

---

# Bundesweite präzise eineindeutige 3D-Transformation zwischen homogenen ETRS89 und amtlichen Landeskoordinaten mit Geo++<sup>®</sup> GNTRANS

Gerhard Wübbena, Mark Bachmann,  
Martin Schmitz

Geo++<sup>®</sup> GmbH  
D-30827 Garbsen, Germany  
[www.geopp.de](http://www.geopp.de)

# Organisation

---



- Situation, Zukunft amtlicher Landeskoordinaten
- Umsetzung homogener ETRS 89 Koordinaten/  
Beispiel DB Netz AG
- Geo++<sup>®</sup> GNTRANS
  - Prinzip, Modell der Transformation
  - bundesweite GNTRANS Modul
  - Genauigkeit
  - Eigenschaften
  - Verdichtungen/Genauigkeitssteigerung
  - GNSS Echtzeitanwendung
  - Applikationen
- Zusammenfassung

# Situation Amtliche Bezugssysteme in Deutschland

- Datum
- Höhensysteme
- Projektionen

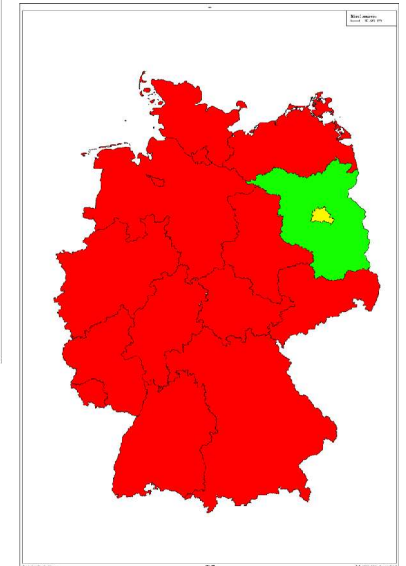
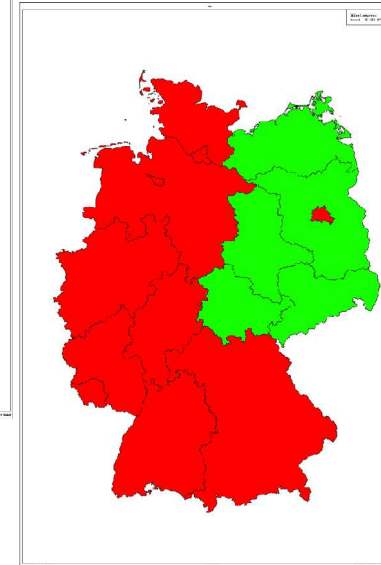
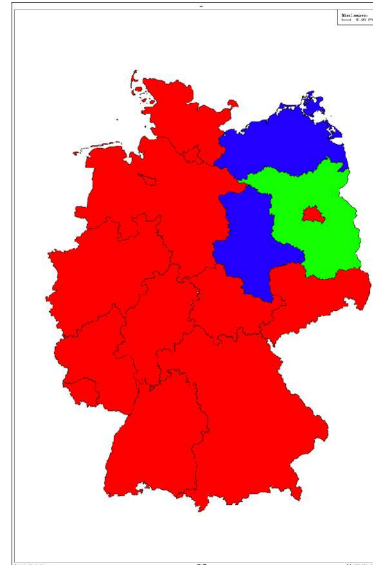
Rauenberg Potsdam  
DHDN STN 42/83 PD 83  
RD 83 ETRF 89  
Krassowski Bessel GRS 80

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



# Zukunft Amtlicher Bezugssysteme in Deutschland

---



- **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**)
- bislang *nicht* in allen Bundesländern umgesetzt!

# Homogene Koordinatensysteme

---



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

# Gegenwärtige Situation für Nutzer

---



- **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 ETRF 89 bei der DB Netz AG

# Situation der DB Netz AG

---



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

# Anforderungen der DB Netz AG

---



- **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
- **Umsetzung**
  - universell gültige, eindeutige Transformation
  - koordinierte Referenzstationen decken komplettes Gebiet der Anwendungen ab
  - ausreichende Genauigkeit für alle Anwendungen (auch gleistechnische Vermessung und Berechnung)



# Maßstabsänderungen bei der DB Netz AG



- große Maßstabsänderungen ergeben Probleme bei Trassenbehandlung
- erhalten von Krümmungen etc., sonst neue Genehmigung der Trassen
- Tabelle zeigt Maßstabsfaktor für unterschiedliche Koordinatentransformationen beginnend im amtlichen Bezugssystem (DHDN)
- direkter Wechsel zur UTM Abbildung nicht möglich
- Definition des DB\_REF

| Datum  | Ellipsoid | Projektion | Maßstab [mm/km]<br>für Abstand vom<br>Zentralmeridian |           |           |
|--------|-----------|------------|---|-----------|-----------|
|        |           |            | 0 km  | 50 km     | 100 km    |
| DHDN   | 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 |

# Definition des DB\_REF

---



- **Referenzsystem Lage**
  - geodätisches Datum
    - mittleres Datum der amtlichen Systeme der früheren westdeutschen Länder, Thüringen und Sachsen (7P- Transformation)
  - Ellipsoid
    - Bessel
  - Projektion/Abbildung
    - Gauß – Krüger
- **Referenzsystem Höhe**
  - Normalhöhenystem (DHHN 92)

## Geo++<sup>®</sup> GNTRANS

- GNTRANS Transformationmodell
- bundesweites GNTRANS Modul entwickelt für die DB Netz AG
- 3D Übergang/Transformation zwischen
  - ETRS 89 Koordinaten
  - amtlichen Landeskoordinaten (Lage, Höhe)
  - homogene Bezugssystem DB\_REF

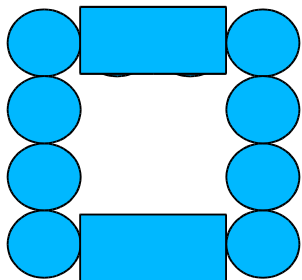
# Nachbarschaftstreue Transformation

- **beginnend mit**

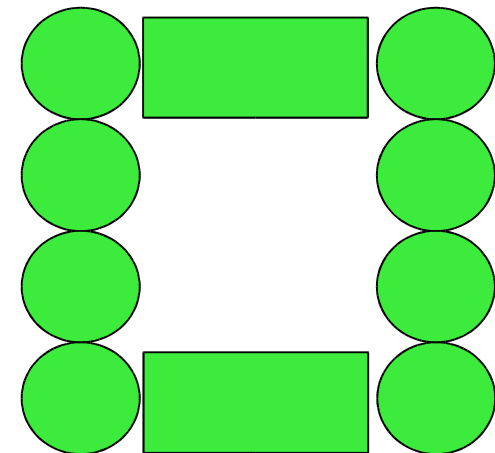
- Konsistenz

- **ergibt**

- Konsistenz

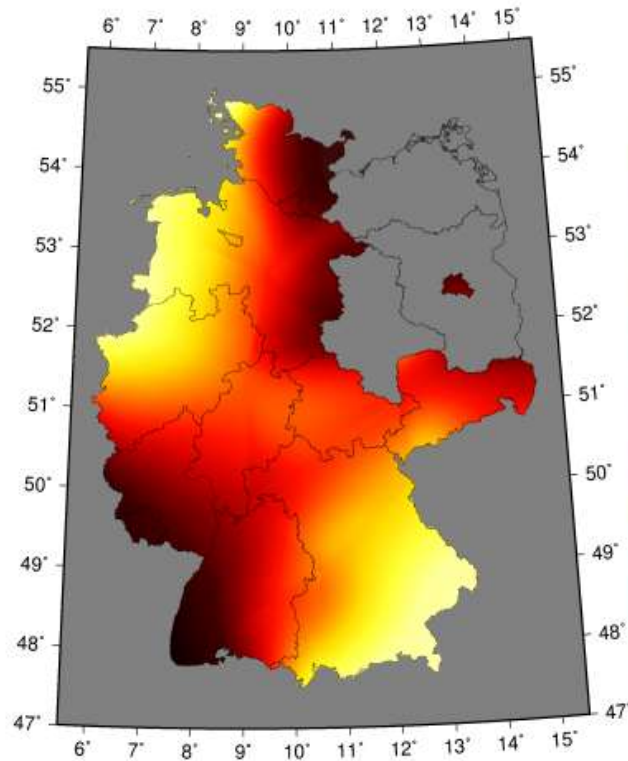


Transformation/Projektion  
unabhängig/identisch

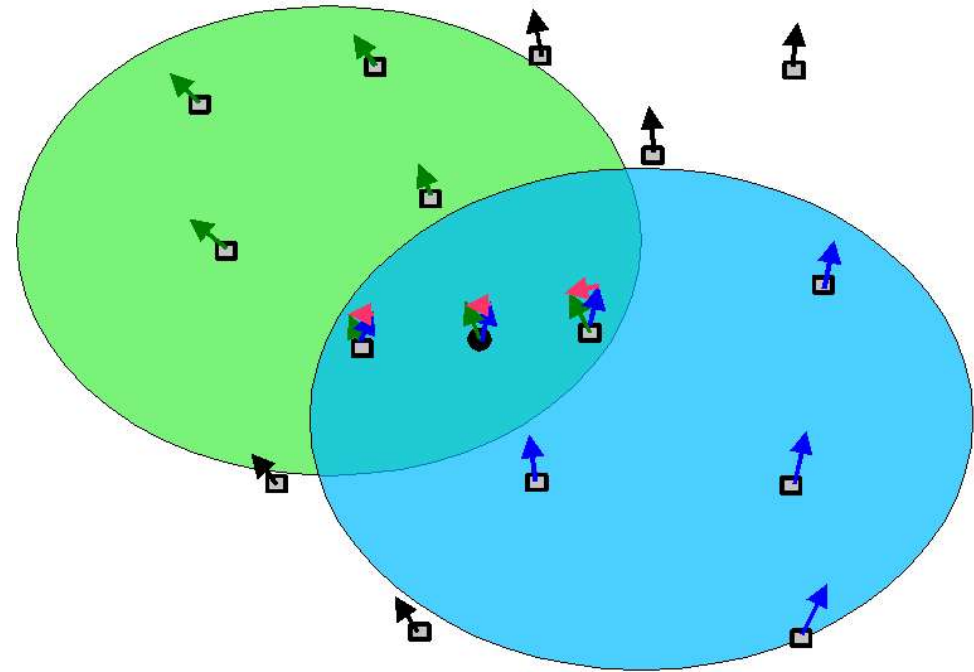


# Generelle Vorgehensweise

- **GNTRANS nutzt globalen Ansatz (Eineindeutigkeit)**
- **keine lokale/gebietsweise Transformationen (Insellösungen)**



GMT 2001 Jul 30 15:07:20



# GNTRANS - bundesweites Modul

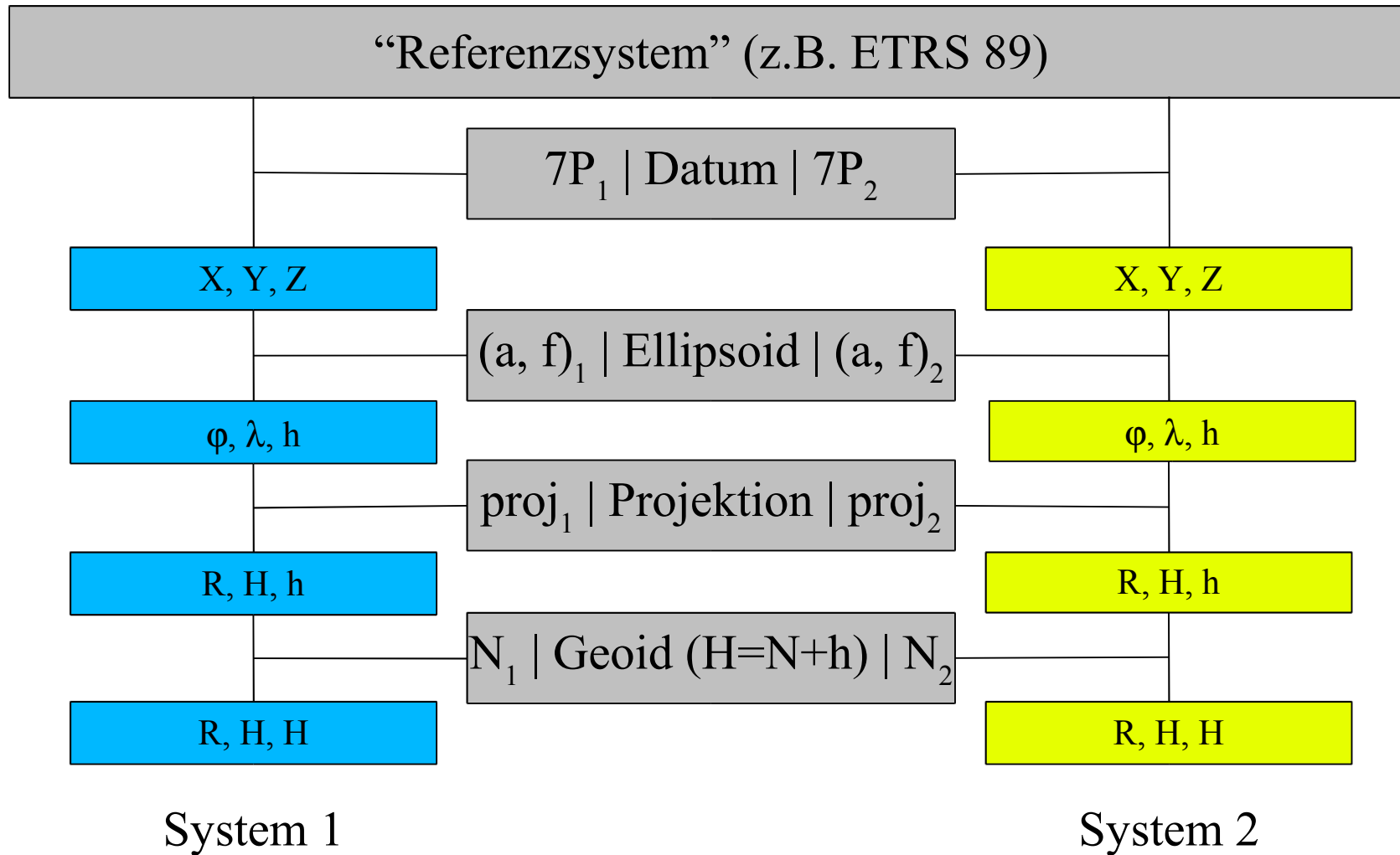
---



## Grundlage für GNTRANS

- **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**

# GNTRANS - Prinzip Transformation der Koordinatensysteme



# GNTRANS – Modell

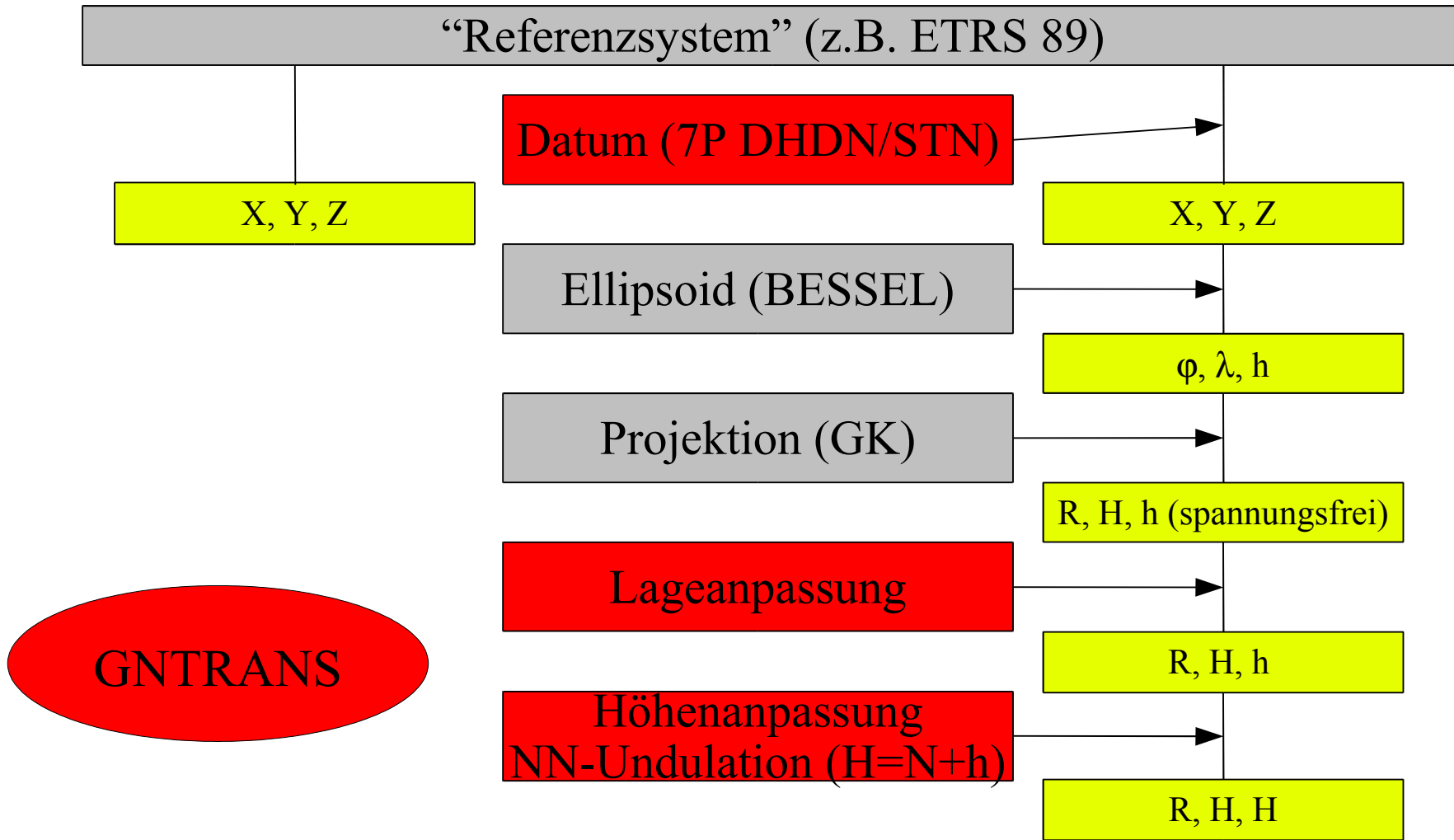
---



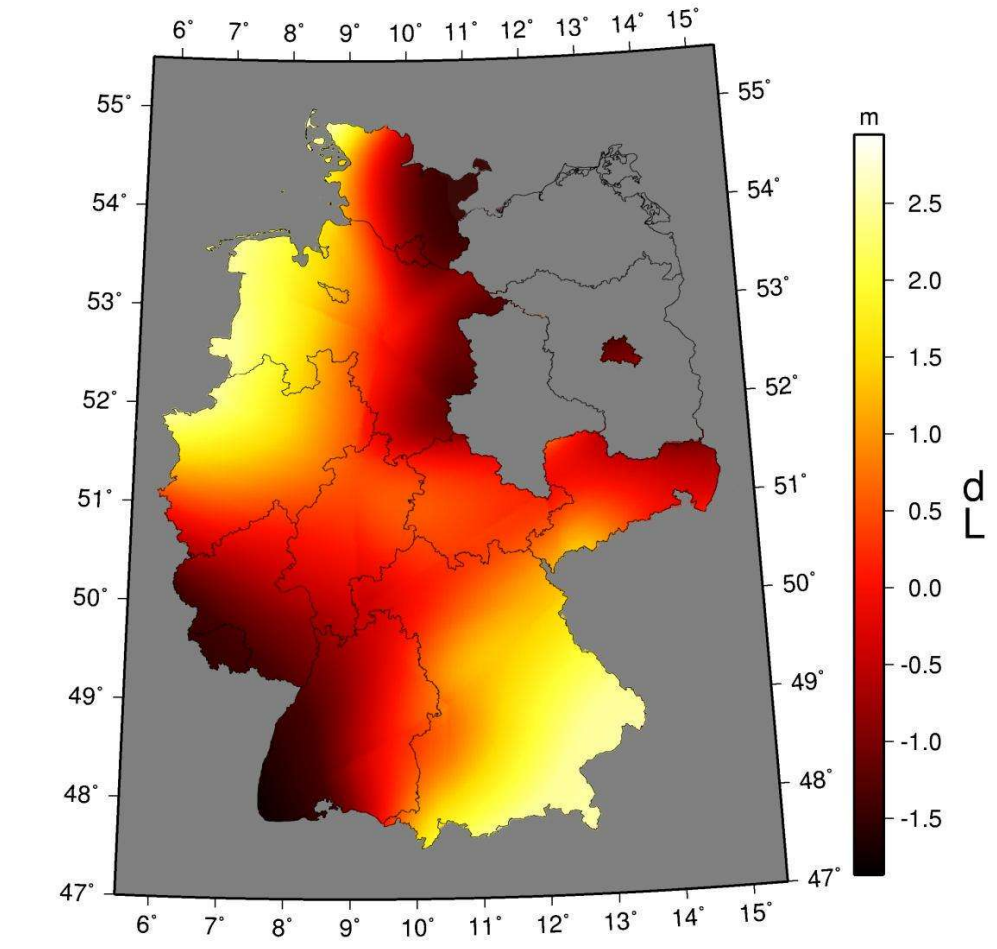
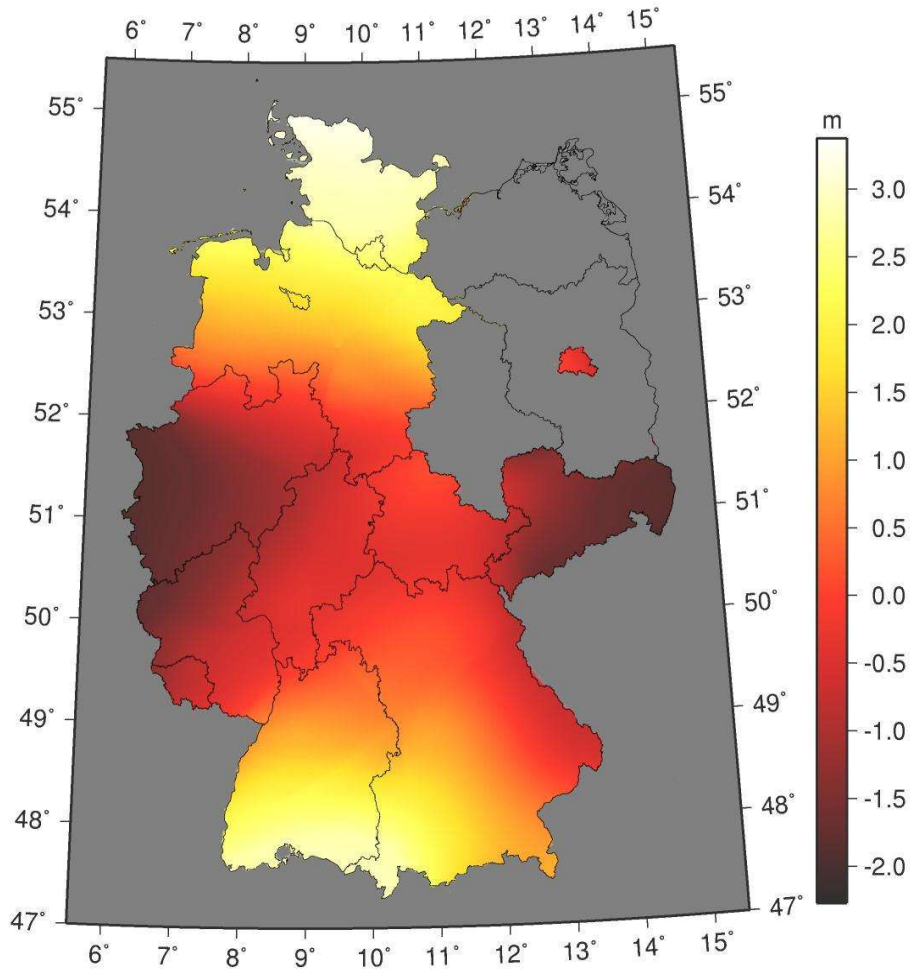
- **mehrstufige Transformation**
- **anwendbare Stufen**
  - 7P- Transformation
  - stetige funktionale Transformation
    - mathematischer funktionaler Ansatz um verbleibende Residuen zu beschreiben; ausgleichende Flächensplines
  - stochastischer Anteil
    - stochastische Prädiktion verbleibende Diskrepanzen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



# GNTRANS Beispiel - Transformation in Amtliche Systeme mit Netzspannungen



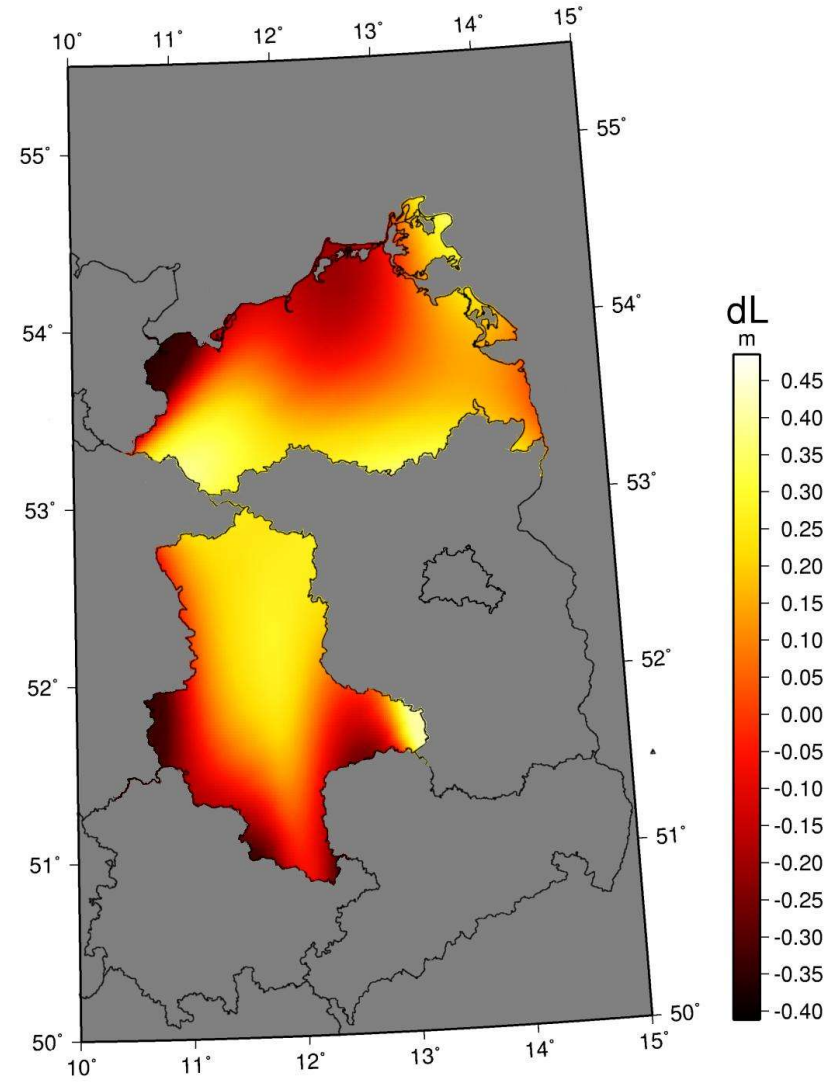
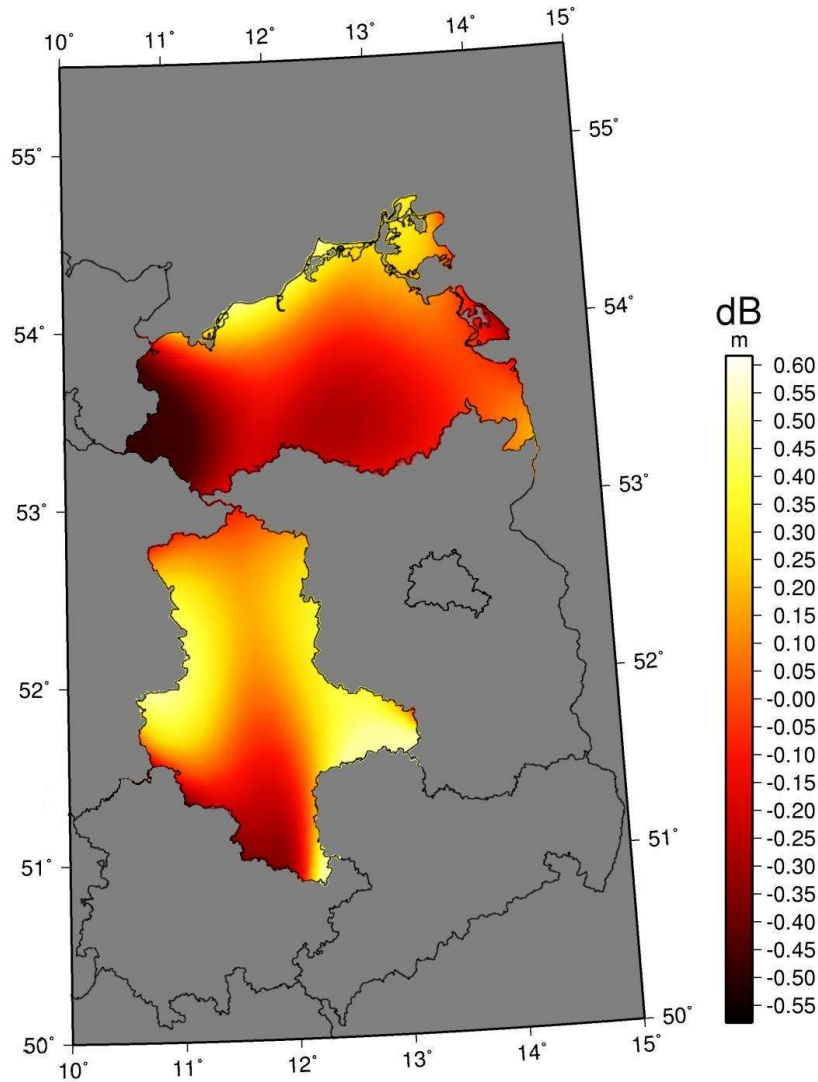
# GNTRANS - Funktionaler Anteil Landessystem DHDN



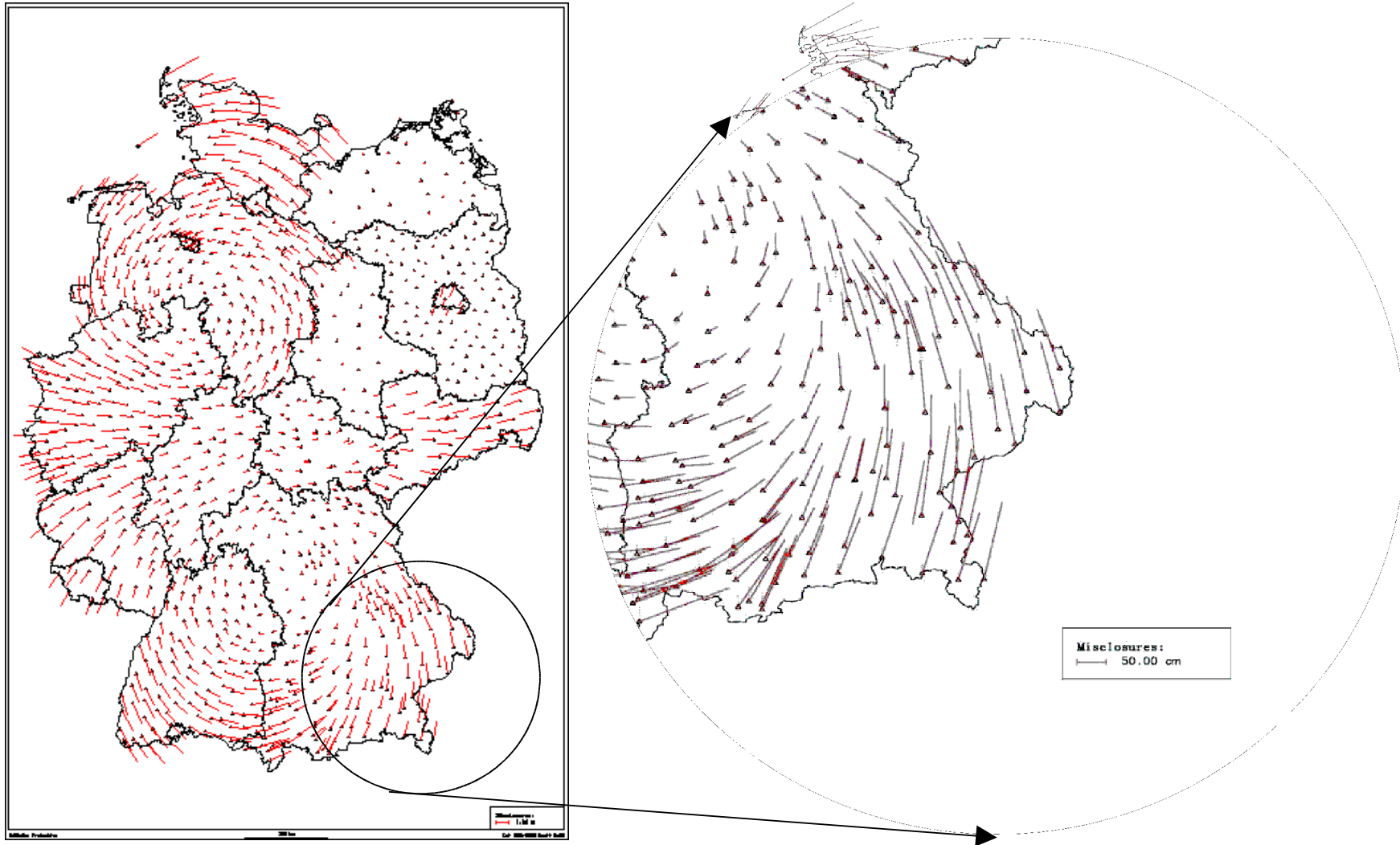
GMT 2001 Jul 30 15:10:41

GMT 2001 Jul 30 15:07:20

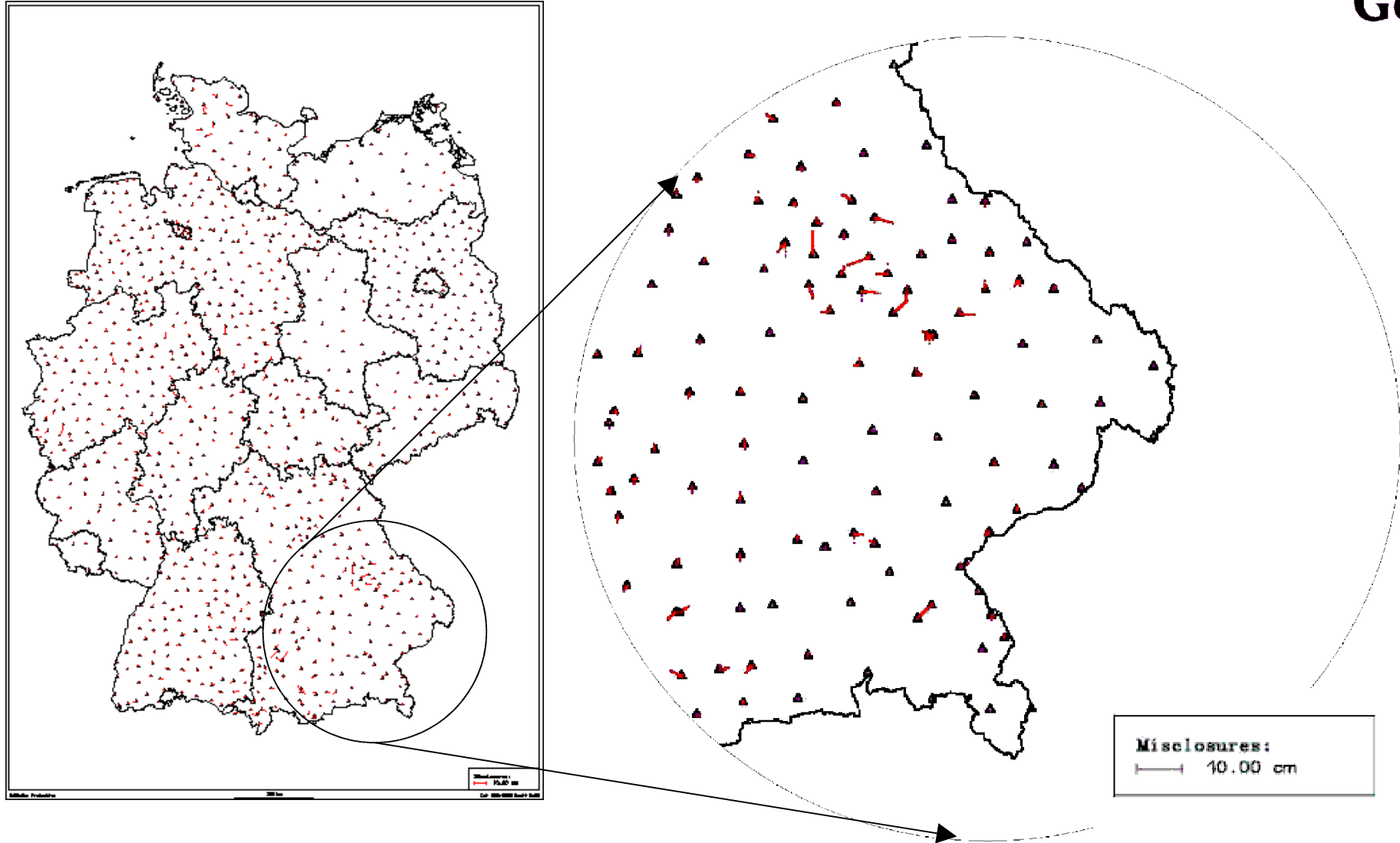
# GNTRANS - Funktionaler Anteil Landessystem STN



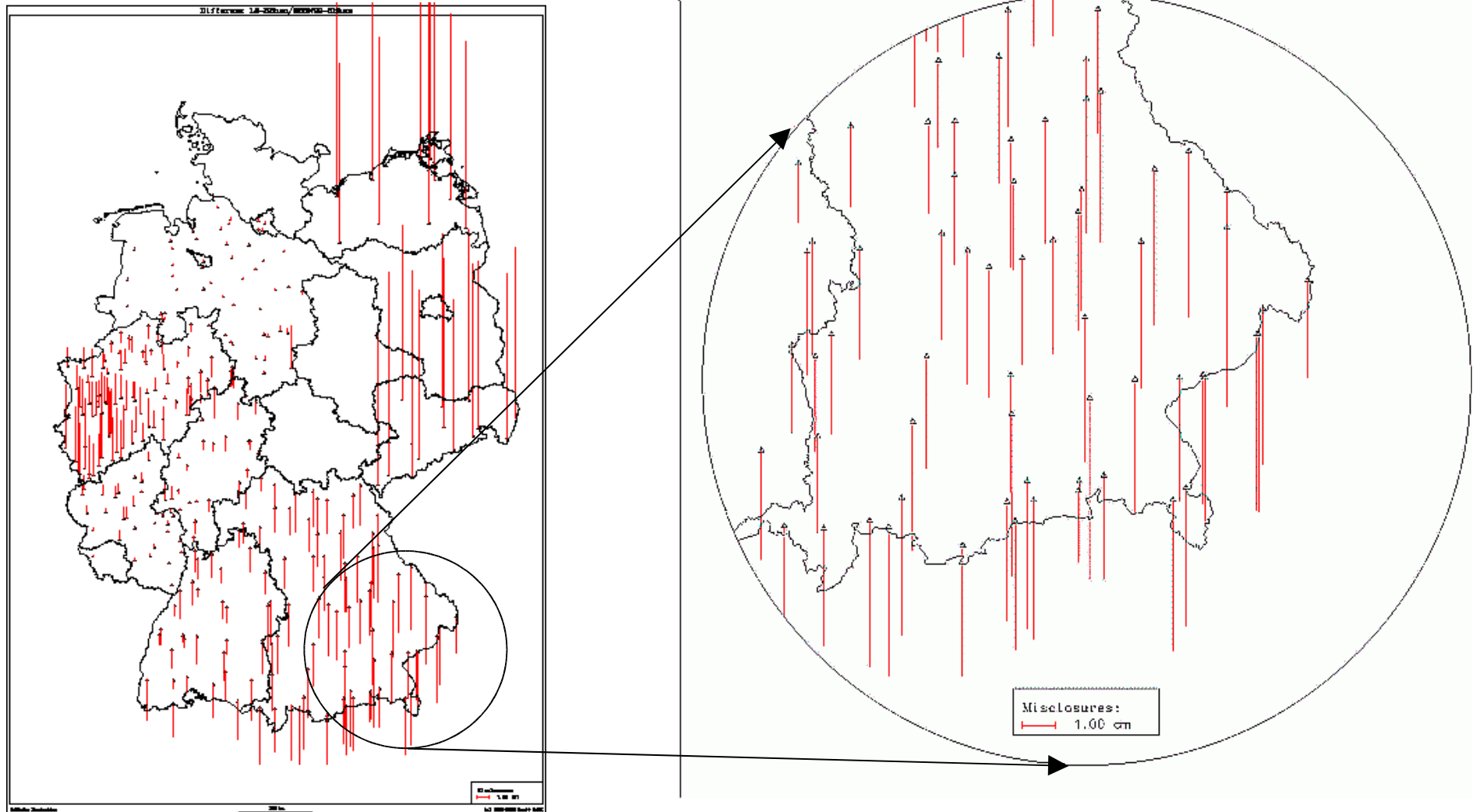
# GNTRANS – Horizontale Residuen nach 7P-Transformation



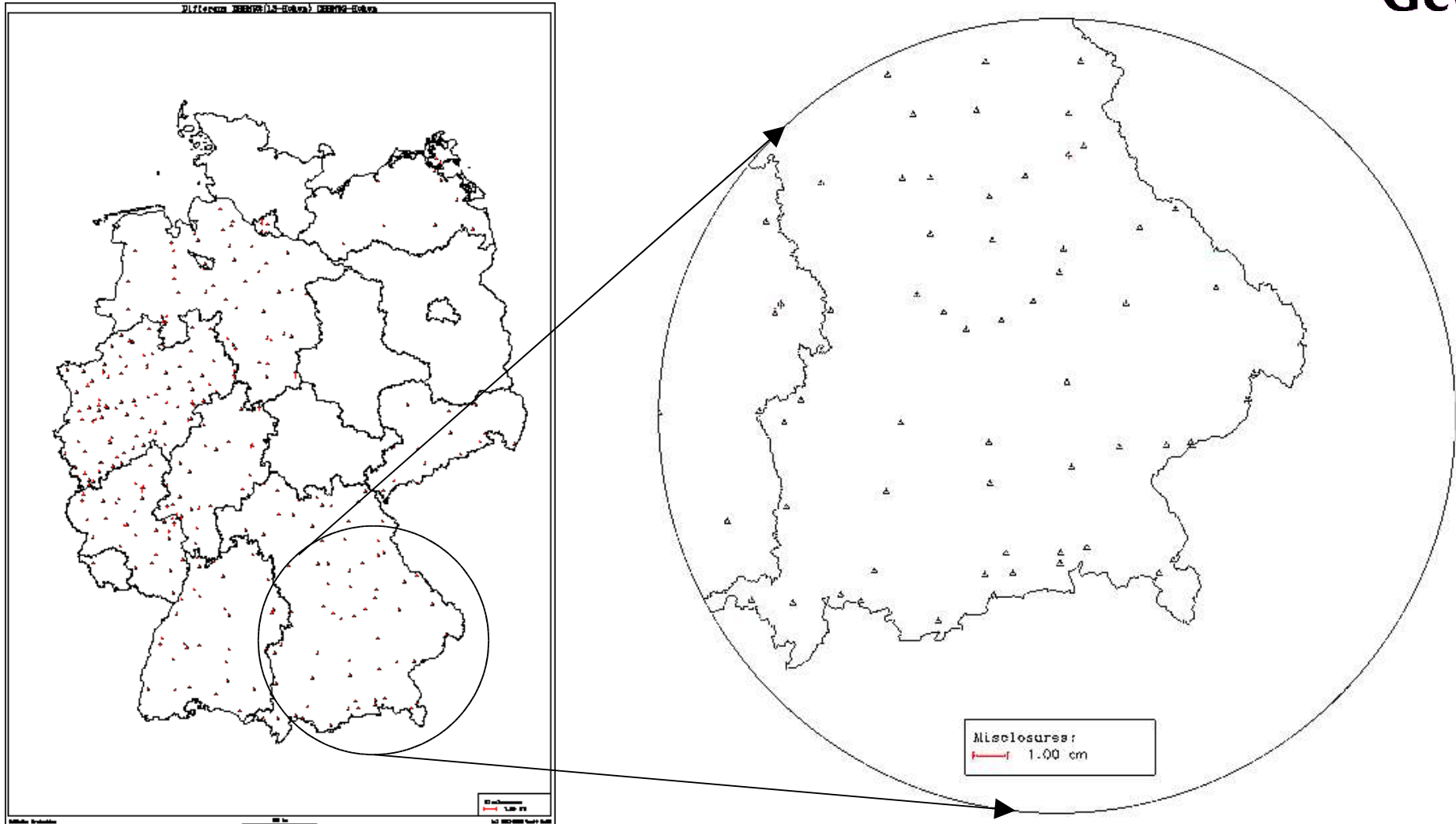
# GNTRANS – Horizontale Residuen nach mehrstufiger Transformation



# 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 ist Datum der früheren westdeutschen Länder  
STN ist Datum der früheren ostdeutschen Länder  
BRAN ist Datum des Landes Brandenburg



# GNTRANS – Genauigkeit bundesweites Modul



- flächenhafter Test durch



- Bereich Niedersachsen (NISA)  
ca. 3.000 mit GPS beobachtete Punkte
- GNTRANS Stützpunkte (A-C-Netz Punkte) nicht berücksichtigt
- 2935 Punkte mit GNTRANS transformiert
- Differenz der Koordinaten  
Standardabweichungen für Rechtswert, Hochwert

| <i>Bereich</i> | <i>sx [m]</i> | <i>sy [m]</i> | <i>sz [m]</i> |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| NISA           | 0.020         | 0.036         | –             |

# GNTRANS – Modell Eigenschaften

---



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

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
- Einheitlichkeit
- Homogenität
- Stetigkeit
- Berücksichtigung
- Eineindeutigkeit

- **Nachbarschaftstreue**

- Erhaltung der nachbarschaftlichen metrischen Eigenschaften
- optimale Nutzung aller Stützpunkte
  - keine Auswahl
  - keine Insellösungen
- Berücksichtigung zufälliger Messfehler der Stützpunkte
  - weitestgehend restklaffenfrei
  - Zwangsbedingung restklaffenfrei

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



## • Eigenschaften des Transformationsmodells

- Nachbarschaft
  - Einheitlichkeit
  - Homogenität
  - Stetigkeit
  - Berücksichtigung
  - Eineindeutigkeit
- **Einheitlichkeit/Standardisierung**
    - universelles Programm
    - ein einziges mathematisches Modell
    - direkt verfügbar
    - verringert Bedienfehler
      - keine individuellen Entscheidungen/Eingriffe
    - Dokumentation/Nachweis
      - wiederholbar/reproduzierbar
      - einheitliche Transformationsvorschrift
      - einheitliche Dokumentationsvorschrift

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
  - Einheitlichkeit
  - Homogenität
  - Stetigkeit
  - Berücksichtigung
  - Eineindeutigkeit
- **Homogenität**
    - speziell entwickelt für Überführung inhomogener Koordinaten
    - Instrument zur Überführung in homogene Koordinaten
    - erlaubt uneingeschränkten Einsatz moderner satellitengestützter Messverfahren

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
- Einheitlichkeit
- Homogenität
- Stetigkeit
- Berücksichtigung
- Eineindeutigkeit

- **Stetigkeit**

- weiträumig
- in großen und/oder kleinen Gebieten
  - deutschlandweit
  - Verdichtungen/Patches
- keine Gebietsgrenzen, Landesgrenzen, etc.

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
- Einheitlichkeit
- Homogenität
- Stetigkeit
- Berücksichtigung
- Eineindeutigkeit

- **Berücksichtigung von Diskontinuitäten**

- unterschiedliche inhomogener Systeme
- topologische Nachbarschaft

# GNTRANS – Modell Eigenschaften



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
- Einheitlichkeit
- Homogenität
- Stetigkeit
- Berücksichtigung
- Eineindeutigkeit

- **Eineindeutigkeit**

- eindeutige Transformation
- eindeutige umkehrbare Transformation
- numerisch identische Werte
- Vorteile der Einheitlichkeit/Standardisierung



# GNTRANS – Weitere Aspekte



- **Eigenschaften des Transformationsmodells**

- Nachbarschaft
- Einheitlichkeit
- Homogenität
- Stetigkeit
- Berücksichtigung
- Eineindeutigkeit

- **weitere Aspekte bei der Anwendung des Transformationsmodells**

- Punktdaten/Massendaten
- Einsetzbarkeit/Verfügbarkeit
- Post-Processing
- Echtzeit Anwendungen
- Integration/Automation
- logister Aufwand
- Nutzerfreundlichkeit
- Akzeptanz
- Wirtschaftlichkeit
- ...

# GNTRANS – Patches

---



- **Erweiterungen des bundesweites GNTRANS Modul**
  - Genauigkeitssteigerung
    - Verdichtung durch zusätzliche Stützpunkte
  - Einbindung zusätzlicher Systeme
    - Berücksichtigung zusätzliche Punktidentitäten
- **GNTRANS Patches (Verdichtungen)**
  - Patch Düsseldorf,
  - SAPOS Patch Verden, Niedersachsen
  - ...

# GNTRANS – Patch Düsseldorf

---



- **GNTRANS Patch**

- Vermessungs- und Katasteramt Landeshauptstadt Düsseldorf
- Untersuchungen zum Übergang von alten Gebrauchskoordinatensysteme in ETRS 89
- 1400 zusätzliche Stützpunkte
- Verifikation mit 4388 Soll-Koordinaten (Lage) einer Ausgleichung sowie 40 SAPOS RTK-Messungen

72.1 % kleiner 1 cm

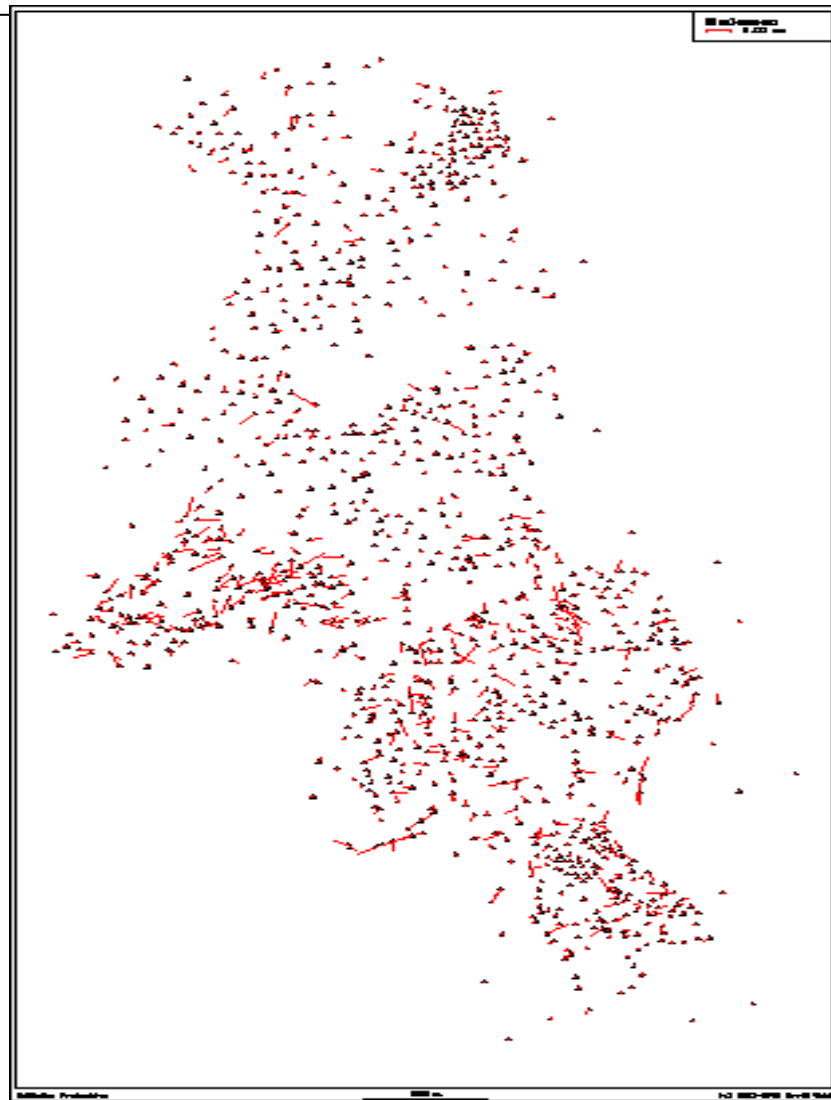
1.5 % größer 2 cm

Vermessungs- und Katasteramt Landeshauptstadt Düsseldorf (2003). *Einführung des Bezugssystems ETRS-89 in Liegenschaftskataster*. Anwenderbericht, 25. September 2003.

# GNTRANS - Düsseldorf Patch Lagekomponente

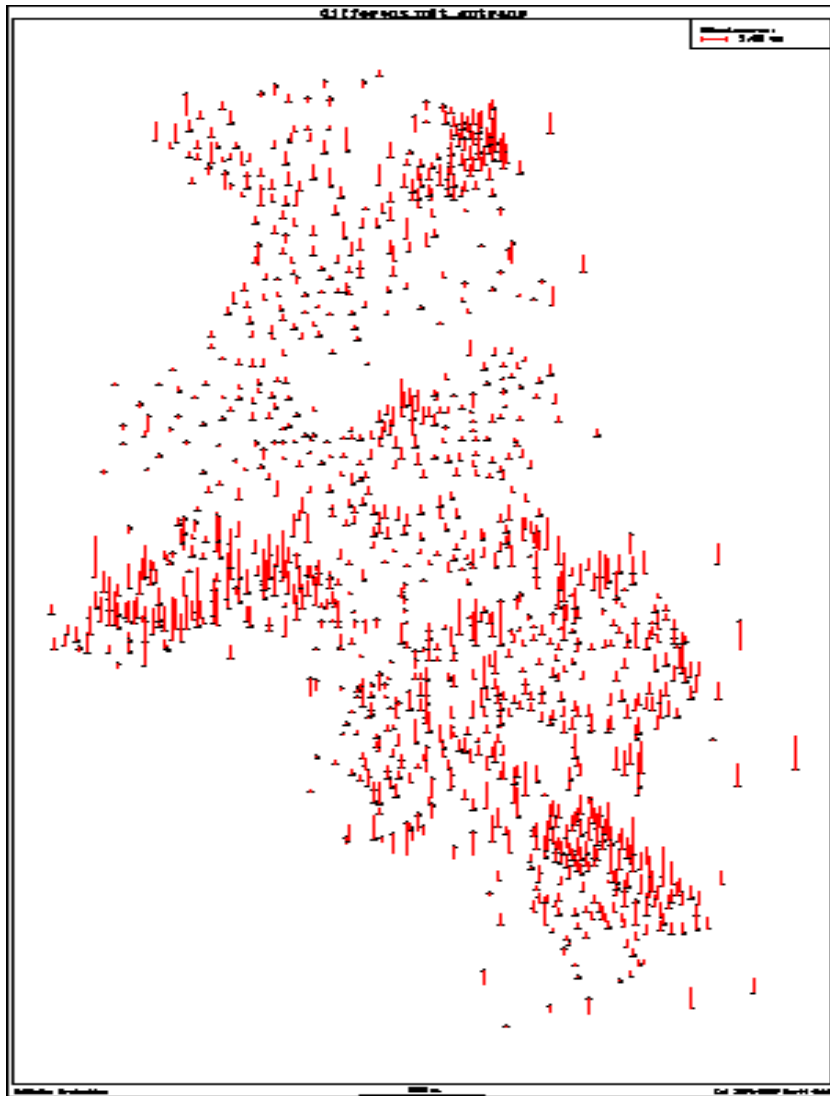


GNTRANS

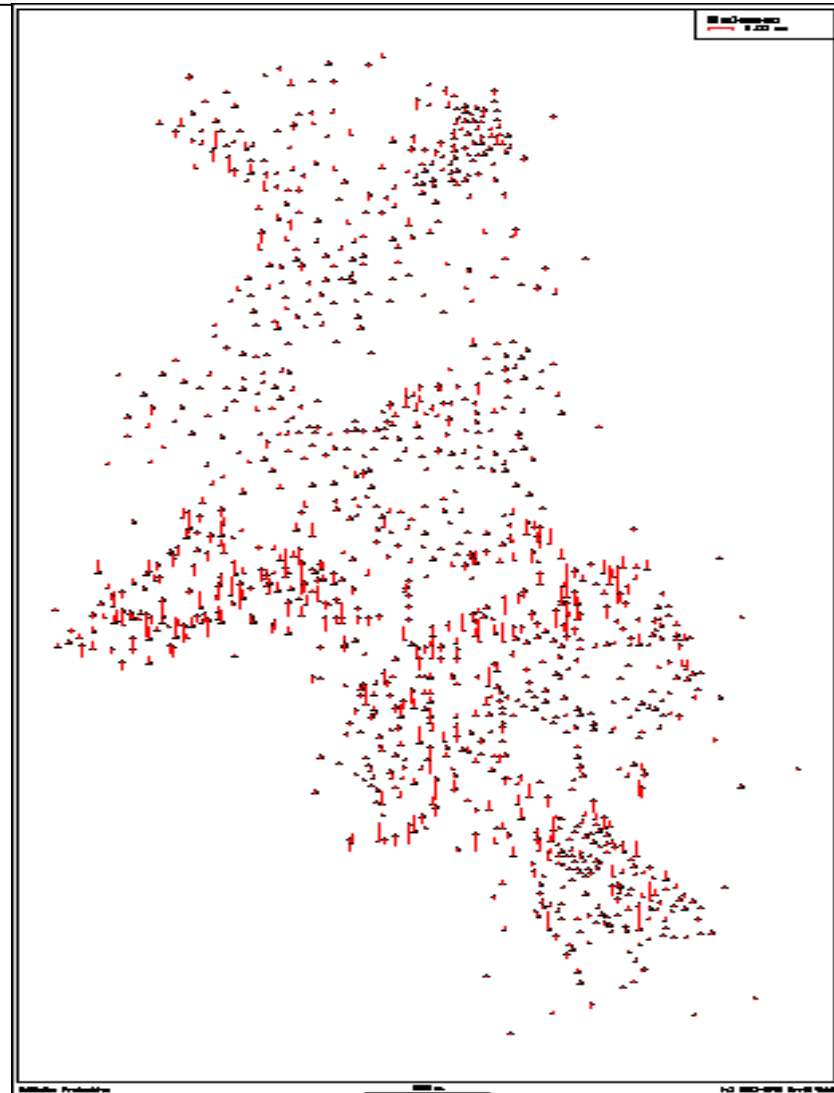


GNTRANS Patch

# GNTRANS - Düsseldorf Patch Höhenkomponente



GNTRANS




GNTRANS Patch

# GNTRANS – SAPOS<sup>®</sup> Patch Verden



- **GNTRANS Patch**

- Untersuchungen zur Normalhöhenbestimmung in Echtzeit mit SAPOS HEPS durch  LGN
- passpunktfreie Übertragung ellipsoidischer Höhen in Gebrauchshöhen
- Gebiet ca. 56 x 56 km, Nivellementsschleife
- zusätzliche 37 Niv/GPS-Stützpunkte
- Verifikation durch 15 SAPOS RTK-Messungen (drei Besetzungen mit jeweils sechs Initialisierungen)

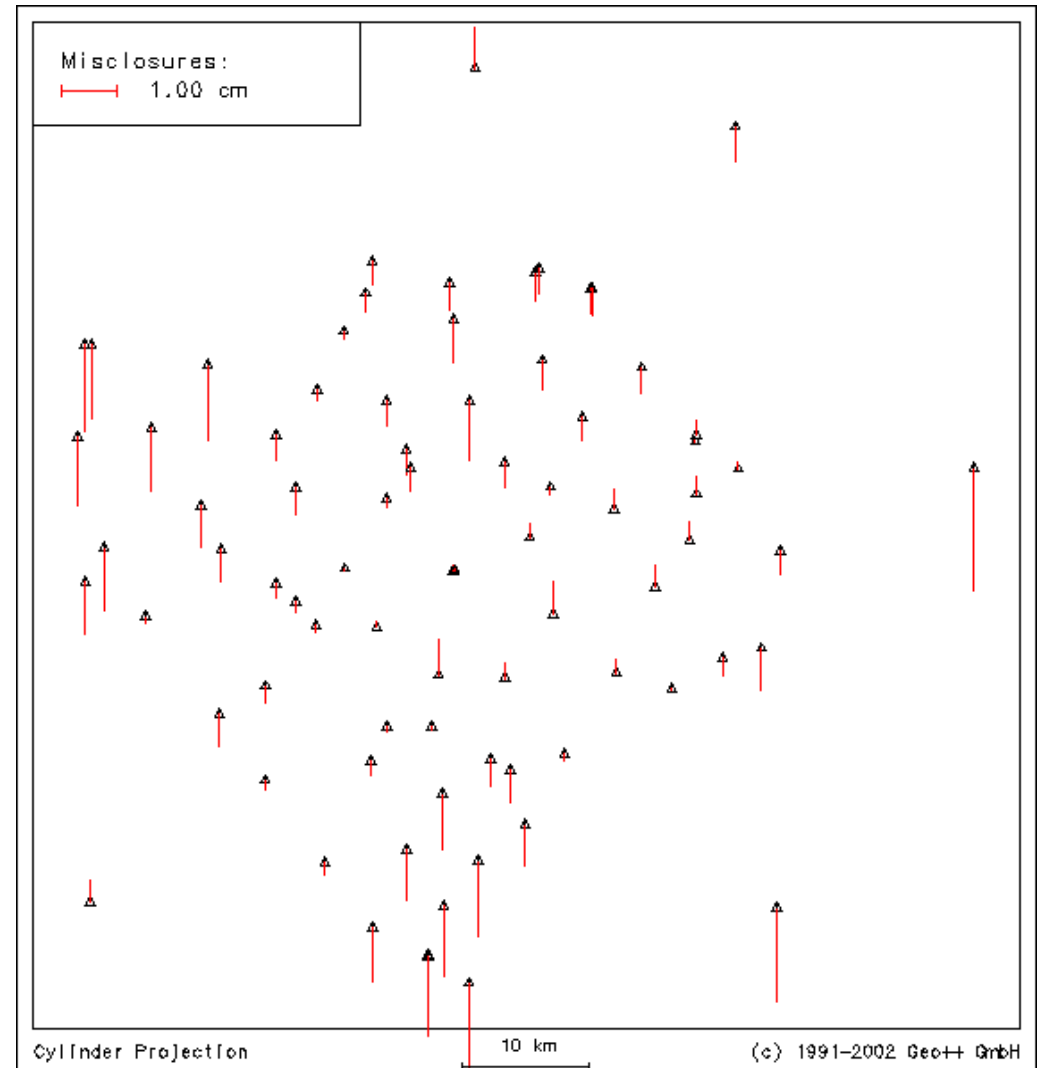
0.89 cm      Standardabweichung berechnet aus Vergleich mit Soll-Normalhöhen DHHN92

Feldmann-Westendorff, U. (2003). Normalhöhenbestimmung im Bezugssystem DHHN 92 mit SAPOS. 5. SAPOS-Symposium „SAPOS<sup>®</sup> setzt Maßstäbe ...“, 3.-5. November 2003, Frankfurt am Main, 145-163.

# GNTRANS – SAPOS® Patch Verden Höhenkomponente



- **GNTRANS Patch**
  - freie Lagerung des Netzes
  - Vergleich Höhenkomponente mit präziser Referenz
  - mittlere Höhendifferenz (innere Genauigkeit) deutlich unter 1 cm



# GNTRANS – GNSS Echtzeitanwendung

---

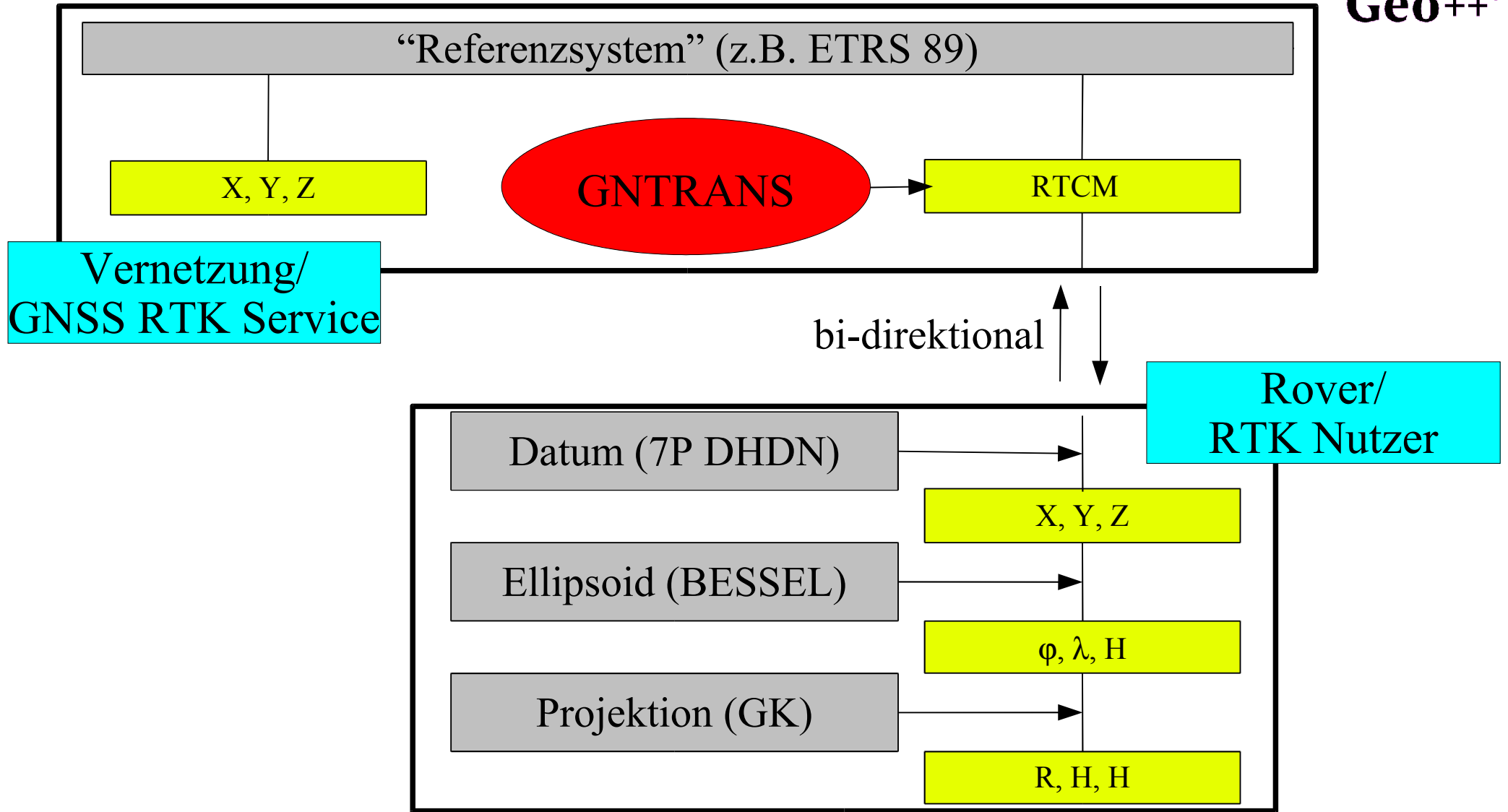


- **Vernetzung von Referenzstationen/Referenzstationsdienste**
  - Nutzerforderung nach Transformation in Gebrauchskordinaten
    - amtliche Landeskoordinaten
    - Gebrauchshöhen
- **Notwendigkeit der Referenzstationsdienste Transformationen bereitzustellen**
  - bereits mit gegenwärtigen RTCM-Versionen möglich
  - zukünftig Verfahren und Message-Typ im RTCM 3.0

RTCM, Radio Transmission Committee for Marine Applications  
- internationales Format zur Übertragung von z.B. GPS Daten




# GNTRANS – Gegenwärtige Echtzeit Transformation in Amtliche Systeme



# GNTRANS – GNSS Echtzeitanwendung

---



- **Vernetzung der Ruhrgas AG** The logo for ascos consists of the word "ascos" in a blue, lowercase, sans-serif font. Below it, the words "satellite positioning services" are written in a smaller, orange, lowercase, sans-serif font. The logo is flanked by two blue 'X' shapes.
  - setzt GNTRANS-RT ein
  - bundesweites GNTRANS Modul
- **Verifikationen durch RTK Testmessungen**
  - ascos
  - DB Netz AG
  - Vermessungs- und Katasteramt Düsseldorf
  - ...
  - RTK-Messung liefert zusammen mit GNTRANS-RT direkt vom Nutzer gewünschte Gebrauchskordinaten

# GNTRANS – Applikationen

---



- **GNTRANS Software**
  - Befehlszeile - einfache Handhabung in Stapeldateien
  - graphisches Nutzer-Interface – Transformation mit 'Mouse Click' von Einzeldaten und Koordinatendateien
- **GNTRANS-DLL**
  - Dynamic Link Library
  - einfache Integration der GNTRANS-Module in jede Anwendungs-Software (z.B. Verm.esn der technet GmbH )
- **GNTRANS-RT**
  - Echtzeit-Anwendung in RTK-Netzen/GPS-Systemen

# GNTRANS – Applikationen



- **Kommandozeilen**

- einfache Handhabung in Stapeldateien

- **Beispiel**

- Transformation ETRF 89 nach DB\_REF
  - `gntrans -t ETDB < input.dat > output.dat`
- Transformation Landessystem nach ETRF 89
  - `gntrans -t LSET -I THUE < input.dat > output.dat`

input.dat: z.B.:

|      |              |              |         |
|------|--------------|--------------|---------|
| 0001 | 3541812.1887 | 5810665.2661 | 59.8289 |
| 0002 | 3541812.1887 | 5810665.2661 | 59.8244 |
| 0003 | 3554581.3403 | 5808604.6034 | 80.3747 |
| 0004 | 3541441.7915 | 5811004.1353 | 56.1130 |
| 0005 | 3541428.3864 | 5811012.0961 | 56.2078 |

ETDB - ETRS 89 nach DB\_REF  
LSET - Landeskoordinaten nach ETRS 89  
THUE - Thüringen

# GNTRANS – Applikationen



- **Graphische Nutzer Schnittstelle**
  - Transformation mit “Maus Klick“
  - Einzeldaten oder Koordinatendateien

The screenshot shows the WinGntrans application window. At the top, there are four tabs: "Transformation von Landessystem - Koordinaten.", "ETRF89 - Koordinaten.", "DBREF - Koordinaten.", and "Koordinatendateien". The first tab is active. Below the tabs, there are three main sections. The first section, "Eingabekoordinaten [m]", contains three input fields with the values 3541365.6912, 5811453.1053, and 108.8356. The second section, "Transformation", contains a dropdown menu set to "Landessystem -> ETRF89", another dropdown menu set to "Niedersachsen (R,H,H)", and a checkbox labeled "Abb.-Streifen" which is currently unchecked. The third section, "Ergebniskoordinaten [m]", contains two radio buttons: "X, Y, Z" (which is selected) and "Phi, Lamda, h". Below these are three output fields with the values 3842167.2597, 650348.1263, and 5032561.6498, with a small "m" unit indicator at the end of the last field. At the bottom center of the window is a button labeled "Transformiere".

# GNTRANS – Applikationen

---



- **GNTRANS-DLL**

- Dynamic Link Library (DLL)
- ermöglicht direkte Verfügbarkeit in bestehenden Programmen
- einfache Integration von GNTRANS Modulen in Drittanwendungen
- z.B. Verm.esn der technet GmbH

- **GNTRANS-RT**

- Echtzeit Anwendung in RTK-Netzen oder GPS-Systemen

- 
- **Land Brandenburg**
    - landesweite eindeutige Transformation von Lage- und Höhenkoordinaten
    - vom alten Gebrauchssystem (STN) in einheitliches 3D-Bezugssystem ETRS89
    - GNTRANS-Verfahren mit Transformationsmodul BRA2ETRS
  - **Deutsche Bahn Netz AG**
    - Übergang von alten Gebrauchssystemen in einheitliches, homogenes Bezugssystem DB\_REF
    - bundesweites Transformationsmodul GNTRANS
    - eindeutige, homogene, stetige und nachbarschaftstreue Transformationen zwischen ETRF89, DB\_REF und Landessystemen
  - **Vermessungs- und Katasteramt Düsseldorf**
    - überführt Punktdaten des Liegenschaftskatasters vom derzeitigen Gebrauchssystem in einheitliche 3D-Bezugssystem ETRS89
    - bundesweites Transformationsmodul GNTRANS mit zusätzlich generiertem GNTRANS Patch Düsseldorf zur Genauigkeitsteigerung

- 
- **Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen (LGN)**
    - führt Untersuchungen verschiedener Transformationsansätze durch
    - bislang mehrere GNTRANS Patches für das bundesweite GNTRANS Modul zur Genauigkeitsteigerung generiert und bereitgestellt.
  - **Ruhrgas AG**
    - Betreiber eines GNSS Referenzstations Services in Deutschland (ASCOS)
    - bundesweite Transformationsmodul GNTRANS, GNTRANS Patches als zusätzlicher Transformations-Service
    - GNTRANS ermöglicht Echtzeit Messungen in alten Gebrauchssystemen sowie DB\_REF
  - **MPC/Mitsubishi Electric Corporation**
    - Betreiber der GPS Referenzstations-Services PAS in Japan
    - Einflüsse durch Krustenbewegungen mit GNTRANS modelliert
    - Nutzern des GPS Referenzstations-Services wird Modul bereitgestellt um Echtzeit-Transformation durchzuführen
    - regelmässige Anpassung/Aufdatierung des Moduls (zweiwöchig)



# Zusammenfassung

---



- inhomogene Koordinatenvielfalt in Deutschland
- satellitengestützte Anwendungen fordern homogene Koordinatensysteme
- lösbar durch homogene Transformation
- Geo++<sup>®</sup> GNTRANS
- bundesweites Modul
- verfügbares Transformationsmodell für Übergang von homogenen ETRS 89 Koordinaten in amtliche Landeskoordinaten und umgekehrt
- Verdichtung/Ergänzung durch Patches
- GNTRANS in GNSS Echtzeitanwendungen



---

für Publikationen über das vorgestellte Thema siehe auch

[www.geopp.de](http://www.geopp.de)

oder direkt unter

[http://www.geopp.de/publications/german/lit\\_d.htm](http://www.geopp.de/publications/german/lit_d.htm)