

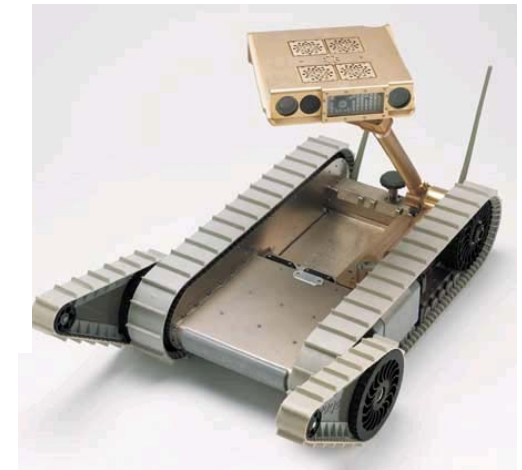
# Intelligente Kameras

Vier Augen sehen mehr als zwei

**Prof. Bernhard Rinner**

Pervasive Computing  
Institute für Vernetzte und Eingebettete Systeme  
Alpen-Adria Universität Klagenfurt  
<http://pervasive.uni-klu.ac.at>

# Kameras sind allgegenwärtig ...



# ... und vielen Anwendungen

- Unterhaltung
- Sicherheit
- Industrielle Fertigung
- Medizin
- Umwelt
- Automatisierung
- Robotik
- Multimedia
- Biometrie
- ...

# Überblick

## 1. Einzelne Kamera

Wie funktioniert eine (digitale) Kamera?

## 2. Viele Kameras

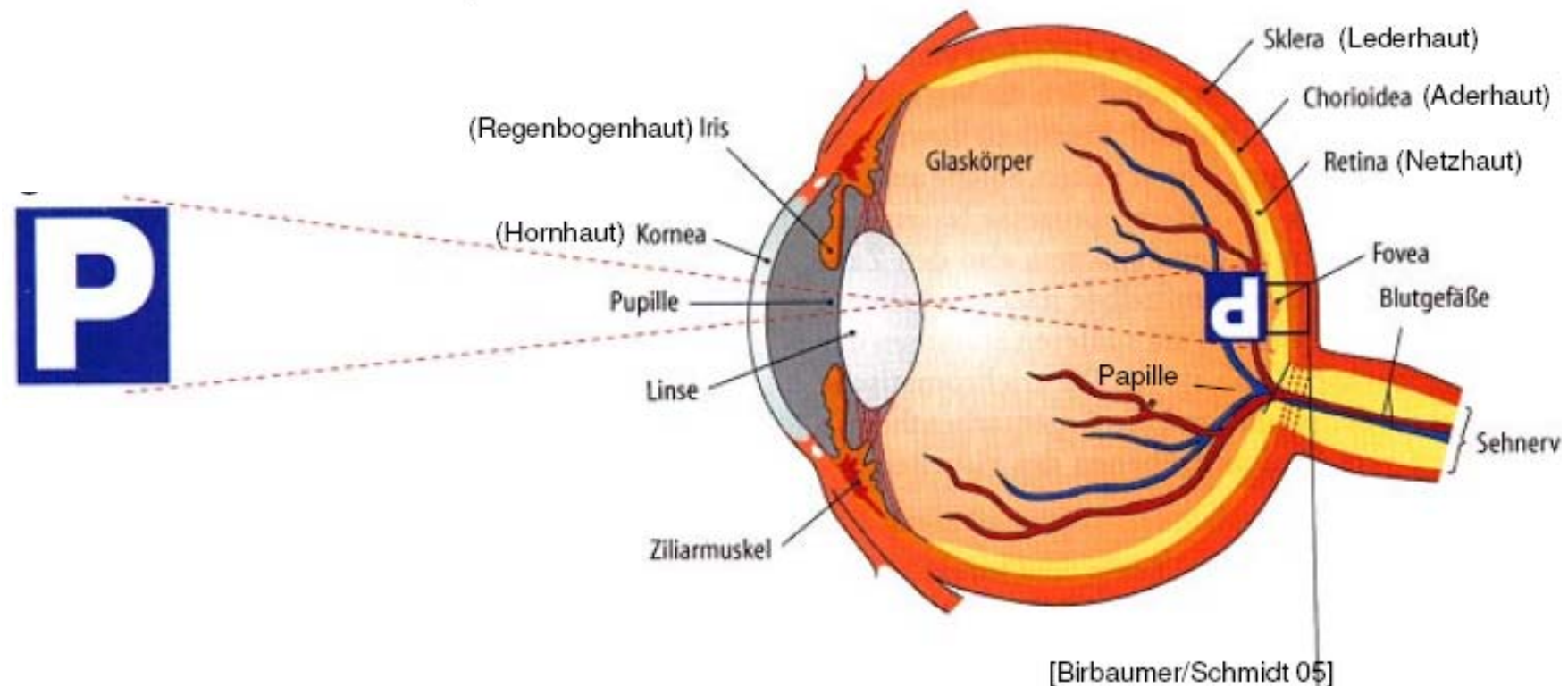
Was sind Vorteile bzw. Herausforderungen von Kameranetzwerken?

## 3. Intelligente Kameras

Was zeichnet eine intelligente Kamera aus?

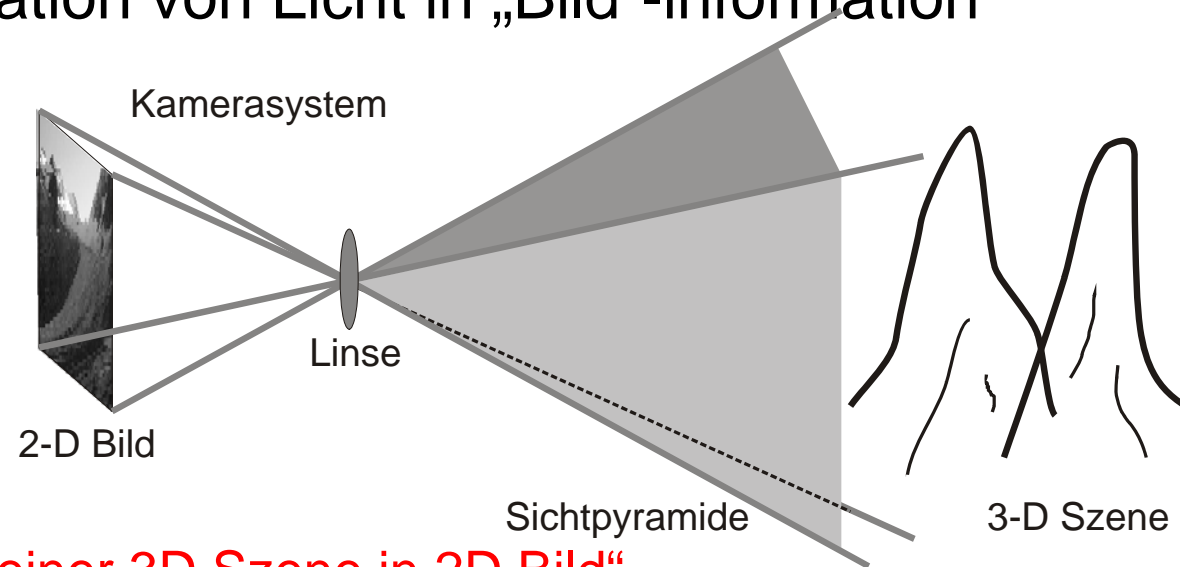
# Einzelne Kamera

# Das menschliche Auge



# Funktion einer Kamera

- Transformation von Licht in „Bild“-information

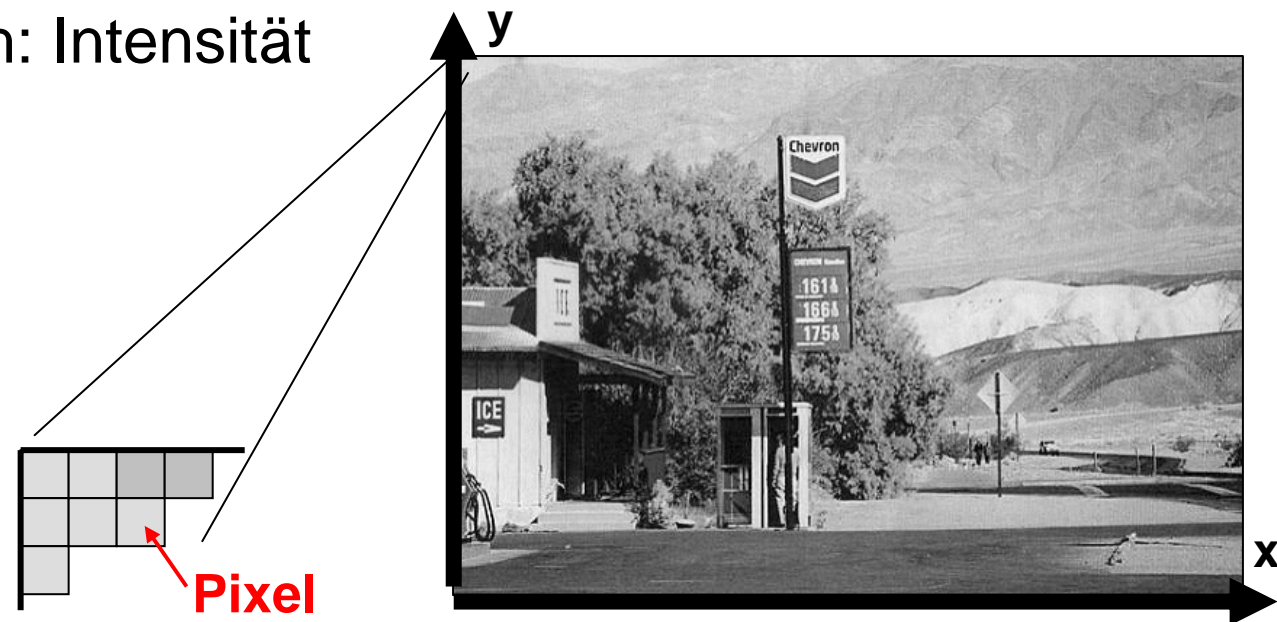


„Projektion einer 3D Szene in 2D Bild“

- Informationsverlust durch
  - Begrenzung der Abbildung durch Sichtpyramide
  - Verdeckte Punkte werden nicht abgebildet
  - Tiefeninformation der abgebildeten Punkte geht verloren

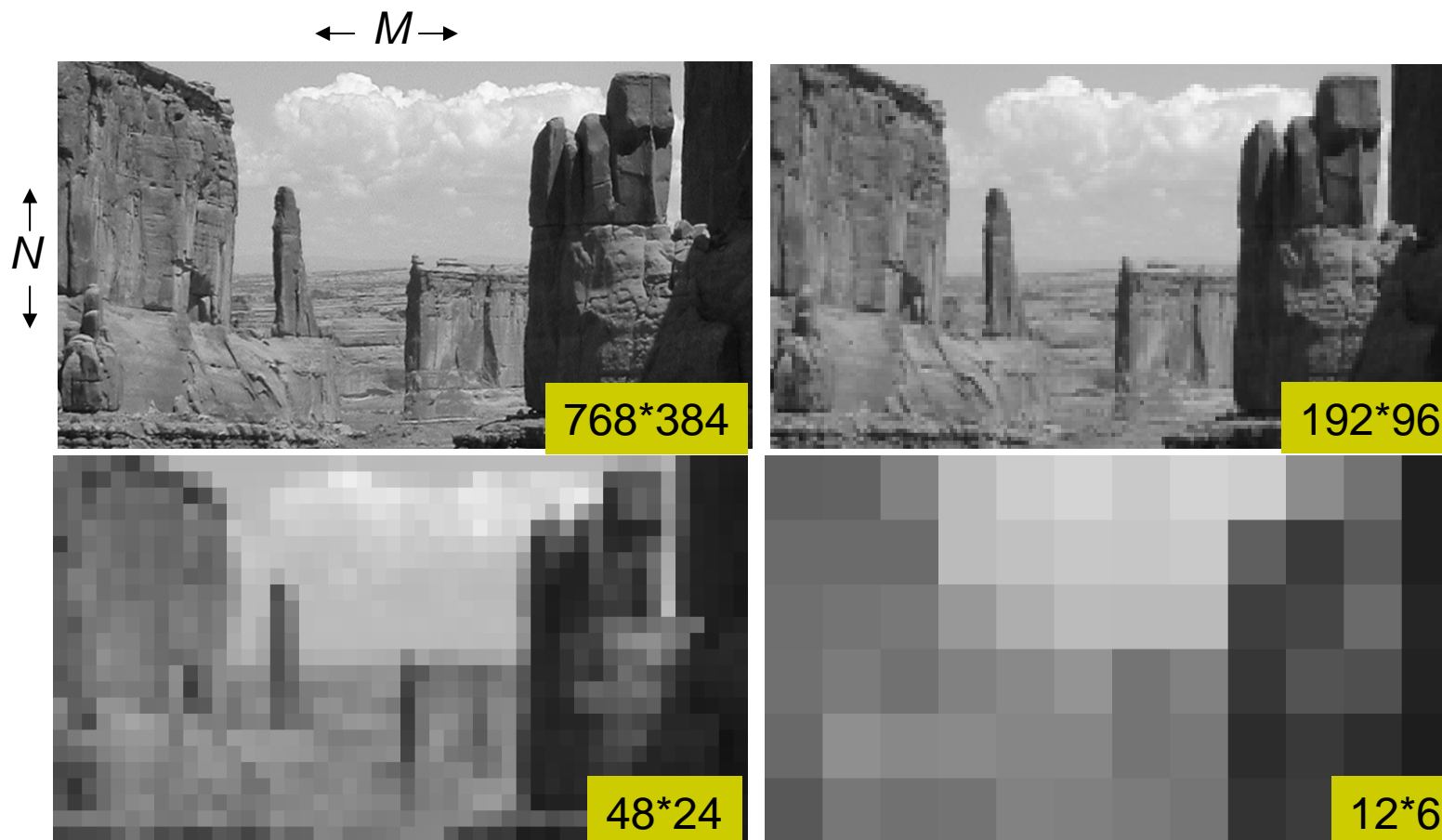
# Das (digitale) Bild

- Das Bild besteht aus einer Menge von Bildelementen (**Pixel** von „picture element“).
- Definitionsbereich: Ausdehnung in x- und y-Richtung
- Wertebereich: Intensität (Helligkeit)





# (Orts-)auflösung des Bildes

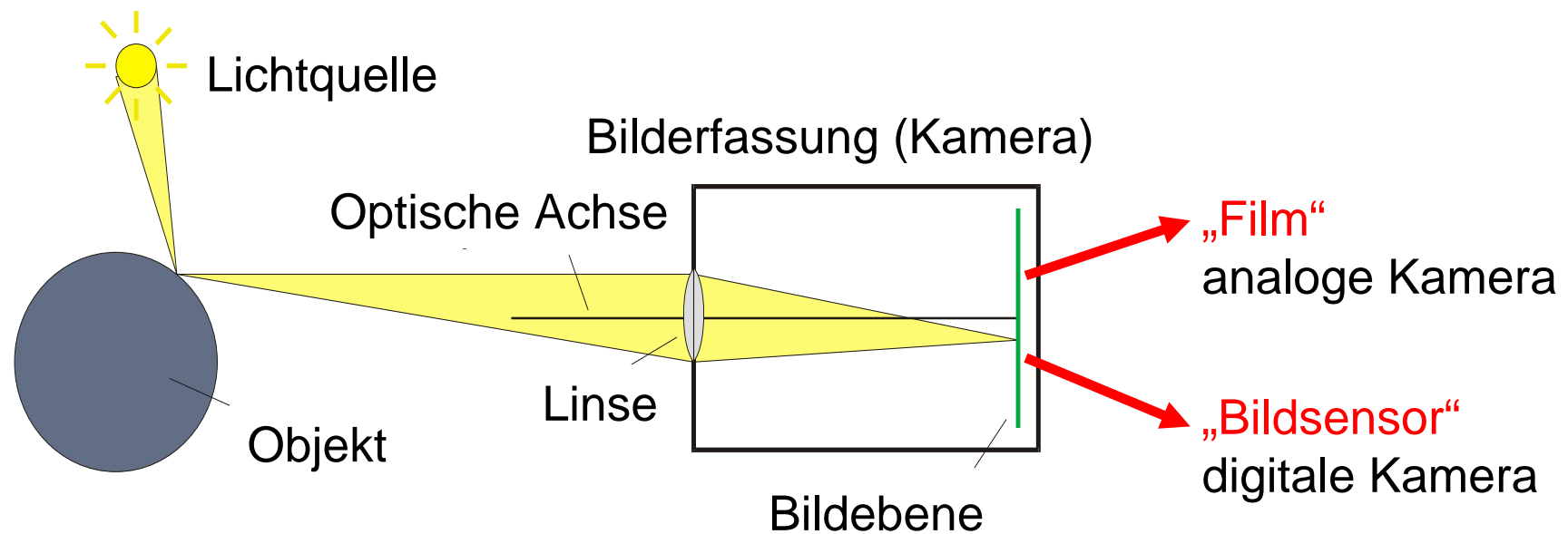


# RGB Farbmodell

Jede Farbe wird durch ein  
Tripel (rot, grün, blau)  
repräsentiert.

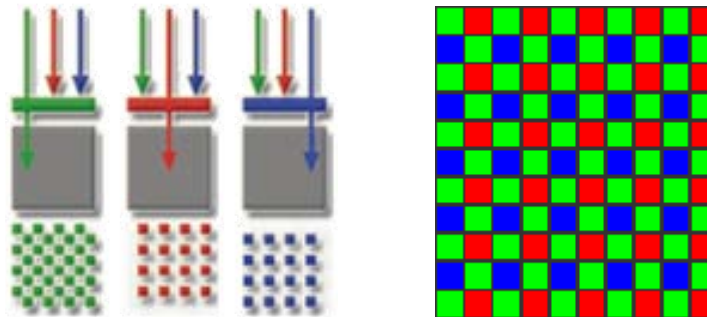


# Die Kamera

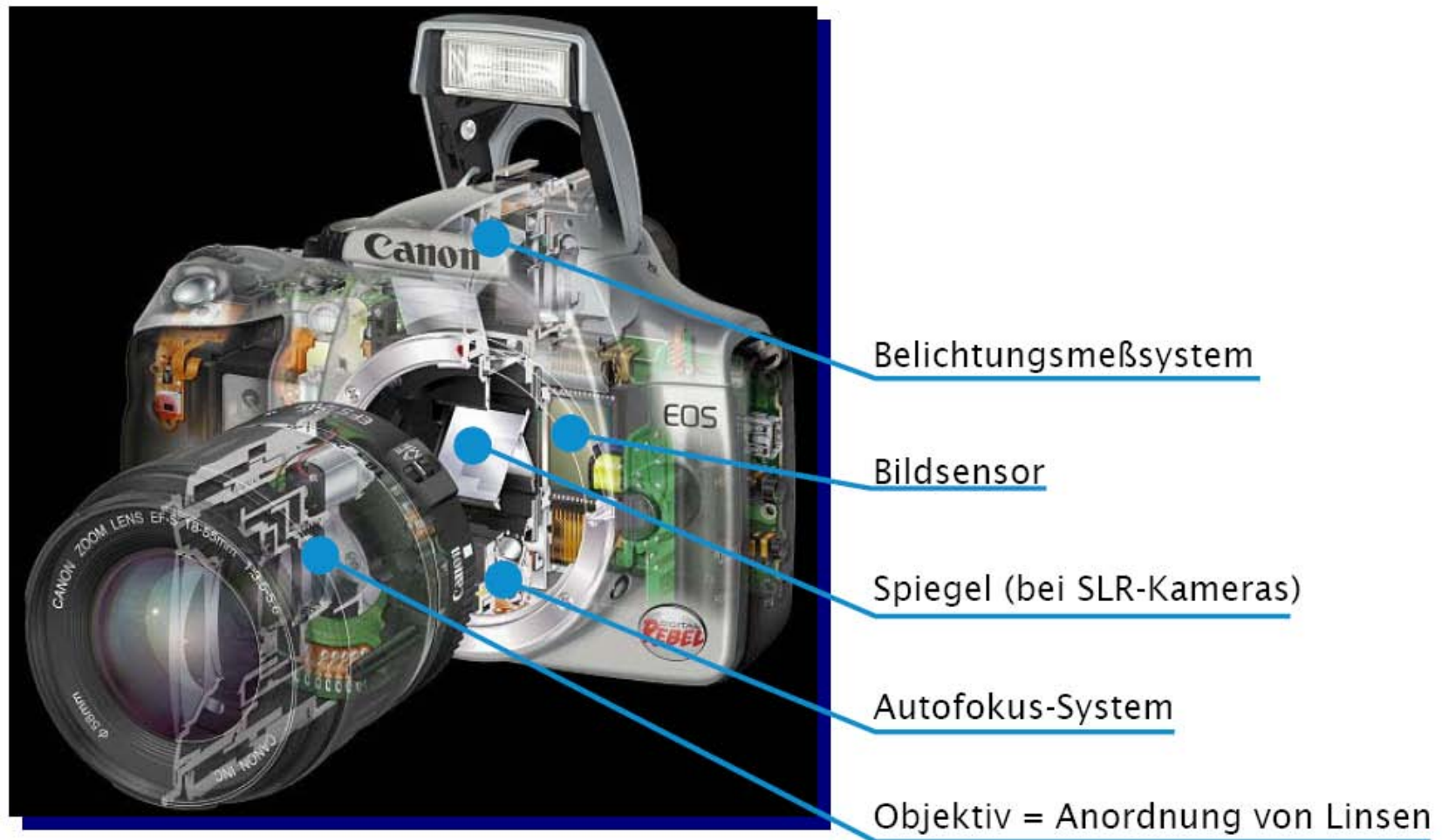


# Der Bildsensor

- Der Bildsensor hat einen matrixförmigen Aufbau, wobei jedes Pixel eine lichtempfindliche Zelle besitzt, die Helligkeitsinformation liefert (Grauwertbild).
- Bildsensoren werden als Halbleiter gefertigt.
  - CMOS und CCD sind die häufigsten Technologien
- Farbsensoren:
  - unterschiedliche Filter über benachbarte Pixel (**Farbinterpolation**)

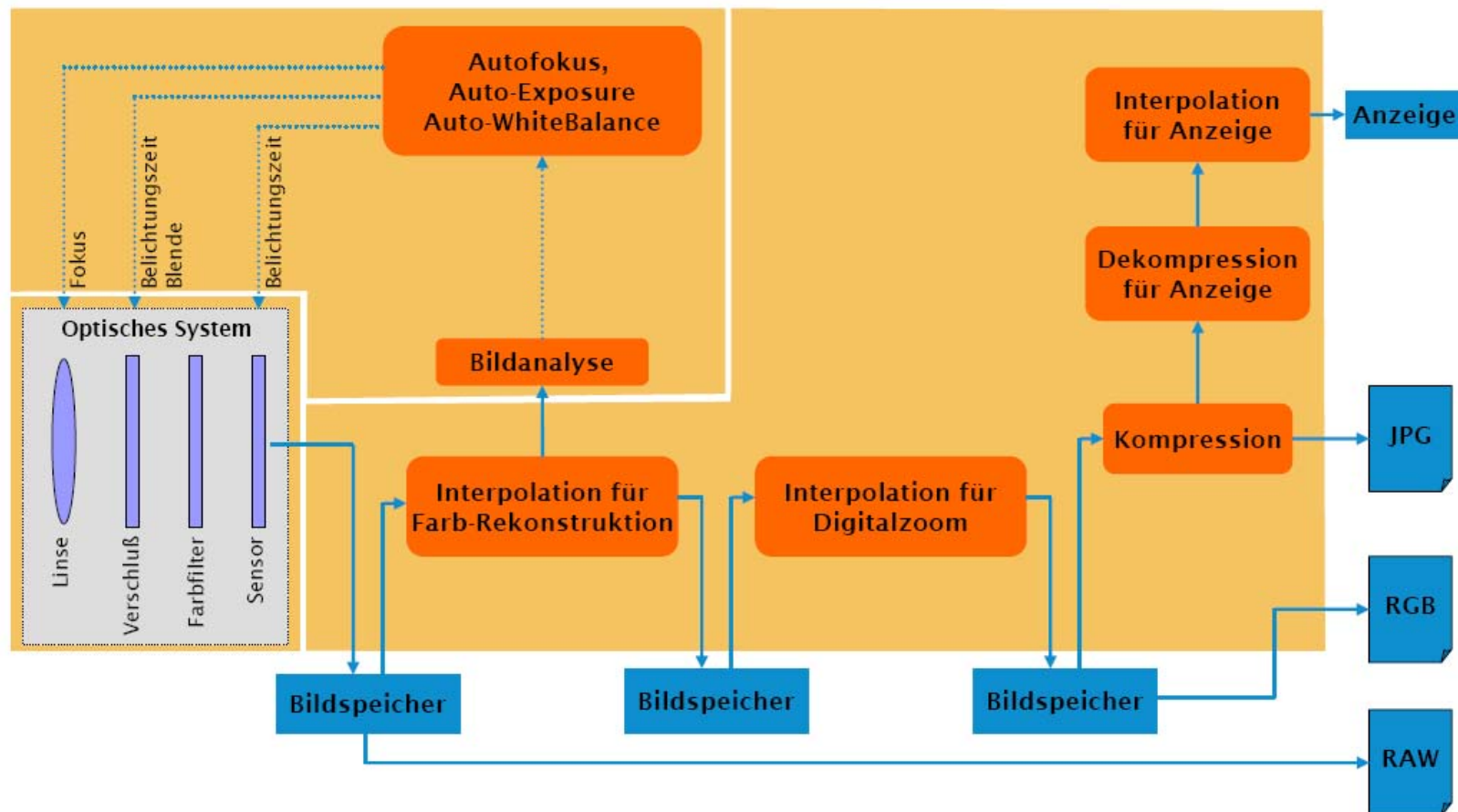


# Aufbau einer Digitalkamera



(c) Canon

# Bildaufnahme in einer Digitalkamera



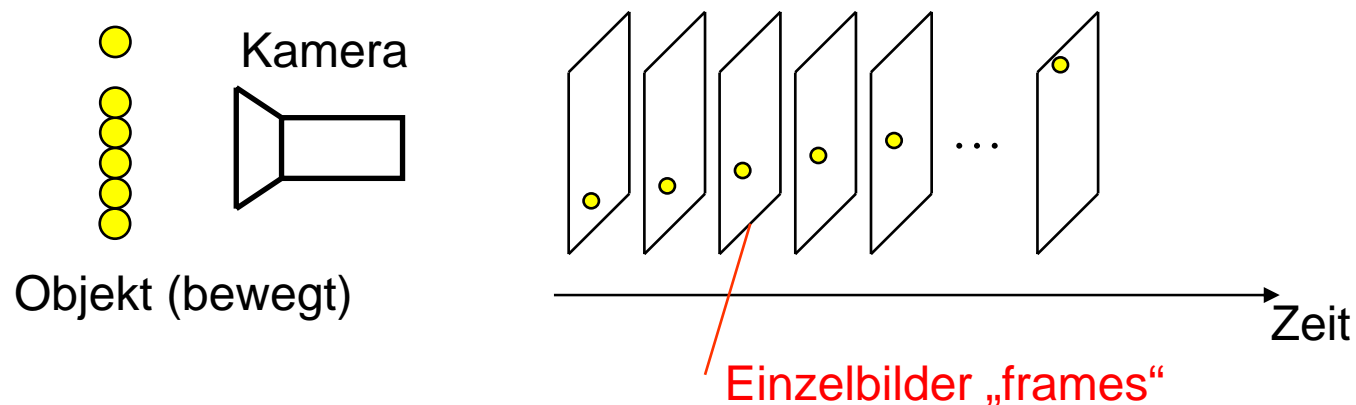
On-board Bildaufbereitung und Kompression

# Bildkompression

- Reduktion der Datenmenge
  - Beispiel: Bild einer 6 MPixel-Kamera (3000 x 2000 Pixel) mit 8 bit pro Farbe (R G B) → 144 Mbit Daten
- Kompressionsmethode
  - Entfernen redundanter Information „verlustlos“
  - Weglassen von Details
  - Stärkere Reduktion der Farbinformation „verlustbehaftet“  
(im Vgl. zur Helligkeitsinformation)
- Kompressionsverfahren
  - JPEG („joint picture expert group“)
  - GIF
  - ...

# Film/Video-Kamera

- Prinzipiell selbe Funktionsweise wie Einzelbildkamera. Es wird jedoch eine **Sequenz von Bildern** übertragen.

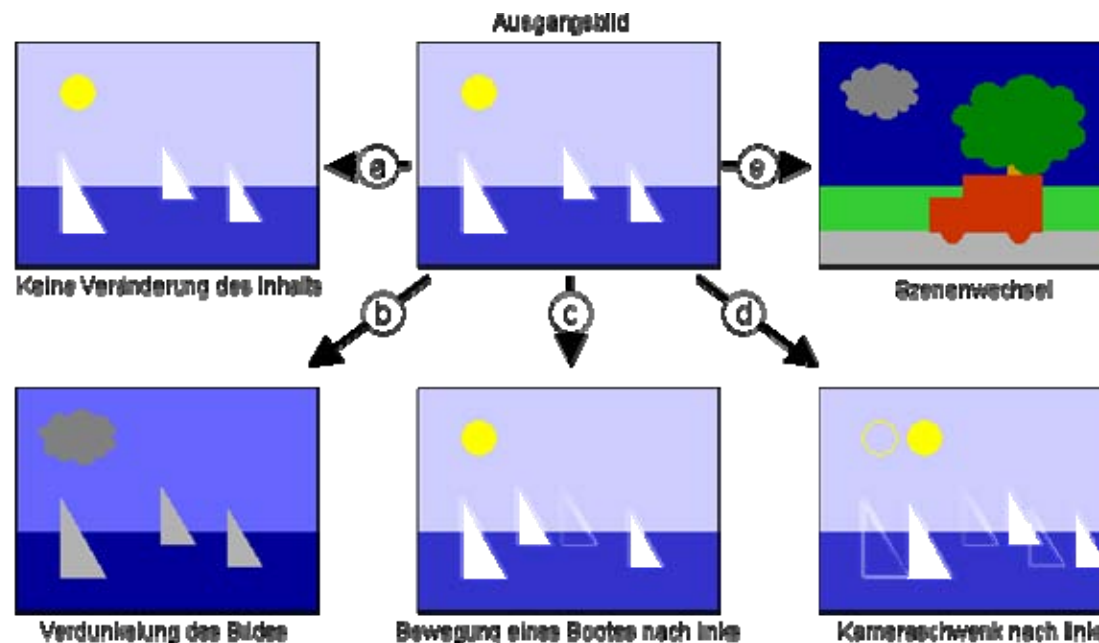


- Videos erfordern große Speicher/Übertragungskapazitäten
  - Beispiel: Video in „TV Qualität (PAL)“ (768 x 576 in 25 fps)  
→ 260 Mbit/s Übertragungsbandbreite



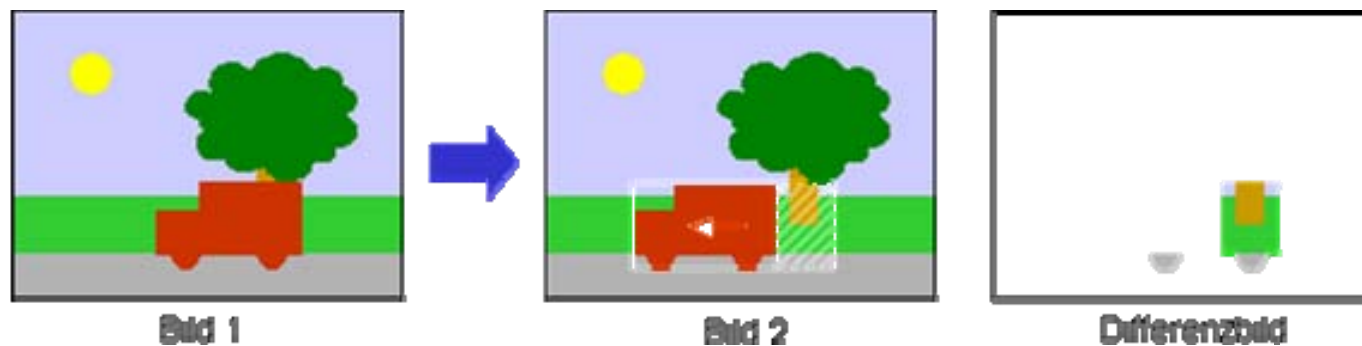
# Videokompression

- Kompression der einzelnen Bilder („intra-frame“)
  - Grundsätzlich wie (Einzel)bildkompression
- Zeitlichen Redundanz zw. Einzelbilder („inter-frame“)



## Videokompression (2)

- Reduktion der zeitlichen Redundanz durch
  - Differenzbilder
  - Bewegungskompensation



- Viele Kompressionsverfahren unterteilen Bild in **Blöcke**
  - Bei hohen Kompressionsraten wird Blockstruktur ersichtlich
- Beispiele: MPEG-2, MPEG-4, ..

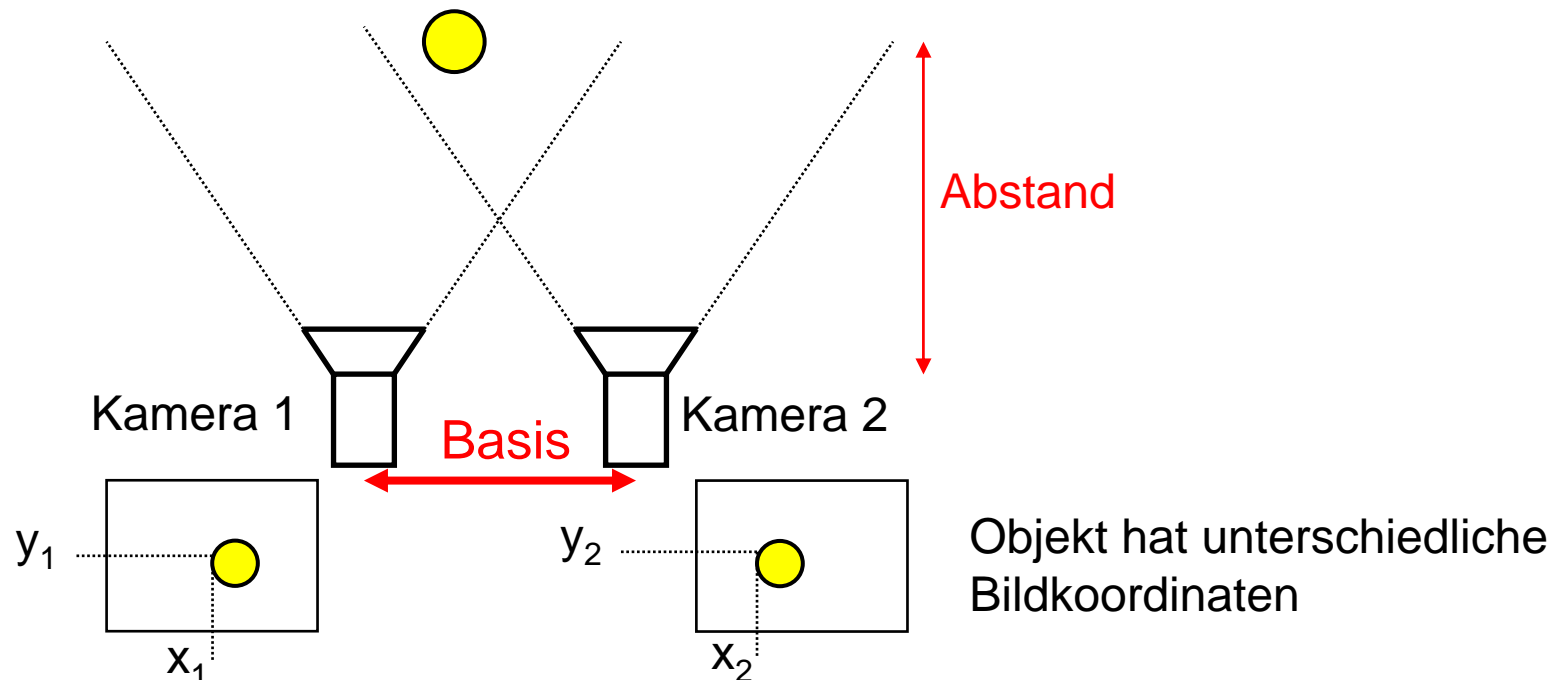
# Viele Kameras

# Kameranetzwerke



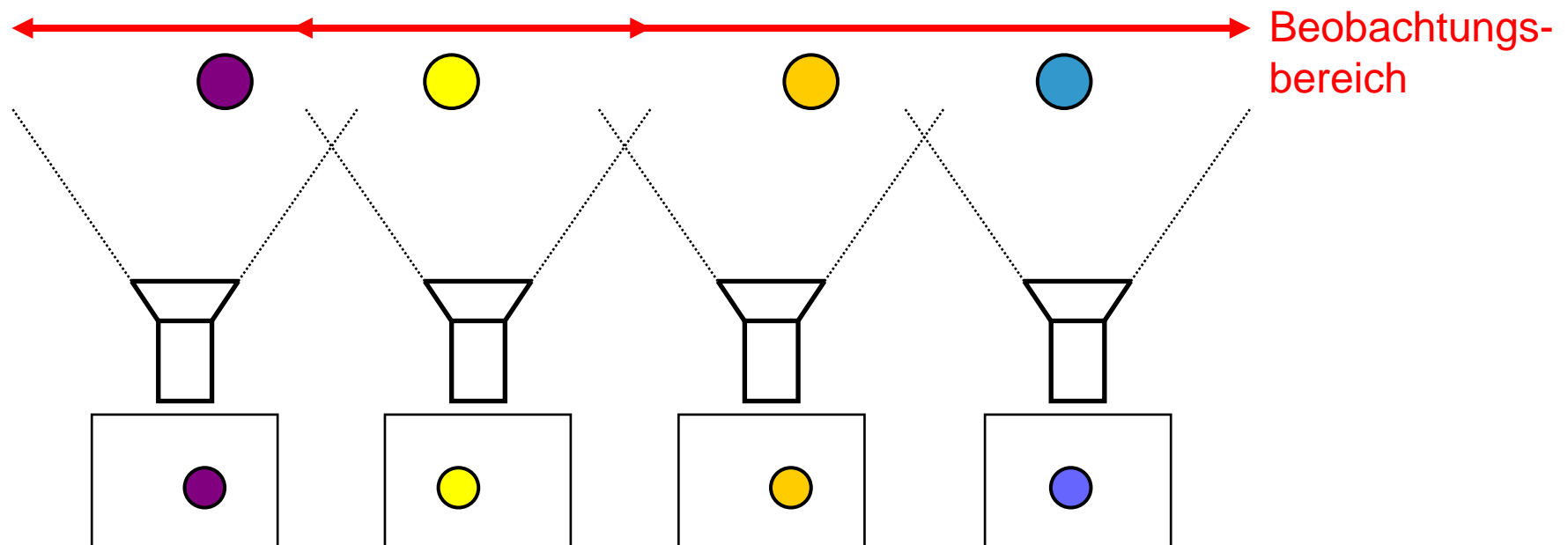
# Vorteil: Räumliches Sehen

- Bei bekannter Kamerageometrie
  - Tiefeninformation aufgrund unterschiedlicher Perspektive
  - **Stereokameras**



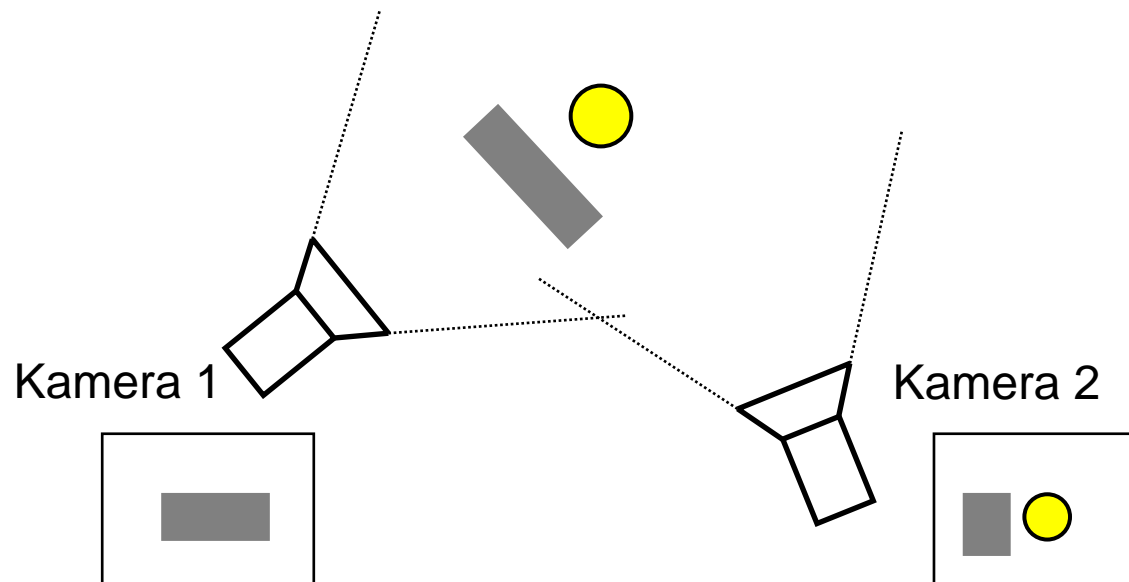
# Vorteil: Erweitertes Gesichtsfeld

- Räumliche Ausdehnung des Beobachtungsbereichs
  - Anordnung mit überlappenden oder nicht-überlappenden Gesichtsfelder möglich
  - „konstante“ Auflösung



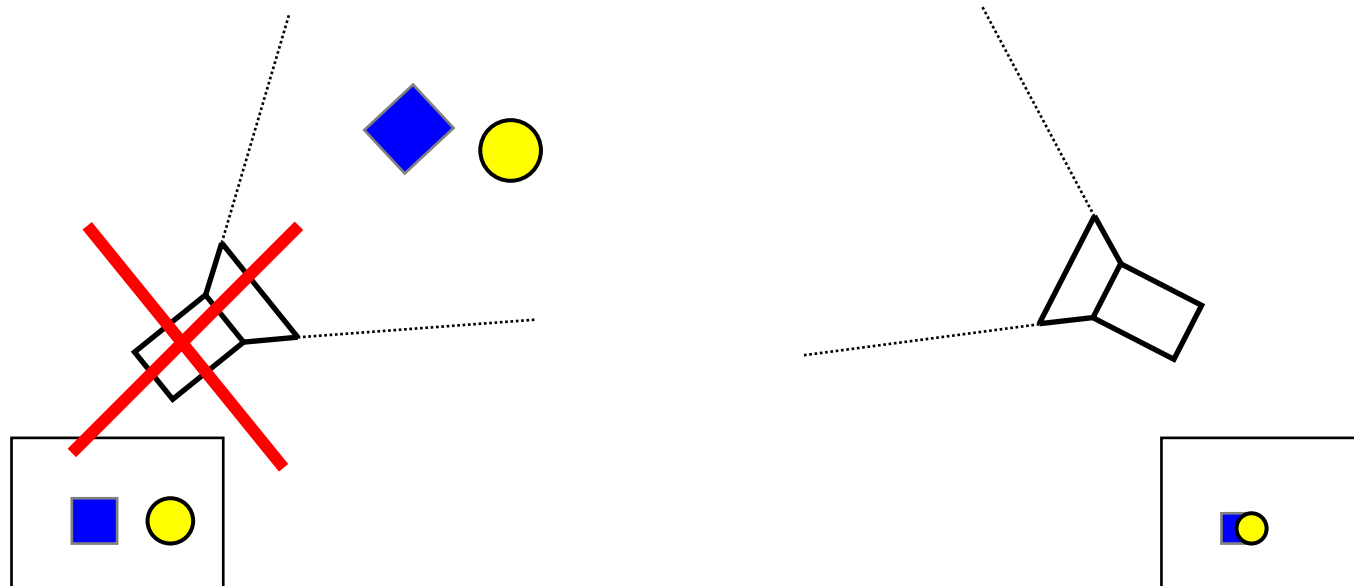
# Vorteil: Auflösen von Verdeckungen

- Alternatives Gesichtsfeld hilft Verdeckungen aufzulösen
  - Dynamische Umgebungen



# Vorteil: Redundanz

- Bei Ausfall einer Kamera können noch Informationen über Szene gewonnen werden, typischerweise mit
  - geändertem Bildfeld
  - geänderter Auflösung

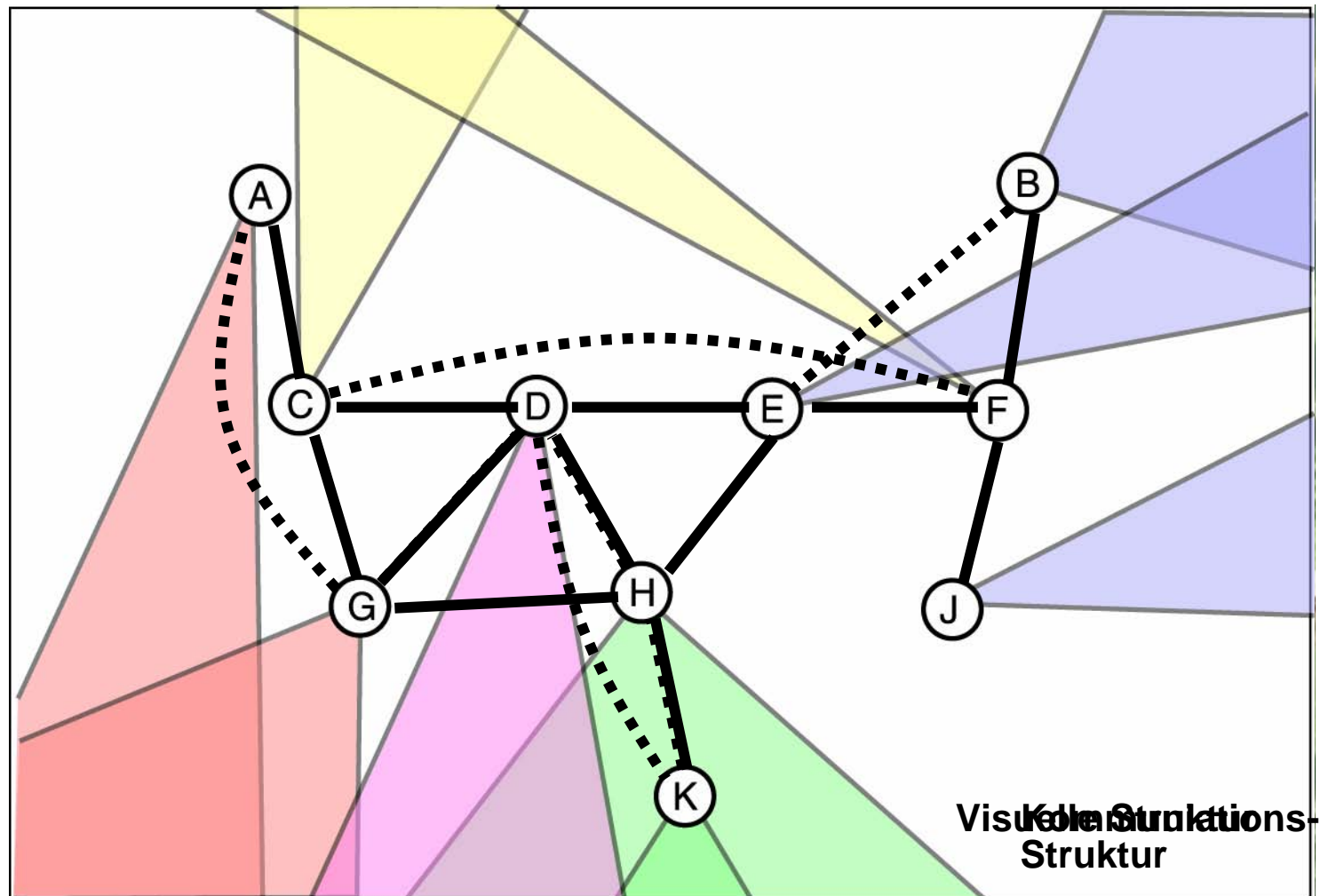




# Herausforderung: Datenmenge

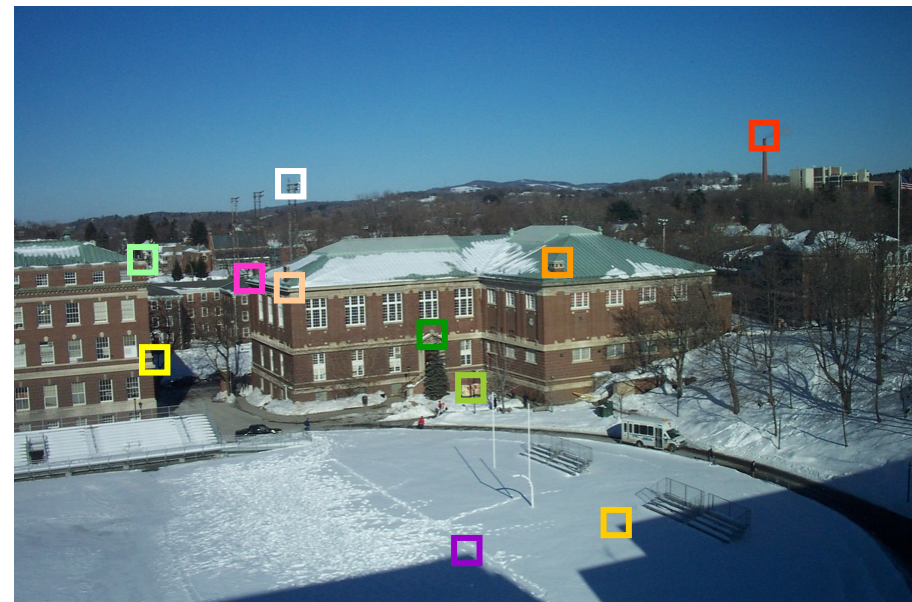
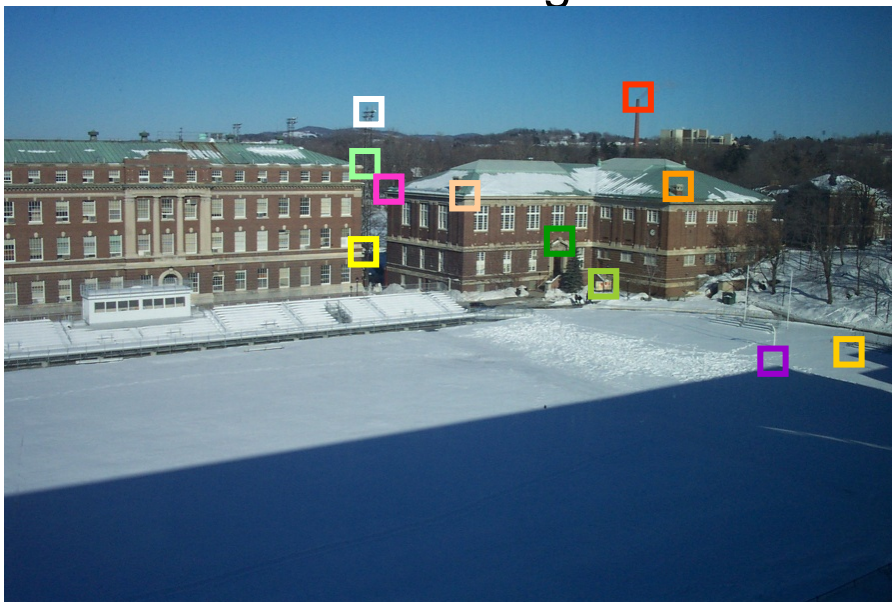
- In einem Kameranetzwerk fallen **riesige Datenmengen** an. Diese müssen
  - übertragen
  - gespeichert
  - analysiert, verarbeitet, bzw. „beobachtet“ werden
- Beispiel: U-Bahn Netz in London mit 40.000 Kameras
  - Einzelne Kamera „produziert“ bereits 260 Mbit/s
  - Extrem leistungsfähige Netzwerke, Speicher und Server!
- Videokompression hilft nur bedingt
  - Datenreduktion um 10 – 100 fache
  - Qualitätsverlust und hoher Rechenaufwand bei Kamera

# Herausforderung: Struktur



# Herausforderung: Registrierung

- Bilder überlappender Kameras müssen abgeglichen werden
  - Anhand korrespondierender Bildpunkte
  - Aufwendige Verfahren, bei stationären Kameras jedoch nur bei Initialisierung



# Herausforderung: Registrierung (2)



G. Yang, C.V. Stewart, M. Sofka, C. Tsai, PAMI 2007; <http://www.vision.cs.rpi.edu/gdbicp/>

# Intelligente Kameras

# Prinzip intelligenter Kameras

- Smart cameras vereinen

- **Bildaufnahme**,
- **Bildverarbeitung** und
- **Kommunikation**

in einem eingebetteten Gerät

(mit Sensor-, Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit)

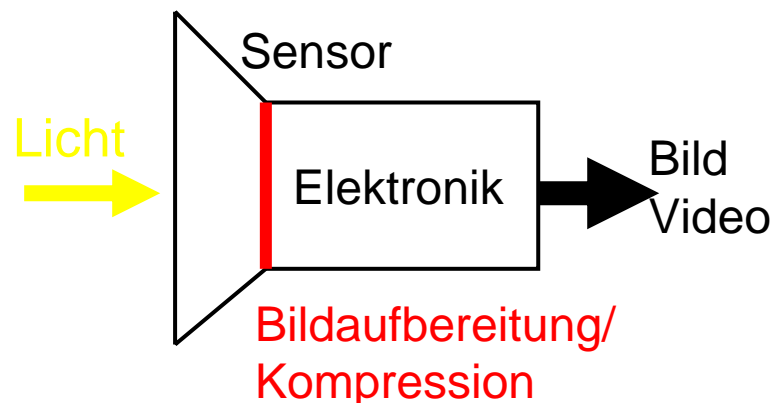
- führen **Bild- bzw. Videoanalyse** in **Echtzeit** direkt beim Sensor durch und übertragen die Ergebnisse
- arbeiten **gemeinsam** mit anderen Kameras in einem Netzwerk (Multi-Kamera Systeme)

# Unterschied zu traditionellen Kameras

## Traditionelle Kamera

- Optik und Sensor
- Elektronik
- Schnittstellen

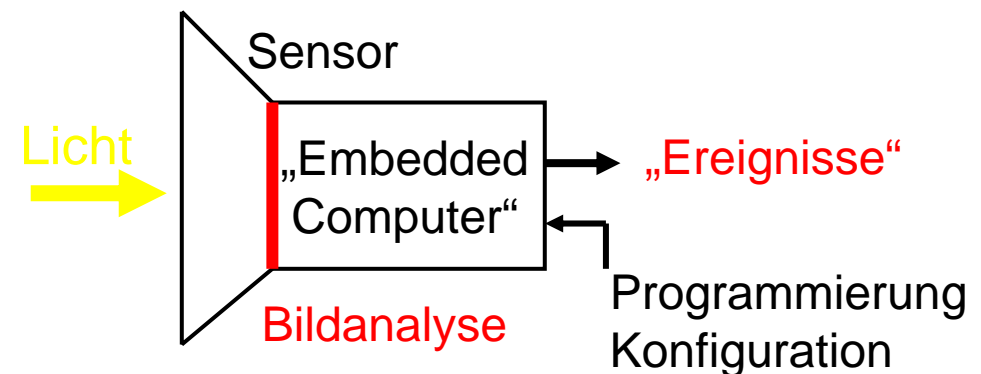
liefern Daten in Form von  
(komprimierten) Bildern bzw.  
Videos



## Smart Camera

- Optik und Sensor
- „onboard Computer“
- Schnittstellen

liefern **abstrahierte Bildinhalte**  
und sind konfigurier- bzw.  
programmierbar



# Intelligente Kameras sehen das Wesentliche

- Beispiele für **abstrahierte Bildinhalte**
  - komprimierte Bilder/Videos
  - Bildeigenschaften/Features
  - detektierte Ereignisse



© CMU



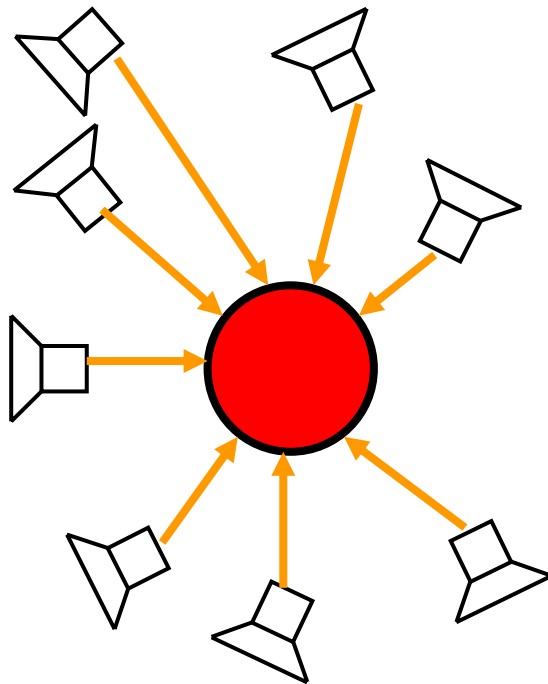


# Intelligente Kameras kooperieren

- Autonome Kameras im Netzwerk
  - Keine zentrale Verarbeitungseinheit
  - Gemeinsame Analyse durch mehrere Kamera
  - Dynamische Konfiguration (Struktur und Funktionalität)
  
- Daraus resultierende Herausforderungen
  - Kontrollmechanismen
  - Synchronisation
  - Ad-hoc Kommunikation
  - Energie-Effizienz

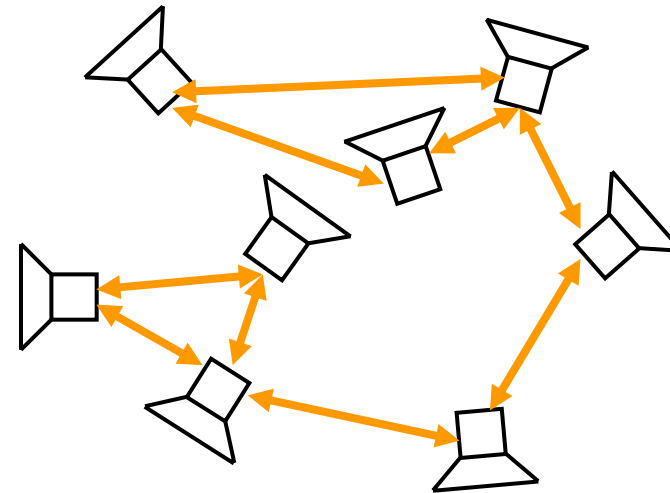
# Netzwerkstruktur

## Traditionelle Kameranetze



Kameras liefern permanent  
Bilder an „Server“

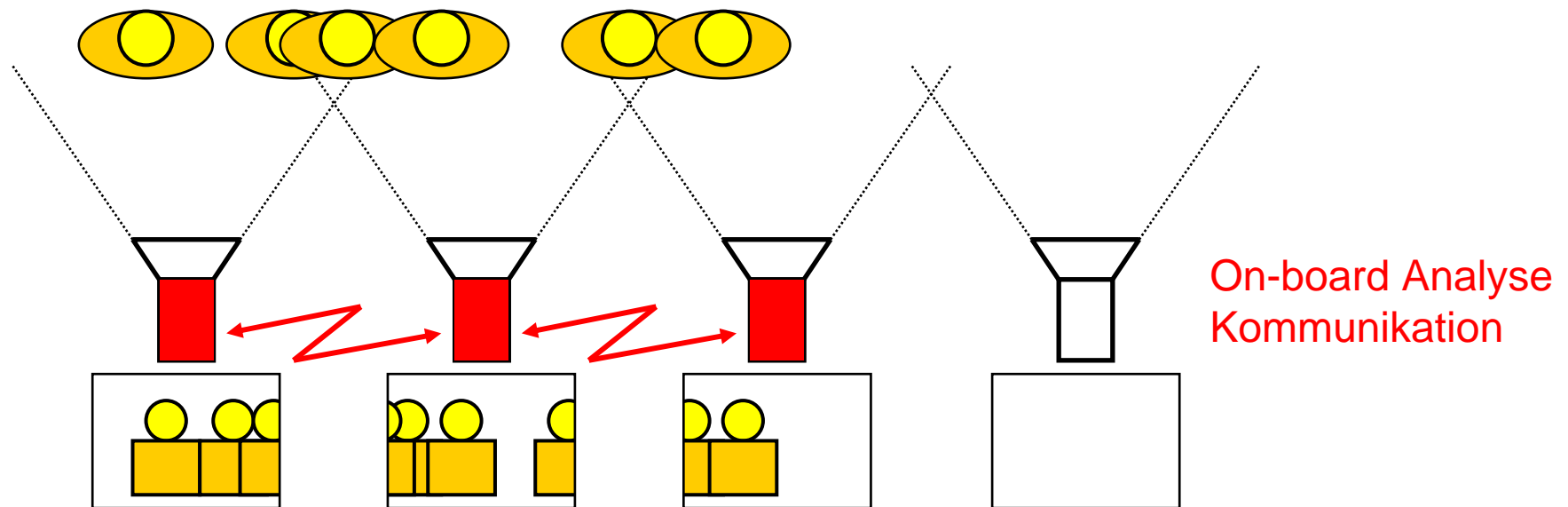
## Smart Camera Netze



Kameras kooperieren direkt  
(spontan und „Punkt-zu-Punkt“)

# Verteilte Kontrolle im Kameranetzwerk

- Autonomes Objektverfolgung über mehrere Kameras
  - Bewegtes Objekt soll selbstständig verfolgt werden



- Die Analyse („Tracker“) „folgt“ dem Objekt
  - Kommunikation zur Steuerung erforderlich

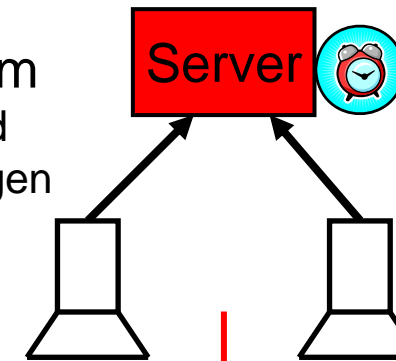
# Synchronisation

- Zur verteilten Analyse müssen Kameras **synchronisiert** sein.

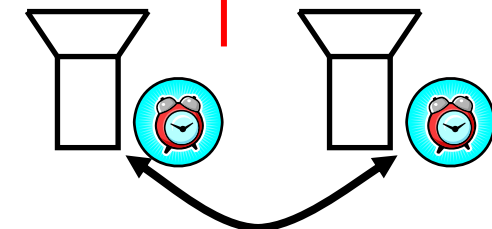
## Probleme

- Keine zentrale Zeiteinheit (Uhr)
- Verzögerungen durch Kommunikation (unbekannte/variable)

Zentrales System  
mit globaler Uhr und  
keinen Verzögerungen



Verteiltes System  
mit lokalen Uhren und  
Verzögerungen



# Dynamische Rekonfiguration

- Keine starre Verbindungsstruktur zwischen Kameras
  - Kameras können hinzugefügt bzw. entfernt werden
  - Kommunikation abhängig von beobachteter Szene
- Änderung der Funktionalität
  - Adaption/Konfiguration der Bildverarbeitungsalgorithmen
  - „Laden“ neuer Algorithmen
- System-Software auf Kamera
  - Diverse Services für Netzwerk, Anwendung etc.
  - **Middleware**

# Energie-Effizienz

- Energie ist eine wichtige Ressource im Netzwerk
  - Zugeführte elektrische Energie als thermische Energie abgeführt
  - Betriebsdauer
- Energieversorgung
  - Eigene Versorgungsleitung
  - Über Kommunikationsleitung
  - Autonome Versorgung (Solar-panel, Batterien)
- Verarbeitung vs. Kommunikation
  - Energiebedarf für Kommunikation ist um Vielfaches höher als für Verarbeitung
  - Kamera nur „bei Bedarf“ aktivieren

# Prototypen

- Bereits in vielen Varianten
  - Rechenleistung, Energiebedarf
  - Kabellose bzw. kabelgebundene Kommunikation
  - Optik und Sensorik



Rinner et al. (multi-DSP)  
10 GOPS @ 10Watt



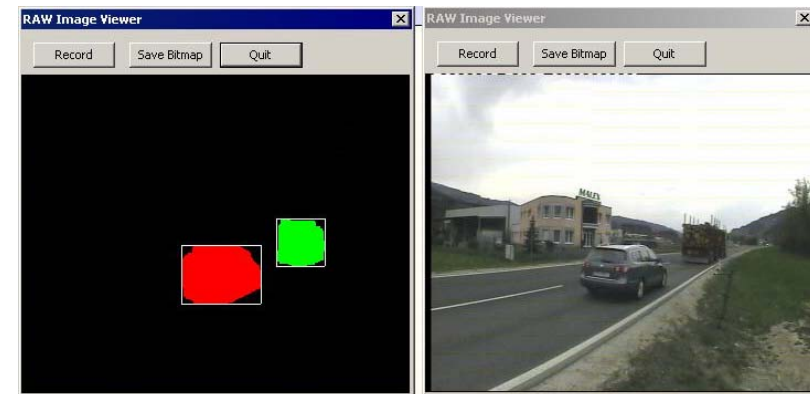
WiCa/NXP (Xetal SIMD)  
50 GOPS @ 600mWatt



CMUcam3 (ARM7)  
60 MIPS @ 650mW

# Anwendung: Verkehr

- Erfassen von Verkehrsdaten
  - Klassifikation/Zählung
  - Auslastung
  - Fusion von Audio/Video
  
- „Verfolgung“ von Fahrzeugen
  - Geschwindigkeitsschätzung
  - Staudetektion



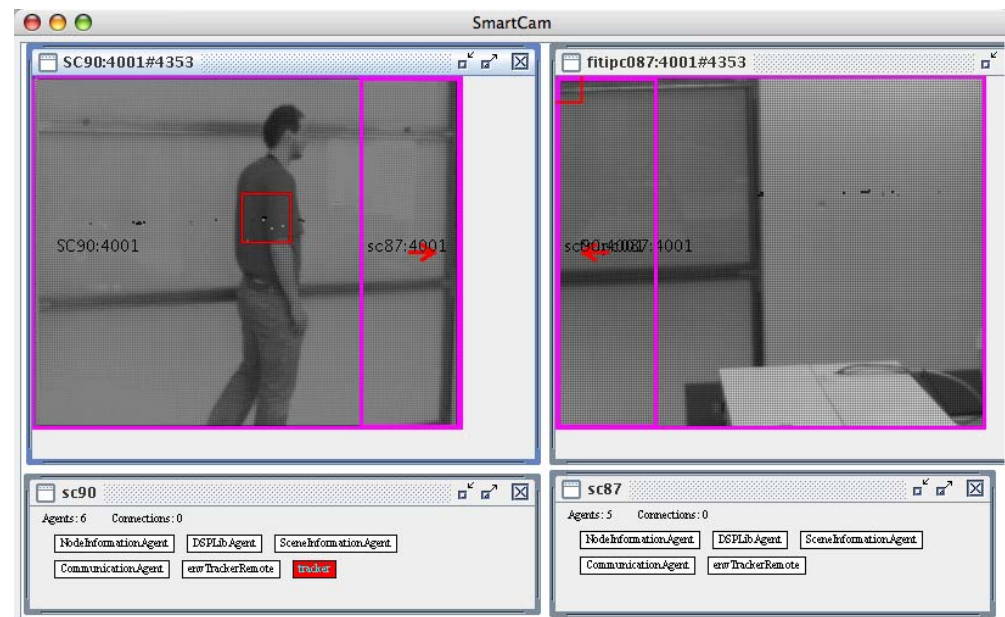
Leistner, TUG



# Anwendung: Multi-Kamera Tracking

- „Verfolgen“ von Personen über viele Kameras
  - Keine zentrale Koordination
  - Autonomes „Handover“ benachbarter Kameras

- „Handover“
  - Übergabebereiche in Gesichtsfeld
  - Bei Eintreten in diese Bereiche, werden „benachbarte“ Kameras informiert
  - „Übergabe“ wenn Objekt erkannt



# Anwendung: Schutz der Privatsphäre

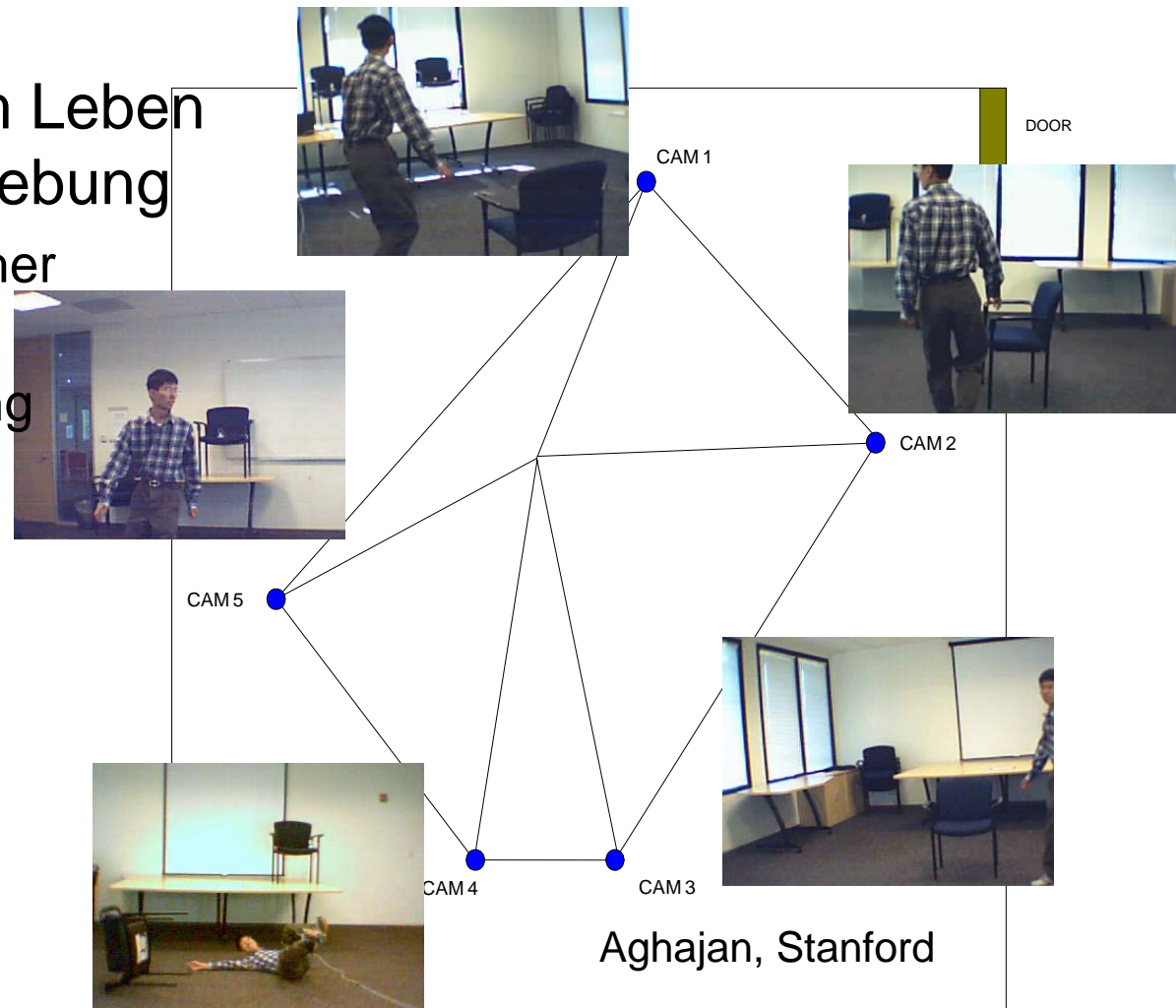
- Überwachung mit Schutz der Privatsphäre
  - Automatische Kopferkennung und Verfolgung
  - „Verschlüsselung“ des Kopfbereiches



Boult, Univ. Colorado

# Anwendung: Assisted Living

- Unterstützung zum Leben in gewohnter Umgebung
  - Meldung gefährlicher Situationen
  - Beispiel: Erkennung eines Sturzes



# Weitere Anwendungen

- Unterhaltung (Computerspiele)
  - in 3D Umgebung
- „Smart Rooms / Smart Environments“
  - Erkennung von Gesten, Zeichensprache, Raumbellegung ...
- Umwelt-Monitoring
  - Kombination mit anderen Sensoren, Tierbeobachtung
- Sicherheit
  - Hinderniserkennung (Zug, Auto), Zutrittskontrolle, Überwachung
- „Virtual Reality“
  - Überlagerung der realen Welt mit digitalen Informationen
- ...

# Zusammenfassung

# Intelligente Kameras

- vereinen

- Bildaufnahme,
- Bildverarbeitung und
- Kommunikation

in einem eingebetteten Gerät (on-board Analyse)

- führen Bild- bzw. Videoanalyse in **Echtzeit** direkt beim Sensor durch und übertragen die Ergebnisse
- arbeiten **gemeinsam** mit anderen Kameras in einem Netzwerk (Multi-Kamera Systeme)

# Intelligente Kameras als “Schlüsseltechnologie”

- für viele Anwendungen, beispielsweise
  - Life Sciences
  - Sicherheit & Überwachung
  - Verkehr
  - Unterhaltung
- verteilte Kameras werden zu **intelligenten Netzwerken**, die „schwierige Probleme“ lösen helfen
  - Verdeckung
  - Kommunikationsbandbreiten
  - Energieversorgung
  - Zuverlässigkeit

# Intelligente Kameras als “Forschungsplattform”

- Architektur & Netzwerk
  - Kameraplattform, Netzwerk
  - Ressourcenmanagement
  - Fehlertoleranz, Verfügbarkeit
- (eingebettete) Verarbeitung
  - kollaborative Bild/Videoanalyse
  - Multimedia, Sensornetze, Sensorfusion
- Entwicklungsprozess
  - Systemsoftware, Middleware, SW-Werkzeuge
- Fallstudien
  - Verkehr, Überwachung, Logistik, ...



ACM/IEEE International Conference on  
Distributed Smart Cameras

ICDSC-07

Vienna, Austria  
Sept. 25-28, 2007



- **Keynotes**
- **Feng Zhao, (Microsoft Research, USA)**  
**Sensing Platforms for World-wide Sensor Web.**
- **Mubarak Shah (Central Florida University, USA),**  
**Video Surveillance and Monitoring Using Distributed Cameras.**
- **Wilfried Philips (Ghent University, Belgium),**  
**Challenges for Single- and Multi-Camera Video Processing.**
- **Tutorials, Demo Sessions, Industrial Panel, ...**

**Universität Wien (Hauptgebäude)**

**[www.icdsc.org](http://www.icdsc.org)**