The empirical free walking speeds are identified with the desired speed of the Social Force model and for this purpose a corresponding distribution in Viswalk is defined.

Test 7 - Allocation of demographic parameters

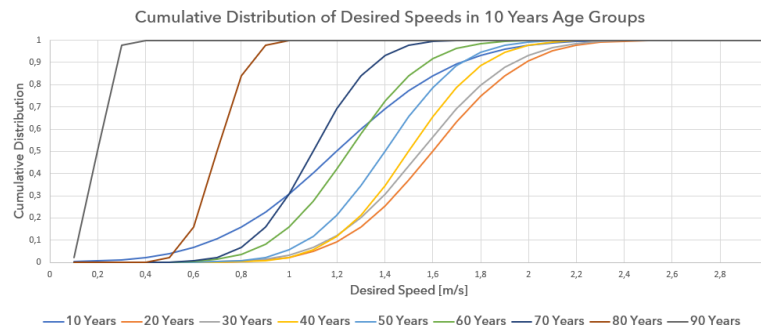


Figure 11: Cumulative desired speed distributions per 10-year age interval as they are approximate (!) from Fig. 2 of Rimea guideline 3.0.0.

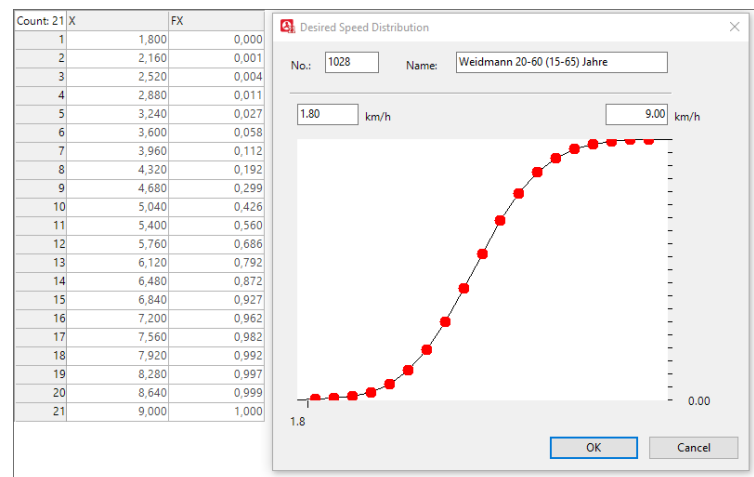


Figure 12: Combined cumulative desired speed distribution of age groups 20-60, i.e. ages 15 to 65 years.

The geometry of the simulation model is structurally simple. The agents move just far enough through the model that their desired speed can be measured.

Execution and comments

10,000 agents are inserted over the course of 20,000 simulation seconds and move a few meters through the model. Their *Desired speed* is documented in an output file (*Area measurement raw data*).

Results

Figure 13 shows that the distribution of the measured values is indistinguishable from the distribution of the given values.

Test 7 - Allocation of demographic parameters

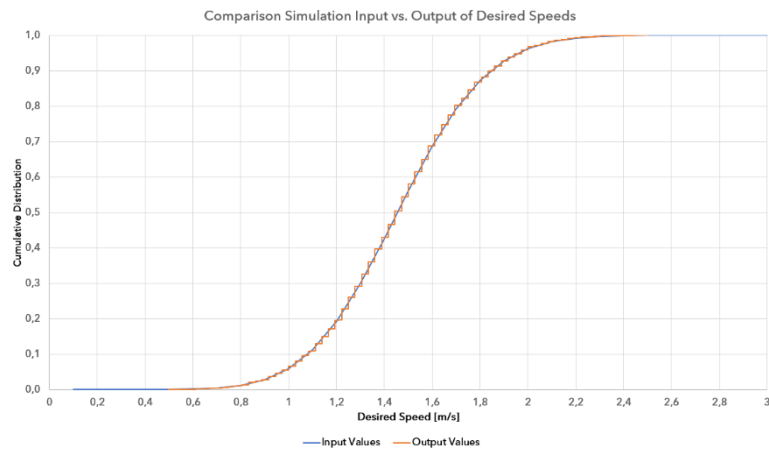


Figure 13: Comparison of input and output values of desired speed. The gradation of the output values is due to the fact that the values were output only with a decimal point. This allows both curves to be distinguished in the first place.

Test 8 – Parameter Analysis

Text of the test definition

The parameter analysis serves to represent the effects of the parameters used in the simulation. For the three-storey test floor plan illustrated in Figure [...], **it should be demonstrated how the total evacuation time changes when the individual person parameters are varied.** This is to be repeated for each individual parameter, with the other parameters set as fixed standard values. The parameter being tested should be the same for all persons once (e.g. speed of all persons 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s,...) and varied once in a statistically equally distributed way around a fixed mean value (e.g. speed: 0.75 m/s, 0.5-1.0 m/s, 0.25-1.25 m/s,...).

The results should be recorded in graphs and will be made freely accessible to all on the RiMEA homepage.

On the 2nd floor there are no more stairs upwards. It differs in this way from the 1st floor.

Modeling

The model was built as described.

The following parameters should be varied:

Parameter	Description
Tau	Relaxation time of the Driving Force Term in the Social Force Model (SFM)
ReactToN	Number of agents which should be considered in the calculation of force.
A soc iso	Base value of the repulsive force between agents of the SFM's Circular Specification, see (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
B soc iso	Scale of the range of the Circular Specification force (center to center), see (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
Lambda	Base value of suppression for a Circular Specification force acting from behind
A soc mean	Base value of the repulsive force between agents of the SFM's Elliptical Specification II, see (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
B soc mean	Scale of range of Elliptical Specification II force (area to area), see (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
VD	Extrapolation time for relative velocity (called Δt in literature), see (Johansson, Helbing, & Shukla, 2007)
Noise	Base value of random force on agents that are for some time significantly slower than their desired speed.
SidePref	Preferred alternative side in oncoming traffic
Desired speed	Desired speed for use in the Driving Force Term of the SFM
Obstacle distance	Depth of the zone that agents avoid near <i>obstacles</i> . This is not an attribute of an agent, but its current route location.

Diameter	Diameter of an agent's body. The mean is the length and width of the agents distributed around the length and width of the <i>2d/3d model</i> used.
Time steps per second	The simulation is discrete in time. The movement of the agents occurs immutably 20 times per second. However, the frequency for route selection, inflows, etc. can be determined by the user by means of this parameter.
Grid size for environment search	Since basically any agent can interact with anyone else in the simulation, it would be expected that the computation time would increase with the square of the number of agents. To achieve a linear dependency, the model is divided into "radio cells". Agents log on to a radio cell when they enter and log off when they leave. The search space for neighbors that could exert a force on each other can be limited to the current radio cell of an agent as well as the immediate neighboring cells without making major mistakes with regard to the agents, which should actually be taken into account (compare parameter <i>ReactToN</i>). The smaller the radio cells are defined, the faster the simulation runs, but the more likely relevant forces are omitted.

The first 10 entries are part of the *Walking behavior* of the agents. There is no variation or distribution in the *Walking behavior*, but a single fixed value per parameter. A *Walking behavior* is assigned to a *Pedestrian type*. Within a *Pedestrian type*, the first 10 entries do not vary. A *Pedestrian type* would typically be "women" or "men (30-50 years)". This means that for the first 10 entries, there are usually only a few different values in a simulation, by default, i.e. if nothing is changed in the population's presets, only one.

The *Desired speed*, on the other hand, can only be assigned to agents at an *Input* in the form of a distribution. By default, these are the two distributions for women and men aged 30 to 50 according to (IMO, 2016). A distribution can also be defined as consisting of a single value.

The body size of the agents ("diameter") is determined by default from distributions around the dimensions of the eight *2d/3d models* used

The *obstacle distance* is a property of the navigation fields (the "potentials"). It determines the distance to which the area is assumed to be greater than it actually is when calculating the fields, resulting in a repulsive effect that is conveyed by the direction of the *Desired velocity* (and not as an explicit force).

"Time steps per second" and "grid size for environment search" are not model attributes in a narrow sense, but parameters balance the computational speed and accuracy of the numerical implementation (with the analytical, continuous model as reference).

PTVViswalk's *Scenario manager* is used for modeling. First, the model is built with all attributes on default values and created as "Scenario 1". Then for each parameter variation an additional *Scenario* is created. This results in 33 scenarios:

- Scenario 1 with all parameters on default values.
- For each of the above parameters, a scenario in which the value is lowered and a scenario in which it is raised.

Test 8 – Parameter Analysis

- For the *Desired speed*, a scenario in which all agents are assigned the average of the presets ("sharp distribution") and a scenario with a broader distribution.

The diameter parameter plays a special role: by default, there are continuous distributions around eight discrete values. In the case of smaller (or larger) values, the smallest (or largest) of these values was used without distribution.

The following numerical values were used:

Parameter	Default Value or Distribution	Small	Greater
Tau	0.4	0.2	0.8
Reactton	8	4	16
A soc iso	2.72	1.36	5.44
B soci iso	0.2	0.1	0.4
Lambda	0.176	0	0.4
A soc mean	0.4	0.2	0.8
B soc mean	2.8	0.5	5
Vd	3	1	5
Noise	1.2	0	2
SidePref	None	left	right
Desired speed	IMO 30-50 (1:1 m:w)	75%	150%
Obstacle distance	0.5	0	1
Diameter[cm]	38.3; 40.0; 43.2; 44.1; 51.3; 51.5; 51.9; 52.0	38.3	52.0
Number of simulation steps	10	5	20
Neighbourhood Grid	5	2.5	10

In addition: 4.04 km/h (1.12 m/s) as a sharp *Desired speeds distribution* and a 2:1 mixture of the smaller and larger *Desired speeds distribution* representing the case of the widened *Desired speed distribution*

Execution and comments

For each *Scenario*, 100 simulation runs are performed. The *Scenario manager* allows an automated execution of all scenarios. The actual measurement is carried out via an *area measurement* covering the entire ground floor. The result uses the largest value of the result attribute *Leave Time*.

Results

The following table **shows** the smallest, average, and largest **egress time** from 100 simulation runs for each *scenario*.

Num.	Scenario Name / Description	Min.	Means	Stdev	Max.
1	Defaults	352.5	363.70	5.24	378.7
2	tau smaller	213.1	220.72	3.05	228.0
3	tau bigger	610.9	631.50	9.94	661.5
4	ReactToN smaller	308.8	320.28	4.45	333.8
5	ReactToN larger	418.2	433.65	6.45	448.8
6	A soc iso smaller	277.8	287.75	4.60	299.8
7	A soc iso larger	429.1	443.38	6.13	459.7

Test 8 – Parameter Analysis

8	B soc iso smaller	281.6	291.35	4.60	305.1
9	B soc iso larger	497.6	514.50	7.72	533.8
10	lambda smaller	390.2	405.71	5.91	424.9
11	lambda larger	300.4	309.88	4.72	323.9
12	A soc mean smaller	289.4	296.58	3.75	307.3
13	A soc mean bigger	510.5	539.72	10.69	564.5
14	B soc mean smaller	255.9	264.38	3.65	276.2
15	B soc mean bigger	383.5	399.99	6.27	415.7
16	VD smaller	386.5	401.16	6.04	416.9
17	VD larger	327.2	338.78	4.77	351.1
18	noise smaller	363.6	379.16	6.10	394.9
19	noise bigger	337.0	347.47	5.32	360.6
20	Side pref. left	341.3	351.86	4.75	363.4
21	Side pref. right	352.6	365.93	5.82	380.5
22	Desired speed smaller	578.3	598.18	9.35	622.0
23	Desired speed faster	178.2	184.29	2.73	190.6
24	Desired speed sharp	330.5	336.85	2.74	343.1
25	Desired speeds distributed wider	355.0	390.43	20.4	436.0
26	Obstacle distance smaller	353.2	366.85	5.81	381.6
27	Obstacle distance greater	357.3	367.97	4.89	380.5
28	Diameter smaller	296.2	309.87	5.09	320.0
29	Diameter larger	393.5	408.08	5.98	425.1
30	Fewer time steps per second	354.8	366.10	5.42	378.4
31	More time steps per second	349.60	362.62	5.57	375.15
32	Neighbourhood grid smaller	332.7	344.10	4.95	356.0
33	Neighbourhood grid larger	388.7	400.20	5.55	413.5

The egress time allows only very limited conclusions to be drawn about the details of the simulation process. Similar values in different *Scenarios* do not necessarily mean that the course of events in the building during the simulation is similar as well. And if the smallest and largest values differ little for a scenario, that does not mean that the parameter generally has little impact. For example, this scenario does not have opposing flows. Accordingly, parameters whose value has a particular effect on these can only take little effect.



Figure 14: Screenshot from one of the simulation runs.

Test 9 - Crowd of people leaving a large public space

Text of the test definition

A public space with four exits and 1,000 persons equally distributed in the space (cf. Figure [...]). Choose a population of adult persons from Figure 2 with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 1,000 persons.

Step 1: Record the time at which the last person leaves the space.

Step 2: Door 1 and door 2 are locked and step 1 is repeated.

The expected result is that it takes approximately twice as long to leave the space.

Modeling

The model or the two model variants are implemented as described. The destination area covers the space in such a way that it has the same distance from all doors. This makes each agent in the simulation steer to the door closest to its current position. The population corresponds to the fourth population listed in the chapter Test 4 - i.e. the approximate Rimea standard population.

Execution and comments

100 simulation runs are performed.

Results

Quantiles in increments of 10% are considered. In comparison with the two model **variants**, **the escape durations for the case with only two doors across all quantiles are between 83% and 92% above the values of the four-door case**, as can be seen in Figure 15. Figure 15 It is realistic not to reach a full factor 2, because towards the end of the process the flow decreases, such as for example (Georg, 2012) reported from empirical studies (see Fig. 24 there), also in (Kretz, Grünebohm, & Schreckenberg, 2006) it is reported that the time gaps between successive pedestrians in a bottleneck experiment increase over time (Fig. 2). Insofar as the decrease of the flow is independent of the number of pedestrians who have previously passed through a bottleneck, the additional time is to be assumed equal in both model variants in comparison to the case of unabated flow, whereby one would expect a value of less than 2 for the ratio of egress times.

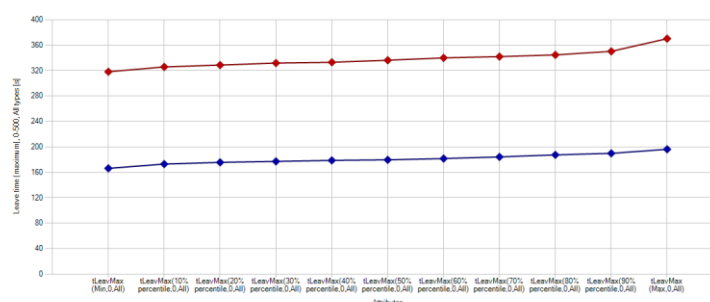


Figure 15: Quantiles of egress times(based on simulation runs) in increments of 10%.

Test 9 - Crowd of people leaving a large public space

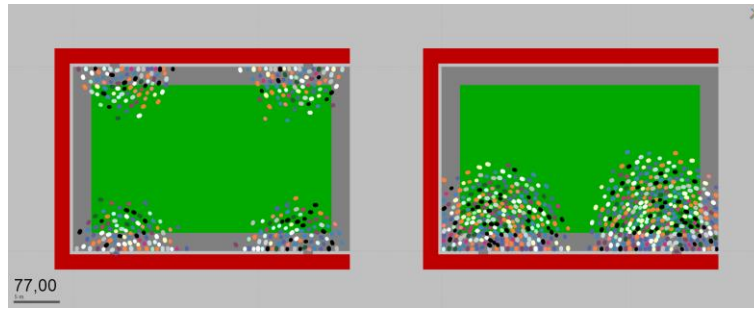


Figure 16: Screenshot at the time since there are still 1,000 agents in the simulation in the total of both cases.

Test 10 - Allocation of escape routes

Text of the test definition

Construct the section of a corridor as shown in Figure [...] with a population of adults from Figure [...] with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 23 persons. The persons in rooms 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 and 10 are assigned to the main exit, with all other persons assigned to the secondary exit. **The expected result is that all allocated persons go to their corresponding exits.**

Modeling

The model was constructed as described, see Figure 17. In each room there is a *Route decision*, to which exactly one *Route* to the exit is attached. In addition, a *Travel time measurement* was created for each of the two exits. *Travel time measurements* can also be used to count those agents that complete the *Travel time measurement*, i.e. who are first within the area with the start of the *Travel time measurement* and sometime later in the area of the end of the *Travel time measurement*.

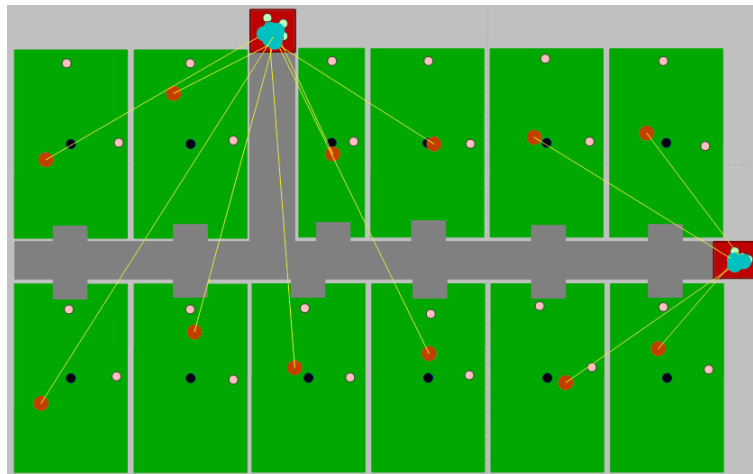


Figure 17: Model for test case 10.

Execution and comments

The simulation was performed 1,000 times with different random numbers.

Results

For 1,000 simulation **runs, based on the 12 travel time measurements, it was verified that the agents followed the assigned rescue route.** In three of the 1,000 simulation runs, an agent that started in another room entered a room, triggering the *Travel time measurement* ending up being counted at two different *Travel time measurements*. For the simulation runs of the three affected random number generator seed values accordance with the assigned escape route was "manually" verified.

Test 10 - Allocation of escape routes



Figure 18: Screenshot from one of the simulation runs

Test 11 - Choice of escape route

Text of the test definition

A public space has 2 exits: exit 1 and exit 2 (cf. Figure [...]). Choose a population of adults from Figure [...] with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 1,000 persons. The space should be occupied from the left side with the maximum possible density. **The expected result is that the persons prefer the closer exit 1 and congestion occurs in this area. However, individual persons will also use the alternative exit 2.**

Modeling

In this case, details of the modeling determine the outcome. For this reason, different variants are modeled and the results are displayed. An easy first idea would be to have a *Route decision* on the input area with two *Routes* each of which passes through one of the two doors. Fixed *Relative flows* (taking the role of route choice probabilities) could be set at will determining door choice ratios. Agents would choose their *Route* probabilistically immediately after the insertion and then move to the appropriate exit. However, this explicit type of assignment is obviously not in the spirit of this test case. In addition, it would be possible (even usual) for agents who start in the "southern" half to take the "western" door, agents who start in the "northern" half, on the other hand, the "eastern" door, i.e. there would be a large number of trajectories crossing. For these two reasons, four other options were modeled.

In order for the route selection to be implicit, there must be only one *Route* that leads to a destination area. No *Route intermediate point* may be placed on the two doors.

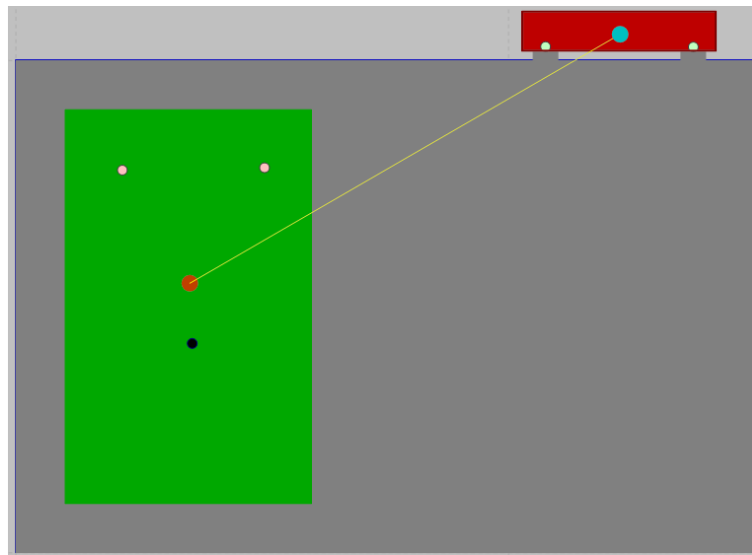


Figure 19: Variant 1. Agents are used on the green area, all are assigned the same (single) route.

The width of the insertion area is determined by the maximum agent density of $6.25 / \text{m}^2$ to allow for further input: $1000 / 6.25 / 16 \text{ m} = 10 \text{ m}$.

For the first variant, the destination area is placed directly 40 cm outside the room. It extends from door to door, see Figure 19. Agents are assigned a (the only) route immediately after insertion on the green Area, which allows them to aim for the red Area. The shortest spatial path is preferred. The fact that agents still use door 2 can only happen because they

are “pushed” off by other agents on the way (to the east) so that the way through door 2 becomes the shorter way.

The same principle of the shortest spatial path determines the door selection in variant 2. Only in this case, the (red) destination area is rotated so that its edge facing the room is orthogonally aligned to the connecting line from the center of the (green) insertion area to the center between the two doors, see Figure Figure 20. As a result, for a large share of agents, the way through door 2 is the shorter one right from the beginning. Choosing doors in this way according to the principle of the shortest route should result in a very balanced ratio.

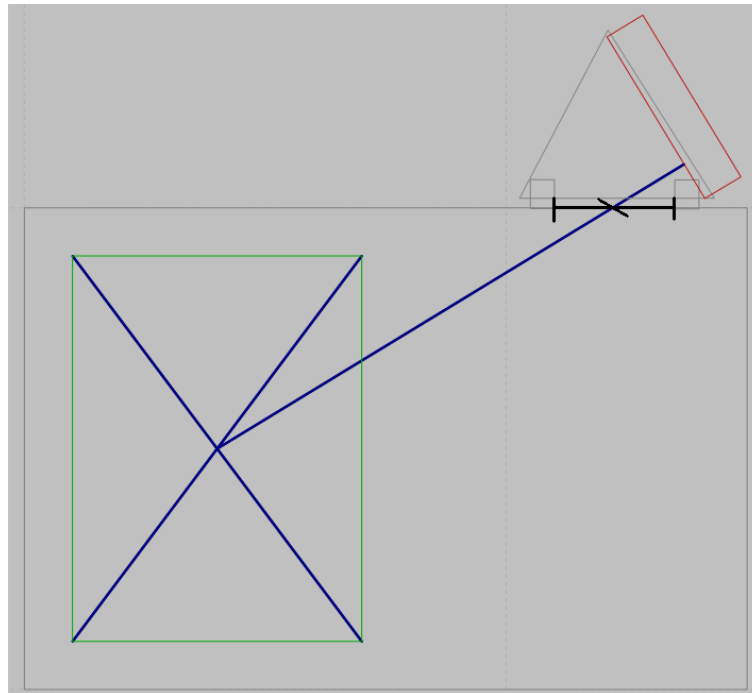


Figure 20: Variant 2. The destination area is rotated compared to variant 1. The blue and black lines illustrate the construction principle of geometry.

Variant 3 matches geometrically and for all other aspects variant 1 with the exception that the *Dynamic potential* for the *Route destination* is activated. As a result, agents no longer want to follow the shortest path (least meters), but rather the path – as one can at least interpret it – with the presumed earliest arrival at the destination (least seconds), details of this method are documented in (Kretz, et al., 2011)

In variant 4, an explicit assignment is made to one of the two doors. For this purpose, two *Areas* are added to the model, see Figure 22. A partial route decision with only one *Partial route* is created on each of the two *Areas*. Each of the *Partial routes* has an intermediate destination on one of the two doors. *Partial route decision* take effect when agents enter the associated *Area*. In contrast to a *Route* assignment right at the beginning, the geometric construction ensures that the door selection is “reasonable” according to the current position of an agent.

Test 11 - Choice of escape route

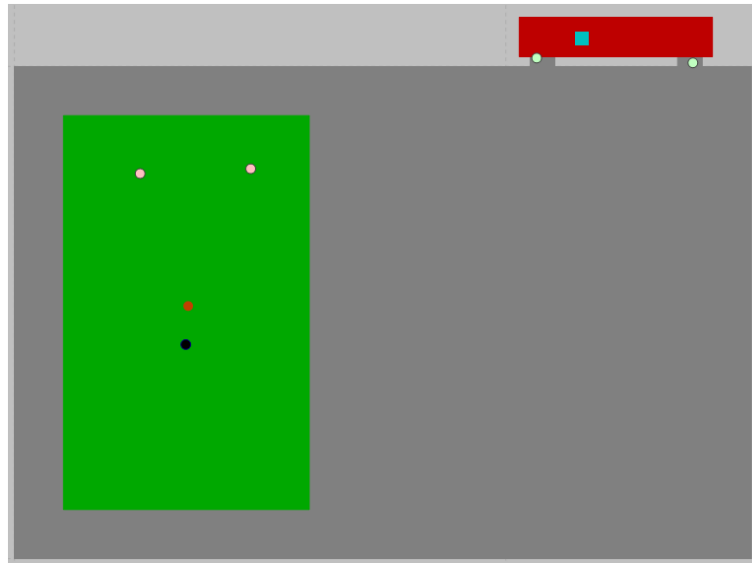


Figure 21: Variant 3. The dynamic potential is activated, recognizable by the square marker of the route destination.

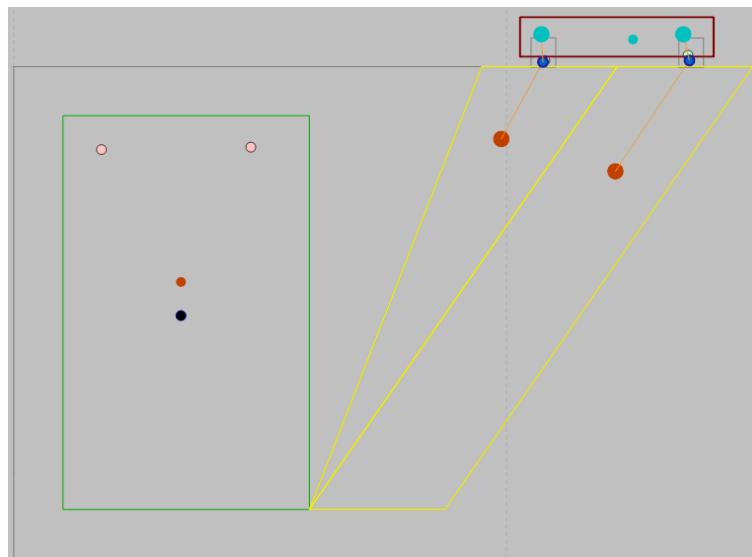


Figure 22: Variant 4. With this modeling in effect agents within the yellow marked areas are assigned deterministically to the corresponding door.

Test 4 -

Execution and comments

All four variants are created in a common model. 100 simulation runs are executed. Travel time measurements are used to count how many agents use the doors..

Results

Table 2 shows the results. It is interesting that with the second variant more agents use door 2. This is because first a congestion around both doors forms. During its lifetime, its shape changes to a more symmetrical distribution with respect to the two doors. As the congestion gradually resolves, door 1 will eventually no longer be used, because it implies a detour for all agents remaining in the room. This could be corrected by adjusting the orientation of the destination area. However, this was not done here to demonstrate how much the

Test 11 - Choice of escape route

decision on the door choice depends on the orientation of the destination (or in a larger model also intermediate destination) outside the room.

Variant	Door 1	Door 2
1	860 872.9 $\pm$ 4.4 884	116 127.1 $\pm$ 4.4 140
2	383 390.7 $\pm$ 4.1 402	598 609.3 $\pm$ 4.1 617
3	632 647.9 $\pm$ 5.0 659	341 352.1 $\pm$ 5.0 368
4	645 658.4 $\pm$ 5.2 671	329 341.6 $\pm$ 5.2 355

Table 2: Min, Average and Max of the number of agents who used the respective door in the four variants.

Test 12 - Effect of bottlenecks

Text of the test definition

Construct a room that is connected to another room by a corridor (cf. Figure 10) and fill it as illustrated with a population of 150 adults (walking speed in accordance with Figure 2). The premovement time is 0 s.

As the flow of persons through the corridor is limited, **congestion should only occur in room 1 and not in room 2.**

As long as no decision can be made on an empirical basis on whether congestion can in fact occur at the entrance to room 2, test 12 should not be treated as an exclusion criterion and should only document model behaviour.

Modeling

In this task, the question arises as to how precisely it can be decided, whether a congestion forms or not. To avoid this difficulty, the geometry was modeled in two other variants, each with only one bottleneck, see Figure Figure 23. The idea is to reformulate the question of congestion from the question of an unspecified spatial accumulation of agents to the question of travel times or loss times.

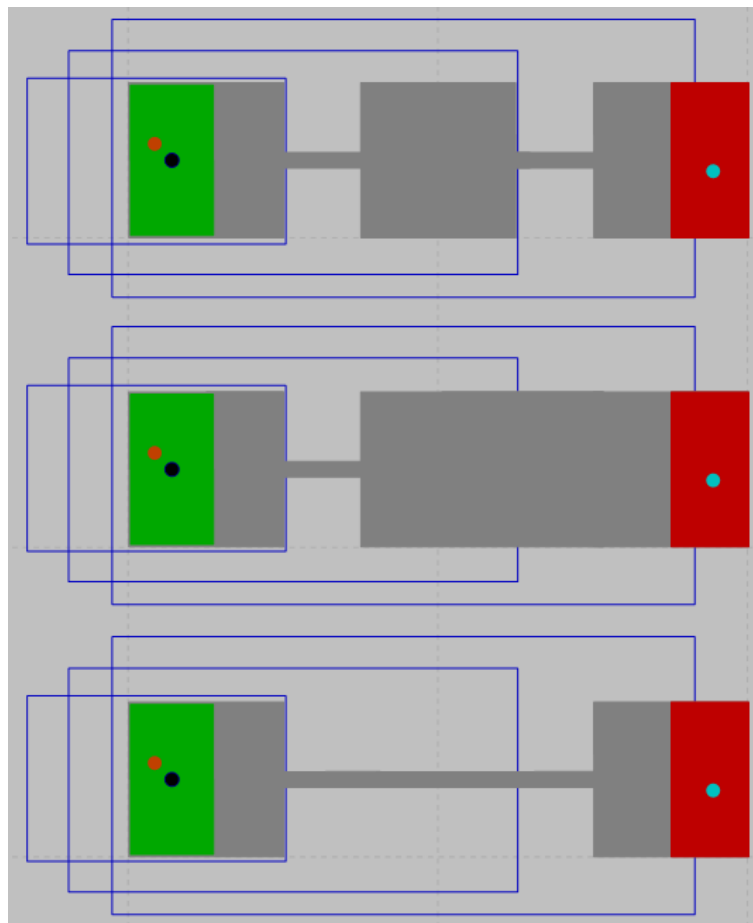


Figure 23: Geometry of the test with comparison geometries.

In Figure 23 in addition to the geometry, three blue rectangles are marked for each variant, which mark *Area measurements*. For these *Area measurements*, the largest *leave time*

Test 12 - Effect of bottlenecks

called *tLeaveMax* is documented, i.e. the time at which the last agent leaves the respective *Area measurement*.

Execution and comments

100 simulation runs are performed.

Results

Table 3 shows the times when the last agent left the *Area measurements*. Test variant 2 has longer times than the test and test variant 1. The smallest times are very similar for the test and test variant 1. However, for the means and the maxima, test variant 1 shows smaller values by a few seconds. This means that the second bottleneck in Test 12 offers a "chance" for another time loss, but this is not always "realized". It happens occasionally, but not always, that agents lose time due to insufficient coordination before the second bottleneck. The larger standard deviations of the mean values for test 12 compared to test variant 1 also fit with this interpretation. ***This result does not fully meet the requirements of the test case, but it is a plausible result.***

	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3
Test 12	144.0 167.2 ± 9.7 188.8	180.3 208.1 ± 10.8 231.8	200.4 230.0 ± 11.4 253.5
Test variant 1	145.9 164.3 ± 8,0 185.3	180.6 201.8 ± 9.5 225.8	199.2 222.1 ± 10.6 248.7
Test variant 2	160.5 181.6 ± 9,0 203.5	200.7 223.3 ± 9.7 246.6	222.4 245.1 ± 10.1 269.8

Table 3 Min, Average, and Max of the times when the last agent left the measurement area in 100 simulation runs.

Test 13 – Congestion in front of a flight of stairs

Text of the test definition

Construct a room that is connected to a flight of stairs by a corridor (cf. Figure [...]) and occupied as illustrated with a population of adults taken from Figure [...] with an immediate reaction and distribute the walking speeds over a population of 150 persons.

The expected result is that congestion will occur at the exit of the room, creating steady flow in the corridor. Additionally, congestion at the foot of the stairs is expected. This will grow over time, as the flow via the stairs is smaller than it is through the corridor.

Modeling

The model is constructed as described. The height difference of the stairs is assumed to be 1.5 m. No dedicated *Desired speed distribution* is used on the stairs. The *Desired speed* in horizontal projection should therefore be a good 10% lower than the *Desired speed* for level walking

Execution and comments

30 simulation runs are executed. In this case, the congestion measurement is carried out spatially by calculating a density value per five-second interval (i.e. the average density over time for the interval) and simulation run for *Grid cells* with a dimension of 20 x 20 cm² each. The density value for each time interval is then averaged over the simulation runs.

Results

Only by eyesight a back spill can hardly be detected in an individual simulation run, because the density in the corridor in front of the stairs is generally quite high. However, looking at certain time intervals in the average of the simulation runs, it can be clearly seen that for the time intervals from 35 seconds onwards, the density directly at the stairs is greater than further upstream, see Figure Figure 24. The congestion grows for a few seconds, but cannot grow arbitrarily, as the influx of agents from behind ends quite soon and henceforth the congestion dissolves. If all agents have the same *Desired speeds* and explicitly reduced *Desired speeds* are applied at the stairs, the effect becomes clearer as shown in Figure 25

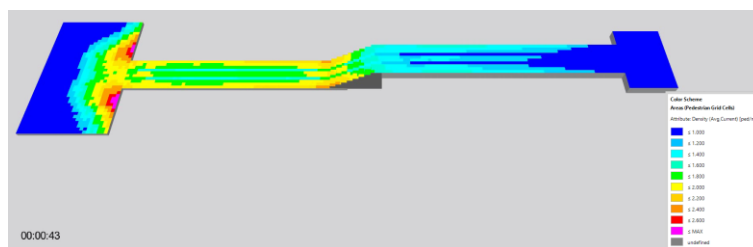


Figure 24: Density plot for the time interval [40..45) seconds on average of 30 simulation runs.

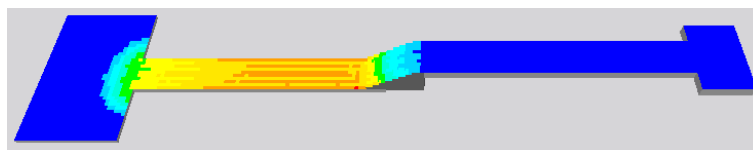


Figure 25: Density plot when sharp speed distribution is used and speeds are explicitly reduced on the stairs.

Test 14 – Choice of route

Text of the test definition

Start area (marked as “Start” in the following illustration (Figure [...])) and destination area (“destination”) are connected by two flights of stairs (dark grey) and a corridor on the ground floor and by a (longer) corridor on the upper floor.

Do the pedestrians take a shorter route via another floor or do they stay on the longer route on the same floor? (document: “short”, “long”, “mixed” or “configurable”).

Modeling

The scenario is modeled as specified, but in four variants with regard to *Routes*.

- 1) Only one *Route* that connects directly origin and destination.
- 2) Two *Routes*, each with a *Route location* (intermediate point) on the middle *Area* (the two corridors that run from West to East).
- 3) Only one *Route* that has a *Route location* on the basement *Area*.
- 4) Two *Routes*, one of which connects the origin and destination directly, while the other has a *Route location* in the basement.

Where there are more two *Routes*, the electoral probabilities are 50:50.

The *Areas* in the basement are assigned to a separate *Level*. Since in this example there are no *Areas* on top of each other, it would also be possible to model everything in one *Level* and assign the *Areas* just to different height offsets, so that an identical image is created in the 3d representation. In this case, the way of the agents would be different in parts. However, this variant would require considerably more effort than creating a *Route location* to achieve an identical effect.

Execution and comments

On average one agent per second is put into the model. This creates a continuous flow.

Results

The choice of path results as follows in the variants

- 1) The agents all take the longer path without changing the floor.
- 2) The agents are distributed 50:50 on both paths.
- 3) All agents take the shorter route via the basement.
- 4) The agents are distributed 50:50 on both paths.

This result fits with the general rule that in Viswalk agents avoid floor changes if there is a path without changing³ floors. ***In the sense of the task, the preset is thus “long”, but basically the path selection is “configurable”.***

³ If a change of Levels is required and there are stairs, escalators and elevators, the path selection depends on details of the geometry (always considering possibly existing route locations).

Test 14 - Choice of route

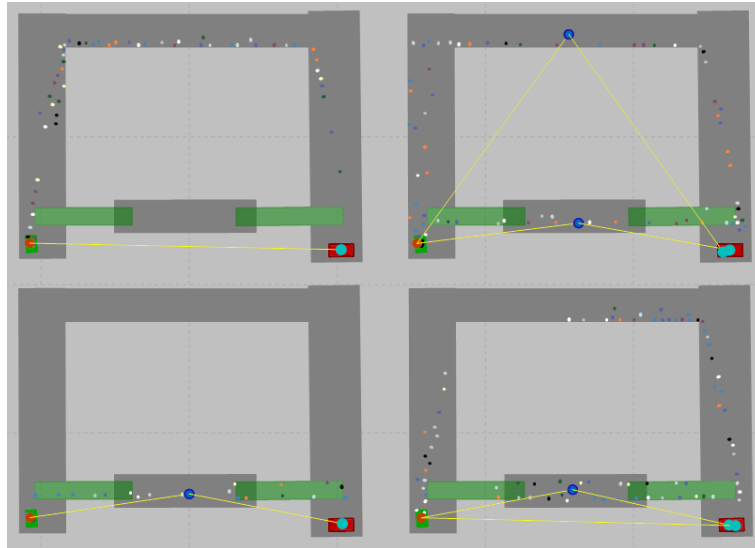


Figure 26: The four variants (numbered from left to right and from left to right) with routes and agents.

Test 15 - Movement of a large crowd of pedestrians around a corner

Text of the test definition

Test 15 aims to demonstrate the extent to which the movement of persons around a corner affects the calculated evacuation time. Further background information can be found in publications[...]and[...].

Construct three geometries as illustrated in Figure 13 below. 500 persons are located in the start area ("Start"). This area is to be designed accordingly depending on the chosen program. The same group of persons should be chosen for each geometry so that the initial conditions are identical for all three geometries. The destination is area marked with "destination".

By comparing the results (time taken for all persons to reach the destination) it can be determined how much a corner influences the simulation result, as the right illustration represents the shortest route and the illustration on the left is the longest. Ideally, the result from the "corner" will be in between the two results for the shortest and longest straight-line route.

Modeling

The model was built as described. However, the corner geometry was created twice to allow it once without *Dynamic potential* (*Static potential* only; method) and once with *Dynamic potential* (originally made available for exactly this use case; see (Kretz, 2009), (Kretz, et al., 2011)).

The population is roughly equivalent to the standard Rimea population, i.e. both very low and high *Desired speeds* are represented.

Execution and comments

100 simulation runs were performed.

Results

In 5 second intervals, the number of agents reaching the destination (*Destination count* or arrival flow) was counted separately in each of the four geometries. The average of the 100 simulation runs is shown in Figure 27

It is easy to see that the maximum of the arrival flow is largest for the straight geometries. That the arrival flow for the short straight corridor is larger (approx. 11.8/s) than for the long straight corridor (approx. 9.2/m/s) is due to the large dispersion of the *Desired speeds* of the selected population.

However, the difference between the variant with *Static potential* and the one with *Dynamic potential* is even larger. While with the *Static potential* in the maximum an arrival flow of 3.2/s is achieved, with the *Dynamic potential* it is about 7.0/s. In both cases, the maximum is reached after 60 seconds of simulation. Simulated with *Static potential*, the corner thus reduces capacity to something between a quarter and a third, whereas with *Dynamic potential* by significantly less than half compared to the straight corridor. The reason for this is that with *Dynamic potential* agents adjust the direction of their *Desired speeds* so that they avoid areas with high agent density without the forces of the Social Force model being

Test 15 - Movement of a large crowd of pedestrians around a corner

required for this. Their effect is added and serves primarily for collision avoidance on a smaller spatial scale.

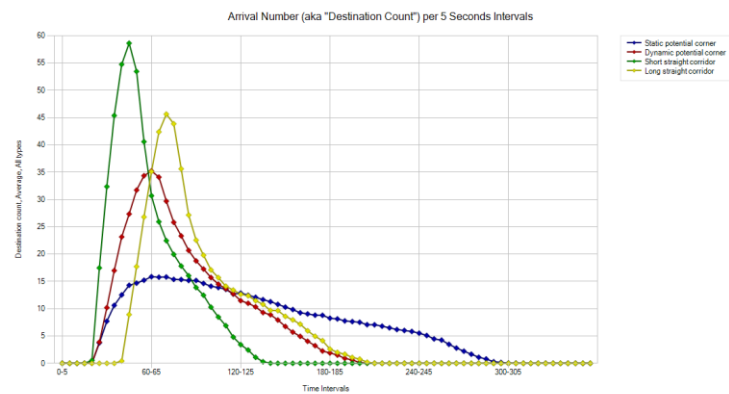


Figure 27: Arrivals each 5-second interval for the four variants.

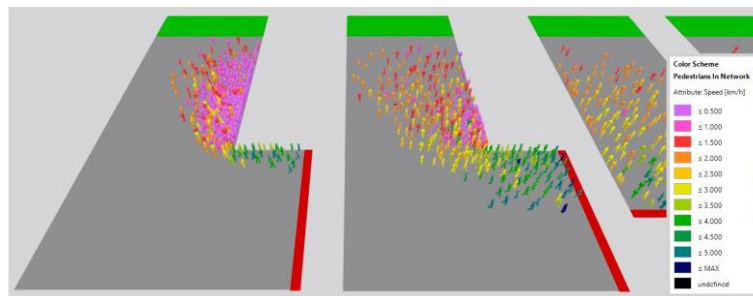


Figure 28: Screenshot from the simulation at $t=60$ s. The agents are colored according to current walking speeds.

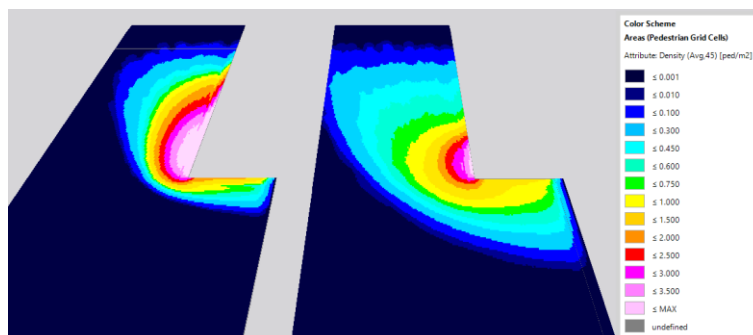


Figure 29: Density-based heat maps for time interval 45-75 seconds on average of 10 simulation runs.

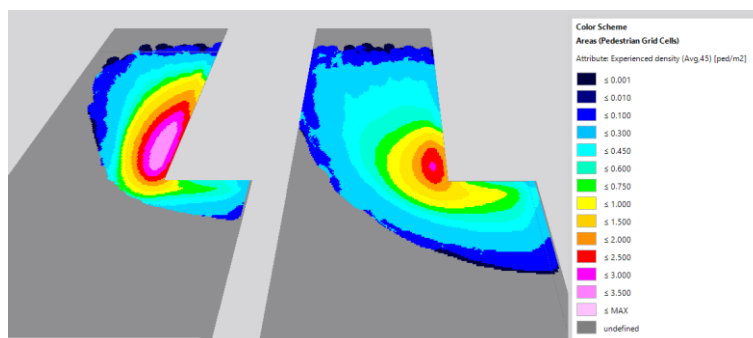


Figure 30: Heat map in terms of the individually experienced local density for time interval 45-75 seconds on average of 10 simulation runs.

Bibliography

Fruin, J. (1971). *Pedestrian planning and design*.

Geoerg, P. (2012). *Vergleichende Untersuchung zur Beurteilung von Fluchtwegsituationen mittels computergestützter Evakuierungssimulation anhand charakteristischer Grundgeometrien [Master-Thesis]*. Magdeburg.

Hurley, M. (Ed.). (2015). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer.

IMO. (2016). *IMO MSC/Circ. 1533 - Revised Guidelines on evacuation analyses for new and existing passenger ships*. London: International Maritime Organization (IMO).

Johansson, A., Helbing, D., & Shukla, P. (2007). Zitieren. *Advances in complex systems*, pp. 271-288. From <https://www.researchgate.net/publication/220301682>

Kretz, T. (2009). The use of dynamic distance potential fields for pedestrian flow around corners. *Prepared and Accepted for "First International Conference on Evacuation Modeling and Management" (ICEM 09)*, (p. arXiv:0906.2667). From <https://www.researchgate.net/publication/45856799>

Kretz, T. (2017). *Some Notes on Pedestrian Walking Speeds on Stairs*. online: ResearchGate.net. From <https://www.researchgate.net/publication/316430629>

Kretz, T. (2019). *An overview of fundamental diagrams of pedestrian dynamics*. ResearchGate.net. From <https://www.researchgate.net/publication/336286296>

Kretz, T., Große, A., Hengst, S., Kautzsch, L., Pohlmann, A., & Vortisch, P. (2011). Quickest paths in simulations of pedestrians. *Advances in Complex Systems*, pp. 733-759. From <https://www.researchgate.net/publication/51916028>

Kretz, T., Grünebohm, A., & Schreckenberg, M. (2006). Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, p. P10014. From <https://www.researchgate.net/publication/2177226>

RiMEA. (n.d.). *rimea.de*. From [rimea.de](https://rimea.de/de/rimea-projekt/richtlinie-fuer-mikroskopische-entfluchtungsanalysen/): <https://rimea.de/de/rimea-projekt/richtlinie-fuer-mikroskopische-entfluchtungsanalysen/>

Schadschneider, A., & Schreckenberg, M. (1998). Garden of Eden states in traffic models. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, p. L225. From <https://www.researchgate.net/publication/241443718>

Weidmann, U. (1993). *Transporttechnik der Fußgänger*. Zürich: ETHZ. From <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/242008>