



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminarausarbeitung

Florian J. Ocker

Bewegungsanalys von Fußgängern durch Visual Analytics

*Fakultät Technik und Informatik
Department Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Verwandte Arbeiten	4
2.1	Relative Motion	4
2.2	Towards a Taxonomy of Movement Pattern	5
3	Eigene Vorarbeiten	8
3.1	Musterindikatoren	8
3.2	Simulationen	9
3.3	Visualisierungsmöglichkeiten	11
3.4	Framework	11
4	Ausblick und Risiken	13

1 Einführung

Fußgängerströme sind ein extrem dynamisches und komplexes Phänomen, welches sowohl in vielen, großstädtischen Lebensbereichen bezüglich der Fortbewegungsgeschwindigkeit der Individuen so wie ihrem Wohlbefinden eine Rolle spielt, als auch einen sicherheitsrelevanten Aspekt vornehmlich bei Großveranstaltungen inne hat. Es gibt verschiedene Analyseansätze die sich im Bereich der visuellen Analytik bewegen, da große Datenräume durchsucht werden müssen und die Zielmuster, also die aufzufindenden Modelle, im voraus nicht abschließend spezifiziert werden können. Bei der **visuellen Analytik** werden computergestützte, algorithmische Informationsfilter (*Knowledge Discovery*) mit entsprechenden Visualisierungsformen kombiniert, um eine explorative Rekonfiguration der Modelle seitens des Analyseexperten zu ermöglichen (Fraunhofer-Institut IAIS, 2013). Es sind somit interaktive Werkzeuge notwendig, welche den vorliegenden Analyseansatz durch eine hohe Flexibilität sowie einer direkten Benutzerrückmeldung ermöglichen. Ein Anwendungsexperte hat dann die Möglichkeit, durch seine Überlegenheit bei der visuellen Erfassung von auffälligen Mustern auf Bildern und Grafiken, in die Analyse zyklisch einzugreifen (Weiskopf et al., 2010). Auf diese Weise kann durch Spezifizierung der Muster ein robustes Modell bestimmt werden, welches zuverlässig in längeren Zeitverläufen kritische Situationen bestimmen kann.

Die vorliegende Seminararbeit beschreibt einen Analyseansatz, welcher sich klar von den bestehenden Arbeiten auf diesem Gebiet abgrenzt. Ein kurzer Überblick über die verwandten Arbeiten ermöglicht es, das Themengebiet einzuordnen. Anschließend werden die bisherigen Vorarbeiten und Konzepte erörtert, hierbei vor allem die konzeptionelle Beschreibung des Analysewerkzeugs in dem vorliegenden Kontext. Abschließend werden Ziele und Risiken dieser Forschungsarbeit im Rahmen der Masterarbeit formuliert.

2 Verwandte Arbeiten

Die Relevanz der visuellen Analytik im spatio-temporalen Umfeld nimmt im Zuge der wachsenden und verfügbaren Flut von Bewegungsdaten und einer Vielzahl von Anwendungsgebieten enorm zu (Ocker, 2012). Die folgende Auswahl verwandter Arbeiten wird deshalb auf Projekte begrenzt, welche intuitive Ansätze zur Beschreibung von Bewegungsmustern zum Ziel haben. Um effiziente Mustererkennung zu ermöglichen muss der Informationsraum reduziert werden. Das Konzept der Moving Point Objects (MPOs) betrachtet deshalb nur die jeweiligen Positionen und abstrahiert von den Dimensionen der beweglichen Objekte. Die im Folgenden umrissenen Arbeiten identifizieren noch weitere Abstraktionsmöglichkeiten und untersuchen systematisch häufig wiederkehrende Muster.

2.1 Relative Motion

Das Analysekonzept des Projekts Relative Motion (ReMo, Laube & Imfeld (2002)) basiert auf dem Vergleich von Bewegungsparametern über die Zeit. Zu diesem Zweck werden die Bewegungsdaten in eine 2.5-dimensionale Analysematrix überführt, wodurch der Informationsraum weiter eingeschränkt wird. Die Matrix besteht aus Objektachse, Zeitachse und den Bewegungsparametern. In Abbildung 2.1 wird als Bewegungsparameter die Bewegungsrichtung verwendet, welche nun in einem regelmäßigen Intervall auf acht grobe Richtungswinkel (azimuth) reduziert wird. Anschließend können Bewegungsfolgen (a), so genannte Trajektorien, in die Analysematrix überführt werden. Weitere Parameter wie die Geschwindigkeit oder ihre Veränderung können im selben Format verarbeitet werden. Nun ist es möglich effizient nach Substrukturen zu suchen. In diesem Projekt werden Muster in Form von wiederkehrenden Bewegungsparametern definiert. Dabei werden zunächst Muster ohne Nachbarschaftsbeziehungen beschrieben, welche in den einfachen Fällen Wiederholungen oder Trends bei einem Objekt zeigen (z.B. *constance*) oder das Auftreten eines Bewegungsparameters bei mehreren Objekten zur selben Zeit indizieren (z.B. *concurrence*). Die Anzahl der beteiligten Objekte bestimmt dabei die so genannte Mustergröße. Durch Kombination der Grundmuster können wiederum Verhaltensmuster entdeckt werden, die Abhängigkeiten zwischen Objektbewegungen aufzeigen. Beispielsweise beschreibt das Muster Leadership den Richtungswechsel eines

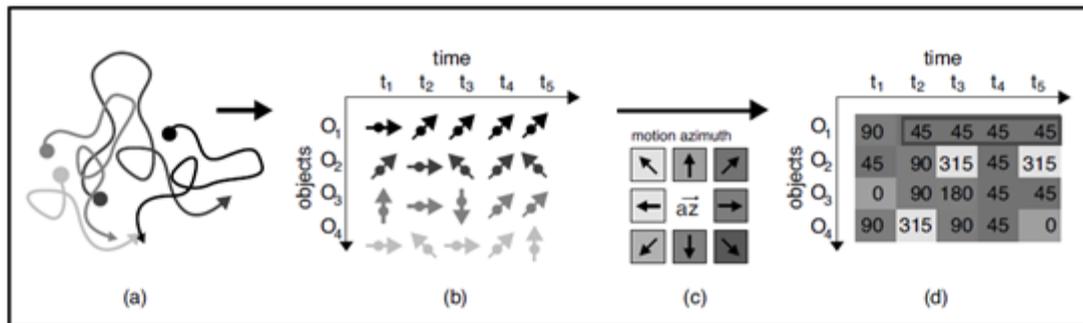


Abbildung 2.1: ReMo-Analysematrix (Laube & Imfeld, 2002)

Objekts und eine kurzzeitig verzögerte Wiederholung dieser Bewegung bei anderen (folgenden) Objekten. Diese Kausalität kann also in einem Zeitfenster zwischen Ursache und resultierender Wirkung beobachtet werden. Weiterhin ist es noch notwendig die räumliche Nähe von Objekte zu berücksichtigen. Laube & Imfeld (2002) stellen verschiedene Konzepte vor, welche die Nähebeziehung von Objekten untersuchen. Können die Basismuster noch in linearer Zeit berechnet werden, da sie lediglich von der Anzahl Objekte und der Anzahl der Zeitschritte abhängen, steigert die Nähebeziehung die Komplexitätsklasse jedoch erheblich, wiederum in Abhängigkeit zum verwendeten Konzept. Zu Beachten gilt jedoch, dass die Konfiguration bezüglich der Mustergröße und des Abstandsmaximums (für die Nähebeziehungen) zwar die Komplexität verringern können, jedoch auch entscheidenden Einfluss auf die gefundenen Muster hat. Somit ist ein Anwendungsexperte unersetzlich bei der Kalibrierung der Parameter für die visuelle Analyse.

2.2 Towards a Taxonomy of Movement Pattern

Die Projektgruppe um Dodge et al. (2008) haben eine systematische Beschreibung einfacher Verhaltensmuster entwickelt. Diese soll eine einheitliche Beschreibung gewährleisten und die Wiederverwendbarkeit der Verhaltensmuster erhöhen. Die so beschriebenen Grundmuster werden hinsichtlich der Anforderungskriterien Effektivität (Grad der Zielerreichung) und Effizienz (Kosten der Zielerreichung) formuliert. Das Resultat ist ein systematischer Katalog von verständlichen Klassifikationen und Definitionen von Bewegungsmustern. Auch in diesem Projekt wird von den Dimensionen der Objekte abstrahiert und mit MPOs gearbeitet. Weiterhin werden aus Effizienzgründen die Parameter nicht in einem absoluten Kontext verwendet, also im direkten Bezug zur Referenzumgebung, sondern beschränkt auf ihre relativen Zusammenhängen (vgl. Kapitel 2.1). Der Kontextbezug wird dann erst bei der Interpretation hergestellt. Um eine

Parameters Dimension	Primitive	Primary derivatives	Secondary derivatives
Spatial	Position (x,y)	Distance $f(posn)$	Spatial distribution $f(distance)$
		Direction $f(posn)$	Change of direction $f(direction)$
		Spatial extent $f(posn)$	Sinuosity $f(distance)$
Temporal	Instance (t)	Duration $f(t)$	Temporal distribution
	Interval (t)	Travel time $f(t)$	Change of duration $f(duration)$
Spatio-temporal (x, y,t)	—	Speed $f(x,y,t)$	Acceleration $f(speed)$
		Velocity $f(x,y,t)$	Approaching rate

Abbildung 2.2: Klassifikation von Bewegungseigenschaften (Dodge et al., 2008)

Systematik vergleichbarer Muster zu erstellen, werden Bewegungseigenschaften klassifiziert, aus deren Kombination die Bewegungsmuster beschrieben werden können. Unterschieden werden drei Gruppen von Eigenschaften: primitive Parameter und die daraus abgeleiteten Parameter (*primary & secondary derivatives*). Diese Parameter werden in räumlichen, zeitlichen und der Kombination also spatio-temporalen Dimensionen geordnet. Abbildung 2.2 veranschaulicht die vorgegebene Systematik. Die Primitiven sind selbsterklärend und auch einige abgeleiteten Parameter sind leicht verständlich (z.B. Richtung (*direction*) oder Zeitdauer (*duration*)). Weitere Parameter bedürfen jedoch ein kurzen Beschreibung hinsichtlich ihrer Definition. Die Geschwindigkeit (*velocity*) beispielsweise ist die Änderungsrate der Position und Richtung über die Zeit. *Sinuosity* (Windungen) meint das Verhältnis zwischen aktueller Pfadlänge zur kürzesten Pfadlänge, liefert also einen Grad der Abweichung vom Zielpfad. Nun können eine Reihe von Bewegungsmustern hinsichtlich ihrer Bewegungsparameter beschrieben werden. Abbildung 2.3 zeigt einen Auszug von primitiven Mustern und den erforderlichen Eigenschaften, die es zu untersuchen gilt, wenn diese Muster identifiziert werden sollen. Eine Beschreibung dieser

Generic patterns		Primitive param.		Primary derivatives				Secondary derivatives		Applicable to		Dimension		
		Position	Instance	Distance $f(x,y)$	Direction $f(x,y)$	Speed $f(x,y,t)$	Duration	Curvature	Acceleration	Individual MPO	Multiple MPOs	Spatial (x)	Temporal (t)	Spatio-temporal (x,y,t)
rns	Co-location in space	x		x							x	x		
	Concentration	x		x					x	x	x			
	Concurrence	x	x	x	x	x	x	x	x					x
	Co-incidence in space & time	x	x	x							x			x

Abbildung 2.3: Systematik von Bewegungsmustern (Dodge et al., 2008) (gekürzt)

Form eignet sich auch für komplexere, zusammengesetzte Muster. Die vorgestellte Systematik bildet einen ersten Schritt zur Definition wiederverwendbarer Bewegungsmuster und spielt eine tragende Rolle bei der Analyse von Gruppenbewegungen. Schließlich wird von [Dodge et al. \(2008\)](#) die Erwartung formuliert, dass die vorgeschlagene Klassifikation durch andere Projektgruppen kritisch überprüft wird und letztendlich Verwendung findet, so dass in Zukunft schrittweise eine vollständige Systematik der Bewegungsmuster entstehen kann.

3 Eigene Vorarbeiten

Die Hypothese, welche dieser Arbeit zu Grunde liegt, behauptet, dass es möglich ist aus abgeleiteten Bewegungsparametern, wie beispielsweise der Geschwindigkeit oder der Dichte von Fußgängern, auf bestimmte Bewegungsmuster schließen zu können. Diese Bewegungsmuster haben im Kontext der Fußgängerströme in begrenztem Raum (*shared space*) eine besondere Relevanz hinsichtlich der eingangs erwähnten Faktoren: Wohlfühlfaktor, Sicherheit und individueller Bewegungsgeschwindigkeit (vgl. Kapitel 1). Eine klare Abgrenzung zu den Mustern der Systematik von [Dodge et al. \(2008\)](#) ist durch die Andersartigkeit der Parameter gegeben. So wird statt der Betrachtung eines jeden einzelnen Objektes mit jedem Anderen (mikroskopischer Ansatz) die Gesamtheit des Systems (innerhalb eines Bereichs) in Bezug auf ein Objekt untersucht (makroskopischen Ansatz, [Woggan \(2012\)](#)). Zunächst müssen verschiedene Parameter identifiziert und auf ihre Tauglichkeit hin überprüft werden. Die Betrachtung einzelner Parameter ist dabei jedoch höchstens für triviale Bewegungsmuster von Bedeutung. Es wird also vermutet, dass die Aussagekraft durch eine sinnvolle Kombination deutlich gesteigert werden kann. Es gilt mögliche Zusammenhänge zwischen den Parametern zu finden und minimale Schwellwerte zu ermitteln, bei denen das Bewegungsmuster sichtbar wird. Dies ist ein hochexperimenteller Ansatz und soll im ersten Schritt die Machbarkeit des Vorgehensmodells verifizieren. Die Einbeziehung andersartiger Bewegungskonzepte, wie ReMo ([Laube & Imfeld, 2002](#)) ist zu einem späteren Zeitpunkt denkbar und kann die Robustheit der Musteridentifikation weiter erhöhen. Für die Analyse eines komplexeren Szenarios wird eine breitere Bibliothek an Bewegungsmustern benötigt. Dazu muss dann noch eine kontextbezogene Schwellwertermittlung erfolgen. Eine solche Kalibrierung ist für komplexere Muster nur von einem Domainexperten zu leisten. Die dafür notwendige Arbeitsmethodik bewegt sich im Umfeld der visuellen Analytik. Somit ist ein interaktives System notwendig, welches abschließend vorgestellt wird.

3.1 Musterindikatoren

Bei der Analyse von Bewegungsmustern gilt es bestimmte Randbedingungen zu beachten, um die gefundenen Muster in einen sinnvollen Kontext setzen zu können. So spielen zeitliche und

räumliche Kohärenz eine Rolle aber auch die (statische) Umgebung hat maßgeblichen Einfluss auf die Bewegungsströme der Individuen. Zunächst wird versucht durch visuelle Beobachtung von Bewegungsströmen einfache Phänomene zu erkennen und zu beschreiben. Anschließend werden Kennzahlen bestimmt, die bei Überschreitung definierter Schwellwerte auf das Auftreten eines bestimmten Phänomens hinweisen. Diese Kennzahlen sollen allein aus den Trajektorien der Fußgänger gewonnen werden. Eine Beschränkung auf den 2-dimensionalen Raum sowie der Einsatz von MPOs und das einstweilige Arbeiten mit geringen Mustergrößen reduziert die Komplexität drastisch. Durch diese Einschränkung können Daten aus verschiedensten Quellen mit den selben Algorithmen untersucht werden, da die äußerlichen Randbedingungen vorerst ignoriert werden. Es gibt eine Vielzahl möglicher Kennzahlen, die als Indikatoren tauglich sein können. Die Aufgabe besteht darin durch experimentelles Vergleichen mit verschiedenen Szenarien verlässliche Schwellwerte zu ermitteln, die auf bestimmte Phänomene schließen lassen.

Die Ableitung der Position liefert die Geschwindigkeit und weiterhin deren Veränderung über die Zeit. So führt das Anstauen vor einer Engstelle zu einer Verminderung der Geschwindigkeit bei vielen MPOs in räumlicher Nähe. Weitere Faktoren beziehen andere Objekte mit ein. Die Dichte der Fußgänger bzw. das Dichtegefälle zwischen bestimmten Bereichen mag auf Grund des natürlichen Komfortabstands eines Menschen Hinweise über die Situation liefern. Ein weiterer Indikator kann das Abweichen eines Fußgängers von seinem kürzesten Pfad sein. Dazu wird die Wegstrecke des Individuums retro-perspektiv analysiert und mit dem kürzesten Pfad zwischen dem Start- und Zielpunkt verglichen.

3.2 Simulationen

Die Musteranalyse auf den Bewegungsdaten kann unabhängig von der Datenquelle erfolgen, sofern diese in der selben Form zur Verfügung gestellt werden. Es werden zunächst lediglich die Positionen der Objekte in fest vorgegebenen Zeitschritten benötigt. Die Analyse von aufgezeichneten Daten der Wirklichkeit muss letztendlich ausschlaggebend sein bei der Bewertung des Verfahrens. Jedoch ist es schwierig Situationen in verschiedenen Szenarien nachzustellen. Dafür eignen sich Simulationen deutlich besser, welche wiederum die Wirklichkeit nur annähern können. Schließlich soll der Ergebnisvergleich von Simulationen und Echtdaten Aufschluss über die Güte der Simulation geben.

Im Zuge der Vorarbeiten sind zwei Simulationswerkzeuge zum Einsatz gekommen. Zum einen wird ein makroskopisches Simulationswerkzeug namens PedSim eingesetzt, welches Gruppensimulationen im 2-dimensionalen Raum mittels des Social Forces Model umsetzt

(Gloor, 2012). Das Social Forces Modell ist ein Simulationsmodell für Fußgänger bei dem zwar jedes Objekt einzeln simuliert wird, diese jedoch über keine komplexen, inneren Zustände verfügen (im Vergleich zu Agenten). Die Bewegung der Objekte hängt von den anziehenden und abstoßenden Kräfte der Umgebung ab. Die Zielpunkte der Bewegungen ziehen die Fußgänger an. Abstoßende Kräfte werden durch statische Begrenzungen (Wände) oder beweglichen Hindernisse (Fußgänger) erzeugt (Helbing & Johansson, 2009). Bei der Auswertung von Simulationsläufen in PedSim sind bestimmte Phänomene erkennbar, die in der realen Welt wiederentdeckt werden können. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Spurbildung, welche durch unterbewusste Wegoptimierung bezüglich der kürzesten Wegdauer entsteht. Kulturelle Effekte wie das *Rechtshalten* sind beispielsweise an deutschen Hauptbahnhöfen zu beobachten. Weitere Phänomene sind, wie in Abbildung 3.1 veranschaulicht, beim Anstauen vor Engstellen zu beobachten. Schafft es eine Person die Engstelle zu passieren so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass direkt Personen folgen um den Vorteil auszunutzen. Nach einiger Zeit wird dieser Strom jedoch, aufgrund des Druckes der Gegenseite, abreißen. Nun werden Fußgänger in entgegengesetzter Richtung die Engstelle passieren (Helbing et al., 2001). Das Social Forces

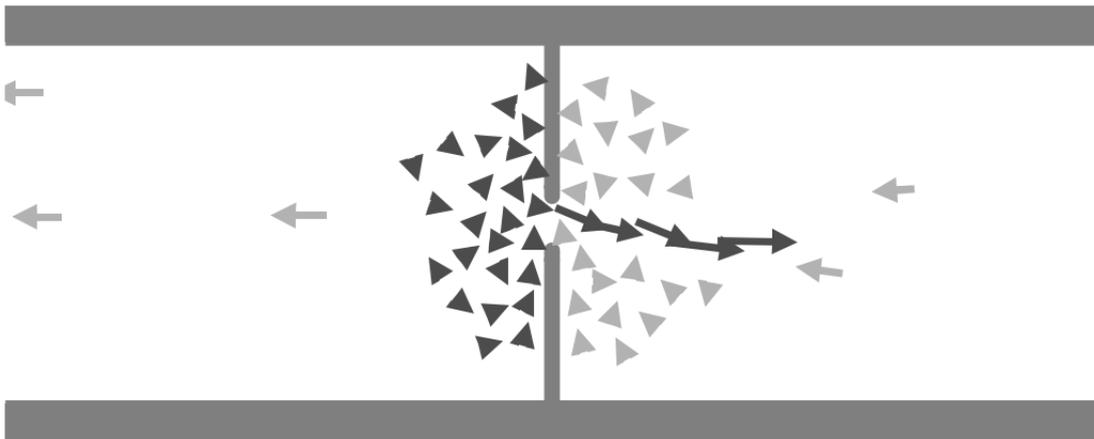


Abbildung 3.1: Durchlässigkeit bei Engpässen (Helbing et al., 2001)

Modell ist zwar nicht extensiv aber ermöglicht ein erstes Experimentieren mit Bewegungsmustern. Die einfache Konfiguration und Erweiterbarkeit des Programmcodes unterstützen diesen experimentellen Ansatz.

Als zweites Simulationswerkzeug kommt WALKSim zum Einsatz. Diese Simulationsumgebung der Arbeitsgruppe WALK beinhaltet eine Multi-Agenten-Simulation, dessen Umgebung über ein 3D-Geoinformationssystem konfiguriert werden kann. Dies betrifft die Startpunkte der Fußgänger und ihre Ziele (vornehmlich bezüglich der Zielorte) und das umgebende

Gelände mitsamt Gebäuden und weiterer Infrastruktur (Baldowski, 2011). Die Szenarien sollen auf lange Sicht Gefahrensituationen mit Panikverhalten untersuchen. Es können jedoch auch Fußgängerströme simuliert werden, die unter alltäglichen Bedingungen stattfinden. Die Entwicklung wird vom Projektteam vorangetrieben, wodurch die Möglichkeit der aktiven Einflussnahme durch das Analysewerkzeug gegeben ist. So ist beispielsweise die Steuerung des Simulationsfortschritts denkbar und auch eine direkte Visualisierung der Ergebnisse in der Simulation.

3.3 Visualisierungsmöglichkeiten

Damit die gefundenen Phänomene nachvollziehbar dargestellt werden können müssen die Indikatoren mit den Szenarien in einen Kontext gesetzt werden. Falls die Simulationsdurchläufe nicht-deterministisch sind, müssen diese aufgezeichnet und wie ein Videoband wieder abspielbar sein, da die Algorithmen mitunter rechenaufwändig sind und darüber hinaus auch möglicherweise auf Daten aus dem späteren Verlauf zugegriffen werden muss. Die Kombination von Simulationsbild und Grafiken der Mustererkennung ermöglichen anschließend eine zügige Verständlichkeit und erlauben es den Zusammenhang zwischen Bewegungsdaten und auftretenden Phänomen intuitiv zu erfassen. Verschiedene Ansätze der Darstellung müssen, vor allem hinsichtlich der Abhängigkeit von der Datenquelle, evaluiert werden. Zunächst kann natürlich ein Screenshot einen bestimmten Zeitpunkt festhalten in dem dann das Muster hervorgehoben wird. Sinnvoller ist jedoch die Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs. Eine Sequenz von wichtigen Zeitpunkten könnte zu einem Raumzeit-Volumen zusammengefasst werden. Diese Darstellungsform erlaubt es besonders gut, zeitliche und räumliche Informationen miteinander zu verbinden. Die Zeitdimension wird wie eine weitere Raumdimension behandelt wodurch der zeitliche Verlauf auf einen Blick erkennbar gemacht wird (Weiskopf et al., 2010). Die dritte Möglichkeit besteht in der Musterdarstellung innerhalb der Simulation. Dazu muss das Analysewerkzeug mittels eines Interfaces Einfluss auf das Simulationswerkzeug nehmen können. Eine Steuerung des Simulationsfortschritts so wie dem Einblenden von Indikatoren oder dem Hervorheben beteiligter Akteure am aktuellen Muster bieten die benötigten Möglichkeiten für die visuelle Analyse.

3.4 Framework

Um den Anforderungen der visuellen Analytik genügen zu können muss ein Analysewerkzeug erstellt werden, welches den bisher formulierten Anforderungen genügt: computergestützte,

algorithmische Informationsfilterung, Visualisierungspotentiale so wie explorative Rekonfiguration. Die Programmfunktionalitäten sollen sich dabei an den Richtlinien orientieren, die im Umfeld von Visual Analytics verbreitet sind (Heer & Shneiderman, 2012). So müssen vielfältige Möglichkeiten zur Datenmanipulation bereitgestellt werden, wie Filterung, Sortierung oder Ableitungsoptionen der Daten. Vor allem soll das Werkzeug möglichst verzögerungsfreies und effizientes Arbeiten ermöglichen, damit der Anwendungsexperte sich auf die wirkliche Analyse fokussieren kann respektive experimentell testen kann. Die konzeptionelle Struktur ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Simulation erzeugt Bewegungsdaten, welche nach einer

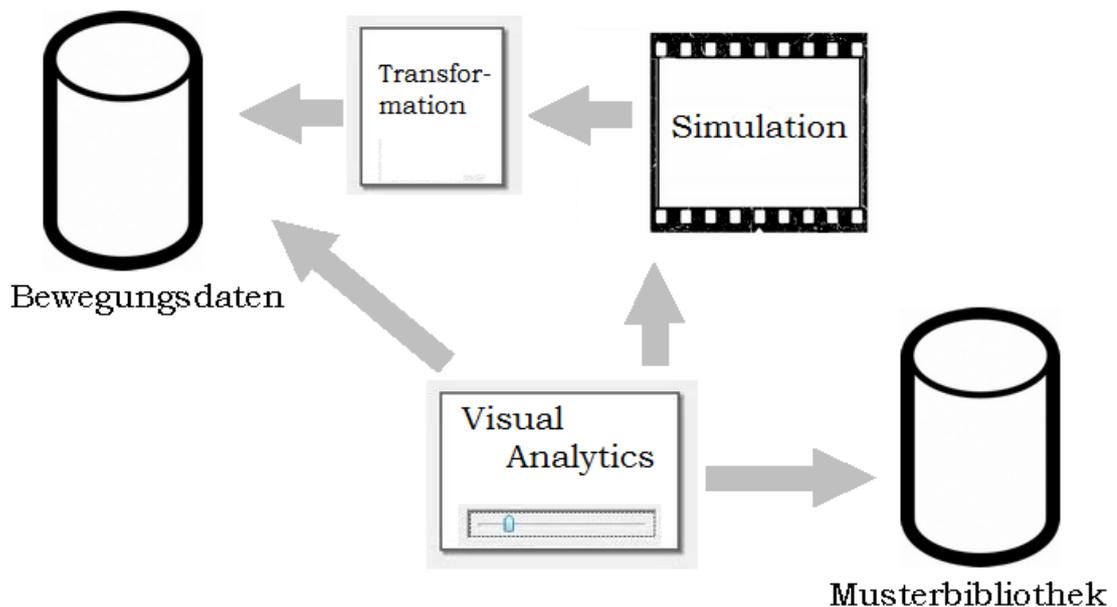


Abbildung 3.2: Komponenten des Analysewerkzeugs

Aufbereitung in eine Datenbank gespeichert werden. Das Visual Analytics Tool greift auf diese Bewegungsdaten zu in dem es mit den Algorithmen, welche in der Musterbibliothek beschrieben sind, auftretende Muster identifiziert. Sind die Schwellwerte der Muster für das gegebene Szenario nicht angemessen kalibriert, so können diese über das VA-Tool angepasst werden. Anschließend beginnt der Teilzyklus von neuem und die Bewegungsdaten werden erneut auf die Muster hin durchsucht. Werden Muster gefunden, so müssen diese im View der Simulation dargestellt werden. Das Identifizieren der Muster muss dabei ständig mit dem tatsächlichen Simulationsverlauf abgeglichen werden, so dass validiert werden kann, ob ein Muster dem Anwendungsverlauf wirklich entspricht.

4 Ausblick und Risiken

Im gegenwärtigen Projektverlauf kann der Analyseansatz für minder-komplexe Bewegungsmuster verifiziert werden. Dabei werden für wohldefinierte, kleine Szenarien die Schwellwerte verschiedener Indikatoren festgelegt um Muster zu erkennen. Die zu diesem Zweck entworfenen prototypischen Subprogramme untersuchen spezielle Zusammenhänge von bestimmten Parametern und Mustern. Sie sind dabei dem begrenzten Kontext des Simulationsszenarios unterworfen. Der konzeptionelle Entwurf des Analysewerkzeugs sieht einen generelleren Ansatz vor, welcher flexibler bezüglich Szenarien, Datenquellen und dem Musterrepertoire ist. Eine Musterbibliothek hält die Muster und deren szenariospezifischen Schwellwerte vor. Diese kann durch neue Muster und weitere Indikatoren ergänzt werden. Lediglich die Rückkopplung zur Simulation hängt von dem Simulationswerkzeug ab. Eine Rückkopplungskomponente über eine Schnittstelle wird für WALKSim umgesetzt. Für die Evaluierung von Echtdateien ist möglicherweise eine Komponente zur Erzeugung von Raumzeit-Volumina sinnvoll.

Die Analyseumgebung kann nun als vielfältige Experimentierplattform für unterschiedliche Szenarien dienen. So können einfache Begebenheiten nachgestellt werden, wie beispielsweise das Verlassen eines Raums durch eine Schulklasse. Die Muster können bezüglich ihrer Robustheit durch die Schwellwerte präzisiert werden. Für komplexere Szenarien, welche mehrere Situationen über einen längeren Zeitraum vereinen, können nun die gleichen Muster identifiziert werden und diese auf ihre *Alltagstauglichkeit* hin überprüft werden.

Jedoch gilt es zu untersuchen, ob unter bestimmten Umständen wie Stress oder so gar Panik, die bisherigen Musterbeschreibungen noch zuverlässig funktionieren. Vor allem im Hinblick auf Evakuierungssimulationen, welches den Schwerpunkt von WALK bilden, spielen solche Überlegungen eine Rolle.

Ein weiteres Risiko ist in der Unzulänglichkeit von Simulationen verankert. Diese sind immer nur ein Modell der Wirklichkeit und somit bergen sie bereits durch ihre Konzeption eine Ungenauigkeit. Verlässliche Aussagen lassen sich somit nur durch die Analyse und den Vergleich von Echtdateien treffen. Diese sind wiederum deutlich schwieriger hinsichtlich bestimmter Szenarien nachzustellen bzw. zu dokumentieren. So müssen die Positionen der einzelnen Fußgänger über die Zeit getrackt werden und ein Modell der äußeren Umgebung nachmodelliert werden.

Möglichkeiten sind aber durch den Einsatz von Smartphones zur Positionsbestimmung und der Infrastruktur des HAW-Campus am Berliner Tor gegeben (z.B. im LivingPlace der [HAW Hamburg \(2013\)](#)). Nun gibt es noch keine ausreichenden Untersuchungen hinsichtlich der Performanz. Diese muss für die visuelle Analyse ausreichend schnell sein (vgl. Kapitel 3.4). Der Rechenaufwand hängt dabei sowohl von der Größe der Umgebung, der beteiligten Fußgänger (Mustergröße) so wie den Analysealgorithmen ab. Eine Diskretisierung der Umgebung in Teilabschnitte so wie der makroskopische Analyseansatz wirken sich dabei positiv aus, jedoch bleibt die Geschwindigkeit der Analyse ein kritischer Faktor. Abschließend besteht die Möglichkeit, dass das gewählte Analysekonzept nicht präzise und robust genug für einen Großteil der interessanten Muster ist ([Dodge et al., 2008](#)). Für diesen Fall müssen zwingend verwandten Analysekonzepte, wie der ReMo-Ansatz, in den Prozess integriert werden. Dann muss jedoch eine exaktere Abgrenzung zu den verwandten Arbeiten formuliert werden.

Abbildungsverzeichnis

2.1	ReMo-Analysematrix (Laube & Imfeld, 2002)	5
2.2	Klassifikation von Bewegungseigenschaften (Dodge et al., 2008)	6
2.3	Systematik von Bewegungsmustern (Dodge et al., 2008) (gekürzt)	6
3.1	Durchlässigkeit bei Engpässen (Helbing et al., 2001)	10
3.2	Komponenten des Analysewerkzeugs	12

Literaturverzeichnis

- [Baldowski 2011] BALDOWSKI, Mariusz: *Entwicklung eines 3D-Geoinformationssystem für Gefahrensituationen im In- und Outdoorbereich im Rahmen von WALK*. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2011-aw2/baldowski/bericht.pdf>. Version: Juli 2011
- [Dodge et al. 2008] DODGE, Somayeh ; WEIBEL, Robert ; LAUTENSCHÜTZ, Anna-Katharina: Towards a taxonomy of movement patterns. In: *Information Visualization* 7 (2008), Juni, Nr. 3, 240–252. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.ivs.9500182>. – DOI 10.1057/palgrave.ivs.9500182. – ISSN 1473–8716
- [Fraunhofer-Institut IAIS 2013] FRAUNHOFER-INSTITUT IAIS: *Visual Analytics*. <http://www.iais.fraunhofer.de/4801.html>. Version: 2013
- [Gloor 2012] GLOOR, Christian: *PedSim – A Pedestrian Crowd Simulation*. <http://pedsim.silmaril.org>. Version: 2012
- [HAW Hamburg 2013] HAW HAMBURG: *living place hamburg*. <http://livingplace.informatik.haw-hamburg.de/blog/>. Version: 2013
- [Heer & Shneiderman 2012] HEER, Jeffrey ; SHNEIDERMAN, Ben: Interactive dynamics for visual analysis. In: *Commun. ACM* 55 (2012), April, Nr. 4, 45–54. <http://dx.doi.org/10.1145/2133806.2133821>. – DOI 10.1145/2133806.2133821. – ISSN 0001–0782
- [Helbing & Johansson 2009] HELBING, D. ; JOHANSSON, A.: Pedestrian, Crowd and Evacuation Dynamics. 16 (2009), 6476–6496. https://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/100727_Massenpanik_Helbing_sch/Pedestrian_Crowd_and_Evacuation_Dynamics_Helbing.pdf
- [Helbing et al. 2001] HELBING, D. ; MOLNAR, P. ; FARKAS, I. J. ; BOLAY, K.: Self-organizing pedestrian movement. In: *Environment and Planning B: Planning and Design* 28 (2001), 361–383. <http://dx.doi.org/10.1068/b2697>. – DOI 10.1068/b2697

- [Laube & Imfeld 2002] LAUBE, Patrick ; IMFELD, Stephan: Analyzing Relative Motion within Groups of Trackable Moving Point Objects. In: *Proceedings of the Second International Conference on Geographic Information Science*. London, UK, UK : Springer-Verlag, 2002 (GIScience '02). – ISBN 3-540-44253-7, 132-144
- [Ocker 2012] OCKER, Florian: *Visuelle Analyse von spatio-temporalen Systemen*. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master11-12-aw1/ocker/bericht.pdf>. Version: Februar 2012
- [Weiskopf et al. 2010] WEISKOPF, D. ; ANDRIENKO, G. ; ANDRIENKO, N. ; BAK, P.: *Visuelle Bewegungsanalyse in Video- und Geodaten*. Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland : Springer Berlin / Heidelberg, 2010, 580-588
- [Woggan 2012] WOGGAN, Torben: *Mustererkennung in Bewegungsdaten*. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/woggan/bericht.pdf>. Version: Juli 2012