Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: **Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Fraunhofer ICT**

Förderkennzeichen: **13N10305**

Vorhaben-Bezeichnung:

Risiko Großveranstaltungen – Planung, Bewertung, EVAkuierung und Rettungskonzepte

Akronym: EVA

TEILPROJEKT: Grundlegende Untersuchung von Videoauswerte- und Sperrentechniken bei Evakuierung und Rettung

Projektleiter: **Norbert Eisenreich**

Autoren: **Achim Schreiber, Conrad Wassmer, Dominik Sterk, Norbert Eisenreich**

Laufzeit des Vorhabens:	*01.03.2009 – 31.05.2012*
Berichtszeitraum:	*01.03.2009 – 31.05.2012*

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT,
J-v-Fraunhoferstr. 7, 76327 Pfinztal

Fraunhofer
ICT

Inhaltsverzeichnis

I Kurzfassung des Projektes EVA TEILPROJEKT: Grundlegende Untersuchung von Videoauswerte- und Sperrentechniken bei Evakuierung und Rettung 5

I. 1 Aufgabenstellung 5

I. 2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 6

I. 3 Planung und Ablauf des Verfahrens 7

I. 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn 8

I. 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 10

II Detaillierte Darstellung 11

II. 1 Verwendung der Zuwendungen und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 11

II. 1.1 Videoauswertemethoden und Anwendungen 11

II. 1.1.1 Zielsetzungen 11

II. 1.1.2 Videoauswertemethoden 12

II. 1.1.3 Anwendungen auf Großveranstalungen 36

II. 1.1.3.1 Zuschauer beim Stadionverlassen nach einem Fußballspiel 36

II. 1.1.3.2 Begegnungen auf einem Fußgängerübergang 41

II. 1.1.3.3 Bildausschnitte aus der Love Parade 2010 44

II. 1.1.3.4 Cranger Kirmes ein Großereignis 48

II. 1.1.3.5 Weiteres Video mit Personen nach dem Verlassen eines Fußballspiels 52

II. 1.2 Sperren 55

II. 1.2.1 Versuchsmuster für Tests und Analyse 55

II. 2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 60

II. 3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 61

II. 4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 63

II. 4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten 63

II. 4.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten 64

II. 4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 64

II. 5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 67

II. 6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6 67

II. 7 Verwendete Literatur 68

I Kurzfassung des Projektes EVA TEILPROJEKT: Grundlegende Untersuchung von Videoauswerte- und Sperrentechniken bei Evakuierung und Rettung

I. 1 Aufgabenstellung

Das Verbundprojekt hat den Schutz und Rettung von Menschen zum Ziel, das auch primäres Einsatzziel der Rettungskräfte ist. Die höchsten Anforderungen zur Erreichung dieses Einsatzziels ergeben sich bei großen Menschenansammlungen wie sie unter anderem bei Großveranstaltungen und komplexen Baustrukturen anzutreffen sind.

Für Großveranstaltungen und damit verbundene großflächige Infrastrukturen sollen abgestimmte Konzepte zur Planung, Bewertung, Evakuierung und Rettung interdisziplinär entwickelt und mittels Simulationen validiert werden. Dazu sollen Erfahrungsberichte und zusätzliche Dokumentationen (Video, Foto, Erfahrungsberichte) der Feuerwehr über das Verhalten von Personen genutzt werden, um die Simulationsmodelle den realen Verhaltensweisen anzupassen. Mit diesen Simulationsmodellen sollen zunächst zusätzliche Objekte hinsichtlich verschiedener Personenanzahlen und Risikoszenarien bewertet werden. Des Weiteren sind die Einflussmöglichkeiten auf den Personenstrom zu simulieren. Auf dieser Basis sind technische und organisatorische Maßnahmen zu entwickeln. Hierdurch wird die Informationstechnologie bei Krisen verbessert, der Faktor Mensch in die Modellierung integriert und die Risikoanalyse für Entscheidungsfindungen vereinfacht.

Im Rahmen des Projektes hatte das Fraunhofer ICT in seinem Teilprojekt zu diesen technischen und organisatorischen Maßnahmen mit konzeptionellen Ansätzen und technisch/wissenschaftlichen Entwicklungen beizutragen. Zu diesen gehören schnell errichtbare, flexible und leicht transportable Sperren für Wegeleitsysteme, Fluchtwegsteuerung und Abschirmung von Rettungskräften, die mit Sensorik bestückt werden können. Technische Varianten von Materialien, Aktuatoren und Sicherheitskomponenten wurden auf ihre Verwendbarkeit hin untersucht. Diese sollte entsprechend den Risikoanalysen der Objekte, der Veranstaltungstypen und den daraus abgeleiteten Bewegungsverhalten von Menschenmengen sicher und effektiv handhabbar gestaltet werden. Weiterhin wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht, wie Videos von Menschenbewegungen anonymisiert analysiert werden können und als experimentelle Grundlage (Dichte und Geschwindigkeitsvektoren) für eine 2-dimensionale dynamische Beschreibung genutzt werden können. Neben der Methodenentwicklung stand auch die Anwendung auf reale Szenarien, insbesondere im Rahmen von Großveranstaltungen im Vordergrund des Interesses.

I. 2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Informationen zu Großveranstaltungen sind sehr begrenzt und wurden bisher nicht systematisch gesammelt, analysiert und für die Planung neuer Veranstaltungen verwertet. Daher werden die Planungen auf lokal gemachten und weitergegebenen Erfahrungen aufgebaut, wobei oft die Basis für bestehende Vorschriften nicht ersichtlich ist, zum Teil sogar widersprüchlich ist. Man nimmt folgende Grundlasten an: Bisher geht man bei 100.000 Besuchern von 300 Personen aus, die versorgt und 70 Personen die transportiert werden müssen. (Bei mehr als 200 Verletzten spricht man normalerweise in Großstädten von der Katastrophenschwelle). Die Genauigkeit dieser Annahme und der mögliche Einfluss einer so genannten Zusatzlast (Brand, Anschlag etc.) sind nicht bekannt. Weiterhin unbekannt sind Indikatoren für kritische Veranstaltungen. So sind sicherlich 200.000 Besucher in einer mittelgroßen Stadt wie z.B. Münster kritischer zu bewerten als 1.000.000 Besucher in Essen. Planungsgrenzwerte wie z.B. die maximale Anzahl von Personen, die an dem Veranstaltungsort verkraftet werden können, oder die Anzahl der benötigten Einsatzkräfte der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr (Essen 3700) sind nicht bekannt.

Als weitere Problematik hat sich gezeigt, dass häufig Verkehrsinfrastrukturen wie Bahnhöfe ein Nadelöhr bei Großveranstaltungen bilden. Hier kommen unterschiedliche Personendichten mit unterschiedlichen Personeneigenschaften mit Geschäften, Gängen, Abfertigungs- und Versorgungsbereichen zusammen. Um die dafür notwendigen baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen verlässlich optimieren zu können, wird in der Praxis verstärkt nach leistungs- und schutzzielorientierten Lösungsansätzen gesucht. Dazu gehört, dass auch die jeweilige Nutzungsart, Personenzahl sowie individuelle Personeneigenschaften und Verhaltensmöglichkeiten berücksichtigt werden, um erforderliche Schutzmaßnahmen festzulegen. Ebenso gehört dazu, dass sowohl unterschiedliche Technik als auch unterschiedliche informationelle und kommunikative Interaktionsformen so integriert werden, dass sich darüber eine Evakuierung angemessener als bisher organisieren und durchführen lässt (Wie lässt sich z.B. der Veranstalter einbinden? Loveparade Musik contra Durchsagen der Einsatzkräfte). Aber eine flexible Lenkung von Personenströmen ist kaum möglich. Absperrungen basieren auf unhandlichen und schweren Komponenten, die einen hohen Personalaufwand erfordern. Es sollen Verfahren des Kommunizierens und Koordinierens in der Krise entwickelt werden, die lokale und situative Kenntnisse und Erfahrungen der Menschen ebenso einbeziehen, wie die Merkmale der Orte, Gebäude und Räume (sozio-technische Netzwerke). Es existieren bereits einige sinnvolle Ansätze, um das Verhalten von Personen in Menschenmengen zu beschreiben. Allerdings stützen sich die Annahmen über Reaktionen der beteiligten Personen auf konkrete Situationen allerhöchstens auf wenige Modellversuche. Eine

systematische Beobachtung realer Situationen fehlt bisher, wie auch effektive d.h. automatische lange Videosequenzen erfassende Auswertemethoden, insbesondere zur Beschreibung kollektiven Verhaltens. Zur Bewertung ist eine multidisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich, die normalerweise nicht zustande kommt.

I. 3 Planung und Ablauf des Verfahrens

Die Projektarbeit war als interdisziplinäre Kooperation im Rahmen von Arbeitspaketen geplant, sowie zeitlich mit regelmäßigen Projekttreffen. Die Erfolgskontrolle war mit Meilensteinen organisiert. Folgende Arbeitspakete wurden geplant:

AP 1: Koordination, PBA, Normung, Szenarien
AP 2: Ist-Zustand, Simulation, Datenbasis, Personendichten
AP 3: Reales Verhalten
AP 4: Großveranstaltungen (Mehr als 200.000 Teilnehmer)
AP 5: Sozialwissenschaftliche Einflussmöglichkeiten, Gesellschaftliche Einflüsse
AP 6: Technische und organisatorische Maßnahmen
AP 7: Simulation der Verhaltensarten, Einflussmöglichkeiten, Interaktionen, technischen Maßnahmen
AP8: Erprobung, Schulung, Normung

Nachfolgend ist zunächst der Netzplan aufgeführt. Hier sind die Arbeitspunkte über die Zeit, und die wesentlichen Meilensteine eingetragen. Die Übergabepunkte und die damit verbundenen Absichten werden anschließend erläutert.

AP 1		**T**		**T**		**TB**		**T**	**M**	**T**		**TB**		**T**		**T**		**TB**
AP 2				Ü1		Ü2												
AP 3								Ü3										
AP 4													Ü4					
AP 5											Ü5							
AP 6											Ü6							
AP 7										Ü7			Ü8				Ü12	
AP 8													Ü9	Ü10		Ü11		
Monat	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36

T = Treffen B = Bericht Ü = Übergabepunkte M = Meilenstein

Zur Mitte des Projektes (Monat 18) ist ein Meilenstein vorgesehen, an dem die einzelnen Arbeitspakete, die Zwischenergebnisse und die weiteren Schritte jedes Partners hinsichtlich ihrer Zielführung überprüft werden. Gegebenenfalls wird an diesem Meilenstein der weitere Arbeitsplan überarbeitet, um die gesetzten Ziele zu erreichen. **Das Projekt wurde 3 Monate verlängert, wobei dies die Arbeiten des Fraunhofer ICT nur wenig betraf.**

Fraunhofer ICT hatte vor allem zu den Arbeitspaketen 2 und 6 beizutragen:
In Arbeitspaket 2 bestand die Aufgabenstellung sowohl in der Darstellung von zeit- und ortsaufgelösten Personendichten und -bewegungen als Planungsgrundlage für allgemeine Maßnahmen, als auch für die Auslegung der Sperren beizutragen.
Insbesondere sollte die Erforschung neuer Verfahren zur videotechnischen Untersuchung der Bewegung von Menschenmengen auf der Basis fluiddynamischer Auswerteverfahren erfolgen, wie sie oben erwähnt wurden. Es wurde vor allem auf die digitale Bildkorrelationstechnik, Bilddifferenzen und Bildkompaktierung gesetzt. Die wichtigen Kenngrößen bestanden hier in den Dichte- und Strömungsfeldern, sowie den Spuren der Bewegungen.
Aufbauend auf den durch videotechnische Untersuchungen schneller Vorgänge gewonnene Erfahrungen wurde versucht die Auswertemethoden auf die Bewegungen von Menschenmengen in realen Szenarien zu übertragen und wichtige Kenngrößen wie dynamische Bewegungsrichtungen abzuleiten.

Die Aufgabenstellungen in Arbeitspaket 6 bestanden darin, gewichts- und raumsparende Werkstoffe und Aktuatoren für neue Absperrungen zu erforschen, die einfach und schnell mit minimiertem Aufwand zu installieren sind. Dazu sollten neue wissenschaftliche Techniken wie der Einsatz von pneumatischen Muskeln, schneller durch Gasgeneratoren getriebener Aktorik (z.B. Teleskopantriebe, automatische Entfaltungstechnik) auf Basis von Pyrotechnik und automatischer Handhabungstechnik zum Einsatz kommen. Die oben angesprochenen Sicherheitskriterien bei der Anwendung der Konzepte und Einbau der Komponenten sind dabei natürlich zu berücksichtigen.

I. 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor Projektbeginn

Bis vor Projektbeginn gab es kaum konkrete wissenschaftlich fundierte Entwicklungen an Sperrsystemen, die mehrere Spezifikationen vereinen, wie sie im Projekt EVA als technische Maßnahmen untersucht wurden. Diese betreffen die schnelle flexible und kostengünstige Verlegbarkeit, die schnelle Aufrichtbarkeit unter Gewährleistung der Sicherheit und die flexible Anpassbarkeit auf das vermutete Belastungspotential. Es waren im Wesentlichen internationale Firmen, die sich im Zuge der Abwehr von Gefahren des Terrorismus oder von asymmetrischen Bedrohungen solchen Themen widmeten. In diesem Bereich sind zur dargestellten Thematik analoge Systeme der Menschenmengenkontrolle von Bedeutung, wobei dabei von einem deutlich aggressiveren Bedrohungspotential ausgegangen wird. Daraus entwickelten sich die ersten Ansätze zu den hier vorgeschlagenen Sperren.[1]

[1] N. Eisenreich, J. Neutz, K.-D. Thiel, H. Ebeling, A. König, F. Weller, Development of multi functional, rapid deployable Barriers, Proceedings 3rd Europ. Symp. Non-Lethal Weapons, Ettlingen, May, 2005

Schwerpunkt war auch das Aufhalten von Fahrzeugen, da bei Beladung mit Sprengstoff eine erhebliche Bedrohung für Infrastrukturen entsteht. Die englische Firma QinetiQ bietet eine geeignete Kettensperre[2] an. Ansonsten liegt das Angebot am Markt bisher auf den einfachen bekannten Sperrsystemen, wobei keine systematische Forschungstätigkeit bekannt ist, um den Stand der Technik der zwar einfachen aber unflexiblen und umständlich handhabbaren Systeme zu verbessern:

Zur Videoauswertetechnik existiert eine Reihe von Verfahren, die mit unterschiedlich aufwändigen Methoden bzw. bei automatischer Auswertung mit Algorithmen arbeiten. Eine effektive und sichere Methode ist immer noch durch visuelle Bildbetrachtung gegeben, die jedoch erheblichen Personalaufwand bedeutet.
Bei automatischen Verfahren erfolgt meist eine Datenvorbehandlung, wie z.B. eine Graustufenreduzierung, die im Grenzfall durch einen geeigneten Schwellwert (Threshold) auf zwei Stufen reduziert werden kann (Binarisierung), Randzonenbehandlung, morphologische Operationen, Falschfarbendarstellung usw..

Im Wesentlichen gibt es neben einer Reihe weiterer automatischer Verfahren zwei Gruppen von etablierten Methoden.[3] Diese Standardmethoden sind mathematisch ausgereift, wie sie in der zitierten Standardliteratur beschrieben sind und es wird hauptsächlich an der Modifikation für verschiedene Anwendungen gearbeitet. Als neuer Ansatz dienen angepasste Variationsmethoden, die auch zur Lösung partieller Differentialgleichungen eingesetzt werden.[4] Allerdings sind diese erst im Anfangsstadium der Anwendung.

Mathematisch anspruchsvoll sind Korrelationsverfahren, die Ergebnisse schneller und die beabsichtigte Information (in der Fouriertransformierten) bereits kodiert liefern.[3, 5] Darüber hinaus entsteht auch kollektive Information über bestimmbare Bildausschnitte. Dazu werden Bilder oder Bildausschnitte (bzw. die Bitwerttabellen) mit sich selbst (Autokorrelation) oder mit einem nachfolgenden Bild (Kreuzkorrelation) gefaltet. Die Korrelation erfolgt durch Fouriertransformation, nachfolgender Multiplikation und anschließender Fourier-Rücktransformation. Daneben gibt es verschiedene andere Transformationen, wie z. B.

[2] Ch. Lyddon, Evolution of X-Net® to TruX-Net a Heavy vehicle arresting system, Proceedings 3rd Europ. Symp. Non-Lethal Weapons, Ettlingen, May, 2005
[3] B. Jähne, *Digitale Bildverarbeitung*, Springer Verlag, Heidelberg, 2002.
J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992.
[4] Tony F. Chan, Jianhong (Jackie) Shen, and Luminita Vese, Variational PDE Models in Image Processing, notices of the ams, 50, 1
[5] H.A. Bruck, S.R. McNeil, M.A. Sutton and W.H. Peters, "Digital Image Correlation Using Newton-Raphson Method of Partial Differential Correction," *Experimental Mechanics*, pp. 261-267, September 1989

Wavelet-Transformationen.[6] Das Ergebnis der Autokorrelation enthält die mittleren Abstände der Objekte, die in Bildern oder kleinen Bildausschnitten enthalten sind. Im Falle der Anwendung auf Videobilder von Menschenmengen, wären dies beispielsweise die mittleren Abstände von Personen, sofern sich die digitalen Abbildungen der Personen als ähnlich herausstellen. Aus den Abständen lässt sich wiederum die Personendichte berechnen. Im Projektverlauf sollte auf zwei Anwendungsfelder Bezug genommen werden, die der vorgeschlagenen Anwendung nahestehen. Zeitgleich mit der Antragstellung und Projektbearbeitung hat eine amerikanische Forschergruppe ebenfalls diese Methodik aufgegriffen.[7]

Verwendete Literatur, Informationsquellen und Datenbanken:

Es wurde verwendet:

Für Patentrecherchen: DEPATIS

Für Literaturrecherchen: Scientific Commons, Scopus, Science Direct, Google Scholar,

Die in die Arbeiten eingeflossene Literatur: siehe II.1

I. 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Fraunhofer ICT arbeitete im Rahmen des Projektes mit allen Partnern zusammen, wobei sich lediglich mit der Universität Paderborn nur wenige Schnittstellen ergaben.

Im Zusammenhang mit Arbeitspaket 2 erhielt das Fraunhofer ICT vom vfdb, Feuerwehr Dortmund und Universität Kiel umfangreiches Video-Material von realen Szenarien bei verschiedenen Großveranstaltungen. Den Partnern wurden dabei Vorgaben zur Aufnahmetechnik und Kameraposition gemacht. Die Videoaufnahmen wurden mit diesen Partnern diskutiert und ihnen Auswertungen von zum Teil mehrstündigen Videosequenzen zur Verfügung gestellt. Dem I.S.T. wurden umfangreiche Daten von Personenbewegungen geliefert. Auf deren Wunsch wurden auch Personentrajektorien, obwohl dies nicht Bestandteil der ursprünglichen Aufgabenstellung war, generiert und weitergegeben.

Die Untersuchungen zu Arbeitspaket 6 erfolgten im Wesentlichen in intensiver Zusammenarbeit mit W&H. Nach einer Bewertung von gemeinsam realisierten Versuchsmustern neuartiger Sperren durch die Feuerwehr Dortmund und dem vfdb wurden deren Konzepte zu einem feuerwehrtauglichem Prototyp verbessert und umgesetzt.

[6] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic, Press, 1998. UCLA Imagers homepage, http://www.math.ucla.edu/~imagers/.

[7] (10) R. Mehran, A. Oyama, M. Shah, Abnormal crowd behavior detection using social force model, 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, FL, USA, June 20-June 25 (2009)

II Detaillierte Darstellung

II. 1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Bisher wurden Informationen zum Ablauf und den Gefährdungen von Großveranstaltungen nur in Einzelfällen systematisch gesammelt und zielgerichtet ausgewertet. Dementsprechend spärlich ist die Datengrundlage für die Planung weiterer Veranstaltungen. Planungen erfolgen daher meist auf lokal gemachten und informell weitergegebenen Erfahrungen. Der Ursprung bestehender Vorschriften ist oft unklar. Entsprechend kam es auch kaum zur Entwicklung von technischen und organisatorischen Maßnahmen, um die Sicherheit wesentlich zu verbessern. Planungen solcher Großveranstaltungen könnten effektiv unterstützt werden, wenn geeignete Simulationen des Personenverhaltens, insbesondere in Menschenmengen zur Verfügung stehen würden. Dazu sind jedoch gründliche Untersuchungen der Verhaltensweisen in realen Szenarien erforderlich, um eine Datenbasis dafür zu schaffen.

In seinem Teilprojekt untersuchte das Fraunhofer ICT verschiedene Möglichkeiten, Videos von Menschenbewegungen anonymisiert zu analysieren. Die Anwendung dieser Methoden erfolgte auf realen Szenarien von einigen bekannten Großveranstaltungen in Deutschland.

II. 1.1 Videoauswertemethoden und Anwendungen

II. 1.1.1 Zielsetzungen

Obwohl bereits eine Reihe von Modellen und Simulationsmethoden zur Beschreibung von Bewegungen von Menschenmengen bestehen und auch teilweise eingesetzt werden, besteht noch ein großer Bedarf an detaillierter Information, die auch relativ triviale Daten einbezieht. Insbesondere sind wenige Daten über reale Szenarien verfügbar, die auch lange Beobachtungszeiten, also auch lange Videosequenzen umfassen. Als Folge sollten automatische Auswertemethoden zum Einsatz kommen. Aus Datenschutzgründen darf nur eine anonymisierte Analyse durchgeführt werden, die jede Individualität verdeckt. So ist es durchaus gerechtfertigt, mit einfachen Aufgabenstellungen zu beginnen und gemeinhin angenommene Werte, wie Gehgeschwindigkeiten von Personen, zu hinterfragen. Zum Beispiel kann das Bewegungsverhalten von der Art der Veranstaltung (Sportveranstaltung, Messe, Festveranstaltung, Kirmes usw), von der Konstitution der Personen und ihrer sozialen Zusammengehörigkeit (einzelne Person, Gruppe) und der dabei verfolgten Absicht (Zugang zum Veranstaltungsort, Anstehen an Ein-, Ausgängen und Kassen, Bewegung durch stehenden Mengen, usw.) abhängen. Dabei ist das „normale“ Verhalten zu identifizieren, das vor allem in Bezug auf die Bewegungsgeschwindigkeit abhängig von der

Personendichte, aber auch dem Verhalten beim Aufeinandertreffen von Personenströmen oder dem Umgehen von Hindernissen ist. Ein Abweichen von diesem „normalen“ Verhalten könnte entweder das Anzeichen für eine Gefahrensituation bedeuten oder zu einer solchen führen. Eine „Real Time Identifikation“ solcher Zustände könnte Veranstaltungsorganisatoren und Rettungsdienste rechtzeitig aufmerksam machen und in ihrer Arbeit unterstützen.

II. 1.1.2 Videoauswertemethoden

Überblick

Zur Videoauswertetechnik existiert eine Reihe von Verfahren, die mit unterschiedlich aufwändigen Methoden bzw. bei automatischer Auswertung mit Algorithmen arbeiten. Eine effektive und sichere Methode ist immer noch durch visuelle Bildbetrachtung gegeben, die jedoch erheblichen Personalaufwand erfordert. Bei automatischen Verfahren erfolgt meist eine Datenvorbehandlung, wie z.B. eine Graustufenreduzierung, die im Grenzfall durch einen geeigneten Schwellwert (Threshold) auf zwei Stufen reduziert werden kann (Binarisierung), Randzonenbehandlung, morphologische Operationen, Falschfarbendarstellung usw..
Im Wesentlichen gibt es neben einer Reihe weiterer automatischer Verfahren zwei Gruppen von etablierten Methoden. [8] Diese Standardmethoden sind mathematisch ausgereift, wie sie in der zitierten Standardliteratur beschrieben werden und es wird hauptsächlich an der Modifikation für verschiedene Anwendungen gearbeitet. Als neuer Ansatz dienen angepasste Variationsmethoden, die man auch zur Lösung partieller Differentialgleichungen einsetzt.[9] Diese sind allerdings erst im Anfangsstadium der Anwendung.

1. Bei den Standardverfahren[1] kommen Least-Squares-Fit-Verfahren oder Transformationen (z.B. Hough-Transformation) zur Anwendung. Dazu werden Formen/Strukturen oder Muster (Templates), nach denen gesucht wird, digital oder als Funktionen hinterlegt. Diese Formen können als Tabellen oder als ein- bzw. zweidimensionale Funktionen vorliegen und werden über das zu untersuchende Bild gelegt und verschoben. Es wird dabei nach den Positionen gesucht bei denen diese Formen die geringsten Abweichungen (eventuell unter einem Schwellwert), d.h. ein Minimum der 2-D-Quadratsumme der Bitdifferenzen aufweisen. Es können damit nachfolgend die mittleren Abstände (Dichten) bei ähnlichen Objekten erfasst werden. Dabei können auch die Dimensionen der Formen als Anpassungsparameter variiert werden.

---

[8] A. Erhardt, *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2008
B. Jähne, *Digitale Bildverarbeitung*, Springer Verlag, Heidelberg, 2002.,
J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992.
[9] Tony F. Chan, Jianhong (Jackie) Shen, and Luminita Vese, Variational PDE Models in Image Processing, notices of the ams, 50, 1

2. Mathematisch eleganter sind die Korrelationsverfahren, da diese schneller Ergebnisse und die beabsichtigte Information (in der Fouriertransformierten) bereits kodiert liefern.[3, 10] Darüber hinaus entsteht auch kollektive Information über bestimmbare Bildausschnitte. Dazu werden Bilder oder Bildausschnitte, (bzw. die Bitwerttabellen) mit sich selbst (Autokorrelation) oder mit einem nachfolgendem Bild (Kreuzkorrelation) gefaltet. Die Faltung erfolgt durch Fouriertransformation mit nachfolgender Multiplikation und Fourier-Rücktransformation, wobei bereits aus der Fouriertransformierten die Information extrahiert werden kann. Daneben sind auch verschiedene andere Transformationen bekannt, wie z. B. die Wavelet-Transformationen, die ebenfalls entsprechende Ergebnisse liefern.[11] Das Ergebnis der Autokorrelation enthält die mittleren Abstände der Objekte, die in Bildern oder kleinen Bildausschnitten enthalten sind. Im Falle der Anwendung auf Videobilder von Menschenmengen, wären dies beispielsweise die mittleren Abstände von Personen, sofern sich die digitalen Abbildungen der Personen als ähnlich herausstellen. Bei der Kreuzkorrelation ergeben sich die Verschiebungsvektoren dieser Strukturen und deren Varianzen aus zwei verschiedenen korrelierten Bildern oder auch kleinen Bildausschnitten.[12]
Die Anwendungsgebiete dieser Korrelationsverfahren sind vielfältig. So wird beispielsweise in der mechanischen Werkstoffprüfung zunehmend auf Videotechnik als Analysemethode gesetzt.[13]

3. Auch Bilddifferenzverfahren können direkt zur Bildauswertung verwendet werden und sind im naturwissenschaftlichen Bereich im Einsatz. Durch Subtraktion zweier Bilder erhält man die Bilddifferenzen, die bezogen auf Folgebilder eines Videos die Bewegungen im Video hervorheben. Anhand der resultierenden Objekte können Rückschlüsse auf die Bewegungen im Film gemacht werden. Zusätzlich werden dadurch die stationären Bildbereiche (Hintergrund) herausgefiltert.

4. Bildkompaktierung in einer Dimension:
Bisher wurde in der Literatur kaum auf diese Methode eingegangen. Die einzelnen Bilder (oder Teile dieser) werden hierbei auf eine Bildzeile reduziert. Markante großflächigere Elemente des Bildes werden dadurch besonders hervorgehoben, die sich in einer Bildfolge als Linien oder Bänder ausprägen.

---

[10] H.A. Bruck, S.R. McNeil, M.A. Sutton and W.H. Peters, “Digital Image Correlation Using Newton-Raphson Method of Partial Differential Correction,” *Experimental Mechanics*, pp. 261-267, September 1989
[11] S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic, Press, 1998. UCLA Imagers homepage, http://www.math.ucla.edu/~imagers/.
[12] Ehrenfried, K. (2002): Processing Calibration-grid images using the Hough-Correlation; Measurement Science and Technology Vol.13 (2002) pp.975-983
[13] http://www.globalspec.com/reference/8297/Full-Field-Dynamic-Displacement-and-Strain-Measurement-Using-Advanced-3D-Image-Correlation-Photogrammetry,

Im Weiteren wird nur auf verschiedene Anwendungsfelder Bezug genommen. Bei einem ist ein deutsches Institut weltweit führend, nämlich das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen. Dort wurde das sogenannte BOS (Background Oriented Schlieren) Verfahren entwickelt, das Dichte- und Strömungsfelder in der Fluiddynamik sichtbar macht.[14] Das Verfahren wurde aus der Particle Image Velocimetry (PIV) abgeleitet.[15] Es ist beeindruckend, wie aus Videobildern, die mit dem Auge kaum wahrnehmbare Information enthalten, durch das BOS-Verfahren klare Strukturen und deren Veränderungen sichtbar werden.
Die Personenerkennung ist ein weiteres Anwendungsgebiet der Image-Korrelationstechnik. Dabei werden Personen durch bereits gespeicherte Referenzbildern[16] identifiziert.
Ebenfalls können in der Medizintechnik beispielsweise Hautstrukturen und deren Veränderung verglichen zur weiteren Analyse werden.[17]
Die Auswertemethode hat ihren Ursprung in der Strömungsmesstechnik, wobei die erhaltenen Datenfelder für numerische fluiddynamische Simulation genutzt werden.

Bei Anwendung auf Videos von Menschenmengen können orts- und zeitabhängige Geschwindigkeitsfelder und Dichten geliefert werden. Daraus können die mittleren Geschwindigkeiten in Richtung und Betrag berechnet werden. Die Anonymität wird dadurch gewährleistet, dass nicht das einzelne Gesicht oder Profil einer Person betrachtet (z.B. mit einem hinterlegtem Referenzbild korreliert) wird, sondern als relative, selbstähnliche Referenzstruktur einer verallgemeinerten Person in die Auswertung einfließt. Neuere Videoauswertungen sind sogar in der Lage die Stimmung von Personen zu erkennen[18], wobei in diesem konkreten Fall ein Least-Square-Fit-Verfahren zur Anwendung kam.

[14] Kirmse, T. (2003): Weiterentwicklung des Messsystems BOS (Background Oriented Schlieren) zur quantitativen Bestimmung axialsymmetrischer Dichtefelder, DLR-IB 224-2003 A 01, 2003
Klinge, F. (2002): Local density information obtained by means of the Background Oriented Schlieren (BOS) method, 11th Int. Symp. on Appl. of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon. Paper number 15.3, Raffel M., Richard H. Meier G.E.A. (2000): On the applicability of Background Oriented Optical Tomography, Experiments in Fluid, pp 447-481.
[15] Raffel M., Willert C., Kompenhans J. (1998): *Particle Image Velocimetry*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
[16] Satprem Pamudurthy, E Guan, Klaus Mueller and Miriam Rafailovich, Dynamic Approach for Face Recognition using Digital Image Skin Correlation, Department of Computer Science, Department of Material Science and Engineering, State University of New York at Stony Brook, www.cs.sunysb.edu/~vislab/papers/AVBPA05.pdf, M.A. Turk and A.P. Pentland, “Face Recognition Using Eigenfaces, In Proceedings, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 586-591, June 1991,
[17] Dongsheng Zhang, Dwayne D. Arola, Applications of digital image correlation to biological tissues, J. Biomed. Opt.., Vol. 9, 691 (2004)
[18] Jos´e M. Buenaposada, Enrique Mu˜noz, Luis Baumela, Recognising facial expressions in video sequences, Pattern Analysis and Applications (2008) 11:101-116

Beschreibung der Verfahren

Wie bereits oben erwähnt erfordert Bildauswertung häufig eine Bildvorbehandlung, um sie besser für das angewandte Auswerteverfahren anzupassen. Bei den Anwendungen wird jeweils auf diese Vorbehandlung hingewiesen. Die hier untersuchten Bilder sind zweidimensional und müssen hinsichtlich der Perspektive korrigiert werden, wenn quantitative Information extrahiert werden soll.

1. Differenzbilder

Das Differenzenverfahren ist eine Methode zur Hervorhebung aller bewegten Objekte eines Videos. Dazu wird von jedem Frame f ein vorheriges Frame f-Δf im Abstand Δf subtrahiert. Die Erzeugung von Differenzbildern $I_{i-j}(x,y)$ aus 2 Bildern, in einem Abstand i-j aufgenommen, kann zur Reduzierung des Bildinhaltes benutzt werden, da alle unbewegten Elemente, wie auch der Hintergrund verschwinden (natürlich nur bei gleichen Beleuchtungsbedingungen, stationärer Kamera usw.). Aus ihnen kann direkt Information extrahiert werden. Das Differenzbild entsteht durch pixelweises abziehen der Grau- oder auch Farbwerte.

$$I_{i-j}(x,y) = I_i(x,y) - I_j(x,y) \qquad (1)$$

Bei der Bewegung von Formen, entstehen Streifen an den Rändern der verschobenen Elemente. Aus den Streifenbreiten und –lagen kann die Geschwindigkeit in Betrag und Richtung abgeleitet werden. In Bildbereichen in denen es keine Bewegung bzw. keine Änderung der Intensität gab, ergibt das Differenzbild etwa 0 und wird somit schwarz. Bildbereiche die eine Änderung der Intensität aufweisen ergeben ungleich 0 und werden dadurch hervorgehoben. Sind die Bewegungen im Video sehr klein, so kann die Differenz auch zwischen mehreren Frameschritten i und j gebildet werden) Dadurch werden Bewegungen deutlicher hervorgehoben. Bei bekannter Perspektive und Videofrequenz kann anhand der Größe der Objekte im Differenzbild die Geschwindigkeit der Objekte bestimmt werden.

<u>Beispiel:</u>

Abbildung 1: links: Bildausschnitt aus einer Szene am Kieler Seehundbecken (von Uni Kiel zur Verfügung gestellt), rechts: Differenzbild der Szene

In Abbildung 1 sind die Umrisse der sich bewegenden Personen deutlich erkennbar. Die statischen Personen am Geländer in der Mitte des Bildes werden im Differenzbild ebenso ausgeblendet wie der Hintergrund. Ebenfalls angezeigt wird die veränderlich erscheinende Wasseroberfläche.

Grenzen:

Wie bei den meisten Methoden in der Bildverarbeitung muss die Kamera stationär sein, da sich sonst quasi alle Objekte bewegen. Desweitere sollten sich die bewegten Objekte gut vom Hintergrund abheben. Bewegt sich ein grauer Pullover vor einem grauem Hintergrund so ergibt die Differenz nur ein schwaches Signal, das im Bildrauschen untergeht. Objekte im Hintergrund wie sich kräuselndes Wasser oder raschelnde Blätter werden ebenfalls im Differenzbild sichtbar.

2. Korrelationsverfahren

Korrelationsverfahren versuchen gleichartige Formen auf einem oder verschiedenen Bildern g(x,y) und h(x,y) zu erkennen. Dies erfolgt durch eine Integration und erzeugt eine Dichtefunktion k(x,y):

$$k(x,y) = \int\int h(x',y')g(x+x',y+y')\,dx',dy' \qquad (2)$$

Wenn g(x,y) = h(x,y), dann wird eine Autokorrelationsfunktion erzeugt, bei ungleichen Funktionen g(x,y) und h(x,y) spricht man von einer Kreuzkorrelation.

Bei digital vorliegenden Daten einer Matrix mit L Zeilen und K Spalten geht das Intergral aus (2) in eine Summe über, wobei die Matrix entsprechend in alle Richtungen erweitert werden muss (Padding).

$$K(x,y) = \sum_{i=1}^{L}\sum_{j=1}^{K} H(i,j)\,G(x+i,y+j) \qquad (3)$$

Dies bedeutet, dass die Bilder H und G jeweils verglichen werden, wenn G um x, y Punkte verschoben wurde. Bei Autokorrelation weist K(x,y) ein relatives Maximum auf, wenn an dieser Stelle wieder eine Form wie im Ausgangsbild, bei Kreuzkorrelation dann, wenn im Vergleichsbild diese Form bei einer Verschiebung von x, y auftritt.

In speziellen Fällen treten viele gleichartige Formen auf, nach deren Abständen (Autokorrelation) oder deren Verschiebung (Kreuzkorrelation) gesucht wird. Das gesamte Bild kann in einzelne Bildbereiche aufgeteilt werden, für die die Korrelationsfunktionen bestimmt werden. Bei der Autokorrelation entsprechen die resultierenden inversen Abstände den Dichten, die Verschiebungen bei der Kreuzkorrelation den Geschwindigkeiten.

Ein Beispiel, bei dem Geschwindigkeitsfelder gesucht werden, besteht in der Particle Image Velocimetry. Dazu wird eine partikelbeladene Strömung mit einem Laserlichtschnitt doppelt belichtet, sodass diese auf einem Film als beleuchtete Punkte auftauchen, deren Verschiebung der Geschwindigkeitskomponente proportional ist.
Hierzu wird das Bild wie in Abbildung in Teilbereiche partitioniert. Im nächsten Schritt wird jede Partition an ihrer ursprünglichen Position, jedoch in der zweiten Aufnahme in einem definierten Suchbereich Kreuzkorreliert. Der Suchbereich für die Partition des schwarzen Partikels ist in Abbildung rot markiert. Wird das Template (weißer Rahmen) nun in diesem Bereich detektiert (Maximum der Kreuzkorrelation), resultiert die neue Position des Partikels.

In Abbildung wird anhand Frame 1 und Frame 2 eine Partikelverschiebung demonstriert. Durch Kreuzkorrelation der Partitionen lassen sich die Verschiebungsvektoren berechnen und folglich in einem Vektorfeld zusammenfassen. Mit den Abmaßen des Bildausschnitts, sowie dem Zeitintervall der Aufnahmen kann die Verschiebungsgeschwindigkeit der Partikel abgeleitet werden.
Beim Aufteilen eines Bildes (bzw. zu korrelierender Bilder) in eine Matrix kleiner Bildelemente entsteht ein Vektorfeld, mit einem Vektor pro Matrixelement. Mit diesen Feldern können die üblichen Feldoperationen vorgenommen werden.
Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Vektoren richtungsabhängig farblich kodiert.

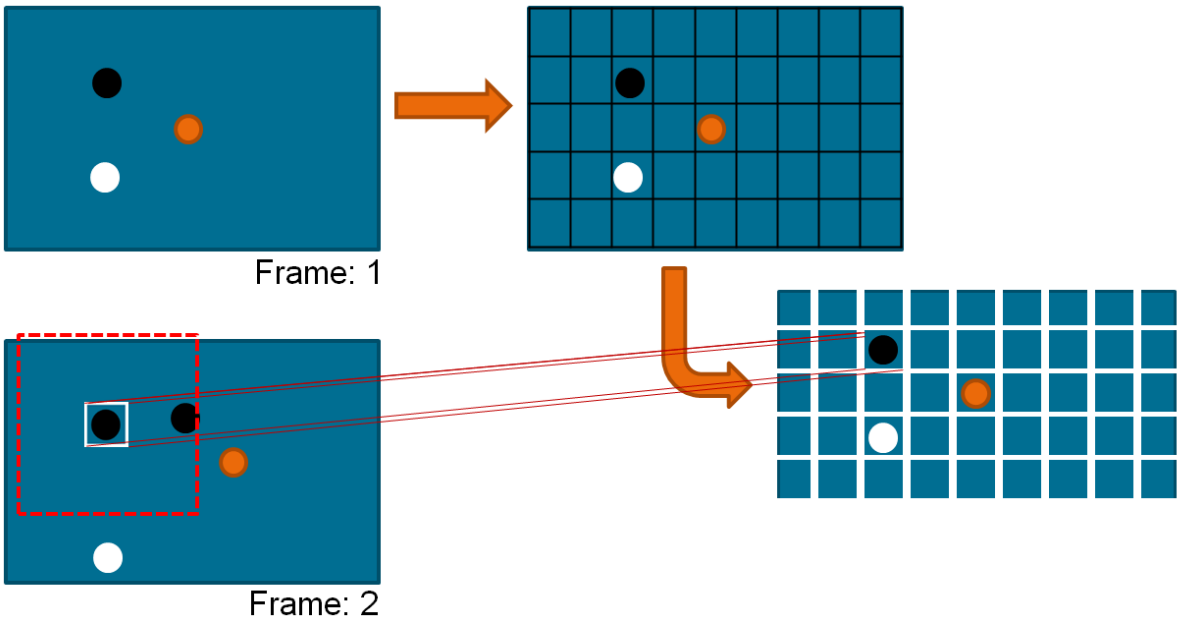

Abbildung 2: Partitionierung der PIV Aufnahme, jede Partition wird mit der zweiten Aufnahme verglichen.

Aus den Koordinaten der relativen Verschiebung lassen sich nun Verschiebungsvektoren berechnen.

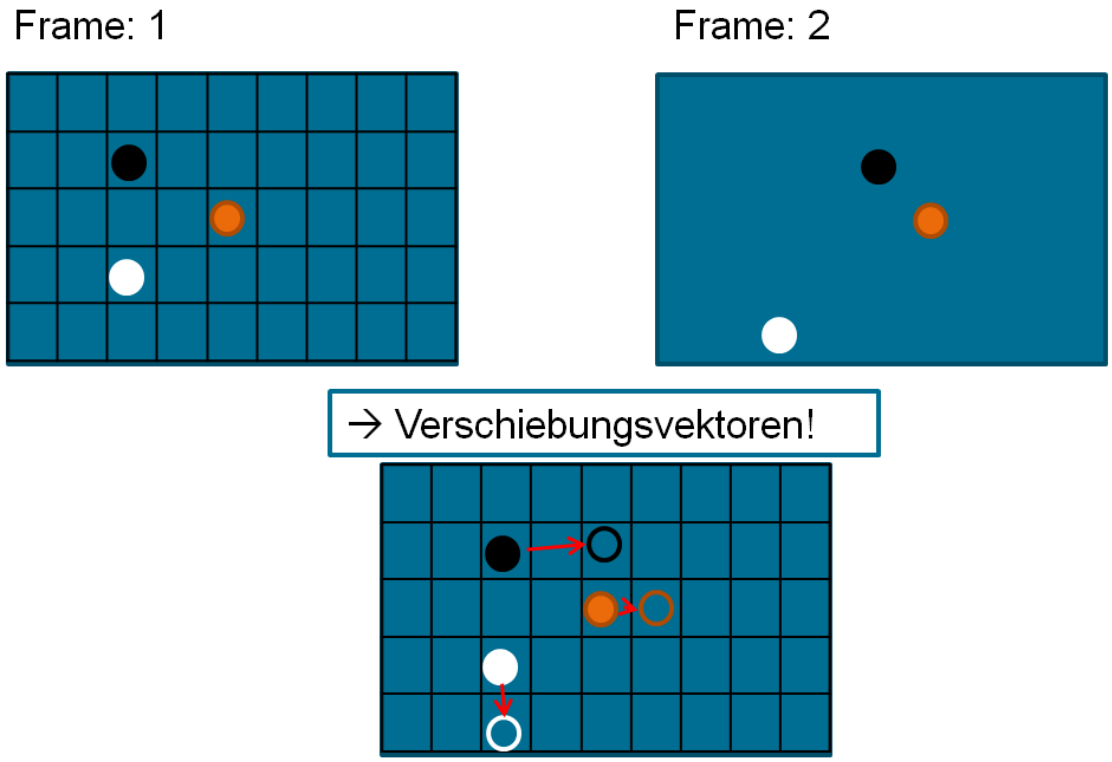

Abbildung 3: Berechnung der Verschiebungsvektoren aus Verschiebung der Partikel.

Beispiel:

Abbildung 4: Vektorfeld auf einem Bildausschnitt eines Videos von der Loveparade Duisburg 2010, (vom vfdb zur Verfügung gestellt)

Einfluss der Parameter:

Je größer das Template g(x,y), also m x n gewählt wird, desto homogener erscheint das Vektorfeld. Mit kleineren Templates, lassen sich Bewegungen feiner aufgelöster Objekte erkennen, allerdings nimmt dadurch die „Fehlerrate“ durch „falsche“ Peaks in der

Korrelationsfunktion deutlich zu. Der Suchbereich f(x,y) muss ausreichend groß gewählt werden, so dass sich die Objekte nach dem Zeitschritt 1/f innerhalb dieses befinden.
Der Gitterabstand wirkt sich nicht auf die Methodik aus. Er wirkt sich lediglich auf die Informationsdichte aus. Generell gilt: Je größer g(x,y) oder f(x,y) desto intensiver wird der Rechenaufwand. Der Gitterabstand wirkt sich antiproportional auf den Rechenaufwand aus.

Auswertung der Vektorfelder:

a. Histogramme

Die Vektordaten lassen sich in Form von Histogrammen statistisch auswerten. Bei Kenntnis der Perspektive und der Framerate lassen sich die Pixelverschiebungen in Geschwindigkeiten umrechnen.

$$|\vec{v}(x,y)| = \sqrt{x'(x,y)^2 + y'(x,y)^2} * \frac{p(x,y,\theta)}{f} \quad (4)$$

Die Winkel der Vektoren ergeben sich aus:

$$\theta(x,y) = \tan(\frac{y'(x,y)}{x'(x,y)}) \quad (5)$$

Sowohl die Geschwindigkeiten, als auch die Richtungen der Vektoren lassen sich in einem Histogramm zusammenfassen.

Ziele:

Aus der Geschwindigkeitsverteilung soll auf die Dichte der Menschenmenge geschlossen werden. Personen in dichten Menschenmengen bewegen sich dabei mit einer geringeren Durchschnittsgeschwindigkeit als Personen in einer geringeren Menschendichte. Werden die Geschwindigkeiten in den einzelnen zugehörigen Winkelsegmenten addiert, kann auf die Gesamtbewegungsrichtung geschlossen werden. Die Methoden sind sowohl für den gesamten Bildausschnitt, wie auch auf Teilbereiche anwendbar.

Anwendbarkeit:

Die Güte der Methode hängt von der Qualität des Vektorfelds ab.

Beispiel:

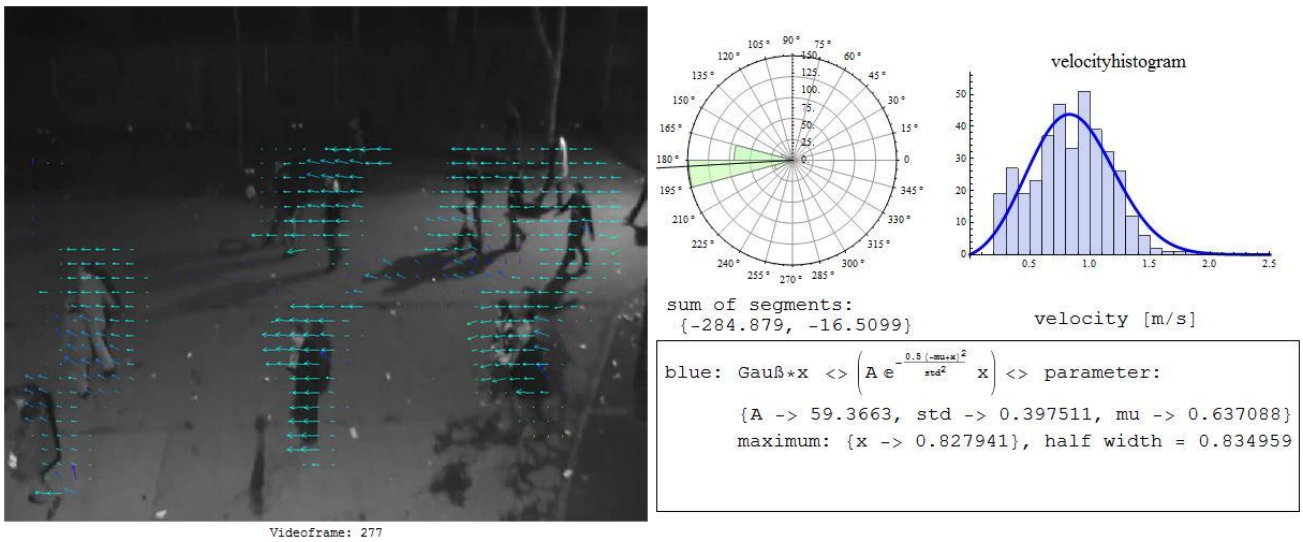

Abbildung 5: Szene beim Abwandern der Zuschauer nach einem Fußballspiel mit überlagertem Vektorfeld abgebildet, mit Geschwindigkeitshistogrammen

In Abbildung 5 ist eine Szene beim Abwandern der Zuschauer nach einem Fußballspiel mit überlagertem Vektorfeld abgebildet. Das Kreisdiagramm addiert alle Vektoren zu den zugehörigen Winkelsegmenten (je 15°) auf. Es gibt die Richtungsverteilung der Geschwindigkeiten an. Das Histogramm rechts zeigt die Verteilung der Geschwindigkeitsbeträge an. An diese Verteilung wird eine Gaußkurve, die mit x (Geschwindigkeit) multipliziert wird angefittet. Anhand der Parameter der Kurve können Rückschlüsse auf die Dichte gezogen werden.

b. Vektorcluster

Hierbei werden Vektoren mit ähnlichen Nachbarvektoren erkannt und ab einer festgesetzten Anzahl von zusammenhängenden erkannten Vektoren als Cluster markiert.

Zunächst müssen dabei Gütekriterien festgelegt werden. Diese beinhalten eine maximale Längenabweichung und eine maximale Winkelabweichung. Jeder Vektor wird nun überprüft, ob er eine vorgegebene Mindestlänge überschreitet und ob seine 4 nächsten Nachbarn die Kriterien der Maximalabweichungen erfüllen. Falls dem so ist, wird der Vektor markiert. Das Überprüfen aller vier nächsten Nachbarn ist wichtig, damit nicht zufällig zwei markierte Vektoren nebeneinanderliegen können, die aber nicht zueinander passen! Anschließend werden alle Zusammenhängenden (nicht diagonal!) markierten Vektoren zu je einem Cluster zusammengefasst. Überschreitet ein Cluster eine vorgegebene Mindestgröße nicht, wird er wieder verworfen.

Die markierten Cluster können zur Visualisierung über das Video gelegt werden.

Beispiel:

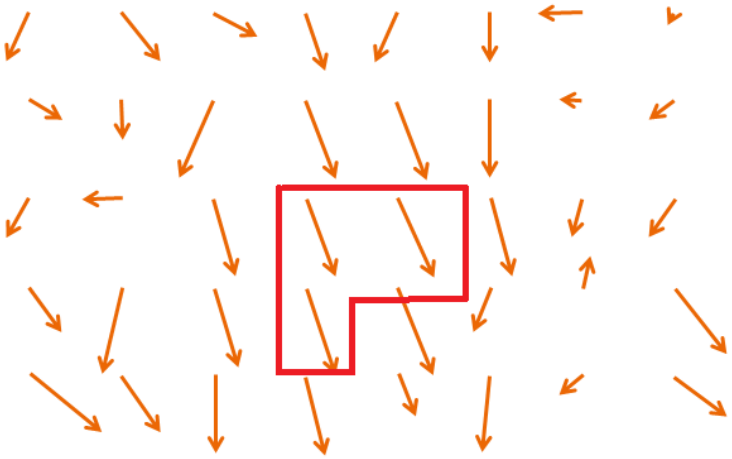

Abbildung 6: Clusterbildung aus größeren, richtungskonformen Vektorgruppen

Der rot markierte Cluster erfüllt die Bedingungen, dass er eine Mindestgröße (hier 2) überschreitet und die nächsten Nachbarvektoren die Gütekriterien erfüllen.

Ziele:

Da bewegte Objekte bei geeigneter Gittergröße mehrere Vektoren beinhalten und diese bei gleicher Bewegungsrichtung ähnlich sind, können die Cluster bewegten Objekten wie Personen zugeordnet werden. Zusätzlich kann aus dem Mittelwert der Clusterzugehörigen Vektoren die Bewegung des Objekts bestimmt werden.

Einfluss der Parameter:

Werden die Gütekriterien zu eng gewählt, können einzelne Objekte teilweise aus mehreren kleinen Clustern bestehen, da die Bewegungen innerhalb des Objekts (gerade bei Personen) nie exakt homogen sind (Beispielsweise Armbewegung vs. Körperbewegung beim Gehen). Sind die Gütekriterien allerdings zu „locker“ so werden teilweise benachbarte Objekte als ein einziger Cluster erkannt. Die Gütekriterien sowie die Mindestclustergröße muss individuell an die Videos angepasst werden.

Beispiel:

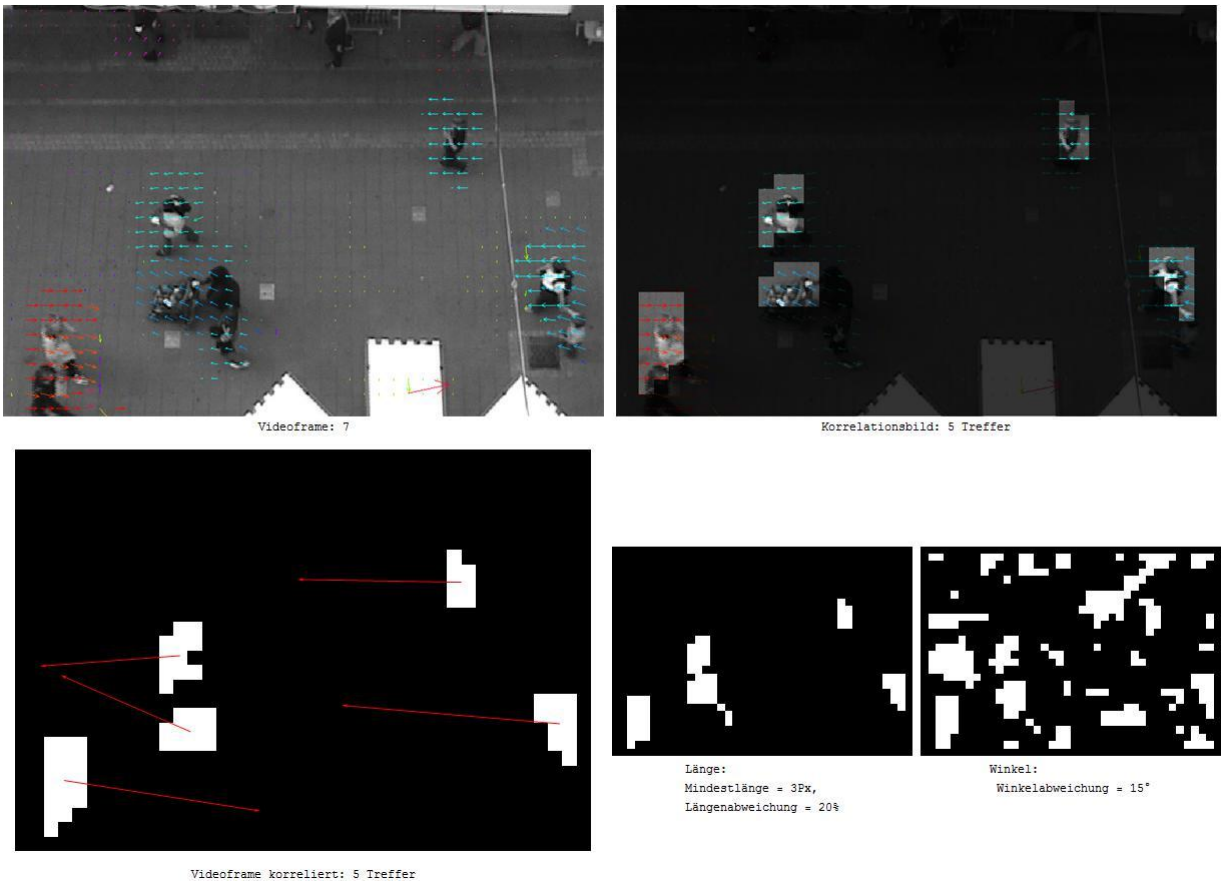

Abbildung 7: Clusterbildung aus Vektorgruppen

In dieser Szene wurden 4 zusammenhängende Objekte erkannt. Personen, die mit ähnlicher Geschwindigkeit nah beieinander laufen, können nicht separiert werden. (siehe links unten)

Grenzen:

Bewegen sich mehrere Objekte nebeneinander oder hintereinander in die gleiche Richtung mit ähnlichen Geschwindigkeiten (Personengruppen), so können diese nicht voneinander getrennt werden. Bei der Personenerkennung durch Cluster ist ein weiteres Problem, dass sich verschiedene Körperteile meist unterschiedlich bewegen. So kann es vorkommen, dass Füße, Arme und Körper je als eigener Cluster erkannt werden.

c. Streckungsrate

Die Streckungsrate (Divergenz) ist eine bekannte Größe der Fluid Dynamik. Sie beschreibt den lokalen Rein- und Rausfluss. Bezogen auf Menschenmengen beschreibt sie die lokale Änderung der Dichte. Allgemein steigt der Druck durch die Erhöhung der Dichte. Durch die Streckungsrate könnten also gefährliche Szenen lokalisiert werden.

Berechnung:

Die Streckungsrate berechnet sich allgemein zu:

$$DR(x,y) = div(\vec{v}\,(x,y)) = \quad \frac{\vartheta v_x(x,y)}{\vartheta x} + \frac{\vartheta v_y(x,y)}{\vartheta y} \qquad (6)$$

Da in diesem Fall die Informationen über die Geschwindigkeitsverteilung über das Vektorfeld diskret gegeben ist, ändert sich die Formel Näherungsweise zu:

$$DR(x,y) = (v_x(x-1,y) - v_x(x+1,y)) + (v_y(x,y-1) - v_y(x,y+1)) \qquad (7)$$

Beispiel:

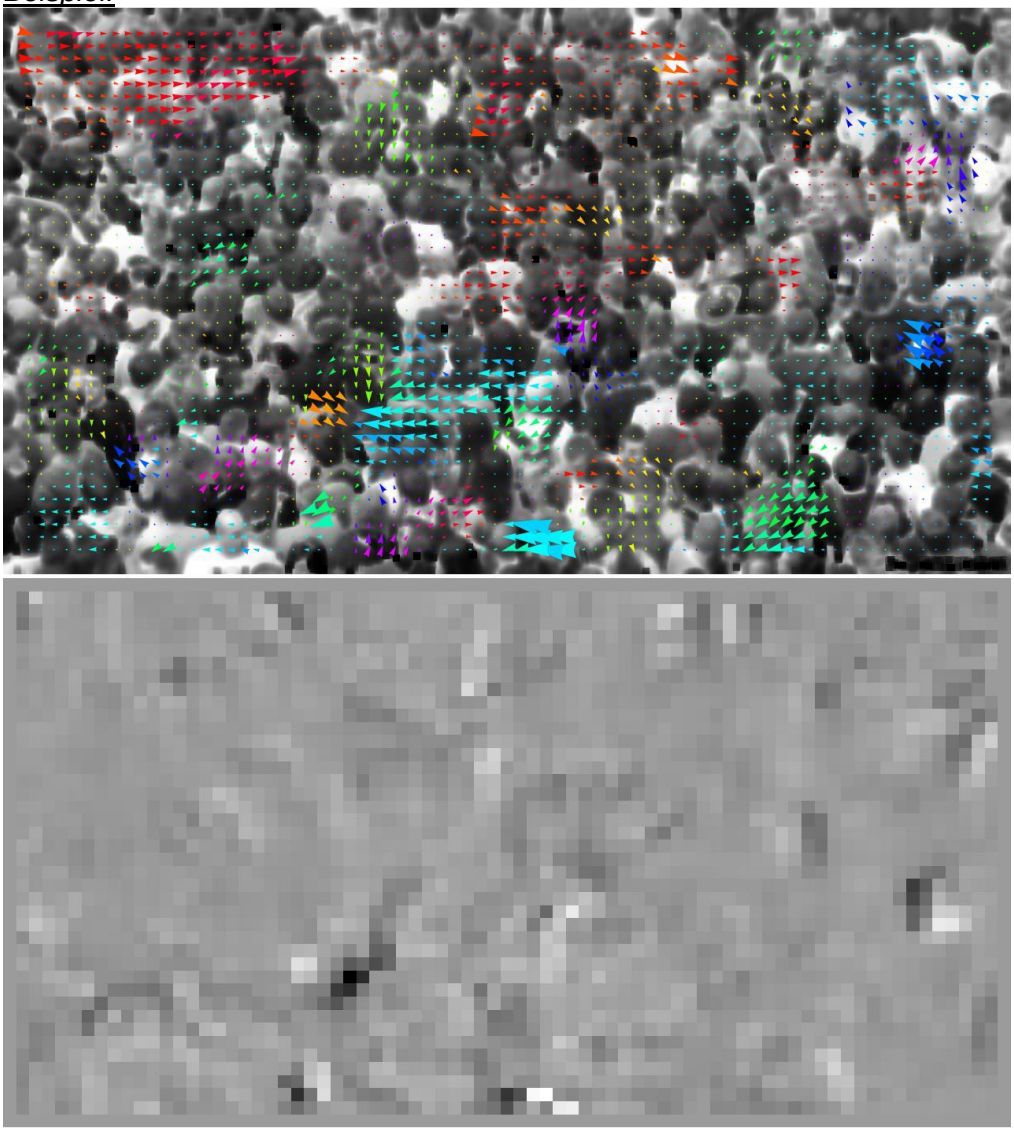

Abbildung 8: Clusterbildung aus Vektorgruppen

Die dunklen Stellen in Abb. 8 bedeuten eine lokale Dichteerhöhung, die hellen eine Verringerung.

d. Mitteln

Um in dichten wabernden Menschenmengen die Hauptströmungen zu visualisieren können die Vektorfelder über mehrere Frames gemittelt werden. Kleinere zufällige Bewegungen mitteln sich dabei raus.

Berechnung:

Von jedem Vektor wird der zeitliche Mittelwert berechnet.

$$\vec{V}'(x,y,f) = \frac{\sum_{i=f-a}^{i=f} \vec{V}(x,y,f)}{a+1} \quad (8)$$

Beispiele:

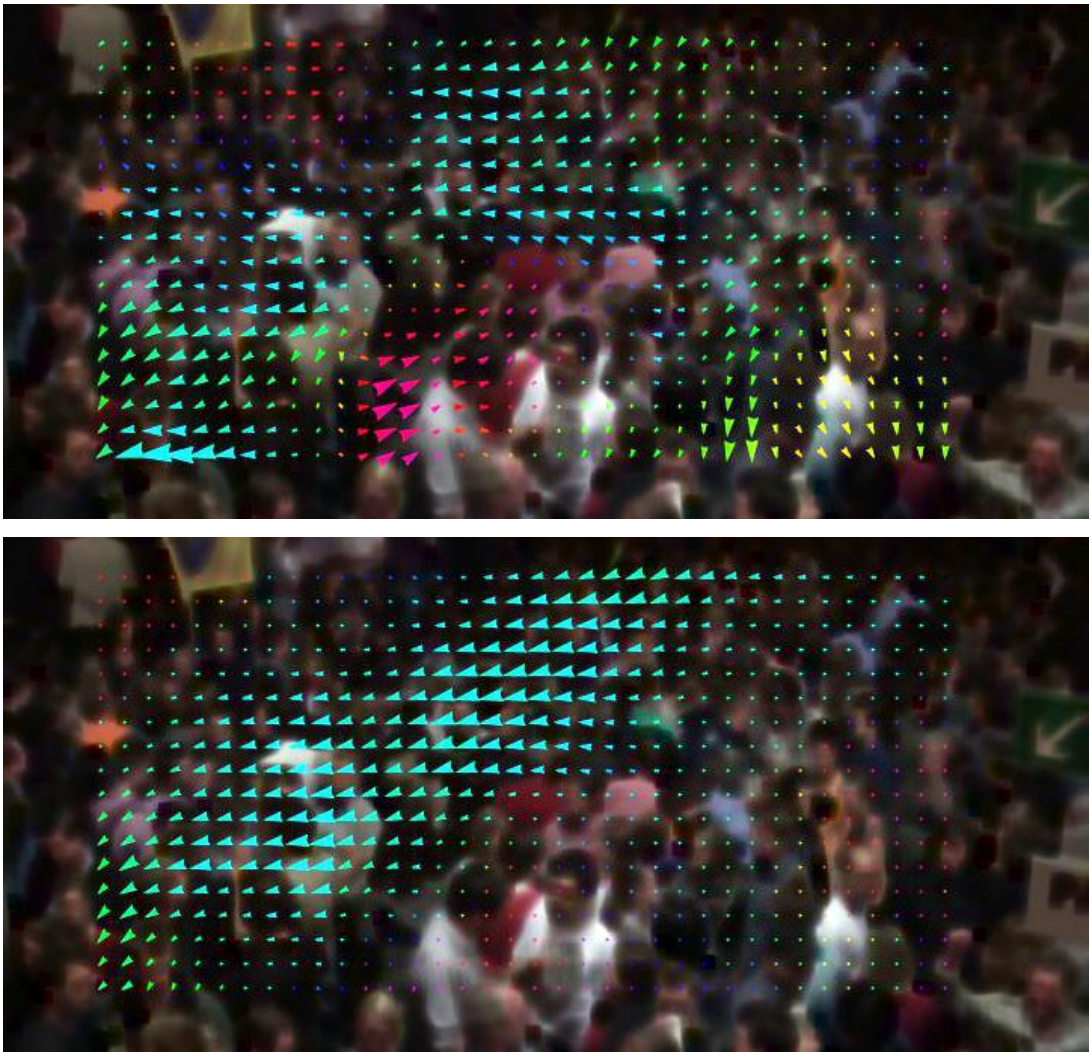

Abbildung 9: Mittelwertbildung von mehreren aufeinanderfolgenden Vektorfeldern zeigt eine Hauptströmungsrichtung auf, hier am Beispiel einer dichten Menschenmenge, (Fest in Erlangen, vom vfdb zur Verfügung gestellt)

Abb. 9 zeigt oben eine Szene eines Fests in Erlangen ohne gemittelte Vektoren. Es sind verschiedene Strömungen sichtbar. Das Bild unten zeigt die gleiche Szene zum gleichen

Zeitpunkt, wobei die Vektoren über die letzten 50 Frames (2 Sekunden) gemittelt wurden. Die Hauptströmung ist deutlich sichtbar.

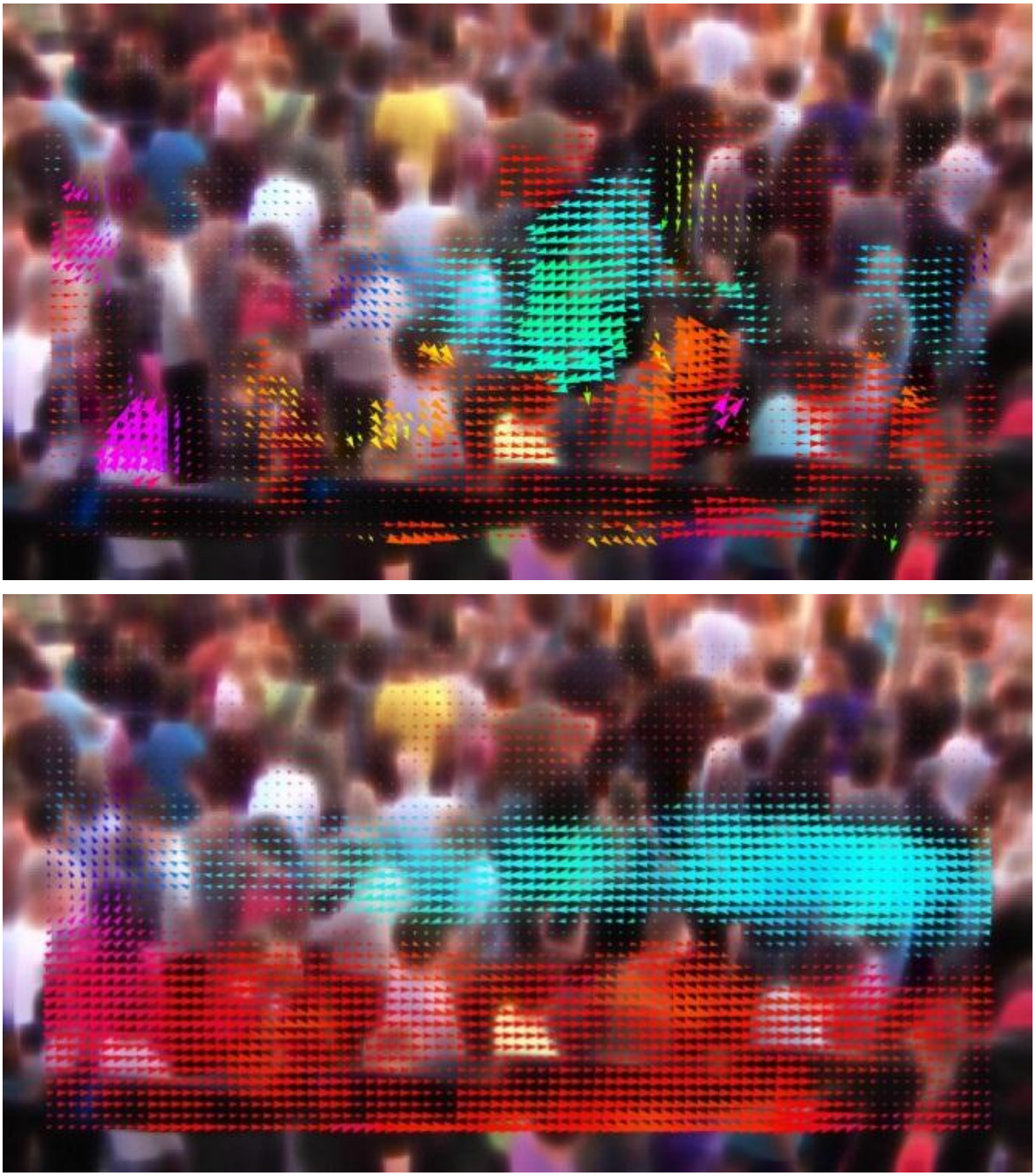

Abbildung 10: Hauptbewegungsrichtungen in einer dichten Menschenmenge auf der Cranger Kirmes (vom vfdb zur Verfügung gestellt)

Die Bilder in Abb. 10 zeigen eine Szene der Cranger Kirmes. Auf dem unteren Bild sind die drei Wegspuren deutlich erkennbar (gemittelt über 75 Frames, 3 Sekunden).

e. Wirbelstärke

Eine weitere wichtige Größe der Strömungslehre ist die Wirbelstärke. Diese berechnet sich aus der Rotation der Vektoren und gibt den Grad der Verwirbelung an.

Berechnung:

Die Wirbelstärke berechnet sich Allgemein aus der Rotation des Vektorfeldes.

$$\vec{W} = rot\vec{V} \tag{9}$$

Da in diesem Fall das Vektorfeld nur in einer 2D-Ebene liegt, reicht es aus die z-Komponente der Wirbelstärke zu betrachten.

$$\vec{W_z} = (\frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y})\vec{e}_z \tag{10}$$

Beispiel:

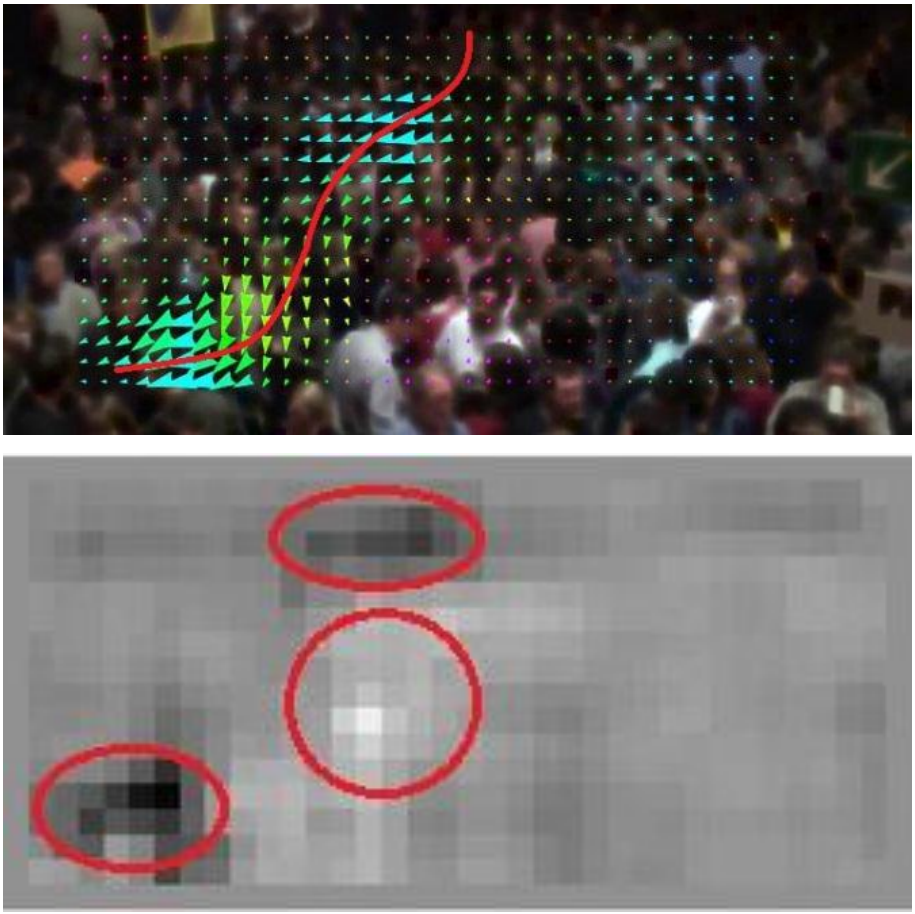

Abbildung 11: Wirbelbildung in einer dichten Menschenmenge (Fest in Erlangen, vom vfdb zur Verfügung gestellt)

Hell sind in Abb.11 dargestellt: Wirbel gegen Uhrzeigerrichtung; Dunkel: Wirbel in Uhrzeigerrichtung.

3. Template Matching

Das Template Matching kann nicht nur zur Erzeugung des Vektorfeldes (basiert auf der Korrelation) verwendet werden (siehe Kap. 3), sondern auch zum Erkennen oder Verfolgen von Objekten wie beispielsweise Personen.

Anwendungen

a. Personendichte

Bei dichten Menschenmengen sind auf den Videobildern hauptsächlich nur die Köpfe der beteiligten Personen sichtbar. Köpfe erscheinen als leicht elliptische Objekte. Wird nun ein passendes Template generiert, das in etwa den Maßen der sichtbaren Köpfe entspricht, so ist es möglich dieses generierte Template in dem Videobild zu suchen und die Treffer im Idealfall den Köpfen der Personen zuzuordnen.

Berechnung:

Zur Berechnung wird wiederum die Kreuzkorrelationsfunktion angewandt. Hierbei wird jedoch als Suchbild H(i,j) ein generiertes Template verwendet, dass nun im gesamten Bildbereich „gesucht wird“. Da das gesuchte Objekt öfter im Bild vorkommt, wird nun nicht nur das absolute Maximum der Funktion betrachtet, sondern alle Punkte, die einen bestimmten Schwellwert überschreiten. Das Korrelationsbild wird anschließend binarisiert. Nun müssen die entstandenen Cluster mittels morphologischen Operationen voneinander getrennt und ihre Schwerpunktkoordinaten bestimmt werden. Die Anzahl der Koordinaten entspricht nach geeigneter Parameterwahl dann näherungsweise der Personenanzahl.

Beispiel:

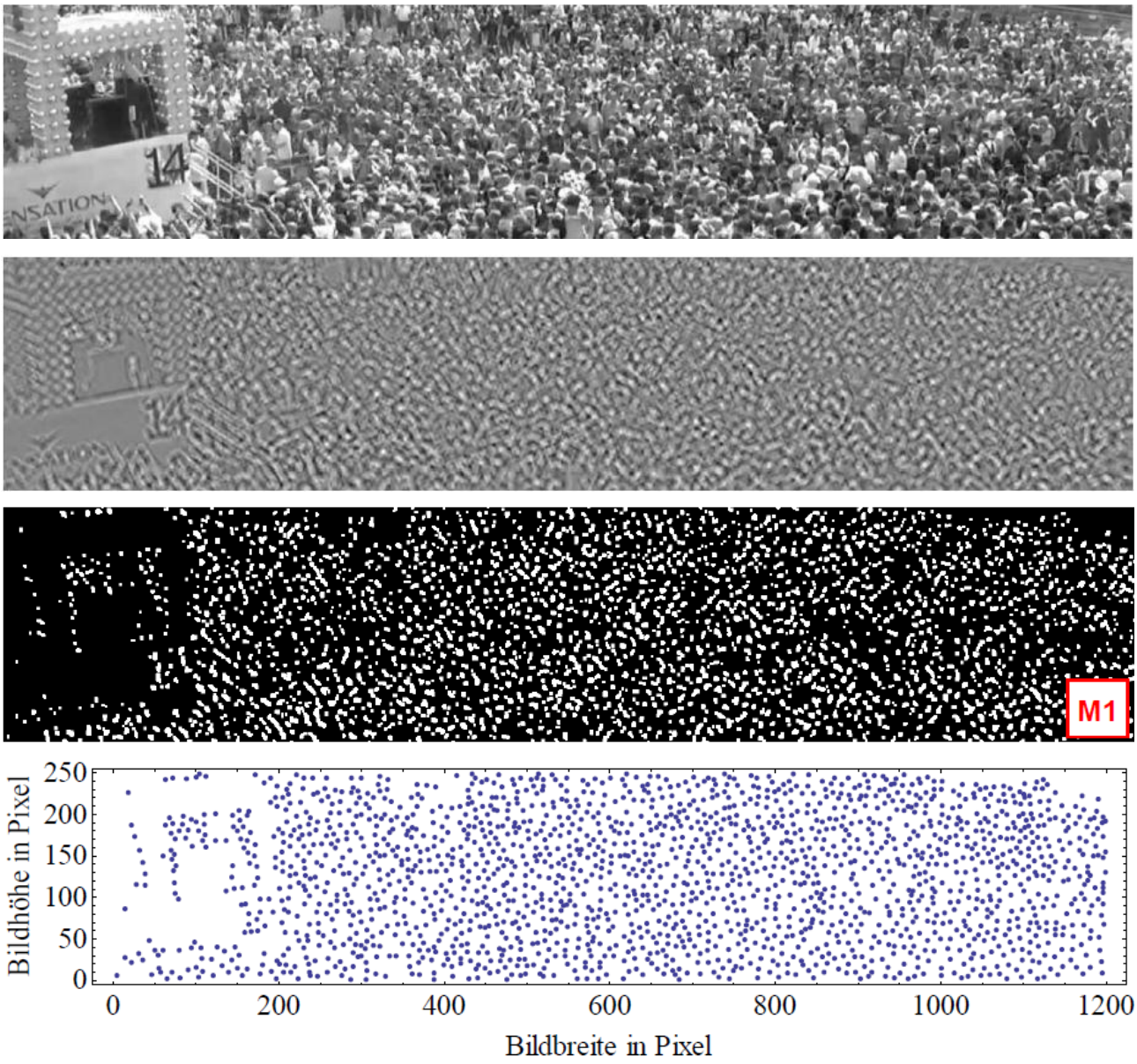

Abbildung 12: Ein Personenstrom, der einem LKW folgt (Loveparade Duisburg 2010, vom vfdb zur Verfügung gestellt)

In Abb. 12 ist oben eine Szene der Loveparade Duisburg 2010 gezeigt. Das zweite Bild zeigt das Ergebnis der Korrelationsfunktion. Nach Binarisierung und verschiedenen Morphologischen Operationen folgt das dritte Bild. Im unteren Bild sind schließlich die Koordinaten der einzelnen Cluster dargestellt.

b. Halbautomatisches Tracking

Eine weitere Möglichkeit das Template Matching zu nutzen ist das halbautomatische Tracking. Personen müssen hierbei zunächst manuell erkannt und selektiert werden. Die weitere Berechnung erfolgt dann weitgehend automatisch.

Berechnung:

In einem Startframe f wird ein Objekt markiert. Aus dem Bildausschnitt in dem sich das Objekt befindet wird dann ein Template generiert. Dieses wird im Folgeframe f+1 in der Nachbarschaft, um die ursprüngliche Position mit Hilfe der Kreuzkorrelation gesucht. Im Folgenden wird dann an der neuen Position, an der das Objekt wieder identifiziert wurde automatisch ein neues Template generiert. Dies hat den Vorteil, dass sich das Template an die möglicherweise ändernde Erscheinung des Objekts, beispielsweise durch variierende Lichtverhältnisse oder durch Rotation des Objekts, anpasst. Das neue Template wird im darauffolgenden Frame f+2 wiederum gesucht. Die letzten beiden Schritte können dann solange wiederholt werden, bis das Objekt den Bildbereich verlässt. (siehe Abb. 13)

Probleme treten auf, wenn das Objekt von anderen Objekten verdeckt wird, oder sich nur schwach vom Hintergrund abhebt. Dann muss unter Umständen die Position des Templates manuell nachjustiert werden.

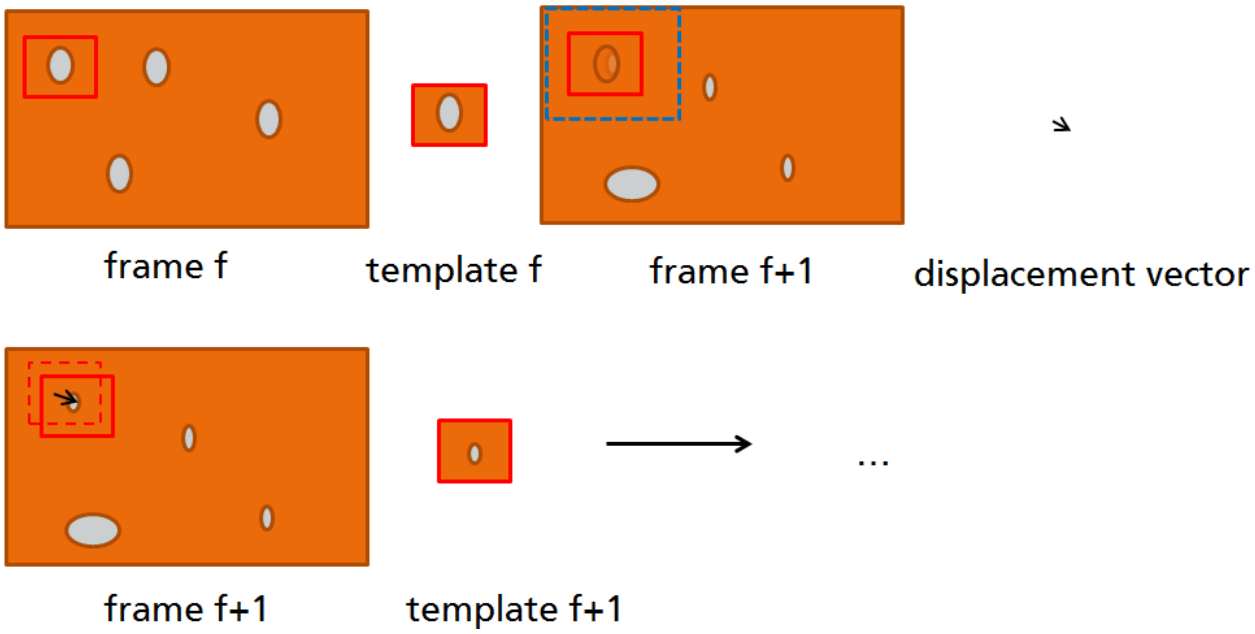

Abbildung 13: Schema des Template Matching

Beispiel:

Abbildung 14: Tracking einer Person (Cranger Kirmes, vom vfdb zur Verfügung gestellt)

In Abb.14 wurde der Kopf einer Person als Objekt selektiert. Die rote Spur setzte sich aus den zeitlich verschiedenen Positionen des Objekts zusammen. Die Person hat sich in dem Beispiel vom rechten Bildrand hin zum linken bewegt.

c. Impuls-Dichte-Feld

Das Impulsdichtefeld ist eine Kombination aus dem Vektorfeld und dem halbautomatischen Tracking. Es kann als eine Art gewichtetes Vektorfeld verstanden werden.

Berechnung:

Zur Berechnung müssen zunächst die Personenpositionen in ein Dichtefeld umgewandelt werden. Hierzu wird eine Null-Matrix mit der Größe eines Videobildes erzeugt. An jeder Personenposition und deren Nachbarschaft wird nun der Wert der Matrix um 1 angehoben. Wird die Nachbarschaft zu 1m² gewählt, so kann man aus der resultierenden Matrix die lokale Dichte ablesen. (Abb. 15)

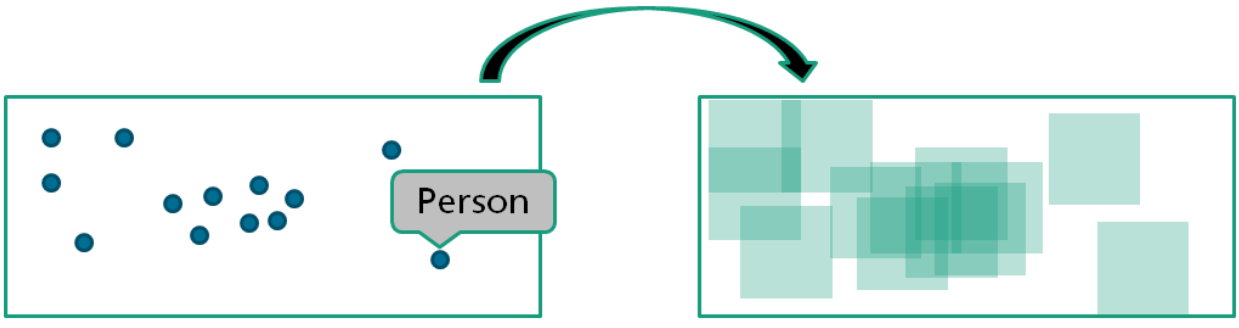

Abbildung 15: Schema zur Erzeugung eines Impuls-Dichte-Feldes aus Personendichten und -geschwindigkeiten

Anschließend wird die Länge jedes Vektors des Vektorfeldes mit dem entsprechenden lokalen Dichtewert multipliziert.
Das Impulsdichtefeld berechnet sich daher zu.

$$\vec{\mathcal{P}}(x,y) = \vec{V}(x,y) * \rho(x,y) \qquad (11)$$

Beispiel:

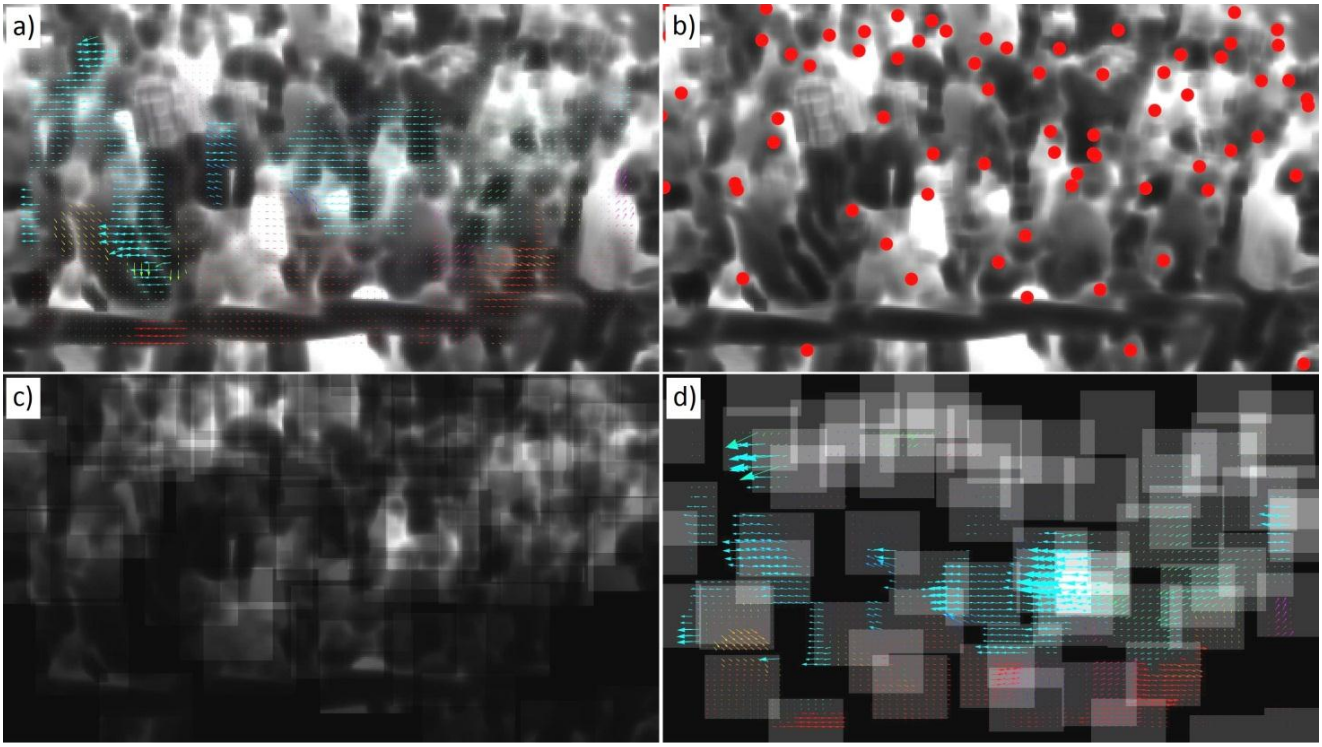

Abbildung 16: Impulsdichtefeldermittlung einer dichten Menschenmenge (Cranger Kirmes, vom vfdb zur Verfügung gestellt)

In Abb. 16 a) ist ein anonymisiertes Bild eines Videos von der Cranger Kirmes mit überlagertem Vektorfeld dargestellt. Abb. 16 b) zeigt die erzeugten Personenkoordinaten, die durch das halbautomatische Tracking erzeugt wurden. Die daraus berechnete lokale Dichte ist in c) zu sehen. Das Resultat d) zeigt schließlich die Impulsdichtevektoren mit überlagertem Dichtefeld an.

4. Bildkomprimierung zur Spurenerzeugung (Spurenmethode)

Die eindimensionale Spurenmethode ist eine Möglichkeit zur Abschätzung der Einzelpersonengeschwindigkeit entlang einer Bewegungsachse innerhalb eines definierten Zeitraums, der durch Bildsequenzen definiert ist. Der Gedanke hinter dieser Methode ist es, markante Strukturen der Bilder oder der Bildausschnitte durch Komprimierung in einer Dimension zu verstärken und deren Position auf den nachfolgenden Bildern in gleicherweise wiederzufinden. Das ganze Video kann dadurch zu einem Bild zusammengefasst werden,

wobei nur die Bewegungen senkrecht zur Kompressionsrichtung sichtbar werden. Die bewegten Objekte im Video erscheinen im resultierenden Bild als Spuren. Im Gegensatz zu einer Trackingmethode wird der Bewegungsverlauf der Objekte nur in einer Richtung nachverfolgt, also x(t)- oder y(t)-Diagramme erzeugt. Dies geschieht durch die Erzeugung einer Matrix, der sogenannten Spurenmatrix T, in der die Zellenwerte jeder berechneten Zeile T_i in die Spurenmatrix eingetragen werden. Jede Zeile der Spurenmatrix entspricht damit einem Einzelbild der Videosequenz. Analoges gilt für die 2. Dimension zur Erzeugung von Spuren y(t).

$$T_i(x) = \sum_{y=1}^{y_{max}} g_i(x, y) \quad (12)$$

$$T_i(y) = \sum_{x=1}^{x_{max}} g_i(x, y) \quad (13)$$

Abbildung 17: Skizzierung der Bildkompression in x-Richtung:

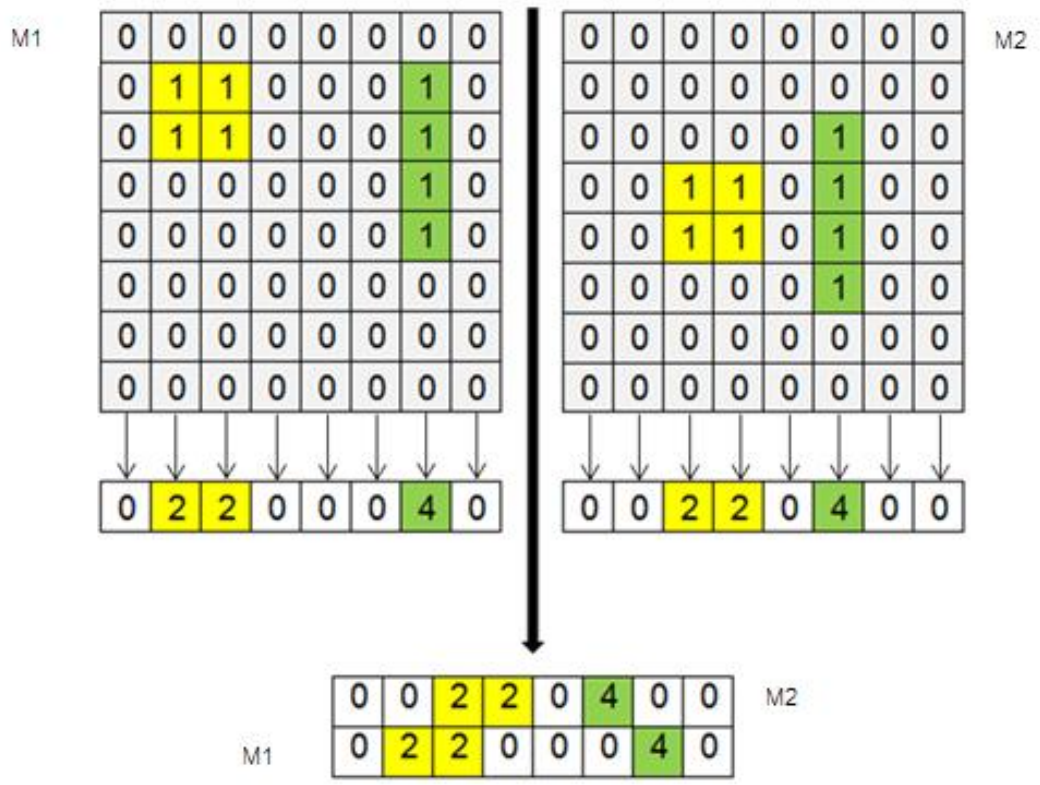

Abbildung 18: Skizzierung der Bildkompression in eine Dimension: markante Strukturen mit 1 bezeichnet werden in y-Richtung (Spalte) komprimiert, Bilder M1 und M2 bilden je eine aufeinander folgende Zeile, die Spuren x(t) erzeugen.

Abb.18 zeigt die Berechnung der Spurenmatrix T. Aus jeder Bildmatrix M wird durch Summation der einzelnen Elemente eine Zeile T_i berechnet. Werden diese Zeilen aneinandergefügt, so entsteht die Spurenmatrix T. Die Spurenmatrix ist demnach ein x-t Diagramm.

Die Kompressionsrichtung wird meist in y-Richtung gewählt. Dies hat im Wesentlichen zwei Vorteile. Zum einen ist die Ausdehnung der Personen aufgrund der meist in y-Richtung geneigten Perspektive größer als in x-Richtung und zum anderen haben die Videos meist ein solches Format, dass die Bildbreite größer als die Bildhöhe ist. Daraus ergibt sich, dass der relative Anteil der Personen zur Bildachse in y-Richtung deutlich größer ist, wodurch die Spuren sowohl deutlicher erkennbar als auch schärfer sind. Dieses Verhalten ist in Abb. 17 dargestellt.

Beispiel:

frame 190

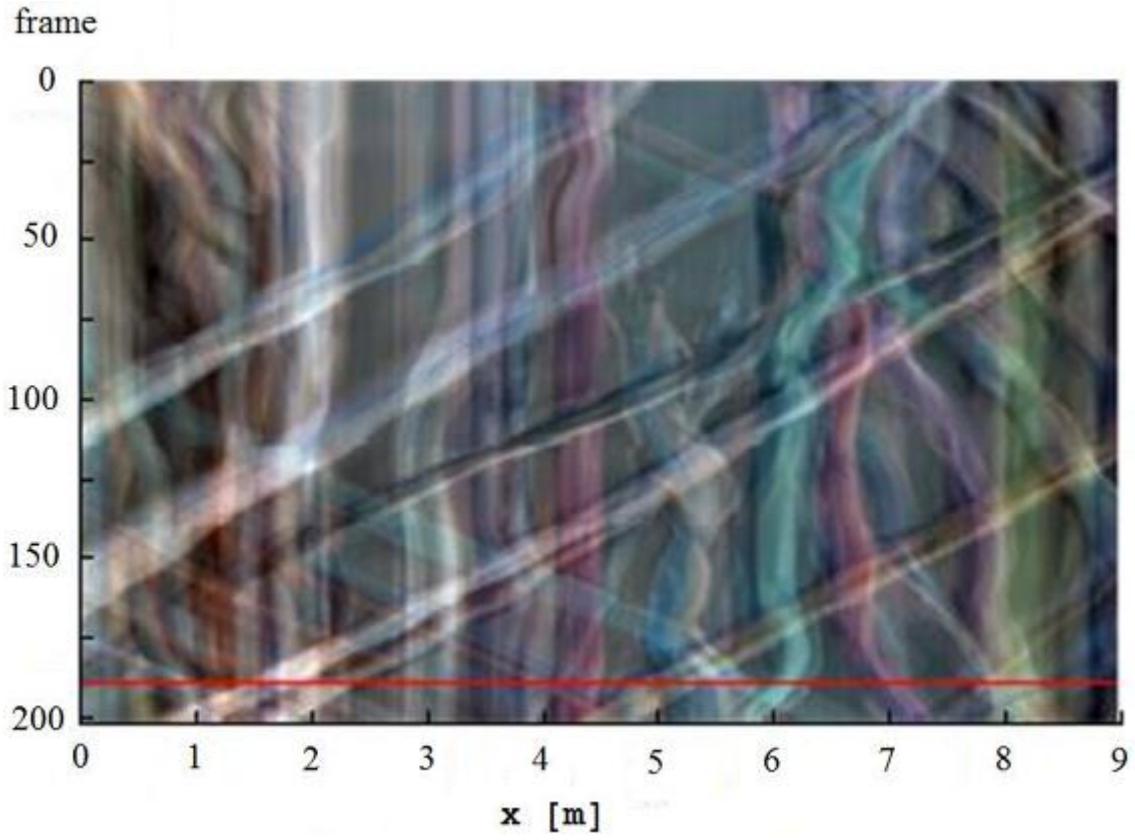

Abbildung 19: Spuren x(t) aus Personenbewegungen erzeugt, bei Verlauf quer zur Kamera entsprechen diese nach Kalibrierung der tatsächlichen Bewegung (Cranger Kirmes, vom vfdb zur Verfügung gestellt). Die eingezeichnete rote Linie im Spurenbild markiert den Zeitpunkt des oberen Bilds.

Um das störende Hintergrundrauschen, bzw. unbewegte Objekte aus dem Spurenbild zu entfernen, kann vor der Spurenmethode das bereits vorgestellte Differenzverfahren angewandt werden.

Auswertung:

a. Geschwindigkeitsverteilung

Die Spurenbilder zeigen den Verlauf der Objektposition senkrecht zur Kompressionsrichtung an. Anhand der Steigung der Spuren können bei bekannter Perspektive und Bildfrequenz die Geschwindigkeitskomponenten senkrecht zur Kompressionsachse berechnet werden.

$$v_x = \frac{\Delta x[Px]}{\Delta y[Px]} \cdot c\left[\frac{m}{Px}\right] \cdot f[Hz \cdot Px] \qquad (14)$$

b. Bestimmung der bewegten Dichte

Werden die vorhanden Spuren gezählt, so können die bewegten Personen ausgezählt werden, die sich bewegen. Dies gelingt indem das Spurenbild aus Differenzbildern erzeugt wird. Jedes bewegte Objekt verursacht nun einen Peak in der Spurenzeile. Durch auszählen der Peaks, kann auf die bewegten Objekte und damit die bewegte Dichte geschlossen werden. Problematisch wird es hierbei wenn sich mehrere Personen in y-Richtung überlappen, da das Bild in y-Richtung gemittelt wird. Die Personen sind dann nicht mehr auseinander zu halten.

5. Verwendete Software

Wolfram Research stellt mit Wolfram Mathematica® eines der meistbenutzten Softwarepakete im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Mathematica verfügt über eine Programmieroberfläche und lässt eine abstrakte Programmierung zu. Neben Text unterstützt dieser auch mathematische Sonderzeichen. Aufgrund der guten grafischen zwei und drei-Dimensionalen grafischen Aufbereitung von Ergebnissen eignet sich Mathematica um neue Methoden zu entwickeln und zu testen. Durch die Möglichkeit von parallelen Berechnungen können rechenintensive Programme und Routinen effizient berechnet werden. Bildauswertung kann mit einer Fülle von Routinen betrieben werden, Videos können direkt importiert und in verschiedensten Formen weiterverarbeitet werden. Durch Live-Manipulation können Variablen in Berechnungen bzw. Programmen schnell angepasst werden, um diese zu optimieren. Mithilfe des "Manipulate" Befehls ist es möglich relevante Parameter einer Berechnung per Regler zu verändern und das Ergebnis mit geringem Zeitverzug direkt zu betrachten. Mit diesem Tool ist es möglich relevante Parameter in kurzer Zeit optimal einzustellen. Der Einstellungsbereich, sowie die Einstellungsschritte müssen im Vorfeld definiert werden. Least-Square-Fit-Verfahren lassen sich mit Hilfe von Mathematica ebenfalls leicht berechnen. Wolfram Mathematica® enthält überdies viele Routinen zur

Bildverarbeitung wie Korrelation oder Morphologische Methoden. Erarbeitete Ergebnisse können in Form von Datensätzen, Grafiken oder Videos exportiert werden.

Des Weiteren wurde ein eigen entwickeltes Auswerteprogramm verwendet, welches das Auswerteprogramm PIVview miteinbezieht. PIVview wurde vom DLR Göttingen entwickelt und ist ein kompaktes Programm zur PIV (Particle Image Velocimetry). Mathematische Funktionen wie die Autokorrelation und die Kreuzkorrelation sind in Form von schnellen Algorithmen in dieser Software implementiert. Dies ermöglicht einen subpixelgenauen Vergleich von einer Vielzahl importierter Aufnahmen. Die Aufnahmen werden in gerastert und in Auswertefelder zerlegt. Durch die Korrelation zweier Auswertefelder an gleicher Position in 2 verschiedenen Aufnahmen kann deren Verschiebung Berechnet werden. PIVview verfügt über verschiedenen Berechnungsalgorithmen für Korrelations- sowie Peak-Detektionsmethoden. Die Ergebnisse können als Grafik oder als Datensatz ausgegeben werden. PIVview verfügt über eine Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten. Eine dieser ist die Definierbarkeit des ROI. Es ist möglich lediglich einen Teilbereich der importierten Bilder zu analysieren. Weiterhin kann die Bildebene kalibriert werden. Die Breite/Länge eines Pixels kann direkt in µm, mm, cm oder m angegeben werden. Das Tool wurde zur Erzeugung der Vektorfelder verwendet. Die weitere Verarbeitung der Vektorfelddaten erfolgte mit Wolfram Mathematica®.

II. 1.1.3 Anwendungen auf Großveranstaltungen

Die ausgearbeiteten Methoden wurden auf eine Reihe von Videos angewendet, die die Partner aufgenommen und zur Verfügung gestellt hatten. Die erhaltenen Ergebnisse wurden gemeinsam diskutiert. Für diesen Bericht wurden einige Auswertungen ausgewählt, um einerseits die Leistungsfähigkeit und die Grenzen der Methoden aufzuzeigen, als auch bestimmte Phänomene zu dokumentieren. Allerdings können für diese Aussagen, die eine hohe statistische Untermauerung erfordern würden, nicht als repräsentativ angesehen werden, da dazu noch erheblich umfangreichere Untersuchungen erforderlich wären.

II. 1.1.3.1 Zuschauer beim Stadionverlassen nach einem Fußballspiel

Als Beispiel für einen Personenstrom wurden einstündige Videoaufnahmen einer Menschenmenge gemacht, die diese beim Verlassen des Stadions nach einem Fußballspiel zeigen. Es zeigt das Anschwellen des Personenstroms zu einer hohen Dichte und das Abschwellen gegen Ende. An verschiedenen Stellen des Videos treten daher verschiedene Personendichten auf (Abb. 20).

Dichtebestimmung aus den Geschwindigkeitshistogrammen:

Für das Video wurden Vektorfelddaten mit Hilfe des Programms PIV View erzeugt. Diese Daten repräsentieren Verschiebungen von Objekten im Videomaterial. Um aus den Verschiebungsdaten Geschwindigkeiten zu berechnen, muss sowohl die Perspektive als auch die Aufnahmefrequenz bekannt sein. Die Aufnahmefrequenz lag hier bei 25 Bildern/Sekunde. Da die Perspektive unbekannt war und die Objekte im Hintergrund nur sehr wenig Hinweise geben, musste die Perspektive aus den Körperproportionen berechnet werden. Die Hauptbewegungsrichtung des Menschenstroms lag in x-Richtung zur Bildachse. Daher reicht es aus die Skalierung in x-Richtung abhängig zur Höhe y im Bild zu berechnen. Als zweckmäßig erwies sich hierbei die Messung der Kopfbreiten von Personen an verschiedenen Stellen. Nach DIN 33402-2 beträgt die Kopftiefe für Männer im Schnitt 195mm und für Frauen 185mm. Anhand dieser Daten und den gemessenen Kopftiefen in Pixeln konnte eine Funktion zur perspektivischen Korrektur abgeleitet werden (Abb.21).

Abbildung 20: Selektierte Bilder aus einstündigen Videoaufnahmen der Menschenmenge beim Verlassen des Stadions nach einem Fußballspiel (Video von Feuerwehr Dortmund)

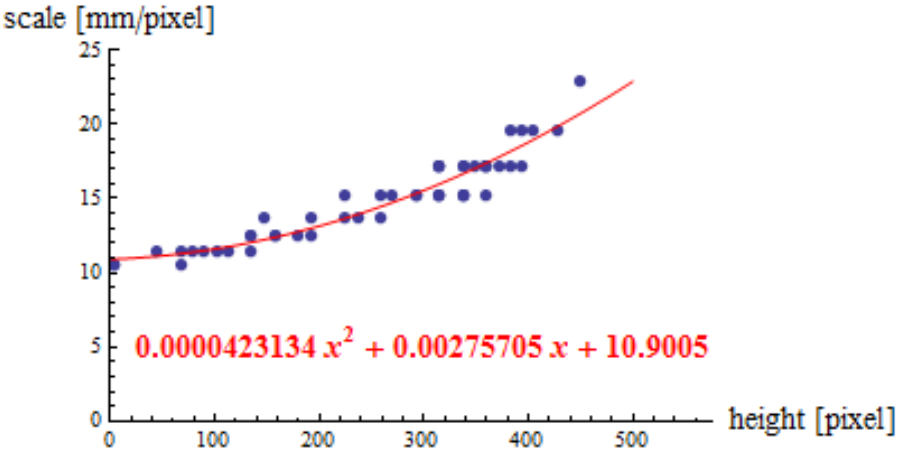

Abbildung 21: Perspektivische Korrektur durch Anpassung der Standardkopfgrößen

Anhand der Funktion (Abb.21: rote Funktion) und der Bildwiederholungsrate konnten die Verschiebungen in Geschwindigkeiten umgerechnet werden. Die Geschwindigkeiten wurden schließlich in je einem Histogramm pro Bild dargestellt. Typische Histogramme in Abhängigkeit zur Dichte sind in Abb. 22 dargestellt.

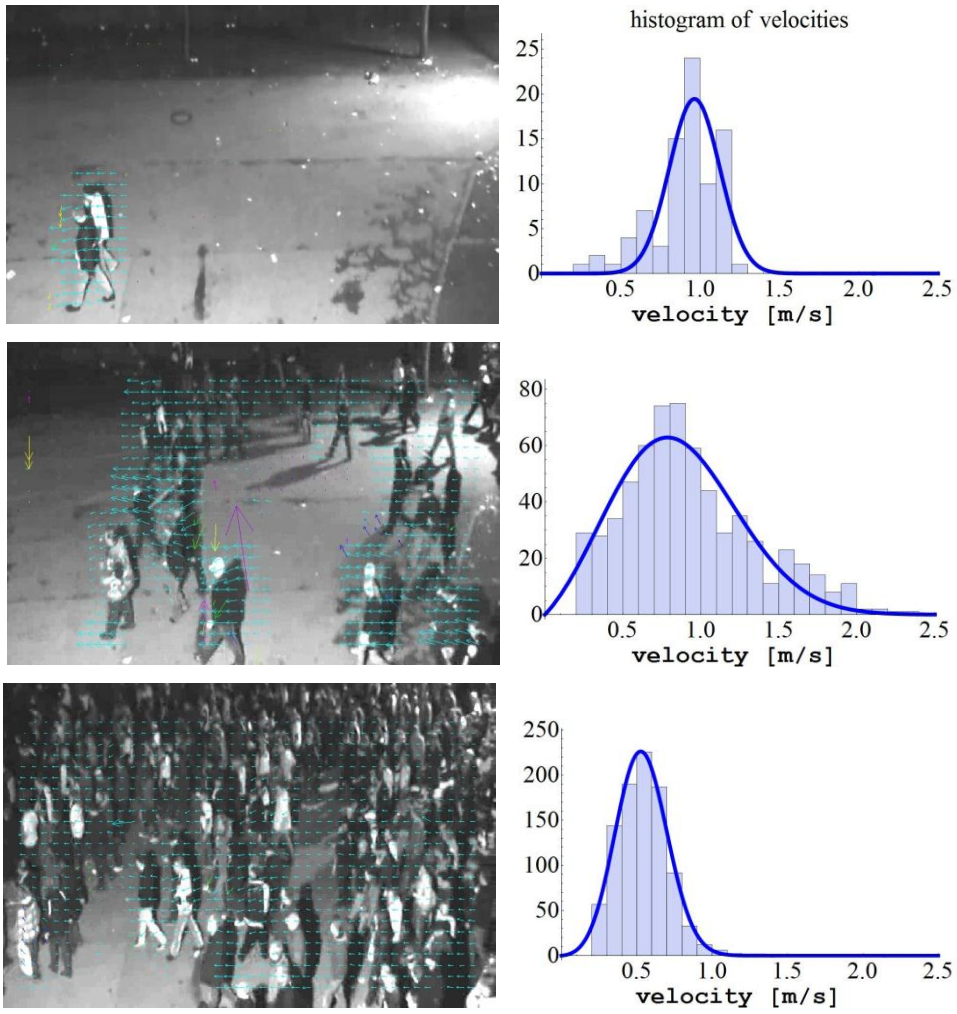

Abbildung 22: Perspektivische Korrektur durch Anpassung der Standardkopfgrößen

Beim Vergleich der Histogramme der drei verschieden dichten Szenen aus Abb. 22 fällt auf, dass sich die Lage des Maximums der Geschwindigkeitsverteilung (blaue Kurve) mit steigender Dichte hin zu kleineren Geschwindigkeiten verschiebt. Die Halbwertsbreite der Verteilung erreicht bei einer mittleren Dichte ihr Maximum und nimmt zu höheren Dichten hin wieder ab. Zur quantitativen Auswertung wurden nun die verschiedenen Positionen der Verteilungsmaxima und die Halbwertsbreiten gegenüber der Personenanzahl aufgetragen.

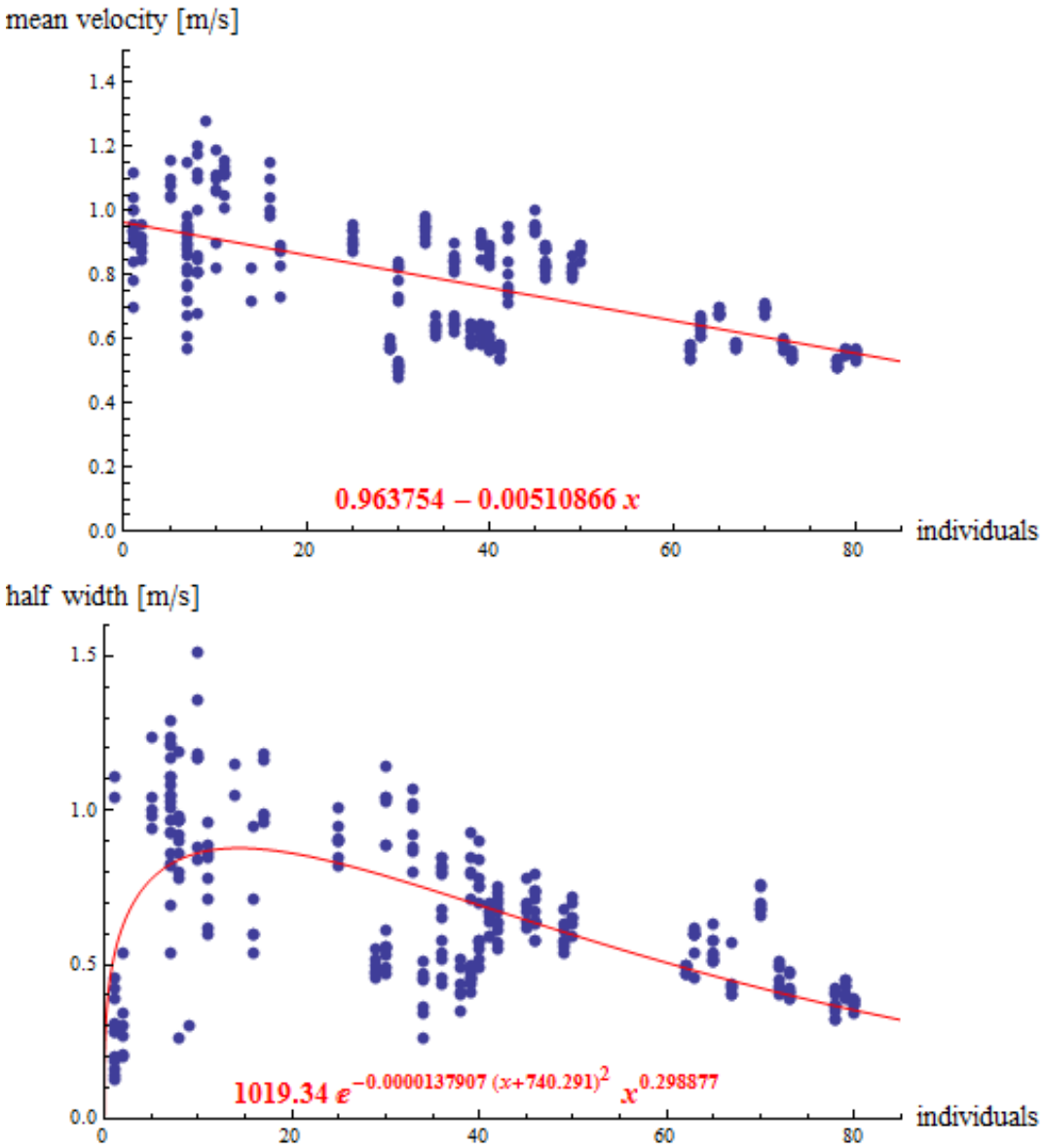

Abbildung 23: Perspektivische Korrektur durch Anpassung der Standardkopfgrößen

Interpretation: Für Szenen mit wenigen Personen liegt das Maximum der Geschwindigkeitsverteilung im Bereich von 1 m/s. Dieser Wert ist jedoch nur ein Mittelwert, der um ca. bis zu 0.4 m/s schwankt. Das Verhalten kommt daher, dass bei geringen Personendichten die Personen sich individuell und ungestört bewegen können. Jedes Individuum kann sich mit seiner favorisierten Geschwindigkeit fortbewegen. Steigt die Dichte

an, so wird der Mittelwert der Verteilungsmaxima geringer. Personen können nun nicht mehr ungehindert laufen und werden von ihren vorangehenden Personen ausgebremst. Die Streuung der Maxima nimmt außerdem ab, da sich die Personen immer mehr aneinander angleichen müssen. Die Halbwertsbreite der Geschwindigkeitsverteilung ist für eine Person sehr klein, da eine Person sich nur mit einer festen Geschwindigkeit fortbewegt. Die dennoch auftretende geringe Halbwertsbreite erklärt sich durch verschiedene Bewegungen von Körperteilen sowie durch Rauschen im Video. Bis zu einer gewissen Dichte (hier ca. 20 Personen) können die Personen noch ungehindert laufen. Die Halbwertsbreite nimmt im Mittel zu, da die Personen mit verschiedenen Geschwindigkeiten laufen können. Die Streuung der Halbwertsbreite ist hier allerdings auch sehr hoch, da es sowohl zufällig sein kann, dass sich die frei bewegenden Personen mit der gleichen Geschwindigkeit fortbewegen, als auch, dass sich die Geschwindigkeiten von allen Personen unterscheiden. Bei höheren Dichten nehmen Halbwertsbreite und ihre Schwankung um den Mittelwert wieder ab, da die Personen sich nicht mehr frei bewegen können. Sie müssen ihre Geschwindigkeit an das Kollektiv anpassen.

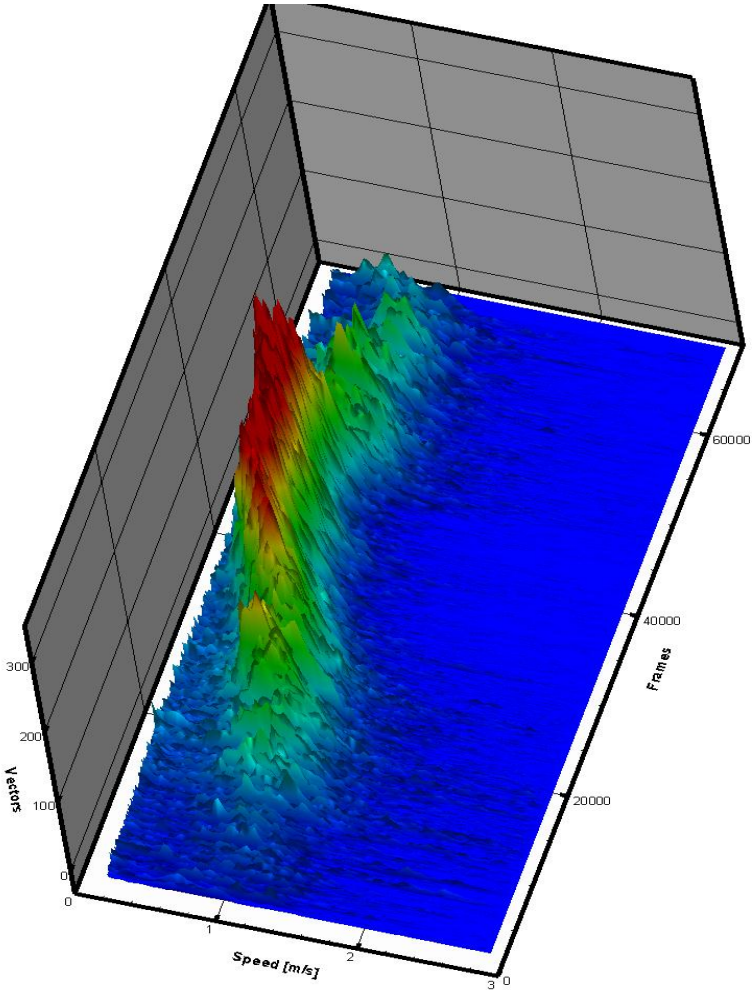

Abbildung 24: Verlauf der Geschwindigkeitsverteilung des kompletten Videos.

Das Video zeichnete auch eine Situation auf, bei der eine Gruppe von Sicherheitskräften sich gegen den Besucherstrom bewegt. Es zeigt sich, dass es dabei zu keiner spontanen Ausweichbewegung der entgegenströmenden Personen kommt, sondern diese rechtzeitig den Weg freimachen. Dieses Verhalten wird in nachfolgendem Abschnitt bestätigt.

Abbildung 25: Eine Gruppe von Rettungskräften bewegt sich gegen den Besucherstrom bei geringer bis mittlerer Dichte

II. 1.1.3.2 Begegnung auf einem Fußgängerübergang

Das Video „Kreuzung“ zeigt eine Szene, bei der viele Menschen an einem Zebrastreifen eine Straße überqueren. Dabei begegnen sie sich

.

Abbildung 26: Fußgängergruppen begegnen sich auf einem Zebrastreifen bei mittlerer Dichte

Verhalten bei gegenläufigen Laufrichtungen

Aus dem Kreuzungsvideo wurden zunächst die Differenzbilder berechnet und daraus ein Spurenbild generiert (Abb. 27). Dabei wurde zwischen der Anfangsphase und der Begegnungsphase unterschieden. In dem Spurenbild wurden automatisch Spuren erkannt und visualisiert (orange Linien in Abb. 28).

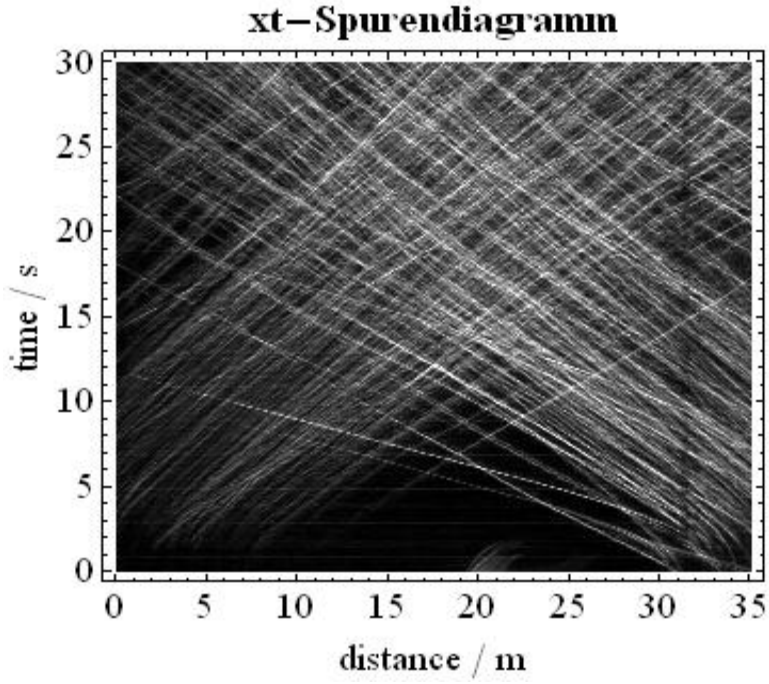

Abbildung 27: Spurenbild des Kreuzungsvideos

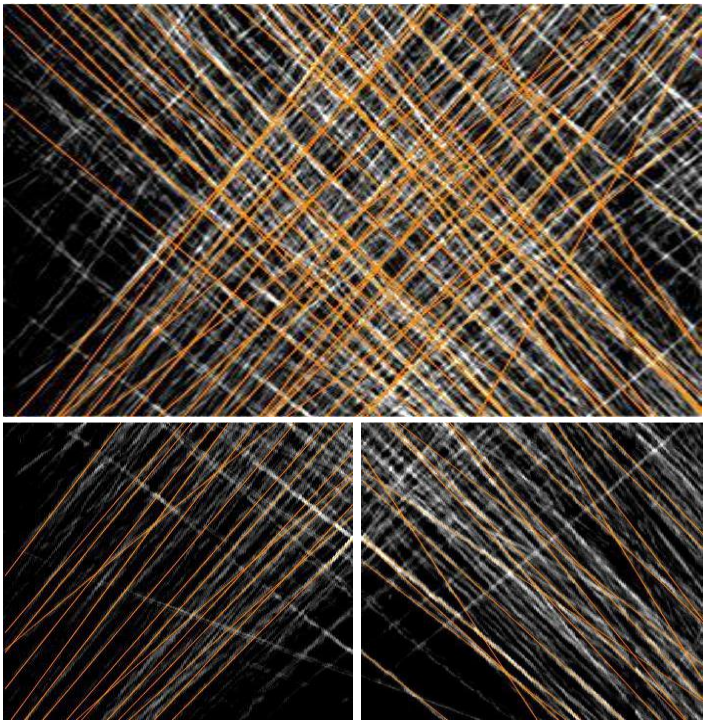

Abbildung 28: Ausgewählte Bereiche des Spurenbildes mit automatisch erkannten Spuren

Schon mit dem Auge lässt sich erkennen, dass die meisten der Steigungen der erkannten Spuren vor (Abb. 28 unten) und während der Begegnungsphase (Abb. 28 oben) ähnlich verlaufen. Auch die Diagramme spiegeln das wieder:

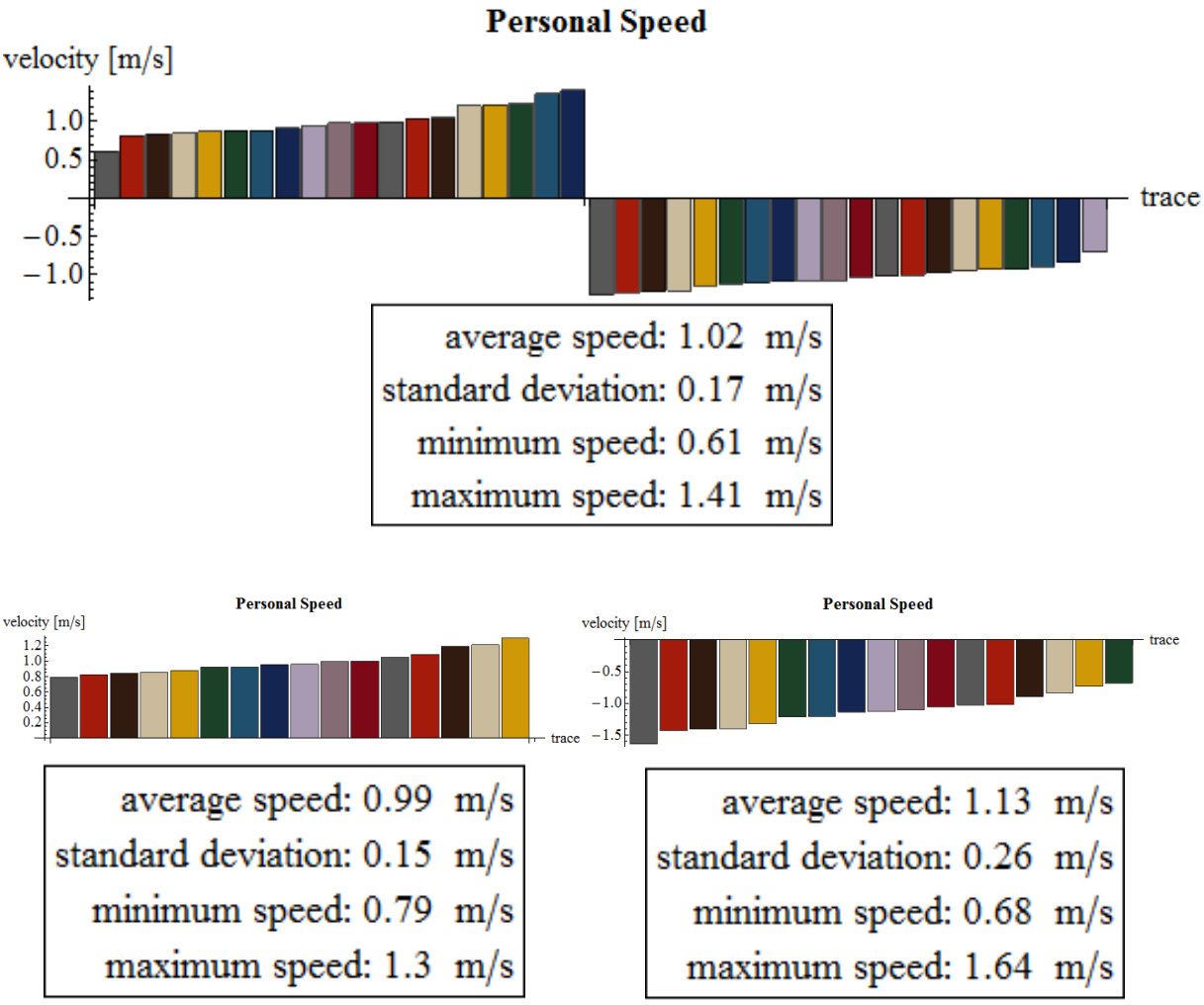

Abbildung 29: Fußgängergruppen begegnen sich auf einem Zebrastreifen bei mittlerer Dichte

Die mittlere Geschwindigkeit in der Begegnungsphase liegt im Bereich der mittleren Geschwindigkeit der Anfangsphase bei etwa 1 m/s. Auch die Abweichungen zum Mittelwert und die Extremgeschwindigkeiten stimmen mit der Anfangsphase gut überein. Bei dieser Dichte gelingt es den Personen rechtzeitig sich durch vorausschauendes Bewegungsverhalten gegenseitig auszuweichen, ohne dabei signifikant von ihrer Geschwindigkeit und Richtung (Eine Richtungsänderung würde im Spurenbild ebenfalls eine Geschwindigkeitsänderung zur Folge haben) abzuweichen.

II. 1.1.3.3 Bildausschnitte aus der Love Parade 2010

Zur Auswertung standen Überwachungsvideos der Love Parade 2010 zur Verfügung.

a) <u>Kollektivbewegung:</u>

In großen Menschenmengen kommt es häufig zu gefährlichen Situationen, wenn eine große Anzahl von Personen gemeinsam wellenartige Schwankbewegungen ausführen. Die einzelne Person in dieser Menge vermag sich dann kaum gegen diese Bewegung zu wehren und wird quasi „mitgerissen“. Ein solches Bewegungsverhalten ist dadurch bestimmt, dass sich auf einer großen Fläche Objekte mit gleicher Bewegung befinden, die quasi zu einem Objekt verschmelzen. Durch die Clustermethode kann ein solches Objekt identifiziert werden.

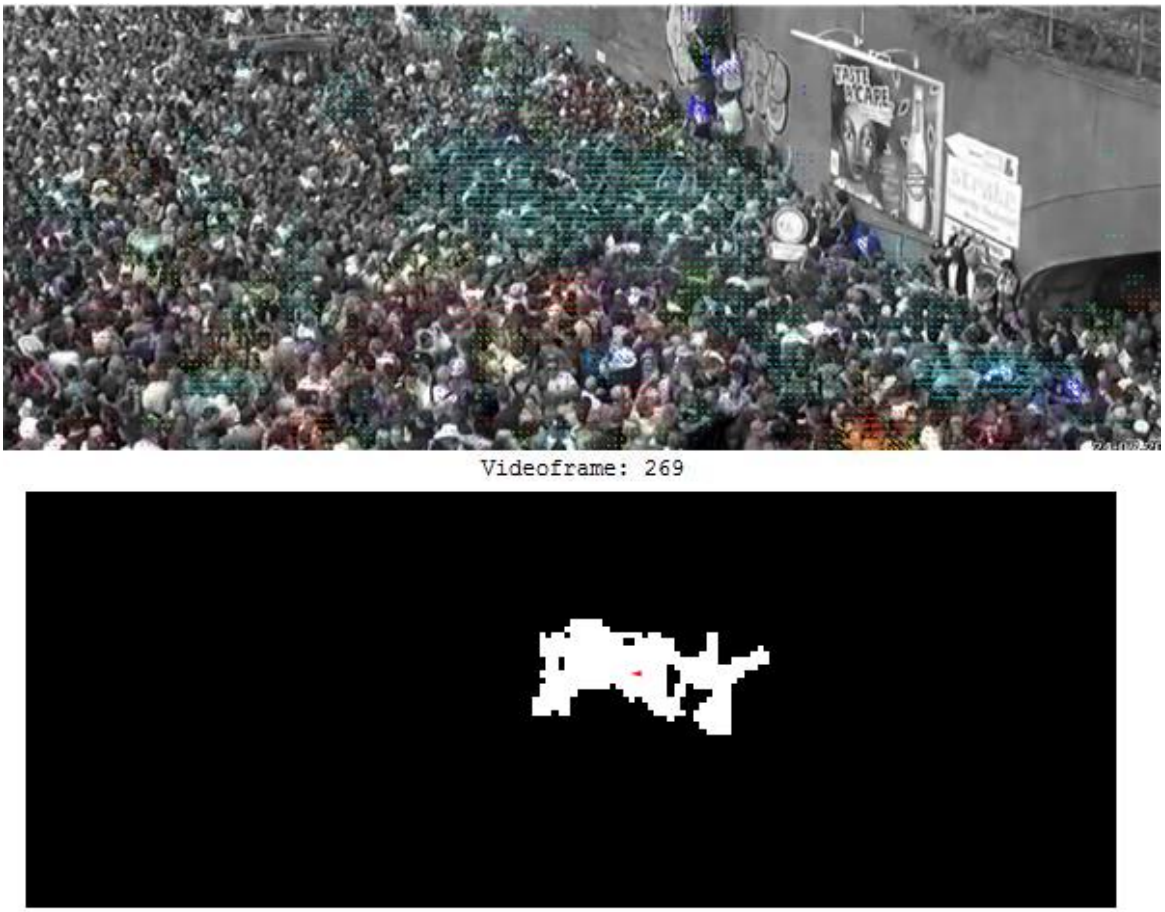

Abbildung 30: Cluster kollektiver Bewegungen bei der Love Parade 2010

In Abb. 30 wabert zunächst eine ganze Gruppe von Personen von links nach rechts (linker Bildrand in den oberen Bildern). Die zusammenhängenden Bewegungsvektoren werden damit als Cluster erkannt und markiert. Der rote Vektor im Cluster stellt die gemittelte Kollektivbewegung dar.
Im zweiten Bildausschnitt erkennt man im mittleren Bildbereich Waberbewegungen von rechts nach links. Auch hier wird die Kollektivbewegung erkannt und markiert. Diese Markierungen könnten dazu dienen gefährliche Waberbewegungen in großen Menschenmengen zu erkennen und Sicherheitspersonal in Alarmbereitschaft zu versetzen.

b) <u>Strömungsspur:</u>

Wird ein Vektorfeld einer großen Menschenmenge erzeugt, so erkennt man alle möglichen Bewegungen in viele Richtungen. V.a. auf einer Tanzveranstaltung werden viele Bewegungen detektiert, die aber nicht den Personenströmen entsprechen. Deutlicher hervorheben kann man die personenströme durch Mittelung der Bewegungen über mehrere Frames. Abbildung 31 zeigt eine Szene der Loveparade bei dem einige Menschen dem LKW (links im Bild) folgen. Gemittelt wurde dabei über 100 Bilder (4 Sekunden). Deutlich zu erkennen ist dabei die Strömung in der Menge.

Abbildung 31: Bewegungsspur eines Personenstroms, der einem Wagen folgt, bei der Love Parade 2010

c) Dichtebestimmung

Zur Bestimmung der Dichte wurde das Template-Matching Verfahren angewandt. Da bei dieser hohen Personenzahl hauptsächlich Köpfe zu sehen sind, wurde ein einfaches elliptisches Template verwendet um Personen zu identifizieren.

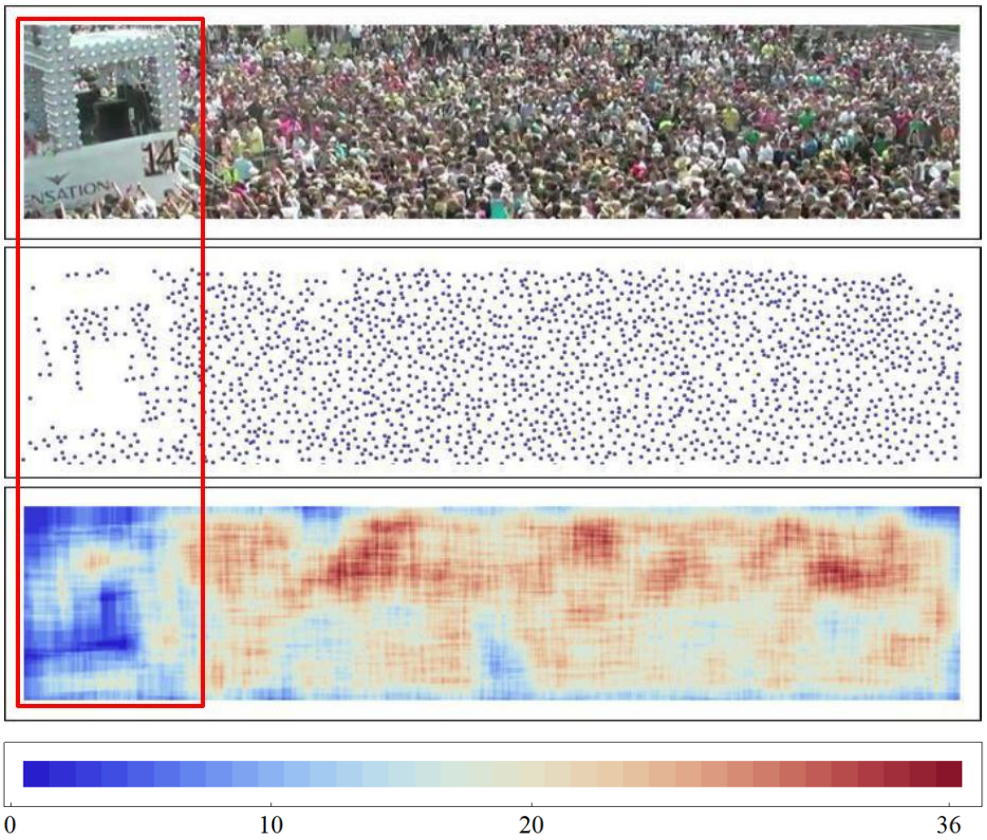

Abbildung 32: Bildausschnitt aus dem Loveparade Video. Von Oben nach unten: Originalvideo, Trefferkoordinaten, Dichtefeld, (Personen pro 50X50 Px)

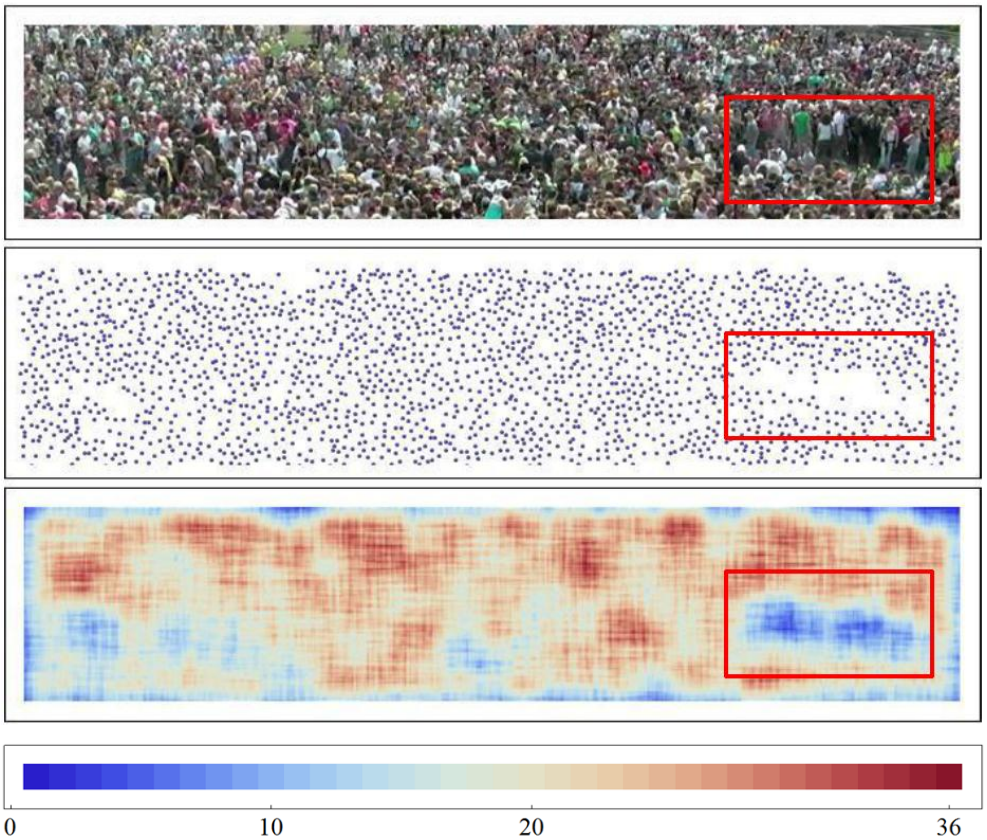

Abbildung 33: 20 s nach Abb.32, Von Oben nach unten: Originalvideo, Trefferkoordinaten, Dichtefeld, (Personen pro 50X50 Px), Leerstelle eingerahmt.

II. 1.1.3.4 Cranger Kirmes ein Großereignis

Das „Crange“-Video wurde zu verschiedenen Tageszeiten aufgenommen und zeigt Ausschnitte von der Kirmes in Crange, wobei die Personendichte sich stark ändert. 4 Videosequenzen wurden detaillierter ausgewertet.

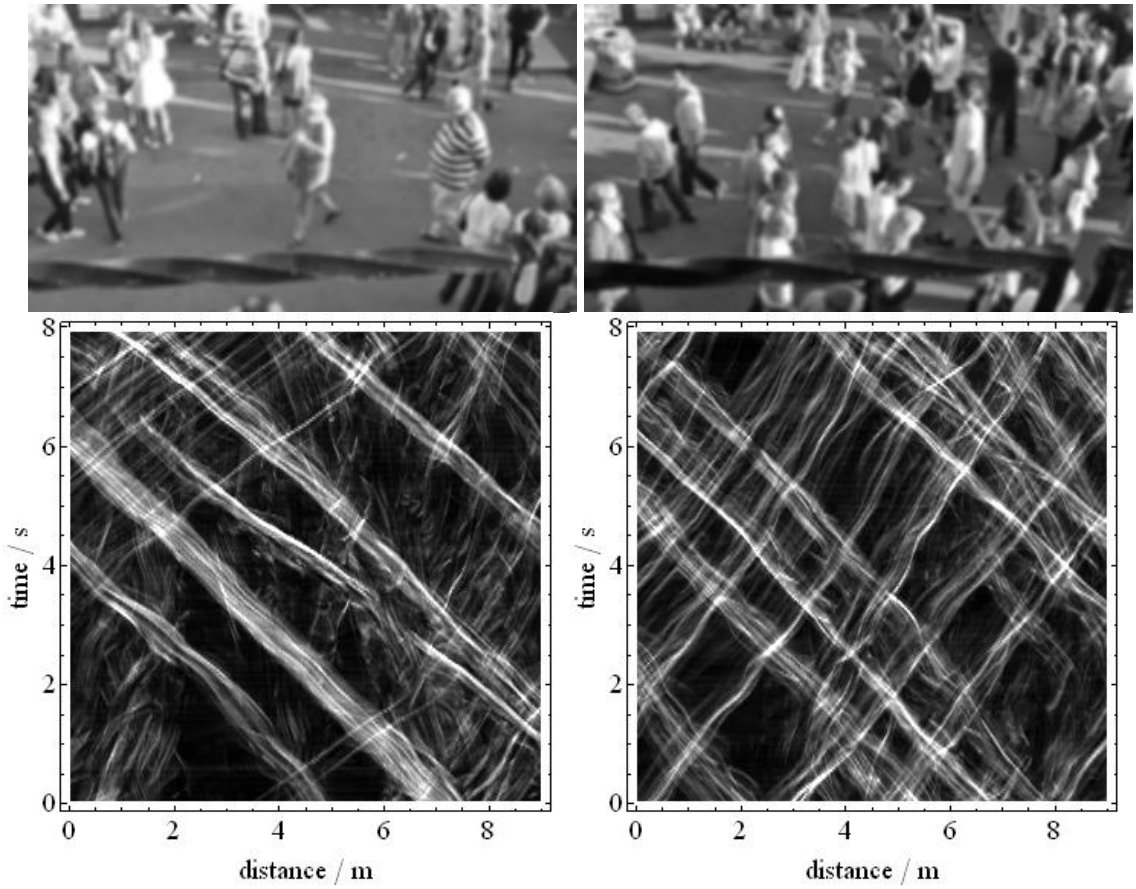

Abbildung 34: Situation 1 und 2 auf der Cranger Kirmes mit geringer Dichte, quer zur Hauptbewegungsrichtung aufgenommen, unten zugehörige Spuren der Differenzbilder Personendichte: links ca. 0,5/m², rechts ca. 0,75/m²

Bei geringen Dichten bewegen sich die Personen mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit von ca. 1-1,4 m/s und es sind kaum Ausweichbewegungen zu beobachten. Dies geht aus den Spurendiagrammen in den Abb. 34 hervor (Spuren sind linear). Die Personen werden erst mit steigender Dichte langsamer bis zu etwa 0,3-0,6 m/s (siehe Abb. 35), wollen aber wenn möglich ihre Standardgeschwindigkeit wieder erreichen. Ausweichbewegungen nehmen zu, wie die zunehmende Nichtlinearität der Spuren in Abb. 35 zeigen.

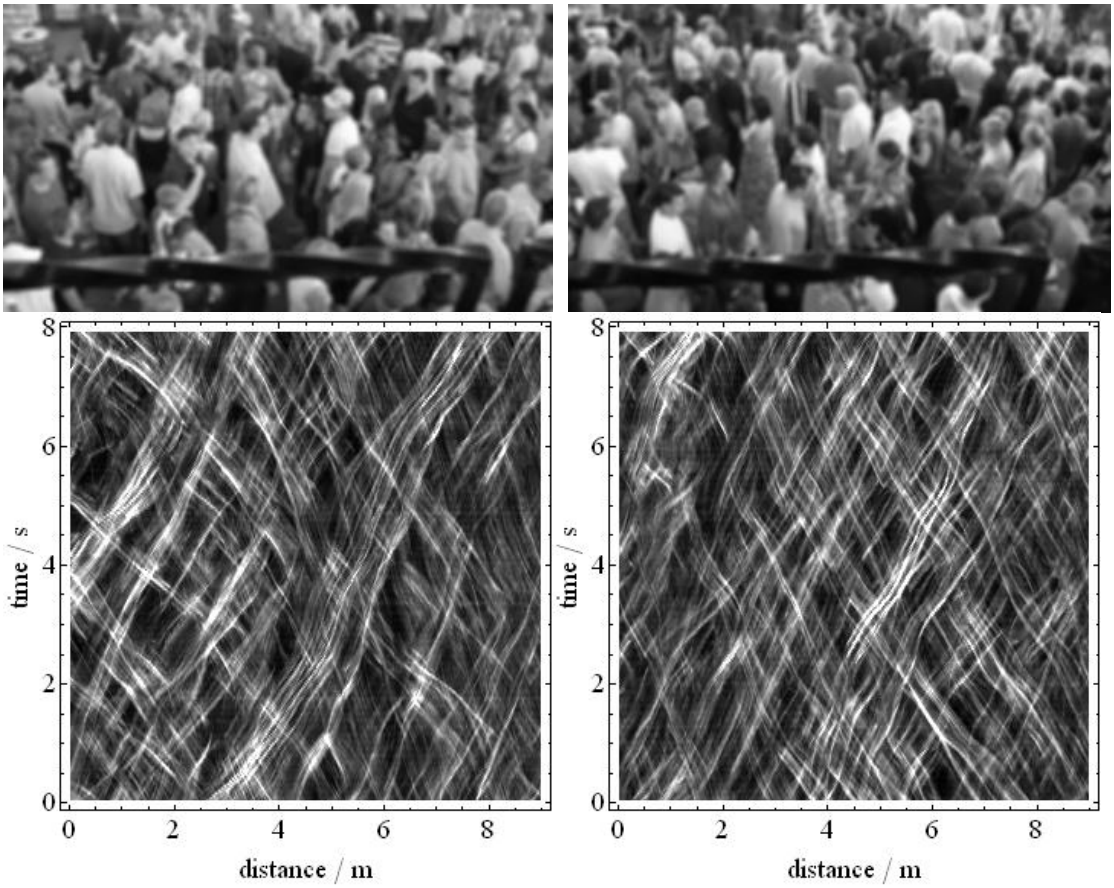

Abbildung 35: Situation 3 und 4 auf der Cranger Kirmes mit höherer Dichte, quer zur Hauptbewegungsrichtung aufgenommen, unten zugehörige Spuren der Differenzbilder Personendichte: links und rechts ca. 1/m²

a) Zusammenhang: Geschwindigkeit - Dichte

Werden die Spuren aus den Farbbildern direkt erzeugt, so können die farbigen Spuren den Personen einfacher zugeordnet werden. Der qualitative Zusammenhang zwischen der Personengeschwindigkeit und der Personendichte konnte auch im Crange-Video mit Hilfe der Spurenmethode validiert werden. Dazu wurden die sichtbaren Spuren des Videos manuell mit Punkten markiert (siehe Abb.: 36). An diese Punkte wurden automatisch Geraden gefittet. Anhand der Steigung und der Standardabweichung der Geraden zu den markierten Punkten lassen sich folgende Aussagen ableiten:

Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Personen nimmt mit steigender Personendichte im Mittel ab. (Abb.: 37) Außerdem steigt die Standardabweichung der markierten Punkte zu den daran linear gefitteten Geraden. Dies bedeutet, dass die Personen bei höheren Dichten nicht mehr linear gehen können. Sie müssen Hindernissen wie anderen Personen ausweichen und variieren dadurch in den Geschwindigkeitskomponenten.

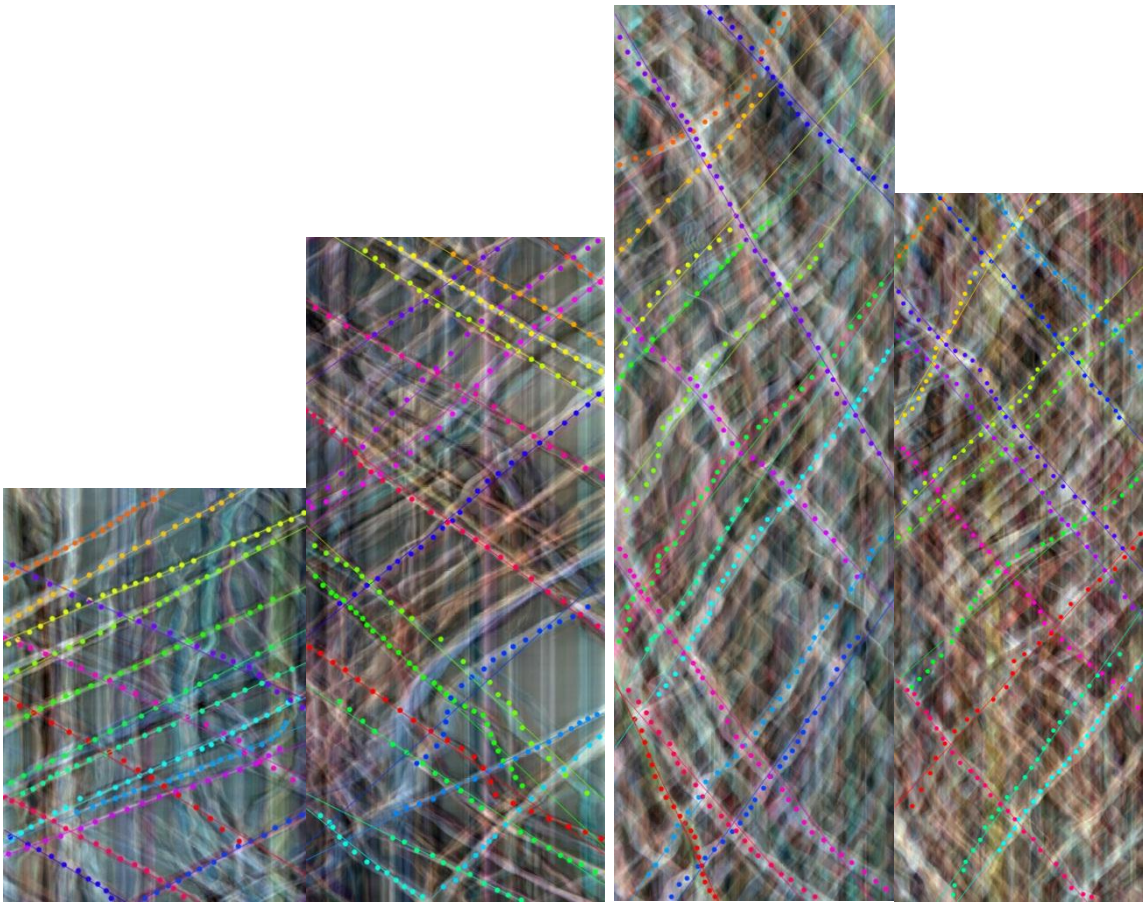

Abbildung 36: Farbspuren von Videosequenzen der Cranger Kirmes mit verschiedener Dichte (v.l. 0,5/m²; 0,75/m²; 1/m²; 1/m²,) und Zeitspanne (y-Achse), quer zur Hauptbewegungsrichtung aufgenommen, mit eingezeichneten Geraden zur Geschwindigkeitsbestimmung

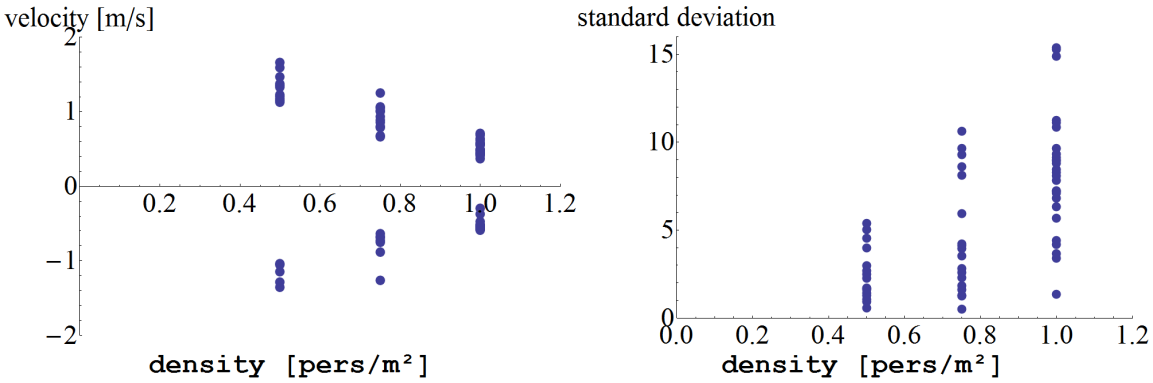

Abbildung 37: Die Abhängigkeit der Personengeschwindigkeit und der Standardabweichung von der Dichte

b) Trajektorien:

Die Trajektorien der Personen in den Crange Videos konnten mit Hilfe des halbautomatischen Trackings berechnet werden. Um aus den Pixelpositionen der Personen die lokale Dichte zu bestimmen, wurden die Koordinaten perspektivisch korrigiert. Die Korrektur in x-Richtung wurde dabei vernachlässigt. Zur Korrektur der y-Koordinate musste zunächst der Aufnahmewinkel abgeschätzt werden.

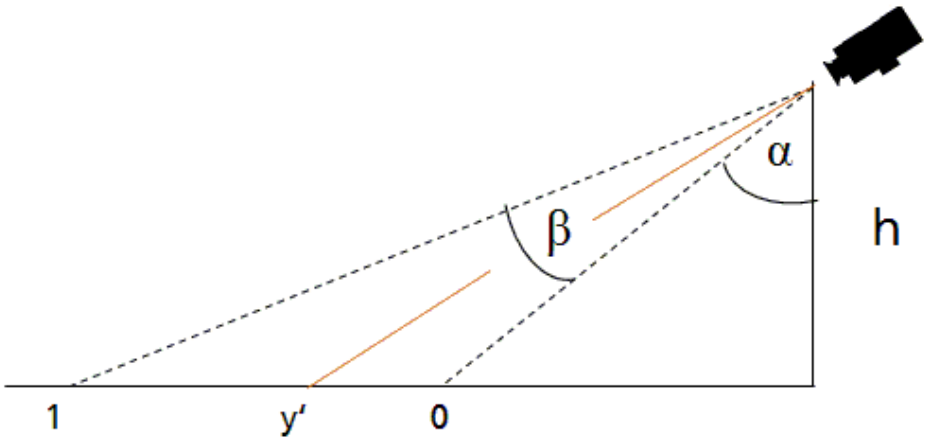

Abbildung 38: Perspektive der Aufnahmen der Crange-Videos

Dabei wurden folgende Winkel geschätzt:

α ≈ 50° β ≈ 20°

Die korrigierte Position y‘ ergibt sich dabei aus:

$$y' = \frac{\tan\left(\alpha + \frac{y}{y_{max}}\beta\right) - \tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \beta) - \tan(\alpha)}$$

Anschließend wurde die Fläche auf Kopfebene des Videos zu 9m x 6m abgeschätzt. Die korrigierten Trajektorienpositionen sind in Abb. 39 dargestellt.

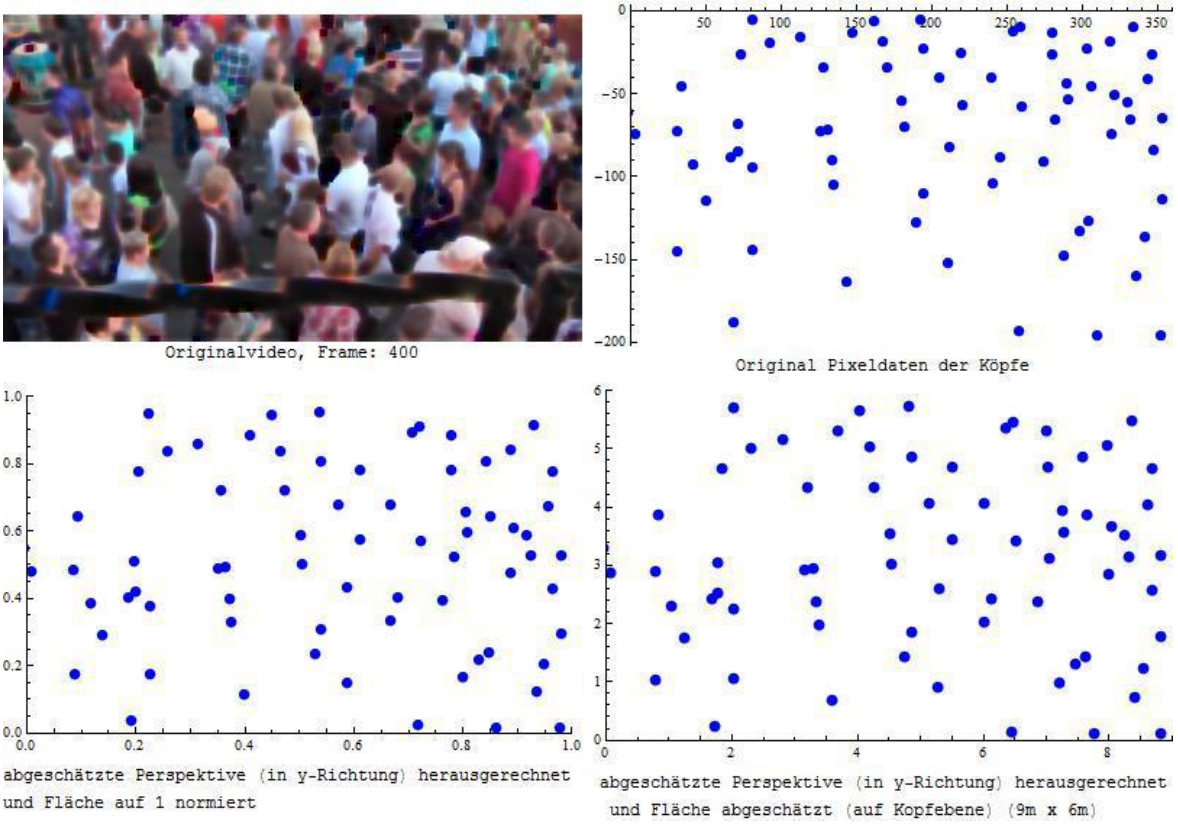

Abbildung 39: Momentaufnahme der Trackingposition einer Videosequenz der Crange-Videos

Die Trajektoriendaten können dazu genutzt werden, um das Bewegungsverhalten von künstlich generierten Trajektoriendaten zu überprüfen.

c) Impulsdichte

Zur Bestimmung der Impulsdichte muss neben den Trajektorien zunächst das Vektorfeld generiert werden. Mit Hilfe der perspektivischen Korrektur, können die Verschiebungsvektoren direkt in Geschwindigkeiten umgerechnet werden. Das Impulsdichtefeld ergibt sich dann aus Kombination der Trajektoriendaten und den Geschwindigkeitsdaten des Vektorfeldes.

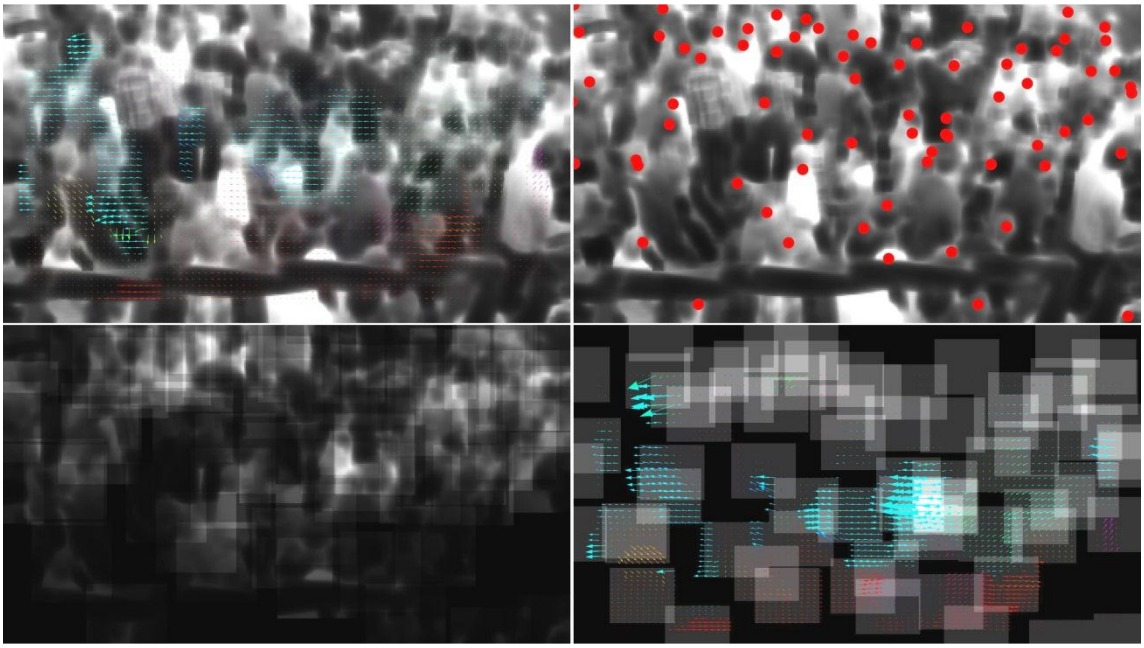

Abbildung 40: Momentaufnahme der Impulsdichte einer Videosequenz der Crange-Videos durch Kombination von Trajektoriendaten und Vektorfeldern

II.1.1.3.5 Weiteres Video mit Personen nach dem Verlassen eines Fußballspiels

Bei einem Video mit Personen nach dem Verlassen eines Fußballspiels bewegt sich eine größere Gruppe vom oberen Bildrand zum unteren. Im Auswertebereich bewegen sich zunächst ca 100 Personen, deren Anzahl dann im Verlaufe von 8 s auf ca 130 steigt, was durch Auszählen festgestellt werden kann.

Dichtebestimmung aus Spuren

Dazu werden zunächst die einzelnen Bilder nach der Spurenmethode in x- und y-Richtung komprimiert und ergeben je eine Linie, die jeden Beitrag zum gesamtheitlichen Spurenbild in Form von Peaks enthält (Abb. 40). Ein automatisches Auszählen der Peaks je Linie ergibt

die abgeschätzte Anzahl bewegter Personen. Über der Anzahl der Frames aufgetragen entsteht

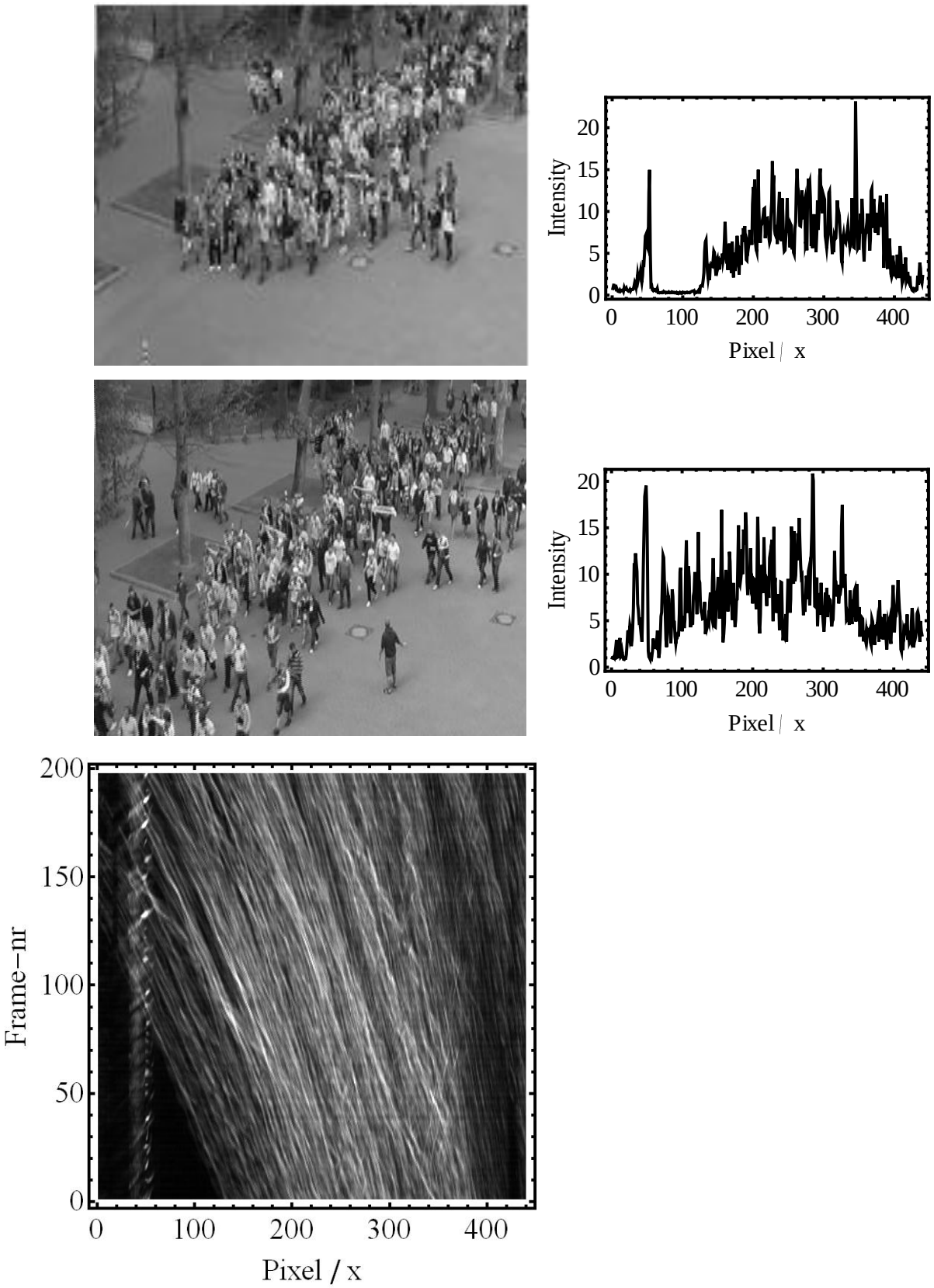

Abbildung 41: Bewegung von Besuchern einer Fussballveranstaltung in 8 s Abstand mit zugehöriger Linie in x-Richtung komprimierter (Spuren-)Bilder und dem Gesamtspurenbild

die Anzahl der automatisch gefundenen Personen. Mit einem parabolischen Ausgleichspolynom ergibt sich eine Standart-Abweichung von 3,5 Personen (Abb. 42).

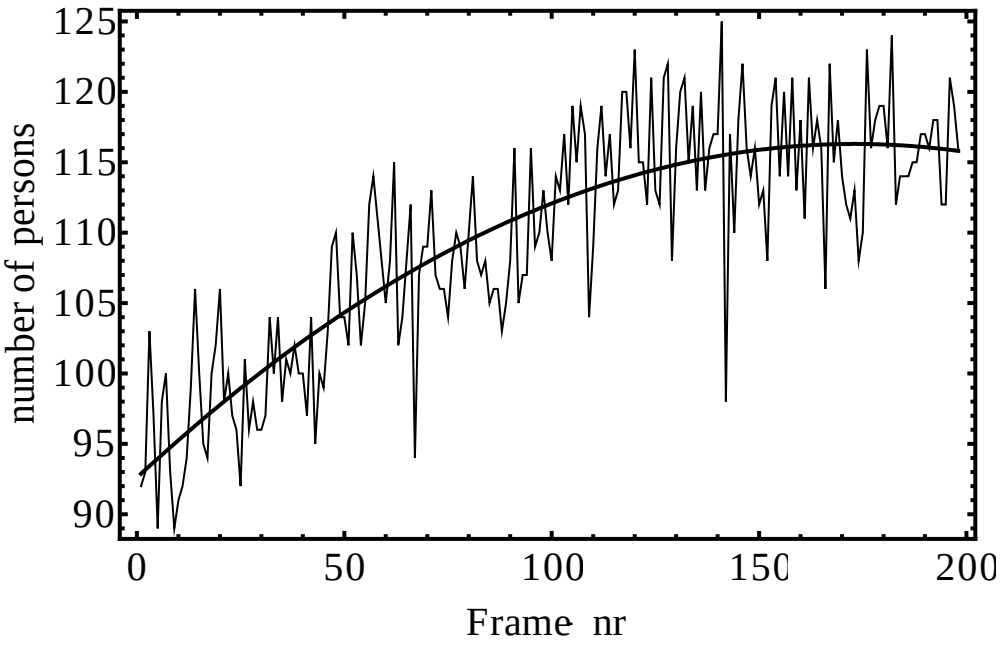

Abbildung 42: Identifizierte Anzahl von Besucher einer Fussballveranstaltung über 8 s aus der automatischen Peaksuche, der in x-Richtung komprimierten Spuren-Bilder, die durchgezogene Linie zeigt ein parabolisches Ausgleichs-Polynom, wobei die Standart-Abweichung bei ca 3,5 Personen liegt

II. 1.2 Sperren

Zu den technischen und organisatorischen Maßnahmen konnte das Fraunhofer ICT mit konzeptionellen Ansätzen, Aktorik und Materialien zu technisch/wissenschaftlichen Konzeptionen beitragen, die sowohl schnell errichtbare, flexible und leicht transportable Sperren für Wegeleitsysteme, Fluchtwegsteuerung und Abschirmung von Rettungskräften betreffen.

Zur Konzeption und Konstruktion von Versuchsmustern, an denen realistische Versuche stattfinden konnten, wurden eigene Vorschläge ausgearbeitet und den Partnern zum Test zur Verfügung gestellt. Grundkomponenten, die als Einzelelemente von Sperren dienen, wurden überarbeitet und auf ihre Eignung zur Unterstützung von Rettungskräften überprüft. Die Komponenten wurden zusammen mit W&H ausgewählt und berücksichtigen die Kriterien der platzsparenden Anordnung, der schnellen, sicheren, teilautomatischen Entfaltung, der Standsicherheit, des modularen Aufbaus und der einfachen Transportfähigkeit. W&H realisierte die Versuchsmuster. Letztlich wurde in enger Abstimmung mit der Feuerwehr Dortmund ein Versuchsmuster durch W&H erstellt. Des Weiteren wurde die Messtechnik an einem Aufbau zur Druckmessung von Personen zur Verfügung gestellt.
In diesem Bericht werden diese Arbeiten nur ansatzweise beschrieben, da die Details in den Berichten von W&H und des vfdb ebenfalls dokumentiert sind.

II. 1.2.1 Versuchsmuster für Tests und Analyse

Dabei wurden Komponenten für folgende Versuchsmuster zu Testzwecken eingesetzt:

- Eine schnell entfaltbare Scherensperre, die mit Federn oder pneumatischen Muskeln von Festo betrieben werden kann und sich auf Initiierung aus einem schmalen Koffer zu einem standfähigen System entfalten kann. Die Einzelelemente können zu einer Sperren-Linie verbunden werden. Als Bespannung können je nach erwarteter Beanspruchung
  - verschiedene Netze,
  - Folien
  - Textilien oder
  - sogar ein flexibel, nachgebendes Kettennetz für hohe Belastungen

  eingesetzt werden. Die Sperre kann auch kurzzeitig wieder abgebaut und raumsparend verladen werden

- Eine aus einer Säule (Litfaßsäule) bis 50 m ausziehbare Sperre,

- mit unterschiedlicher Bespannung ausrüstbar,
- mit 2 Personen aus- und einziehbar
- auf einem PKW-Anhänger verladbar

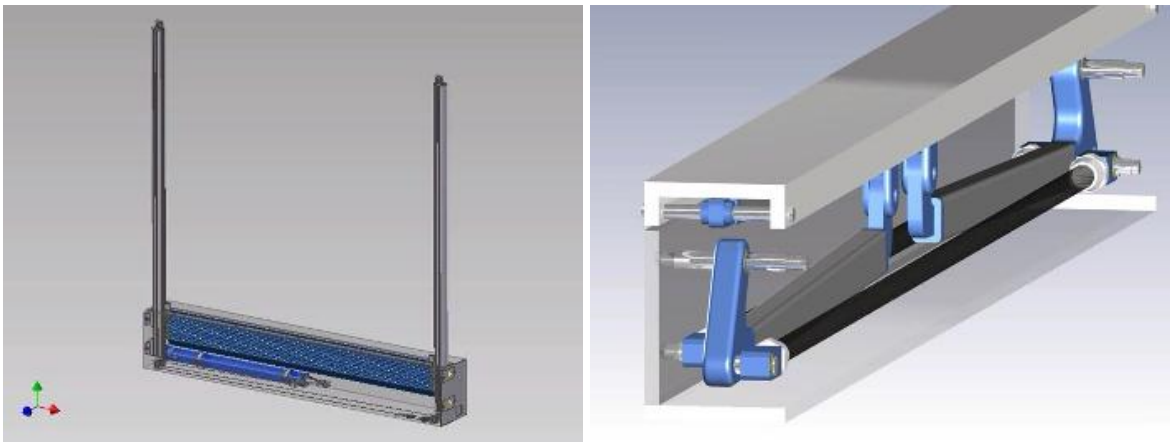

Abbildung 43: Schemata von Mechanismen für schnelle Entfaltung von Sperren

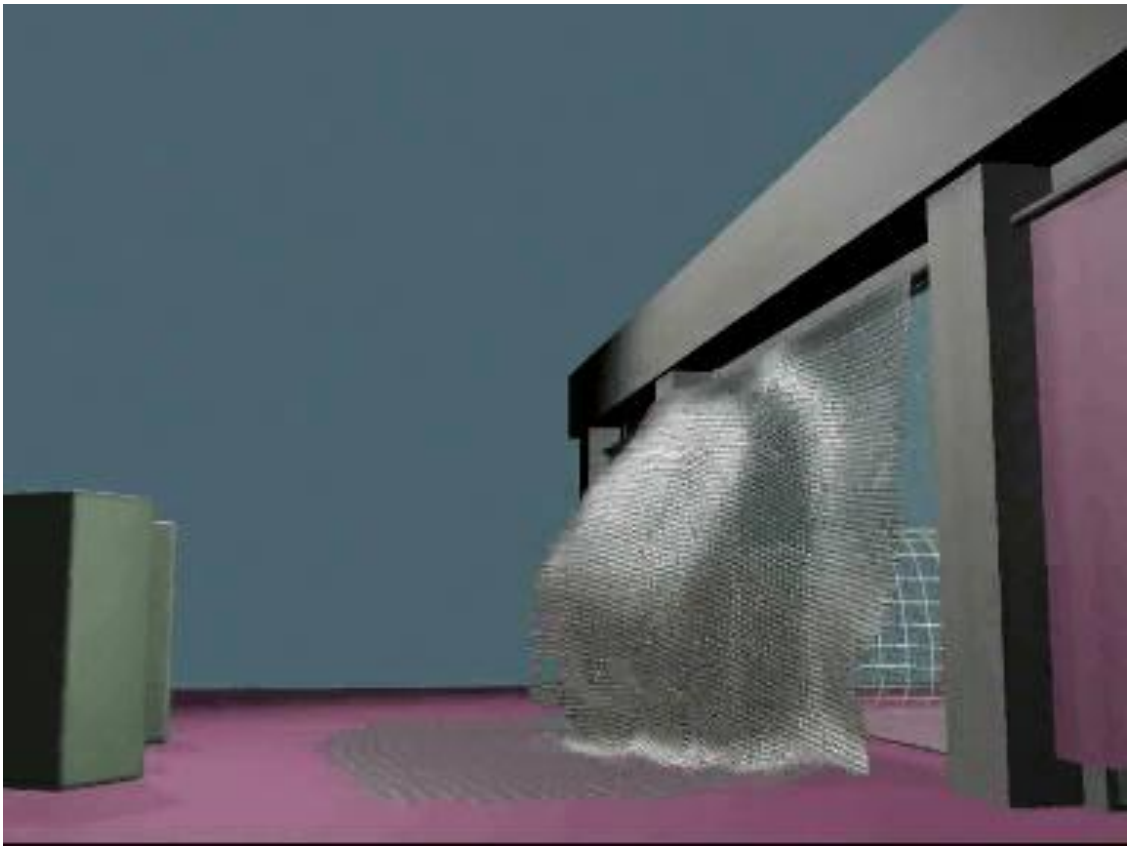

Abbildung 44: Kettennetz als hochflexible Sperrenbespannung für extreme Belastungen

Abbildung 45: Konzepte für verschiedene Sperren, von oben nach unten: Großflächige Absperrung, platzsparende mobiles Scherensperrelement, Einzelelement von Volumendrahtsperren

Mit dem Aufbau der Versuchsmuster, die für die EVA-Versuche benötigt werden, wurde erst ein Test mit der Feuerwehr Dortmund durchgeführt, um herauszufinden ob deren Anforderungen erfüllt sind. Diese Sperren wurden aufgrund deren Überlegungen bewertet und Vorschläge für Anpassung an die Notwendigkeiten der Feuerwehr eingebracht (Gewichtseinsparung < 50 kg pro Module, wenn getragen von 2 Personen, Beseitigung von Stolperstellen, moderate Entfaltung ohne Verletzungsgefahr usw.).

In gemeinsamer Arbeit mit W&H wurden die Vorschläge der Feuerwehr in Konstruktionen und Animationen umgesetzt, und die geeigneten Komponenten charakterisiert. W&H hat diese Komponenten beschafft und die Konstruktionen in einigen Versuchsmustern umgesetzt, die bereits wieder begutachtet wurden, wobei weitere Verbesserungen vorgeschlagen wurden. Abb. 46 zeigt eine gefaltete und entfaltete Version ohne Bespannung.

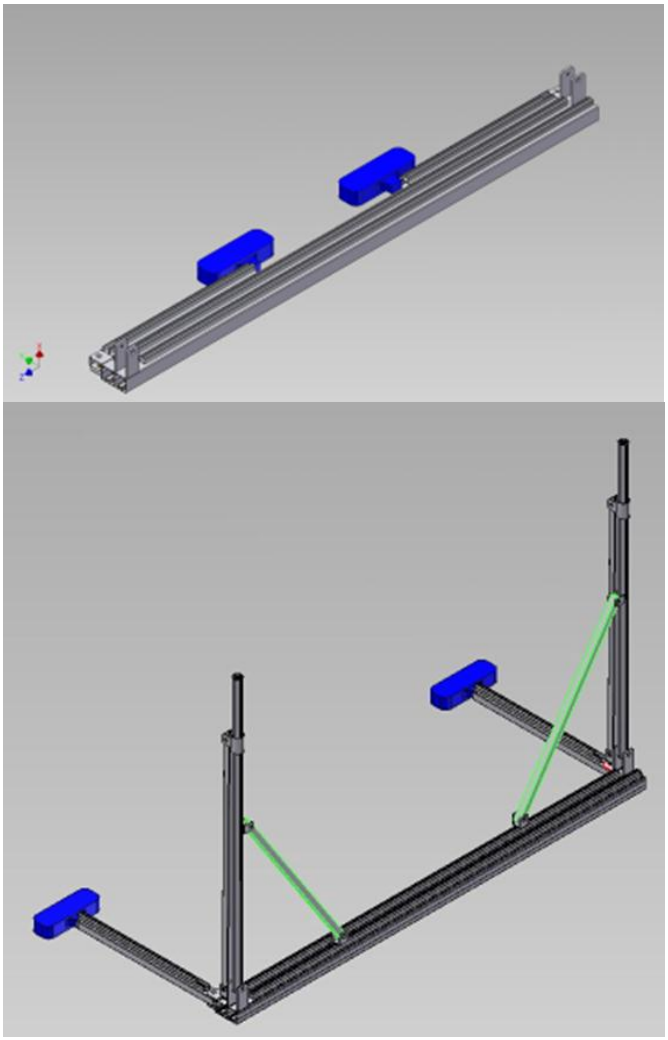

Abbildung: 46 Schema der von der Feuerwehr ausgewählten Sperre ohne Bespannung

Es erfolgten Untersuchungen der Belastung von Sperren durch Menschenmengen in geeigneten Experimenten und mit entsprechender Messtechnik, um eine Basis für die Belastung von Verankerungen, Rahmen und Material der Bespannung zu ermitteln. Diese Versuche erfolgten zusammen mit dem vfdb und W&H. Dabei wurden bei 5-15 Personen bis zu 0,55 bar statische Drücke und dynamische Drücke von etwa einem Faktor 3-4 höher gemessen. Fraunhofer ICT stellte dabei die Messtechnik.

Abbildung 47: Pneumatischer Zylinder zur Druckmessung an einer Platte

Bei ähnlichen Versuchen im Frühjahr 2011 wurde die Feuerwehr Dortmund unterstützt. Die drucksensitive Platte wurde von W&H zur Verfügung gestellt und von Fraunhofer ICT wurde die Messtechnik aufgebaut, die Messungen durchgeführt, ausgewertet und Feuerwehr Dortmund zur Verfügung gestellt.

II. 2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die folgenden Arbeitspakete wurden im Gesamtverbund des Konsortiums bearbeitet:

Beginn	Ende	Aufwand	Arbeitspakete
Monat/ Jahr	Monat/ Jahr	MM	
03/09	02/12	18	***AP2 Reales Verhalten:*** Videoauswerteverfahren: Halb-AutomatischesTracking mit kalibrierten x-y-Positionen Geschwindigkeitsfelder von Bewegungen einzelner Personen und Menschenmengen Spuren einzelner Personen bei Bewegungen in Menschenmengen Anwendungen auf reale Szenarien
10/09	02/12	6	***AP6 Technische und organisatorische Maßnahme:*** Komponenten für technische Lösungen: Konzeptionen und Konstruktionen, Animationen Messung des Druckes, von Personengruppen aufgebaut
01/12	05/12	1	***AP8: Erprobung, Schulung, Normung:*** Teilnahme an Erprobung, Auswertung für Verbesserungen, Zur Verfügung stellen von Daten
03/09	05/12	1	Berichte und Projekttreffen
	∑ =36	**26**	

Die Personalkosten nahmen den Großteil der Zuwendungssumme ein. Zur Bearbeitung der Forschungsaufgaben wurden 1 wissenschaftliche Mitarbeiter eingestellt. Des Weiteren konnten 2 Wissenschaftliche Hilfskräfte im Rahmen von EVA ihre Praktikums- und Bachelor-Arbeiten durchführen.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Unterauftrag an die Draht-Leuchten Pompei vergeben. Die Firma hat Materialmuster spezieller Drahtgeflechte nach Anforderungen des ICT gefertigt. Sie wurden in die Versuchsmuster der Sperren und Leittechnik integriert. Die Vergabe des Auftrags war für das Erreichen der Vorhabenziele notwendig.
Zudem fielen Reisekosten für die Teilnahme an Arbeits- und Verbundtreffen sowie zur Teilnahme an wissenschaftliche Fachkonferenzen und Workshops an.

II. 3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Rahmen dieses Projektes hatte das Fraunhofer ICT in seinem Teilprojekt zu diesen technischen und organisatorischen Maßnahmen mit konzeptionellen Ansätzen und technisch/wissenschaftlichen Konzeptionen für Versuchsmuster beizutragen. Einerseits sollten Methoden und Anwendungen von Bewegungen von Menschenmengen entwickelt werden. Andererseits sollten schnell errichtbare, flexible und leicht transportable Sperren für Wegeleitsysteme, Fluchtwegsteuerung und Abschirmung von Rettungskräften betreffen zusammen mit W&H erforscht werden.

Beitrag zu Arbeitspaket 2: ***Ist-Zustand, Simulation, Datenbasis, Personendichten:***

Die Aufgabenstellungen wurden in gesamtem Umfang erfüllt. Die Untersuchungen und die Ergebnisse erfüllten voll die Erwartungen und konnten einen substantiellen Beitrag für die Methodenentwicklung bei der automatischen oder teilautomatischen Videoauswertung zur Beobachtung von Personenbewegungen bei Großveranstaltung leisten. Im Einzelnen sind dies:

- Erzeugung von Geschwindigkeitsfeldern der Personenbewegung
- Bildkompression zur Generierung von Spuren der Bewegung
- Differenzbildauswertung
- Tracking

Die Methoden sind auf dem Fachgebiet zum Teil neu und konnten wichtige Inputdaten des Bewegungsverhaltens liefern, die für die Simulation von Großveranstaltungen, insbesondere wie sie zur Vorsorge bei Evakuierungen im Gefahrenfalle erforderlich sind. Dies sind zum Beispiel die Geschwindigkeiten in Betrag und Richtung von Personen in Menschenmengen in Abhängigkeit der Situationen, vor allem der Dichte. Des Weiteren können kollektive Bewegungsmuster erfasst werden und dadurch gefährliche Situationen, wie wellenförmige Schwankbewegungen in dichten Menschenmengen detektiert werden. Die Geschwindigkeitsfelder können auch wie fluiddynamische Felder behandelt werden.

Allerdings sind für eine sinnvolle Auswertung verschiedene Randbedingungen von der Videotechnik zu erfüllen. Quantitative Aussagen setzen eine geometrische Kalibrierung voraus.

Beitrag zu Arbeitspaket 6 : ***Technische und organisatorische Maßnahmen***

Fraunhofer ICT hatte die konkreten Aufgaben, die Grundkomponenten für neuartige Sperrsysteme im Einklang mit den Partnern vor allem vfdb und Feuerwehr Dortmund vorzuschlagen, auszuwählen, zu untersuchen und zu bewerten, angegangen und W&H bei der Realisierung der vielfältig einsetzbaren mobilen Sperren unterstützt. Zunächst entstanden verschiedene Varianten als Versuchsmuster, die von den Partnern evaluiert

wurden. Daraufhin wurde eine geeignete Sperre, die den Anforderungen der Einsatzkräfte bei Gefahrensituationen gerecht wird, als Versuchsmuster konzipiert. Dies trifft auch für die Komponenten und die verschiedenen vorgeschlagenen Materialien für die Sperrenbespannung zu. Insbesondere wurden Sicherheitsaspekte berücksichtigt und die Beeinträchtigung der sich bewegenden Menschen so gering wie möglich gehalten. Somit wurden die im Projekt abgeleiteten technischen Maßnahmen umgesetzt und eine notwendige Entwicklung nach Projektende in die Wege geleitet.

Beitrag zu Arbeitspaket 8: ***Erprobung, Schulung, Normung***

Ein kleinerer Beitrag wurde zur Erprobung, Schulung und Normung geleistet, der die notwendige Aktivität im Hinblick der Vorbereitung der Nutzung der Ergebnisse unterstützte.

Zur Bearbeitung der beschriebenen wissenschaftlichen Fragestellungen und zur Zielerreichung des Teilvorhabens waren die Fördermittel ursächlich, angemessen und notwendig.

II. 4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

II. 4.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die **Fraunhofer Gesellschaft** verwertet als gemeinnützige Forschungseinrichtung und in Übereinstimmung mit den Satzungszwecken (Auftragsforschung, Technologietransfer) ihre Ergebnisse nicht durch eigene Produktion oder eigenen Vertrieb. Die Projektergebnisse dienen der Erweiterung der wissenschaftlichen Kompetenz, als Grundlage für weitere Projekte und werden im Übrigen durch Lizenzvergabe an Dritte genutzt und verwertet. Die in diesem Projekt zu erarbeitenden Ergebnisse stellen für das beteiligte Institut einen wichtigen Zwischenschritt auf dem Weg von grundlagenorientierten Arbeiten zur konkreten Umsetzung in die Praxis (Technologietransfer) dar. Die auf dem Gebiet neuen Ergebnisse und Erkenntnisse bilden die Basis für weitere Aufträge aus der Wirtschaft und damit zur konkreten Umsetzung in neue Produkte oder Verfahren.

Die **Fraunhofer Gesellschaft** verfolgt über ihre Institute eine aktive Patentpolitik und meldet schutzrechtsfähige Ergebnisse im Rahmen der rechtlichen Möglichkeiten und der wirtschaftlichen Vertretbarkeit national und gegebenenfalls auch international an. Erteilte Schutzrechte werden als Lizenzpool und als Akquisitionspotential für zukünftige Aufträge aufrechterhalten, solange dies sinnvoll erscheint. Allerdings gab es keinen Anlass ein Patent anzumelden. Soweit es die Satzung der Fraunhofer Gesellschaft als gemeinnütziger Verein erlaubt, werden die Industriepartner bei der Markteinführung auch nach dem Projektende unterstützt. Dies betrifft vor allem die Bereiche, Beratung, Patentanmeldung, Beteiligung an Messen, gemeinsame Flyer und Prospektmaterial.

Somit ergeben sich zusammengefasst die folgenden Verwertungsprodukte für die Fraunhofer-Gesellschaft, die zum Teil bereits angelaufen sind:

Ergebnisaufbereitung zum Transfer in die Sicherheitstechnik ist bereits im Gange:

- Ergebnisse als Basis für eine absehbare zukünftige Verwertung durch unterschiedliche Vertragspartner der Institute auf unterschiedlichen Feldern,
- Nutzung der Ergebnisse für weitere Einsatz- bzw. Anwendungsgebiete (neue Projekte und Verbundprojekte).
- Publikationen und Veröffentlichungen in Form von Artikeln, Aufsätzen, Broschüren, Büchern usw.
- Präsentation der Ergebnisse auf Symposien, Industriemessen, Tagungen oder anderweitigen Informationsveranstaltungen.

Die Vertragspartner von Fraunhofer ICT für die Nutzung der Ergebnisse liegen vor allem in Deutschland, sodass die Ergebnisse auch an die deutsche Industrie weitergegeben werden kann. Als hervorragende Gelegenheit, die auch genutzt wurde und wird (siehe Veröffentlichungen), bot und bietet die Konferenzserie: „Future Security“, die der

Verteidigungs- und Sicherheitsverbund der Fraunhofer Gesellschaft in Abstimmung mit dem BMBF ausrichtet. Hier nehmen nahezu alle bedeutenden Firmen der Sicherheitstechnik teil.

II. 4.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die Ergebnisse sollen anderen Rettungskräften, Infrastrukturbetreibern, Verkehrsbetrieben etc. zur Verfügung gestellt und dort genutzt werden.

Um dies zu erreichen sind verschiedene Maßnahmen vorgesehen. Die Rettungskräfte werden über die vorgesehene Richtlinie „Einsatzplanung Großveranstaltungen, Evakuierung großflächiger Infrastrukturen“ erreicht, wobei die Umsetzung damit gegeben ist.

Betreiber von Infrastrukturen und deren Besucher werden über die zuständigen Behörden (die Feuerwehren) erreicht. Mit dem Videofilm und seiner anonymisierten Auswertung wird ihnen ein Umsetzungsmedium an die Hand gegeben. Schulungen runden die Information für die Betreiber ab.

Verkehrsbetriebe sind direkt in das Projekt eingebunden und über den Bundesverband Verkehrsbetriebe/Eisenbahnbundesamt erfolgt eine Aufklärung und Umsetzung der Ergebnisse.

Die breitere Fachwelt wird über das e-learning Modul „Flucht und Rettung“, die vfdb Jahrestagungen, die Fachpresse und die Messe Interschutz erreicht.

Die Simulationssoftware ist Eigentum von Partnern im Projekt, wird weiterentwickelt und geschützt. Die technischen Maßnahmen werden im Projekt entwickelt und geschützt. Die Normung liegt im Aufgabenbereich der vfdb. Die Normen unterliegen dem Copyright und werden im VdS-Verlag gedruckt.

Die entwickelten Technologien bleiben im Besitz der jeweiligen Unternehmen, die auch für die Einhaltung der Schutzrechte und die Erteilung von eventuellen Patenten zuständig sind. Die Basistechnologien sind im Besitz der jeweiligen Unternehmen und entsprechend geschützt.

Es gibt eine Reihe von Risiken für den Erfolg des Projektes. Die Auswahl der Partner mit ihren Kompetenzen erfolgte in einer Weise, dass die Erfolgsaussichten mit interdisziplinären Anstrengungen als gut beurteilt werden können. Allerdings muss jeder Partner auch bemüht sein, seine wissenschaftlichen Ergebnisse auch einem Fachfremden so vermitteln zu können, dass dieser damit weiterarbeiten kann.

II. 4.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Nach Abschluss des Projektes wird der vfdb bei der weiteren Umsetzung und Verbreitung der Ergebnisse unterstützt. Durch Kooperation mit Verbänden der Einsatzkräfte, sowie den Innenministerien der Länder, den verschiedenen Referaten und den dort vertretenen

Organisationen (Industrie, Behörden und Wissenschaft) existiert ein Netzwerk, dessen Aufgabe u.a. in einer solchen Umsetzung und Verbreitung besteht.
Grundsätzlich wird natürlich auch das Fraunhofer ICT auf wissenschaftlichen Konferenzen und Ausstellungen (z.B. Future Security und Polizeimesse GPEC) präsentieren und in Artikeln von wissenschaftlichen Zeitschriften die erhaltenen Ergebnisse darstellen, wenn dies im Sinne des Gesamtkonsortiums ist.
Die Ergebnisse fließen natürlich auch in die Lehre mit ein, und werden in Form neuer wissenschaftlicher Aufgabenstellungen zu Themen für Doktorarbeiten formuliert.
Kommerziell verwertbare Ergebnisse werden patentiert und deutschen Firmen der Sicherheitsbranche zur Umsetzung angeboten.

Das Fraunhofer ICT sieht in den Konzepten und technischen Lösungen für die Sperren und Leitwege ein großes Potenzial von weiteren Anwendungsmöglichkeiten, die sich in neuen Projekten niederschlagen können. Wie bereits erwähnt, ist der Personaleinsatz der Kostentreiber für Sicherheitsmaßnahmen. Effektive neue Sperren können für den Polizeieinsatz für Auslandseinsatzkräfte, oder für Baustellensicherung dazu beitragen, dass Sicherheitsmaßnahmen leichter getroffen, da kostengünstiger, und damit die Sicherheit von Personen deutlich erhöhen. Fraunhofer ICT wird dazu direkte Projekte mit den potentiellen Nutzern anstreben oder bei erhöhten wissenschaftlich technischen Anforderungen auch öffentlich geförderte Projekte beantragen. Es werden neben Programmen von deutschen Fördergebern und Industriepartnern auch internationale Programme mit neuen Verbundprojektvorschlägen, die die Weiterführung der erzielten Ergebnisse beinhalten angesprochen.

Die Videotechnik ist in der vorgeschlagenen Form noch nicht realisiert. Mit den hier veranschlagten Aufwendungen, konnte nur die Machbarkeit untersucht werden und eine vereinfachte Darstellung der Ergebnisse für die Versuche erfolgen. Es bot sich hier an, relative schnell nach Projektende auch eine fundierte Weiterentwicklung für ein marktfähiges Produkt einzuleiten, die eine kompetente Software zum Ziel hat. Deren Ergebnisse fließen auch in innovative Auswertekonzepte der Fluiddynamik ein.

Als konkrete Anwendung der Videoauswertetechnik wurde ein konkretes Konzept „i-safing“ für eine Produktinnovation ausgearbeitet und beim BMBF im Rahmen von „kmu-innovativ“ als Projektskizze eingereicht, allerdings ohne Erfolg. Diese hat folgenden Inhalt: Bei vielen Gefahrenszenarien, die bei Großveranstaltungen auftreten, besteht die Chance, diese schon frühzeitig in ihrer Entwicklung zu Erkennung und nach einer ersten Analyse als Vorinformation den zukünftigen Ablauf vorherzusagen und Gefahren vorzubeugen. Eine

solche frühzeitige Situationsanalyse ermöglicht es, schnell und effektiv auf die potentielle Gefährdungssituation reagieren zu können. Es ist Ziel dieses Projektes unter Nutzung bestehender und Entwicklung neuer Kamerasysteme kombiniert mit Mikroprozessoren / Computern ein System zu entwickeln, welches die Früherkennung von ungewöhnlichen Ereignissen ermöglicht und dahingehend analysiert, inwieweit sich hier eine Gefährdung aufbaut. Dieses kann einerseits Personen entlasten bzw. in ihrer Aufmerksamkeit unterstützen, die eine Vielzahl von Monitoren überwachen müssen und andererseits auch Entscheidungshilfen für ein eventuell erforderliches rasches Eingreifen bereitstellen.

Die gezielte Reaktion auf solche Vorfälle ist oft schwierig, da bei Großveranstaltungen Sicherheits- und Rettungskräfte in der Regel schnell zu den oft blockierten Gefahrenherden vordringen müssen. Die Rettungswege und Zufahrtmöglichkeiten sind dabei oft durch Passanten ganz oder teilweise blockiert, mitunter muss auch gegen einen Strom von Menschen - z.B. Flüchtende - angegangen werden. Jede gewonnene Zeiteinheit in der Identifizierung eines Vorganges und der Feststellung seiner Position und des zugehörigen aktuellen und potentiellen Schadensausmaßes kann Leben retten oder Materialschäden verringern. Eine belastbare Voranalyse kann dem Beobachter wie dem Verantwortlichem bereits eine Reihe von Maßnahmen vorschlagen und damit zusätzliche Entscheidungssicherheit in schwer überschaubaren Situationen geben. Dies erleichtert es, schnell und umsichtig richtige und effektive Rettungs- und Schutzmaßnahmen einzuleiten.

Das Projekt setzte auf eine neue technische Lösung zur Verbesserung des Schutzes der Bevölkerung bei Großveranstaltungen und Menschenbewegungen in kritischen Infrastrukturen. Es ist bereits ein Abkömmling aus dem Projekt EVA, in dem erste Ergebnisse in Richtung Produktentwicklung umgesetzt werden sollen. Es greift eine Lücke in den Überwachungssystemen auf, welche im Rahmen des Technologiekonzeptes von EVA und den entsprechenden Analysen erkannt wurde und die mit diesem neuen Produkt geschlossen werden kann. Insbesondere wird von vornherein der Datenschutz der Einzelperson gewahrt, da Bearbeitung des Bild- und Filmmaterials bereits in situ erfolgt, bevor die Ergebnisse sichtbar werden. Eine Videoaufzeichnung, sofern notwendig und erlaubt, ist völlig unabhängig vom i-safing System.

II. 5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Folgende Vorhaben gab es parallel oder nach Beendigung von EVA, die sich mit Thematik beschäftigt haben oder beschäftigen:

Die parallel geförderten Projekte des BMBF waren thematisch gut abgegrenzt. EVA beschränkte sich auf die Auswertung von realen Szenarien.

Bezüglich Videotechniken wurden speziell bei Vektorfeldern zeitlich parallele Ansätze angefangen, von Mehran et al und Johansson (siehe Veröffentlichungen). Dies bezieht sich vor allem auf die Kreuzkorrelation als Auswertemethode. Bis Projektende erfolgten konnten in keinem Fall die Auswertung so vielfältiger realer Szenarien wie in EVA, und auch keineswegs mit dieser Tiefe, das bedeutet die Auswertung der Vektorfelder in Hauptrichtungen, statistischen Größen, morphologischen Strukturen und feldtheoretischen Ansätzen wie Divergenz, Rotation oder Impulsdichten. Die aussagekräftige und wenig zeitaufwändige Spurenmethode, die nahezu Realtime einsetzbar ist, wurde in keiner anderen Stelle beschrieben. Auch die Folgerungen wie sie in der vorgeschlagenen Produktinnovation „i-safing“ vorgeschlagen wurde, sind bisher so nicht bekannt geworden.

II. 6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Erfolgte Veröffentlichung:

1. D. Oberhagemann, J. Neutz, A. König, N. Eisenreich, F. Weller, Bestimmung der Drücke in Menschenmengen, vfdb, Heft 4/2010
2. Blanc A., Deimling L., Eisenreich N., Könnecke R. and Oberhagemann D., Early Identification of Occurring Incidents at Big Events and Evacuation Modelling, Future Security, Berlin, 2010, Sept. 7-9
3. Blanc A, Deimling L, Eisenreich N, Thiel KD. Early Identification of Occurring Incidents at Crowd Movements, In Proceedings of the 6th European Symposium on Non-Lethal Weapons; 2011 May 16-18; Ettlingen, Germany. Pfinztal: Fraunhofer ICT. p. P37.
4. Schreiber A., Sterk D., Wassmer C., Eisenreich N., Methods to Record Crowd Behavior in Real Situations, 7th Future Security Security Research Conference, Bonn, September 4–6, 2012, P43
5. Schreiber A., Sterk D., Wassmer C., Eisenreich N., Oberhagemann D., Analysis of Crowd Behavior at Big Events and Movement Modelling, 7th Future Security Security Research Conference, Bonn, September 4– 6, 2012, P44
6. Schreiber A., Sterk D., Wassmer C., Oberhagemann D., Eisenreich N., Analysis of Crowd Behaviour by Various Methods of Image Processing, 4th iNTeg-Risk Conference 2012, Stuttgart, May 6-8, 2012

Geplante Veröffentlichungen:

Schreiber A., Sterk D., Wassmer C., Oberhagemann D., Eisenreich N., Analysis of Crowd Behaviour by Various Methods of Image Processing,

II. 7 Verwendete Literatur

1. Fruin J. Uses of Crowd Dynamics around the world. In: Smith RA, Dickie JF, editor. Proceedings of the 1st International Conference on Engineering for Crowd Safety; 1993 March 17-18; London, UK. New York: Elsevier Science Publishers; c1993.
2. Loscos C, Marchal D, Meyer A. Intuitive Crowd Behavior in Dense Urban Environments using Local Laws. In: Theory and Practice of Computer Graphics. Proceedings. 2003 3-5 Jun; Birmingham, UK. c2003. p. 122-129.
3. Peter H, Maurer K. Herausgeber. Gefahrenabwehr bei Großveranstaltungen. Wien: S & K Verlag; 2005. 295 p.
4. Helbing D, Johansson A, Al-Abideen HZ. The dynamics of crowd disasters: An Empirical Study. Phys. Rev. E. 2007; 75:046109.
5. Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic. Nature. 2000; 407(28):487-90.
6. Helbing D, Farkas IJ, Molnár P, Vicsek T. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. In: Schreckenberg M, Sharma, SD, editors. Pedestrian and evacuation dynamics. New York: Springer-Verlag; 2002. p. 21-58
7. Kirchner A, Schadschneider A. Simulation of evacuation processes using a bionics inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics. Physica A. 2002; 312:260-76.
8. Burstedde C, Klauck K, Schadschneider A, Zittartz J. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. Physica A. 2001; 295:507–25.
9. Wang D, Kwok NM, Jia X, Li F. A Cellular Automata Based Crowd Behavior Model. Lecture Notes in Computer Science: Artificial Intelligence and Computational Intelligence. 2010; 6320:218- 25.
10. Bonabeau E, Dorigo M, Theraulaz G. Swarm intelligence: From natural to artificial systems. New York: Oxford University Press; 1999. 308 p.
11. Zhou S, Chen D, Cai W, Luo L, Yoke M, Low H, Tian F, Su-Han Tay V, Wee Sze Ong D, Hamilton BD., Crowd Modeling and Simulation Technologies. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS). 2010 Oct; 20(4):Article No.20.

12. Oguz O, Akaydın A, Yılmaz T, Güdükbay U. Emergency crowd simulation for outdoor environments, Computers & Graphics. 2010; 34:136–44
13. Ivancevic VG, Ivancevic TT. Quantum Neural Computation. Heidelberg: Springer; 2010. 929 p.
14. Ivancevic VG, Reid D. J, Aidman E. V. Crowd behavior dynamics: entropic path-integral model, Nonlinear Dynamics. 2010; 59(1-2):351-373.
15. Li N, Zhang Z. Abnormal Crowd Behavior Detection Using Topological Methods. In: 12th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. 2011 6-8 Jul; Sydney, Australia. IEEE Conference Publications. Poster, p. 13-18.
16. Könnecke R, Schneider V. Egress Route Choice Modelling—Concepts and Applications. In: Waldau N, Gattermann P, Knoflacher H, Schreckenberg M, editors. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005. Berlin Heidelberg: Springer; 2007. p. 363-368.
17. Schneider V, Könnecke R. Egress Route Choice Modelling—Concepts and Applications. In: Klingsch WWF Rogsch C, Schadschneider A, Schreckenberg M, editors. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008. Berlin Heidelberg: Springer; 2010. p. 619-626.
18. Blanc A, Deimling L, Eisenreich N, Könnecke R, Oberhagemann D. Early Identification of Occurring Incidents at Big Events and Evacuation Modeling. In: Future Security. Proceedings of the 5th Security Research Conference; 2010 Sep 7-9; Berlin, Germany. Stuttgart: Fraunhofer-Verl., c2010. CD-ROM, ISBN 978-3-8396-0159-4
19. Blanc A, Deimling L, Eisenreich N, Thiel KD. Early Identification of Occurring Incidents at Crowd Movements, In: Future Security. Proceedings of the 6th European on Non-Lethal Weapons; 2011 May 16-18; Ettlingen, Germany. Pfinztal: Fraunhofer ICT. p. P37.
20. Davies AC, Yin JH, Velastin SA. Crowd Monitoring Using Image Processing. IEE Electronic & Communications Engineering Journal. 1995 Feb; 7(1):37-47.
21. Velastin SA, Yin JH, Davies AC, Vicencio-Silva MA, Allsop RE, Penn A., 1993, Analysis of Crowd Movement and Densities in Built-up Environments using Image Processing. In:

IEE Coll. on Image Processing for Transport Applications, 1993 Dec 9; London, UK. Digest No. 1993/236. p. 8/1-8/6.

22. Russ JC. The Image Processing Handbook. Boca Raton, FL: CRC Press; 1992. 832 p.
23. Jähne B. Digitale Bildverarbeitung. Heidelberg, Germany: Springer, 2002. 642 p.
24. Raffel M, Richard H, Meier GEA. On the Applicability of Background Oriented Optical Tomography. Experiments in Fluids. 2000; 28:447-481
25. Brock A, Deimling L. Direkte Kreuzkorrelation zur hochauflösenden PIV-Auswertung von Wirbelstrukturen. In: Proceedings of the 30th Int. Ann. Conference of ICT, 1999 29 Jun- 2 Jul; Karlsruhe, Germany. Karlsruhe, Germany: Fraunhofer ICT. p. 103/1-103/11.
26. Deimling L, Weiser V, Blanc A, Eisenreich N, Billeb G, Kessler A. Visualisation of jet fires from hydrogen release. Int. J. Hydrogen Energy. 2011 Feb; 36(3):2360-2366.
27. Choi D, Thorpe JL, Hanna RB. Image analysis to measure strain in wood and paper, Wood Science and Technology. 1991; 25:251-262.
28. Jedicke O, Eisenreich N. Optische Messung der Geschwindigkeitsverteilung bei Deformationsversuchen unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten. In: Proceedings of the 30th Int. Ann. Conference of ICT, 1999 29 Jun- 2 Jul; Karlsruhe, Germany. Karlsruhe: Fraunhofer ICT. p. 111/1-111/10.
29. Deimling L, Blanc A, Eisenreich N. Evaluation of Fast Tensile Tests by Image Processing, In: Proceedings of the 36th Int. Ann. Conference of ICT, 2005 28 Jun- 1 Jul; Karlsruhe, Germany. Karlsruhe, Germany: Fraunhofer ICT. p. 193/1-193/11.
30. Eisenreich N, Geißler A, Geißler E, Götz J. Structure Characterization of Filled Polymers by Means of MRI. Chem. Eng. Technol. 2006 Jul; 29(7):802–806.
31. Kennedy P, Agland S. Obstacle Avoidance in Crowd Simulations: A Machine Learning Method for Intelligent Steering. Machine Learning (31734), 2002, http://www.scribd.com/doc/27589409/Obstacle-Avoidance-in-Crowd-Simulations-A-Machine-Learning-Method-for-Intelligent-Steering
32. Musse SR, Thalmann D. A Model of Human Crowd Behavior: Group Inter-Relationship and Collision Detection Analysis. In: Computer Animation and Simulations. '97,

Proceedings of Eurographics workshop on Programming Paradigms for Graphics, 1997; Budapest, Hungary, Wien, Austria: Springer. c1997, p. 39-51

33. Mehran R, Oyama A, Shah M. Abnormal crowd behavior detection using social force model. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009 20-25 June; Miami, FL, USA. c2009. P.935-942.
34. Mehran R, Moore BE, Shah M. A Streakline Representation of Flow in Crowded Scenes. Computer Vision - ECCV 2010 Lecture Notes in Computer Science. 2010; 6313:439-452
35. Yu W. and Johansson A.. Modeling crowd turbulence by many-particle simulations. Physical Review E (Statistical,Nonlinear, and Soft Matter Physics), 76 (4):046105, 2007
36. Johansson, A., Constant-net-time headway as a key mechanism behind pedestrian flow dynamics, *Physical Review E* **80**, (2009) 026120

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung:

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.