

# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen



„Les Promenades d'Euclide“, Rene Magritte ;

Quelle „Der Zauberspiegel des M. C. Escher“, B. Ernst, Taco



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen



Sind zwei Bilder gleich/ähnlich/ungleich?

## Zielsetzungen:

- 1.) gibt es Unterschiede?
- 2.) Positionen von Übereinstimmungen.
- 3.) Positionen von Nicht-Übereinstimmungen.
- 4.) Maßzahl für Ähnlichkeit/Unähnlichkeit.

## Anwendungen:

- Bildfolgen-Auswertung
- Stereobild-Auswertung
- Auffinden vorgegebener Muster  
(Kanten/Linien/Ecken, OCR,  
Passpunkte (Landmarks), ...)



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen



**Sind zwei Bilder gleich?**

## **3.1 Bilddifferenzen** (Ziele 1-3:gibt's Unterschiede; wo?)

Zu vergleichende Bilder: B und B':

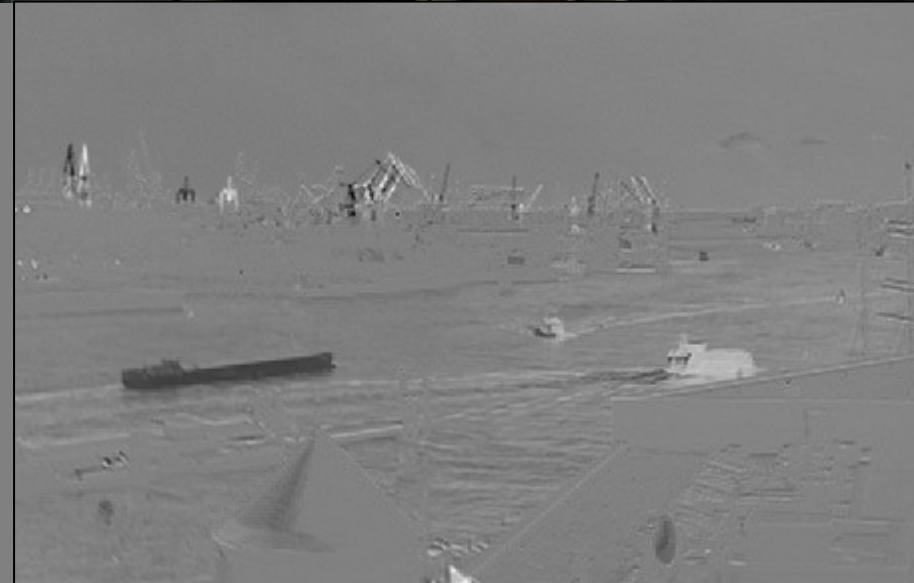
$$D = B - B' \quad (D \text{ für Differenzbild})$$

$$\text{z.B. mit } g^\#(i,j) = |g(i,j) - g'(i,j)|$$

$$\text{oder mit } g^\#(i,j) = (g(i,j) - g'(i,j) + g_{\text{MAX}})/2$$

### **Bemerkungen:**

- Sensor darf nicht bewegt werden.
- Immer Differenzen durch Bildrauschen.
- Was passiert bei Beleuchtungs-Änderungen?



Differenzbild: Mittelgrau steht für (fast) identische Bildinhalte



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## 3.2 Quantitativer Vergleich gleich großer Bilder

(Ziel 4; also nicht **WO** sind Differenzen, sondern **wie groß** sind diese!)

### 1. Alternative: Vergleich über abgeleitete Merkmale

- z.B. mittlerer Grauwert, Histogramm, Textur-Merkmale, ....
- in der Regel zu pauschal!

### 2. Alternative: Vergleich direkt über Grauwerte

Wie bei der Bilddifferenz paarweise Grauwert-Differenzen an gleichen Bildpositionen bilden  
... aber hier nicht in Matrix eintragen, sondern daraus Maßzahl ableiten:

#### Additive Grauwert-Verknüpfungen:

(entspricht Metriken:

- $m_1 = \max |g(i,j) - g'(i,j)|$   $m_1$ =Maximum-Metrik,
- $m_2 = \sum \sum |g(i,j) - g'(i,j)|$   $m_2$ = Summen- bzw. Absolut-Metrik,
- $m_3 = \sum \sum (g(i,j) - g'(i,j))^2$   $m_3$ =(Quadrat der) Euklid-Metrik.)

#### Bemerkungen:

- $m_1$  zu Aussage-schwach
- eher  $m_3$  nehmen

Wann sind bei zwei Bilder ähnlich?

- Zwei Bilder sind genau dann ähnlich, wenn  $m_1$  bis  $m_3$  „klein“ sind!



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## Multiplikative Grauwert-Verknüpfungen:

Aus  $m_3$  lässt sich eine multiplikative Verknüpfung ableiten:

$$m_3 = \sum \sum (g - g')^2 = \sum \sum (g^2 - 2 * g g' + (g')^2) = \sum \sum g^2 - 2 * \sum \sum g * g' + \sum \sum (g')^2$$

also:  $m_4 = \sum \sum (g * g')$

mit:  $m_3$  klein (also B ähnlich zu B') genau dann, wenn  $m_4$  groß!

## Bemerkung:

$m_4$  ist abhängig vom Grauwert-Niveau; d.h. helle Bilder liefern höhere Werte.

## Abhilfe:

$m_4$  normieren zu:  $m_5 = \frac{m_4}{\sqrt{\sum \sum g^2 * \sum \sum g'^2}} = \frac{\sum \sum (g * g')}{\sqrt{\sum \sum g^2 * \sum \sum g'^2}}$   $m_5 \in [0,1]$

## Erweiterung:

Falls man zusätzlich ein Negativ vom zugehörigen Positiv unterscheiden will:

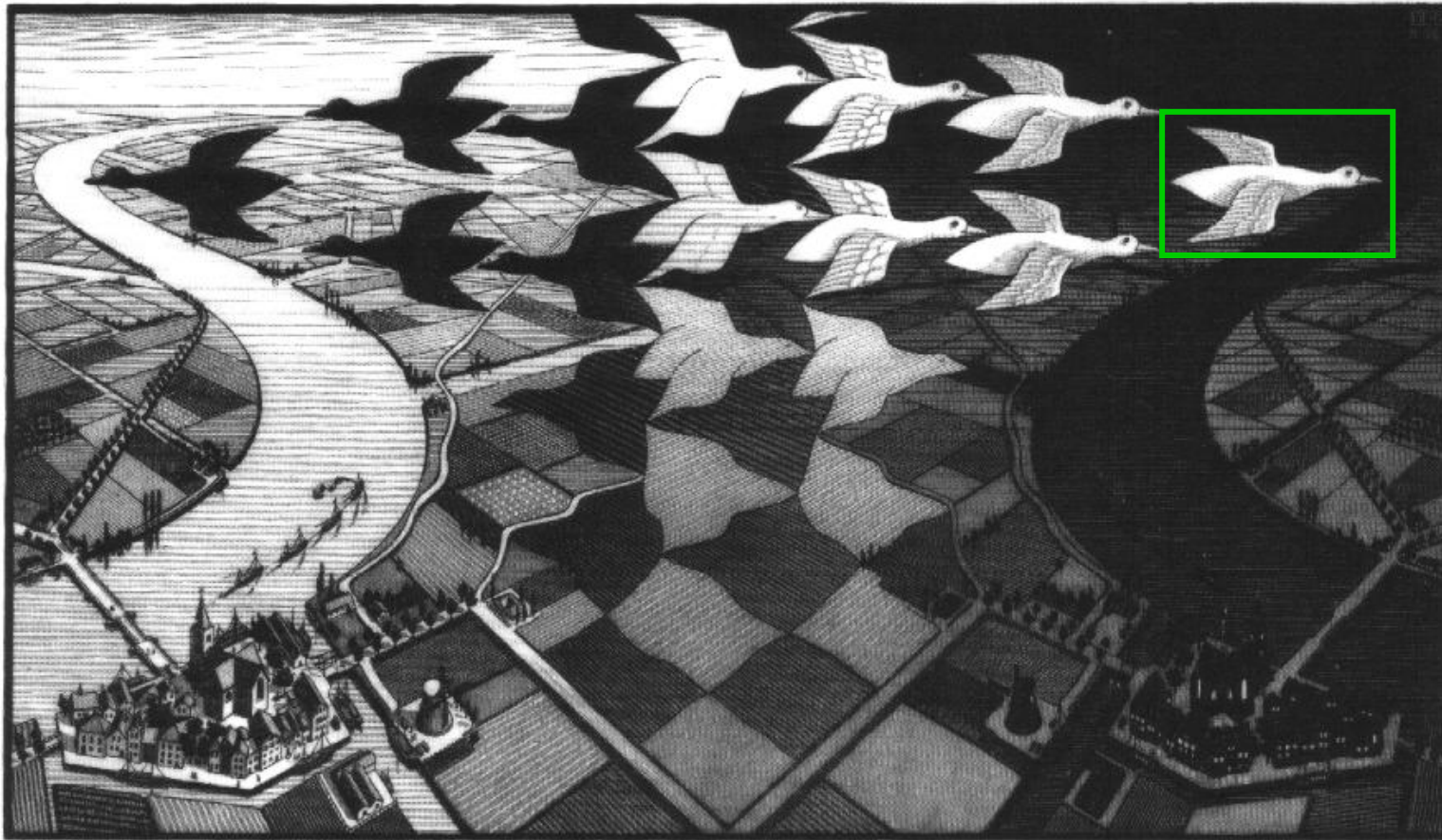
$m_6 = \frac{\sum \sum ((g - \bar{g}) * (g' - \bar{g}'))}{\sqrt{\sum \sum (g - \bar{g})^2 * \sum \sum (g' - \bar{g}')^2}}$  mit  $\bar{g}$  bzw.  $\bar{g}'$  Mittelwert;  $m_6 \in [-1,1]$

# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## 3.3 Quantitativer Vergleich verschieden großer Bilder

(O.B.d.A.: Bild B größer als Bild B;

Ziele 2-4: **WO** sind Unterschiede und **wie groß** sind diese!)



Der weiße „Vogel“ wird z.B. von rechts nach links bzw. oben nach unten immer mehr abgewandelt.

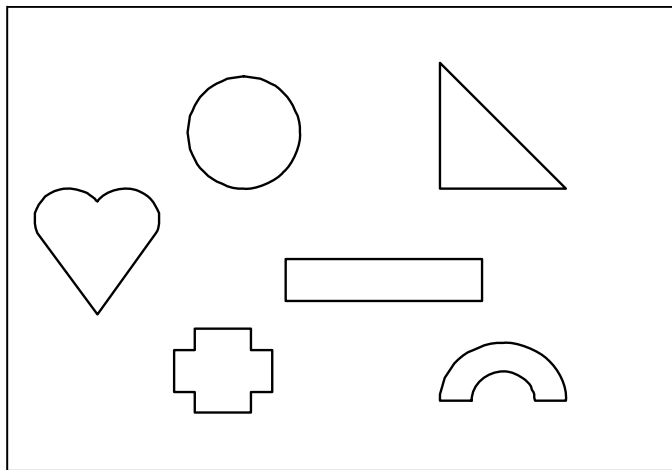
„Tag und Nacht“, M. C. Escher, Holzschnitt, 1931

Quelle: „Der Zauberspiegel des M. C. Escher“, B. Ernst, Taco



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

Schema des Schablonen-Vergleichs (Template Matching):



(a)

Bild B

Schablone B'

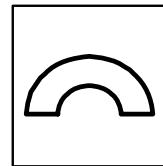
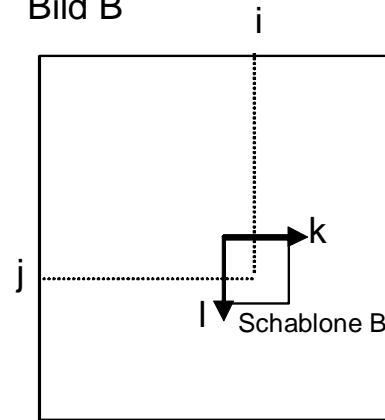


Bild B



(b)

**Korrelationsmaß  $m_4$ :**

$$m_4(i,j) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{K-1} g(i+k-\frac{K-1}{2}, j+l-\frac{L-1}{2}) * g'(k,l) \quad (K \text{ und } L \text{ ungerade})$$

\* **Translation** erledigt.

\* **Rotation** mittels zusätzlichen Schablonen; (vgl. z.B. 3\*3-Kanten-Detektoren unterschiedlicher Ausrichtung).

\* **Skalierung** mittels zusätzlichen Schablonen; (vgl. z.B. 5\*5-, 7\*7-Kanten-Detektoren usw.).



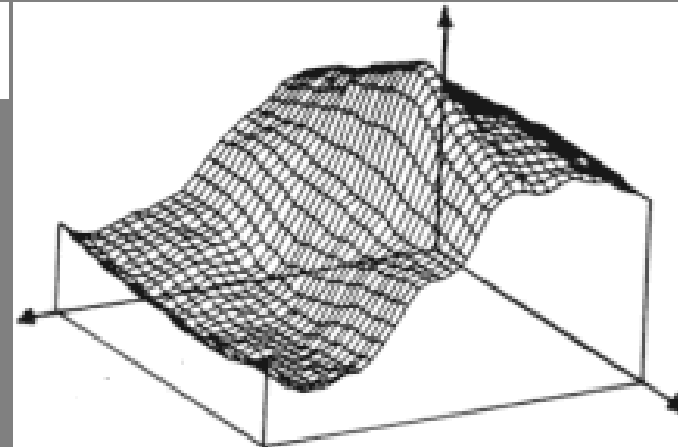
# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## Quantitativer Vergleich verschieden großer Bilder

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	465	489	512	535	553	570	584	592	591	578	555	524	492	461	431	400	370
2	535	565	596	625	653	677	700	714	714	697	668	629	589	553	519	484	449
3	590	627	662	697	732	768	804	827	831	810	770	723	676	634	596	556	519
4	644	683	721	761	804	851	898	933	942	919	872	815	762	715	673	631	588
5	640	677	714	755	801	854	908	949	962	939	891	932	779	732	690	649	607
6	601	633	668	706	750	800	854	894	909	889	845	792	743	703	667	627	590
7	506	532	560	591	625	666	708	740	751	736	702	663	629	600	575	546	516
8	390	409	429	453	478	506	534	556	561	553	530	506	485	468	452	433	416
9	260	270	285	298	314	331	349	359	362	352	341	327	319	312	306	297	291

Beispiel für eine Korrelations-Matrix ( $m_5$ -Werte wurden mit 1000 multipliziert)

... und das entsprechende Korrelations-Gebirge

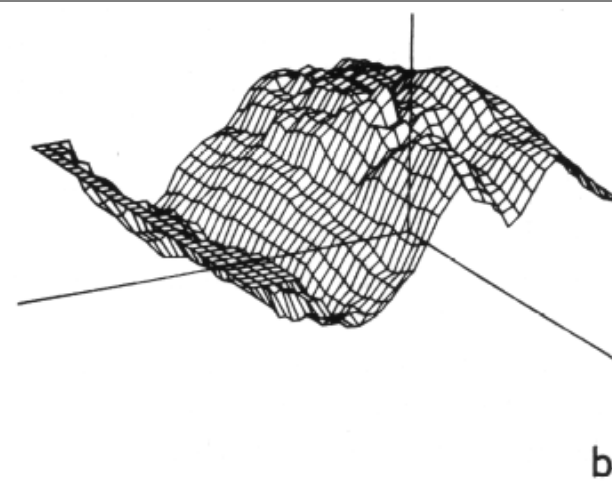
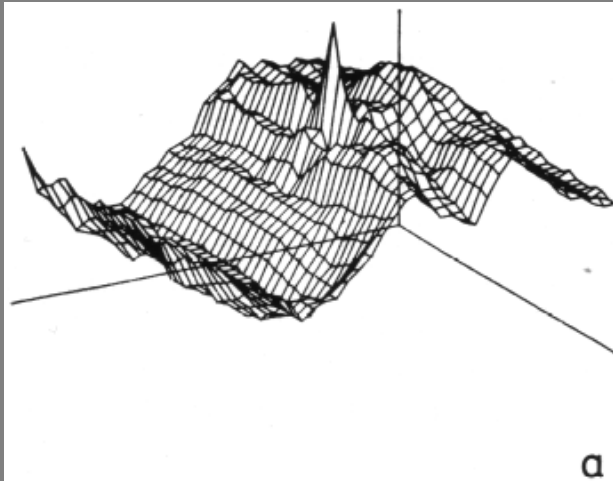


# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

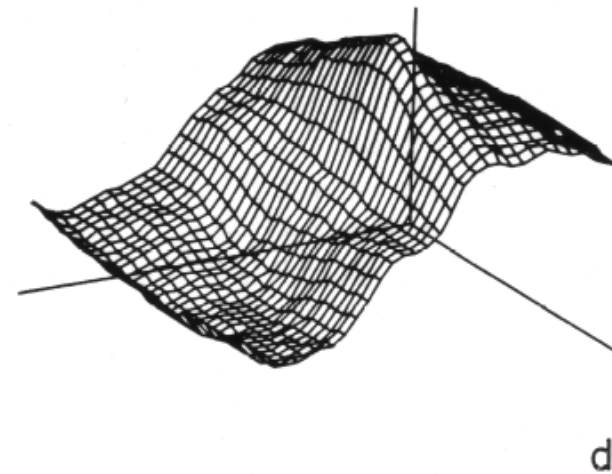
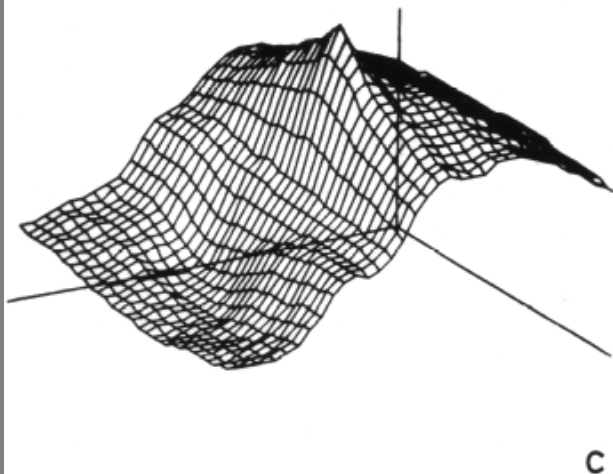
Auto-Korrelation

Kreuz-Korrelation

Grobe Auflösung



Hohe Auflösung



Einfluss der  
Bildauflösung  
auf das  
Korrelations-  
Ergebnis

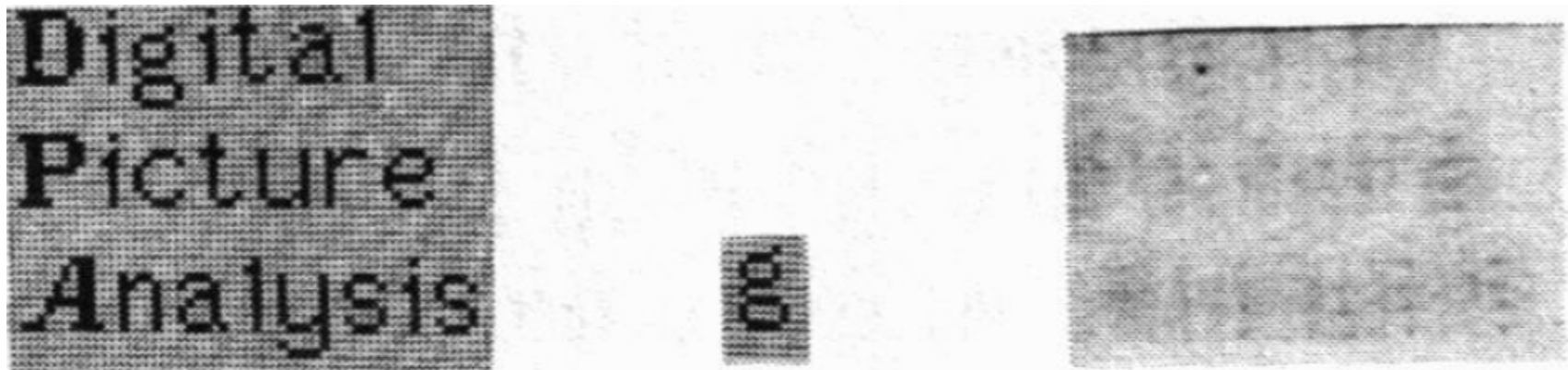
Quelle: „Erfassung und  
maschinelle Verarbeitung  
von Bilddaten“ H.  
Kazmierczak, Springer

# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## Bemerkungen zur Größe des Referenz-Bildes $B'$ :

- zu klein: u.U. nicht genügend Charakteristika und als Folge viele Maxima;
- zu groß: großer Rechenaufwand und hohe Empfindlichkeit gegenüber Drehungen.

## Anwendungen:



Bildvergleich per Korrelation für OCR (Optical Character Recognition) – heute so nicht mehr üblich.

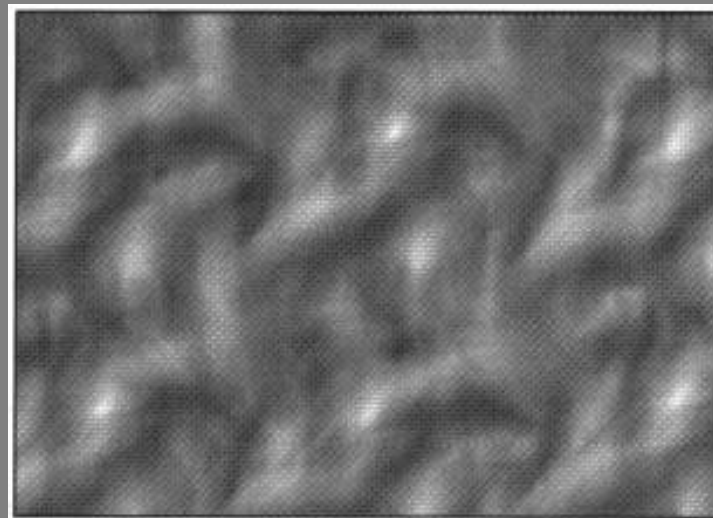
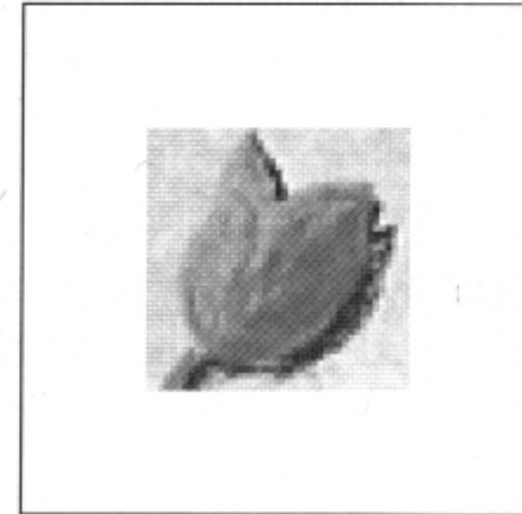
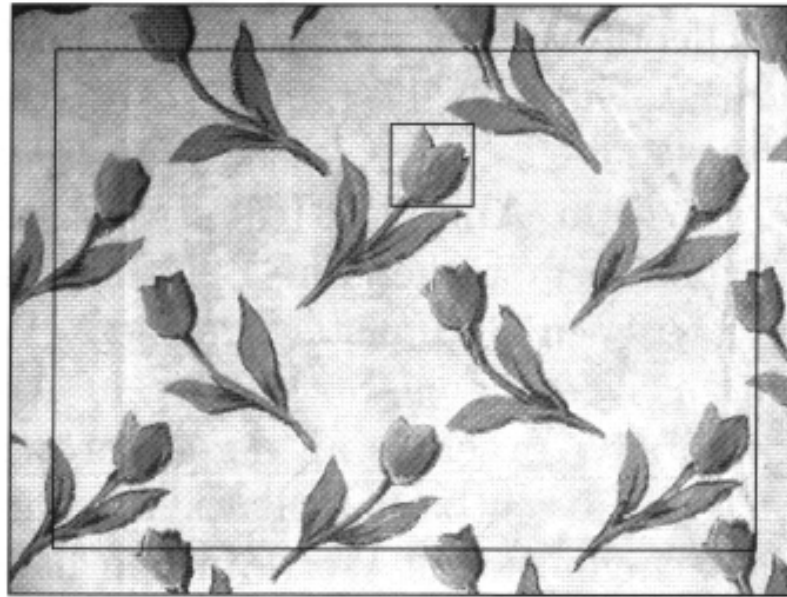
(Je dunkler der Fleck im rechten Bild, je besser die Übereinstimmung an der entsprechenden Stelle des Originals mit der Schablone in der Mitte).

Quelle: „Digital Picture Processing“ Vol. 2, A. Rosenfeld, A. Kak, Academic Press



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

Anwen-  
dungen:



Bildvergleich per Korrelation: je heller der Fleck im unteren Bild, je besser die Übereinstimmung an der entsprechenden Stelle des Originals (oben) mit der Schablone (rechts)

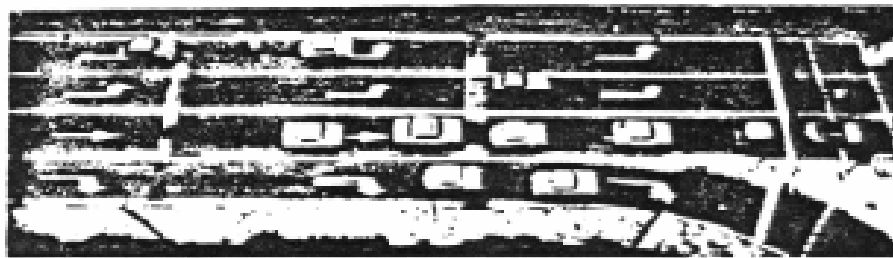
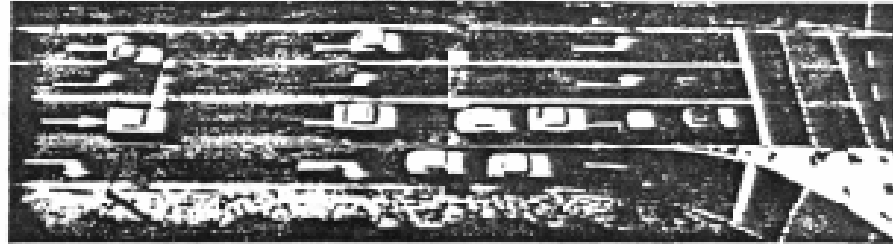
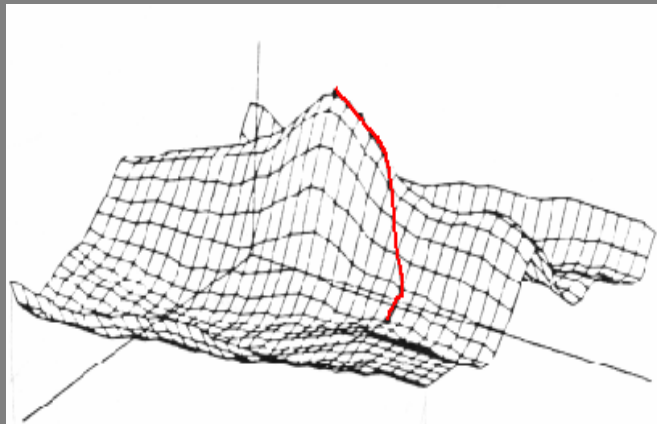
Quelle: „Digitale Bildverarbeitung“ W. Burger, M. J. Burge, Springer



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## Anwendungen: Erfassung des Verkehrsflusses

Die Schablone mit dem Kfz, die aus dem oberen Bild ausgeschnitten wurde, soll im untern Bild wieder gefunden werden. Unten ist das Korrelationsgebirge gezeigt, wobei man nicht alle Positionen berechnen muss, sondern z.B. mittels Hill-Climbing (Gradienten-Anstiegs-Verfahren) ausgehend von einer Startposition zum Gipfel kommen kann; siehe rote Linie

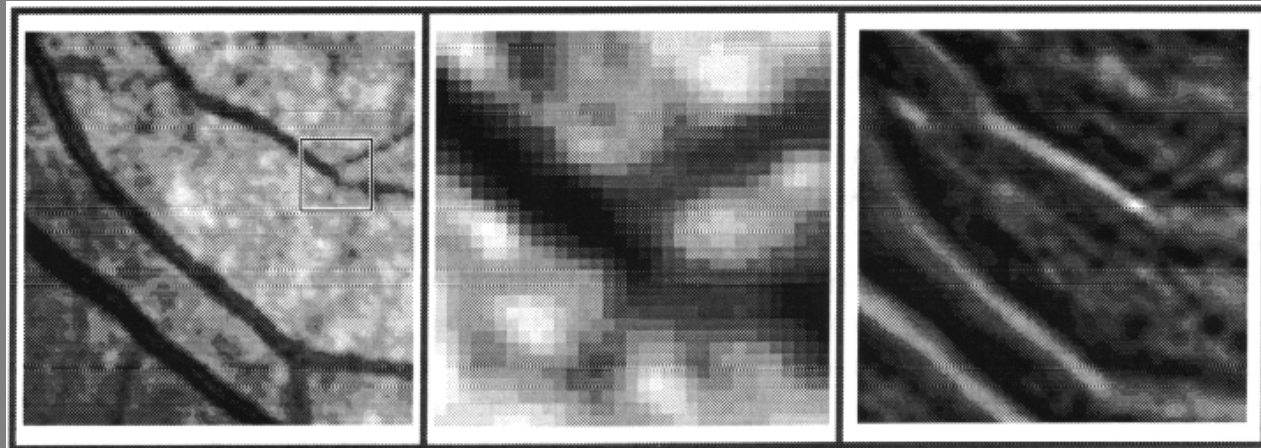


Quelle: „Analyse und Interpretation von Bildfolgen“ H. Nagel, Universität Karlsruhe



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

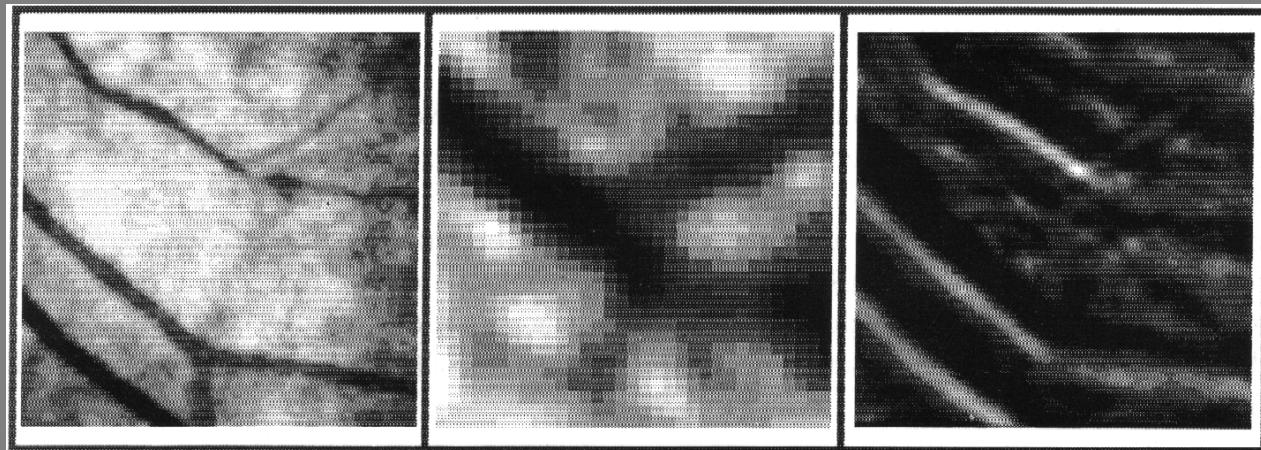
**Anwendungen:**  
**Verfolgung der**  
**Augenbewegungen**  
**an Hand des**  
**Augenhintergrunds**



Erstes Original

Schablone

Ergebnis (Auto-Korrelation)



Späteres Original

Schablone von oben

Ergebnis (Kreuz-Korrelation)

Quelle: „Bildverstehen“  
A. Pinz, Springer



# Comp. Vis.; Kap. 3: Vergleich bildhafter Informationen

## Schluss-Bemerkungen:

Wie funktioniert ein Rechenschieber???

Ziel:

$$a \quad * \quad b \quad = \quad (a*b)$$

logarith-  
mieren:

$$\log(a) \quad + \quad \log(b) = \log(a*b)$$



## **Bezug zu Bild-Vergleich: Großer Faltungssatz**

Ortsraum:	Bild B	•	Bild B'	=	(B•B')	Korrelations-Ergebnis
↓ Fourier- Trafo.:	↓		↓		↑	inverse Fourier-Trafo.
Frequenz- raum	F(B)	*	F(B')	=	F(B•B')	
		↙				
			(Multiplikation der Spektren)			

