

03-05-H
-709.53

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

Vorlesung

- ▶ **Mo, 16:15-17:45 in MZH 1460**
- ▶ **Information:**
`www.informatik.uni-bremen.de/agebv/de/VeranstaltungEBV10`
- ▶ **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, 8:30 - 10:00 in MZH 1110**
- ▶ **6 Übungszettel (80 Punkte) mit 14 Tage Bearbeitung:**
 - ▶ je eine Programmieraufgabe in C++ (10 Punkte)
 - ▶ je eine Anwendungsaufgabe (4 Punkte) (außer Zettel 4)
 - ▶ 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 15.4.**
 - ▶ 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 Sonntag 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**



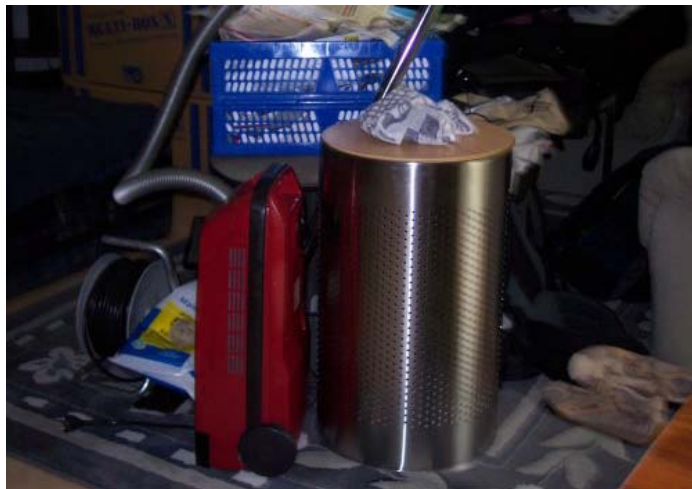
Was ist Bildverarbeitung?



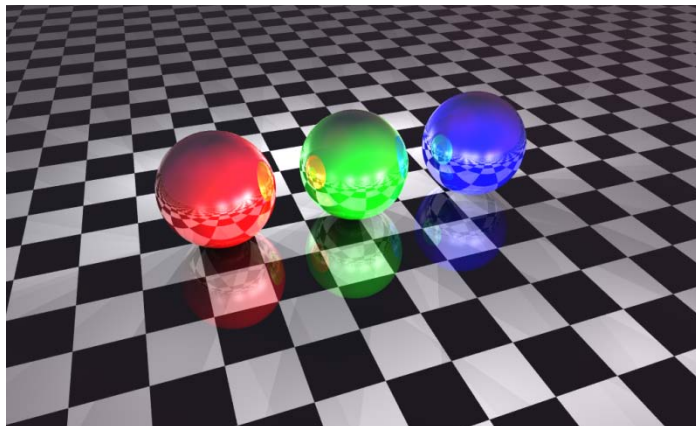
 **Bildverarbeitung** 



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?



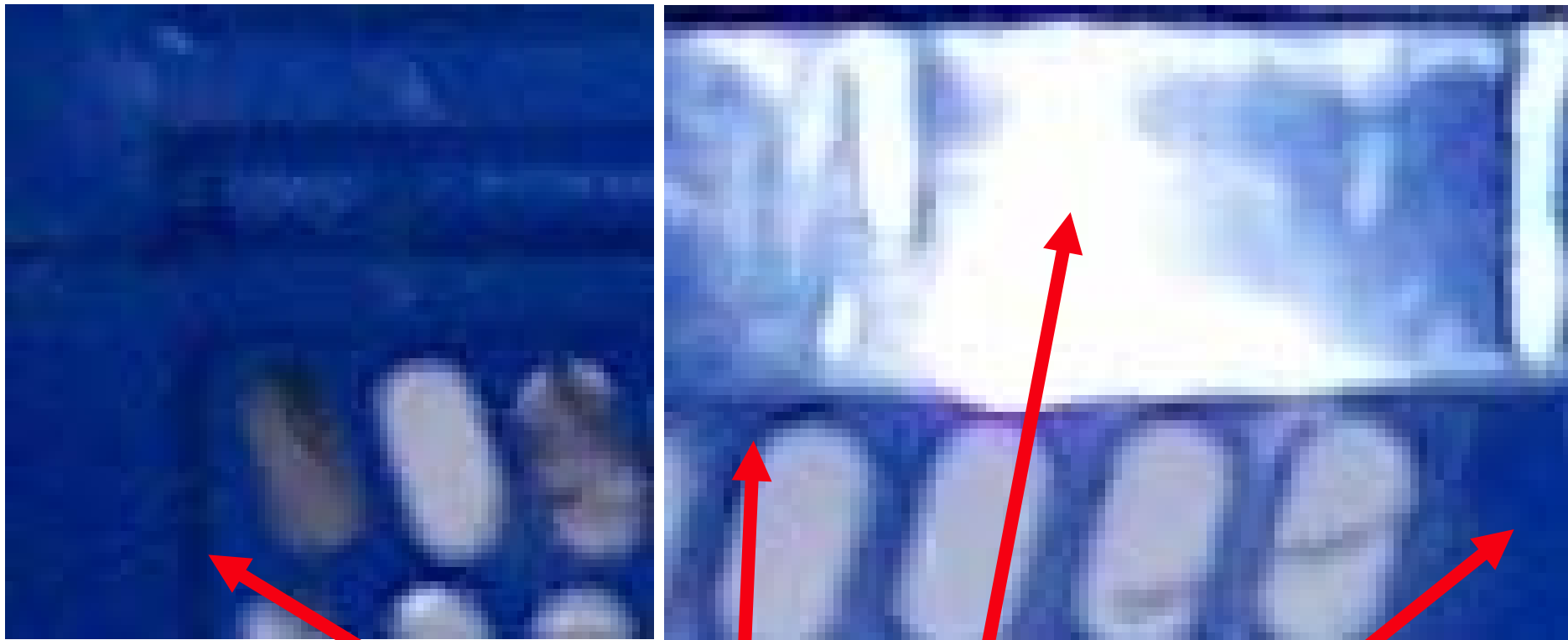
- ▶ Erkennen anhand charakteristischer Merkmale
- ▶ Frage an das Auditorium:
Was wären geeignete Merkmale für Kiste und Wäschetonne?

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?



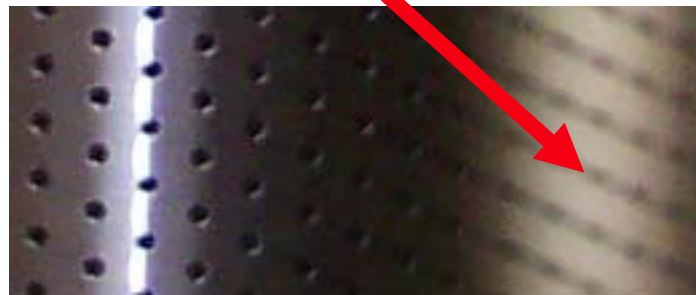
**Frage an das Auditorium:
Gibt es weitere „seltsame“ Effekte?**

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?

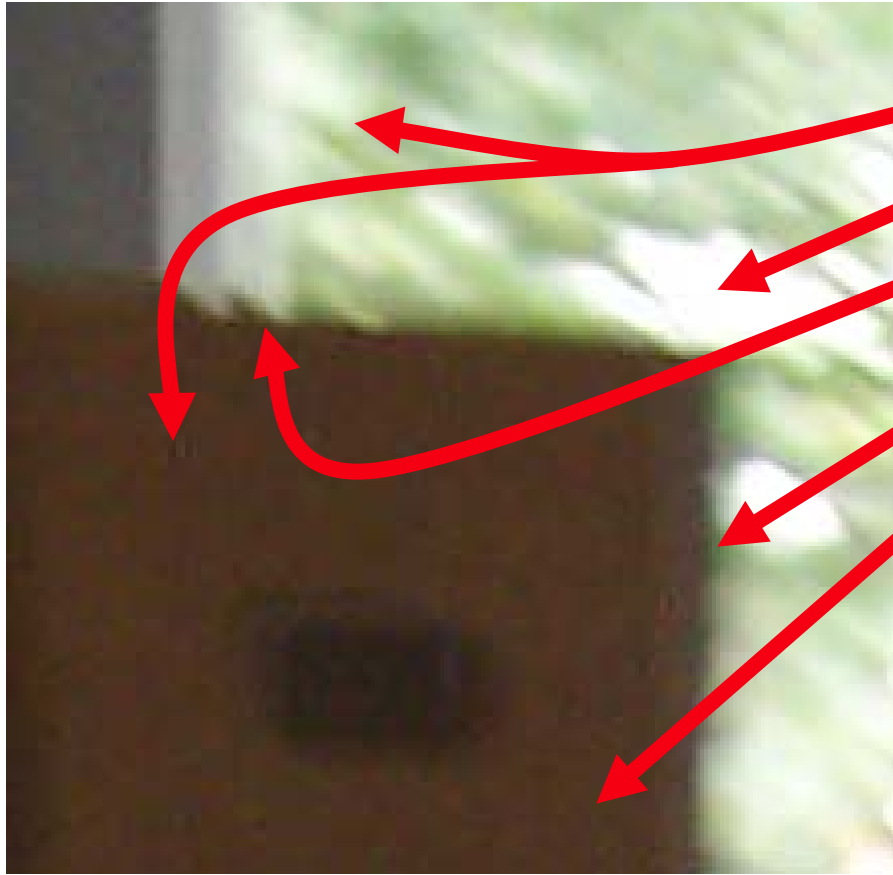


Warum ist Bildverarbeitung schwierig?

- ▶ 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 (10min – 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

	12.04	Einführung; Industrielle Anwendungen; Forschungsanwendungen
	19.04	Weg des Bildes in den Rechner; Industrieller Ansatz: Schwellwert, Regionenbildung
	26.04	Automatischer Schwellwert; charakteristische Größen, Trägheitsmomente
	03.05	Was ist Farbe?; Farbsegmentierung als statistische Klassifikation
2D	06.05	k-D Baum für Farbsegmentierung; Look-up-tables; RoboCup
	10.05	Faltungsoperationen; Kanten- und Liniendetektion; Houghtransformation
	17.05	Kreis Hough Transformation
	27.05	Linien Hough Transformation
	31.05	Rekapitulation 2D Bildverarbeitung; homogene Koordinaten
	3D	07.06
14.06		Quadratische Ausgleichsrechnung, Downhill Simplex
21.06		Zustandsschätzer, Partikel Filter, Mess- und Dynamikmodelle
28.06		Partikelfilter: Initialisierung, Resampling, Herleitung
05.07		Anwendungen von Partikel Filtern, Ausblick: Kognitive Bildverarbeitung, Rekap.

Anwendungen in der Industrie

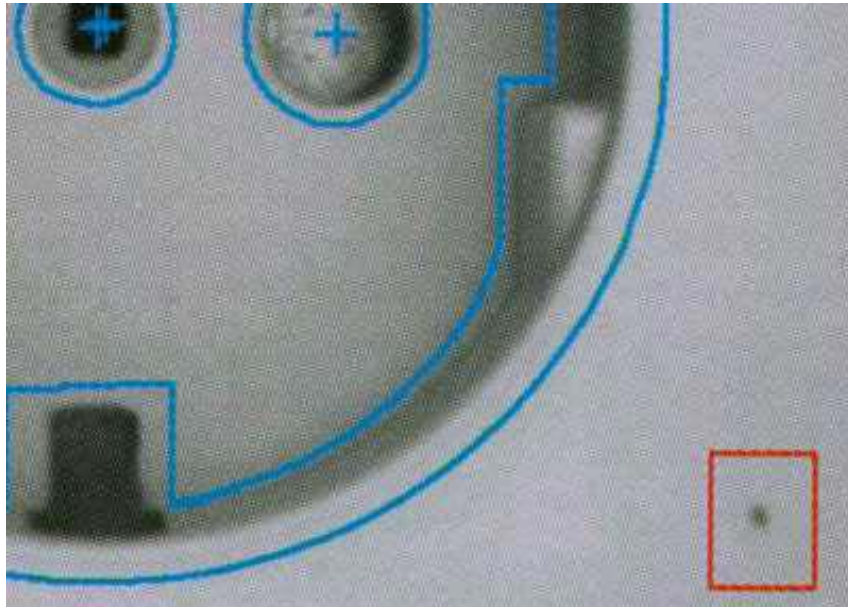
Sammlung: <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/vision.html>

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)

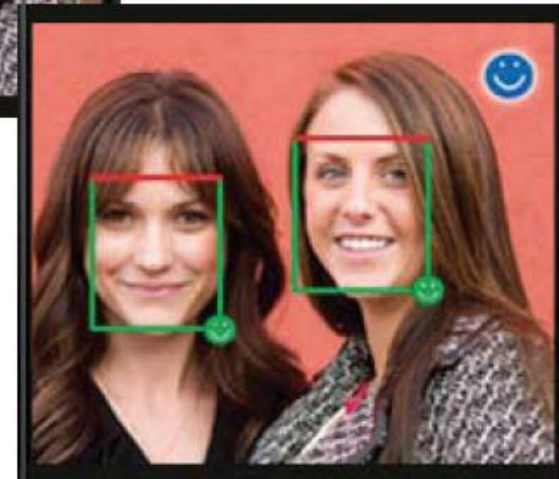
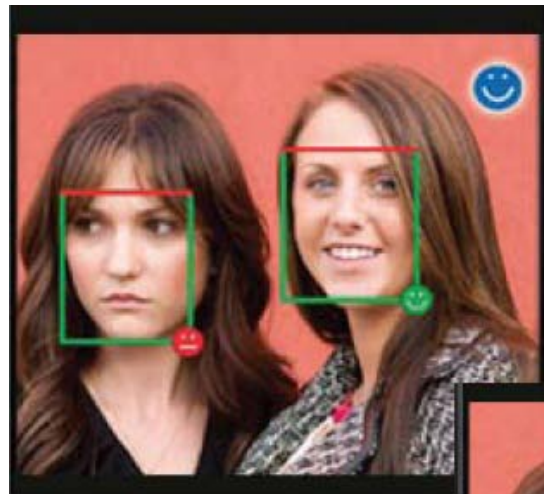
Anwendung: Oberflächenkontrolle



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

Anwendung: 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/>



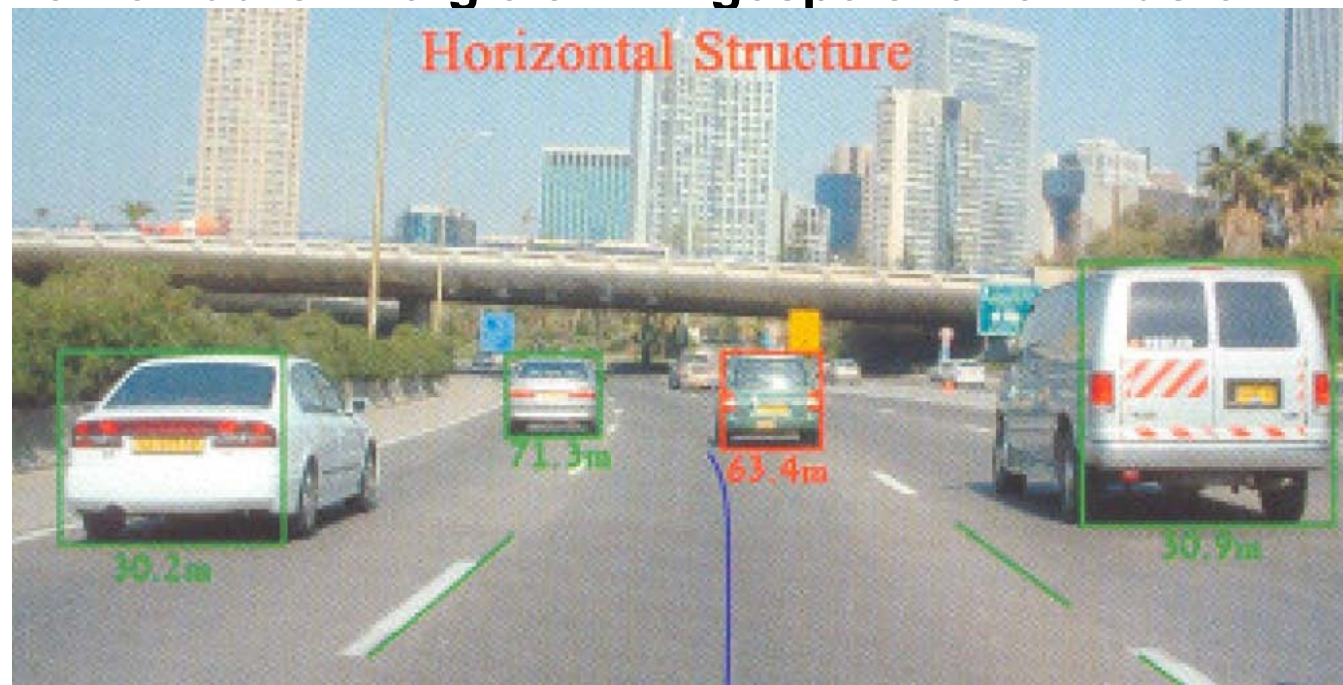
Anwendung: Schwimmüberwachung

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



Anwendung: Fahrerassistenz

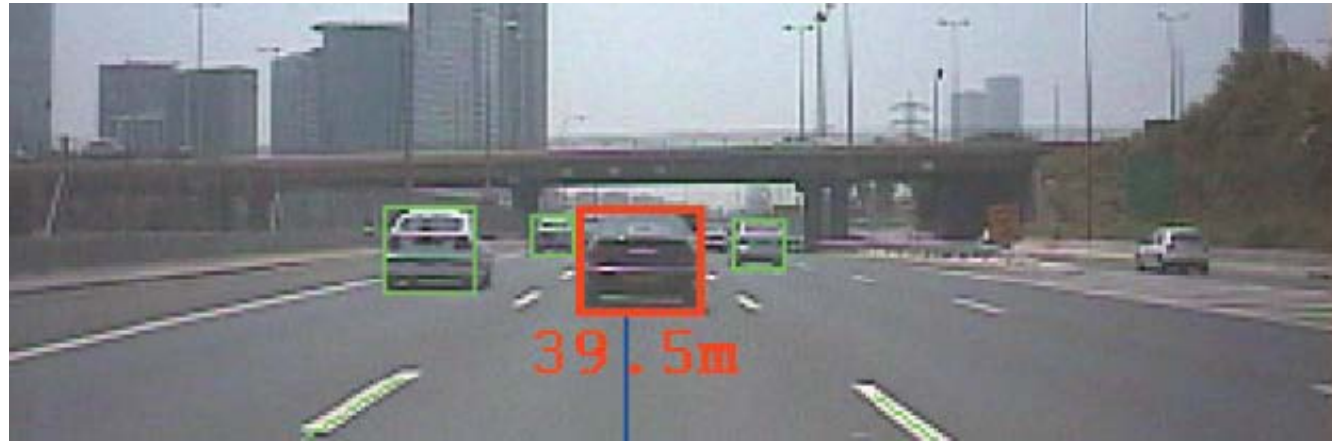
- ▶ Erkennt Fahrbahnlinien unter zu Hilfenahme eines Modells, wie Fahrbahnlinien im Bild aussehen (Perspektive, Strichelung, etc.)
- ▶ Erkennt Autohinterfronten durch Vergleich mit gespeicherten Mustern
- ▶ Entfernung
t.w. aus Größe,
t.w. aus Position
des Fusspunktes
im Bild
- ▶ Probleme: Regen,
Schnee,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



Anwendung: Fahrerassistenz

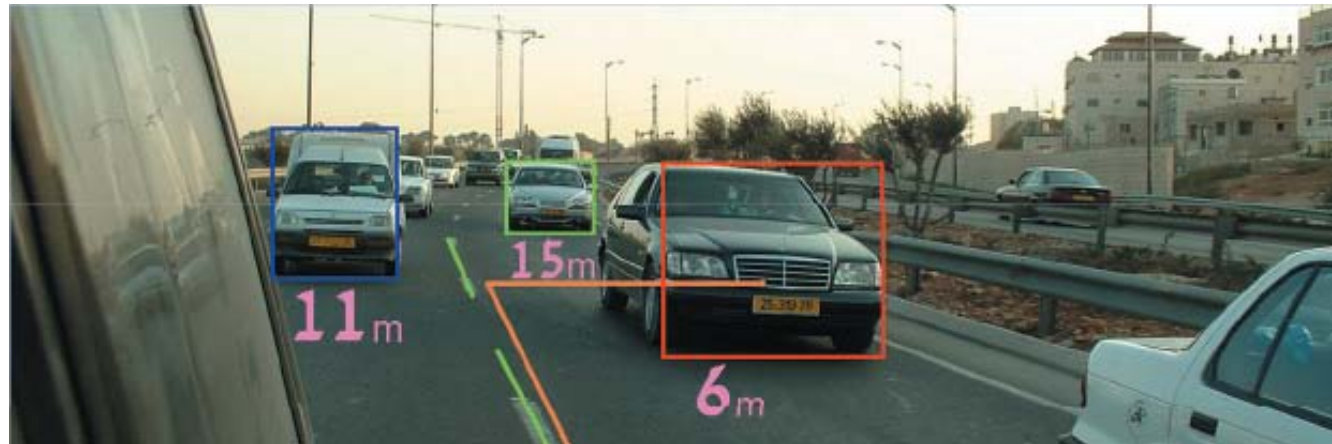
► Auffahrunfälle

Video 1



► Toter Winkel

Video 2



Anwendung: Fahrerassistenz

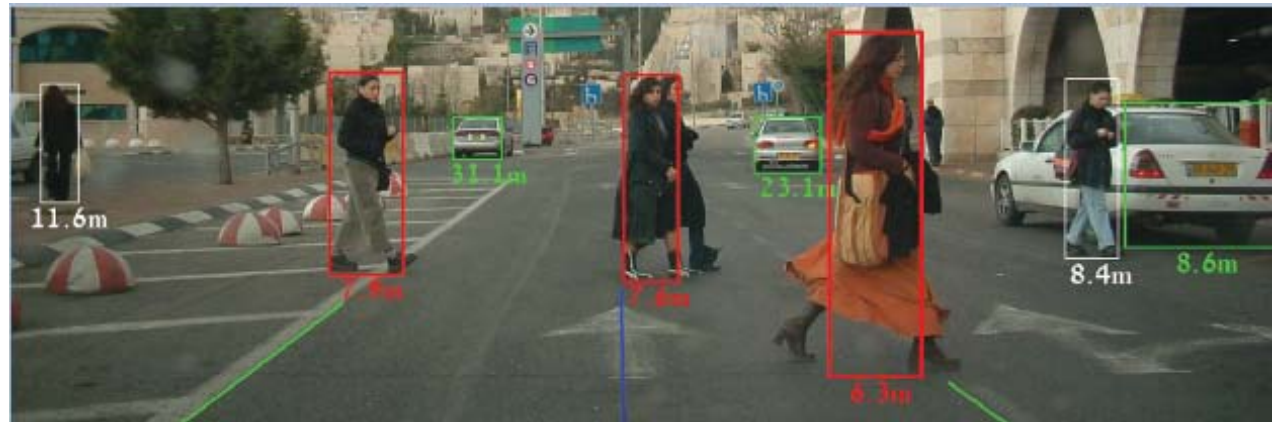
- ▶ Unabsichtlicher Spurwechsel
- ▶ BMW, GM, Volvo

Video 3



- ▶ Fussgänger

Video 4



- ▶ Quelle: www.mobileyevision.com/default.asp?PageID=212

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

Anwendung: Inspektion von Schienen

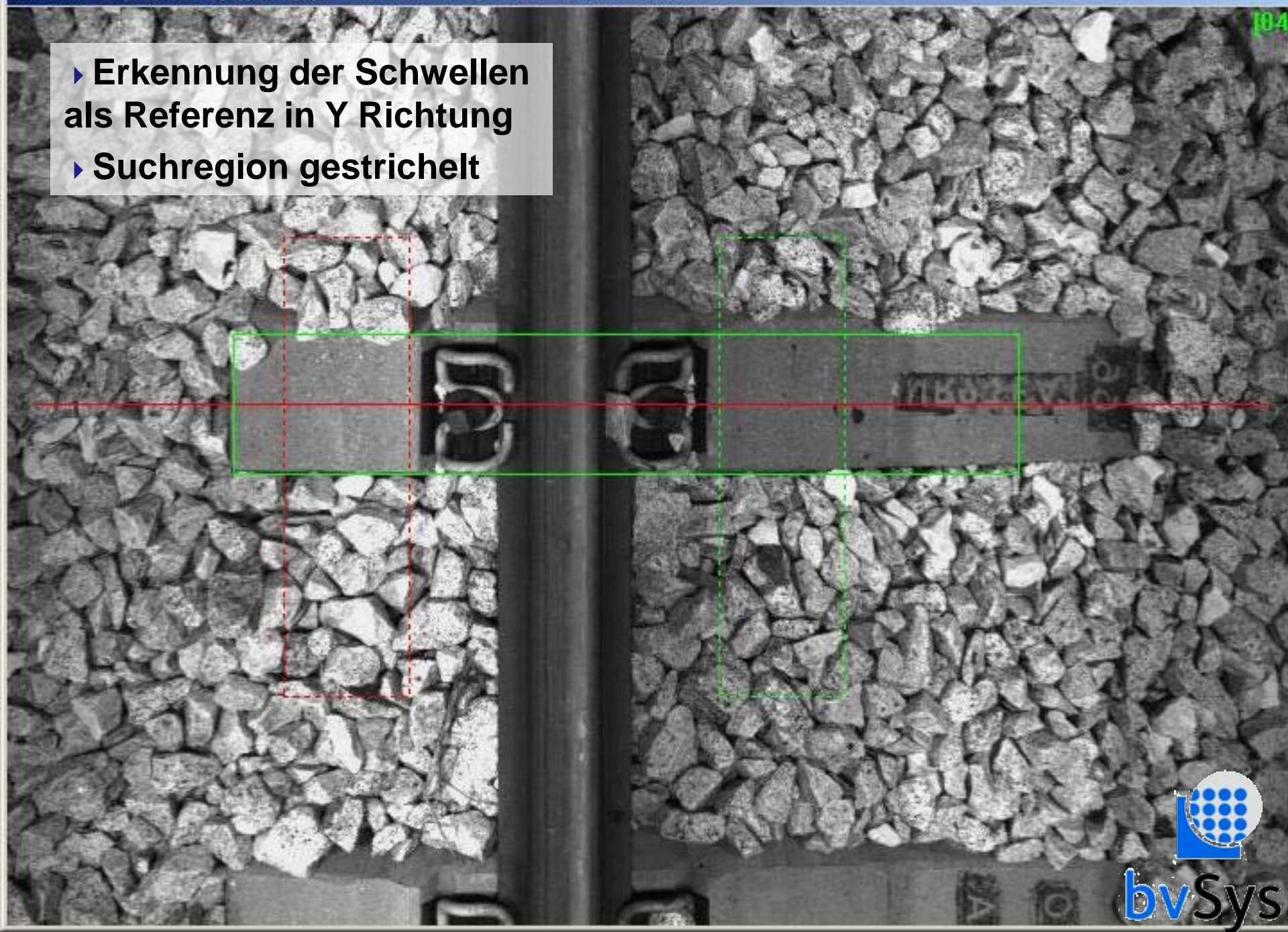


- ▶ Erkennen von Rissen in Eisenbahnschwellen während der Fahrt eines Messwagens
- ▶ Kameras links und rechts unter Messwagen angebracht
- ▶ 1. Detektion des Gleises
- ▶ 2. Detektion der Schwellen
- ▶ 3. Detektion von Rissen in Schwellen
- ▶ Echtzeit für Geschwindigkeit beim Inspizieren
- ▶ Quelle: Bildverarbeitungssysteme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

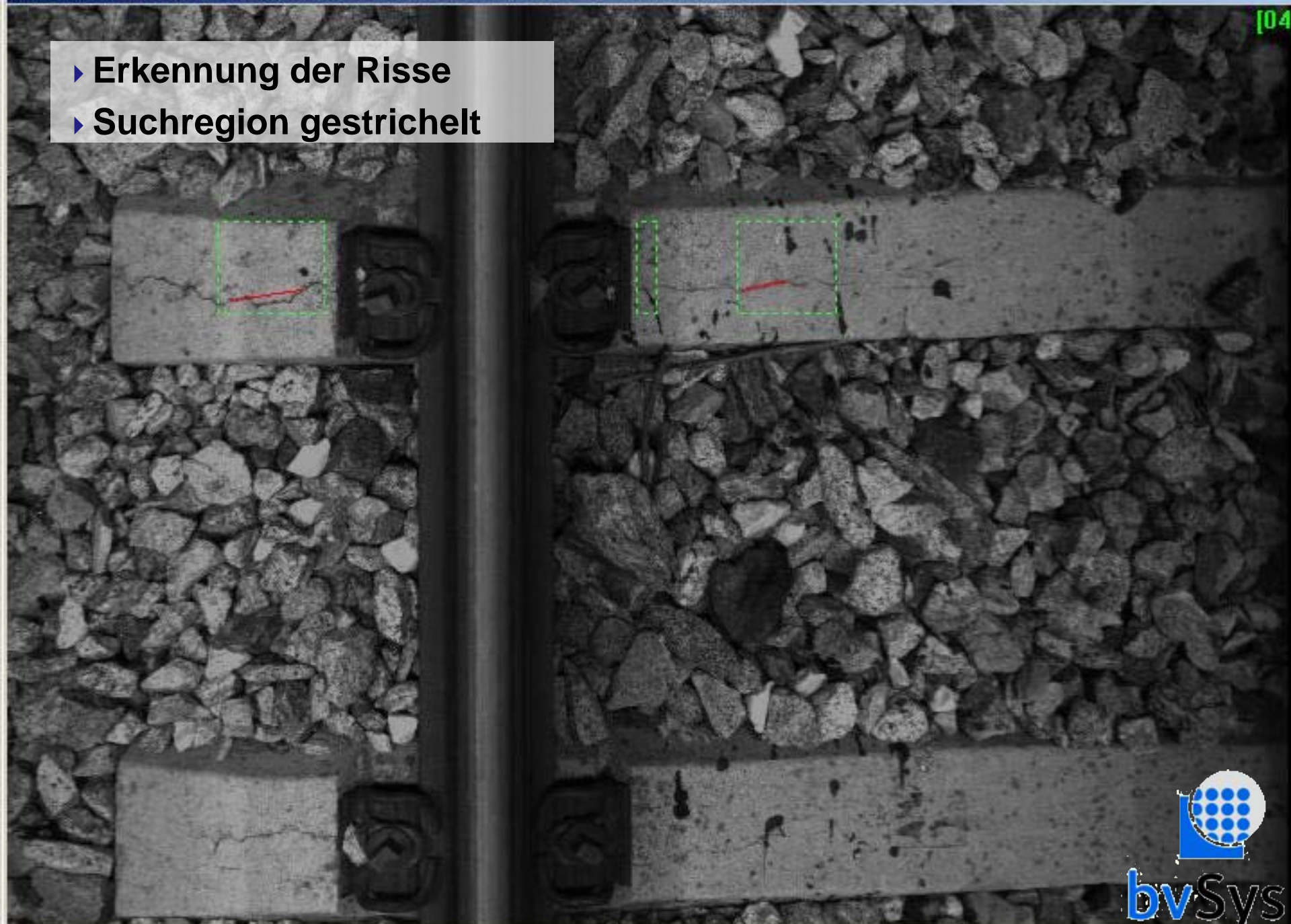
- ▶ **Erkennung der Schienen
als Referenz in X
Richtung**



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



- ▶ Erkennung der Risse
- ▶ Suchregion gestrichelt



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

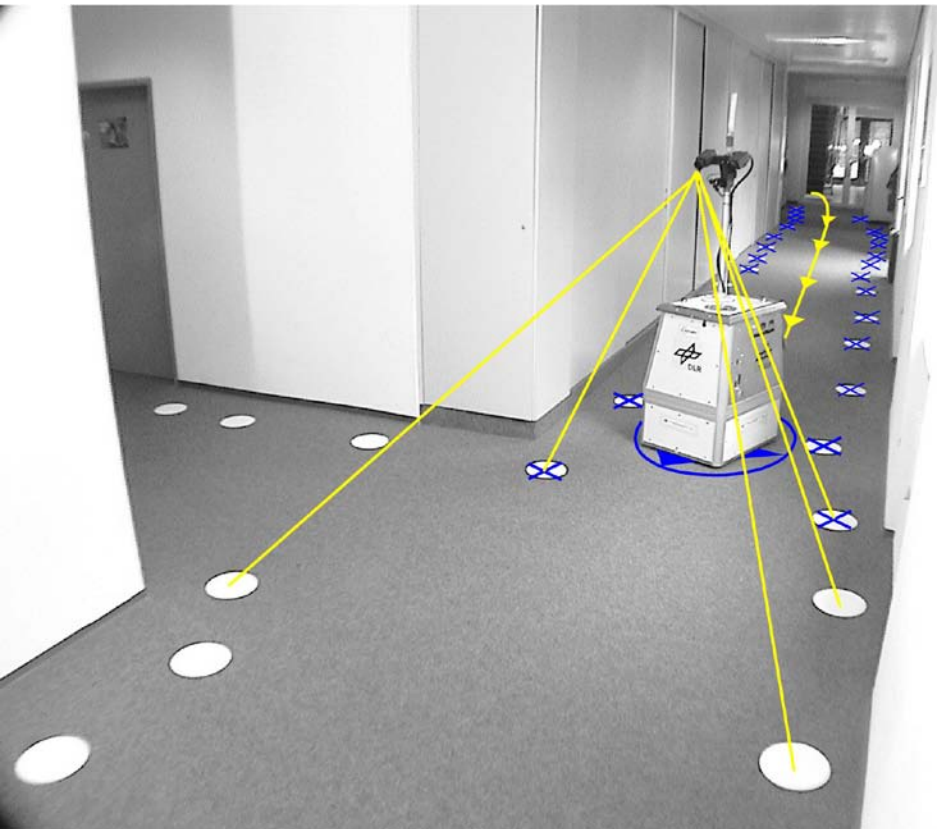
Anwendungen in der Forschung

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: Kartierung mob. Roboter



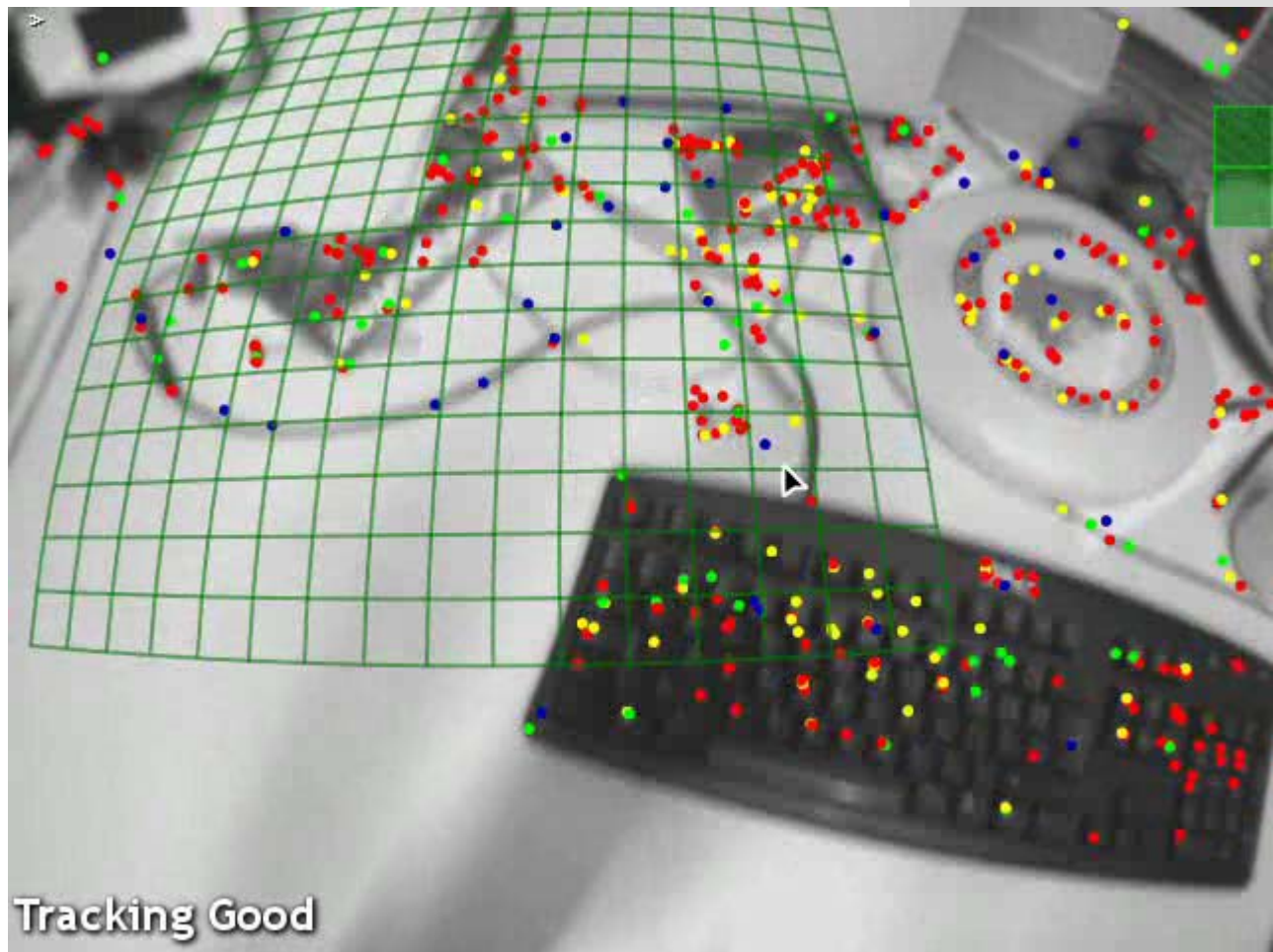
- ▶ Künstliche Landmarken für Lokalisation & Kartierung
- ▶ Kreise auf dem Boden
- ▶ Kamera hat feste Perspektive zum Boden
- ▶ Dadurch nur 2 Freiheitsgrade zu suchen
- ▶ Vortabellierung aller Kreisformen (incl. Perspektive & Verzerrung)
- ▶ Quelle: Udo Frese

[Video1](#)

[Video2](#)

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**

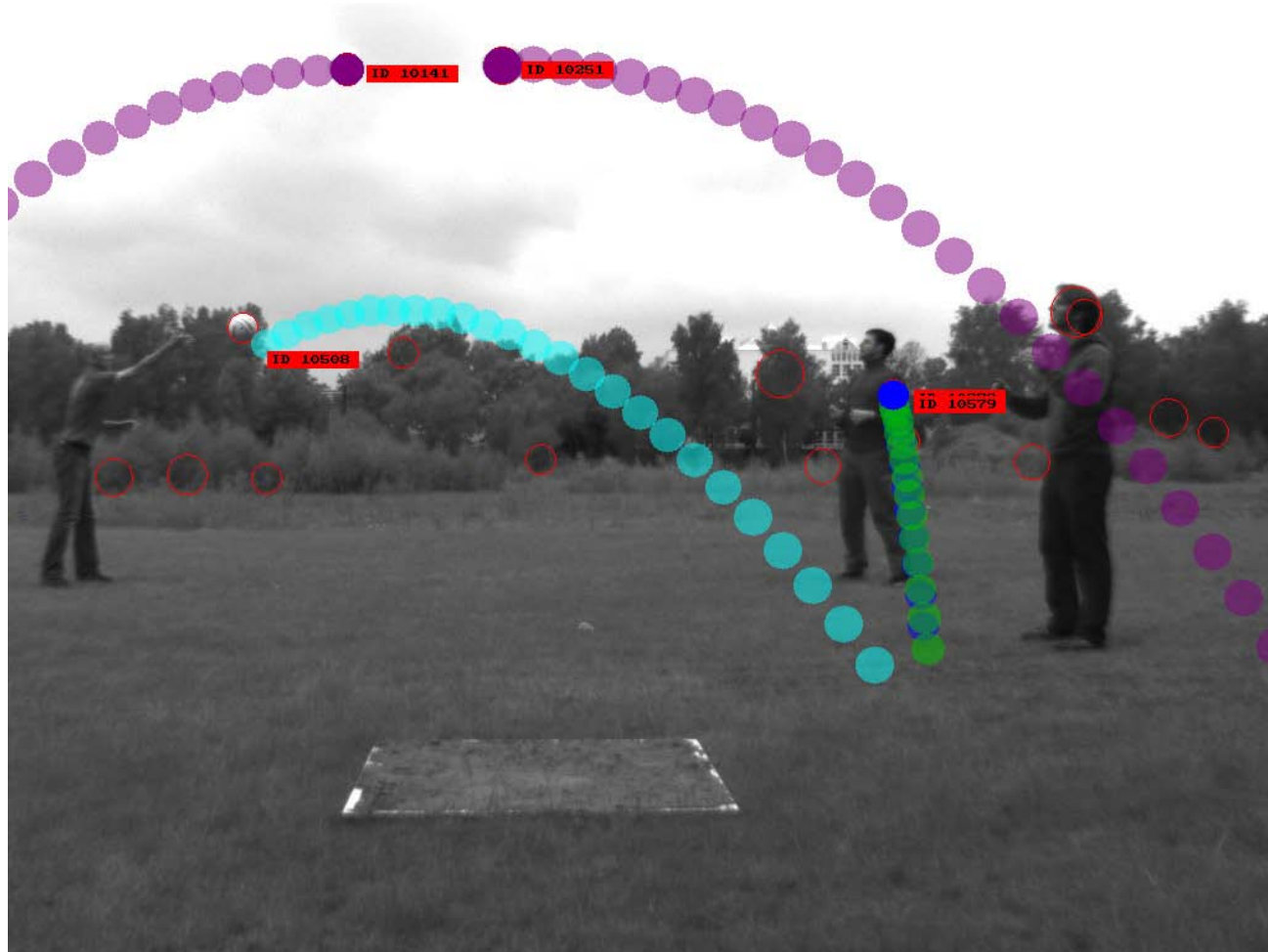


Anwendung: 3D Modellgenerierung

- ▶ **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**



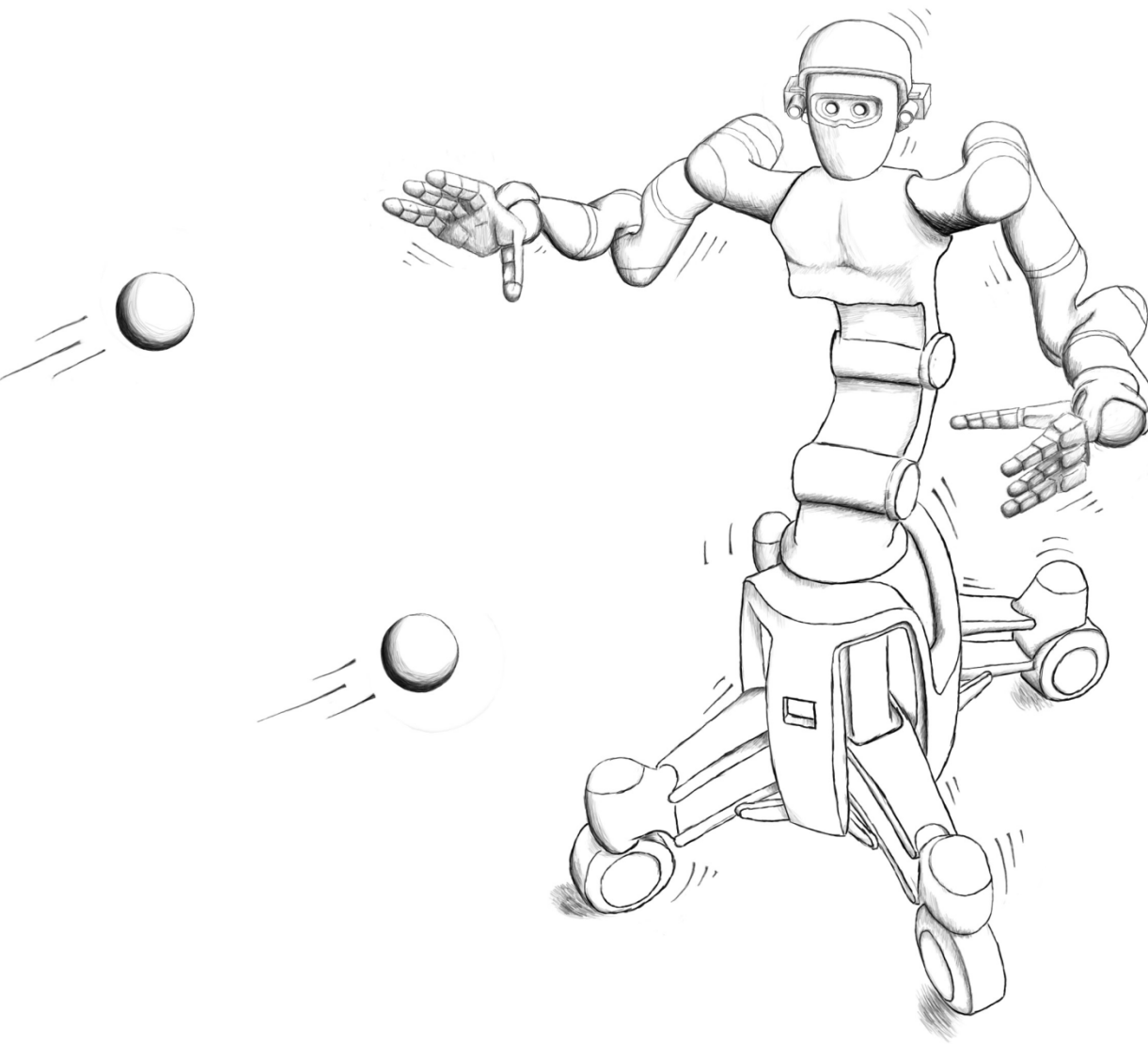
Anwendung: Verfolgen von Bällen



- ▶ 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 mehre 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

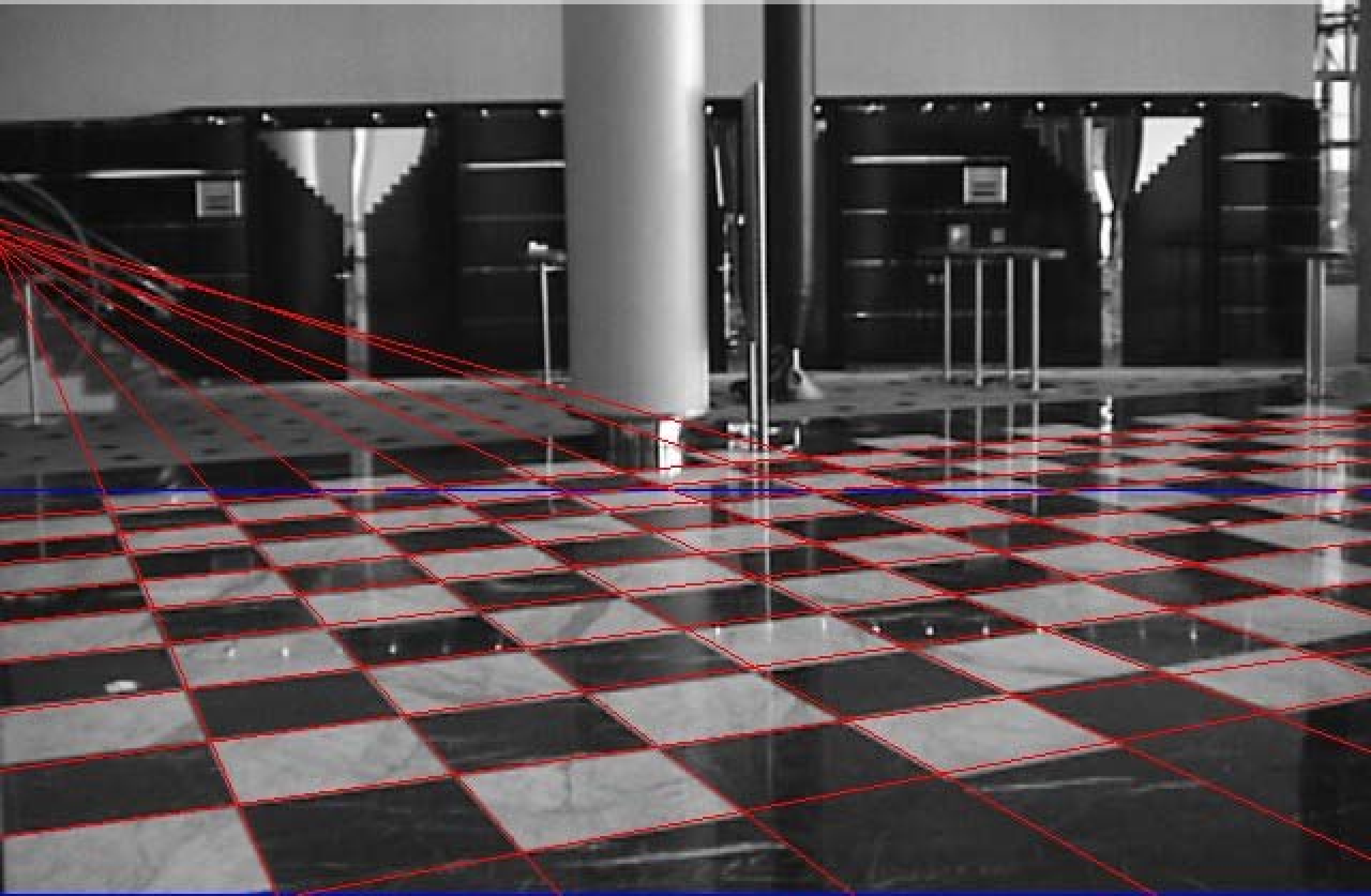
Übungszettel 3

- ▶ Erkennen des Balles mit Kreis - Houghtransformation



Übungszettel 4

- ▶ Erkennen des Schachbrettmusters über Linien - Houghtransformation

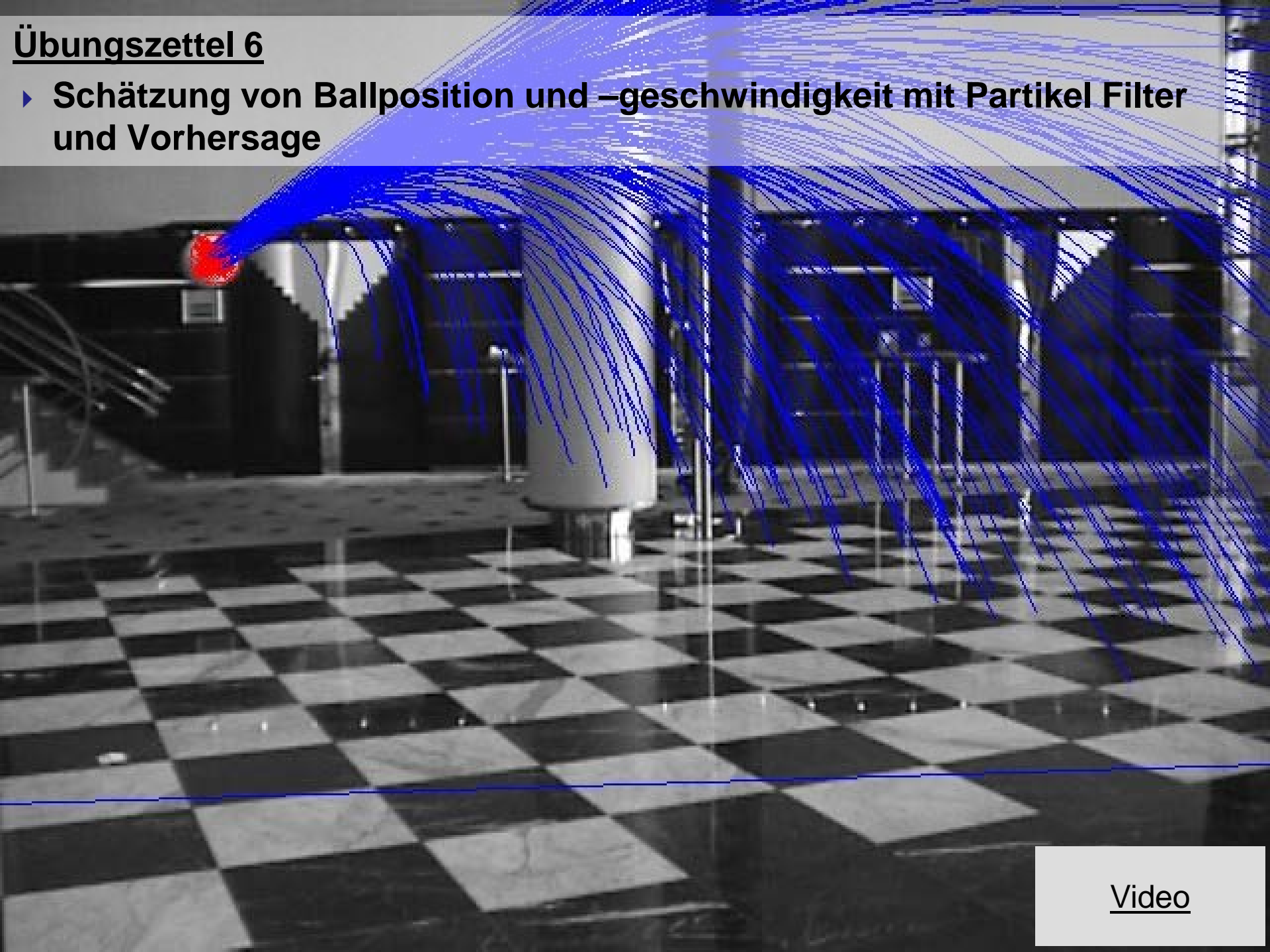


- ▶ **Kalibrierung der Kamera aufgrund der erkannten Linien mit Least Square und Downhill Simplex Algorithmus**



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