

# Navigation Dienstleistung im Verkehr

Einleitung und Übersicht  
Technische Anforderungen und Interpretation  
Positionsbestimmung und kinematische Navigation  
Einbindung der Nutzeranforderungen

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyer

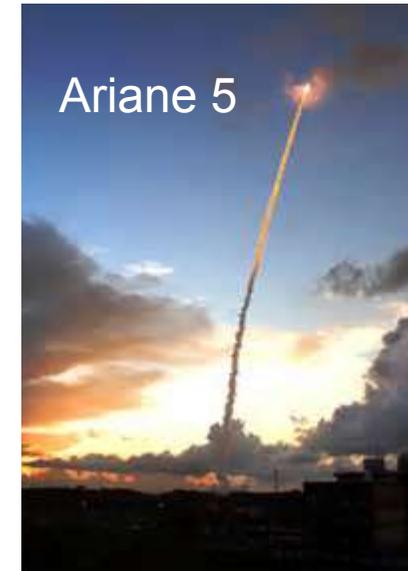
# 1 Navigation - Dienstleistung im Verkehr

- Einleitung und Übersicht
  - Anwendungen und Besonderheiten
  - Redundanz und Hybride
  - Anforderungen
- Navigation im Regelkreis
  - Positionierungs- und Navigationssysteme
  - Surface Movement Guidance and Control
- Einbindung der Nutzeranforderungen
  - Problemdefinition
  - Einsatzumgebung
  - Rahmenbedingungen
  - Einflussmöglichkeiten
  - Nutzen- Kostenbetrachtung

- Die Kenntnis des Standortes stellt zunächst keinen Wert an sich dar; erst der Wunsch nach einer sinnvollen Ortsveränderung erzeugt Bedarf für die Positionierung
- Der Begriff „Navigation“ stand ursprünglich für die Bewegung zur See
  - navis agere = ein Schiff betreiben
- Auf Kenntnis des eigenen Standorts, Fahrtziel und Fahrzeugeigenschaften basierte der Plan zur Schiffssteuerung. Verantwortlich hierfür war der
  - κυβερνητης (kybernetes) = Steuermann, Lenker
- Heute bezeichnet der Begriff „Navigation“ die Bestimmung von Position und Geschwindigkeit eines physikalischen Körpers relativ zu einem Referenz-Koordinatensystem (Britting, Inertial Navigation Systems Analysis, 1971)
- „Navigation is the process of directing the movements of a craft from one point to another“ (Kayton, Fried, Avionics Navigation Systems, 1969)
- Die Routenplanung berücksichtigt die Missionsanforderungen, die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit des Navigationssystems sowie die Fahrzeugeigenschaften
- Die beiden Module „Guidance“ und „Control“ sorgen für die sichere Einhaltung der zuvor geplanten Route eines Fahrzeuges
- Das Verkehrsmanagement koordiniert und sichert die Bewegung mehrerer Fahrzeuge in einem gemeinsamen Verkehrsraum

- Navigation steht vermehrt im Konflikt zwischen „allgemeinen Nutzen“ stiften und „privaten Vorteil“ generieren. Dies gilt sowohl für den Individual- wie für den Güter- und Wirtschaftsverkehr
- Navigation kann aus der Sicht eines Individuums, des Fahrzeugführers, des Flottenbetreibers, des Verkehrskoordinators, des Infrastrukturanbieters und des Verkehrspolitikers völlig unterschiedliche Ausprägungen entwickeln
- Für Wirtschaftsunternehmen ist beispielsweise das Thema „Alleinstellungsmerkmal“ besonders wichtig. Ohne diesen Anspruch zu erfüllen und die „ganzheitliche Lösung“ anzubieten wäre Navigation dort kein Thema
- Neben der reinen Positionierung/Navigation muss also immer noch eine Menge zusätzlicher Arbeit mit einer enormen Bandbreite geleistet werden
- Dies führt zum hier gewählten Ansatz: „Navigation – Dienstleistung im Verkehr“
  - Navigation ist heute kein primär technisches Problem mehr
  - Interdisziplinäres Handeln wird zur neuen Herausforderung
  - Lösung der Finanzierungsproblematik ist Teil der Aufgabe
- In der Antike galt Navigation als Kunstform, danach war sie Ausdruck technischer Fertigkeiten, heute dient sie zur Sicherung der Mobilität

- **Anwendungen und Besonderheiten**
  - Fahrzeugspektrum und Bewegungsprofil
  - Einsatzspektrum und Missionsanforderungen
  - Umweltbedingungen und Geräteeigenschaften
- **Redundanz und Hybride**
  - Formen der Redundanz
  - Steigerung von Genauigkeit oder Zuverlässigkeit
  - Existierende Lösungsansätze
- **Anforderungen**
  - Abgeleitete Anforderungen an die Navigationsverfahren
  - Signaltechnische- und Beobachterinterpretation
  - Ausfallsichere Konfiguration (für sicherheitsrelevante und sicherheitskritische Anwendungen)



Quelle: spaceflightnow.com

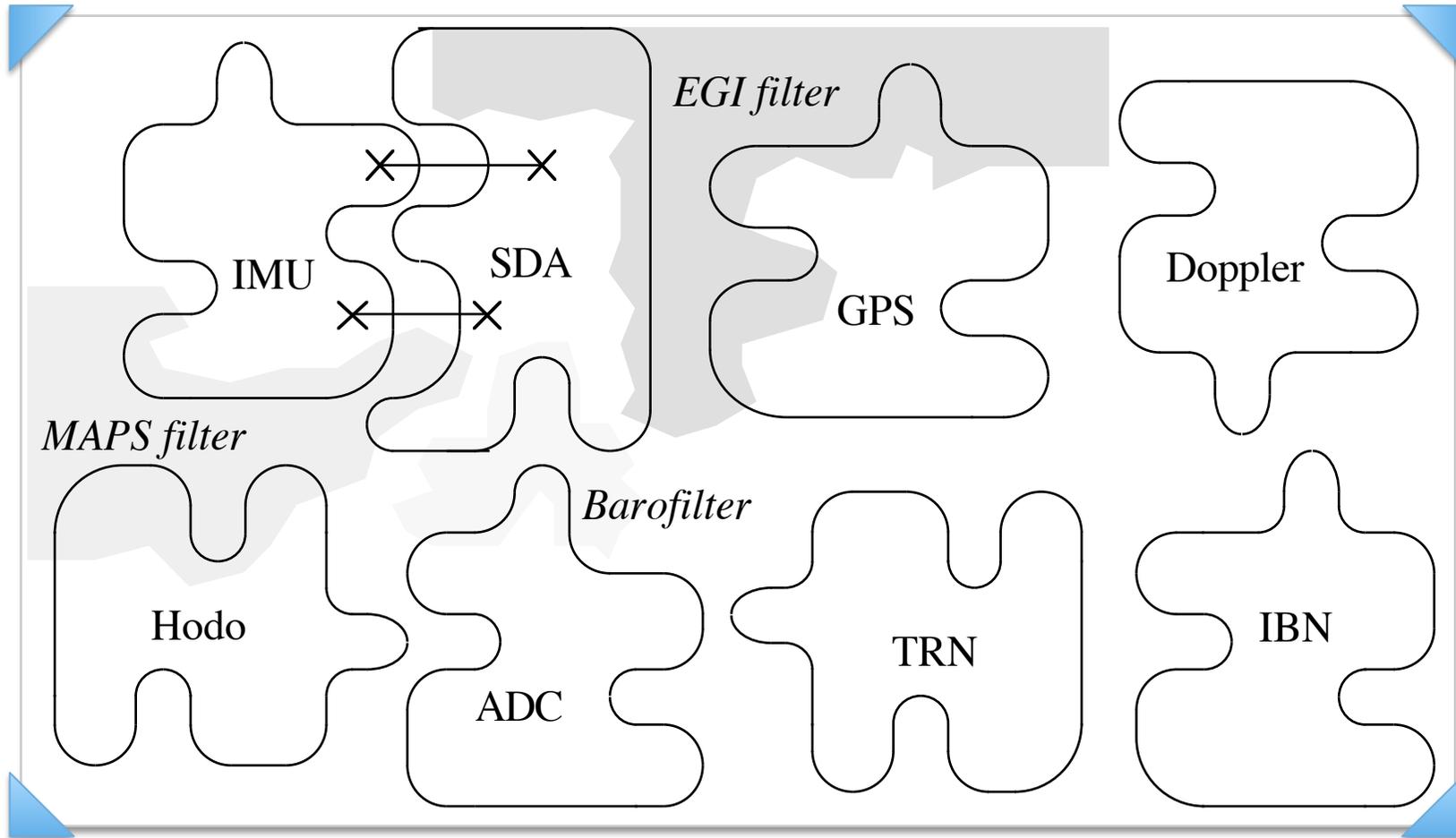
- **Fahrzeugspektrum und Bewegungsprofil**
  - Dimension des Bewegungsprofils
    - ① Schienenfahrzeuge (Lokomotiven, Straßenbahn, People Mover)
    - ② Landfahrzeuge, Schiffe, Flughafenvorfeld, Parkplätze, Roboter
    - ③ Flugzeuge, Helikopter, Raumschiffe, U-Boote, Hochregal-Lager
    - ④ Management einer Anzahl von Fahrzeugen in Zeit und Raum
- **Einsatzspektrum und Missionsanforderungen**
  - Missionsdauer, Geschwindigkeit, Position, Höhe über Grund
  - Agilitätsforderung und Fahrzeugdynamik, Genauigkeit
- **Umweltbedingungen und Geräteeigenschaften**
  - Abschattung, Vibration, Druck, Temperatur, Strahlung, Wind
  - Anschaffungs- und Betriebskosten, Wartungsaufwand
  - Volumen, Gewicht, Stromverbrauch, Schnittstellen

- Koppelnavigationsfehler nehmen mit dem zurückgelegten Weg zu, Fehler eines inertialen Navigationssystems sind Funktionen der Zeit. Schnelle Fahrzeuge mit kurzen Reisezeiten benötigen daher eine andere Navigationslösung als langsame
- Helikopter fliegen langsam und in niedrigen Höhen über Grund. Sie benötigen Geschwindigkeitssensoren, die um den Nullpunkt herum genau messen (keine Luftdatensensoren). Radar ist zur Messung der Höhe über Grund gut geeignet
- Passagierflugzeuge benötigen den Luftdruck für ihre optimale Flughöhe (Flugleistungsrechnung). Daher werden Barometer weiter zur Stützung der Höhe eingesetzt werden. GPS- und Radarhöhe helfen nicht weiter. Hohe Anstellwinkel und sehr hohe Geschwindigkeiten limitieren den Einsatz von (konventionellen) Luftdatensensoren wiederum
- Rendezvous Probleme benötigen hohe relative Positionsgenauigkeit, die Interaktion mit Infrastruktur braucht absolute Positionsgenauigkeit
- Abschattung und Mehrwegeausbreitung beeinträchtigen GPS. Diese Trajektorien-Abhängigkeit beeinflusst die Missionsplanung

- Formen der Redundanz
  - parallel (nicht nur Hardware)
    - Vergleich (Voting) zwischen den Signalen baugleicher Geräte
  - komplementär (ergänzend)
    - Einsatz sich ergänzender Systeme (unterschiedliche Wirkprinzipien, komplementäres Fehlerverhalten), bspw. kurzzeit-/langzeitgenau
    - Hauptziel ist die Verbesserung der Genauigkeit (Beispiel INS-GPS)
  - dissimilar (unähnlich)
    - Einsatz artfremder Geräte mit ähnlicher Fehlercharakteristik
    - Hauptziel ist die sichere Fehlererkennung (Beispiel LORAN-GPS)
  - analytisch (modellgestützt)
    - Verwendung von a priori Wissen
    - Profil der Trajektorie und physikalische Grenzen
    - Überwachung mitgeschätzter Sensorfehler

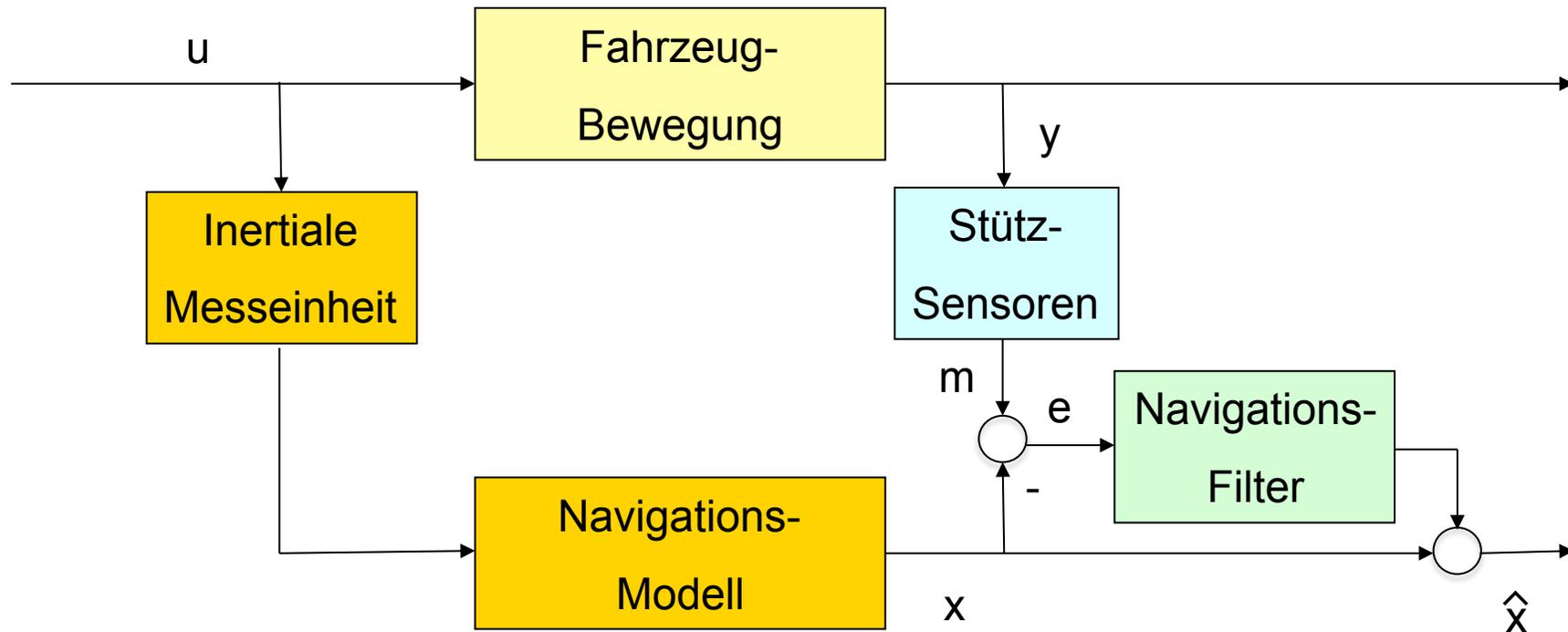
- **Steigerung von Genauigkeit oder Zuverlässigkeit**
  - Schnelle Meldung von Fehlern bedeutet Sensitivität gegenüber hochfrequenten Effekten und damit auch gegenüber Rauschen
  - Das führt zu schlechterer Filterung unter Normalbedingungen
  - Letztlich kann entweder die Genauigkeit oder die Zuverlässigkeit durch den Einsatz von Hybriden gesteigert werden
- **Existierende Lösungsansätze**
  - Verbesserung der Sensoren/Systeme selbst
    - Bsp.: GPS RAIM, GIC, EGNOS, WAAS, LAAS, GBAS
  - Systeme mit Hardware Redundanz
    - Bsp.: GPS/GLONASS, FMS (3-4 INS)
  - Sensor Kombination (Hybride)
    - Bsp.: Baro/GPS, GPS/INS, EUROFIX
  - Verbesserung der Informationsverarbeitung

## Navigation Filter Puzzle



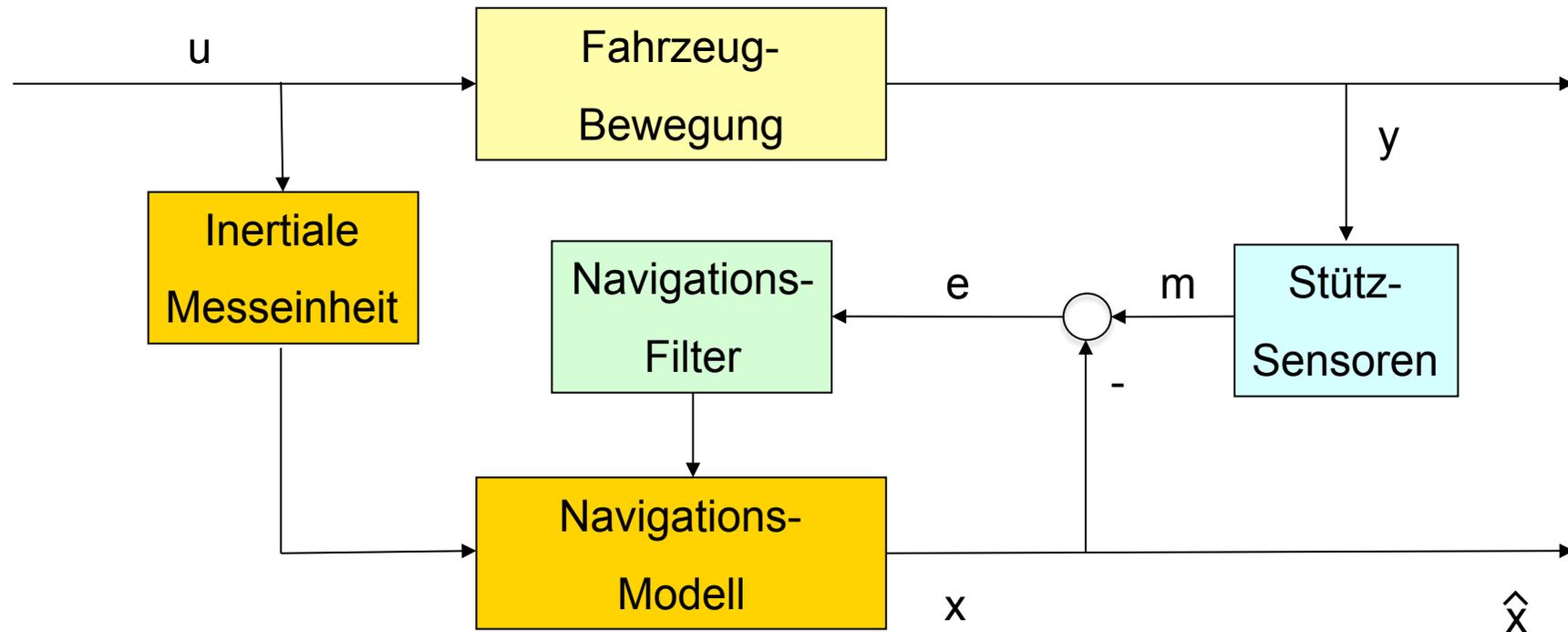
Quelle: Jürgen Beyer

## Open Loop Konzept



Quelle: Jürgen Beyer

## Closed Loop Konzept



Quelle: Jürgen Beyer

- Open Loop Konzept
  - Korrektur der Ausgangssignale nach der Fehlerschätzung
  - Stützsensordfehler können das INS nicht korrumpieren
  - Linearisierung um „ungenauer“ werdende Trajektorie
  - Problem besonders bei „low cost“ Systemen
  - Linearisiertes Kalman-Filter
- Closed Loop Konzept
  - Korrektur der internen Navigationszustände
  - Linearisierung erfolgt am richtigen Arbeitspunkt
  - Nicht erkannte Sensorfehler korrumpieren die Lösung
  - Klassisches Extended Kalman-Filter EKF

- Mix beider Ansätze
  - Open Loop Verfahren bei jeder Abtastung eines Sensorsignals (hochfrequent) anwenden
  - Berechnung und Zwischenspeicherung der Zustandskorrekturen in einem linearen Navigations-Zustandsfehlermodell
  - Niederfrequente Closed Loop Korrektur der INS-Zustände erst nach Validierung der gesammelten Sensorsignale durch Addition der mitgeschätzten Zustandsfehler
  - Anschliessend Löschen der Zwischenspeicherung im linearen Navigations-Zustandsfehlermodell (Re-Initialisierung)
  - Hinweis: Der Kalmanfilter Algorithmus ist im Open Loop und Closed Loop Konzept identisch. Der Unterschied liegt in der zur Linearisierung verwendeten Referenztrajektorie.  
Ein Open Loop / Closed Loop Vergleich erfolgt in Kapitel 3.1

- Überschlagsrechnung zur Signalmischung

$$m_1 = x + z_1, \sigma_1$$

$$m^* = a \cdot m_1 + b \cdot m_2$$

$$m_2 = x + z_2, \sigma_2$$

$$\hat{x} = E\{m^*\} = a \cdot x + b \cdot x$$

$$\hat{x} = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} m_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} m_2$$

$$\hat{\sigma}^2 = \left[ \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} \right]^{-1} = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

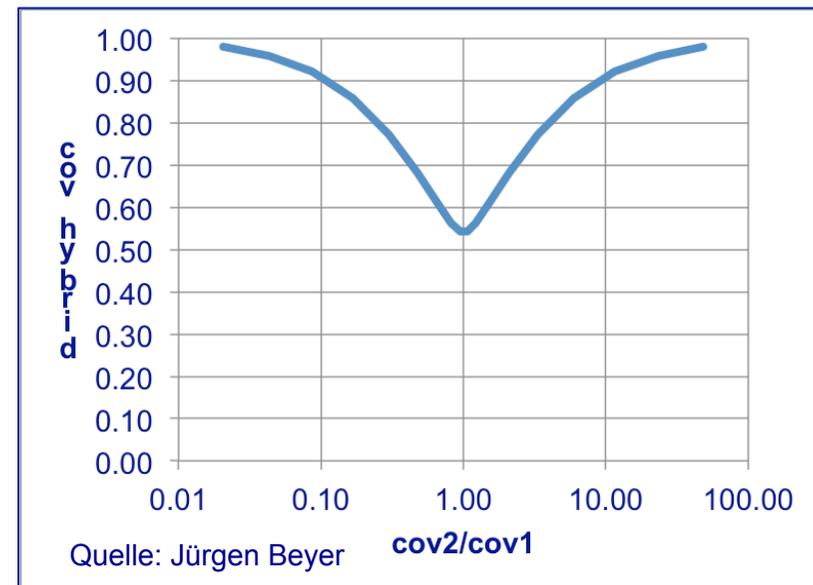
$$\hat{\sigma}_{\min}^2 = \frac{\sigma^2}{2} \quad \text{für} \quad \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$$

Mit n Messungen:

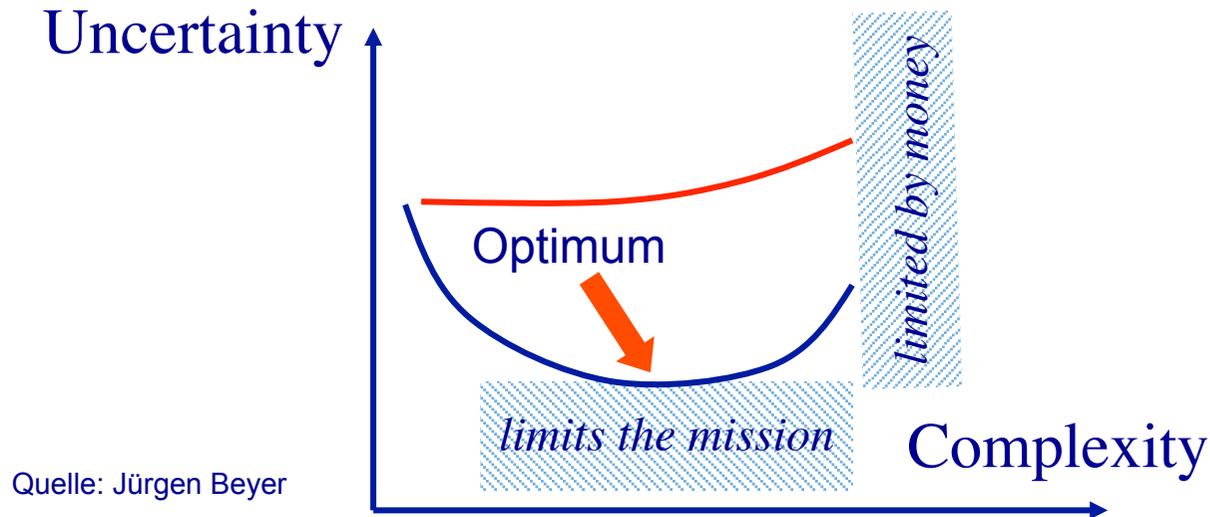
$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{\prod_{j=1}^n \sigma_j^2}{\sum_{i=1}^n \frac{\prod_{j=1}^n \sigma_j^2}{\sigma_i^2}}$$

$$\hat{x}_n = \hat{\sigma}_n^2 \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\sigma_i^2}$$

- Die Kovarianz eines Hybrides wird nie schlechter als die Kovarianz des besten dabei eingesetzten Sensors
- Ein Zwei-Sensor Hybrid kann die Kovarianz des besten eingesetzten Sensors im günstigsten Fall halbieren
- Bei optimaler Konfiguration eines Hybrides besitzen alle Sensoren gleiche Kovarianz
- In diesem Fall ist auch das Potential der Fehlerisolation am höchsten, d.h. keiner der Sensoren dominiert die Genauigkeit der Lösung



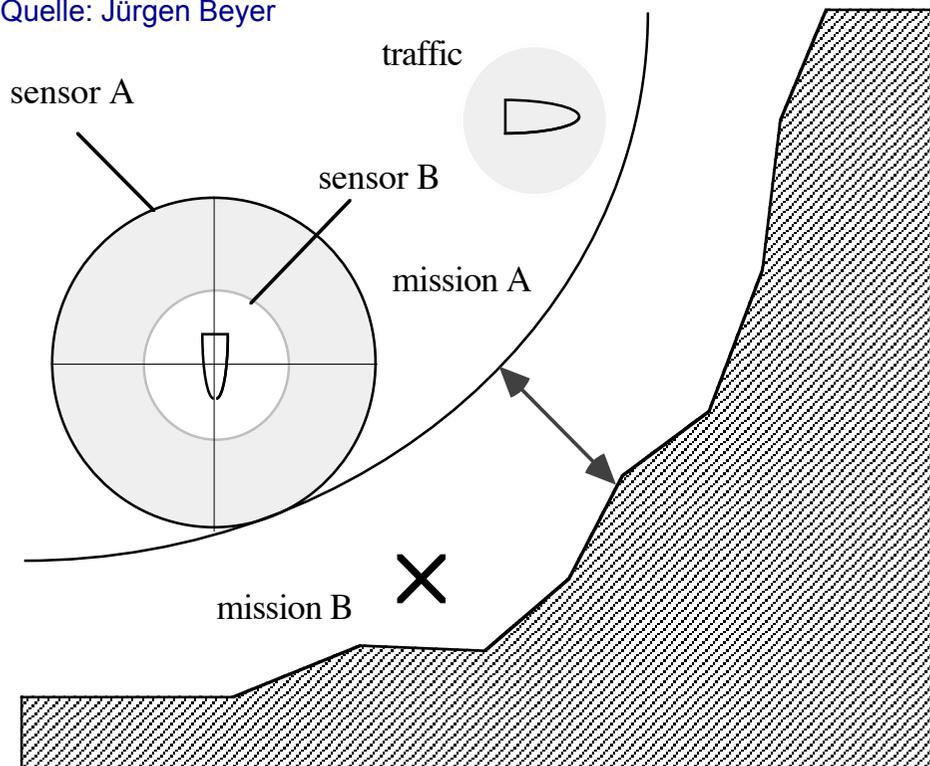
## Hybrid System Trade-Off



- Performance improvement means more sensor dependency
- Minimisation of uncertainty via more complexity is limited
- Approach of information processing becomes most important

## Anforderungen

Quelle: Jürgen Beyer



*sensor A has always < 1000 m accuracy*

*sensor B has usually < 100 m accuracy*

Performance defines mission (A):

- sensor A dominating; for safety reasons the vehicle has to stay always 1000 m away from the coast

Mission (B) requires performance:

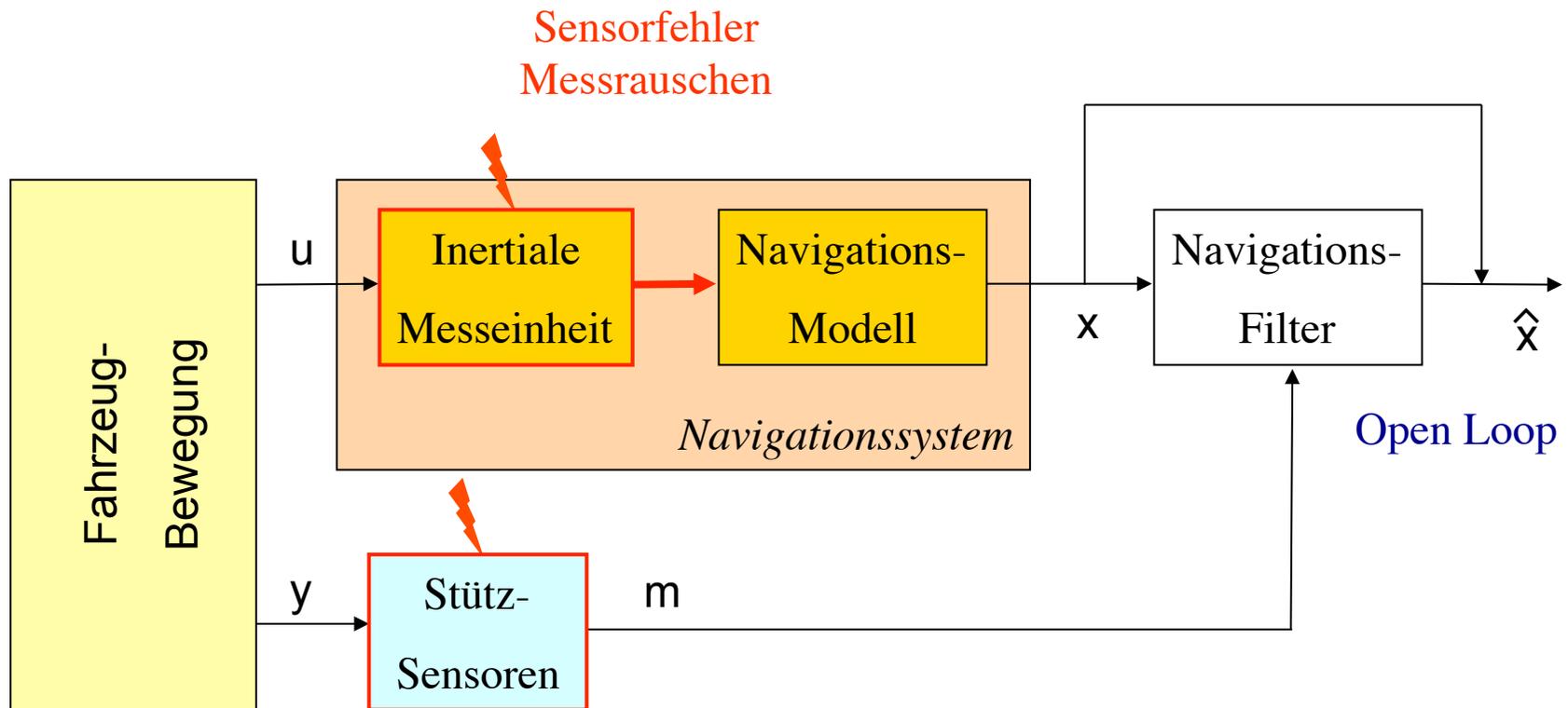
- a combination of sensor A and sensor B has to be more reliable at an expense of possible navigation accuracy

- **Adäquate Genauigkeit (Accuracy)**
  - aktuelle und geplante Trajektorie
- **Steigerung des Vertrauens (Dependability)**
  - Zuverlässigkeit des Systems (Reliability)
  - Verfügbarkeit (Availability/Continuity)
  - Richtigkeit der Information (Integrity)
- **Steigerung der Effizienz**
  - Neue Missionen ermöglichen
  - Neue Aufgaben, z.B. im Verkehrsmanagement
- **Senkung der Kosten**
  - Entwicklung und Validierung
  - Schulung, Wartung und Betrieb

- Nowadays vehicle and fleet **navigation** has to be interpreted and provided as a **complete service to the customer**. Within this context the planned mission requires and defines the navigation performance. Evidently, high value missions need more reliable navigation and the navigation system can even become safety critical. Safety relevant up to safety critical applications for example in aircrafts are approach and landing, low level flight operation and unmanned vehicle management.
- The well known safety relevant operation related requirements are dependability and adequate precision. Whereas precision seems not to be a major problem anymore, the dependability item has not been solved yet satisfying.
- Because of an increasing need for robust navigation and no present single sensor can meet the requirements on its own, a safety relevant navigation system adaptable due to the different mission requirements has to be created. It is important to note that this kind of system has to rely on dissimilar sensor components of comparable quality.
- The general methods of approach are sensor related improvements like GPS RAIM and sensor combinations, so called hybrids, respectively. Hybrids are using parallel and/or principal redundancy.

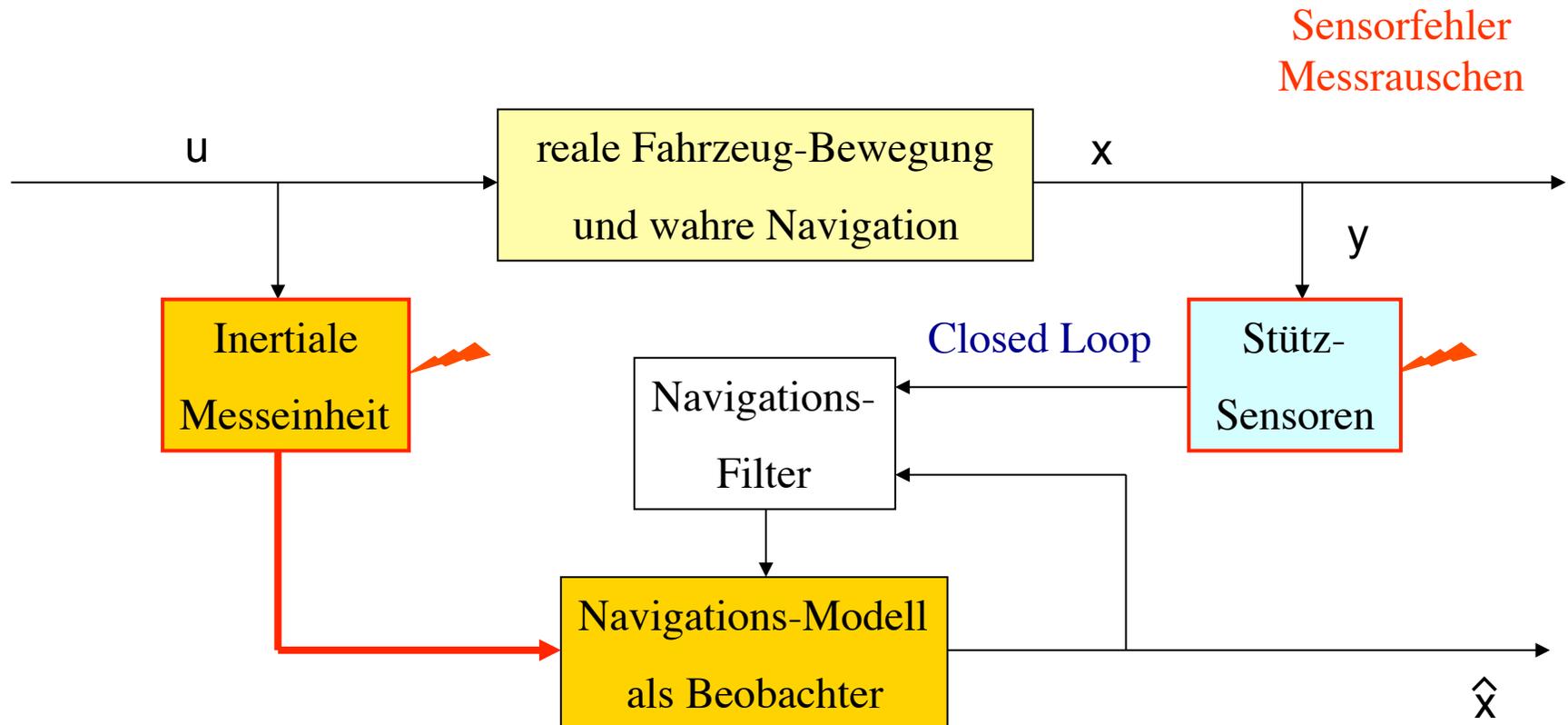
- Since the blending filter architecture becomes an important part of a hybrid system, more attention to optimal data fusion methods has to be paid. As the analytical navigation process interpretation possesses the most important role in the filter layout, three different point of views may be discussed.
- Most often used is the **signal technical interpretation**, which processes IMU data directly in the strap-down algorithm SDA. A filter afterwards corrects the inertial solution with signals from different aiding sensors.
- This interpretation method is correlated to the second one, a **quasi observer** point of view. Within this approach the SDA becomes now part of a Luenberger structured filter which is running in parallel to the true navigation. The particular solution of the filter is obtained by using signals of the IMU directly.
- The third analytical navigation process interpretation is a special development, which has been called **Mathematical Navigation Monitor**. It is a true observer approach since the filter model is fully sensor signal independent. Thus all sensor data used are equally ranked and mutually exchangeable aiding signals.

## Signaltechnische Interpretation (üblicher Ansatz)



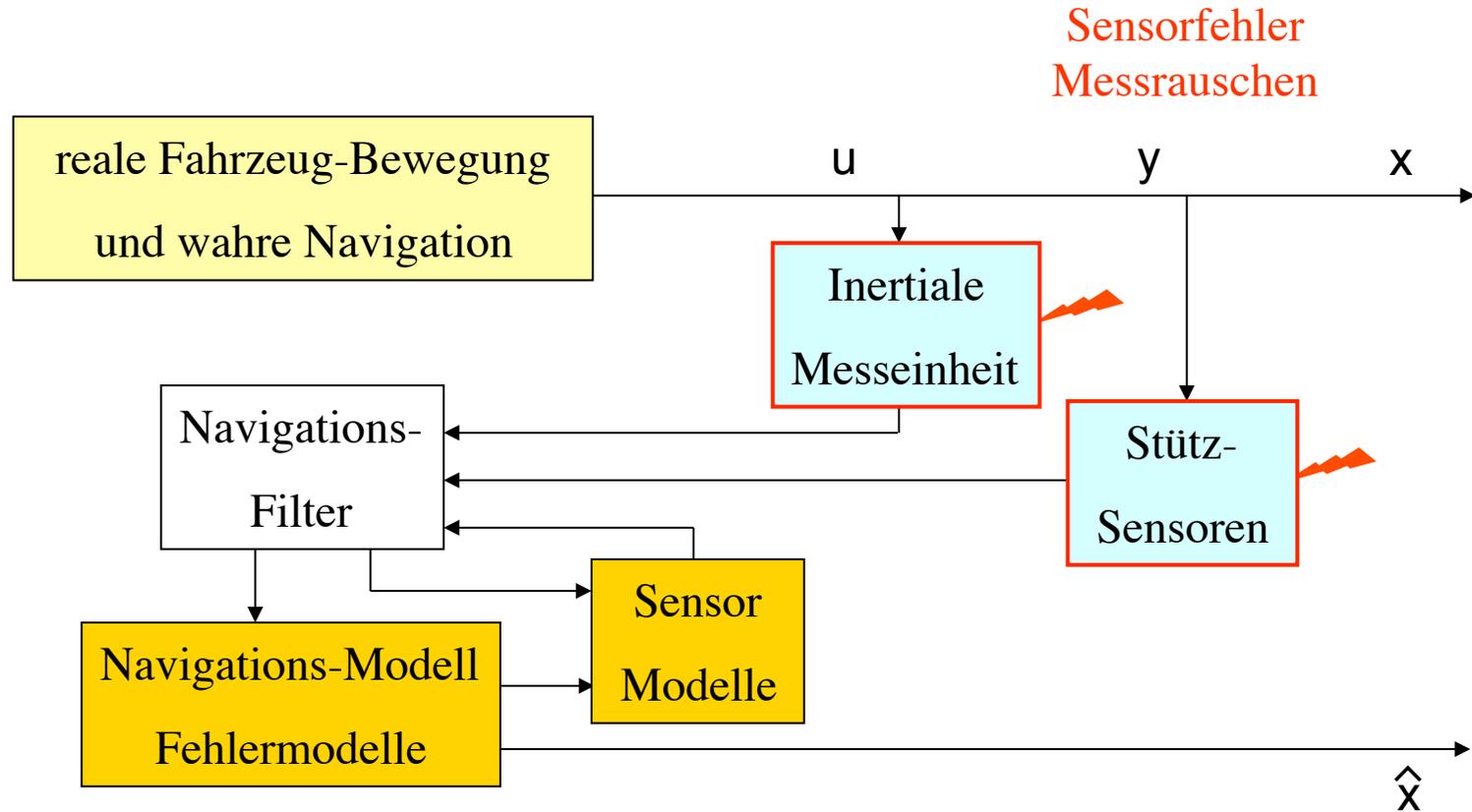
Quelle: Jürgen Beyer

## Beobachter Interpretation



Quelle: Jürgen Beyer

## Mathematischer Navigations-Monitor

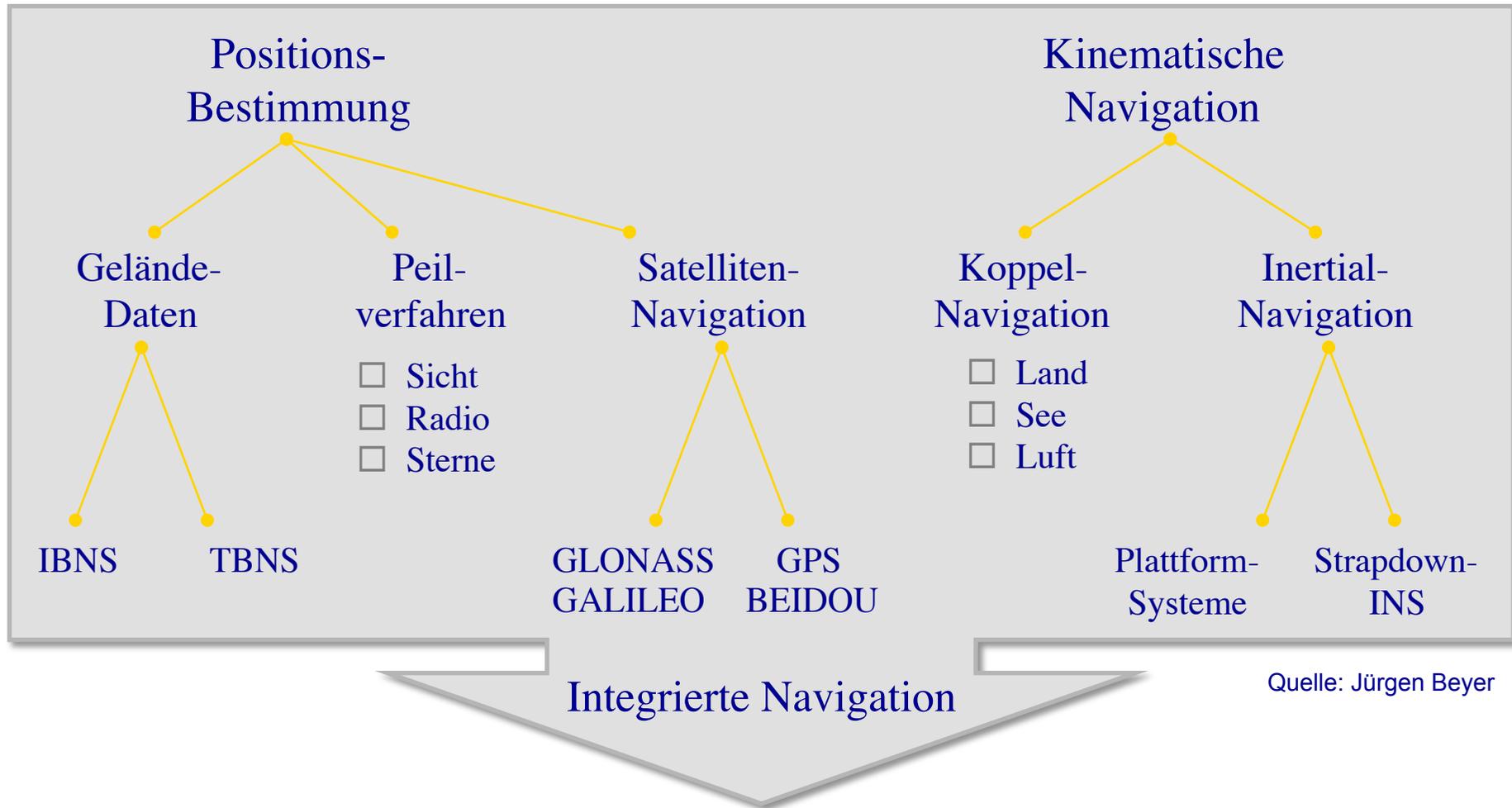


Quelle: Jürgen Beyer

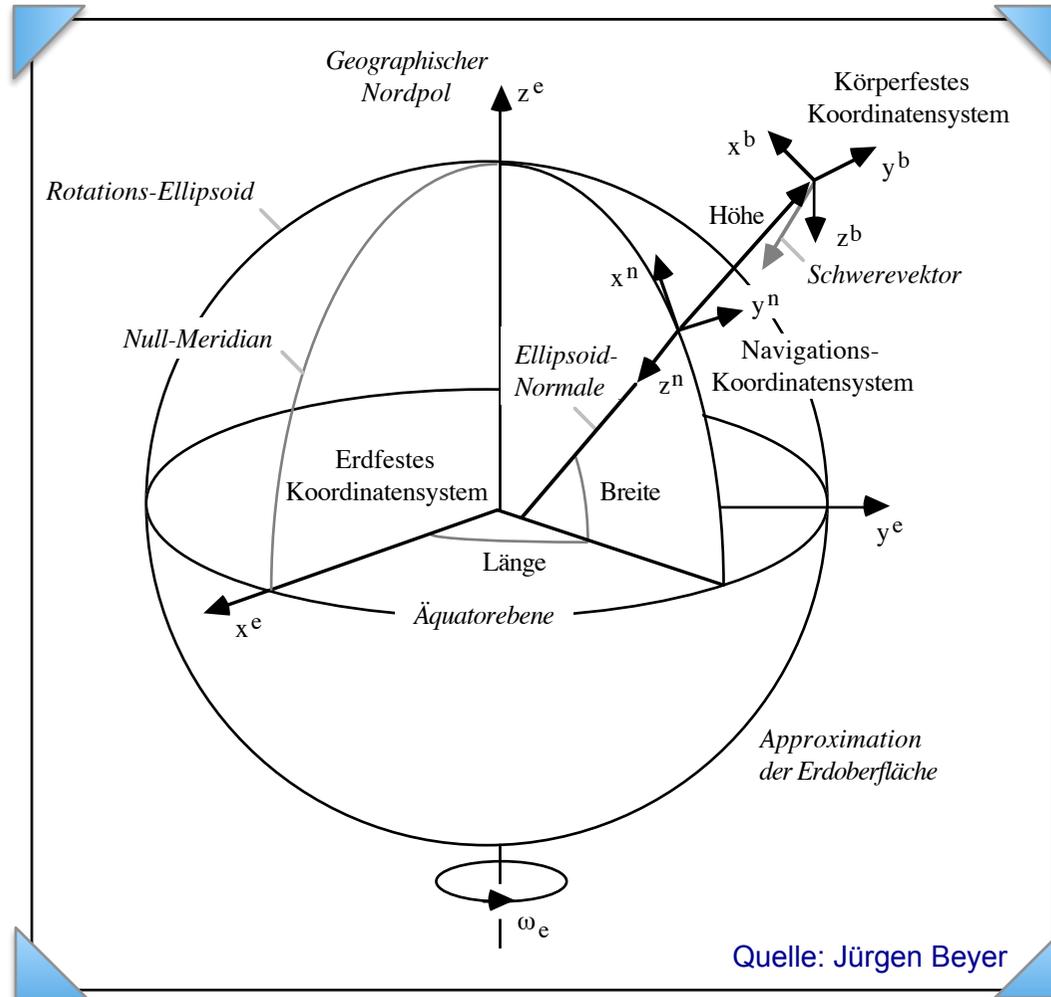
- Signal technical interpretation
  - IMU focused sequential approach
  - mix of sensor and theoretical model
  - noise is disturbing the analytical platform
  - only sub-optimal estimate via corrected INS
- Quasi observer interpretation
  - SDA becomes the navigation observer model
  - sensor sources contribute to the best estimate
  - approach doesn't fit to control theory
- Mathematical Navigation Monitor
  - approach uses a sensor independent model
  - all sensors and systems are equally ranked aiding sources
  - estimate combines information of all available signals

- **Positionierungs- und Navigationssysteme**
  - Verfahren der Positionsbestimmung, kinematischen Navigation
  - Pros/Cons: On-board, Standlinienverfahren, Funk, Satelliten
  - Koppel-Navigation und Inertial-Navigation (Strapdown)
  - Integrierte Navigation (Hybrids)
- **Surface Movement Guidance and Control**
  - Planung und Regelung
  - Fahrzeugeigenschaften
  - Navigationsplattform
  - Adaptive Planung
  - Regelkreis-Hierarchie

# Einteilung der Verfahren



# Koordinatensysteme in der Navigation

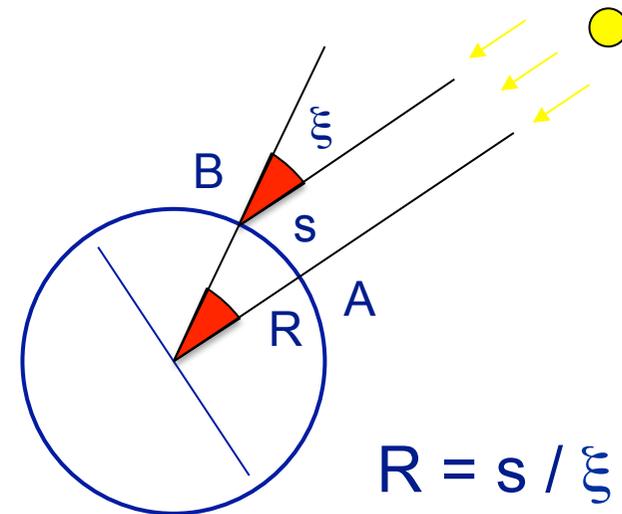


Roll-Winkel  
Nick-Winkel  
Kurs-Winkel

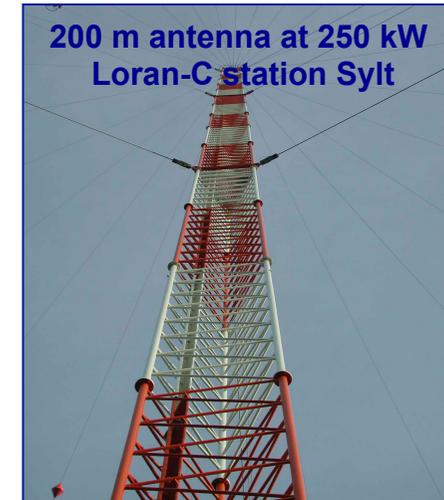
Inertiales KS  
Körperfestes KS  
Navigation-KS  
Erdfestes KS

## Methode des Eratosthenes

- Bereits in der Antike gelang es dem hellenistischen Gelehrten Eratosthenes (geb. zwischen 276 und 273 v. Chr.) den Radius  $R$  der Erdkugel zu bestimmen
- Am Ort  $A$  steht die Sonne zur Mittagszeit im Zenit; sie spiegelt sich z.B. in einem tiefen Brunnen
- Beobachtet man zur gleichen Zeit die Sonnenhöhe an einem Punkt  $B$ , der um eine Strecke  $s$  nördlich von  $A$  liegt, so kann man den Erdradius berechnen

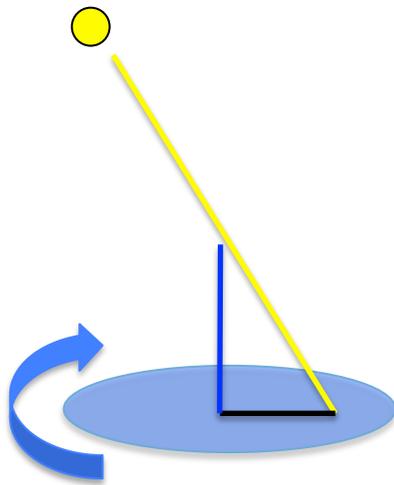


- Funktionsprinzipien
  - Standlinienverfahren (Fixpunkte)
  - Triangulation (Winkelmessung)
  - Messung der Schrägentfernung
- Module und Varianten
  - Terrestrische Navigation (Pilotage)
    - Sichtpeilung von Landmarken (vgl. Fixpunkte)
    - z.B. Marschzahl beim Kompass-Einsatz bestimmen
  - Astronomische Navigation (Celestial Navigation)
    - Nordrichtung, Breitengrad (Jakobstab, Sextant, Teleskop)
  - Funkpeilung (Radio Navigation)
    - VOR, DME, ILS, LORAN, TACAN, ...
  - Globale Satelliten Navigationssysteme GNSS
  - Geländedaten basierte Verfahren TRN (auch TBNS)
  - Bildverarbeitende Verfahren IBN (auch IBNS)

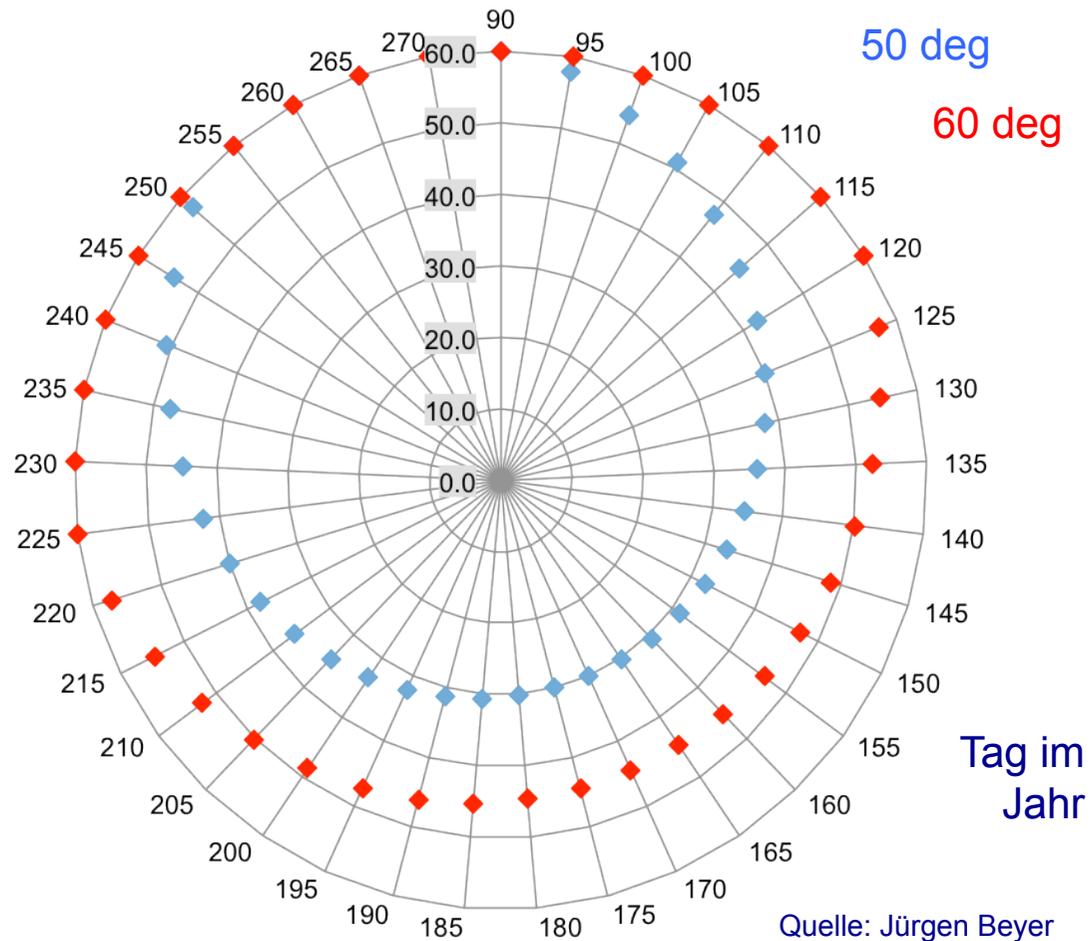


Quelle: Durk van Willigen

- Breitengradbestimmung bei den Wikingern

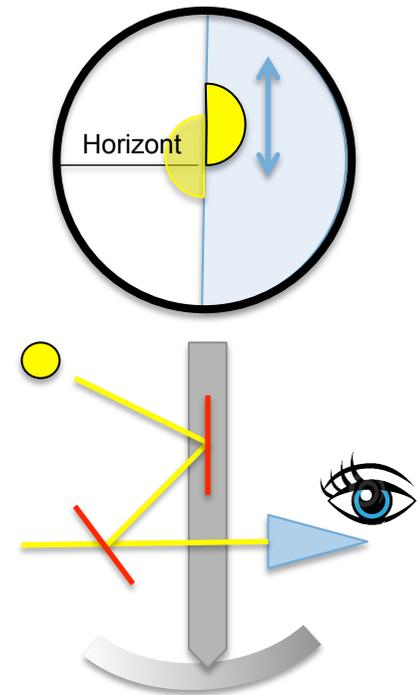
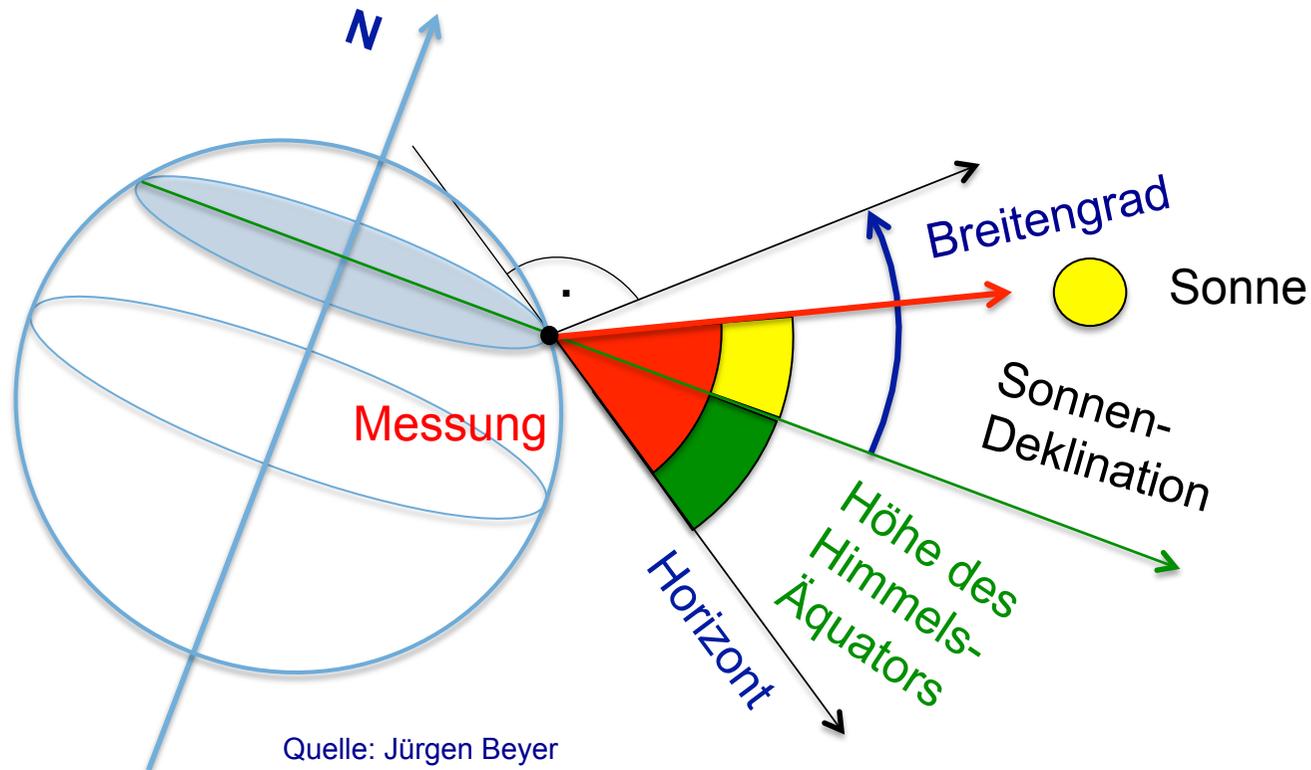


Stablänge = 60 mm  
Scheibenradius = 60 mm



Quelle: Jürgen Beyer

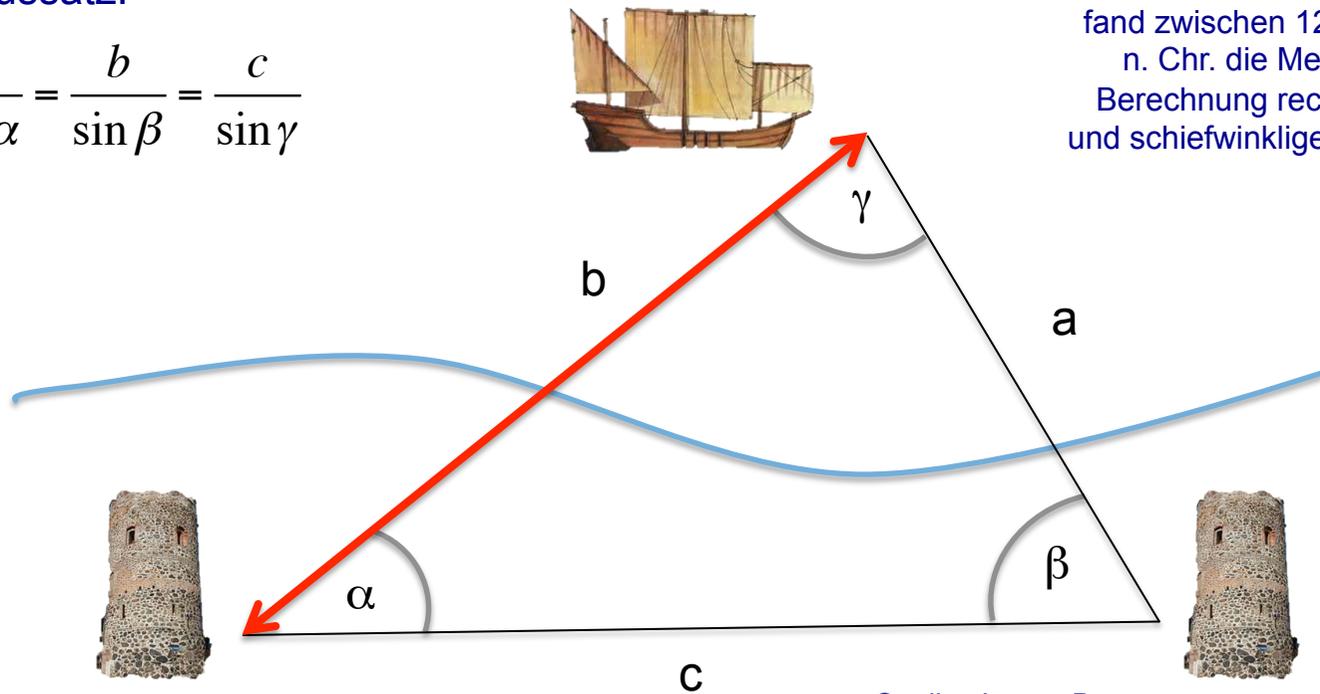
- Breitengradbestimmung mit dem Sextanten



Höhe des Himmels-Äquators = Messung – Sonnen-Deklination  
Geografische Breite =  $90^\circ$  - Höhe des Himmels-Äquators

Sinussatz:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

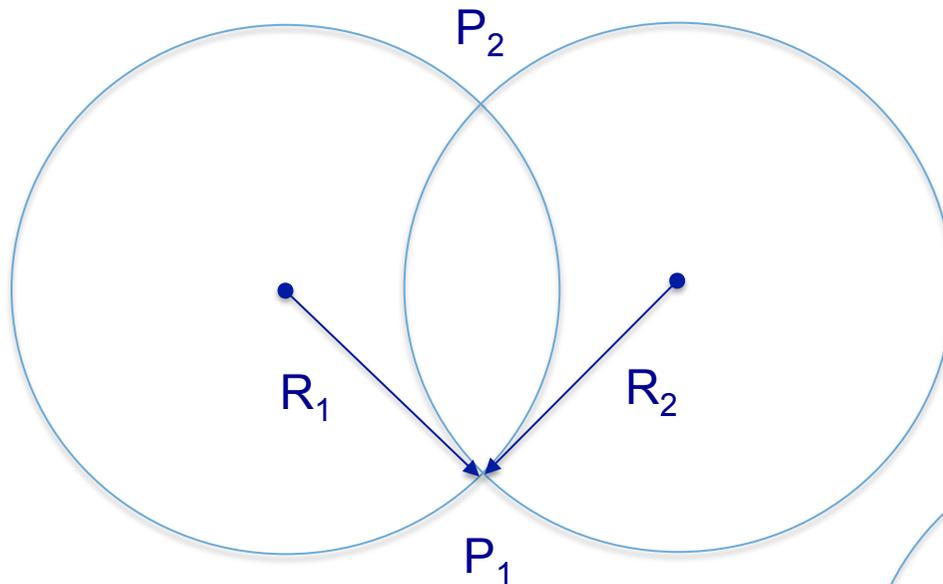


Ptolemäus von Alexandria fand zwischen 125 und 150 n. Chr. die Methoden zur Berechnung rechtwinkliger und schiefwinkliger Dreiecke

Quelle: Jürgen Beyer

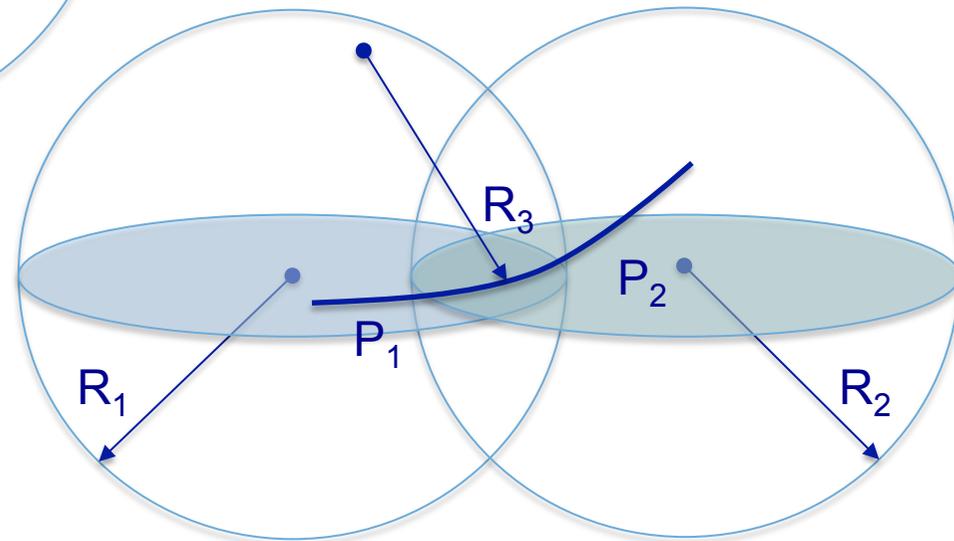
Triangulation ist eine geometrische Methode der optischen Abstandsbestimmung durch genaue Winkelmessung innerhalb von Dreiecken

## Positionsbestimmung in der Ebene



Schnitt von zwei Kreisen  
= zwei Punkte

## Positionsbestimmung im Raum

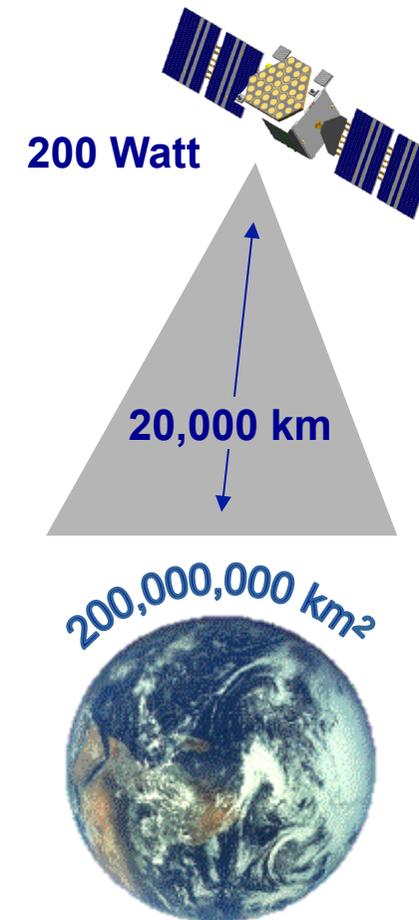


Schnitt von zwei Kugeln = Kreis  
Schnitt einer Kugel mit Kreis  
= zwei Punkte

- GNSS Funktionsweise
  - GNSS ermöglicht die Bestimmung der eigenen Position durch Messung der Schrägentfernungen zu mindestens vier die Erde umkreisenden „sichtbaren“ Satelliten, deren Positionen zum Zeitpunkt der Messung dem Nutzer bekannt sein müssen
- Zweck und primärer Nutzen von GNSS
  - GNSS liefert „PVT“ (Position, Velocity, Time)
  - Bereitstellung der Informationen weltweit
  - In hohem Masse konsolidierte Signale
  - Geringe Kosten für den Endnutzer
  - Hohes Genauigkeitspotential
  - Empfänger klein und leicht



- GNSS Einschränkungen
  - Geringe Sendeleistung (100-400 Watt)
  - Eingeschränkte Signalstörbarkeit
  - Geradlinige Wellenausbreitung
  - Direkte „Sichtverbindungen“ nötig
  - Signale sind zeit- und ortsabhängig
  - Eingeschränkte Reproduzierbarkeit
  - Problem der Mehrwegeausbreitung
  - Abschattungsproblematik
  - Zuverlässigkeitsproblem
  - Zulassungsproblematik



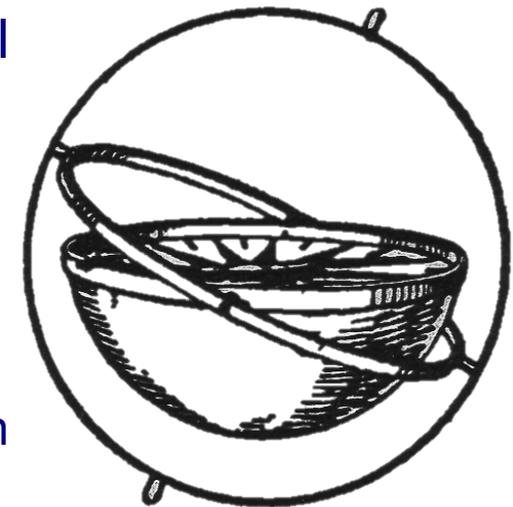
Galileo hebt die Abhängigkeit von GPS auf

Quelle: Durk van Willigen

- Anmerkungen zum Funktionsprinzip
  - Messung der Fahrzeug-Bewegung nach Betrag und Richtung
  - Verknüpfung von Sensorsignalen mit einer Modellrechnung
  - Koordinatentransformation: „Sensor“-KS in Navigations-KS
  - Autonome kontinuierliche Lösung (on-board)
  - Extrapolations-Potential
- Module und Varianten
  - Kurs/Lage Berechnung (Navigations-Plattform)
    - Mindestens Kursbestimmung für 2-dimensionale Lösung
  - Geschwindigkeitsbestimmung (i.d.R. Land, Seefahrt)
    - Transformation der Messung und Fehlerkompensation
    - Klassischer Ansatz: Positionsfehler ist Funktion des Weges
  - Beschleunigungsbestimmung (Land, See-, Luft-, Raumfahrt)
    - Geschwindigkeit aus Integration der „bereinigten“ Beschleunigung
    - Inertial-Navigation: IN-Fehler sind eine Funktion der Zeit (Schuler)

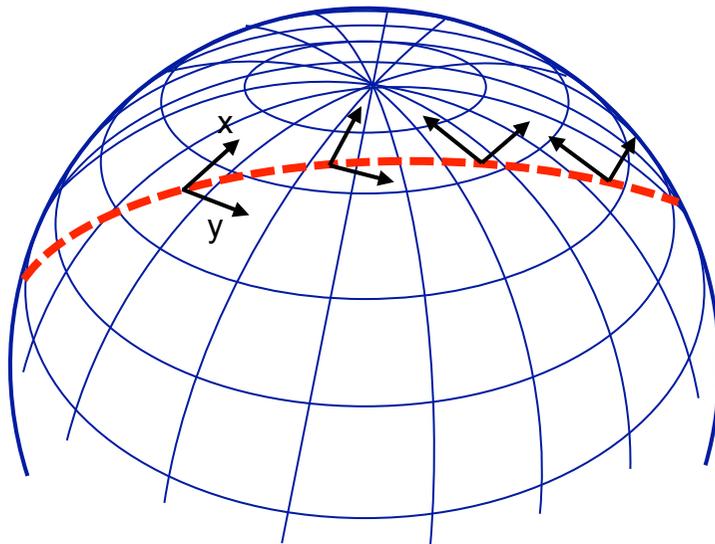
- Koppelnavigationsverfahren
  - Kurs-/Lage Referenz (Attitude and Heading Reference System)
    - Kurskreisel, Lotkreisel, Magnetometer, Schwerkraftmessung
  - Schiffslog (mit Kompass und/oder Kurs-/Lage Referenz)
    - Propeller, Staudruck, Elektromagnetische, Akustisch, Sonar-Doppler, Tiefenmesser
  - Hodometer (mit Kompass und/oder Kurs-/Lage Referenz)
    - Mechanisch, Reed-Kontakt, Hallsensor, Optisch, Induktiv
  - Luftdaten-Navigation (mit Kurs-/Lage Referenz)
    - Luftgeschwindigkeit (True Air Speed), Barometrische Höhe
  - Doppler-Navigation (mit Kurs-/Lage Referenz)
    - Doppler-Radar, Radarhöhenmesser

- **Mechanische Rahmenplattform**
  - seit Ende der 1950er Jahre im Einsatz
  - kardanische Aufhängung mit 3 bzw. 4 Rahmen
    - Kreisel regeln die Plattformdrehungen aus
    - gemessen wird die Plattform-Beschleunigung
  - Kurs/Lage durch Auslesen der Rahmenwinkel
- **Strapdown-Verfahren**
  - seit Ende der 1960er Jahre verfügbar
  - analytische Navigations-Plattform
    - Kreisel messen die Drehungen des Fahrzeugs
    - gemessen werden Fahrzeugbeschleunigungen
  - Kurs/Lage über Eulerwinkel-Extraktion



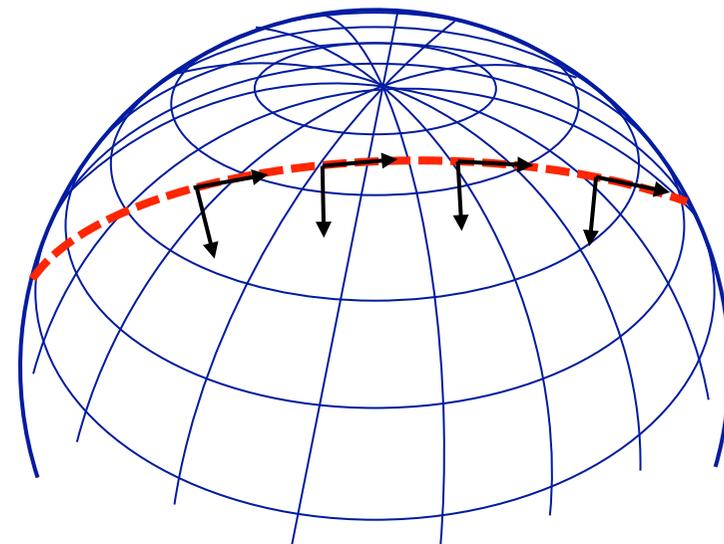
Early modern  
dry compass (1570 AC)

Source: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gimbal>



Quelle: Jürgen Beyer

**Mechanische Rahmenplattform**



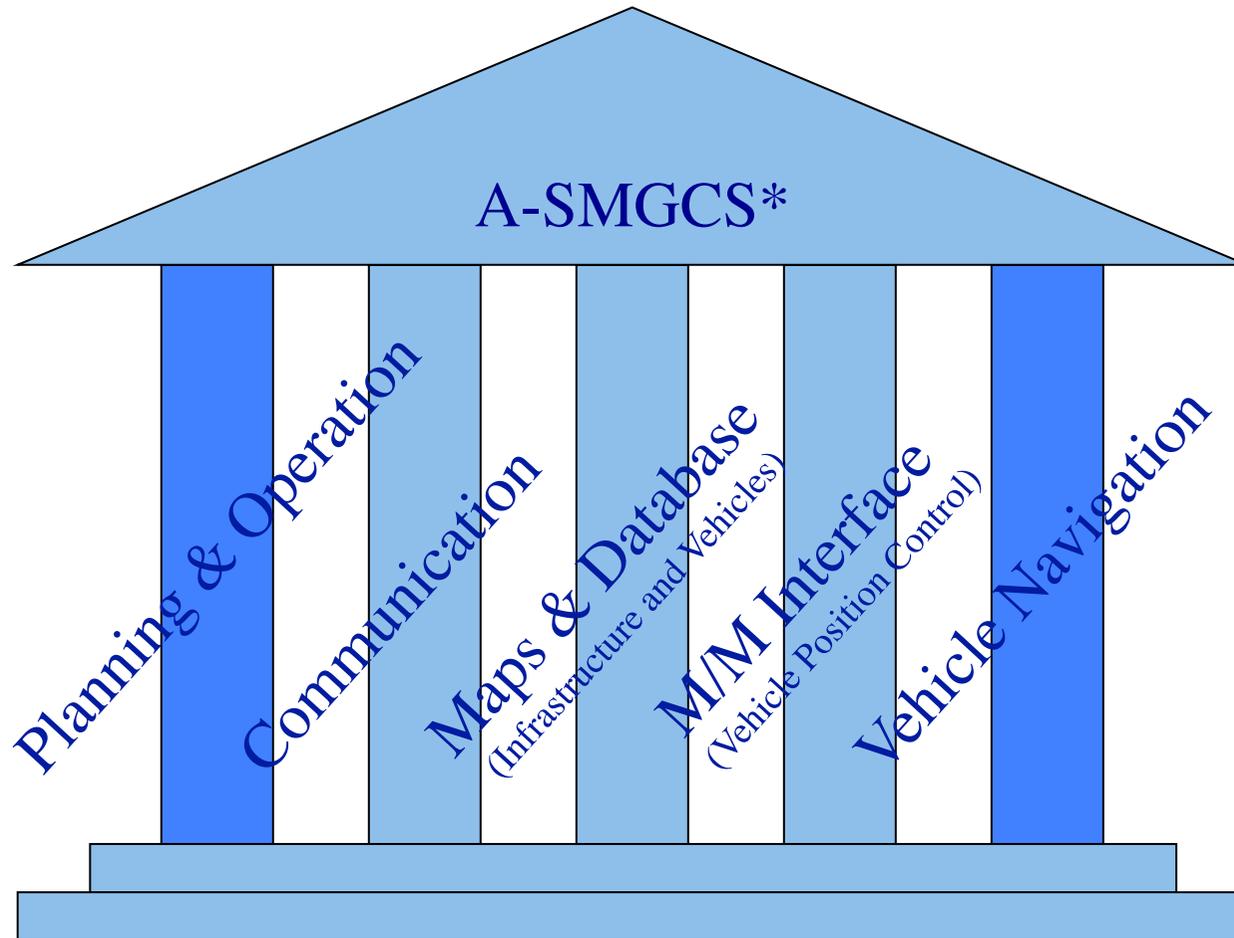
Quelle: Jürgen Beyer

**Strapdown-Verfahren**

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Strapdown (analytische Plattform)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multifunktions-System</li> <li>• Redundanz gut realisierbar</li> <li>• Systemmodifikation via Softwareänderung</li> <li>• hohe Zuverlässigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Sensoranforderungen</li> <li>• missionsabhängiges Fehlerverhalten (z.B. g-sensitiv)</li> <li>• komplexe Navigations-Algorithmen</li> </ul>
Mechanische Rahmen-Plattform	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unabhängig von der Fahrzeugbewegung</li> <li>• translatorische und rotatorische Berechnungen laufen zeitlich parallel ab</li> <li>• Kurs-/Lage-Rechnung einfach realisierbar</li> <li>• Plattform verwendbar zur Sensorkalibration an Bord</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplexer mechanischer Aufbau (bewegliche Teile)</li> <li>• hoher Wartungsaufwand</li> <li>• geringes Entwicklungspotential</li> <li>• nur begrenzte Nachführ-Drehrate möglich (Pol-Überflug)</li> </ul>

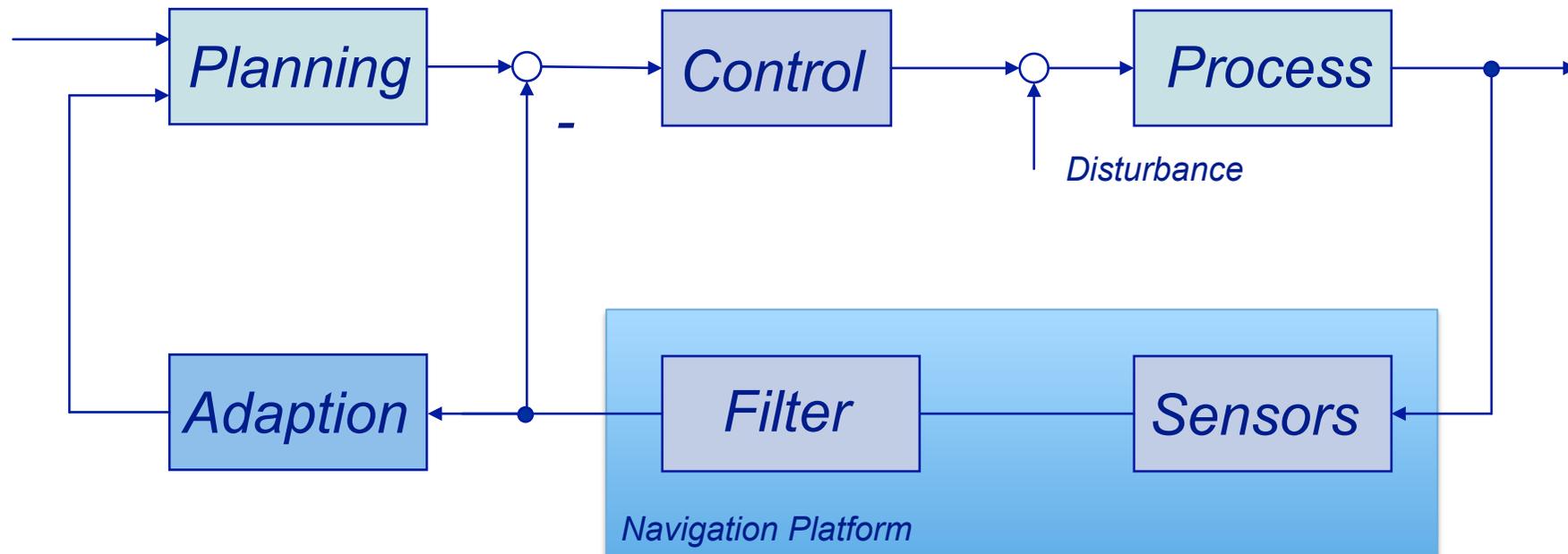
Quelle: Jürgen Beyer

# Surface Movement Guidance and Control



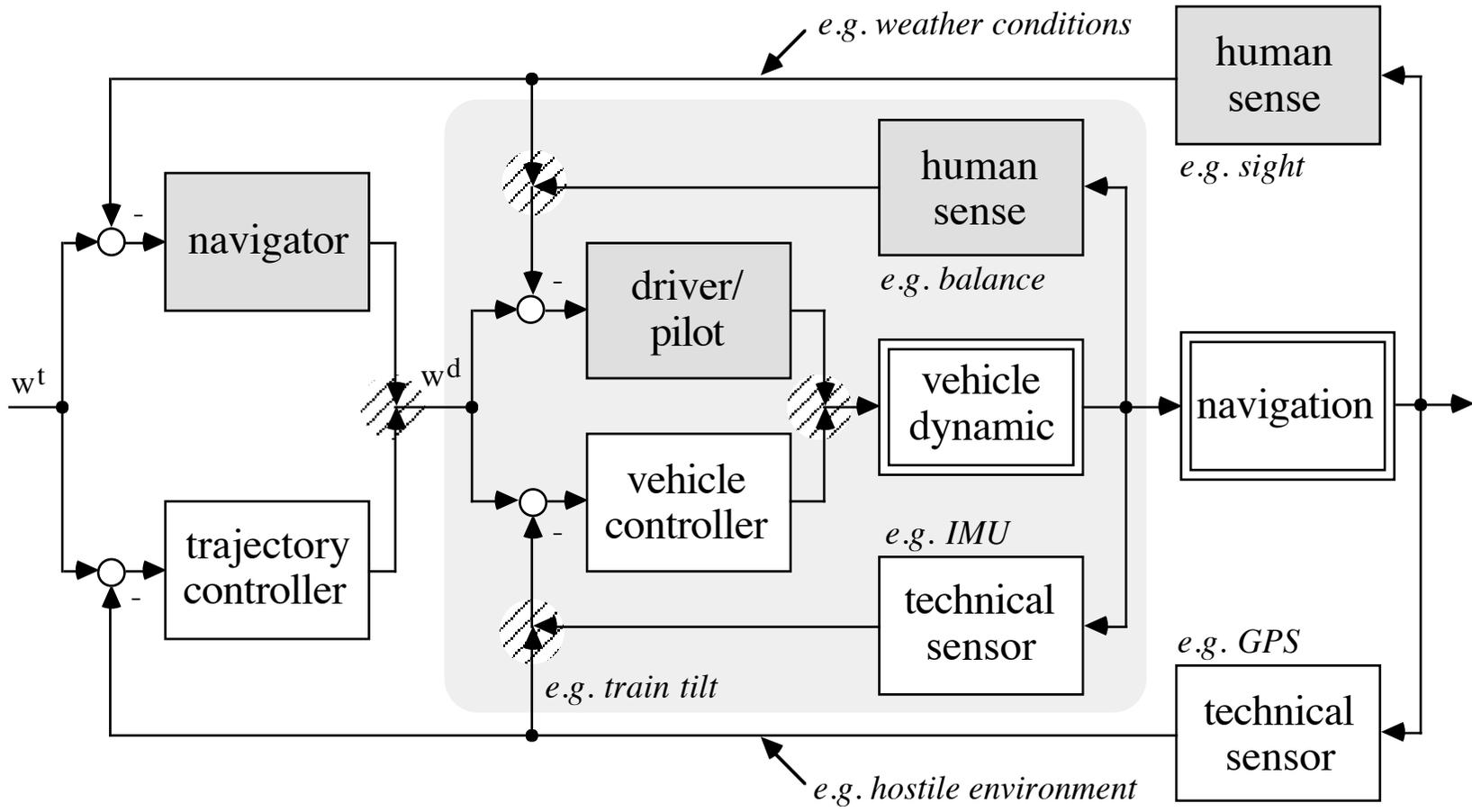
\* advanced surface movement guidance & control system

Quelle: Jürgen Beyer

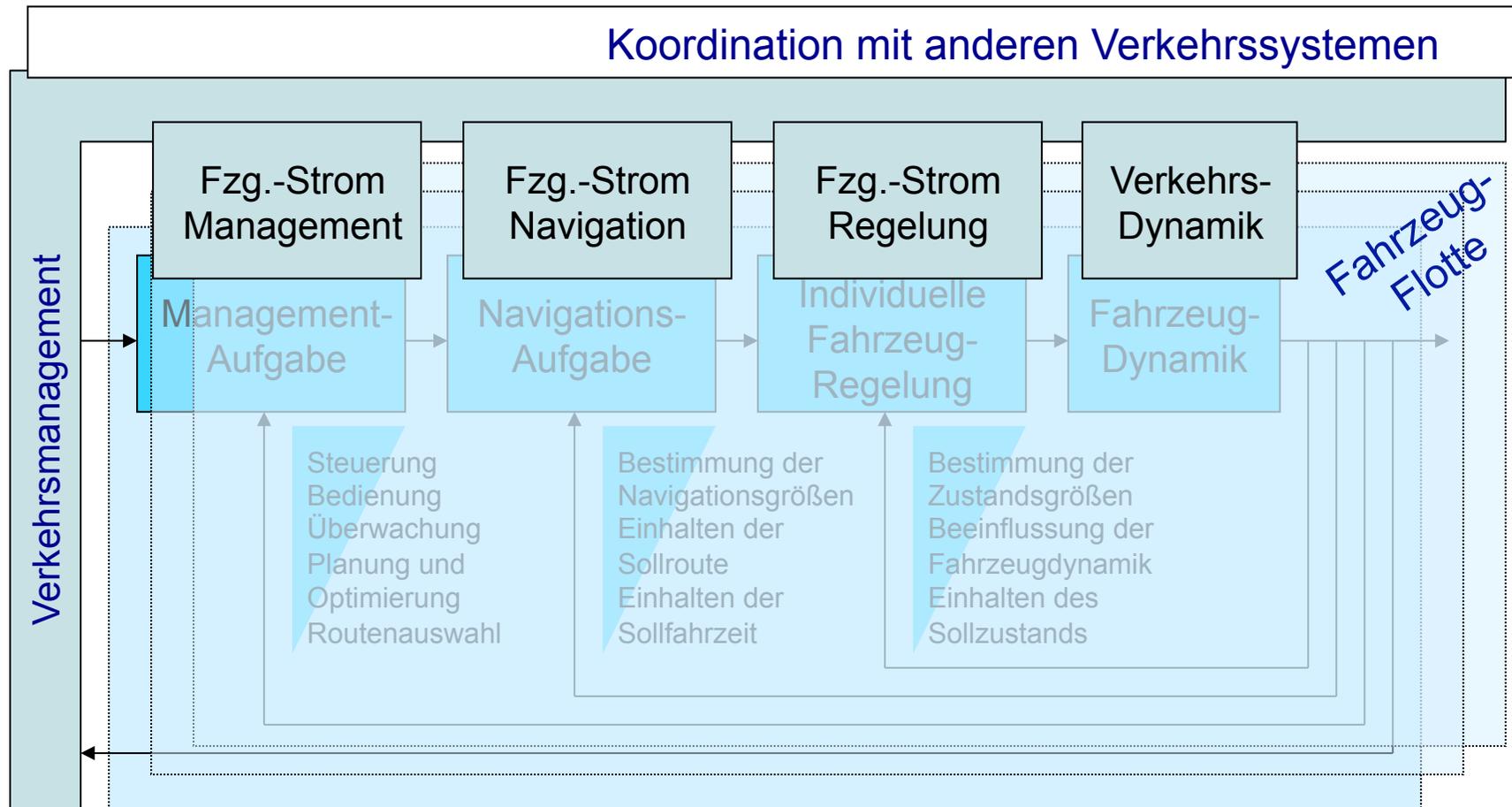


Quelle: Jürgen Beyer

## human sense and technical sensor equivalent



Quelle: Jürgen Beyer



Quelle: Jürgen Beyer

- **Problemdefinition**
  - Was will der Nutzer ? Typische Antwort: „Das kommt darauf an“
  - Welchen Beitrag kann/muss Navigation leisten ?
- **Einsatzumgebung**
  - Missions- und Bewegungsprofil
  - Umweltbedingungen
- **Rahmenbedingungen**
  - Ordnungspolitische Einflussnahme
  - Integration in den laufenden Betrieb
  - Integration in das bestehende Arbeitsumfeld
- **Einflussmöglichkeiten**
- **Nutzen- Kostenbetrachtung**

- Typische Zielstellungen eines Nutzers
  - Kosteneinsparungen (Anschaffung, Wartung und Betrieb)
  - Modernisierung und Wettbewerbsvorteil generieren
  - Neue Anwendungen und neue Geschäftsmodelle
- Technische Anforderungen zunächst nur vage formuliert
  - Grundprinzipien der Navigation sind i.d.R. nicht geläufig
  - Möglichkeiten der Satellitennavigation werden überschätzt
  - Die beiden Merkmale Preis und Genauigkeit sind dominant
  - Verfügbarkeit und Kontinuität sind nicht im Bewusstsein
  - Der notwendige Entwicklungsaufwand wird unterschätzt
- Bevor das Navigationssystem definiert werden kann, muss zunächst die Anwendung verstanden werden
  - Die „Verdichtung“ der Anforderungen erfolgt im Dialog

- Anforderungen im Individualverkehr IV
  - Permanente lückenlose Spurverfolgung im Strassennetz
  - Parkplatzidentifikation in Parkhäusern und Tiefgaragen
  - Bi-direktionale Kommunikation mit einer Zentrale
  - Anschaffung und Betrieb kostengünstig
- Nutzen/Beitrag der Navigation im IV
  - Fahrzeugparkposition für Fahrer bereitstellen
  - Fahrroutenempfehlung und laufende Berechnung
  - Fahrzeugbewegung mit Zentrale kommunizieren
  - Verkehrsinformationen von Zentrale an Fahrer
  - Gefahreninformation an Fahrer melden
  - Unfallposition an Zentrale (Notruf)
  - Abstellposition an Zentrale melden

- Anforderungen im öffentlichen Personenverkehr ÖPV
  - Elektronisches Ticketing
  - Dynamische Kundeninformation
  - Bild zur aktuellen Verkehrssituation
  - Rechnergestützte Betriebsleitsysteme
  - Qualitäts-Monitoring, Qualitäts-Management
- Nutzen/Beitrag der Navigation im ÖPV
  - Position der Einsteiger/Aussteiger/Umsteiger
  - „Verortung“ der Quelle-Ziel Beziehungen
  - Fahrzeugpositionen für die Leitzentrale
  - Fahrzeugposition zur Kundeninformation
  - Verspätungsabschätzung/Vorhersage
  - Verspätungsanalyse zur Qualitätssteigerung

- Missions- und Bewegungsprofil
  - Sensorauswahl
    - Einsatzspektrum, Fehlerverhalten, Zuverlässigkeit
  - Fail-Safe Anforderungen (sicherer Betriebszustand)
    - Eisenbahn: unmittelbare Notbremsung zum Stillstand
    - Flugzeug: Weiterflug bis zur sicheren Landung
  - Analytische Redundanz
  - Kostenfaktor
- Umweltbedingungen
  - Abschattung, Strahlung
  - Vibration, Hitze, Feuchte
    - Beispiel: Tunnelbohrmaschinen

- Ordnungspolitische Einflussnahme
  - Finanzierungsproblematik (nicht nur im ÖV)
  - Import- und Export-Genehmigungen
  - Sicherung des Wirtschaftsstandorts
  - Verkehrspolitische Anforderungen
    - Förderung des Wirtschaftsverkehrs
    - Sicherstellung des Anrechts auf Mobilität
  - Berücksichtigung der Umweltaspekte
- Integration in den laufenden Betrieb
  - Studie, Demonstrator, Probebetrieb, Migration
  - Ausbildung, Schulung und Wartung
- Integration in das bestehende Arbeitsumfeld
  - Akzeptanz (Rückschlüsse auf die Arbeitsleistung usw.)

- Transport und Verkehr liegen im Spannungsfeld
  - Individual-, öffentlicher und Wirtschaftsverkehr
- Gemeinsam genutzter Verkehrsraum
  - Gleichartiges Ortungsproblem (in Raum und Zeit)
  - Spezielles Orientierungs-/Navigationsproblem
  - Überlastung, Behinderung, Auslastung
- Unterschiedliche Interessenlagen
  - Betriebs- vs. Volkswirtschaftliche Betrachtung
  - Stauvermeidung vs. Wettbewerbsvorteil
- Public Private Partnership PPP
  - Gemeinsame Finanzierung
  - Verwertungsmodelle



Quelle: HAVAG

- **Kostengünstiges System-Design wählen**
  - Freie Konfigurierbarkeit der Sensorzusammenstellung
  - Analytisches Potential zur Kostenreduktion nutzen (z.B. „ZUPT“)
- **Modularer Aufbau der Navigationsplattform**
  - Entwicklungskosten auf Massenanwendung umlegen
  - Möglichkeit des Upgrades und der Nachrüstung implementieren
  - Zusätzlichen Nutzen des Navigationssystems generieren (neue Funktionalität, neue Anbieter, neue Märkte)
    - z.B. energiesparende Fahrweise ermöglichen
- **Technische Ausrüstung ist oft ein nur kurzer Hebelarm**
  - Im Verkehrsmanagement muss der Befolgungsgrad einer Massnahme berücksichtigt werden (im ÖV höher als im IV)
  - Umweltaspekte und arbeitsrechtliche Implikationen

- Nutzenbetrachtung
  - Ergänzung/Ersatz bestehender Geräte
  - Bereitstellung neuer Funktionalität
- Kostenbetrachtung
  - Umlegung der Entwicklungskosten (Einmalkosten)
  - Produktion- und Umrüstung (bspw. Güterwaggons)
  - Massen- vs. Spezialanwendung
- Modularer Aufbau (Hard- und Software)
  - Umlegung der Entwicklungskosten erleichtert
  - Standardisierung erleichtert Nachrüstung/Umrüstung
- Migrationskonzept
  - Zeitliche Abwicklung und reibungsarme Übergänge
  - Zeitliche Streckung im Falle von Finanzierungslücken