A 3D diagram illustrating the dispersion of light. A white beam of light enters a transparent prism from the left. As it passes through the prism, the light is split into a spectrum of colors: red, orange, yellow, green, cyan, blue, and purple. The light rays are shown as semi-transparent, overlapping planes that fan out from the prism. The background is a light blue gradient.

# Multispectral Image Analysis

Leonie Dreschler-Fischer

The Department of Informatics,  
Faculty of Mathematics, Informatics und  
Natural Sciences at the University of Hamburg

# Scene Analysis and Visualization (SAV)

- My Background:  
Computer Science, Astrophysics
- Previous Work: Computer Vision
  - Robotics: Motion Analysis, Scene Reconstruction, Image Understanding
  - Medical Image Processing
  - Verification of Arms Control Treaties
  - Sea Surface Current Fields



# Our Team on Norderoogsand, Hallig Hooge

# Overview

- Image understanding vs. Image Processing
- Low Level Problems
- High Level Problems

Bildverstehen  $\Leftrightarrow$  image understanding  
computer vision

### Definition (Bildverstehen)

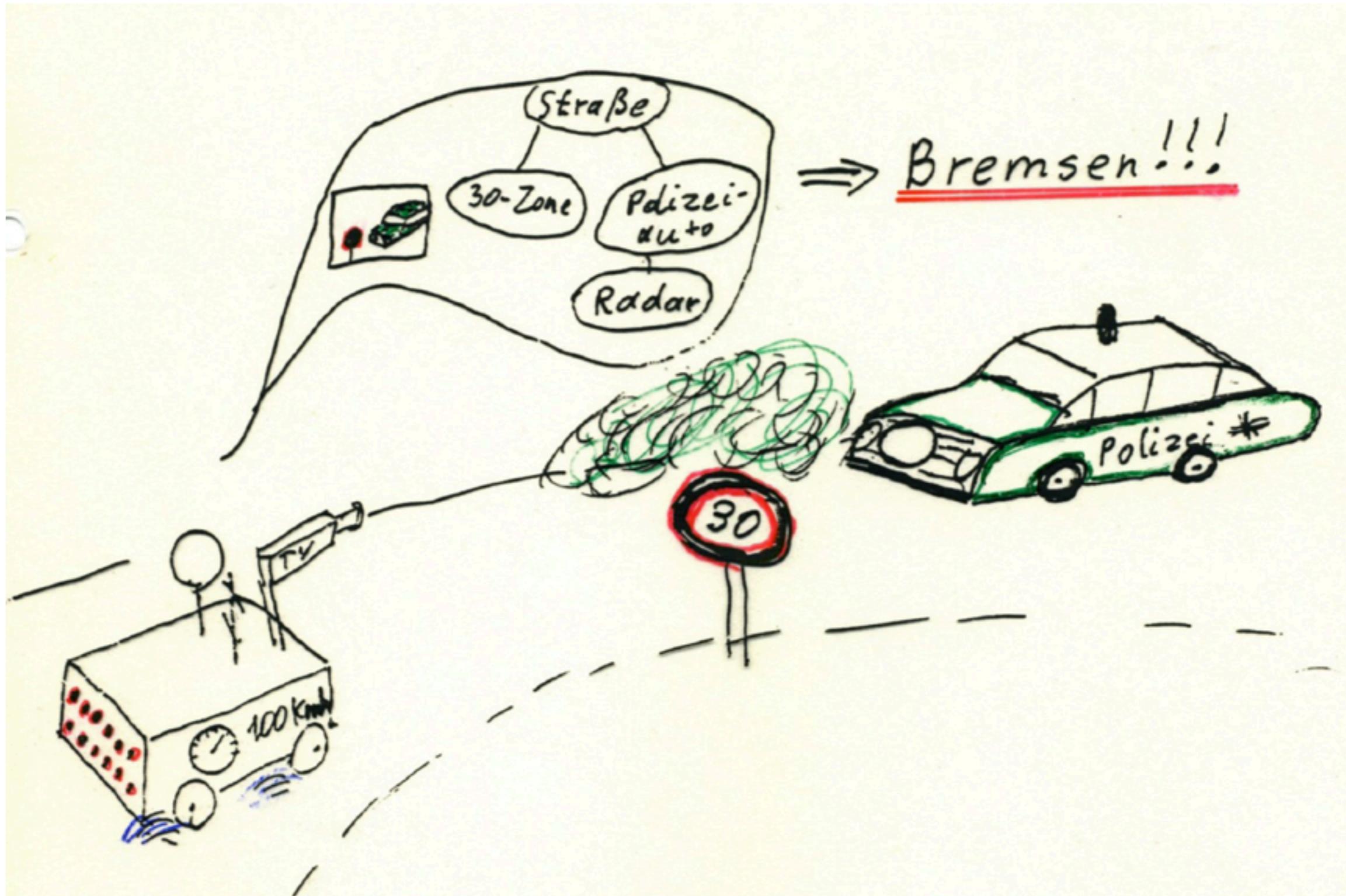
“Computer vision is the construction of meaningful, explicit  
descriptions of physical objects from images”

Ballard + Brown 82

“... to know what is where by looking”

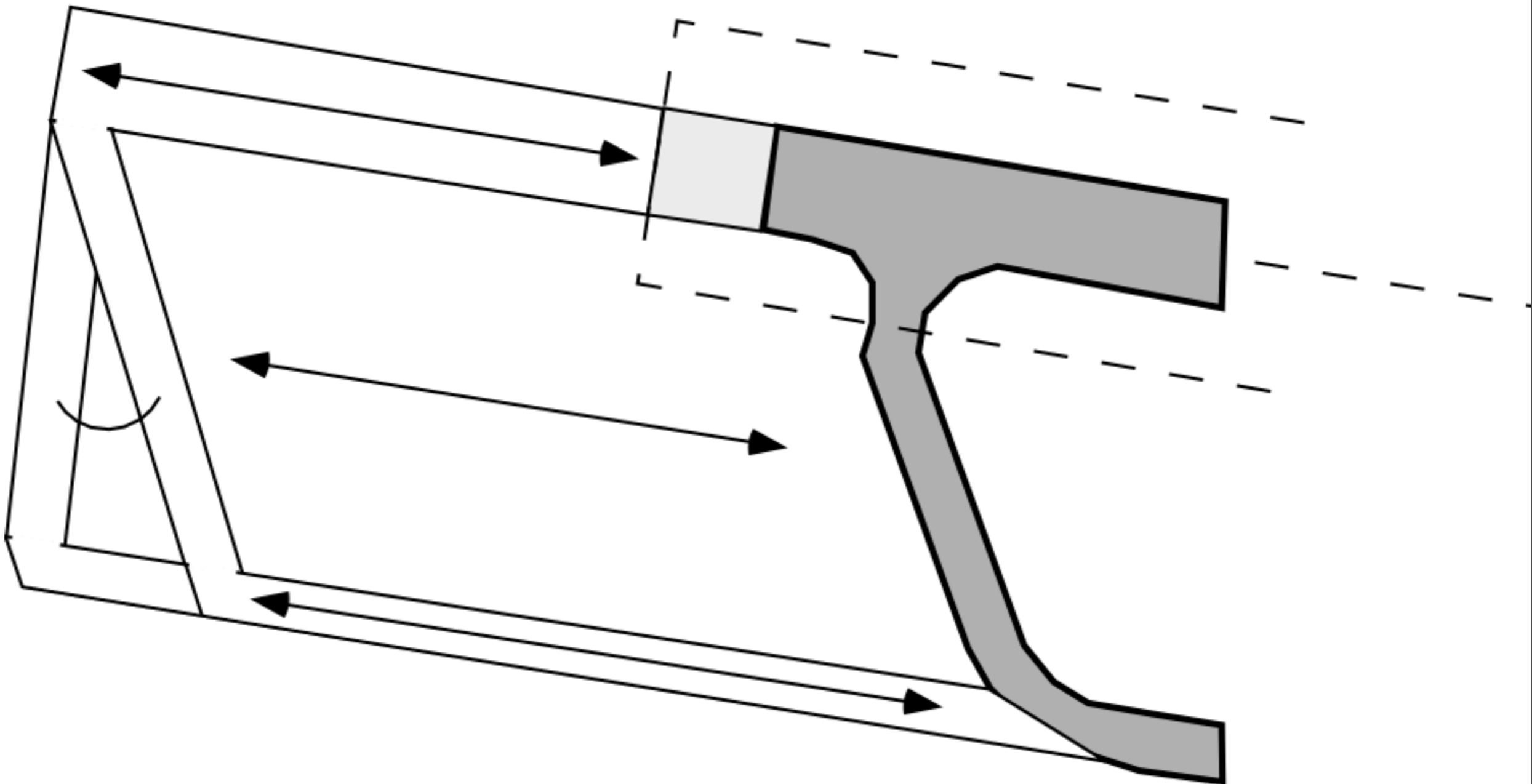
Marr 81

# Image Understanding vs. Image Processing





# Model of a Runway extension



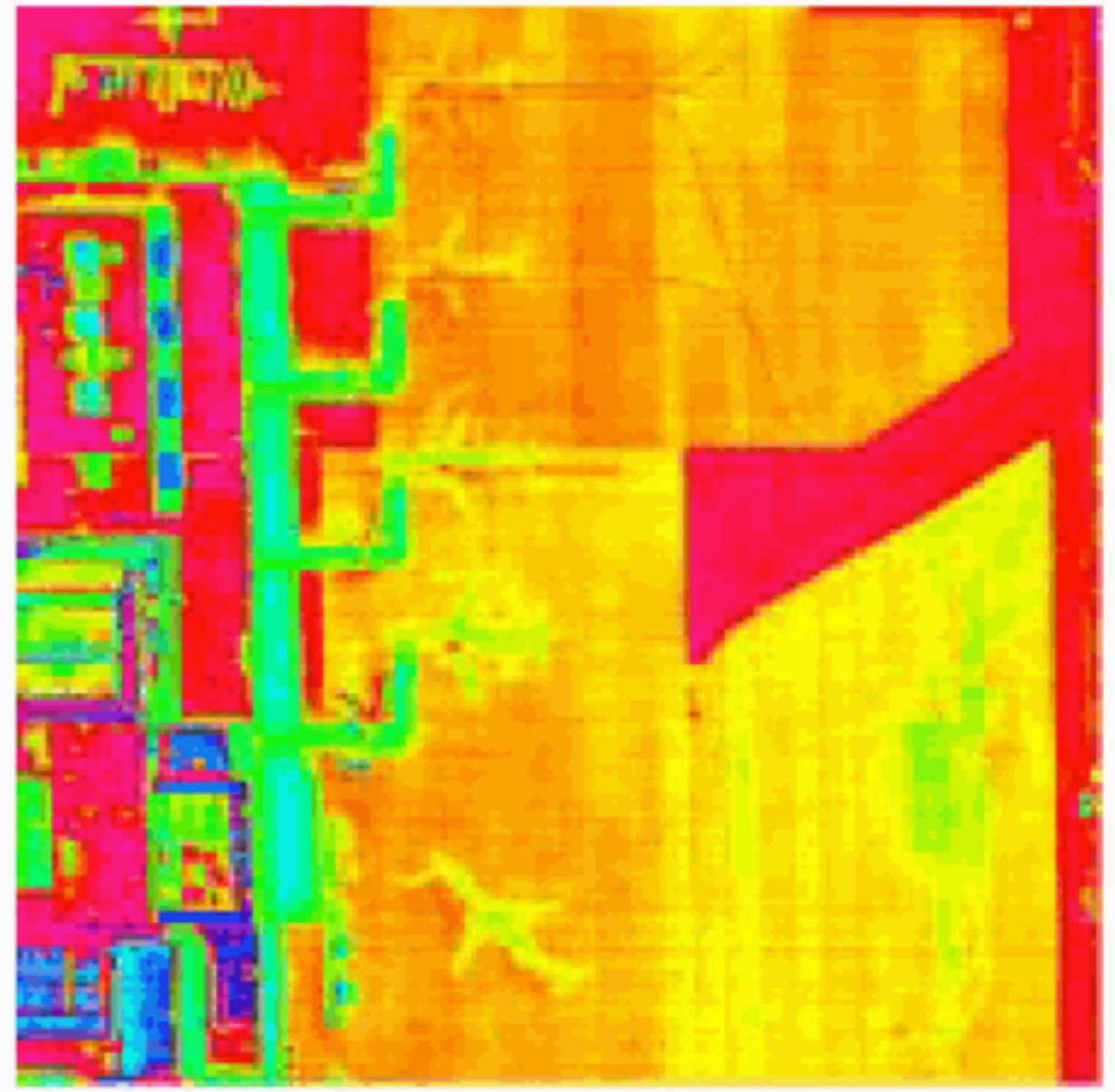


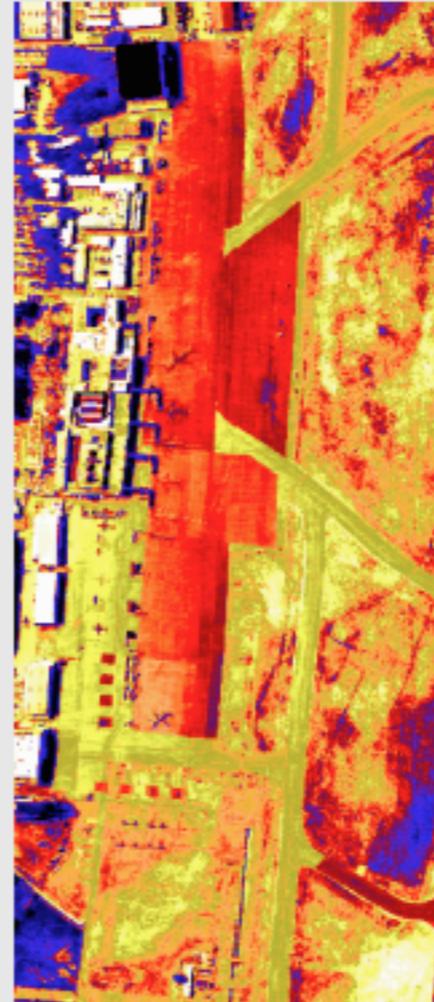
Abbildung 9: Daedalus-Aufnahmen des Nürnberger Flughafens, Höhe 300 m, 26.8.1997, 13:30 MESZ. Links: Reflektanzbild (RGB), rechts: Thermalbild. Emissivität  $\epsilon = 0.95$ .

# Betriebszustände von Fahrzeugen

Flughafen Nürnberg, DAEDALUS-Scanner, 26.8.1997, Prinz u.a. 98



Kanal 5 (630-690 nm)

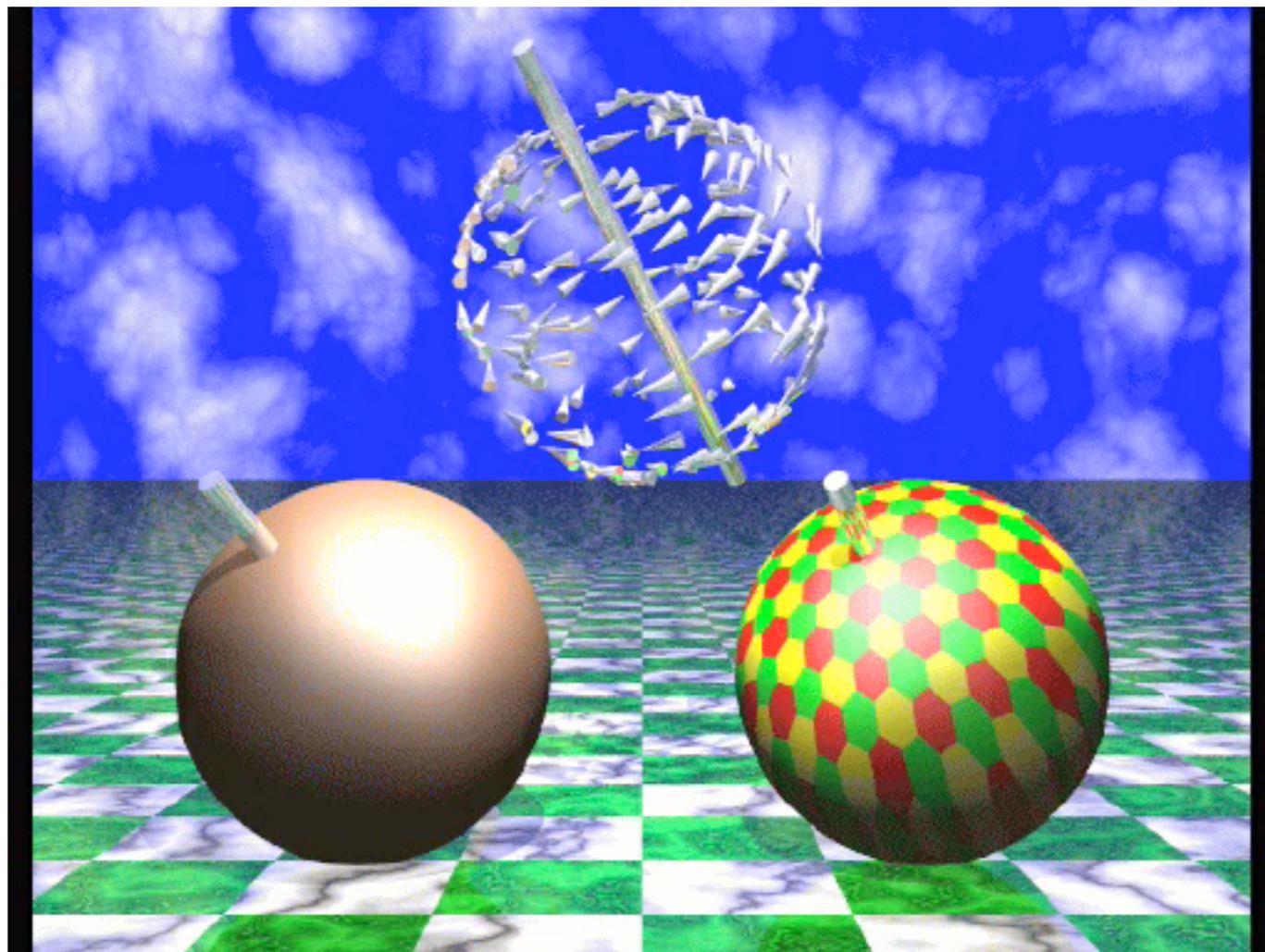


Kanal 11 (8500-13000 nm), therm. IR



RGB-Reflektanzbild, Kanäle 5,3,2

# Motion Field vs. Optical Flow



The motion field of three rotating spheres: All spheres are rotating with the same angular velocity.



**Relics of an ancient fountain in the german wadden sea  
near Pellworm**



Model based depth cues: Known size

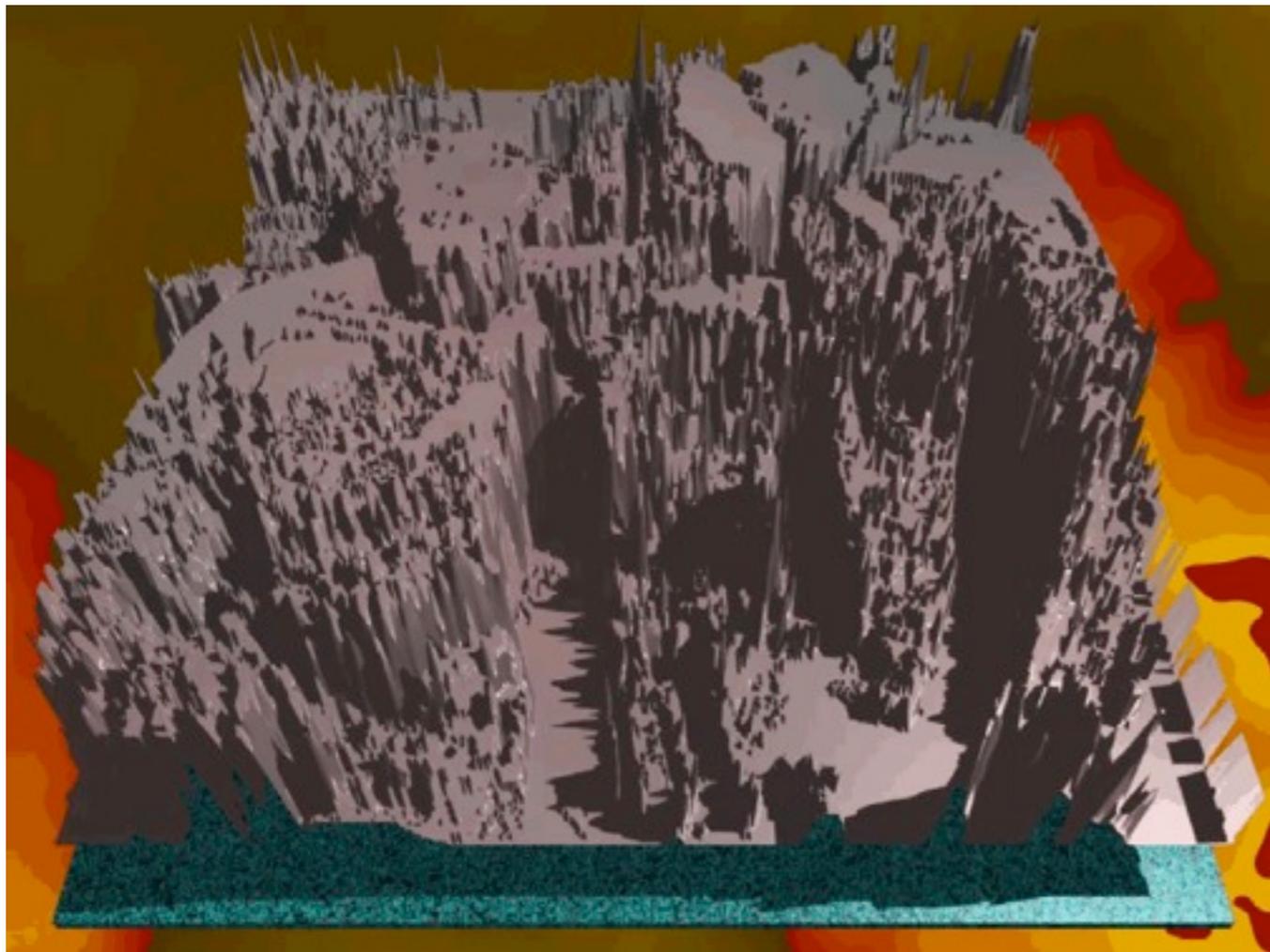


Dienstag, 6. März 12

# The Bootstrap Problem



# Edge Detection



- Color Edges
  - Color Gradient
  - Results on Multi spectral images





Original



Bewertung der  
Maxima



gefilterte Maxima

# Edges in Multispectral Images

## 1. Use Graylevel Edge Detectors:

- Convert MS image to a gray level image
- Compute edges separately for each channel
- This does not use the color information efficiently.

## 2. Better: Color gradient

# The Approach

- In gradient based techniques for edge detection we assume that the **direction** of the intensity gradient corresponds to the local direction of strongest intensity change,
- while the gradients **magnitude** corresponds to the amount of change.

Thus, edges can be detected as image structures of maximal gradient measured in gradient direction.

# The Color Gradient

- A multi spectral image function forms a vector of  $m$  scalars  $\vec{C}(x,y)$  at each image position  $(x,y)$ .
- Directional derivation of the vector-valued function  $\vec{C}$  again results in a vector consisting of directional derivatives of each component of  $\vec{C}$ .
- We compute the derivative of  $\vec{C}$  in the direction of a vector  $\vec{n}$

$$\frac{\partial \vec{C}}{\partial \vec{n}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial C_1}{\partial \vec{n}} \\ \vdots \\ \frac{\partial C_m}{\partial \vec{n}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \nabla C_1 \cdot \vec{n} \\ \vdots \\ \nabla C_m \cdot \vec{n} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} C_{1x} & C_{1y} \\ \vdots & \vdots \\ C_{mx} & C_{my} \end{pmatrix}}_{\text{Jacobi-Matrix } J} \cdot \vec{n} = J \cdot \vec{n}$$

- The length of the vector  $J \cdot \vec{n}$  can be interpreted as a measure of the magnitude of change along the direction of  $\vec{n}$

$$l^2 = \|J \cdot \vec{n}\|^2 = (J \cdot \vec{n})^T \cdot (J \cdot \vec{n}) = \vec{n}^T \cdot (J^T J) \cdot \vec{n}$$

$$l^2 = \|J \cdot \vec{n}\|^2 = (J \cdot \vec{n})^T \cdot (J \cdot \vec{n}) = \vec{n}^T \cdot (J^T J) \cdot \vec{n}$$

Für die symmetrische  $2 \times 2$ -Matrix  $J^T J$  seien die folgenden Koeffizienten definiert:

$$J^T J = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad \text{mit}$$

$$a_{11} = C_{1x}^2 + \dots + C_{m_x}^2$$

$$a_{22} = C_{1y}^2 + \dots + C_{m_y}^2$$

$$a_{12} = C_{1x} C_{1y} + \dots + C_{m_x} C_{m_y}$$

$$a_{21} = a_{12}$$

Maximieren von  $l^2$  als Funktion des Vektors  $\vec{n}$ :

- Der Term  $\vec{n}^T \cdot (J^T J) \cdot \vec{n}$  ist der Rayleigh-Quotient der Matrix  $J^T J$ .
- Extrema des Rayleigh-Quotienten einer Matrix  $M$  sind die Eigenwerte der Matrix  $M$ .
- Daher korrespondieren der Betrag und die Richtung der stärksten Änderung von  $\vec{C}$  mit dem größten Eigenwert und der Richtung des zugeordneten Eigenvektors von  $J^T J$ .
- Die Berechnung des Farbgradienten kann damit auf die Berechnung der Eigenwerte und Eigenvektoren von  $J^T J$  zurückgeführt werden.

# How to Maximize $l^2$

- We have to maximize  $l^2$  as a function of  $n$ .
- $n^T (J^T J) n$  is equivalent to Rayleigh quotient of  $(J^T J)$ , and the extrema are given by the Eigenvalues.
- Thus, magnitude and direction of the strongest variation coincide with the largest Eigenvalue and the direction of the corresponding Eigenvector .

- Im Fall der 2x2-Matrix (zweidimensionale Bilder) gibt es eine einfache analytische Lösung für das Eigenwertproblem; für mehrdimensionale Bilder muß auf numerische Verfahren zurückgegriffen werden.

Die Anwendung des Ansatzes auf eine  $m$ -komponentige Bildfunktion  $(x_1, \dots, x_k)$ , liefert für die Matrix  $J^T J$  eine  $k \times k$ -Matrix  
Komponenten  $a_{rs}$ :

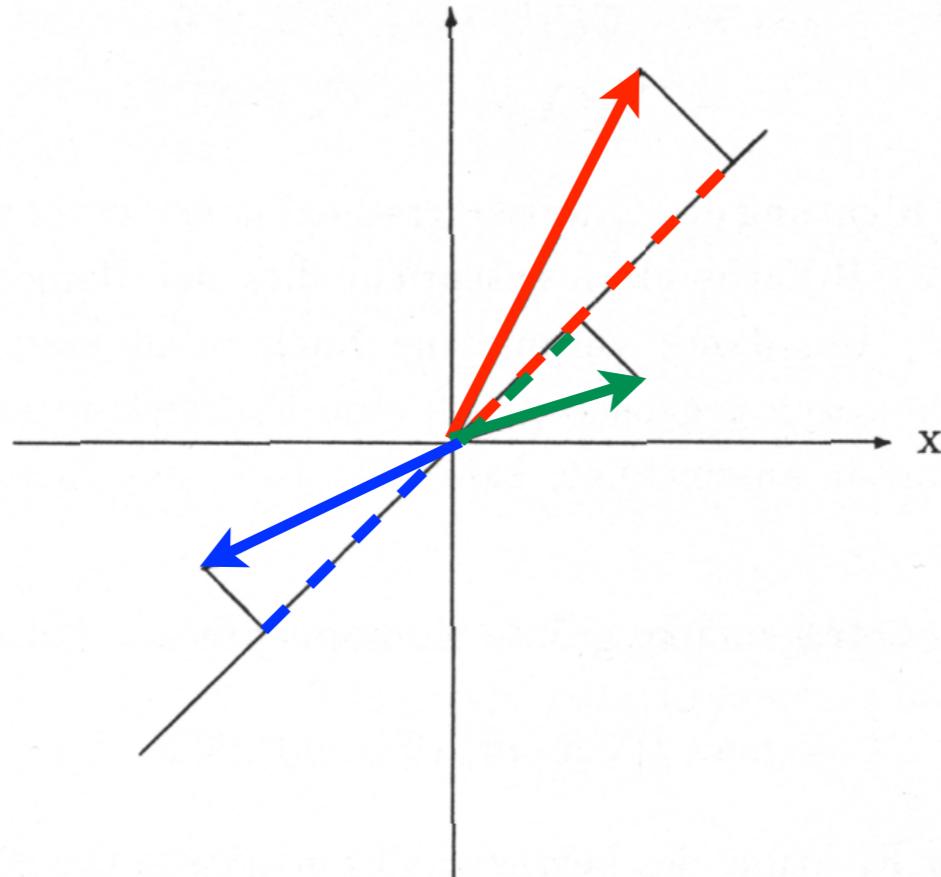
$$a_{rs} = \sum_{i=1}^m C_{i x_r} C_{i x_s}$$

# Anwendbarkeit des Ansatzes

- Zur Veranschaulichung des Ansatzes betrachten wir, als Beispiel für eine 3-komponentige Bildfunktion mit 2-dimensionalem Definitionsraum, ein RGB-Farbbild.
- Die (quadrierte) Größe der Änderung der Bildfunktion in eine bestimmte Richtung  $\vec{n}$  entspricht, gemäß der verwendeten euklidischen Norm, der Summe der quadrierten Komponenten des Ableitungsvektors:

$$l^2 = \|\mathbf{J} \cdot \vec{n}\|^2 = (\nabla R \cdot \vec{n})^2 + (\nabla G \cdot \vec{n})^2 + (\nabla B \cdot \vec{n})^2$$

$$l^2 = \|\mathbf{J} \cdot \vec{n}\|^2 = (\nabla R \cdot \vec{n})^2 + (\nabla G \cdot \vec{n})^2 + (\nabla B \cdot \vec{n})^2$$



Projektion der Gradienten der verschiedenen Bildkomponenten auf eine Gerade

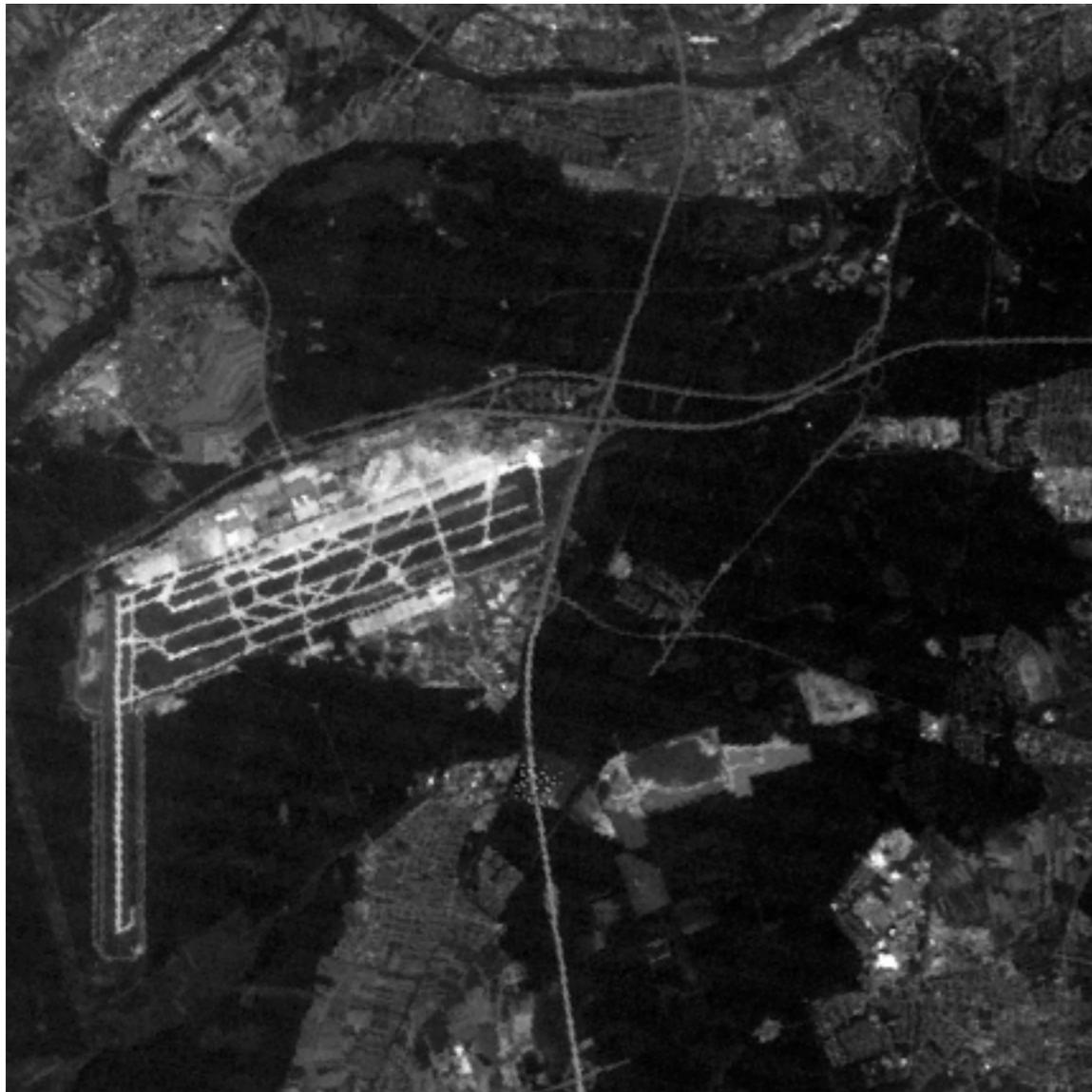
- Gute Korrelation bzw. Antikorrelation der in den einzelnen Bildkomponenten bestimmten Gradientenvektoren verstärkt den Gesamteffekt. Dies setzt die Abhängigkeit der Bildkomponenten voneinander voraus.
- Die geschlossene Behandlung der Bildkomponenten setzt voraus, daß vergleichbar große Gradientenbeträge in den verschiedenen Komponenten vergleichbare Signifikanz für den Gesamteffekt besitzen.
- Insbesondere sollte die Varianz des in den einzelnen Komponenten auftretenden Rauschens vergleichbar sein. Gegebenenfalls muß deshalb der Anwendung des Ansatzes eine geeignete Wichtung der Bildkomponenten vorausgehen.

# Anwendung: Kantenfinden in Satellitenbildern

- Orbits und Sensoren der Landsat-Satelliten
- Beispiele:
  - Unterschiedliches Sigma
  - Unterschiedliche Spektralkanäle

# Vergleich: Landsatbilder Frankfurt

- Einfluß der Operatorbreite
- Einfluß des spektralen Bandes



Flughafen Frankfurt,  
Mittelung TM-Kanäle 1-5

Flughafen Frankfurt,  
Farbkomposit 1, 3, 5



- TM Kanal I,  
0.45-0.52 $\mu$ m

**Blue-green—no MSS equivalent. Maximum penetration of water, which is useful for bathymetric mapping in shallow water. Useful for distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous plants.**



- **TM Kanal 2,  
0.52-0.6 $\mu$ m**

**Green—coincident with MSS band 4. Matches green reflectance peak of vegetation, which is useful for assessing plant vigor.**



- **TM Kanal 3,**  
**0.63-0.69 $\mu$ m**

**Red—coincident with MSS band 5. Matches a chlorophyll absorption band that is important for discriminating vegetation types.**



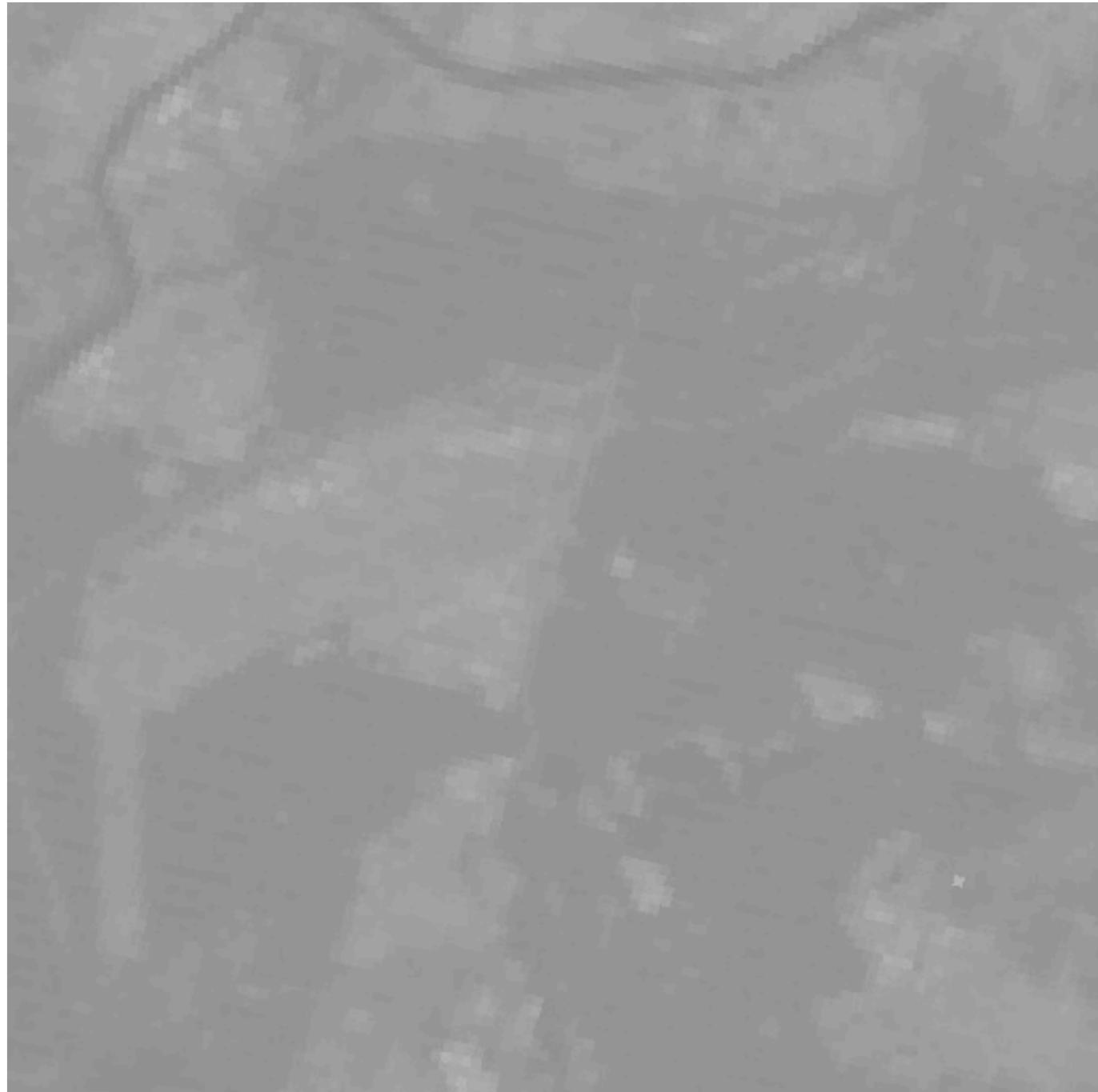
- TM Kanal 4,  
0.76-0.90 $\mu\text{m}$

**Reflected IR—coincident with portions of MSS bands 6 and 7.  
Useful for determining biomass content and for mapping  
shorelines.**



- TM Kanal 5,  
1.55-1.75 $\mu\text{m}$

Reflected IR. Indicates moisture content of soil and vegetation.  
Penetrates thin clouds. Good contrast between vegetation types



- **TM Kanal 6,**  
**10.40-12.50 $\mu$ m**

**Thermal IR. Nighttime images are useful for thermal mapping and for estimating soil moisture.**

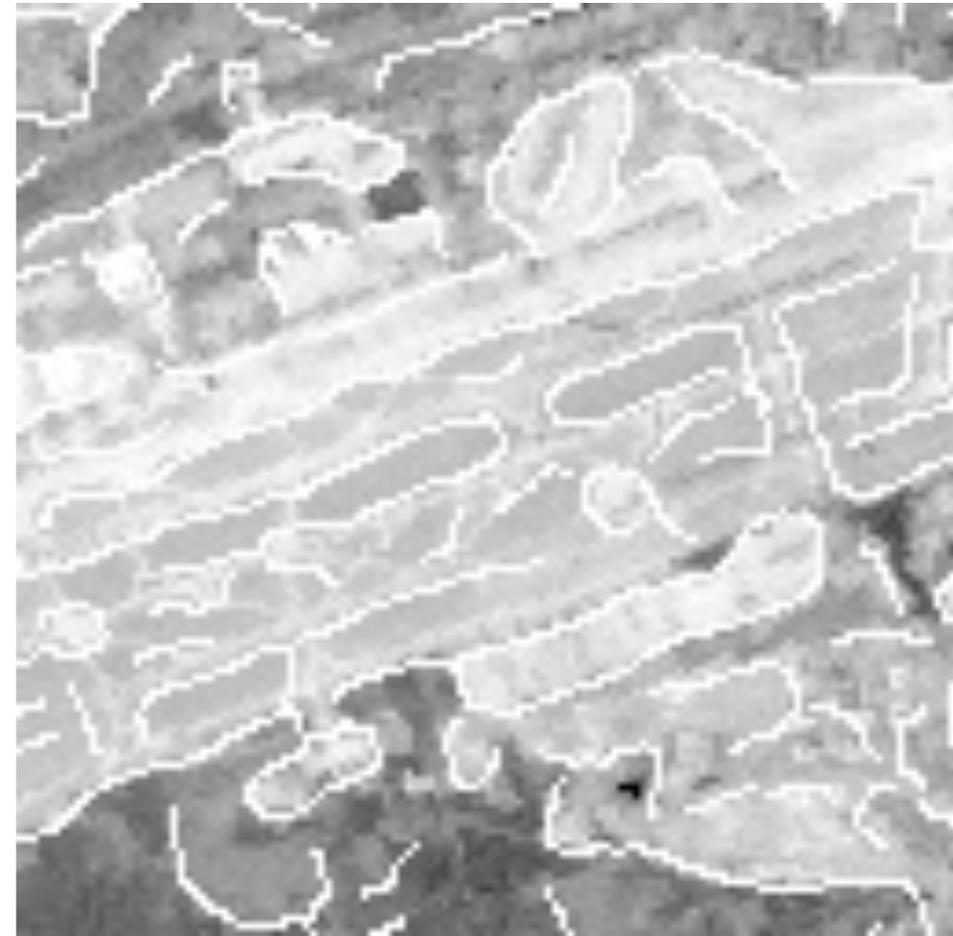
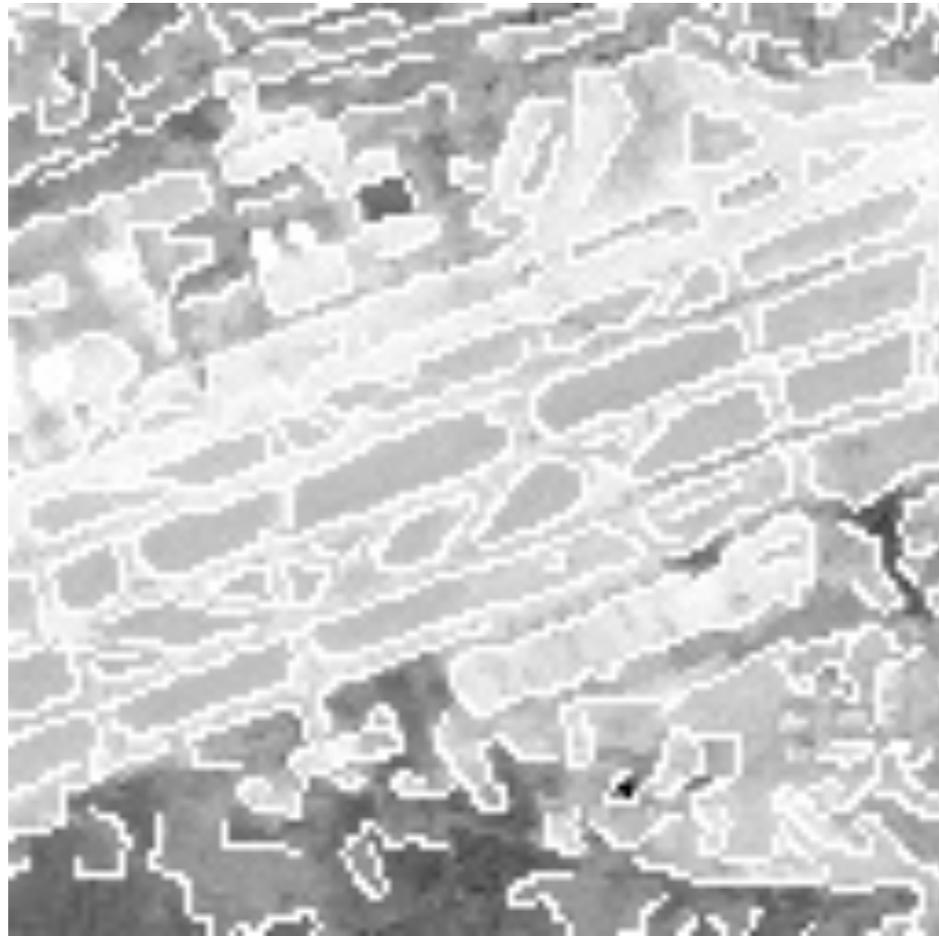


- TM Kanal 7,  
2.08-2.35 $\mu\text{m}$

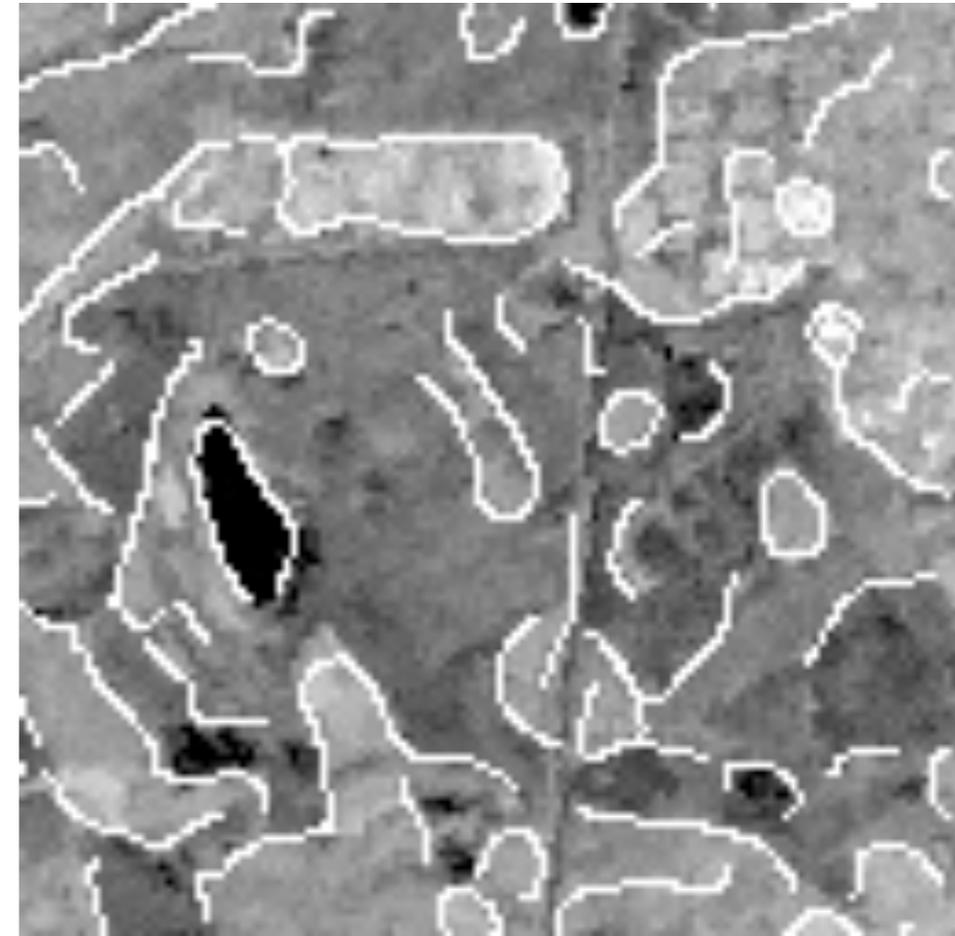
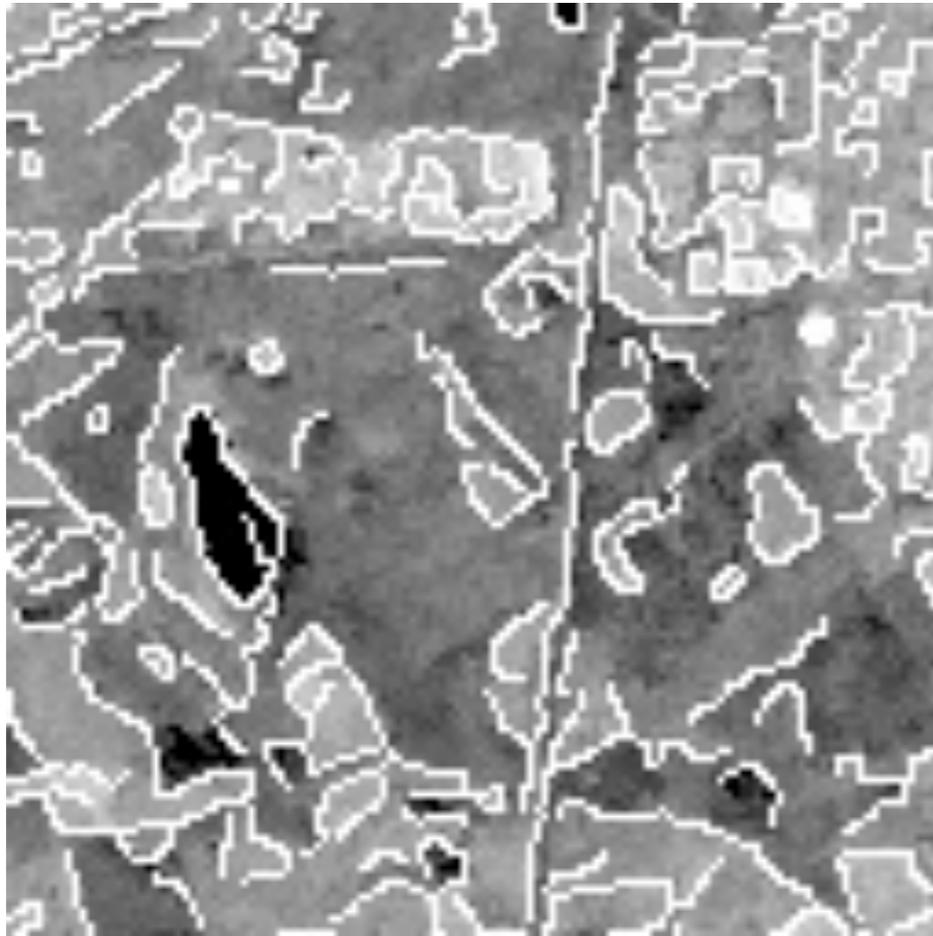
Reflected IR. Coincides with an absorption band caused by hydroxyl ions in minerals. Ratios of bands 5 and 7 are potentially useful for mapping hydrothermally altered rocks associated with mineral deposits.

# Detail-Vergleiche $\sigma$ : Ausschnitte





- **Multispektrale Kanten, berechnet auf Kanälen 1,2,3,4,5,7; dem Kanal 5 überlagert,  $\sigma=1$  und  $\sigma=3$**

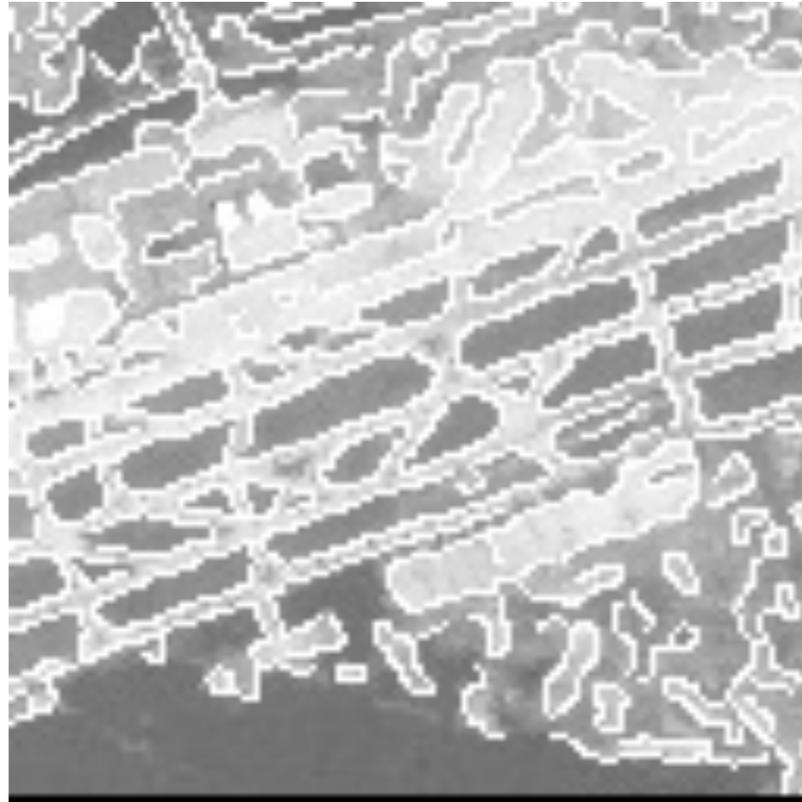


- **Multispektrale Kanten, berechnet auf Kanälen 1,2,3,4,5,7; dem Kanal 5 überlagert,  $\sigma=1$  und  $\sigma=3$**

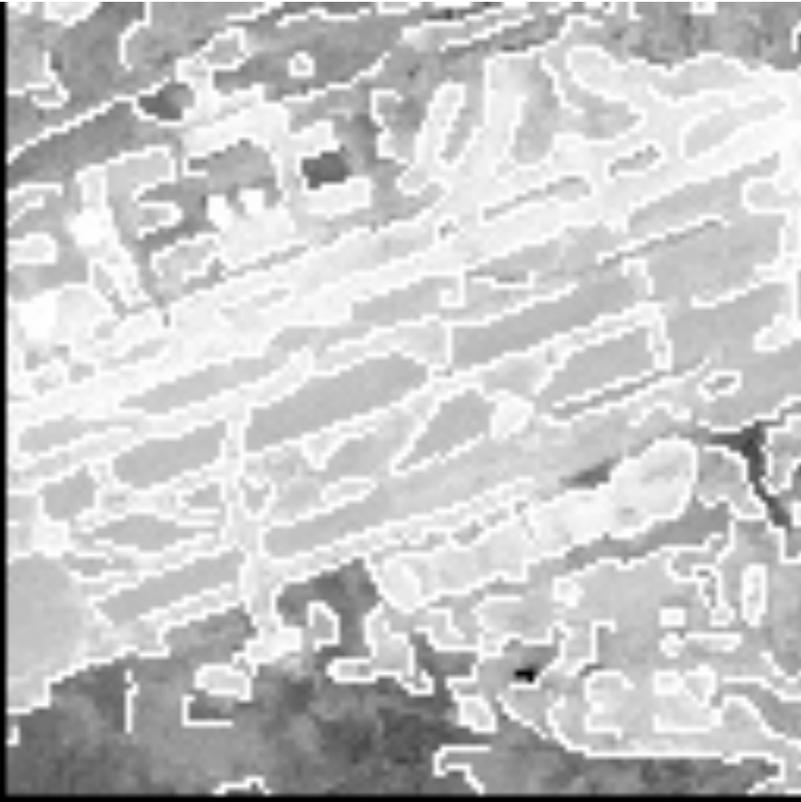
# Detail-Vergleiche Algorithmen



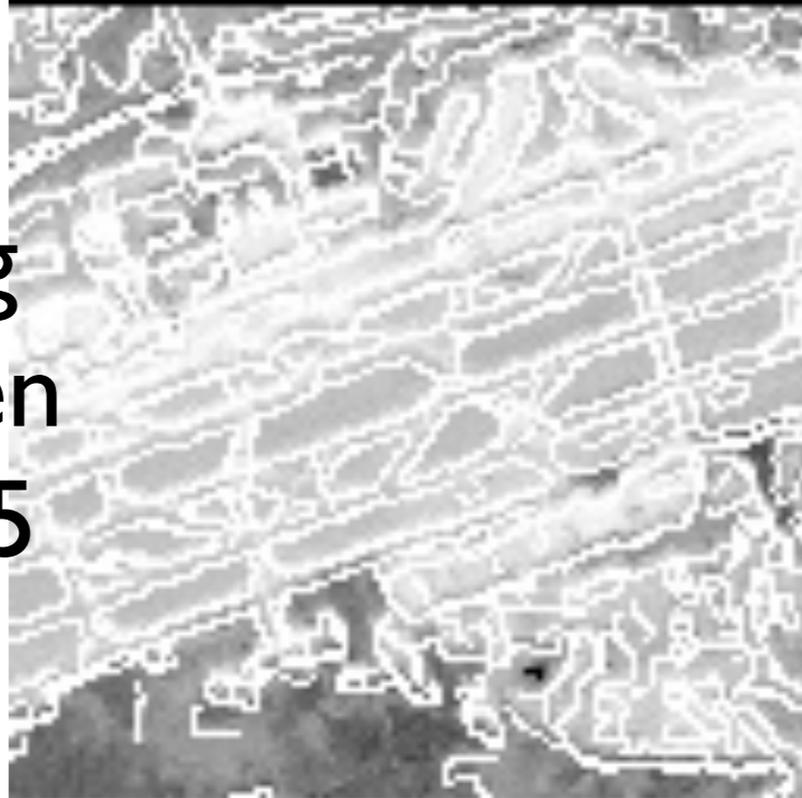
**Kanal 3**



**Kanal 5**



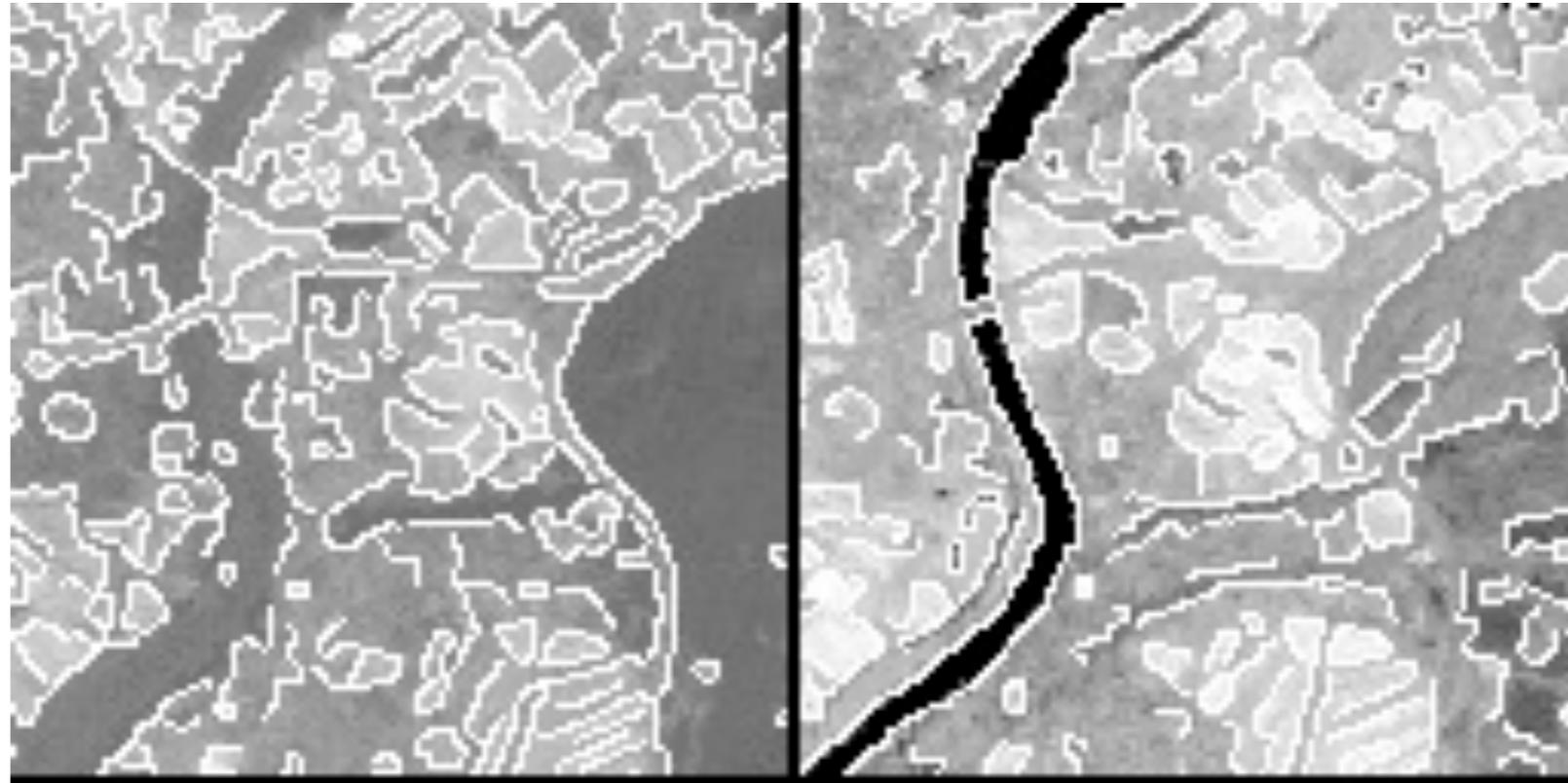
**Mischung  
der Kanten  
Kanal 3+5**



**Multispektrale  
Kanten**



**Kanal 3**



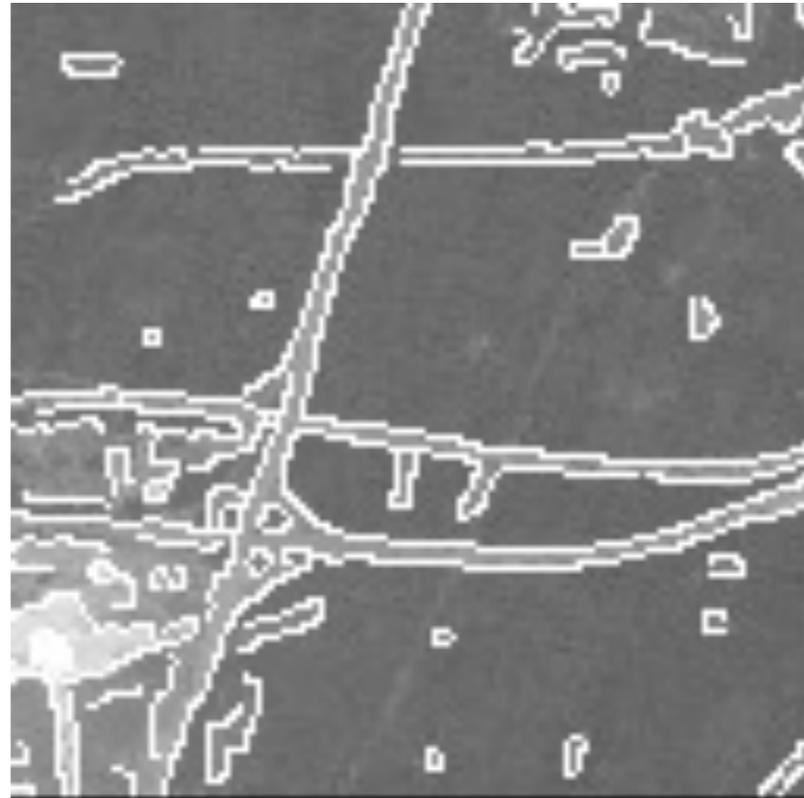
**Kanal 5**



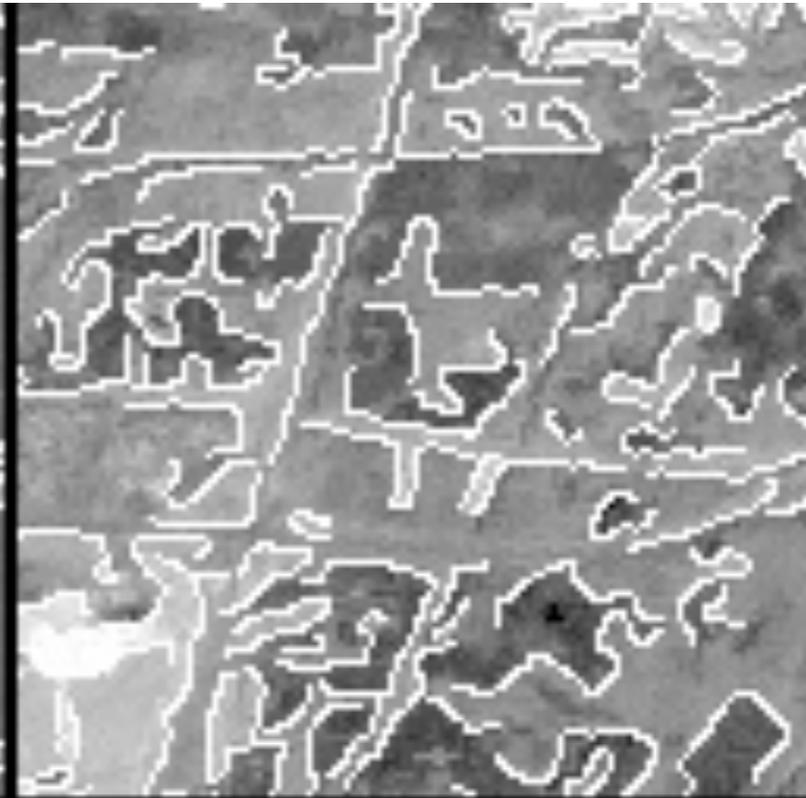
**Mischung  
der Kanten  
Kanal 3+5**

**Multispektrale  
Kanten**

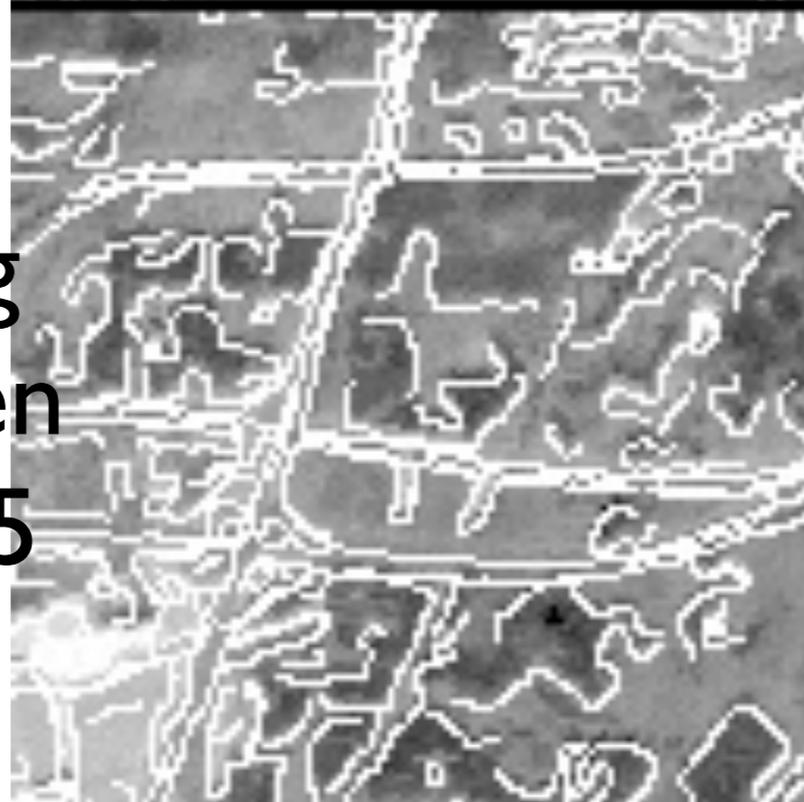
Kanal 3



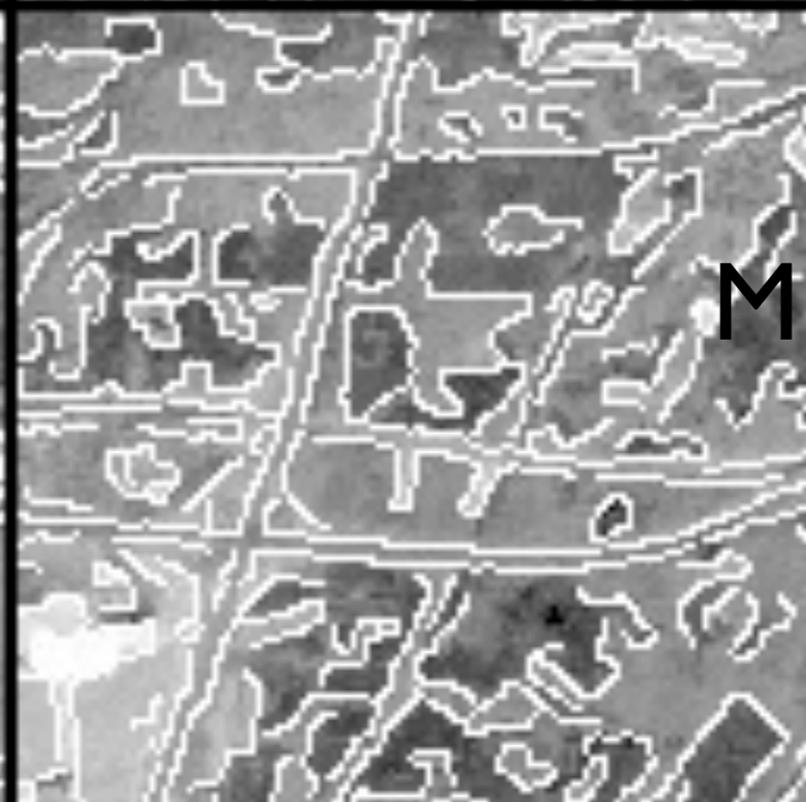
Kanal 5



Mischung  
der Kanten  
Kanal 3+5



Multispektrale  
Kanten



- It shows edges computed on separate channels and their superposition in comparison with the multispectral result. While infrastructure elements appear much better in the edges detected in channel~3 most edges corresponding with vegetation structures only appear in channel~5. Simply superposing both results works successfully at places where there is no redundancy in the signals and even when contradicting information occurs (all structures will be present in the final result without respect to local dominance). However, it disregards redundancy: a lot of edge structures which appear as clear structures in the separate channels form unwanted clusters of edge pixels in the final result.
- In contrast, using the multispectral approach redundant as well as complementing information is successfully integrated without forming unwanted clusters. However, the multispectral approach does not work completely satisfactorily where several structures caused by independent phenomena occur at the same place or in close neighborhood. Using an integrating technique in those situations leads to interference of the effects involved and often results in unreliable edge information which is dominated by the strongest effect while at the same time weak but still significant information is lost.

- **Beobachtung: Inhomogenitäten der Infrastruktur zeichnen sich besonders gut in Kanal 3 ab, Wechsel in der Vegetation in Kanal 5.**
- **Im Mischbild der Kanten sind beide Strukturen gut zu sehen, aber wenn die Kanten in beiden Kanälen da sind, entstehen unschöne breite Häufungen.**
- **Der Multispektrale Kantenfinder vermeidet Mehrfachkanten.**

- Ob ein Kanten separat in den thematischen Kanälen gesucht werden sollten oder der multispektrale Ansatz vorzuziehen ist, hängt von der Anwendung und vom szenenspezifischen Wissen ab.