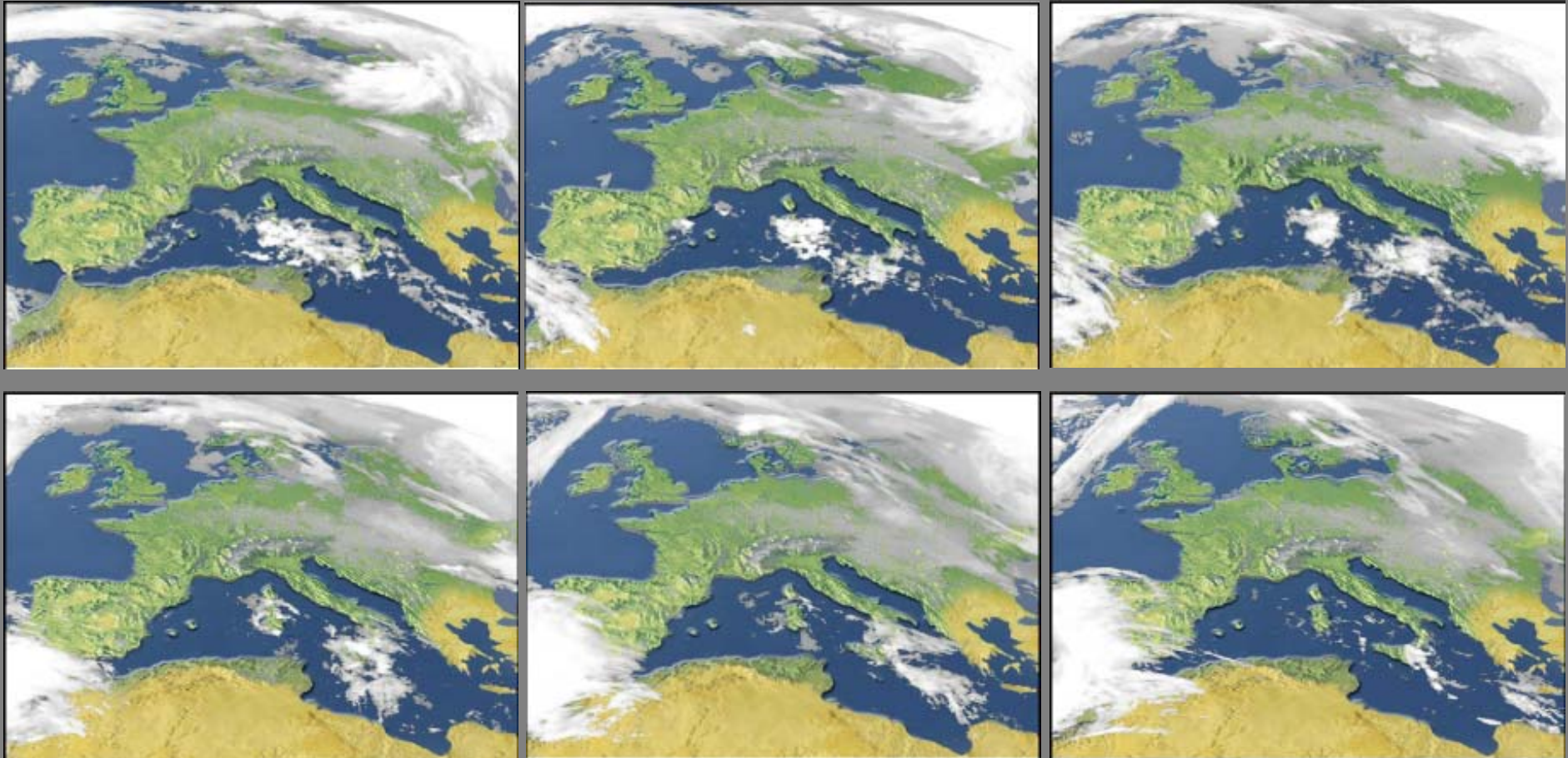


Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

1.) Wettervorhersage



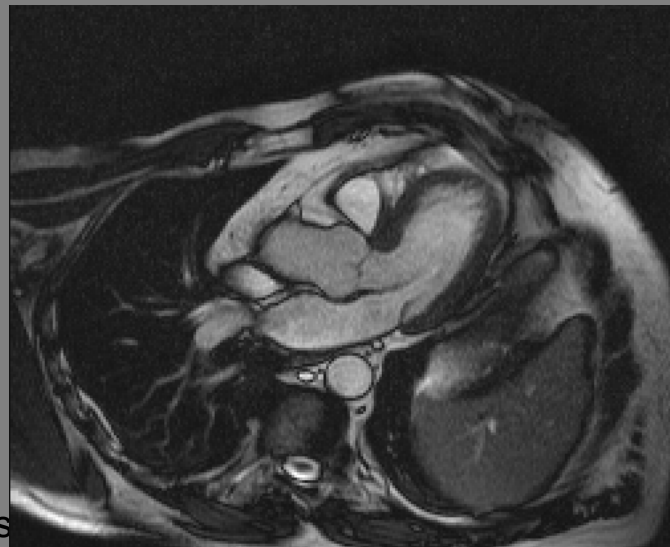
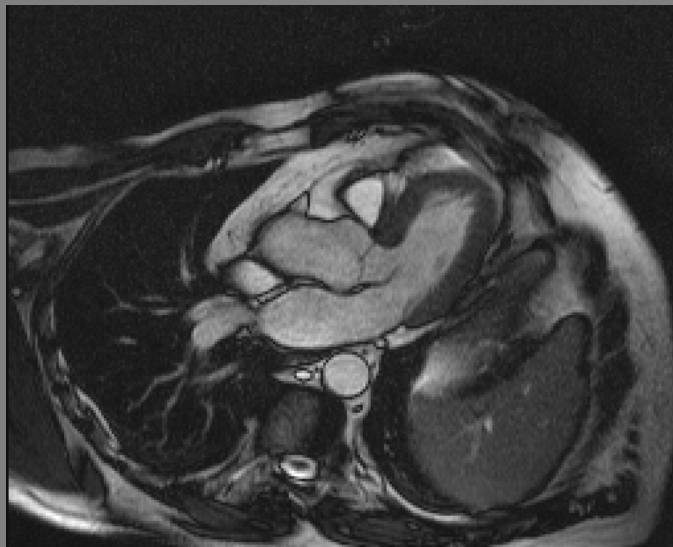
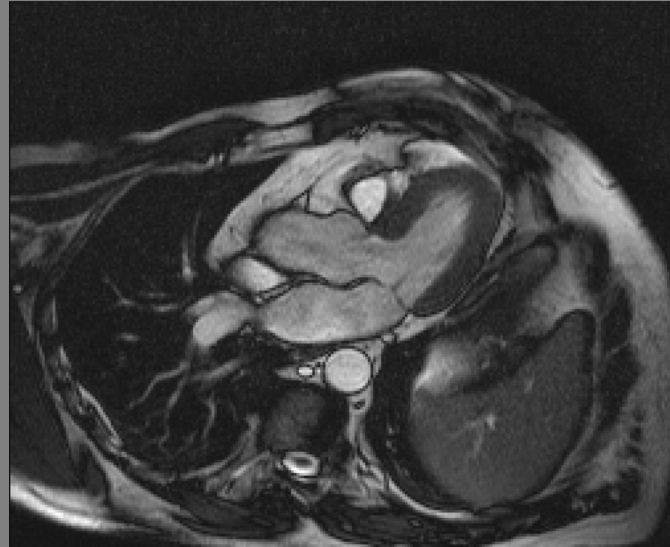
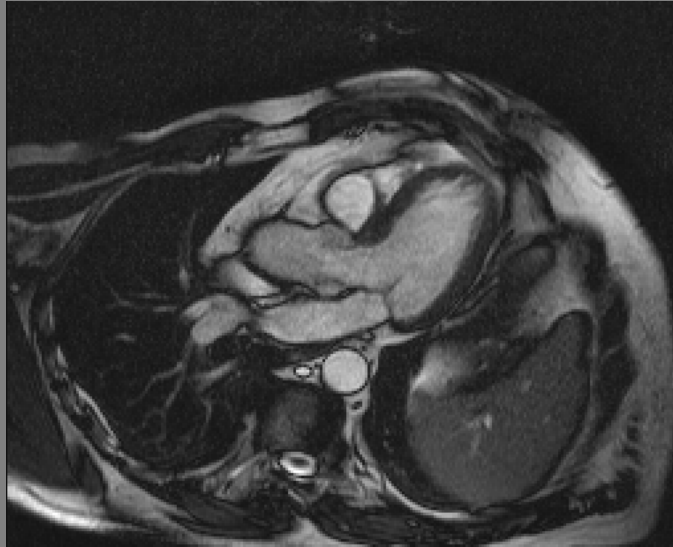
Quelle: Deutscher Wetterdienst



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

2.) Medizin: Stoffwechsel- und Kreislauf-Phänomene



Quelle: Zentral-Institut
für bildgebende
Diagnostik -ZIBID,
Klinikum Karlsruhe



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

3.) Robotik



Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt; FBI

Quelle: http://www.care-o-bot.de/Bilder/Care-O-botII_Greifen.jpg



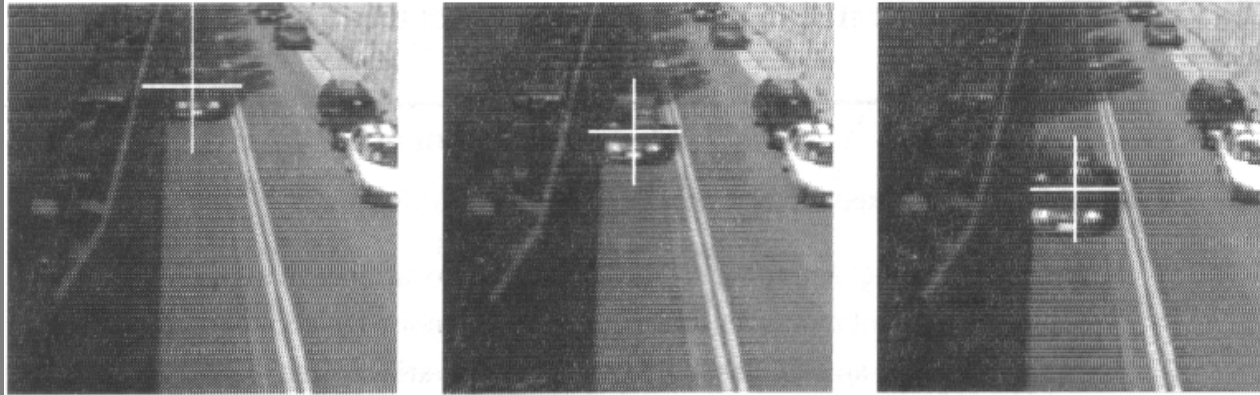
Quelle: <http://www.fibervision.de/img/start.jpg>



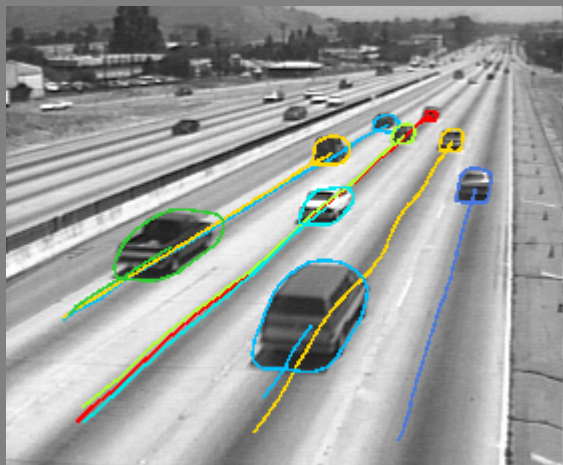
Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

4.) Verkehrsleitung und -überwachung



Quelle: unbekannt



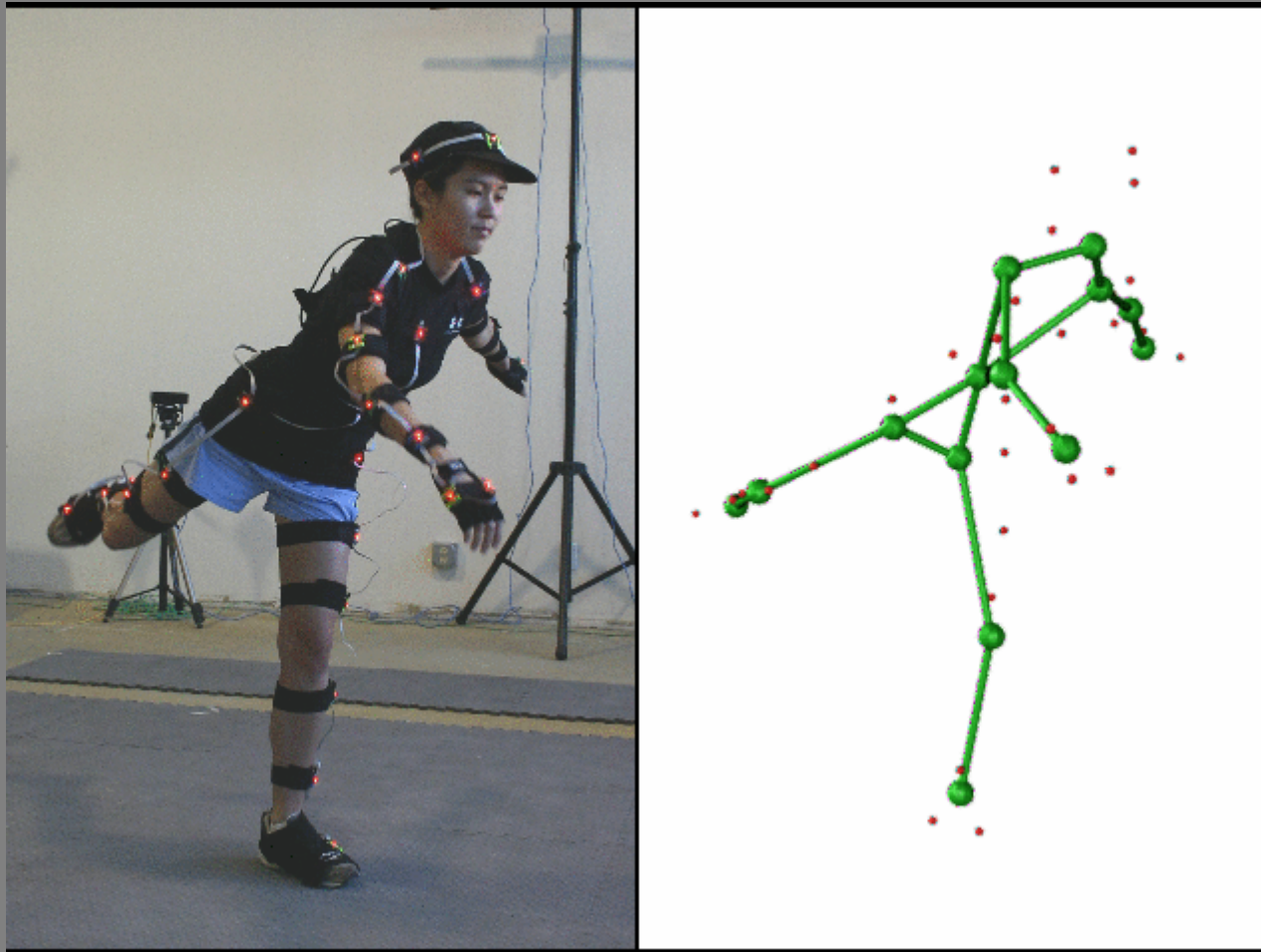
Quelle: <http://www.alliqcorp.com/images/traffic.gif>



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

5.) Optical Motion Capturing



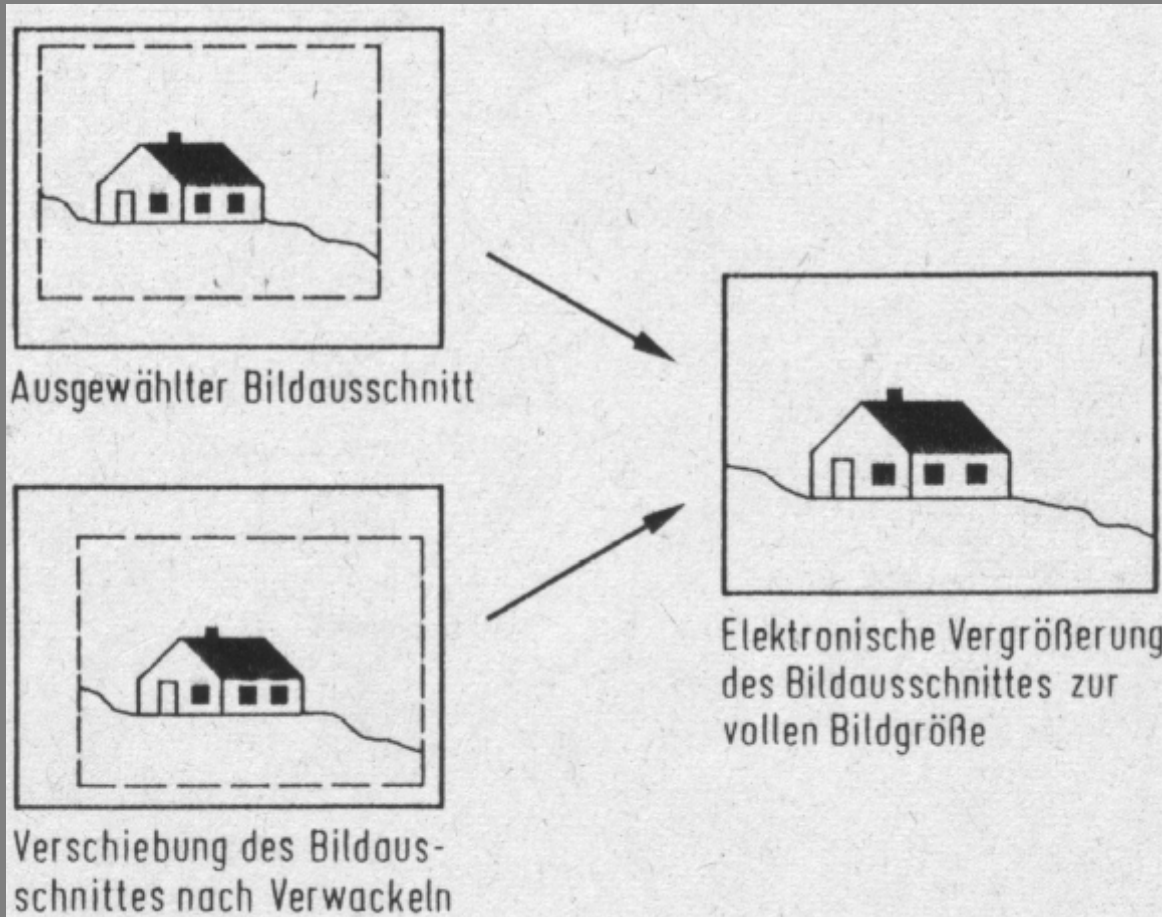
Quelle: <http://www.eecs.berkeley.edu/b-cam/Papers/Kirk-2005-SPE/Images/figure1.gif>



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

6.) Bildstabilisierung



Quelle: unbekannt



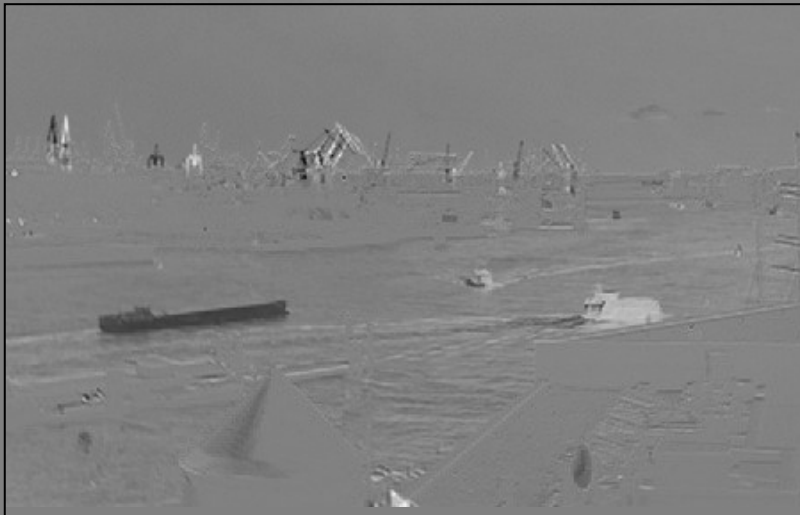
Quelle: http://www.ricoh.com/r_dc/de/cx/cx1/img/po4_p7.jpg



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Anwendungsbeispiele:

7.) Änderungs-Entdeckung (siehe Kap. 3)



Differenzbild

Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt; FBI



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Seiten-Effekt: Relative Entfernungen aus Bewegungs-Parallaxe:

Szene ruht; Kamera bewegt sich nach rechts. Welches Objekt ist näher an der Kamera?

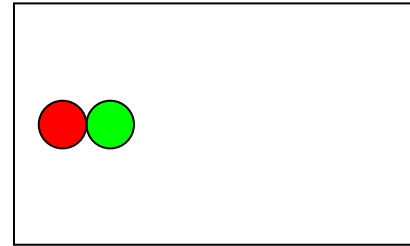
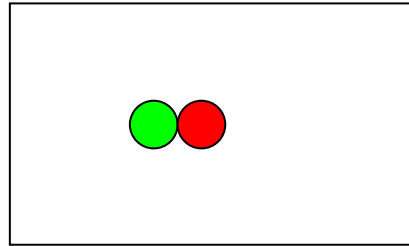
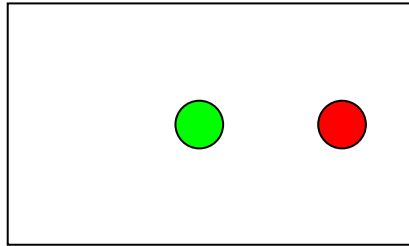


Bild zum Zeitpunkt t_0

Bild zum Zeitpunkt $t_0 + \Delta t$

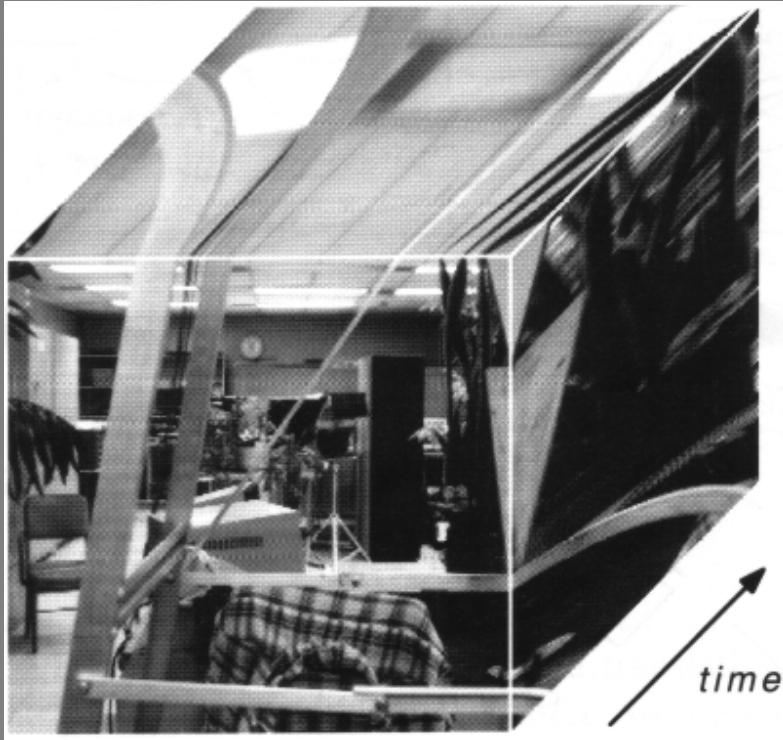
Bild zum Zeitpunkt $t_0 + 2\Delta t$

Welches Objekt ist näher an der Kamera?



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Alternative Darstellung einer Bildfolge:
(vgl. „Daumenkino“)

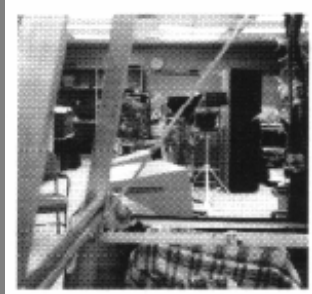
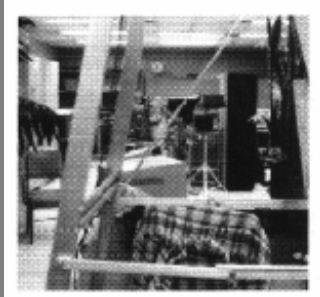


Quelle: „A Guided Tour of
Computer Vision“, V. S. Nalwa,
Addison Wesley

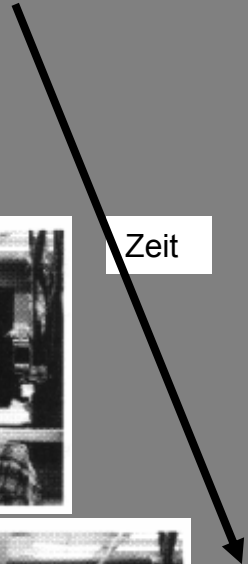


Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

„Bild-Stapelung“ bei einer Bildfolge:



Zeit



Gestapeltes Bild: Jedes Pixel an der Position (i,j) ist der Mittelwert aller Pixel aus allen Bildern an dieser Position (i,j) .



Bei der Aufzeichnung von Bewegungen in einem Bild „verschmiern“ schnell bewegte Objekte

Quelle: „A Guided Tour of Computer Vision“,
V. S. Nalwa, Addison Wesley



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

... vergleichbar zu zu langer Belichtungszeit: "Optischer Fluss":



Autobahn mit Stau (links) und fließendem Verkehr (rechts)

Quelle: BNN

Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt; FBI

11/32



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

... dieser Effekt wird z.B. auch in Cartoons verwendet.

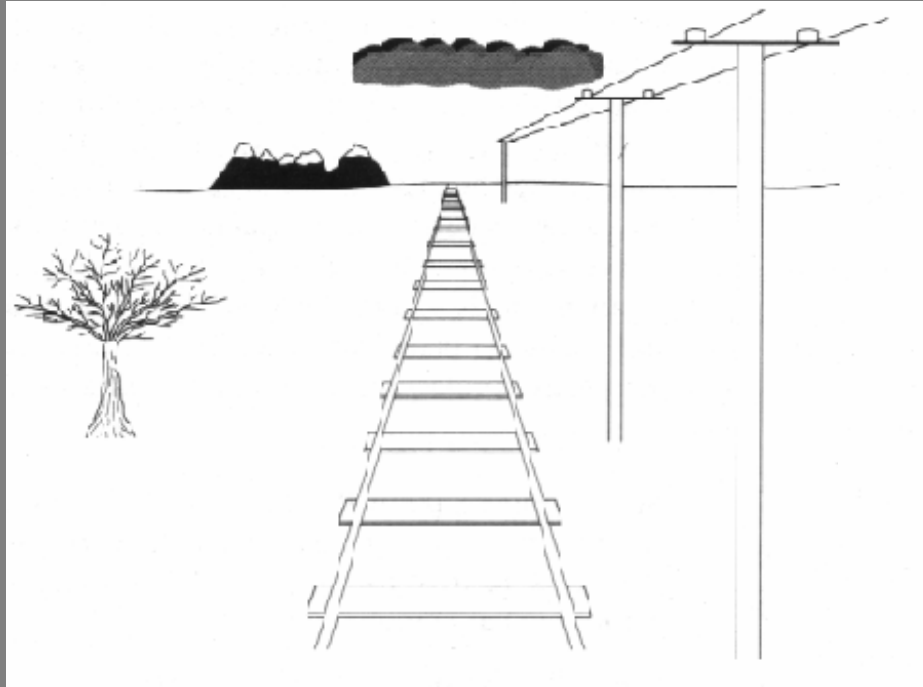


Quelle: http://www.pfunddiebe.de/pfunddiebe-dateien/bewegung-dateien/laufen_3.jpg



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

“Optischer Fluss“: Verschiebe-Vektoren / Verschiebe-Vektor-Felder (1)

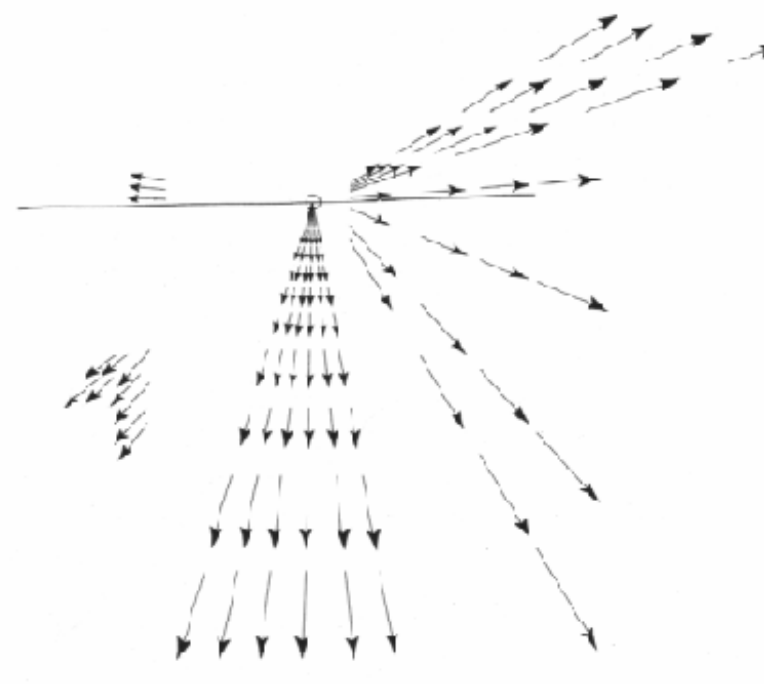


Schnelle Bewegung in Richtung der Schienen ...

... und alles „taucht“ nach und nach aus dem Fluchtpunkt heraus auf!
(Focus of Expansion)

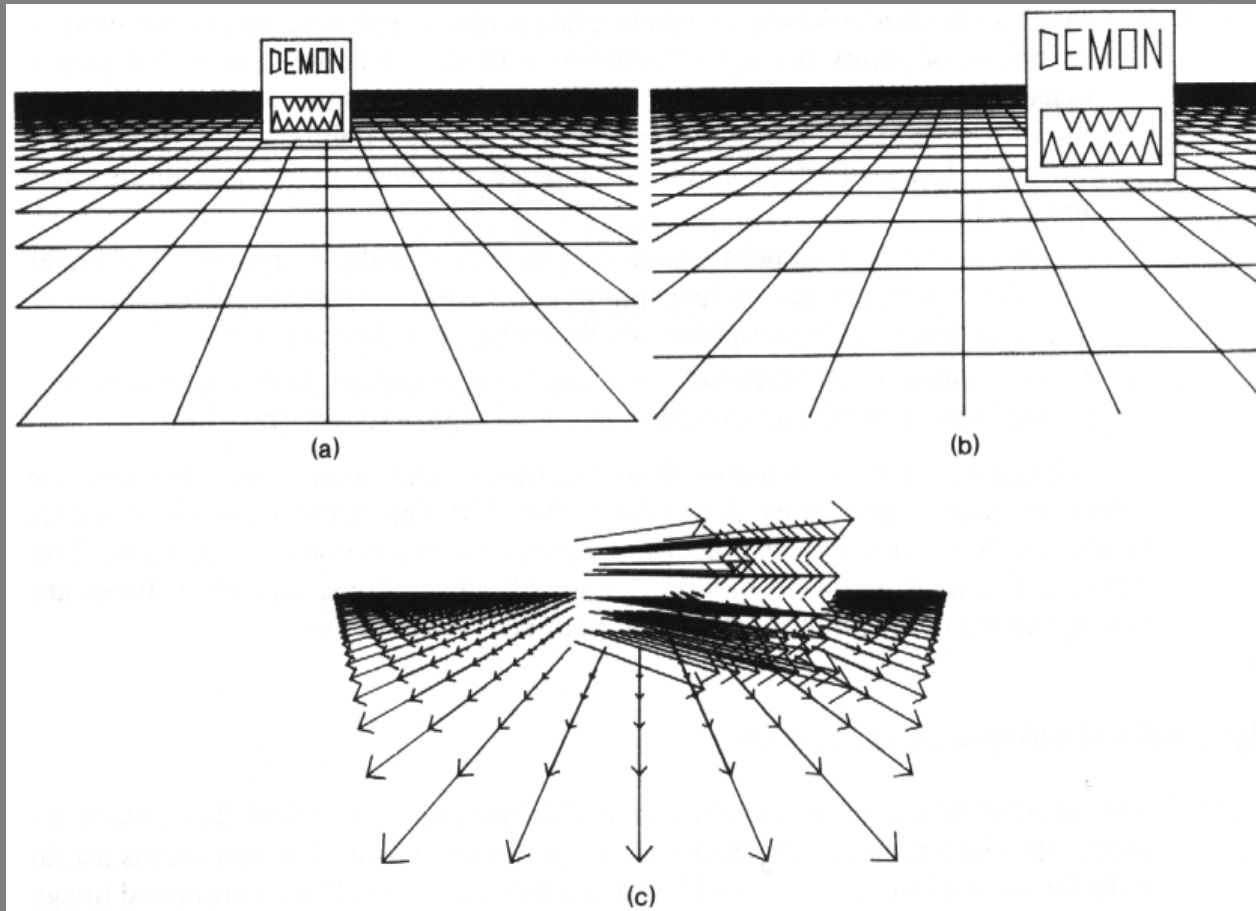
Quelle: “The Computer Image“,
A. Watt, F. Policarpo, Addison Wesley

Wenn man einzelne markante Stellen „verfolgt“, erhält man Verschiebe-Vektoren; die Menge aller Verschiebe-Vektoren heißt Verschiebe-Vektor-Feld.



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

“Optischer Fluss“: Verschiebe-Vektoren / Verschiebe-Vektor-Felder (2)



Verschiebe-Vektor-Feld bei zwei sich überlagernden Bewegungen

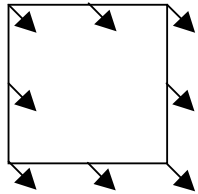
Quelle: “Computer Vision“,
D. H. Ballard, Ch. M. Brown,
Prentice Hall



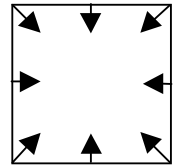
Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

“Optischer Fluss“: Verschiebe-Vektoren / Verschiebe-Vektorfelder (3)

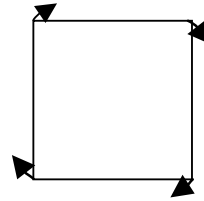
Beispiele für einfache Verschiebevektorfelder (Bewegungen eines Quadrates):



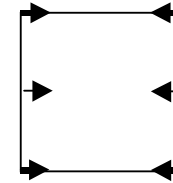
Translation
parallel zur
Bildebene;



Translation
senkrecht zur
Bildebene;



Rotation um
eine Achse
senkrecht zur
Bildebene

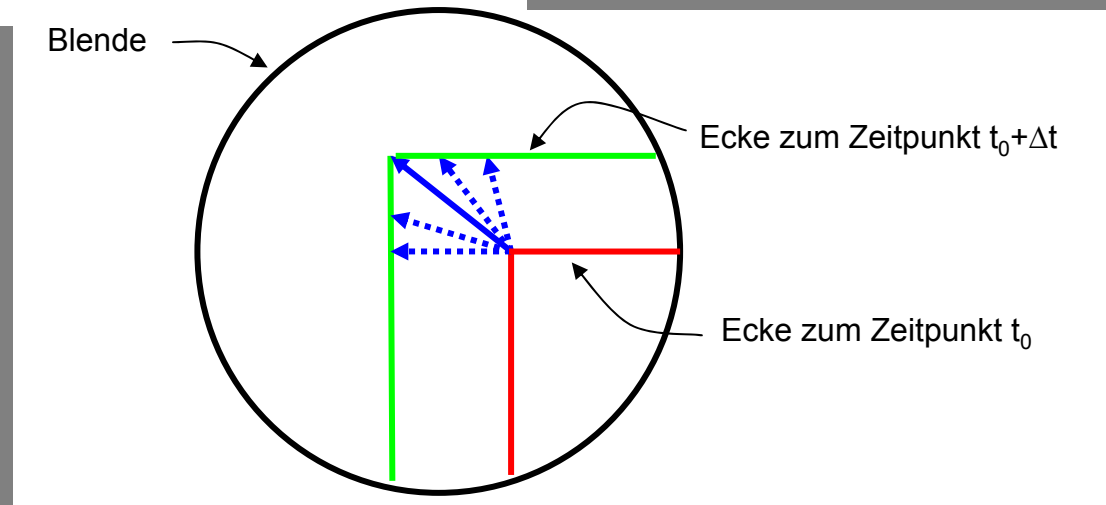
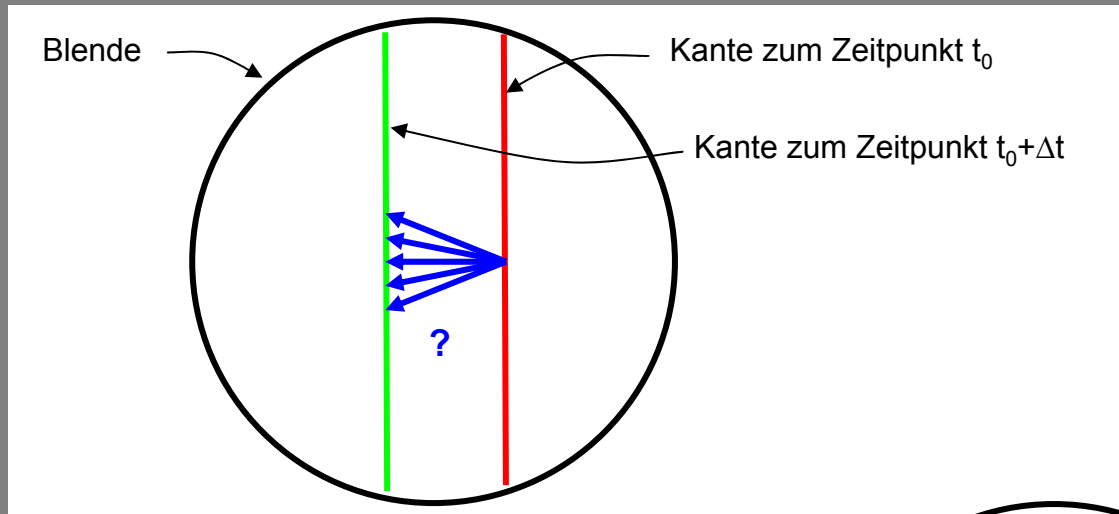


Rotation um
eine Achse
parallel zur
Bildebene



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

“Optischer Fluss“: das Blenden-Problem

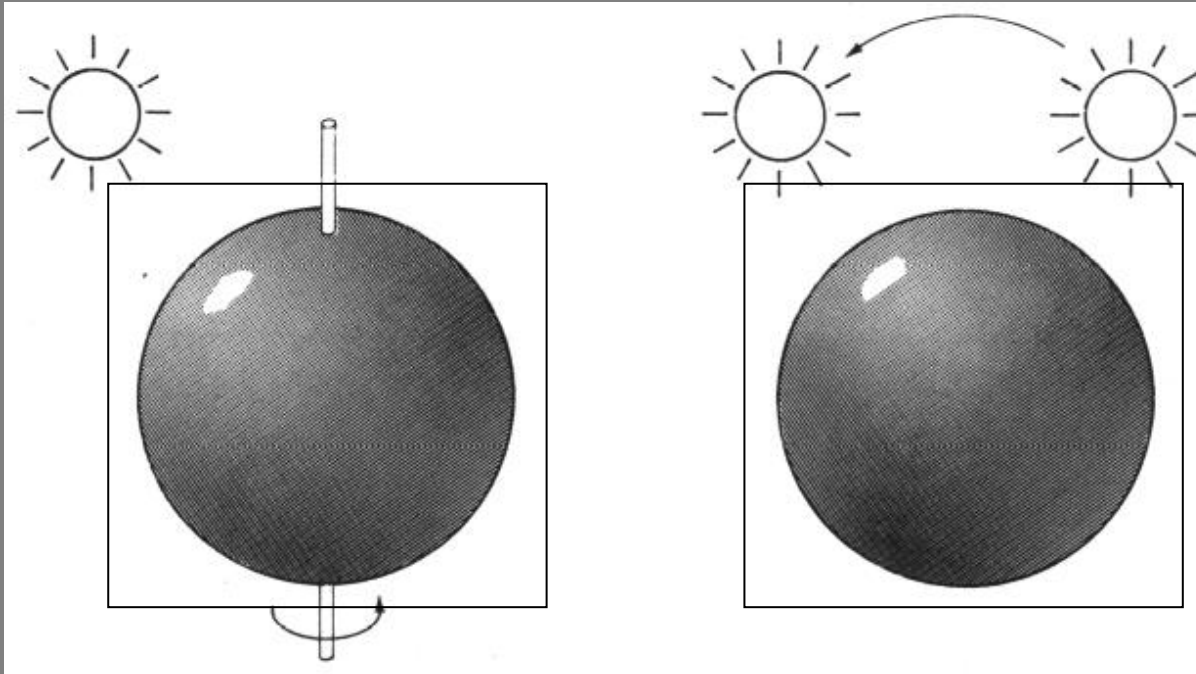


Also: nur markante Stellen (z.B. Ecken) lassen sich von Bild zu Bild zuordnen.



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Zusammenhang: Bewegung und Beleuchtungs-Änderungen



Links: eine Bewegung innerhalb der Szene muss nicht zu einer Änderung im Bild führen;
Rechts: eine Bewegung außerhalb des Bildes kann zu einer Änderung im Bild führen.

Quelle: "Robot Vision", B. K. Horn, MIT Press



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Ermittlung von Verschiebe-Vektoren aus markanten Bildstellen:

Oben: Zwei Bilder einer Bildfolge;
Unten: ermittelte Verschiebe-Vektoren.

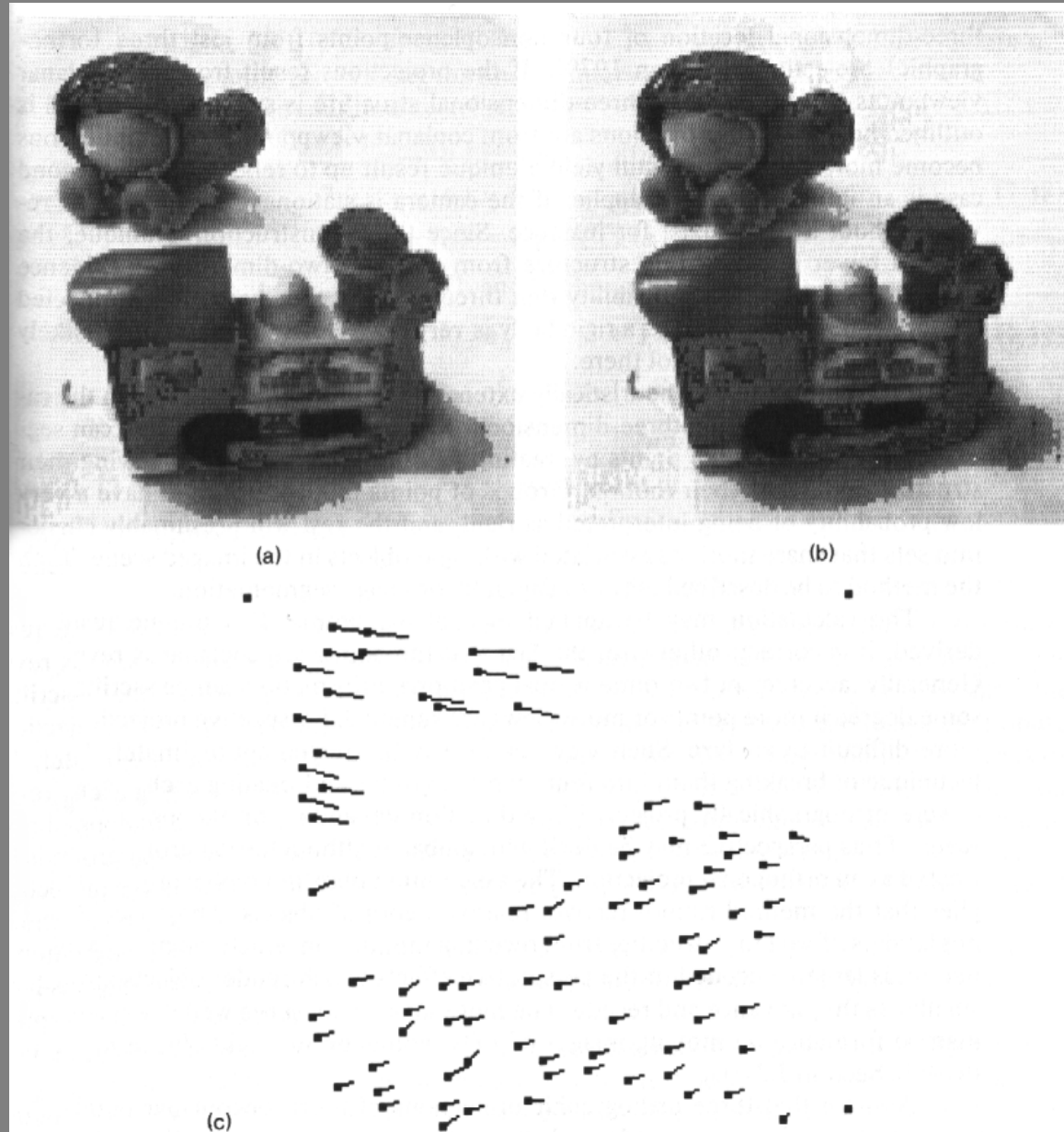
Quelle: "Computer Vision",
D. H. Ballard, Ch. M.
Brown, Prentice Hall

Aber wie ermittelt man
diese Verschiebe-
Vektoren???

Korrespondenz-Problem:
markante Stellen im „alten“
Bild den entsprechenden
Stellen im „neuen“ Bild
zuordnen.

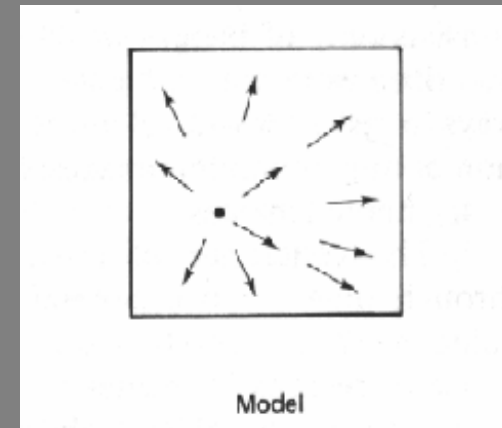
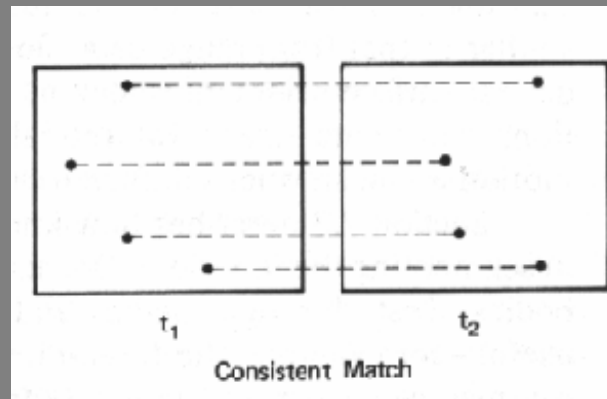
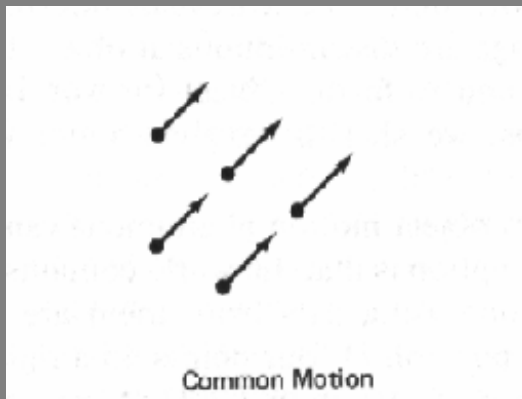
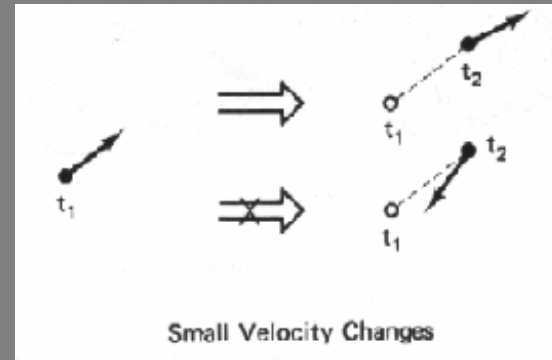
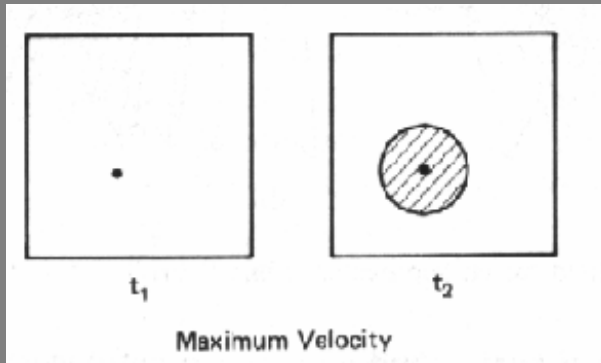
**Fragen bei der Suche
nach Korrespondenzen:**

- 1.) Wo suchen?
- 2.) Wie finden?



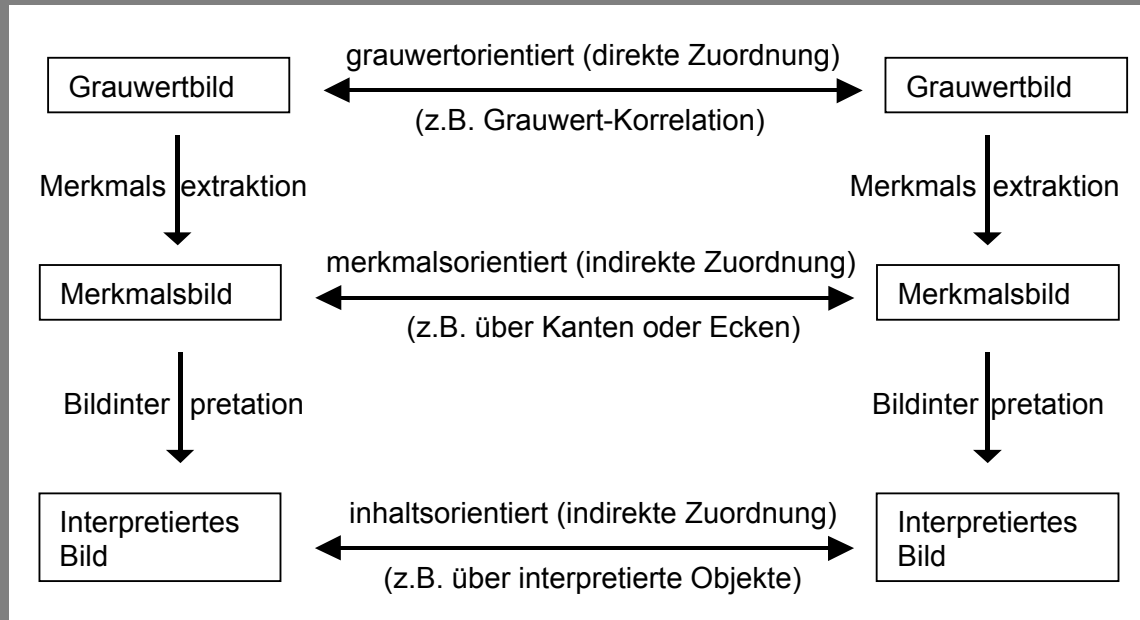
Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Korrespondenzen: Wo suchen? (5 Heuristiken)



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Korrespondenzen: Wie finden?



Drei unterschiedliche Ansätze zur Lösung des Korrespondenzproblems



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

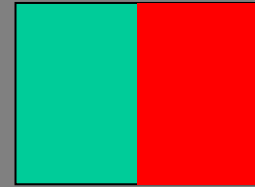
Korrespondenzen: Wie finden?

Zur Erinnerung „Blendenproblem“: Kanten eignen sich nicht ... aber z.B. Ecken!

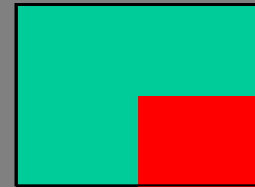
Wie ermittelt man Ecken?

- an Kanten liefert die partielle Ableitung quer zur Kante einen hohen Wert!
- an Ecken gibt es also zwei Richtungen, in die die partiellen Ableitungen einen hohen Wert liefern!

Kante (edge)



Ecke (corner)



Ecken-Detektor (Corner-Detector):

- partielle Ableitungen an jeder Bildposition (i,j) bestimmen:

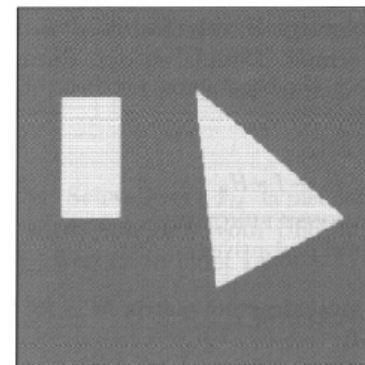
g_{hor} und g_{ver}

- dann zu jedem Bildpunkt (i,j) eine Umgebung U betrachten (z.B. 3*3, 5*5, ...) und darin 3 Werte (je Bildposition) berechnen:

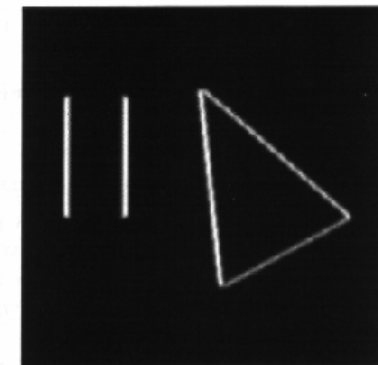
$$A(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{hor}}^2(i+k, j+l)$$

$$B(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{ver}}^2(i+k, j+l)$$

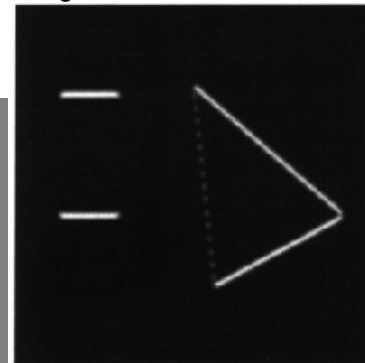
$$C(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{hor}}(i+k, j+l) * g_{\text{ver}}(i+k, j+l)$$



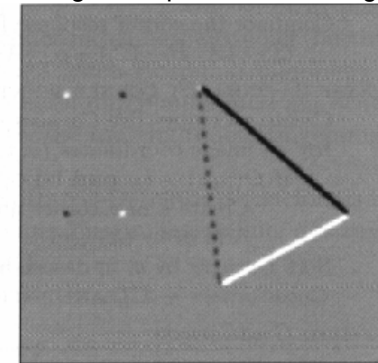
Originalbild



waagrechte partielle Ableitung



senkrechte partielle Ableitung



gemischte partielle Ableitungen

Quelle: "Digitale Bildverarbeitung",
W. M. Burger, M. J. Burg, Springer

Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Fortsetzung: Ecken-Detektor (Corner-Detector):

- partielle Ableitungen an jeder Bildposition (i,j) bestimmen: g_{hor} und g_{ver}
- dann zu jedem Bildpunkt (i,j) eine Umgebung U betrachten (z.B. 3*3, 5*5, ...) und darin 3 Werte (je Bildposition) berechnen:

$$A(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{hor}}^2(i+k, j+l)$$

$$B(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{ver}}^2(i+k, j+l)$$

$$C(i,j) = \sum_l \sum_k g_{\text{hor}}(i+k, j+l) * g_{\text{ver}}(i+k, j+l)$$

- Ergebnis-Matrizen A, B und C glätten (z.B. Gauss-Glättung) zu: \bar{A} , \bar{B} und \bar{C}

- Strukturmatrix bilden: $M(i,j) = \begin{vmatrix} \bar{A}(i,j) & \bar{C}(i,j) \\ \bar{C}(i,j) & \bar{B}(i,j) \end{vmatrix}$ (an jeder Position steht also eine 2*2-Matrix)

- Eigenwerte an jeder Position von M bestimmen; diese entsprechen der „Kantenstärke“

$$|\lambda_{1,2}| = \frac{\text{spur}(M)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\text{spur}(M)}{2}\right)^2 - \det(M)} \quad (\text{"spur"} = \text{Summe der Diagonalen - Elemente})$$

Es gilt:

- * $|\lambda_1| \approx |\lambda_2| < \text{Schwelle (klein)} \Rightarrow$ an der Position (i,j) liegt keine Kante (also insbesondere auch keine Ecke);
- * nur $|\lambda_1|$ oder $|\lambda_2|$ groß \Rightarrow an der Position (i,j) liegt eine Kante;
- * $|\lambda_1| \approx |\lambda_2| \gg 0 \Rightarrow$ an der Position (i,j) liegt eine Ecke.

Aus der untersten Bedingung den Harris-Corner-Detektor ableiten!



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Aus der untersten Bedingung den Harris-Corner-Detector ableiten, also aus:

* $|\lambda_1| \approx |\lambda_2| \gg 0 \Rightarrow$ an der Position (i,j) liegt eine Ecke.

Beide Eigenwerte λ_1 und λ_2 sind betragsmäßig groß, wenn

~ die „spur“ groß ist,

~ und die Wurzel klein ist.

$$|\lambda_{1,2}| = \frac{\text{spur}(M)}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\text{spur}(M)}{2}\right)^2 - \det(M)}$$

+ Ersteres ist erfüllt, da sich die Matrix diagonalisieren lässt zu: $\begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$

+ Letzteres bedeutet: in der Wurzel (mittels „det(M)“) möglichst viel abziehen, oder aber umgekehrt: „det(M) – (spur/2)²“ möglichst groß; (ist negativ!!!).

Daraus ergibt sich die Corner-Strength-Function CSF:

$\text{CSF}(i,j) = \det(M(i,j)) - \alpha^*(\text{spur}(M(i,j)))^2$ (mit α „sehr klein“, damit CSF betragsmäßig groß ist).

+ je größer $|\text{CSF}(i,j)|$ ist, je deutlicher ausgeprägt ist die Ecke, die an der Position (i,j) liegt.

+ α kann maximal $0.25 (= 0.5^2 = 1/2^2)$ sein; siehe oben; (übliche Werte sind: $\alpha \in [0.04, 0.06]$).

Abschließend dicht benachbarte Ecken zusammenfassen.



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Rechen-Beispiel zum Harris-Corner-Detector:

$$A(i,j) = \sum_1 \sum_k g^2_{\text{hor}}(i+k, j+1), \quad B(i,j) = \sum_1 \sum_k g^2_{\text{ver}}(i+k, j+1) \quad \text{und}$$

$$C(i,j) = \sum_1 \sum_k g_{\text{hor}}(i+k, j+1) * g_{\text{ver}}(i+k, j+1)$$

Strukturmatrix:

$$M(i,j) = \begin{vmatrix} \bar{A}(i,j) & \bar{C}(i,j) \\ \bar{C}(i,j) & \bar{B}(i,j) \end{vmatrix} \quad (\text{mit „geglätteten“ Matrizen})$$

Corner-Strength-Function:

$$\text{CSF}(i,j) = \det(M(i,j)) - \alpha * (\text{spur}(M(i,j)))^2 = (\bar{A}\bar{B} - \bar{C}^2) - \alpha * (\bar{A} + \bar{B})^2$$

Originalbild g:

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1

g_{hor}:

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0

-1 0 1

g_{ver}:

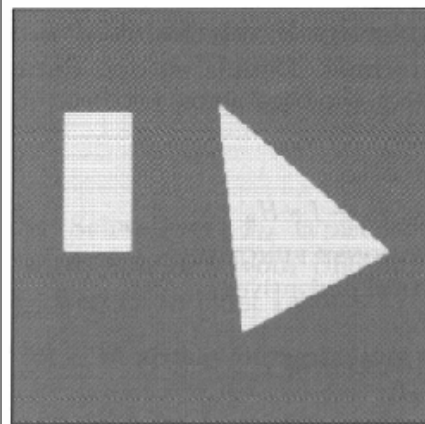
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

-1
0
1

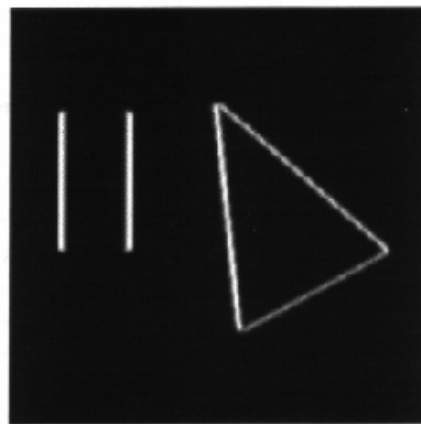
M:

CSF:

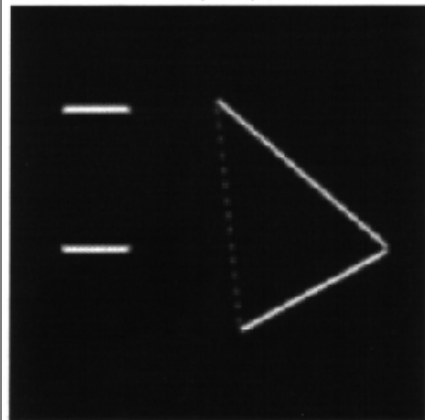
Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung



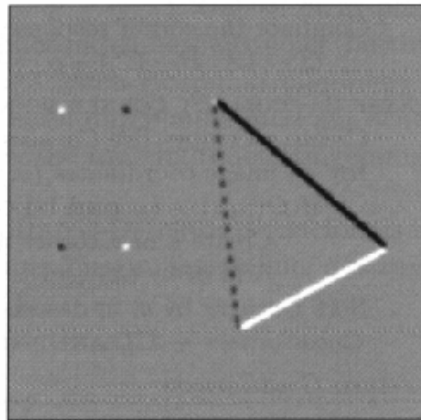
Originalbild



waagrechte partielle Ableitung

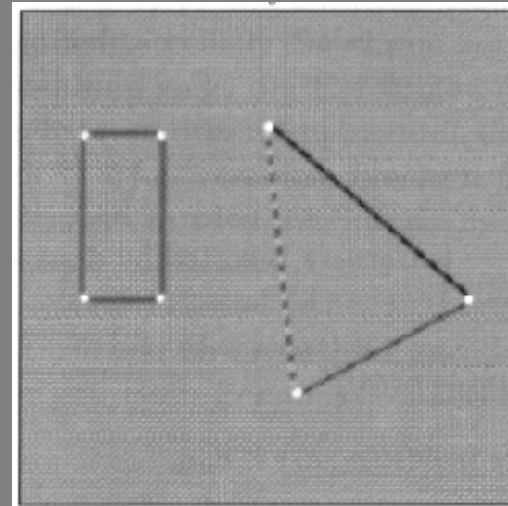


senkrechte partielle Ableitung

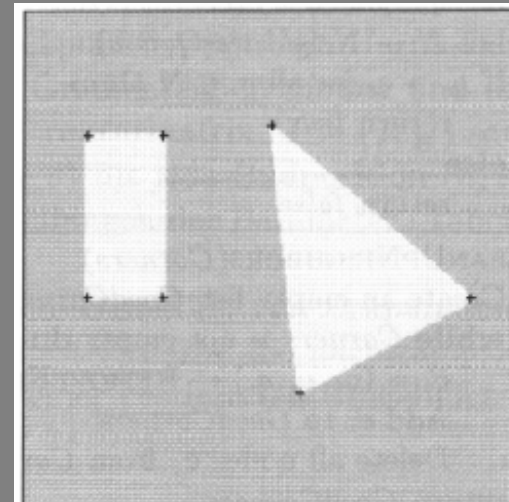


gemischte partielle Ableitungen

Beispiel für den Harris-Corner-Detector (1):



Corner Strength Function



Gefundene Eckpunkte

Quelle: "Digitale Bildverarbeitung",
W. M. Burger, M. J. Burg, Springer



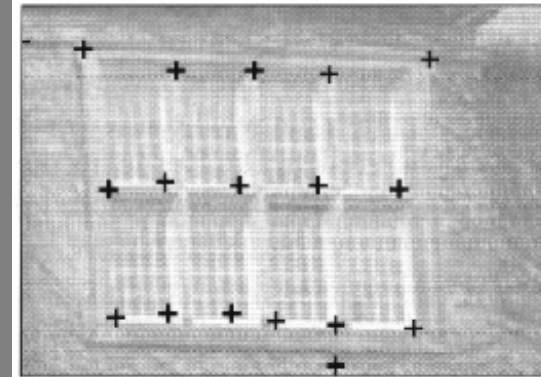
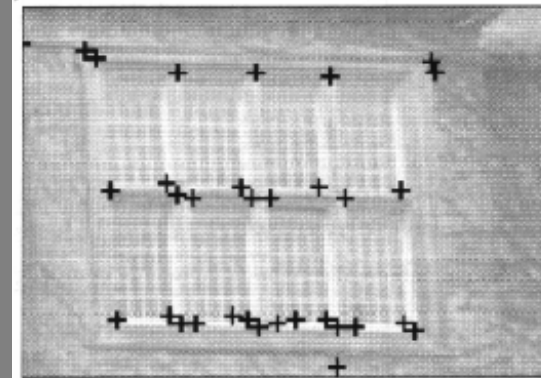
Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Beispiel für den Harris-Corner-Detector (2):



Eckunkte

Quelle: "Digitale Bildverarbeitung",
W. M. Burger, M. J. Burg, Springer

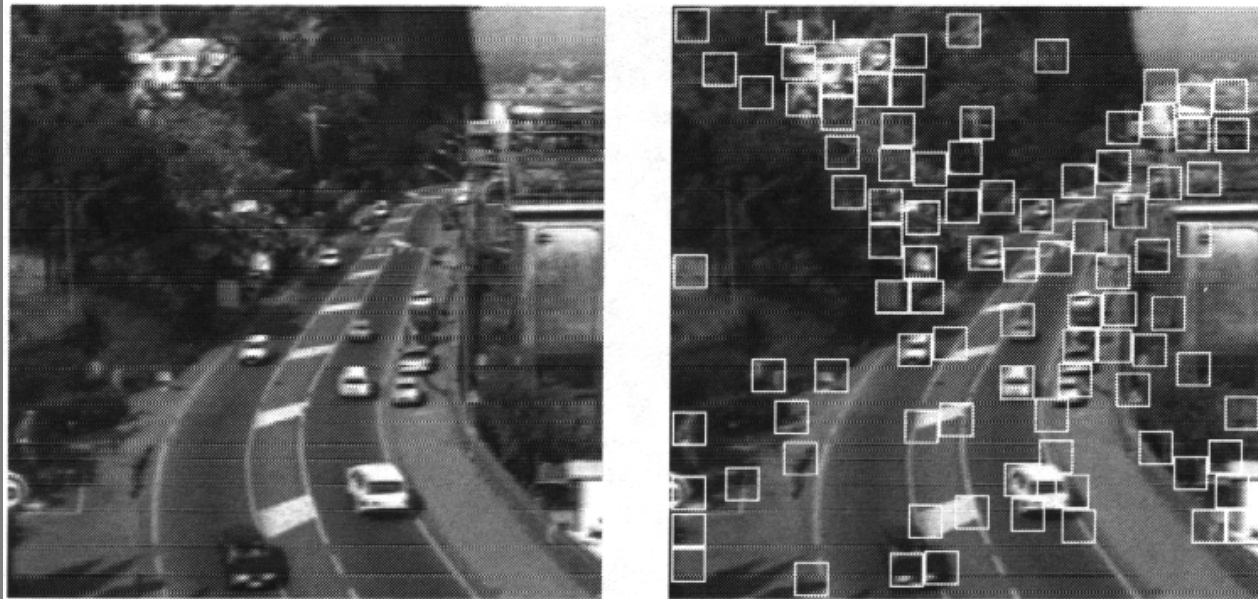


Ausschnitt mit Eckpunkten vor und
nach der Zusammenfassung dicht
benachbarter Eckpunkte



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Beispiel für den Harris-Corner-Detector (3):



Ecken-Detektion: die gefundene Ecke sitzt jeweils in der rechten, unteren Ecke des 15*15-Quadrates

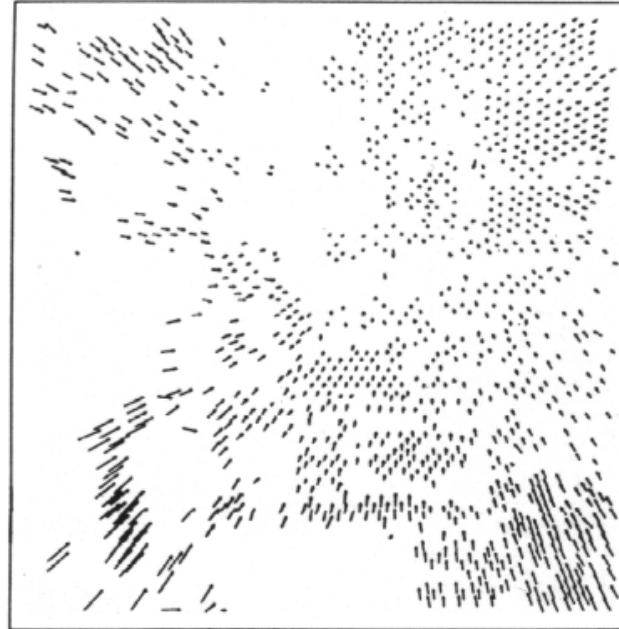
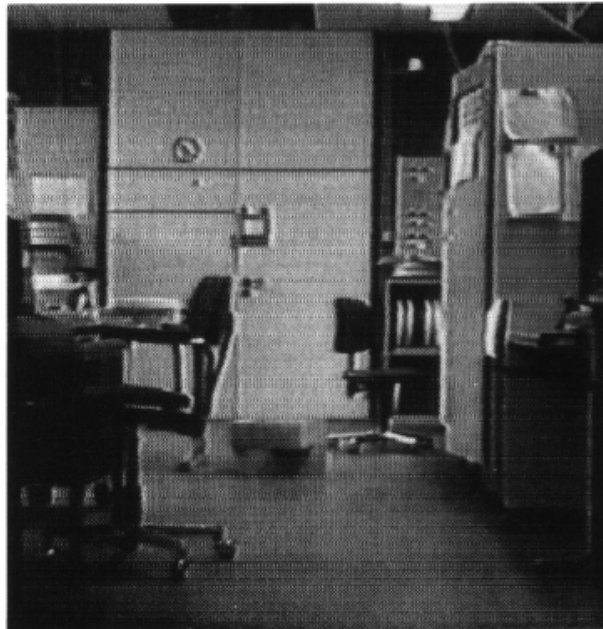
Quelle: "Introductory Techniques for 3D Computer Vision", E. Trucco, A. Verri, Prentice Hall



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Beispiel für die Bestimmung von Verschiebe-Vektoren:

Hier: Beispiel für den „Monotonie-Operator“:



Kamera bewegt sich in die Szene hinein

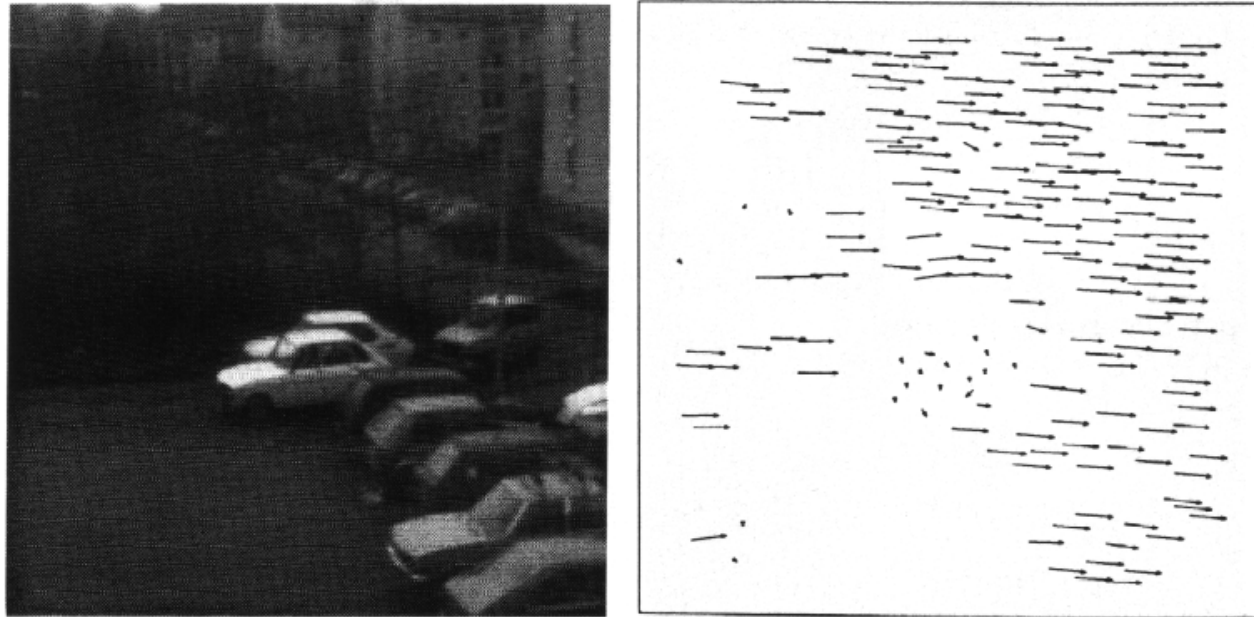
Quelle: „Digitale Bildverarbeitung“, B. Jähne, Springer



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Beispiel für die Bestimmung von Verschiebe-Vektoren:

Hier: Beispiel für den „Monotonie-Operator“:



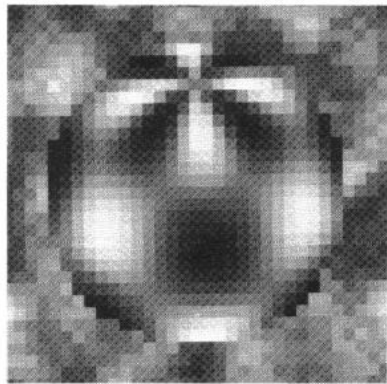
Kamera verfolgt ein sich bewegendes Fahrzeug

Quelle: „Digitale Bildverarbeitung“, B. Jähne, Springer

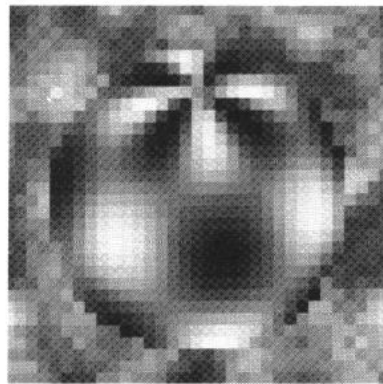


Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

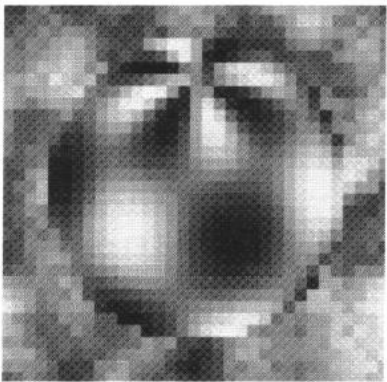
Beispiel für die Bestimmung des optischen Flusses:



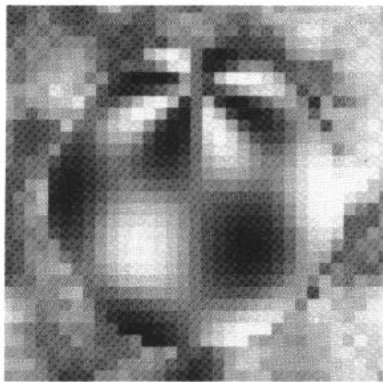
(a)



(b)

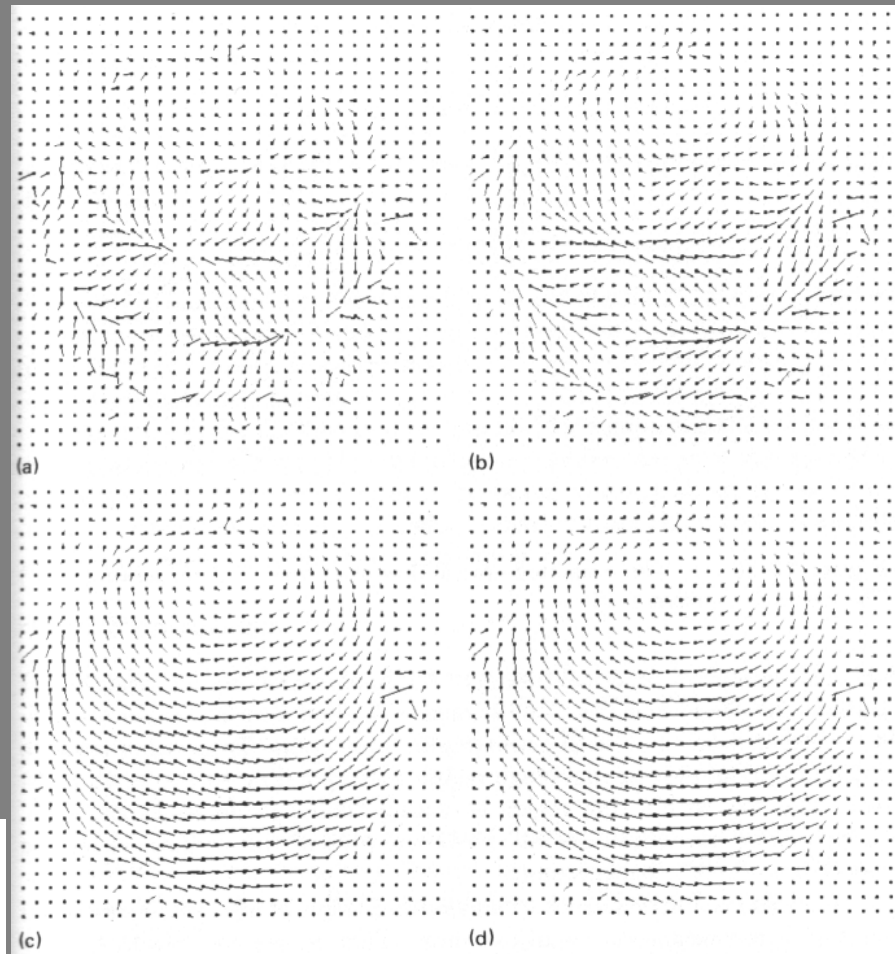


(c)



(d)

Vier Bilder einer synthetischen Bildfolge zur Ermittlung des optischen Flusses



Schätzungen des optischen Flusses aus Verschiebevektoren; Ergebnisse zu den obigen Bildern nach 1, 4, 16 und 64 Relaxationsschritten

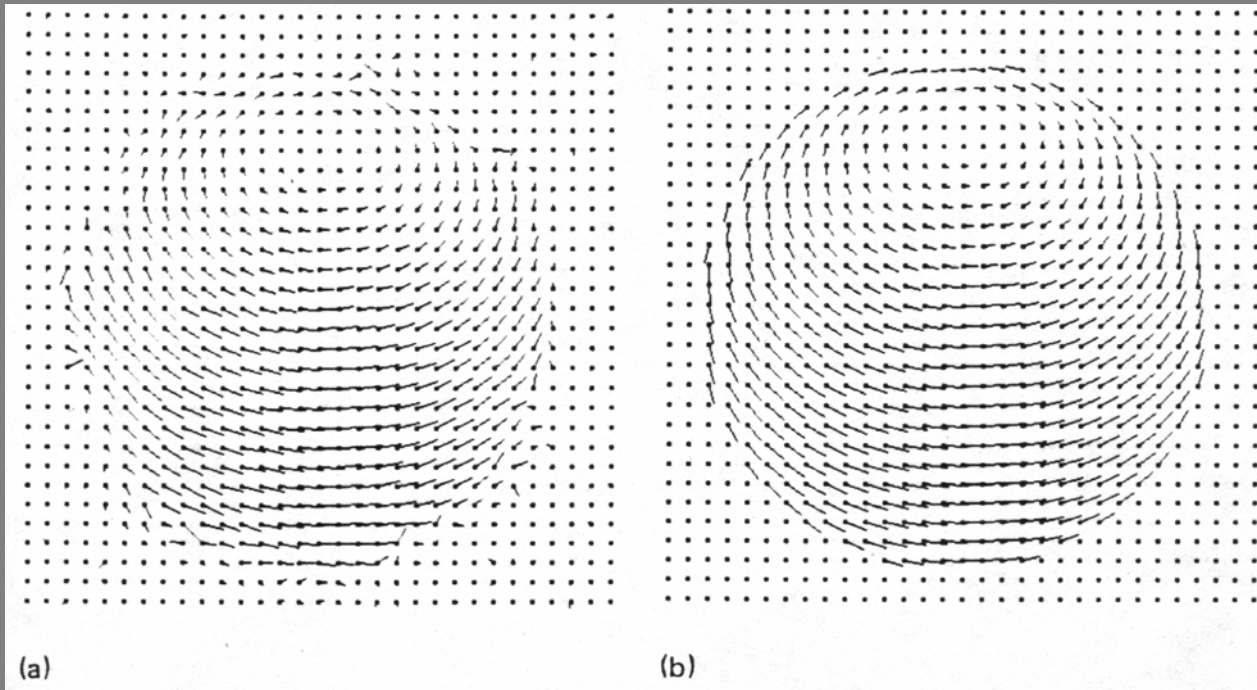
Wolf-Dieter Groch; Hochschule Darmstadt; FBI

Quelle: "Robot Vision", B. K. P. Horn, MIT Press



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung

Beispiel für die Bestimmung des optischen Flusses:

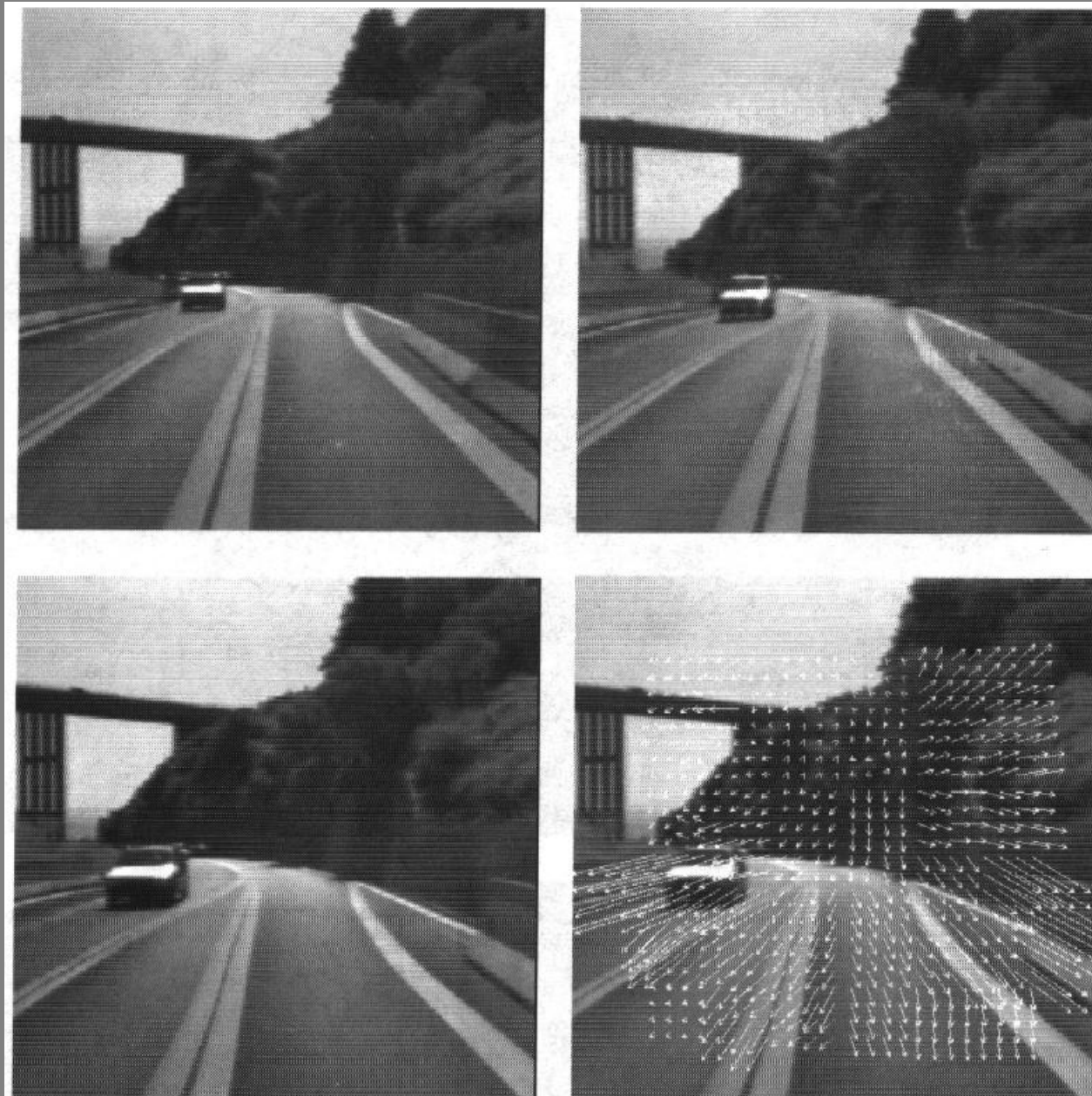


Schätzungen des optischen Flusses zu den obigen Bildern nach einigen weiteren Relaxationsschritten und der daraus berechnete endgültige optische Fluss.

Quelle: "Robot Vision", B. K. P. Horn, MIT Press



Comp. Vis.; Kap. 7: Bildfolgenauswertung



Weiteres Beispiel für die Bestimmung des optischen Flusses:

Quelle: "Introductory Techniques for 3D Computer Vision",
E. Trucco, A. Verri, Prentice Hall

