



Satellitengeodäsie - Koordinatensystem DB_REF - Anwendungen.

Martin Schmitz

Geo++[®] GmbH
30827 Garbsen Germany
www.geopp.com



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung

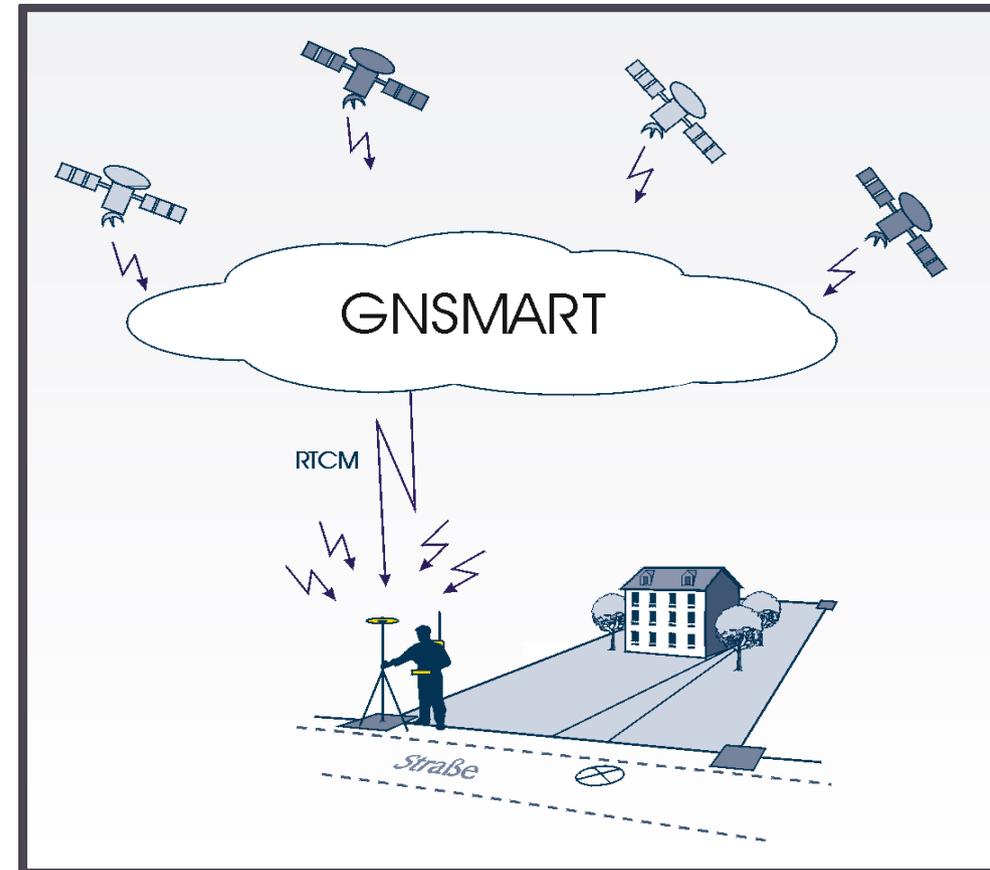


- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung

Satellitengeodäsie - Idealsystem



- **Empfang aller notwendigen** Referenz- und Korrektur-**Daten**
- flexible **Kommunikation** über unterschiedlichen Medien (uni- oder bi-direktional)
- Bestimmung **absolute Position**
- (besser) **1 cm Genauigkeit**
 - überall
 - jeder Zeit
 - statisch/kinematisch





- **satellitengestützte Vermessungstechniken**
 - weltweit GNSS verfügbar bzw. im Aufbau (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, SBAS)
 - mehr als 75+ GNSS Satelliten in Zukunft zu erwarten
 - Genauigkeitsbereiche: (mm) ... cm ... dm ... m
 - globales kartesisches Koordinatensystem
 - homogene Koordinaten
 - Anwendungen wachsen stetig
- **Probleme bei der Anwendung**
 - inhomogene Koordinatensysteme Grundlage bestehender Daten
 - koordinatenmäßig bekannte Punkte als Realisierung notwendig
 - bestehende oder eigene Referenzstationen/ GNSS-Dienste direkt nutzen
 - Bedingungen/Voraussetzungen abhängig von Anwendung



- **dreidimensionale Koordinatensysteme**
 - geozentrisch, d.h. Ursprung ist Masseschwerpunkt der Erde (praktisch im Bereich von wenigen cm)
 - Z-Achse parallel zur Erdrotationsachse (IERS Referenzpol)
 - X-Achse IERS Referenzmeridian
 - Y-Achse vervollständigt rechtshändiges Koordinatensystem
- **Warum?**
 - Satellitengeodäsie, ...
 - Genauigkeit, Konsistenz, Internationalität, global, ...
- **Beispiele**
 - WGS 84, ITRS/ITRF xx, ETRS/ETRF xx, ...
 - in Deutschland **ETRS 89**

IERS International Earth Rotation and Reference System Service
WGS World Geodetic System
ITRS International Terrestrial Reference System/Frame
ETRS European Terrestrial Reference System/Frame



- **Eigenschaften**
 - ein unveränderlicher Satz von Transformationsparameter (bei Vernachlässigung von Geodynamik)
 - ein Ellipsoid
 - eine Projektion/Abbildung
- **homogene Koordinatensysteme lassen sich**
 - ohne Genauigkeitsverlust
 - jederzeit
 - eineindeutig**ineinander transformieren**

Organisation



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung

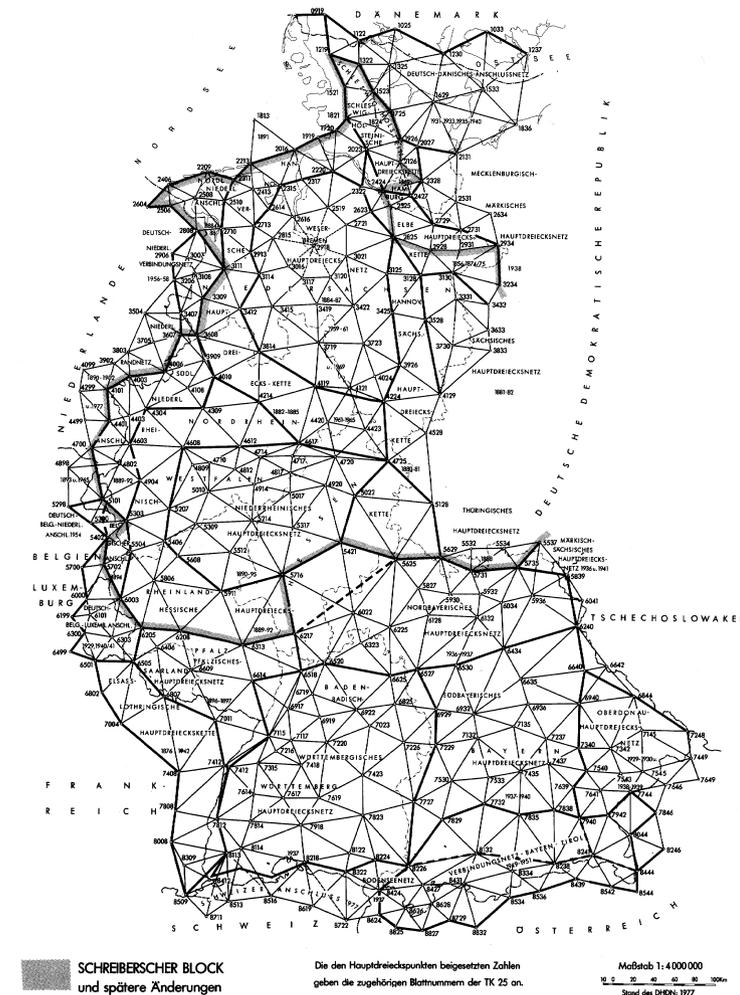


- bundesweite Anwendungen
- **ehemals**
 - Koordinierungen in amtlichen Koordinatensystemen
- **Ziel**
 - ein *einziges* homogenes Koordinatensystem deutschlandweit
 - ein *einziges* Höhensystem deutschlandweit
- **Aufgabe & Konsequenz**
 - ermögliche *homogene Transformation* (für alte und neue Daten)
 - ermögliche flächendeckende Nutzung *homogen koordinierter Referenzstationen und ggf. GNSS-Dienste*
 - ermögliche durchgreifende Nutzung moderner (satellitengestützter) Vermessungsmethoden

Amtliche Koordinatensysteme



- **historische Entwicklung in Deutschland**
 - unabhängige **2D und 1D Netze**
 - **frühere westdeutsche Länder:**
 - unterschiedliche Vermessungstechniken
 - unterschiedliche Berechnungsverfahren
 - Kombination individueller Netze zwischen 1870 und 1950
 - **frühere ostdeutsche Länder:**
 - vollständige Neuvermessung der Netze ab 1954



Deutsches Hauptdreiecksnetz DHDN (Augath, Kummer 1988)

Amtliche Koordinatensysteme



Unterschiede in

- Projektion
- Datum
- Höhensystem

Rauenberg Potsdam

DHDN STN 42/83 PD 83

RD 83 ETRF 89

Krassowski Bessel GRS 80

Gauß-Krüger Soldner UTM

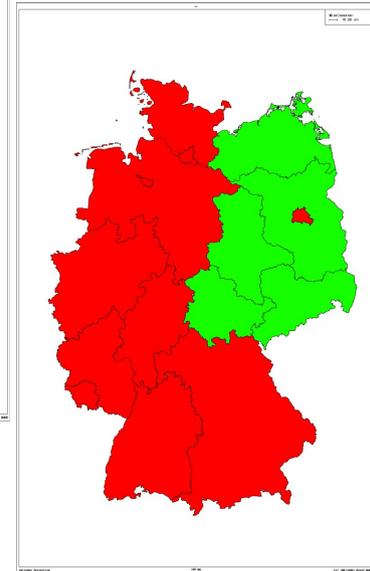
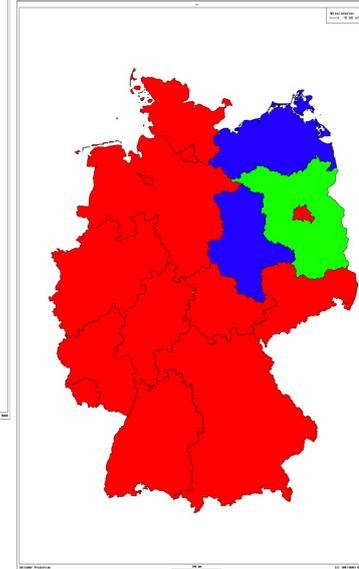
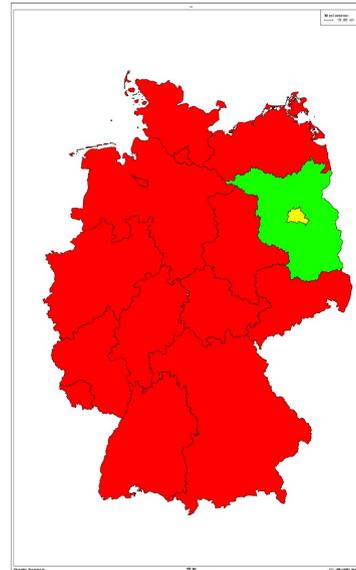
orthometrische Höhe Normalhöhen

Pegel Amsterdam Pegel Kronstadt

DHHN 12 DHHN 85 HN 76 DHHN 92

Lagestatus der Länder

- **Netzspannungen**
- zusätzliche **Diskontinuitäten**/Koordinatensprünge an Ländergrenzen





- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (**AdV**) **1991-1995**
 - Deutsche Wiedervereinigung und Europäische Integration erfordert ein einheitliches Referenzsystem
 - Referenzsystem identisch zum WGS 84:
European Terrestrial Reference System **ETRS 89**,
Realisierung durch ETRF 89
 - Universal Transversal Mercator Abbildung (**UTM**)
 - Ellipsoid **GRS 80** (Geodetic Reference System)
 - Normalhöhen des Deutschen Haupthöhennetzes (**DHHN 92**)
 - noch *nicht* in allen Bundesländern umgesetzt!



- **bundesweit**
 - **inhomogene Koordinaten** für Vermessungs- und kartographische Anwendungen, Geoinformation, etc.
 - **inhomogene, inkonsistente Datenbasis und Dokumentation**
 - inhomogene Systeme nicht angemessen für moderne (insbesondere satellitengestützte) Vermessungstechniken
 - **in Zukunft** Übergang auf **homogene Koordinaten** im ETRS 89
 - **Beispiel:**
Umsetzung und Realisierung der Richtlinienforderung ETRS 89 bei der DB Netz AG



- **Vorgaben**

- geringe Maßstabsänderungen für bestehende Daten
- geringe Koordinatenänderungen (bestehende Karten)
- gültiger Standard um Zusammenarbeit von Wirtschaft- und Verwaltung zu ermöglichen
- uneingeschränkte Unterstützung von satellitengestützten Vermessungstechniken

- **Realisierung**

- universell gültige, eindeutige Transformation
- komplettes Gebiet der Anwendungen abgedeckt durch koordinierte Referenzstationen
- ausreichende Genauigkeit für alle Anwendungen (gleistechnische Vermessung und Berechnung)



DB Netz AG - Maßstabsänderungen

- große Maßstabsänderungen ergeben **Probleme bei Trassenbehandlung** (Erhalt von Krümmungen etc.)
- Tabelle zeigt **Maßstabsfaktor** für unterschiedliche Koordinatentransformationen beginnend im amtlichen Bezugssystem (DHDN)

<i>Datum</i>	<i>Ellipsoid</i>	<i>Projektion</i>	<i>Maßstab [mm/km] für Abstand vom Zentralmeridian</i>		
			<i>0 km</i>	<i>50 km</i>	<i>100 km</i>
DHDN	BESSEL	GK	0	0	0
		UTM	-400	-400	-400
ETRS89	GRS80	GK	1	1	1
		UTM	-399	-399	-399
DB_REF	BESSEL	GK	±1 bis 10	±1 bis 10	±1 bis 10

DHDN Deutsches Hauptdreiecksnetz,
Datum der westdeutschen Bundesländer



- **DB_REF als Konsequenz**
 - **horizontales Referenzsystem**
 - geodätisches Datum
 - **mittleres Datum** der amtlichen Systeme der früheren westdeutschen Länder, Thüringen und Sachsen (7P- Transformation)
 - Ellipsoid
 - **Bessel**
 - Projektion/Abbildung
 - **Gauß – Krüger**
 - **Höhenreferenzsystem**
 - Normalhöhenystem (**DHHN 92**)
 - **homogenes Koordinatensystem**



- 2001 **Definition** DB_REF
- 2004 **Einführung** ETRF 89 in der Realisierung DB_REF
- 2006 **in Handbuch Eisenbahnvermessung (88301) und Richtlinien (88501) verbindlich vorgeschrieben**

- beispielsweise

„Das Datum des geodätischen Bezugssystems der Deutschen Bahn AG für alle ... Anwendungen ist das ... DB_REF. ... (Es) stellt den Bezug zum Koordinatenrahmen (z. B. in Auskunftssystemen) für alle koordinatenbasierenden Mess-, Auswerte- und Analyseverfahren der Gleisvermessung her.“
(Ril 885.0020)

Organisation



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - **Geo++[®] GNTRANS**
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung



- Geo++[®] **GNTRANS Transformationmodell**
- bundesweites GNTRANS Modul
entwickelt für die DB Netz AG

- **3D Übergang/Transformation** zwischen
 - ETRS 89 Koordinaten
 - amtlichen Landeskoordinaten (Lage, Höhe)
 - homogene Koordinatensystem DB_REF



Grundlage für GNTRANS/Realisierung DB_REF

- **bundesweite Daten der Landesvermessungen**
(Stand 2001)
- **horizontale Referenzsystem**
 - abgeleitet aus ~ 1200 identischen 3D Punkten
- **Höhenreferenzsystem**
 - offizielles Höhensystem (zukünftig bundesweit)
 - abgeleitet aus ~ 340 identischen 1D Punkten
- **Geoid EGG97** (European Gravimetric Geoid 1997)
- **regional (D), homogenes Referenzsystem**



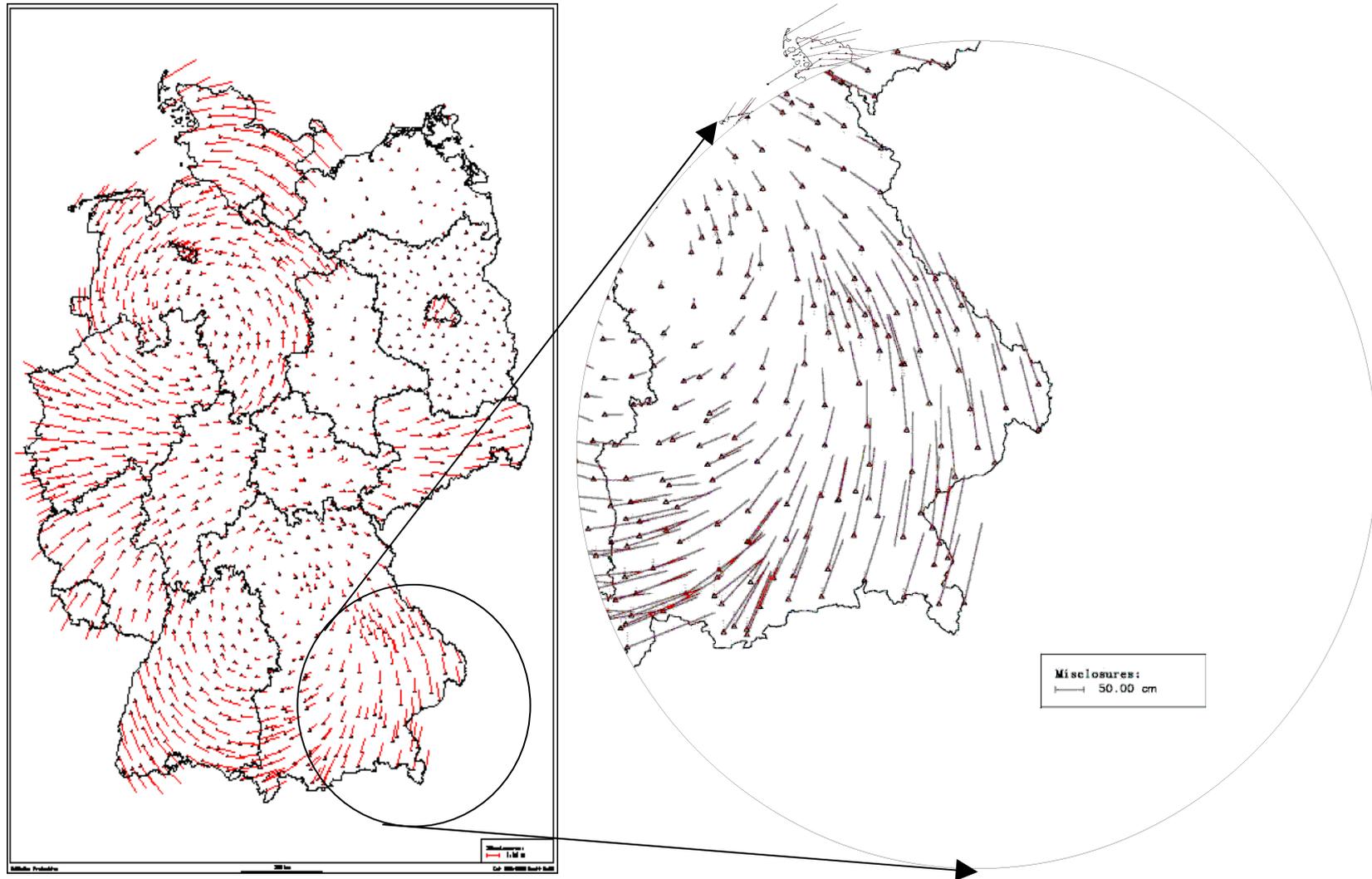
- **mehrstufige Transformation**
- anwendbare Stufen
 - **7P- Transformation**
 - **stetige funktionale Transformation**
 - mathematischer funktionaler Ansatz um verbleibende Residuen zu beschreiben; ausgleichende Flächensplines
 - **stochastischer Anteil**
 - stochastische Prädiktion verbleibende Diskrepanzen unter Berücksichtigung topologischer Nachbarschaften (Dekorrelation entlang Topologie von linienhafter Diskontinuitäten)

GNTRANS – Modell Eigenschaften

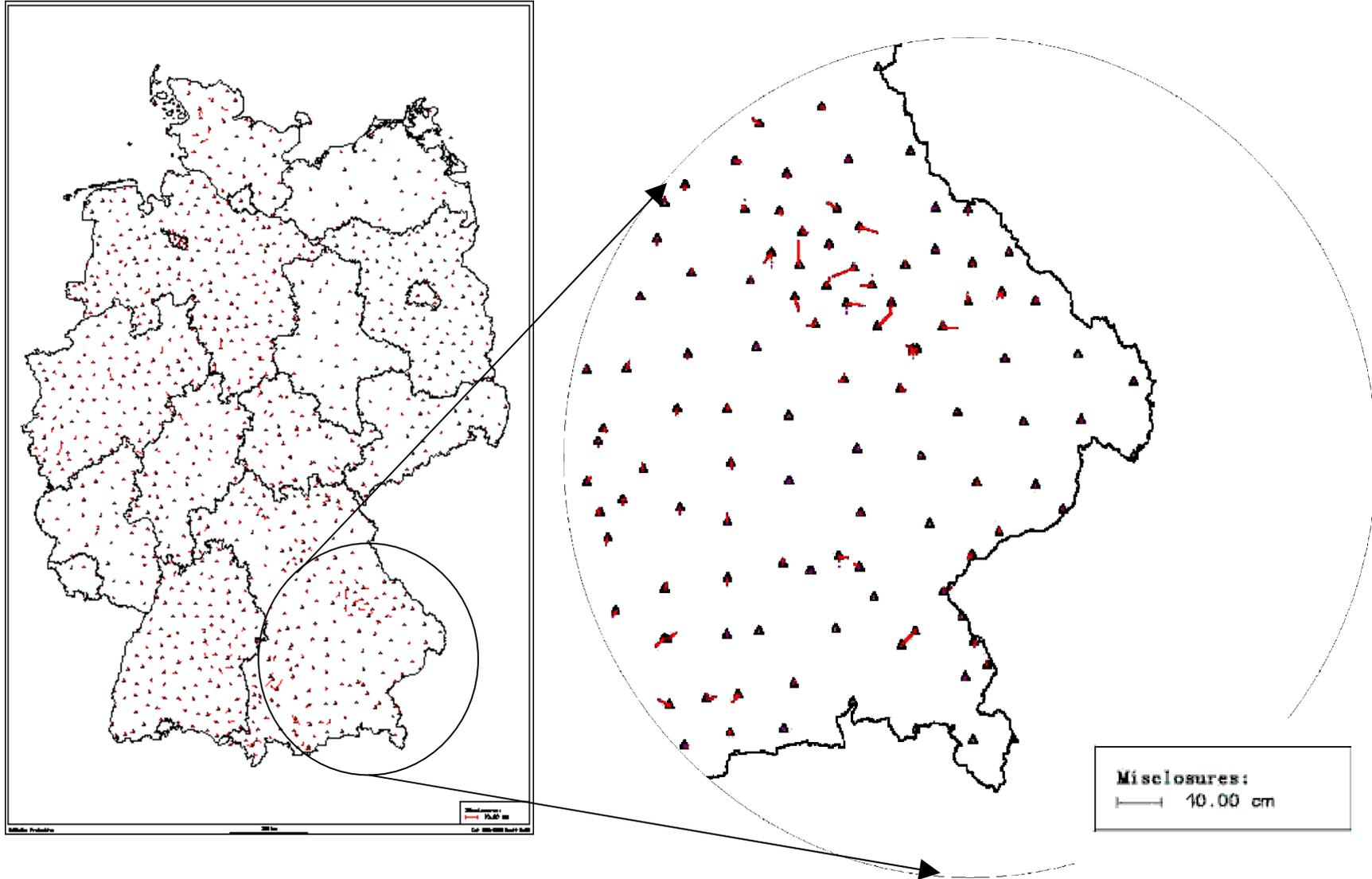


- **Eigenschaften** des Transformationsmodells
 - Nachbarschaftstreue
 - Einheitlichkeit/Standardisierung
 - Homogenität
 - Stetigkeit
 - Berücksichtigung von Diskontinuitäten
 - Eineindeutigkeit

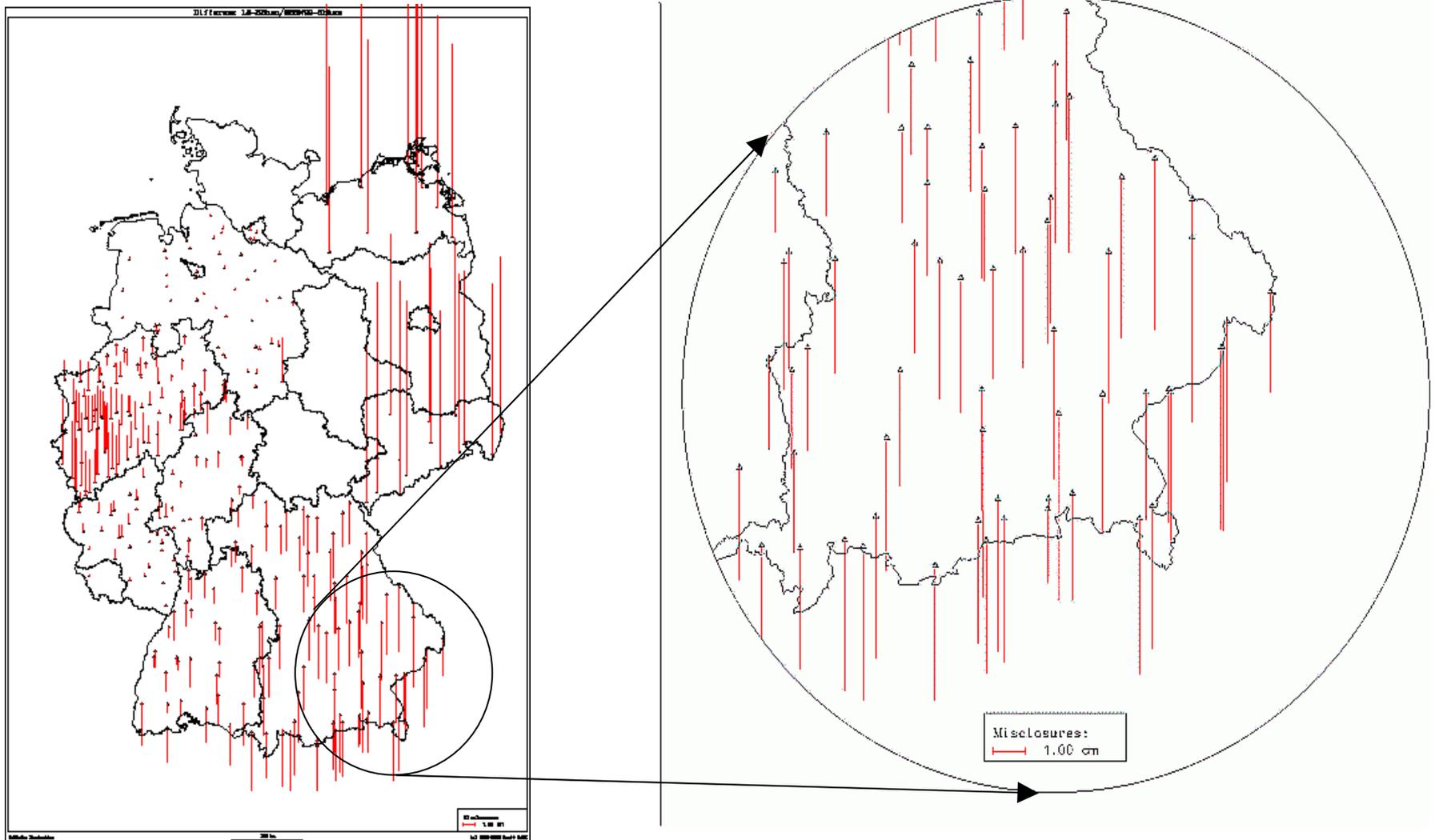
GNTRANS – Horizontale Residuen nach 7P-Transformation



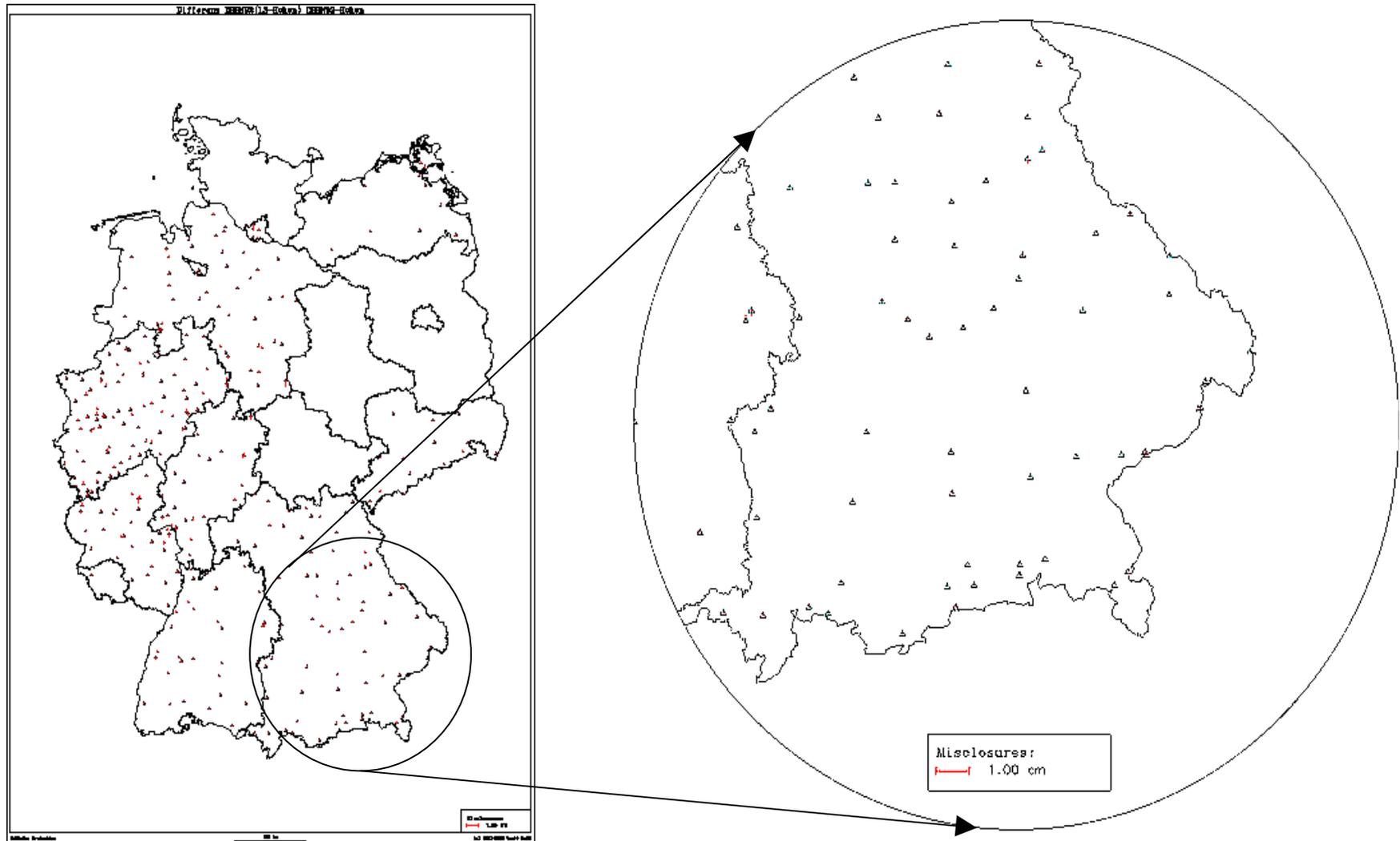
GNTRANS – Horizontale Residuen nach mehrstufiger Transformation



GNTRANS – Höhendifferenzen Amtliche Systeme/DHHN 92



GNTRANS – Höhenresiduen nach vollständiger Transformation



GNTRANS – Genauigkeit bundesweites Modul



- innere Genauigkeit
(formelle Genauigkeit der Ausgleichung)

<i>Bereich</i>	<i>sx [m]</i>	<i>sy [m]</i>	<i>sz [m]</i>
DHDN	0.010	0.010	0.010
STN	0.001	0.002	0.001
BRAN	0.000	0.000	<0.010

- äußere Genauigkeit
(sequentielle Elimination eines Stützpunktes und Transformation genau dieses Punktes; pessimistische Abschätzung aufgrund Ausdünnung)

<i>Bereich</i>	<i>sx [m]</i>	<i>sy [m]</i>	<i>sz [m]</i>
DHDN	0.047	0.046	0.027
STN	0.007	0.013	0.006
BRAN	0.000	0.000	0.010

DHDN Datum der früheren westdeutschen Länder
STN Datum der früheren ostdeutschen Länder
BRAN Datum des Landes Brandenburg



- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung

DB_REF Netz



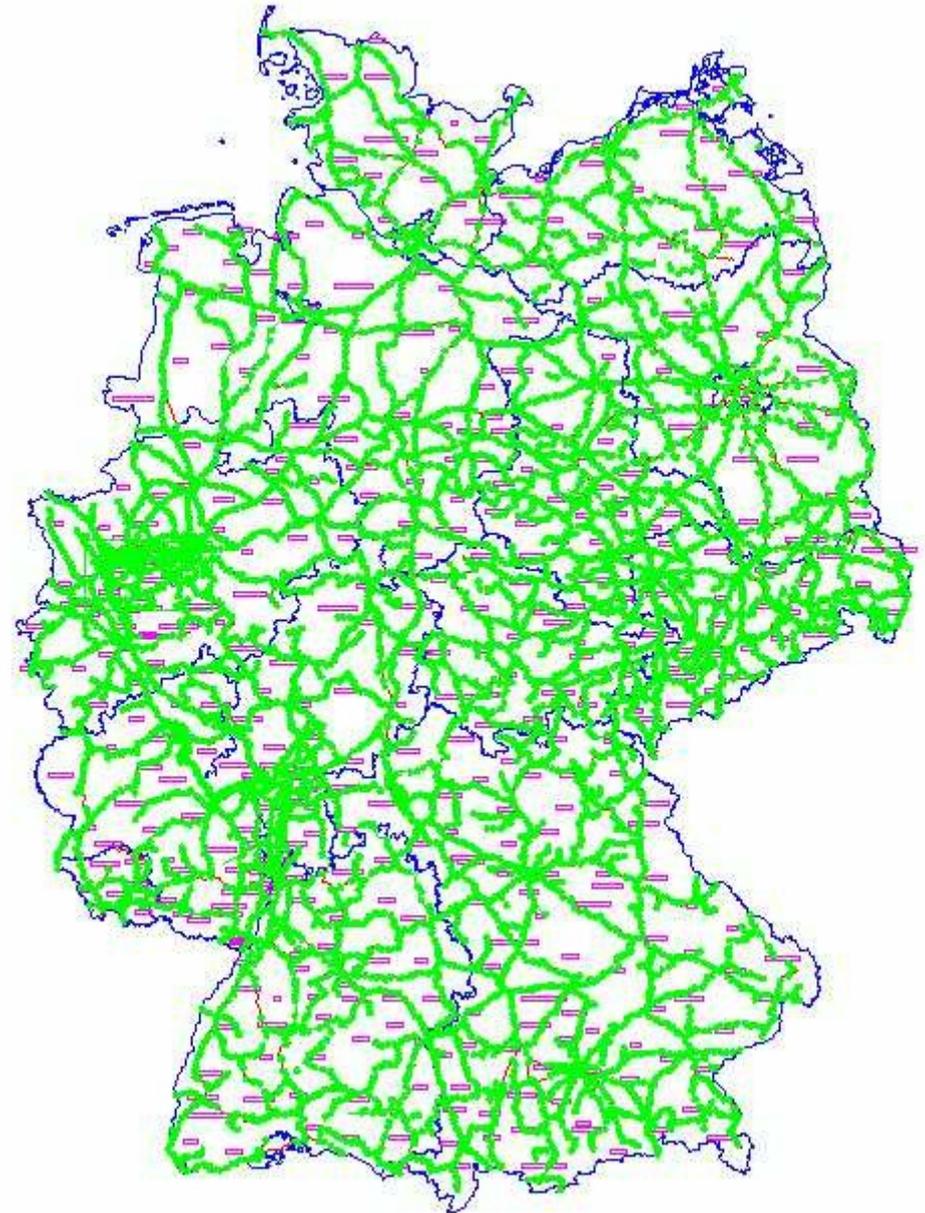
- Erzeugung eines **trassennahen Referenznetzes**
- **Grundlage** des DB_REF für sukzessiven Einsatz **satellitengestützter Messverfahren**
- Anforderungen Örtlichkeit
 - **4 km Raster**
 - standpunktsicher
 - nicht zwingend an der Trasse (**trassennah**)
 - in der Regel auf Brückenbauwerken
 - **geeignet** als **GNSS** Referenzstation
 - geeignet für Datenkommunikation



DB_REF Netz - GPS-Beobachtungen



- Projektbeginn 2000
- Messungen 2001 bis 2004
 - 7500 neue Stationen
 - 21000 Beobachtung auf Neupunkten
 - 8100 Sessionen
 - 17000 Datensätze von SAPOS-Stationen und C-Netzpunkten
- Punktabstand ca. 4 km
- Abdeckung **~98 % aller Eisenbahnstrecken**
- **Genauigkeit 3D** (2 Sigma)
 - absolut +/- 10 mm
 - relativ +/- 5 mm



DB_REF Netz – Auswertung



- durch/mit: Post-Prozessing Software Geo++
- vorab: Bestimmung homogener Koordinaten des **SAP**OS- und C-Netzes (nicht geplant)
- abschließend: Lagerung auf neue amtliche **SAP**OS-Koordinaten
- Analyse: Sessions- und Netz-Ausgleichung in fünf Blöcken (Lose); Grundlage für Nachmessungen (Datenqualität, Messfehler)
- Netz: bundesweite, mehrstufige, strenge 3D Netzausgleichung mit vollständiger Varianz-Kovarianzmatrix
- **Ergebnis:** **homogene ETRF 89 Koordindaten der 7500 Neupunkte;**
Transformation ins DB_REF mit GNTRANS

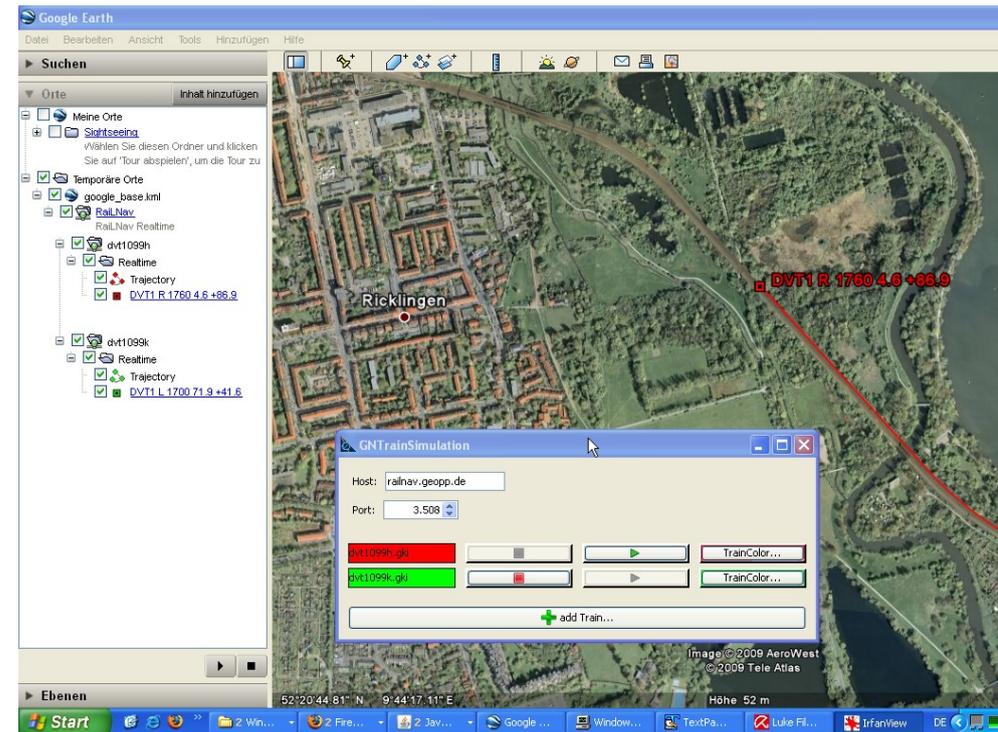


- Satellitengeodäsie
 - Moderne Koordinatensysteme
- Koordinatensystem DB_REF
 - DB Netz AG Situation, Anforderungen, ...
 - Amtliche Koordinaten
 - Definition DB_REF
- Anwendungen
 - Geo++[®] GNTRANS
 - DB_REF Netz
 - Geo++[®] RaiLNav Server
- Zusammenfassung

RaiLNav Server



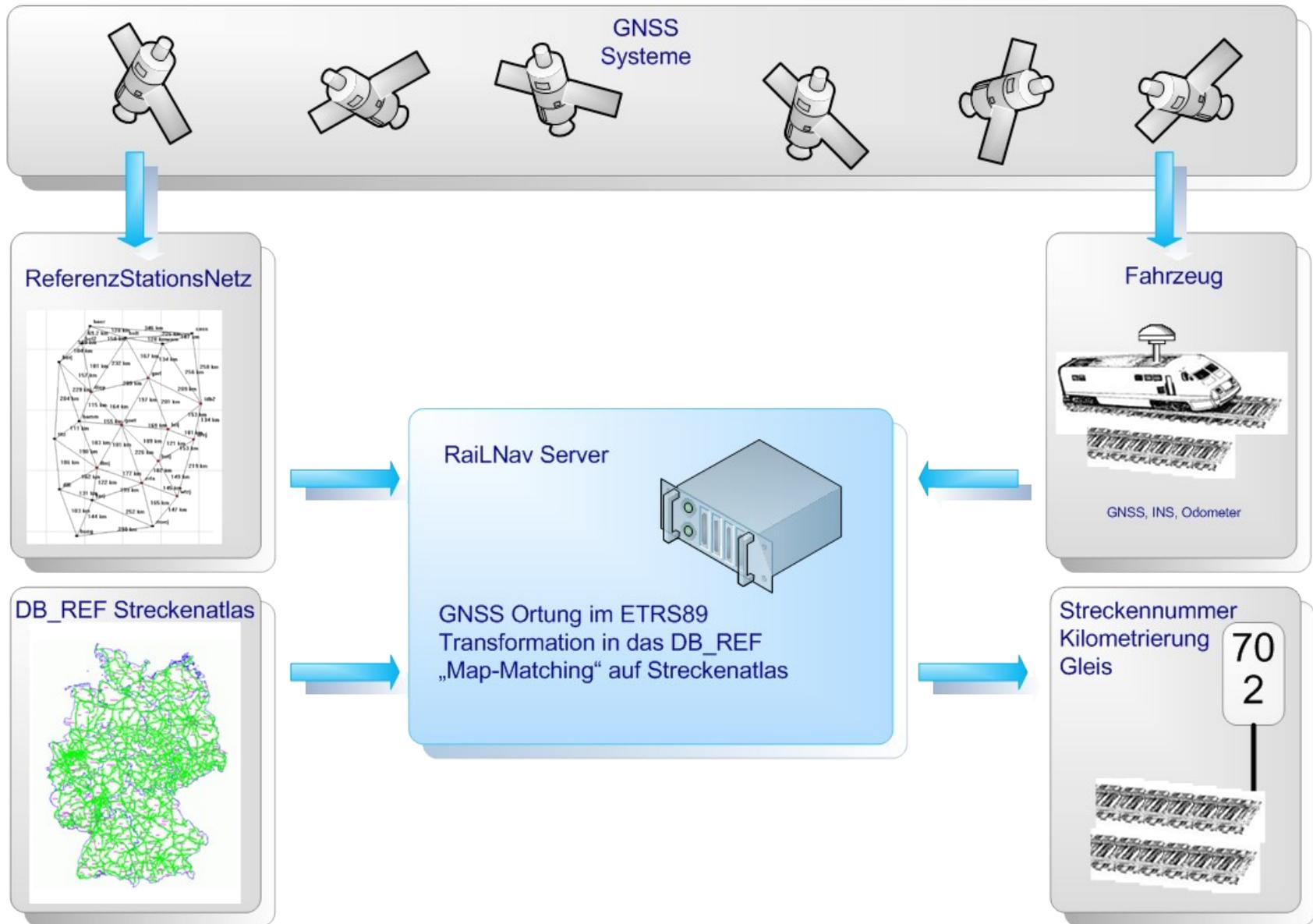
- **GNSS Verortung** von Messfahrzeugen der DB Netz AG
- Internet basierter Server
- **Transformation in Strecke und Kilometrierung**
- zeitnahe, bundesweite, kombinierte und automatisierte Auswertung
 - von GNSS Daten
 - stützenden Inertialdaten und fahrzeugeigenen Sensordaten
 - abschließenden Verschneiden mit bestehenden Gleisnetzdaten (Streckenatlas)
- **synchronisierte Erfassung (IRIG)** gleisbezogene Daten für **durchgeführte Messapplikationen**





- **Anforderungen**
 - lückenlose Ortung
 - Taktrate: > 5 Hz
 - Genauigkeit: +/- 1 dm ... +/- 1 m
 - Ortsangabe als
 - Strecken-Nummer,
 - Richtungskennziffer
 - Strecken-Kilometer
 - automatisierter Auswerteprozess
- **Konsequenzen**
 - Ortungssensoren: **DGNSS + INS** (Gyro, **Odometer**)
 - DGNSS: **Referenzstationsnetz**
 - „**Map-Matching**“ mit **Streckenatlas** in homogenen Koordinatenbezugssystem (**DB_REF**)
 - **zentrale Auswertung** auf RaiLNav-Server

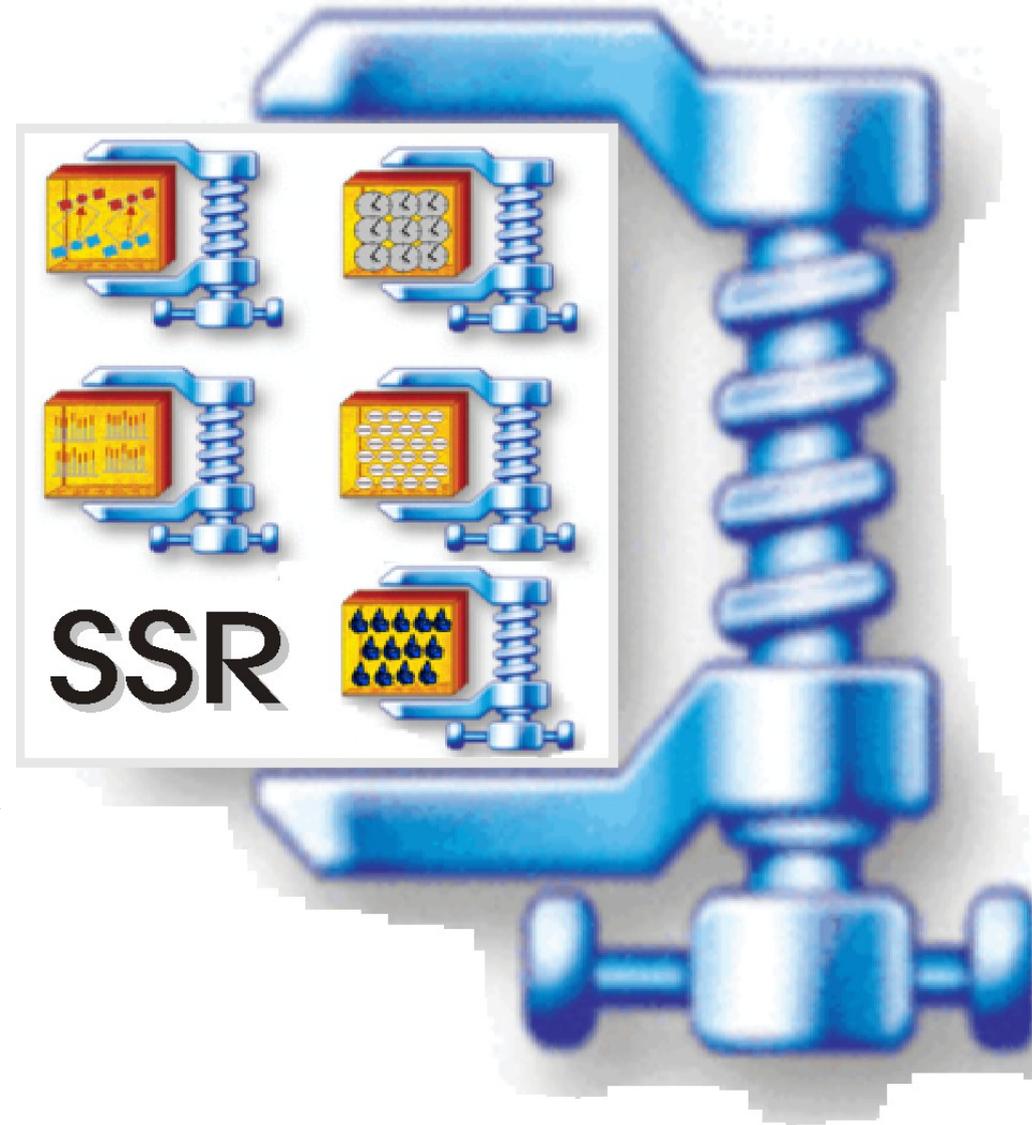
RaiLNav Grundprinzip



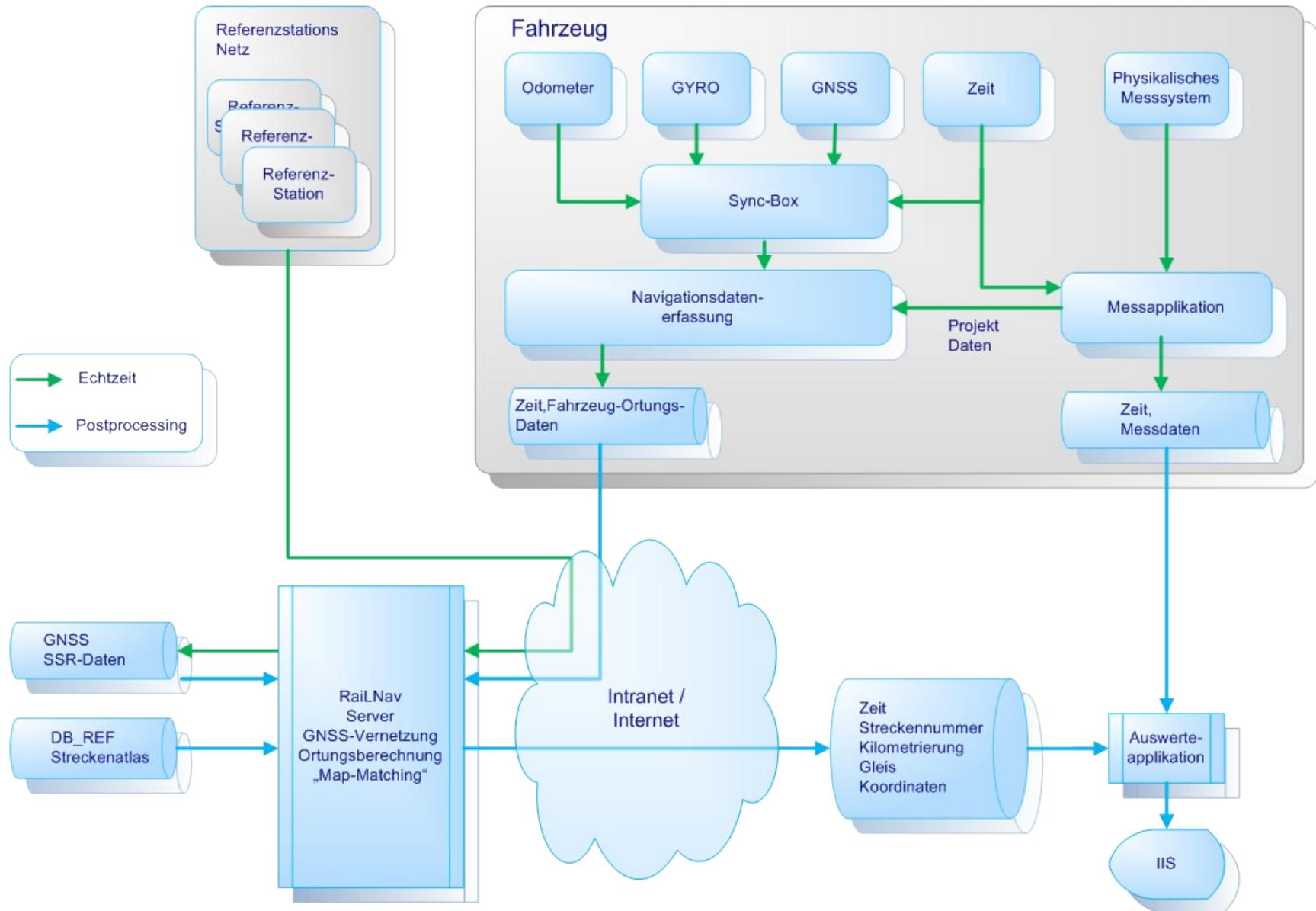
SSR-Konzept



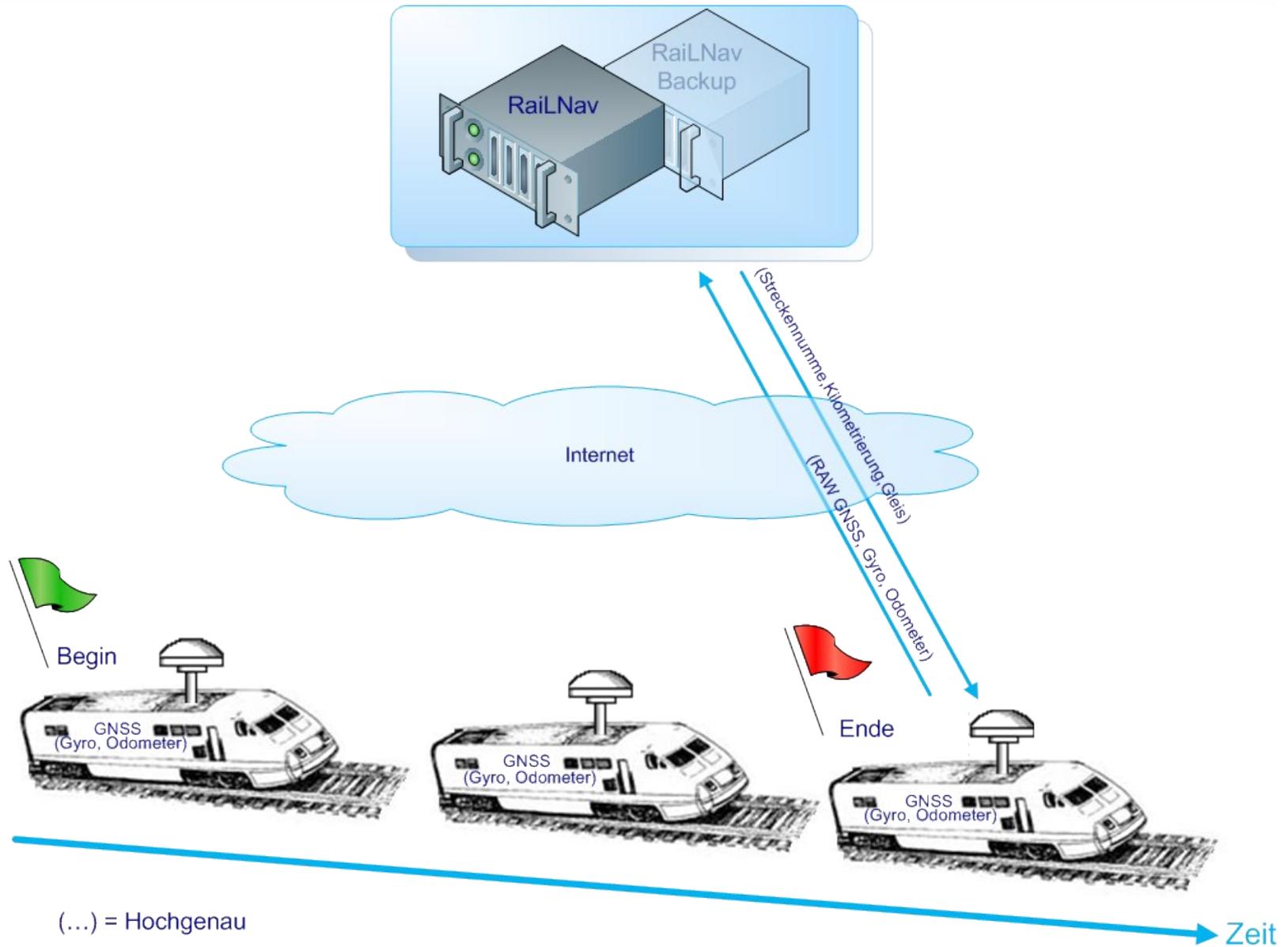
- **State Space Representation**
- **Beschreibung des GNSS Zustands :**
 - Satellitenbahnfehler
 - Satellitenuhrfehler
 - Satellitenabhängige Signalausbreitungseinflüsse (Biases)
 - Atmosphäre
 - ...
- **Positionsbestimmung im PPP-RTK Modus**
 - unabhängig von Referenzstationen
 - homogen im gesamten Gebiet
 - Echtzeit und Post-Prozessing



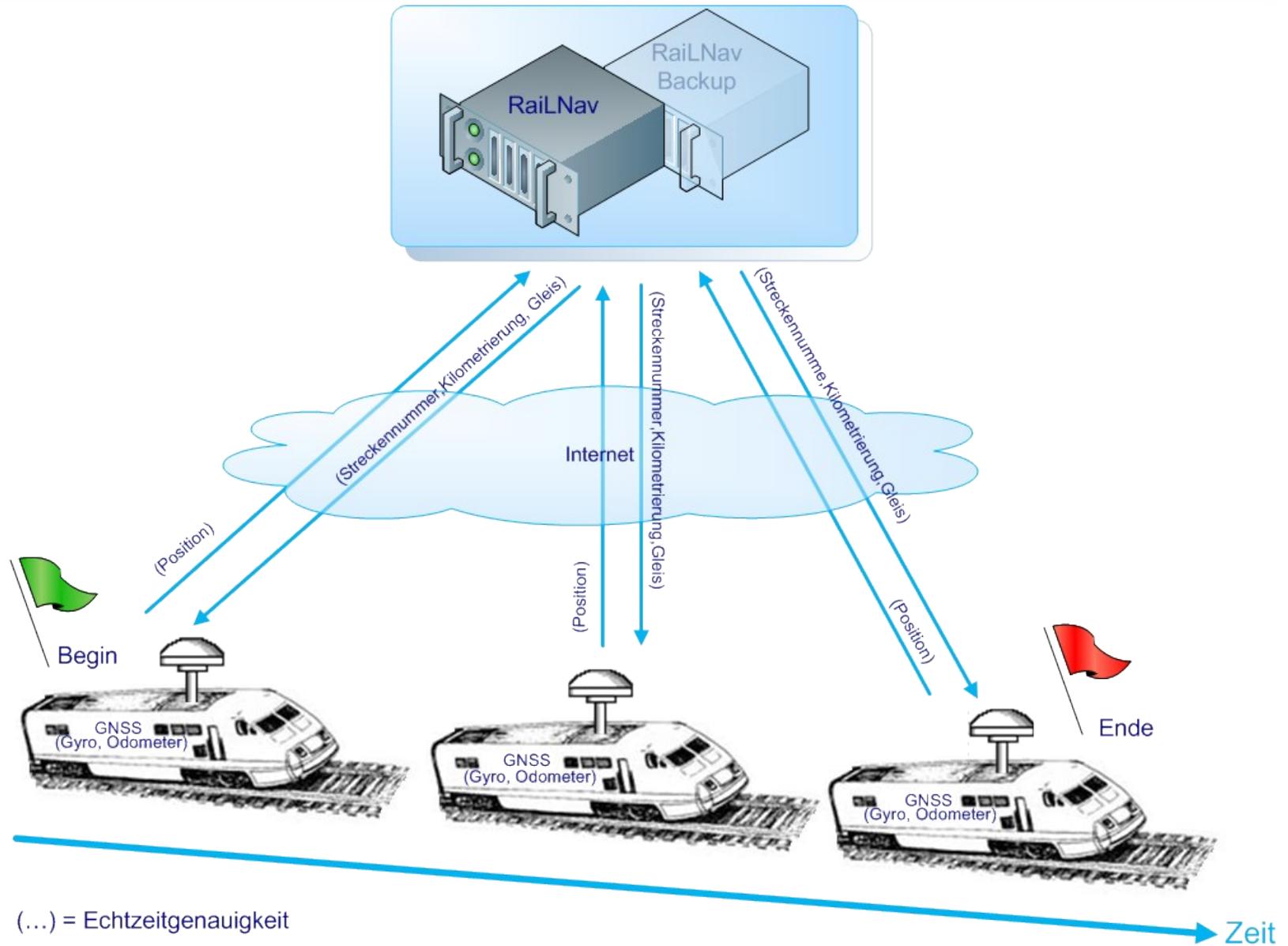
Blockschaltbild Ortung



RaiLNav „Postprocessing“ Prinzip



RaiLNav „Near Real-Time“ Prinzip



Visualisierung Post-Prozessing mit Google Earth



Google Earth
Datei Bearbeiten Ansicht Tools Hinzufügen Hilfe

Suchen

Orte Inhalt hinzufügen

- Meine Orte
- Sightseeing
Wählen Sie diesen Ordner und klicken Sie auf 'Tour abspielen', um die Tour zu
- Temporäre Orte
- google_base.kml
- RailNav
RailNav Realtime
- dvt1099h
Realtime
 - Trajectory
 - DVT1 R 1760 4.6 +86.9
- dvt1099k
Realtime
 - Trajectory
 - DVT1 L 1700 71.9 +41.6

Ricklingen

DVT1 R 1760 4.6 +86.9

GNTTrainSimulation

Host: railnav.geopp.de

Port: 3.508

dvt1099h.gki [Color Picker] [Play] TrainColor...

dvt1099k.gki [Color Picker] [Play] TrainColor...

+ add Train...

Image © 2009 AeroWest
© 2009 Tele Atlas

Höhe 52 m

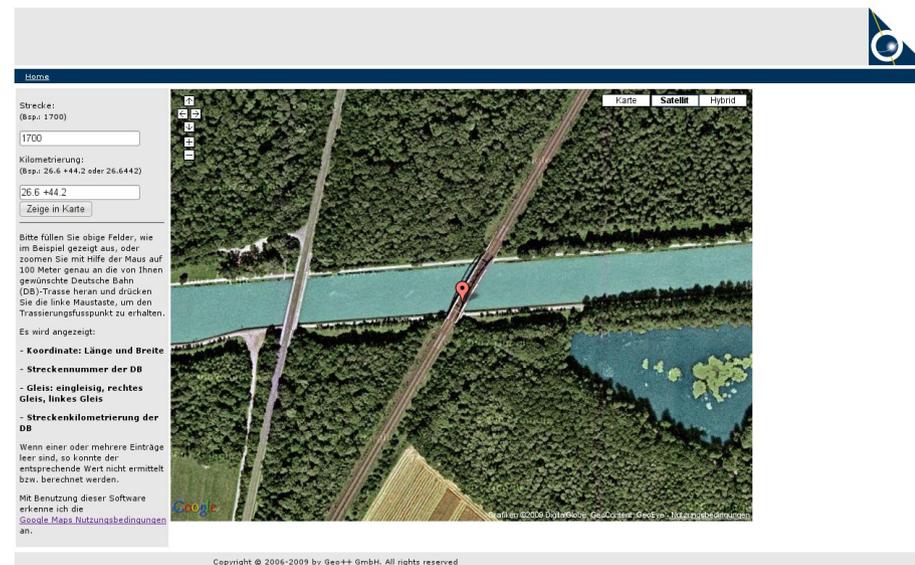
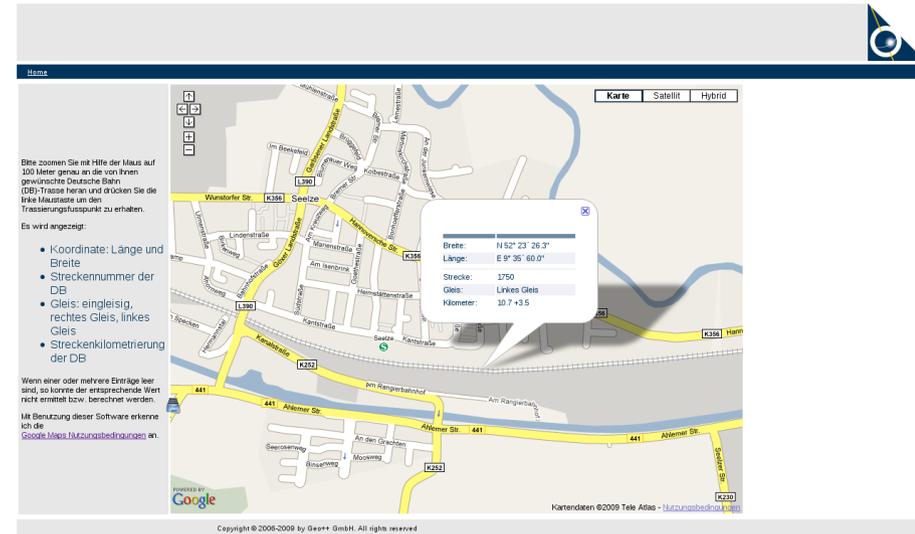
Sichthöhe 1.98 km

Start 2 Win... 2 Fire... 2 Jav... Google... Window... TextPa... Luke Fil... IrfanView DE 16:51

RaiLNav GoogleMaps Demo



- basierend auf **RaiLNav** und **Streckenatlas**
- **Umrechnung einer Mausklick Koordinate** in GoogleMaps in Strecke, Gleis und Kilometrierung
- **Zoomen zu eingegebene Gleisposition** vorgegeben als Strecke und Kilometrierung in GoogleMaps



RaiLNav GoogleMaps Demo ausdrücklich nur für Entwicklungs-, Vorführungs- und andere nicht kommerzielle Zwecke

„Map-Matching“ Echtzeit Simulation mit Google Maps



Home

Bitte zoomen Sie mit Hilfe der Maus auf 100 Meter genau an die von Ihnen gewünschte Deutsche Bahn (DB)-Trasse heran und drücken Sie die linke Maustaste um den Trassierungsfusspunkt zu erhalten.

Es wird angezeigt:

- Koordinate: Länge und Breite
- Streckennummer der DB
- Gleis: eingleisig, rechtes Gleis, linkes Gleis
- Streckenkilometrierung der DB

Wenn einer oder mehrere Einträge leer sind, so konnte der entsprechende Wert nicht ermittelt bzw. berechnet werden.

Mit Benutzung dieser Software erkenne ich die [Google Maps Nutzungsbedingungen](#) an.

Breite:	N 52° 23' 26.3"
Länge:	E 9° 35' 60.0"
Strecke:	1750
Gleis:	Linkes Gleis
Kilometer:	10.7 +3.5

Kartendaten ©2009 Tele Atlas - [Nutzungsbedingungen](#)

Copyright © 2006-2009 by Geo++ GmbH. All rights reserved

Inverses „Map-Matching“ mit Google Maps



Home

Strecke:
(Bsp.: 1700)

Kilometrierung:
(Bsp.: 26.6 +44.2 oder 26.6442)

Bitte füllen Sie obige Felder, wie im Beispiel gezeigt aus, oder zoomen Sie mit Hilfe der Maus auf 100 Meter genau an die von Ihnen gewünschte Deutsche Bahn (DB)-Trasse heran und drücken Sie die linke Maustaste, um den Trassierungsfusspunkt zu erhalten.

Es wird angezeigt:

- **Koordinate: Länge und Breite**
- **Strecknummer der DB**
- **Gleis: eingleisig, rechtes Gleis, linkes Gleis**
- **Streckenkilometrierung der DB**

Wenn einer oder mehrere Einträge leer sind, so konnte der entsprechende Wert nicht ermittelt bzw. berechnet werden.

Mit Benutzung dieser Software erkenne ich die [Google Maps Nutzungsbedingungen](#) an.

Grafiken ©2009 DigitalGlobe, GeoContent, GeoEye - Nutzungsbedingungen

Copyright © 2006-2009 by Geo++ GmbH. All rights reserved

RaiLNav Mobile



- verwendet Position eines **integrierten GNSS Empfängers**
- liefert mit Hilfe des RaiLNav-Servers **DB spezifische Format:**
 - Streckennummer,
 - Kilometrierung
 - und Gleis
- zusätzlich manuelle Eingabe einer Koordinate möglich



Zusammenfassung



- satellitengestützte Anwendungen fordern homogene Koordinatensysteme
- inhomogene Koordinatenvielfalt in Deutschland
- DB_REF ist homogenes Koordinatensystem und ETRS 89 Umsetzung der DB Netz AG
- Anwendungen des DB_REF
 - homogene Transformation mit GNTRANS
 - DB_REF Netz von trassennahen Referenzstationen
 - Verortung in Strecke/Kilometer/Gleis mit RailNav Server
- in Praxis bewehrtes und akzeptiertes System
- weitere Anwendungen basierend auf DB_REF in der Entwicklung