

# Digitale Objekterfassung

## *Digital object acquisition/ digital object recording*

Modul 3 / WS 1

Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova

Kontakt: [Mona.Hess@uni-bamberg.de](mailto:Mona.Hess@uni-bamberg.de)

Twitter: @Mona3Dimaging



Institut für Archäologische  
Wissenschaften,  
Denkmalwissenschaften  
und Kunstgeschichte



# Mobile Mapping, SLAM, Datenfusion

# Was ist Mobile Mapping?

- **Mobile Mapping** – Aufnahme und Kartierung vom Objekt von einer mobilen Messplattform
- Messplattform:
  - Aerial
    - Flugzeug
    - Drohne
  - Terrestrisch
    - Auto
    - Schiff/Boat
    - Robotik-Plattform
    - Mensch
    - u.a



# Mobile Mapping: Ablauf

- Die mobile Plattform fährt entlang einer Strecke
- Der Sensor erfasst:
  - Punktwolke
  - digitale Bilder von kalibrierten Kameras (optional)
- Dann – Datenverarbeitung (Datenregistrierung und –fusion)
- Erfasste Informationen:
  - Topographie,
  - Versorgungseinrichtungen,
  - Bauwerksstandorte,
  - Querschnitte,
  - Brückenabstände,
  - Beschilderung, usw.



<http://en.hi-target.com.cn/product/prodetail.aspx?pid=161>

# Komponente und Konfiguration

- Komponente
  - **GPS**: Position des Sensors im 3D Raum (Koordinaten)
  - **INS** (Inertial Navigation Systems): erfasst die 3D-Rotation des Sensors (Omega, Phi, Kappa).
  - **DMI** (Distanzmessungsindikatoren): erfasst die Wegstrecke.
    - + Das System ist in der Lage, die Totzonenberechnung für kurze GPS-Ausfälle aufgrund von Tunneln, überhängender Vegetation usw. ohne signifikante Genauigkeitseinbußen zu verwenden.
  - **LiDAR/Radar**: Distanzmessung, Randdetektion
- Typische Konfiguration
  - LiDAR von 2 Sensoren (je 200 kHz) für die 3D-Positionsinformationen
    - einen rotierenden Laserstrahl
    - GPS/INS-Positionierungstechnologie (misst Entfernung und Richtung zu Objekten)
  - 4-9 Digitalkameras für Bilder (je 5MP)

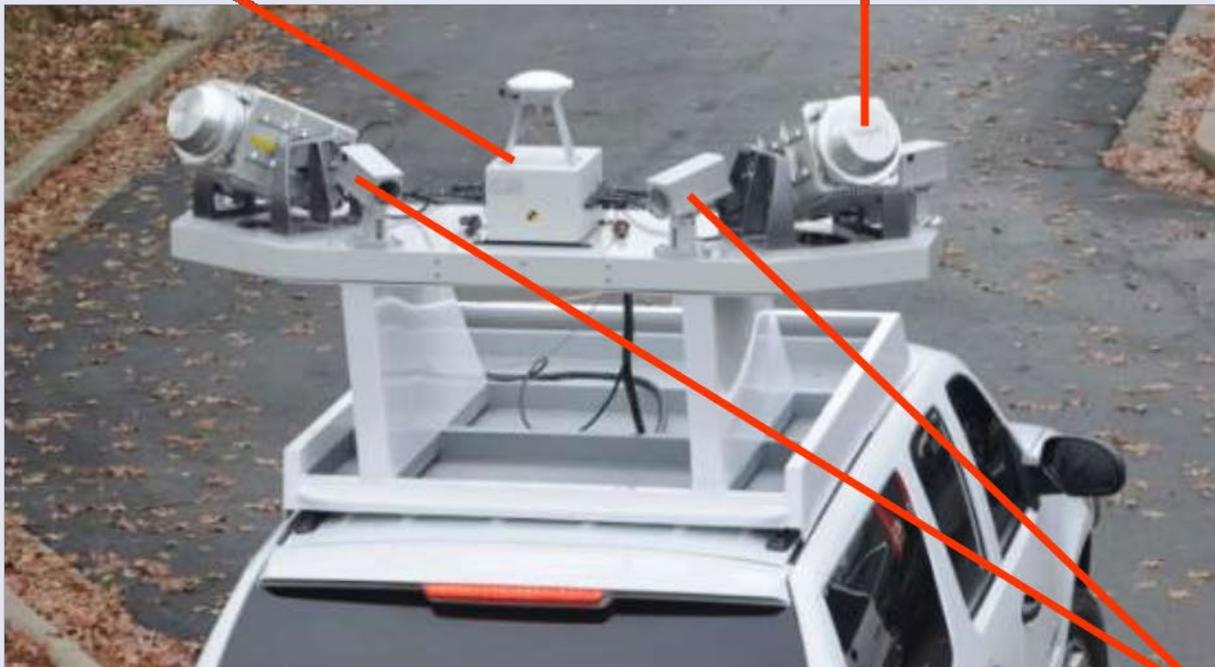
# Sensoren

- LiDAR:
  - Streifen-Scanner
  - 360°-Scanner
- Bilder:
  - Einzel/ Mehrbilder
  - Panoramen
  - Stereobilder
  - Videos (mono & stereo)
  - Thermal, multispektral ..

# Sensor-Konfiguration

GPS und INS

LiDAR Sensor



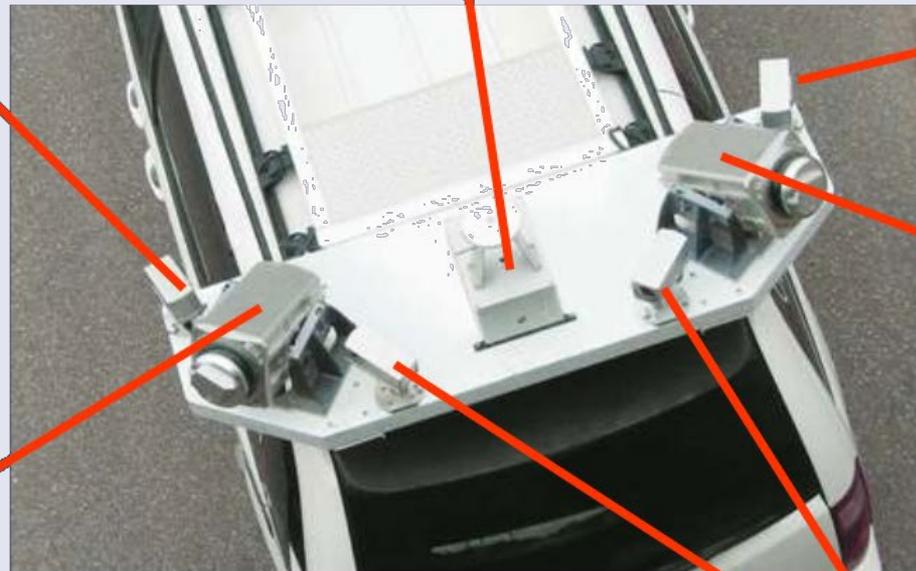
DMI

kalibrierte Digitalkameras

kalibrierte Digitalkamera

GPS und INS

kalibrierte Digitalkamera

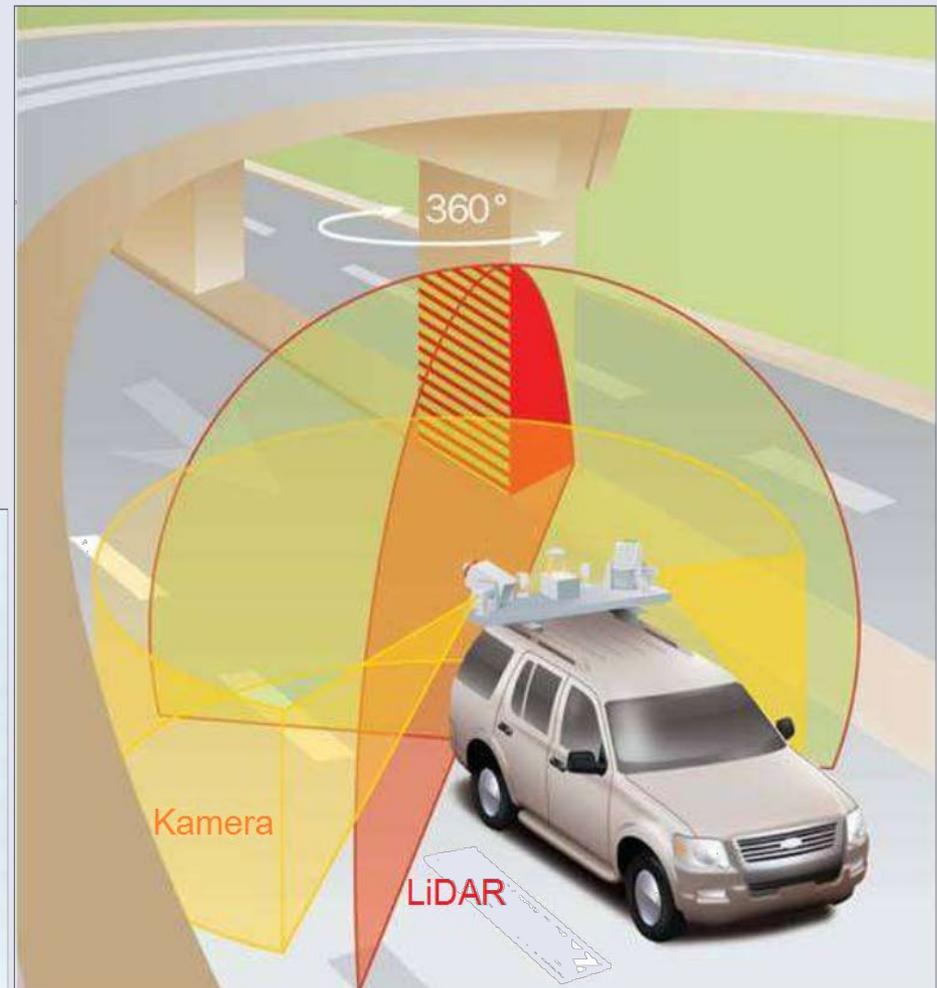
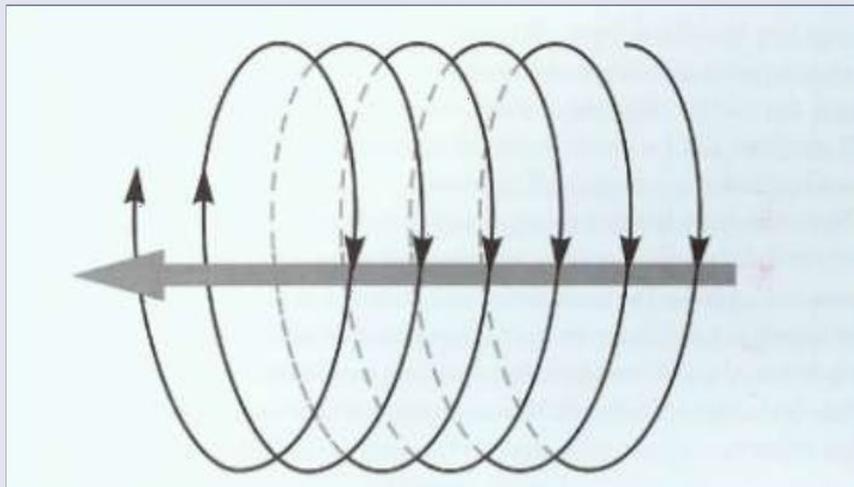


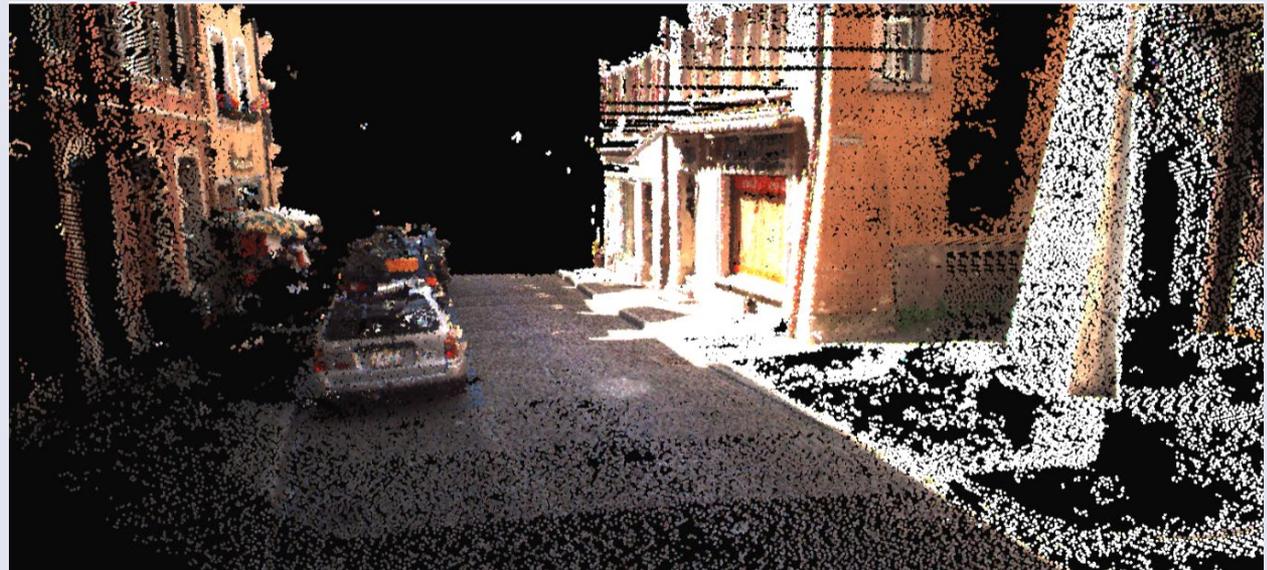
LiDAR Sensor

LiDAR Sensor

kalibrierte Digitalkameras

# Sensorendrehungen



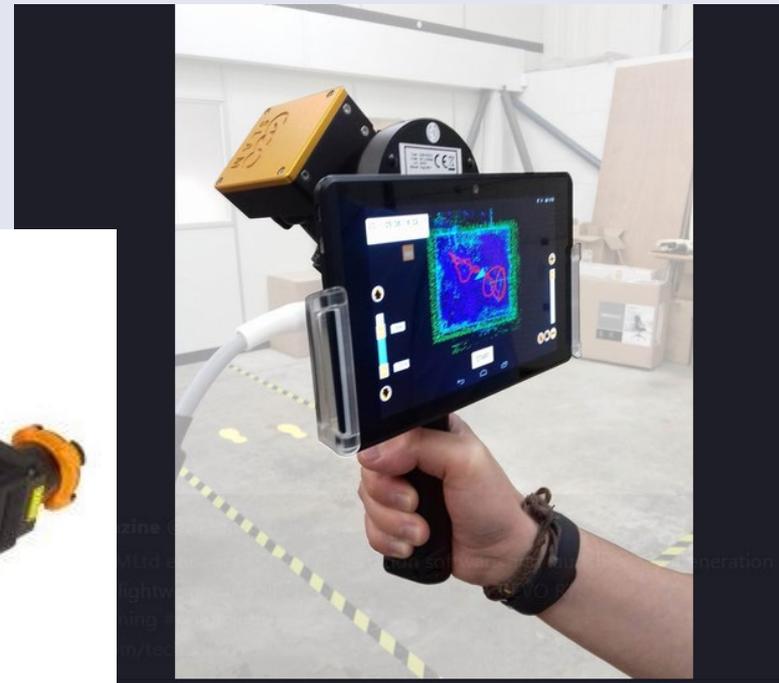


# Anwendungsbeispiele

BBC Click: ZebeDee (min 2) and AR at the Petrie <https://youtu.be/rerb-K2DCQI>



## GeoSlam ZebRevo R



Beispiel Anwendung in Höhlen und schwer zugänglichen Bereichen

[https://youtu.be/k8q5xr\\_eLgk](https://youtu.be/k8q5xr_eLgk)



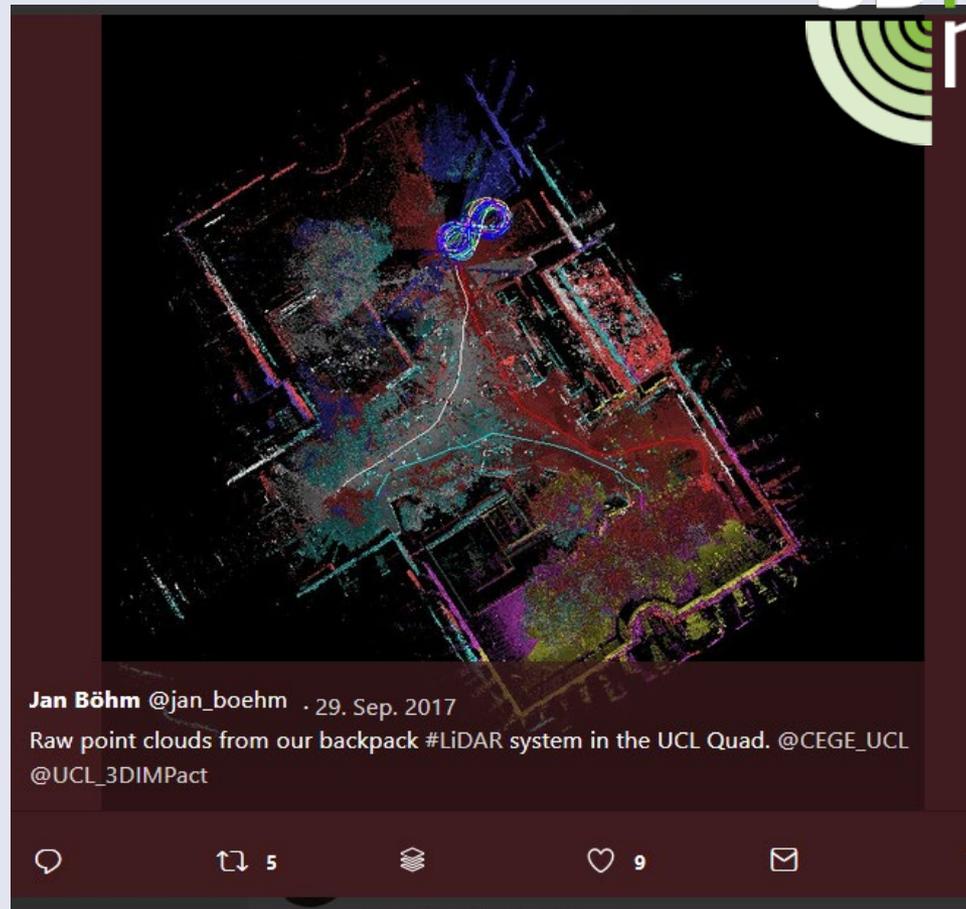
## Beispiel: 3D laser mapping ROBIN

The logo for '3D laser mapping' features the text '3D' in white, 'laser' in green, and 'mapping' in white. To the left of the text is a green graphic consisting of several concentric, semi-circular lines that resemble a laser scan or a stylized '3'.

- Was passiert hier?
- [https://twitter.com/jan\\_boehm/status/912680182816833536](https://twitter.com/jan_boehm/status/912680182816833536)

## Beispiel: 3D laser mapping ROBIN UCL Quad

3Dlaser  
mapping



## Beispiel Leica Geosystems Pegasus



- Leica Pegasus Backpack
  - <https://leica-geosystems.com/de-de/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack>

Der Leica Pegasus:Backpack ist eine preisgekrönte tragbare Sensorplattform zur Umgebungserfassung. In einer überaus ergonomischen Ausführung verbindet er fünf Kameras mit vollständig kalibrierter 360°-Sicht mit zwei LiDAR-Feinmessinstrumenten und einem ultraleichten Faserkarbongehäuse. Er ermöglicht eine weitreichende und effiziente Dokumentation von Innen- und Außenbereichen und bietet dabei ein zuverlässiges und professionelles Genauigkeitsniveau



Leica Pegasus Backpack and Pegasus 2, Project Tarragona Unesco World Heritage site, <https://youtu.be/REosvjURk6A> (Spanisch)

# Mobile Mapping im preislichen Vergleich (exklusive Luftbildaufnahmen)



- Drohne (ohne Software)
- GeoSlam ZEB Revo (Hochschulpaket)
- Leica Pegasus Backpack
  - Backpack liegt bei ca. 228.000 € (netto, inklusive Hochschulrabatt)



# Mobilen Mapping: Themenbereiche

- SLAM
- Datenregistrierung
- Datenfusion
- Qualitätskontrolle von Daten

# SLAM

# Was ist SLAM

- **SLAM** – Simultaneous Localization and Mapping
- Aufgaben:
  - Positionsschätzung eines Roboters im Raum
  - Gleichzeitige Kartierung des o.g. Raumes
- Was braucht man für SLAM:
  - Die Karte für vorläufige Lokalisierung des Roboters
  - Genaue Positionsbestimmung für weitere Raumkartierung
- Begriffe:
  - **Lokalisierung**: Ableitung der aktuellen Position an der angegebenen Karte
  - **Mapping (Kartierung)**: Ableitung (Aufbau) einer Karte anhand von den Informationen von der aktuellen Roboterposition

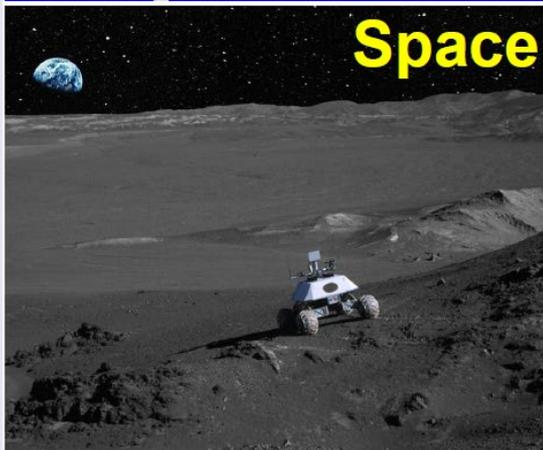
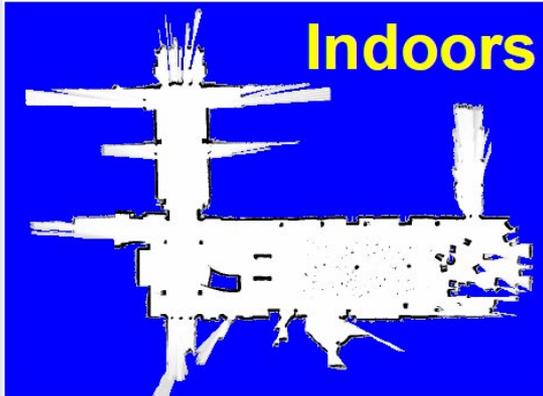
# SLAM - Anwendungen

- **Insgesamt:**

SLAM ist ein zentrales Verfahren für die Kartierung von indoor, outdoor, in-air und Unterwasserszenen unter der Nutzung von den vom Menschen gesteuerten und autonomen Systemen.

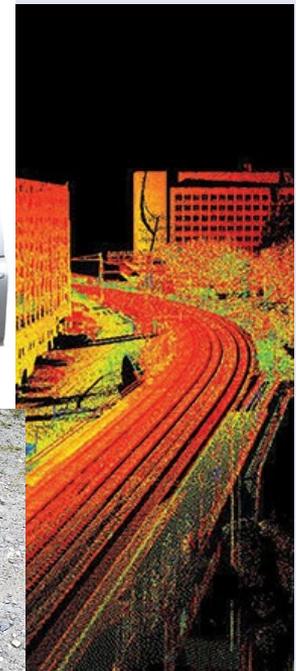
- **Beispiele:**

- Zuhause: Vacuum-Staubsauger, Rasenmäher
- In der Luft: Vermessung mit den autonomen Systemen (z.B. Drohnen)
- Unter dem Wasser: Riffüberwachungssysteme, Schiffüberwachung
- Unter der Erde: Bergwerküberwachung
- Weltraum: Erde-, Mond- ua. Kartierung für weitere Lokalisierung



# SLAM-Techniken

- Laserscanning (Mobile scanning)
- Photogrammetrie (SfM)
- (Bilder: [www.psomas.com](http://www.psomas.com))

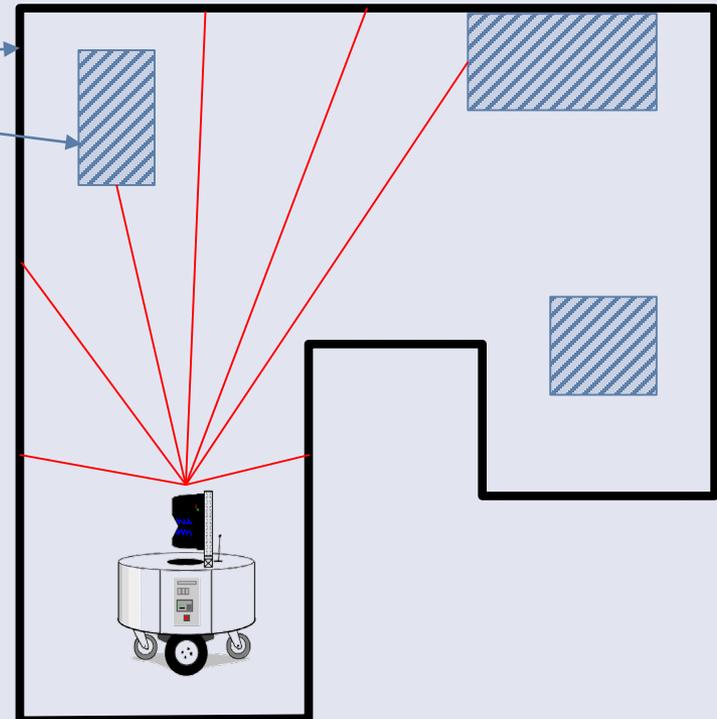


# SLAM-Komponente

- Komponente:
  - Mobiler Roboter
  - Karte
  - Landmarken: reale Objekte (Gebäude, Türme, Berge usw.)
  - Kontrollpunkte: gemessene topographische Punkte/Marken
- Aufgabestellungen:
  - Fall 1: Karte ist vorhanden (für autonome Systeme)
  - Fall 2: keine Karte vorhanden (für online Systeme)
  - Fall 3: keine Karte sowie keine Position des Roboters

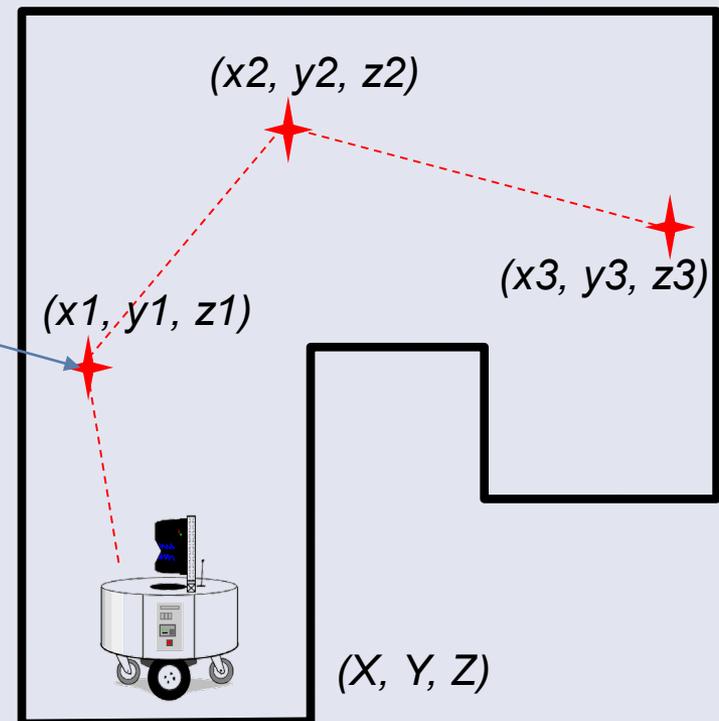
# Fall 1

- Karte ist vorhanden
  - Bekannt:
    - Position/Anordnung von Landmarken
  - Ziel:
    - Lokalisierung des Roboters
    - Kartierung von restlichen Objekten
  - Ablauf:
    - Roboter misst die Entfernung zu den Objekten/Hindernissen
    - Analysiert erfasste Objekte;
    - Lokalisiert sich selbst in der Karte
    - Kartiert restliche Objekte



## Fall 2

- keine Karte vorhanden
  - Bekannt:
    - Absolute Position des Roboters - GPS  $(X, Y, Z)$
    - Koordinaten von den Kontrollpunkten  $(x, y, z)$
  - Ziel:
    - Aufbau einer Karte
  - Ablauf:
    - Roboter misst Entfernungen
    - Position möglicher Hindernisse
    - Bestimmt mit seiner bekannten Position die absolute Position der Hindernisse

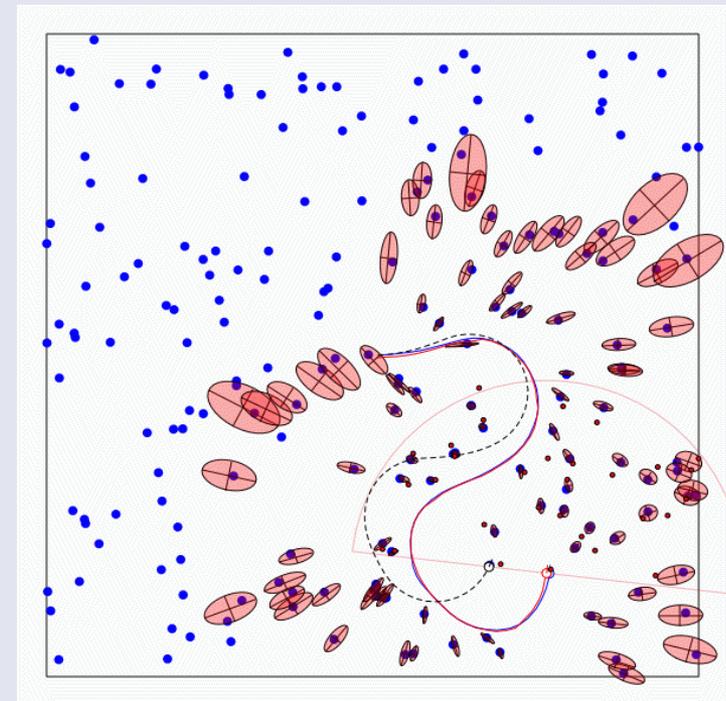
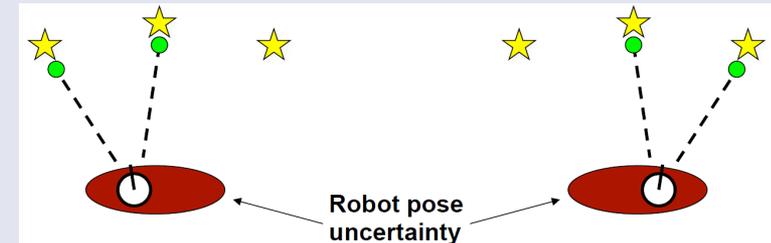


## Fall 3

- keine Karte, keine absolute Position des Roboters
- Aufgabe:
  - Aufbau der Karte
  - Bewegung des Roboters ist frei
  - Henne-Ei-Problem
- Ablauf:
  - Roboter kartiert die Umgebung (misst die Entfernungen zu den Hindernissen)
  - Kartierung:
    - Schätzung des gesamten Bewegungspfad (FULL-SLAM)
    - Schätzung der aktuellen Position des Roboters (online-SLAM)
  - Zusammenführen von Daten

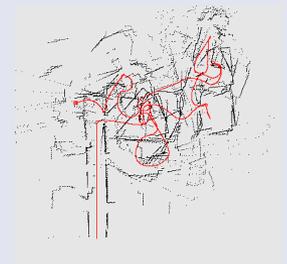
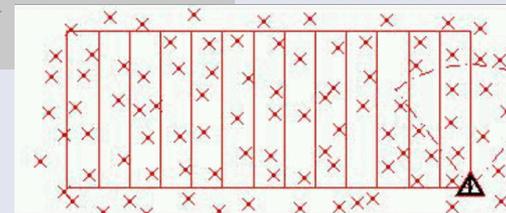
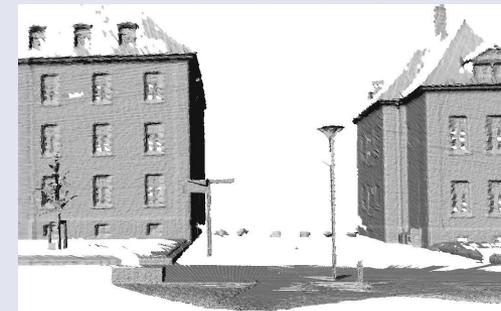
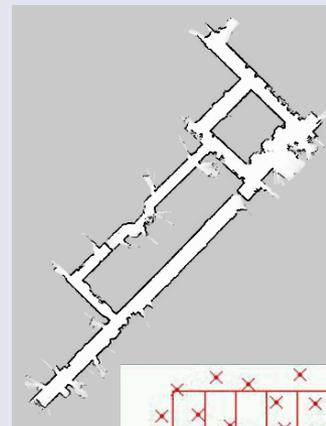
# SLAM-Problematik

- Messungsfehler bei der Kartierung und Lokalisierung, die sich sammeln
- Auswahl von falscher Korrespondenz (Assotiation) zwischen den Daten führt zu den vollen Divergenz (misconnetction)
- Zusammenführen von Daten (Fall 3)



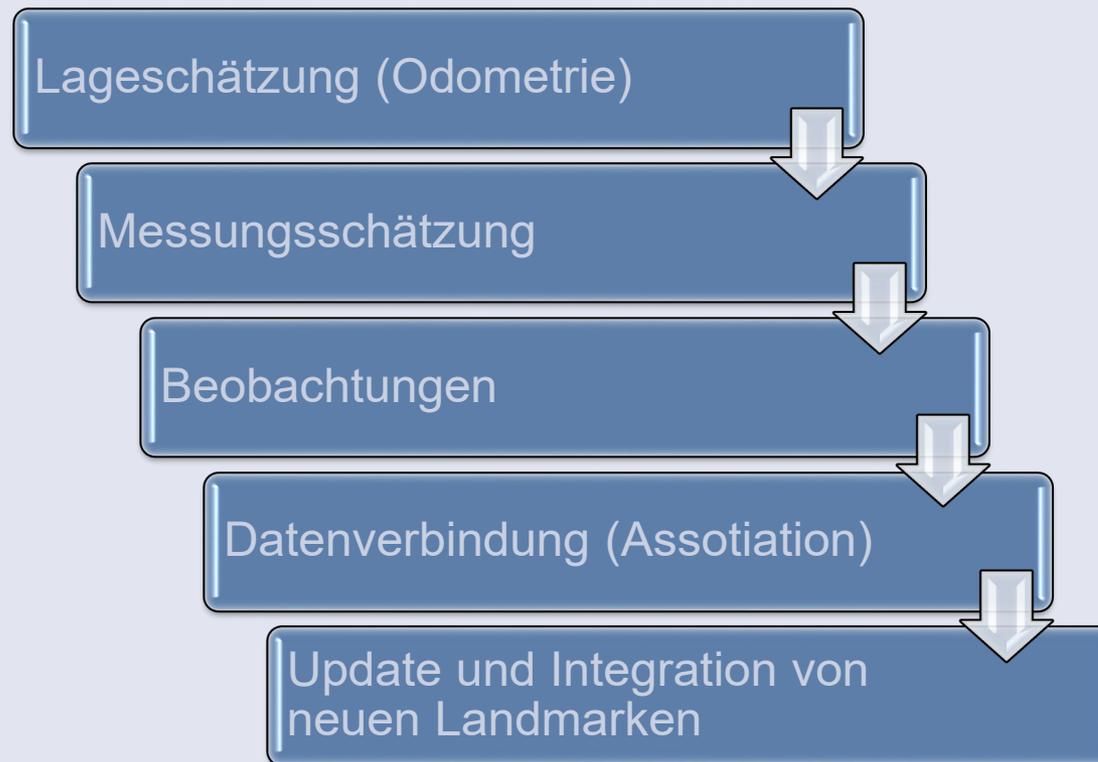
# Kartenrepräsentation

- Die *Karte* ist ein topologisches und/oder metrisches Modell von unserer Umwelt
- Die Karten unterscheiden sich:
  - nach der Dimension:
    - 2D
    - 3D
  - Nach dem Typ:
    - Grid map
    - Scan
    - Landmark-basierte Karten



(Bilder: Lu & Milios, 97; Gutmann, 98; Thrun 98; Burgard, 99; Konolige & Gutmann, 00; Thrun, 00; Arras, 99; Haehnel, 01; Grisetti et al., 05; Leonard et al., 98; Castelanos et al., 99; Dissanayake et al., 2001; Montemerlo et al., 2002)

# Aufbau einer Karte



# Lage- und Messungsschätzung

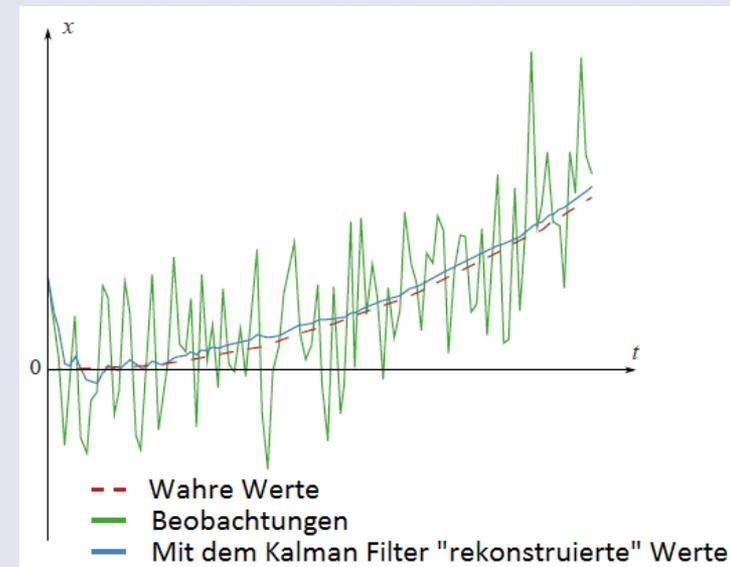
- Kalman Filter
- Partikel Filter



# Kalman Filter

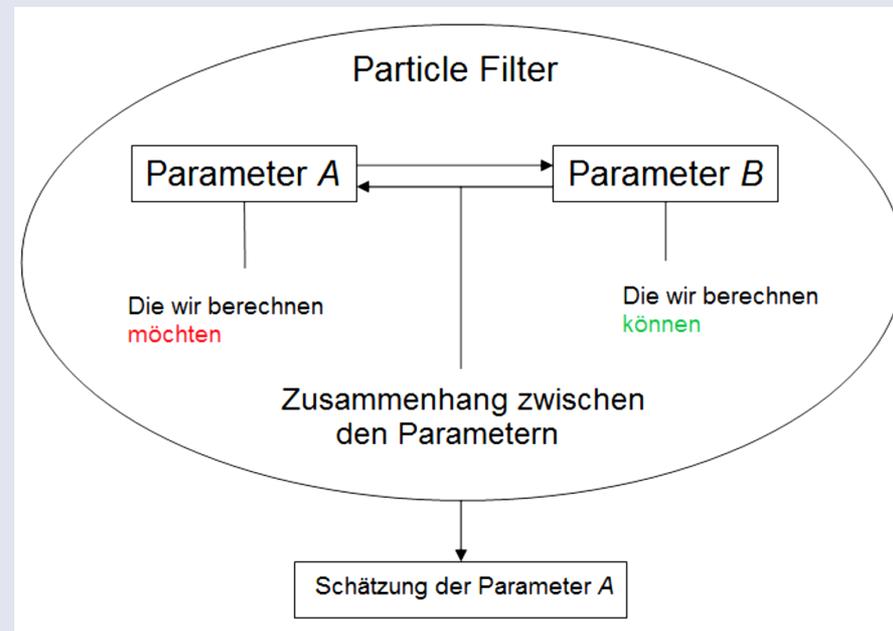
- Kalman Filter - Methode für die Schätzung und Ableitung von interessierenden Parametern aus indirekten, nicht genauen und nicht präzisen Beobachtungen
- Vorhanden:
  - Funktion für die Bewegungsbeschreibung
  - Werte
    - Soll-Werte für Bewegungsparameter
    - Wahre Werte
  - Sensordaten (Beobachtungen) ->
    - Abweichungen von wahren Werten ->
    - Dispersion (Streuung) von Abweichungen
- Aufgabestellung:

Optimale Näherung für die wahren Werte (Koordinaten) der Roboterbewegung durch Abweichungsminimierung zu finden



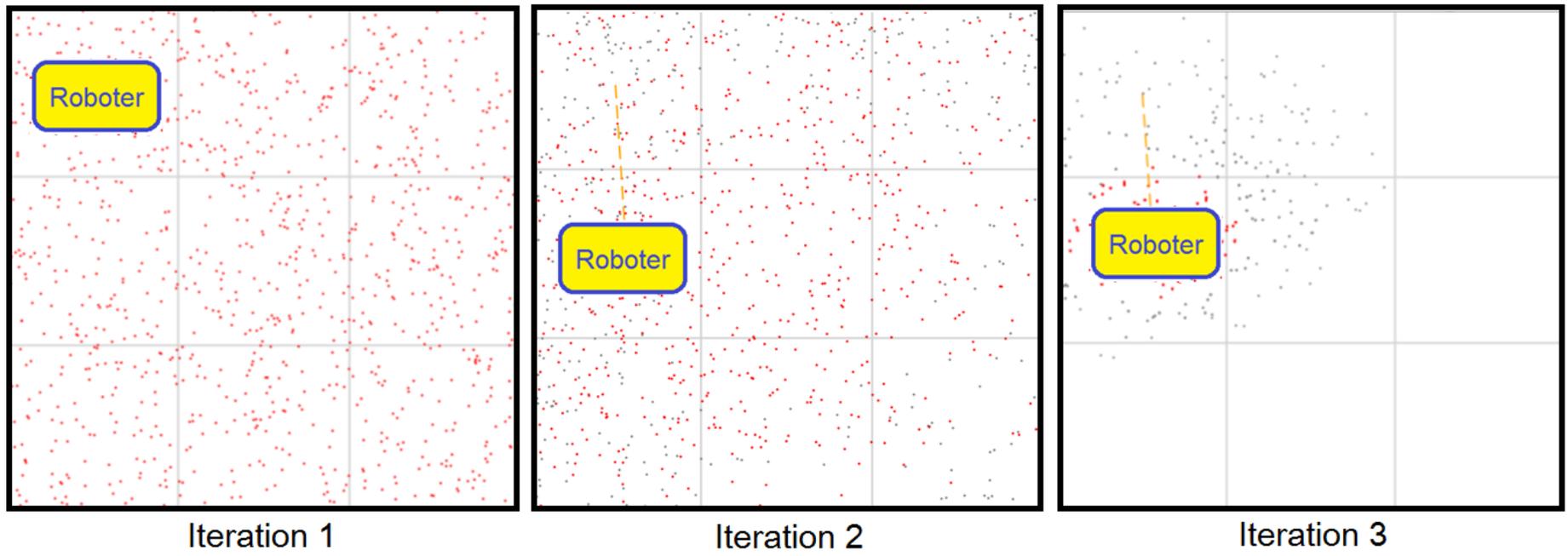
# Partikel Filter

- Partikel Filter - Methode für die Positionsschätzung eines Roboters im Raum unter der Nutzung von Simulation der virtuellen Partikeln (Teilchen) im Raum
- *Lageschätzung* von den Systemen, die unter der Einwirkung von den *zufälligen* Prozessen sind
- *Parameterschätzung* des Systemzustandes bei der minimalen Standardabweichung
- *Schätzung der Näherungswerte* der Systemparameter bzw. Objektparameter (Parameter A), die man direkt nicht berechnen kann (nur indirekt von Parametern B)
- Für die Schätzung der Parameter A - Menge von den *Hypothesen (Partikeln)* über die möglichen aktuellen Werte von diesen Parametern



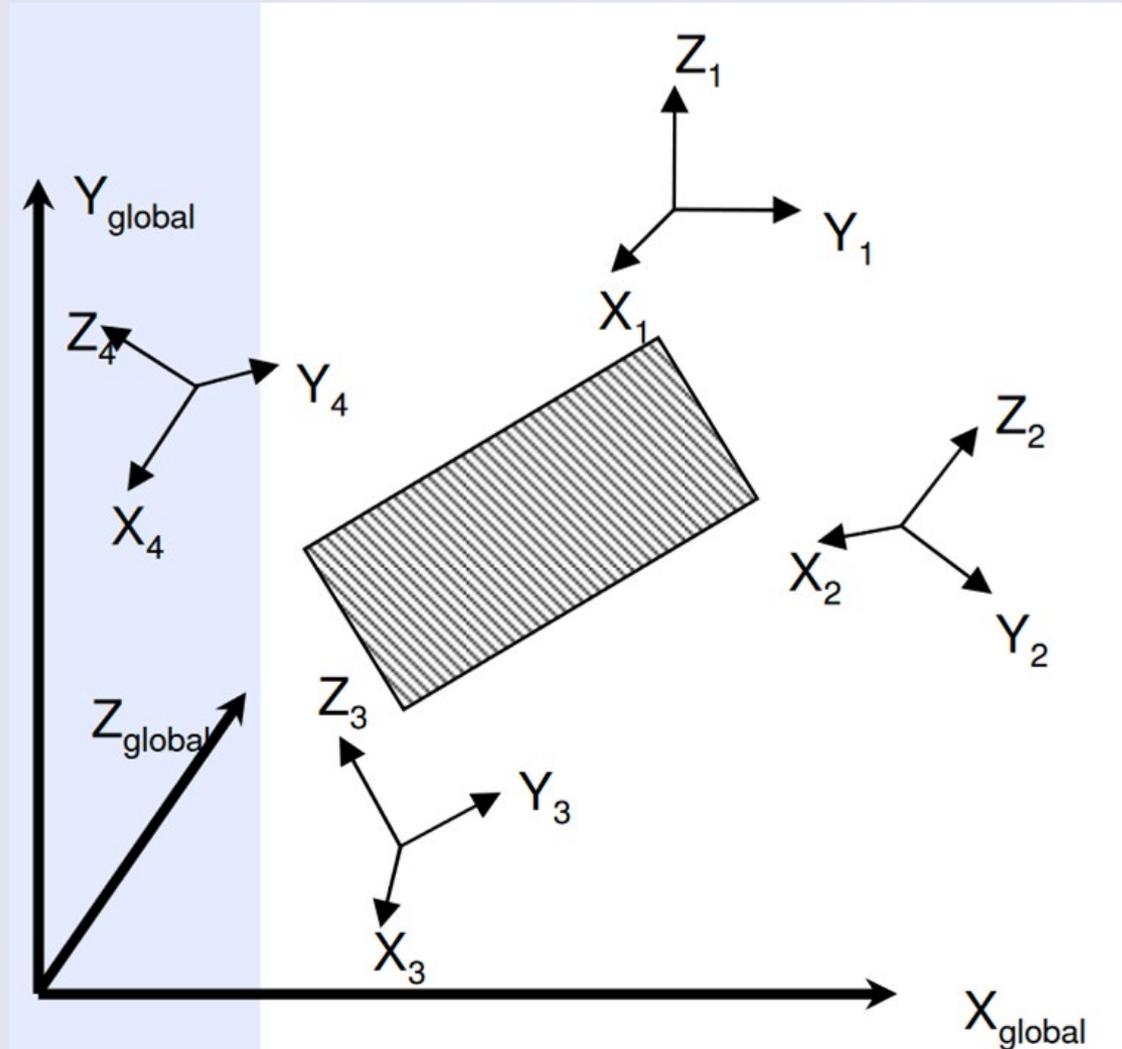
## Partikel Filter - Workflow

- Algorithmus – 2 Stufen:
  - Initialisierung – Angabe der Anfangsparameter (Verteilung, Orientierung)
    - Verteilung
    - Anzahl der Partikeln
    - Gewicht von Partikeln (Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung mit Roboterkoordinaten), zuerst – gleich für alle
    - Kontrollpunkte (Landmarken)
  - Hauptzyklus
- Bewegungsmodell des Roboters – angegeben
- Die Partikel übernehmen dieses Modell



# Datenregistrierung

- Preview:
  - Ein Objekt wird von verschiedenen Standpunkten erfasst
  - Jeder Standpunkt definiert ein lokales Koordinatensystem
- Registrierung – Zusammenführen von allen Aufnahmepositionen von unterschiedlichen Standpunkten in ein Koordinatensystem.
- Registrierungstechniken
  - Photogrammetrie
    - SfM (einschließlich datengetriebene Methoden)
    - Einbindung von weiteren Sensoren
  - LiDAR
    - Direkte Georeferenzierung
    - Registrierung über die Zielmarken
    - Datengetriebene Methoden

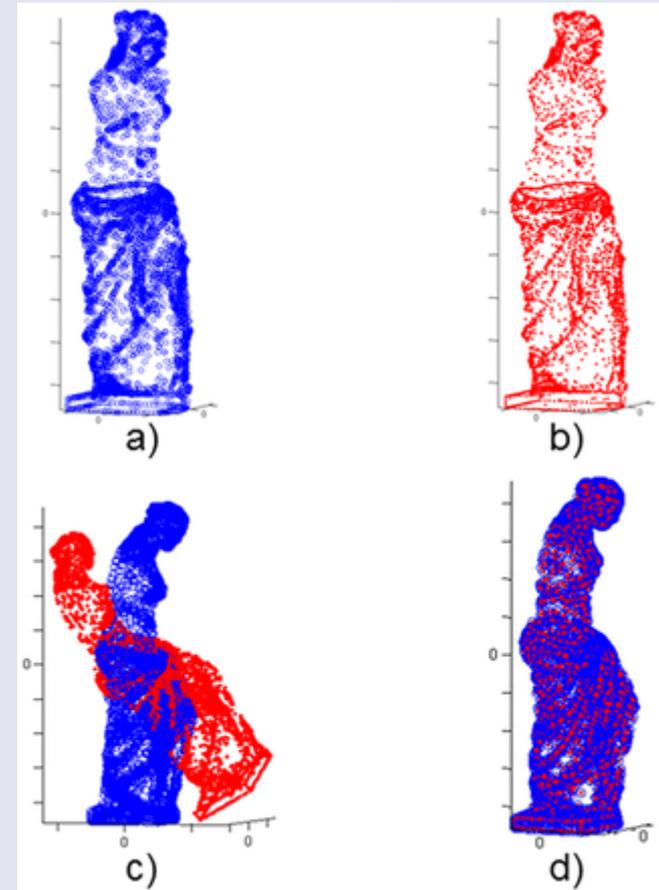


## Datengetriebene Methoden

- *Punktbasiert*: man braucht mindestens 3 identische Punkte in den Scans von den Nachbarstandpunkten definieren, um diese 2 Nachbarscans zusammenzuführen
- *Flächenbasiert*: man braucht mindestens 3 identische Ebenen (Anmerkung: je größer sind die Ebenen und je mehr Punkte auf denen liegt, desto sicherer und robuster läuft die Registrierung ab)
- *Merkmalbasiert*: als Merkmale können Punkte, Linien, Flächen u.a. dienen. → **Modul 8**
- *Punktwolke zu Punktwolke*: in diesem Fall wird ein ICP-Algorithmus verwendet (ein Abstandsfehler aller Punkte von einem Scan zum anderen). Eine Überlappung von ca 60% (mindestens) ist für die robuste Registrierung erforderlich.

# ICP

- ICP – Algorithmus zur Datenregistrierung und Registrierungsopprimierung
- Aufgabe:
  - gegeben sind 2 korrespondierende Datensätze (Punktwolken)
    - $X = \{X_1, \dots, X_n\}$
    - $P = \{P_1, \dots, P_n\}$
  - Gesucht:
    - Translation  $t$  und Rotation  $R$ , die die Summe des quadrierten Fehlers minimiert:



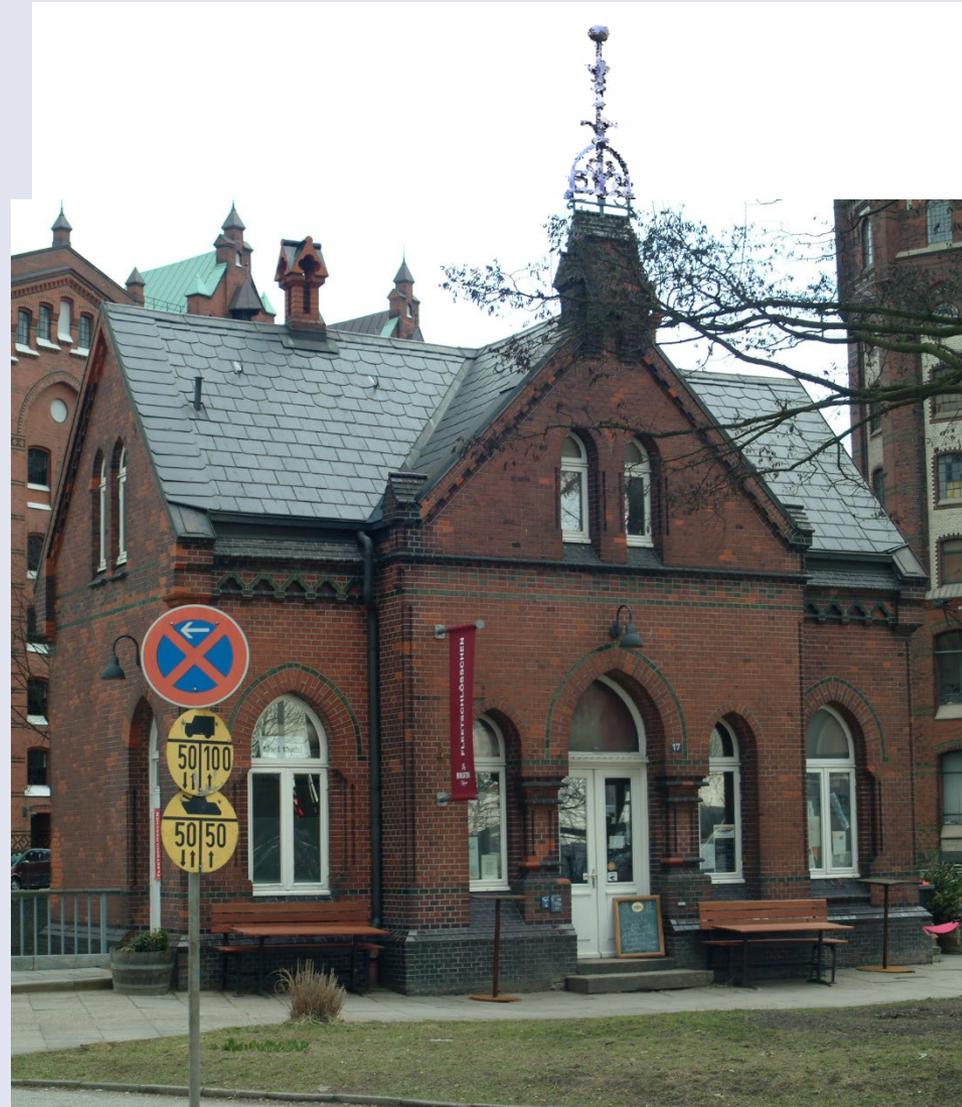
Referenz: Mora et al ( ): Computational Analysis of Distance Operators for the Iterative Closest Point Algorithm

# Datenfusion

# Multisensor Data Fusion

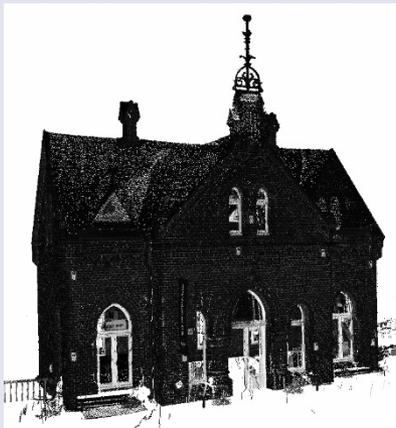
- **Multisensor Data Fusion** – Disziplin, die sich mit Zusammenführen/Kombinieren von mehreren Sensoren beschäftigt.
- **Ziel**
- ermöglicht die Schlussfolgerungen, die aus den Ergebnissen einer einzigen Quelle nicht möglich wären
- **Anwendungsbeispiele**
- automatische Zielidentifizierung
- Gefechtsfeld- und Bedrohungsanalyse über Fernerkundungsprobleme
  - Bestimmung der Zusammensetzung von Bodenvegetation
  - Vorkommen natürlicher Ressourcen
- Steuerung komplexer Ausrüstungen (AKWs usw.)
- automatisierte Fabrikation

- Intensitätsbild als Grauwertdarstellung
- Intensitätsbild farbig
- RGB-eingefärbte Punktwolke
- Farbbild (Fuji S2)



# Begriffe

- **Integration = Zusammenschluss, Vereinigung (beider Datensätze)**
- **Fusion = Vereinigung, Verschmelzung (beider Datensätze)**



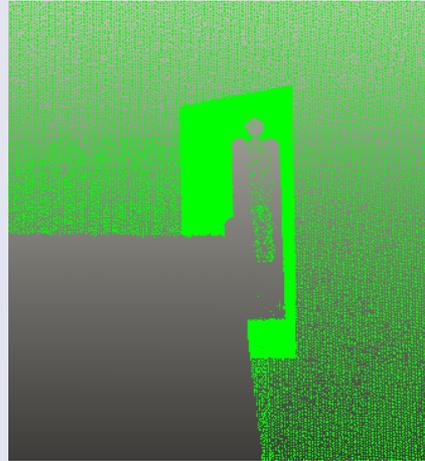
+



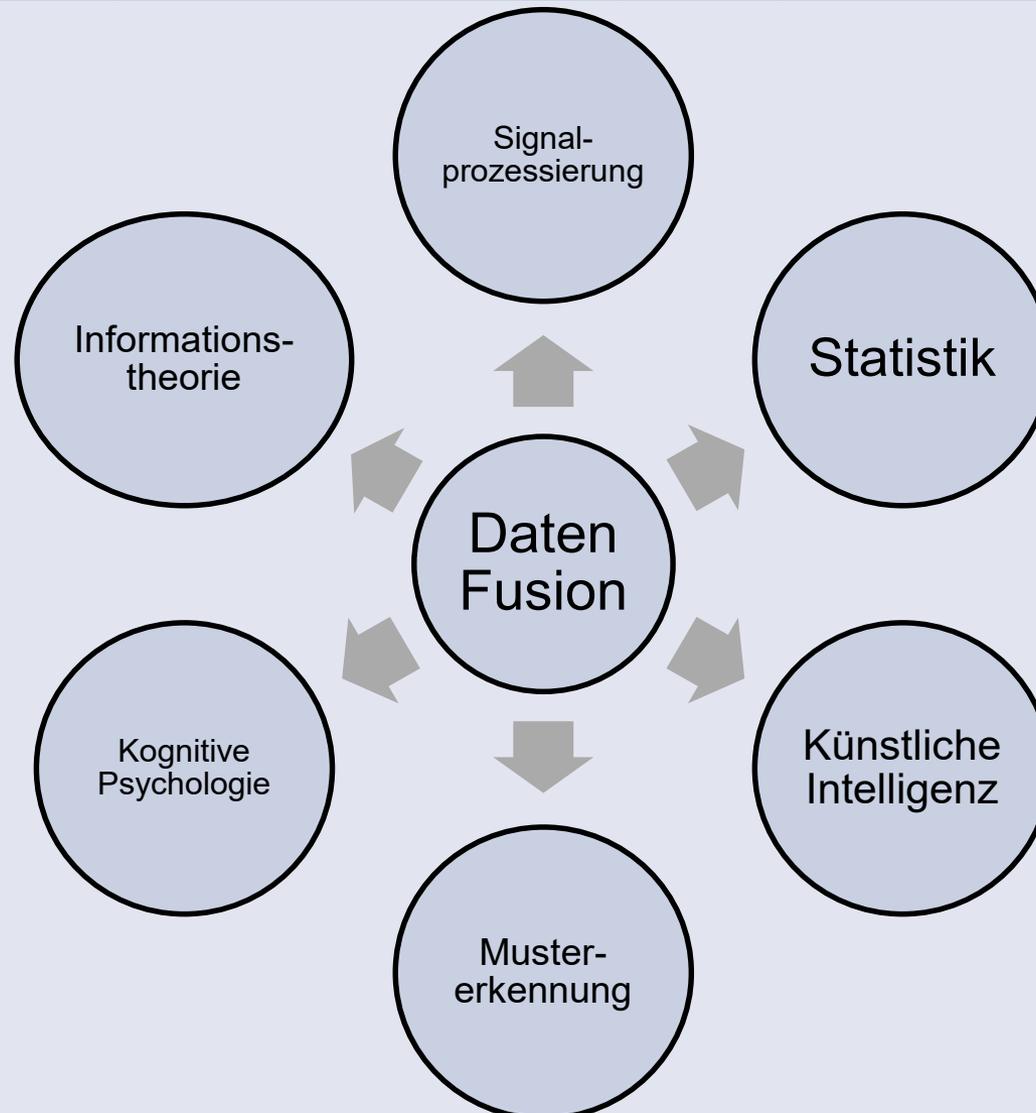
=



# Begriffe



- **Kombination =  
Verbindung, Verknüpfung  
(Erhalt beider Datensätze)**

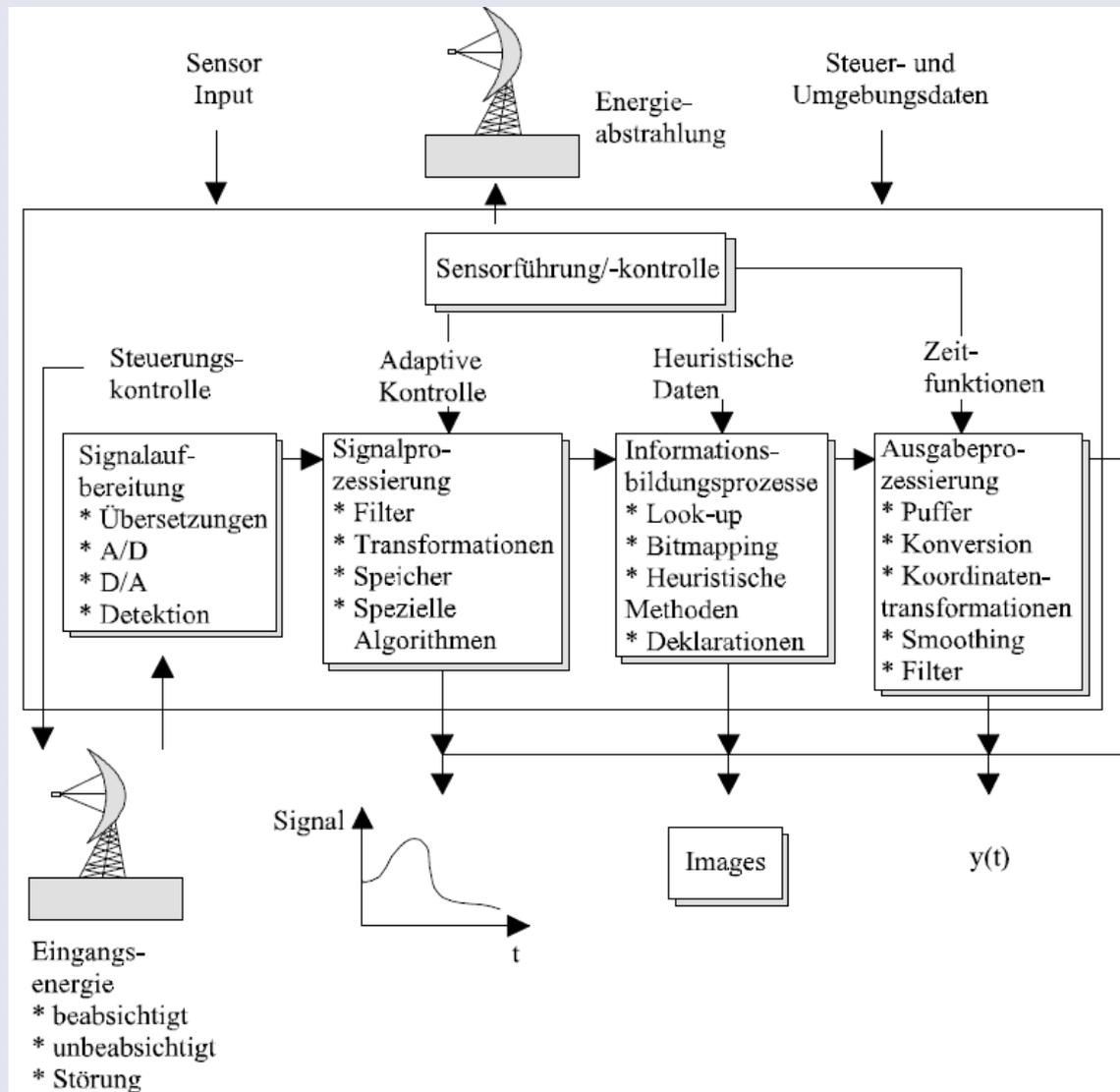


# Messungen und Zustandsbestimmungen verschiedener Sensoren

| Sensor | Messung   | Abgeleitete Messgrößen                                       | Zustandsbestimmung                   |
|--------|---|--|--------------------------------------|
| Radar  | RCS, Frequenz, Zeit                               | Azimut, Elevation, Radialgeschwindigkeit, Zielgröße u. Form, | Position, Geschwindigkeit, Identität |
| SAR    | kohärente RCS                                     | Form, Größe, Richtung  | Identifikation                       |
| EO     | Bildelemente (Pixel), Pixelintensität, Pixelfarbe | Standort, Größe, Form  | Position, Identität                  |
| IR     | Pixelintensität, Farbe                            | Standort, Größe, Form, Temperatur, spektrale Charakteristika | Position, Identität                  |

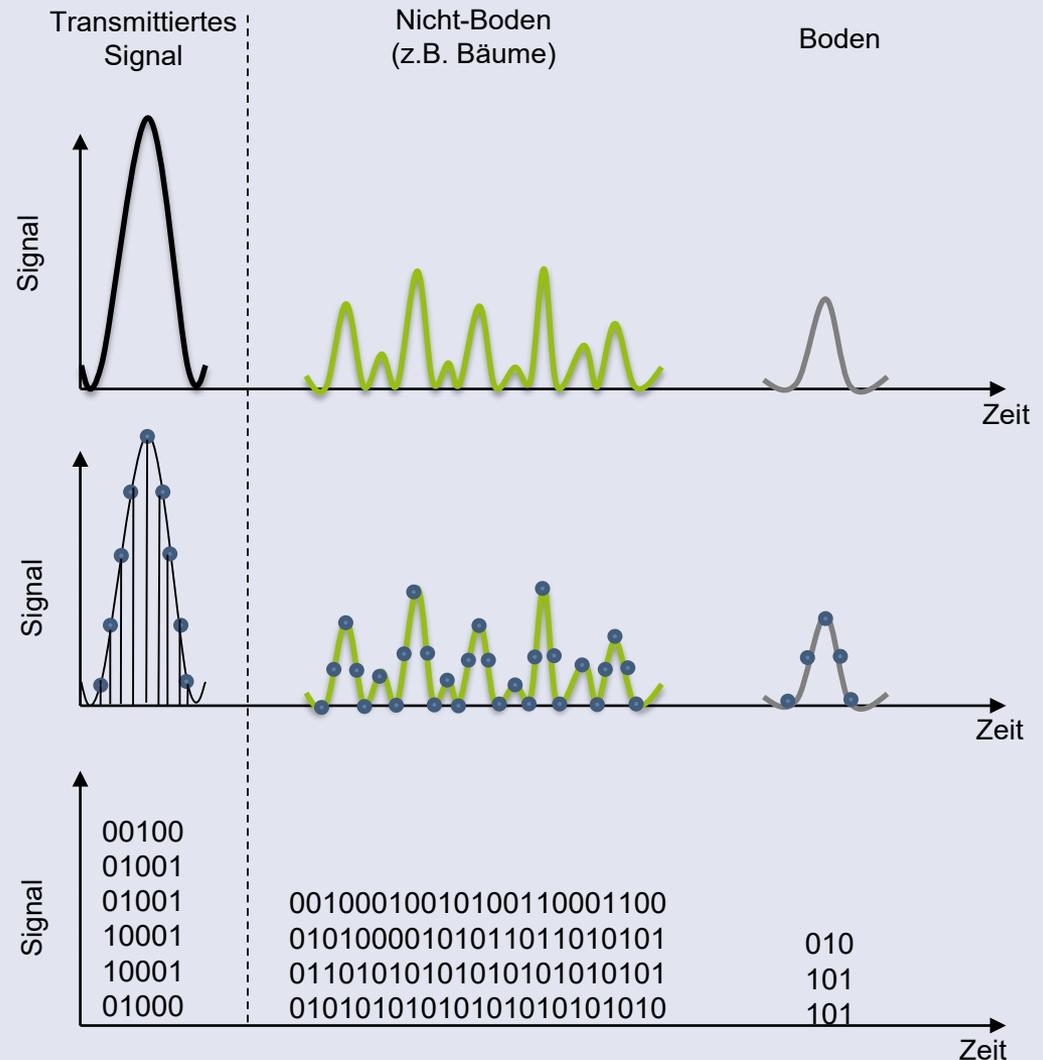
# Daten und Dateninferenz

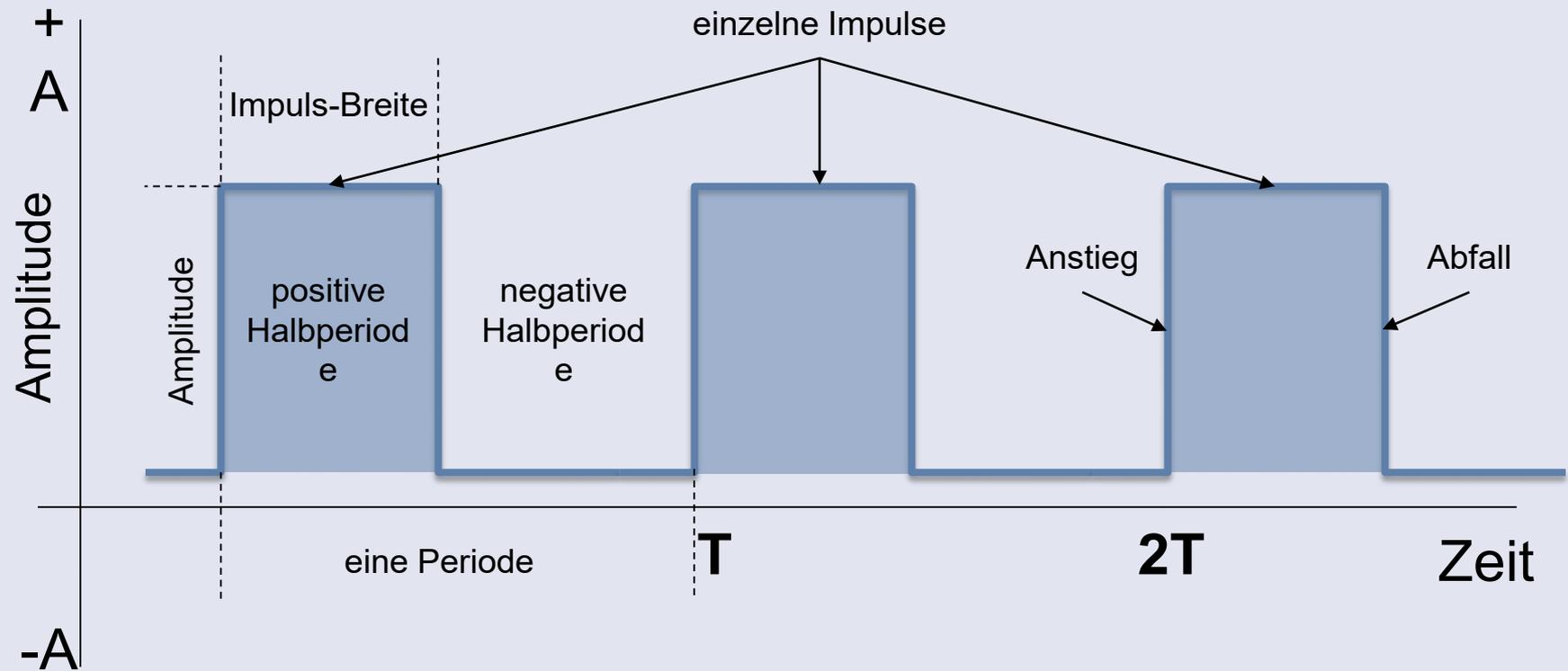
- **Datenquellen** (laut F. Klaus\*)
  - Daten, die über Sensoren beobachtet werden,
  - Daten und Befehlsfolgen von Bedienpersonal,
  - A-Priori-Daten einer bestehenden Datenbasis.
- **Daten Fusion System**
  - Sensordaten,
  - Kommandos,
  - A-Priori-Informationen.
- **Ausgangsdaten** – Schätzwerte des Standortes
- **Inferenz** – aufbereitetes Wissen aus logischen Schlussfolgerungen (basiert auf Daten)



# Datenerfassung

- Transmittiertes Signal
- ↓
- Zerlegung
- ↓
- Diskretisierung
- ↓
- Kodierung





# Datenverarbeitung

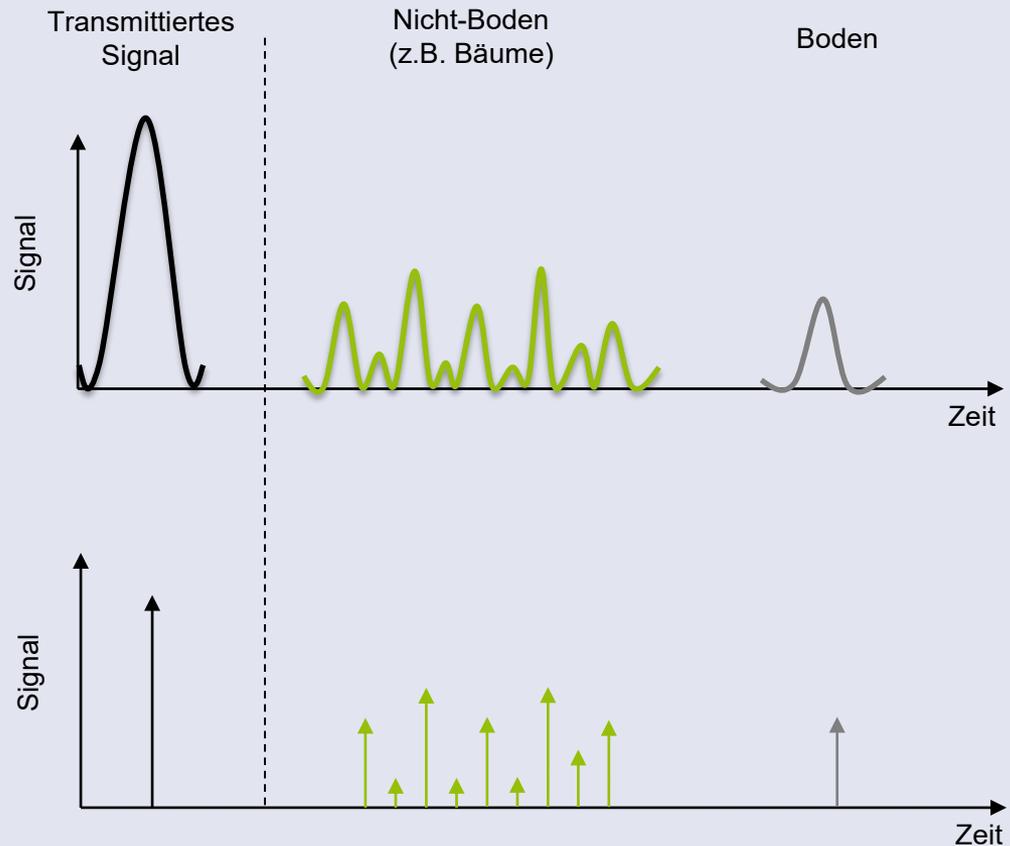
- Interpretation
- Abstände
- Signal
  - Frequenz
  - Amplitude
  - u.a.



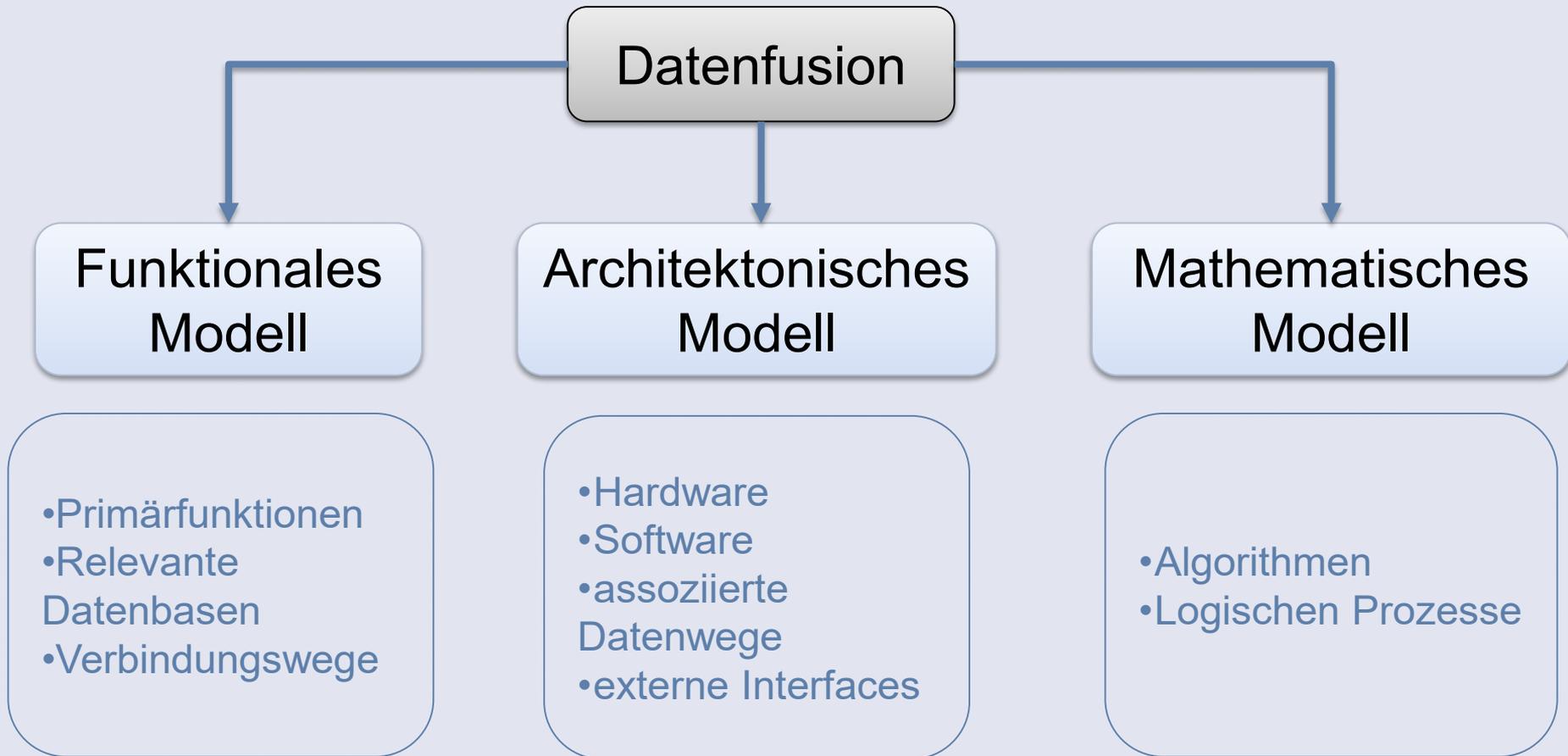
Transformation

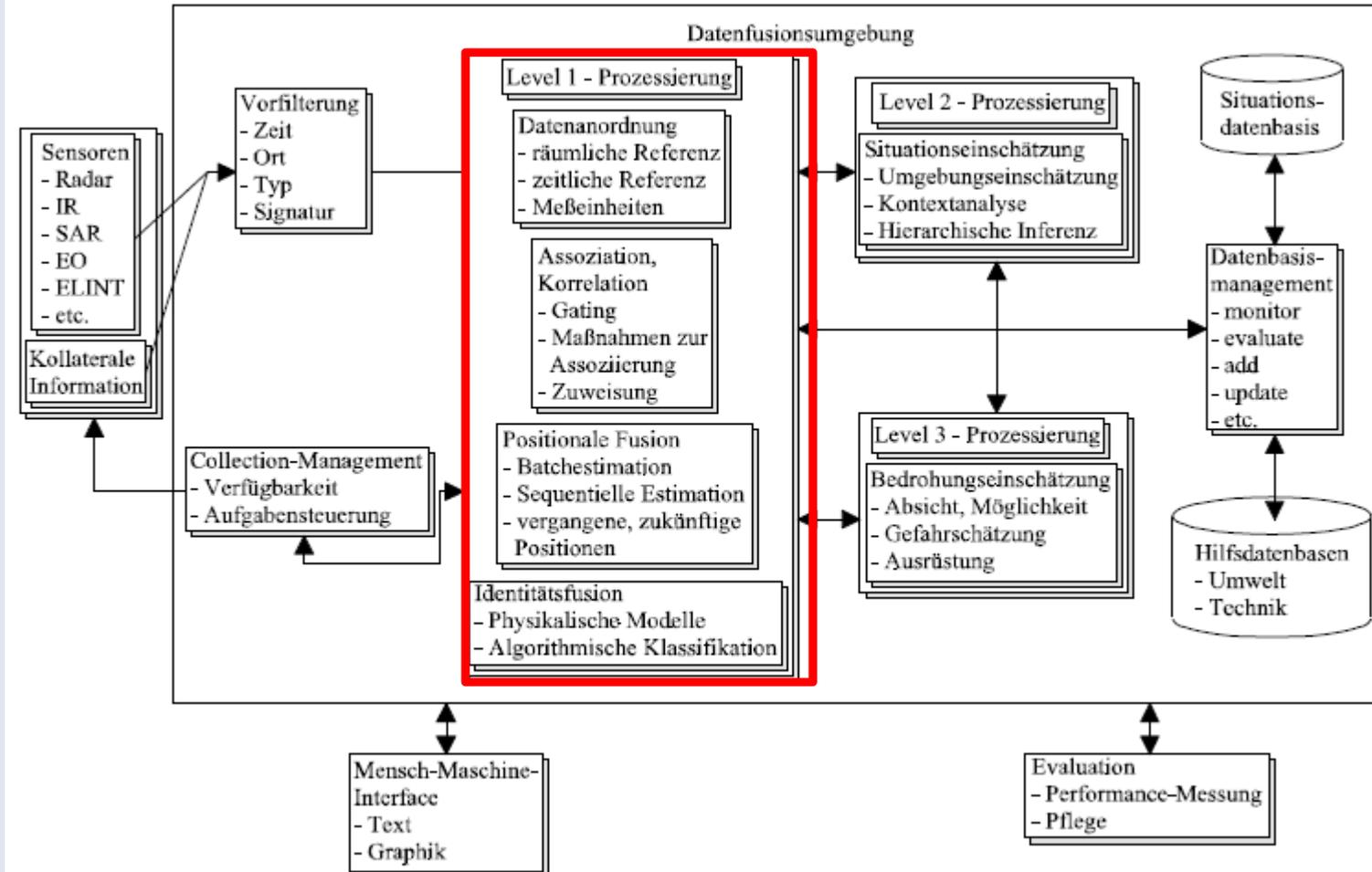
(Fourier-Analyse, Wavelet-Analyse)

- Intensität



# Modelle der Datenfusion





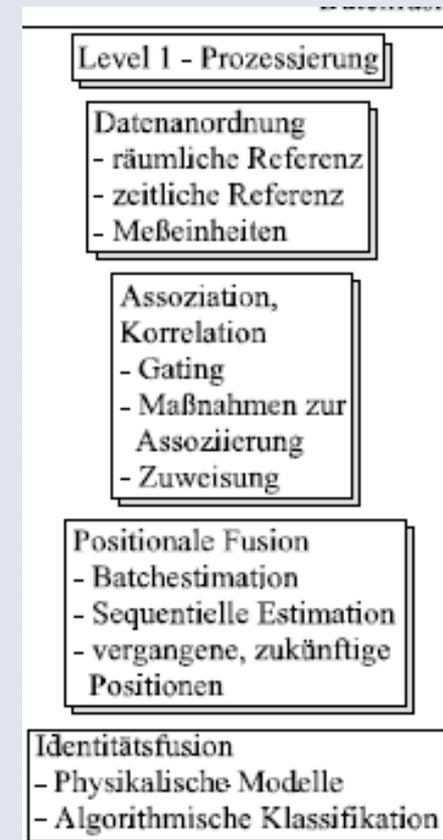
Funktionales JDL-DFS-Modell der Datenfusion (Edward Waltz und James Llinas)

# Level 1

- Was passiert hier:

Verknüpft die Daten zur Auffindung von

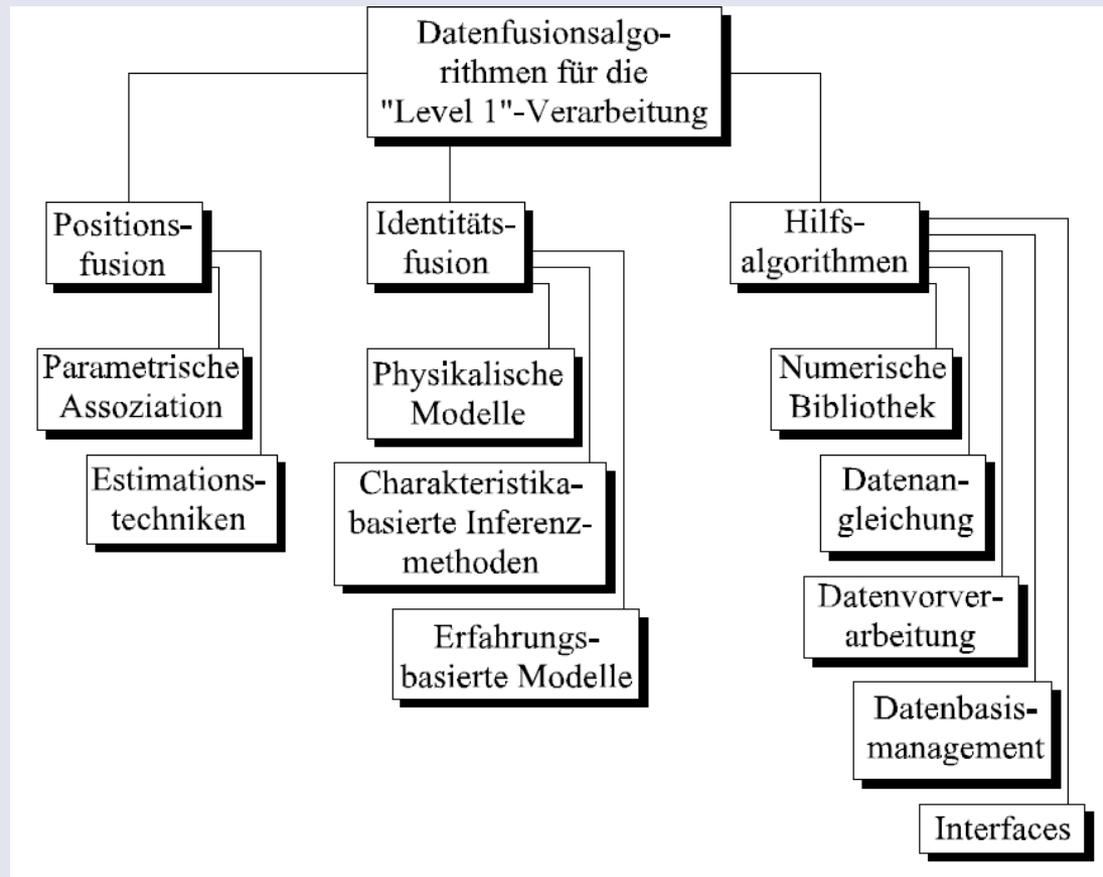
- Position
- Geschwindigkeit
- Identität von Betrachtungseinheiten
  - Ziel
  - Plattform
  - Sender
  - bestimmtes geographisches Objekt
- Ziel:
- Erstellung einer Datenbasis identifizierter Gegebenheiten, Zieltracks (Bewegung eines Ziels in einem bestimmten Zeitraum) und nichtkorrelierter Rohdaten.



# Prozessierungsbereiche im Level 1

- **Datenangleichung** – Transformation von verschiedenen Sensoren empfangenen Daten in einen gemeinsamen räumlichen und zeitlichen Referenzrahmen
- **Assoziation** – Sortierung/Korrelation von Beobachtungen verschiedener Sensoren in Gruppen, die Daten einer bestimmten Gegebenheit darstellen
- **Tracking** - Prozess, in dem verschiedene Beobachtungen von Positionsdaten zu einem Schätzwert der Ziel- bzw. Betrachtungseinheitsposition und seiner Geschwindigkeit verknüpft werden
- **Identifizierung** – Prozess, um Informationen bzgl. der Identität zu kombinieren

# Techniken der Datenfusion im Level 1



# Positionsfusion

- **Prozessierung**

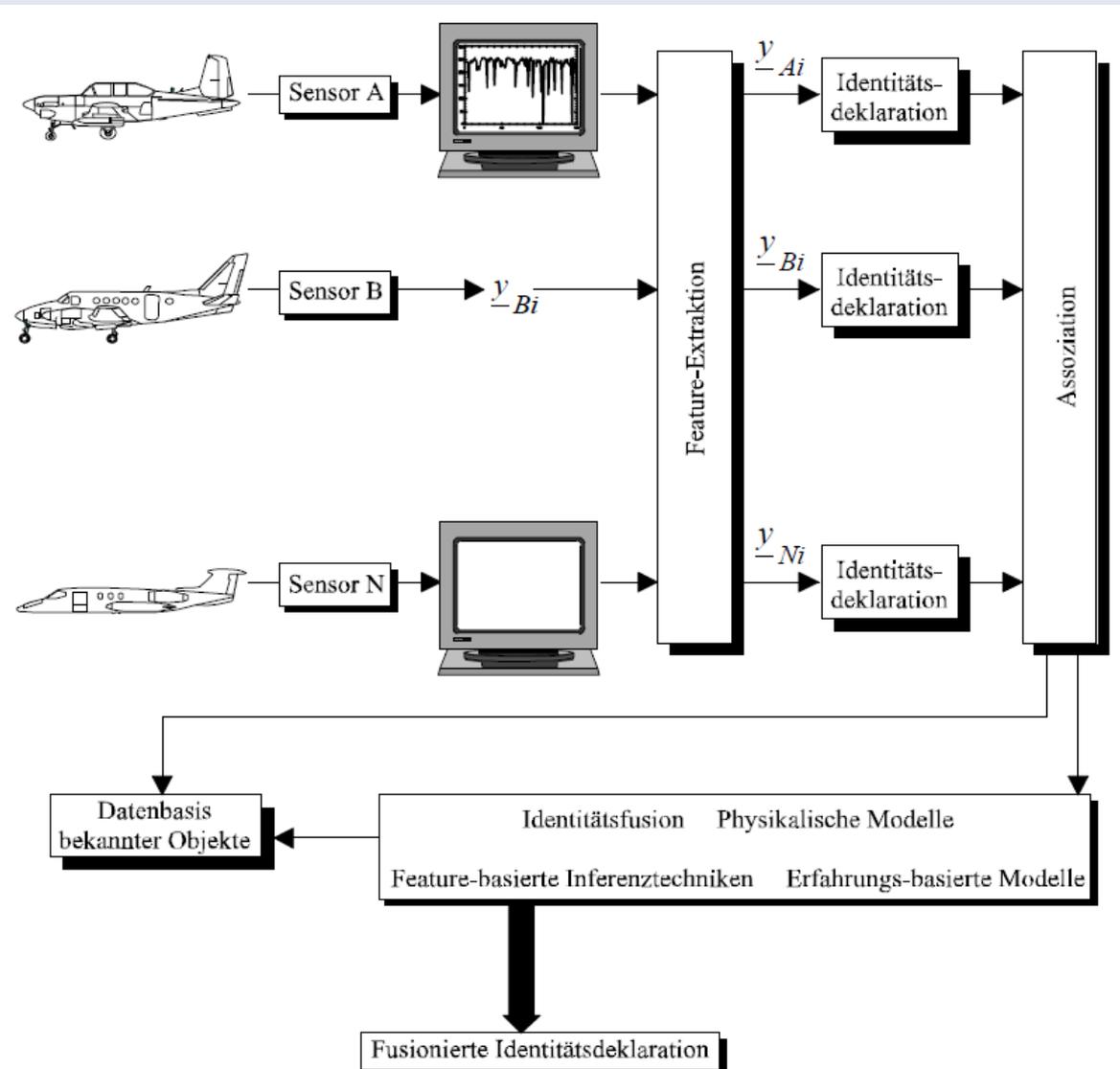
- Kombination physikalischer Modelle und statistischer Annahmen über Rauschprozesse von Beobachtungen, um beobachtete Daten durch Zustandsvektoren (Variablen für Ort, Geschwindigkeit) abzubilden.

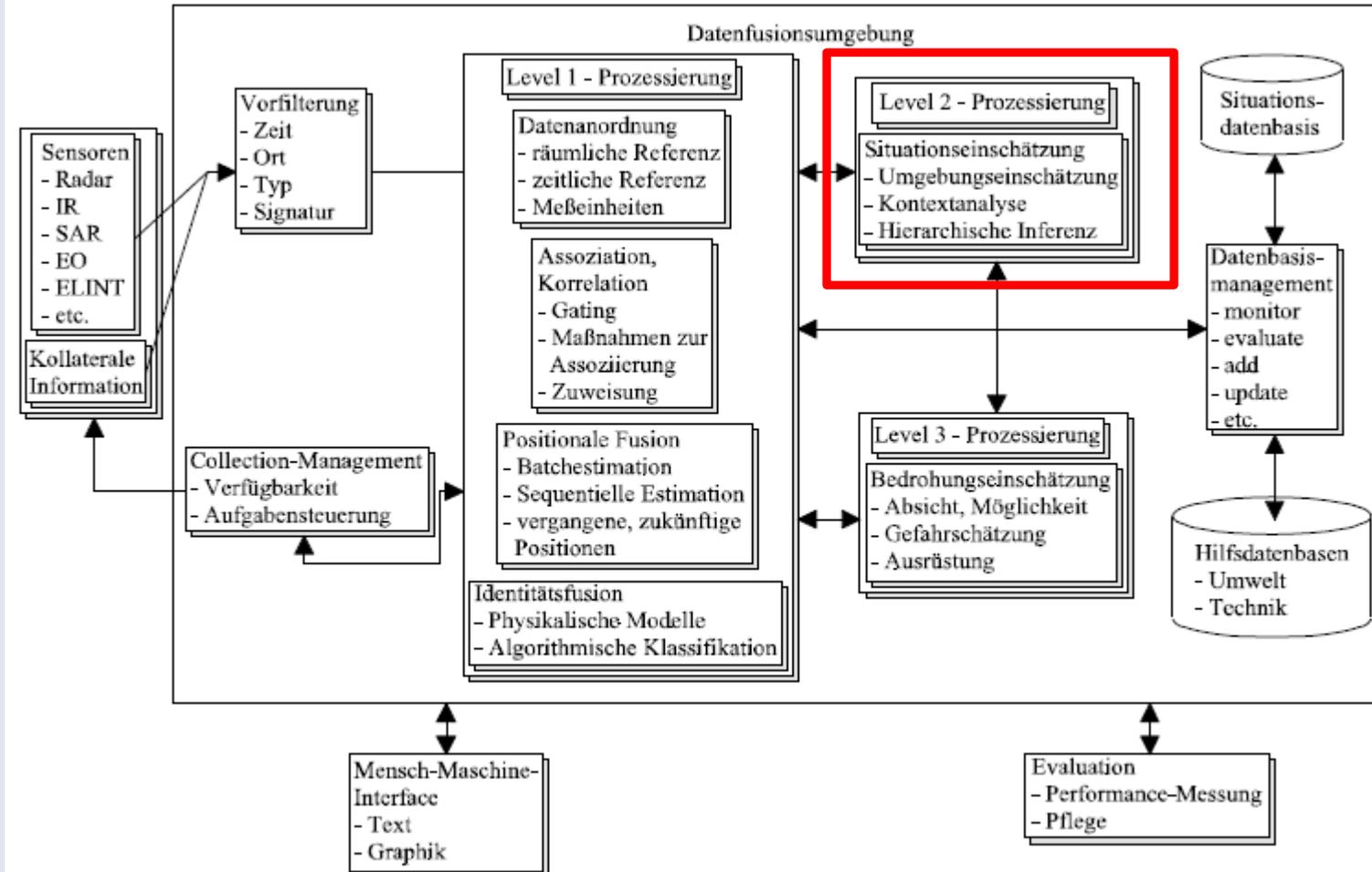
- **Methoden**

- „Least Squares“-Methode: man findet den besten Schätzwert durch Kombination diverser Beobachtungswerte
- „Maximum Likelihood“-Methode: man schätzt die Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Ereignisse. Als glaubwürdiges Ereignis wird die höchste Wahrscheinlichkeit haben
- Kalman-Filter
- ICP

# Identitätsfusion

- **Identitätsfusion** - Verknüpfung von Identitätsdeklarationen verschiedener Sensoren zu einem gemeinsamen Schätzwert der Identität
- **Modelle**
  - Physikalische Modelle
    - Simulation
    - Schätzung
      - + Least-Squares-Methode, Kalman-Filter usw.
  - Merkmal-basierte Inferenzmodelle
    - Statistische Algorithmen
      - + Bayes, klassische Inferenz
    - Clustering
      - + Graphentheorie, Partitionierung
  - Erfahrung-, Erkennung-basierte Modelle
    - Logische templates
    - Suchbäume
    - Frames etc.

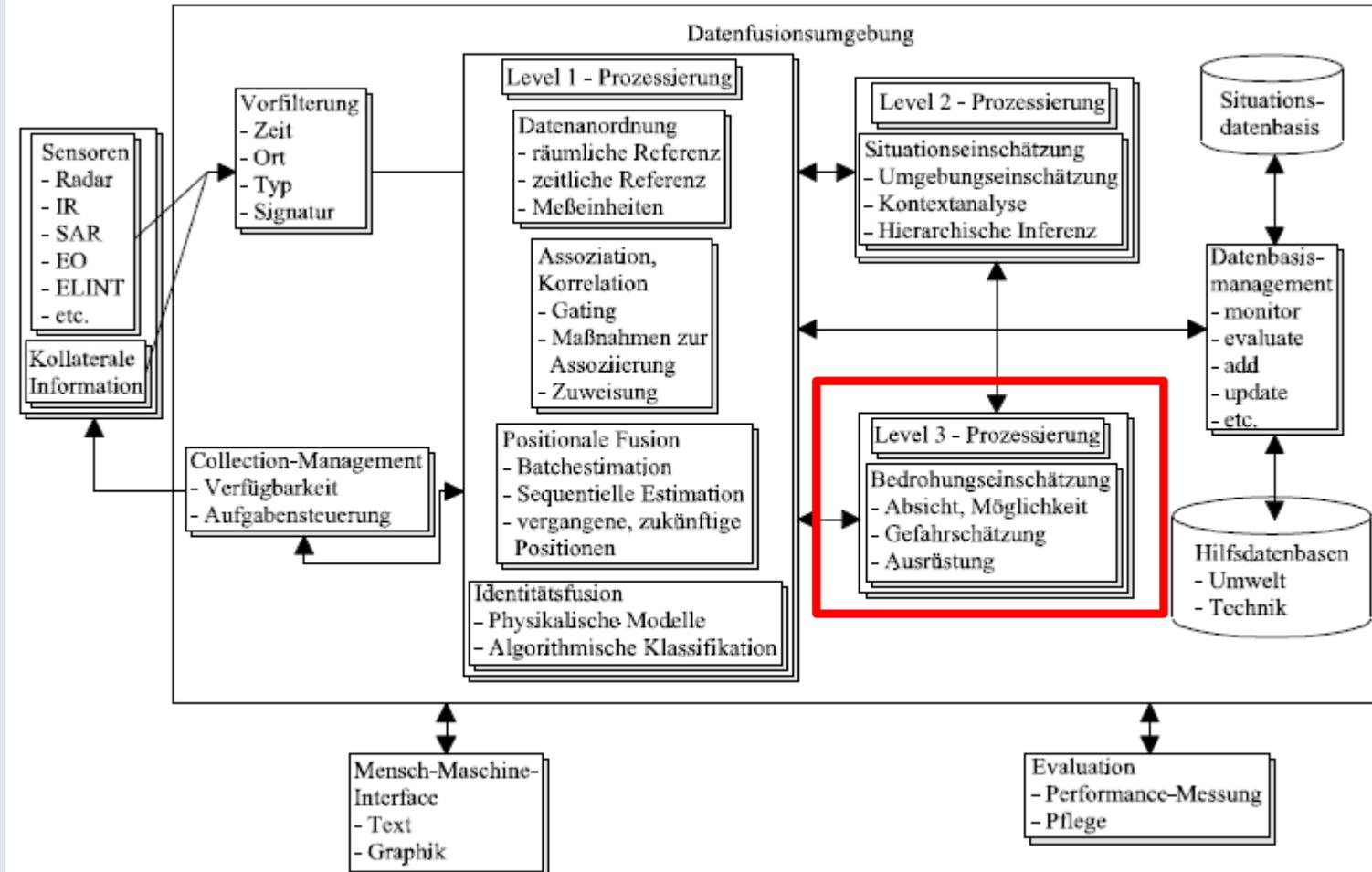




Funktionales JDL-DFS-Modell der Datenfusion (Edward Waltz und James Llinas)

## Level 2

- Ziel: Situationseinschätzung
- Prozesse:
  - Mustererkennung
    - in Bildern und
    - Punktwolken
      - + low-level features
        - Merkmalpunkte
        - Kanten
        - Polygone
      - + high-level features
        - linienbasierte Objekte (Geraden, Kurven)
        - flächenhafte Objekte (geometrische Primitive und Freiformflächen)
- Datenklassifikation



Funktionales JDL-DFS-Modell der Datenfusion (Edward Waltz und James Llinas)

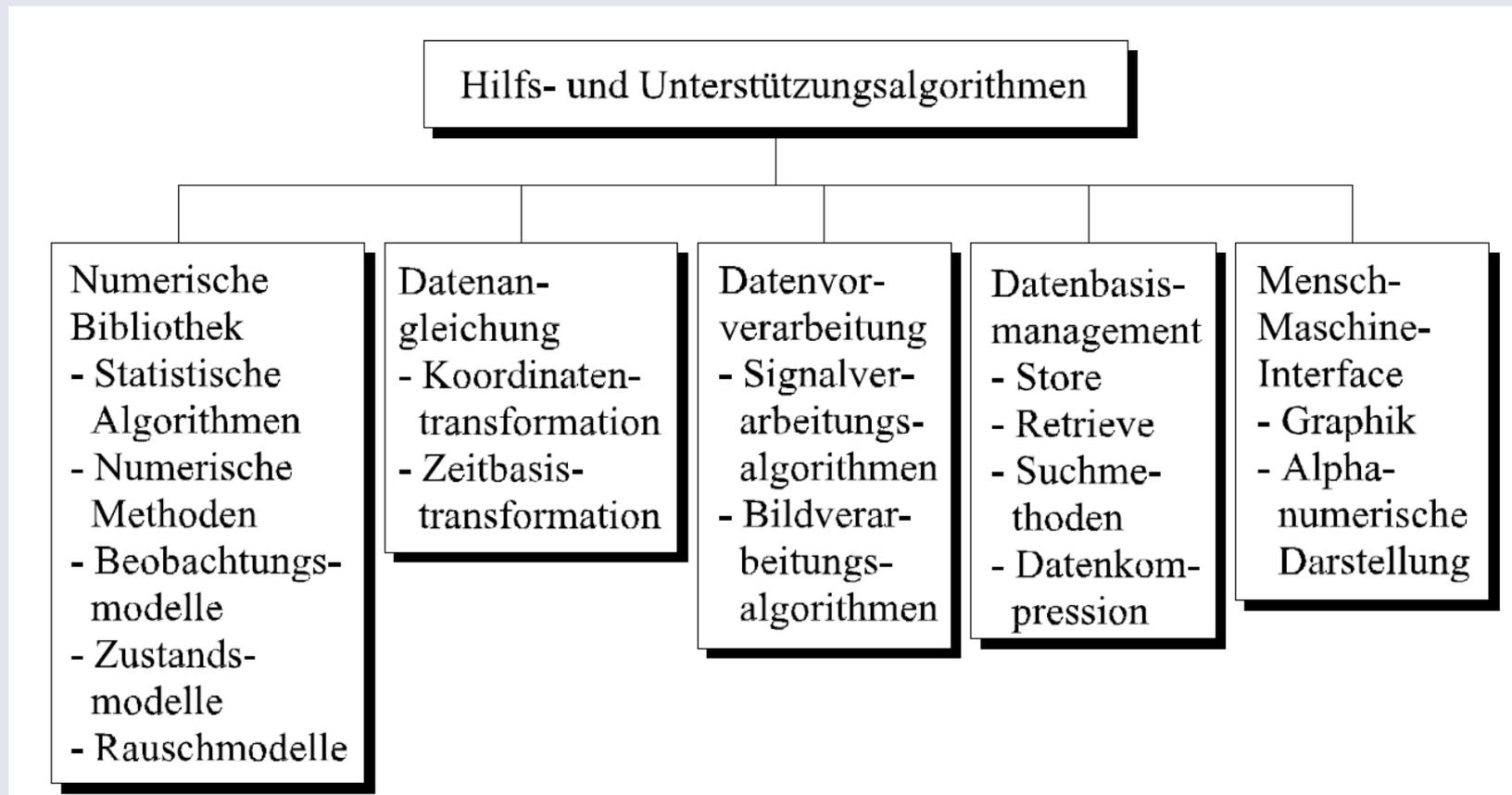
## Level 3

- Was passiert hier:
  - Schlussfolgernde Prozessierung
  - Entscheidungstreffen
- Beispiele:
  - Schätzung der Gefährlichkeit von freundlich oder feindlich gesonnenen Kräften
  - Auswertung von Vermutungen und Warnungen vor bevorstehenden Ereignissen
  - Zielberechnungen

# Erläuterungen zum funktionalen Modell

- „Level 1“-Verarbeitung akzeptiert Sensordaten und verknüpft diese, um Zustände (z.B. Ort, Identität) grundlegender Betrachtungselemente zu schätzen.
- Die „Level 2“-Verarbeitung bearbeitet die Ergebnisse der „Level 1“-Prozessierung, um Situationsanalysen durchzuführen.
- Die „Level 3“-Verarbeitung schließlich führt für militärische Arten von Fusionssystemen Bedrohungsanalysen durch.

# Hilfsalgorithmen



# Architekturkonzepte

## 3 Ansätze

1. Eine zentralisierte Architektur sendet die Sensorrohdaten zu einem zentralen Fusionsprozeß, der die Grundfunktionen wie Datenangleichung und -assoziation durchführt, gefolgt von Korrelation, dynamischer Estimation und Zielklassifikation.
2. Eine autonome Architektur ermöglicht jedem Sensor eine maximale Menge von Vorverarbeitung zur Generierung von Zustandsvektoren und Identitätsdeklarationen, die dann zu einem Fusionsprozeß übermittelt werden. Hierbei werden die Grundfunktionen auf Zustandsvektoren angewendet und nicht auf Rohdaten.
3. Eine dritte Variante ist eine Hybrid-Kombination der zentralisierten und der autonomen Architekturen.

# Referenzen

- K. Stachniss: Robot Mapping und EKF Slam
- Nüchter, A., Bleier, M., Schauer, J., Janotta, P.: Continuous-Time SLAM --- Improving Google's Cartographer 3D Mapping. In: Remondino, F., Georgopoulos, A., Gonzalez-Aguilera, D., and Agrafiotis, P. (eds.) Latest Developments in Reality-Based 3D Surveying and Modelling. p. 53--73. MDPI, Basel, Switzerland (2018).
- Th. Luhmann (2018): Nahbereichsphotogrammetrie (Grundlagen – Methoden – Beispiele), Wichmann, Berlin
- S. Nebiker: Mobile Mapping–3D Geodatenerfassung 'on the move' Institut Vermessung und Geoinformation FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz
- Lehtola, V., Kaartinen, H., Nüchter, A.: Autonomous 3D Modelling of Indoor Spaces. GIM International.31,20--23 (2017).