



**Umdrucke zur Vorlesung
Digitale Bildverarbeitung
Wintersemester 2011/2012**

<http://www.rob.cs.tu-bs.de/teaching/courses/bv>

Prof. Dr. F. Wahl
Dirk Buchholz

Sprechstunde: Freitag 11:00 – 12:00 Uhr
Sprechstunde: Mittwoch 10:00 – 11:00 Uhr

Institut für Robotik und Prozessinformatik
Mühlenpförtstraße 23
38106 Braunschweig
Tel.: (0531)391-7451
<http://www.rob.cs.tu-bs.de>

Literaturliste

Ausgewählte Bücher zum Einstieg und Vertiefung

allgemein

Ballard, D.H., Brown, C.M.: Computer Vision, Prentice Hall, 1982.

(ausgezeichnete Einführung von Low bis High Level Vision)

im Internet unter: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/BOOKS/BANDB/bandb.htm>

Trucco, E., Verri, A.: Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, Prentice Hall, 1998.
(Einführung und Überblick)

Horn, B.K.P.: Robot Vision, MIT Press, 1986.
(Textbuch 2d/3d Bildgewinnung/Bildanalyse, etc.)

Rosenfeld, A., Kak, A.C.: Digital Picture Processing, Academic Press, 1982.
(Standardwerk, Grundlagen/Bildverarbeitung/Bildanalyse)

Wahl, F.M.: Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer Verlag, 1984.
(signalorientierte Bildverarbeitung, insbes. 1. Teil d. Vorl.)
im Internet unter:
http://www.rob.cs.tu-bs.de/content/03-research/03-publications/download/buch_150dpi.pdf

Auswahl wichtiger Zeitschriften / Konferenzen

- Graphical Models and Image Processing, Academic Press.
- Image Understanding, Academic Press.
- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), IEEE Press.
- Jährliche Konferenzen der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung (DAGM).
- Biannual International Conference on Pattern Recognition, International Association for Pattern Recognition.
- Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society.
- International Conference on Computer Vision, IEEE Computer Society.

Links:

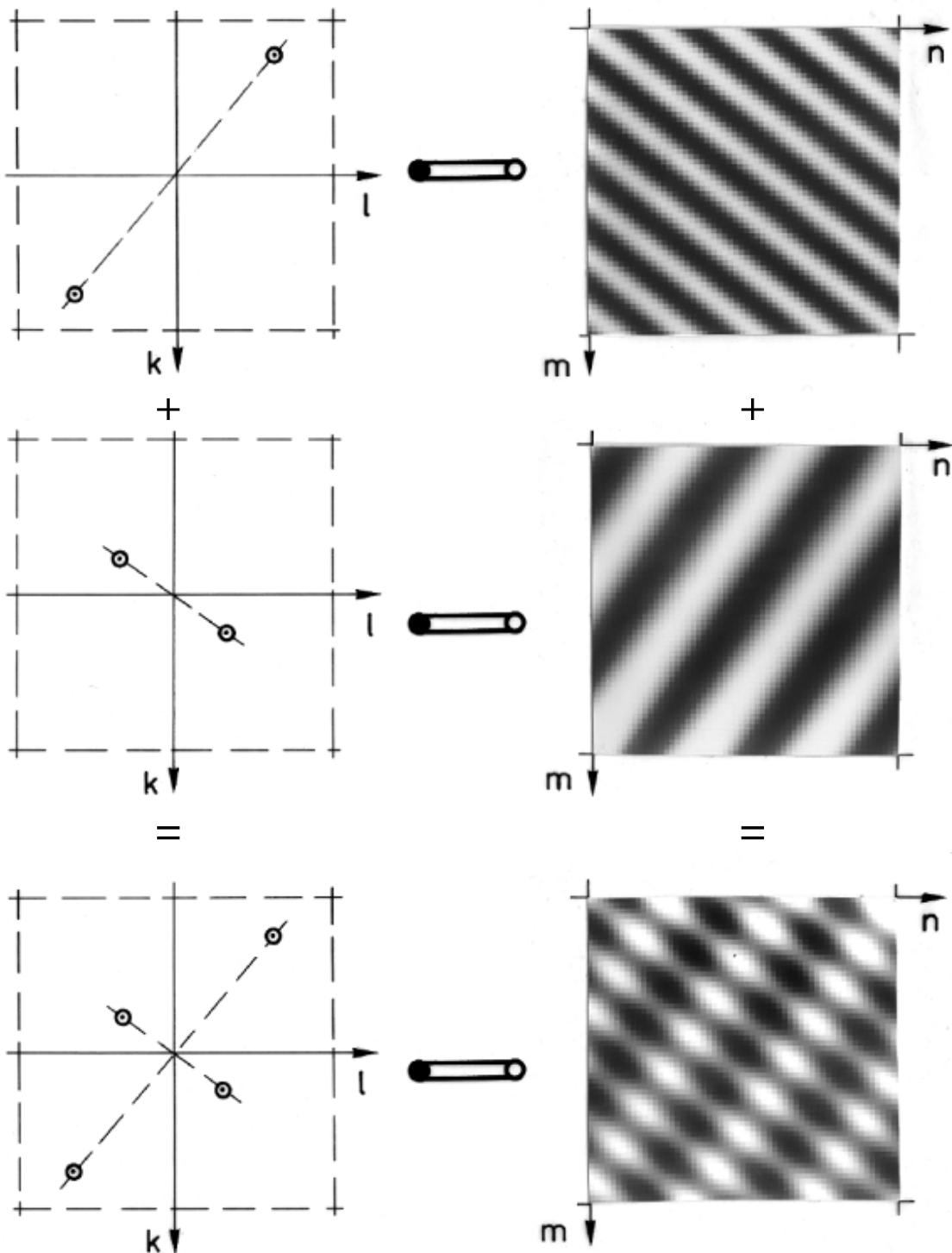
- Interessante Seite der Community: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>
- Einige interessante Java-Applets: <http://www.rob.cs.tu-bs.de/teaching/interactive/>
- International Association for Pattern Recognition <http://www.iapr.org>
Newsletter IAPR <http://www.iapr.org/publications/index.php>
- Sammlung von Unterrichtsmaterialien der IAPR (Tutorials, Demos, Datasets, Code)
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/IAPR/>
- Sammlung wichtiger Bildverarbeitungsbibliotheken (OpenCV)
<http://opencv.willowgarage.com>

Die Fouriertransformation und ihre wichtigsten Eigenschaften

	$f: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$	kontinuierlich	$f: \mathbb{Z} \times \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$ definiert auf $[0..M-1] \times [0..N-1]$ periodisch fortgesetzt	diskret
Transformation	$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp(-j(ux+vy)) dx dy$		$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \exp(-j2\pi(\frac{km}{M} + \frac{ln}{N}))$	$j = \sqrt{-1}$
Rücktransf.	$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) \exp(j(ux+vy)) du dv$		$f(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} F(k, l) \exp(j2\pi(\frac{km}{M} + \frac{ln}{N}))$	
Notation	$f(x, y) \Leftrightarrow F(u, v)$		$f(m, n) \Leftrightarrow F(k, l)$	
Symmetrie	$f(-x, -y) \Leftrightarrow F(-u, -v)$		$f(-m, -n) \Leftrightarrow F(-k, -l)$	$f^*: konjug. komplex$
	$f^*(-x, -y) \Leftrightarrow F^*(u, v)$		$f^*(-m, -n) \Leftrightarrow F^*(k, l)$	
Superposition	$\sum_i c_i f_i(x, y) \Leftrightarrow \sum_i c_i F_i(u, v)$		$\sum_i c_i f_i(m, n) \Leftrightarrow \sum_i c_i F_i(k, l)$	$c_i \in \mathbb{R}$
Ähnlichkeit	$f(ax, by) \Leftrightarrow \frac{1}{ ab } F(\frac{u}{a}, \frac{v}{b})$			
Rotation	$f(x \cos \alpha + y \sin \alpha, y \cos \alpha - x \sin \alpha) \Leftrightarrow F(u \cos \alpha + v \sin \alpha, v \cos \alpha - u \sin \alpha)$			$a, b \in \mathbb{R}$
Verschiebung	$f(x-a, y-b) \Leftrightarrow F(u, v) \exp(-j(ua+vb))$		$f(m-c, n-d) \Leftrightarrow F(k, l) \exp(-j2\pi(\frac{kc}{M} + \frac{ld}{N}))$	$a, b \in \mathbb{R}$
	$f(x, y) \exp(j(ax+by)) \Leftrightarrow F(u-a, v-b)$		$f(m, n) \exp(j2\pi(\frac{cm}{M} + \frac{dn}{N})) \Leftrightarrow F(k-c, l-d)$	$c, d \in \mathbb{Z}$
Faltung	$f(x, y) * h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, \eta) h(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta$		$f(m, n) * h(m, n) = \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{\sigma=0}^{N-1} f(\rho, \sigma) h(m-\rho, n-\sigma)$	$\xi, \eta \in \mathbb{R}$
	$f(x, y) * * h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x-\xi, y-\eta) h(\xi, \eta) d\xi d\eta$		$= \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{\sigma=0}^{N-1} f(m-\rho, n-\sigma) h(\rho, \sigma)$	
	$\Leftrightarrow F(u, v) H(u, v)$		$\Leftrightarrow F(k, l) H(k, l)$	
	$f(x, y) h(x, y) \Leftrightarrow \frac{1}{4\pi^2} F(u, v) * * H(u, v)$		$f(m, n) h(m, n) \Leftrightarrow \frac{1}{MN} F(k, l) * * H(k, l)$	
			$= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\xi, \eta) H(u-\xi, v-\eta) d\xi d\eta$	$\Leftrightarrow \frac{1}{MN} \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{\sigma=0}^{N-1} F(\rho, \sigma) H(k-\rho, l-\sigma)$
			$= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u-\xi, v-\eta) H(\xi, \eta) d\xi d\eta$	$= \frac{1}{MN} \sum_{\rho=0}^{M-1} \sum_{\sigma=0}^{N-1} F(k-\rho, l-\sigma) H(\rho, \sigma)$

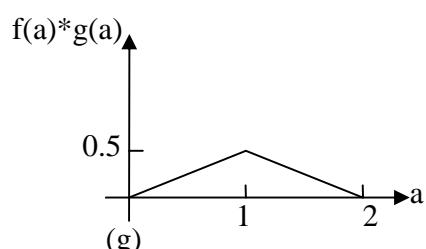
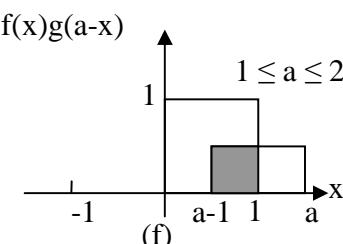
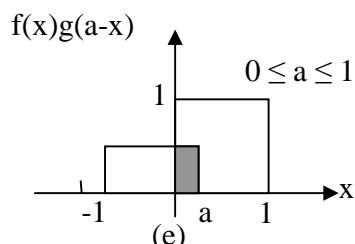
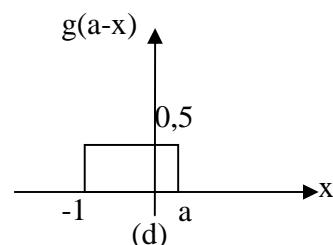
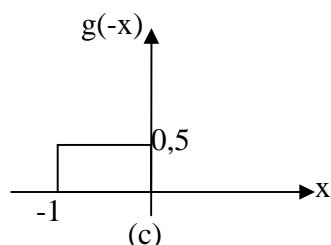
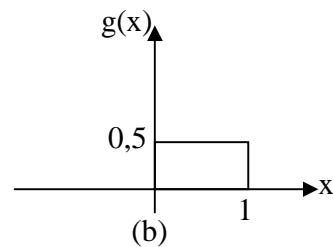
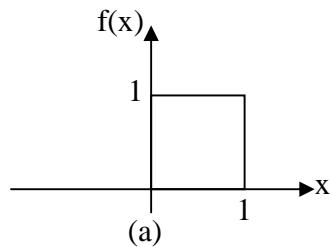
①: Ähnlichkeitssatz und Rotationsatz lassen sich aus dem kontinuierlichen für beliebige Skalierungsfaktoren bzw. Drehwinkel nicht direkt in den diskreten Fall übertragen. Die diskreten Funktionen müssen vielmehr interpoliert und anschließend skaliert bzw. gedreht neu abgetastet werden. Siehe hierzu: F.Wahl: Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer Verlag, 1989.

Zur Rücktransformation konjugierter Fourierpaare



Aus: F. Wahl, Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer 1984

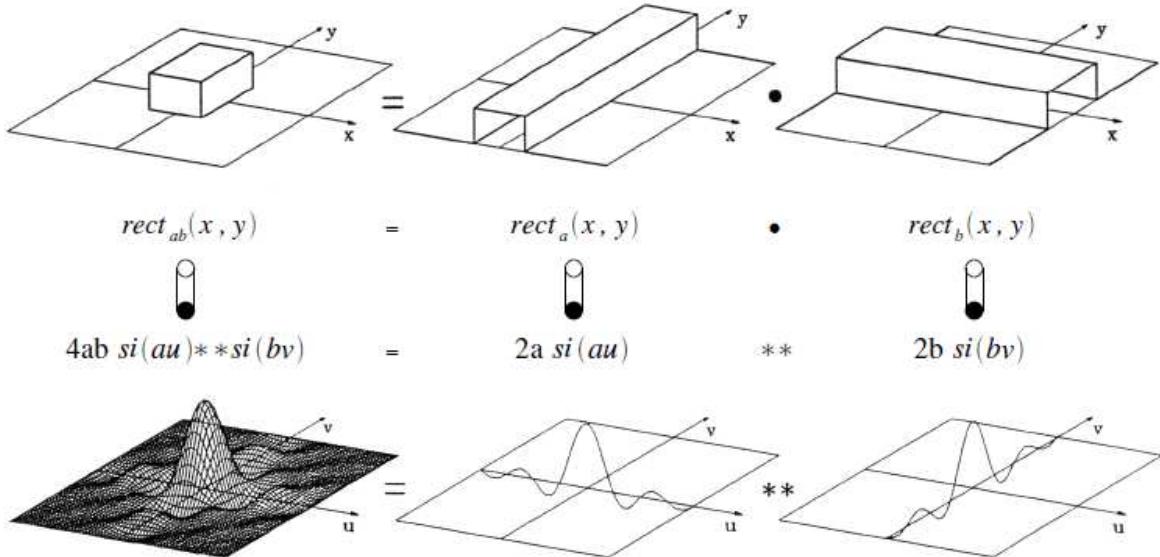
Zur Faltung



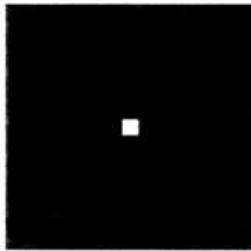
Aus Gonzalez/Wintz: Digital Image Processing, Addison-Wesley, 77

Zur Separierbarkeit der Funktion $\text{rect}_{ab}(x, y)$:

$$\text{rect}_{ab}(x, y) = \text{rect}_a(x, y) \text{rect}_b(x, y) \Leftrightarrow 4ab \text{ si}(au) * * \text{si}(bv)$$

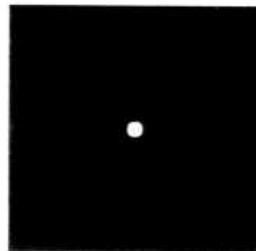


Die Rechteckfunktion $\text{rect}_{ab}(x, y)$ und ihre Fourierkorrespondierende

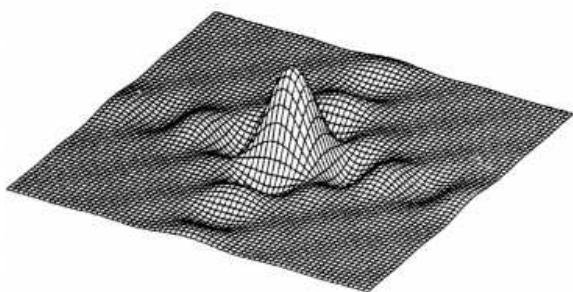


$$\text{rect}_{ab}(x, y) \Leftrightarrow 4ab \text{ si}(au) * * \text{si}(bv)$$

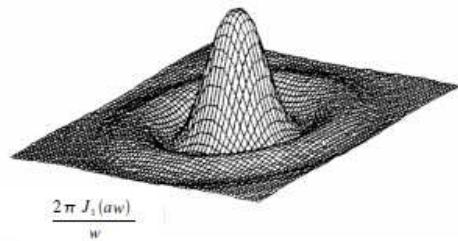
Die Kreisfunktion $\text{circ}_a(r)$ und ihre Fourierkorrespondierende



$$\text{circ}_a(r) \Leftrightarrow \frac{2\pi J_1(ar)}{w}$$

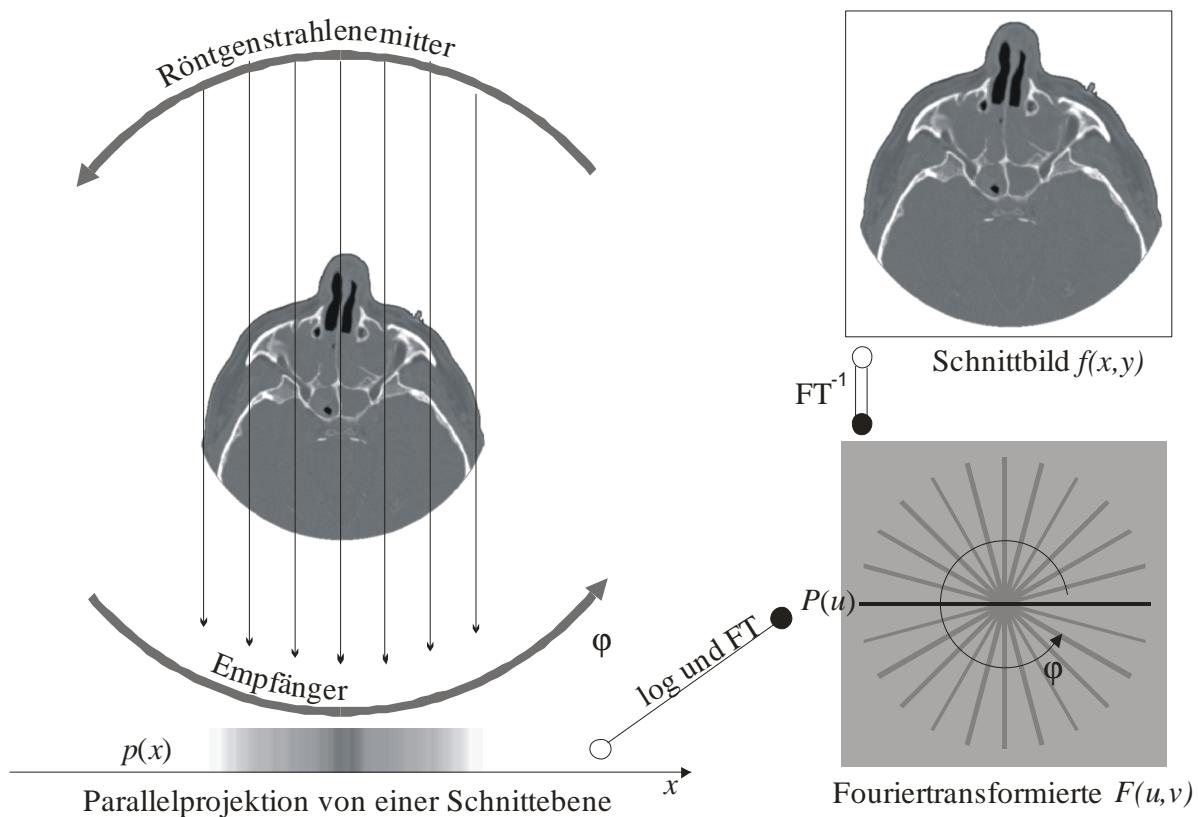


$$4ab \text{ si}(au) * * \text{si}(bv)$$

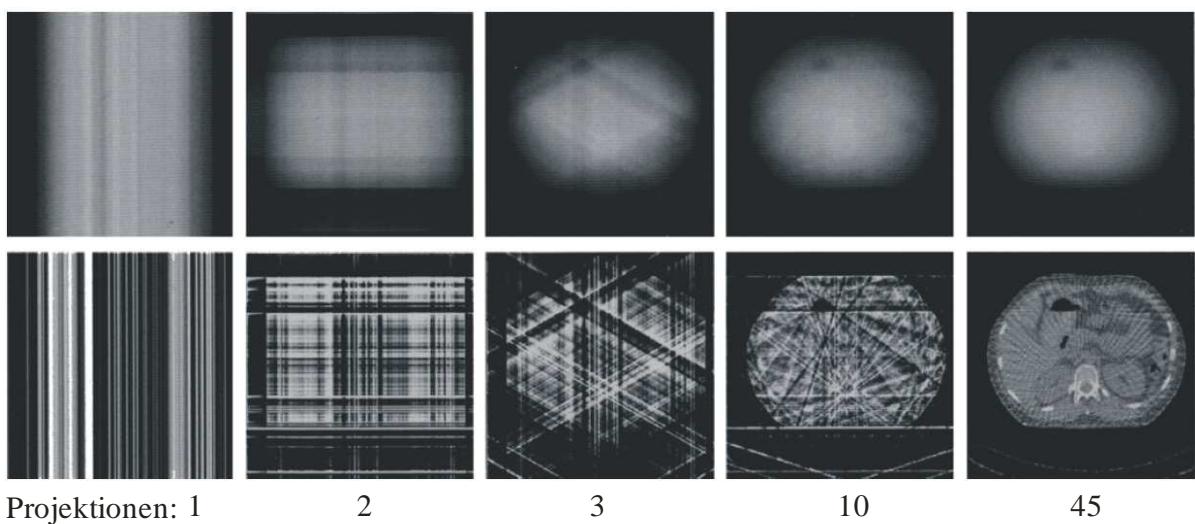


$$\frac{2\pi J_1(ar)}{w}$$

Funktionsprinzip der Computertomographie

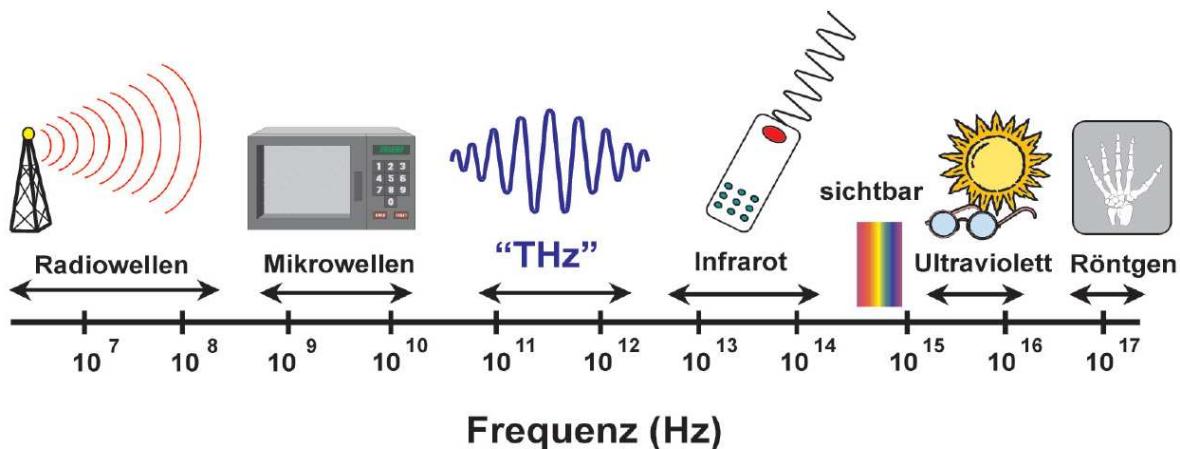


Ungefilterte vs. gefilterte Rückprojektion



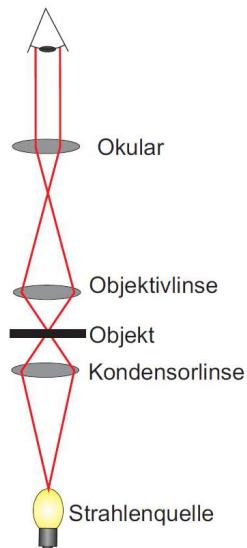
(a) ohne Hochpassfilterung; (b) mit Hochpassfilterung

Elektromagnetisches Spektrum



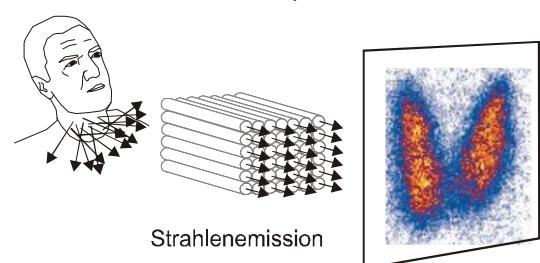
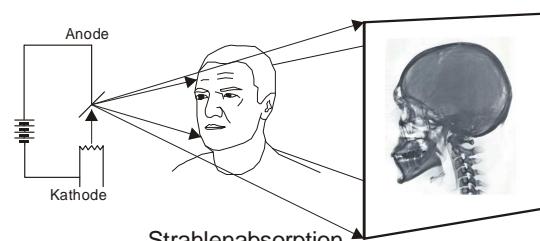
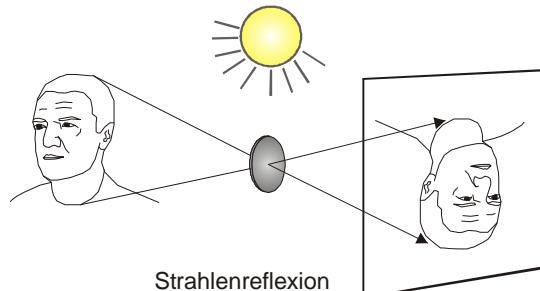
Quelle: TU Braunschweig: Institut für Hochfrequenztechnik, Abteilung Terahertz-Systemtechnik

Lichtmikroskop

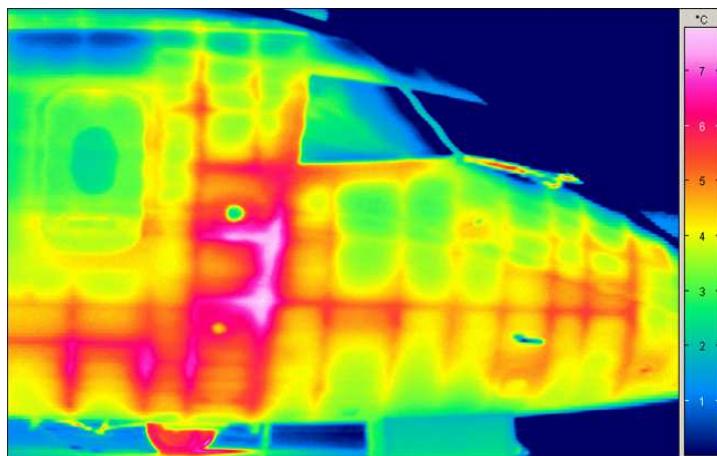


Quelle: M2 Lab Microscope

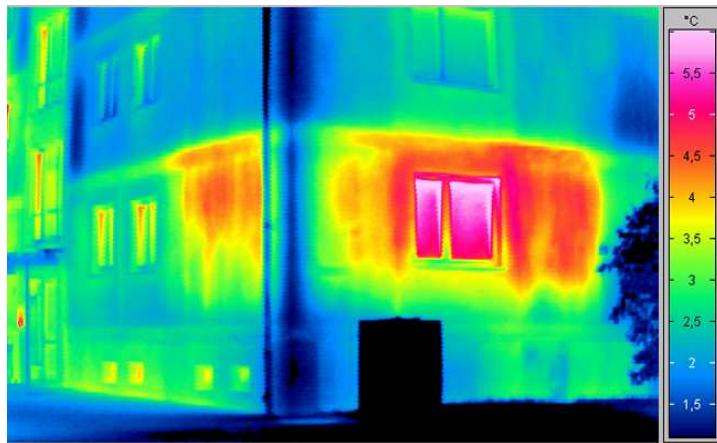
Grundlegende physikalische Verfahren zur Bildgewinnung



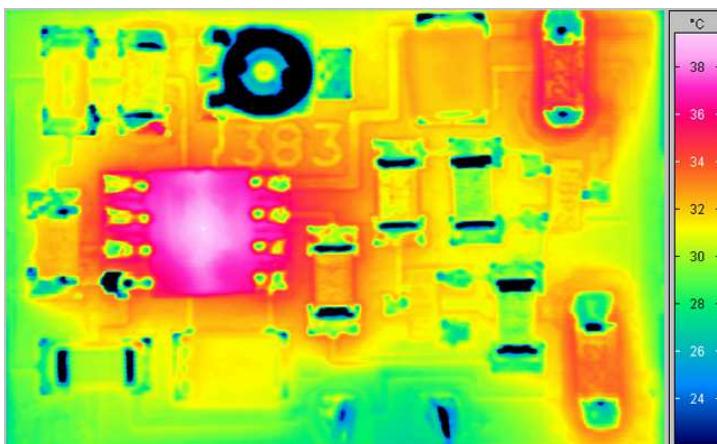
Zur Infrarotthermografie



Thermischer Isolationsfehler in einem Flugzeug



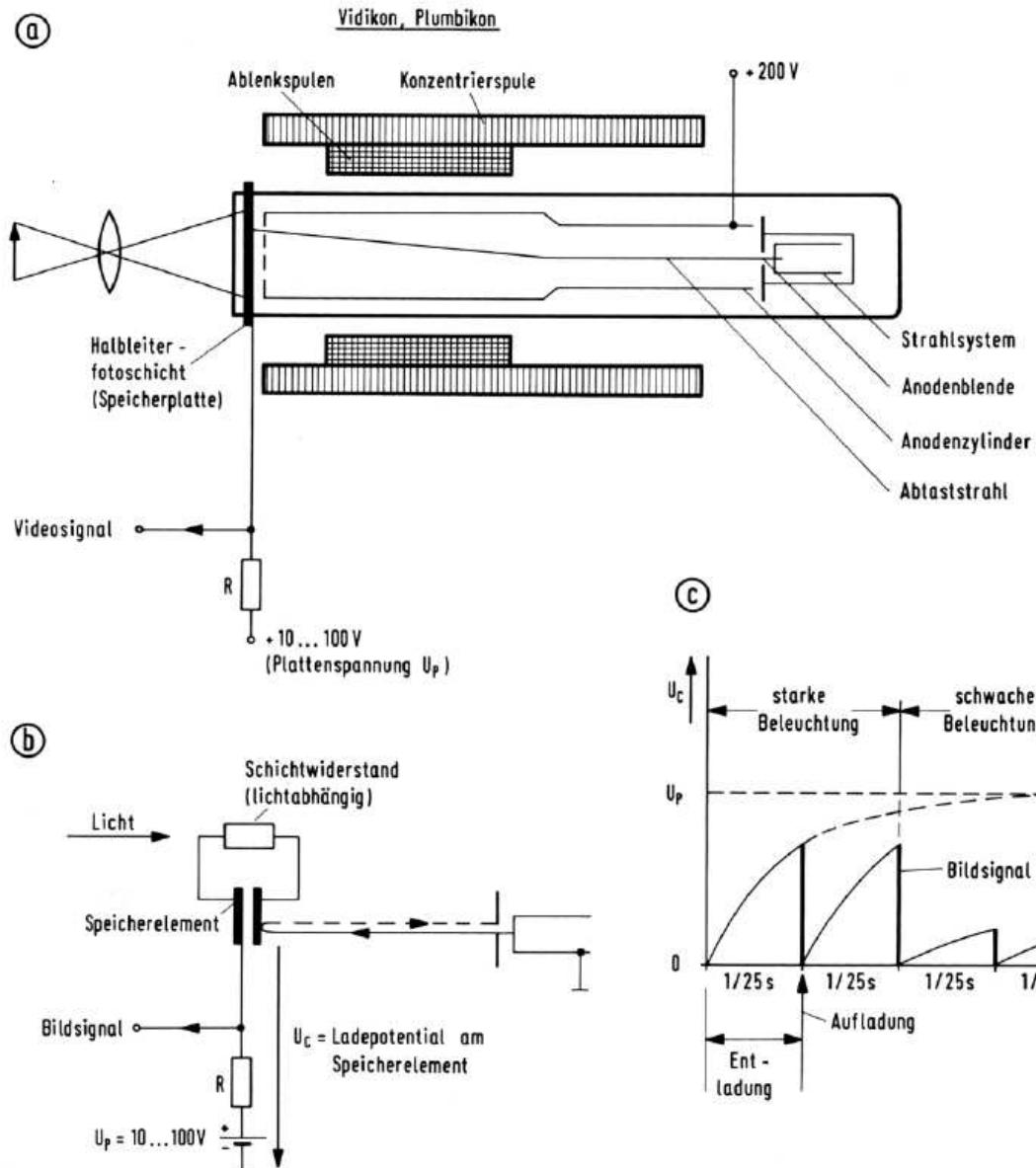
Bauthermografie zur Analyse der Wärmeisolierung von Gebäuden



Thermische Analyse von Baugruppen

Quelle: Infratec (<http://www.infratec.de/>)

Bildaufnahmesensoren I

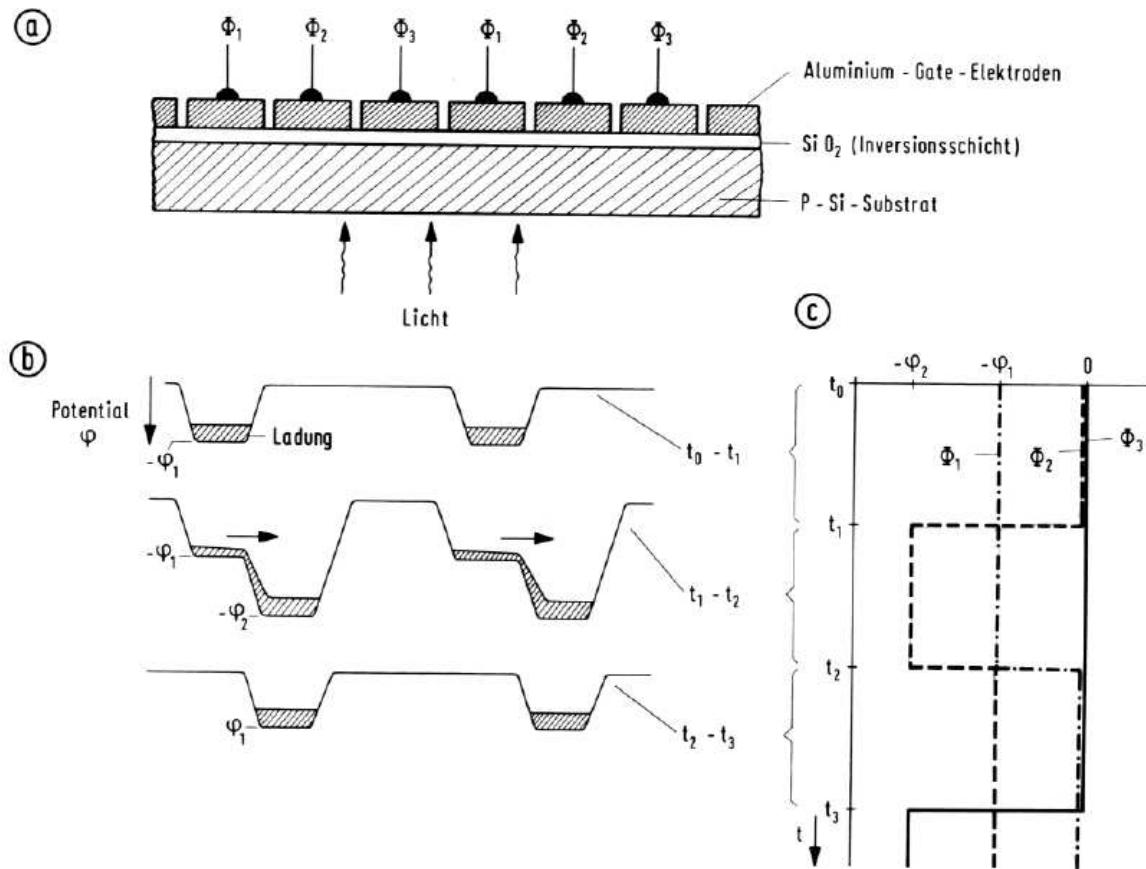


Bildaufnahmeröhre mit amorpher Halbleiterfotoschicht

- Aufbau eines Vidikons bzw. Plumbikons mit Ablenkeinheit
- Prinzipbild zu den Vorgängen am Speicherelement (Ersatzschaltbild eines Bildpunktes auf der Fotoschicht)
- Zeitabhängiger Verlauf der Spannung am Speicherelement

Aus H. Schönfelder: Bildkommunikation, Springer 1983, Berlin Heidelberg New York

Bildaufnahmesensoren II

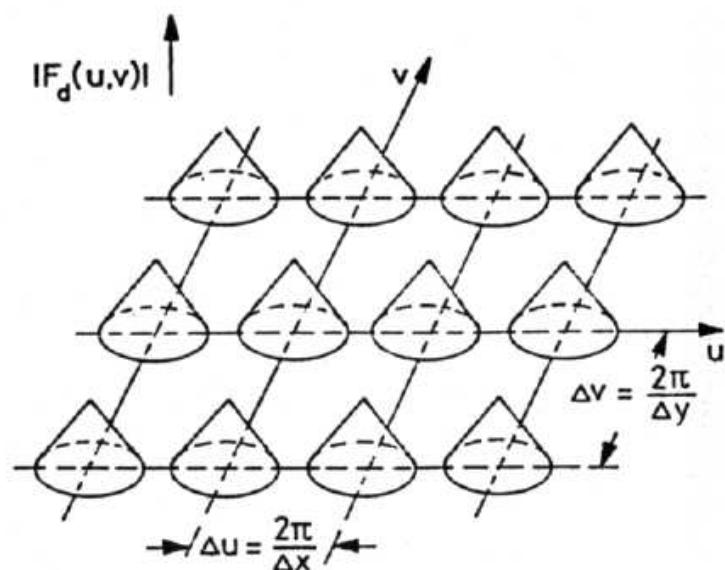
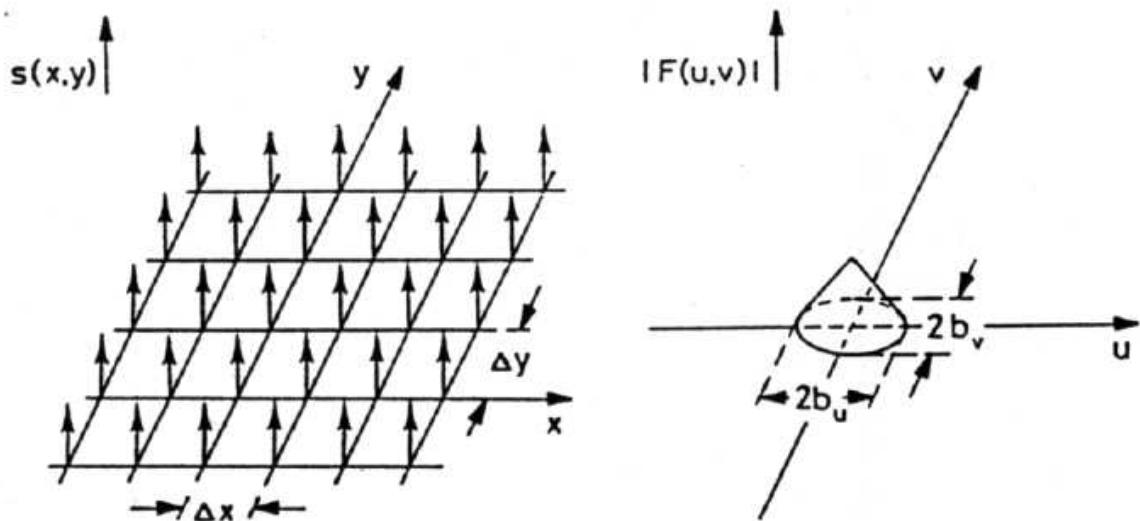


Halbleiter-Zeile in ladungsgekoppelter Technik (CCD)

- Aufbau einer CCD-Zeile
- Potentialverlauf längs der Zeile
- Zeitlicher Verlauf der Taktpotentiale

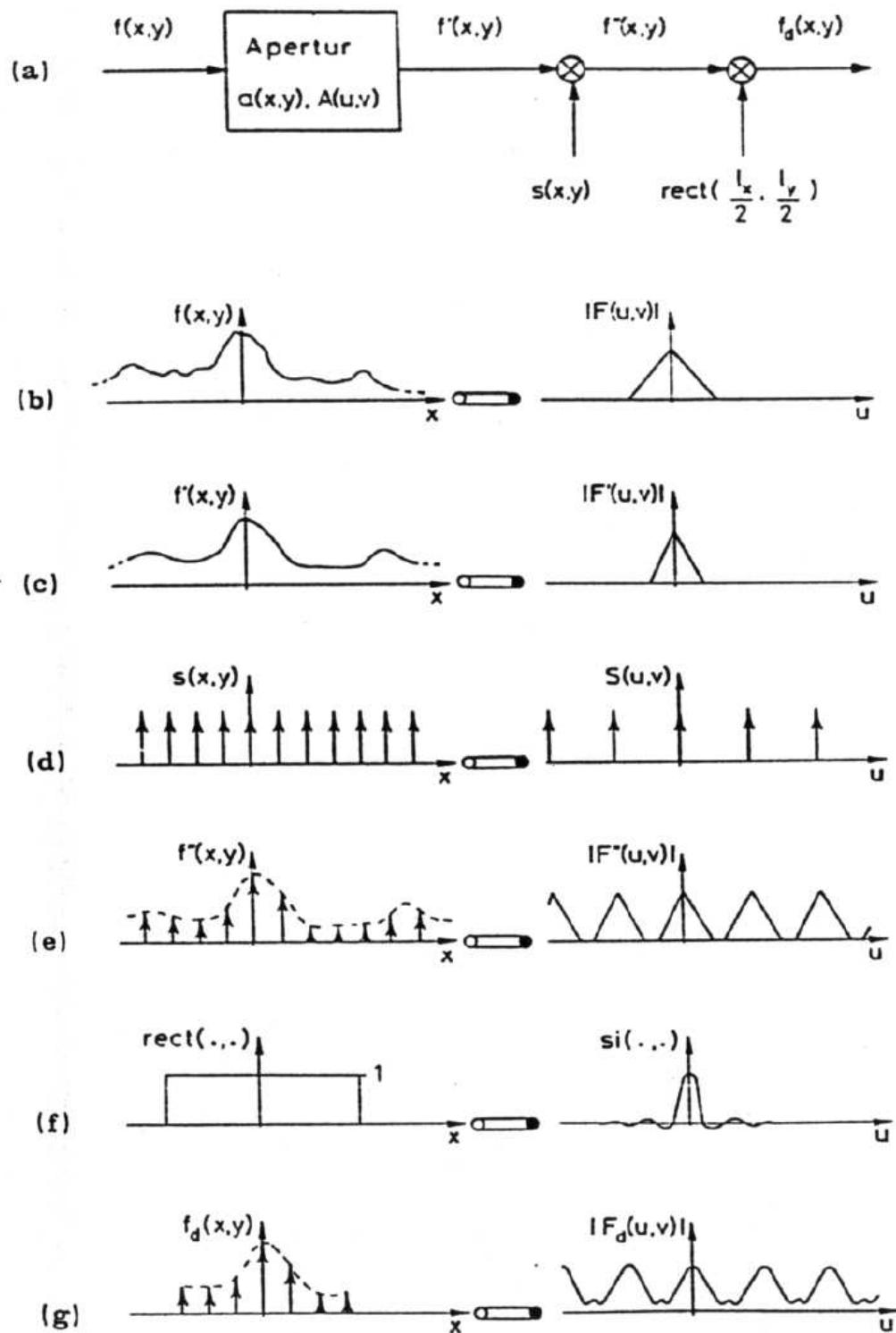
Aus H. Schönfelder: Bildkommunikation, Springer 1983, Berlin Heidelberg New York

Zusammenhang zwischen Abtastgitter und periodischer Fortsetzung von Bildspektren bei der Bildabtastung

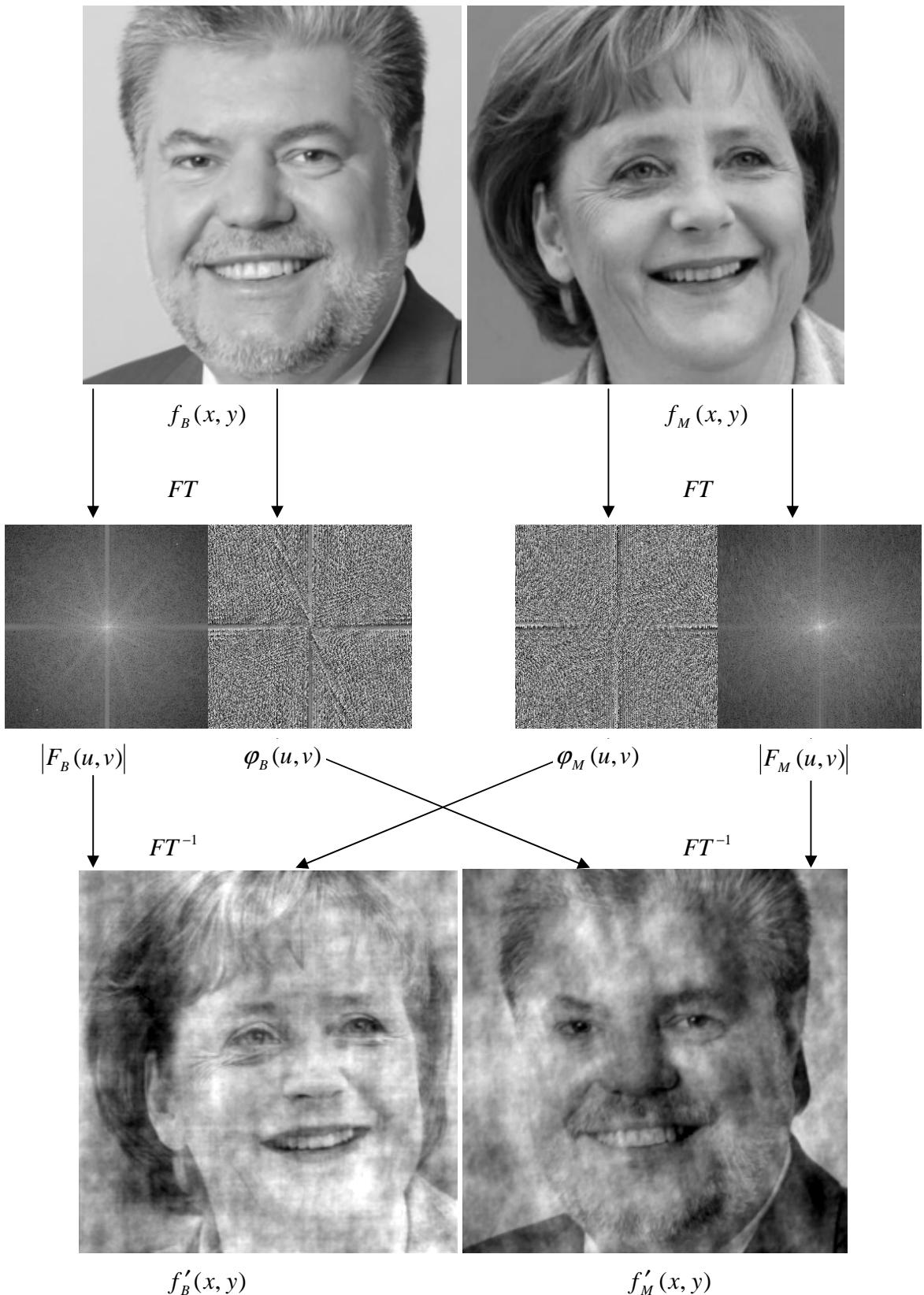


Aus: F. Wahl, Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer 1984

Zur Abtastung mit endlicher Apertur und endlichem Bildausschnitt

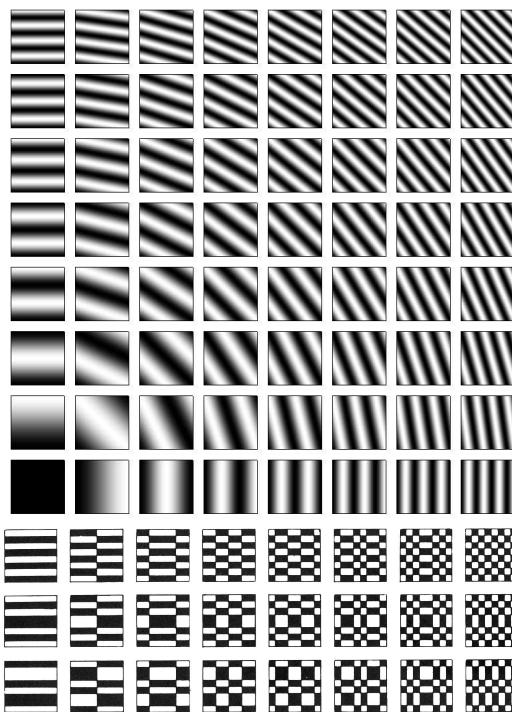


Amplituden- vs. Phasenspektrums

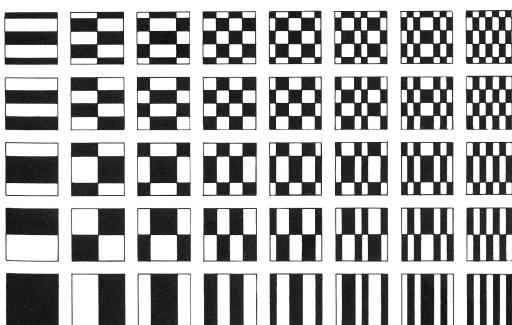


Basisfunktionen der Fourier, Hadamard und Haar Transformation

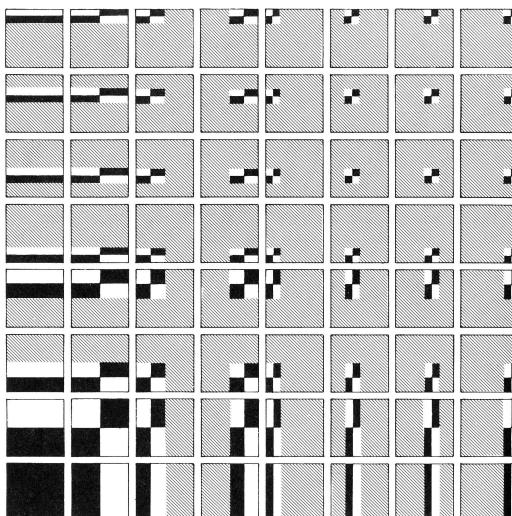
Fourier



Hadamard*

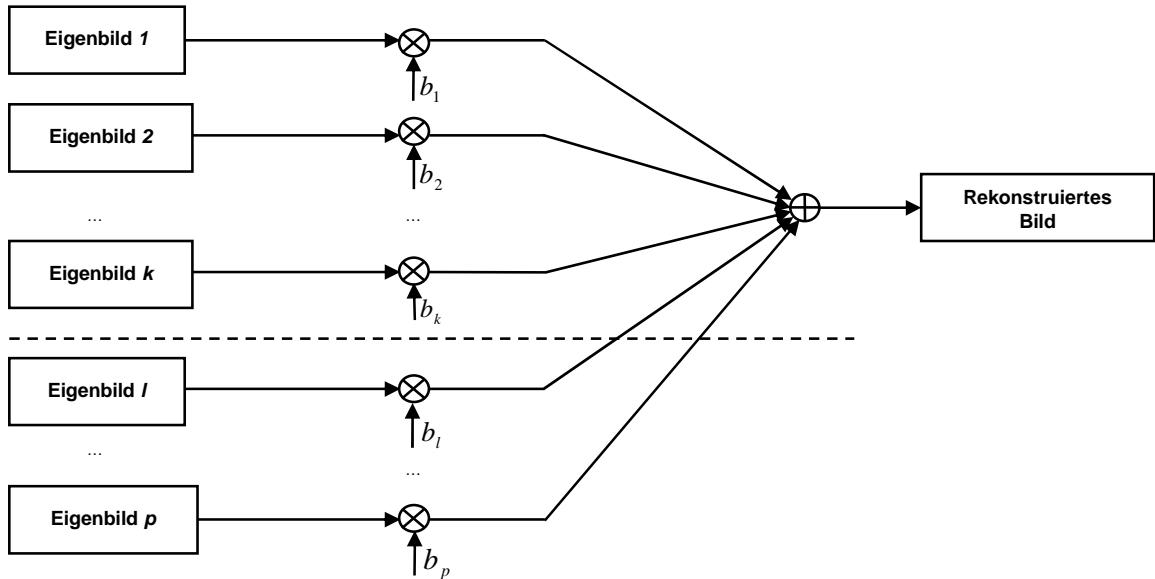


Haar*

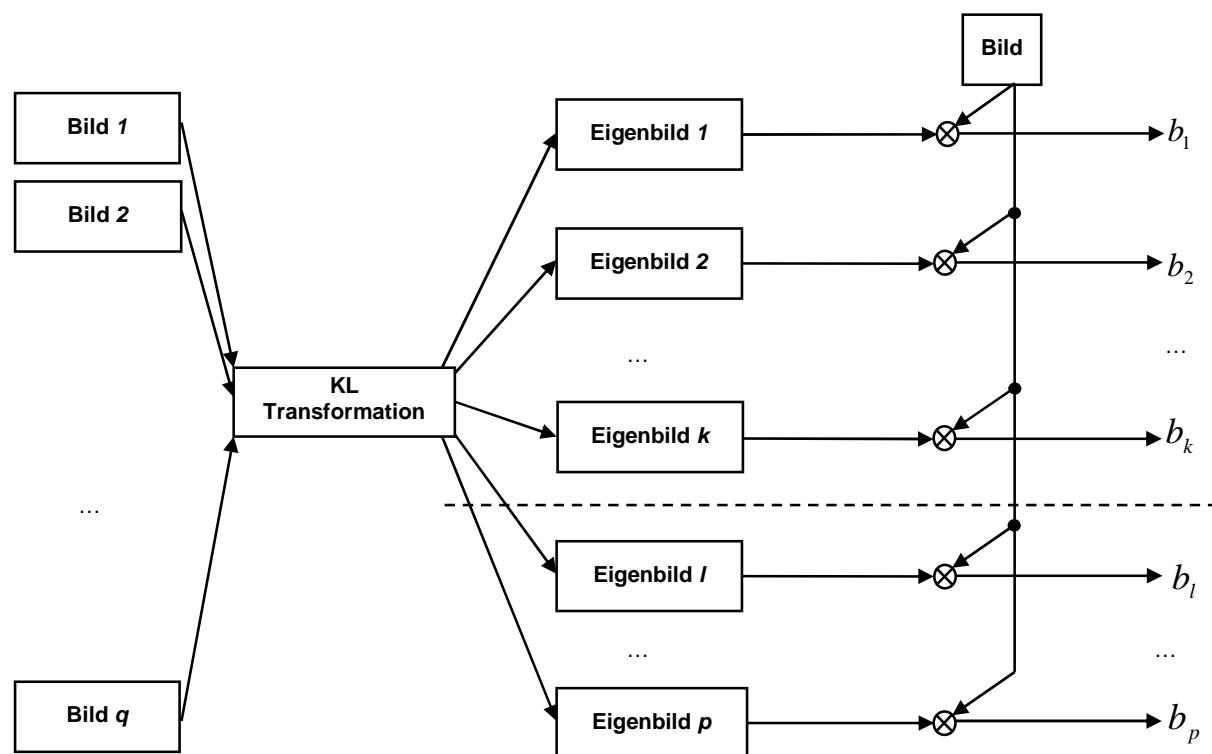


*Abbildungen übernommen aus W.K. Pratt, Digital Image Processing, Wiley ,1978

Bildrekonstruktion durch Eigenbilder



Bildrepräsentation durch Eigenbilder



Hauptkomponenten-Transformation



Auszug aus der Datenbasis mit 12 Personen a 20 Aufnahmen



Mittelwertbild (l.o.) und 200 Eigenbilder

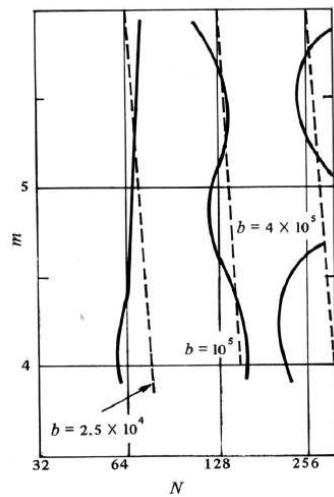
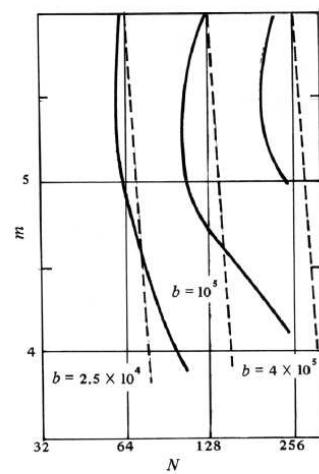
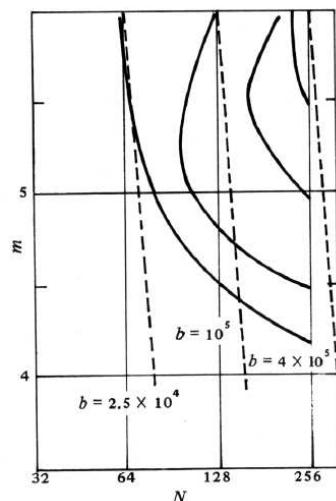


Rekonstruierte Bilder mit 10 Eigenbildern



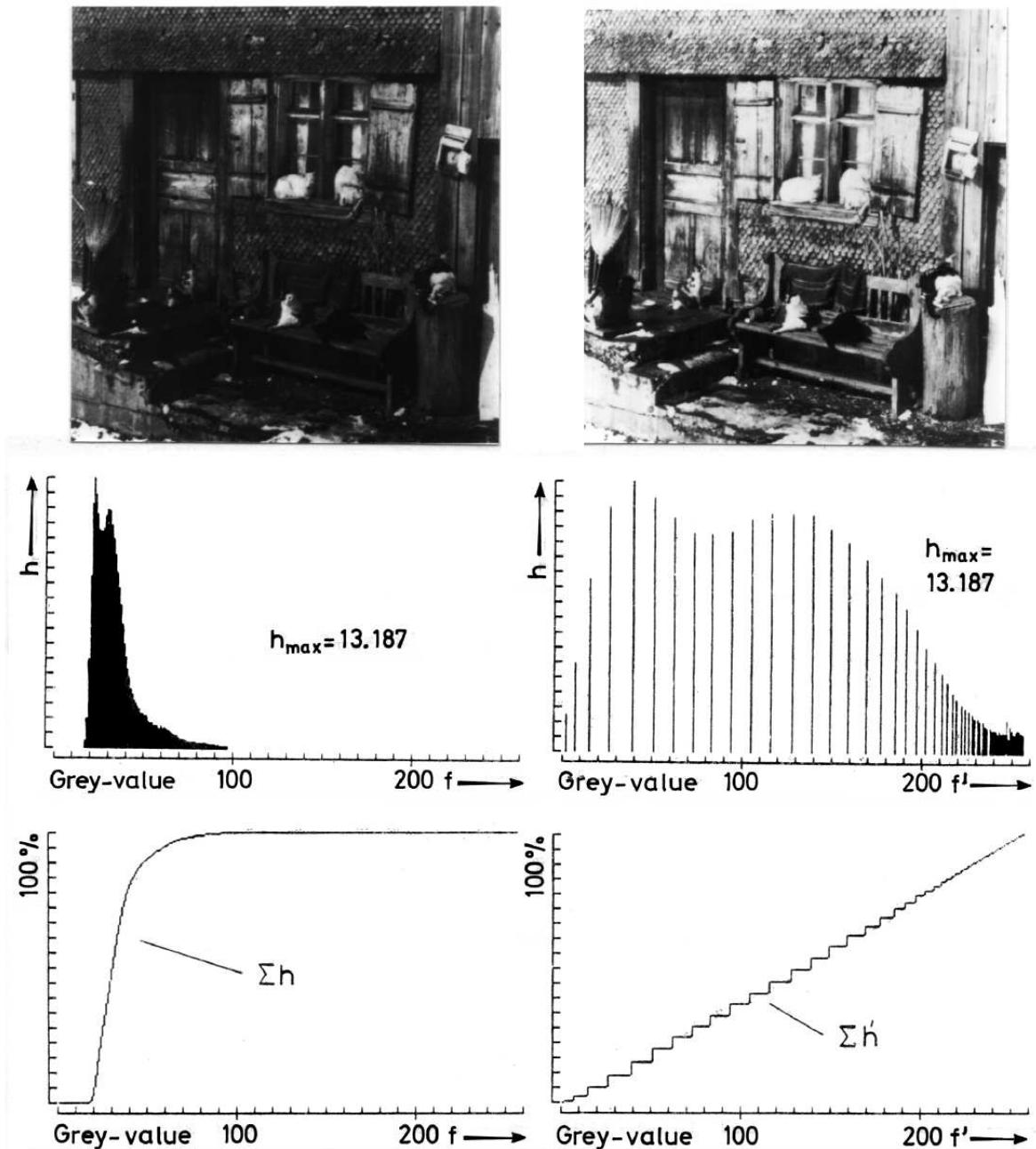
Generierte Bilder

Isopräferenzlinien für drei Bilder mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad



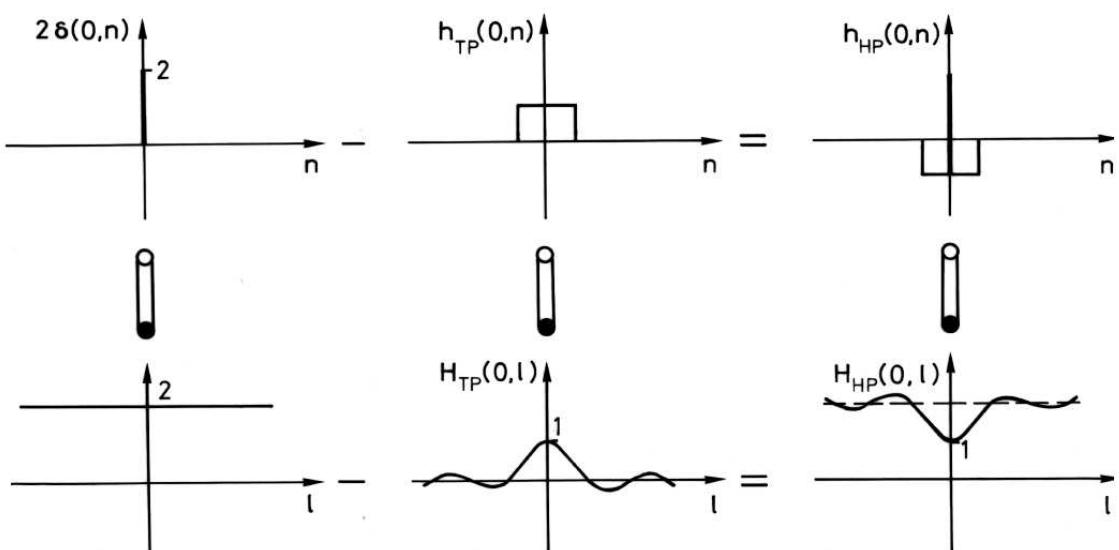
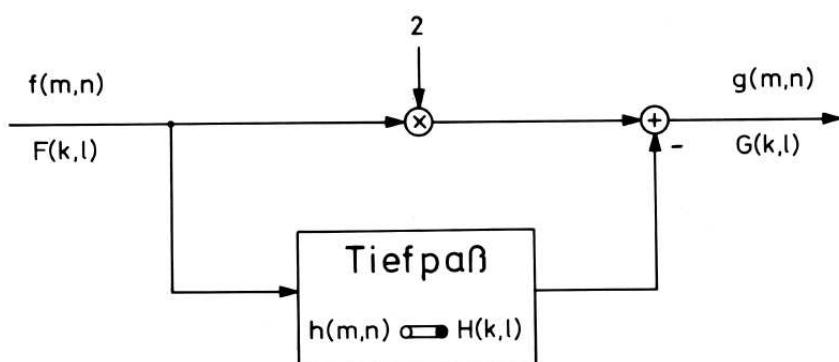
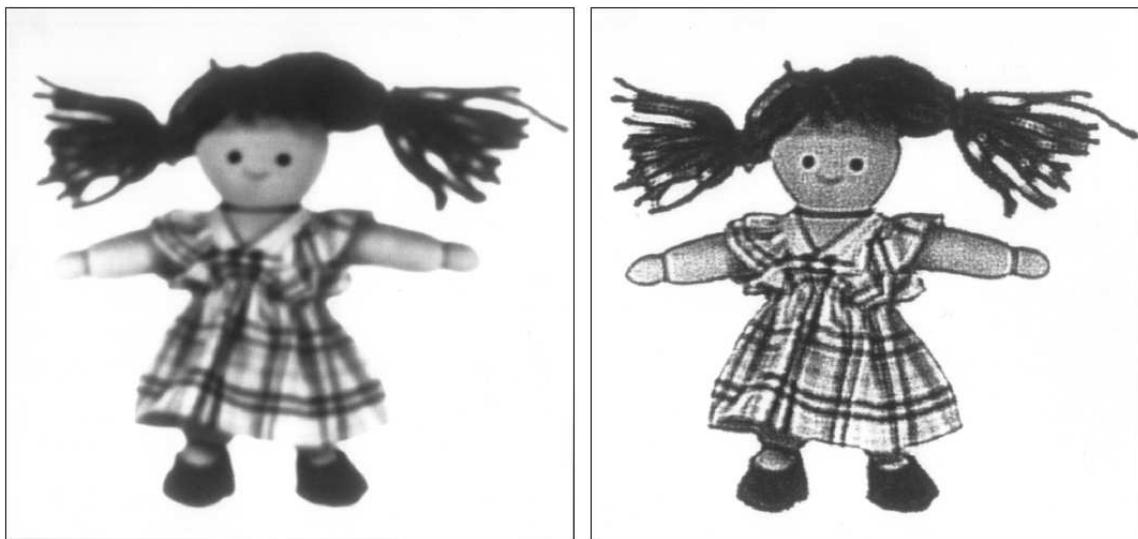
Aus Gonzalez/Wintz: Digital Image Processing, Addison-Wesley, 77

Zur automatischen Histogrammeinebnung



Aus: F. Wahl, Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer 1984

Verschärfung durch Tiefpassfilter



Aus: F. Wahl, Digitale Bildsignalverarbeitung, Springer 1984

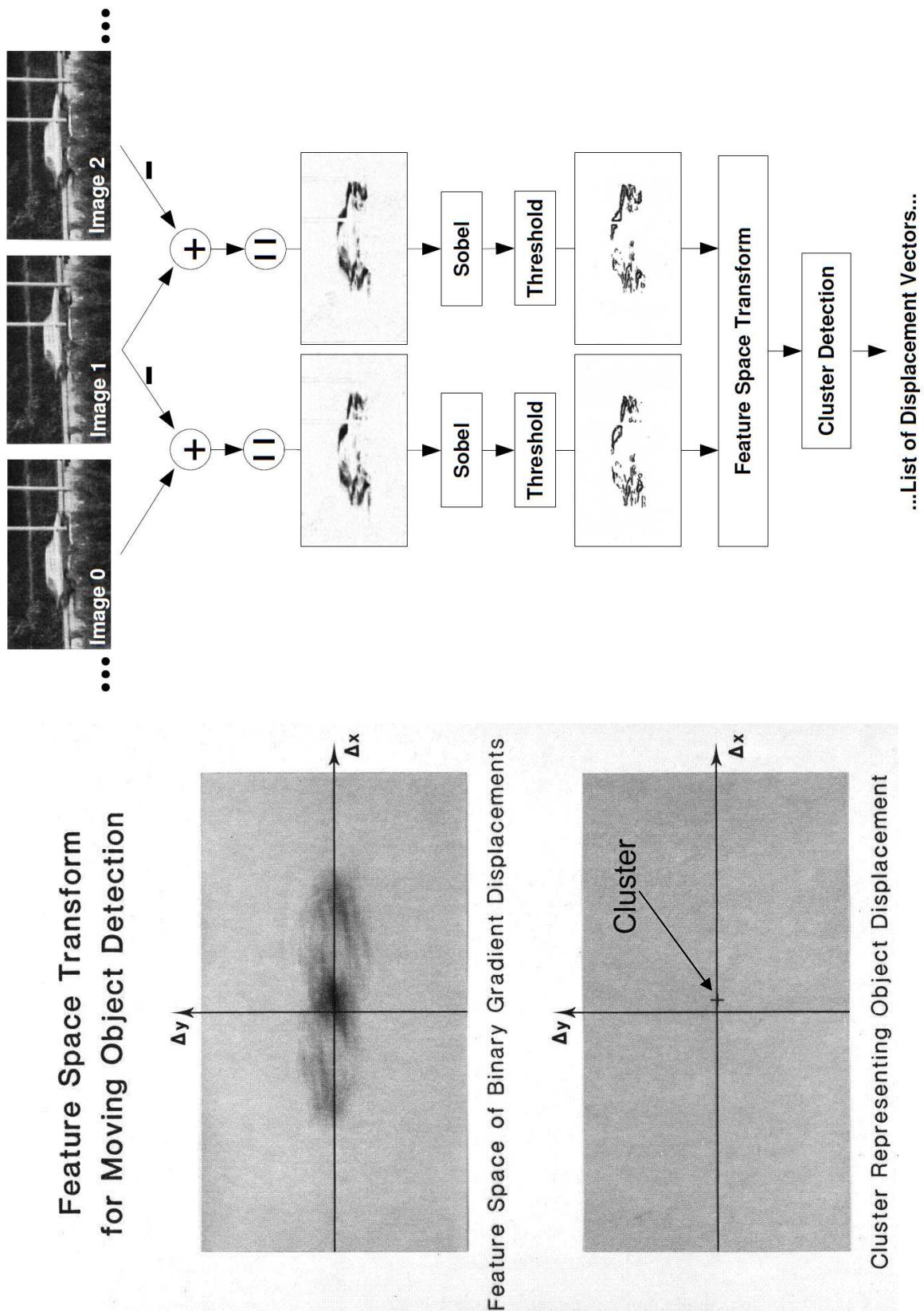
Medianfilter



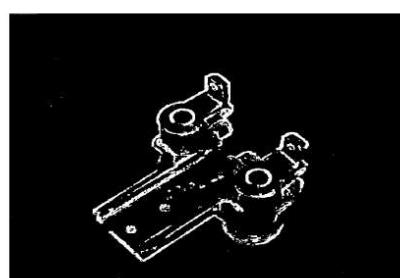
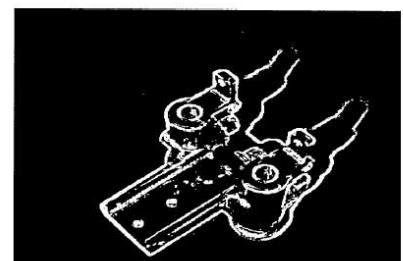
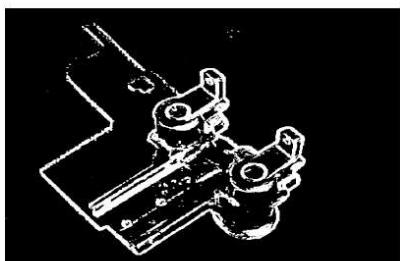
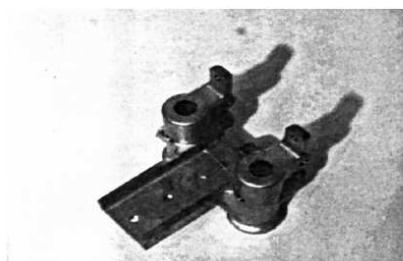
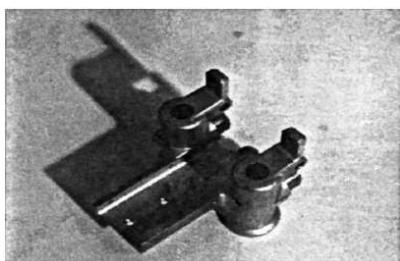
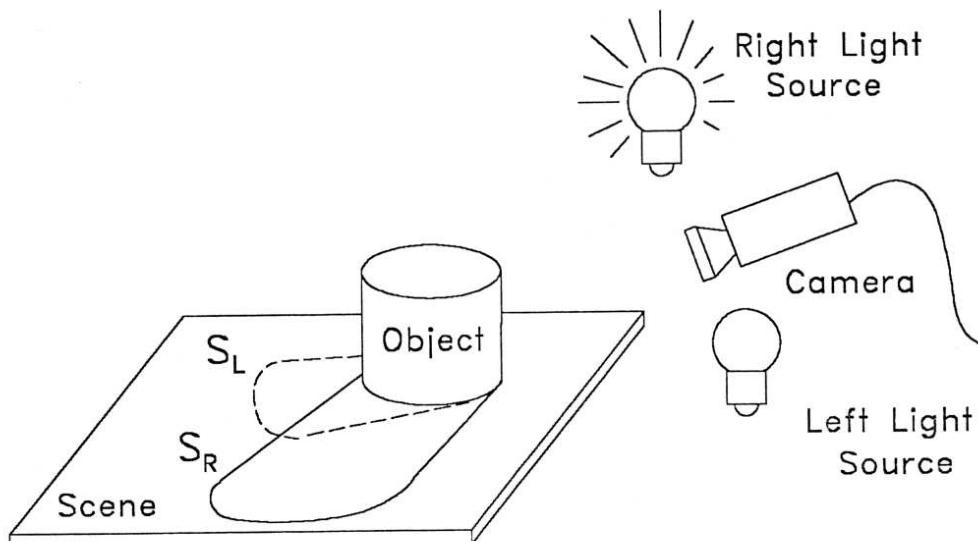
'Averaging' Filter



Zur Erkennung von bewegten Objekten



Zur Entfernung von Schattenkanten



Verschiedene Gradienten-Operatoren

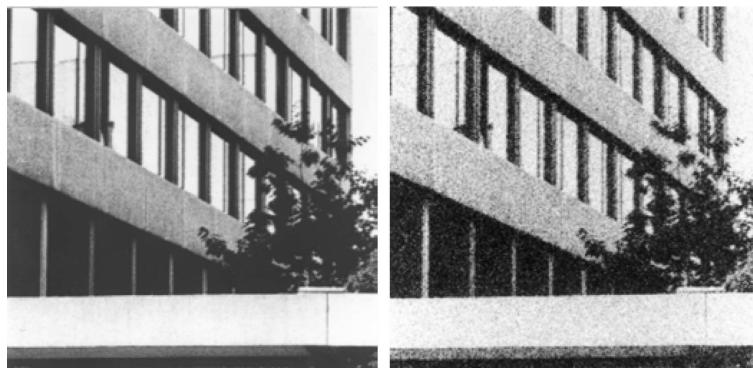


Abbildung 1: links: Originalbild, rechts: Originalbild mit Rauschen überlagert

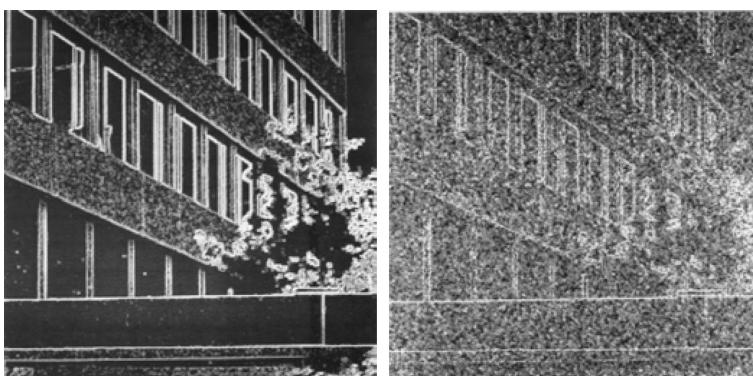


Abbildung 2: Filterergebnisse von Abbildung 1 mittels Roberts-Operator



Abbildung 3: Filterergebnisse von Abbildung 1 mittels Sobel-Operator

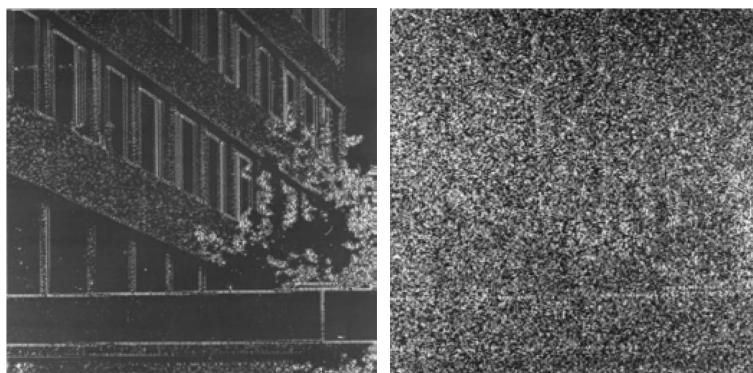
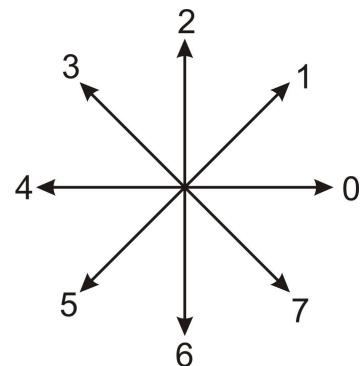
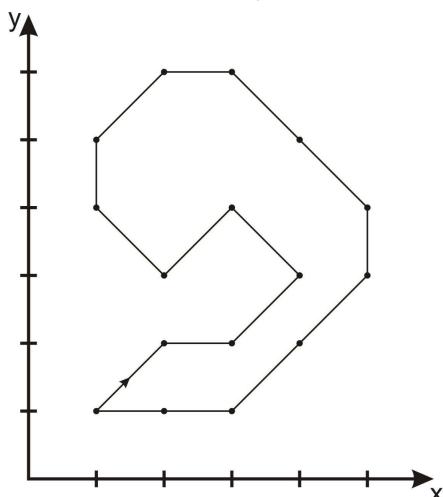


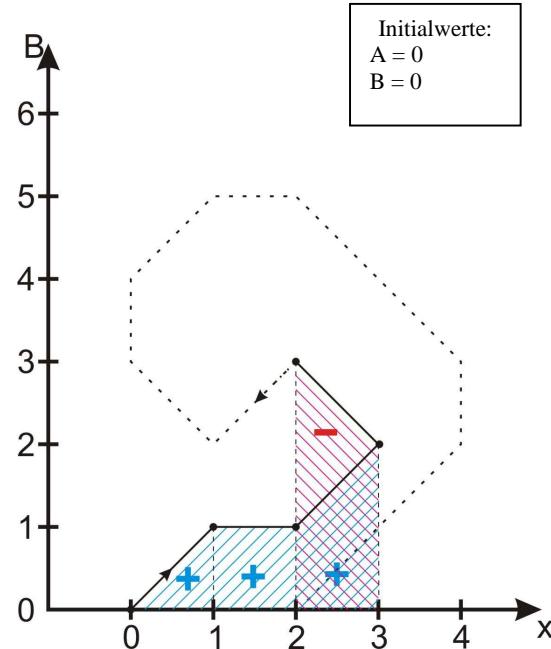
Abbildung 4: Filterergebnisse von Abbildung 1 mittels Pseudo-Laplace-Operator

Zur Flächenbestimmung aus Kettencodes nach Freeman

Kettencode	Änderung der Fläche A	Änderung der Bezugshöhe B
0	+B	+0
1	+B + $\frac{1}{2}$	+1
2	+ 0	+1
3	-B - $\frac{1}{2}$	+1
4	-B	+0
5	-B + $\frac{1}{2}$	-1
6	+ 0	-1
7	+B - $\frac{1}{2}$	-1

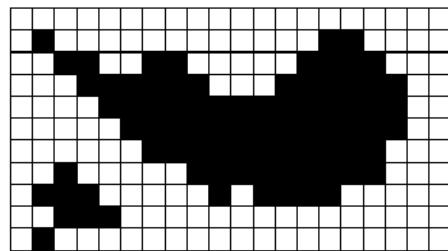


Kettencode	A	B
1	$\frac{1}{2}$	1
0	$1\frac{1}{2}$	1
1	3	2
3	$\frac{1}{2}$	3
5	-2	2
3	$-4\frac{1}{2}$	3
2	$-4\frac{1}{2}$	4
1	0	5
0	5	5
7	$9\frac{1}{2}$	4
7	13	3
6	13	2
5	$11\frac{1}{2}$	1
5	11	0
4	11	0
4	11	0

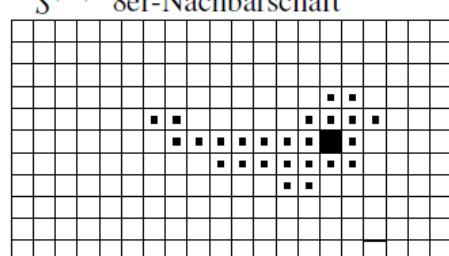
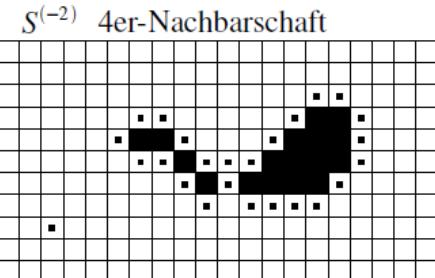
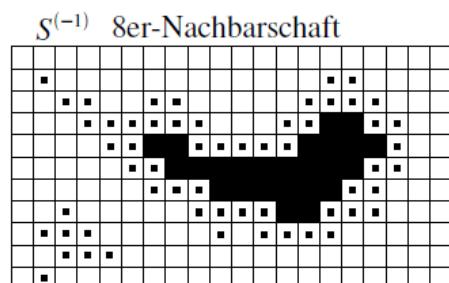
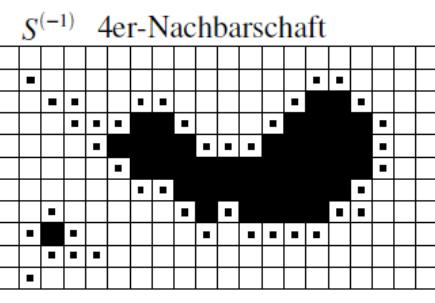


SHRINK – und EXPAND – Operatoren

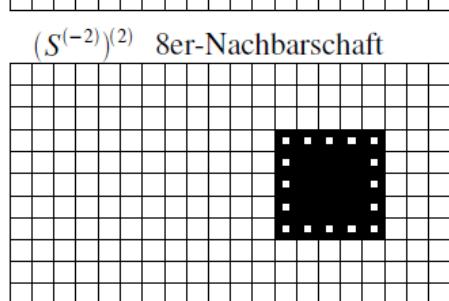
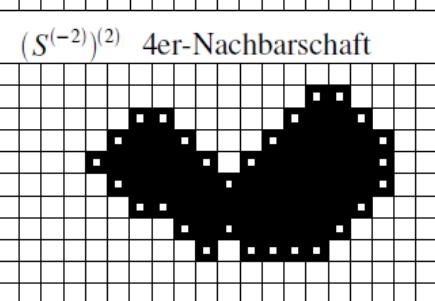
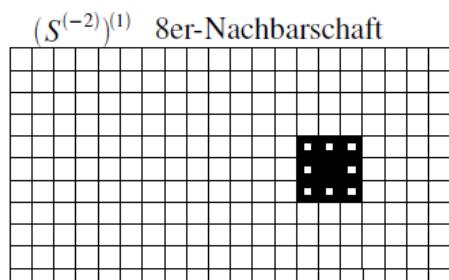
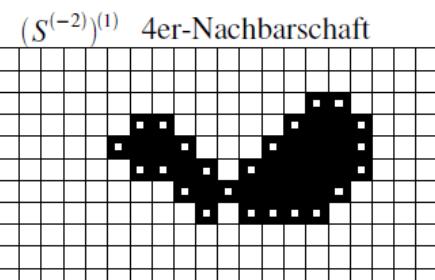
Originalmuster:



Shrink:

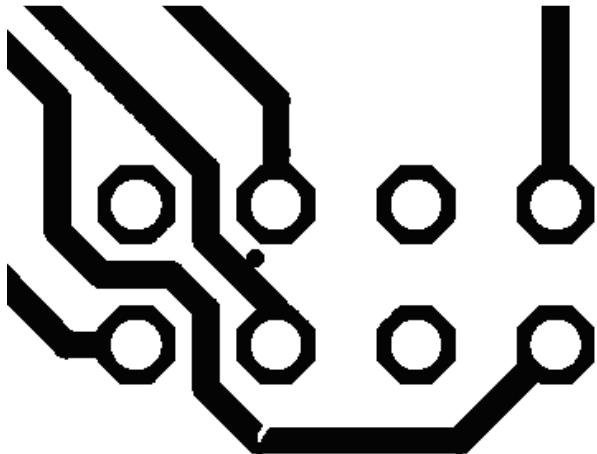


Expand:

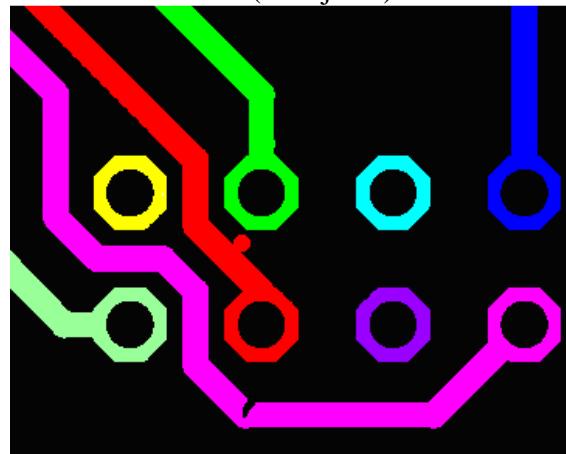


Anwendungsbeispiel EXPAND/SHRINK – Operator

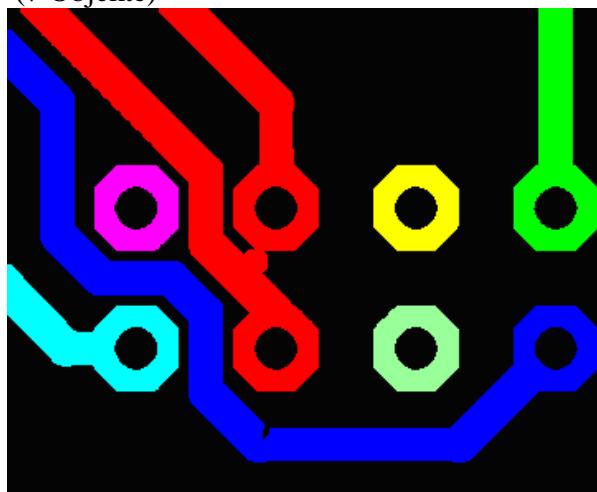
Platine mit Fehlern



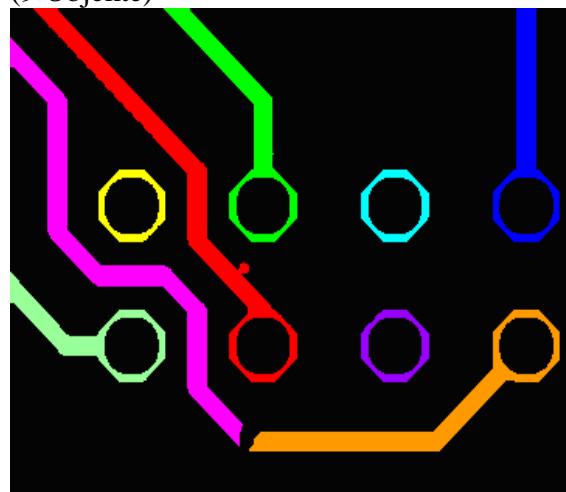
Etikettierte Platine (8 Objekte)



Etikettierte Platine nach Expand-Operator
(7 Objekte)

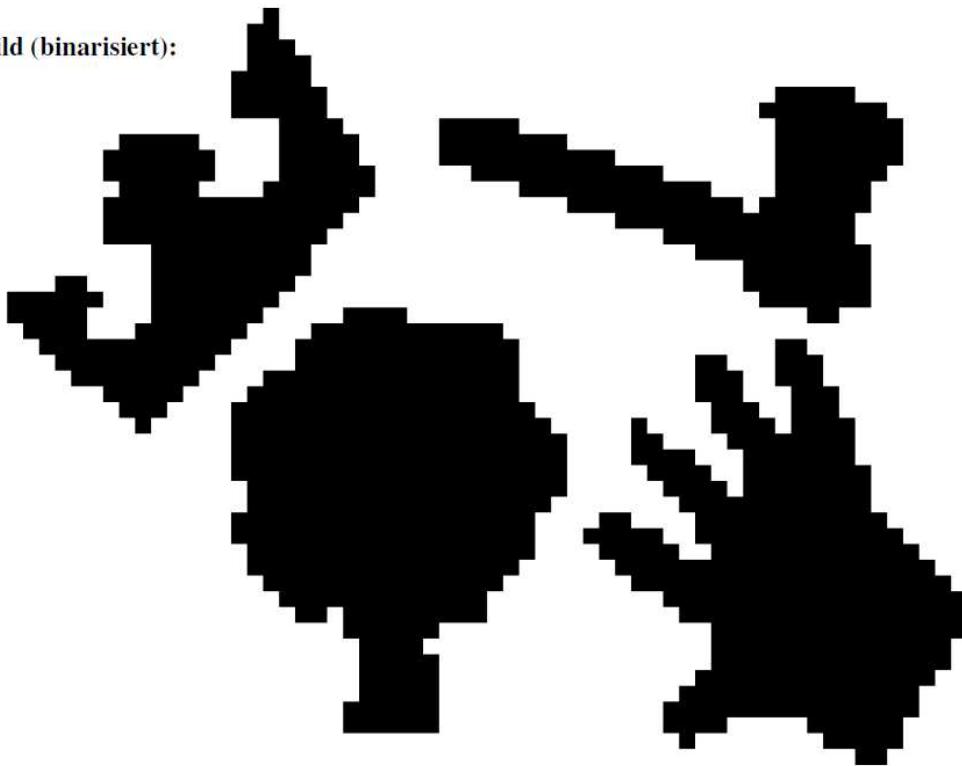


Etikettierter Platine nach Shrink-Operator
(9 Objekte)



Zur Etikettierung von Binärbildern

Originalbild (binarisiert):



etikettiertes Bild (Zwischenstufe):

Nachbarschaftstabelle:		
4	-	3
5	-	2
6	-	2
7	-	6 → 2
9	-	8
11	-	8
12	-	10
13	-	10
14	-	10

Bildbeschreibung mit Momenten

Gegeben: Diskretes Grau-/Binärbild $f(x, y)$ mit segmentierten Objektbereichen.

Verfahren: Berechne für jeden Objektbereich

$$m_{pg} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad \text{mit } p, q = 0, 1, 2, \dots$$

$(p + q)$ wird als Ordnung des Moments m_{pq} bezeichnet. Mit den beiden Flächenschwerpunkten $\bar{x} = m_{10} / m_{00}$ und $\bar{y} = m_{01} / m_{00}$ sind die Zentralmomente gegeben zu

$$\mu_{pg} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad \text{mit } p, q = 0, 1, 2, \dots$$

Die Zentralmomente sind invariant gegenüber Verschiebungen des Bildsignals im x,y-Koordinatensystem. Momente und Zentralmomente lassen sich ineinander umrechnen:

$$\begin{aligned} \mu_{00} &= m_{00} & \mu_{11} &= m_{11} - \bar{y}m_{10} \\ \mu_{10} &= 0 & \mu_{30} &= m_{30} - 3\bar{x}m_{20} + 2m_{10}\bar{x}^2 \\ \mu_{01} &= 0 & \mu_{12} &= m_{12} - 2\bar{y}m_{11} - \bar{x}m_{02} + 2\bar{y}^2m_{10} \\ \mu_{20} &= m_{20} - \bar{x}m_{10} & \mu_{21} &= m_{21} - 2\bar{x}m_{11} - \bar{y}m_{20} + 2\bar{x}^2m_{01} \\ \mu_{02} &= m_{02} - \bar{y}m_{01} & \mu_{03} &= m_{03} - 3\bar{y}m_{02} + 2\bar{y}^2m_{01} \end{aligned}$$

Die Position eines Objektes ist beispielsweise durch die Flächenschwerpunktkoordinaten (\bar{x}, \bar{y}) gegeben, die Orientierung durch

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right]$$

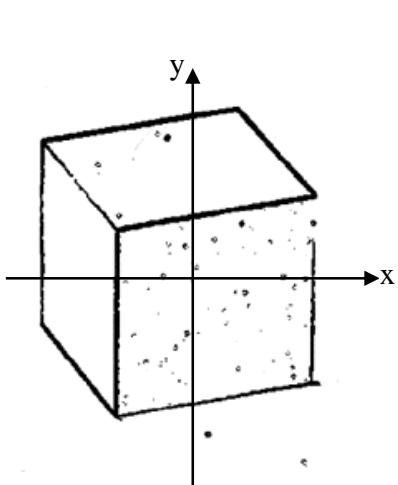
Die Normierung der Zentralmomente gemäß

$$\eta_{pq} = \mu_{pq} / \mu_{pq}^\gamma \quad \gamma = (p + q) / 2 + 1 \text{ und } p + q = 2, 3, \dots$$

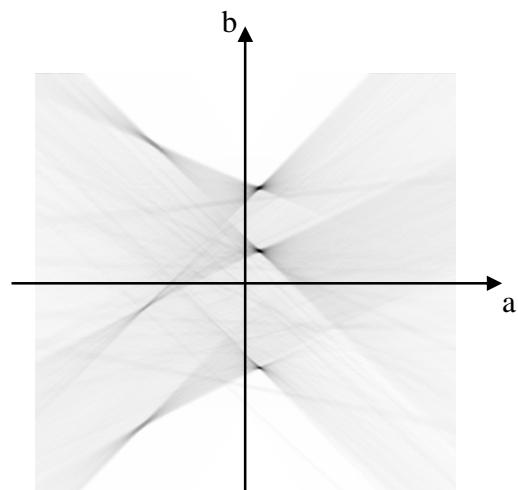
ergibt einen Satz von 7 gegenüber Verschiebungen, Drehungen und Größenänderungen invarianten Momenten:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2) + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \varphi_7 &= (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2) + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \end{aligned}$$

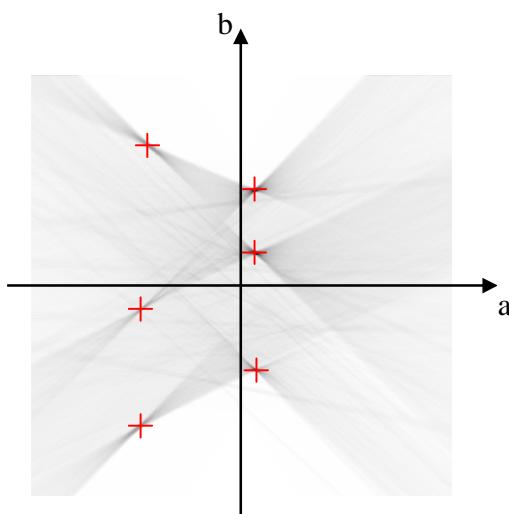
Zur Hough-Transformation durch Geradenakkumulation



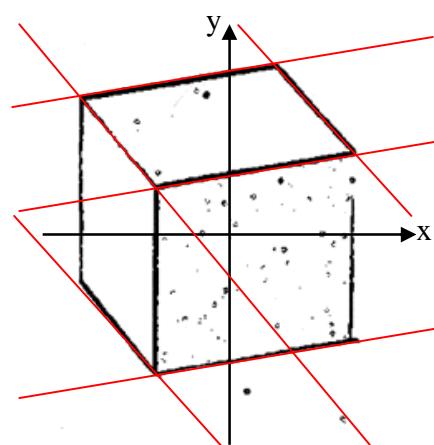
Binärer Gradient



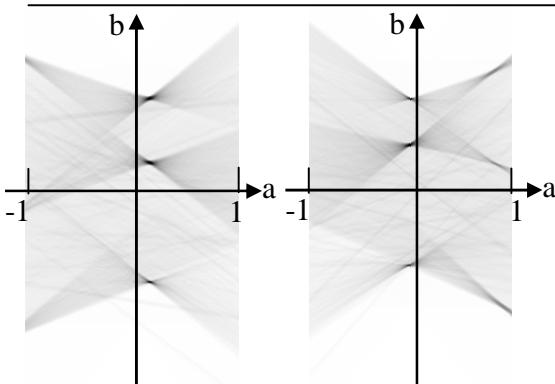
Hough Raum



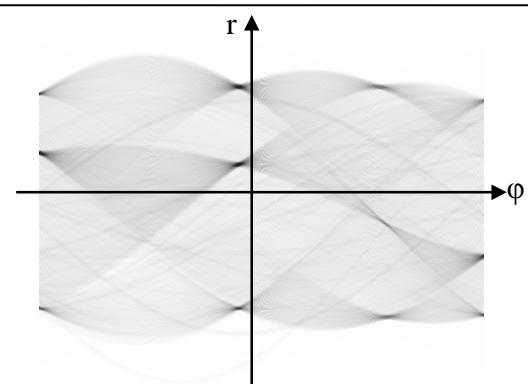
Cluster im Hough Raum



Korrespondierende Kanten im Bildraum

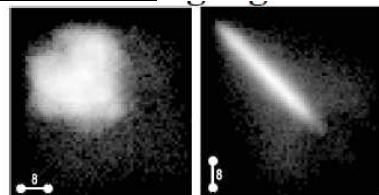


Twin Space

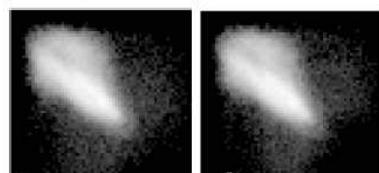


Hough Raum (Normalendarstellung)

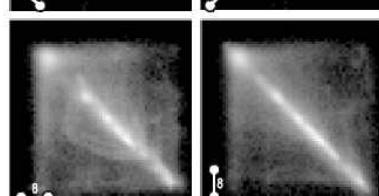
Grauwertübergangsmatrizen



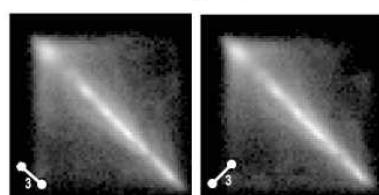
Kontrast	Kontrast
104	10
Homogenität	Homogenität
16	54



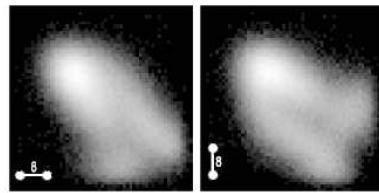
Kontrast	Kontrast
38	38
Homogenität	Homogenität
22	23



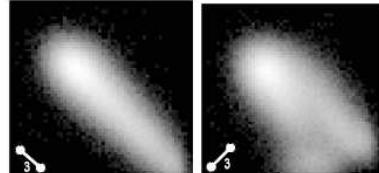
Kontrast	Kontrast
86	47
Homogenität	Homogenität
20	30



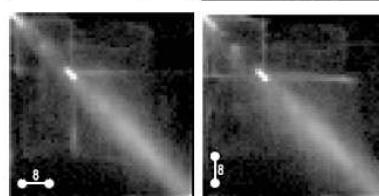
Kontrast	Kontrast
39	32
Homogenität	Homogenität
30	31



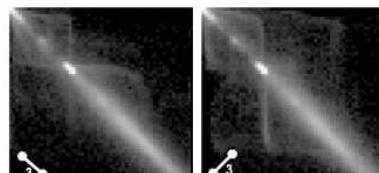
Kontrast	Kontrast
62	88
Homogenität	Homogenität
14	13



Kontrast	Kontrast
25	58
Homogenität	Homogenität
19	14



Kontrast	Kontrast
26	39
Homogenität	Homogenität
143	125



Kontrast	Kontrast
11	19
Homogenität	Homogenität
149	142