

Echtzeitbildverarbeitung (1)

Prof. Dr. Udo Frese

Übungen & Prüfungen

Was ist Bildverarbeitung?

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

Was heißt Echtzeit?

Überblick über die Vorlesung

Anwendungen

Übungen & Prüfungen

Zielgruppe und Anerkennung

- ▶ **VAK: 03-MB-709.03**
- ▶ **Informatikstudierende:**
 - ▶ Bachelor (freie Wahl)
 - ▶ Master-Basis (Schwerpunkt: KIKR)
 - ▶ Kurs kann im Bachelor belegt und im Master verwertet werden
- ▶ **Digitale-Medien-Studierende:**
 - ▶ Bachelor
 - ▶ Master (nur freie Wahl, wegen Sprache Deutsch)
- ▶ **Systems Engineering**
 - ▶ Bachelor / Master

Übungen & Prüfungen

Vorlesung

- ▶ **Di, 12:15-13:45 in MZH 1460**
- ▶ **Information:**
`www.informatik.uni-bremen.de/agebv/de/VeranstaltungEBV11`
- ▶ **Inhaltliche Voraussetzung: Bildverarbeitung I (in Grundzügen)**
- ▶ **Ausrichtung: praktisch & anwendungsnah (≠ leicht)**
- ▶ **Ziele:**
 - ▶ einige Methoden zur Bildverarbeitung in Echtzeit beherrschen
 - ▶ in einer Anwendung potentielle Probleme erkennen
 - ▶ ein Gefühl, welche Methode sich für welche Anwendung eignet

Übungen & Prüfungen

Übungen

- ▶ **Do, 12:15 - 13:45 in MZH 1460**
- ▶ **6 Übungszettel (80 Punkte) mit 14 Tage Bearbeitung:**
 - ▶ je eine Programmieraufgabe in C++ (10 Punkte)
 - ▶ je eine Anwendungsaufgabe (4 Punkte) (außer Zettel 5)
 - ▶ je eine „Bonusfrage“ (1 Bonuspunkt)
- ▶ **Unter LINUX mit gcc / OpenCV**
- ▶ **Unter Windows mit Visual C++ / OpenCV**
- ▶ **Unter Mac oder auf jeder weiteren Plattform auf eigenes Risiko**
- ▶ **Zur ersten Übung am 7.4.**
 - ▶ bitte Notebook mitbringen
 - ▶ openCV schon installiert haben (Anleitung im Web)
 - ▶ Beispiel aus Webseite starten können

Übungen & Prüfungen

Übungen

- ▶ **Abgabe in Gruppen zu 2-4 Studierenden**
- ▶ **Abgabe per Email an Tobias Hammer <hammer@tzi.de>**
- ▶ **Bis jeweils Montag Nacht**
- ▶ **Dateiname ebvuebung209.zip, Ziffer 1: Zettel, Ziffer 2-3: Gruppe**
- ▶ **Abgabe des Textes der Aufgabenbearbeitung als .pdf**
- ▶ **Relevanter Sourcecode im Text, kompilierbare Sourcedatei(-en)**
- ▶ **Bitte auf Portierbarkeit achten**
- ▶ **Emails & Namen aller Gruppenmitglieder angeben**
- ▶ **Vorstellung der Lösung der Programmieraufgabe in der Übung**
- ▶ **Vorstellung der Anwendungsaufgabe informal durch Studierende in der Übung**

Übungen & Prüfungen

Prüfungen

- ▶ **ECTS: 6 Punkte / TMG: 2**
- ▶ **Mündliche Prüfung**
 - ▶ einzelnes Gespräch von 20-30min über *Vorlesung*
 - ▶ Prüfung beginnt mit einer kleinen Anwendungsaufgabe (ca. 3min Überlegungszeit)
 - ▶ Übungszettel formal egal, aber zu empfehlen
- ▶ **Übungszettel & Fachgespräch**
 - ▶ Basisnote nach nebenstehender Tabelle aus den *Übungspunkten (von 80)*
 - ▶ bei veränderter Gesamtpunktzahl entsprechend skaliert
 - ▶ Fachgespräch 20-30min in Gruppen über die *Übungsaufgaben*

Note	≥ Punkte (von 80)	%
1.0	76	95
1.3	72	90
1.7	68	85
2.0	64	80
2.3	60	75
2.7	56	70
3.0	52	65
3.3	48	60
3.7	44	55
4.0	40	50

Übungen & Prüfungen

Zeitbudget

	Übungszettel & Fachgespräch	Mündliche Prüfung
Vorlesung	21 h	21 h
Übung	21 h	21 h
Übungszettel	120 h	60 h
Nacharbeiten / Lernen	15 h	60 h
Summe (6 ECTS = 180h)	177 h	162 h

Übungen & Prüfungen

Literatur

- ▶ (Folien im Netz)
- ▶ **E. R. Davies: Machine Vision. Theory , Algorithms, Practicalities, Academic Press, 2005**
- ▶ **Th. Hermes: Digitale Bildverarbeitung, Hanser-Verlag, 2004**
- ▶ **W. Abmayr: Einführung in die digitale Bildverarbeitung, B.G. Teubner, 1994**
- ▶ **B. Jähne: Digitale Bildverarbeitung, Springer-Verlag, 1989 (auch spätere Auflagen)**
- ▶ **R.B. Fisher, K. Dawson-Howe, A. Fitzgibbon, C. Robertson, E. Trucco, Dictionary of Computer Vision and Image Processing, Wiley, 2005**

Was ist Bildverarbeitung?

- ▶ **Nicht Photoshop! (Bildbearbeitung)**
- ▶ **Englisch: computer vision, d.h. „sehen“ mit dem Computer**
- ▶ **„A broad term for the processing of image data. Every professional will have a different definition. [...]“, Dictionary of Computer Vision and Image Processing, Wiley, 2005**
- ▶ **Für uns enge Definition:
„Automatisches Erkennen von Objekten in Bildern und Bestimmung derer 2D Lage im Bild und 3D Lage im Raum“**

Was ist Bildverarbeitung?

- ▶ **Automatisches Erkennen von Objekten in Bildern und Bestimmung derer 2D Lage im Bild und 3D Lage im Raum**
- ▶ **Eingabe: ein Bild**
- ▶ **Ausgabe: Information über das Bild**



Was ist Bildverarbeitung?



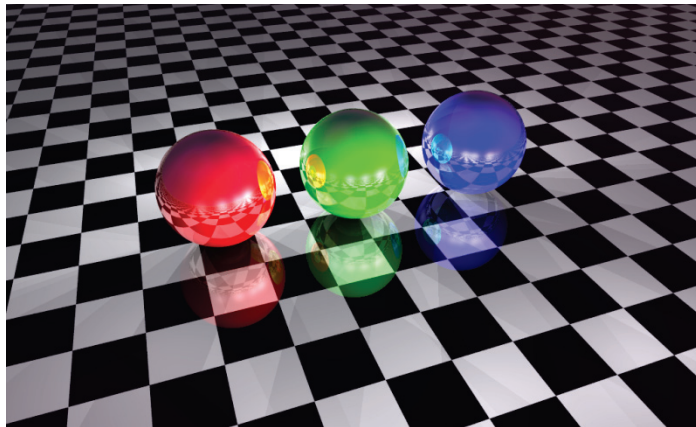
Bildverarbeitung



Was ist Bildverarbeitung?



Bildverarbeitung



Computergrafik

sphere (0, 0, 0)
with radius 0.8
sphere (0, 1, 0)
with radius 0.8
sphere (0, 2, 0)
with radius 0.8

Was ist Bildverarbeitung?

- ▶ **Eine Sichtweise auf Bildverarbeitung:**
„Bildverarbeitung ist das Umkehrproblem zur Computergrafik.“
- ▶ **Daraus motivierter Lösungsansatz:**
„Finde die Geometrie, die beim computergrafischen Rendern das beobachtete Bild produziert.“
- ▶ **Vorsicht: Die Sichtweise als Umkehrproblem kann in die Irre führen!**

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

- ▶ **Gutes mathematisches Modell für perspektivische Abbildung (wo erscheint etwas im Bild?)**
- ▶ **Aber kein gutes mathematisches Modell für Aussehen (*wie* sieht es im Bild *aus*?), weil jede Menge „seltsamer Effekte“ ein Bild beeinflussen.**
- ▶ **3D Lageschätzung aus 2D Daten, ist ein mathematisches Problem (wir wissen genau *was* wir ausrechnen wollen, nur nicht *wie*)**
- ▶ **2D Erkennen ist ein nicht mathematisches Problem (wir wissen nicht, *was* wir formal eigentlich ausrechnen wollen)**
- ▶ **Deshalb, Erkennen anhand charakteristischer Merkmale.**

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



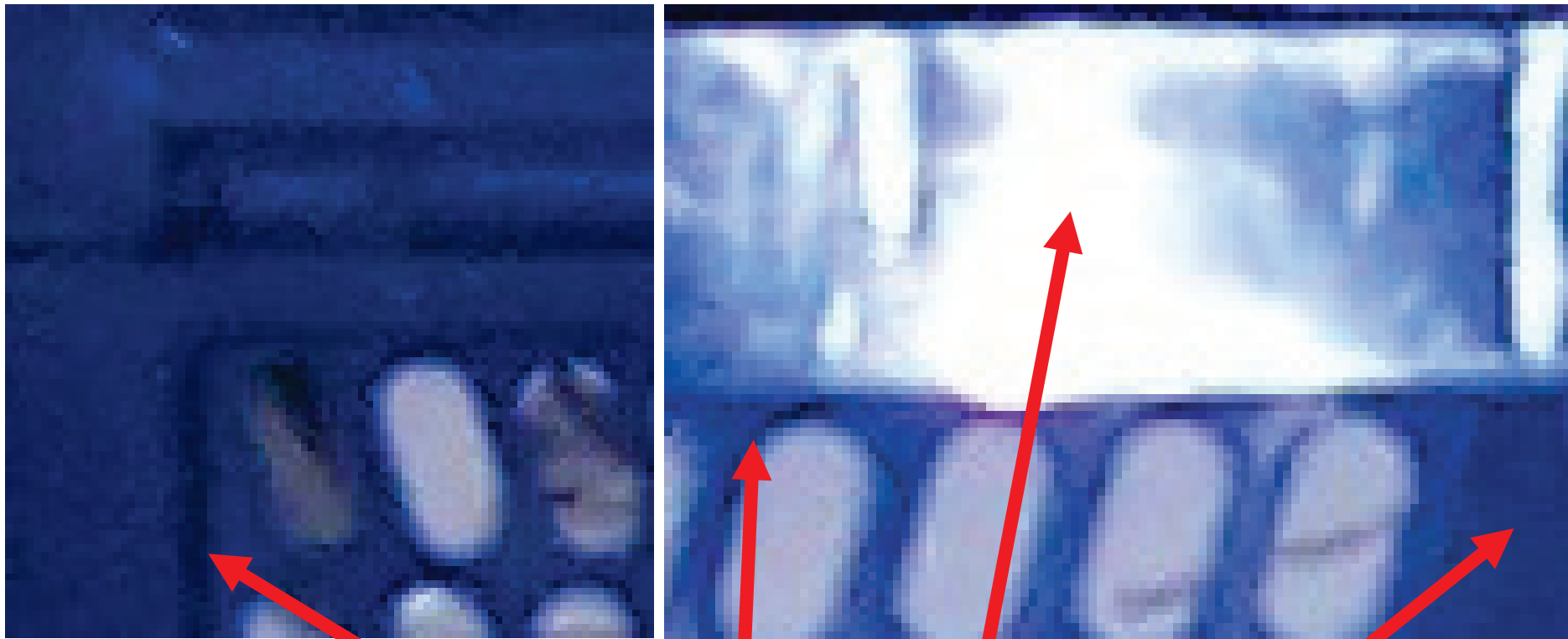
- ▶ Erkennen anhand charakteristischer Merkmale
- ▶ Frage an das Auditorium:
Was wären geeignete Merkmale für Kiste und Wäschetonne?

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



- ▶ Erkennen anhand charakteristischer Merkmale
- ▶ Frage an das Auditorium:
Was wären geeignete Merkmale für Kiste und Wäschetonne?
 - ▶ Farbe
 - ▶ Kontur
 - ▶ Muster / Textur
- ▶ Weil jede Menge „seltsamer Effekte“ das Bild beeinflussen

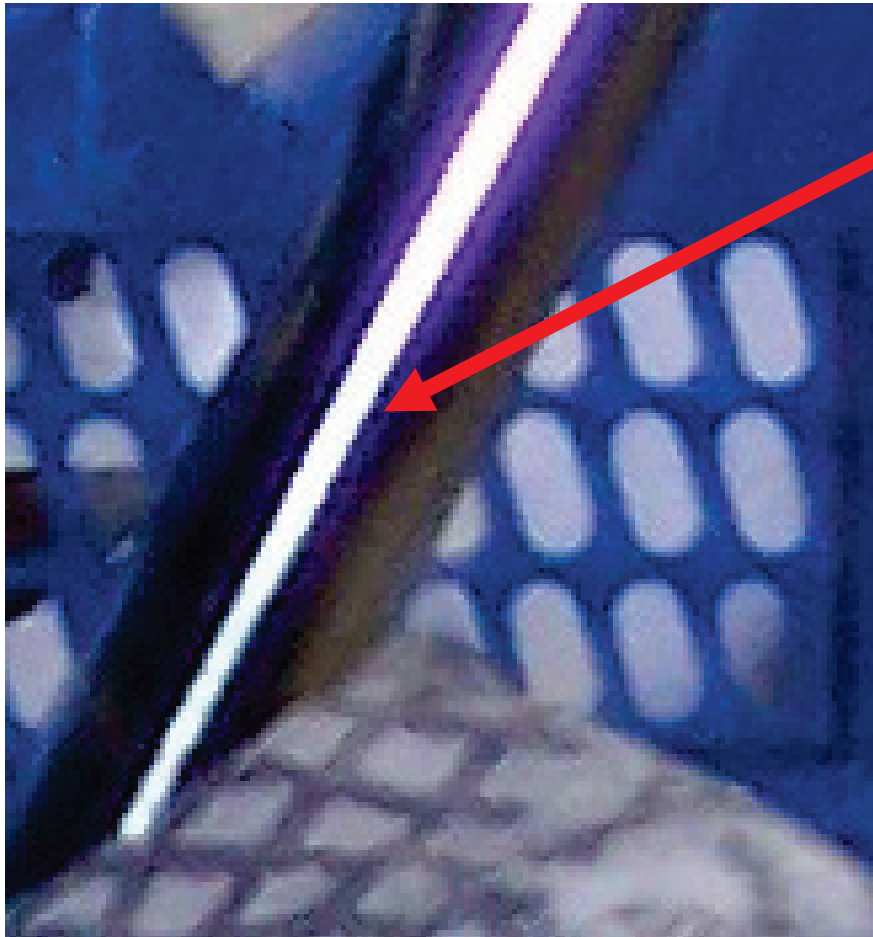
Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



Merkmal Farbe:

Störung durch Schatten, Übergänge, Reflexionen, Rauschen

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



Merkmale Farbe:

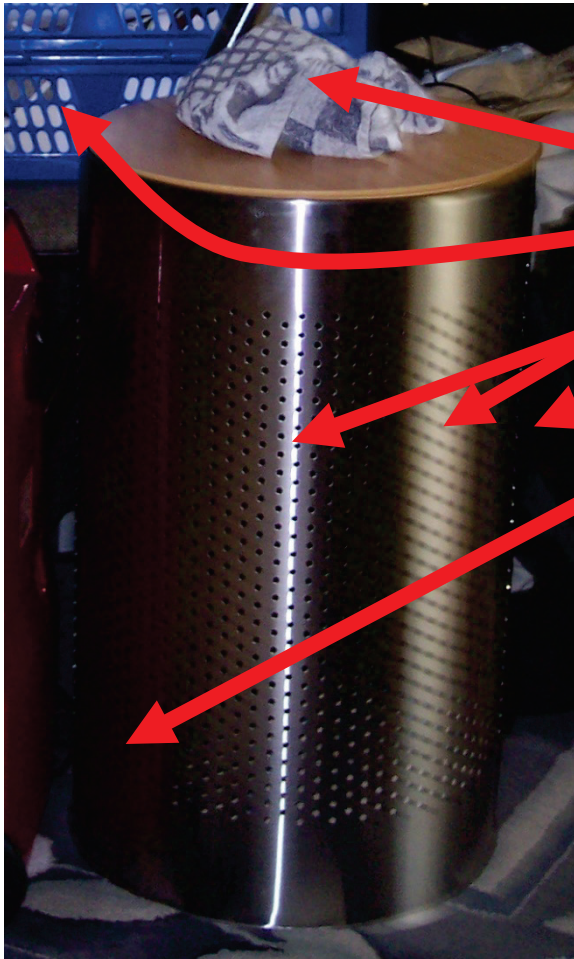
- ▶ **Farben an unerwarteten Stellen**
- ▶ **Farbe von Beleuchtung abhängig**
- ▶ **Farbe degeneriert in dunklen Bereichen**

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



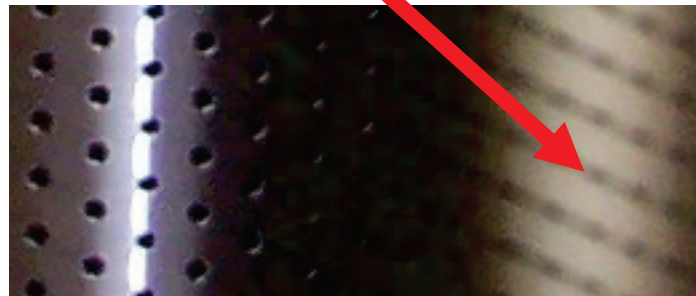
**Frage an das Auditorium:
Gibt es weitere „seltsame“ Effekte?**

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



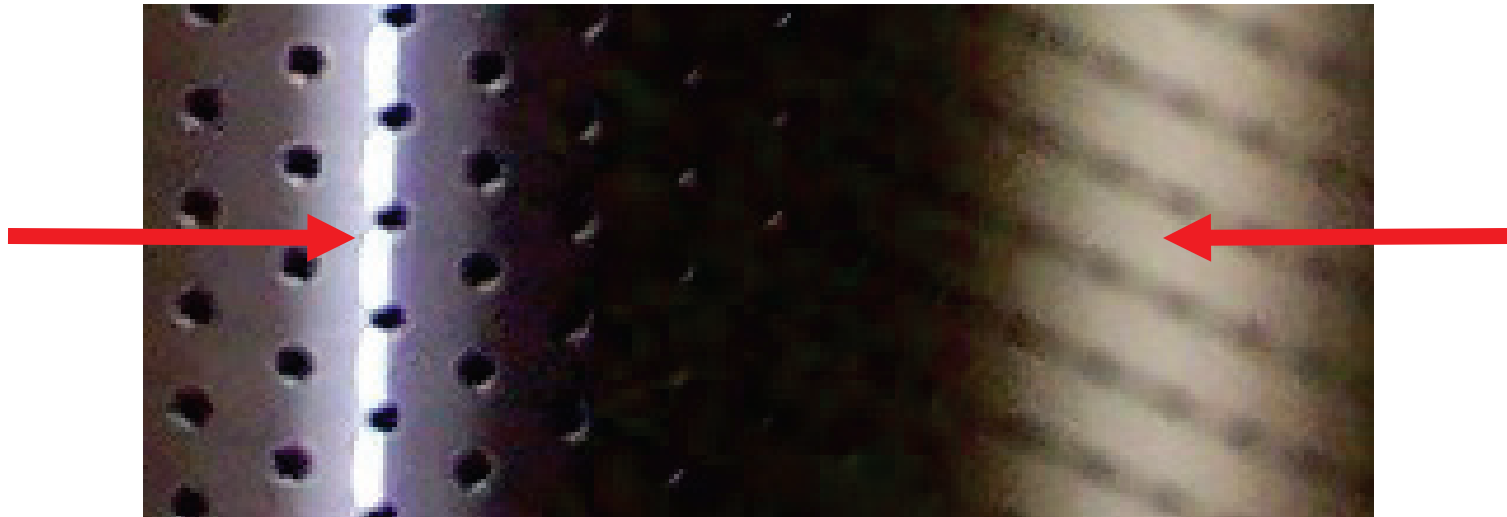
Merkmal: Kontur / Textur

- ▶ Verdeckung
- ▶ „seltsame“ Verdeckung / Transparenz
- ▶ Glanzlichter
- ▶ zufälliger Kontrastmangel
- ▶ Wechselwirkung mit anderen Objekten
- ▶ Unschärfe



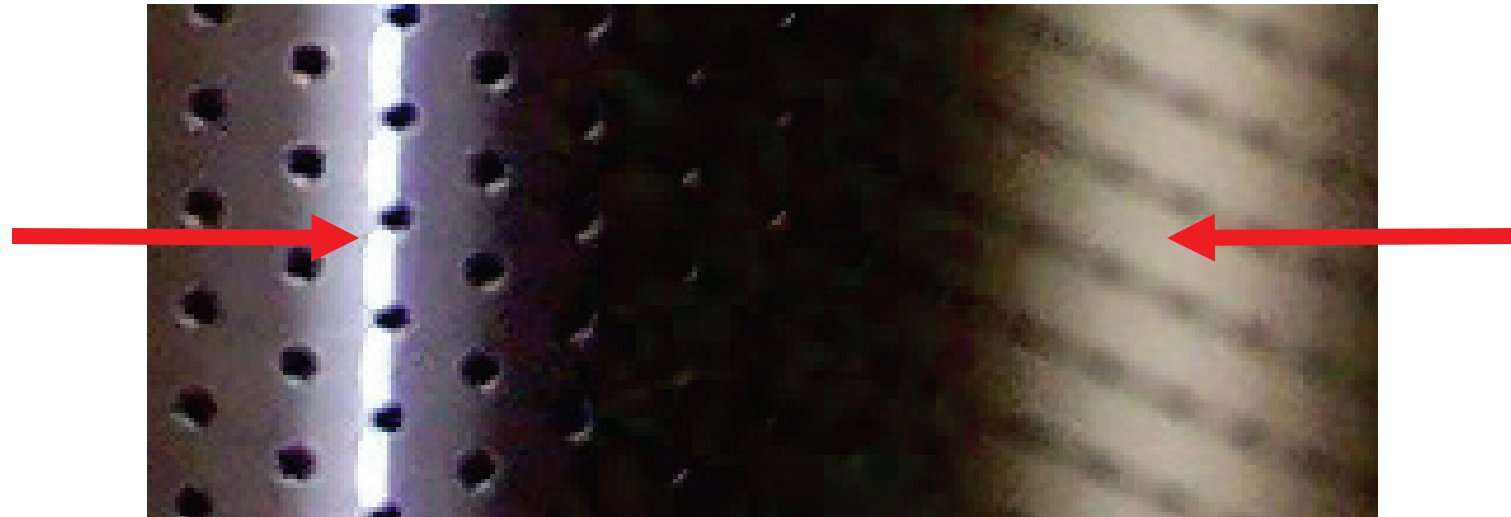
Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

- ▶ Frage an das Auditorium: Warum sind die Löcher der Wäschetrommel links scharf und rechts unscharf?

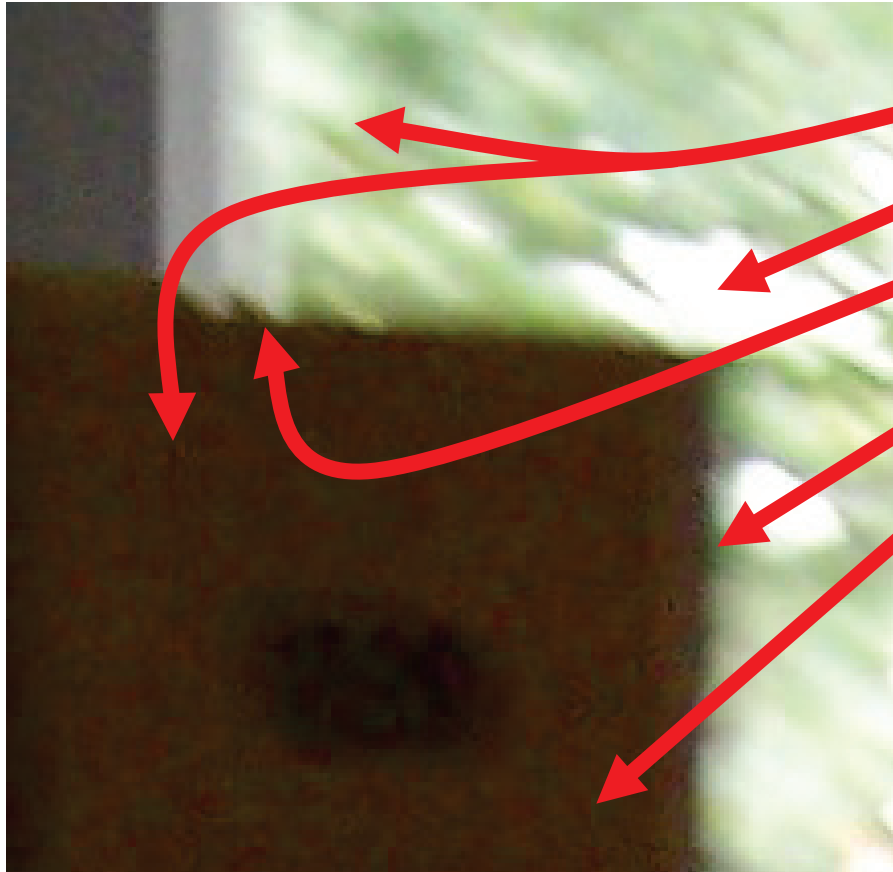


Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

- ▶ Frage an das Auditorium: Warum sind die Löcher der Wäschetrommel links scharf und rechts unscharf?
- ▶ Die Unschärfe ist Bewegungsunschärfe, weil die Kamera (nach links-unten oder rechts-oben) wackelt. Der linke Teil wurde vom Blitz und damit nur kurz beleuchtet. Der rechte Teil von einer Lampe und damit lang.



Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



Merkmal: Kontur / Textur

- ▶ **Ungleichmässige Beleuchtung**
- ▶ **Überbelichtung**
- ▶ **Wechselwirkung zwischen Unschärfe und Kontrastwechsel**
- ▶ **Unschärfe**
- ▶ **Rauschen (gerade in dunklen Bildbereichen)**

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

- ▶ Viele, sehr komplizierte Effekte beeinflussen, wie ein bekanntes Objekt im Bild aussieht
- ▶ Objekte können teilweise verdeckt sein

Deshalb:

- ▶ 2D Erkennung ist kein Umkehrproblem zur Computergrafik
- ▶ Aufsetzen auf Merkmalen, die möglichst stabil und reproduzierbar sind
- ▶ Robuste Erkennung muss mit fehlenden Merkmalen klar kommen
- ▶ Wahl der Merkmale ist Expertenwissen

Was ist Echtzeit?

- ▶ **„Betriebsart eines Computers [...] bei dem [...] alle Aufgaben sofort vom Computer verarbeitet werden müssen, da er in die Abwicklung des Prozesses direkt eingebunden ist.“,**
Meyers großes Taschenlexikon
- ▶ **„Any computation performed within the time limits imposed by a given process. [...]“,**
Dictionary of Computer Vision and Image Processing, Wiley, 2005
- ▶ **mit anderen Worten:
Ein Programm rechnet in Echtzeit, wenn es die Eingabedaten so schnell verarbeitet, wie der Vorgang, der sie erzeugt.**

Was ist Echtzeit?

- ▶ **Beispiele (um die Breite des Begriffs zu zeigen):**
 - ▶ Elementarteilchen Detektor analysiert Spuren einer Teilchenkollision bei jedem Umlauf der Teilchen durch den Beschleunigerring ($20\mu\text{s}$)
 - ▶ Motorregelung löst Einspritzung / Zündung bei jeder Umdrehung aus (ca. 10ms)
 - ▶ Echtzeit Multimedia (20ms-100ms)
 - ▶ Echtzeit Tsunami Vorhersage liefert ein Ergebnis, bevor die Welle die Küste erreicht (1min – 1h).
 - ▶ Echtzeit Überwachung von Pflanzenwachstum (nein, ein Witz!)
- ▶ **Abhängig von Vorgang bzw. Anwendung**

Was ist Echtzeitbildverarbeitung?

- ▶ **Pragmatische Definition von „Echtzeitbildverarbeitung“:**
Bildverarbeitung ungefähr im Videotakt (20ms-200ms)
- ▶ **Rechenzeit ist die dominante Einschränkung**
- ▶ **Noch keine Spezialhardware notwendig**
- ▶ **Zwei Motivationen für Echtzeit:**
 - ▶ Industrie: Hoher Teiledurchsatz (z.B. 50 Schrauben pro Sekunde)
 - ▶ Forschung: Analyse von Bewegungen (fliegender Ball)

Was ist Echtzeitbildverarbeitung?

- ▶ **Bildverarbeitung ist schwierig!**
- ▶ **Ist Echtzeitbildverarbeitung super schwierig?**
- ▶ **Konsequenz: Keine natürlichen Szenen, sondern präparierte**
 - ▶ Industrie: Szene so gut wie möglich präparieren
 - ▶ Forschung: Szene so natürlich wie möglich lassen

Überblick über die Vorlesung

05.04	Einführung; Industrielle Anwendungen; Forschungsanwendungen
12.04	Weg des Bildes in den Rechner; Industrieller Ansatz: Schwellwert, Regionenbildung
19.04	Automatischer Schwellwert; charakteristische Größen, Trägheitsmomente
03.05	Was ist Farbe?; Farbsegmentierung als statistische Klassifikation
10.05	k-D Baum für Farbsegmentierung; Look-up-tables; RoboCup
17.05	Faltungsoperationen; Kanten- und Liniendetektion; Houghtransformation
24.05	Kreis Hough Transformation
31.05	Linien Hough Transformation
07.06	Rekapitulation 2D Bildverarbeitung; homogene Koordinaten
14.06	Parametrisierung von Drehungen, Kameragleichung in 3D, Geom. Rekonstruktion
21.06	Quadratische Ausgleichsrechnung, Downhill Simplex
28.06	Zustandsschätzer, Partikel Filter, Mess- und Dynamikmodelle
05.07	Partikelfilter: Initialisierung, Resampling, Herleitung
12.07	Anwendungen von Partikel Filtern, Ausblick: Kognitive Bildverarbeitung, Rekap.

2D

3D

Anwendungen in der Industrie

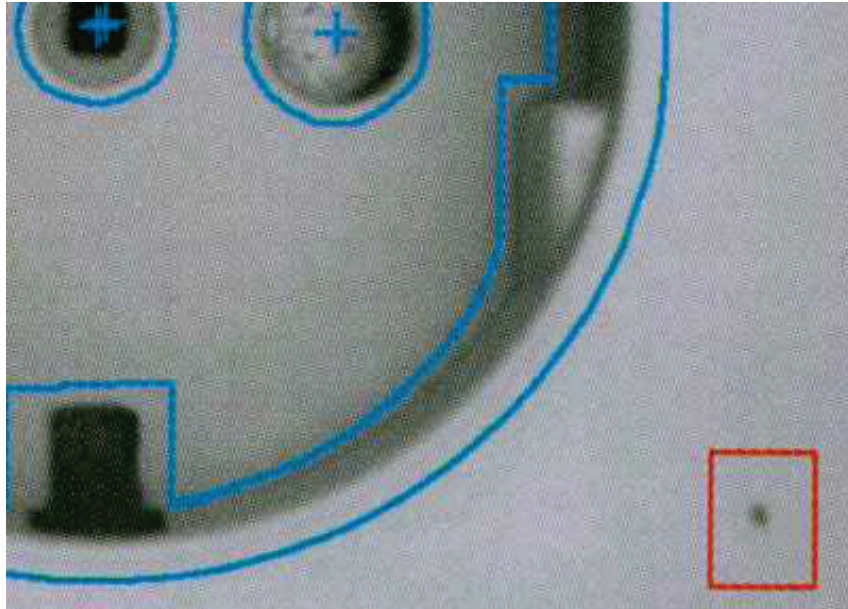
Sammlung: <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/vision.html>

Anwendung: Leergutererkennung



- ▶ Flaschen über Spiegel vor Durchlichtkasten aufgenommen
- ▶ Form als Bildregion bestimmt
- ▶ Vergleich mit gespeicherten Flaschenformen
- ▶ Waage für Zusatzinformation (und leer / voll)
- ▶ Quelle: WDR, die Sendung mit der Maus (www.wdrmaus.de)

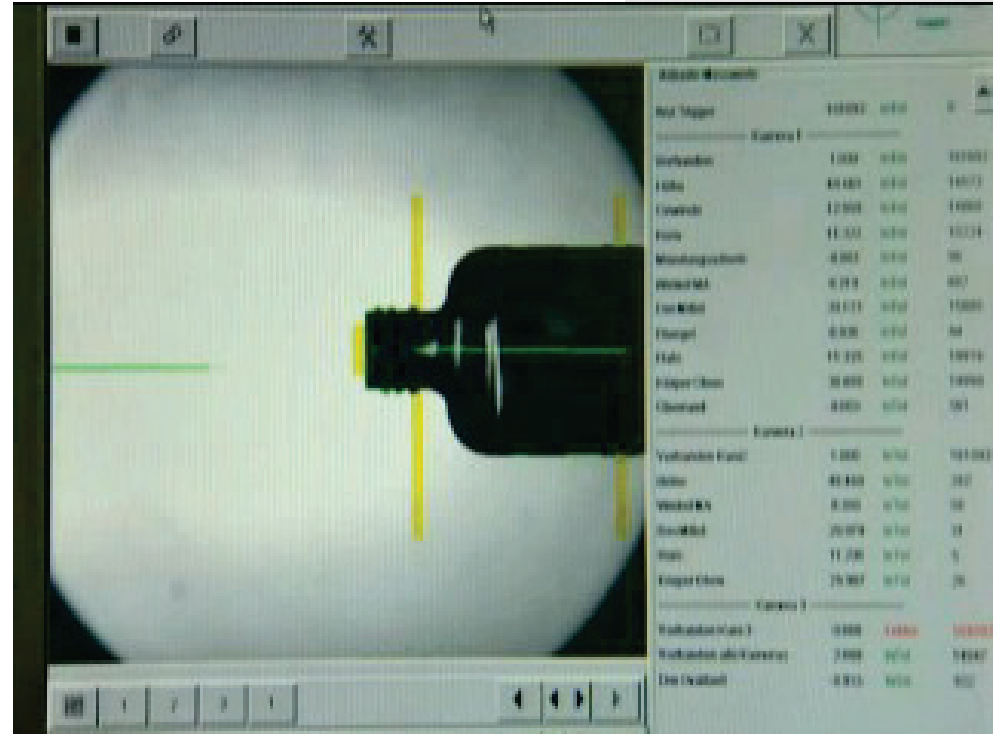
Anwendung: Oberflächenkontrolle



- ▶ **Oberfläche eines Kunststoffteils auf Kratzer überprüfen**
- ▶ **Position über Merkmale bestimmen**
- ▶ **Abgespeicherte Regionen einheitlichen Materials**
- ▶ **Schwellwert auf Kontrast in diesen Regionen**
- ▶ **Quelle: Heckenkamp, 1999**

Anwendung: Qualitätskontrolle

- ▶ **Qualitätskontrolle in der Flaschenproduktion**
- ▶ **Maße**
- ▶ **Fehlstellen**
- ▶ **Heller Hintergrund (vermutlich mit Speziallicht)**
- ▶ **Quelle: N24 Wissen , 1.7.09 (www.n24.de)**



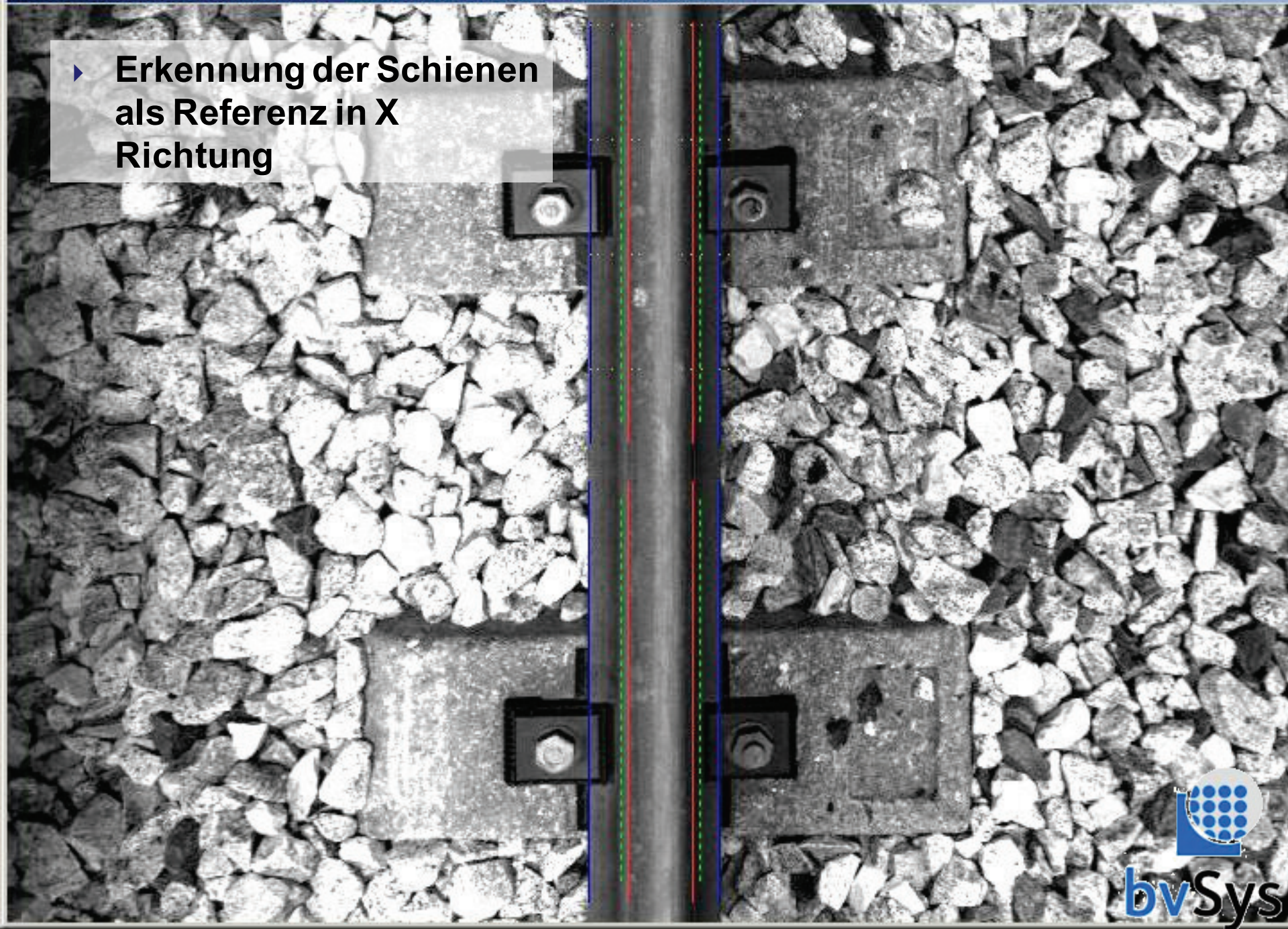
Video 1

Anwendung: Inspektion von Schienen

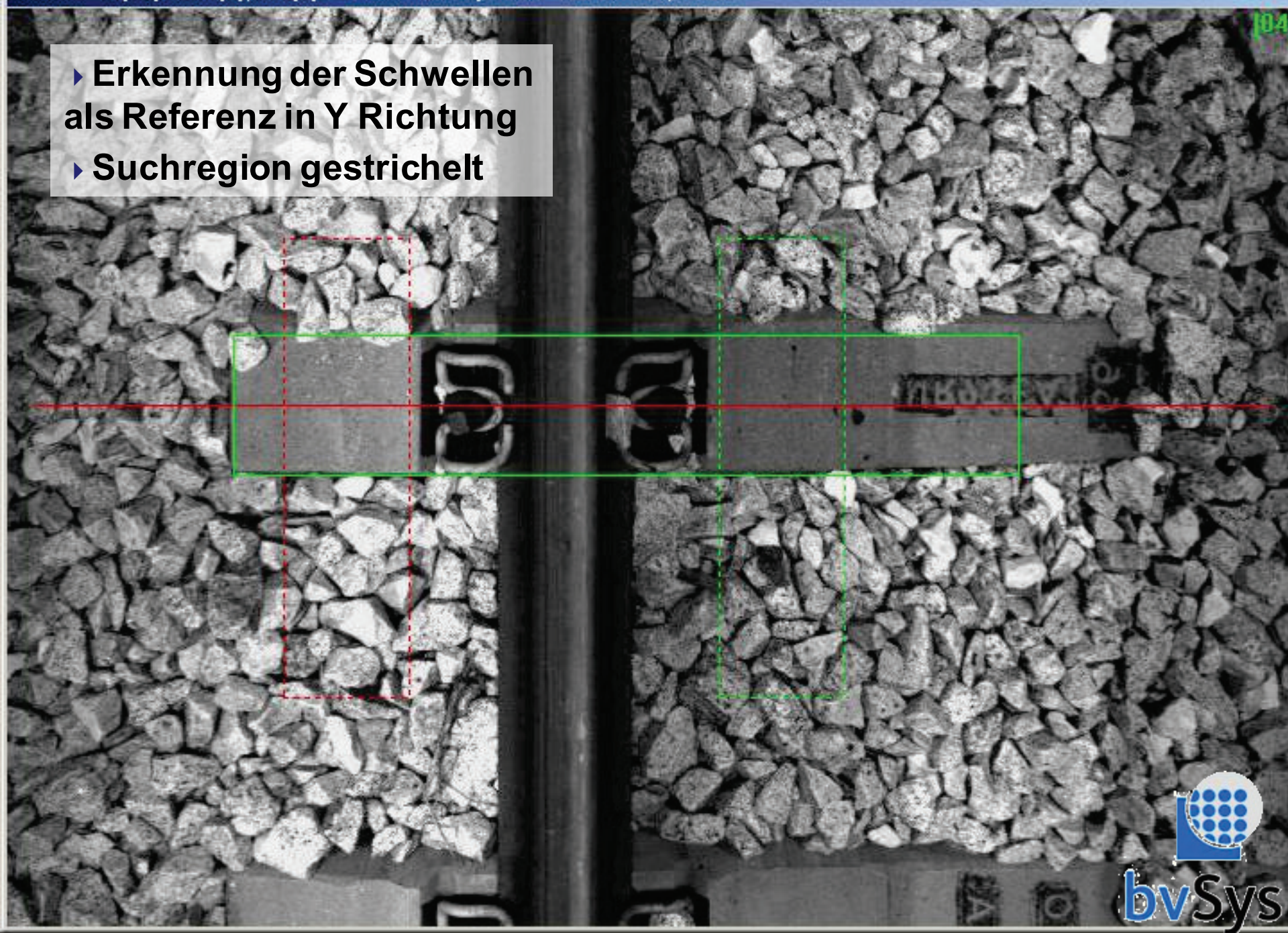


- ▶ Erkennen von Rissen in Eisenbahnschwellen während der Fahrt eines Messwagens
- ▶ Kameras links und rechts unter Messwagen angebracht
- ▶ 1. Detektion des Gleises
- ▶ 2. Detektion der Schwellen
- ▶ 3. Detektion von Rissen in Schwellen
- ▶ Echtzeit für Geschwindigkeit beim Inspizieren
- ▶ Quelle: Bildverarbeitungssysteme GmbH, <http://www.bvsys.de/>

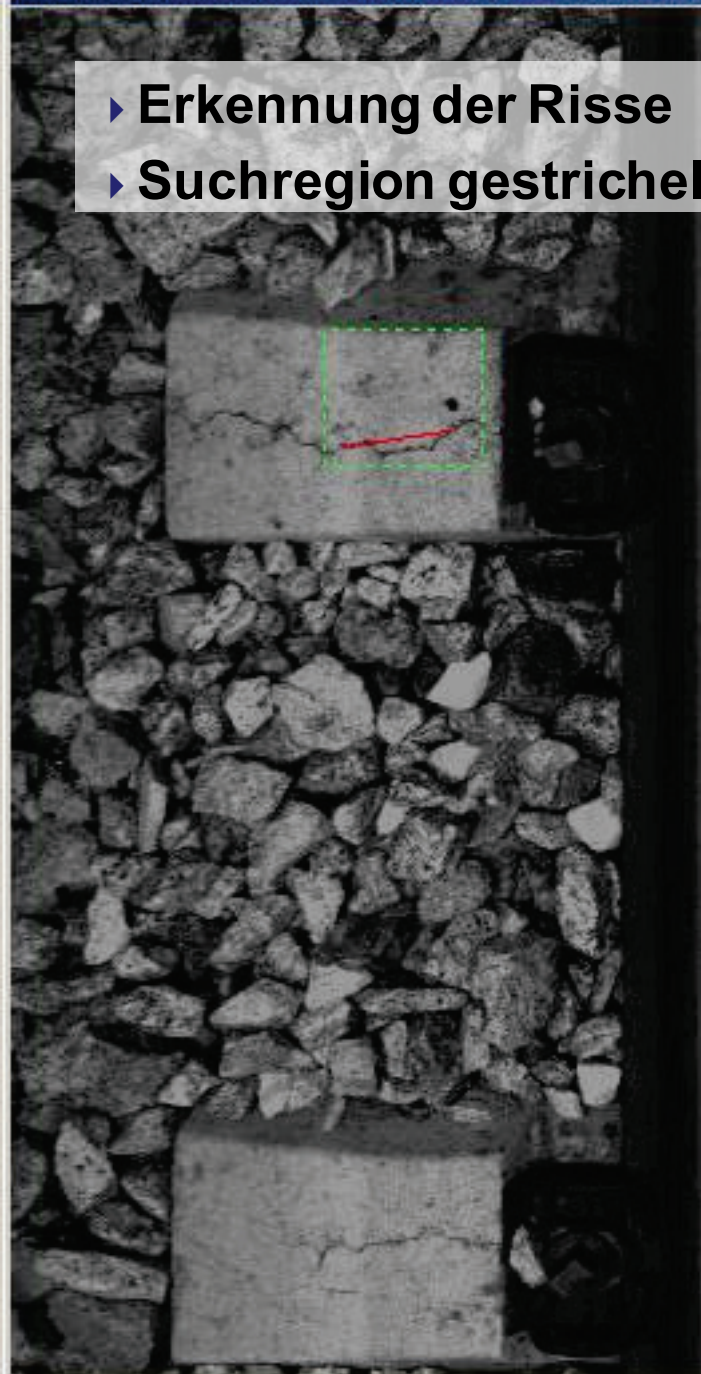
- ▶ **Erkennung der Schienen
als Referenz in X
Richtung**



- ▶ Erkennung der Schwellen als Referenz in Y Richtung
- ▶ Suchregion gestrichelt

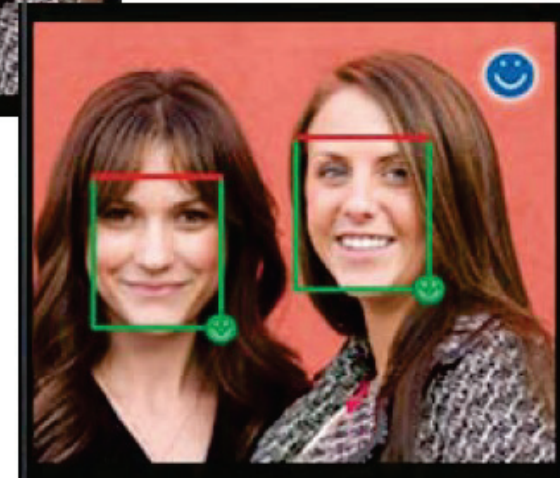
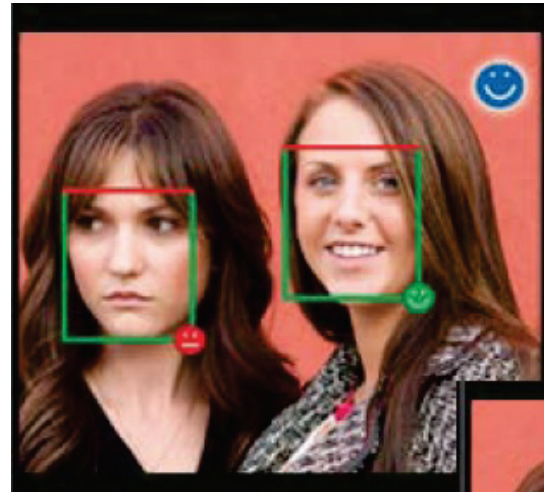


- ▶ Erkennung der Risse
- ▶ Suchregion gestrichelt



Anwendung: Gesichtserkennung

- ▶ Erkennt Gesichter in Bildern
- ▶ Weiter Anwendungsbereich: Überwachung, Mensch-Maschine-Komm., Fotografie
- ▶ Gesichter haben eine sehr charakteristische Helligkeitsstruktur (Auge, Nase, Mund)
- ▶ Spezialisierter Detektor sucht Kontrast an Stellen, deren relative Lage zu einem Gesicht passt
- ▶ In heutige Digitalkameras
- ▶ Quelle: <http://www.tessera.com/>



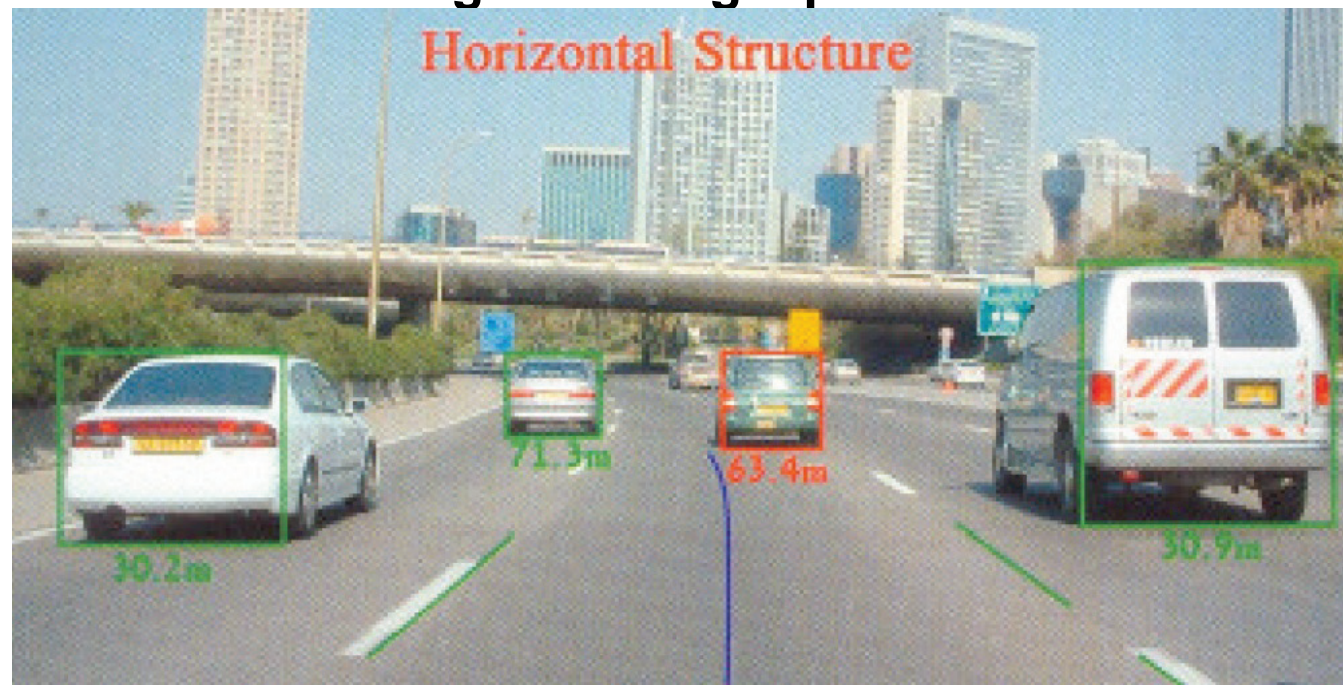
Anwendung: Schwimmüberwachung

- ▶ Mehrere Kameras im Pool verfolgen Schwimmer
- ▶ Stereomatching im 3D Objekte im Pool von Hintergrund zu unterscheiden
- ▶ Texturklassifikation um Schwimmer zu erkennen
- ▶ Positionsbestimmung durch Stereo-triangulation
- ▶ Quelle:
www.poseidon-tech.com



Anwendung: Fahrerassistenz

- ▶ Erkennt Fahrbahnlinien unter zu Hilfenahme eines Modells, wie Fahrbahnlinien im Bild aussehen (Perspektive, Strichelung, etc.)
- ▶ Erkennt Autohinterfronten durch Vergleich mit gespeicherten Mustern
- ▶ Entfernung
t.w. aus Größe,
t.w. aus Position
des Fusspunktes
im Bild
- ▶ Probleme: Regen,
Schnee, Blendung



Anzeige gültiger Geschwindigkeitsbegrenzung durch Schilderkennung

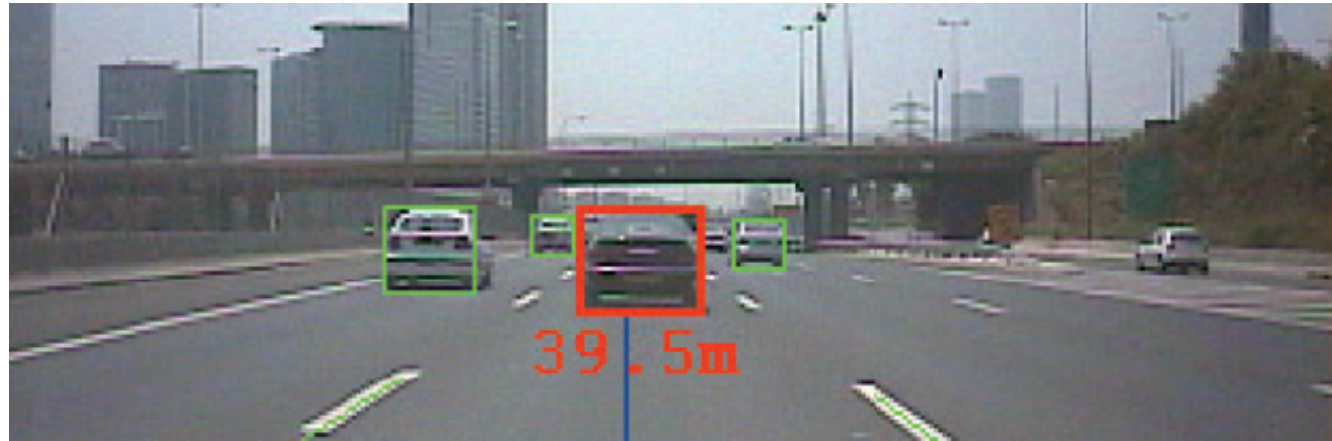
- ▶ Suche mit Houghtransformation Kreise
- ▶ Erkenne Schilder durch statistische Klassifikation
- ▶ Verfolge über mehrere Bilder für Robustheit
- ▶ Anzeige erst wenn Auto vorbeigefahren
- ▶ Quelle: U. Franke, Daimler AG



Anwendung: Fahrerassistenz

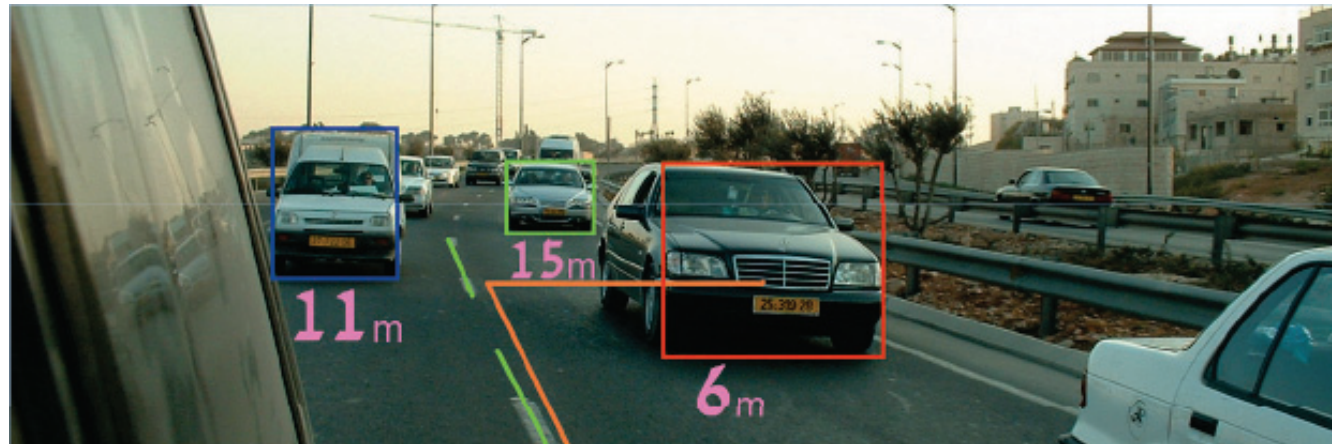
► Auffahrunfälle

Video 1



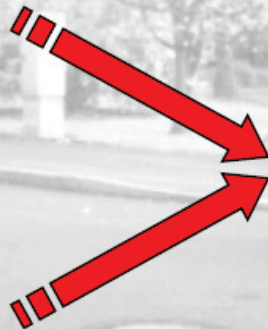
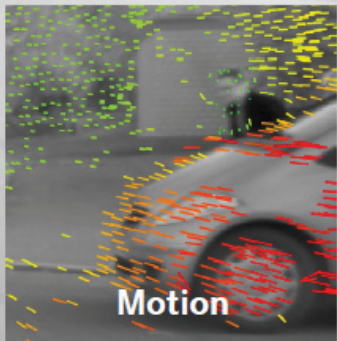
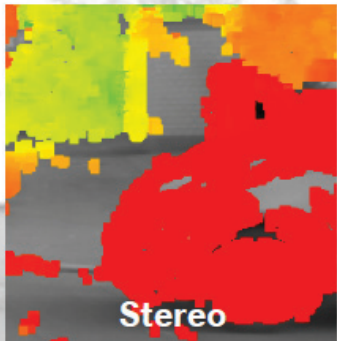
► Toter Winkel

Video 2



Anwendung: Fußgänger Notbremsung für Autos

- ▶ Bremsen, bevor Fußgänger die Straße betritt
- ▶ 3D durch Stereomatching, d.h. vergleich linkes/rechtes Bild
- ▶ Bewegung durch Matching über die Zeit
- ▶ Verbindung von beidem: Vorhersage der Bewegung von Punkten
- ▶ **Quelle:** U.Franke, C.Rabe, H.Badino, S.Gehrig:
„6D-Vision: Fusion of Stereo and Motion for Robust Environment Perception”,



The vectors point to the estimated position in 0.5 sec

Anwendung: Parkhilfe für Flugzeuge



- ▶ Parkhilfe für Flugzeuge mit einem am Gate installierten System
- ▶ Erkennung von Flugzeugen in Anfahrt auf das Gate unter Allwetterbedingungen
- ▶ Suche durch Projektion einer 3D Kontur ins Bild an einer hypothetisierten Position

- ▶ **Quelle:** Sichtsystemgestütztes Andocken von Flugzeugen, V. Gengenbach, K. H. Schäfer, H.-H. Nagel, Kl. Fleischer, H. Leuck, F. L. Muth, A. Bachem, W. Enkelmann, F. Heimes, M. Tonko, erschienen in: IITB Mitteilungen 1998, Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), 1998, S. 31-35.
- ▶ **Quelle Video:** mobil TV, Deutsche Bahn AG

Anwendungen in der Industrie

- ▶ **Größtes Anwendungsfeld: Qualitätskontrolle**
 - ▶ Kontur vor Durchsichtkasten: Maße, Fehlerfreiheit
 - ▶ Geometrische Merkmale: Vollständigkeit der Montage
 - ▶ lokale Textur: Oberflächenbeschaffenheit
 - ▶ Farbe bei festem(!) Licht: Oberflächen, Farbe, Lebensmittel
 - ▶ Konfiguration fertiger Programme
- ▶ **Montage**
 - ▶ Geometrische Merkmale: 2D oder 3D Position bestimmen
- ▶ **Echtzeit für hohen Durchsatz**
- ▶ **Spezielle Anwendung in natürlicher Umgebung**
 - ▶ Sehr schwierig, hohe Entwicklungskosten
 - ▶ Spezielle Lösungen für jedes Problem

Anwendungen in der Forschung

Anwendung: Human Motion Capture



Quelle: Hasler N., Rosenhahn B., Thormählen T., Wand M., Gall J., and Seidel H.-P.,
Markerless Motion Capture with Unsynchronized Moving Cameras, IEEE Conference on
Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'09), 2009.

Anwendung: Augmented Reality

- ▶ **Markante Punkte im Bild verfolgen**
- ▶ **Aus jeweils 5 Punkten Bewegung der Kamera ausrechnen**
- ▶ **Quadratische Ausgleichsrechnung periodisch über alle Messungen**
- ▶ **Grid/Objekte mit berechneter Kamera überblenden**



Anwendung: 3D Modellgenerierung

▶ Aufgabe: Erstelle ein 3D Modell aus einem Video einer Handheld Kamera

- ▶ 1. Rekonstruiere Bewegung der Kamera durch Verfolgen bestimmter Features
- ▶ 2.: Definiere **manuell** ein Oberflächenmodell
- ▶ 3. : Projizierte Texturen zurück auf das Modell

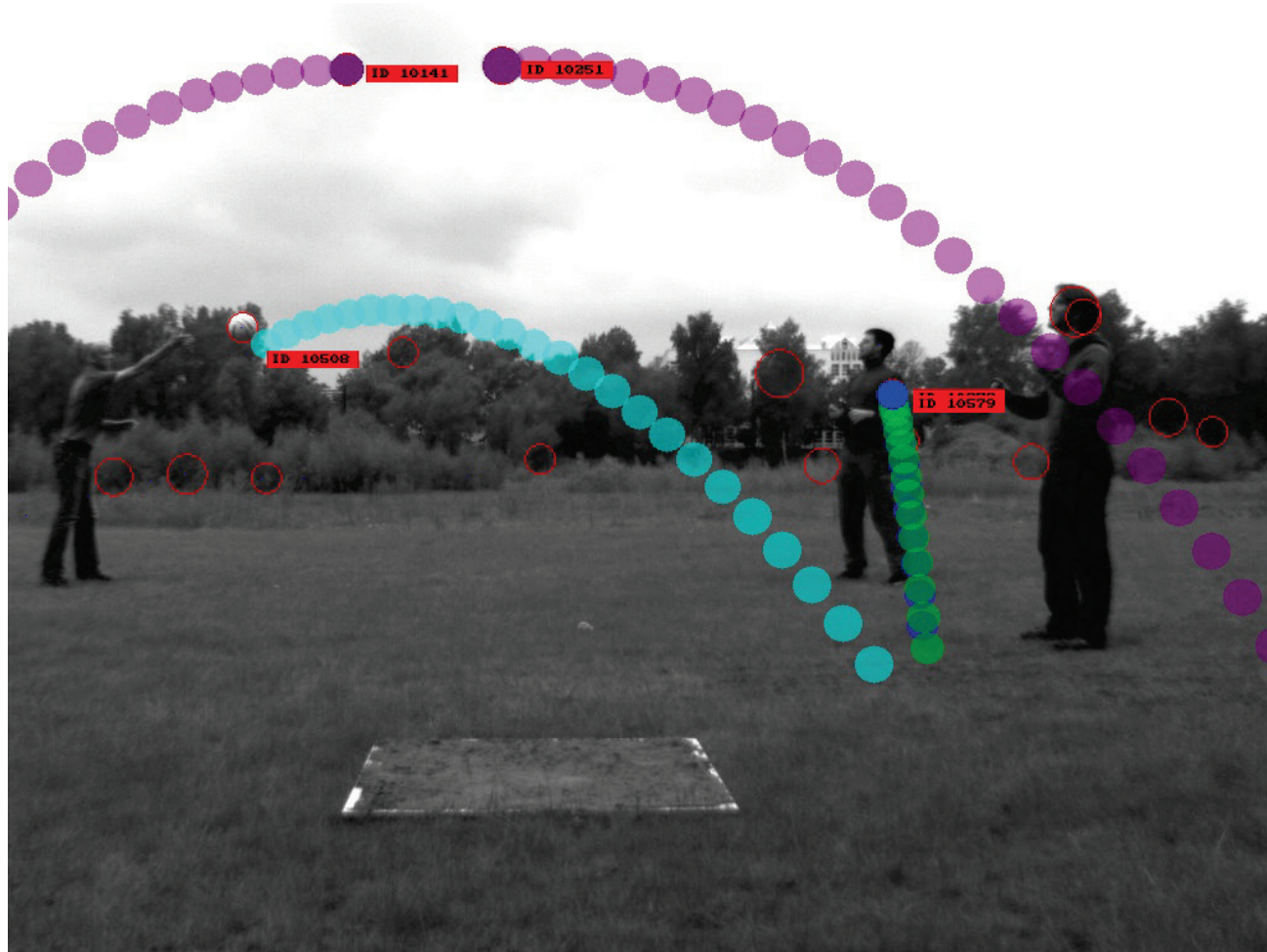
▶ Quintessenz: Oft ist ein bisschen Mensch plus viel

Computer, besser als nur Mensch oder nur Computer!

- ▶ Quelle: van den Hengel et al., VideoTrace: rapid interactive scene modelling from video , SIGGRAPH, 2007



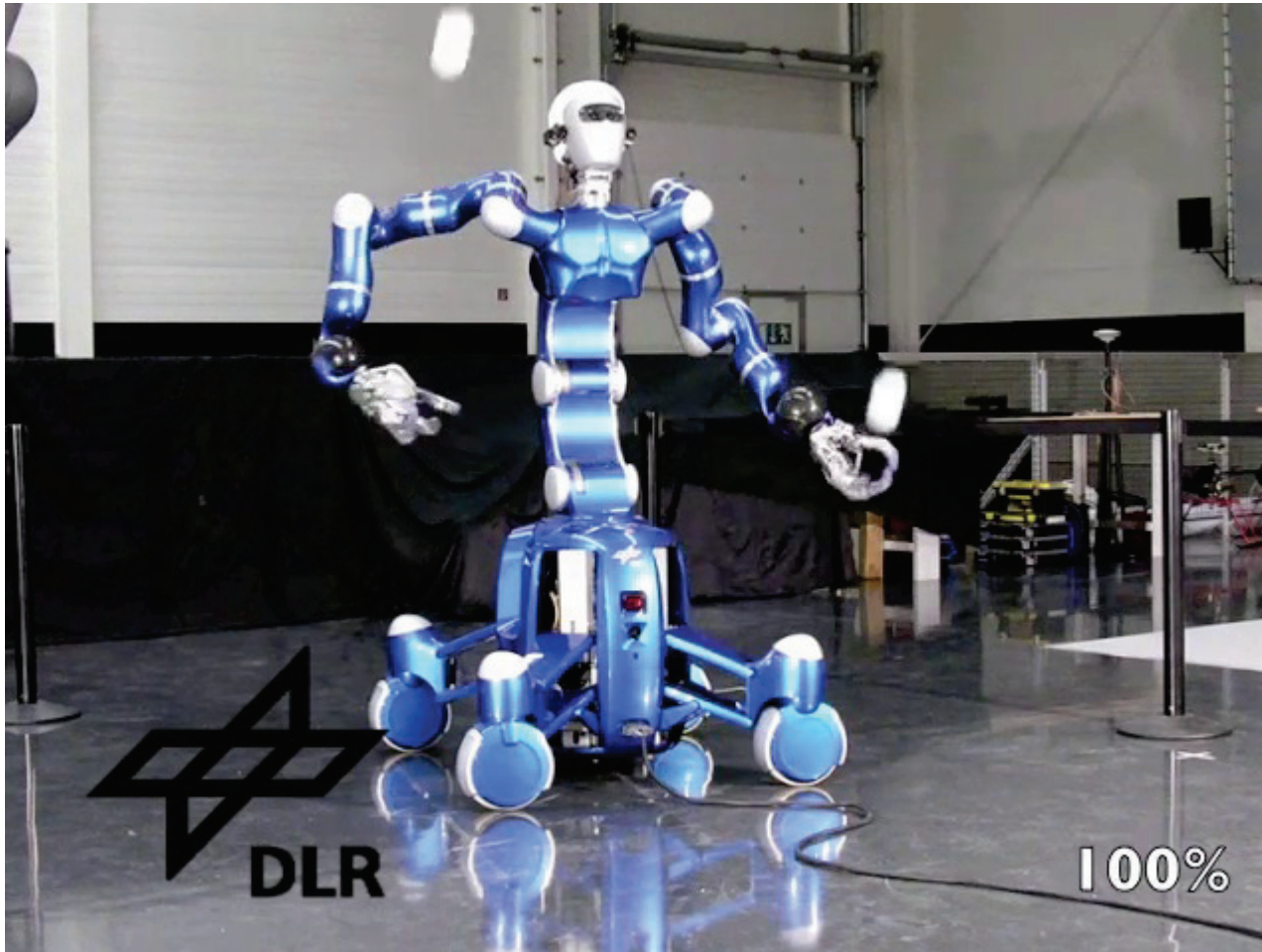
Anwendung: Verfolgen von Bällen



- ▶ **Kameras verfolgen mehrere fliegende Bälle**
- ▶ **Bälle als Kreise erkennen**
- ▶ **Kreise gemäß Fluggleichung zu Flugbahnen zusammensetzen**
- ▶ **Quelle: DLR/DFKI Bcatch, U. Frese, B. Bäuml, O. Birbach, H. Täubig**

[Video](#)

Anwendung: Verfolgen von Bällen



- ▶ **Kameras verfolgen mehrere fliegende Bälle**
- ▶ **Bälle als Kreise erkennen**
- ▶ **Kreise gemäß Fluggleichung zu Flugbahnen zusammensetzen**
- ▶ **Quelle: DLR/DFKI Bcatch, U. Frese, B. Bäuml, O. Birbach, H. Täubig**

Video

Übungszettel 3-6

▶ Vorhersage der Flugbahn eines Balles



Video

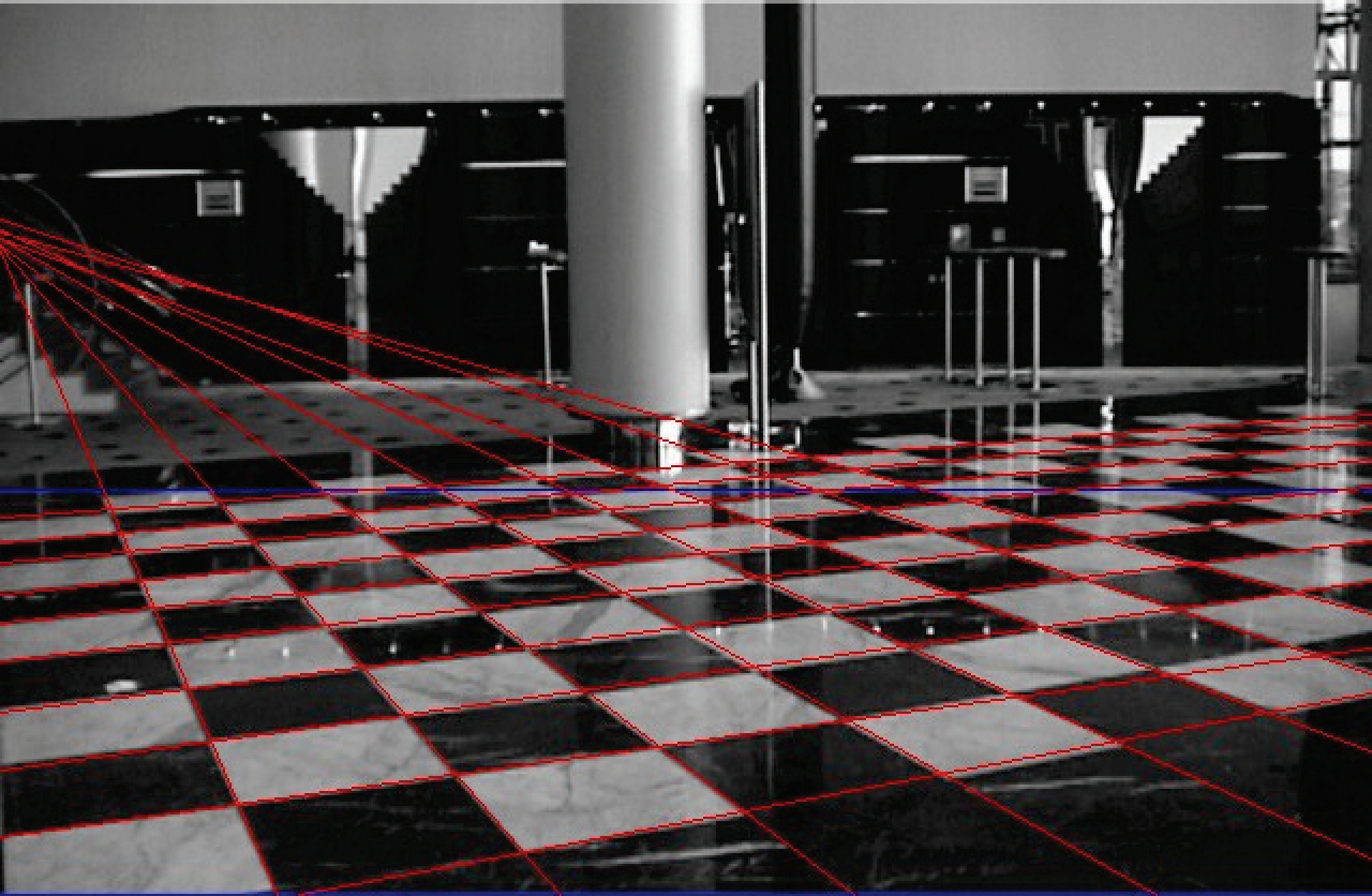
Übungszettel 3

- ▶ Erkennen des Balles mit Kreis - Houghtransformation

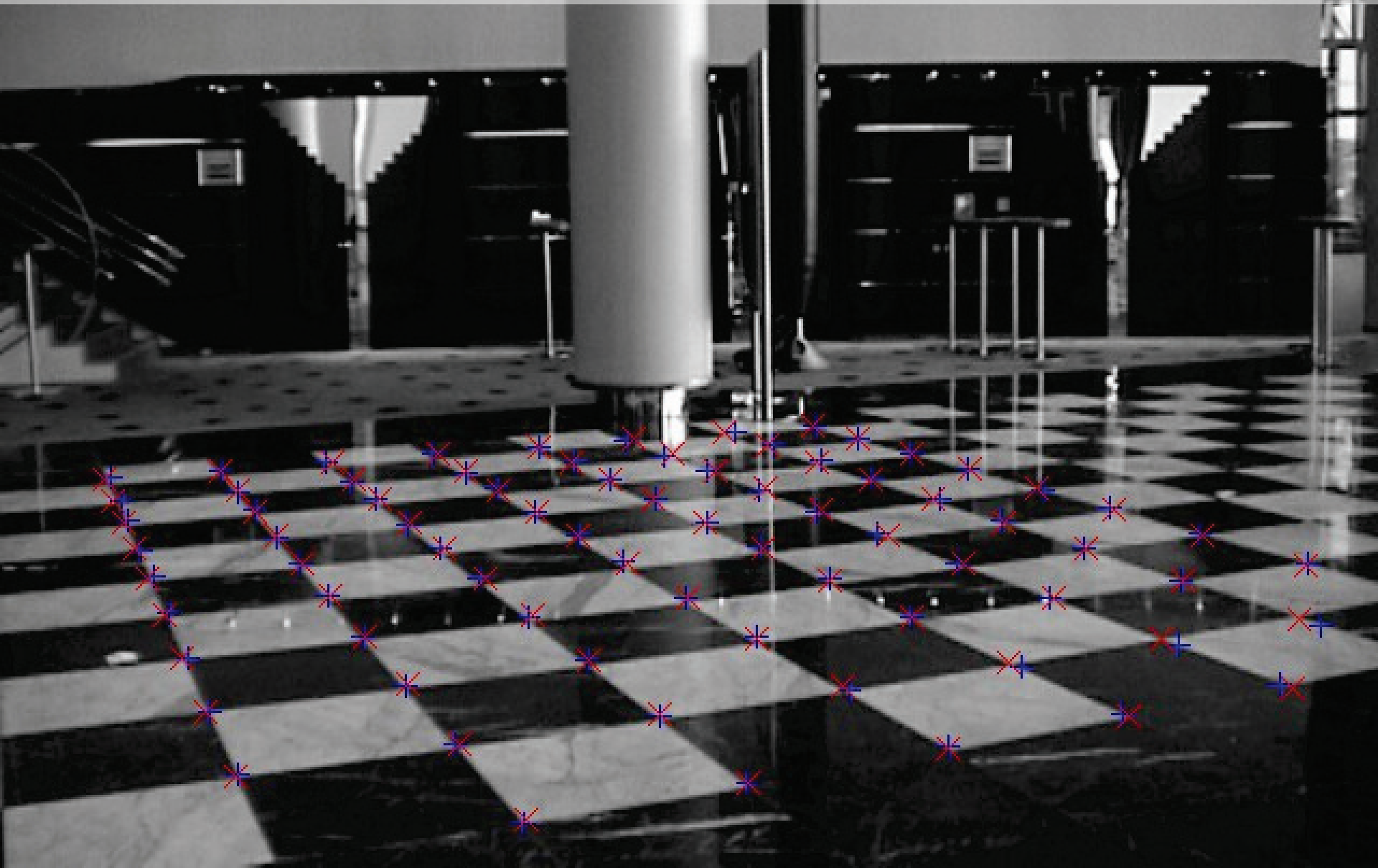


Übungszettel 4

- ▶ Erkennen des Schachbrettmusters über Linien - Houghtransformation

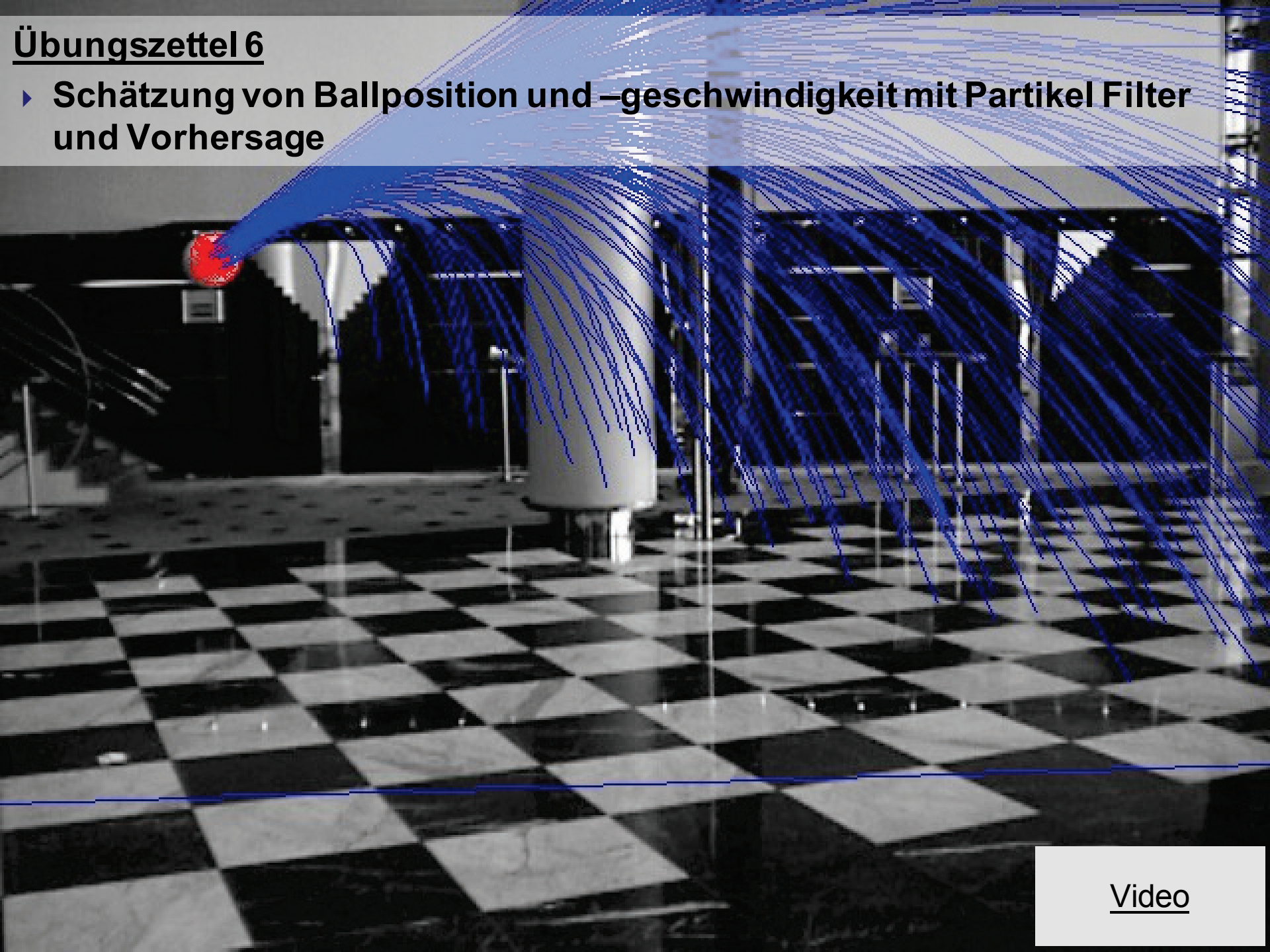


- ▶ **Kalibrierung der Kamera aufgrund der erkannten Linien mit Least Square und Downhill Simplex Algorithmus**



Übungszettel 6

- ▶ Schätzung von Ballposition und -geschwindigkeit mit Partikel Filter und Vorhersage



Video

Anwendung: Fangen eines Balles

- ▶ **Kommerzielle Anwendung “RoboKeeper” zur Unterhaltung auf Veranstaltungen**
- ▶ **Schlüsselidee: Verwende einen einzelnen Motor und ein Pappfigur**
- ▶ **Quelle: Fraunhofer ILM und 4attention GmbH (www.robokeeper.com)**
- ▶ **Quelle Video: Pro7, Stefan Raab, TV-Total, 13.03.2008**



Zusammenfassung

- ▶ **Bildverarbeitung ist automatisches Erkennen von Objekten in Bildern mit 2D / 3D Lagebestimmung**
 - ▶ „Umkehrproblem zur Computergrafik“ ist keine hilfreiche Sichtweise
 - ▶ Schwierig, weil viele „seltsame“ Effekte Bilder beeinflussen
- ▶ **Echtzeit bedeutet, so schnell wie der Vorgang der die Daten erzeugt**
 - ▶ Echtzeitbildverarbeitung 20ms – 200ms
 - ▶ Rechenzeit ist dominante Einschränkung
- ▶ **Industrielle Anwendungen**
 - ▶ Qualitätskontrolle: Maße, Vollständigkeit, Farbe, Oberfläche
 - ▶ Montage: Position von Werkstückteilen, Robotersteuerung
 - ▶ Die Lösung ist eine geschickt entworfene Umgebung
- ▶ **Forschungsanwendungen**
 - ▶ Vielfältig: Navigation, Kartierung, Sportrobotik, Medizin, Virtual Reality