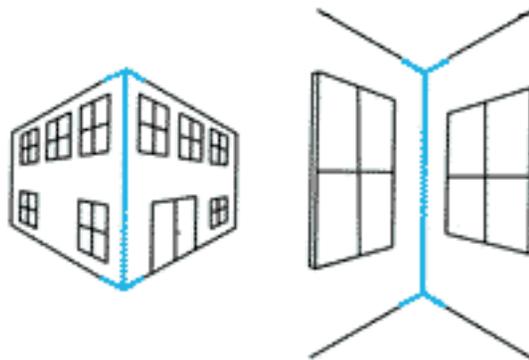


„Vom Pixel zum Objekt“

Überblick

- Optische Täuschungen
- Was sieht der Computer?
- Historischer Abriss
- BV-System
- Grundlagen
(Schnelldurchlauf)

Müller-Lyer Täuschungen

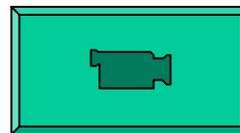
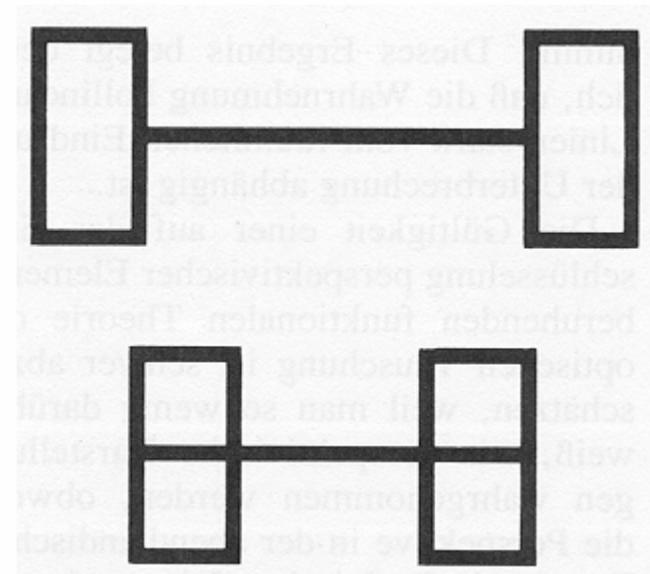
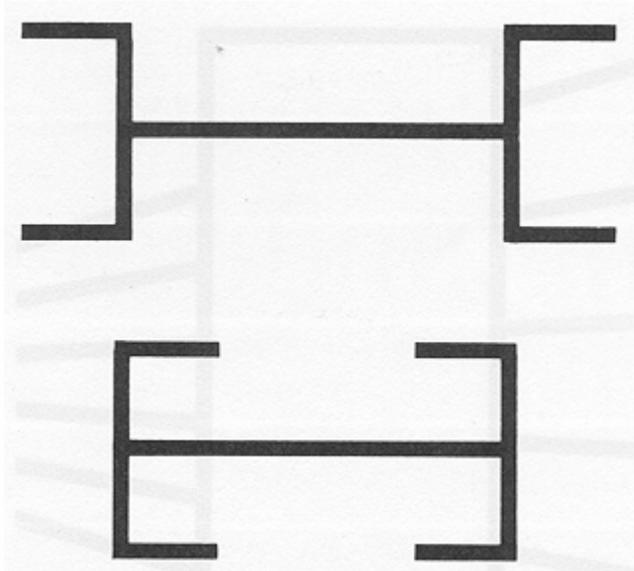


Größenkonstanz

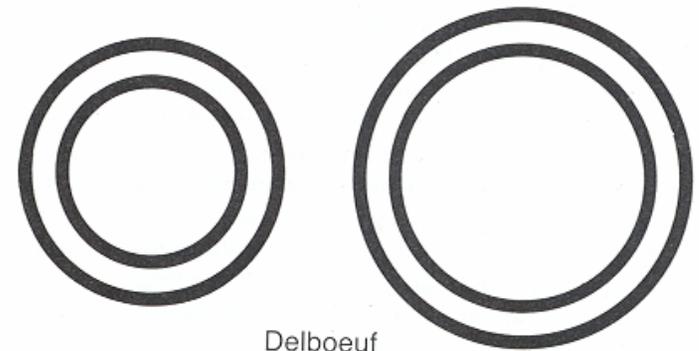
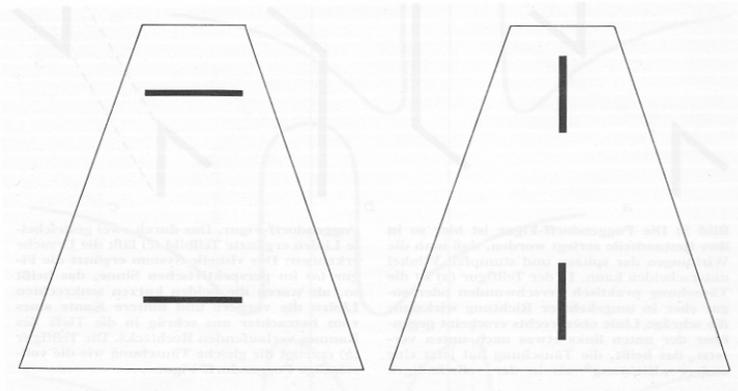
- auslösende & Test Komponente
- Täuschung betrifft Wahrnehmung und nicht das Denken
- Täuschungen entstehen nicht auf der Retina sondern erst nach den LGNs
- Sakkaden sind nicht beteiligt

Müller-Lyer Täuschungen

[Spektrum 87]

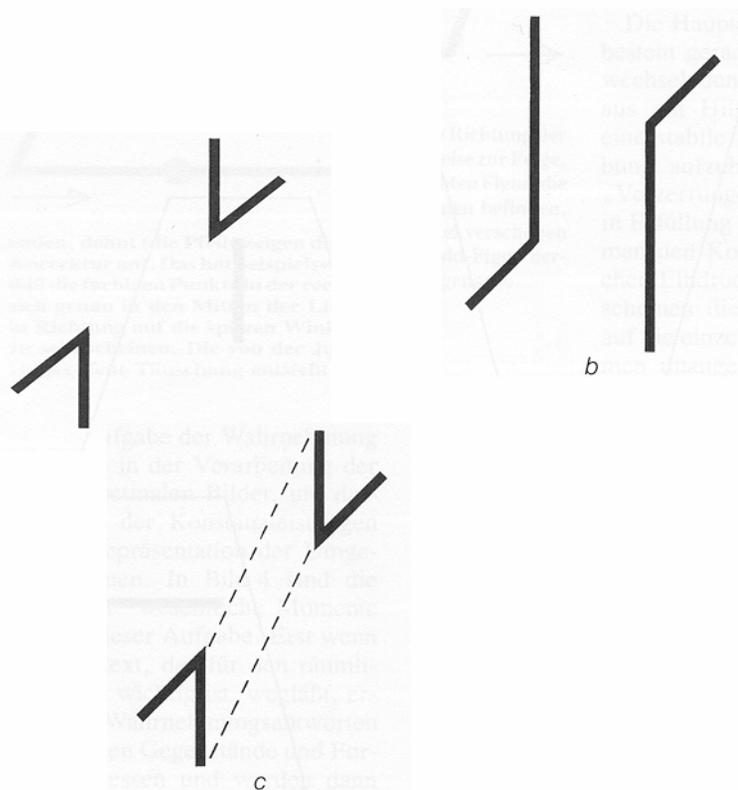


Größentäuschungen



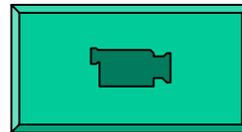
[Spektrum 87]

Poggendorf

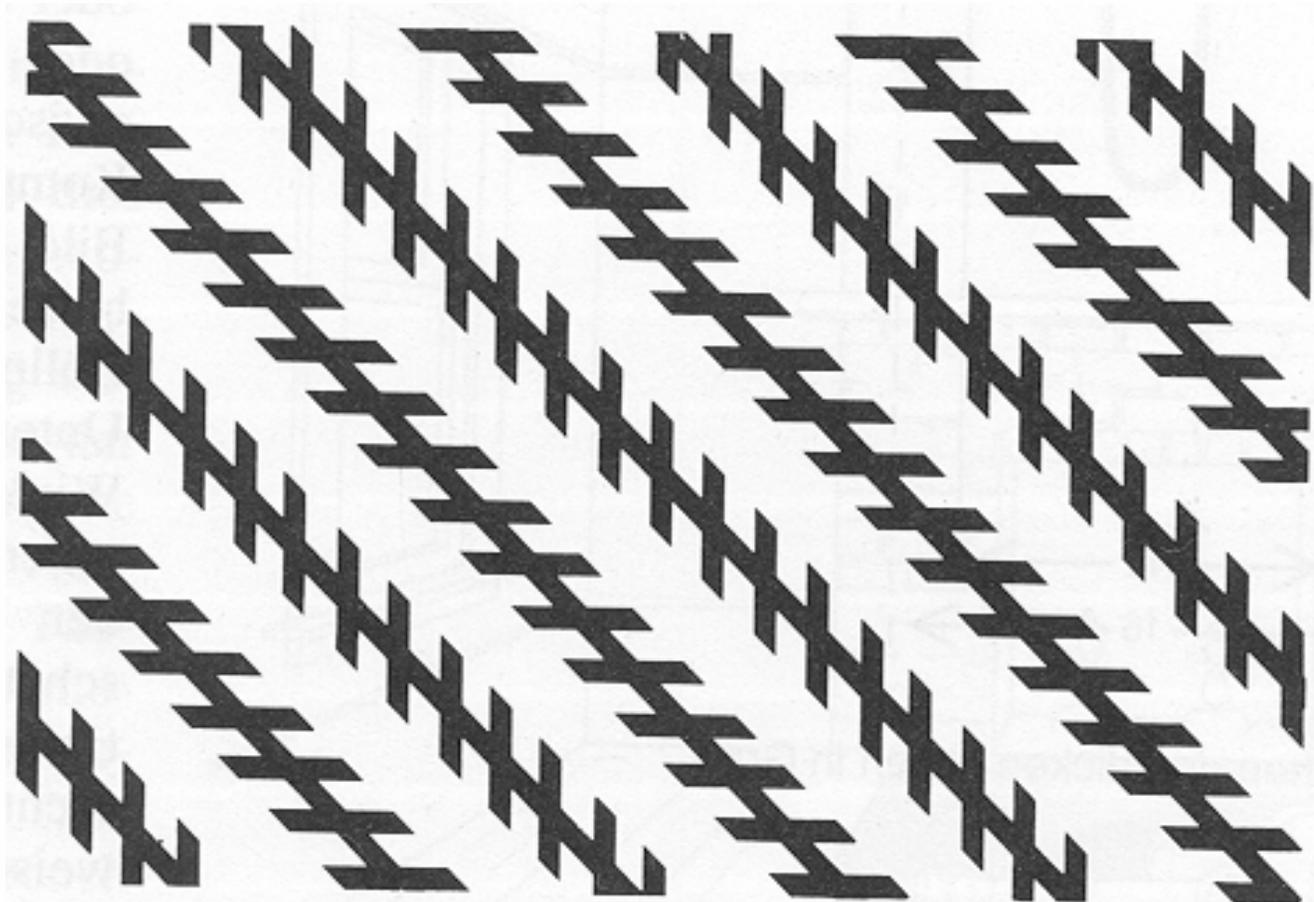


[Spektrum 87]

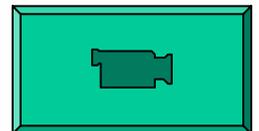
- Einfluss von spitzen und stumpfen Winkeln
- Perspektivische Ergänzung der Figur in a)
- In b) vollständige Täuschung



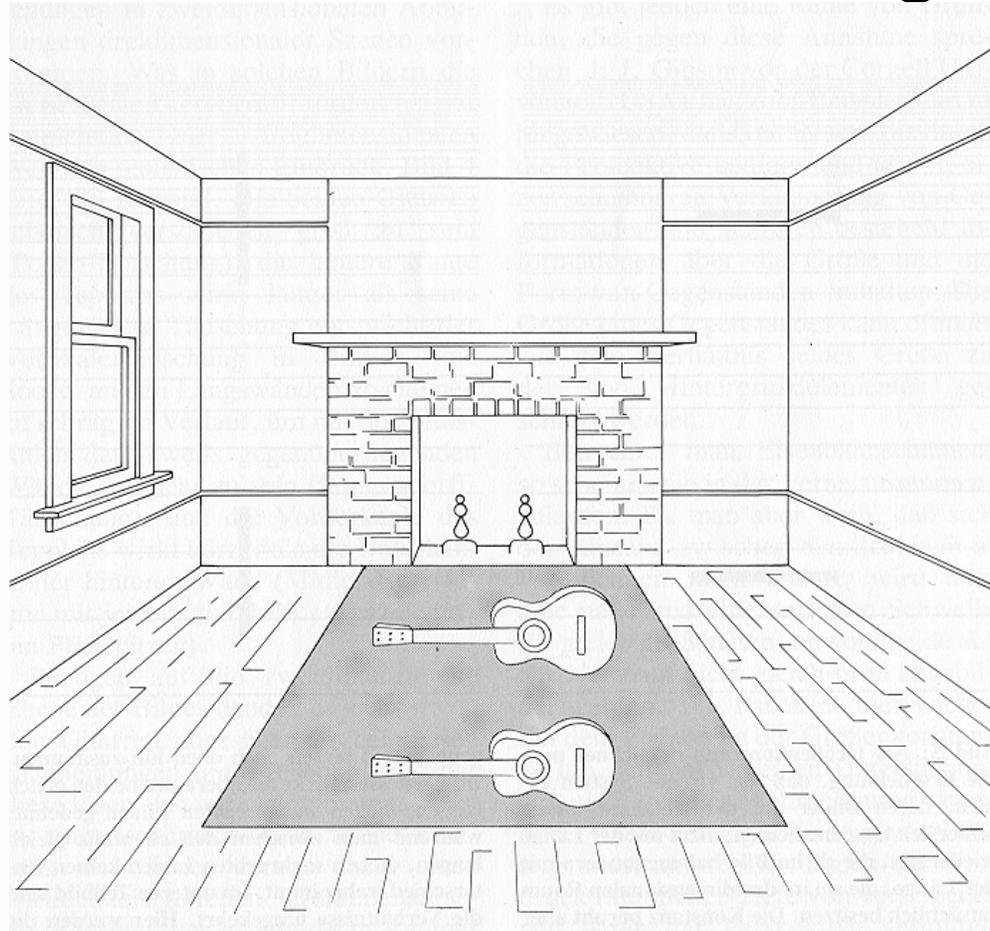
Zöllner



[Spektrum 87]



Raum mit 4 Täuschungen

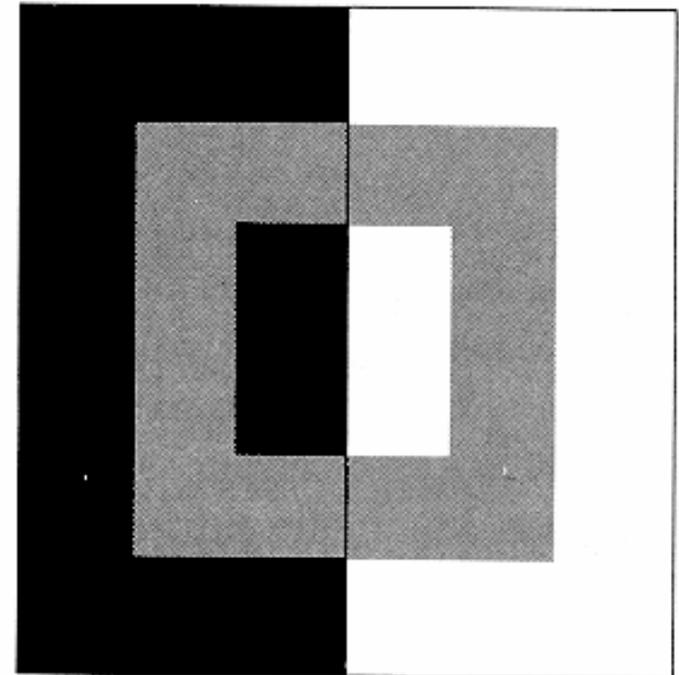
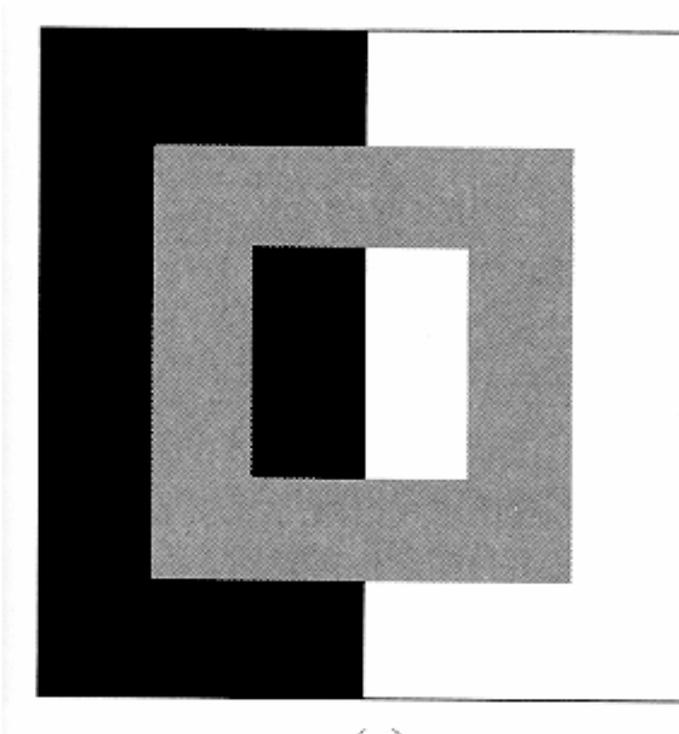


[Spektrum 87]

Hellikeitstäuschungen/Subjektive Konturen

Benussi-Ring

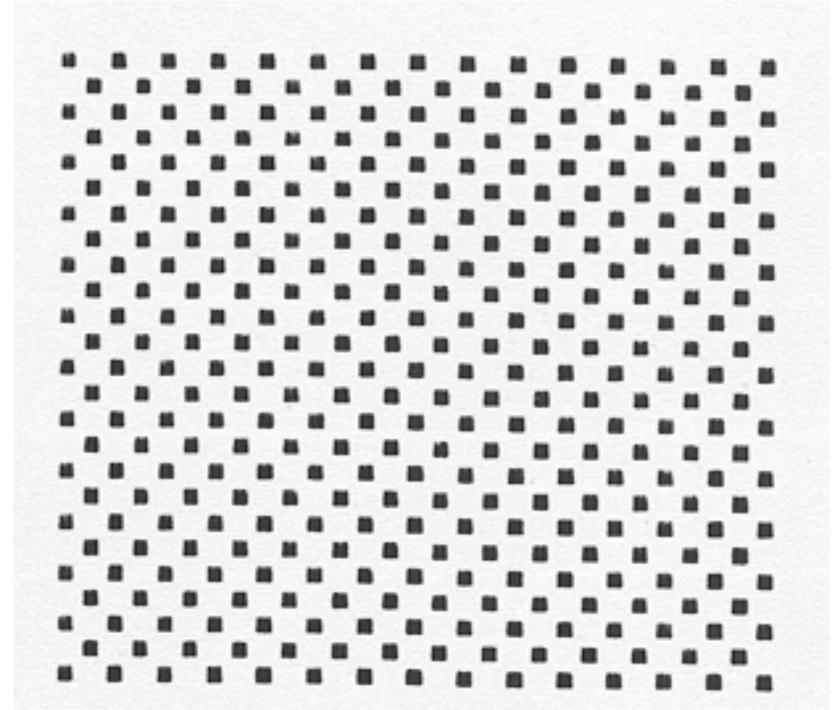
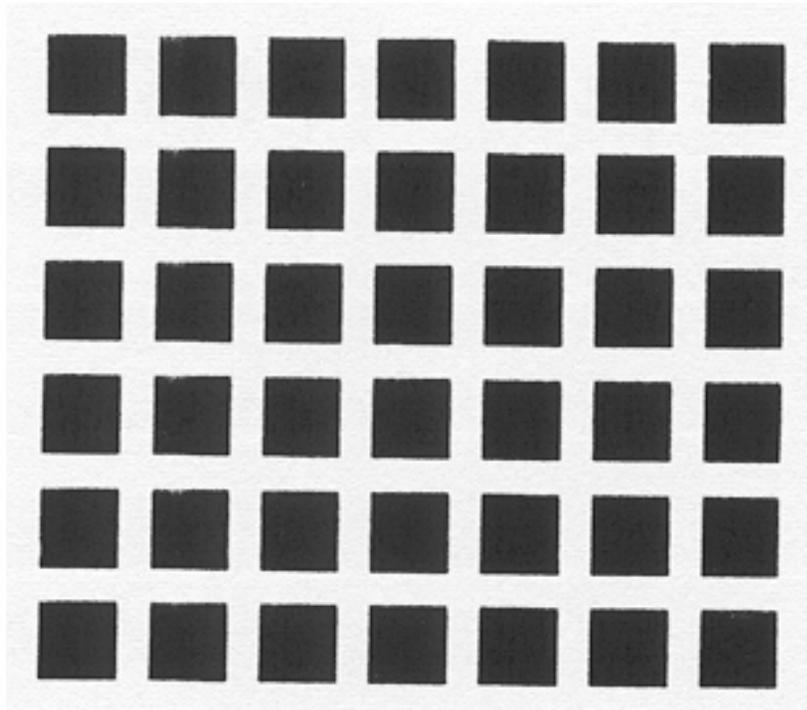
[Marr 82]



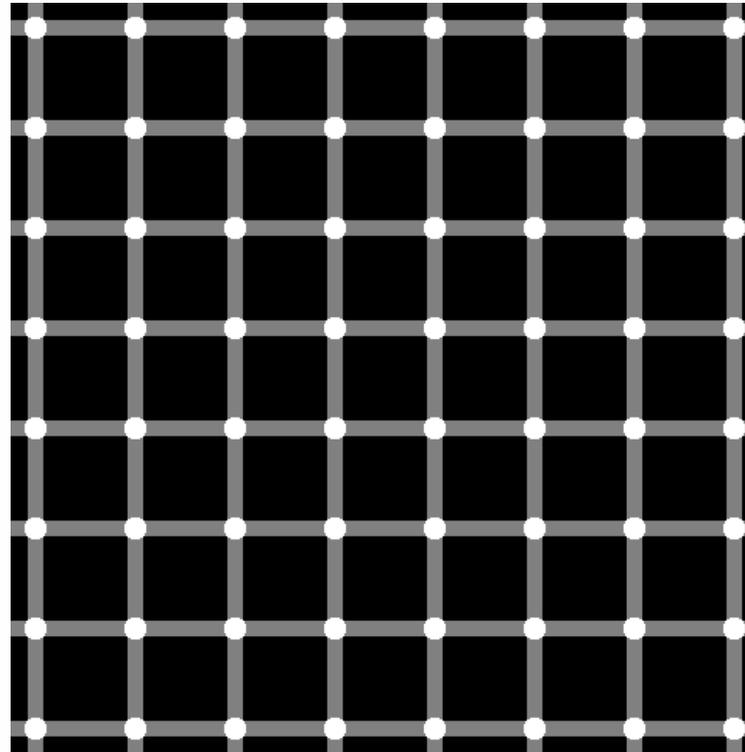
Hellikeitstauschungen/Subjektive Konturen

[Marr 82]

Hering-Gitter



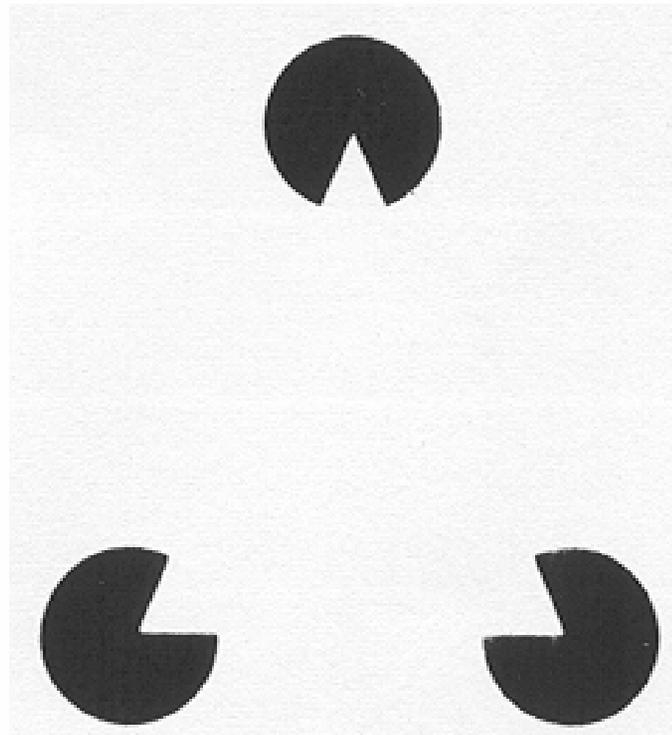
Hellikeitstauschungen/Subjektive Konturen



Hellikeitstauschungen/Subjektive Konturen

Kaniza-Figuren

[Marr 82]

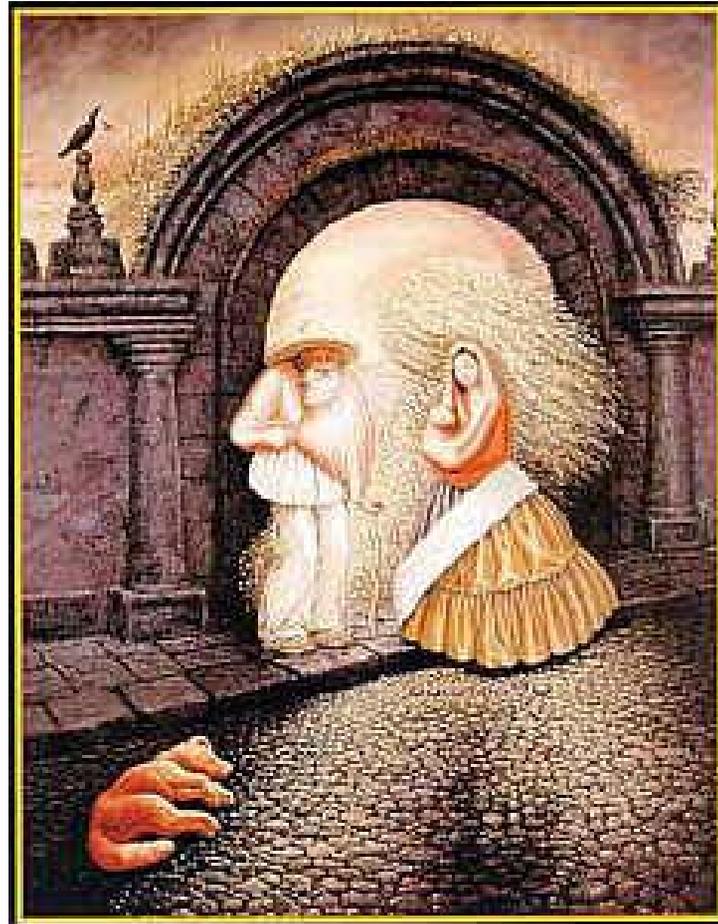


Subjektive Konturen/Objekte



[Marr 82]

Subjektive Konturen/Objekte

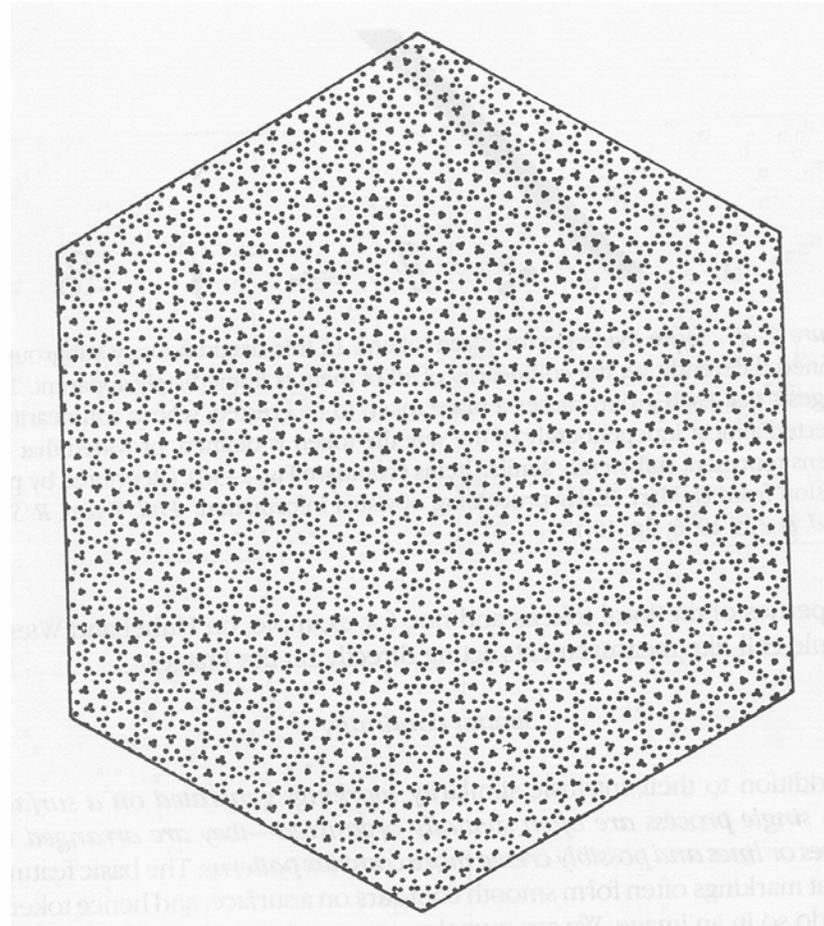


Subjektive Konturen/Objekte



<http://www.bnr-art.com/doolitt/foresteyes.htm>

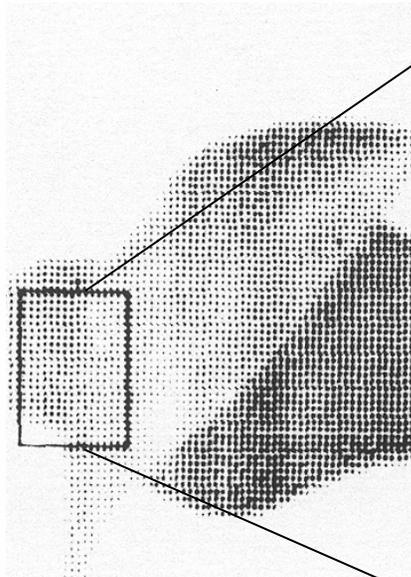
Aktive Gruppierungsprozesse



[Marr 82]

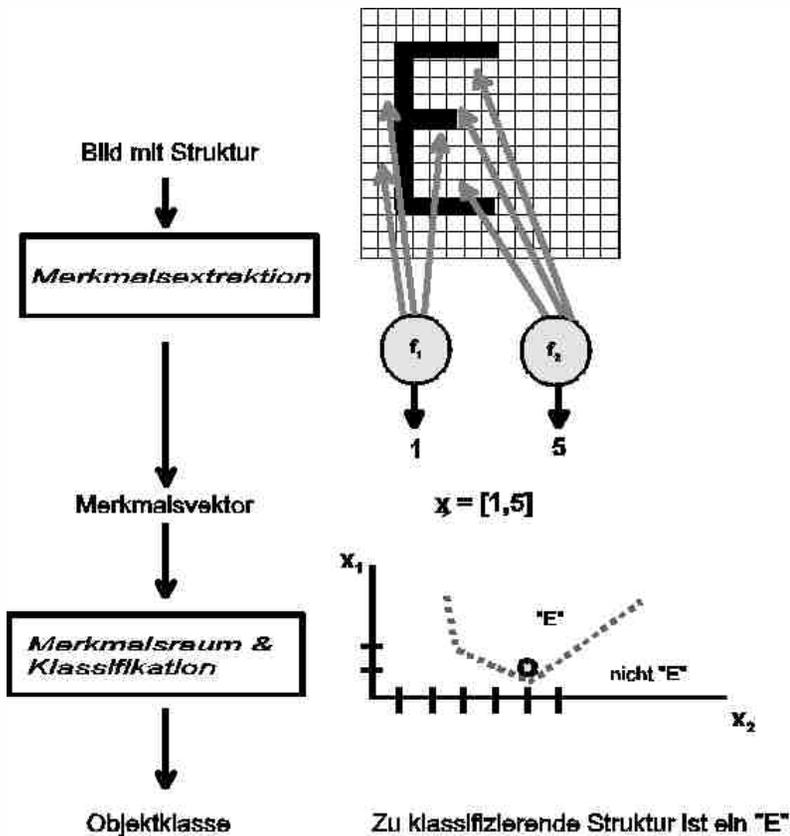
Was sieht der Rechner?

[Marr 82]



X =	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Y																
58	171	169	167	167	166	165	166	164	167	171	171	174	174	175	173	171
57	168	168	168	167	166	167	167	165	169	168	174	176	175	175	175	172
56	168	167	167	165	166	166	167	167	168	170	178	177	176	174	174	173
55	168	168	165	169	167	168	167	165	168	175	177	177	175	175	172	171
54	169	170	167	169	169	168	163	166	172	169	174	173	175	178	173	173
53	171	169	170	168	169	168	169	168	168	170	175	173	175	177	178	176
52	172	171	170	168	169	169	167	168	173	172	173	177	174	175	178	176
51	172	174	171	170	166	168	167	168	172	172	172	177	179	172	175	175
50	171	167	176	169	170	169	168	169	171	172	174	174	173	173	174	178
49	174	172	173	173	173	174	171	171	172	174	172	172	172	169	173	173
48	173	173	173	176	178	172	171	174	174	173	175	175	175	173	173	171
47	173	175	178	173	173	171	171	175	175	177	178	175	174	173	175	178
46	178	175	174	169	173	175	177	175	177	177	174	175	176	177	177	174
45	173	175	173	174	172	173	174	175	174	171	173	174	175	174	172	171
44	177	174	175	175	172	171	172	176	172	173	172	172	173	170	170	175
43	173	171	174	168	176	172	173	173	173	174	171	174	175	173	174	174
42	175	173	171	172	170	171	176	175	178	172	174	175	175	175	175	172
41	181	179	177	172	170	170	169	179	175	174	175	174	172	175	174	175
40	188	184	179	178	176	176	176	174	172	178	172	174	173	172	174	173
39	195	191	188	186	185	183	180	177	178	175	174	176	175	174	176	176
38	200	199	197	193	190	187	185	180	176	175	180	177	175	175	176	177
37	202	202	199	202	199	194	187	180	175	179	177	176	174	175	176	173

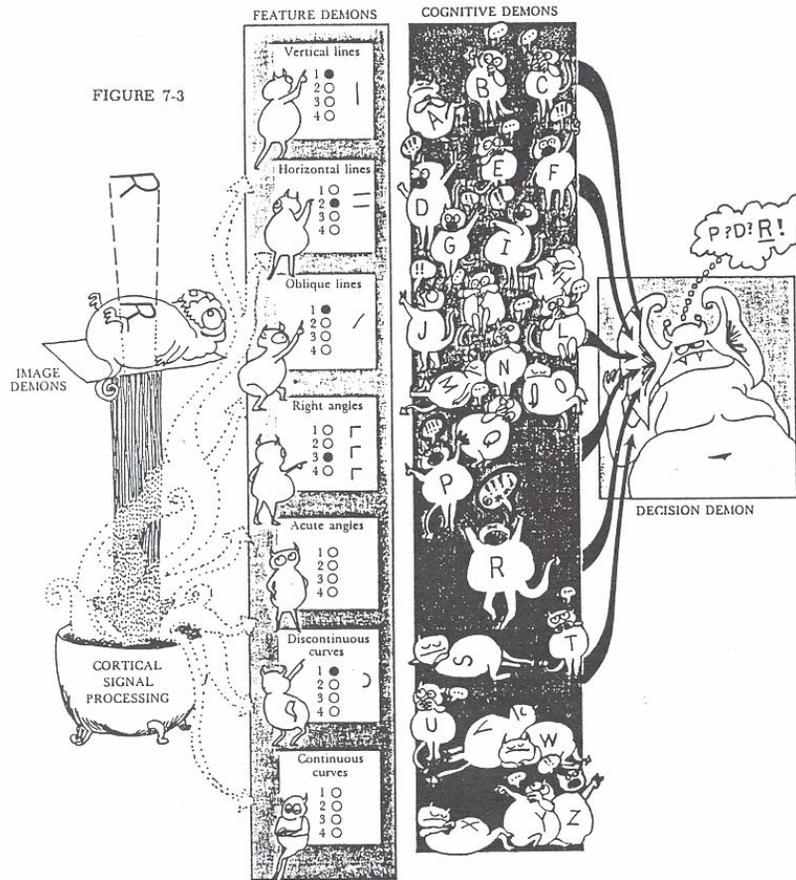
Historischer Abriss Ia



Nach [Neumann 95]

- Selfridge's Vision: „Augen und Ohren für den Rechner“ (1955)
- Zeichenerkennung
- Paradigma der Mustererkennung

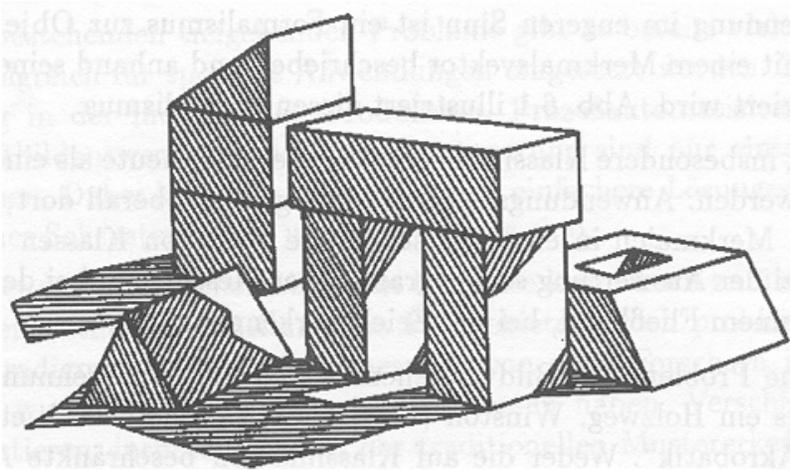
Historischer Abriss Ib



➤ Selfridge's
Pandämonium 1958

[Lindsay & Norman 77]

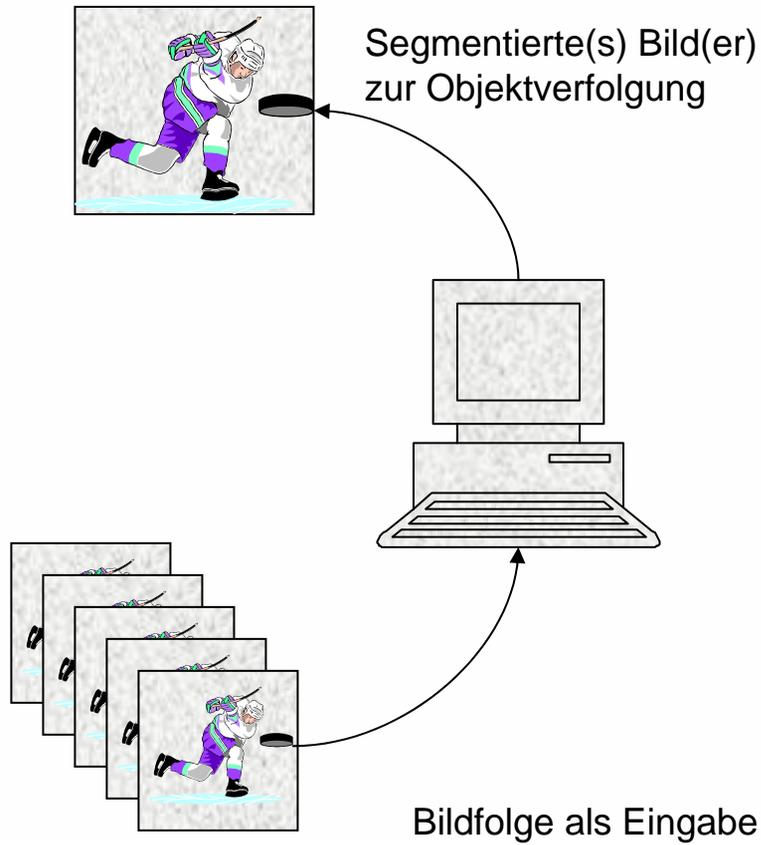
Historischer Abriss II



[Waltz 75]

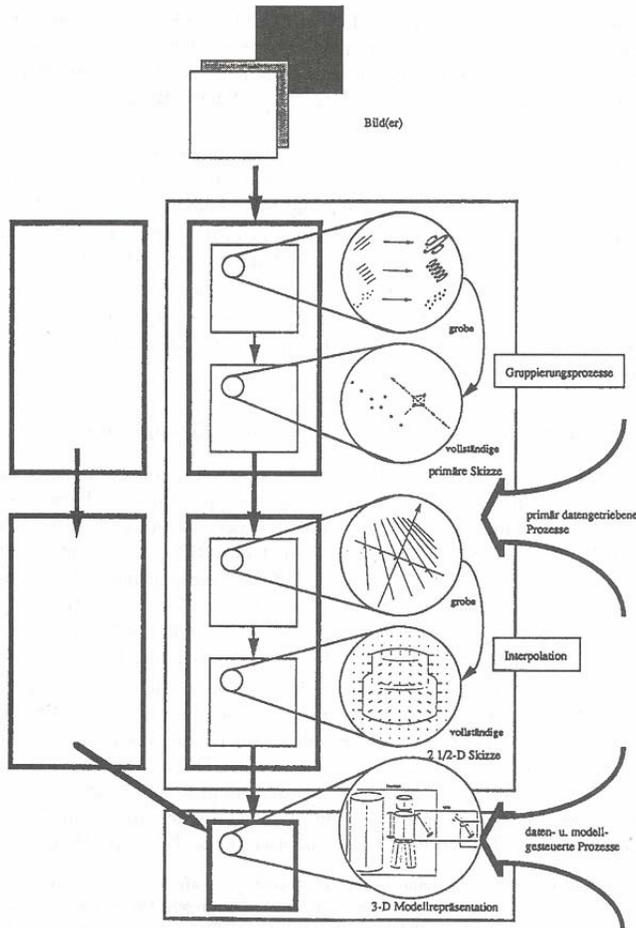
- Roberts: Analyse von Polyederszenen (1965)
- Blockswelt
- Paradigmenwechsel von der Klassifikation hin zur Geometrie (Objekterkennung -> Objektbeschreibung)
- Waltz (1975) Beschreibungsverfahren

Historischer Abriss III



- Mitte der 70er Analyse von Bildfolgen aufgrund verbesserter Hardware
- Zunächst Segmentierung
- Erst allmählich die Einsicht, dass zeitlicher Kontext Unterstützung für viele Beschreibungsebenen liefern kann
- Realweltszenen

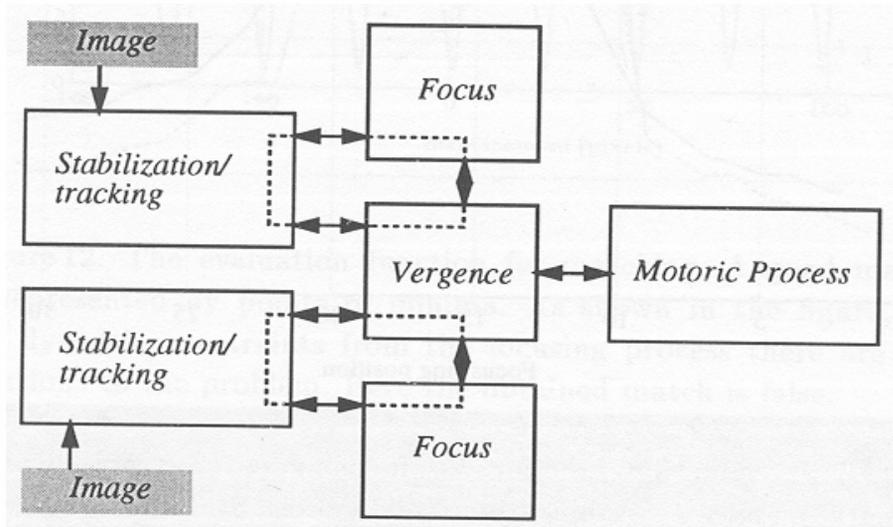
Historischer Abriss IV



- Marr: kognitiv orientierte und biologisch inspirierte hierarchische (Rahmen-) Architektur für Sehsysteme (1982)
- Interdisziplinarität

[Goerz 95/Marr 82]

Historischer Abriss V



[Aloimonos 93]

- Seit Anfang der 90er: Modellierung eines Sehsystems als *aktiv* handelnder Agent
- Active vision/ - perception (Bajcsy, 1988)
- Zielgerichtete Steuerung einzelner Verarbeitungsprozesse
- Konnektionismus

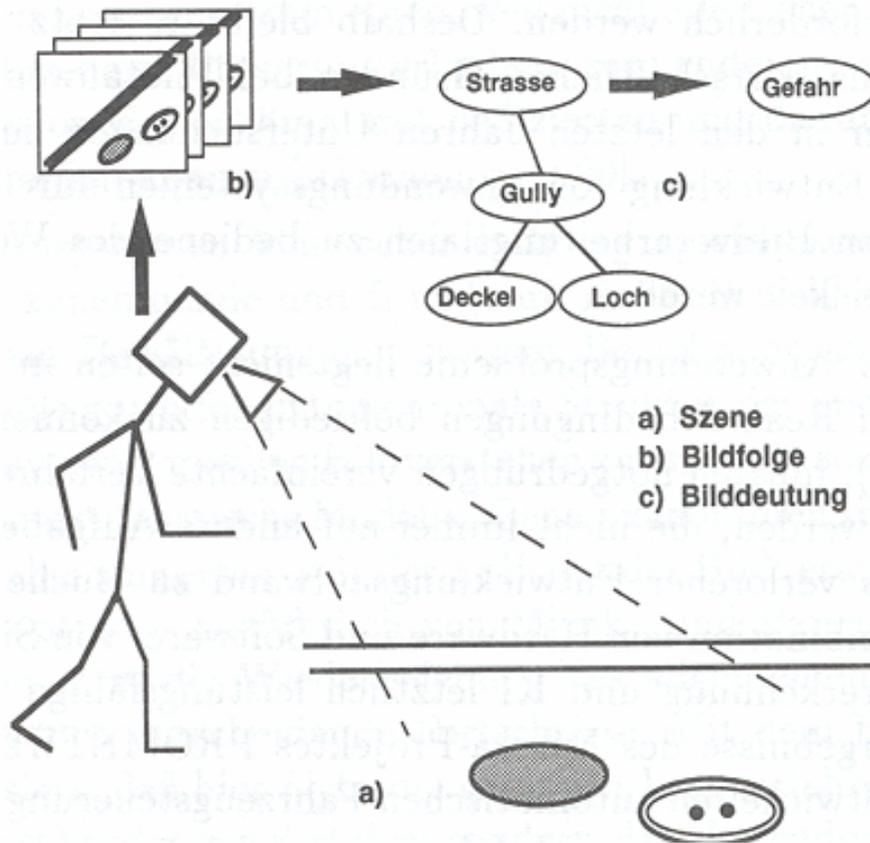
Ziele des Bildverstehens

Rekonstruktion und Deutung einer Szene anhand von Bildern

Zutaten zum Bildverstehen

- Physikalische Objekte einer Szene
 - Baum, Haus, Stuhl, Straße, Gully, Deckel, Loch,...
- Bilder der Szene (als Eingabe)
 - Bildfolge, Einzelbild,... (je nach bildgebendem Verfahren)
- Computerinterne Beschreibung der Szene (als Ausgabe)
 - Merkmalsvektor → komplexen Objekt- und/oder Szenenbeschreibung („is-a“- oder „part-of“-Hierarchien, Ontologien, CAD-Modelle,...)

Ziele des Bildverstehens



[Neumann 95]

Frei nach Marr:
„Wo ist was“

Wo: Rekonstruktion der
Szenengeometrie
(räumlich-zeitliche
Information)

Was: Deutung des
Szeneninhaltes
(insbesondere:
Objekterkennung)

Definition: Bildverstehen

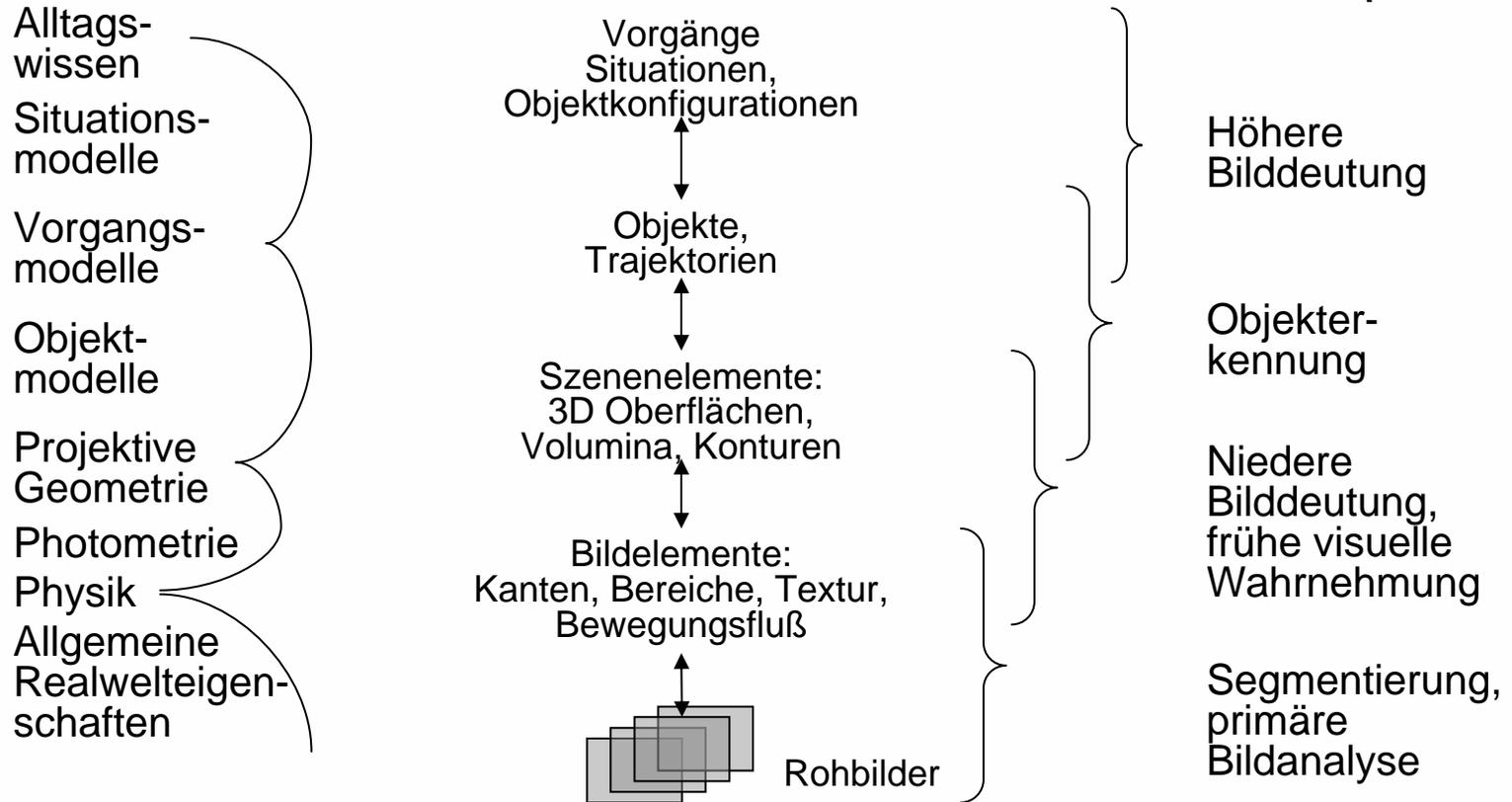
[Neumann 95]

„Bildverstehen ist die Rekonstruktion und Deutung einer Szene anhand von Bildern, so dass mindestens eine der folgende operationalen Leistungen erbracht werden kann:

- Ausgabe einer sprachlichen Szenenbeschreibung
- Beantworten sprachlicher Anfragen bezüglich der Szene
- kollisionsfreies Navigieren eines Roboters
- planmäßiges Greifen und Manipulieren von Objekten in der Szene“

Konzeptueller Rahmen eines Bildverstehenden Systems

Nach [Neumann 95]



BV-System

- **Bilderfassung**
 - Kamera, Satelliten, NMR/CT,...
- **Vorverarbeitung**
 - Rauschunterdrückung, Kontrastverstärkung,...
- **Segmentierung**
 - Konturen, Flächen,...
- **Merkmalsextraktion**
 - Kettencode, Umfang, Schwerpunkt, Farbe,...
- **Klassifikation**
 - Objekterkennung, Einteilung in Klassen, ...

Wann passiert was? (vorläufiger Plan)

Vorlesung am	Inhalt
7.4.05	Einleitung/Motivation/Grundlagen
14.4.05	Binärbildverarbeitung
21.4.05	Vorverarbeitung
28.4.05	Kanten
5.5.05	Himmelfahrt
12.5.05	Textur
19.5.05	Segmentierung
26.5.05	Fronleichenam
3.6.05	Klassifikation
10.6.05	Audio
17.6.05	Abschlussveranstaltung
23.6.05	Klausur

Literatur und Link(s)

- W. Abmayr:** *Einführung in die digitale Bildverarbeitung*. B.G. Teubner, 1994
- B. Jähne:** *Digitale Bildverarbeitung*. Springer-Verlag, 1989 (auch spätere Auflagen erhältlich)
- B. Jähne, H. Haußecker & P. Geißler:** *Handbook of Computer Vision and Application*, Academic Press, 1999
- D. H. Ballard & C. M. Brown:** *Computer Vision*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1982
- F. Wahl:** *Digitale Bildsignalverarbeitung*, Springer-Verlag, 1989
- Th. Hermes:** *Digitale Bildverarbeitung*. Hanser, 2004

<http://www.tzi.de/~hermes/>

Grundlagen BV - Überblick

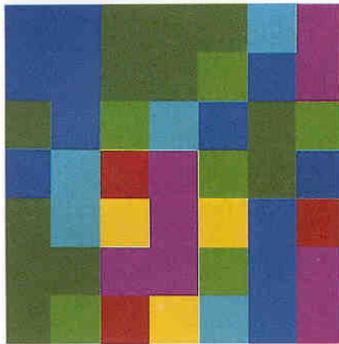
- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
- Vorverarbeitung
- Segmentierung
- Merkmalsextraktion
- Klassifikation

Bilderfassung

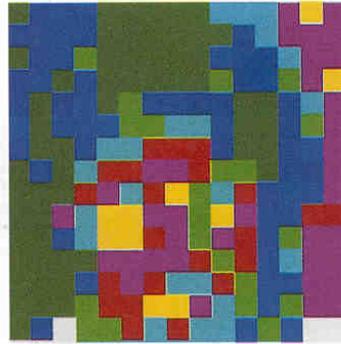
- Bilderfassung
 - auch Bildcodierung
 - Quantisierung der Ortskoordinaten und (Diskretisierung) der Intensitätswerte (Projektion von 3D auf 2D -> Informationsverlust)
 - I.d.R. Zahlenmatrix, die vom Rechner ausgewertet werden kann
 - Zahlenmatrix muss wesentliche Information des Originalbildes zur Interpretation enthalten
 - Form, Struktur, Farbe, Detailinformation, ...
 - „Äquivalent zum Ausgangsbild“

- Vielfalt an bildgebenden Verfahren

Bilderfassung



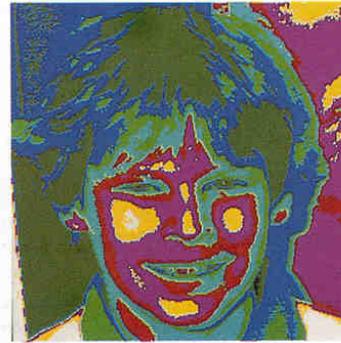
(A)



(B)



(C)



(D)

- Quantisierung der Ortskoordinaten
- Digitalisierung ist die Rasterung des Bildes auf 2D-Bildmatrix

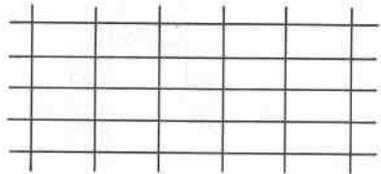
$$g(x_1, x_2) \xrightarrow{D} g_{m,n}$$

$$x_1, x_2 \in R \quad m, n \in N$$

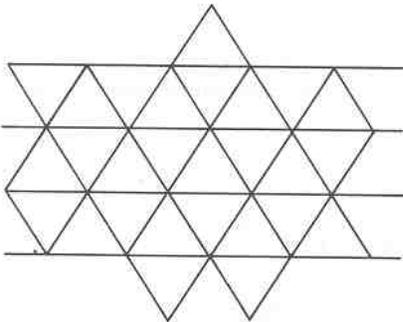
- Größe des Rasters hat wesentlichen Einfluss auf Detailgenauigkeit
- N Spalten und M Zeilen und m Zeilenindex sowie n Spaltenindex

[Abmayr 1994], S. 289

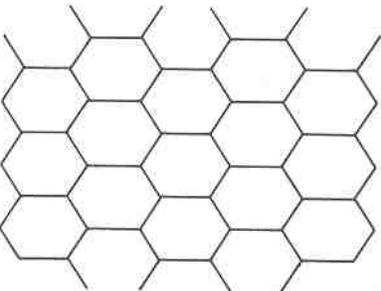
Bilderfassung



(a)



(b)



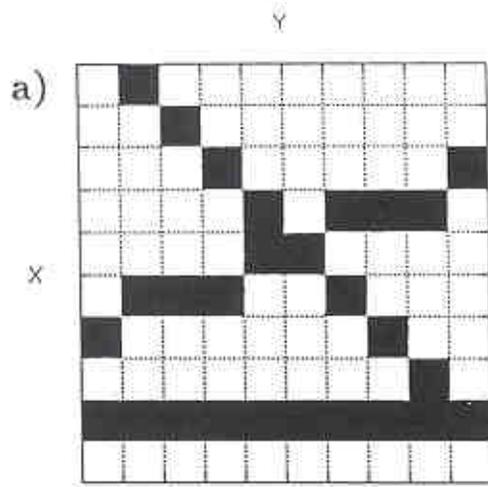
(c)

➤ Tessellation: Rasterung/Nachbarschaften

- rechteckig
- dreieckig
- hexagonal
- ...

[Ballard & Brown 82], S. 39

Bilderfassung



[Jähne 91], S. 40

- Problem (nicht nur) gerader Linien
- Drehungen nur um bestimmte Winkel möglich, z.B.:
 - rechteckig:
Vielfaches von 90°
 - hexagonal:
Vielfaches von 60°

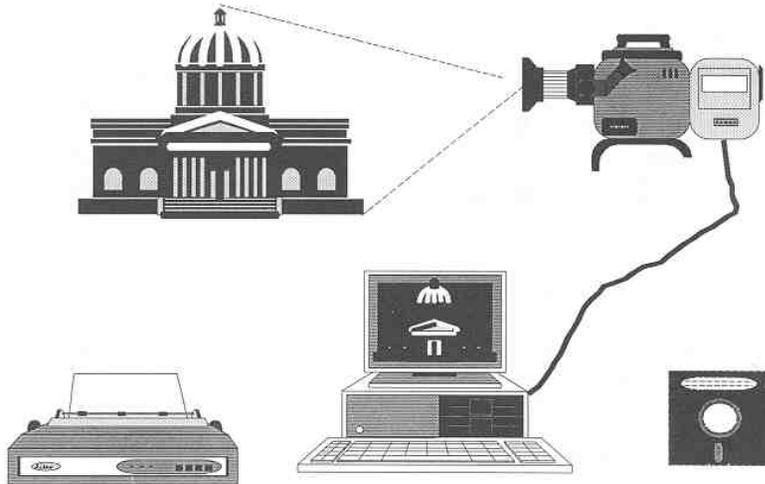
Bilderfassung



- Auch die Anzahl der Bits pro Pixel bestimmt Detailgenauigkeit
- „contouring“ bei geringer Anzahl

[Ballard & Brown 82], S. 38

Bildgebende Verfahren



[Abmayr 1994], S. 12

- Fotografie
- Ultraschall
- Röntgen/DIE(PHASY)
- CT/NMR
- Laserkamera
- Satellitenbilder
- Scanner
- ...

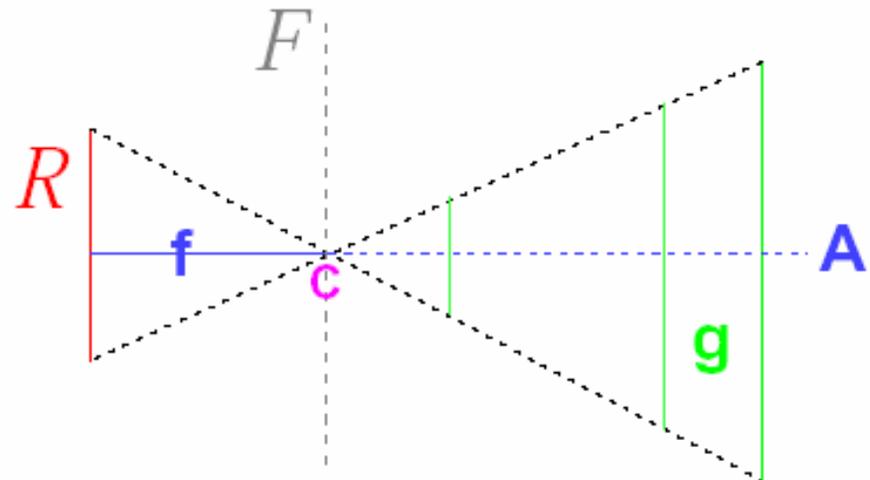
Gewinnung von Bildinformationen

- Passive „Sensoren“
 - Fotokamera
 - Digitalkamera
- Aktive „Sensoren“
 - Lauflängenverfahren
 - z.B. EBK, Ultraschall, Radar, Sonar
 - Strukturiertes Licht

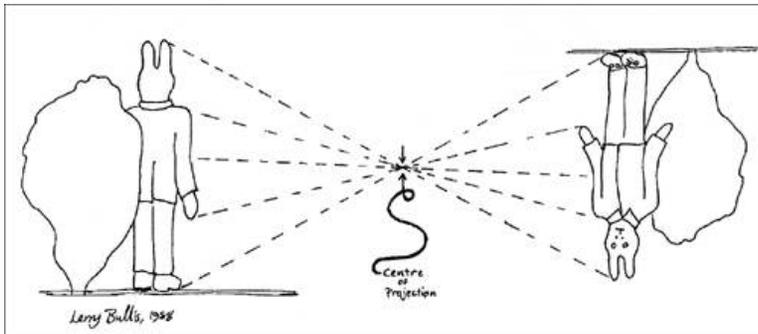
Lochkameramodell

Approximation der
Abbildungsfunktion moderner
Kamera-Linsensysteme

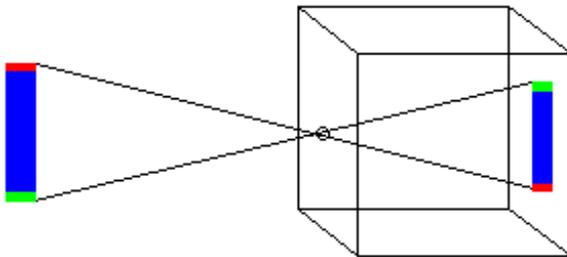
- A** Optische Achse
- C** Optisches Kamerazentrum
- R** Bildebene
- F** Fokalebene
- f** Brennweite
- g** Gegenstandshöhe



Bildgebende Verfahren



<http://www.bingo-ev.de/~db106/faq.htm#BM1>



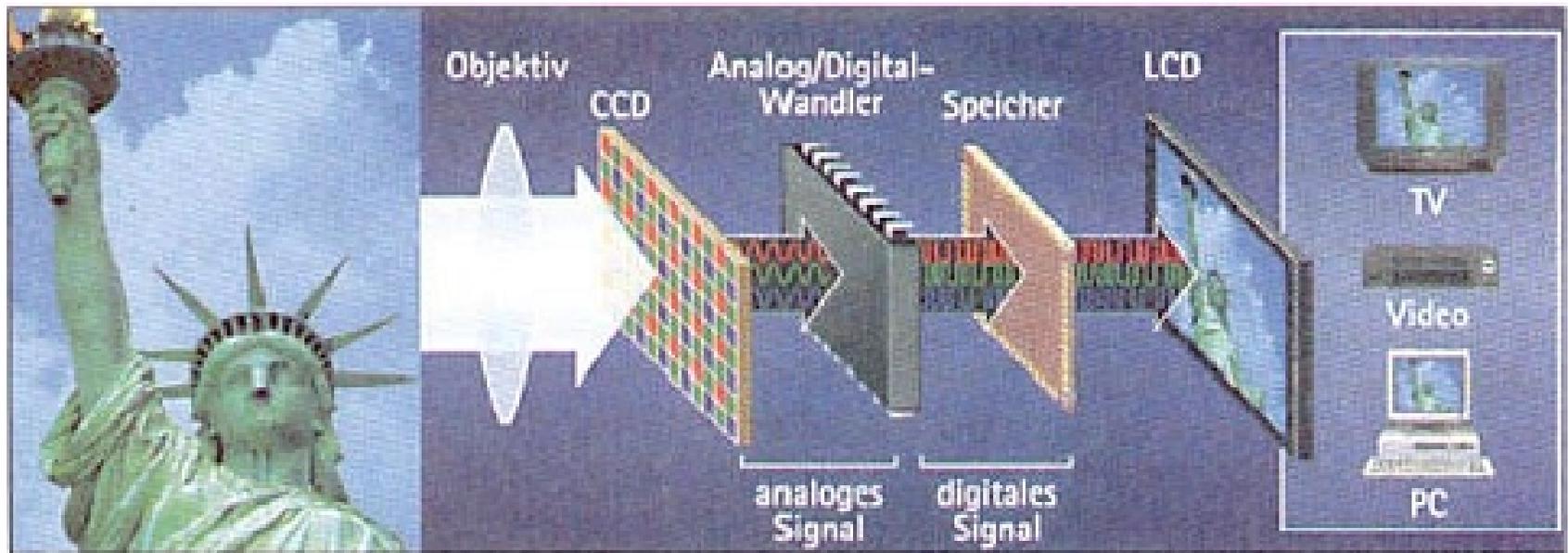
<http://users.hol.gr/~dsathen/d/projekte/optik/fotoapp/lochk.htm>

Fotografie

- Hohe Auflösung
- (beinahe) beliebige Brennweiten
- kostengünstig
- Aufwendige Entwicklung
- => Digitalkameras

Bildgebende Verfahren

Digitalkamera



<http://www.burg-halle.de/~albrecht/burg/Vorlesung/DigitaleBilder/sld019.htm>

Bildgebende Verfahren

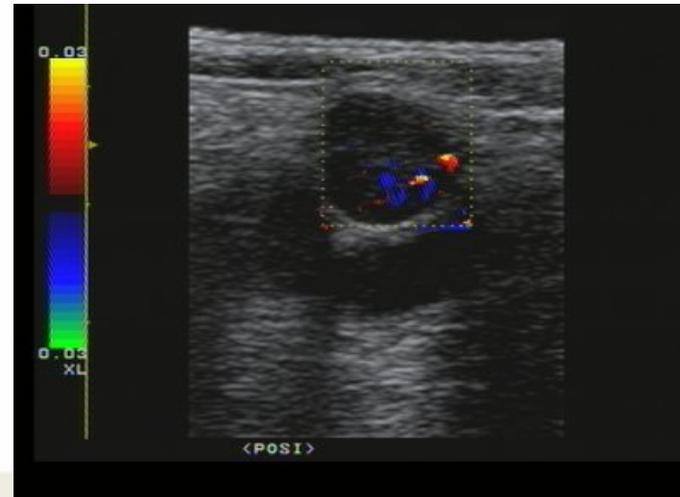
Ultraschall



- Keine Strahlenbelastung
- Schmerzlos / nicht invasiv
- hohe Ortsauflösung (mod. Geräte)

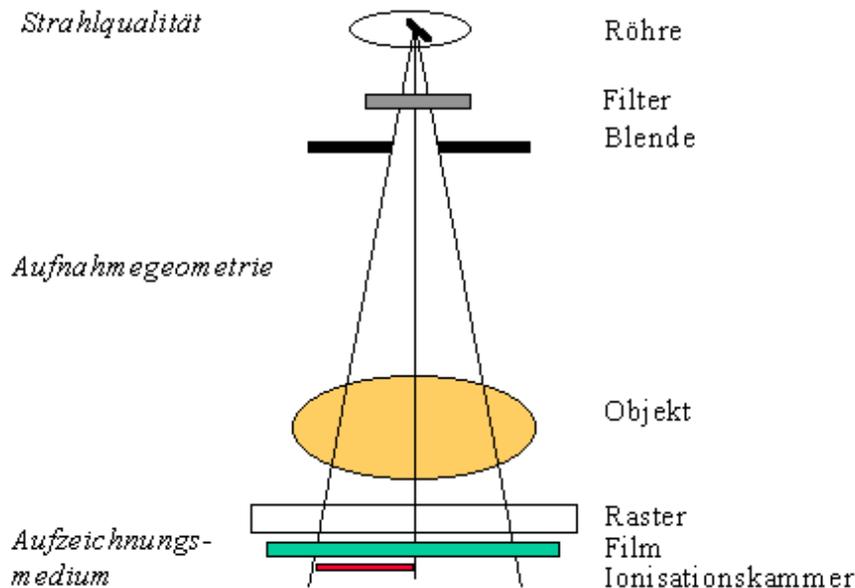
<http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/Ultraschall.html>

- Klinische Diagnostik
- Aussagen über
 - Gewebestrukturen und -veränderungen (Vorhandensein von Flüssigkeiten)
 - Organabmessungen (Lage und Veränderungen)
 - Bewegungs- und Funktionsabläufe und Blutströmungen



Bildgebende Verfahren

Röntgen

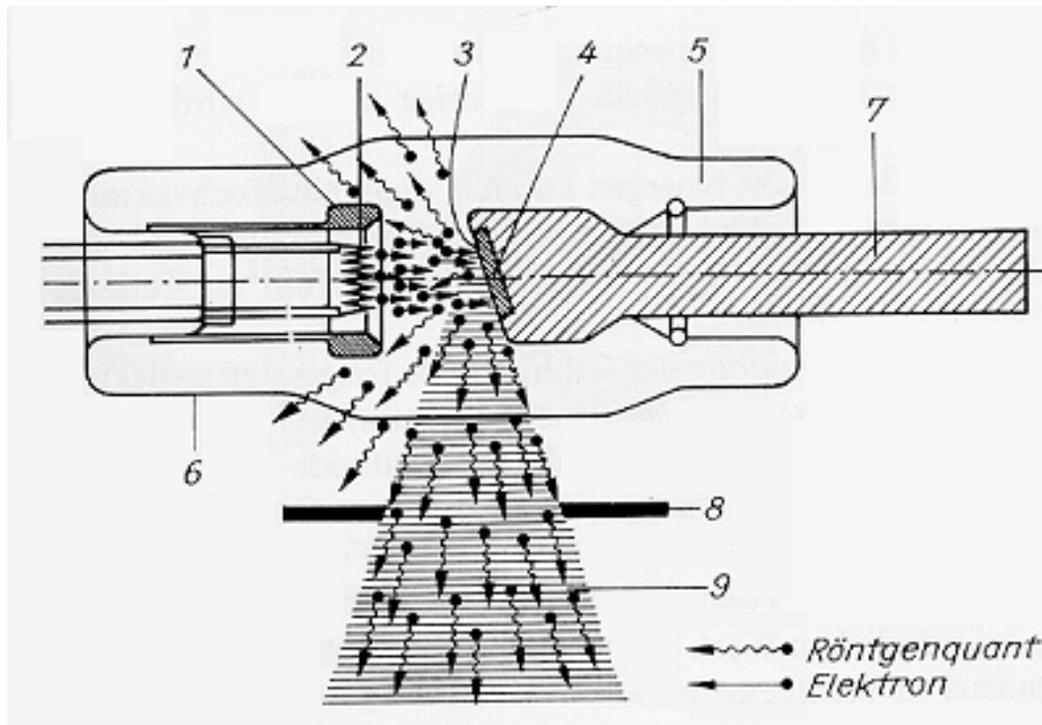


- medizinische Diagnostik
- gute Visualisierung von „harten“ Strukturen
- Aufprall energie-reicher Elektronen auf ein Material
- Wechselwirkung der Atome: Umwandlung der kinetischen Energie in Röntgenstrahlung

http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/cv1_vl2.htm

Bildgebende Verfahren

Röntgen

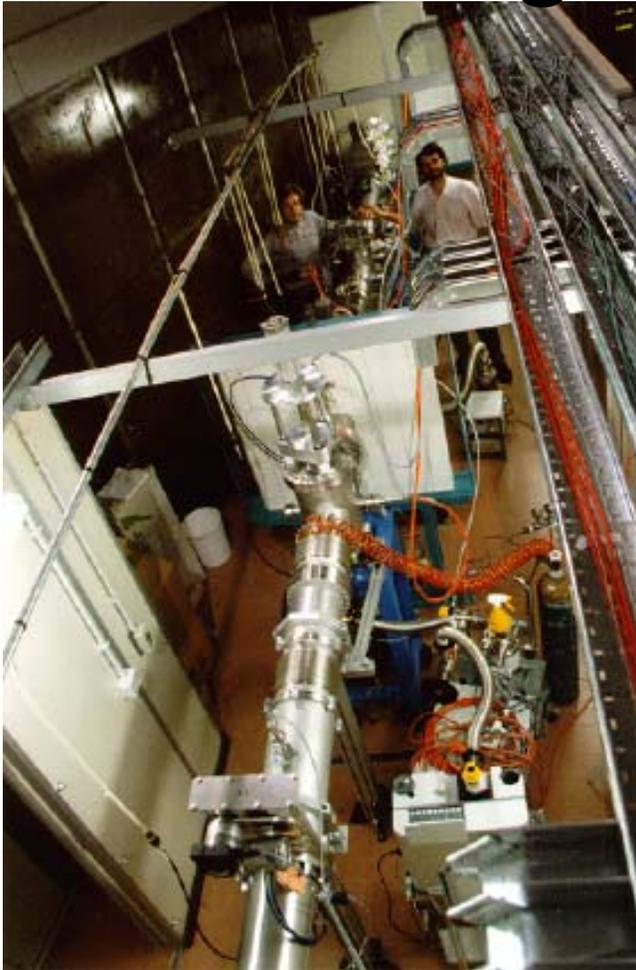


1. Kathode
2. Elektronenquelle (Glühfaden)
3. thermischer Brennfleck
4. Wolframscheibe
5. Hochvakuum
6. Glaskolben
7. Anode
8. Primärstrahlblende
9. Nutzstrahlenkegel

http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/cv1_vl2.htm

Bildgebende Verfahren

Röntgen (Diffraction Enhanced Imaging)



Bildgebende Verfahren



Normal radiograph



A Phasy image



Finger with prosthesis

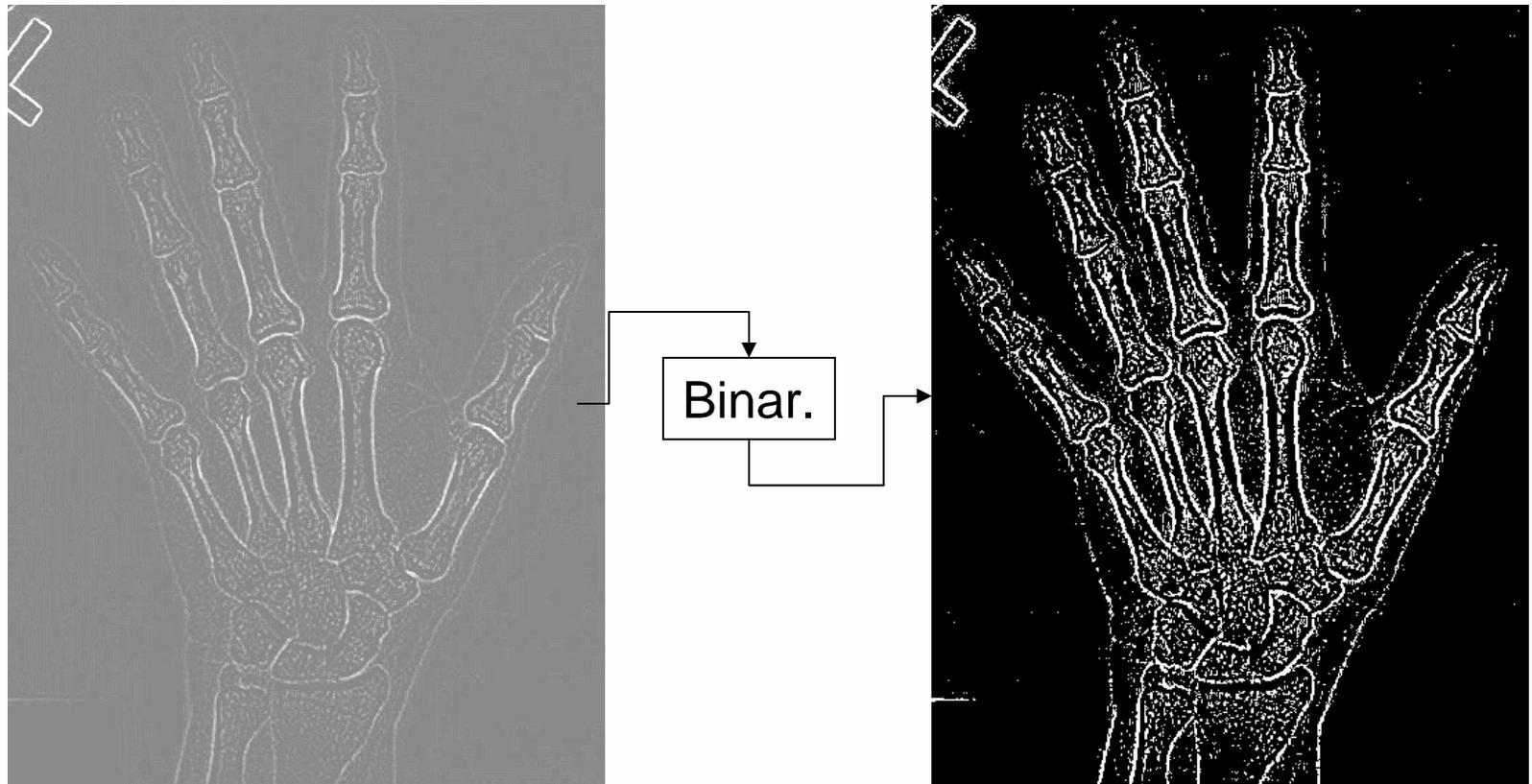
Images by R. Menk, ELETTRA, Trieste, Italy

Bildgebende Verfahren

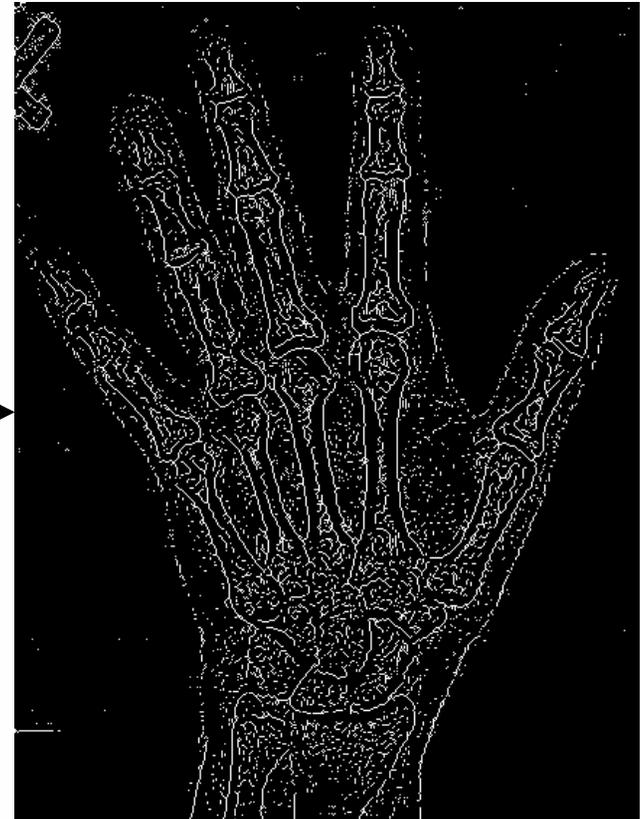
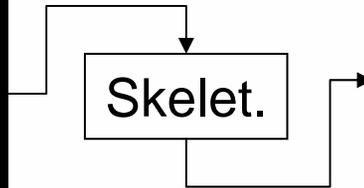
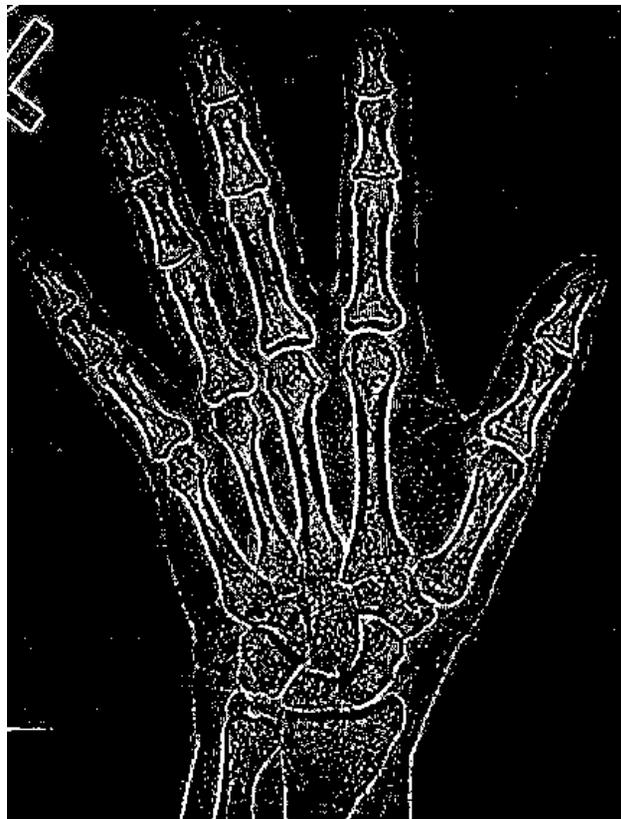


<http://www.scar.rad.washington.edu/RadAnat/Hand.html>

Bildgebende Verfahren

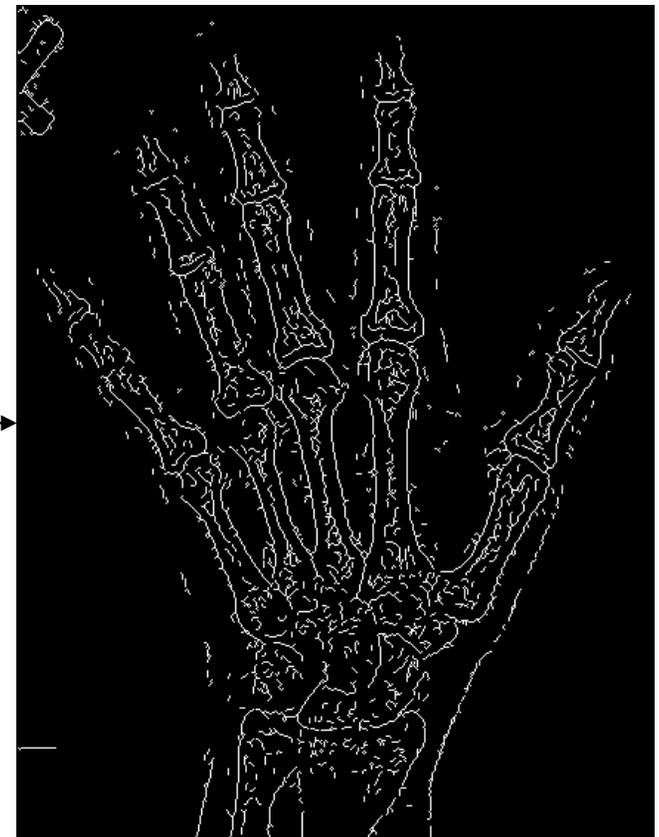
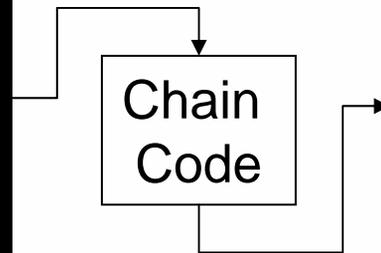
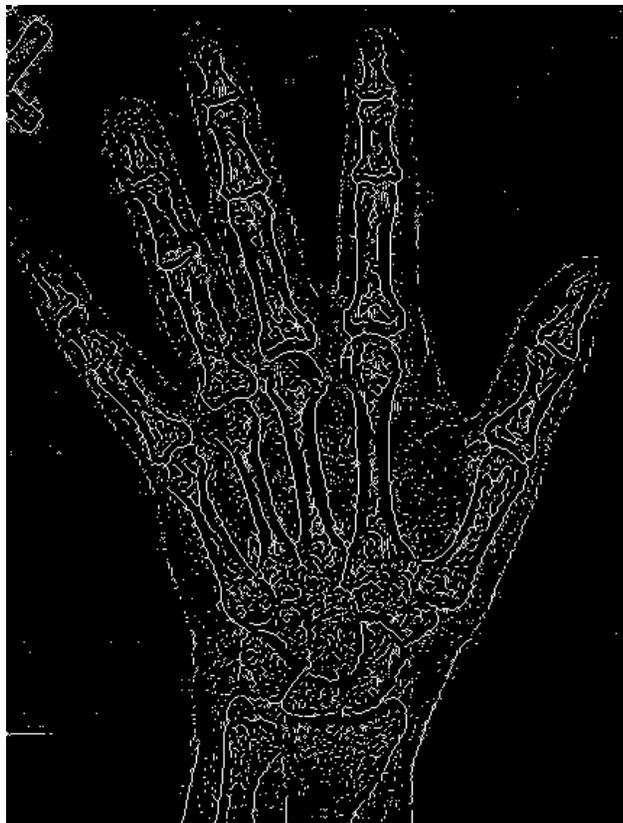


Bildgebende Verfahren



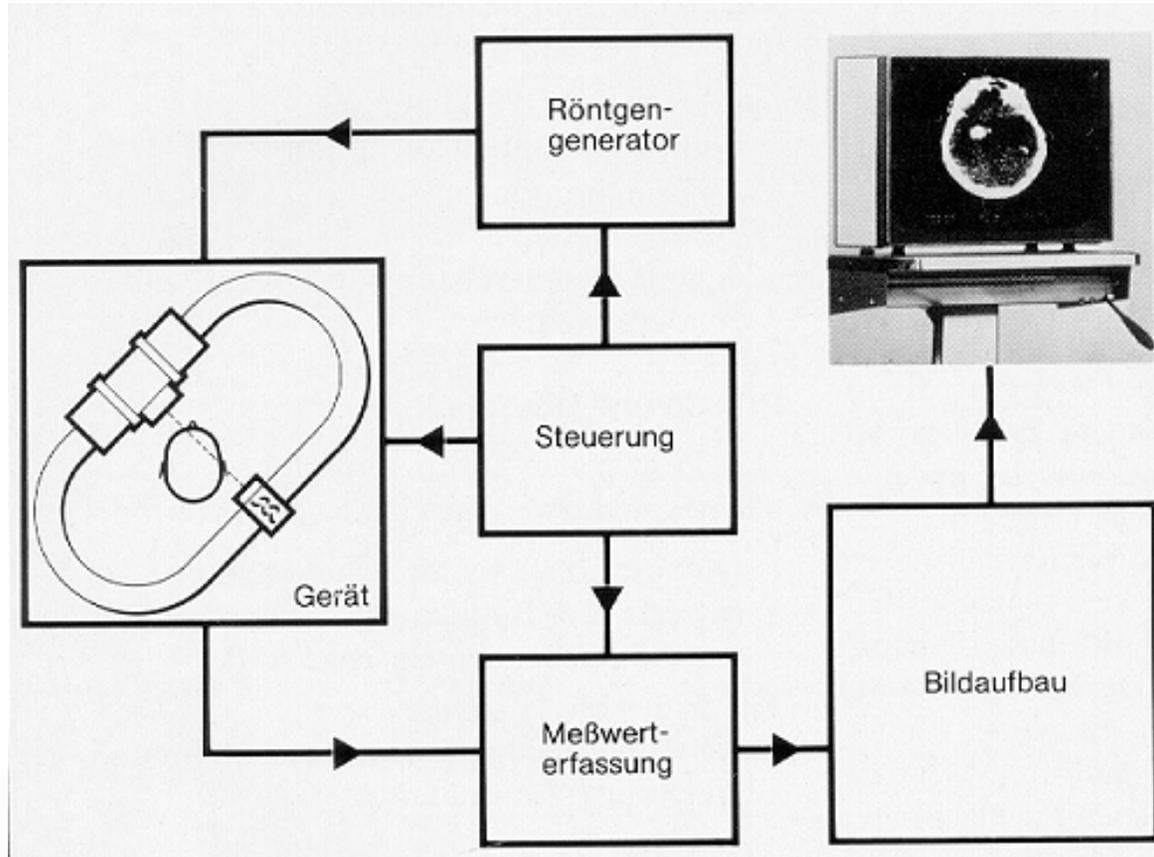
<http://www.scar.rad.washington.edu/RadAnat/Hand.html>

Bildgebende Verfahren



Bildgebende Verfahren

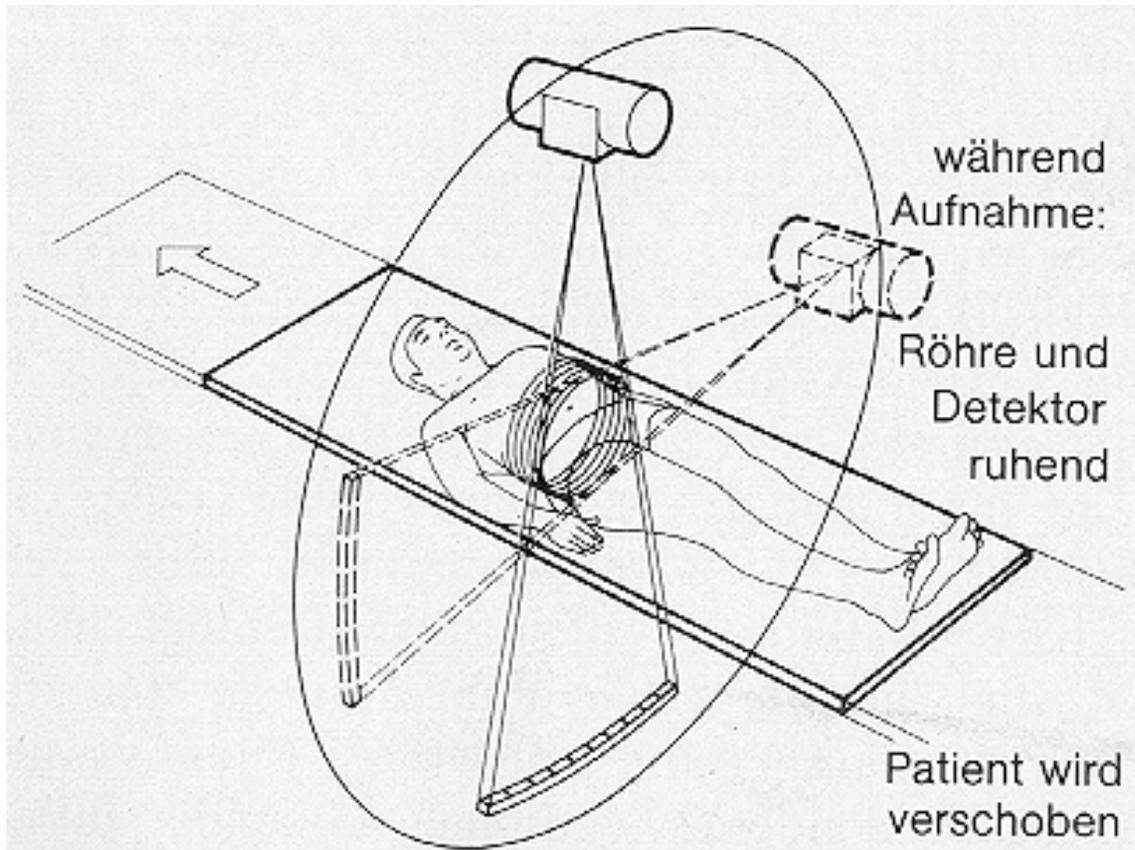
CT



http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/skript_ct.html

Bildgebende Verfahren

CT

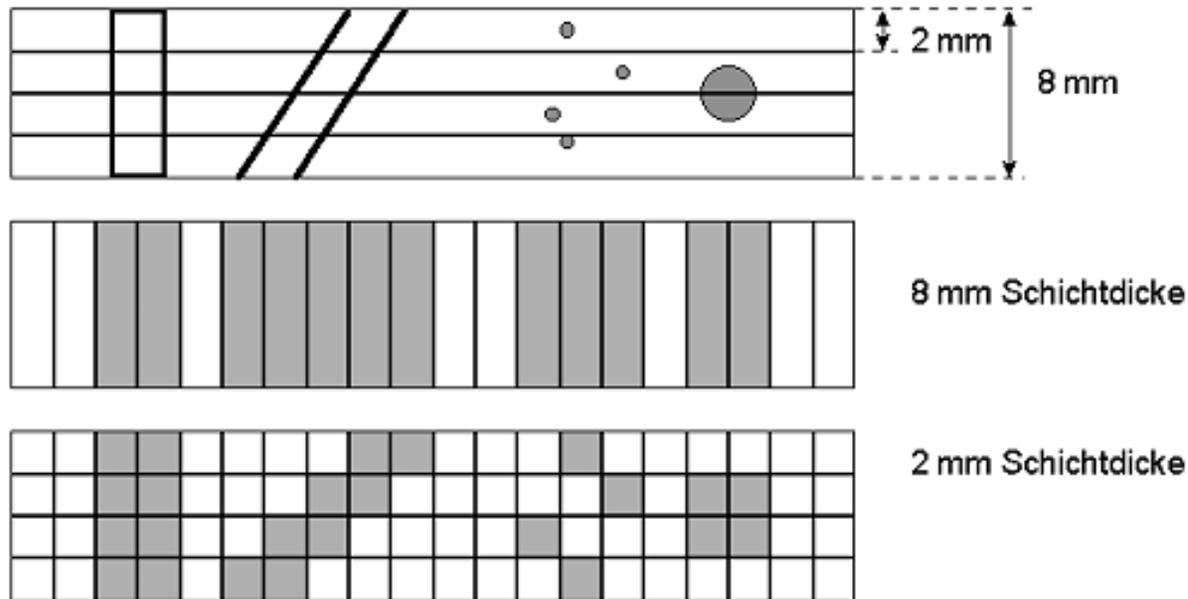


- Zunächst
Übersichts-
aufnahme
dann
Messwert-
aufnahme

http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/skript_ct.html

Bildgebende Verfahren

CT

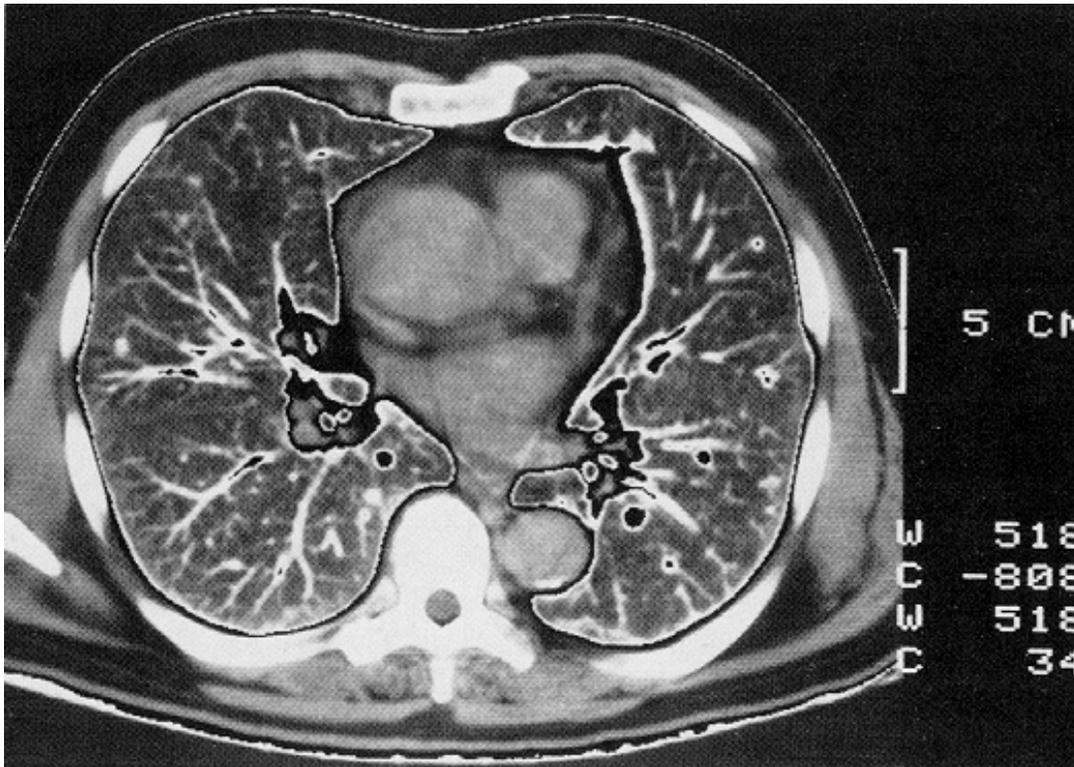


➤ Bestimmender Faktor:
Schichtdicke
(i.d.R.:
1-10mm)

http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/skript_ct.html

Bildgebende Verfahren

CT

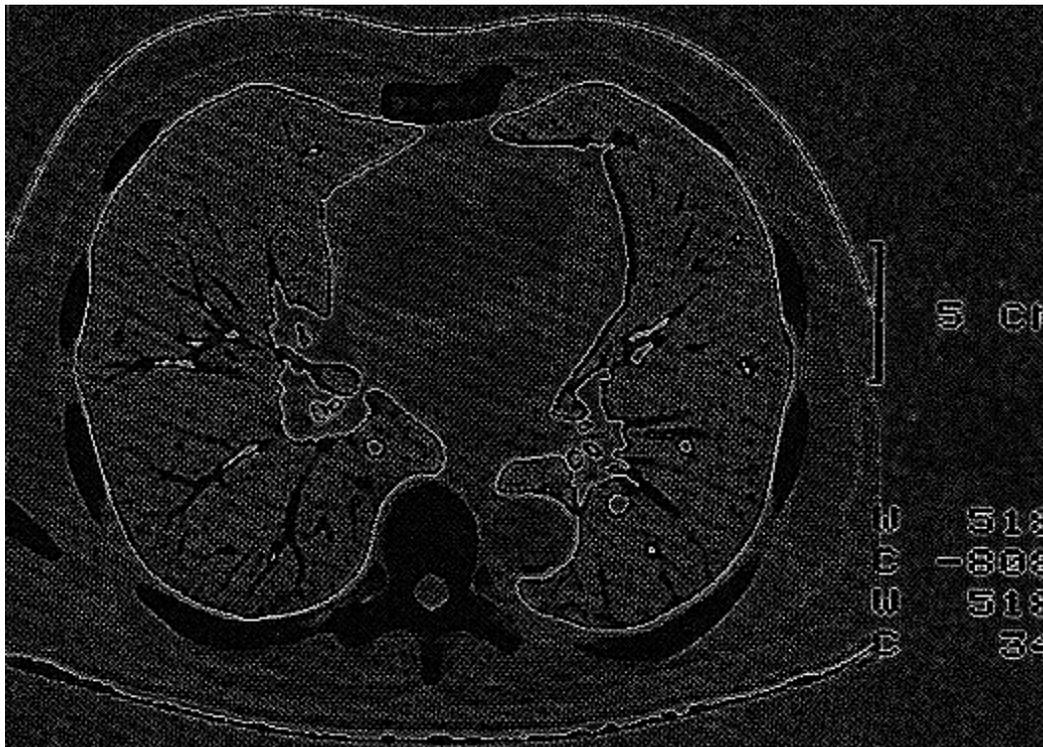


- Strahlenbelastung nimmt mit größer werdender Schichtdicke ab

http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~regina/skript_ct.html

Bildgebende Verfahren

CT

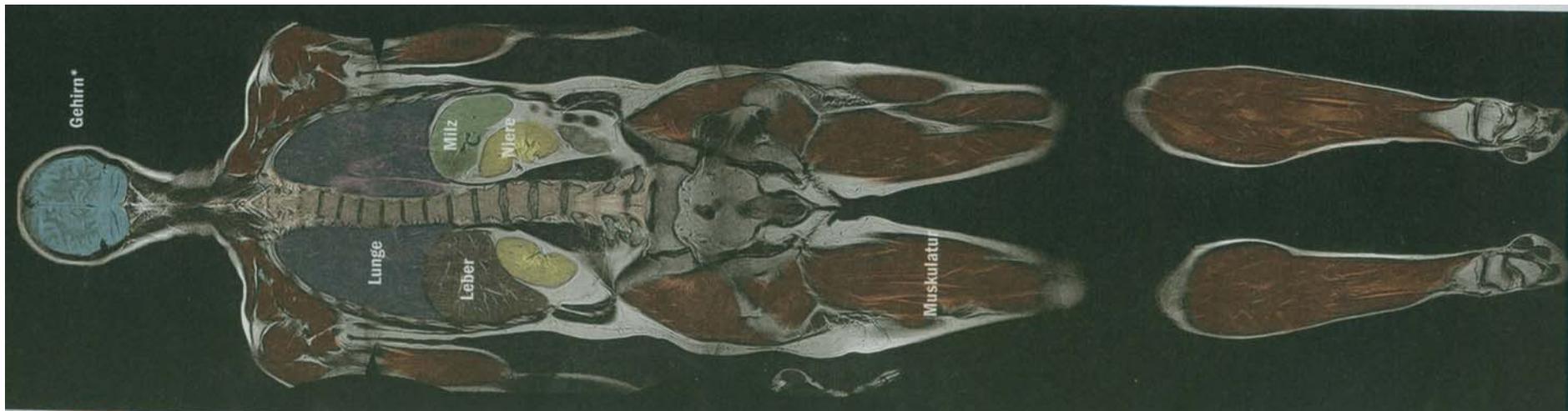


➤ Laplace gefiltert

Bildgebende Verfahren

MRT

Avanto, Siemens, Erlangen



Quelle: Stern Nr. 39/2004

Bildgebende Verfahren

Laser-Kamera

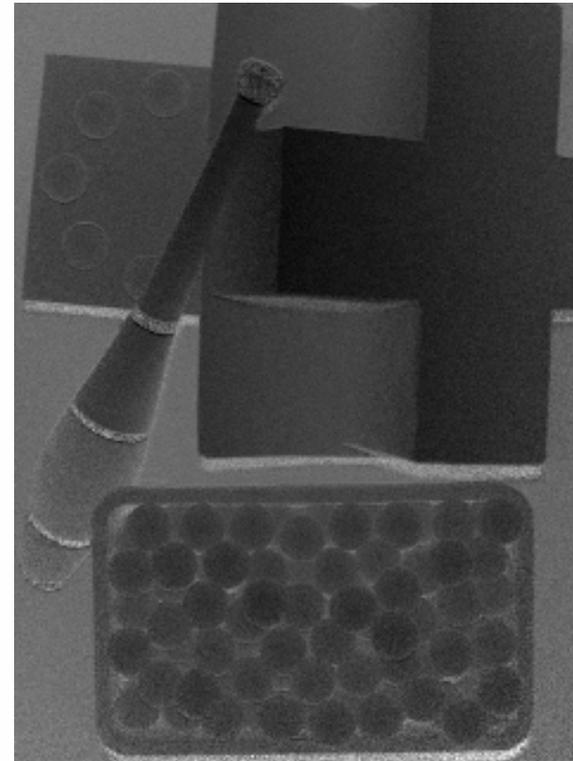
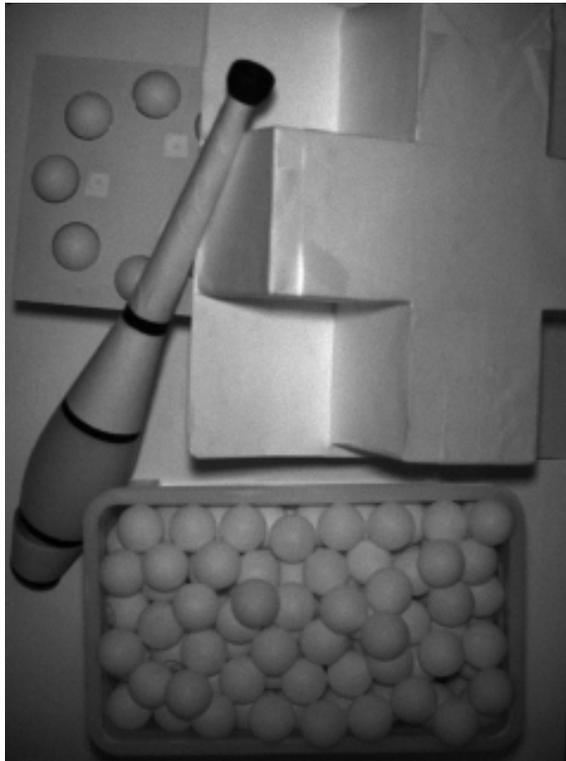


EBK der ASTRIUM GmbH

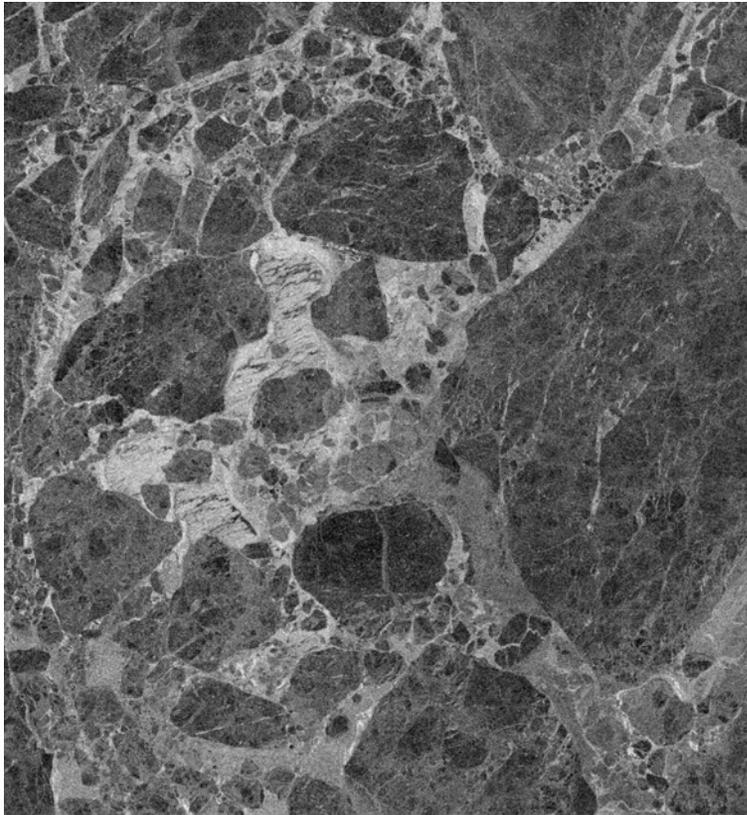
- Distanzbereich: 1 - 30 m
- Messbereich: 1,5 - 15 m
- Bildwinkel: hor. $\pm 15^\circ$
ver. $\pm 22^\circ$
- Bildpunkte 640 * 480
- Entfernungsauflösung:
2% des Messbereiches

Bildgebende Verfahren

Laser-Kamera



Bildgebende Verfahren

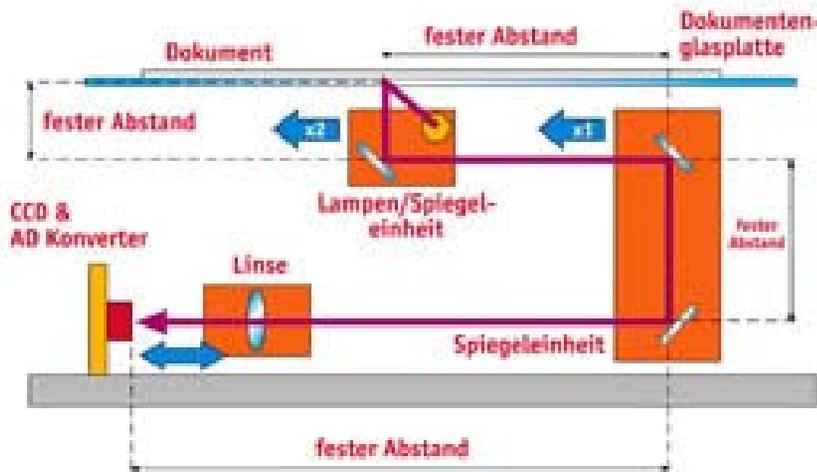


Satellitenbilder

- Landschaftsfernerkundung
- Luftarchäologie
- Landmarkenerkennung zur Navigation
- Eisdriftdetektion
- Wellenlängen
 - UV: 0,1...0,4 mm
 - VIS (visible): 0,4...0,7 mm
 - IR: 1...30 mm
 - MW: größer 2 mm

Bildgebende Verfahren

Wie funktioniert ein CCD*-Scanner?



*CCD = Charge Coupled Device

Scanner

- Digitalisiergerät für Bilder
- Jeder Bildpunkt wird abgetastet, aus dem reflektierten Licht entsteht das Bild
- Flachbrettscanner
- Durchlichtscanner

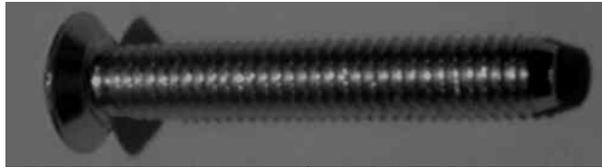
Grundlagen BV - Überblick

- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
- Vorverarbeitung
- Segmentierung
- Merkmalsextraktion
- Klassifikation

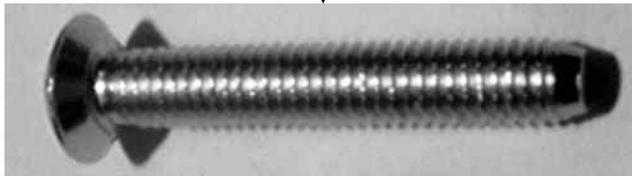
Bildvorverarbeitung

- Bildmodifikation, die den Informationsgehalt nicht wesentlich verändert
- Bildtransformation mit Eingabe- und Ausgabebild
- Ziele
 - Beleuchtungskorrekturen (inhomogene Beleuchtung)
 - Glättung
 - Beseitigung von Digitalisierungsfehlern
 - Kontrastverstärkung
 - Normierung (Größe, Form, Farbe)
 - Beseitigung von Inhomogenitäten der Photoschicht des Aufnahmesystems
 - Korrektur von Grauwertverzerrungen (photographischer Effekt)
 - Anpassung von Filtern an bestimmte Frequenzen

Bildvorverarbeitung

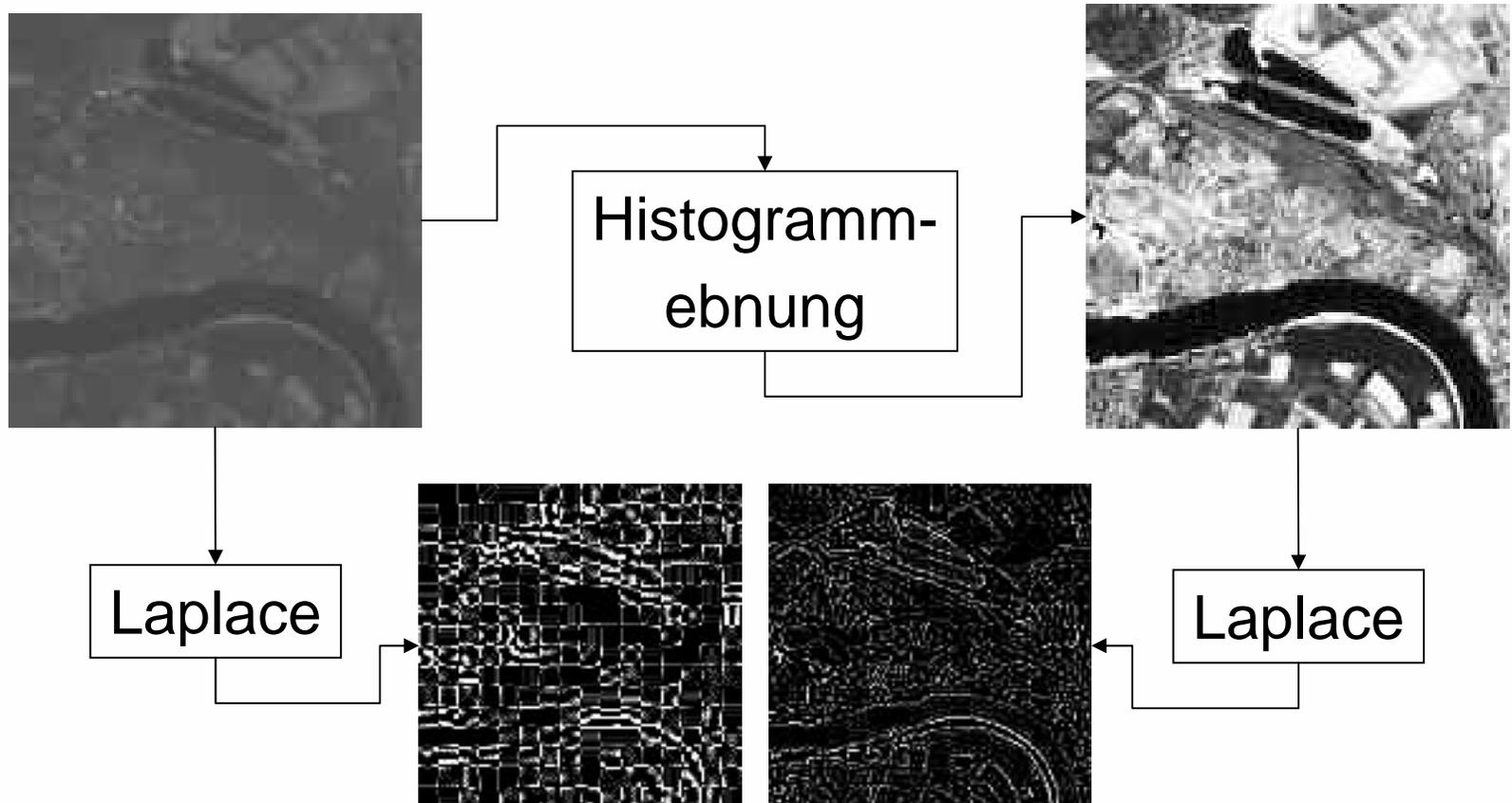


Histogrammebnung

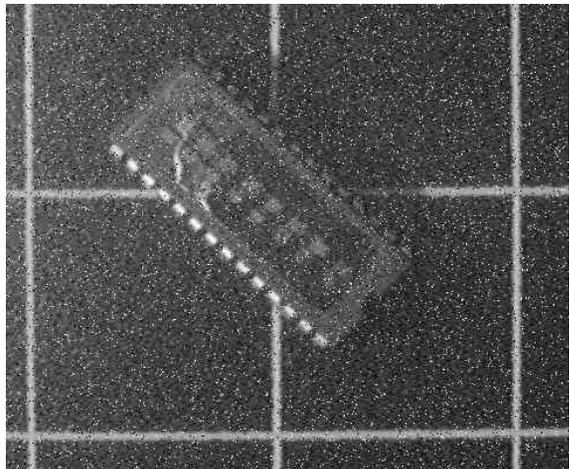


- Grauwertäqualisation
- Gleichverteilung der Grauwerte über der Skala
- I.d.R.: Verbesserung der visuellen Erkennbarkeit
- Kontrastverstärkung

Bildvorverarbeitung

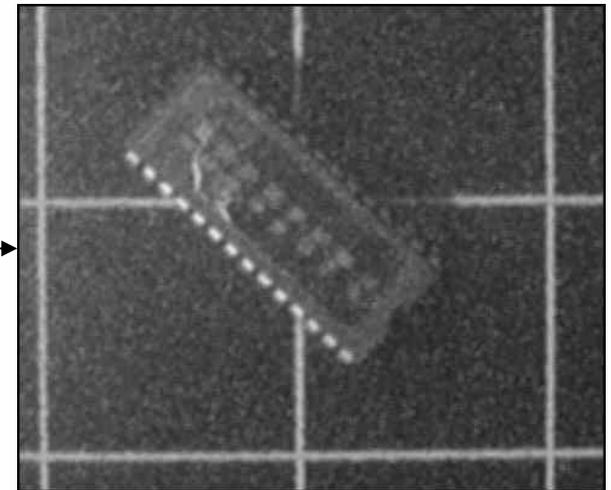


Bildvorverarbeitung



- Rauschunterdrückung
- Glättung

Mittelwert



- Schwächt i.d.R. auch Grauwertdiskontinuitäten
- Tiefpass im Frequenzraum

Grundlagen BV - Überblick

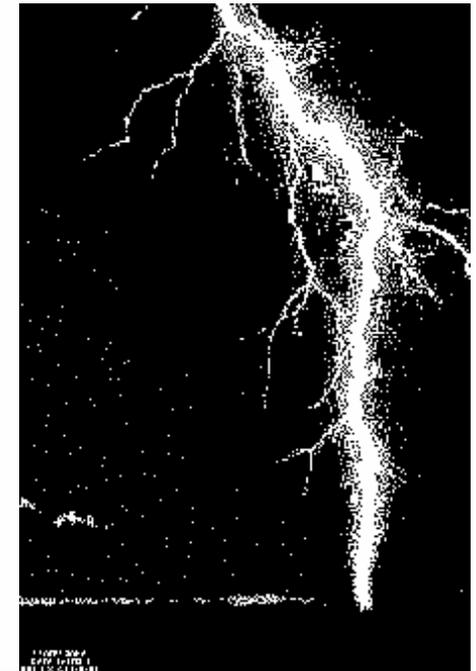
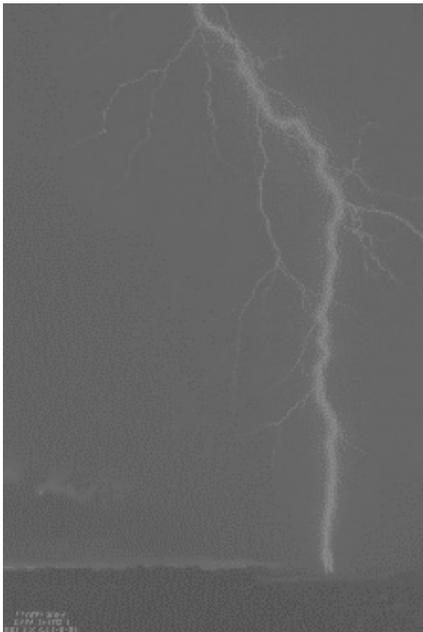
- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
- Vorverarbeitung
- **Segmentierung**
- Merkmalsextraktion
- Klassifikation

Segmentierung

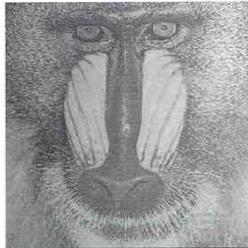
- Trennung der zu untersuchenden Objekte von den „übrigen“ Bildstrukturen
- Trennung von sich berührenden Objekten
- Zerlegung in Unterobjekte
- Klassifikation auf Pixelebene (Objektpixel/Nichtobjektpixel)
 - Geeignete Merkmale auf Pixelebene
- Einfache und komplexe Verfahren

Segmentierung

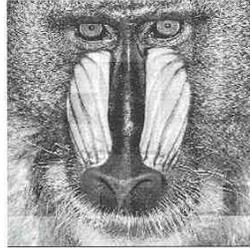
- Punktorientierte Verfahren
- Einfaches Schwellwertverfahren
 - Ideal: bimodales Histogramm
 - Schwellwert zwischen den Maxima



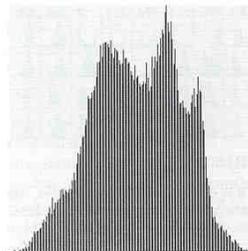
Segmentierung



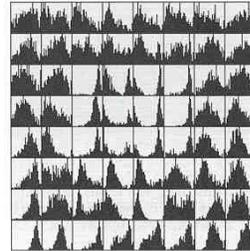
(A)



(B)



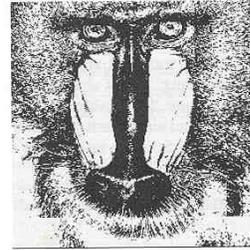
(C)



(D)



(E)



(F)

Punktorientierte Verfahren

- Einfaches *lokales* Schwellwertverfahren
- Ideal: bimodale Histogramme
- Schwellwerte zwischen den jeweiligen Maxima

[Abmayr 94], S. 230

Segmentierung

- Zerlegung des Bildes in zu interessierende Strukturen (Objekte) und nicht zu interessierende Strukturen (Hintergrund) gemäß
 - Diskontinuitätskriterium (Kanten)
 - Homogenitätskriterium (Intensitätswert, Farbe)
 - Hybride Verfahren (Kombination durch z.B. Region-Growing-Verfahren)

Grundlagen BV - Überblick

- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
- Vorverarbeitung
- Segmentierung
- Merkmalsextraktion
- Klassifikation

Merkmalsextraktion

- Flächen
 - Intensitätswert/Farbe,
 - Umfang, Größe,
 - Schwerpunkt,
 - Hauptachsen,
 - Polyeder,
 - ...
- Stat. Merkmale
 - Informationsgehalt
 - Momente,
 - Anzahl der Pixel,
 - ...
- Kontur
 - Kettencode,
 - Polygon,
 - Länge,
 - Orientierung,
 - ...
- Textur
 - Statistische Merkmale
 - Visuelle Eigenschaften,
 - ...

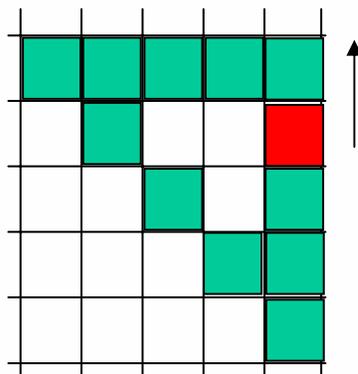
Merkmalsextraktion

Kontur

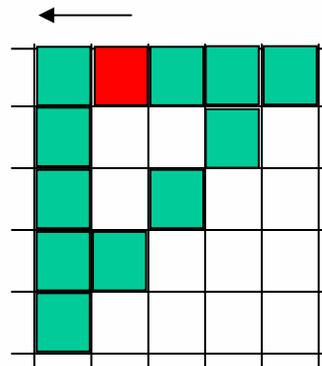
- Kettencode
- Drehung auf dem Kettencode

Kettencode für
8er Nachbarschaft

	4	3	2	
	5	x/y	1	
	6	7	8	



Dreieck=355558888333



Drehung: 90° ::= +2

Dreieck=577772222555

Merkmalsextraktion

Textur

- Statistische Merkmale 1. Ordnung

i = Intensitätswert

$h(i)$ = Häufigkeit, mit der Intensitätswert i im Bild vorkommt

Mittelwert (erstes Moment)

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} h(i)$$

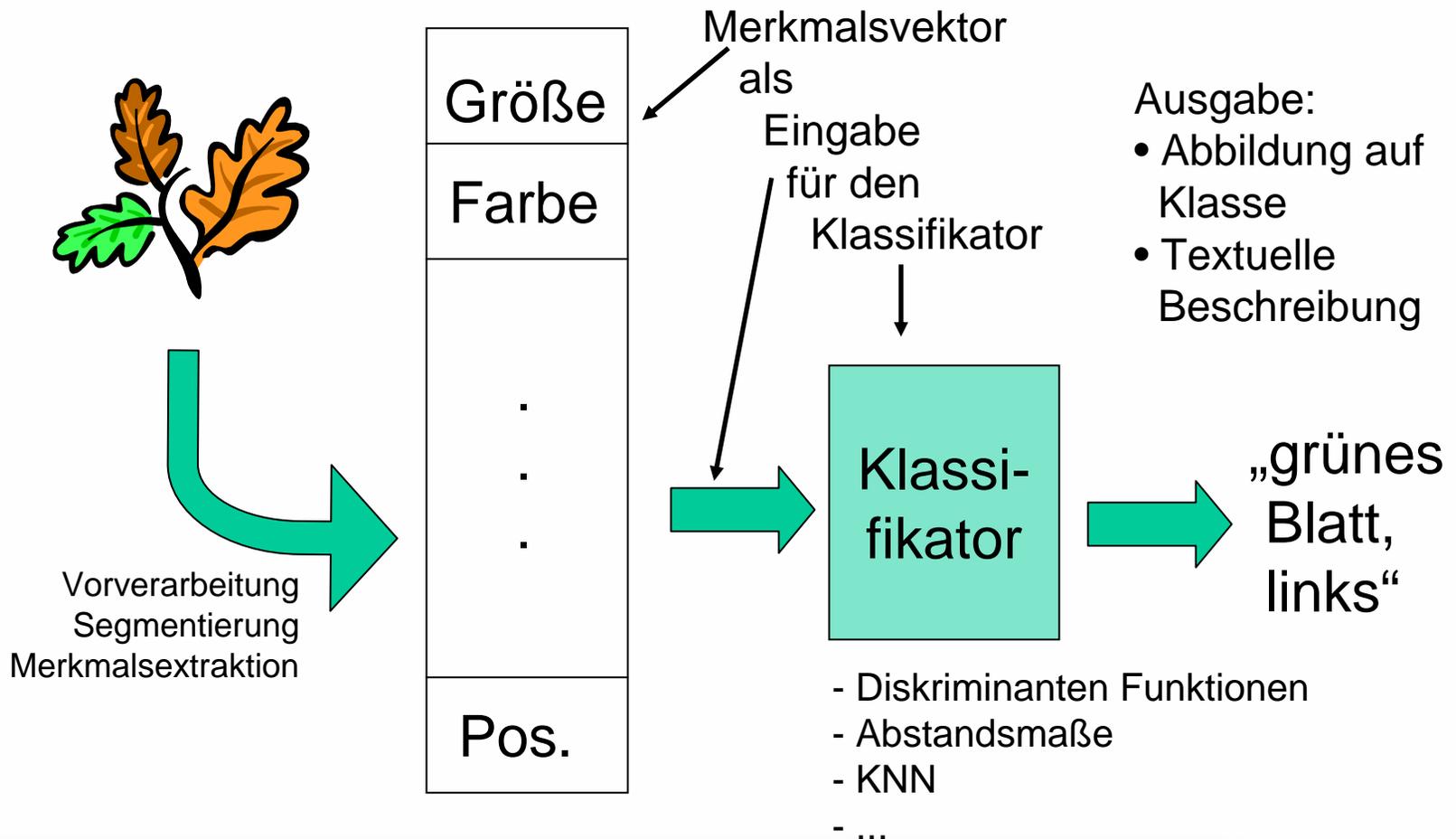
Standardabweichung (zweites Moment)

$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu)^2 h(i)$$

Grundlagen BV - Überblick

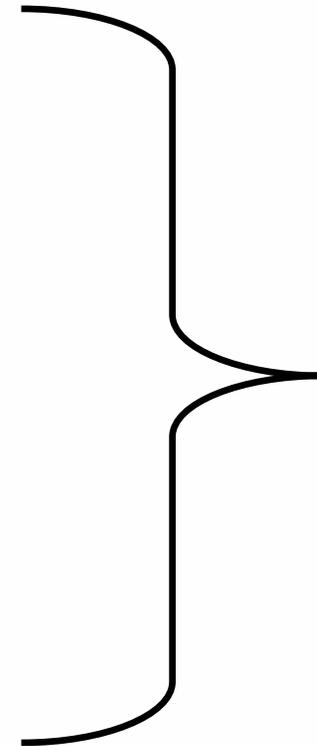
- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
- Vorverarbeitung
- Segmentierung
- Merkmalsextraktion
- **Klassifikation**

Klassifikation



Zusammenfassung

- Bilderfassung/Bildgebende Verfahren
 - Diskretisierung/Quantisierung
 - Lochkamera, aktive & passive Sensoren,...
- Vorverarbeitung
 - Bildverbesserung,...
- Segmentierung
 - Trennung: Objekt/Hintergrund
- Merkmalsextraktion
 - Statistische Merkmale, Farbe, Kontur,...
- Klassifikation
 - Verschiedene Klassifikatoren (Diskriminanten, Distanz, Wahrscheinlichkeit,...)



ME-Paradigma