

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, 17:00-18:30 in MZH 7250**
- ▶ **Information:**
`www.informatik.uni-bremen.de/agebv/de/VeranstaltungEBV09`
- ▶ **Inhaltliche Voraussetzung: Bildverarbeitung I (in Grundzügen)**
- ▶ **Ausrichtung: praktisch & anwendungsnah (\neq leicht)**
- ▶ **Themen:** industrieller Standardansatz, Farbsegmentierung, Kantendetektion, Linien & Kreis Houghtransformation, Kalibrierung / 3D Positionsschätzung, Particle Filter, Anwendungen
- ▶ **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

Übung

- ▶ **Do, 8:30 - 10:00 in MZH 4194**
- ▶ **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 Plattform auf eigenes Risiko**
- ▶ **Bilder zu den Übungszetteln werden geliefert**

Übungen & Prüfungen

Übung

- ▶ **Abgabe in Gruppen zu 2-4 Studierenden**
- ▶ **Abgabe per email.**
- ▶ **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 & Name 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 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?



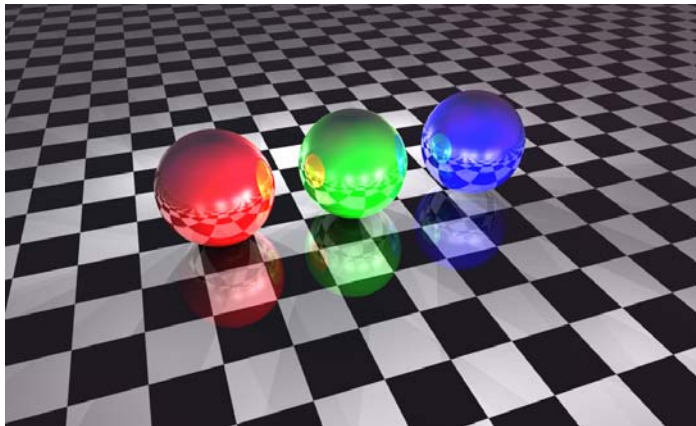
Bildverarbeitung



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?



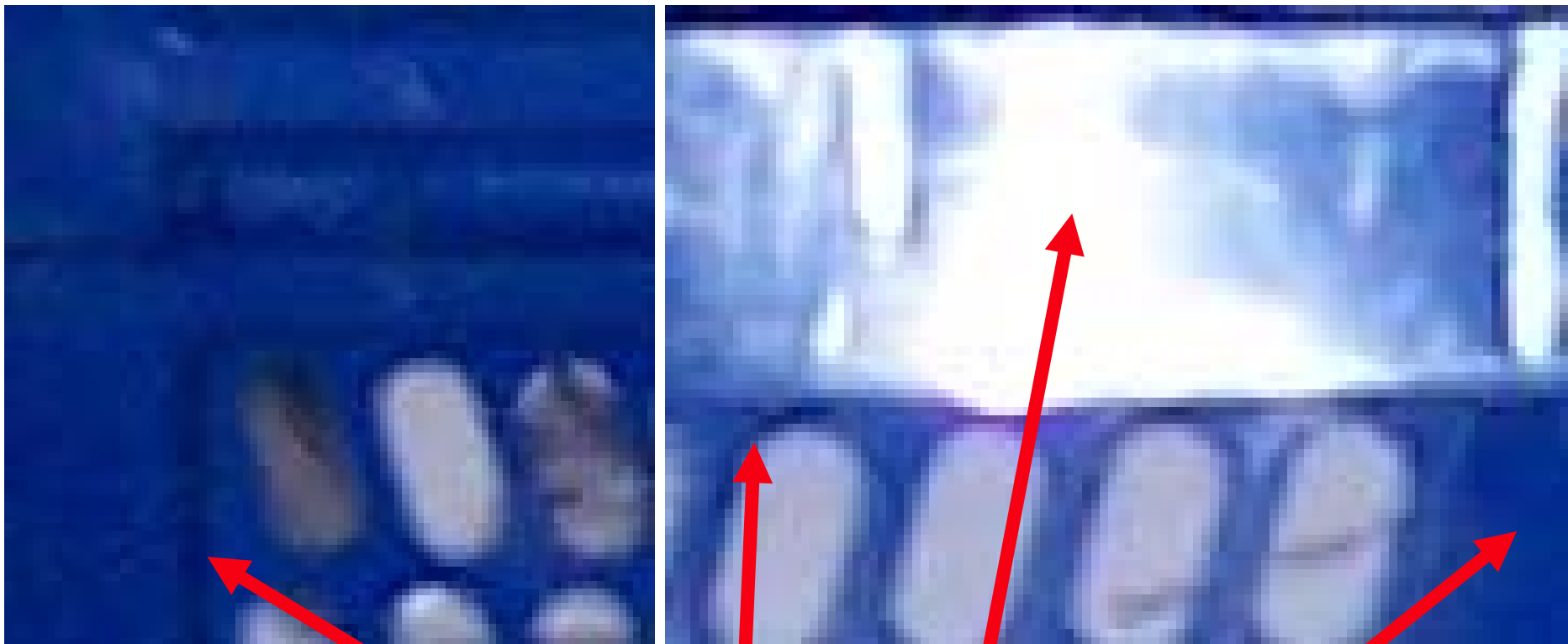
- ▶ Erkennen anhand charakteristischer Merkmale
- ▶ Frage an das Auditorium:
Was wären geeignete Merkmale für Kiste und Wäschetonne?

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?



Merkmal 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?

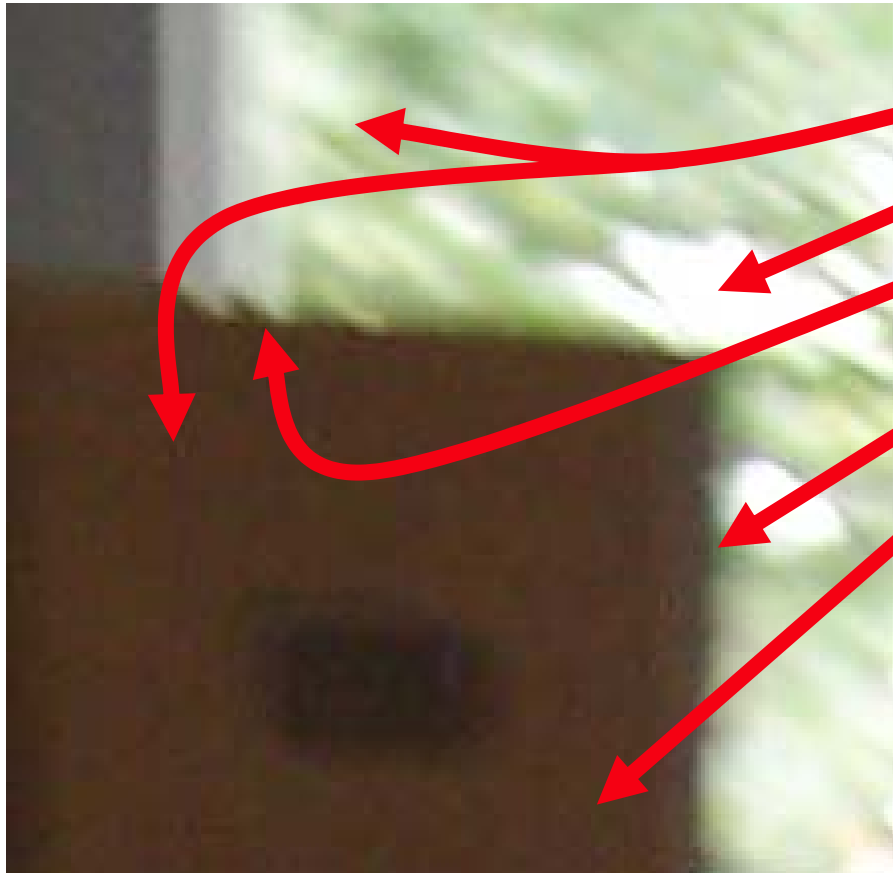


Merkmal: Kontur / Textur

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



Warum ist Bildverarbeitung schwierig?



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 (25ms-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 (fahrender Roboter)

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

	06.04	Einführung; Industrielle Anwendungen; Forschungsanwendungen
	16.04	Weg des Bildes in den Rechner; Industrieller Ansatz: Schwellwert, Regionenbildung
	20.04	Automatischer Schwellwert; charakteristische Größen, Trägheitsmomente
	27.04	Was ist Farbe?; Farbsegmentierung als statistische Klassifikation
2D	04.05	k-D Tree für Farbsegmentierung; Farbsegmentierung mit Look-up-tables; RoboCup
	11.05	Faltungsoperationen; Kanten- und Liniendetektion; Houghtransformation
	18.05	Kreis Hough Transformation
	25.05	Linien Hough Transformation
	04.06	Rekapitulation 2D Bildverarbeitung; <u>homogene Koordinaten</u>
	08.06	Parametrisierung von Drehungen, Kameragleichung in 3D, Geom. Rekonstruktion
	15.06	Quadratische Ausgleichsrechnung, Downhill Simplex
3D	22.06	Zustandsschätzer, Partikel Filter, Mess- und Dynamikmodelle
	29.06	Partikelfilter: Initialisierung, Resampling, Herleitung
	06.07	Anwendungen von Partikel Filtern, Ausblick: Kognitive Bildverarbeitung, Rekap.

Anwendungen in der Industrie

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

Anwendung: Leergutererkennung



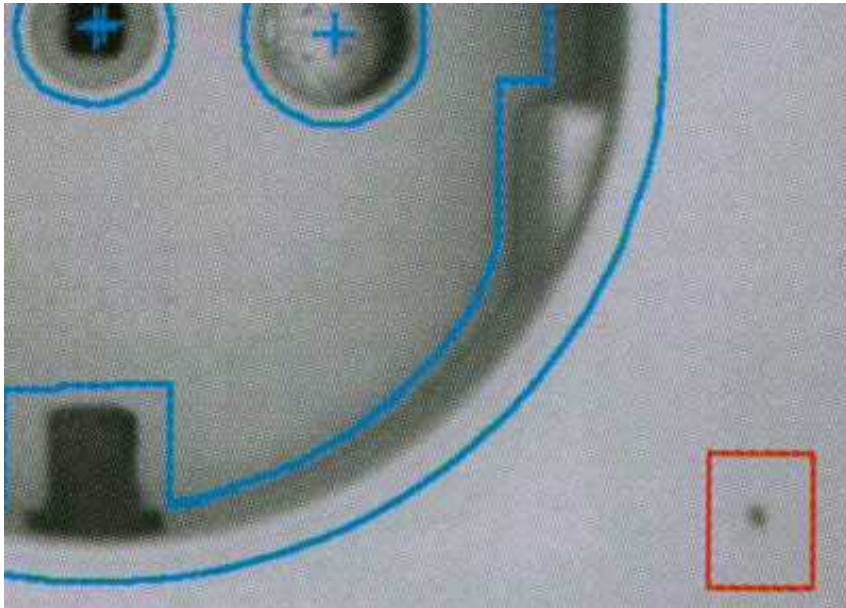
- ▶ Flaschen über Spiegel vor Durchlichtkasten aufgenommen
- ▶ Form als Bildregion bestimmt
- ▶ Vergleich mit gespeicherten Flaschenformen
- ▶ Waage für Zusatzinformation (und leer / voll)
- ▶ Quelle: WDR, die Sendung mit der Maus (www.wdrmaus.de)

Anwendung: 3D Vermessung



- ▶ 3 Kameras beobachten Marken auf kalibriertem Körper
- ▶ Pose des Messkörpers benötigt 6 DOF (3 Position, 3 Orientierung)
- ▶ Pose berechenbar aus 3 Marken ($2 \cdot 3$) mit einer Kamera
- ▶ Mehrere Kameras und mehr Marken gibt Redundanz und besseres Blickfeld
- ▶ Quelle: AICON GmbH (www.aicon.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**

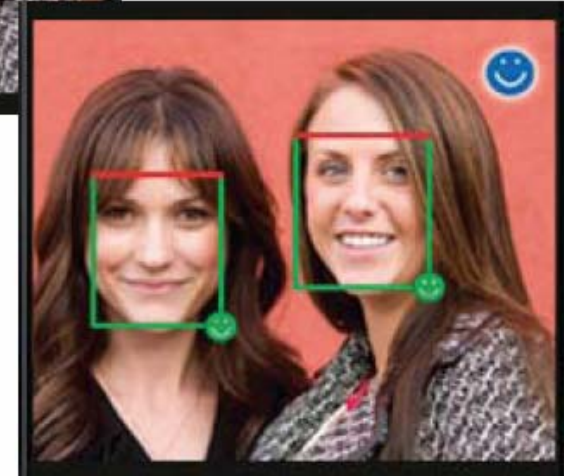
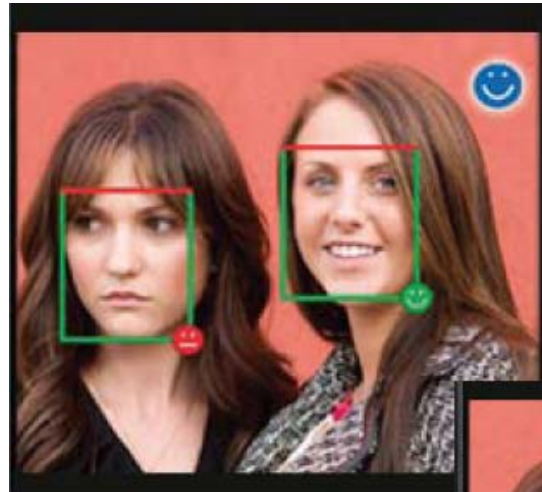
Anwendung: Rad / Reifenerkennung



- ▶ Erkennung der Lage eines Rades / Reifens
- ▶ Finden von Kreisen (ggf. Ellipsen)
- ▶ z.B. zur automatischen Montage
- ▶ Quelle: Robert Borchers, Diplomarbeit

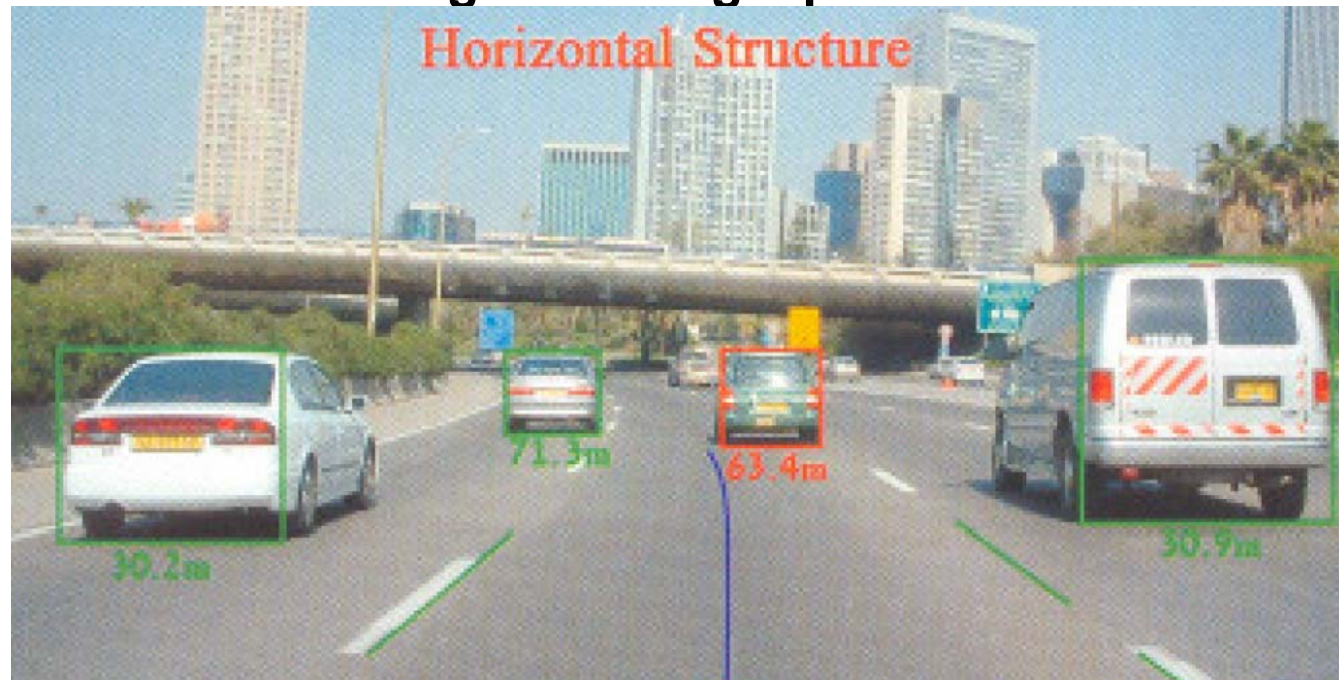
Anwendung: Gesichtserkennung

- ▶ 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 Helligkeit zu einem Gesicht passt
- ▶ In heutige Digitalkameras
- ▶ Quelle: <http://www.tessera.com/>



Anwendung: Fahrerassistenz

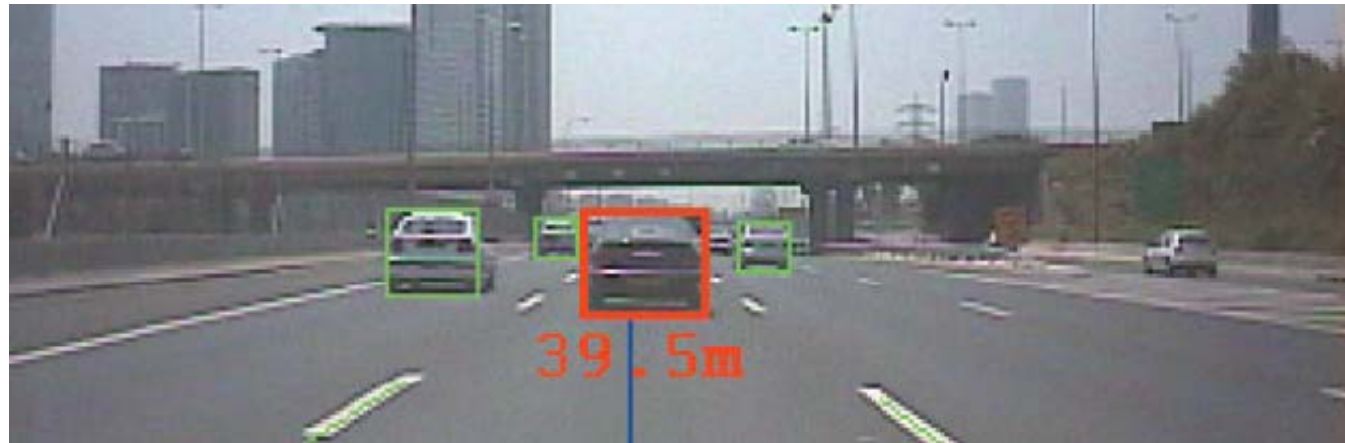
- ▶ Erkennt Fahrbahnlinien unter zu Hilfenahme eines Modells, wie Fahrbahnlinien im Bild aussehen (Perspektive, Strichelung, etc.)
- ▶ Erkennt Autohinterfronten durch Vergleich mit gespeicherten Mustern
- ▶ Entfernung
t.w. aus Größe,
t.w. aus Position
des Fusspunktes
im Bild
- ▶ Probleme: Regen,
Schnee,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



Anwendung: Fahrerassistenz

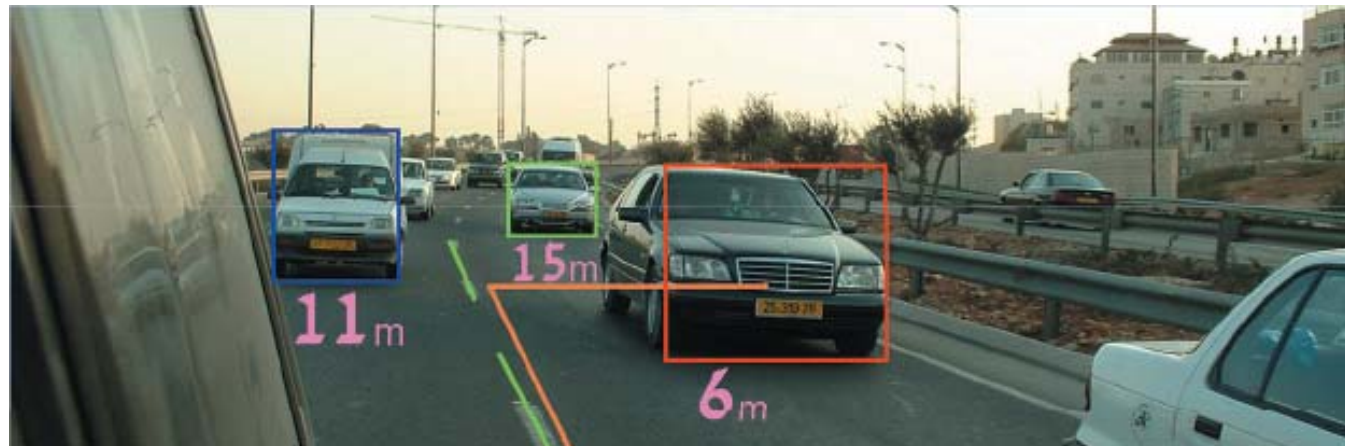
► Auffahrunfälle

Video 1



► Toter Winkel

Video 2



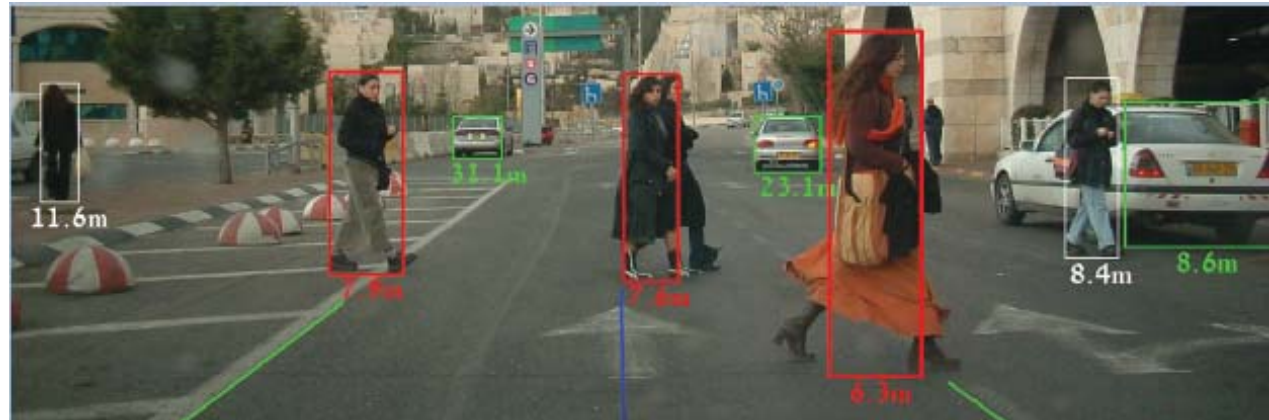
Anwendung: Fahrerassistenz

- ▶ Unabsichtlicher Spurwechsel
- ▶ BMW, GM, Volvo



Video 3

- ▶ Fussgänger



Video 4

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

Anwendung: Parkhilfe für Flugzeuge

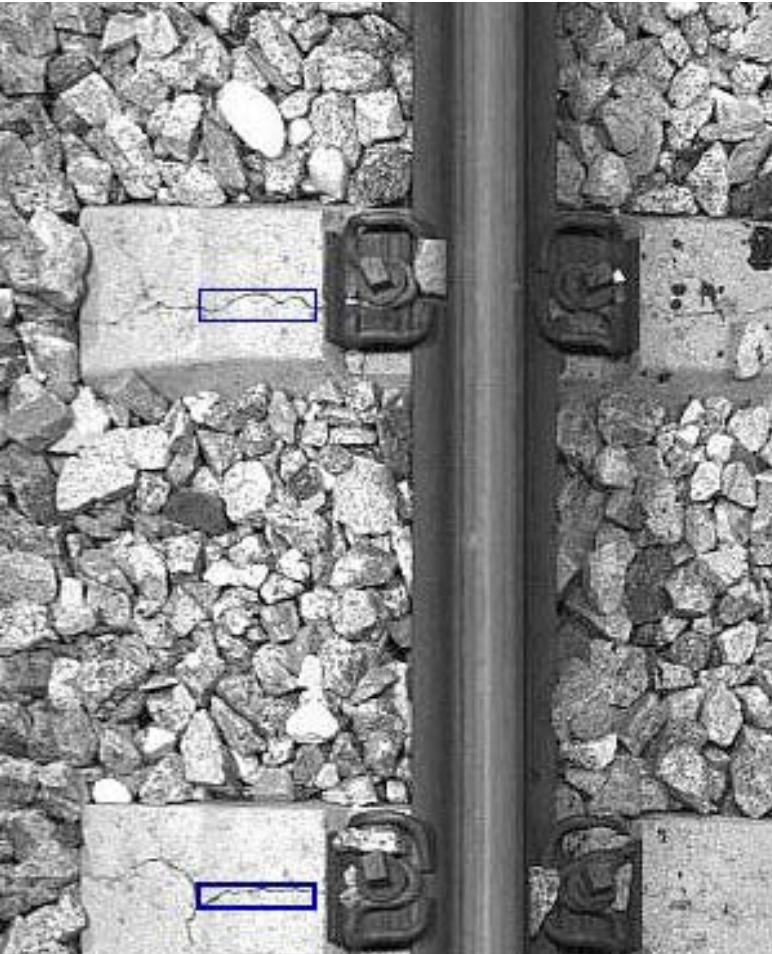


- ▶ Parkhilfe für Flugzeuge mit einem am Gate installierten System
- ▶ Erkennung von Flugzeugen in Anfahrt auf das Gate unter Allwetterbedingungen
- ▶ Suche durch Projektion einer 3D Kontur ins Bild an einer hypothetisierten Position

- ▶ **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.

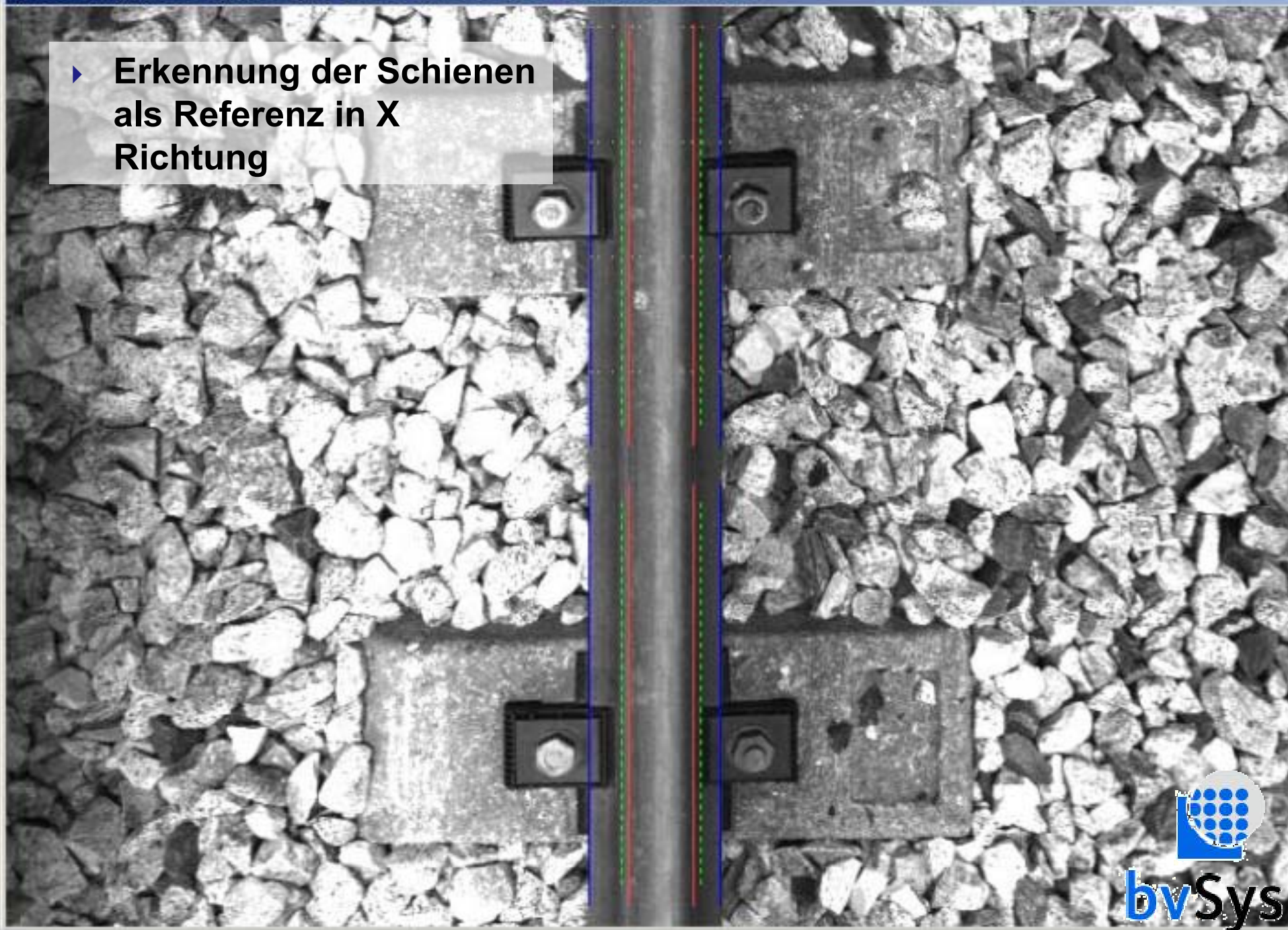
- ▶ **Quelle Video:** mobil TV, Deutsche Bahn AG

Anwendung: Inspektion von Schienen

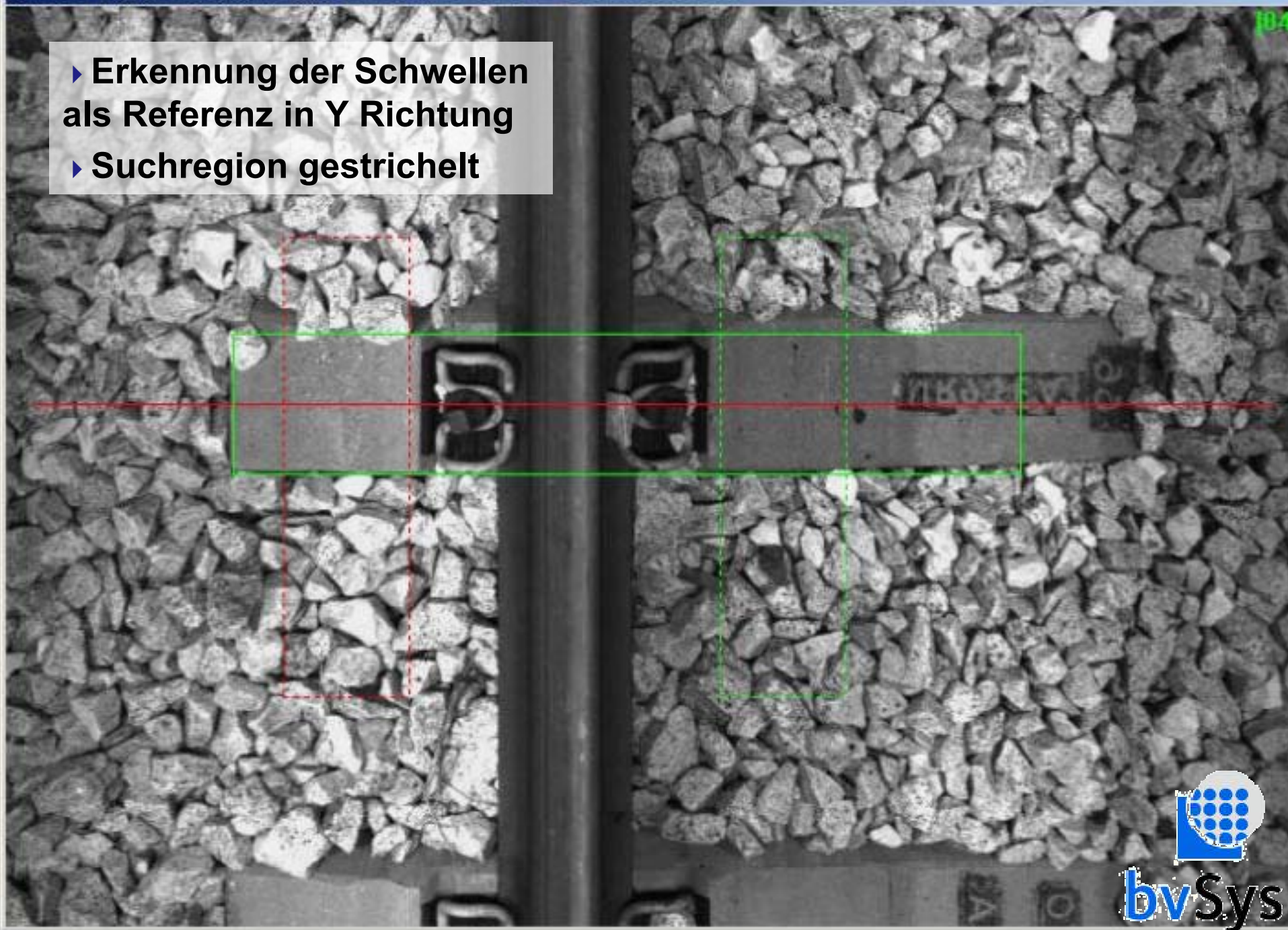


- ▶ Erkennen von Rissen in Eisenbahnschwellen während der Fahrt eines Messwagens
- ▶ Kameras links und rechts unter Messwagen angebracht
- ▶ 1. Detektion des Gleises
- ▶ 2. Detektion der Schwellen
- ▶ 3. Detektion von Rissen in Schwellen
- ▶ Echtzeit für Geschwindigkeit beim Inspizieren
- ▶ Quelle: Bildverarbeitungssysteme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

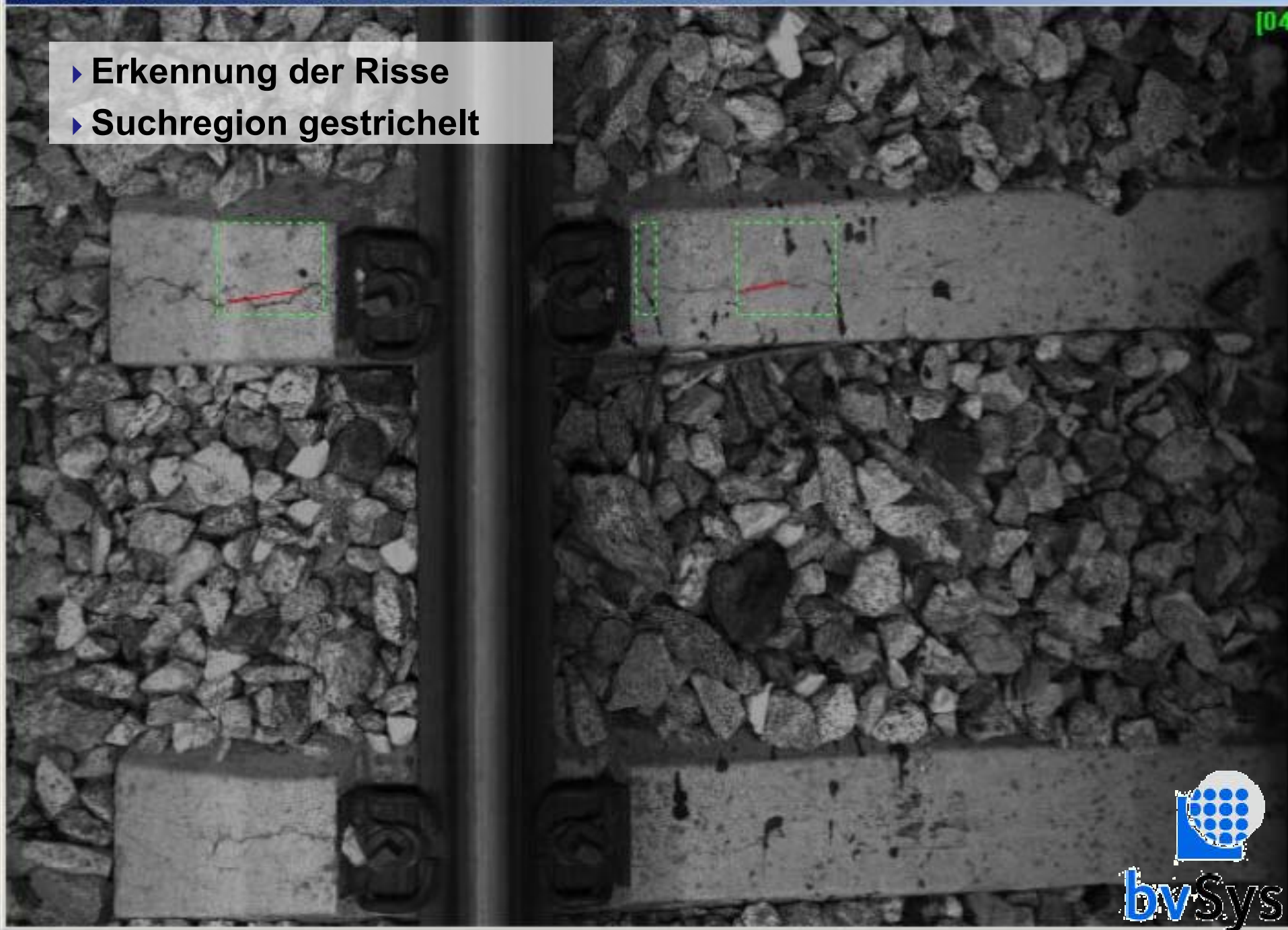
- ▶ **Erkennung der Schienen
als Referenz in X
Richtung**



- ▶ 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
- ▶ **Montage**
 - ▶ Geometrische Merkmale: 2D oder 3D Position bestimmen
- ▶ **Logistik**
 - ▶ OCR, Strichcodes, Matrixcodes: Paketfluss, Prüfung, etc.
 - ▶ Kontur: Paketform
- ▶ **Echtzeit für hohen Durchsatz**

Anwendungen in der Forschung

Anwendung: Endoskopkamera



- ▶ Die Endoskopkamera so nachführen, dass das Endoskop Skalpelle gut zu sehen ist (normalerweise Job des Assistenzarztes)
- ▶ Skalpelle mit spezieller Farbe markiert
- ▶ Kontrolliertes Licht
- ▶ Farbsegmentierung mit LUT
- ▶ Quelle: Deutsches Zentrum f. Luft- und Raumfahrt (www.robotic.dlr.de)

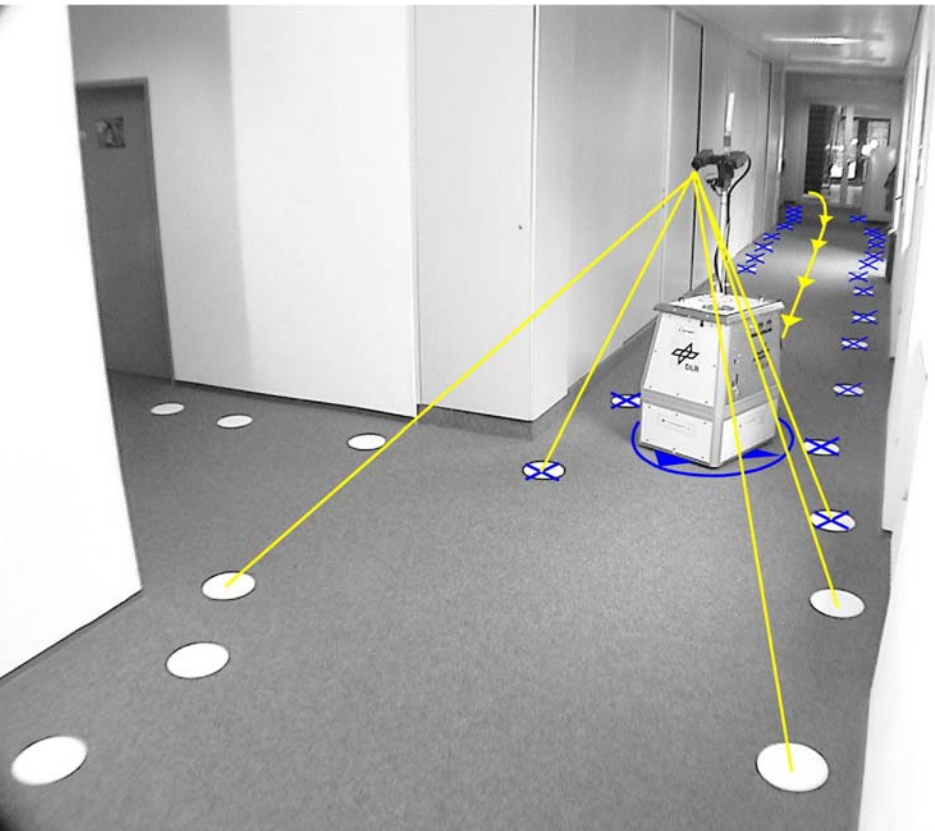
Anwendung: Human Motion Capture



- ▶ **Erstelle ein Modell der Bewegung eines Menschen aus einer Videosequenz ohne spezielle Markierungen**
- ▶ **Nicht Echtzeit (40min) Rechenzeit**
- ▶ **Kompliziertes Verfahren!**
- ▶ **Quelle: Andrew Davison (www.robots.ox.ac.uk/~ajd/)**

Video1

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: Virtual Reality



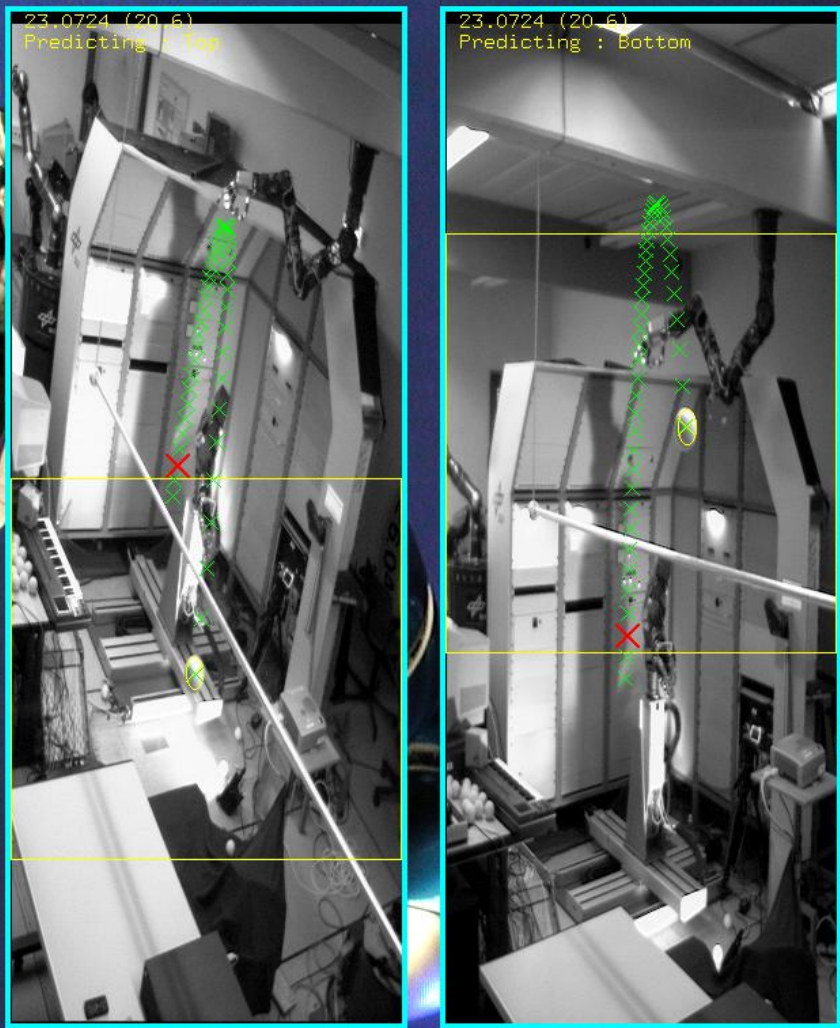
Video1

- ▶ **Verfolge die Kamerapose (Position & Orientierung) ohne spezieller Marker**
- ▶ **Blende virtuelle Objekte konsistent ins gesehene Bild ein**
- ▶ **Landmarken durch Scale Invariant Feature Transform**
- ▶ **Pose & Landmarkenposition mit Extended Kalman Filter**
- ▶ **Gestenerkennung durch Farbsegmentierung & Form**
- ▶ **Quelle: Andrew Davison**

Anwendung: 3D Modellgenerierung

- ▶ **Aufgabe: Erstelle ein 3D Modell aus einem Video einer Handheld Kamera**
 - ▶ Erster Schritt: Rekonstruiere Bewegung der Kamera durch Verfolgen bestimmter Features
 - ▶ Zweiter Schritt: Definiere ein Oberflächenmodell
 - ▶ Dritter Schritt: Projizierte Texturen zurück auf das Modell
- ▶ **Alles gemeinsam wird durch manuelles Anzeichen und Verfolgen eines Gittermodells erleichtert**
- ▶ **Quintessenz: Oft ist ein bisschen Mensch plus viel Computer, viel effektiver als nur Mensch oder nur Computer!**

Anwendung: Fangen eines Balles



- ▶ Ein Roboter soll einen ihm zugeworfenen Ball fangen
- ▶ Kameras hinter dem Werfer schauen auf statischen Hintergrund
- ▶ Quelle: Udo Frese (DLR)

[Video](#)

Übungszettel 3-6

▶ Vorhersage der Flugbahn eines Balles



Video

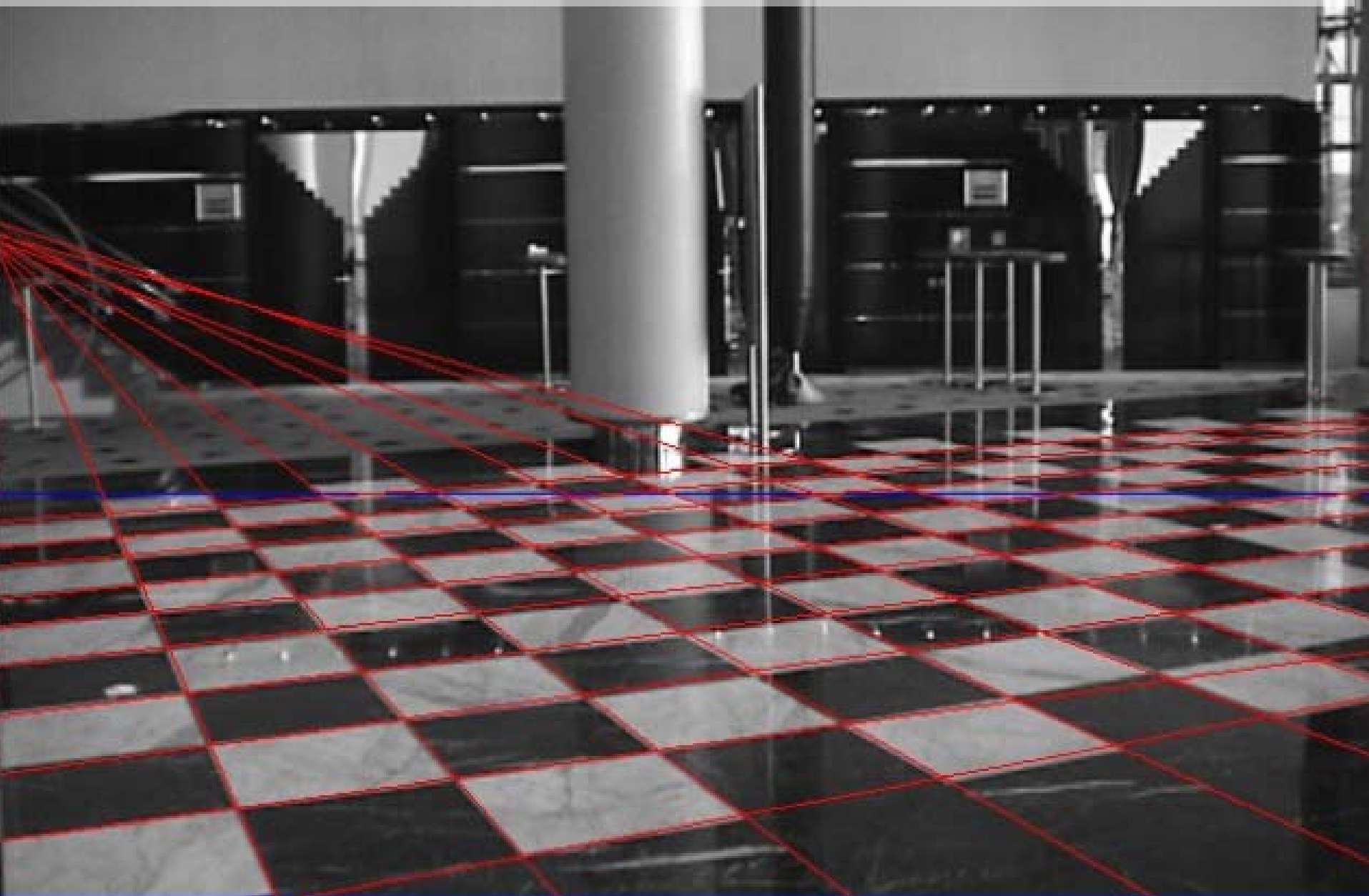
Übungszettel 3

- ▶ Erkennen des Balles mit Kreis - Houghtransformation



Übungszettel 4

- ▶ Erkennen des Schachbrettmusters über Linien - Houghtransformation



Übungszettel 5

(0.000001)

- ▶ 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