



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Seminarausarbeitung**

## **Master 3. Semester (WiSe 12/13)**

Torben Woggan

Ein Validierungskonzept für Fußgängersimulationen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
2.1	Fußgängersimulationen .....	3
2.2	Validierung .....	4
2.3	WALK-Simulation.....	4
2.4	PedSim.....	5
<b>3</b>	<b>Masterarbeit .....</b>	<b>6</b>
3.1	Ziele .....	6
3.2	Motivation.....	6
3.3	Abgrenzung .....	6
3.4	Risiken .....	7
<b>4</b>	<b>Vorarbeiten .....</b>	<b>7</b>
4.1	Validierung von Gruppensimulationen .....	7
4.2	Personenerkennung in Videos .....	8
4.3	Mustererkennung in Bewegungsdaten.....	8
4.4	Validierung mit Geschwindigkeits- und Flussinformationen.....	8
4.4.1	Fundamentaldiagramme.....	9
4.4.2	Engstellendiagramme.....	9
4.4.3	Vorgehen.....	10
4.4.4	Bisherige Ergebnisse .....	11
<b>5</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>15</b>
5.1	Evaluierung weiterer Validierungsverfahren .....	15
5.2	Zusammenführung der Ergebnisse .....	15
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>18</b>

# 1 Einleitung

Fußgängersimulationen und insbesondere Evakuierungssimulationen spielen eine immer größere Rolle bei der Planung und Überprüfung der Sicherheit von öffentlichen Plätzen, Bauten, Passagierschiffen und anderen Bereichen, in denen der Personenfluss von Interesse ist. Daher ist es von immenser Bedeutung, dass diese Simulationen valide und somit verlässliche Ergebnisse liefern. Um dies zu erreichen, gibt es in der Literatur eine große Anzahl verschiedener Verfahren und Techniken. Oft können diese allerdings alleine noch keine ausreichende Aussage über die Validität der Simulationen geben. Somit ist es immer sinnvoll, eine Kombination dieser Verfahren und Techniken zu benutzen. Dieses Thema hat jedoch in der Literatur noch keine große Beachtung erfahren. Die geplante Masterarbeit soll dies beheben, indem ein Validierungskonzept für Fußgängersimulationen erstellt und evaluiert wird. Diese Ausarbeitung dient dazu, einen kurzen Überblick über das Thema der Masterarbeit sowie den bisherigen Stand und die Planung zu geben.

Das folgende Kapitel stellt eine Einführung in den Bereich der Fußgängersimulationen und der damit verbundenen Bedeutung der Validierung in diesem Bereich dar. Zwei Fußgängersimulationen, die WALK-Simulation und PedSim, werden kurz vorgestellt, da an diesen Simulationen in dieser Arbeit Validierungsverfahren erprobt und evaluiert werden.

Im dritten Kapitel wird ein Überblick über die geplante Masterarbeit gegeben. Die Ziele und die Motivation für das gewählte Thema werden erläutert. Danach wird darüber aufgeklärt, welche Inhalte nicht Bestandteil der Arbeit sein werden. Zuletzt werden mögliche Risiken aufgezeigt und Gegenmaßnahmen für diese Risiken beschrieben.

Das vierte Kapitel beschreibt die bisher in der Vorbereitung der Masterarbeit durchgeführten Arbeiten. Es werden kurze Zusammenfassungen gegeben und die Bedeutung in Bezug auf die Masterarbeit erläutert. Der Fokus liegt auf der Beschreibung des Vorgehens und der Ergebnisse im Bereich der Validierung durch Geschwindigkeits- und Flussinformationen, da diese Vorarbeit den größten Bezug zur geplanten Masterarbeit besitzt.

Das letzte Kapitel klärt schließlich darüber auf, was noch für den Abschluss der Masterarbeit durchgeführt werden muss. Abschließend wird beschrieben, wie die gewonnenen Ergebnisse zu einem Validierungskonzept verknüpft werden können.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Fußgängersimulationen

Fußgängersimulationen dienen der Simulation des Fortbewegungsverhaltens von Personen in einer bestimmten Umgebung. In Form von Evakuierungssimulationen werden sie oft für die Simulation von Evakuierungen von beispielsweise öffentlichen Plätzen, Bauten oder auch Passagierschiffen eingesetzt. Durch den Einsatz von Evakuierungssimulationen lassen sich unter anderem Evakuierungszeiten schätzen und Gefahrstellen erkennen. Die Simulationen können auch Auskunft über das Verhalten von Personen in den simulierten Situationen geben und dadurch unter anderem Vorhersagen zu der Anzahl der Verletzten treffen.

Für die Umsetzung einer Fußgängersimulation gibt es zwei Ansätze. Der mikroskopische Ansatz stellt jede Person im betrachteten Szenario einzeln dar. Dies erfolgt mit Hilfe von Softwareagenten, die die Rolle einer Person einnehmen und selbstständig Entscheidungen treffen können. Durch diesen Ansatz ist es möglich, die durch die Simulation gewonnenen Erkenntnisse direkt mit der Realität zu vergleichen. So kann von dem Agentenverhalten auf das Verhalten der Personen in der untersuchten Situation geschlossen werden. Hierbei handelt es sich um den in der Masterarbeit betrachteten Ansatz.

Ein anderer Ansatz für die Simulation von Fußgängern abstrahiert von den Individuen. Bei diesem makroskopischen Ansatz werden statt der einzelnen Personen die Fußgängerströme dargestellt. Dies kann zum Beispiel durch Flusssimulationen erreicht werden. Das Verhalten einzelner Personen ist dadurch nicht mehr erkennbar.

## 2.2 Validierung

Der Hauptgrund zum Einsatz von Fußgängersimulationen ist der Wunsch, mit Hilfe der durch sie gewonnenen Ergebnisse Vorhersagen treffen zu können. Da diese oft die Sicherheit von Menschenleben betreffen, ist es von größter Bedeutung, dass die Erkenntnisse valide sind und man sich somit auf die Vorhersagen verlassen kann. Die Validierung dient der Überprüfung der Korrektheit der Simulation im Hinblick auf den gewünschten Aspekt des simulierten Systems. Im Falle einer Fußgängersimulation heißt dies, dass wir das gleiche Verhalten auf mikroskopischer Ebene in der Simulation erreichen, das auch in der Realität auftritt. So soll unter anderem jeder Agent ein möglichst realistisches individuelles Bewegungsverhalten zeigen. Auch ein realistisches Verhalten auf makroskopischer Ebene ist erforderlich. Die Simulation soll unter anderem realistische Dichten, Flüsse, Ereignisse und Evakuierungszeiten produzieren.

## 2.3 WALK-Simulation

WALK ist ein Projekt mit dem Schwerpunkt „Bevölkerungsschutz“ an der HAW Hamburg. Ein wichtiger Bestandteil dieses Projektes ist die Entwicklung einer agentenbasierten Fußgängersimulation. Die Simulation besitzt einige Besonderheiten, die das Nachbilden von realistischen Szenarien erlauben. Zum einen lassen sich mit der Simulation sehr große Szenarien simulieren. Dies wird durch eine verteilte Architektur erreicht, die es erlaubt, die Szenarien über mehrere Rechner zu verteilen. Zum anderen wird an emotionalen Agenten gearbeitet. Hierdurch wird es möglich, den Einfluss von Emotionen, wie zum Beispiel Angst, auf das Verhalten von Personen zu berücksichtigen. Eine weitere geplante Besonderheit stellt die Möglichkeit des Auftretens von dynamischen Ereignissen dar. So können Feuer, Rauch oder Wassereinträge die Sinne der Personen beeinflussen, Emotionen hervorrufen oder die Fortbewegung behindern.

Die WALK-Simulation setzt jede Person in Form eines individuellen Agenten um. Im aktuellen Entwicklungsstand können sie sich nur in der maximalen Geschwindigkeit unterscheiden. Später können unter anderem physische oder psychische Unterschiede ergänzt werden. Die Agenten besitzen einen festen Körper in Form eines Quadrats mit einer Seitenlänge von 40 cm.

Die Wegfindung der Agenten basiert auf einem A\*-Algorithmus (Thiel 2011). Dieser berechnet Wegpunkte, auf die sich die Agenten zu bewegen. Mit Hilfe von Potentialfeldern können die Agenten Hindernissen, zum Beispiel anderen Agenten, ausweichen. Wegpunkte besitzen hierbei ein positives Potential und ziehen den Agenten an, Hindernisse dagegen besitzen ein negatives Potential und stoßen den Agenten somit ab (Abbildung 1). Der Agent prüft nun, ob es im Winkel von 45° nach links

oder rechts einen Bewegungsvektor gibt, der ein besseres, das heißt höheres, Potential besitzt, als der originale Bewegungsvektor, der direkt auf den Wegpunkt zusteuert. Der Agent nutzt den besten Bewegungsvektor, den er findet. Da die Fortbewegung regelbasiert funktioniert, ist das Hinzufügen weiterer Verhaltensregeln möglich.

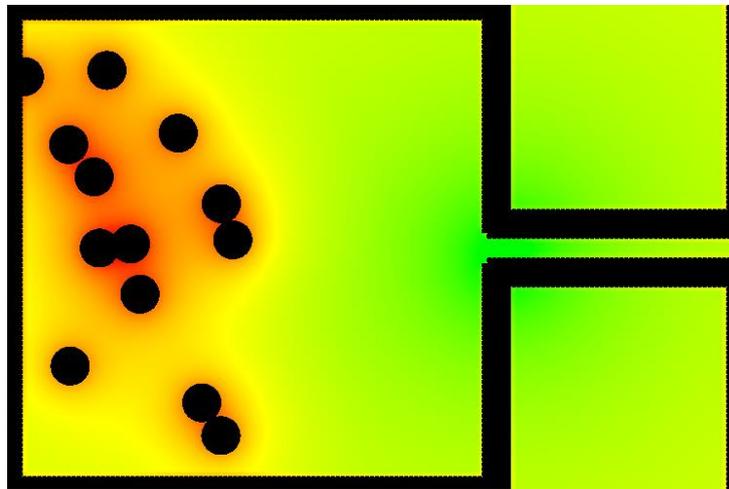


Abbildung 1 - Potentialfelder in einer älteren Version der WALK-Simulation (Thiel 2011)

Außer den Agenten existiert ein übergeordnetes System, das für die Synchronisation der Agenten zuständig ist und auch Kollisionen zwischen Agenten erkennen und auflösen kann.

## 2.4 PedSim

Bei PedSim handelt es sich um eine Open-Source-Fußgängersimulation<sup>1</sup>. Im Gegensatz zur WALK-Simulation ist das Verhalten der Agenten nicht regelbasiert, sondern basiert auf dem „Social Force Model“. Die Bewegung im Allgemeinen funktioniert zunächst ähnlich wie bei den bisherigen Agenten der WALK-Simulation, die noch keine große Intelligenz oder Komplexität besitzen. Agenten bewegen sich aufgrund von anziehenden und abstoßenden Kräften. Zielorte besitzen hierbei anziehende Kräfte. Wände, Agenten und andere Hindernisse besitzen dagegen abstoßende Kräfte. Dieses einfache Modell zeigt bereits viele in der Realität beobachtbare emergente, also durch das Zusammenspiel der einzelnen Agenten entstehende, Bewegungsmuster wie das Bilden von Spuren bei gegenläufigen Personenflüssen.

Im Gegensatz zur WALK-Simulation besitzt PedSim keine individuellen Agenten. Alle Agenten sind identisch im Hinblick auf Eigenschaften wie Geschwindigkeit oder Abstoßungskraft. Ein weiterer Unterschied ist, dass PedSim-Agenten „Moving Point Objects“ sind. Das heißt, dass die Agenten keinen Körper besitzen. Durch hohe auf sie wirkende Kräfte kann somit unter anderem der Abstand zwischen den Agenten unrealistisch kleine Werte erreichen oder eigentlich feste Objekte wie Wände, Hindernisse oder andere Agenten können durchquert werden. Dies ist in der WALK-Simulation nicht möglich, da die Agenten feste Körper besitzen und eine Kollisionserkennung stattfindet.

Die Wegfindung und das Agentenverhalten sind nur von den wirkenden Kräften abhängig. Komplexere Verhaltensregeln lassen sich nicht definieren.

<sup>1</sup> [pedsim.silmaril.org](http://pedsim.silmaril.org)

## 3 Masterarbeit

### 3.1 Ziele

Das Ziel der Masterarbeit soll die Erstellung eines Konzeptes zur Validierung von Fußgängersimulationen sein. Mit Hilfe des Konzeptes soll es möglich sein, die richtigen und aussagekräftigen Verfahren und Techniken zur Validierung während oder nach der Entwicklung einer Fußgängersimulation auszuwählen und durchzuführen. Verschiedene Entwicklungsstände erfordern unterschiedliche Vorgehensweisen.

Eine Evaluierung der Verfahren und des Konzeptes findet mit Hilfe der WALK-Simulation, PedSim und Realdaten statt. Die Verfahren werden vor allem in Hinblick auf Eignung, Aussagekraft und Zeitaufwand überprüft. Hierdurch lassen sich die Verfahren bestimmen, deren Durchführung zur Überprüfung der Validität der Simulation von großem Nutzen ist und deren Zeitaufwand in einem guten Verhältnis zur Aussagekraft steht. Eine Erweiterung des Konzeptes auf den übergeordneten Bereich der Multi-Agenten-Simulationen wäre möglich, wenn genug Daten hierfür zur Verfügung stehen.

Da es sich bei der WALK-Simulation um eine bisher noch nicht validierte, in Entwicklung befindliche Fußgängersimulation handelt, sorgt das beschriebene Vorgehen dafür, dass sie durch verschiedene Verfahren validiert wird, beziehungsweise Probleme und Baustellen aufgezeigt werden.

### 3.2 Motivation

Die Wahl dieser Ziele der Masterarbeit wird dadurch motiviert, dass in der Literatur viele verschiedene Vorgehensweise und Verfahren zur Validierung von Fußgängersimulation zu finden sind. Es gibt jedoch keine Vergleiche der einzelnen Verfahren und kein vollständiges und evaluiertes Konzept, das einem die Auswahl der Verfahren erleichtert. Somit ist es schwer den Überblick zu behalten. Das in der Masterarbeit erstellte Validierungskonzept soll diese Probleme beheben, indem es eine Auswahl und Kombination von Verfahren zur Validierung anbietet. Hierdurch wird die Validierung von Fußgängersimulationen erleichtert, was von großer Bedeutung ist, da vor allem bei allen sicherheitskritischen Simulationen eine Validierung notwendig ist.

### 3.3 Abgrenzung

Da während der Erstellung des Konzeptes mit Simulationen gearbeitet wird, ist es nicht unwahrscheinlich, dass Probleme in diesen aufgedeckt werden. Vor allem bei der noch in der Entwicklung befindlichen WALK-Simulation ist es aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums und der bisherigen sehr einfachen Agentenintelligenz sehr wahrscheinlich, dass Abweichungen vom erwarteten Verhalten auf makroskopischer oder mikroskopischer Ebene auftreten. Die Anpassung der WALK-Simulation, so dass sie valide Ergebnisse liefert, soll jedoch kein Bestandteil der Arbeit sein. Stattdessen sollen Baustellen und Probleme aufgezeigt werden, so dass diese später behoben werden können. Hierfür werden die Ergebnisse und Tests der Masterarbeit zur Verfügung gestellt. Das Beheben der Probleme fällt in den Bereich anderer Mitglieder der WALK-Forschungsgruppe, die sich auf Bereiche wie die Agentenintelligenz spezialisiert haben.

### 3.4 Risiken

Ein Risiko für die Ausführung der geplanten Masterarbeit liegt in der Schwierigkeit, für die Validierung nutzbare Realdaten zu bekommen. Somit wäre es möglich, dass nicht genügend Realdaten für die Validierung beziehungsweise die Evaluierung der Verfahren zur Verfügung stehen. Als Gegenmaßnahme ist hierbei eine Spezialisierung auf kleinere Szenarien möglich. Für solche Szenarien lassen sich mehr Daten von Versuchen und Übungen finden, die für die Validierung nutzbar sind. Sollen Szenarien überprüft werden, für die noch keine Realdaten zur Verfügung stehen, so können auch selbst kleinere Versuche durchgeführt und aufgezeichnet werden. Eine andere Gegenmaßnahme wäre das Erstellen von Vergleichsdaten mit einer bereits validierten anderen Simulation.

Ein weiteres Risiko ist im möglichen Umfang der Arbeit zu sehen. Eine Implementierung und Ausführung der vielen verschiedenen Verfahren und Techniken kann sehr aufwändig sein. Damit der Umfang nicht zu hoch wird, sollen daher im Voraus Zeit und Nutzen der einzelnen Verfahren abgeschätzt werden und auf Basis dieser Abschätzung eine Vorauswahl der näher behandelten Verfahren getroffen werden.

Als letztes Risiko besteht noch die Gefahr, dass die von der WALK-Simulation oder PedSim erstellten Simulationsergebnisse noch zu unrealistisch sind und somit zu stark von den Realdaten abweichen, um noch eine vernünftige Evaluierung der Validierungsverfahren durchführen zu können. In diesem Fall würde die Möglichkeit bestehen, Realdaten untereinander zu vergleichen. Diese sollten geringere Abweichungen zeigen und das Verhalten der Verfahren bei validen Daten widerspiegeln.

## 4 Vorarbeiten

### 4.1 Validierung von Gruppensimulationen

Die vorhergegangene Bachelorarbeit mit dem Titel „Validierung von Gruppensimulationen“ (Woggan 2011) beinhaltet die Vorstellung verschiedener Validierungsverfahren für Gruppensimulationen. Der Schwerpunkt lag auch hierbei auf Fußgängersimulationen. Aus den vorgestellten Validierungsverfahren wurde ein Validierungskonzept für vier Phasen der Entwicklung erstellt. Bei diesen Phasen handelte es sich um „Sammeln der Daten“, „Erstellung des konzeptuellen Modells“, „während der Implementierung des Modells“ und „nach der Implementierung des Modells“. Für jede Phase wurden Validierungsverfahren vorgeschlagen, die die Validität der einzelnen Bestandteile der Simulation gewähren sollen.

Im Gegensatz zur geplanten Masterarbeit war die Bachelorarbeit jedoch nur theoretisch. Die Verfahren wurden nicht durch praktische Anwendung verglichen und evaluiert, sondern nur theoretisch bewertet. Auch das erstellte Konzept wurde nicht getestet. Die Masterarbeit soll somit eine Erweiterung der Bachelorarbeit werden, bei der einzelne Verfahren genauer betrachtet und evaluiert werden. Dies geschieht einerseits auf Basis von Simulationen wie der WALK-Simulation und PedSim und andererseits auf Basis von Realdaten wie Videoaufzeichnungen oder Trackingdaten wie den SMDPC-Daten<sup>2</sup>. Außerdem soll durch diese Vorgehensweise eine Validierung des bisherigen Standes der WALK-Simulation stattfinden, was bisher noch nicht geschehen ist.

---

<sup>2</sup> [math.tu-berlin.de/projekte/smdpc/v-menuue/simulation\\_of\\_multi\\_destination\\_pedestrian\\_crowds](http://math.tu-berlin.de/projekte/smdpc/v-menuue/simulation_of_multi_destination_pedestrian_crowds)

## 4.2 Personenerkennung in Videos

Im Zuge der ersten Seminarveranstaltung wurde das Thema „Personenerkennung in Videos“ (Woggan 2012a) behandelt. Es sollte überprüft werden, ob automatische Validierungsverfahren, die Fußgängersimulationen anhand von Videoaufnahmen validieren, möglich sind. Hierbei wurden verschiedene Verfahren zur Personenerkennung in Videoaufnahmen vorgestellt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Verlässlichkeit der aktuellen Verfahren.

Es wurde jedoch klar, dass die bisherigen Verfahren nicht zuverlässig genug sind, um eine gute Validierung zu ermöglichen. Vor allem bei hohen Dichten versagten alle Verfahren und erkannten nur einen kleinen Teil der Personen oder verursachten Fehlerkennungen. Da hohe Dichten bei Fußgängersimulationen jedoch nicht unwahrscheinlich sind, schloss dies eine Verwendung der Verfahren für die Validierung aus. Ein weiteres Problem ist die schlechte Verfügbarkeit von nutzbaren Videoaufnahmen für die Validierung.

Die Idee der Nutzung von Personenerkennung in Videoaufnahmen zur automatischen Validierung von Fußgängersimulationen wurde somit verworfen. Die Erkenntnisse zeigen jedoch schon einmal, welche Art von Verfahren beim derzeitigen Stand der Forschung nicht Teil des Validierungskonzeptes sein wird und waren somit nicht umsonst.

## 4.3 Mustererkennung in Bewegungsdaten

Die Arbeit in der zweiten Seminarveranstaltung befasste sich mit der „Mustererkennung in Bewegungsdaten“ (Woggan 2012b) und der Nutzung der Mustererkennung für Validierungszwecke. Bei Mustern handelt es sich um jede erkennbare räumliche und zeitliche Regelmäßigkeit oder jedes interessante Verhältnis in den Daten (Dodge et al. 2008). Die Idee war nun, dass die Mustererkennung als Validierungsverfahren benutzt werden kann.

So lassen sich Simulationen und Vergleichsdaten, zum Beispiel Realdaten oder Daten einer anderen Simulation, über das Auftreten von bestimmten relevanten Mustern vergleichen. Es könnte unter anderem geprüft werden, ob bei den zu vergleichenden Daten jeweils das gleiche Auftreten von Spurenbildung, Staubildung, Anführern oder Gruppen auftritt. Auch kann verglichen werden, ob das Auftreten eines bestimmten Musters die gleichen Folgen hat. Eine Verringerung der Flussgeschwindigkeit in einem bestimmten Bereich könnte zum Beispiel in einem Szenario ein Hinweis auf einen bald entstehenden Stau sein.

## 4.4 Validierung mit Geschwindigkeits- und Flussinformationen

Das aktuelle Thema ist die Validierung von Fußgängersimulationen auf makroskopischer Ebene anhand von einfach zu bestimmenden Werten wie Positionen der Personen, Geschwindigkeiten der Personen, Personendichten in bestimmten Bereichen und Personenfluss zwischen verschiedenen Bereichen.

Die einfachsten Vergleichsmöglichkeiten sind hierbei direkte Vergleiche von Werten zu bestimmten Zeitpunkten oder der Vergleich von über den Simulationslauf gemittelten Werten. Der Fokus der Arbeit liegt jedoch auf dem Vergleich von Zusammenhängen zwischen Werten. Im Speziellen werden Fundamentaldiagramme, die die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Personen von der Personendichte beschreiben, und Engstellendiagramme, die die Abhängigkeit des Personenflusses vom Durchmesser der Engstellen beschreiben, betrachtet.

#### 4.4.1 Fundamentaldiagramme

Fundamentaldiagramme zeigen die Abhängigkeit der Gehgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde von der Personendichte in Personen pro Quadratmeter beim freien Fluss ohne Engstellen. In der Literatur lassen sich viele dieser Diagramme finden, in diesem Fall wird das Fundamentaldiagramm von Weidmann (Weidmann 1993) betrachtet, da dieser viele verschiedene Ergebnisse aus der Literatur in einem Diagramm zusammengeführt hat. Hierdurch ergibt sich ein möglichst allgemeines Diagramm (Abbildung 2), da in der Literatur ansonsten teilweise große Abweichungen der einzelnen Ergebnisse sichtbar sind.

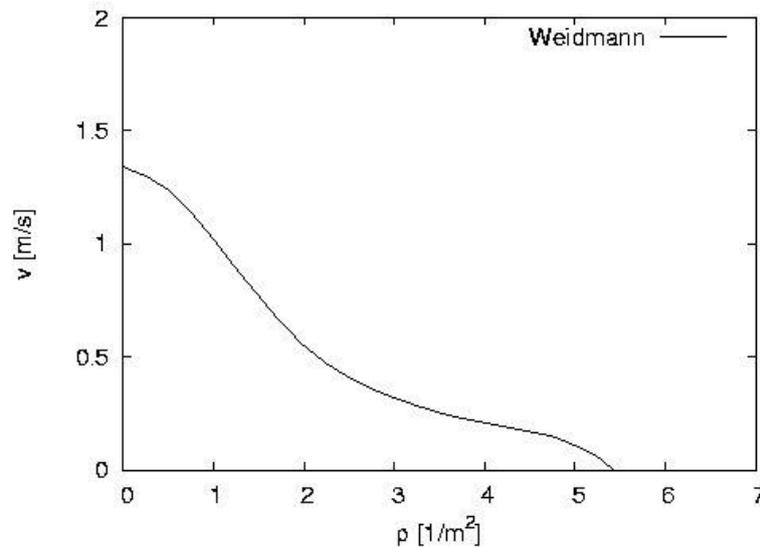


Abbildung 2 - Das Fundamentaldiagramm von Weidmann 1993 (ped-net.org)<sup>3</sup>

Vergleiche mit dieser S-förmigen Kurve können auf verschiedene Weisen durchgeführt werden. Zuerst kann die allgemeine Form der Kurve betrachtet werden. Stimmt diese auch bei der Simulation überein, so scheint sie das korrekte Verhalten zu zeigen. Als nächstes kann ein genauere Vergleich der zusammenhängenden Dichte- und Geschwindigkeitswerte stattfinden. Dies erfordert allerdings bereits eine gewisse Feineinstellung der Werte der Simulation. Zuerst ist das generelle Verhalten daher von größerer Bedeutung.

#### 4.4.2 Engstellendiagramme

Im Gegensatz zu Fundamentaldiagrammen wird in Engstellendiagrammen nicht der freie Fluss betrachtet, sondern der Fluss durch eine Engstelle. Hierbei wird die Abhängigkeit des Flusses in Personen pro Sekunde von dem Engstellendurchmesser in Metern beschrieben.

Auch hier lässt sich zuerst die Form des Graphen aus der Literatur (Abbildung 3), hier den Versuchen von Kretz et al. (Kretz et al. 2006), mit der Form des Graphen der Simulation vergleichen. Erwartet wird eine lineare Abhängigkeit der betrachteten Werte. Manche Versuche lassen auch auf eine Stufenfunktion schließen (Hoogendoorn und Daamen 2005). Der nächste Schritt wäre erneut der Vergleich konkreter Werte, was, wie bereits erwähnt, bereits eine gewisse Feineinstellung der Simulation erfordert. Der Fokus liegt daher zuerst wieder auf dem generellen Verhalten.

<sup>3</sup> ped-net.org/index.php?id=21&L=1&ID=134

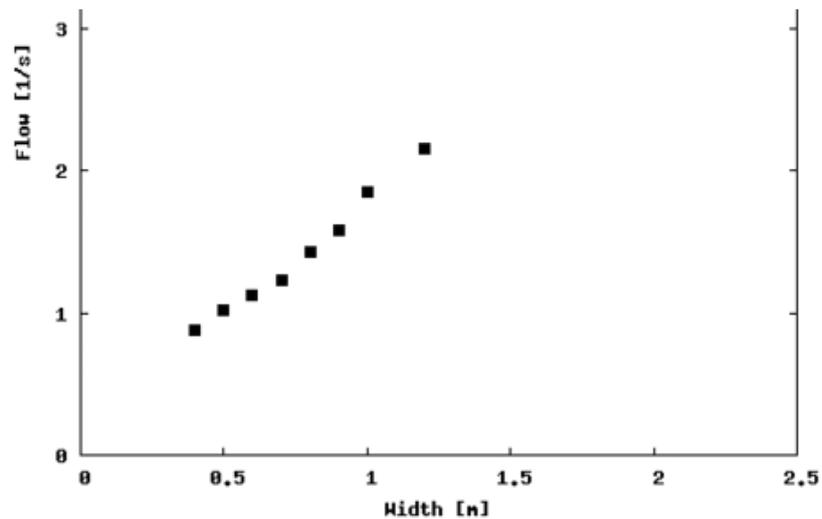


Abbildung 3 - Das Engstellendiagramm von Kretz et al. 2006 (ped-net.org)<sup>4</sup>

#### 4.4.3 Vorgehen

Im Folgenden sollte die Validität der WALK-Simulation und PedSim in Hinblick auf die von den Diagrammen beschriebenen Zusammenhänge betrachtet werden. Dafür wurde eine Vielzahl von Tests definiert, die verschiedene Personendichten erzeugen oder eine unterschiedlich breite Engstelle besitzen. Die Grundlage war ein Test aus der „Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen“ (Meyer-König et al. 2009), der für die verschiedenen Tests angepasst wurde (Abbildung 4).

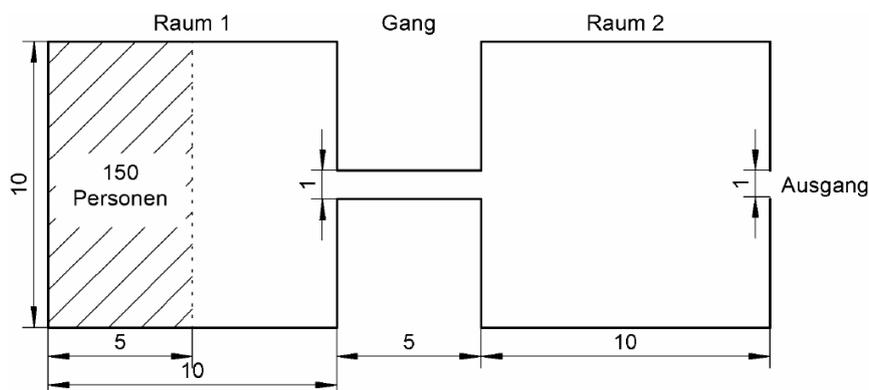


Abbildung 4 - Der Test, der als Grundlage für weitere Tests genutzt wurde (Meyer-König et al. 2009)

Diese Tests wurden nun in der WALK-Simulation und in PedSim umgesetzt (Abbildung 5). Bei der WALK-Simulation wurden jeweils zwei Szenarien definiert, bei einem haben alle Agenten die gleichen Geschwindigkeiten, bei dem anderen sind die Geschwindigkeiten gleichverteilt. Für PedSim wurde jeweils nur ein Szenario definiert, da dort alle Agenten identisch sein müssen. Danach wurden die Tests ausgeführt und für jeden Zeitschritt  $t$  der Simulation jeweils für jeden Agenten die  $x$ -Position  $x(t)$  und die  $y$ -Position  $y(t)$  in einer Datenbank aufgezeichnet. Mit Hilfe eines weiteren Programms wurden die allgemeinen Agenten-Geschwindigkeiten und Geschwindigkeiten in Flussrichtung, Personendichten, Personenflüsse und weitere Werte bestimmt und in einer CSV-Datei ausgegeben. Diese Datei wurde nun ausgewertet und grafische Darstellungen der Zusammenhänge wurden angefertigt.

<sup>4</sup> [ped-net.org/index.php?id=51&L=1&ID=266](http://ped-net.org/index.php?id=51&L=1&ID=266)

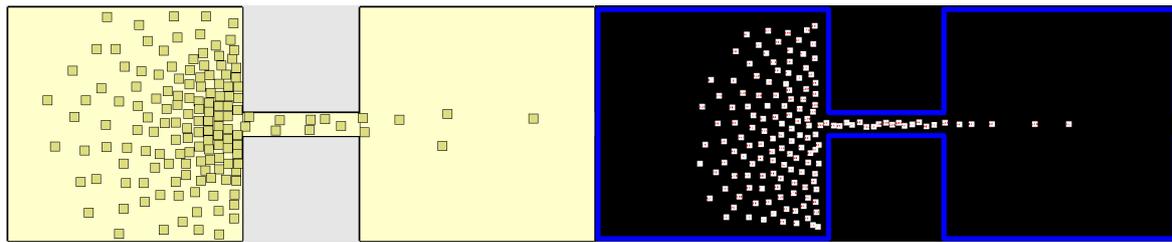


Abbildung 5 - Der in der WALK-Simulation (links) und PedSim (rechts) umgesetzte Test

#### 4.4.4 Bisherige Ergebnisse

Eine Interpretation der Ergebnisse beginnt zunächst auf einer abstrakten Ebene. Für manche konkreteren Interpretationen sind noch weitere Tests und Testdurchläufe nötig. Ein erwartetes generelles Verhalten in Bezug auf das Fundamentaldiagramm ist, dass höhere Dichten eine niedrigere Geschwindigkeit zur Folge haben. Der Verlauf des Graphen ist hierbei nicht linear.

PedSim zeigt hierbei nicht das erwartete Verhalten. Eine höhere Dichte hat keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Agenten (Abbildung 6). Die Betrachtung eines Diagramms des Dichteverlaufs und Geschwindigkeitsverlauf über die Zeit belegt dies (Abbildung 7).

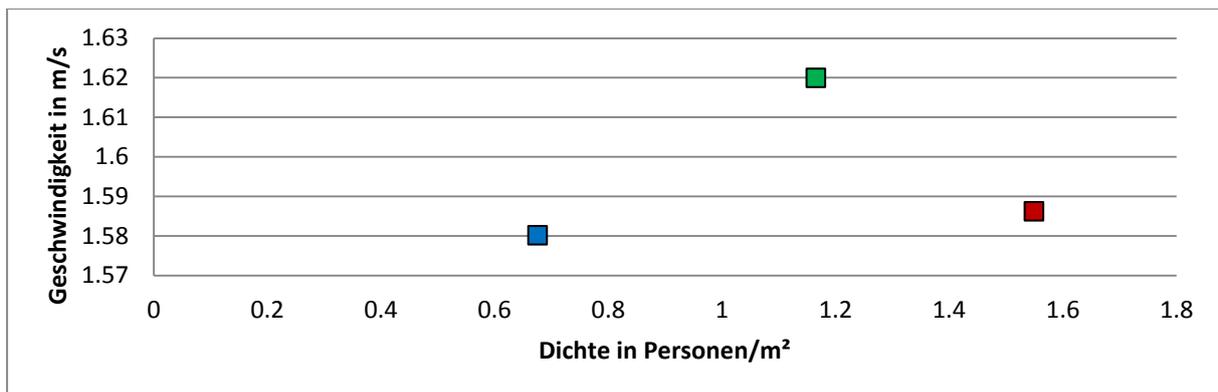


Abbildung 6 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in PedSim

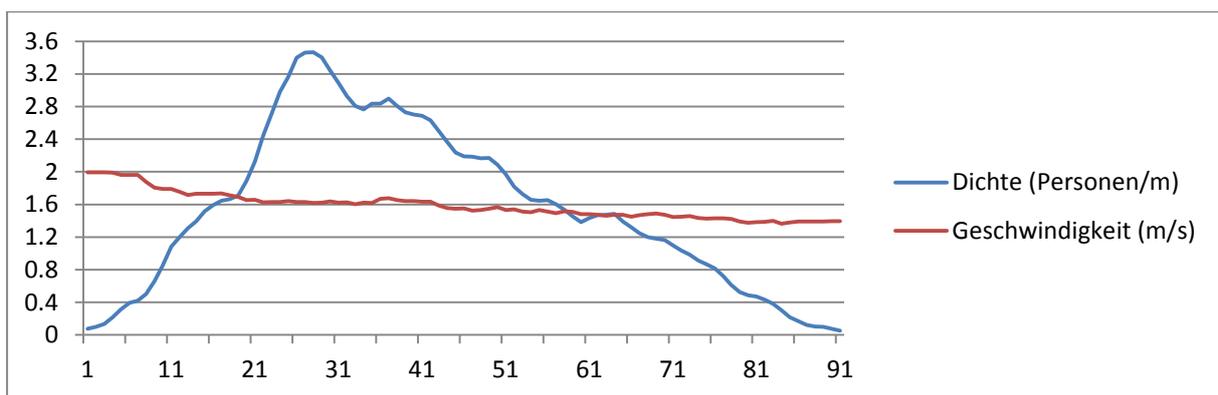


Abbildung 7 - Dichte- und Flussgeschwindigkeitsverlauf eines Tests in PedSim

Im Gegensatz hierzu zeigt die WALK-Simulation einen Zusammenhang zwischen Dichte und Geschwindigkeit. Eine höhere Dichte führt hier zu geringeren Geschwindigkeiten (Abbildung 8). Bei den Szenarien mit unterschiedlich schnellen Agenten ist jedoch kaum ein Unterschied bei den Geschwindigkeiten der Tests mit 100 und der Tests mit 150 Agenten sichtbar (Abbildung 9). Weitere Tests, die noch höhere Dichten produzieren sind hier von Nöten, um den Grund für dieses Verhalten besser identifizieren zu können.

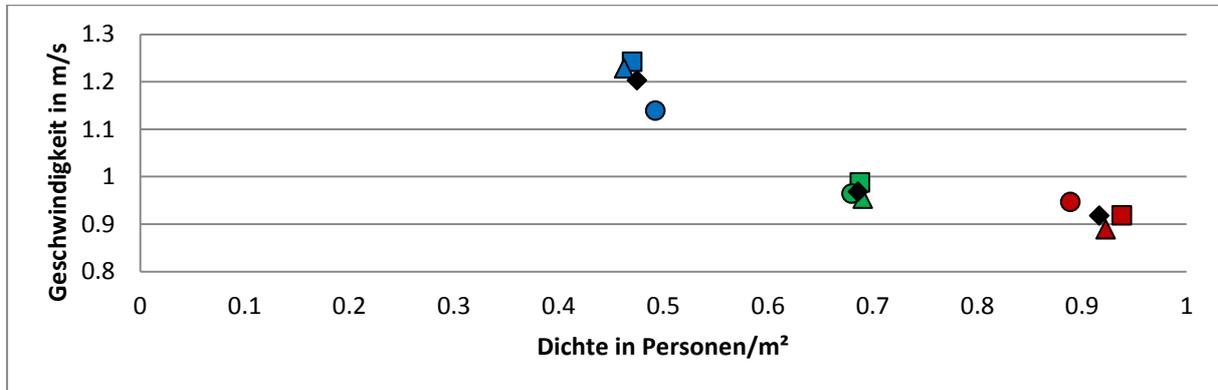


Abbildung 8 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in der WALK-Simulation bei identischen Agenten und mehreren Versuchsdurchläufen

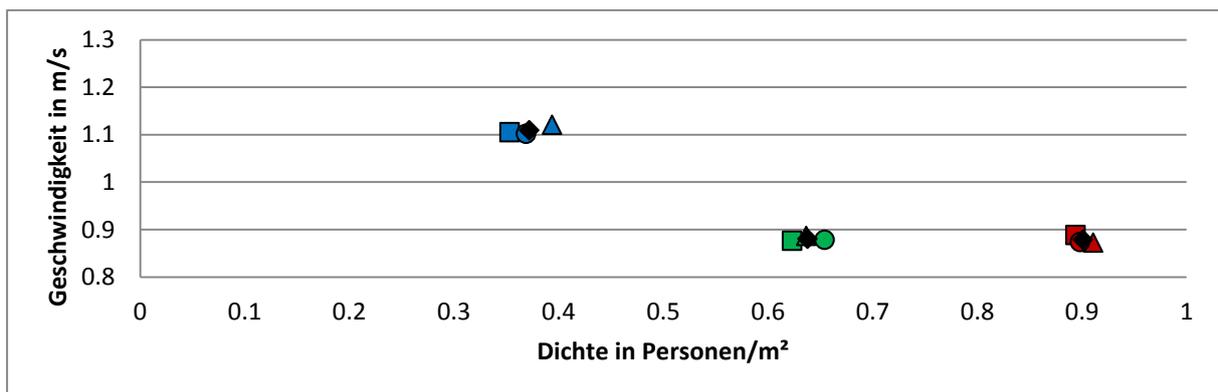


Abbildung 9 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in der WALK-Simulation bei unterschiedlichen Agenten und mehreren Versuchsdurchläufen

Im Hinblick auf das Engstellendiagramm ist die Erwartung, dass die Abhängigkeit von Engstellendurchmesser und Flussrate eine lineare Abhängigkeit oder eine Stufenfunktion ist. PedSim zeigt das erwartete Verhalten. Die Tests ergeben eine fast perfekte Gerade, dies lässt sich dadurch begründen, dass die Simulation ohne feste Körper einer Flusssimulation ähnelt (Abbildung 10). Jedoch mussten höhere Werte für den Durchmesser der Engstelle gewählt werden, als geplant, da es den Agenten bei geringeren Breiten nur durch genügend Druck durch andere Agenten von hinten möglich war, die Engstelle zu passieren. Das Verringern der Abstoßungskraft der Wände führte zwar zum Ermöglichen des Passierens, aber auch zum Durchqueren von eigentlich festen Wänden.

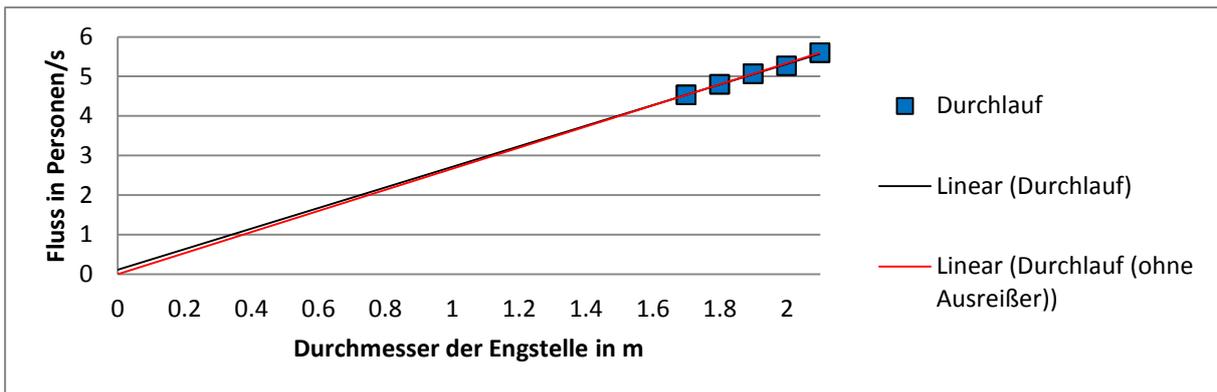


Abbildung 10 - Engstellendurchmesser und Fluss in PedSim

Auch die WALK-Simulation zeigt das erwartete Verhalten, jedoch ähnelt der Graph hier eher einer Stufenfunktion (Abbildung 11). Der Grund dafür ist, dass es sich um feste Körper in Form eines Quadrats mit einer Seitenlänge von 40 cm handelt. Bei Tests bei denen der Engstellendurchmesser ein Vielfaches von 40 cm beträgt, kann es zu Verklemmungen kommen, wenn so viele Agenten gleichzeitig versuchen die Engstelle zu passieren, dass die komplette Breite ausgeschöpft wird. Hier lassen sich im Diagramm deshalb niedrigere Flüsse erkennen.

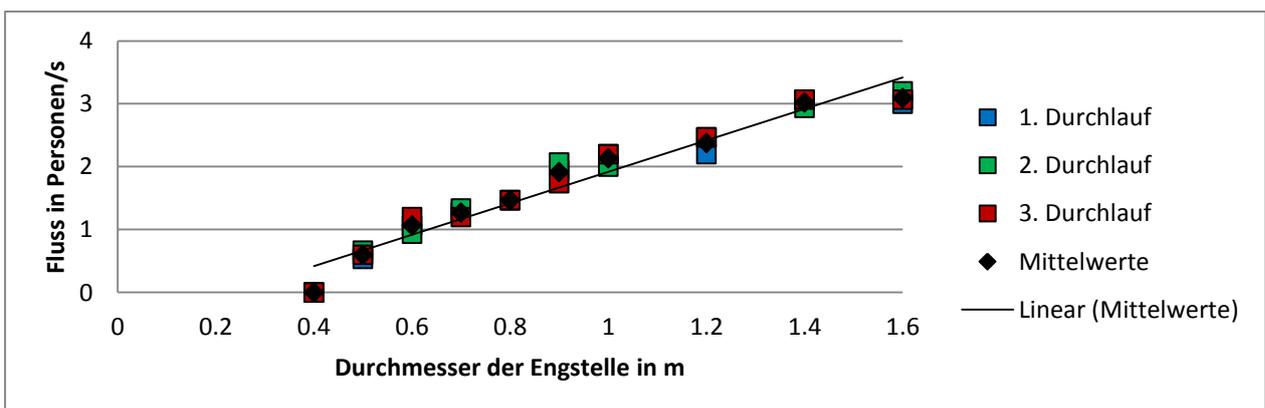


Abbildung 11 - Engstellendurchmesser und Fluss in der WALK-Simulation

Ein nicht erwarteter Zusammenhang, der bei den PedSim-Tests auftritt, ist die Abhängigkeit des Flusses von der Startanzahl der Agenten. Hier würde man keinen großen Unterschied beim Fluss durch eine Engstelle mit 1 m Durchmesser erwarten. Jedoch zeigt hier PedSim erneut eine lineare Abhängigkeit der beiden Werte (Abbildung 12). Je höher die Startanzahl der Agenten ist, desto schneller werden die Agenten durch die Engstelle gedrückt, was auch im Hinblick auf geringe Engstellendurchmesser bei den Engstellentests aufgefallen ist. Dies lässt sich mit der Abstoßungskraft der einzelnen Agenten im „Social Force Model“ begründen.

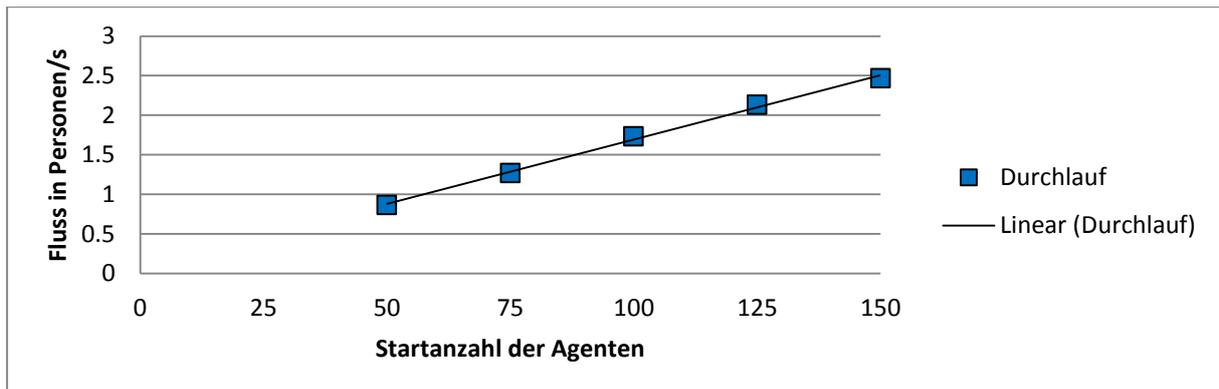


Abbildung 12 - Startanzahl der Agenten und Fluss in PedSim

In der WALK-Simulation zeigt sich dieser Zusammenhang nicht. Die Werte schwanken leicht zwischen den Versuchsdurchläufen, es lässt sich aber keine Tendenz erkennen (Abbildung 13).

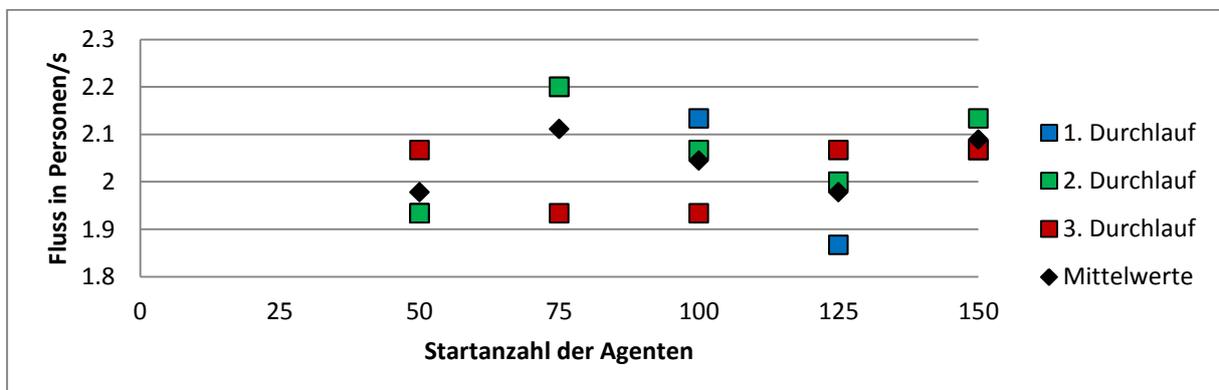


Abbildung 13 - Startanzahl der Agenten und Fluss in der WALK-Simulation bei identischen Agenten

An diesen Beispielen lässt sich bereits erkennen, dass durch die beiden betrachteten Diagramme eine Validierung des makroskopischen Verhaltens der Simulationen möglich ist. Weitere Tests und Versuchsdurchläufe werden einen tieferen Einblick in das Verhalten geben können, so dass noch auf weitere Aspekte hin verglichen werden kann, wie die Form der Verläufe oder die zusammenhängenden Werte. Vergleiche mit den beiden Diagrammen sind somit sinnvoll, da sie keine großen Anpassungen der Simulationen erfordern und nur einfache Aufzeichnungen der Positionen der Agenten nötig sind. Der Aufwand steht in einem guten Verhältnis zu der Aussagekraft. Die durchgeführten Vergleiche erlauben nur eine Überprüfung der Validität der makroskopischen Ebene der Simulationen, weitere Validierungsverfahren für die mikroskopische Validierung sind somit noch durchzuführen.

# 5 Ausblick

## 5.1 Evaluierung weiterer Validierungsverfahren

Nachdem die Validierung mit Geschwindigkeits- und Flussinformationen abgeschlossen ist, sollen weitere Verfahren und Techniken evaluiert werden. Diese Verfahren sollen nicht nur eine Validierung auf makroskopischer Ebene erlauben, sondern auch eine Validierung auf mikroskopischer Ebene, also eine Validierung des Agentenverhaltens, erlauben. Eine Übersicht über verschiedene dafür verwendbare Verfahren findet sich unter anderem in der in den Vorarbeiten vorgestellten Bachelorarbeit. Aus diesen Verfahren und weiteren Verfahren, falls diese gefunden werden, wird eine Vorauswahl getroffen. Bei den auszuwählenden Verfahren soll es sich um solche handeln, die eine hohe Aussagekraft im Hinblick auf die Validität der Simulation versprechen.

Die bisherigen Verfahren haben die WALK-Simulation und PedSim mit dem Fundamental- und Engstellendiagramm verglichen. Die beiden Diagramme stellten dabei die Realdaten dar, die das in der Realität erwartete Verhalten widerspiegeln. Für Verfahren, die Vergleiche auf mikroskopischer Ebene durchführen, werden jedoch Realdaten benötigt, die auch zu einzelnen Personen Bewegungsinformationen liefern. Eine mögliche Datenquelle stellen die Aufzeichnungen zur „Simulation of Multi Destination Pedestrian Crowds“ (Plaue et al. 2011) dar. Hierbei handelt es sich um ein Projekt, das an der TU Berlin durchgeführt wurde. Es wurden zuerst verschiedene Versuche mit sich kreuzenden Fußgängerströmen mit Videokameras aufgezeichnet. Aus diesen Videoaufzeichnungen wurden dann Bewegungsdaten für die in den Videos vorkommenden Personen erstellt. Sowohl die Einzelbilder der Videos, als auch die Bewegungsdaten sind frei verfügbar. Um diese Daten nun für die Validierung zu nutzen, ist es möglich, die Versuche in der WALK-Simulation und in PedSim nachzustellen.

## 5.2 Zusammenführung der Ergebnisse

In der Masterarbeit müssen die gewonnenen Ergebnisse zusammengeführt werden. Die Verfahren und die damit verbundenen Evaluierungsergebnisse werden vorgestellt. Mit einer Auswahl geeigneter Verfahren soll nun ein Validierungskonzept erstellt werden, das alle wichtigen zu validierenden Bereiche einer Fußgängersimulation umfasst. Das fertige Validierungskonzept wird am Beispiel der WALK-Simulation erprobt und evaluiert.

## 6 Literaturverzeichnis

### Dodge et al. 2008

DODGE, S. ; WEIBEL, R. ; LAUTENSCHÜTZ, A.-K.: *Towards a Taxonomy of Movement Patterns*. In: *Information Visualization*, 7. Jg. 2008, Heft 3, S. 240-252.

– Online verfügbar unter: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1594716>

### Hoogendoorn und Daamen 2005

HOOGENDOORN, S. P. ; DAAMEN, W.: *Pedestrian Behaviour at Bottlenecks*. In: *Transportation Science* 39 (2005), Nr. 2, S. 147-159.

– Online verfügbar unter: <http://transci.journal.informs.org/content/39/2/147.abstract>

### Kretz et al. 2006

KRETZ, T. ; GRÜNEBOHM, A. ; SCHRECKENBERG, M.: *Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck*. In: *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* (2006), Nr. 10.

– Online verfügbar unter: <http://iopscience.iop.org/1742-5468/2006/10/P10014/>

### Meyer-König et al. 2009

MEYER-KÖNIG, T. ; MOROGE, C. ; SCHRECKENBERG, M. ; SCHWENDIMANN, M. ; WALDAU, N.: *Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen : Version: 2.2.1 08. Juni 2009*. RIMEA-Projekt, 2009.

– Online verfügbar unter: <http://www.rimea.de/downloads/richtlinien/r2.2.1.pdf>

### Plaue et al. 2011

PLAUE, M. ; CHEN, M. ; BÄRWOLFF, G. ; SCHWANDT, H.: *Trajectory extraction and density analysis of intersecting pedestrian flows from video recordings*. In: *Photogrammetric Image Analysis*. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. S. 285-296.

– Online verfügbar unter: <ftp://ftp.math.tu-berlin.de/pub/numerik/SMDPC/supp.zip>

### Thiel 2011

THIEL, C.: *Eine Plattform für Fußgängersimulationen*. HAW Hamburg, Projektbericht, 2011.

### Weidmann 1993

WEIDMANN, U.: *Transporttechnik der Fussgänger – Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung)*. In: *Schriftenreihe des IVT* (1993), Nr. 90, zweite, ergänzte Auflage.

– Online verfügbar unter: <http://www.ped-net.org/uploads/media/weidmann-1993.pdf>

### Woggan 2011

WOGGAN, T.: *Validierung von Gruppensimulationen*. HAW Hamburg, Bachelorarbeit, 2011.

– Online verfügbar unter: <http://opus.haw-hamburg.de/volltexte/2011/1399/>

### Woggan 2012a

WOGGAN, T.: *Personenerkennung in Videoaufnahmen*. HAW Hamburg, Seminararbeit, 2012.

– Online verfügbar unter: <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master11-12-aw1/woggan/bericht.pdf>

**Woggan 2012b**

WOGGAN, T.: *Mustererkennung in Bewegungsdaten*. HAW Hamburg, Seminararbeit, 2012.

– Online verfügbar unter: <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/woggan/bericht.pdf>

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Potentialfelder in einer älteren Version der WALK-Simulation (Thiel 2011).....	5
Abbildung 2 - Das Fundamentaldiagramm von Weidmann 1993 (ped-net.org).....	9
Abbildung 3 - Das Engstellendiagramm von Kretz et al. 2006 (ped-net.org).....	10
Abbildung 4 - Der Test, der als Grundlage für weitere Tests genutzt wurde (Meyer-König et al. 2009) .....	10
Abbildung 5 - Der in der WALK-Simulation (links) und PedSim (rechts) umgesetzte Test.....	11
Abbildung 6 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in PedSim.....	11
Abbildung 7 - Dichte- und Flussgeschwindigkeitsverlauf eines Tests in PedSim .....	11
Abbildung 8 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in der WALK-Simulation bei identischen Agenten und mehreren Versuchsdurchläufen .....	12
Abbildung 9 - Durchschnittliche Dichte und Flussgeschwindigkeit in der WALK-Simulation bei unterschiedlichen Agenten und mehreren Versuchsdurchläufen .....	12
Abbildung 10 - Engstellendurchmesser und Fluss in PedSim.....	13
Abbildung 11 - Engstellendurchmesser und Fluss in der WALK-Simulation .....	13
Abbildung 12 - Startanzahl der Agenten und Fluss in PedSim .....	14
Abbildung 13 - Startanzahl der Agenten und Fluss in der WALK-Simulation bei identischen Agenten	14