Umsetzung des DB_REF: Homogene Koordinatentransformation und Berechnung eines homogenen GPS-Referenznetzes*

Martin Schmitz, Gerhard Wübbena,
Mark Bachmann, Gerald Boettcher

Geo++® GmbH
D-30827 Garbsen, Germany
www.geopp.de

*) gegenüber präsentierter Version erweitert

© 2004 Geo++® GmbH

Organisation

- **DB AG – DB_REF System**
  - lokale Transformation/Nachbarschaftstreue Transformation
  - GNTRANS
    - Prinzip der Transformation
    - Transformation Modell
    - Genauigkeit
  - DB_REF Netz
    - Messanforderungen/Messanordnung
    - ETRS 89 Anschluss
    - Vorgehensweise Auswertung
  - Zusammenfassung

© 2004 Geo++® GmbH

Einführung

- **satellitengestützte Vermessungstechniken**
  - Anwendungen wachsen stetig
  - Genauigkeitsbereiche: (mm) ... cm ... dm ... m
  - globalen kartesischen Koordinatensystem
  - homogene Koordinaten
- **Probleme bei der Anwendung**
  - inhomogene Koordinatensysteme Grundlage bestehender Daten
  - koordinatenmäßig bekannte Punkte als Realisierung notwendig

© 2004 Geo++® GmbH

Moderne Koordinatensysteme

- **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, ...
- **z.B. WGS 84, ITRS xx, ETRS xx**

© 2004 Geo++® GmbH

DB AG - deutschlandweite Anwendungen!

- **bisher**
  - Koordinierungen in amtlichen Koordinatensystemen
- **Ziel**
  - ein *einziges* homogenes Koordinatensystem deutschlandweit
  - ein *einziges* Höhensystem deutschlandweit
- **Aufgabe & Konsequenz**
  - ermögliche durchgreifende Nutzung moderner (satellitengestützter) Vermessungsmethoden
  - ermögliche *homogene Transformation* (für alte und neue Daten)
  - ermögliche flächendeckender Nutzung , *homogen koordinierter Referenzstationenen*

© 2004 Geo++® GmbH

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 ab1954

© 2004 Geo++® GmbH

DB AG – Anforderungen

- **Definition**
  - 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, eineindeutigeTransformation
  - komplettes Gebiet der Anwendungen abgedeckt durch koordinierte Referenzstationen
  - ausreichende Genauigkeit für alle Anwendungen (gleistechnische Vermessung und Berechnung)

© 2004 Geo++® GmbH

Situation Amtliche Koordinatensysteme in Deutschland

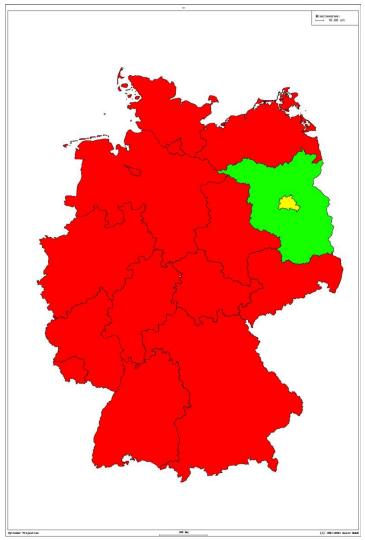
- **Vermessung in Deutschland ist Ländersache**
  - unterschiedliche geodätische Datum
  - unterschiedliche Systeme
  - unterschiedliche Ellipsoide
  - unterschiedliche Projektionen/Abbildungen
  - unterschiedliche Höhensysteme
- **Situation bundesweit**
  - inhomogene Koordinaten für Vermessungs- und kartographische Anwendungen
  - Netzspannungen
  - Diskontinuitäten/Koordinatensprünge an Ländergrenzen

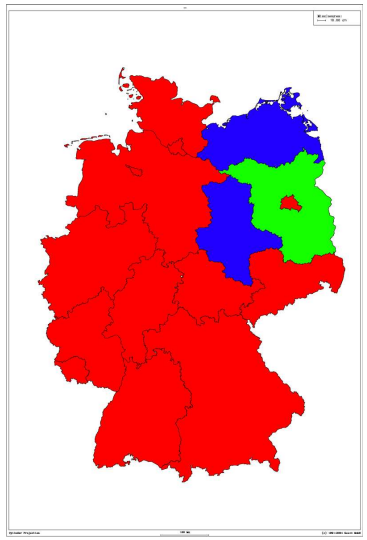
© 2004 Geo++® GmbH

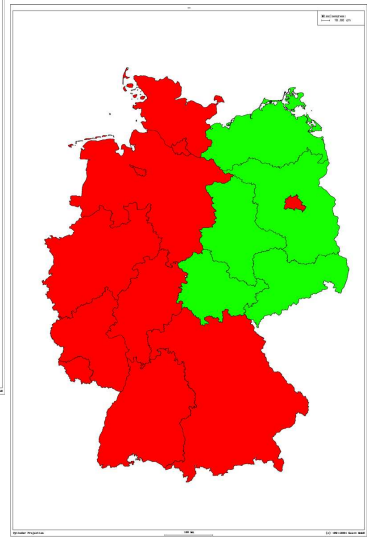
Situation Amtliche Koordinatensysteme in Deutschland

- Projektionen
- Datum
- Höhensysteme

  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







- zusätzliche Variationen durch Unterschiede bei den Landesvermessungen

© 2004 Geo++® GmbH

Amtliche Koordinatensysteme: Zukunft

- **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, Realisierung durch ETRF 89
  - Normalhöhen des Höhennetztes 1. Ordnung (DHHN 92)
  - Universale Transversale Mercator System (UTM)
  - Ellipsoid GRS 80

  - bislang *nicht* in allen Bundesländern umgesetzt!

© 2004 Geo++® GmbH

DB AG – Definition des DB_REF

- **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**
  - Normalhöhensystem (DHHN 92)

© 2004 Geo++® GmbH

Maßstabsfaktor – Relativ zu Amtlichen Systemen in Deutschland

- Maßstabsfaktor für unterschiedliche Koordinatentransformationen beginnend im amtlichen Koordinatensystem (DHDN)

Datum	***Ellipsoid***	***Projektion***	***Maßstab [mm/km] für Abstand vom Zentralmeridian***		
			0 km	***50 km***	***100 km***
DHDN(LS)	BESSEL	GK	0	0	0
		UTM	-400	-400	-400
ETRF89	GRS80	GK	1	1	1
		UTM	-399	-399	-399
DB_REF	BESSEL	GK	±1 bis 10	±1 bis 10	±1 bis 10

*) DHDN ist Datum der westdeutschen Bundesländer

© 2004 Geo++® GmbH

Homogene Referenzsysteme

- **Eigenschaften**
  - ein unveränderlicher Satz von Transformationsparameter
  - ein Ellipsoid
  - eine Projektion/Abbildung
- **homogene Referenzsysteme lassen sich**
  - ohne Genauigkeitsverlust
  - jederzeit
  - eineindeutig

  ineinander transformieren

© 2004 Geo++® GmbH

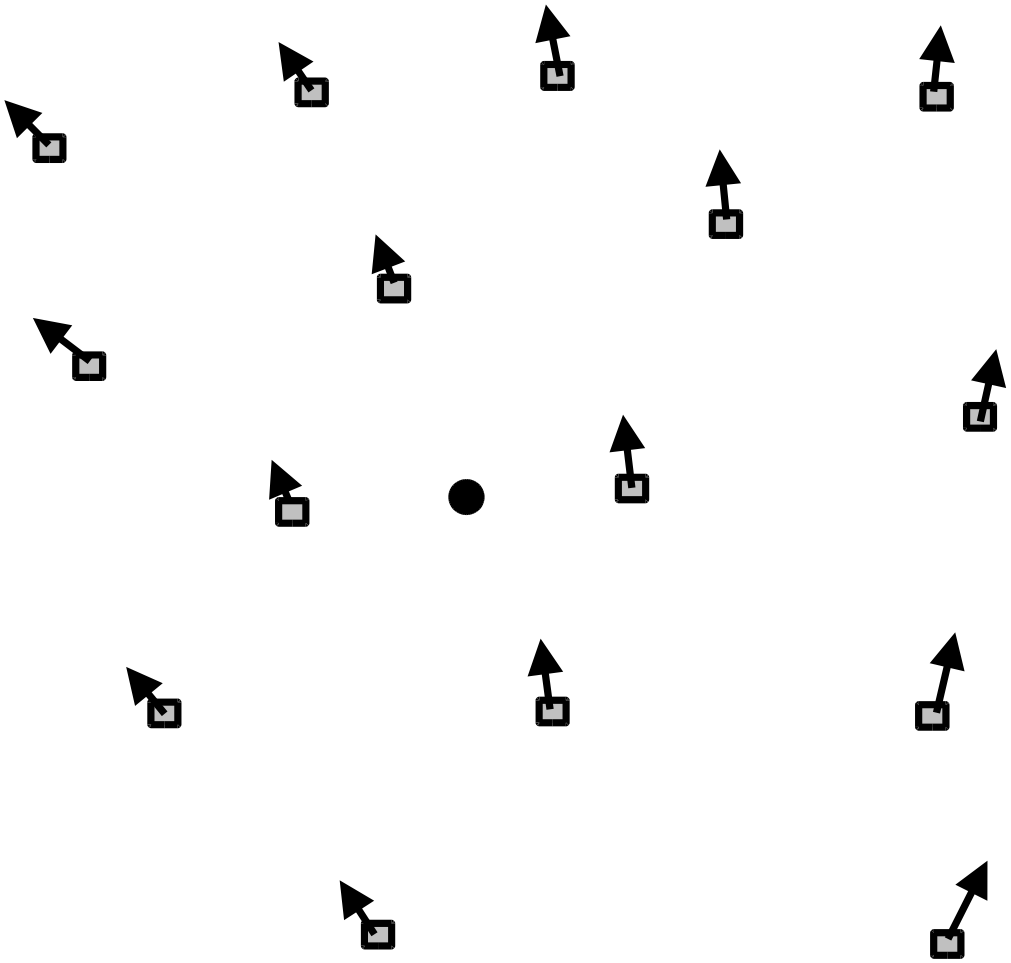
Lokale Transformation/ Nachbarschaftstreue Transformation

Transformation von Koordinaten

- **Problem: lokale/gebietsweiser Transformation**
  - individuelle Sätze von identischen Punkten
  - individuelle Sätze von Transformationsparametern
  - Netzspannungen
- **Lösung: nachbarschaftstreue Transformation**
  - Vorbedingung für generelles Transformationmodul

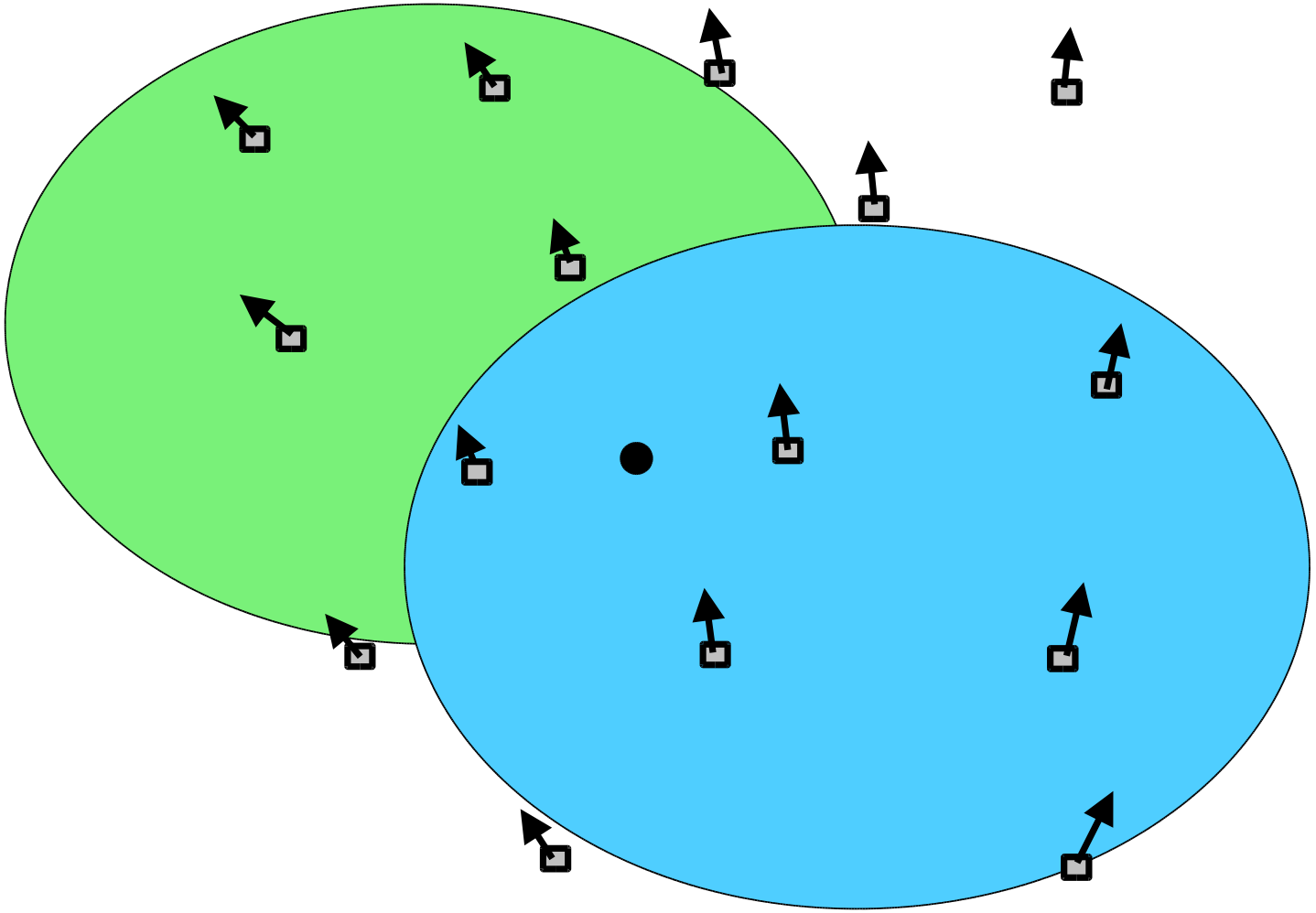
© 2004 Geo++® GmbH

Lokale Transformation



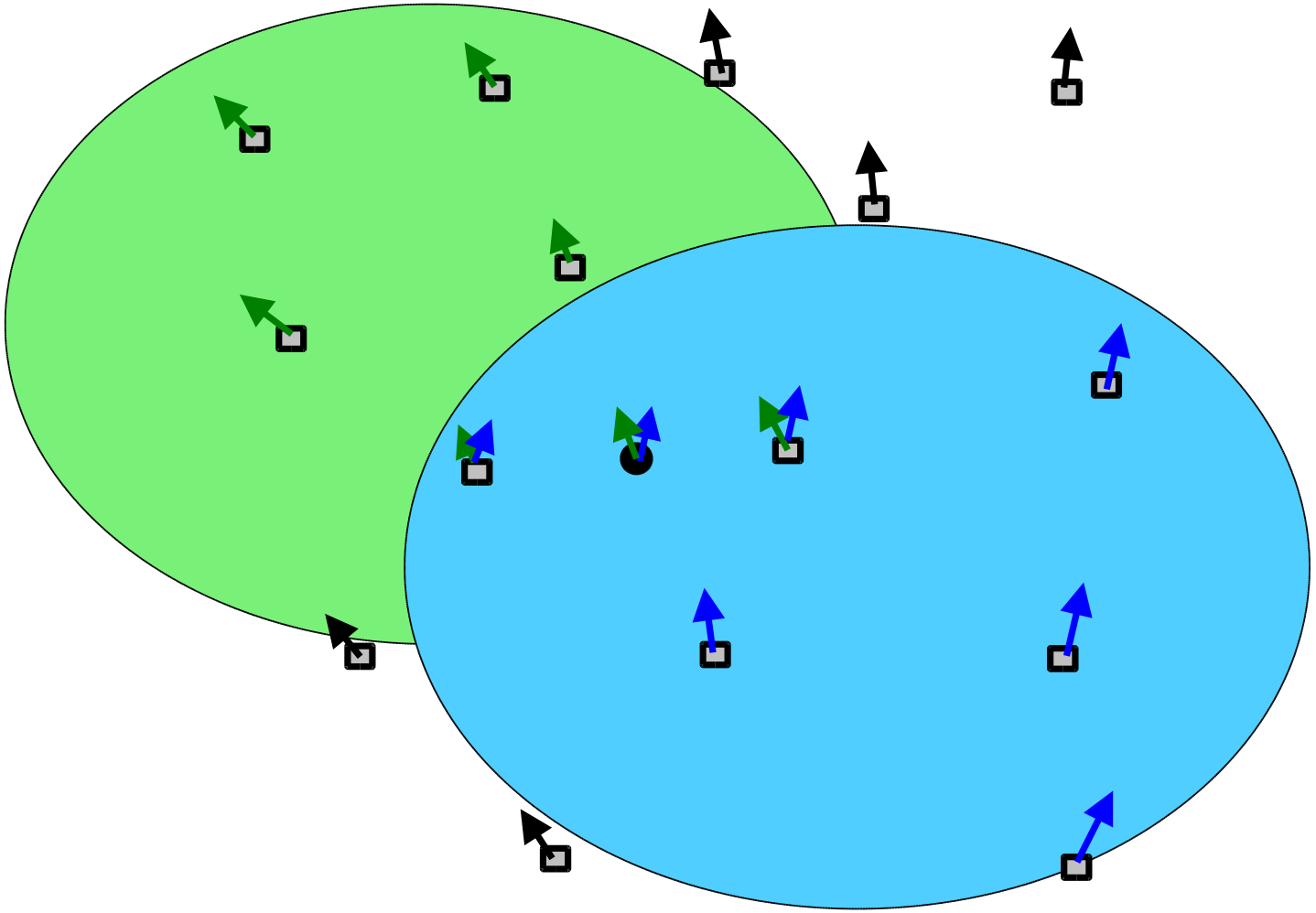
© 2004 Geo++® GmbH

Lokale Transformation



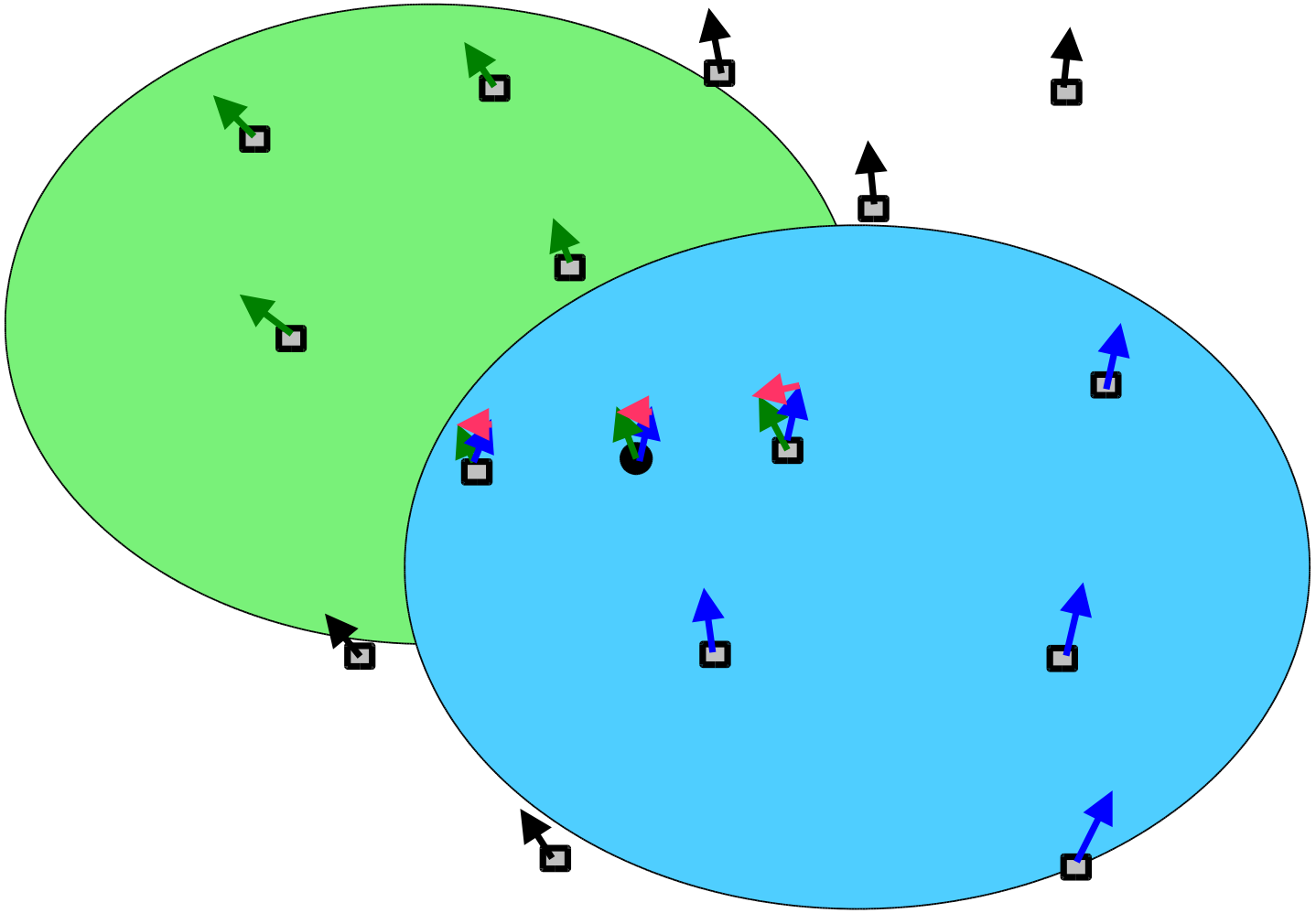
© 2004 Geo++® GmbH

Lokale Transformation



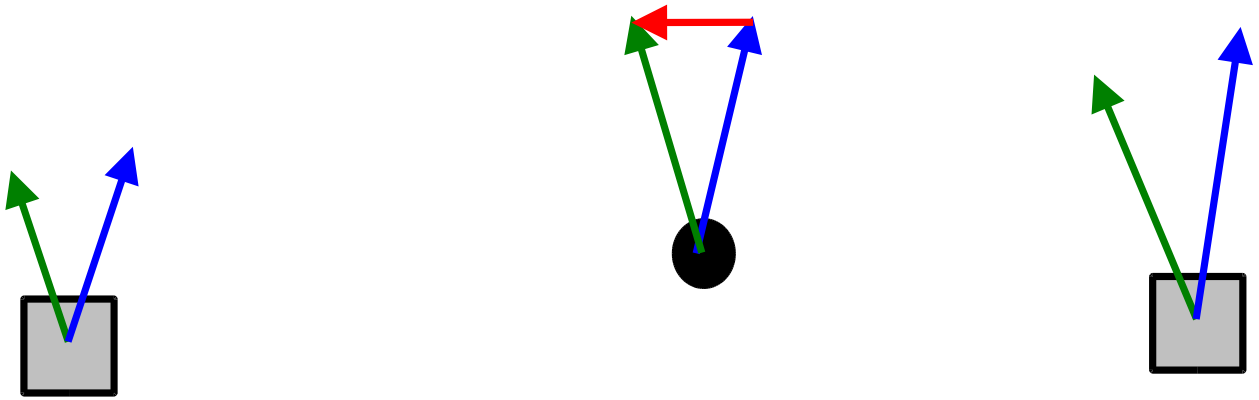
© 2004 Geo++® GmbH

Lokale Transformation



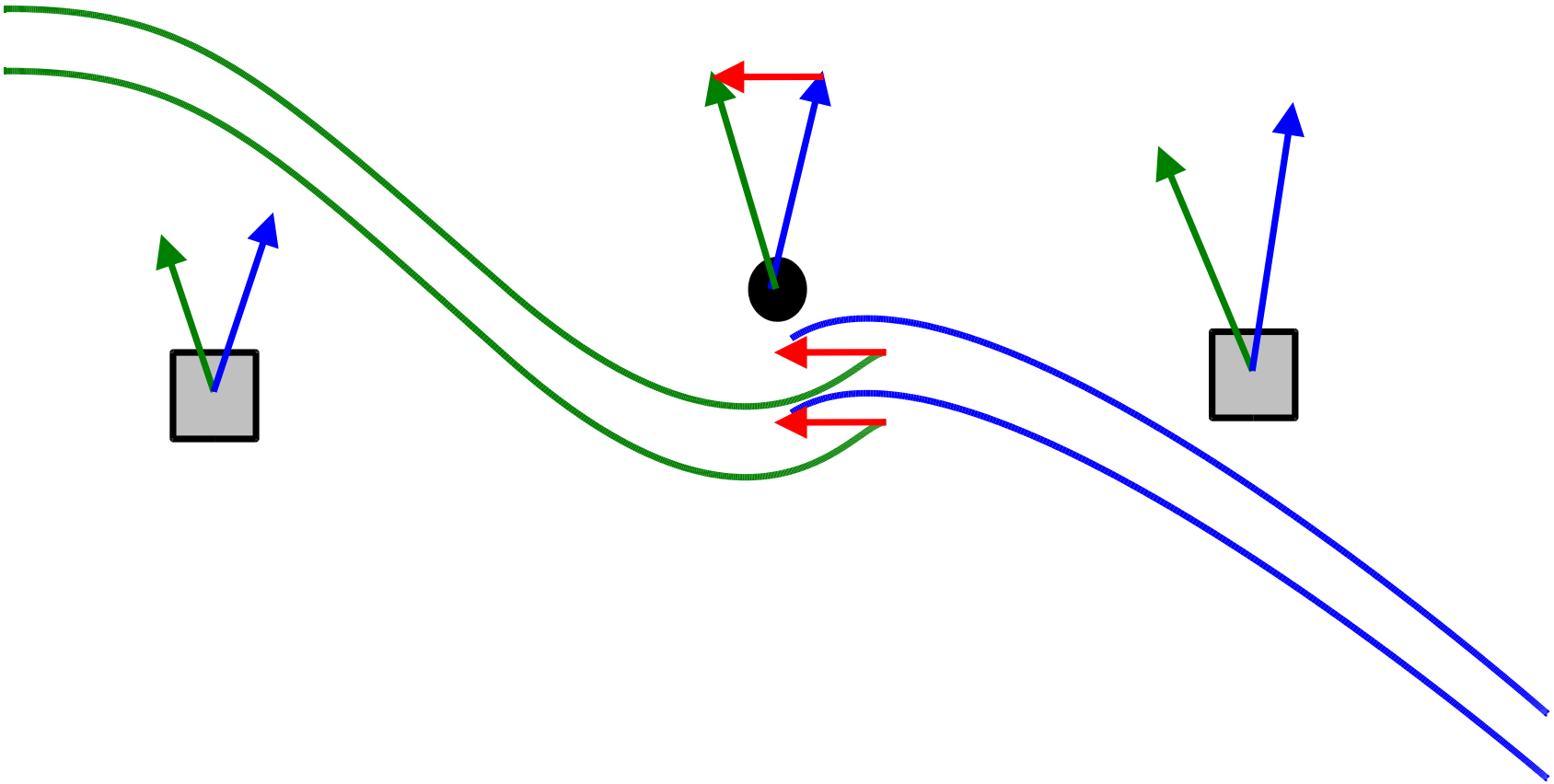
© 2004 Geo++® GmbH

Lokale Transformation



© 2004 Geo++® GmbH

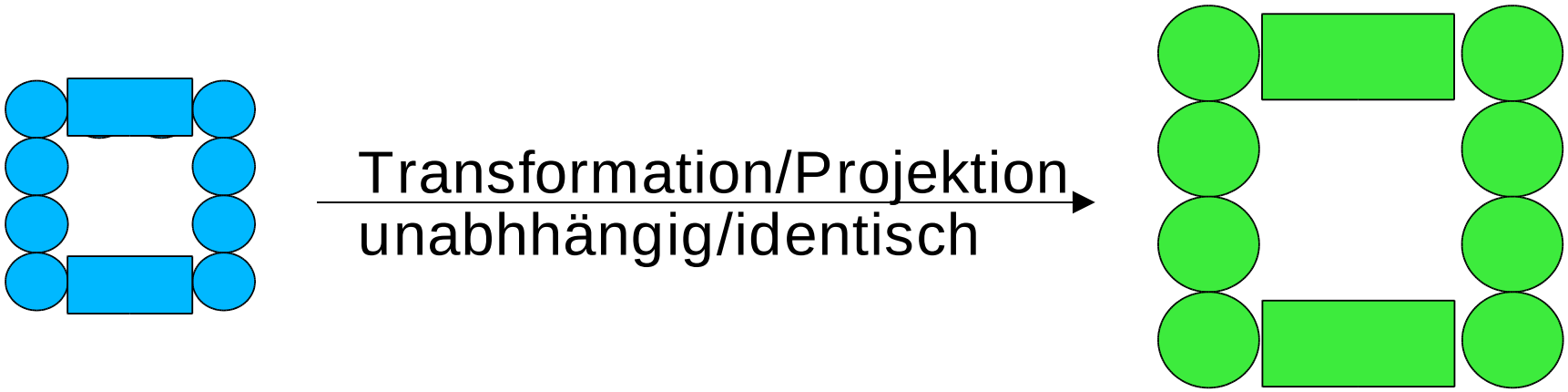
Lokale Transformation



© 2004 Geo++® GmbH

Nachbarschaftstreue Transformation

- **beginnend mit**
  - Konsistenz
- **ergibt**
  - Konsistenz



© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS

Geo++® GNTRANS

- GNTRANS Transformationmodell
- deutschlandweites GNTRANS Modul entwickelt für die DB AG:

  Übergang von ETRS 89 Koordinaten und amtliche Koordinaten in das homogenes Koordinatensystem DB_REF und umgekehrt

© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS

- **Motivation**
  - unterschiedliche amtliche Koordinatensysteme deutschlandweit
    - inhomogene, inkonsistente Datenbasis und Dokumentation
  - Netzspannungen in amtlichen Systemen
    - nicht angemessen für moderne (insbesondere satellitengestützte) Vermessungstechniken
  - satellitengestütze Techniken nicht integriert
    - keine einheitliche Transformationsvorschriften
    - keine einheitliche Dokumentationsvorschriften

© 2004 Geo++® GmbH

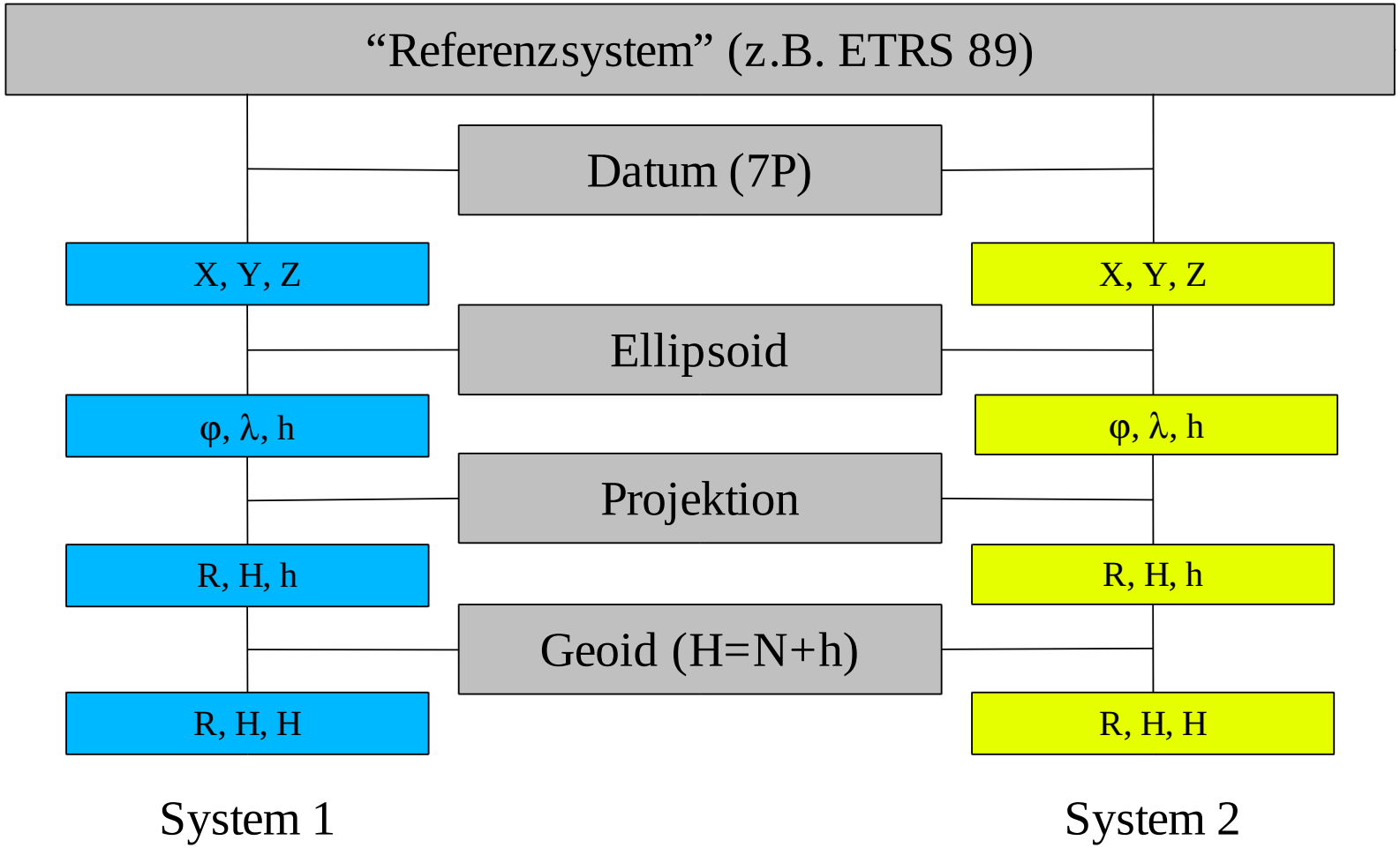
GNTRANS - DB_REF Realisierung

Grundlage für GNTRANS

- **bundesweite Daten der Landesvermessungen**
- **horizontale Referenzsystem**
  - abgeleitet aus ~ 1200 identischen Punkten
- **Höhenreferenzsystem**
  - offizielles Höhensystem (zukünftig bundesweit)
  - abgeleitet aus ~ 340 identische Punkte
- **regional (D), homogenes Referenzsystem**

© 2004 Geo++® GmbH

Prinzip der GNTRANS Transformation - Koordinatensysteme



© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Modell

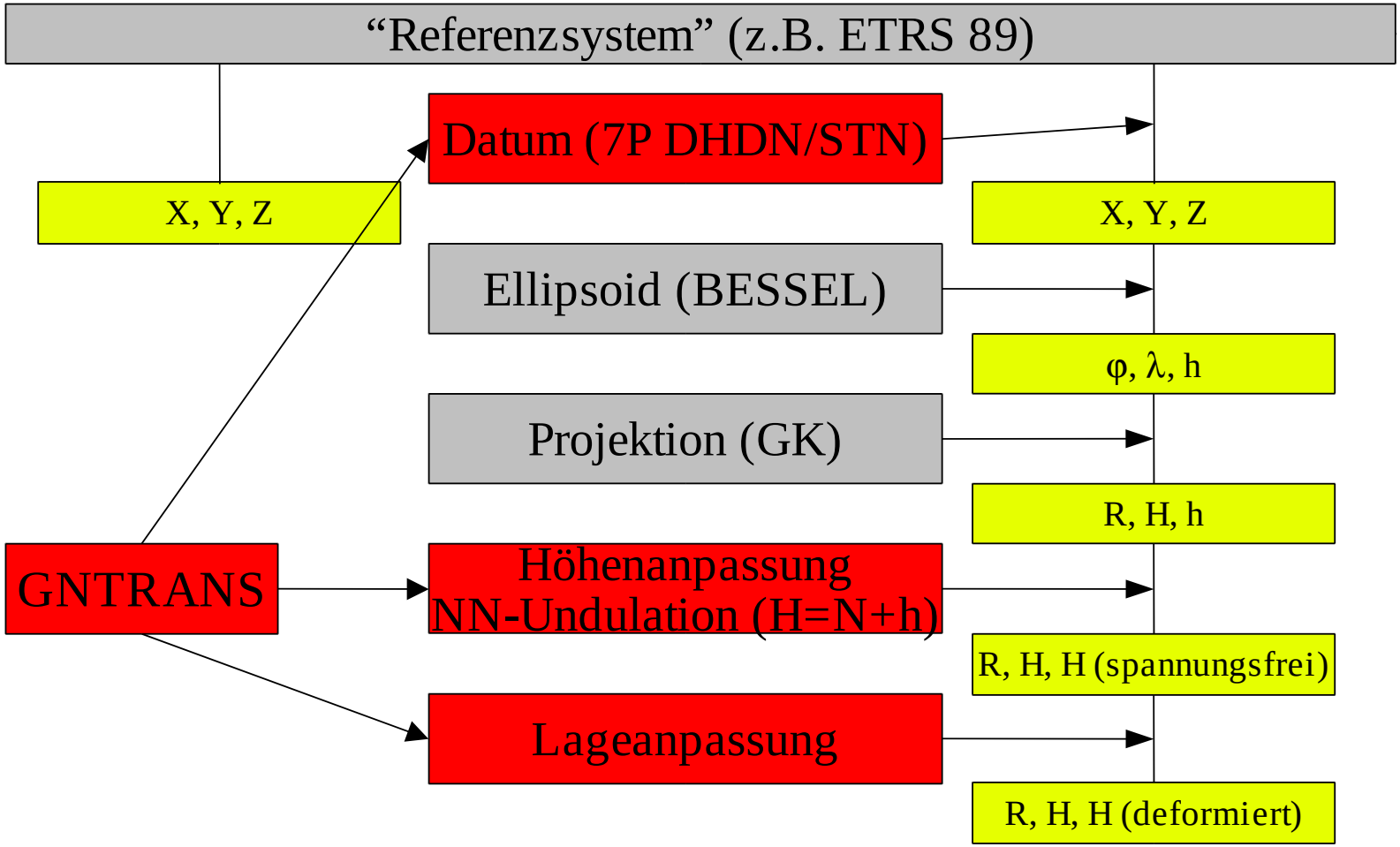
- **mehrstufige Transformation**

  Beispiel ETRS/amtliche Systeme:

  - 7P- Transformation
  - stetiger funktionale Transformation
    - mathematischer funktionaler Ansatz um verbleibende Residuen nach der 7P- Transformation zu beschreiben
  - stochastischer Anteil
    - stochastische Prädiktion verbleibende Diskrepanzen unter Berücksichtigung topologischer Nachbarschaften (Dekorrelation entlang Topologie von linienhafter Diskontinuitäten)

© 2004 Geo++® GmbH

Prinzip der GNTRANS Transformation – in Amtliche Systeme



© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Modell

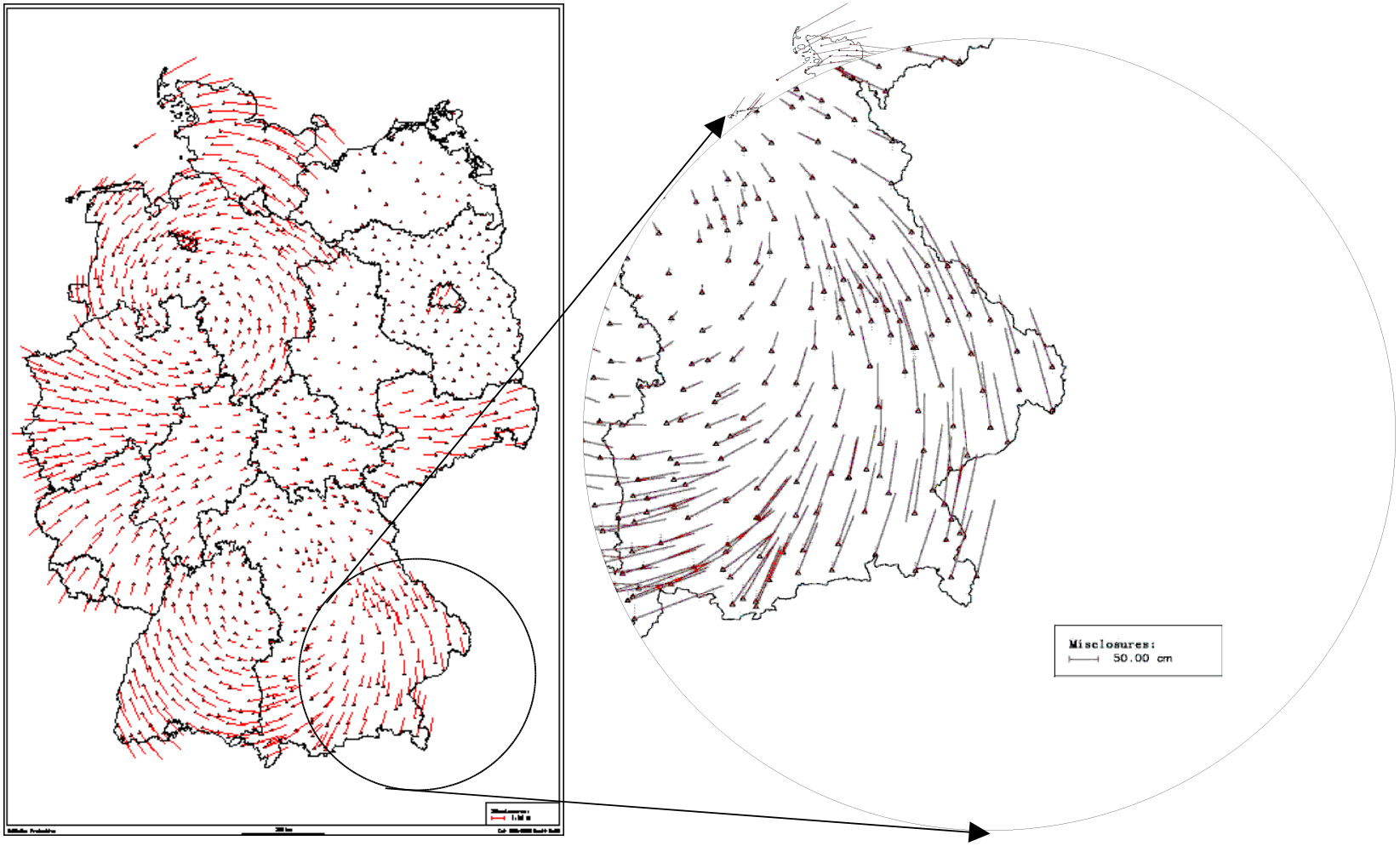
- **mehrstufige Transformation**

  Beispiel ETRS/DB_REF:

  - 7P- Transformation
    - ergibt bereits transformierte horizontale Koordinaten
  - Höhenkomponente
    - stetige funktionale Transformation
    - stochastischer Anteil

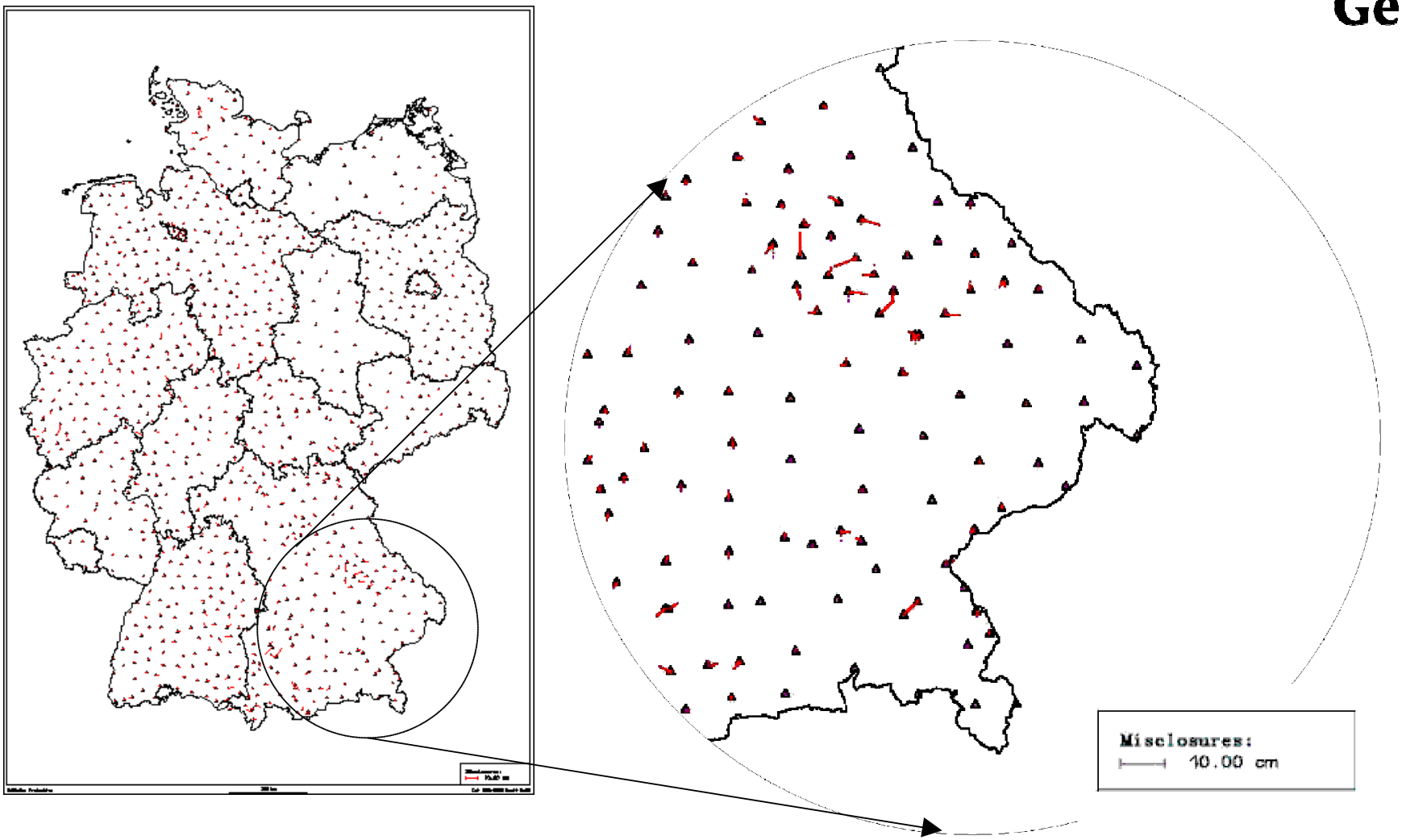
© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Horizontale Residuen nach 7P- Transformation



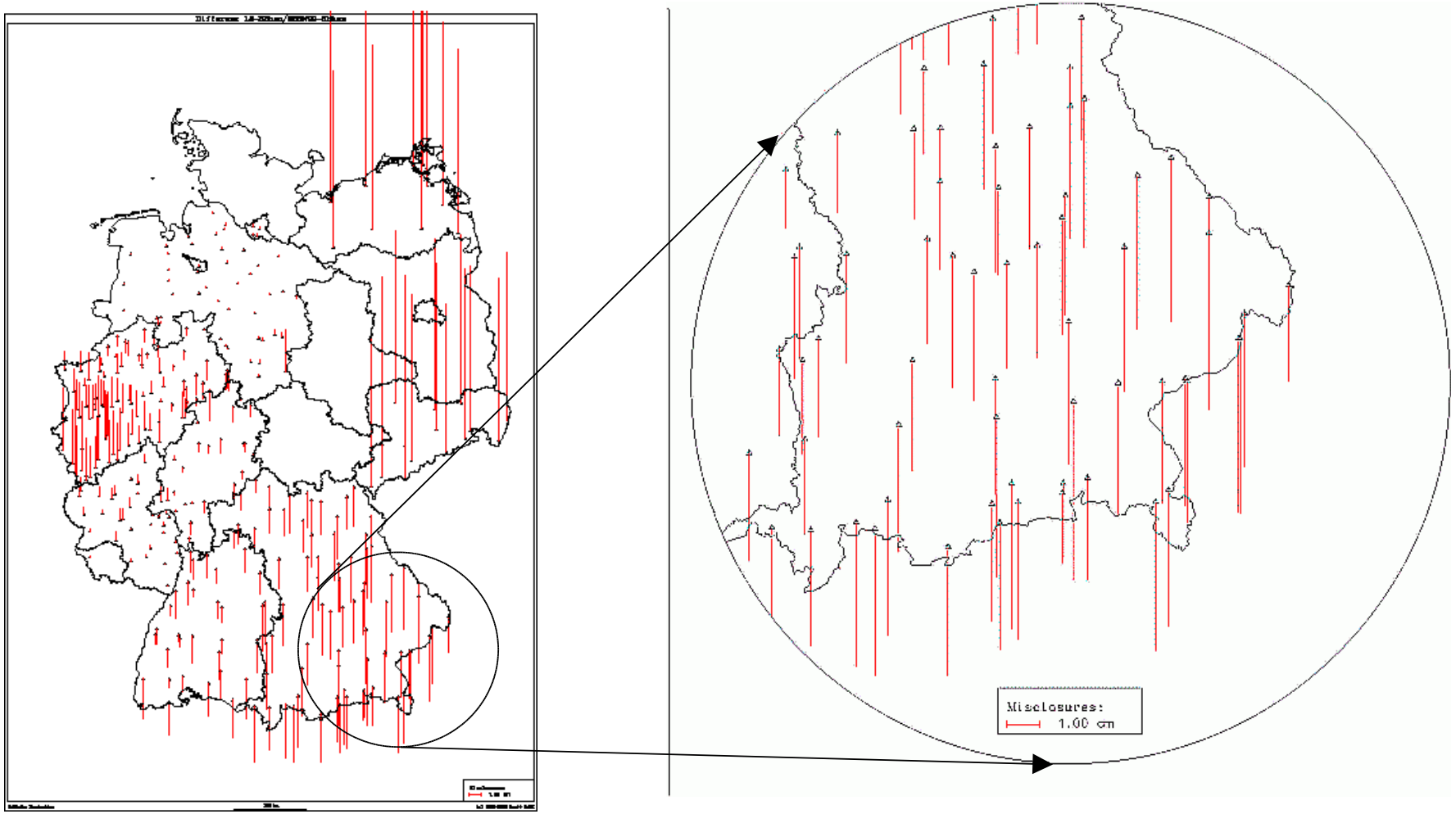
© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Horizontale Residuen nach mehrstufiger Transformation



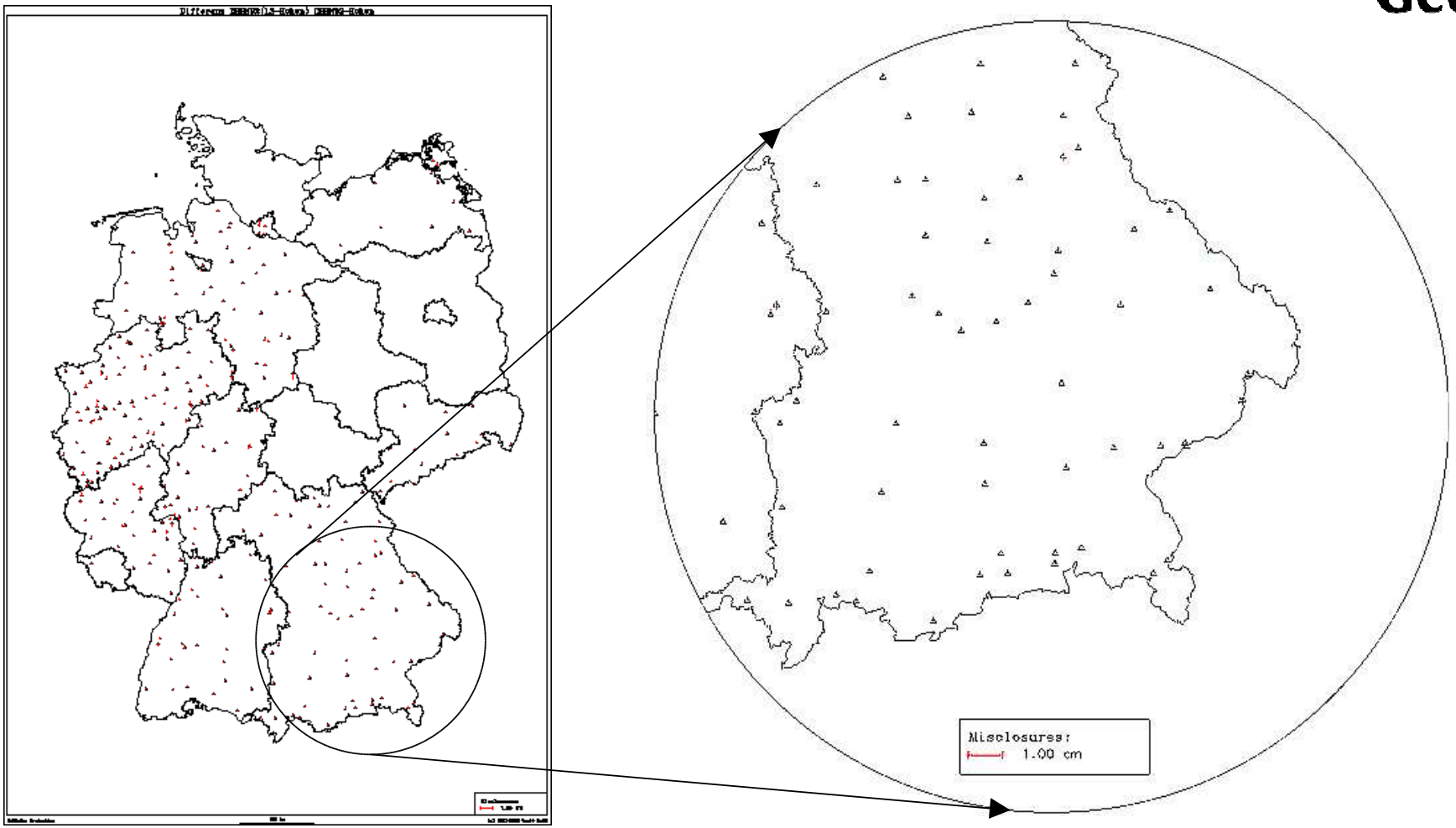
© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Höhendifferenzen Amtliche Systeme/DHHN 92



© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Höhenresiduen nach vollständiger Transformation



© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS - Genauigkeit des deutschlandweiten Moduls

- innere Genauigkeit

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

- äußere Genauigkeit

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

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

© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Modell Eigenschaften

- **Eigenschaften des Transformationsmodells**
  - Erhaltung der nachbarschaftlichen metrischen Eigenschaften (nachbarschaftstreue)
  - Einheitlichkeit/Standardisierung
  - Homogenität
  - Stetigkeit
  - Berücksichtigung von Diskontinuitäten
  - Eineindeutigkeit (eindeutige Umkehrbarkeit der Transformation)

© 2004 Geo++® GmbH

GNTRANS – Anwendungen/Patches

- **GNTRANS Software**
  - Befehlszeile - einfache Handhabung in batch-Dateien
  - graphisches Nutzer-Interface – Transformation mit einem 'Mouse Click'
- **GNTRANS-DLL**
  - einfache Integration der GNTRANS-Module in jede Anwendungs-Software (z.B. technet verm.esn)
- **GNTRANS-RT**
  - Echtzeit-Anwendung in RTK-Netzen/GPS-Systemen

- **GNTRANS Patches (Verdichtungen)**
  - z.B. Patch Düsseldorf, Patch Verden (LGN)

*) LGN Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Auswertung

Geo++® GEONAP/GnHPPS

- Berechnung eines homogenen GPS-Referenznetzes
- Auftrag der DB AG:

  homogenes, trassennahes Festpunktfeld
  für satellitengestützte Gleisvermessung
  (ETRS 89/DB_REF)
  mit hoher Genauigkeitsforderung

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz

- **Anforderungen Örtlichkeit**
  - 4 km Raster
  - standpunktsicher
  - nicht zwingend an der Trasse (trassennah)
  - in der Regel auf Brückenbauwerken
  - geeignet als GNSS Referenzstation
  - geeignet für Datenkommunikation

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Erstellung

- Projektbeginn 2000
- Vergabe GPS-Messungen an Ingenieurbüros
  - Erkundung, Vermarkung, Messung und Dokumentation in 10 Losen, meist bundeslandweise
- Messbeginn Oktober 2001
- Auswertung GPS-Messungen durch Geo++ GmbH
- Stand Mai 2004
  - Erstmessung/Auswertung abgeschlossen
  - Durchführung/Integration von Nachmessungen
  - noch laufende Nachmessungen

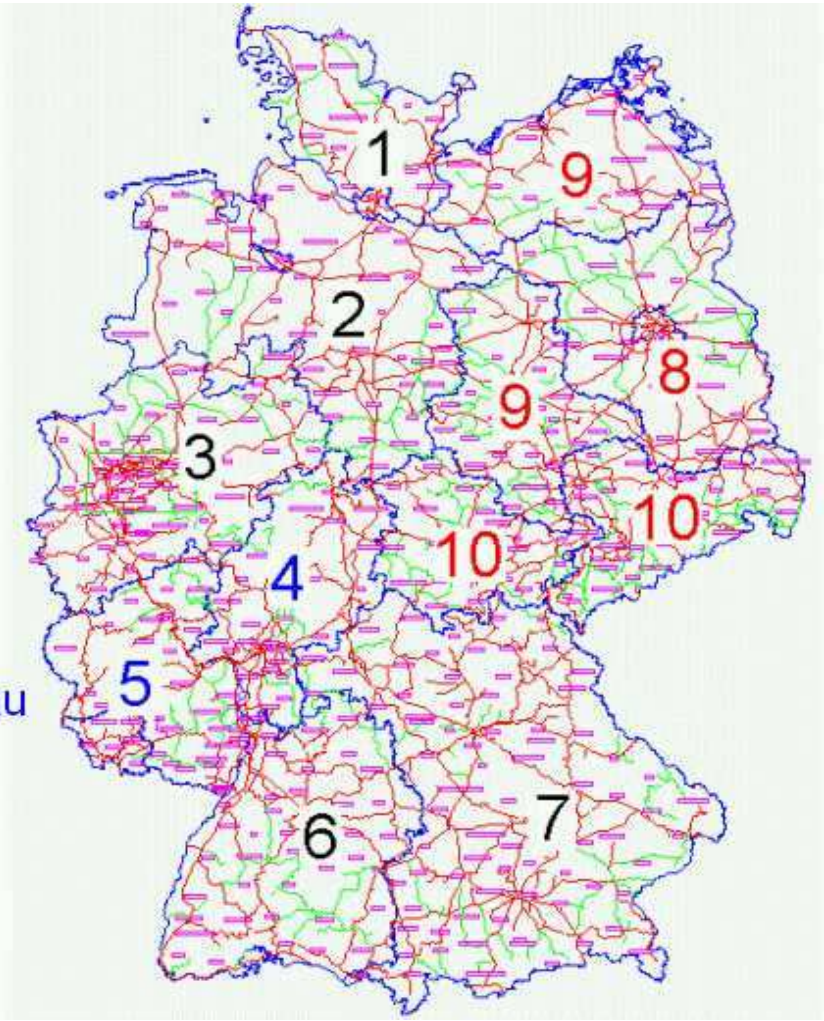
© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Zuteilung der Lose

ARGE GPS-Netz
- GI-Consult, Berlin (6,7)
- Ingenieurbüro Vössing, Düsseldorf (1,2)
- GEOsat, Mühlheim a.d. Ruhr (3)
- Angermeier Ingenieure, Giebelstadt (6,7)

ARGE Lasat-Laqua-Riemenschneider (4,5)
- Lasat, Bergisch-Gladbach
- Ingenieurbüro Laqua, Bergisch-Gladbach
- Vermessungsbüro Riemenschneider, Rodgau

GEO-METRIK-Vermessungs-GmbH, Halle (Saale) (8,9,10)



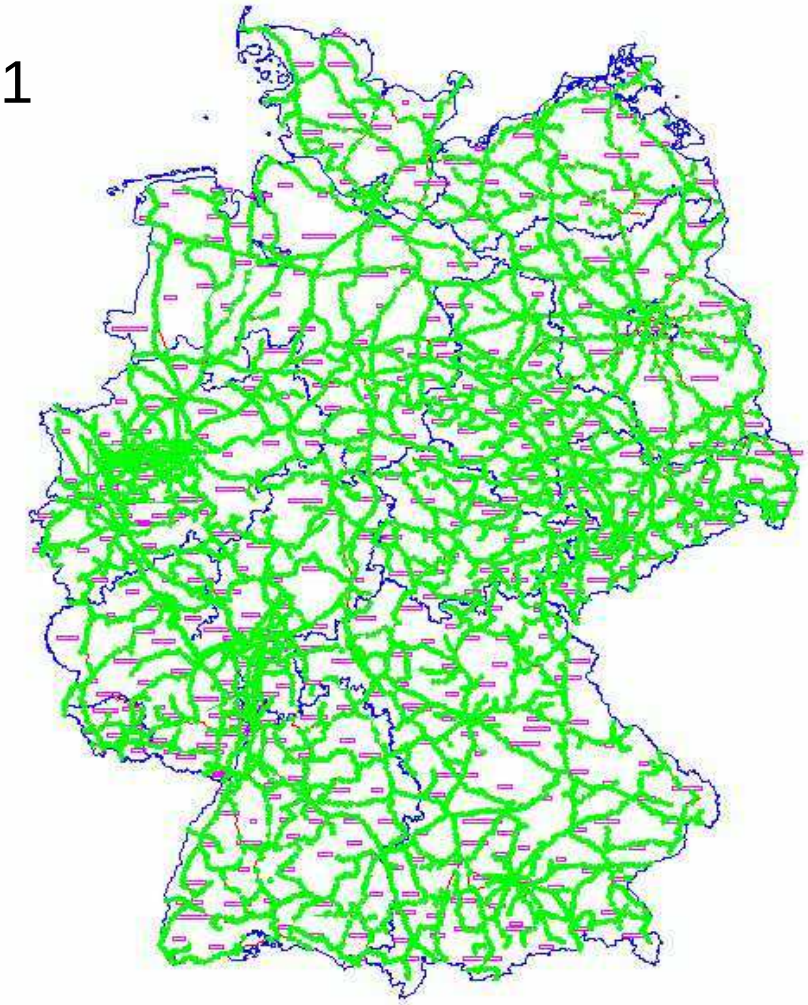
© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - GPS-Beobachtungen

Stand Mai 2004
(Messungen November 2001 bis März 2004)

- 7500 neue Stationen
- 21000 Beobachtung auf Neupunkten
- 8100 Sessionen
- 17000 Datensätze von SAPOS-Stationen und C-Netzpunkten

z.Z. Nachmessungen in östlichen Bundesländern



© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - GPS-Messanforderungen

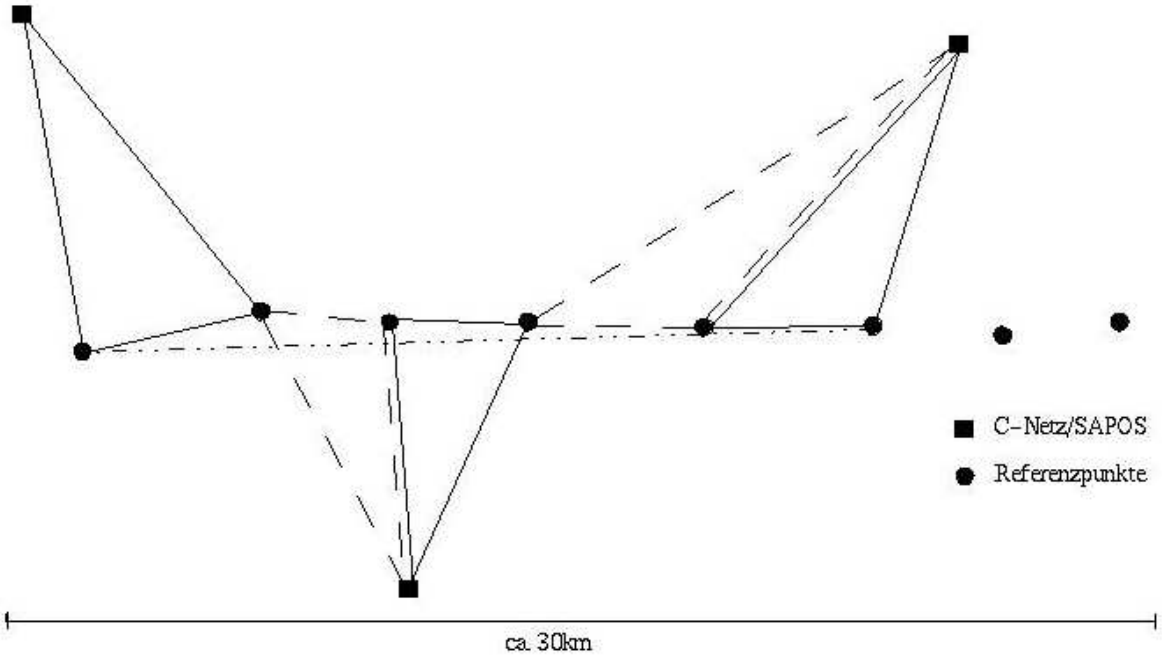
- minimaler Durchmesser Antennengrundplatte 28 cm
- individuell, absolut, kalibrierte Antennen
- mindestens zweimal 30 min
- Antennenhöhenmessung vor und nach der Messung in zwei Maßstäben
- Prüfung der Datenqualität (TEQC)
  - Datenrate 10 s, Elevationsmaske 5 deg
  - mindestens 6 Satelliten simultan über 30 min
  - Anzahl der Cycle Slips <1% aller Beobachtungen über 10 deg
- minimale Anzahl/Entfernung von Referenzstationen
  - 1 Station < 25 km
  - 2 Stationen < 28 km
  - 3 Stationen < 32 km

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Messanordnung, Genauigkeit

- Messung aller direkten Nachbarschaften und übergreifenden Verbindungen ca. 20-30 km

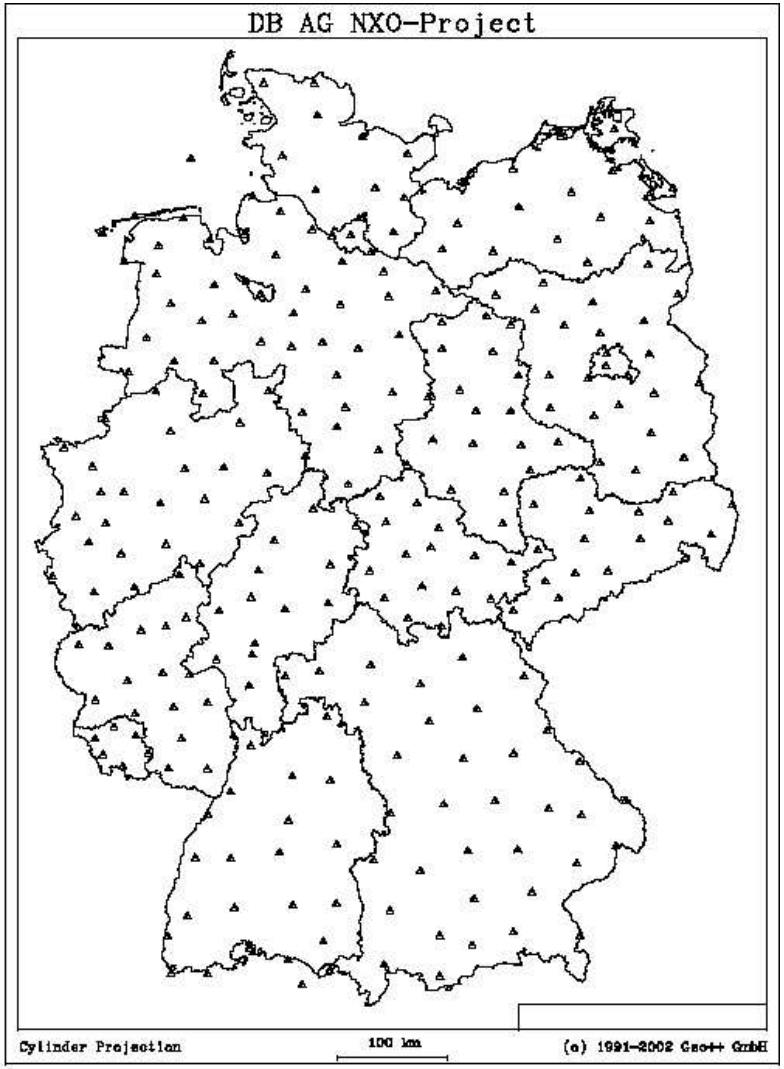
- 3D Genauigkeit (2 Sigma)
  absolut < 10 mm
  relativ < 5 mm
  (benachbarte Punkte)



© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Anschluss an ETRS 89 durch *SAPOS*/C-Netz

- ***SAPOS* Stationen (ca. 250) in Deutschland**
- Aufdeckung von Widersprüchen
  - innerhalb der Netze
  - zwischen Bundesländer
- Konsequenz
  - Geo++ Ausgleichung
  - Diagnoseausgleichung der AdV durch BKG und LGN
  - neue amtliche Koordinaten vollständig Januar 2004
- Verdichtung durch C-Netz



© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz - Auswerte Software

- **Geo++ GEONAP/GnHPPS NXO**
  - automatisierter Import
  - homogene absolute Antennenkorrekturen
  - undifferenzierter Auswerteansatz
  - simultane L1&L2 Auswertung
  - Ionosphärenschätzung
  - zeitlich und räumliche Troposphärenschätzung
  - präzise Ephemeriden
  - vollständige Varianz-Kovarianzmatrix

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF – Vorgehensweise Auswertung

- vorab: Bestimmung homogener Koordinaten des *SAPOS*- und C-Netzes (nicht geplant)
- abschließend: Lagerung auf neue amtliche *SAPOS*-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

© 2004 Geo++® GmbH

DB_REF Netz – Deutschlandweite Messung

- Messung und Auswertung in einem Guss
  - einheitliche Auswerte-Software und Strategie
    - Antennenkorrektur
    - deutschlandweite,
      strenge 3D Netzausgleichung
  - Kontrolle Anschlussnetzes
    - Aufdeckung von Widersprüchen
    - Sicherstellung der Konsistenz
    - Kompensation von Änderungen
  - ermöglicht hohe Genauigkeit

© 2004 Geo++® GmbH

Zusammenfassung

- satellitengestützte Anwendungen fordern moderne Koordinatensysteme
- Koordinatenvielfalt in Deutschland (auch in Europa)
- Probleme lösbar durch homogene Transformation
- GNTRANS Modell, Modul und Fähigkeiten (ein deutschlandweites Modul, immer gültig)
- Transformationmodell für Übergang von ETRS 89 Koordinaten, amtliche Koordinaten in das homogenes Koordinatensystem DB_REF (und umgekehrt)
- *fördert Akzeptanz* durch Nutzerfreundlichkeit

© 2004 Geo++® GmbH

Zusammenfassung

- DB_REF Netz Auswertung
- hohe Genauigkeit und Homogenität
  - einheitliche Auswerte-Software und Strategie
  - Messung und Auswertung in einem Guss
  - Konsistenz des Anschluss-Netzes
- ermöglicht bestmöglichen Einsatz moderner (satellitengestützte) Vermessungstechniken

© 2004 Geo++® GmbH