

6. Registrierung

6. Registrierung

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

6.2 Lineare Registrierung

6.2.1 Intensitätsbasierte Registrierung

6.2.2 Transinformationsbasierte Registrierung

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung

6 Registrierung

- Voraussetzung für Fusion: **Gemeinsamer Kontext**
- **Übereinstimmung der Definitionsbereiche** der durch die Daten repräsentierten Informationen (örtlich: kollokiert bzw. zeitlich: synchron)
- Registrierung: Anpassung der Definitionsbereiche (z.B. durch Verschiebung, Verzerrung)
- Unterschiedliche **Registrierungsverfahren** je nach
 - Art der zu fusionierenden Daten
 - Zusammenhang zwischen den zu fusionierenden Daten
 - Anforderungen an Genauigkeit, Variabilität, Robustheit, Suchbereich

Beispiel: **Zeitliche Registrierung**

Vorliegende Daten:

- Videostrom (von der Kamera)
- Audiostrom (vom Mikrophon)

Ziel: Synchronisation der Daten zu vertontem Film

6 Registrierung – Eliminierbare und nicht eliminierbare Unterschiede

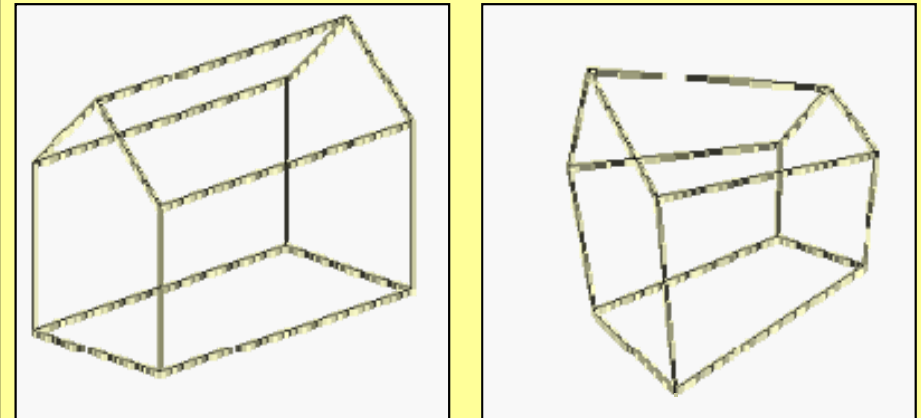
- **Eliminierbare Unterschiede** bei homogenen Sensorsystemen
Anpassung durch Anwendung von geometrischen Transformationen, z.B.
 - (Bereichsweise) Verschiebung (Translation)
 - Perspektivische Projektion
 - Drehung (Rotation)
 - Größenänderung
- Kompatible, evtl. teilweise komplementäre Definitionsbereiche,
kompatible Wertebereiche
- **Registrierung**: Vollständige Beseitigung der Unterschiede

Bsp.: Verschiebung des Sensorsystems



Quelle: Institut für Mess- und Regelungstechnik, Universität Karlsruhe (TH)

Bsp.: Perspektivische Verzerrungen



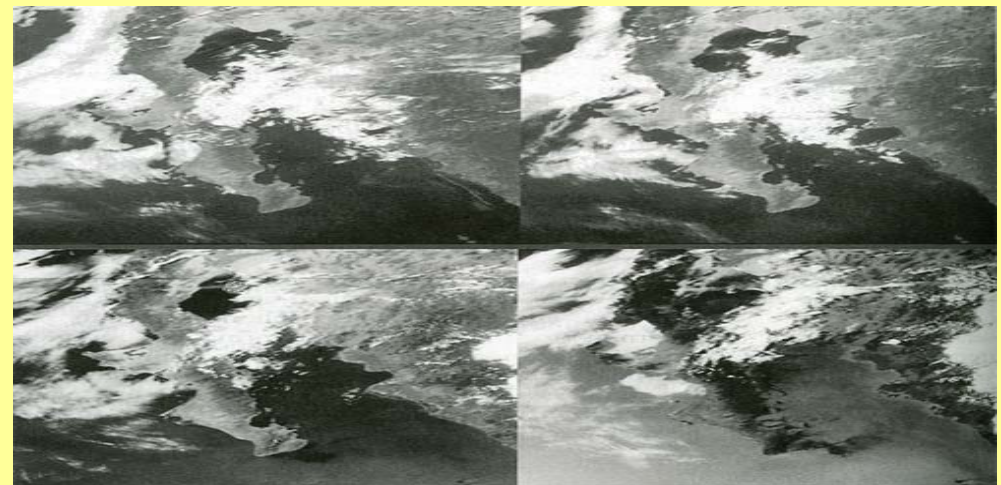
6 Registrierung – Eliminierbare und nicht eliminierbare Unterschiede

- **Nicht eliminierbare Unterschiede** resultierend aus
 - Heterogenen Sensorsystemen
 - Veränderung der Szene zwischen den Beobachtungen (z.B. Beleuchtung)
 - Sensorsystemen mit unterschiedlichen Beobachtungsparametern
- Kompatible Definitionsbereiche, **unterschiedliche Wertebereiche**
- Kein vollständiger Ausgleich der Daten durch geometrische Transformationen möglich
- **Registrierung**: Bestmöglicher Ausgleich der Unterschiede

Bsp.: Unterschiedliche Beleuchtungen



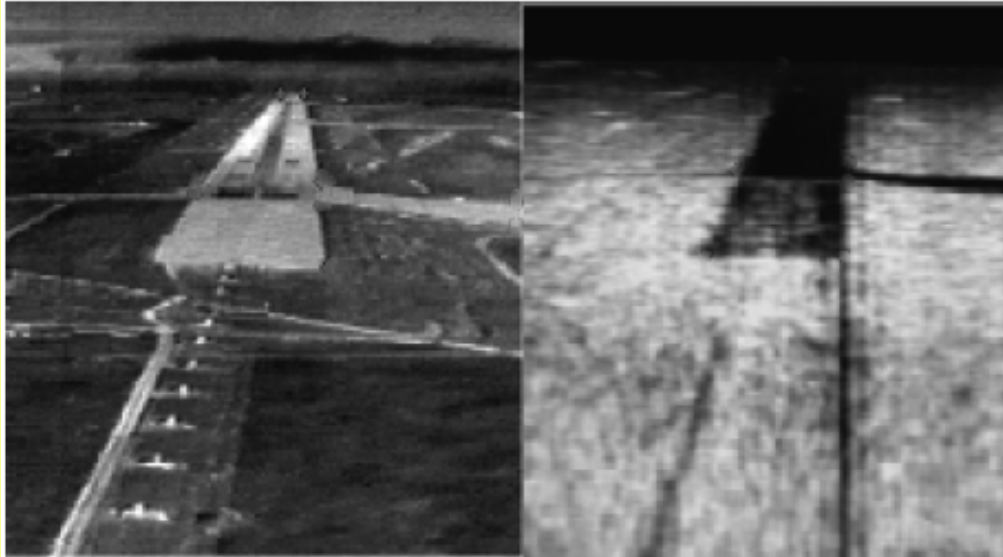
Bsp.: Wolkenformationen



Quelle: Rick S. Blum & Zheng Liu: *Multi Sensor Image Fusion and Its Applications*. Taylor & Francis, 2006

6 Registrierung – Eliminierbare und nicht eliminierbare Unterschiede

Beispiele: Nicht eliminierbare Unterschiede



Quelle: www.resy.informatik.uni-kl.de

Wärme- und Radarbild

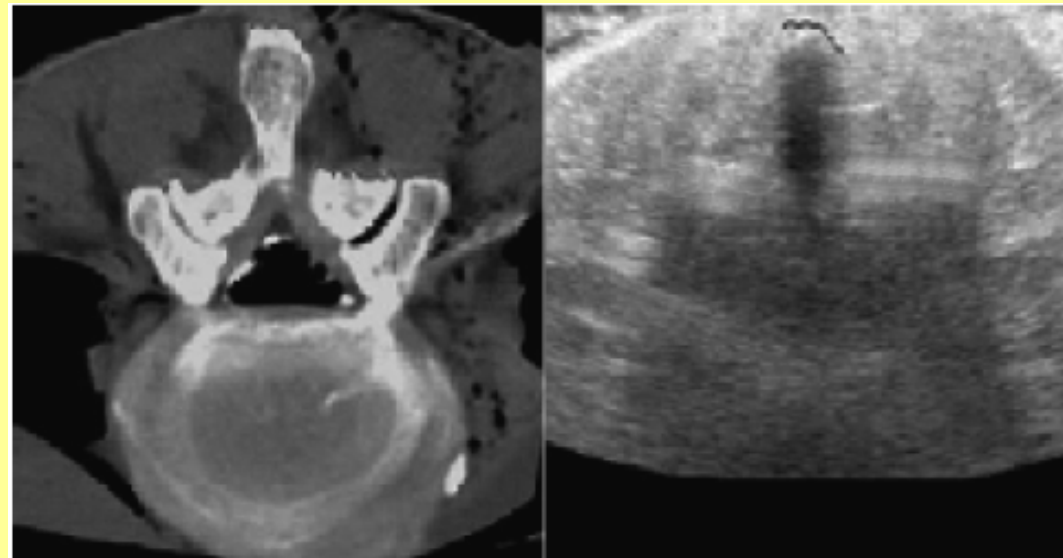
Flugzeug beim Landeanflug

IR-Bild: Dunkelheit

Radarbild: Nebel

CT- und Ultraschallaufnahme

Erkennung von Anomalien,
Operationsnavigation



Quelle: www.resy.informatik.uni-kl.de

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

- **Gegeben:** Beobachtung von Sensorsystem 1 \rightarrow Template $T(x)$ $x \in \mathbb{R}^q$
Beobachtung von Sensorsystem 2 \rightarrow Referenz $R(x)$
- **Aufgabe:** Gesucht ist eine geometrische Transformation $F : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$ derart, dass Referenz $R(x)$ und angepasstes Template $T_F(x) := T(F(x))$ möglichst „gut“ übereinstimmen.
Dann sind die eliminierbaren Unterschiede vollständig und die nicht eliminierbaren Unterschiede bestmöglich beseitigt.
- **Anforderungen an F :** Erzielung möglichst hoher Übereinstimmung zwischen R und T_F

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

- **Bei nicht eliminierbaren Unterschieden:**

Unterscheiden sich Template $T(F(x))$ und Referenz $R(x)$ in ihren Funktionswerten (z.B. aufgrund heterogener Sensorsysteme), so ist eine **zusätzliche Funktion f** zur Berücksichtigung dieser Unterschiede sinnvoll:

- **Allgemeines Registrierungsproblem:**

Gegeben sei ein reellwertiges Distanzmaß d sowie ein Template T und eine Referenz R .

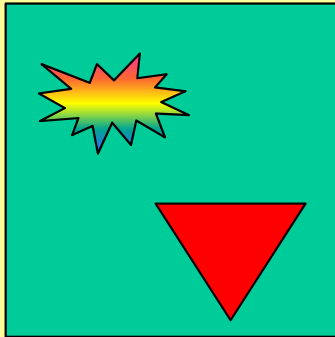
Finde Funktionen $F : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$ und $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, so dass gilt

$$d(R, f \bullet T \bullet F) \rightarrow \text{Minimum}$$

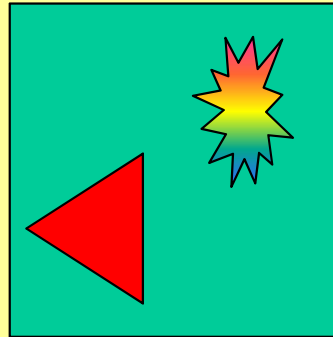
Dabei bezeichnet \bullet die Hintereinanderausführung von Operatoren.

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

Beispiel: Registrierung zweier Bilder



Template T

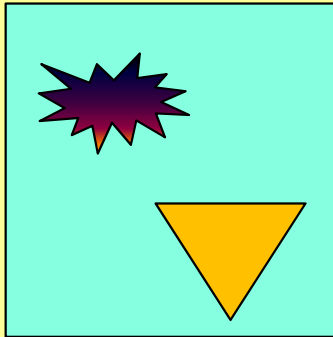


Referenz R

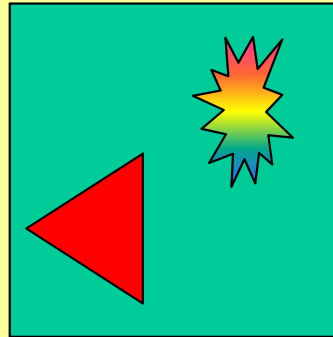
- Homogenes Sensorsystem, daher wird f als Identität gewählt
- Finde die beste Funktion F , die die Beobachtungen T und R der Sensorsysteme bestmöglich kombiniert und somit ein geeignetes Distanzmaß minimiert
- Lösung für F : Drehung des Templates T um 90° im Uhrzeigersinn
- Dann gilt $T(F(x)) = R(x)$, d.h. größtmögliche Übereinstimmung ist erreicht.

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

Beispiel: Registrierung zweier Bilder



Template T



Referenz R

- Heterogenes Sensorsystem, Wahl von f z.B. als Histogramm-Transformation oder Look-Up-Tabelle
- Optimierung von F und f , so dass $d(R(x), f(T(F(x))))$ minimal wird.

6.1 Aufgabenstellung der Registrierung

Restriktion des Suchraumes → Einschränkungen von F

- Im Allgemeinen ist die Minimierung der Vergleichsfunktion nicht bezüglich beliebiger Funktionen

$$F : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$$

durchführbar.

- Deshalb **zusätzliche Forderungen an F** (z.B. Glattheit) oder **Beschränkung auf bestimmte Klassen von Funktionen** wie
 - Affine Abbildungen
(inkl. Translationen, Kongruenzen, Ähnlichkeiten)
 - Projektive Abbildungen
 - Polynomialtransformationen
 - Spline-Transformationen

6.2 Lineare Registrierung

Einschränkung des **Suchraumes für geeignete Transformationen** auf die Menge der q -dimensionalen affinen (linearen) Abbildungen

Gesucht ist $F_p : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$, so dass $d(R, f \bullet T \bullet F_p) \rightarrow \text{Minimum}$

F_p parametrisierbar durch $\mathbf{p} = (p_{10}, \dots, p_{1q}, \dots, p_{q0}, \dots, p_{qq})^T \in \mathbb{R}^{q(q+1)}$:

$$F_p(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{q1} & \cdots & p_{qq} \end{pmatrix} \mathbf{x} + \begin{pmatrix} p_{10} \\ \vdots \\ p_{q0} \end{pmatrix}$$

6.2.1 Intensitätsbasierte Registrierung

Festlegung der **Vergleichsmetrik** durch Wahl der Distanzfunktion:
Summe der Quadrate der Intensitätsdifferenzen
(Sum of Squared Differences, SSD):

$$d_{\text{SSD}}(R, T_p) := \frac{1}{2} \|T_p - R\|_{L_2}^2 = \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}^q} (T_p(x) - R(x))^2 dx \quad T_p := T \bullet F_p$$

Optimaler Parametersatz p :

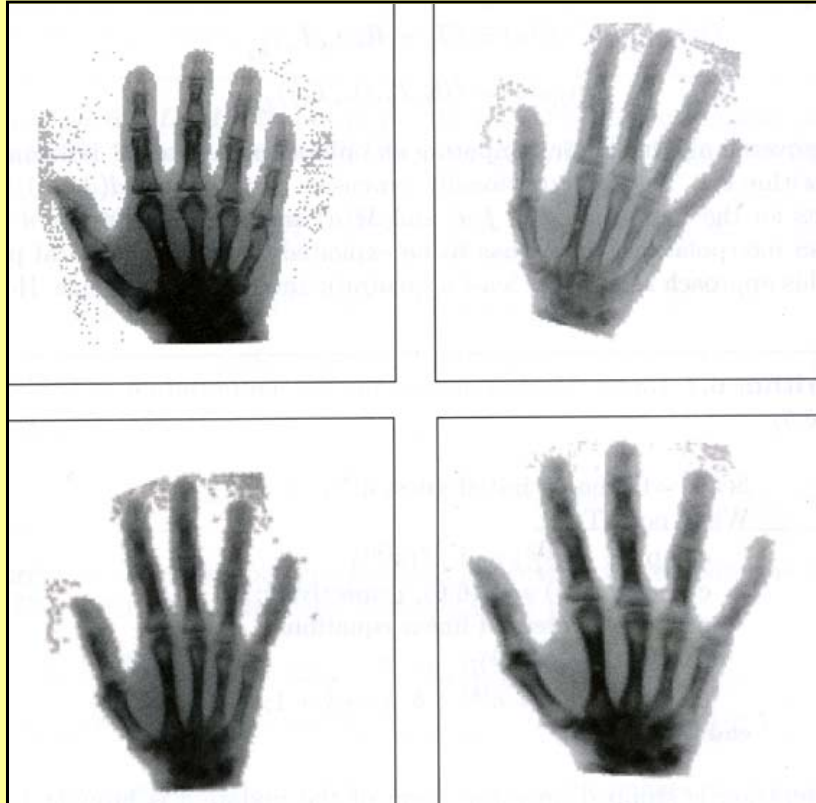
Notwendige Bedingung für Minimum:

$$\frac{\partial}{\partial p_{ij}} d_{\text{SSD}}(R, T_p) \stackrel{!}{=} 0 \quad \forall p_{ij}$$

Lösung z.B. mittels Newton-Verfahren (iterativ)

6.2.1 Intensitätsbasierte Registrierung

Bsp: Intensitätsbasierte Registrierung (SSD)



Oben links: **Referenz**

Oben rechts: **Template**

Unten links: **Template nach Registrierung mit
Festkörper-Transformationen**

Unten rechts: **Template nach Registrierung mit
affinen Transformationen**

Quelle: Jan Modersitzki: Numerical Methods for Image Registration. Oxford University Press, 2004

6.2.2 Transinformationsbasierte Registrierung

Auf Transinformation (Mutuelle Information, MI) basierende Registrierung:

Vergleichsfunktion $d_{\text{MI}}(R, T) := H\{p_R\} + H\{p_T\} - H\{p_{R,T}\}$

$H\{p_x\} = E_{p_x}\{-\log_2 p_x\}$: Entropie (für diskrete Werte)

$p_{R,T}$: Verbundverteilung der Grauwerte

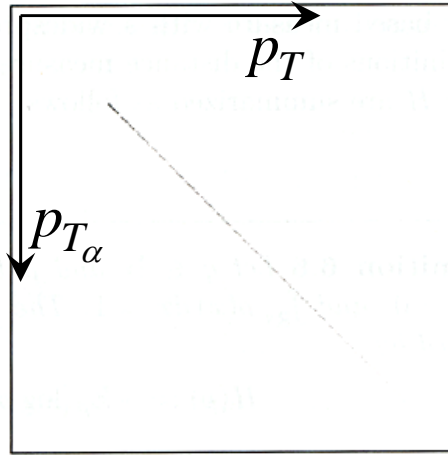
p_R, p_T : Grauwertverteilungen von R, T

Eigenschaften von $d_{\text{MI}}(R, T)$:

- $d_{\text{MI}}(R, T) = E_{p_{R,T}} \left\{ -\log_2 \frac{p_R p_T}{p_{R,T}} \right\}$
- $H\{p_{R,T}\} \leq H\{p_R\} + H\{p_T\} \Rightarrow d_{\text{MI}}(R, T) \geq 0$
- R, T unabhängig: $p_{R,T} = p_R p_T \Rightarrow d_{\text{MI}}(R, T) = 0$
- $d_{\text{MI}}(R, T)$ ist maximal g.d.w.
Abhängigkeit zwischen p_R und p_T maximal
- $d_{\text{MI}}(R, T)$ ist keine Metrik

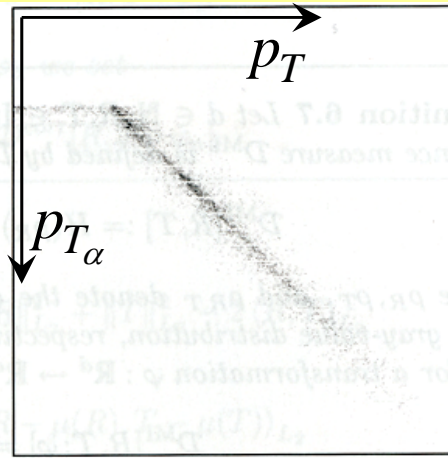
6.2.2 Transinformationsbasierte Registrierung

Beispiel: Drehung eines Bildes T um den Winkel α

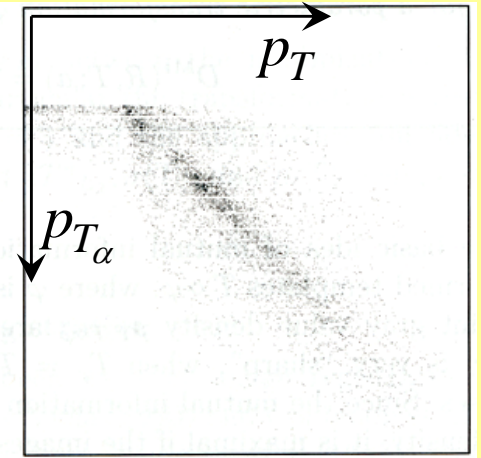
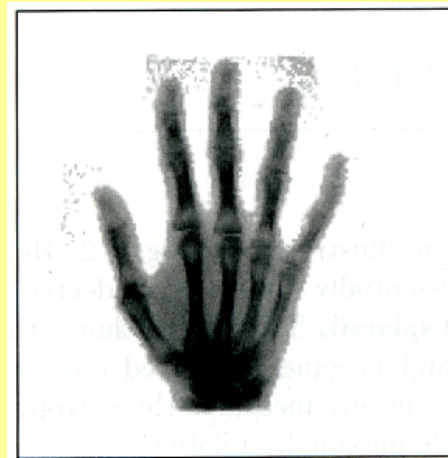


Rechtes Bild: Deformiertes Template T
Linkes Bild: Verbunddicke

$$\alpha = 0^\circ: d_{\text{MI}}(T, T \bullet F_\alpha) \approx 1,71$$



$$\alpha = 1^\circ: d_{\text{MI}}(T, T \bullet F_\alpha) \approx 1,02$$

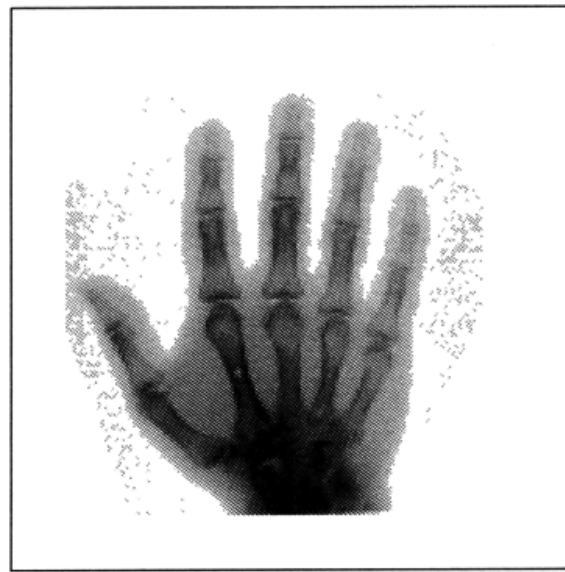


$$\alpha = 5^\circ: d_{\text{MI}}(T, T \bullet F_\alpha) \approx 0,80$$

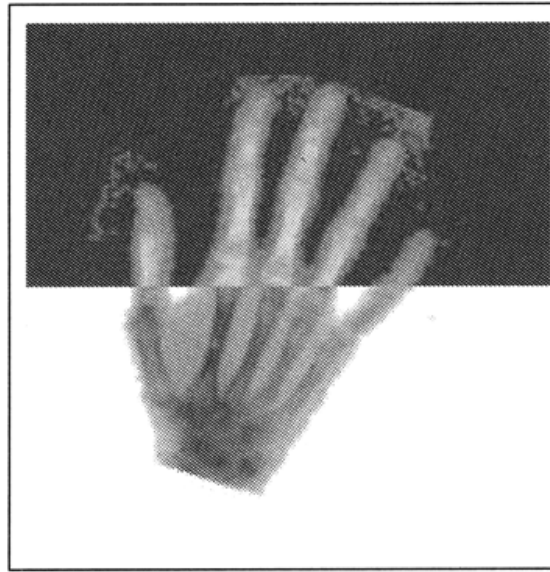
Quelle: Jan Modersitzki: Numerical Methods for Image Registration. Oxford University Press, 2004

6.2.2 Transinformationsbasierte Registrierung

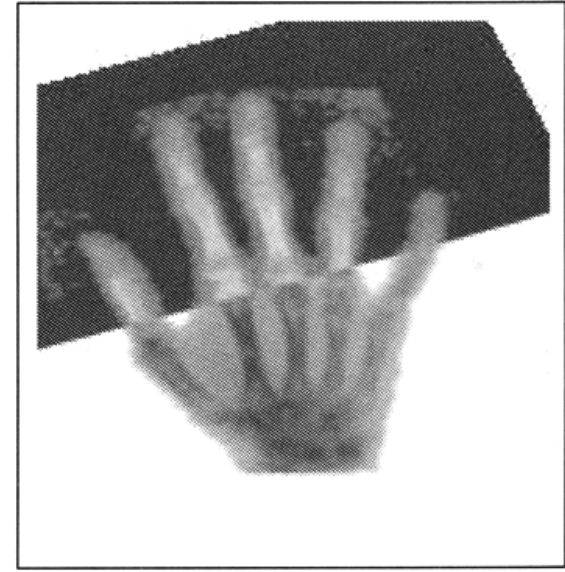
Beispiel: Registrierung bei teilinvertiertem Template



Referenz



Template



Registriertes Template

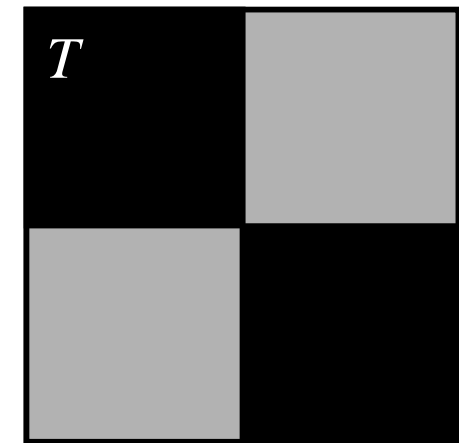
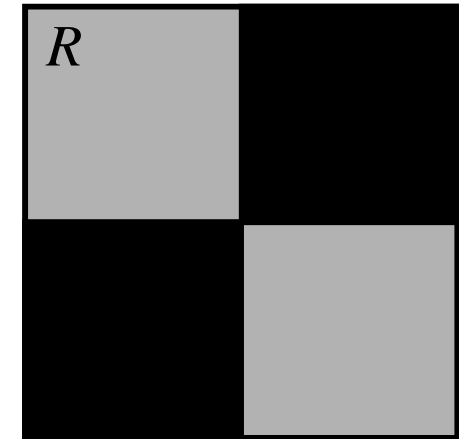
Quelle: Jan Modersitzki: Numerical Methods for Image Registration. Oxford University Press, 2004

- Mutuelle Information vergleicht nicht Intensitäten, sondern im Wesentlichen die **Entropie der Verbunddichte** $p_{R,T}$.

6.2 Lineare Registrierung – Vergleich

Intensitätsbasierte Registrierung:

- Geeignet, wenn **Intensitäten** von Template und Referenz in (linearem) Bezug stehen
- Ähnlichkeiten entsprechen weitgehend der **menschlichen Wahrnehmung**
- Im Beispiel: d_{SSD} hat **zwei Minima**: Drehung um $\pi/2$, $3\pi/2 \rightarrow$ Übereinstimmung der Intensitäten



Transinformationsbasierte Registrierung:

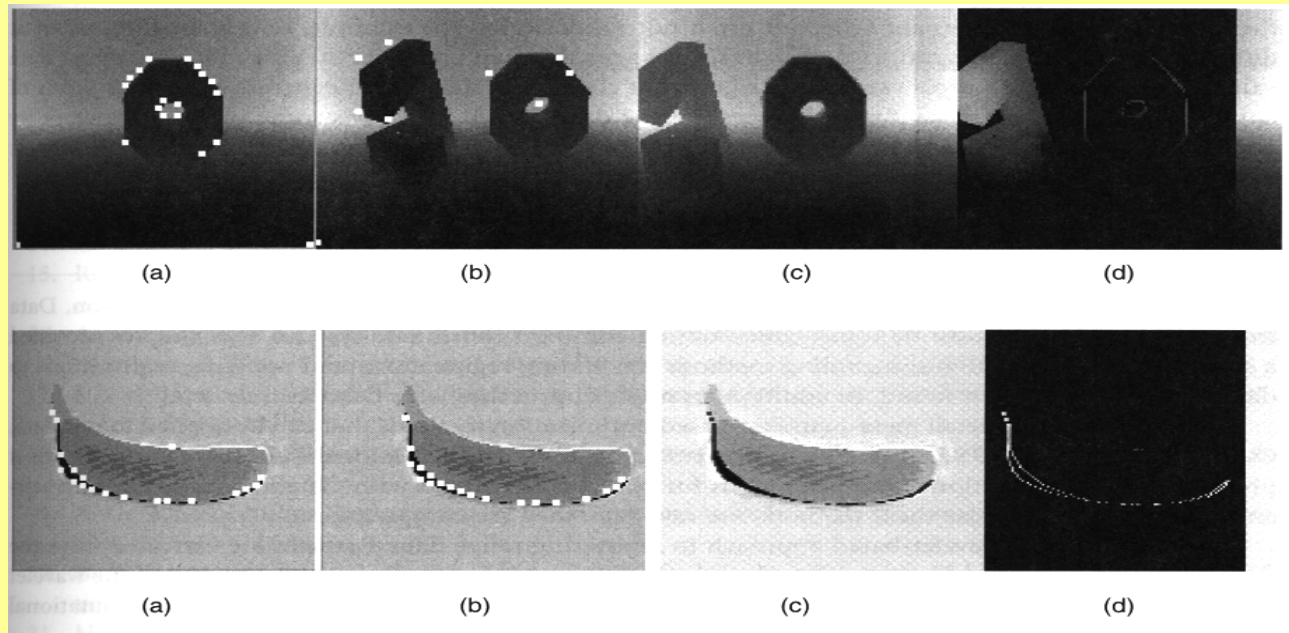
- Intensitäten müssen nicht notwendigerweise in linearem oder stetigem Bezug zueinander stehen
- Im Beispiel: **vier optimale Drehwinkel**: $k\pi/2$, $k = 0, 1, 2, 3$
- Schätzung stochastischer Eigenschaften der Bilder erforderlich
 \rightarrow Abhängigkeit von den jeweiligen Bildern (Zufallsgrößen)

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung

- Matchen von **charakteristischen Merkmalen (Landmarks)**
- **Wahl des Merkmalsraums** (Feature Space):
Kanten, Ecken, Konturen, je nach Aufgabenstellung und Sensoren
 - „Harte“ Merkmale: Bei der Beobachtung **bereits vorhandene** Merkmale (Reale Objekteigenschaften oder Marker)
 - „Weiche“ Merkmale: **Nach Beobachtung (evtl. interaktiv) markierte** Objekteigenschaften
- **Ziel:** Auffinden und Ausrichten der Merkmale in den Datensätzen

Beispiel:

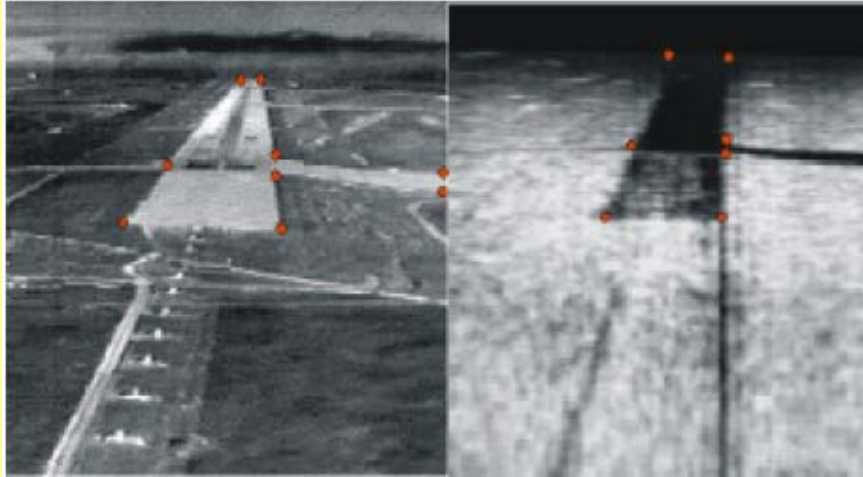
- (a) Referenz mit markierten Merkmalen
- (b) Template mit markierten Merkmalen
- (c) Registrierungsergebnis (gemittelte Intensitäten)
- (d) Registrierungsergebnis (Differenz der Intensitäten)



Quelle: David L. Hall & James Llinas: *Handbook of Multisensor Data Fusion*. CRC Press, 2001

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung

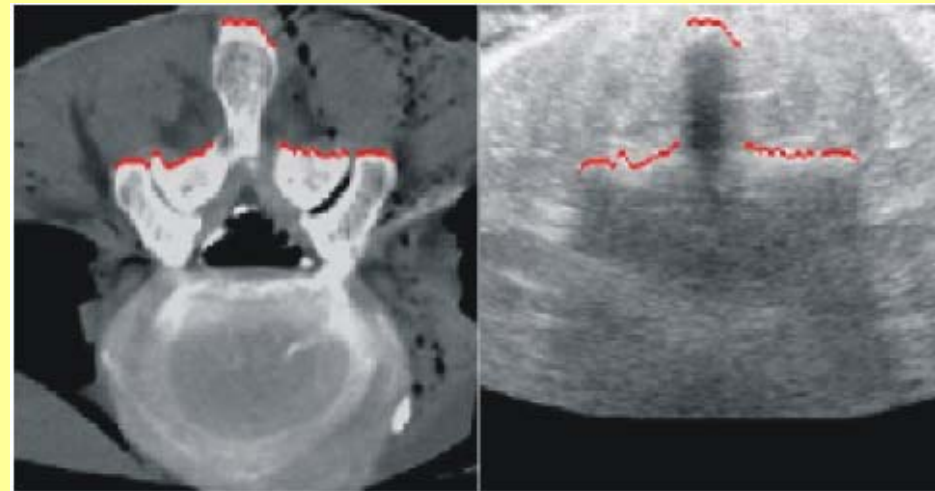
Beispiele: Charakteristische Merkmale



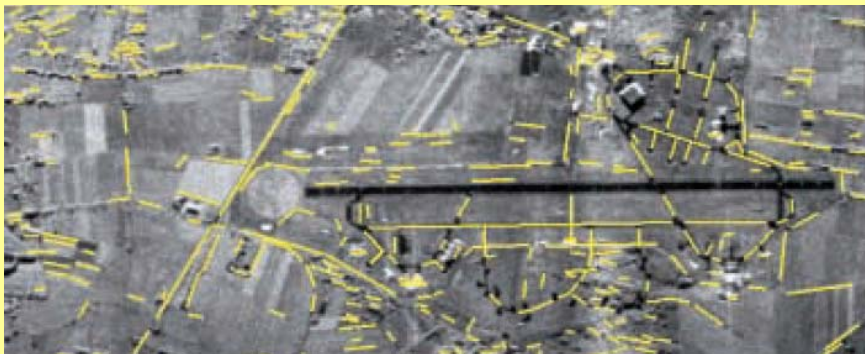
Quelle: www.resy.informatik.uni-kl.de

Wärme- und Radarbild:
Ecken

**CT- und Ultraschall-
Datensätze:**
Konturen



Quelle: www.resy.informatik.uni-kl.de



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Dr. Krüger

Luftbild (SAR) und Karte:
Liniensegmente

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung

Formalisierung der Problemstellung:

$M(R, j)$ j -tes Merkmal in der Referenz R ,

$M(T, j)$ j -tes Merkmal im Template T

mit $j = 1, \dots, m$, $m \in \mathbb{N}$, m : Anzahl der Merkmale

Distanzfunktion $d_M(F) = \sum_{j=1}^m \|M(R, j) - F(M(T, j))\|_{\mathbb{R}^q}^2$

Aufgabe: Finde eine Funktion $F : \mathbb{R}^q \rightarrow \mathbb{R}^q$, so dass

$d_M(F) \rightarrow \text{Minimum}$

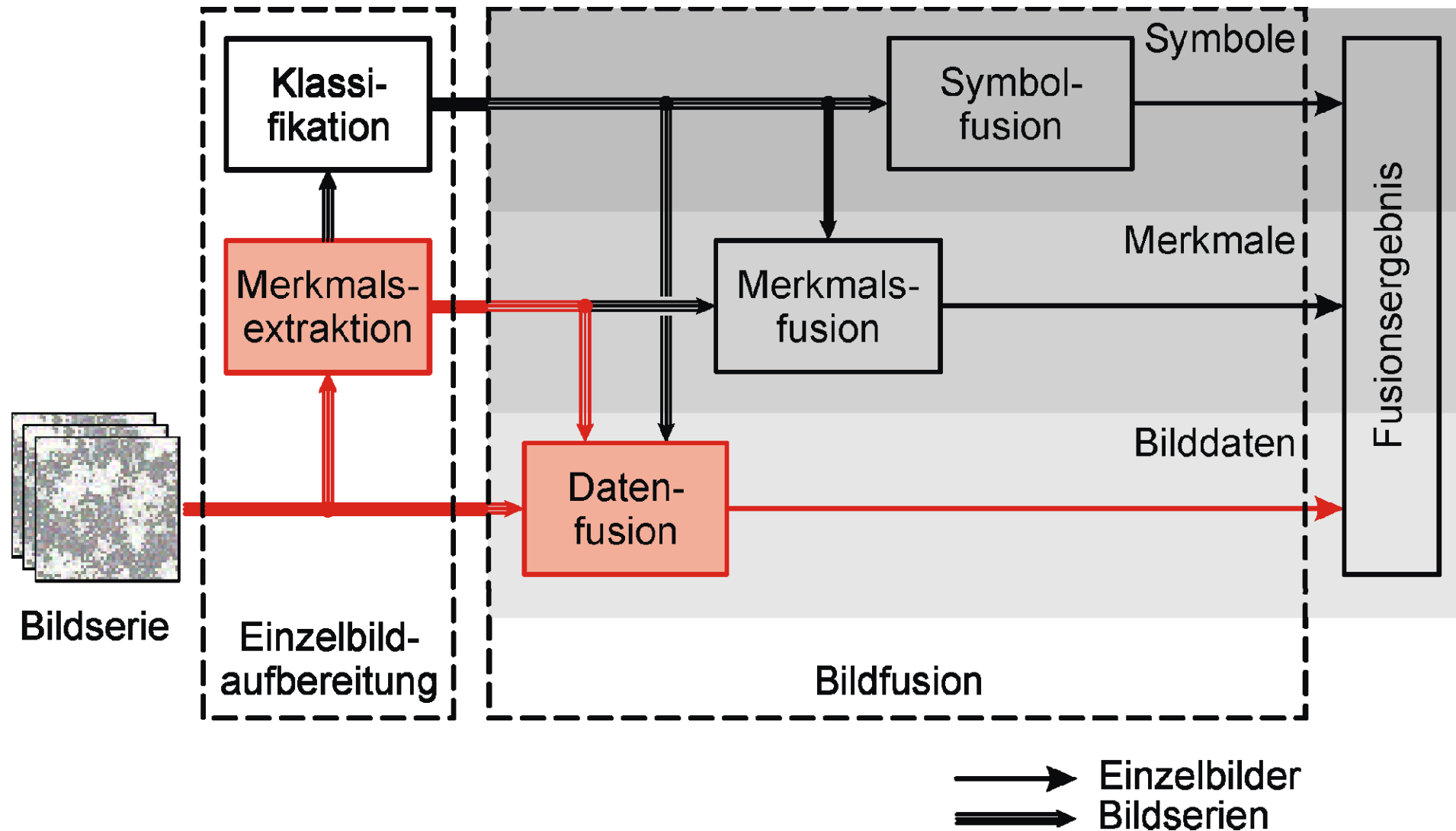
Merkmale entsprechen **Positionsangaben im Raum:**

$$M(R, j) := \mathbf{x}^{R,j}, \quad M(T, j) := \mathbf{x}^{T,j}, \quad j = 1, \dots, m, \quad m \in \mathbb{N}$$

$$\Rightarrow d_M(F) = \sum_{j=1}^m \|M(R, j) - F(M(T, j))\|_{\mathbb{R}^q}^2 = \sum_{j=1}^m \|\mathbf{x}^{R,j} - F(\mathbf{x}^{T,j})\|_{\mathbb{R}^q}^2$$

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung

Einordnung nach Abstraktionsgrad



6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, Dr. Krüger

SAR-Bild



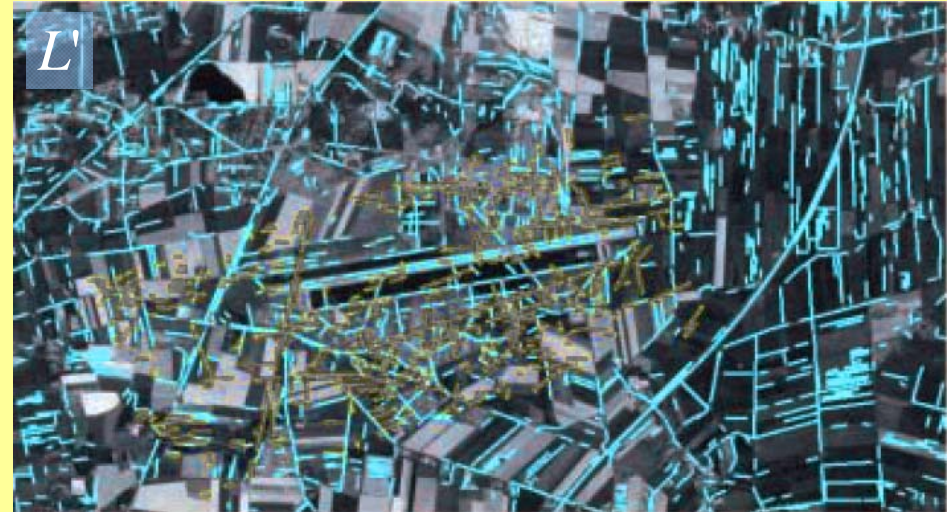
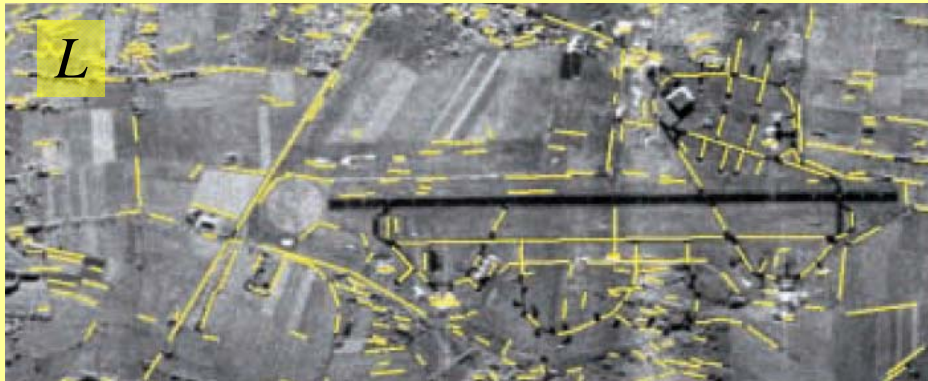
Satellitenbild
(visuelles Spektrum)

- **Kalibrierte Kameras:** Intrinsische Parameter bekannt (Maßstabsfaktoren, Lage der optischen Achse, Brennweite, geom. Verzeichnungen)
- Schätzung der **extrinsischen Kameraparameter** (Lage und Orientierung im Raum) mittels GPS, Inertialnavigation
→ Initiale Schätzung für merkmalsgestützte Registrierung

Quelle: W. Krüger: Robust and efficient map-to-image registration with line segment. Machine Vision and Application 13, pp. 38-50, 2001.

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

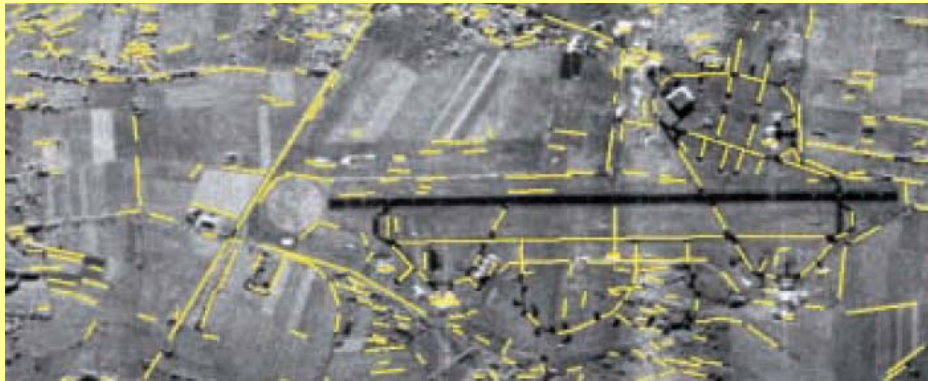
- Karten: Menge von M Liniensegmenten im Template: $L = \{l_1, \dots, l_M\}$
Menge von D Liniensegmenten in der Referenz: $L' = \{l'_1, \dots, l'_D\}$



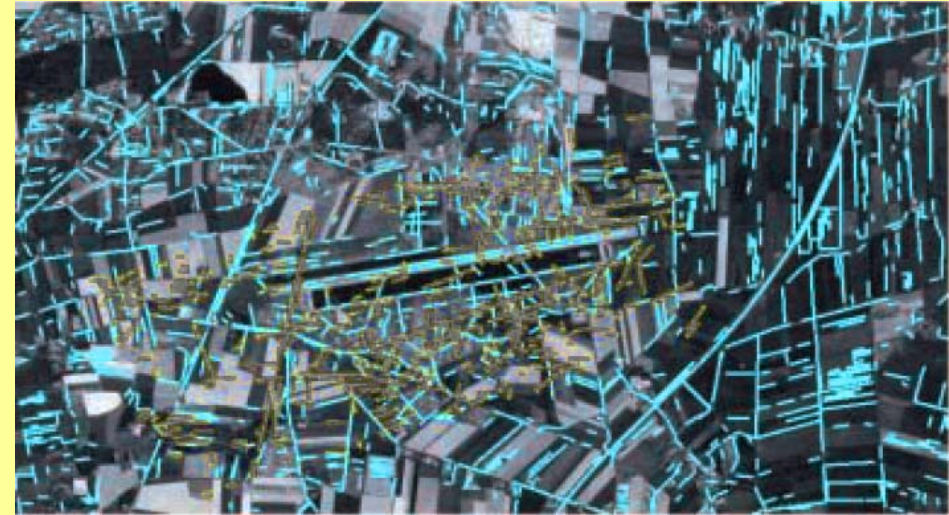
- Registrierung: Möglichst gute Abbildung von L auf L' durch projektive Transformation
- Projektive Abbildung erhält Kollinearität von Liniensegmenten

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

Ergebnisse: ■ Registrierung von SAR- und Satellitenbild



SAR-Bild mit Liniensegmenten



Satellitenbild mit Liniensegmenten



Satellitenbild mit ausgerichteten
Liniensegmenten des SAR-Bildes



Ausgerichtete Bilder

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

Weitere Anwendungen:

- Generierung von **Bildteppichen** aus Videobildfolgen (→ Beispiele)
- **Bildstabilisierung** für komplexe Kamerabewegungen (→ Beispiele)
- Registrierung multisensorieller/multispektraler Bilder
- Detektion von Bewegungen bei bewegter Kamera

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

- Generierung von **Bildteppichen** aus Videobildfolgen



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

- Generierung von **Bildteppichen** aus Videobildfolgen



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

- **Bildstabilisierung** für komplexe Kamerabewegungen



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

6.3 Merkmalsbasierte Registrierung – Beispiel

- **Bildstabilisierung** für komplexe Kamerabewegungen



Quelle: Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

- Blum, Rick S.; Liu, Zheng (Hrsg.): *Multi Sensor Image Fusion and Its Applications*. Taylor & Francis, 2006.
- Brendel, B.; Winter, S.; Rick, A.; Stockheim, M.; Ermert, H.: *Registration of 3D CT- and ultrasound-datasets of the spine using bone structures*. Computer Aided Surgery, 7: S. 146-155, 2002.
- Clark, James J.; Yuille, Alan L.: *Data Fusion for Sensory Information Processing Systems*. Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Hall, David L.; Llinas, James: *Handbook of Multisensor Data Fusion*. CRC Press, 2001.
- Hartley, Richard; Zisserman, Andrew: *Multiple view Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2003.
- Krüger, Wolfgang: *Robust and efficient map-to-image registration with line segments*. Machine Vision and Applications 13: S. 38-50, 2001.
- Modersitzki, Jan: *Numerical Methods for Image Registration*. Oxford University Press, 2004.

- Wells, W. M.; Viola, P.; Atsumi, H.; Nakajima, S.: *Multi-Modal Volume Registration by Maximization of Mutual Information*. Medical Image Analysis, 1(1) pp. 35-51, 1996.
- Winter, S.; Brendel, B.; Rick, A.; Stockheim, M.; Schmieder, K.; Ermert, H.: *Registrierung 3-dimensionaler CT- und Ultraschall-Bilddaten anhand von Knochenstrukturen*. 1. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboter assistierte Radiologie und Chirurgie (CURAC), 2002.
- Blake, A.; Zisserman, A.: *Visual Reconstruction*. MIT Press, Cambridge, USA, 1987.
- Geiger, D.; Girosi, F.: *Parallel and deterministic algorithms from MRFs: Integration and Surface Reconstruction*. MIT AI Lab Memo No. TR-1114, Juni 1989.
- Hanning, Tobias: *Vektorielle Mehrniveaupassung – Anwendungen in der Bildsegmentierung*. Dissertation, Universität Passau, 2002.