

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) im Aufbruch

- Aspekte und Perspektiven für die Entwicklung
GNSS-basierter Echtzeittechnologien -

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger



Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft (HSKA)

- University of Applied Sciences -

Institut für Angewandte Forschung und Fakultät für Geomatik

Email: reiner.jaeger@web.de

URL: www.g.hs-karlsruhe.de, www.dfhb.de, www.goca.info, www.geozilla.de
www.monika.ag, www.galileo-bw.de

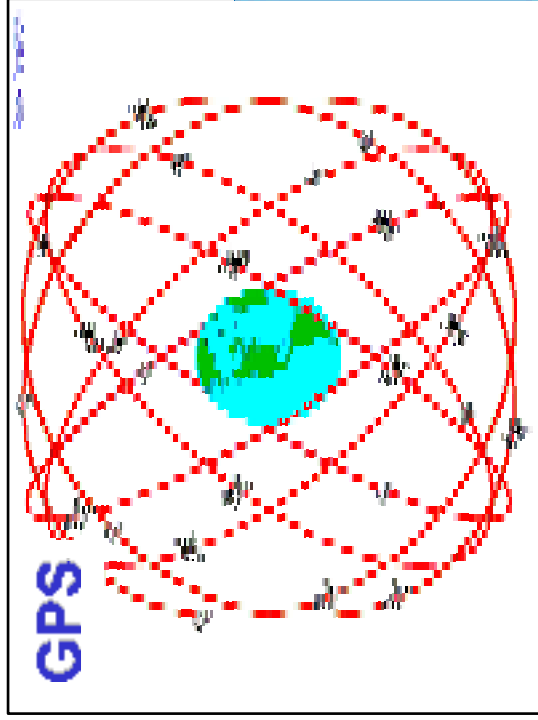
I.)

Bezugssysteme
und GNSS-Meßgrößen und
Positionierungsverfahren

bei

GNSS-Echtzeittechnologien

GNSS- und GNSS-konsistente permanente Globale Referenzsysteme



GLONASS



GNSS - Systeme

COMPASS

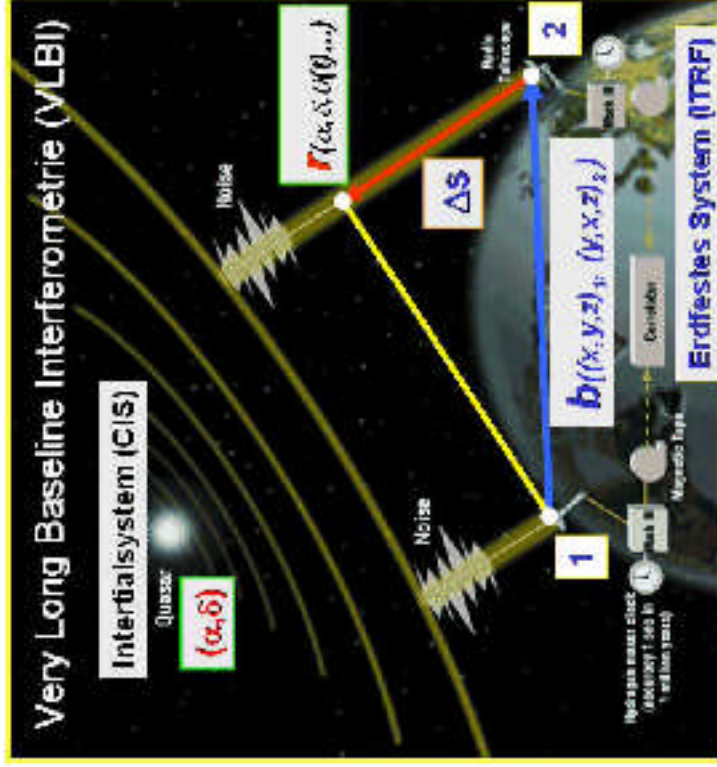


ECIF (Earth-Centered Inertial Frame) und ECEF (Earth Centered Earth Fixed System)

$$r^{e,s}(t_UTC) = R_I^e(t_UTC) \cdot r(\alpha, \delta)$$

$$r^{CIS} = \begin{pmatrix} \cos \delta \cdot \sin \alpha \\ \cos \delta \cdot \cos \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix}$$

$$r^{CIS} = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \text{ Satellit}$$



**VLBI
Stationen**

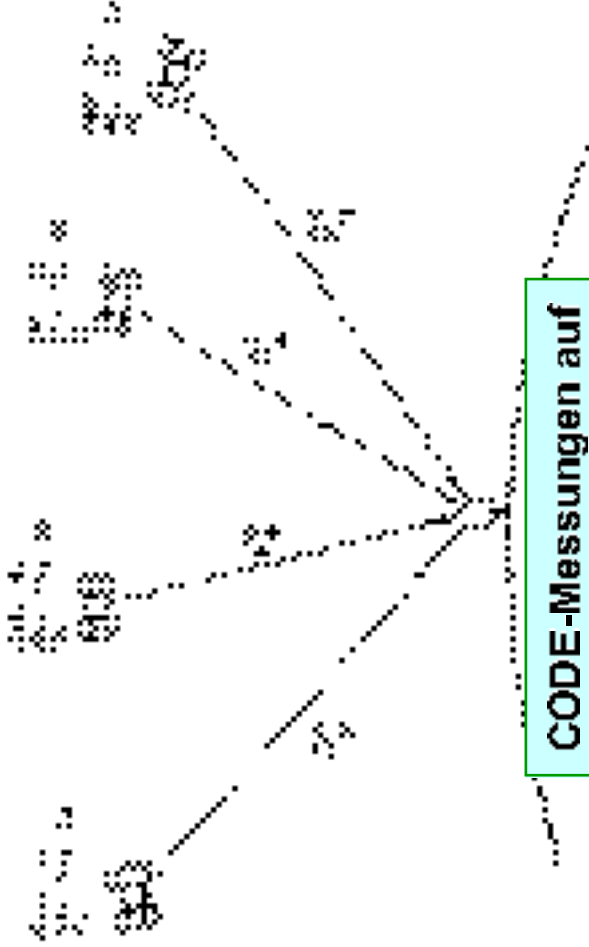
Messungen
 Δs
 $=$
 $b(X) \cdot r(t)$



$$R_I^e(t_UTC) = R_{\text{Polar}} \cdot R_{\text{Earth-Rotation}} \cdot R_{\text{Nutation}} \cdot R_{\text{Precession}}$$

Messgrößen - Code- / „Pseudorange“ Messungen

GNSS-Satelliten
(X, Y, Z)_{s,t}



Standardfehler-Budget

Orbit:	3 m
Satellitenuhrfehler:	3 m
Ionosphäre:	7 m
Troposphäre:	0.7 m
Erdgezeiten:	0.6 m
Multipath:	1-2 m

$$p_R = \sqrt{(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2} + \Delta T_{S,R} \cdot c + d_{ION} + d_{TROP}$$

Standard / Broadcast Modelle

Positionierung (X, Y, Z): +/- 10 m
 DGNSS: (1 - 3 m)
 DGNSS + Phasenglättung: < 1m

Empfänger Position (X, Y, Z) und $\Delta T_{R,S}$

Messgrößen - Phasenmessungen (L1, L2, Lc)

Wesentlich für genaue („cm – mm“) derzeit differentielle GNSS-Positionierung („DGNSS“)

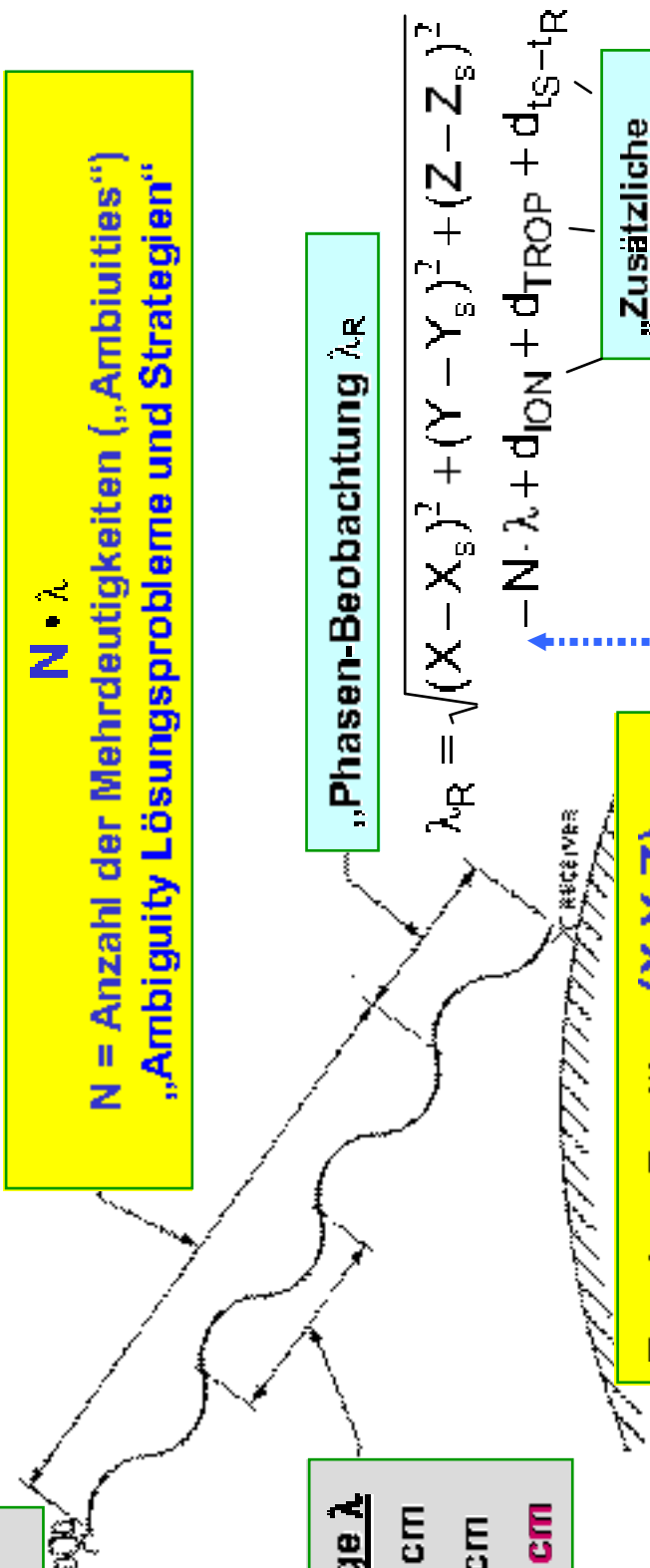
Im Trend: Für präzise absolute GNSS-Positionierung („PPP“) und

für präzise absolute online GNSS-Positionierung („OPPP“)

GNSS- Satellit
(X, Y, Z)_{s,t}

$N \cdot \lambda$
N = Anzahl der Mehrdeutigkeiten („Ambiguities“)
„Ambiguity Lösungsprobleme und Strategien“

Wellenlänge λ
 λ (L1) = 19 cm
 λ (L2) = 24 cm
 λ (Lc) = 25 cm



„Phasen-Beobachtung $\hat{\lambda}_R$ “

$$\lambda_{R} = \sqrt{(X - X_{S})^2 + (Y - Y_{S})^2 + (Z - Z_{S})^2} - N \cdot \lambda + d_{ION} + d_{TROP} + d_{TS-tR}$$

„Zusätzliche Techniken“
- Estimation
- Elimination
- IGSS-Products

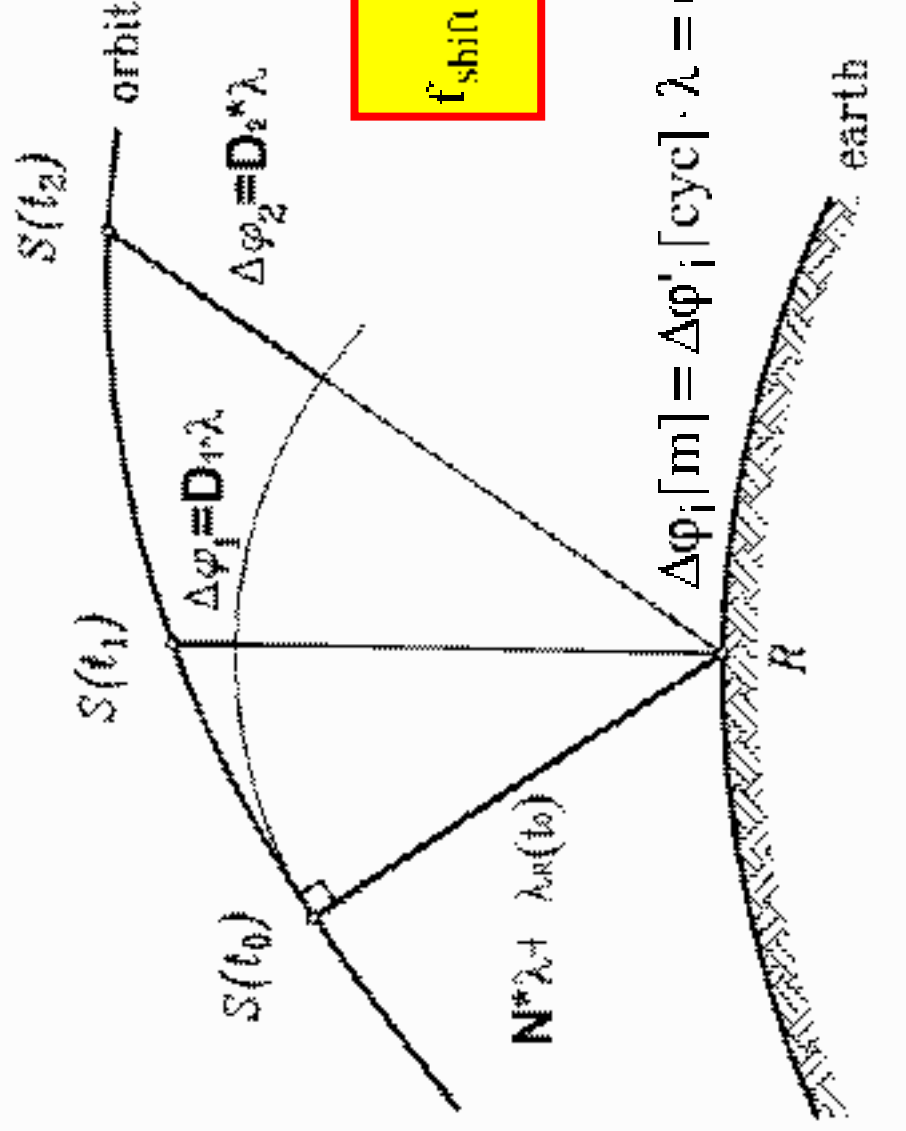
Receiver Position (X, Y, Z)

-D(t_i)

(1–3) cm in Echtzeit
„Cycles“

Messgrößen- Dopplerfrequenz und Doppler-Count

$$D_i = \text{int}(\Delta\varphi'_i [\text{cyc}]) = \text{int}\left(\int_{t_0}^{t_i} (f_R - f_S)^t dt\right)$$



1.) Zusatzmessgröße

„Cycles“ D_i bei Phasen-Messungen.
Fehler = „Cycle-Slip(s)“

2.) Allgemeine Meßgröße

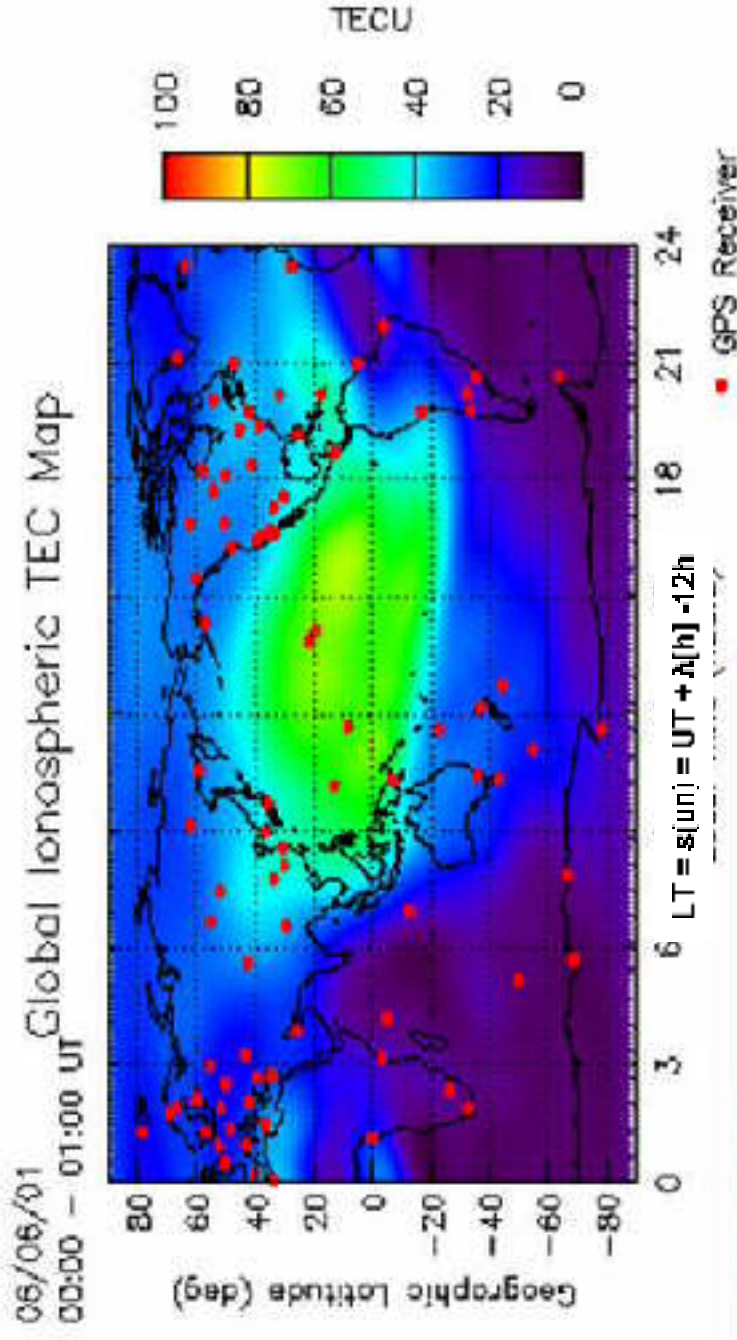
$$f_{\text{shift}} = f_S^t - f_R^t = \frac{f_S^t}{c} \cdot \frac{r_S - r_R}{|r_S - r_R|} \cdot \dot{r}_S$$

$$\Delta\varphi_i [\text{m}] = \Delta\varphi'_i [\text{cyc}] \cdot \lambda = \left(\int_{t_0}^{t_i} (f_R - f_S)^t dt \right) \cdot \lambda$$

Signalverzögerungen durch IONOSPÄRE und Troposphäre Zusätzliche Modellbildungen

JPL

IGS
 „Frozen-
 Ionosphere“
 Model
 Gültigkeit =
 Brauchbarkeit
 1 Tag



$$d_{\text{iono}} [\text{m}] = - \frac{1}{\cos(z)} \cdot \frac{40.3 \cdot \text{VTEC}}{f^2} - \text{Phase Observations}$$

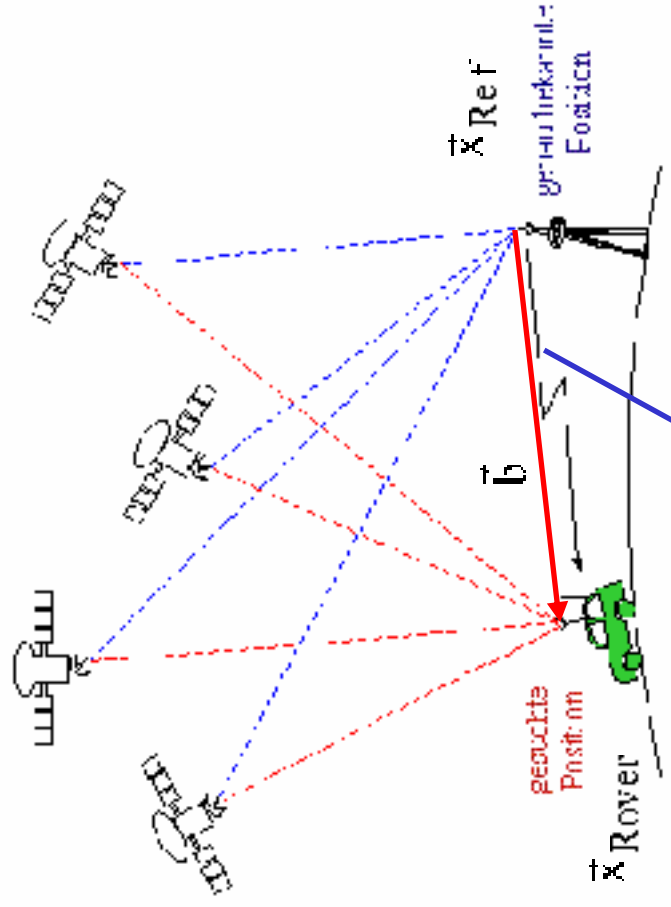
**Atmosphären-Modellierung
 zur GNSS Positionierung
 oder: Atm. GeoMonitoring!**

$$d_{\text{iono}} [\text{m}] = - \frac{1}{\cos(z)} \cdot \frac{40.3 \cdot \text{VTEC}}{f^2} - \text{Code Observations}$$

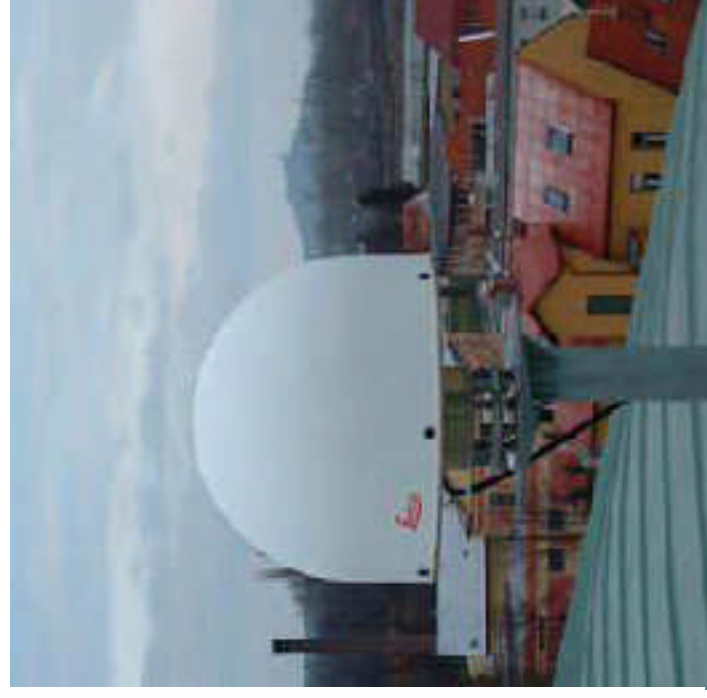
Differentielles GNSS (DGNSS)

Korrekturdatengenerierung und Nutzung - Prinzip

$$\vec{x}_{\text{Rover}} = \vec{x}_{\text{Ref}} + \vec{b}$$



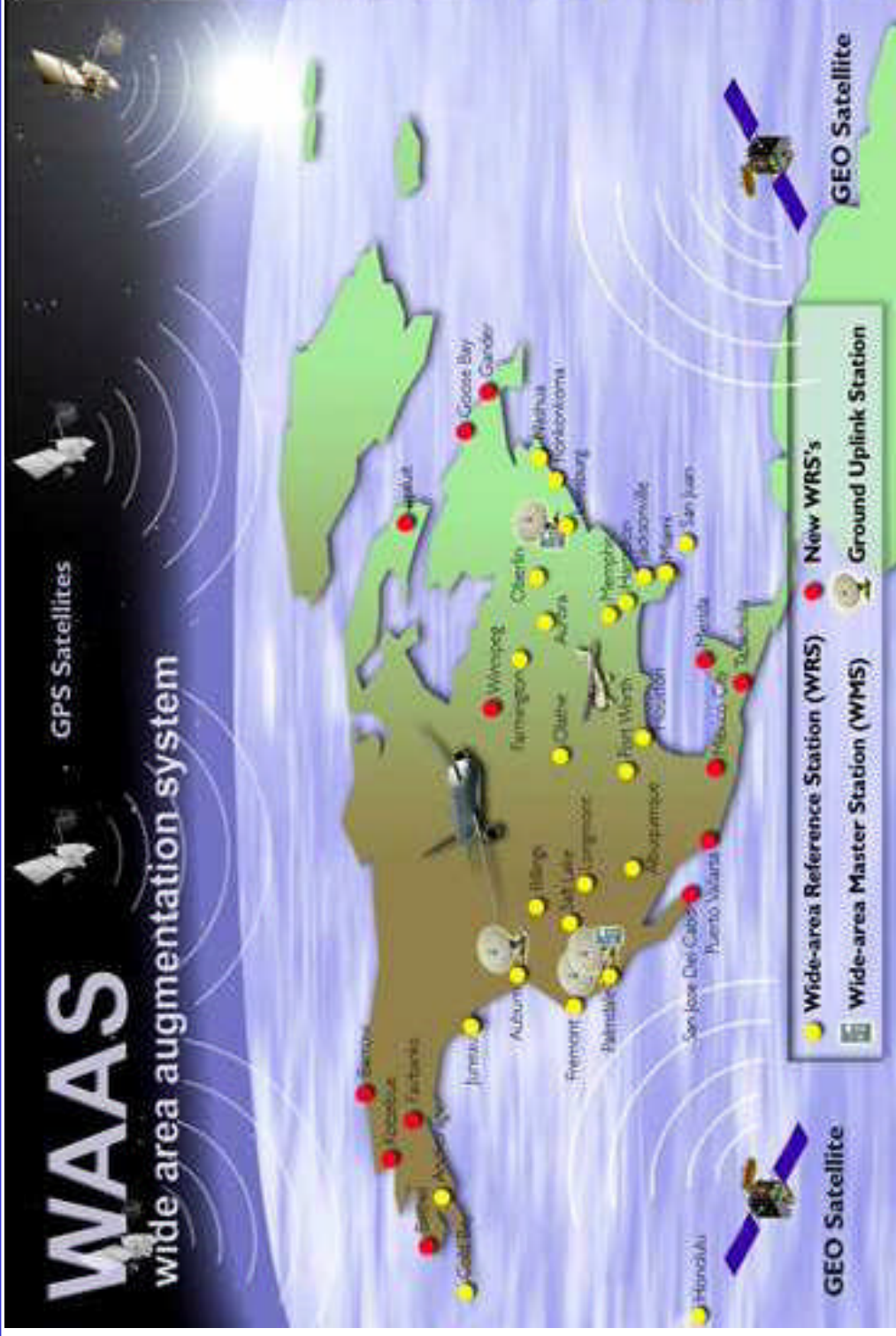
Korrektur- oder Rohdaten (RTCM, CMR, RTCM) werden online („RTK“) an an der Referenzstation erzeugt und an den Rover zur Baselinevektorauswertung \vec{b} übertragen



GNSS-Dienste – Referenzstationsausrüstung Einzelne Referenzstation oder Referenzstationsnetze

Space/Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)

..... für DGNSS-Codmessungen (DGNSS-Korrekturen. Standard RTCM oder RTCA)



... **WAAS (USA), CNSS (China), GAGAN/IRNSS (Indien), QZSS/MSAS (Japan), SDCM (Russland)**

GNSS Im Aufbruch – Aspekte u. Perspektiven für GNSS-Echtzeittechnologien Prof. Dr. R. Jäger, 20.11.'09. Trendkongress, Karlsruhe

Space/Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)

..... für DGNSS-Codmessungen (RTCM-2.0-Inhalt oder RTCA)

The screenshot shows the OmniSTAR website. At the top left is the **fugro** logo. Below it, the text reads: "Market leader in providing differential GPS solutions worldwide". To the right of this text is a satellite map of the world. The main navigation bar includes: **about OmniSTAR**, **products & services**, **downloads**, **technical info**, **news**, **tradeshows**, and **newsletters**. The "products & services" dropdown menu is open, listing: submeter positioning (VBS), how it works, application, products, services, decimeter positioning (HP), and monitoring & tracking (AM). Below the menu, the text states: "OmniSTAR provides worldwide one of the most accurate positioning services available by providing positioning to clients in real time, 24 hours a day. Systems errors, such as orbit, timing and atmospheric errors, limit the accuracy that can be achieved using the US Global Positioning System satellite service to approximately 10-15 metres. Terrestrial DGPS and public access systems can improve GPS position accuracy to within 3 to 10 metres but are dependant on range, transmission interference and are proven to be less reliable than satellite based systems like OmniSTAR." A photograph shows a person in a blue and white uniform holding a device. At the bottom right, contact information is provided: **Email** support@omniSTAR.nl and **Tel** +31 70 017 09 00.

... **WAAS (USA), CNSS (China), GAGAN/IRNSS (Indien), QZSS/MSAS (Japan), SDCM (Russland)**

GNSS Im Aufbruch – Aspekte u. Perspektiven für GNSS-Echtzeittechnologien Prof. Dr. R. Jäger, 20.11.'09. Trendkongress, Karlsruhe

Space/Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)

..... für DGNSS-Codmessungen (DGNSS-Korrekturen, Standard RTCM oder RTCA)

EGNOS

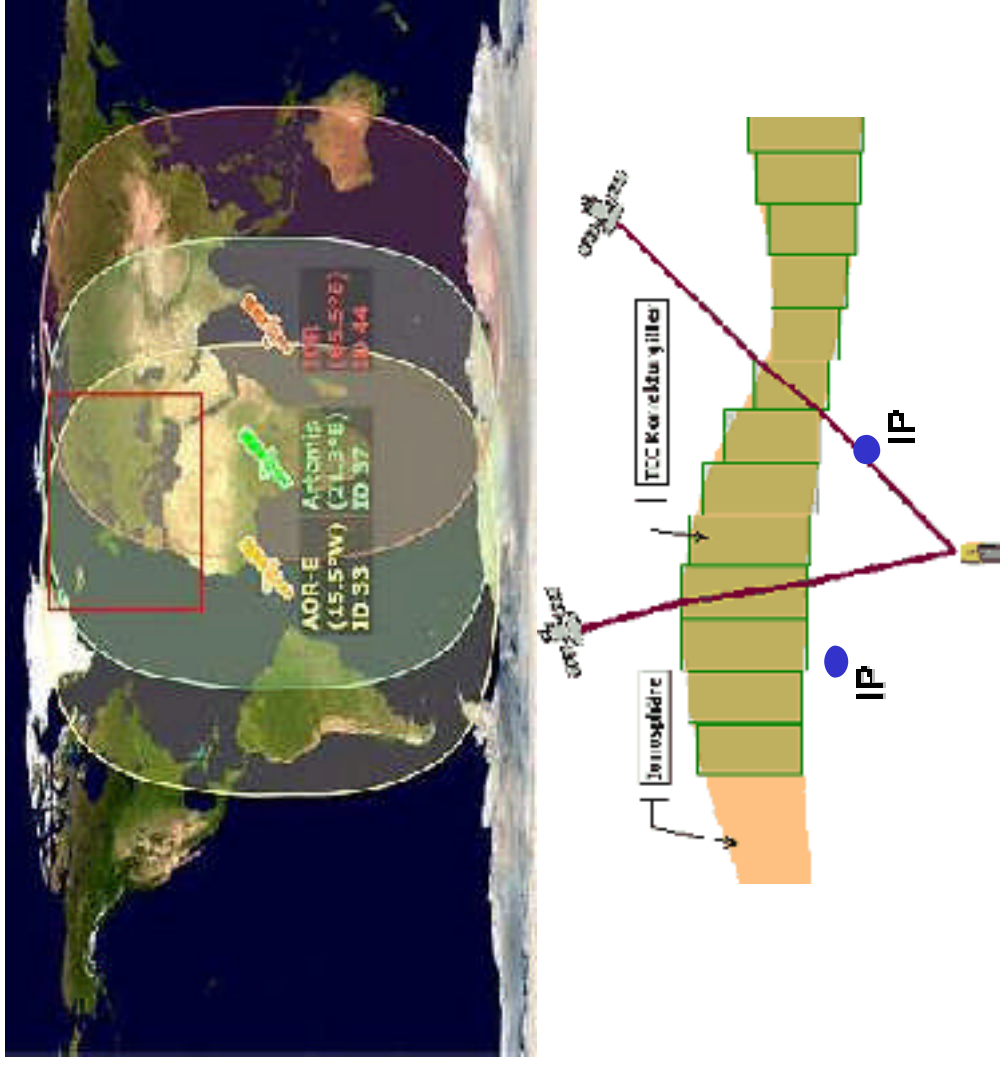
(RTCA als „SSR“-
Korrekturen)

Europäisches WAAS
alias „GNSS1“
GNSS2 =: GALILEO

RTCA

Grid-Repräsentation
des VTEC-Wertes

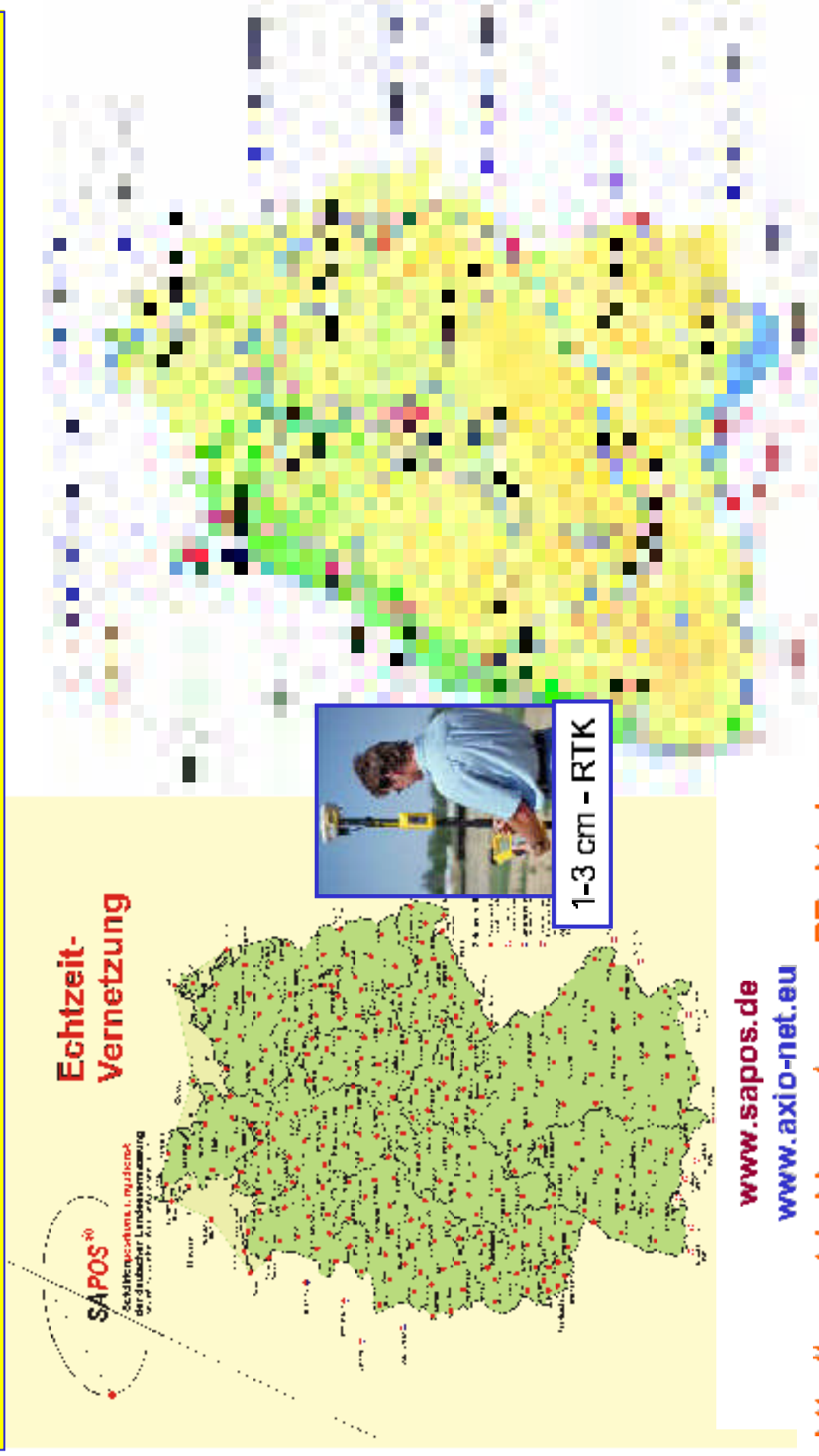
$$d\text{Ion}_j = + \frac{VTEC(L,IP)}{\cos^2 IP} \cdot \alpha \cdot \frac{1}{f_j^2}$$



... **WAAS (USA), CNSS (China), GAGAN/IRNSS (Indien), QZSS/MSAS (Japan), SDCM (Russland)**

GNSS Im Aufbruch – Aspekte u. Perspektiven für GNSS-Echtzeittechnologien Prof. Dr. R. Jäger, 20.11.'09. Trendkongress, Karlsruhe

Terrestrische DGNSS-Referenzstationsnetze In Deutschland: 1. SAPOS, 2. Axio-Net, 3. VRSNow



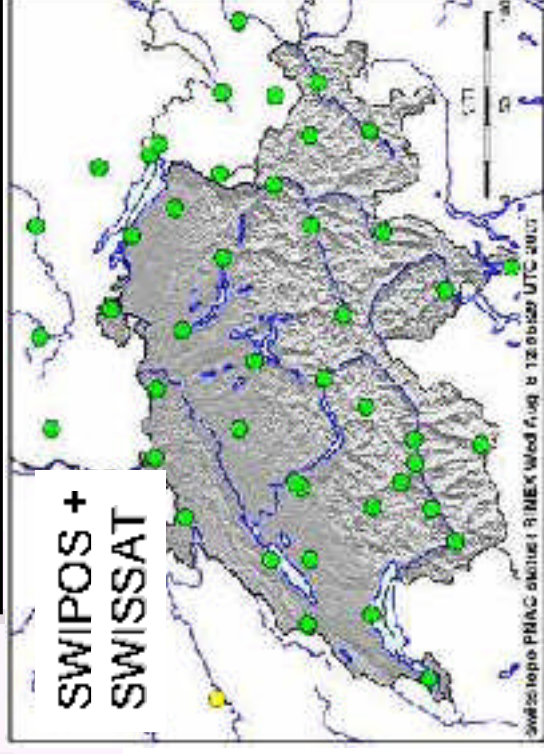
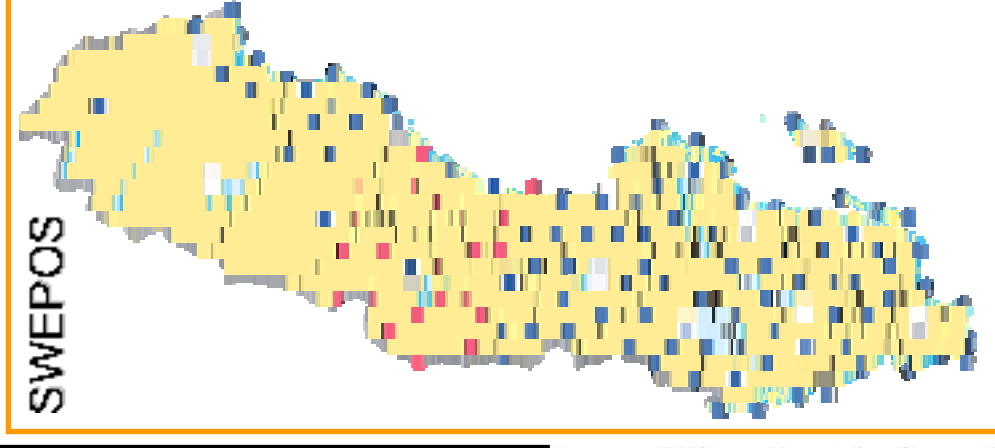
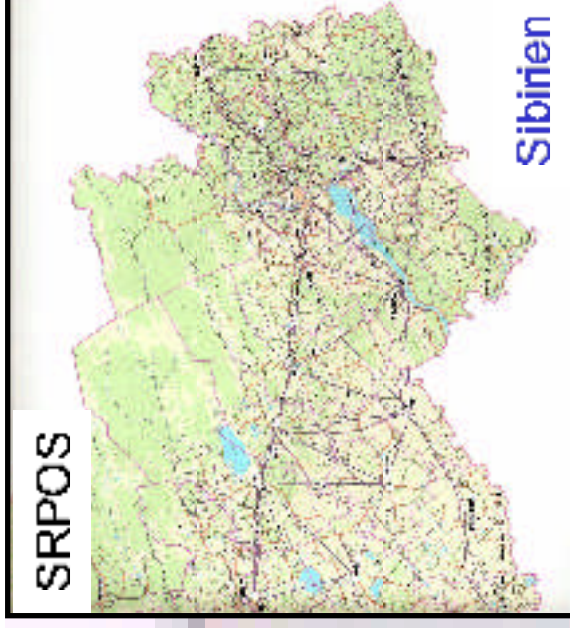
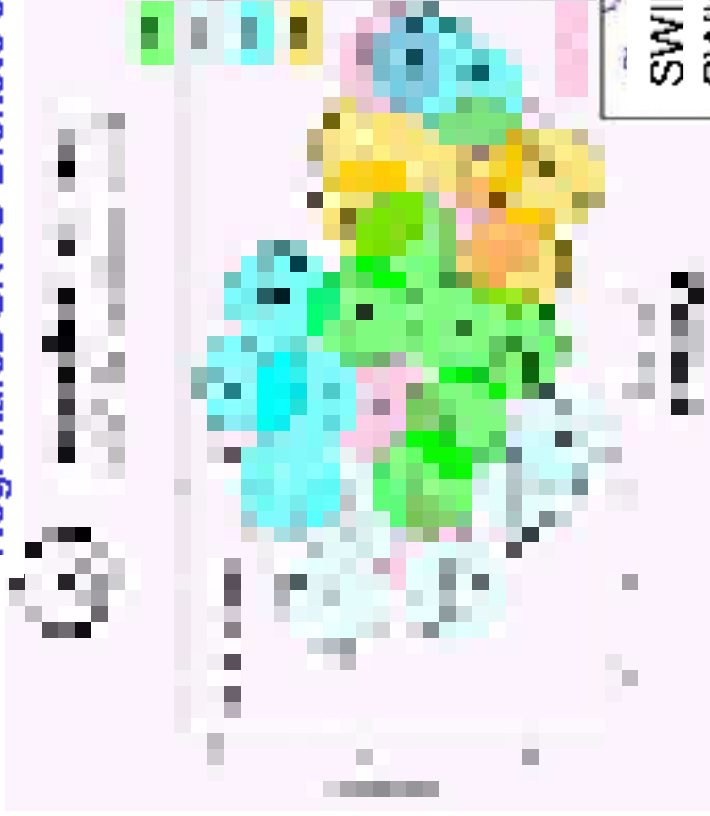
www.sapos.de

www.axio-net.eu

<http://www.trimble.com/vrsnow-DE.shtml>

Präzises differentielles ("cm") DGNSS

Regionale DGNSS-Dienste europäischer und außereuropäischer Staaten



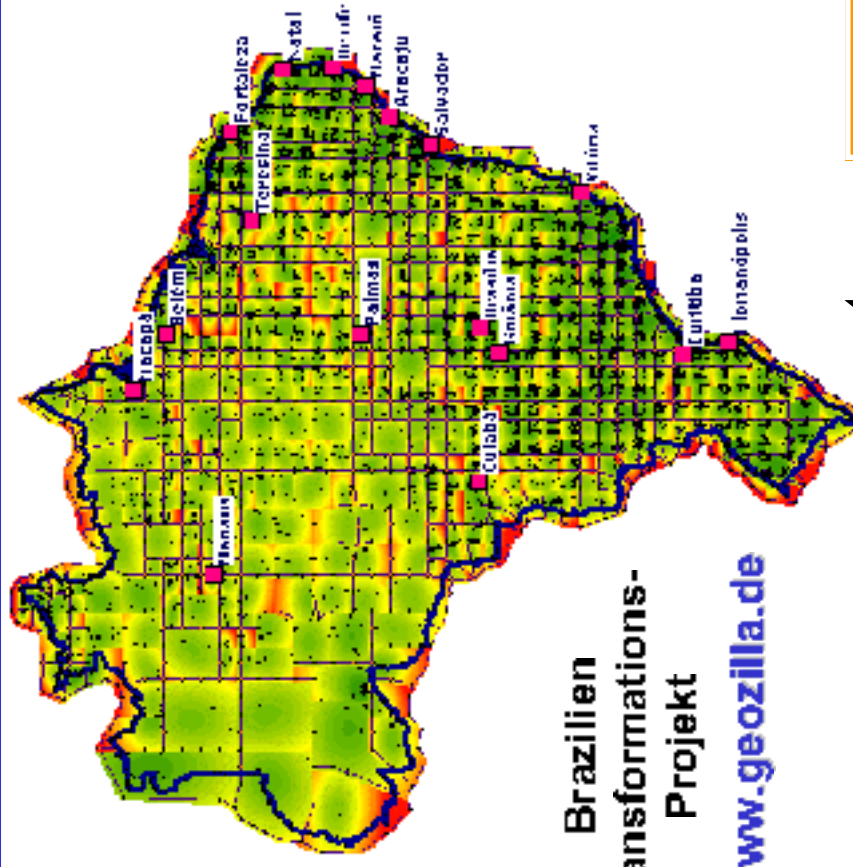
"cm"



**!Code- und Phasen-
Phasenkorrekturen !**

RTCM 3.1

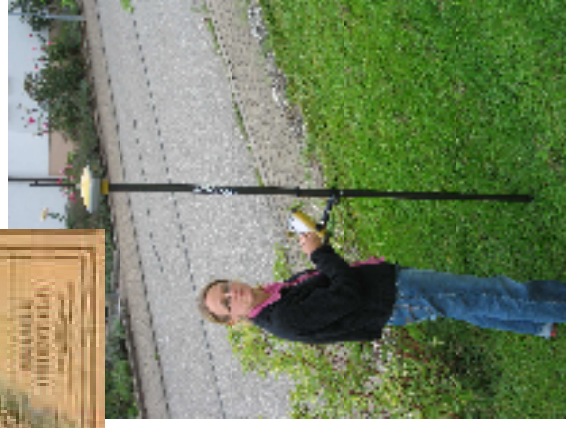
1.) Lageproblem (B,L): Überführung alter Positionbestände in ITRF-Bezüge oder :Transformation der ITRF GNSS-Position in alte Landessysteme



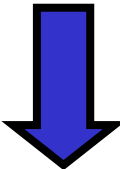
Brazilien
Transformations-
Projekt
www.geozilla.de



Altanomaly	SAD96
0.00	0.000
0.00	0.000
0.100	0.200
0.200	0.300
0.300	0.400
0.400	0.500
0.500	0.600
0.600	0.700
0.700	0.800
0.800	0.900
0.900	1.000
1.000	1.100
1.100	1.200
1.200	1.300
1.300	1.400
1.400	1.500
1.500	1.600
1.600	1.700
1.700	1.800
1.800	1.900
1.900	2.000
2.000	2.100
2.100	2.200
2.200	2.300
2.300	2.400
2.400	2.500
2.500	2.600
2.600	2.700
2.700	2.800
2.800	2.900
2.900	3.000
3.000	3.100
3.100	3.200
3.200	3.300
3.300	3.400
3.400	3.500
3.500	3.600
3.600	3.700
3.700	3.800
3.800	3.900
3.900	4.000
4.000	4.100
4.100	4.200
4.200	4.300
4.300	4.400
4.400	4.500
4.500	4.600
4.600	4.700
4.700	4.800
4.800	4.900
4.900	5.000
5.000	5.100
5.100	5.200
5.200	5.300
5.300	5.400
5.400	5.500
5.500	5.600
5.600	5.700
5.700	5.800
5.800	5.900
5.900	6.000
6.000	6.100
6.100	6.200
6.200	6.300
6.300	6.400
6.400	6.500
6.500	6.600
6.600	6.700
6.700	6.800
6.800	6.900
6.900	7.000
7.000	7.100
7.100	7.200
7.200	7.300
7.300	7.400
7.400	7.500
7.500	7.600
7.600	7.700
7.700	7.800
7.800	7.900
7.900	8.000
8.000	8.100
8.100	8.200
8.200	8.300
8.300	8.400
8.400	8.500
8.500	8.600
8.600	8.700
8.700	8.800
8.800	8.900
8.900	9.000
9.000	9.100
9.100	9.200
9.200	9.300
9.300	9.400
9.400	9.500
9.500	9.600
9.600	9.700
9.700	9.800
9.800	9.900
9.900	10.000



Strict and
General
TRAFO



ITRF / SIRGAS - Datum



Old Classical Systems

2. Höhenproblem / Übergang von h-GNSS auf H – FuE-Projekt DFHBF

$$h_{\text{GNSS}} + v = H + \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} - h_{\text{GPS}} \cdot \Delta m$$

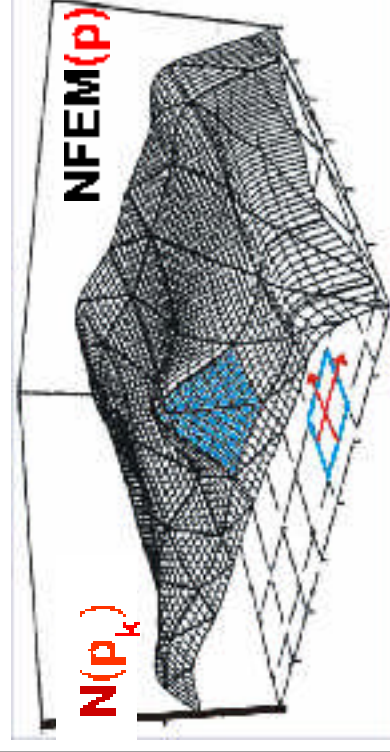
$$H + v = H$$

$$\mathbf{N}_G^j + v_j = \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} + \partial N_G(\mathbf{d}^j)$$

$$\xi^j + v = -\mathbf{f}_B^T / M(B) \cdot \mathbf{p} + \partial \xi(\mathbf{d}_{\xi,\eta}^j)$$

$$\eta^j + v = -\mathbf{f}_L^T / (N(B) \cdot \cos(B)) \cdot \mathbf{p} + \partial \eta(\mathbf{d}_{\xi,\eta}^j)$$

$$\frac{a}{4\pi\gamma(B)} \int \Delta E \cdot S(\psi) d\sigma + v = \mathbf{NFEM}(\mathbf{p}) = \mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p}$$



DFHBF **DB** www.dfhbf.de

Reference-Transformation
 Source CRS Target CRS
 $(B, L, h)_{\text{GNSS}} \Rightarrow \mathbf{N}$

$$g_{\text{grav}}^{\text{IGV}} + v = \sum_k \left(\frac{a}{r} \right)^{n(k)} \frac{1}{r} \sum_{m=0}^{n(k)+1} (\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \cos m\lambda + \bar{S}'_{n(k),m} \cdot \sin m\lambda) \cdot P_{n(k),m}(\cos \theta') + dg(d)$$

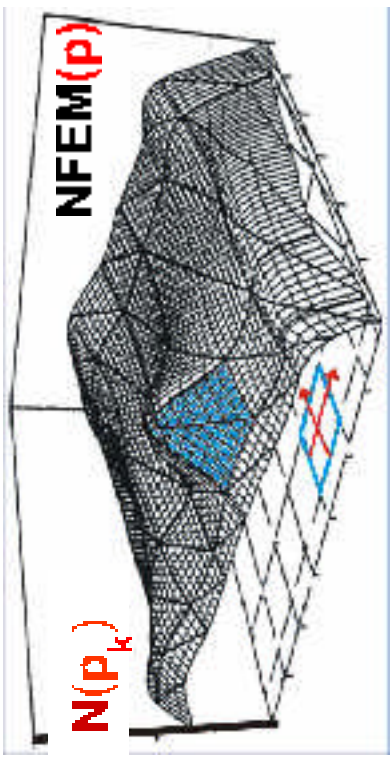
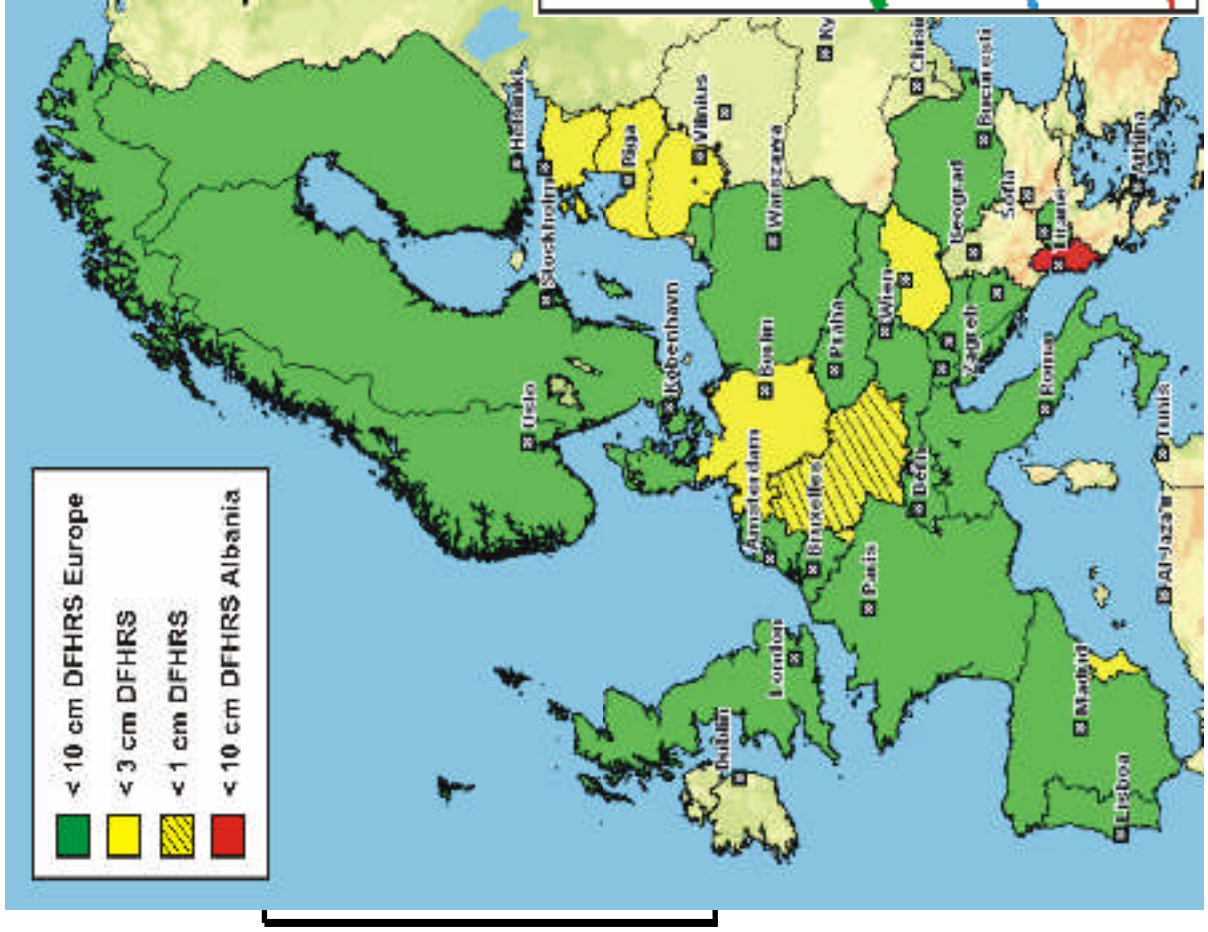
$$N_{\text{GIM}}^j + v = N(\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \bar{S}'_{n(k),m}) \cdot \partial N(\mathbf{d}^j)$$

$$= \frac{1}{r_Q} \left(\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n(k)+1} \sum_{m=0}^k (\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \cos m\lambda' + \bar{S}'_{n(k),m} \cdot \sin m\lambda') \cdot P_{n(k),m}(\cos \theta') - V(\text{ref}) \right) \cdot \partial N(\mathbf{d}^j)$$

$$0 + v_{\Delta N} = N(\bar{C}'_{n(k),m} \cdot \bar{S}'_{n(k),m}) - (\mathbf{f}^T \cdot \mathbf{p} + \Delta m \cdot h)$$

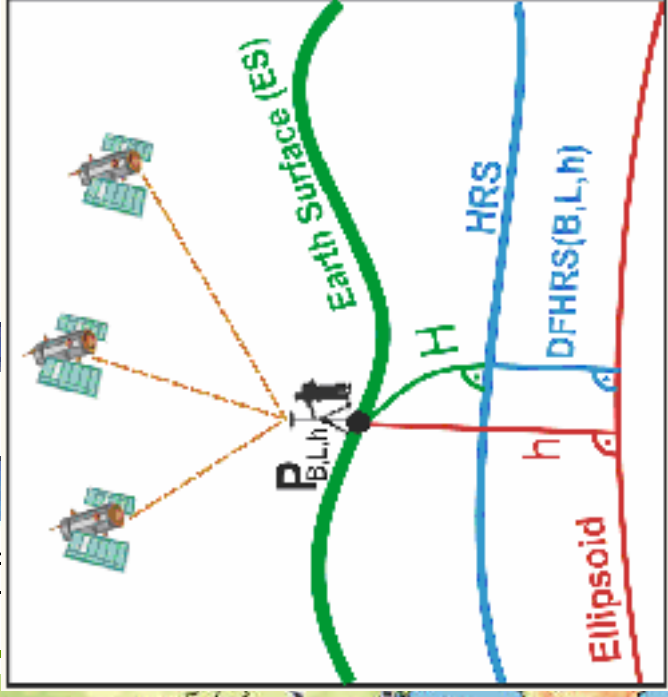


2. Höhenproblem / Übergang von h-GNSS auf H – FuE-Projekt DFHBF



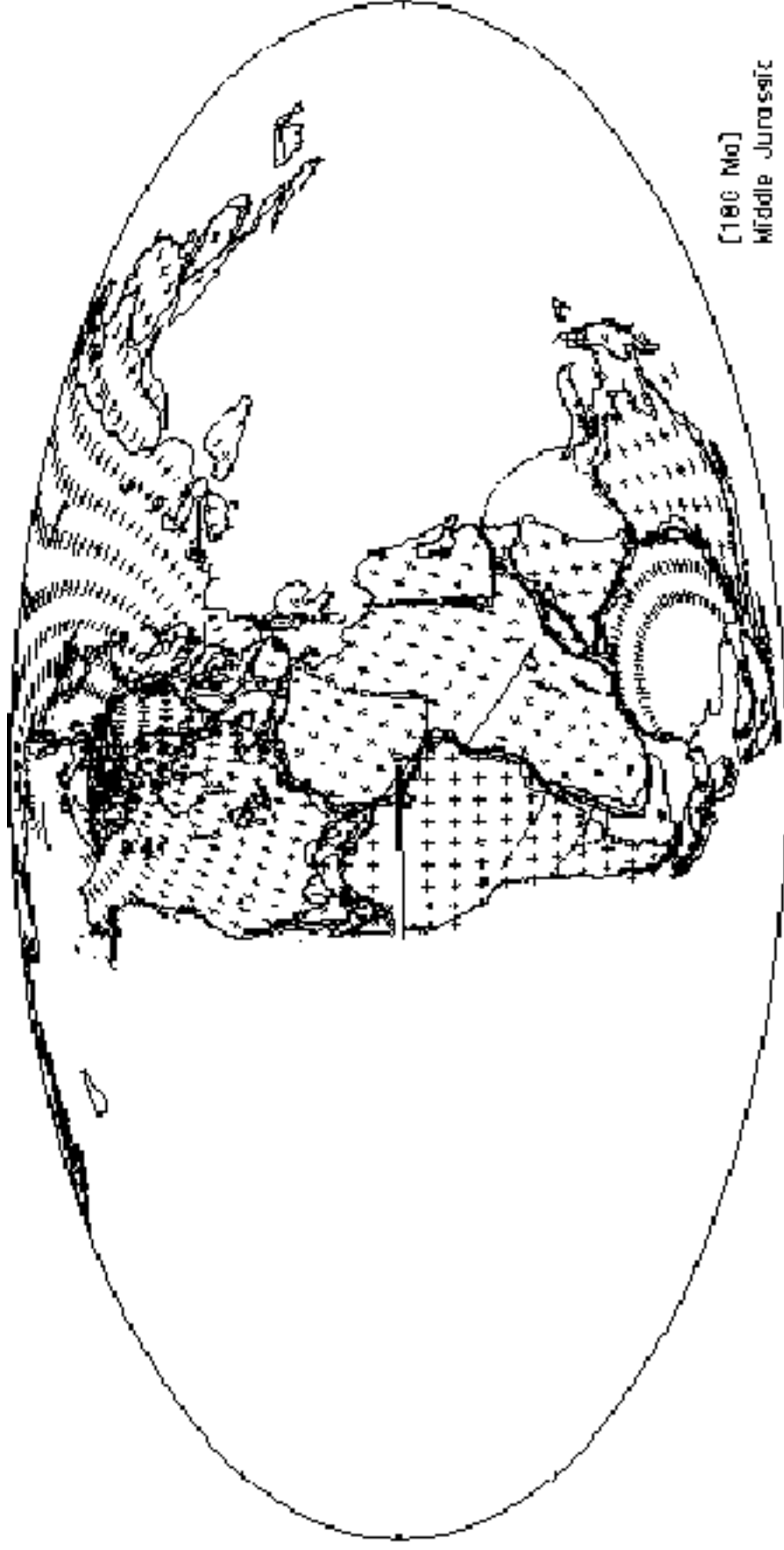
DFHBF DB www.dfhbf.de

nation
it CRS



3. Zeitabhängige Dynamik der ITRF-Koordinaten – „ITRF yyyy mmzz“

Plattenbewegungen



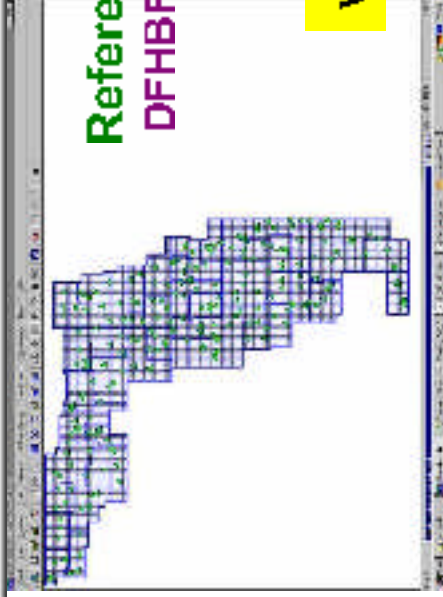
Automatische Transformation durch GNSS-Dienste RCTM 3.1 Trafo-Messages

Name	Port	StatTime	Request
Bavaria	1001	02.11.2008 15:06:50	5
W	1001		
Germany	1001	02.11.2008 15:06:52	9
Florida	1001	02.11.2008 15:06:55	2

Application: GZTra5
 Version: 1.0.3
 Copyright: © Reinert Jäger and Simone Kälber
 Configuration: Bavaria

```

Starting up server...
Server -- enables binary
Server is waiting to
A client from localhost - is connected
  
```

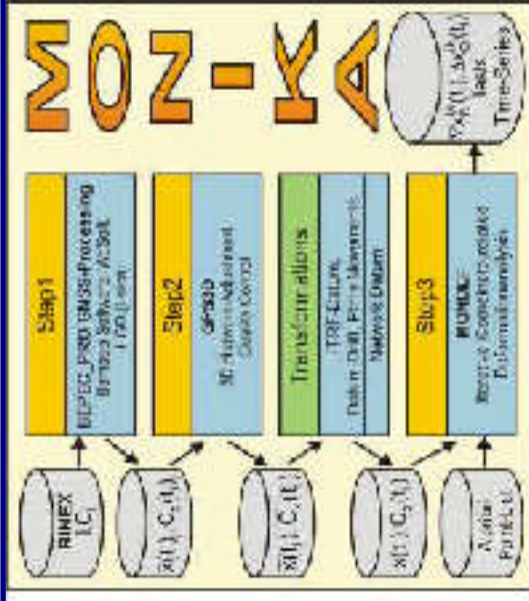


Reference Transformations
 DFHBF Florida
 DFHBF Bavaria
 DFLBF Bavaria

www.geozilla.de



Deformation Integrity Monitoring for GNSS Positioning Services including a Scalable Hazard Monitoring by the Karlsruhe Approach (MONIKA)



MONIKA Step 1

GNSS RINEX-Data $\{C_1(t), C_2(t)\}$

GNSS-Processing

GNSS-DEPPLL-PRO

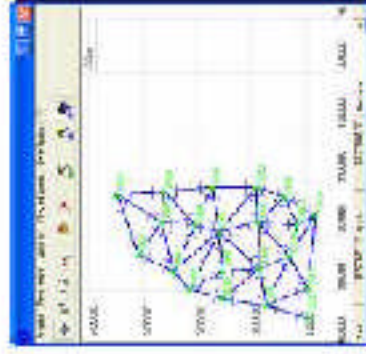
$\hat{x}(t), \hat{C}_3(t), \hat{C}_4(t)$

To be controlled by

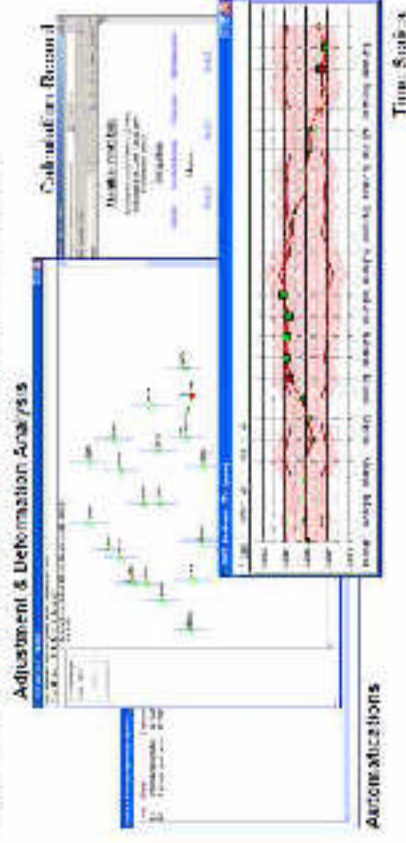
DE-PPP-PRO

• IAGG, IAGG-GN-ETHZ

• WAG (Wahringer Software)



Application Development – Software MONIKA



Virtual Sensors

Using GNSS networks as a geo-sensor network, the GNSS-reference stations can be used to achieve redundancy (in a station, as for example, the monitoring and estimation of their movements by "false poles"). Therefore, one of the next developments will be to define and implement virtual sensors in an additional software module for MONIKA. With respect to the interface of the displacement estimator provided by MONIKA, this module contains an "Euler pole rotation rate sensor" for the estimation of the parameters of lithospheric plate rotations.

The initial and Euler pole rotation rate angular velocities Ω in radians is defined with two anti-parallel rotation axes Ω_1 and Ω_2 (with $\Omega = \Omega_1 + \Omega_2$ in [rads/year]).

$$\lambda = \arctan\left(\frac{\Omega_1}{\Omega_2}\right) \cdot \varphi = \arctan\left(\frac{\Omega_1}{\sqrt{\Omega_2^2 + \Omega_3^2}}\right) \quad \text{and} \quad \beta = \sqrt{\Omega_2^2 + \Omega_3^2}$$

The parameter estimation $\hat{\beta}$ can be based on the following function model appropriate for the virtual Euler pole rotation rate sensor: $\hat{\beta}$ is defined by the basic plate rotation vectors $\hat{V}_1(\hat{\beta})$ and the idealised model $C_4(\hat{\beta})$ of a geoblastic warping:

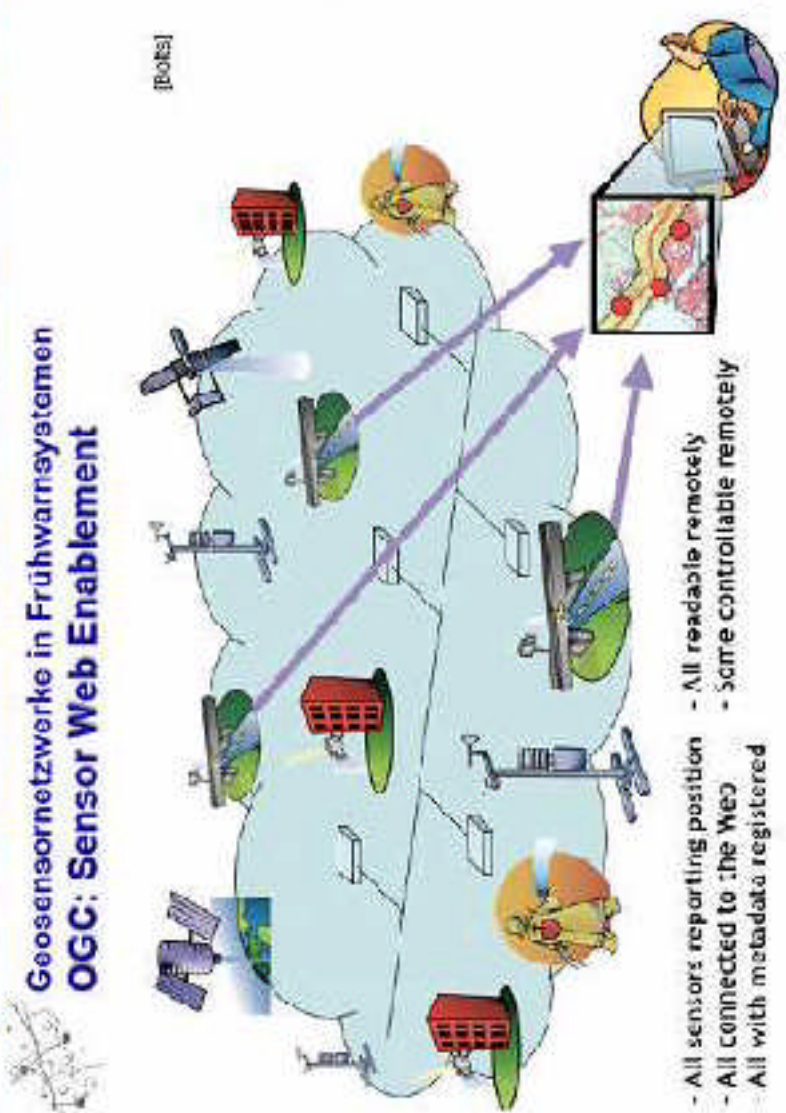
$$(\Delta x) = \begin{pmatrix} 0 & -\Omega_2 & \Omega_3 \\ \Omega_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot (x)$$

www.monika.ag

Deformation Integrity Monitoring for GNSS Positioning Services including a Scalable Hazard Monitoring by the Karlsruhe Approach (MONIKA)



MONIKA: GNSS-Referenzstationen als Geosensornetzwerk



- All sensors reporting position
- All connected to the Web
- All with metadata registered
- All readable remotely
- Some controllable remotely



II.)

Aspekte und Trends

bei

GNSS-Echtzeittechnologien

Teil 1: Geosensornetzwerke

GOCA-Software Version 4.0

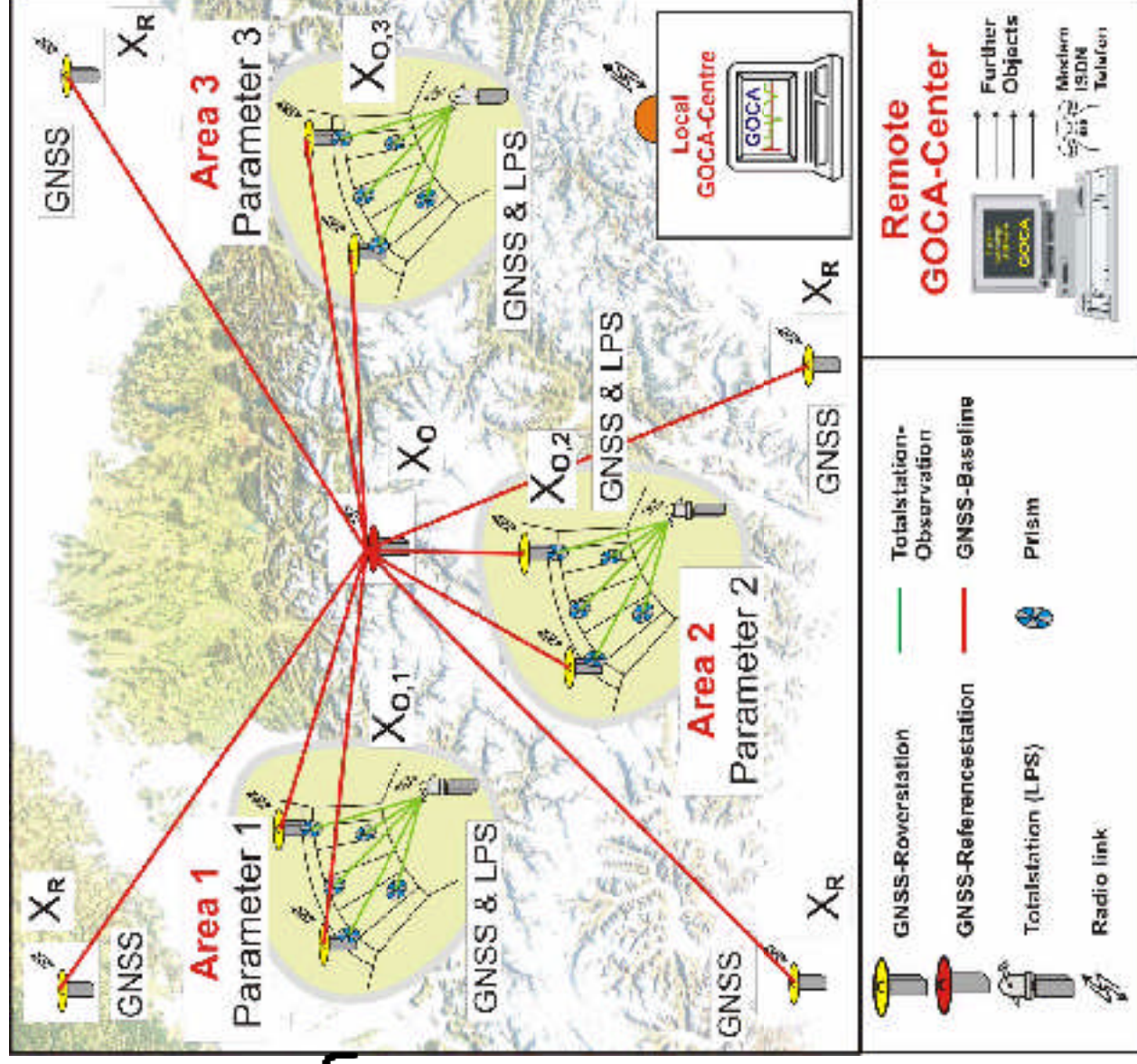
Scalierbares Design und Modellierung

- Pure GNSS Array

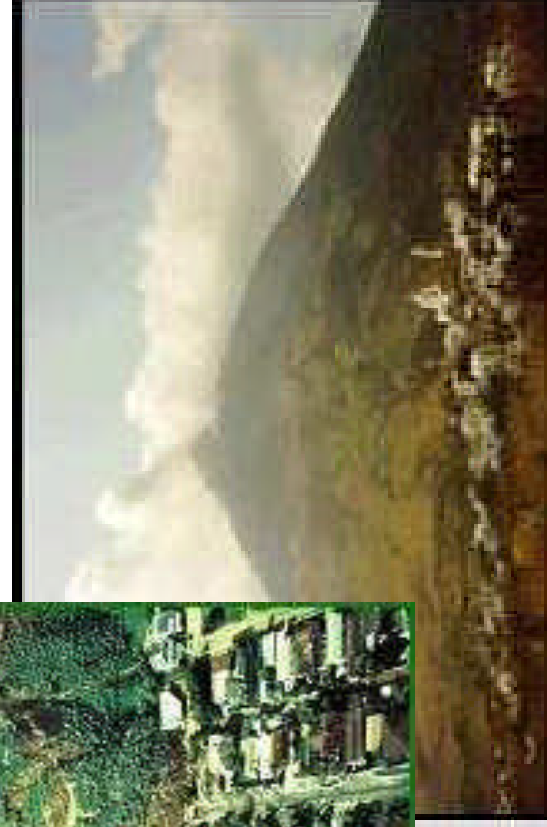
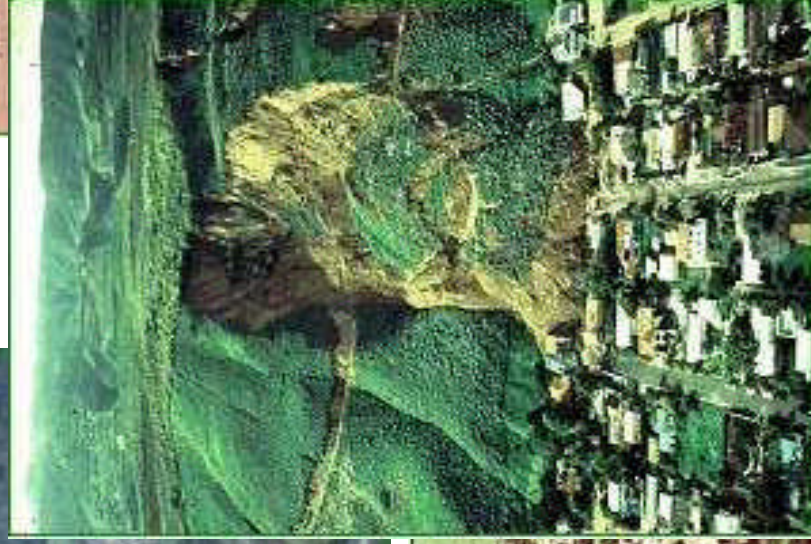
- Pure LPS Array

• GNSS & LPS Array

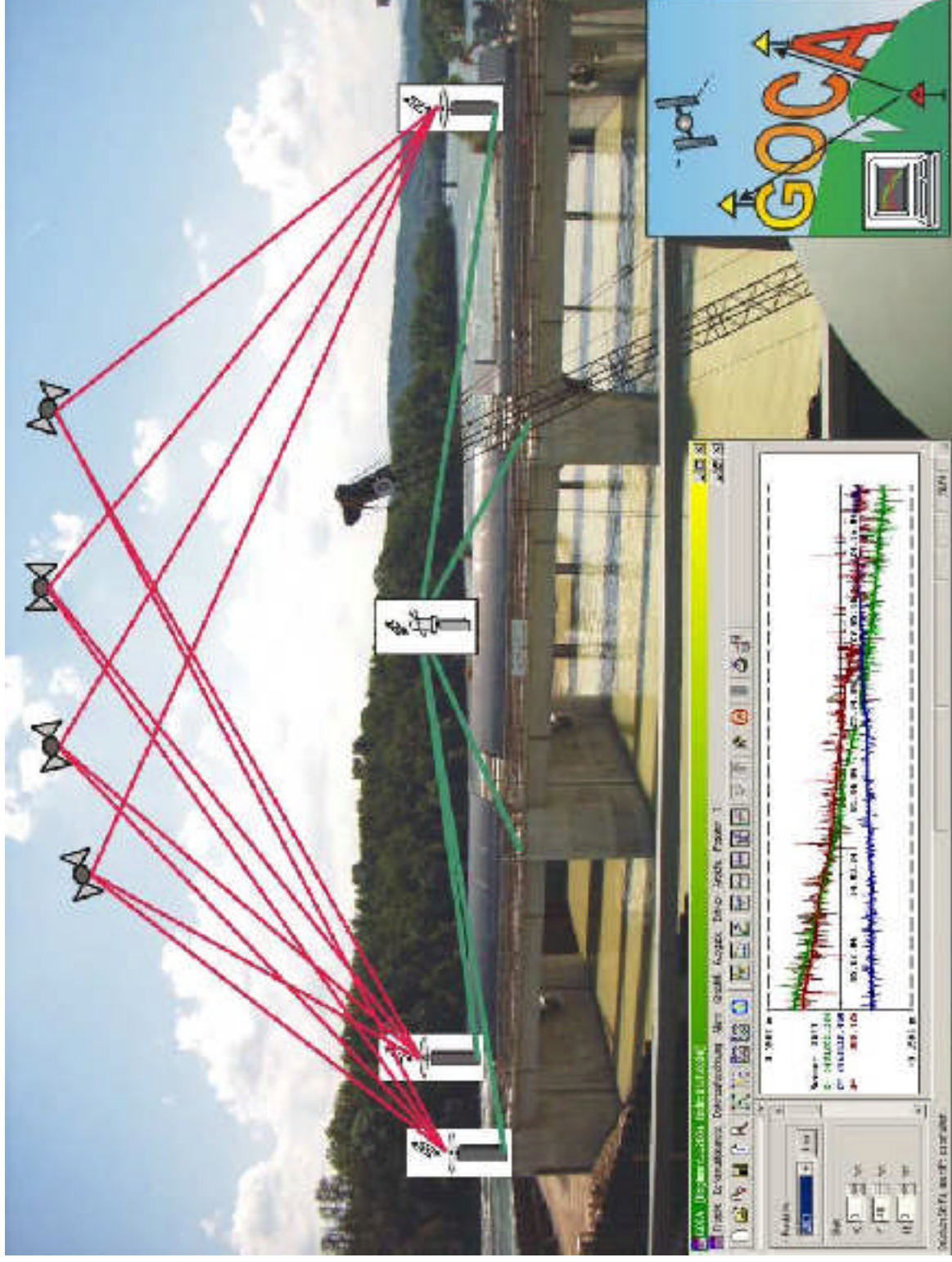
- Several Regional/Local Areas
- GNSS as Reference Frame X_R
- Special Case: 1 Area



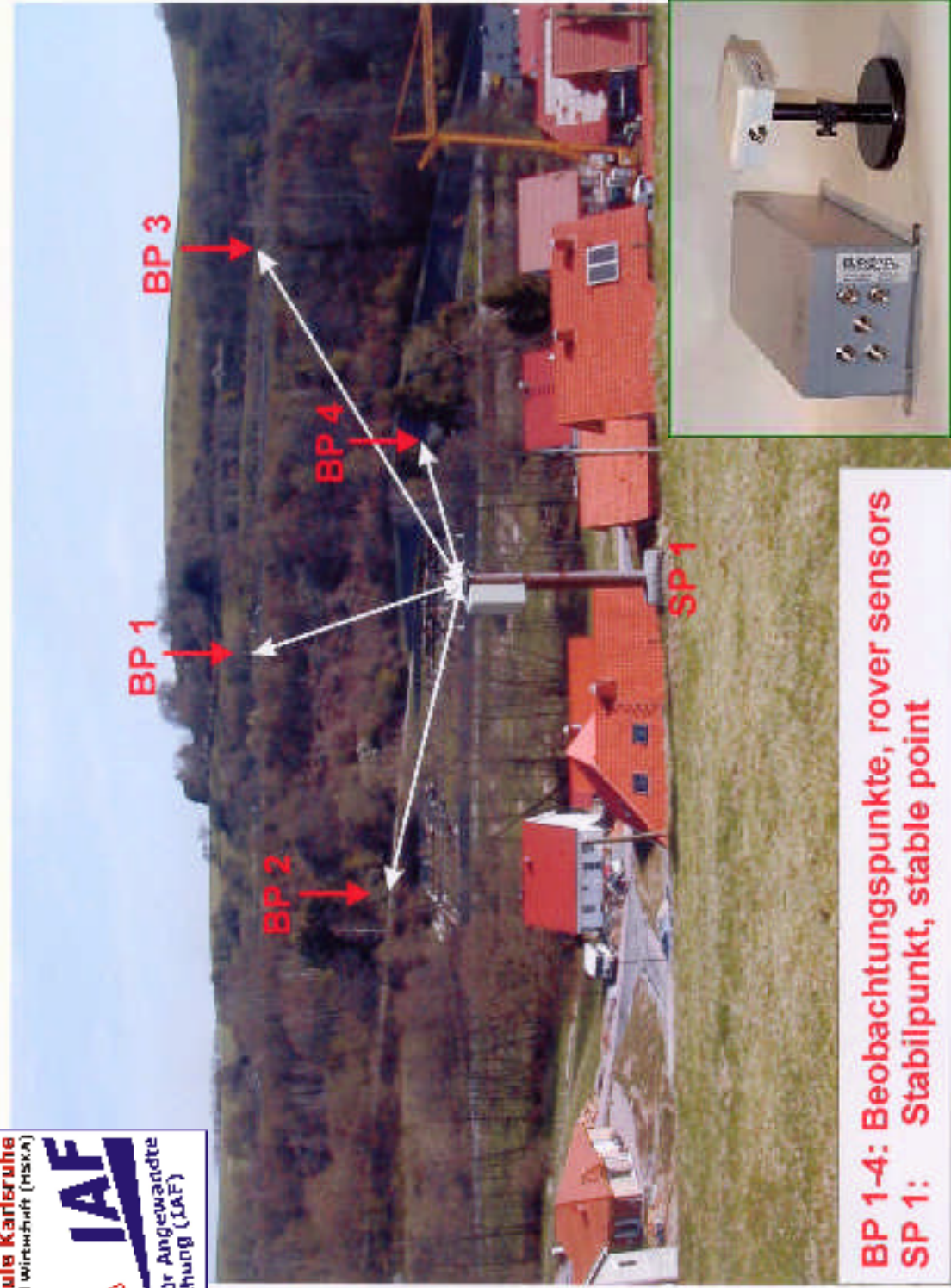
GeoSensor-Netzwerke - GNSS-basierter Katastrophenschutz



GeoSensor-Netzwerke - GNSS-basierter Katastrophenschutz



GOCA Installationsbeispiel: Autobahn-Rutschung A62



BP 1-4: Beobachtungspunkte, rover sensors
SP 1: Stabilpunkt, stable point

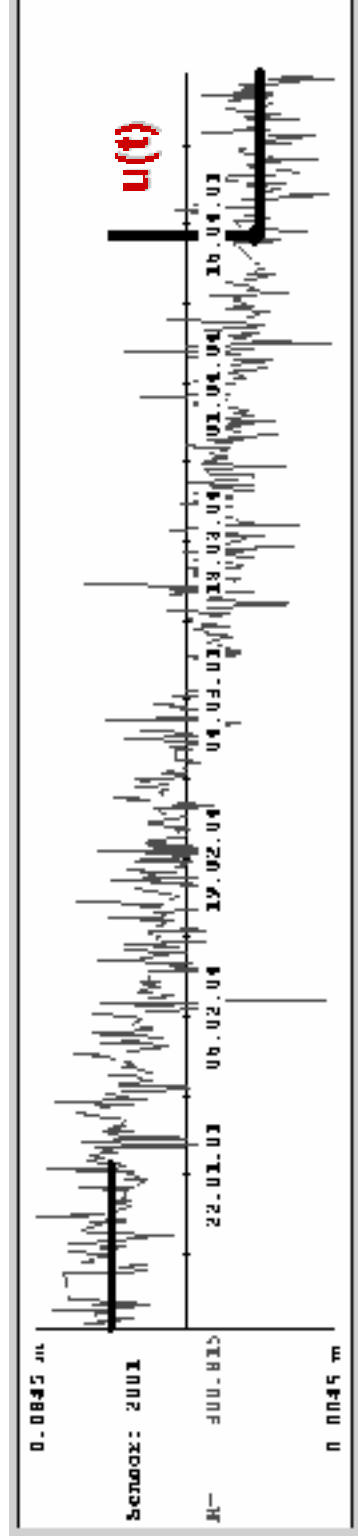
GOCA

Online Verschiebungs-Schätzung

Mathematische Modellierung der Verschiebungen $u(t)$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{t_0} \\ \mathbf{I}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{t_0} \\ \mathbf{v}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1 & 0 \\ \mathbf{E}_2 & \mathbf{E}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{u}(t) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{y}(t) = (\mathbf{x}_0, \mathbf{u}(t))^T$$



Graphische Darstellung der Verschiebungen $u(t)$

Displacement Estimation

General Settings

Name: F1

Allier. Punkte:

- GCCA41D
- GFCBR12
- GCCBR13

Adjustment Settings

Estimator Type:

LI Huber

(reweighting) (if "value" = 1000)

Statistical Settings

Error Probability Plan Pos.

Error Probability Height

Sensitivity β :

Settings for Alert

Alert in case of Significance α :

Alert on exceeding crit. values (D)

Plan 3 min Priority:

-eight 5 min Priority:

Alert only if A and B simultaneously match

Epoch Definition

Epoch 1 - Initialisierbar

Epoch 1 = fix

Epoch 1 - dynamic

Epoch of dynamic or fix Epoch 1

Date: 12.08.2007 Time: 02:00

Epoch dynamic Epoch 2:

Date: 12.08.2007 Time: 02:00

Duration of Epoch 1: Hours

Epoch Cycle: Hours

Duration of Epoch 2: Hours

OK

GOCA – Alarm: GOCA-Modul zur Verschiebungsschätzungs-, Gleitender Mittelwert und KALMAN-Filterung und –Vorhersage basierten Alarmierung

GOCA-Alarm

Einstellungen | Alarm-Bilder | Alarm-Email | Alarm-SMS

SMS deaktivieren

SMS-Alarmzugriffsstellen definieren

Format: Alarmtyp: Alarm hinzufügen

Alarmieren

Anbieter:

Sms-Tarife: Account:

Test-URL: Route:

Verbindungszeit: Key: Destätigen

aktivieren | senden | übernehmen




GOCA-Alarm

Einstellungen | Alarm-Bilder | Alarm-Email | Alarm-SMS

Accrdata: Öffnen

Adressbuch:

Name	Handynummer	aktuelle Adresse	
Hans Meier	01761234567		Neu
Peter Müller	01767654321		Löschen
			Bearbeiten

Sprachen:   

zusätzliche Alarme:

aktivieren | Bearbeiten | übernehmen

Aktuelle GOCA-Projekte 2009

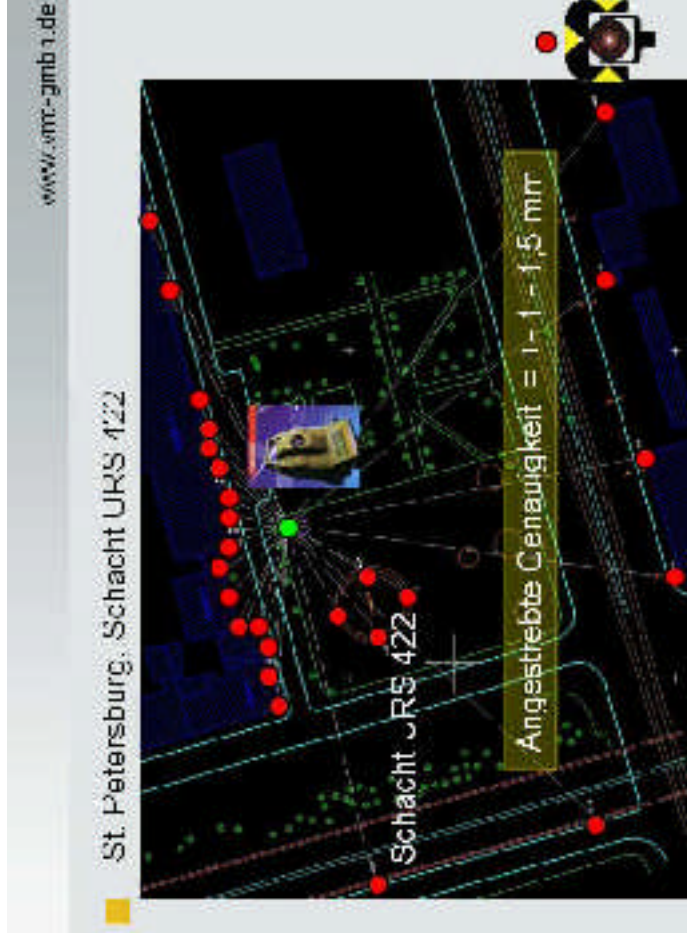


GOCA

Monitoring

Robert Bosch
Krankenhaus
Stuttgart

www.e-messmer.de

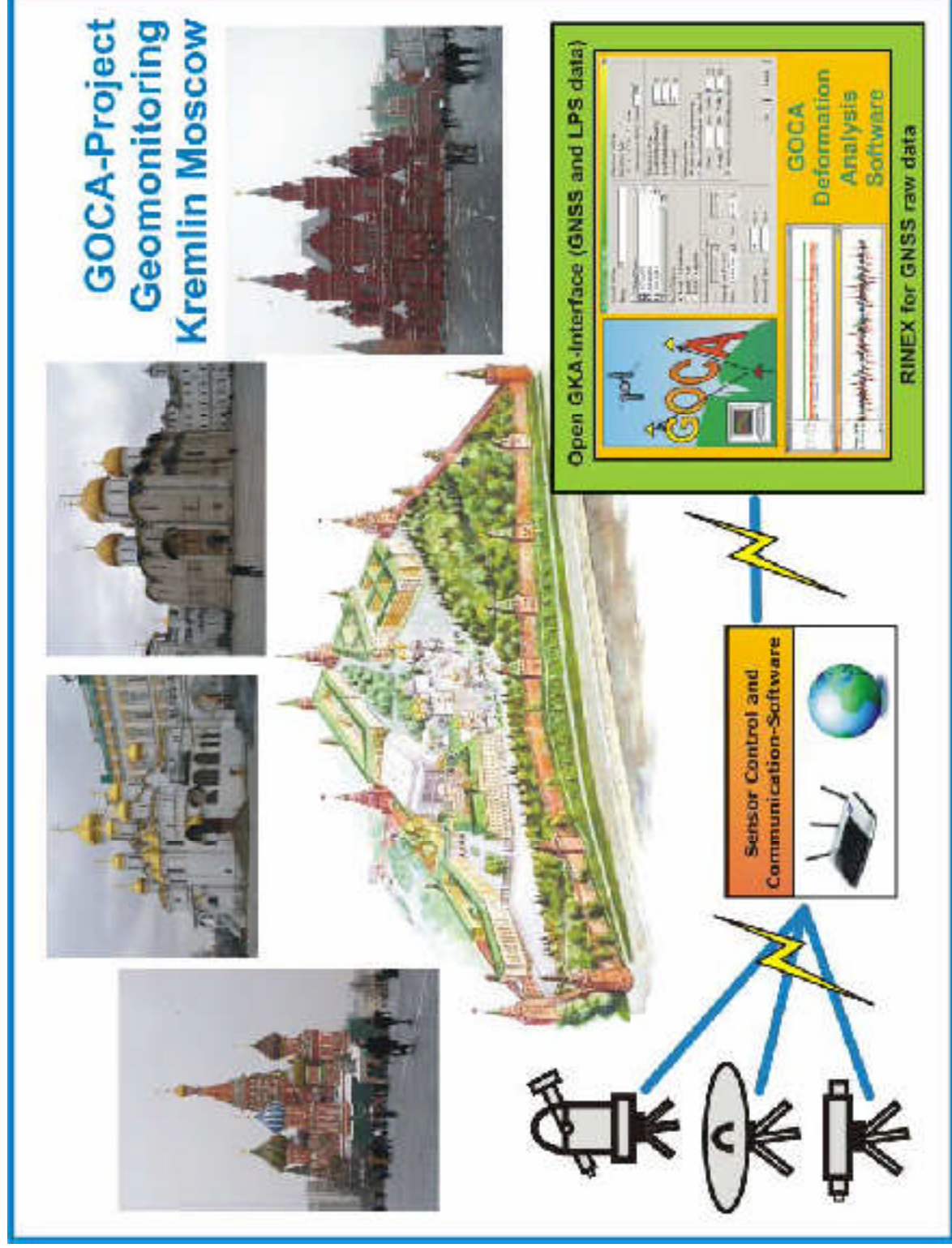


GOCA

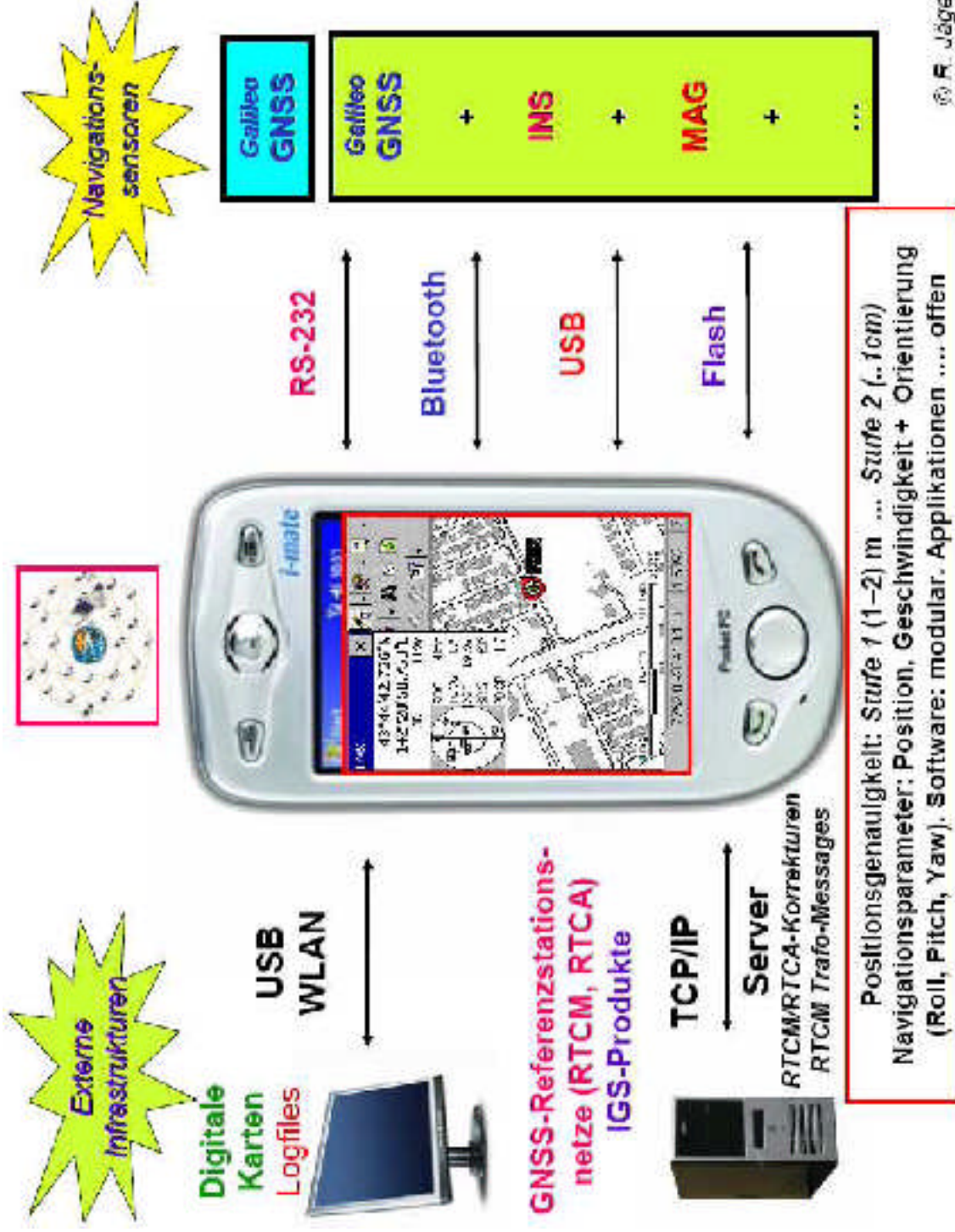
Monitoring Altstadt St. Petersburg

www.vmt-gmbh.de

GOCA-Project 2009/2010



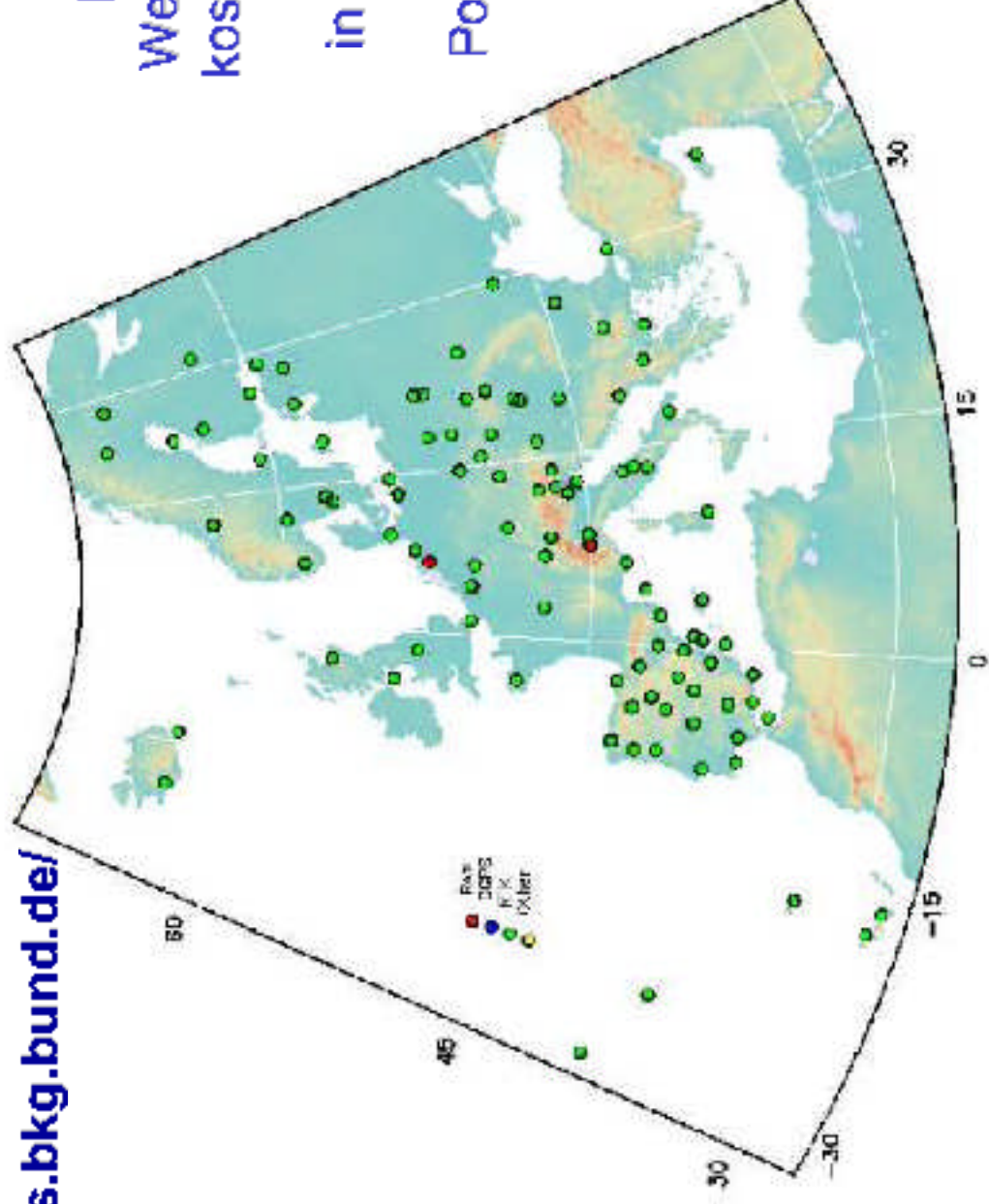
Lösungen – GNSS-Satellennavigation und Mobile IT



EUREP-IP und IGS als Europa bzw. weltweites Referenzstationsnetz RTCM3.1 OSR-Korrekturdaten für Code- und Phasenmessungen

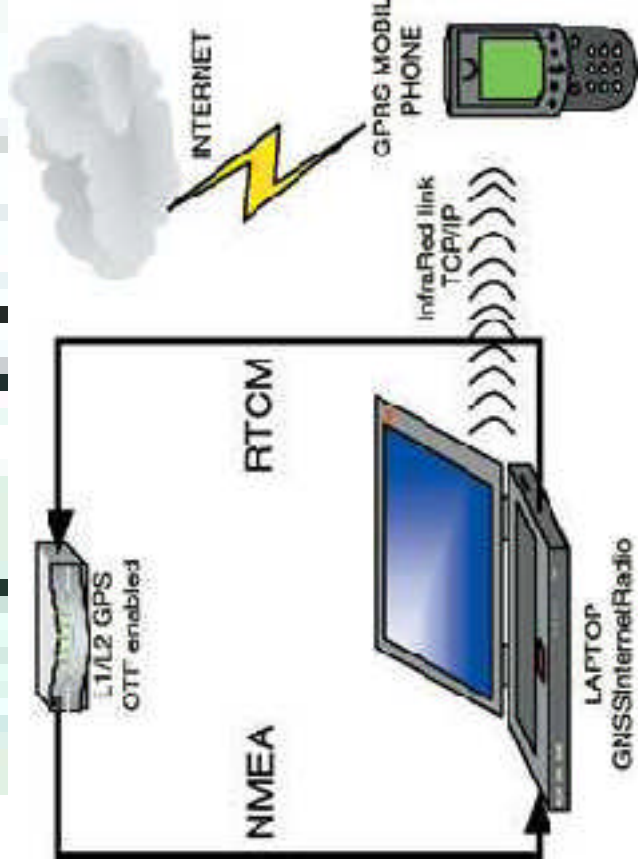
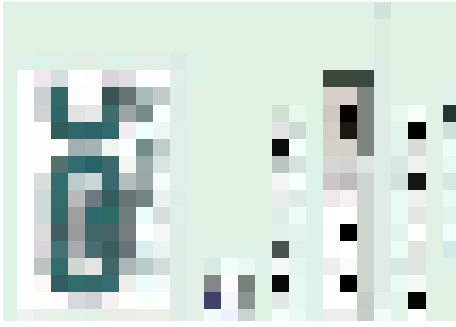
Ntrip Real-Time GNSS Network EUREF, Status 090420

<http://igs.bkg.bund.de/>

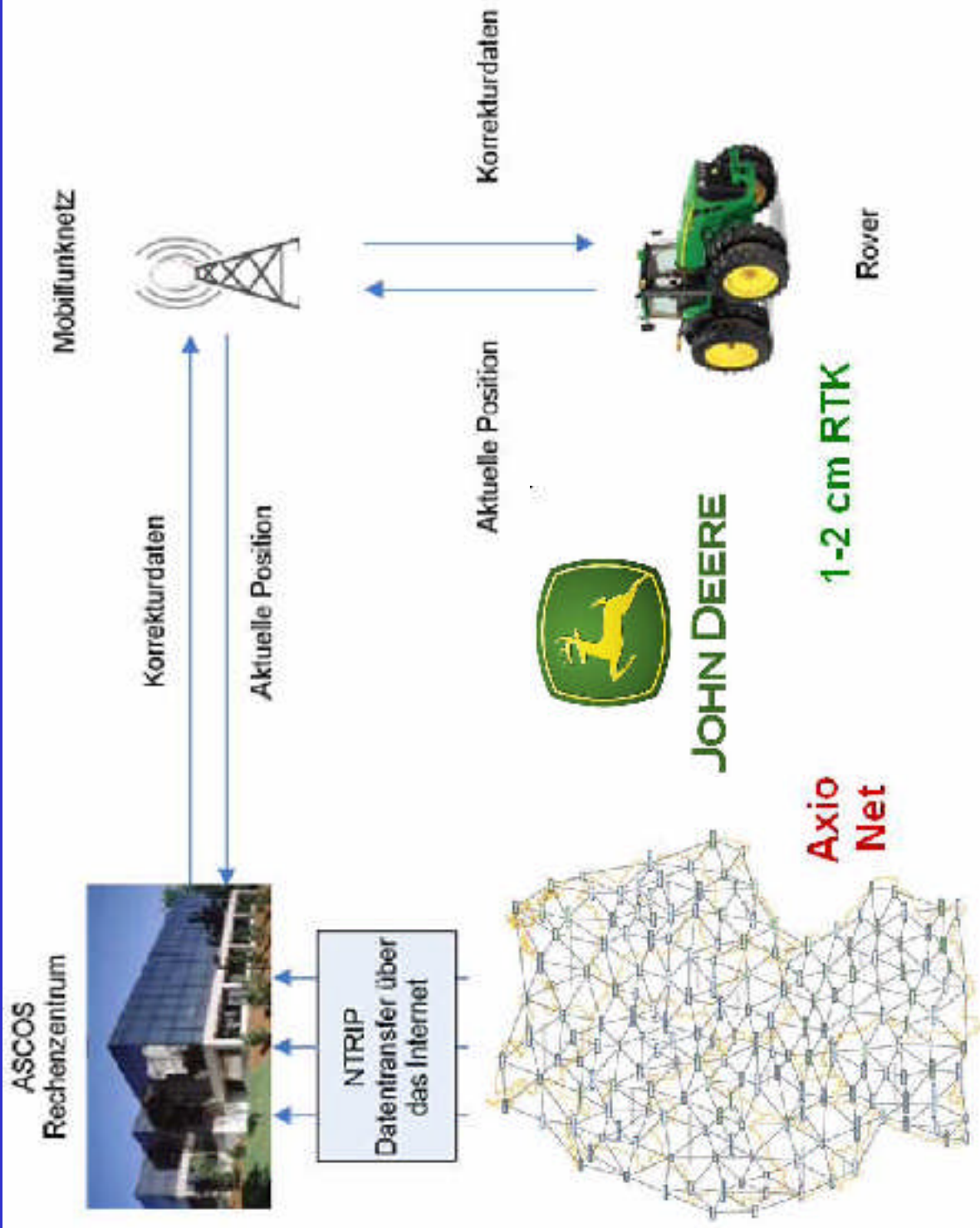


Einfacher
Weitreichender
kostengünstiger
Einstieg
in die präzise
DGNSS
Positionierung

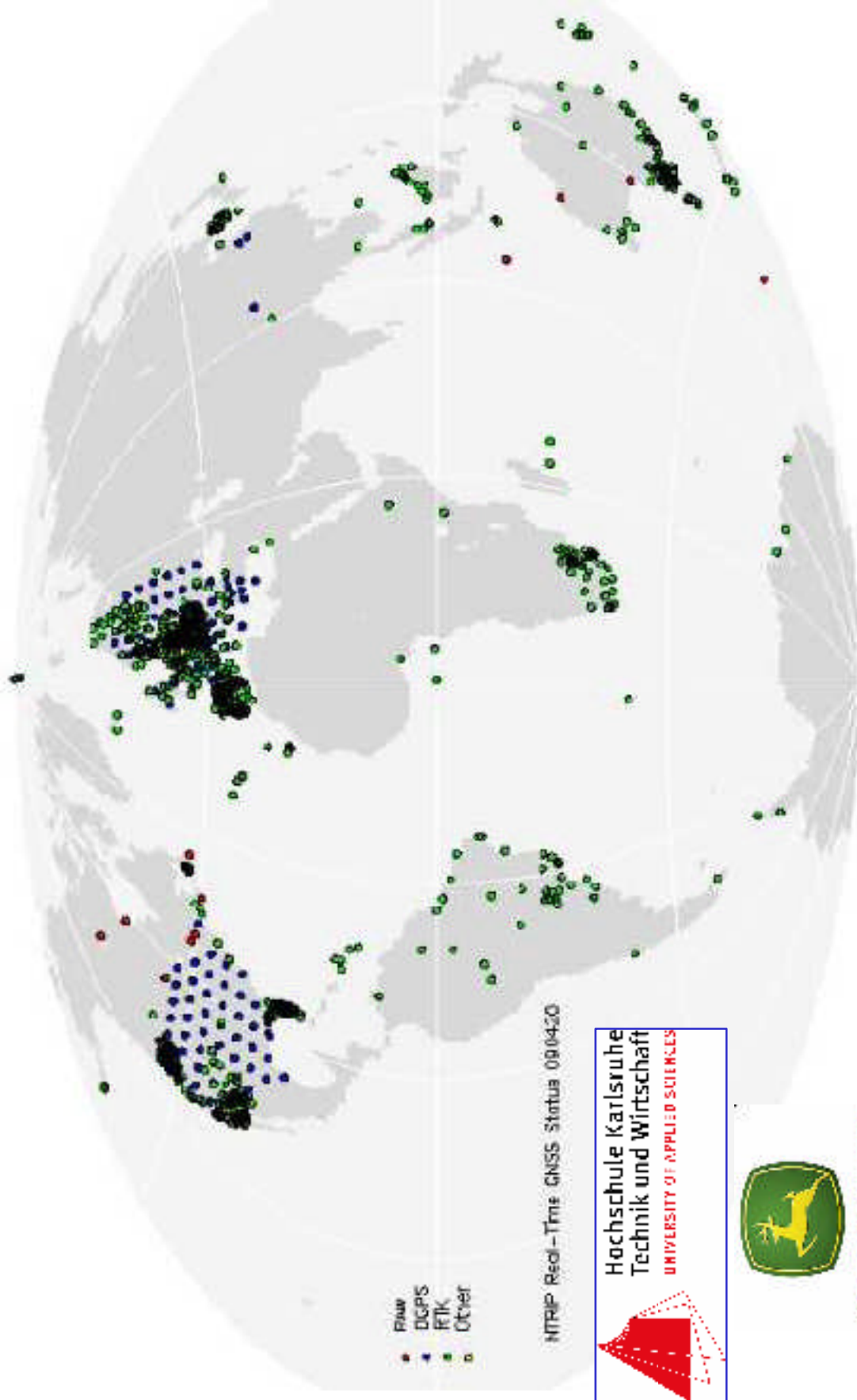
EUREP-IP und IGS als Europa bzw. weltweites Referenzstationsnetz RTCM3.1 OSR-Korrekturdaten für Code- und Phasenmessungen

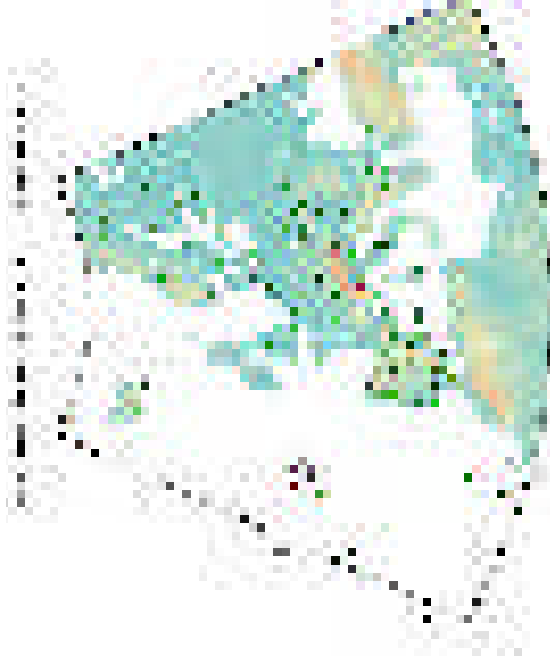


Präzises Monitoring und Navigation bewegter Objekte

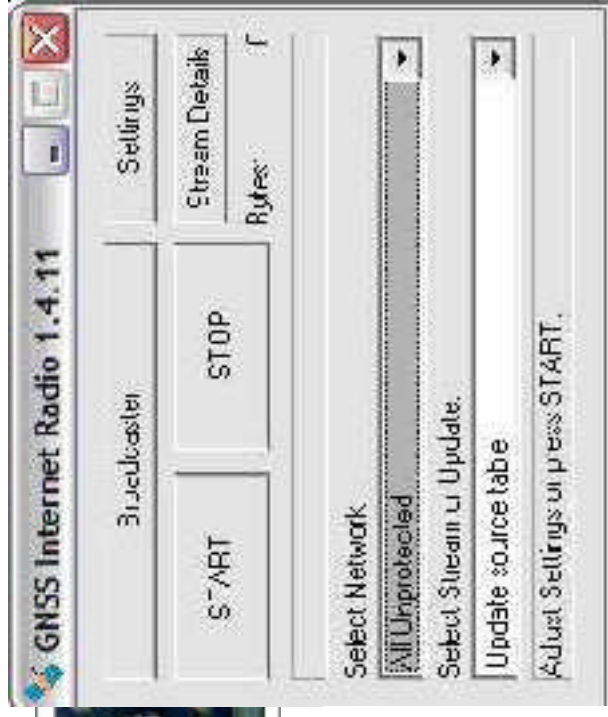


Präzises Monitoring und Navigation bewegter Objekte





Präzises Monitoring und Navigation bewegter Objekte



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
10.0000 10.0000 10.0000 10.0000

**EUREF oder IGS
RTCM-Korrekturen**

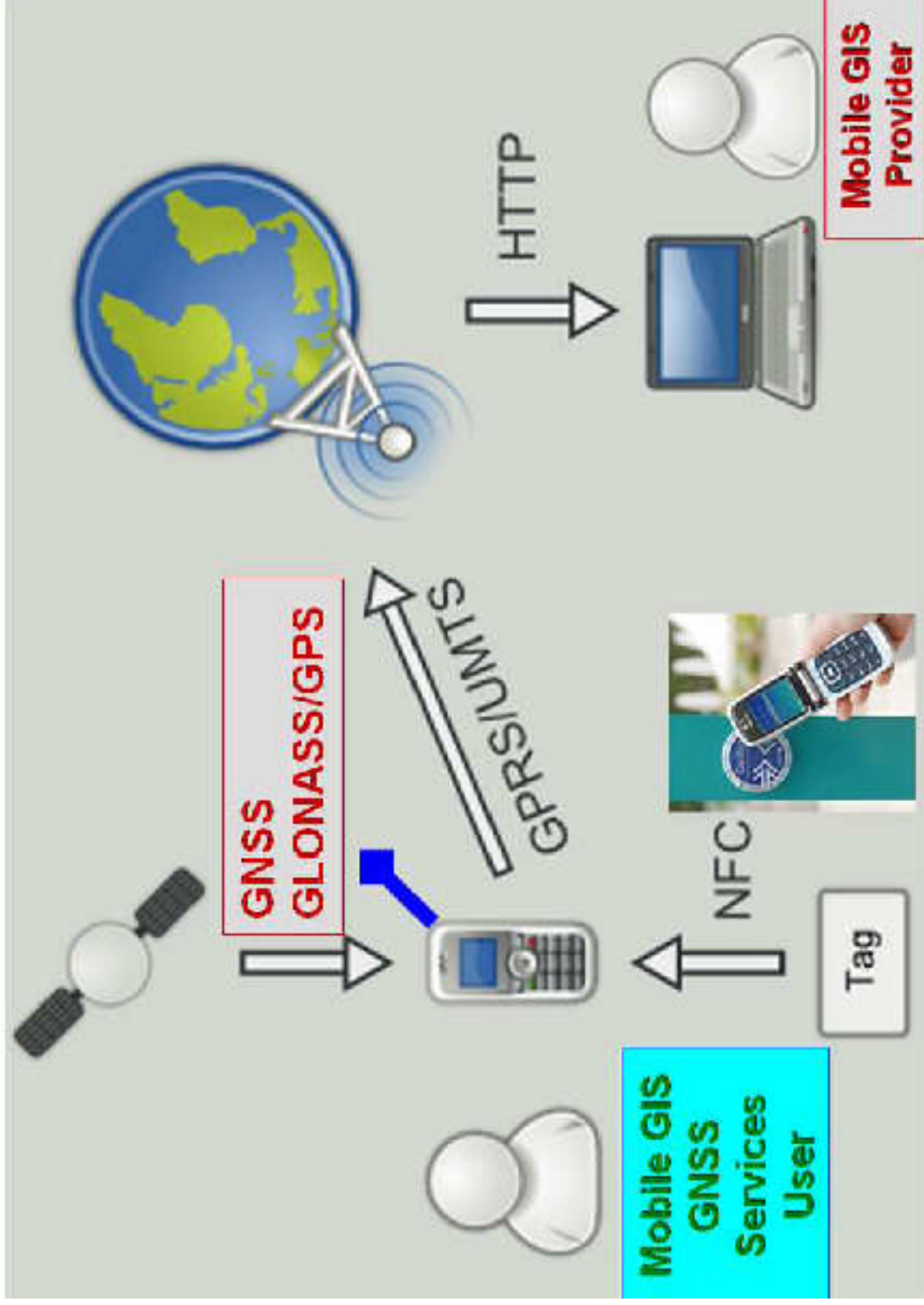
NTRIP-Format

**Mobiles Internet
(USB-Stick)
und
InterNet GNSS-
Radio**



Ort	Basislinie [km]	Beobachtungsdauer [min]	EUREF IP		John Deere MRTK	
			Nord [m]	Ost [m]	Nord [m]	Ost [m]
Karlsruhe	ca. 20km	15 Minuten	0.0513	0.0804	0.0072	0.0055
Dresden	ca. 430km	15 Minuten	0.1867	0.2758	0.0088	0.0082
Worms	ca. 610km	15 Minuten	0.1033	0.0742	0.0098	0.0054

MOBILES GNSS-positioniertes GIS und umweltbezogene Monitoringdienste



MOBILE Umweltdatenerfassung (GNSS + RFID)



© Galileo M³ – Basic

Mobile Machine Management



© Galileo M³ Basic Machine Management: Mobile Umweltdatenerfassung (GNSS + RFID) ermöglicht die Erfassung von Umweltdaten (z.B. Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit) während der Fahrt. Die Daten werden in der Cloud gespeichert und können für die Analyse und Berichterstattung genutzt werden.

- Das Zusammen von moderner Dienstleistungen mit NFC-Mobilität können
- Automatische und lokale von Programmieren
- Zentrale Verwaltung von einem zentralen Management-System

Für den mobilen Serviceanbieter wird der Nachweis von Fahrzeugen sichergestellt. Durch die Nutzung von Galileo M³ Basic wird der Beginn und das Ende der Arbeit an einem Standort durch das Einfahren einer NFC-Haftkarte in den Mobiltelefon bestätigt. Es werden nur die Daten erfasst, die für den Standort und die Uhrzeit erforderlich sind. Die Daten werden in der Cloud gespeichert.

Über den Zugriff auf die Mobiltelefone kann der Serviceanbieter den Standort und die Uhrzeit des Mobiltelefonen feststellen. Die Daten werden in der Cloud gespeichert und können für die Analyse und Berichterstattung genutzt werden.

Es wird eine "Mobile Machine Management" (M³)-Lösung für die mobile Umweltdatenerfassung (GNSS + RFID) entwickelt. Die Lösung ermöglicht die Erfassung von Umweltdaten (z.B. Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit) während der Fahrt. Die Daten werden in der Cloud gespeichert und können für die Analyse und Berichterstattung genutzt werden.

© Galileo M³ Basic

Galileo M³ Basic – Der zuverlässige Begleiter Ihrer Servicemitarbeiter. M³ unterstützt Sie in der Durchführung und Auswertung der mobilen Dienstleistungen optimal und gibt Ihnen einen lokalen Überblick über den Zustand Ihrer mobilen Geräte.

www.bernot.net



Mobilityforest - Geoinformationssystem mit RFID und GPS

verfügt im Bereich Technik / Cloudbase / 20.11.09



Motilityforest – so lautet der Name eines neuen Geoinformationssystems, das im Jahr 2009 in Schweden entwickelt wurde. Es ist ein System, das es ermöglicht, die Positionen von Bäumen zu verfolgen und zu analysieren. Das System besteht aus RFID-Tags, die an den Bäumen angebracht sind, und GPS-Einheiten, die die Positionen der Bäume verfolgen. Die Daten werden in einer Cloud gespeichert und können für die Analyse und Berichterstattung genutzt werden.

Zukünftig können die Bäume mit Hilfe eines RFID-Tags identifiziert und verfolgt werden. Ein weiteres Ziel ist es, die Positionen von Bäumen zu verfolgen und zu analysieren. Das System besteht aus RFID-Tags, die an den Bäumen angebracht sind, und GPS-Einheiten, die die Positionen der Bäume verfolgen. Die Daten werden in einer Cloud gespeichert und können für die Analyse und Berichterstattung genutzt werden.

Vor allem das Problem, das diese Lösung hat, ist, dass es ist eine sehr teure Lösung, die nur in bestimmten Fällen eingesetzt werden kann. Die Lösung ist jedoch eine sehr interessante Lösung, die es ermöglicht, die Positionen von Bäumen zu verfolgen und zu analysieren.



II.)

Aspekte und Trends

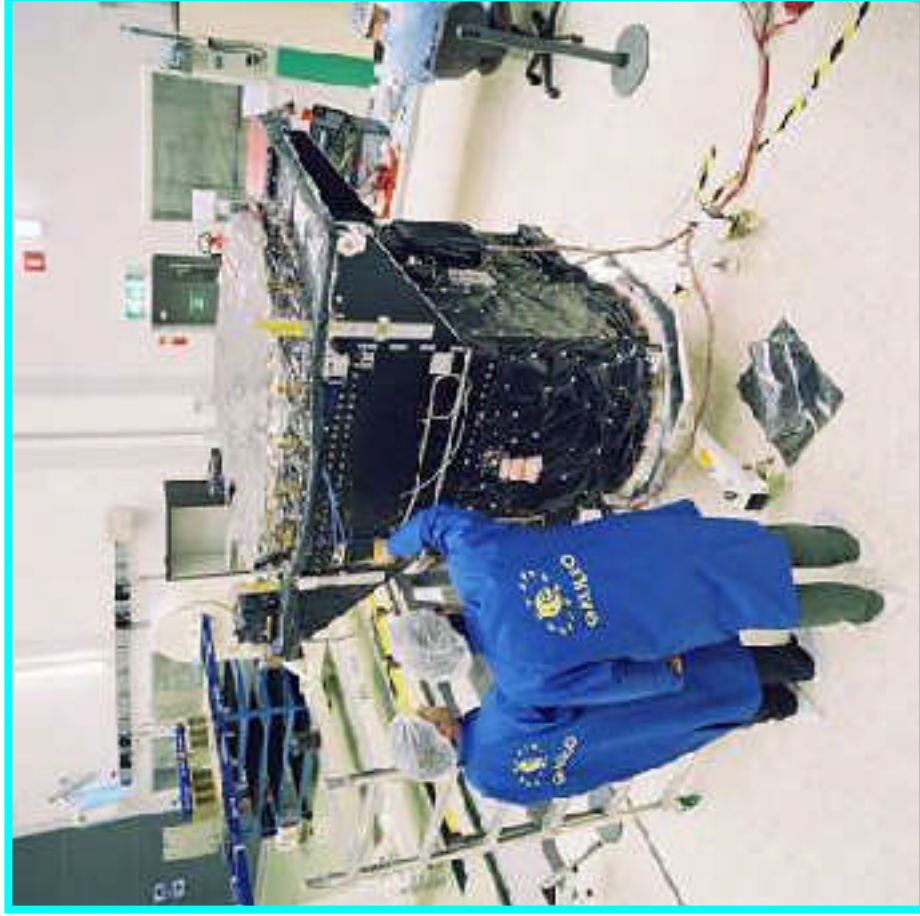
bei

GNSS-Echtzeittechnologien

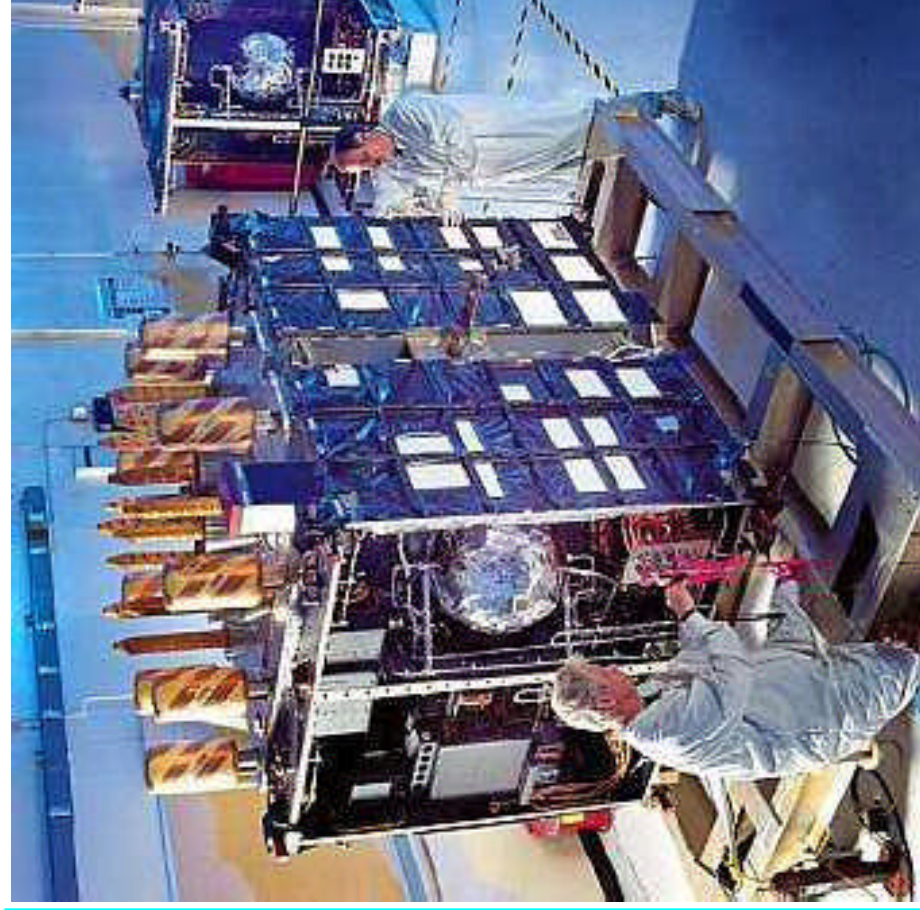
Teil 2 - Algorithmen

GNSS-Weiterentwicklungen: GPS und GALILEO

Galileo-Satellit

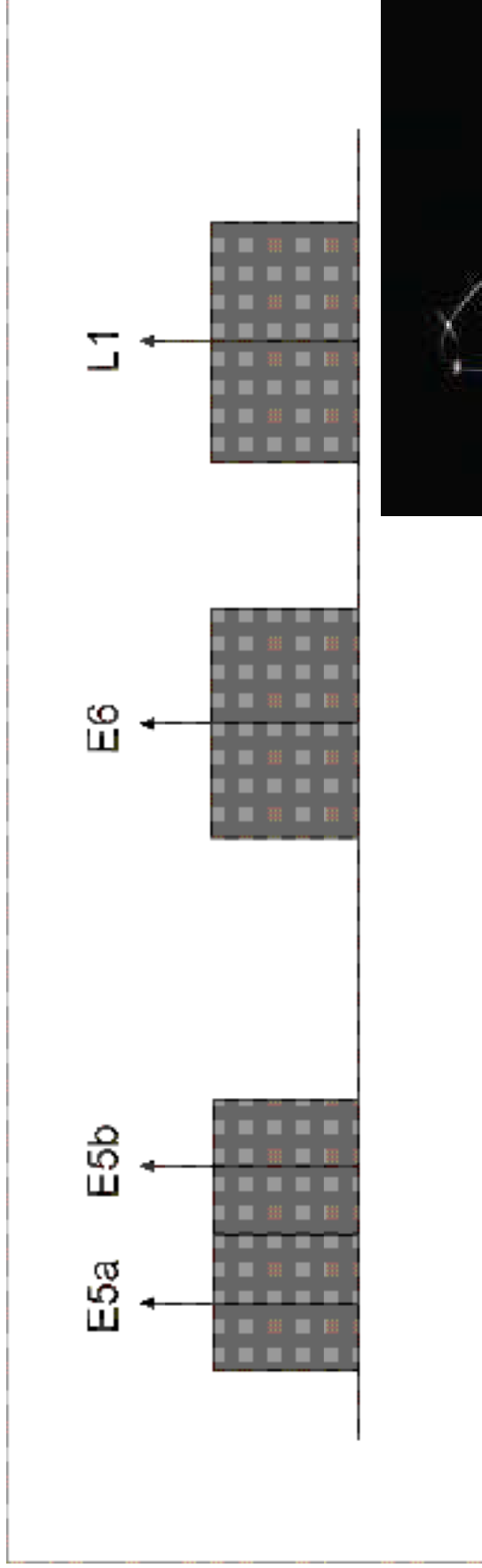


Navstar IIR GPS-Satellit



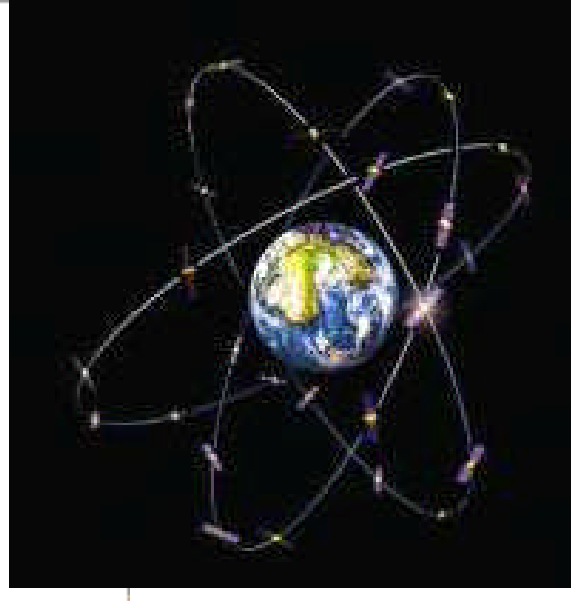
GNSS-Weiterentwicklungen: GPS und GALILEO

GALILEO (30 Satelliten) und GPS: 3 Freq. (19cm, 24 cm und 25 cm Wellenlänge)



Frequenzen für alle Satelliten gleich, jeder Satellit hat eine eigene PRN (analog GPS)

L1	1.57542 GHz	Bandbreite 41 MHz
E6	1.27875 GHz	Bandbreite 41 MHz
E5b	1.20714 GHz	Bandbreite 24 MHz
E5a	1.17645 GHz	Bandbreite 24 MHz



.... **Zusätzlich: Signalverstärkung bei GPS, gleich wie bei GALILEO**

GNSS-Weiterentwicklungen: GPS und GALILEO

1. Neue Linearkombinationen = > Noch schnellere/zuverlässigere Ambiguity-Lösung

Linear-Kombinationen in [cyc]	Wellen-Länge	
L1	0.19 m	
L2	0.24 m	
L5/LC	0.25 m	3. Frequenz
L1 - L5/LC	0.75 m	Weitere WIDELANE
L1 - L2	0.86 m	
L2- L5/LC	5.86 m	"Super Widelane"

2. => Alle Postprocessing- und RTK-Software muss neu geschrieben werden!
Auch mit Blick auf GNSS-Receiver, die mehrere GNSS nutzen
„Karten werden neu gemischt?!“

3. => Anzahl der GNSS-Satelliten von 45 (jetzt) auf 105 (~ 2013)

Entwicklungen GNSS, z.B. GALILEO)

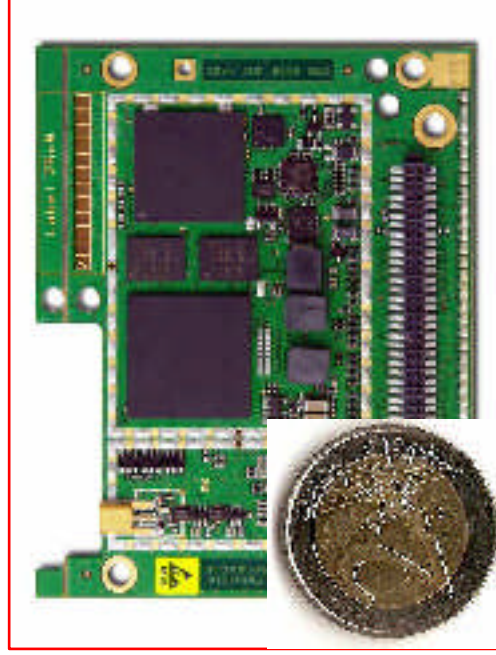
2005

**Firma Septentrio
- Erster Galileo Receiver -**

<http://www.euref.eu/symposia/2005Vienna/7-03.pdf>



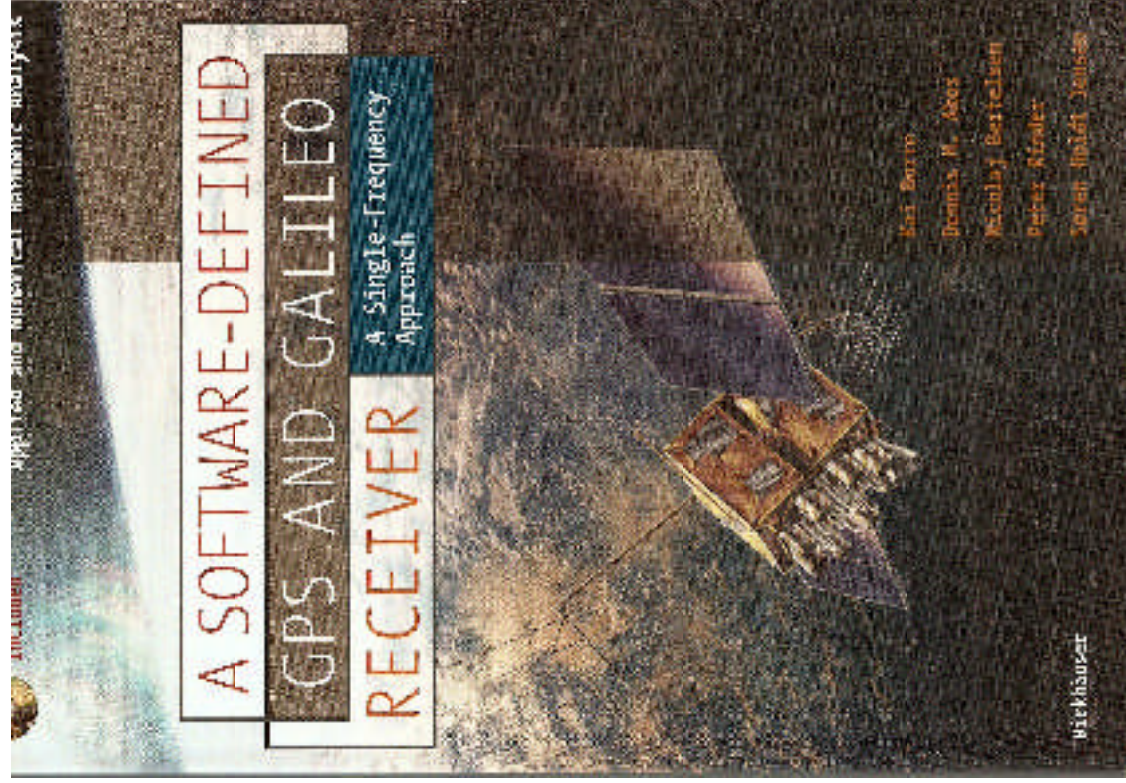
.... 2008-2009



**Septentrio
AsteRx1
Low-Cost OEM
Board
L1 GPS / Galileo**

http://www.septentrio.com/products_asterox1.htm

GNSS-Weiterentwicklungen: GPS und GALILEO - Trends



6 Zukünftige Empfänger

M. Becker, ZfV 10/09

Der IGS hat vor kurzem ein Strategiepapier zu neuen Empfängern veröffentlicht (Humphreys et al. 2008). Dabei geht es um die Perspektiven von hochgenauer geodätischen Empfängern im Hinblick auf die zu erwartenden neuen GNSS und die Vielzahl der Signale.

Um die Genauigkeit der IGS-Produkte zu verbessern und um die verbesserten Raumsegmente voll zu nutzen, müssen höhere Anforderungen an die Hersteller von geodätischen Empfängern gestellt werden. Es bedarf besserer Module zur Modellierung der GNSS-Beobachtungen im Empfänger und der entsprechenden Dokumentation. Idealerweise sollte der Nutzer Firmware-Ladema kennen und eigene Algorithmen verwenden können. Die bisherigen Empfänger werden überflüssig werden, da sie nicht alle verfügbaren Signale verarbeiten können.

Eine Möglichkeit für kostengünstige und sehr flexible Empfänger bilden die Software-Empfänger, die als Hauptbestandteil nur ein Hochfrequenzteil zum Empfänger und zur Digitalisierung der GNSS-Signale und einen starken Rechner erfordern. Das »Track« also die Signalenerfassung, Verfolgung und Decodierung, wird allein durch Software erledigt.

Software-Empfänger sind somit nahezu frei konfigurierbar und erlauben sehr flexible, transparente und anwendungsspezifische Auslegungen. Dazu können – we-

GNSS Im Aufbruch – Aspekte u. Perspektiven für GNSS-Echtzeittechnologien Prof. Dr. R. Jäger, 20.11.'09. Trendkongress, Karlsruhe

Lösungen – GNSS-Satellitenavigation und Mobile IT



Digitale Karten
Logfiles



USB
WLAN



GNSS-Referenzstations-
netze (RTCM, RTCA)
IGS-Produkte



TCP/IP

Server

RTCM/RTCA-Korrekturen
RTCM Trafo-Messages



GNSS
Trends?

Galileo
GNSS

Galileo
GNSS

+

INS

+

MAG

+

...

RS-232

Bluetooth

USB

Flash

Positionsgenauigkeit: Stufe 1 (1–2) m ... Stufe 2 (.. 1cm)
Navigationsparameter: Position, Geschwindigkeit + Orientierung
(Roll, Pitch, Yaw). Software: modular. Applikationen ... offen

Absolutes GNSS - Precise Point Positioning „PPP“

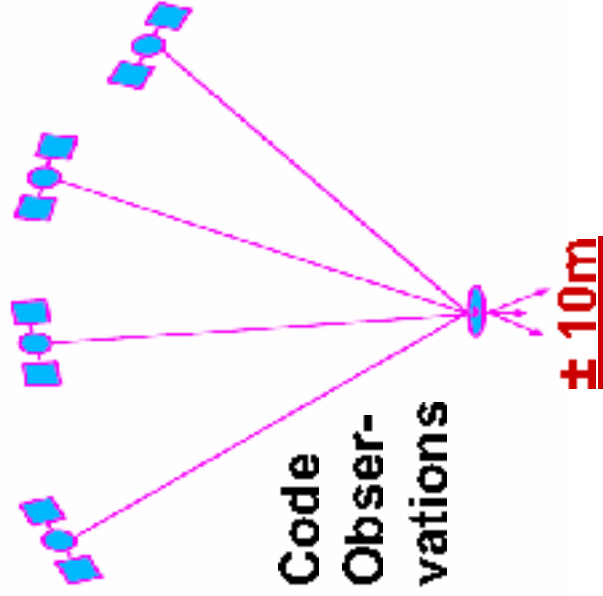
? Ende des Monopols der DGNSS - Referenz Stations Dienste ?

Broadcast Standard
Satelliten Orbit: 3 m
Satellitenuhren: 3 m
Ionosphäre: 7 -10 m
Troposphäre: 0.5 m

IGS-Produkte („SSR“) + Code/Phase + Modellierung
Satelliten Orbit: 5 -10 cm
Satellite Clock: 5 ns - 0.1 ns
Ionosphäre: 0.25 m
Troposphäre: 5 cm

Stand des „PPP“ im Postprocessing

- 24 h observation time: mm – cm
- 30 min Beobachtungszeit: 0.5 – 1 dm



The estimated coordinates / standard deviations for the
NET0500_0428.070 RINEX file are as follow:
Latitude (NET03-CRS): 60.45 01.9330 (dm) / 0.009 (m)
Longitude (NET03-CRS): -135.13 15.5353 (dm) / 0.018 (m)
Ellipsoidal Height (NET03-CRS): 1471.740 (m) / 0.034 (m)
Orthometric Height (WGS 84): 1419.722 m

Absolutes GNSS im Standard: Precise Point Positioning „PPP“

Statisch und postprocessed (30 Min = 0.05m)

Absolutes („Nicht-DGNSS)

Upload der Daten

„C-Nav“ (55.000 Kunden)

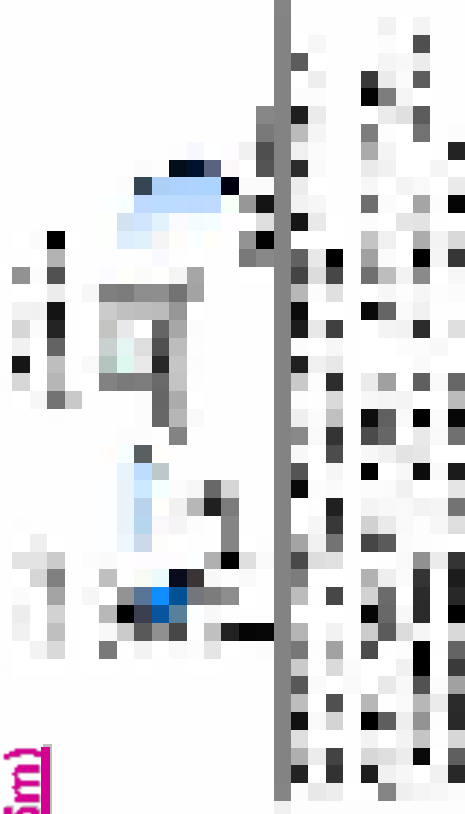
<http://www.cctechnol.com/site.phpm-cm>

„AUSPOS (free!)“

<http://www.ga.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps/>

„Natural Resources Canada“

www.geod.nrcan.gc.ca/products-products/ppp_e.php



Absolutes GNSS im Trend: Online Precise Point Positioning „OPPP“

Dynamisches absolutes GNSS

„Online PPP“ (RTK Modus)“

- Server-Client für SSR
- LowCost GNSS-Sensoren



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



BOSCH

Technik fürs Leben



SSR-Provider



GNSS

Derzeit
< 2 m!

? 1 dm ... 1 cm ?

GNSS Trends - Innovationspotenziale für Forschung und Entwicklung

Linear Combination with Integer Coefficients (n,m,k,...)

(Integer Ambiguity in resulting Phase)

$$\phi_{n,m,k} = n * \phi_1 + m * \phi_2 + k * \phi_3 \dots$$

Apparent Frequency:

$$f_{n,m,k} = \frac{\phi_1}{f_1} = \frac{\phi_2}{f_2} = \frac{\phi_3}{f_3} = \dots$$

$$f_{n,m,k} = n * f_1 + m * f_2 + k * f_3 \dots$$

Apparent Wavelength:

$$\lambda_{n,m,k} = \frac{c}{f_{n,m,k}} = \frac{1}{\frac{n}{\lambda_1} + \frac{m}{\lambda_2} + \frac{k}{\lambda_3}} + \dots$$

Redesign der Algorithmen der Ambiguity-Lösung und der Cycle-Slip Elimination Review der Methoden

- GPS, GLONASS**
- ... Galileo, Compass**
- => Neue Frequenzen**

First Order Ionospheric Influence relative to L1

$$dI_{\phi,n,m,k} |m| - \left(\frac{n}{f_1} + \frac{m}{f_2} + \frac{k}{f_3} + \dots \right) * \frac{f_1^2}{f_{n,m,k}} * dI_{\phi,1} |m|$$

$$dI_{\lambda,n,m,k} |m| - \left(n\lambda_1 + m\lambda_2 + k\lambda_3 + \dots \right) * \frac{\lambda_{n,m,k}}{\lambda_1^2} * dI_{\phi,1} |m|$$

First Order Ionospheric Amplification Factor (rel. to L1)

$$A_{\lambda,n,m,k} = - \left(\frac{n}{f_1} + \frac{m}{f_2} + \frac{k}{f_3} + \dots \right) * \frac{f_1^2}{f_{n,m,k}} - \left(n\lambda_1 + m\lambda_2 + k\lambda_3 + \dots \right) * \frac{\lambda_{n,m,k}}{\lambda_1^2}$$

First Order Ionospheric Influence relative to L1 in Cycles

$$dI_{\phi,n,m,k} [\text{cycles}] - \left(n\lambda_1 + m\lambda_2 + k\lambda_3 + \dots \right) * \frac{1}{\lambda_1} * dI_{\phi,1} [\text{cycles}]$$

Noise: Phase Noise s [radians or cycles]:

(assumed to be the same for all original phases)

$$s_{n,m,k} = \sqrt{(n * n + m * m + k * k + \dots)} * s$$

Ambiguity-Lösung und der Cycle-Slip Elimination – Redesign „Ambiguity-Funktion“

$$(\Phi_R + \frac{1}{\lambda}D) + v = \frac{1}{\lambda}(\sqrt{(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2} - (N + \nabla D))$$

$$v_j = \frac{1}{\lambda}(\sqrt{(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2} - (N + \nabla D)) - (\Phi_R + \frac{1}{\lambda}D)_j$$

$$2\pi \cdot v_j = 2\pi \cdot \left[\frac{1}{\lambda}(\sqrt{(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2} - (N + \nabla D)) - (\Phi_R + \frac{1}{\lambda}D)_j \right]$$

$$v_j' = 2\pi \cdot v_j = 2\pi \cdot \left[\frac{1}{\lambda}(\sqrt{(X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2} - (N + \nabla D)) - (\Phi_R + \frac{1}{\lambda}D)_j \right]$$

$$\left| \sum v_j' \right| = \text{Min}_{x, N, \nabla D} \left| \sum v_j' \right| = \text{Min}_{x, N, \nabla D}$$

$$c^{ix} = j \cdot \sin x + \cos x$$

$$\left| \sum v_j' \right| = \text{Min}_{x, N, \nabla D} \Leftrightarrow \left| \sum v_j' \right| = \text{Min}_x$$

II.)

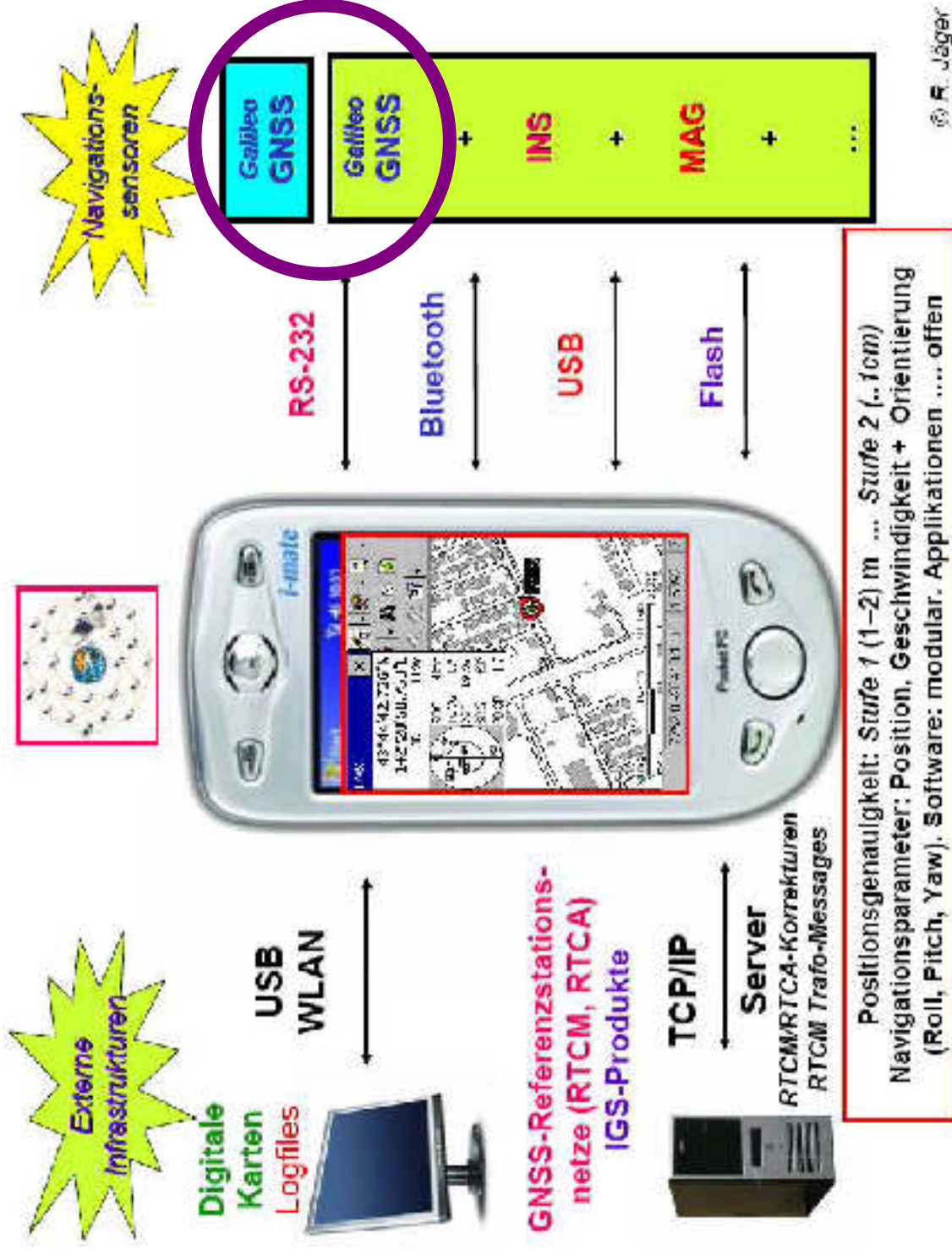
Aspekte und Trends

bei

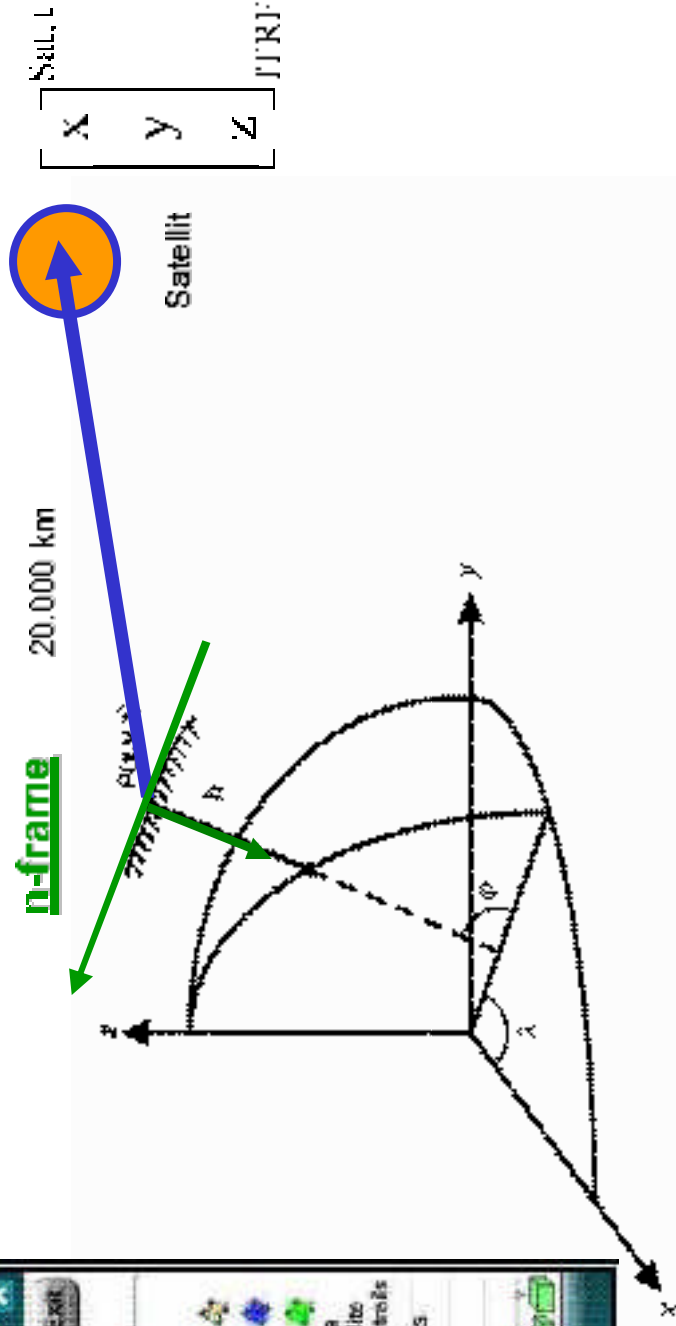
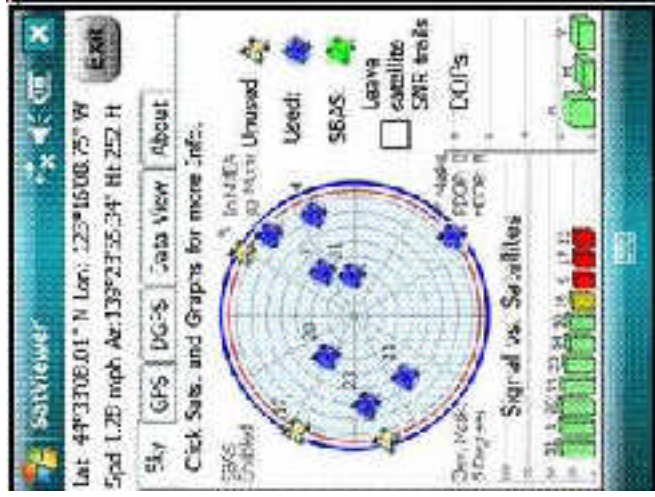
GNSS-Echtzeittechnologien

Teil 2 - Sensorsysteme

Lösungen – GNSS-Satellennavigation und Mobile IT



“Navigation“: Mehr als nur Positionierung (B,L,h)



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{LGV("n")} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{Topoz.} = \begin{bmatrix} -\cos \hat{\lambda} \cdot \sin \varphi & -\sin \hat{\lambda} \cdot \sin \varphi & \cos \varphi \\ -\sin \hat{\lambda} & +\cos \hat{\lambda} & 0 \\ \cos \hat{\lambda} \cdot \cos \varphi & \sin \hat{\lambda} \cdot \cos \varphi & \sin \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ECEF} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{Sat, L}$$

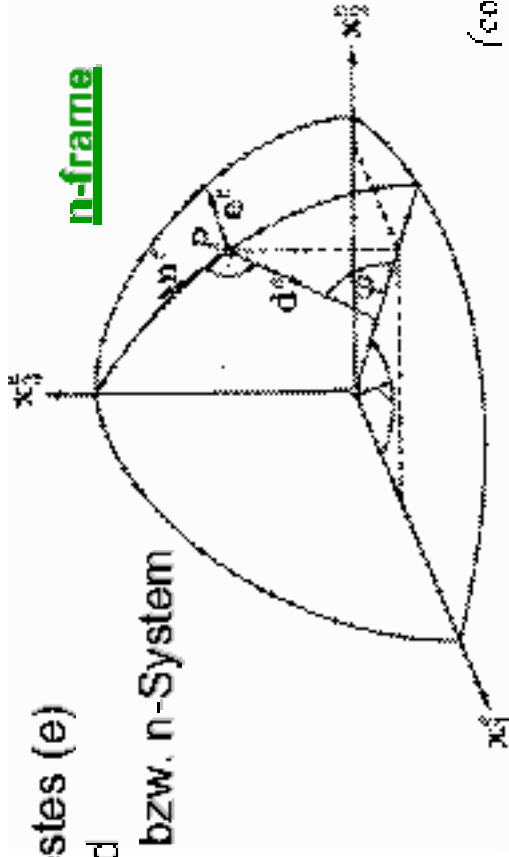
$$s = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \approx 20.000.000m \qquad A = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) \qquad h = \arcsin\left(\frac{-w}{s}\right)$$

“Navigation“: Mehr als nur Positionierung (B,L,h)

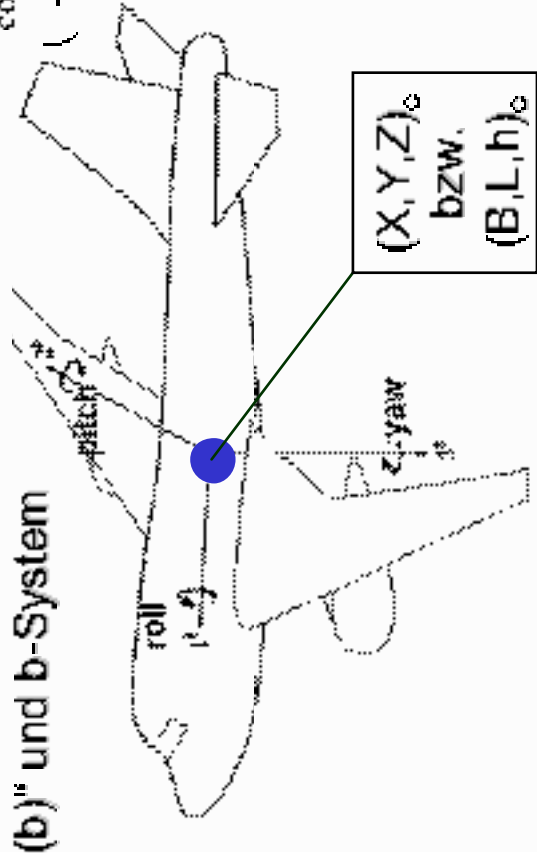
Erfestes (e)

und

LGV- bzw. n-System



„Body (b)“ und b-System

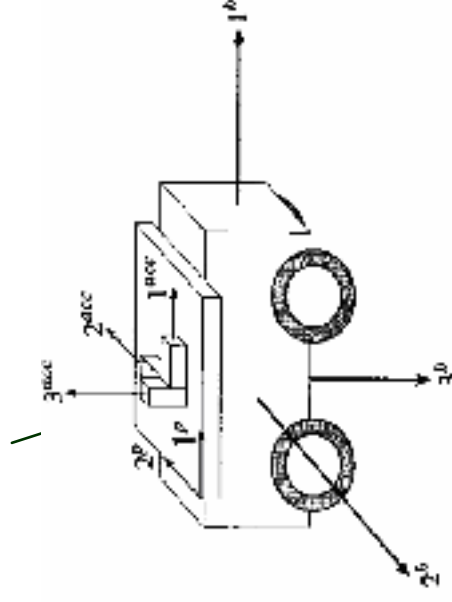


Zustandsgrößen allg. Navigation

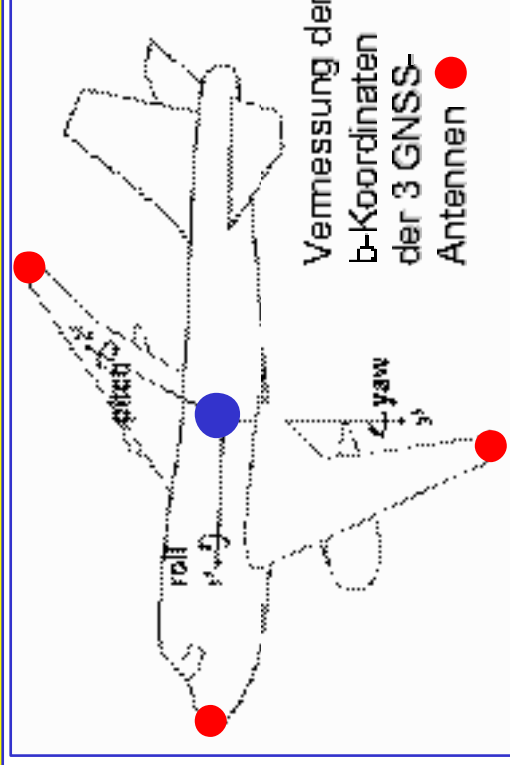
- Position (X, Y, Z) oder (B, L, h)
- Geschwindigkeit (v_N, v_L, v_h)
- Orientierung (r, p, y)

$$R_{nb}^{1,2,3} =$$

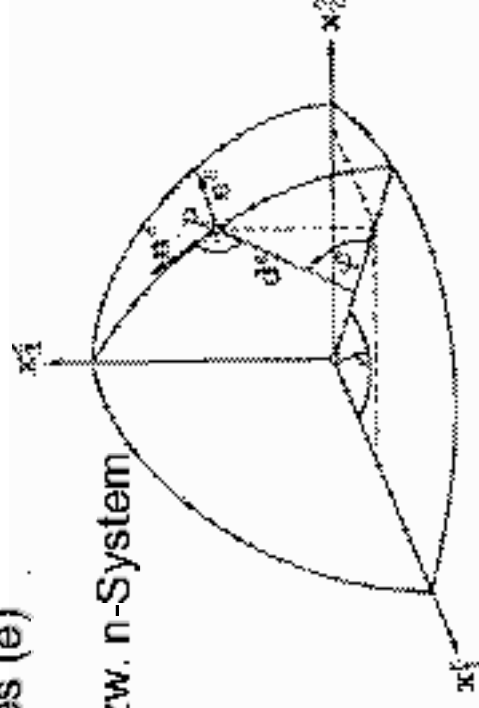
$$\begin{pmatrix} \cos\psi\cos\phi\cos\theta - \sin\psi\cos\phi\sin\theta - \sin\psi\sin\phi\cos\theta & \cos\psi\cos\phi\sin\theta + \sin\psi\cos\phi\cos\theta & \sin\psi\cos\phi \\ \cos\psi\sin\phi\cos\theta - \sin\psi\sin\phi\cos\theta & \cos\psi\sin\phi\sin\theta + \sin\psi\sin\phi\sin\theta & \sin\psi\sin\phi \\ -\sin\psi\cos\phi & -\sin\psi\sin\phi & \sin\psi\cos\theta \end{pmatrix}$$



Navigation mit GNSS-Multi-Array-System



Erdfestes (e)
und
LGV- bzw. n-System

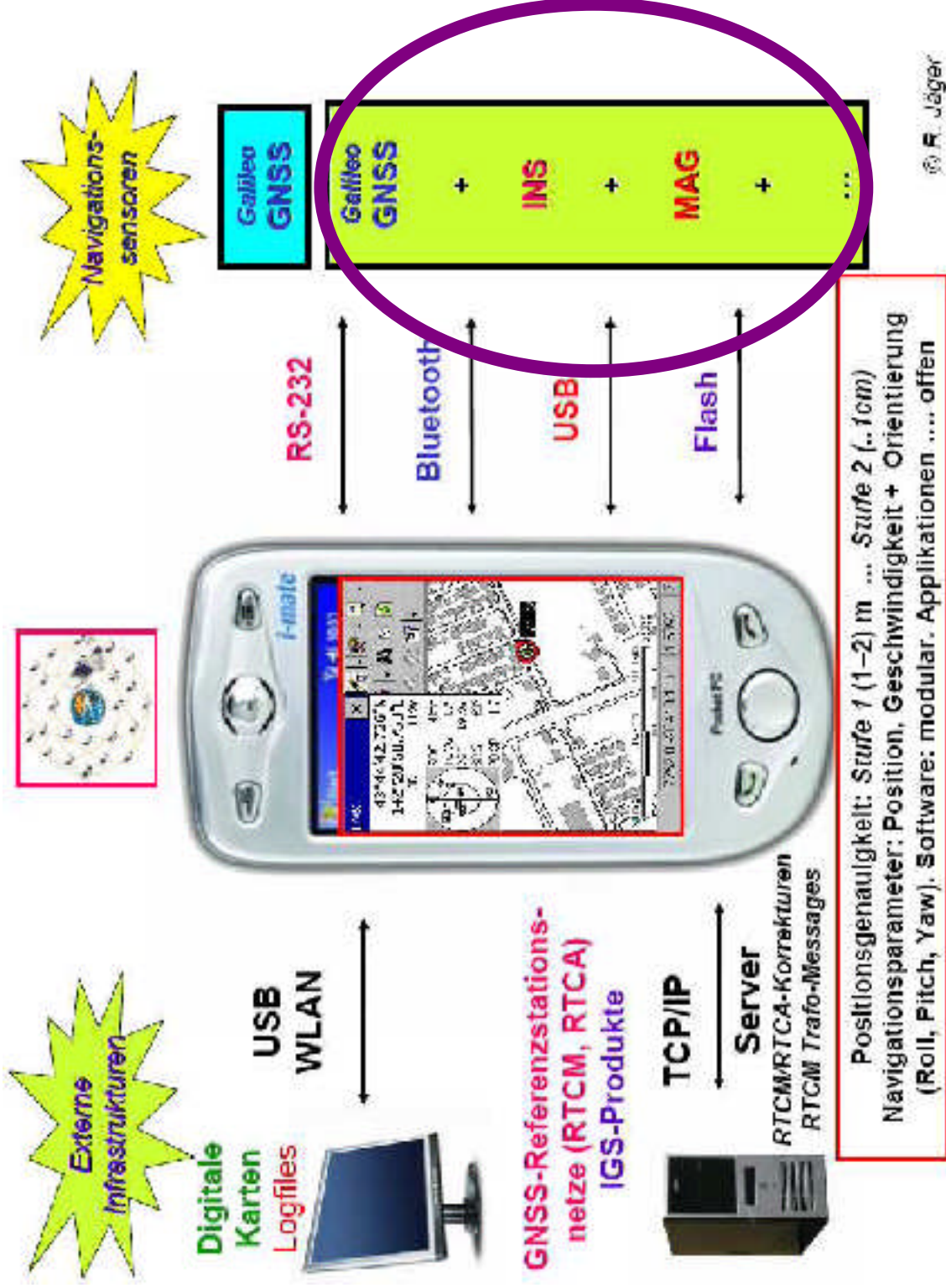


Algorithmus für 9-paramtrigen Navigationsdatensatz für 3-GNSS-Antennensystem

- Bestimmung der Transformationsparameter der GNSS-Punkte ● erdfestes (e) ↔ (b) Body-System
 - Positionierung: Transformation des b-Nullpunkts in (e)-System (X,Y,Z) bzw. (B,L,h) ●
 - Rotation der (relativen) (e)-Koordinaten der GNSS-Positionen ● in das LGV/ n-System
 - Orientierung: Bestimmung der Parameter (r,p,y) der Rotationsmatrix R_b^{LGN}

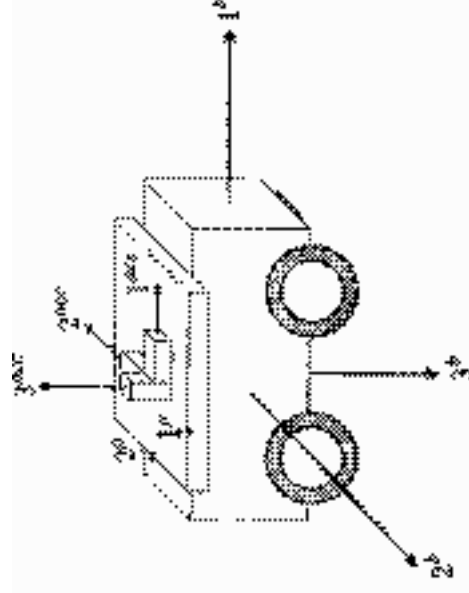
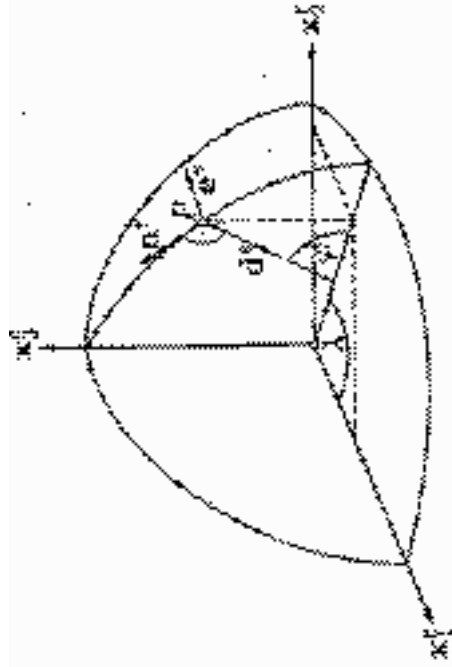
$$\begin{pmatrix} \cos p \cos y & \sin p \cos y & \sin y & \cos p \sin y & \cos p \cos y & -\sin y \\ -\cos p \sin y & \sin p \sin y & \cos y & \cos p \cos y & \cos p \sin y & -\sin y \\ -\sin p & \cos p & 0 & \sin p \cos y & \sin p \sin y & 0 \\ \cos p \sin y & \sin p \sin y & 0 & \cos p \cos y & \cos p \sin y & 0 \\ -\sin p & \cos p & 0 & \sin p \cos y & \sin p \sin y & 0 \\ \cos p \cos y & \sin p \cos y & 0 & -\sin y & \cos y & 0 \end{pmatrix}$$
- zwischen b- und n-Koordinaten

Lösungen – GNSS-Satellennavigation und Mobile IT



© R. Jäger

Entwicklungen bei „INS“ = Inertial-Navigations-Systemen



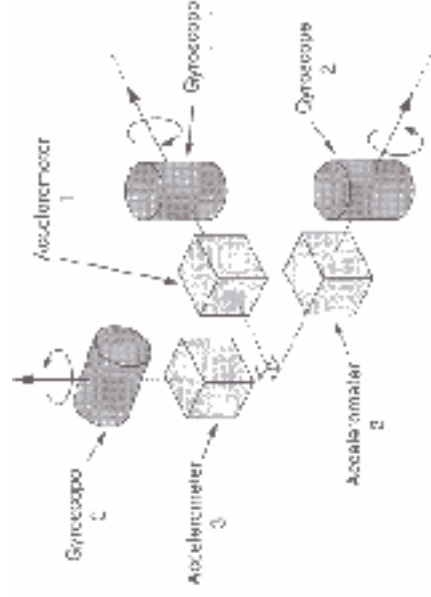
Prinzip
$$\Delta x_{t-\Delta t}^i = \left[\int \int \ddot{x}(t) \cdot dt \cdot dt \right]_{t-\Delta t}^t$$



**ME(O)MS
3D-axis
Gyroscope
22 mm x 22 mm**



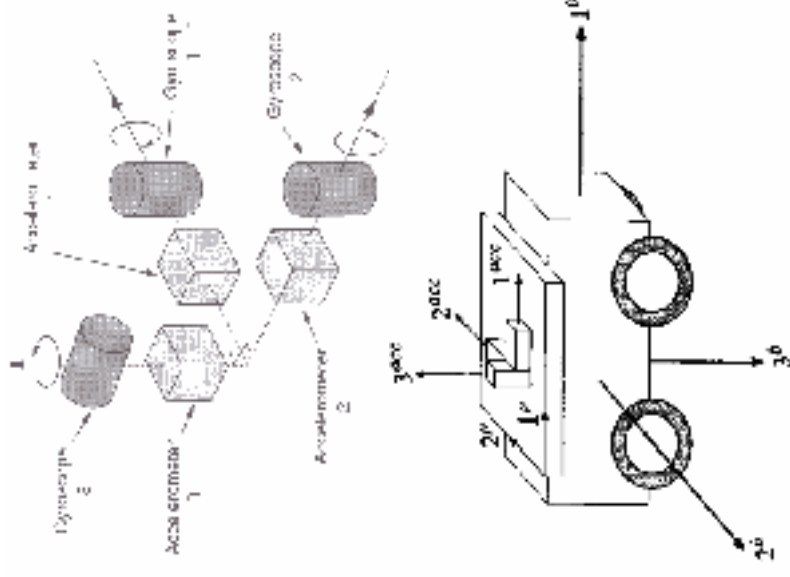
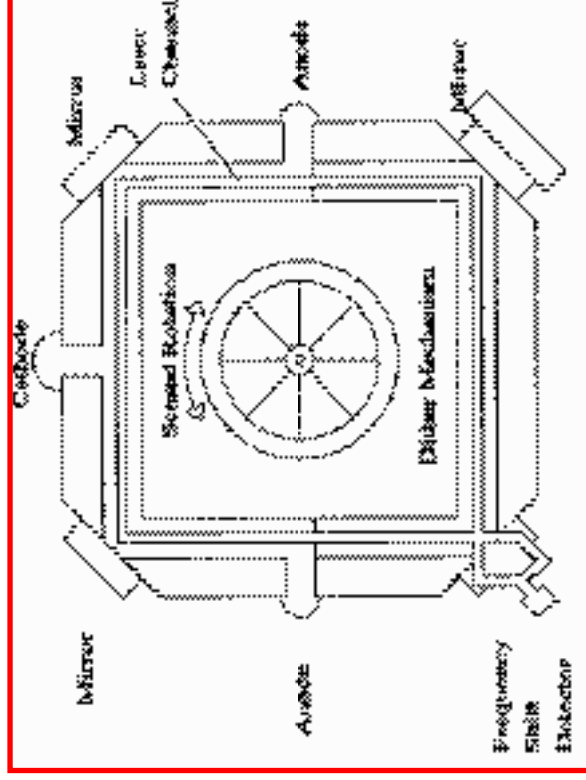
**MEMS
Accelerometer**



INS= Inertial-Navigations-Systeme

Gyroscope^{ns}
(Kreisel)

basierend
auf
SAGNAC Effekt



Drehraten der
Kreisel (Strap-Down)

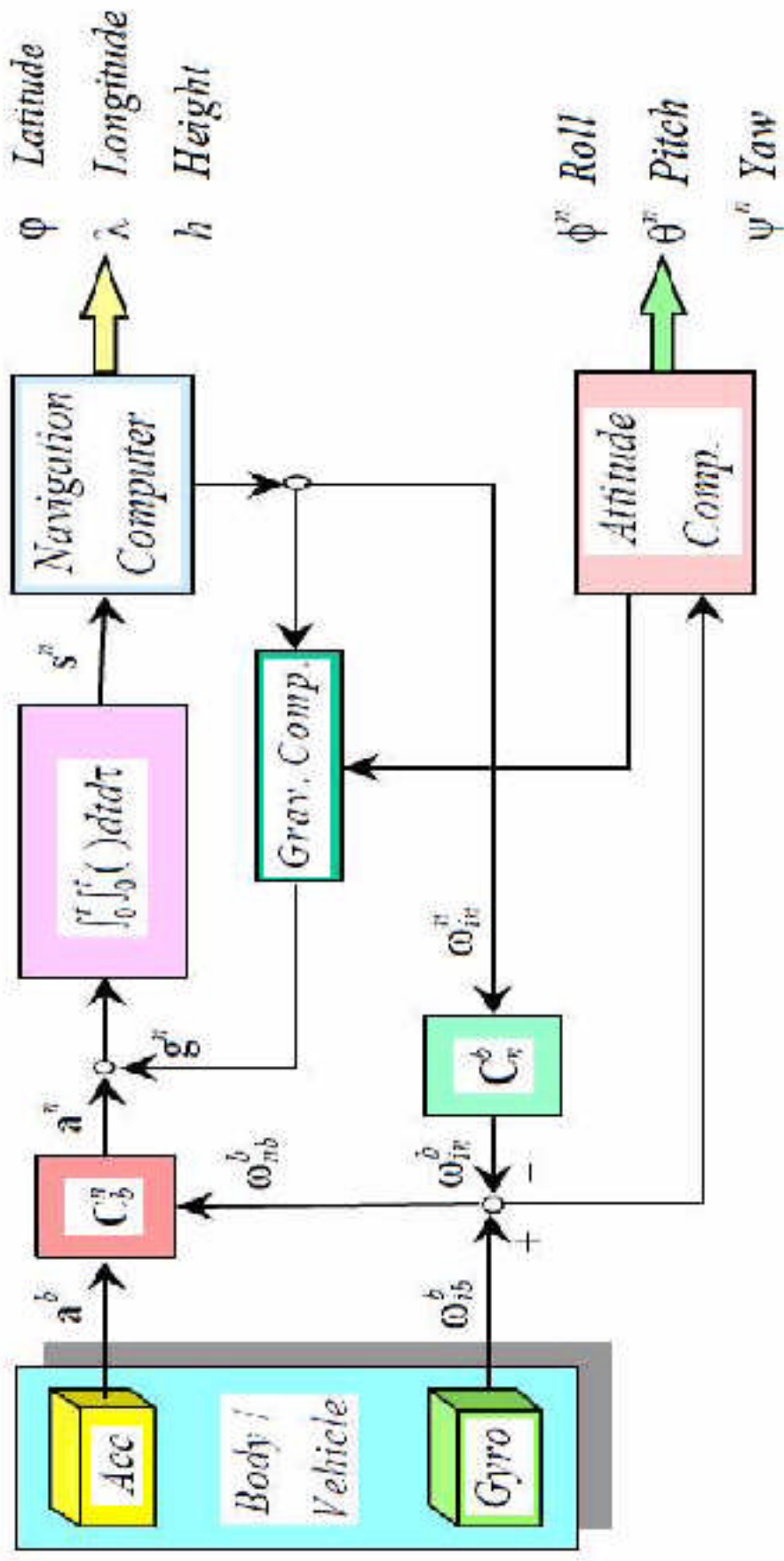
$$\omega_{ib}^p = \omega_{ip}^p \iff \omega_{nb}^b = \mathbf{R}_p^b \cdot \omega_{ip}^p - \mathbf{R}_n^b(\mathbf{I}) \cdot \omega_{in}^n$$

Numerische Integration
bzw. Kalmanfilter

$$\dot{\mathbf{R}}_b^n = \mathbf{R}_b^n \cdot \boldsymbol{\Omega}_{nb}^b$$

Bekannte Beziehungen aus
Astronomie, Physik, Satellitengeodäsie
und Mathematischer Geodäsie

INS= Inertial-Navigations-Systeme



INS= Inertial-Navigations-Systeme und GNSS/INS

INS-Navigationsgleichungen

Im Inertialsystem (Ausgangspunkt)



$$\dot{x}^i = a^i + g^i(x^i)$$

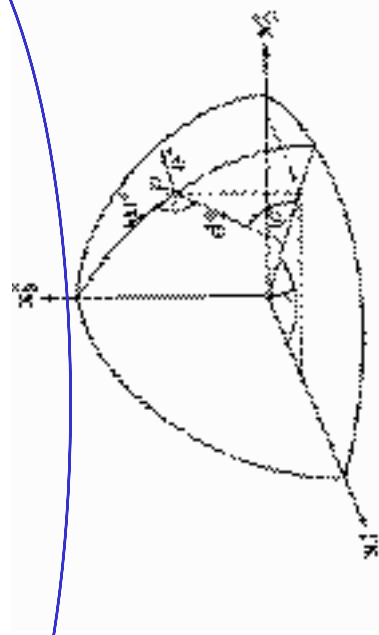


... nach Zwischenschritten => im lokalen topozentrischen System („n-Frame“)

$$\omega_{nb}^b = R_p^b \cdot \omega_{ip}^p - R_n^b(L) \cdot \omega_{in}^n$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_E + g_E + 2\omega_E \cdot \sin B \cdot v_E + \dot{B} \cdot v_D - \dot{L} \sin B \cdot v_E \\ a_N + g_N - 2 \cdot \omega_N \cdot \sin B \cdot v_E + \dot{B} \cdot v_D - \dot{L} \sin B \cdot v_E \\ a_D + g_D - 2\omega_D \cdot \cos B \cdot v_E + \dot{L} \sin B \cdot v_D + \dot{L} \cdot \sin B \cdot v_N + \dot{L} \cos B \cdot v_D \\ a_P + g_P - 2\omega_P \cdot \cos B \cdot v_E - \dot{L} \cos B \cdot v_E - \dot{B} \cdot v_N \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{B} \\ \dot{L} \\ \dot{b} \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} B \\ L \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{v_N}{M+h} \\ \frac{v_E}{(N+h) \cdot \cos B} \\ -v_D \end{bmatrix}$$



Trend
„Tight
Coupling“



INS= Inertial-Navigations-Systeme und GNSS/INS



<http://www.u-blox.com>

MTI-G

The MTI-G is a small size and low weight micro inertial controller for control and navigation of unmanned systems and other objects.

The MTI-G is a MEMS based Inertia Measurement Unit (IMU) with integrated GPS and static pressure sensor. It delivers unprecedented performance for its size, weight, and low air drag. The MTI-G overcomes typical IMU and GPS challenges faced in e.g. aerospace and automotive applications.

The design of the MTI-G is flexible, providing a wide range of output rates and a wide range of sampling rates, to meet the requirements of the market for different applications.

The MTI-G has an onboard Attitude and Heading Reference System (AHRS) and Navigation processor. This low-power Digital Signal Processor runs the Kalman Filter, which is enhanced with a Filter-Lite algorithm for enhanced, low orientation data.

<http://www.xsens.com>



...

Neue Generation: „Software-Empfänger“

Bisheriger Stand: Geringes Genauigkeitspotenzial da nur „Loose-Coupling“.

Zukunft von FuE:

„Deep-Coupling“. Multi-GNSS, Multi-Antennen-Arrays (GNSS, INS, weitere MEMS-Navigationsplattformen mit Miniaturisierung + Mobile Navigationsplattformen mit voller Navigationslösung (B,L,H | v_N, v_E, v_D | r, p, y)

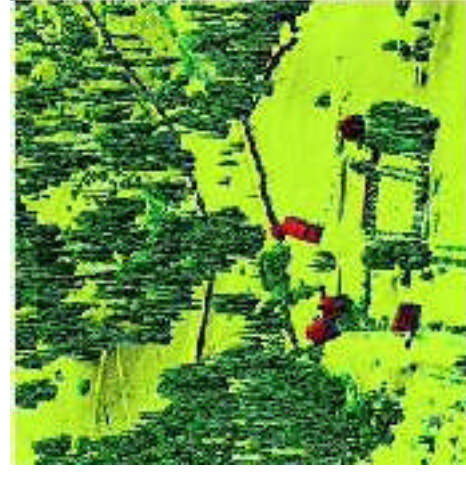
Sensor-Fusion GNSS, INS und ... Positionierte und Orientierte Messplattformen, autonome Drohnen



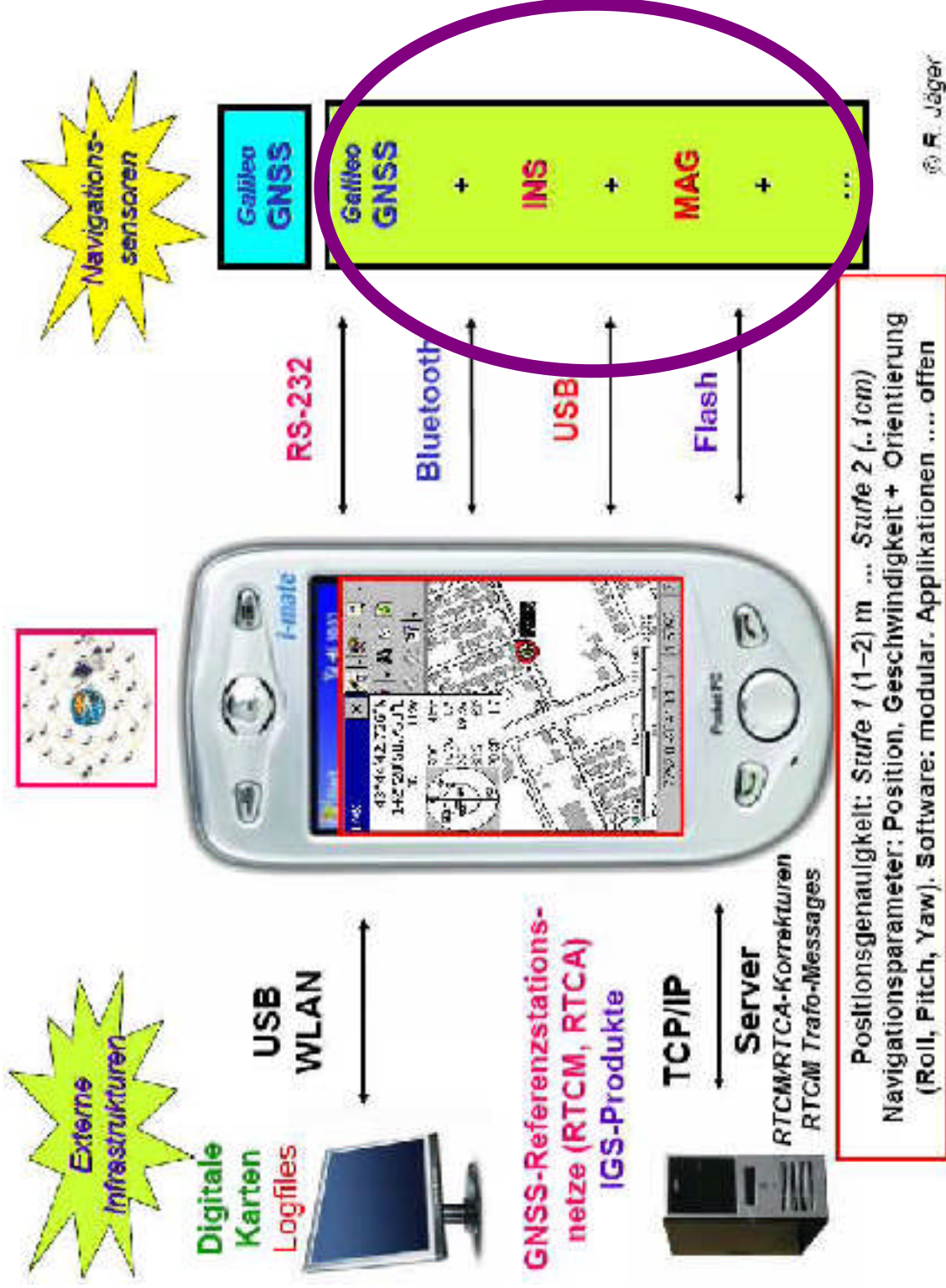
GNSS-
oder
GNSS/INS-
positionierte und
orientierte
Multisensor-
Plattformen
zur
Datenerfassung



GNSS/INS-Meßplattformen für
Terrestrisches Laserscanning



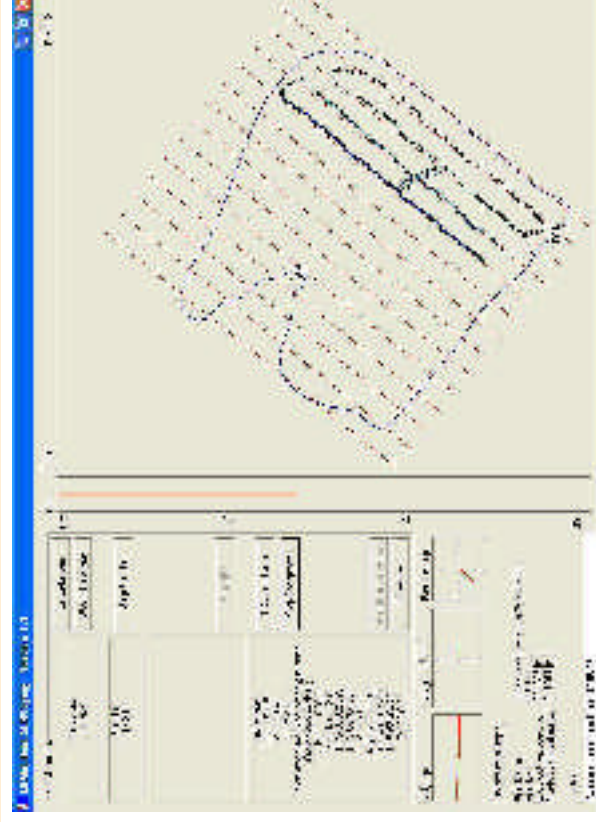
Lösungen – GNSS-Satellennavigation und Mobile IT



© R. Jäger

Sensor-Fusion GNSS, INS und ... Positionierte und Orientierte Messplattformen, autonome Drohnen

Autonome Flugdrohnen (links)



Autonome GNSS- bzw. GNSS/INS-
Bootsdrohne für Hydrologie-
Anwendungen (rechts, oben).
Echolot-basierte Gewässervermessung
(rechts, unten)

Sensor-Fusion GNSS, INS und ... Positionierte und Orientierte Messplattformen, autonome Drohnen

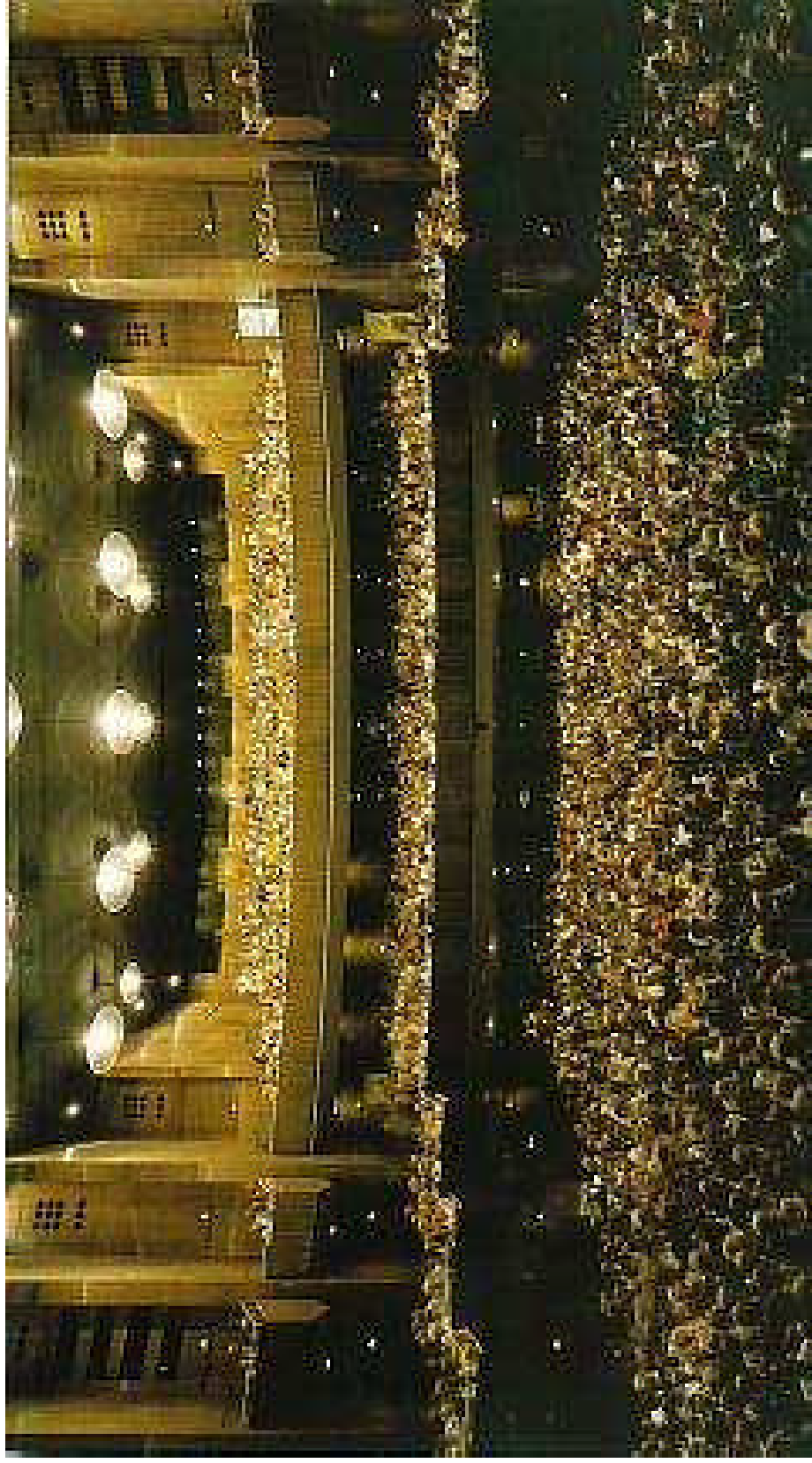
Technische Daten: **Bootsdrohne für Hydrographie**

- Dimensionen:
- Länge: 150cm
- Breite: 30cm
- Tiefgang: ca. 10cm
- Gewicht: ca. 15-20kg
- Energie:
- 12V, 60Ah LiFePo4 Zellen
- 6V, 5Ah NiMH
- -> ca. 4-5 Std. Laufzeit (berechnet)

• Gerätschaften an Bord:

- MicroController zur Steuerung
- Echolot
- W Lan DeviceServer
- Differenzielles GPS
- Inertialsystem





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

? Fragen ?