

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Anwendung 1

WiSe 2011/12

Florian J. Ocker

Visuelle Analyse von spatio-temporalen Systemen

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	3
2	Analyse.....	4
2.1	Visuelle Bewegungsanalyse	4
2.1.1	Trajektorien.....	5
2.1.2	Strukturierung von Informationen	5
2.2	Visualisierung	7
2.3	Diagrammnotationen.....	8
3	Forschungsaspekte und Risiken.....	10
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	12
5	Quellenverzeichnis.....	13
6	Abbildungsverzeichnis	15

1 Einführung

Im Zeitalter der Informationstechnologie steigt die Verbreitung von Sensoren zur Bewegungsaufzeichnung rasant. Dazu zählen sowohl Überwachungskameras im öffentlichen Bereich, die eine indirekte Positionsbestimmung von beweglichen Objekten ermöglicht, als auch Systeme zur direkten Positionsbestimmung, die beispielweise durch Mobilfunkgeräte mit GPS (Global Positioning System) oder Autos mit Navigationsgeräten gegeben sind (Laube, 2010). Gründe für die Verbreitung sind sinkenden Kosten und die Miniaturisierung der Sensoren. Zudem sind diese Sensoren häufig durch Telekommunikationsnetze verbunden, was die Weitergabe und Sammlung der Daten vereinfacht (Weiskopf, et al., 2010).

Die große Menge von Bewegungsdaten führen jedoch zu dem Wunsch nach effizienten Auswertungsmethoden. Dabei spielt die Analyse von Bewegungen und deren Muster in vielfältigen Anwendungsgebieten eine wichtige Rolle. Ein charakteristisches Beispiel ist die Analyse des Straßenverkehrs. Dort gewonnene Erkenntnisse können sowohl für die langfristige Verkehrsplanung genutzt werden, als auch kurzfristig zur Stauprognose herangezogen werden (Weiskopf, et al., 2010). Ein ähnliches Einsatzgebiet bildet die Überwachung von Fußgängerströmen, welches z.B. in Fußgängerzonen auf ein kommerzielles Interesse des Einzelhandels stoßen könnte. Die Betrachtung von Fußgängern in kritischer Anzahl auf begrenztem Raum oder in andersartig gefährlichen Situationen beinhaltet so gar eine sicherheitskritische Komponente. Für Menschen, die sich in einer solchen Lage befinden, kann es um „Leib und Leben“ gehen.

Solche Phänomene traten in der Vergangenheit durch Massenpaniken bei Großereignissen wie z.B. auf der Love Parade 2010 in Duisburg auf. Solche Massenpaniken enden häufig in Katastrophen, die viele Tote und noch viel mehr Verletzte fordern (Staatsanwaltschaft Duisburg, 2010). Sowohl bei der Planung solcher Ereignisse, als auch für die Einsatzleitung der Sicherheitskräfte, sind Informationen, die bestimmte Gefahrenpotentiale andeuten, extrem wichtig. Möglicherweise liefert die Analyse solcher Ereignisse wichtige Erkenntnisse, welche Chancen zur gezielteren Gefahrenabwehr bieten können.

Das Forschungsprojekt WALK der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg untersucht das angesprochene Phänomen der Massenpaniken. Dabei werden Menschenmengen durch ein Multi-Agenten-System simuliert, um z.B. oben genannte Unglücksszenarien nachzubilden (Thiel-Clemen, et al., 2011). Die Fußgänger werden dabei durch Agenten dargestellt, deren Verhalten durch beliebig komplexe innere Zustände hervorgerufen werden. Für die Simulation ist letztendlich jedoch das nach Außen gezeigte Verhalten in Form von Aktionen oder im Speziellen von Bewegungen relevant. Die Analyse der Bewegungsströme der Agenten lässt eine qualitative Bewertung des Simulationsmodells zu.

Das zentrale Ziel der Simulation besteht darin, das komplexe Verhalten von Menschenmengen, möglichst realistische abzubilden. Um diese Realitätsnähe validieren zu können, müssen die Simulationen mit Aufzeichnungen der Wirklichkeit verglichen werden. Das Identifizieren ähnlicher Bewegungsmuster in Realität und Simulation ist ein wichtiger Schritt dorthin (Sargent, 2005). Darüber hinaus kann der Einsatz solcher temporaler Muster möglicherweise zur Früherkennung von Gefahrenpotentialen genutzt werden oder zum Training von Einsatzplanungsverantwortlichen herangezogen werden.

2 Analyse

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Anforderungen an die visuelle Analyse vorgestellt, die notwendig sind, um gewinnbringende Informationen extrahieren zu können. Die Bewegungsinformationen müssen zuerst aufbereitet werden, damit Analysetechniken darauf anwendbar sind. Dazu werden so genannte Trajektorien erstellt, welche die Bewegung von Objekten im Raum-Zeit-Volumen beschreiben. Anschließend können je nach Anwendungsgebiet die Ergebnisse visualisiert werden.

Bei der Analyse von Menschenmassen werden vornehmlich Bewegungsmuster gesucht, die charakteristisches Verhalten von Individuen, aber auch Gruppenverhalten, beschreiben. Dabei müssen unterschiedliche Typen von Gruppen unterschieden werden, die abhängig von ihrem Bindungsgrad in Stresssituationen unterschiedlich stark miteinander interagieren. Die Beschreibung solchen Verhaltens kann durch Diagrammnotationen beschrieben werden. Diese sind durch ihre formale Beschreibung zur automatischen Analyse der Bewegungsdaten geeignet. Somit können beschriebene Verhaltensmuster in den Bewegungen wiedergefunden werden.

2.1 Visuelle Bewegungsanalyse

Bewegungsdaten weisen ebenso wie andere Arten von Raum-Zeit-Informationen eine komplexe Struktur auf, da ihre Dimensionen (zwei bis drei Raumdimension plus die Zeitdimension) voneinander abhängen. Die Repräsentation von raumzeitlichen Informationen erfordern daher spezielle topologische und geometrische Bezugssysteme. Diese bestimmen wiederum, welche geographischen Attribute gemessen und welche Muster daraus abgeleitet werden können (Laube, 2010). Deshalb ist eine vollständig automatisierte Analyse nur selten möglich. Zudem

werden unterschiedliche Formen von Bewegungsdaten gesammelt, da verschiedenartige Sensoren ausgewertet werden. Dies erfordert für den jeweiligen Bedarf angepasste Aufbereitungstechniken. Die Aufzeichnungen durch direkte Positionsbestimmung bestehen häufig aus Zeitstempeln und Koordinatenangaben, welche jedoch noch durch weitere Informationen angereichert sein können.

Auch bei der Analyse von Videodaten, also der indirekten Positionsbestimmung, liegt das Hauptaugenmerk auf den Bewegungen von Objekten innerhalb des Videos. Diese Daten bestehen aber typischerweise nur aus einem Strom von Bildern, also im Grunde als große Pixelsammlungen. Es fehlen sowohl die Identifizierung von Personen und Objekten als auch die von ihnen erzeugte Bewegung. Diese Informationen müssen also zunächst aus dem Rohvideomaterial extrahiert werden (Weiskopf, et al., 2010). Dazu können unterschiedliche Bilderkennungsverfahren zum Einsatz kommen, die wiederum eine eigene Teildisziplin der Informatik stellen. Die Aufbereitungsmethoden werden im Verlauf dieser Arbeit nicht weitergehend thematisiert, ihre Notwendigkeit innerhalb des gesamten Analyseverfahrens wurde jedoch angedeutet.

2.1.1 Trajektorien

Die Bewegungsdaten werden zur effizienten Verarbeitung in einer bestimmten Form benötigt. Dazu wird angenommen, dass Objekte voneinander unterscheidbar sind und sich somit getrennt verfolgen lassen. Die von den Objekten zurückgelegte Strecke bildet eine Kurve durch Raum und Zeit, die man Trajektorie¹ nennt. Als Vereinfachung werden die Objekte häufig als punktförmig angenommen; eine räumlich begrenzte Ausdehnung kann aber als zusätzliches Datenattribut definiert werden.

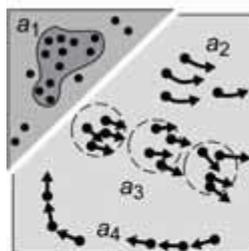
2.1.2 Strukturierung von Informationen

Die Extraktion der Trajektorien ist, wie gezeigt, abhängig von den zu Grunde liegenden Rohdaten. Nun können diese jedoch meist noch nicht visualisiert oder sinnvoll analysiert werden. Die Masse der Trajektorien, ihr Verhältnis zueinander und der Kontext in dem sie eingebettet sind, erfordert eine weitere Aufbereitung im Analyseprozess. Hierbei kommen häufig Methoden wie das Data Mining zum Einsatz (Laube, 2010). Es werden ähnliche Trajektorien zu Gruppe zusammengefasst, um eine aggregierte, hierarchische Sicht auf die Bewegungsmuster zu gewinnen. Weiterhin können Trajektorien abhängig von ihrer

¹ Bahnkurve

Relevanz gefiltert werden. Dies dient zum Einen der Skalierbarkeit von Systemen mit vielen Objekten, zum Anderen aber auch der Fokussierung interessanter Phänomene innerhalb des Gesamtsystems. An diesem Punkt endet häufig die Nutzbarkeit statistischer Verfahren, welche auf der Grundannahme der Unabhängigkeit von (räumlichen) Stichproben beruht. Bestimmte Verfahren untersuchen jedoch eben diejenigen Datenpunkte, die von den anderen Abweichen, beziehungsweise andere Eigenschaften als ihre Nachbarn aufweisen (Laube, 2010).

Bei der Beobachtung von Bewegungen müssen Aufgaben für die drei folgenden Situationen unterschieden werden. Bei den Bewegungen eines einzelnen Objektes ist die Analyse des Objektverhaltens bezüglich des Ortes, der Zeit und der Verweildauer an einzelnen Orten von primärer Bedeutung. Weiterhin können Abweichungen und Ursachen von bestimmten Zielorten untersucht werden, sofern diese bekannt sind. Sobald weitere unabhängige Objekte dazukommen, spielen die Untersuchungen der Platznutzung, Zugänglichkeit zu bestimmten Gebieten und Hauptverkehrsflüsse, als Indikatoren typischer Routen, eine Rolle. Darüber hinaus können Muster innerhalb von Kollektivbewegungen untersucht werden, wie Konzentration und Dispersion, Konvergenz und Divergenz so wie die Verbreitung von Bewegungsmerkmalen. Schließlich können Objekte noch in Abhängigkeit zueinander stehen, was sie zwangsläufig tun, wenn sie denselben Raum benutzen. Dann ist die Untersuchung relativer Bewegungsmuster, wie sich nähernde, antreffende, folgende oder ausweichende Objekte, relevant (Weiskopf, et al., 2010). Die identifizierten Bewegungsmuster von Objektgruppen beschreiben kollektives Verhalten und können so auf mögliche Beziehungen zwischen Objekten hindeuten (Laube, 2010).



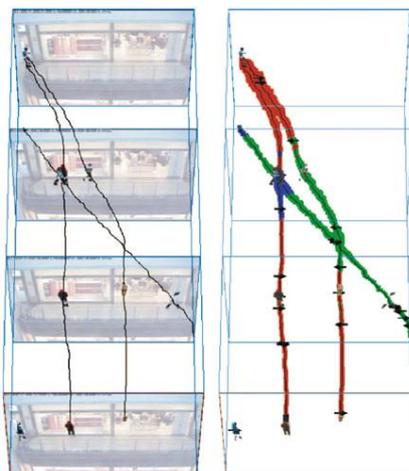
2-1 Bewegungsräume und -muster: Freier Raum mit home range(a1), Anführer(a2), Herde(a3) und Gänsemarsch(a4) (Laube, 2010)

Um einen Einblick in die verschiedenen Formen der Bewegungsmuster zu gelangen, werden in Abbildung 2-1 exemplarisch Bewegungsmuster dargestellt. Beim Muster *Gänsemarsch*, folgen die Objekte einander in einer Reihe. Eine *Herde* ist dann gegeben, wenn Objekte sich für eine bestimmte Zeitdauer zusammen bewegen. Das Muster *Anführer* beschreibt die Verfolgung eines Objektes durch mehrere Andere.

2.2 Visualisierung

Eine häufige Analysemethode von Videoinformationen ist die Beobachtung von Überwachungsvideos im Schnelldurchlauf. Dieses Verfahren ist jedoch sehr ineffizient, da rein visuelle Analysemethoden für große Datenmengen nur unzureichend skalieren. Dies ist bedingt durch die Auflösung und Verarbeitungsgeschwindigkeit des menschlichen Auges (Weiskopf, et al., 2010). Insbesondere die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist also durch das visuelle Wahrnehmungssystem begrenzt. Es ist also eine Aufbereitung der Informationen notwendig, welche die Rohdaten auf potentiell wesentliche Bestandteile ausdünn und diese in einer geeigneten Form darstellt.

Die problembezogene Visualisierung hilft beim Verständnis komplexer Datenmengen, ihrer Strukturen und den in ihnen zu analysierenden Abläufen (Harel, 1988). Die Datenanalyse hängt häufig stark vom Raum-Zeit-Verständnis des Nutzers ab sowie von dessen impliziten Wissen über die zugehörigen Eigenschaften und Verknüpfungen der spatio-temporalen Daten. Aus diesem Grund werden die Trajektorienkurven häufig in einen räumlichen Bezug eingebettet. So werden beispielweise die Kurven über die korrespondierende geographische Karte gelegt oder das Videobild als Hintergrund hinterlegt.



2-2 Personentrajektorien in einem Raumzeit-Volumen im Bezug zu zeitlich korrespondierenden Hintergrundbildern (Botchen, et al., 2008)

Die Verbindung von zeitlichen mit räumlichen Informationen ist besonders gut durch so genannte *Raumzeit-Volumen* visualisierbar, in denen die Zeitdimension wie eine weitere Raumdimension behandelt wird. Da geografische Karten und technisch gesehen auch traditionelle Videobilder nur aus zwei Dimensionen bestehen, haben solche Raumzeit-Volumen drei Dimensionen. Abbildung 2-2 zeigt die Möglichkeit einer solchen Darstellung. Auf der linken Bildhälfte wird der

räumliche Bezug, durch das Videobild zum jeweiligen Zeitpunkt, dargestellt. Die Relation der Trajektorien zueinander wird rechts durch ihre Farbdarstellung verdeutlicht.

Der Einsatz von raumzeitlichen Repräsentationen hat den Vorteil, dass auch längere Videosequenzen auf einen Blick ausgewertet werden können, ohne das Video abspielen und betrachten zu müssen. Die zunächst ungewöhnliche Darstellung kann jedoch von Nutzern nach einer kurzen Lernphase verstanden und zügig interpretiert werden (Chen, et al., 2006).

Die kontextbezogene Visualisierung der Trajektorien kann in vielen Anwendungsbereichen der Schlüssel zur Erkenntnis sein, jedoch werden im Folgenden andere Darstellungsansätze aufgezeigt, welche noch formaler auf die auftretenden Muster eingehen.

2.3 Diagrammnotationen

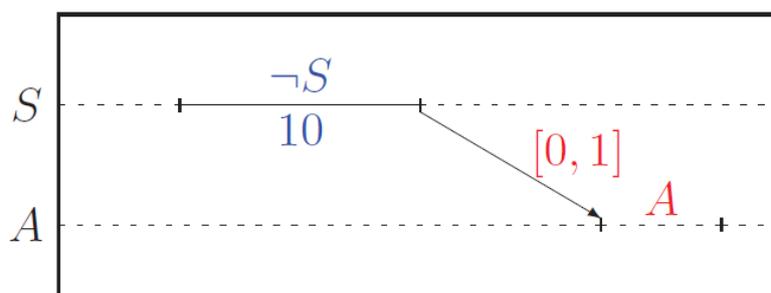
Wie bereits erwähnt, hilft Visualisierung beim Verständnis komplexer Datenstrukturen. Der Wunsch die visualisierten Phänomene weiter zu verarbeiten oder in anderen Kontexten wieder zu erkennen erfordert die Darstellung in Diagrammform. Solche Diagramme können mit einer wohldefinierten Semantik unterlegt werden, die es erlaubt, Aussagen über das Verhalten einzelnen Komponenten zu treffen. Zudem lassen sich bestimmte Diagrammtypen durch formale Logik repräsentieren. Dies ermöglicht die automatisierte Analyse der Bewegungsdaten hinsichtlich der Übereinstimmung mit den in den Diagrammen spezifizierten Aussagen. Durch den Vorgang des so genannten *Pattern Matching* können dann auftretende Muster im Simulationsverlauf identifiziert werden (Dierks, et al., 1997).

Die Spezifikation solcher Muster kann auf unterschiedliche Weise erstellt werden, sei es durch die visuelle Identifikation und anschließender deskriptiver Beschreibung oder durch den systematischen Vergleich aller (relevanten) Bewegungsabläufe. Es ist in jedem Falle sinnvoll bei diesem Vorgang einen Anwendungsexperten einzubeziehen, da nur mit dessen Hilfe entschieden werden kann, welche Muster, Regeln und Beziehungen im Szenario die Anforderungskriterien erfüllen (Laube, 2010).

Diagrammnotationen sind meist aus dem Grund entwickelt worden, um die Kommunikation zwischen Anwendungsexperten und Informatikern zu verbessern. Diese Form der graphisch-deskriptiven Modelle machen temporal-logische Aussagen leicht verständlich. Durch ihren Einsatz kann ein definierter Kontext

informell wiedergegeben werden, der anschließend als Diskussionsgrundlage mit den Experten dienen kann. Die weite Verbreitung solcher Diagrammnotationen zeigt, dass sie von den Anwendern als Mittel zur Spezifikation sehr akzeptiert sind. Daher ist es ein logischer Schritt, solche Diagrammnotationen auch für spatio-temporale Systeme zu entwickeln.

Die Möglichkeit, schnell Erkenntnisse aus realzeitlichen Daten zu gewinnen, birgt großes Potential bei der Früherkennung von Gefahrensituation und der damit verbundenen Gefahrenvermeidung oder -abwehr. Ein Realzeitsystem ist ein reaktives System, das für gewisse Eingaben die zugehörigen Ausgaben innerhalb vorgegebener Zeitintervalle liefern muss. C. Kleuker (2000) hat in seiner Dissertation die so genannten *Constraint Diagrams* als eine visuelle Spezifikationsprache für solche Realzeitanforderungen eingeführt und untersucht. Die Anforderungen werden im Assumption/Commitment-Stil spezifiziert, d.h. ein Teil eines Constraint Diagrams stellt Annahmen (Assumptions) dar, ein anderer Teil Zusicherungen (Commitments), die unter den Annahmen gelten müssen, damit das Constraint Diagramm insgesamt erfüllt ist. Die (deklarative) Semantik dieser Diagramme ist durch eine Übersetzung in den *Duration Calculus* (CD) definiert. Somit können die Diagramme in Interval-Logik übersetzt werden, welche eine besondere Form temporaler Logik bilden, welche auf Vorher-Nachher-Beziehungen zwischen Zeitpunkten basiert. Interval-Logik vereint aussagenlogische Eigenschaften mit denen der Prädikatenlogik. Somit können sowohl sequentielle als auch parallele Kompositionen als endliche Folge von Sequenzen behandelt werden. Im Folgenden soll ein Constraint Diagramm exemplarische vorgestellt werden.



2-3 Spezifikation eines Watchdogs als Constraint Diagram (Dierks, et al., 1997)

Abbildung 2-3 spezifiziert das Verhalten eines speziellen Watchdogs (WDC, Watchdog Counter). Damit ist eine Komponente in einem System gemeint, welche die Funktion anderer Komponenten überwacht. Werden dabei mögliche Fehlfunktionen erkannt, so werden diese entweder signalisiert oder das Problem durch eine geeignete Sprunganweisung bereinigt.

Das vorliegende Beispiel beschreibt einen Watchdog, wie er in Lokomotiven, zur Sicherstellung der Aufmerksamkeit des Zugführers, vorkommt. Die Aussage kann wie folgt beschrieben werden: Wann immer das Signal S nicht für 10 Sekunden

gehalten wird, so wird ein Alarm innerhalb von 1 Sekunde ausgelöst. Die Aussage ist aus dem Diagramm intuitiv erkennbar und doch ist sie ausreichend genau beschrieben, so dass dieses Diagramm in den DC überführt werden kann, um eine automatisierte Analyse des Systems durchführen zu können.

Dies wird mit speziellen Analysewerkzeugen, den so genannten Model-Checker, und ihren anwendungsspezifischen Erweiterungen durchgeführt (Dierks, et al., 2007). Model Checking ist ein Verfahren zur vollautomatischen Verifikation einer Systembeschreibung gegen eine Spezifikation, also durch ein Modell gegen eine Formel. Als vollautomatisches Verfahren bedarf es keine Benutzerinteraktion. Jedoch ist die Anbindung formaler Beschreibungsnotationen an die unterschiedlichen Werkzeuge notwendig. Zu diesen Werkzeugen gehören insbesondere die Model-Checker UPPAAL für Realzeitsystem, UPPAAL/CORA für Planungsaufgaben und PHAVer für hybride Systeme (Rethmeier, 2006). Das Hauptproblem bei diesen Aufgaben ist es, die jeweilige formale Beschreibungssprache so in die Eingabesprache des Model-Checkers zu transformieren, dass die Semantik erhalten bleibt und die Laufzeiten des Model-Checkings optimiert werden. Das ist in vielen Fällen aber nicht ausreichend, weil die Komplexität des jeweiligen Problems trotzdem noch zu groß ist. Dann sind Abstraktionstechniken und Heuristiken gefragt, um die Komplexität zu verringern bzw. die Suche der Tools zielgerichteter ablaufen zu lassen (Dierks, 2006).

3 Forschungsaspekte und Risiken

Diese Ausarbeitung im Rahmen des Moduls Anwendung 1 soll einen Überblick über das aktuelle Anwendungsgebiet geben und die Komplexität der Aufgabenstellungen innerhalb des Anwendungsgebiets herausstellen. Der vorgestellte Bereich der visuellen Analytik umfasst viele unterschiedliche Disziplinen der Informatik, welche teilweise modularisiert voneinander betrachtet werden können, häufig aber unmittelbar zusammenwirken müssen, um ein gewinnbringendes Ergebnis zu erzielen. Während des Masterstudiums und der finalen Masterarbeit kann jedoch nur in einem kleinen Teilbereich geforscht werden. Deshalb wird ein klarer Anwendungsbezug gezogen und das Thema durch eine Fragestellung weitergehend präzisiert.

Das WALK Projekt soll den Kontext der folgenden Arbeiten bilden. Dabei wird das Ziel formuliert, bestimmte Phänomene der Simulationen durch geeignete Analysetechniken validieren zu können. Dabei sollen Techniken entwickelt werden, die ebenfalls für die Analyse realer Situationen eingesetzt werden können, sofern für diese vergleichbare Bewegungsdaten z.B. als Trajektorien vorliegen. Die

Transformationsschritte zu diesen Ausgangsdaten sollen (außerhalb des WALK Frameworks) jedoch nicht Teil der Zielsetzung sein; eine Visualisierung der Ergebnisse nur dahingehend, dass durch Diagrammnotationen bestimmte Bewegungsmuster beschrieben werden können.

Die Arbeiten sollen damit begonnen werden, verwertbare Daten zu identifizieren. Dabei werden die Positionsdaten der Agenten in der WALK Plattform benutzt, um sie zu Bewegungsinformationen zu aggregieren. Es kann dabei entscheidend auf die Güte und Art der gesammelten Informationen eingewirkt werden. Anschließend müssen Diagramme erzeugt werden, die bestimmte (zuerst einfache) spatio-temporale Muster beschreiben. Dazu soll die Diagrammnotation der Constraint Diagramms genutzt werden, da es schon ausreichend Erfahrung mit dieser Technik im WALK Team gibt. Auf dieser Basis können erste Analysen des Frameworks durchgeführt werden.

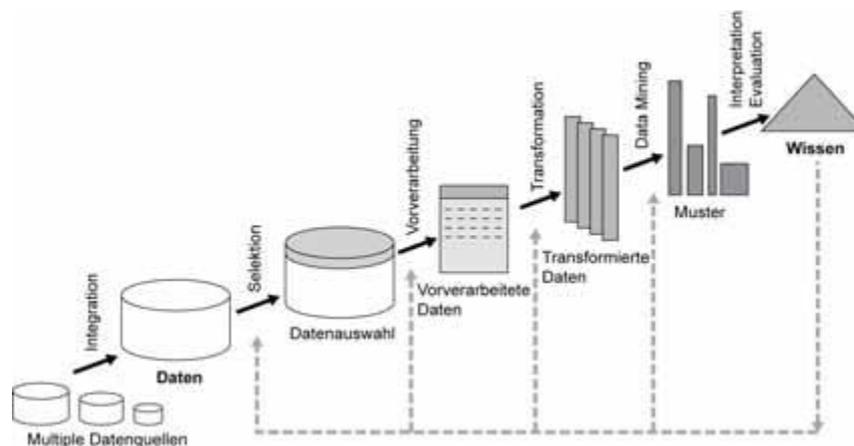
Im Laufe des Masterstudiums sollen die Analysen in einen Anwendungsbezug in Form von einem bestimmten Szenario gesetzt werden. Somit kann eine klarere Zielstellung formuliert werden, anhand dessen die Analysetechniken weiterentwickelt werden. In WALK gibt es verschiedene, szenariengetriebene Untersuchungen an denen die Analysearbeit angebunden werden kann.

Es gibt jedoch auch kritische Parameter, die es zu berücksichtigen gilt. So liegt der Schwerpunkt von WALK auf Massenpaniken, also mit dem Ziel, viele Agenten zu simulieren. Fragen bezüglich der Effizienz der Analysemethoden sind zu stellen und zu berücksichtigen. Dies gilt auch für den Fall, dass die spezifizierten Bewegungsmuster an Komplexität zu gewinnen. Auch hier müssen die Fragen der Effizienz behandelt werden, vor allem wenn Informationen zur Laufzeit generiert werden sollen. Diesen Problemen wird durch eine sanfte, sukzessive Steigerung der Anforderungen begegnet. Dennoch sollten Techniken schon frühzeitig auf ihre Performanz hin kritisch beleuchtet werden. Eine weitere Gefahr besteht in der möglichen Unzulänglichkeit des aktuellen WALK Systems. Sollte das Verhalten der derzeitigen Agenten sich nicht ausreichend der Wirklichkeit annähern, so ist eine Validierung des Systems nicht möglich. Dann muss das Bewegungsverhalten aus echten Daten gewonnen werden, wozu die Aufbereitung von Sensoren von Nöten ist. Hierbei wird auf die Arbeit von T. Woggan (2012) verwiesen, welcher an der indirekten Positionserkennung von Personen forscht. Sehr viel effizienter wäre der Zugriff auf Daten aus direkter Positionserkennung. Dazu wird im folgenden Semester eine Evakuierung an Schulen durch das Projektteam begleitet, welche die Möglichkeit bietet, qualitative und durch die Wiederholung an anderen Schulen auch quantitative Daten zu sammeln. Als Chance wird die Einflussnahme auf die Datenerfassung verstanden, welche durch die Analyseanforderungen getrieben werden kann. Die Verfügbarkeit von sinnvoll analysierbaren Bewegungsdaten bleibt jedoch weiterhin ein kritischer Faktor.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde die Relevanz der visuellen Analyse im spatio-temporalen Umfeld herausgestellt. Diese ist im Allgemeinen bedingt durch die enorm wachsende und verfügbare Flut von Bewegungsdaten und einer Vielzahl von Anwendungsgebieten. Im Speziellen hat dieser Bereich auch auf das Projekt WALK einen signifikanten Einfluss. Die Validierung des Simulationsmodells kann ebenso vorangetrieben werden, wie auch die Erkenntnisgewinnung aus den Simulationsverläufen.

Die Zielsetzung bei der Analyse spatio-temporaler Phänomene ist letztendlich die Gewinnung von Wissen aus großen Datenbeständen. Dieses Vorgehen wird meist im Kontext des Data Mining angewandt. Die visuelle Analyse geht jedoch noch in einigen Punkten darüber hinaus, da die Informationen häufig nicht voll automatisch analysiert werden können. Deshalb ist eine nutzergesteuerte Interaktion mit dem System erforderlich.



4-1 Knowledge Discovery in Databases, KDD (Laube, 2010)

Zusammenfassend lässt sich das Vorgehen jedoch mit dem Prozess des *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) vergleichen (Abb. 4-1), welche den Inhalt von großen Datenbanken zu Informationen und letztendlich nützlichem Wissen destillieren soll (Hand, et al., 2001). KDD schließt im weiteren Sinne die Datenvorbereitung, wie Auswahl, Integration, Normalisierung und Filterung ein, als auch die Nachverarbeitung. Zum letztgenannten Punkt zählen Interpretation und Evaluation. Die Auswertung der Ergebnisse kann nicht nur zu begehrtem Wissen führen, ihr sinnvoller Einsatz birgt ebenso die Chance, sicherheitskritische Entscheidungen auf Grund computergestützter Analysen, richtig fällen zu können.

5 Quellenverzeichnis

Botchen RP. [et al.] Action-based multifield video visualization [Buchabschnitt] // IEEE Trans Vis Comput Graph. - 2008.

Chen M. [et al.] Visual signatures in video visualization [Artikel] // IEEE Trans Vis Comput Graph. - 2006. - 12. - Bd. 5.

Dierks H. Time, Abstraction and Heuristics - Automatic Verification and Planning of Timed Systems using Abstraction and Heuristics [Bericht]. - Oldenburg : University of Oldenburg, 2006.

Dierks H. und Dietz C. Graphical Specification and Reasoning: Case Study Generalised Railroad [Artikel] // Lecture Notes in Computer Science. - 1997. - 1313.

Dierks H., Kupferschmied S. und Larsen K.G. Automatic abstraction refinement for timed automata [Buchabschnitt] // Formal Modelling and Analysis of Timed Systems / Buchverf. Raskin J.-F. und Thiagarajan P.S.. - [s.l.] : Springer, 2007. - Bd. 4763.

Hand D. J., Manilla H. und Smyth P. Principles of Data Mining [Bericht]. - Cambridge, MA : MIT Press, 2001.

Harel D. On visual formalisms [Artikel] // Commun. ACM. - 1988. - 31.

Kleuker C. Constraint Diagrams [Bericht]. - Oldenburg : University of Oldenburg, 2000.

Laube P Raumzeitliches Data Mining [Bericht]. - Universität Zürich : [s.n.], 2010.

Rethmeier E. Modelchecker PHAVer [Bericht]. - Paderborn : [s.n.], 2006.

Sanftmann H. [et al.] Visual Exploration of Classifiers for Hybrid Textual and Geospatial Matching [Artikel]. - 2009.

Sargent R.G Verification and Validation of Simulation Models [Buchabschnitt] // Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, / Buchverf. (eds.) M. E. Kuhl et al.. - 2005.

Staatsanwaltschaft Duisburg [Online]. - 27. 7 2010. - 28. 02 2012. - [http://www.sta-
duisburg.nrw.de/presse/Presseerklarungen/Loveparade_Presseerkl__rung_vom_2
7_07_2010.pdf](http://www.sta-
duisburg.nrw.de/presse/Presseerklarungen/Loveparade_Presseerkl__rung_vom_2
7_07_2010.pdf).

Thiel-Clemen Th., Köster G. und Sarstedt S. WALK – Emotion-based pedestrian movement simulation [Buchabschnitt] // Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften - Workshop Berlin. - DE : Shaker Verlag, 2011.

Weiskopf D., Andrienko G., N. und Bak P Visuelle Bewegungsanalyse in Video- und Geodaten [Artikel] // Informatik Spektrum. - [s.l.] : Springer Verlag, 2010. - Heft 6 : Bd. 33.

Woggan T. Personenerkennung in Videoaufnahmen [Bericht]. - Hamburg : HAW Hamburg, 2012.

6 Abbildungsverzeichnis

2-1 Bewegungsräume und -muster: Freier Raum mit home range(a1), Anführer(a2), Herde(a3) und Gänsemarsch(a4) (Laube, 2010).....	6
2-2 Personentrajektorien in einem Raumzeit-Volumen im Bezug zu zeitlich korrespondierenden Hintergrundbildern (Botchen, et al., 2008)	7
2-3 Spezifikation eines Watchdogs als Constraint Diagram (Dierks, et al., 1997).....	9
4-1 Knowledge Discovery in Databases, KDD (Laube, 2010)	12