Zur großräumigen Echtzeit−Vernetzung von GNSS Referenzstationen

Gerhard Wübbena

Geo++® GmbH
D−30827 Garbsen
www.geopp.de

©2002 Geo++® GmbH

Inhalt

- Einleitung
- Aufgabe von Referenzstationsnetzen
- Vorteile durch großräumige Netze
  - Reduktion der Stationsdichte
  - Reduktion stationsabhängiger Fehlereinflüsse
  - Reduktion der Bandbreite der Übertragungsmedien
  - Erweiterung der DGNSS Dienste
  - Informationsaustausch in hierarchischen und kooperierenden Netzen

©2002 Geo++® GmbH

Einleitung

- Echtzeit−Vernetzung mit GNSMART seit 1996 (SAPOS, BEWAG,...)
- Anfangs: kleine Netze, geringe Netzausdehnung (100km)
- SA*POS*: bis Ende 2002 vollständige Vernetzung
- ==> vermehrt Netze mit hoher Stationsanzahl und großer Netzausdehnung
  - Vorteile durch hohe Redundanz innerhalb der Netze
  - Vorteile durch große Netzausdehnung mit der Möglichkeit der besseren Trennung von Zustandsparametern

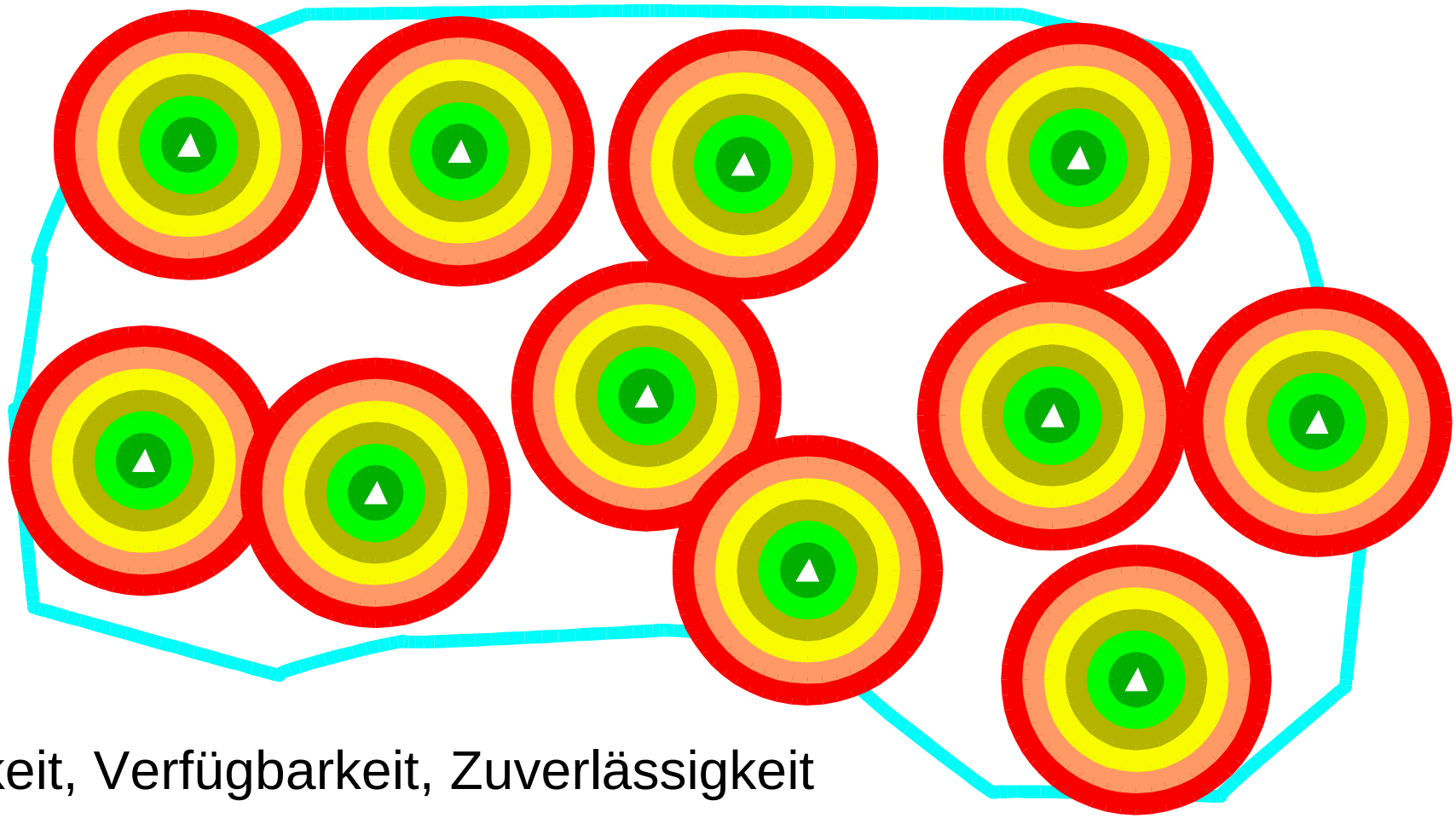
©2002 Geo++® GmbH

Aufgabe von Referenzstationsnetzen

©2002 Geo++® GmbH

Netz einzelner Referenzstationen

RTK „Performance“

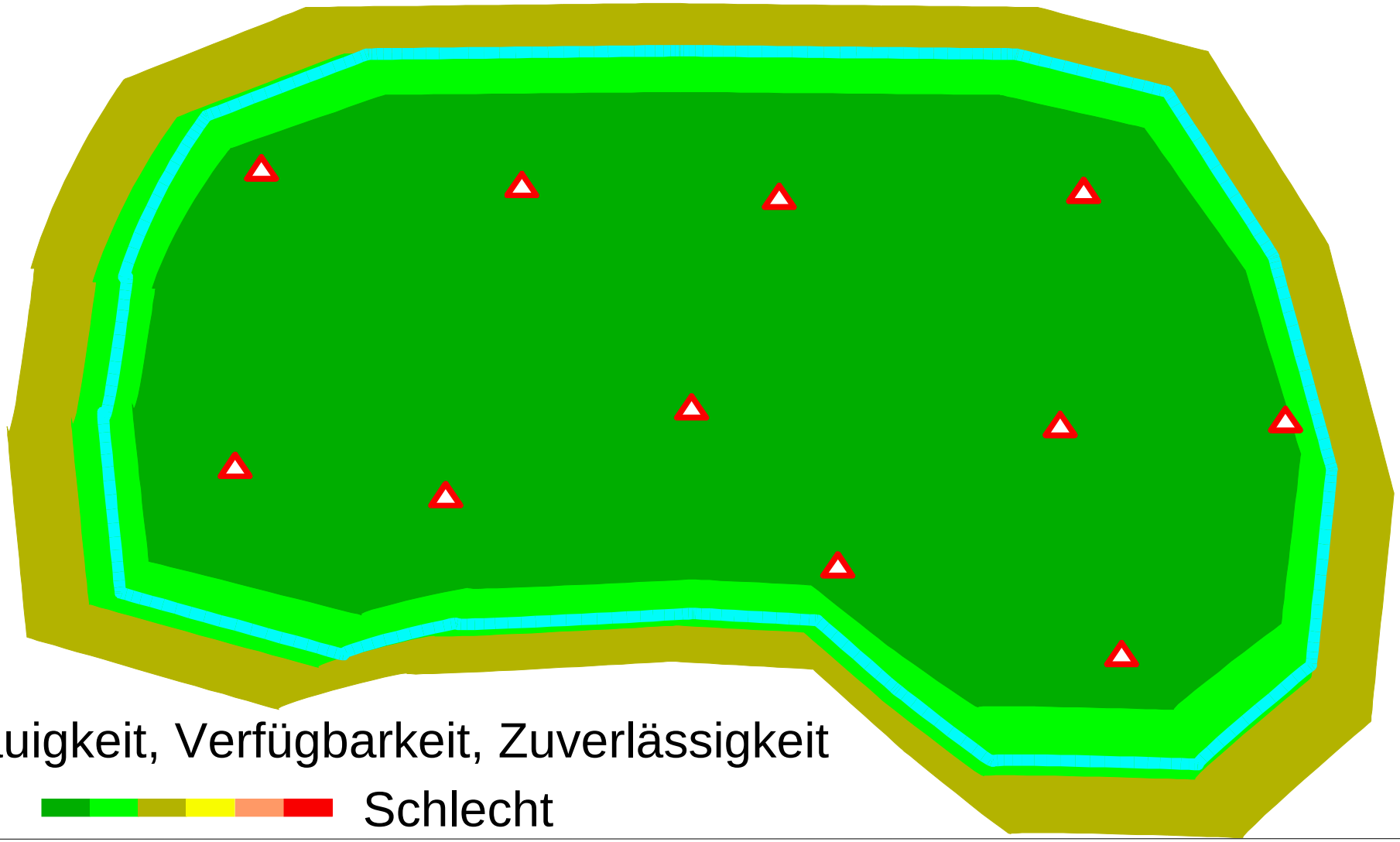


Genauigkeit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit

Gut Schlecht

©2002 Geo++® GmbH

GNSS−SMART: Vernetzte Referenzstationen



Genauigkeit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit

Gut Schlecht

©2002 Geo++® GmbH

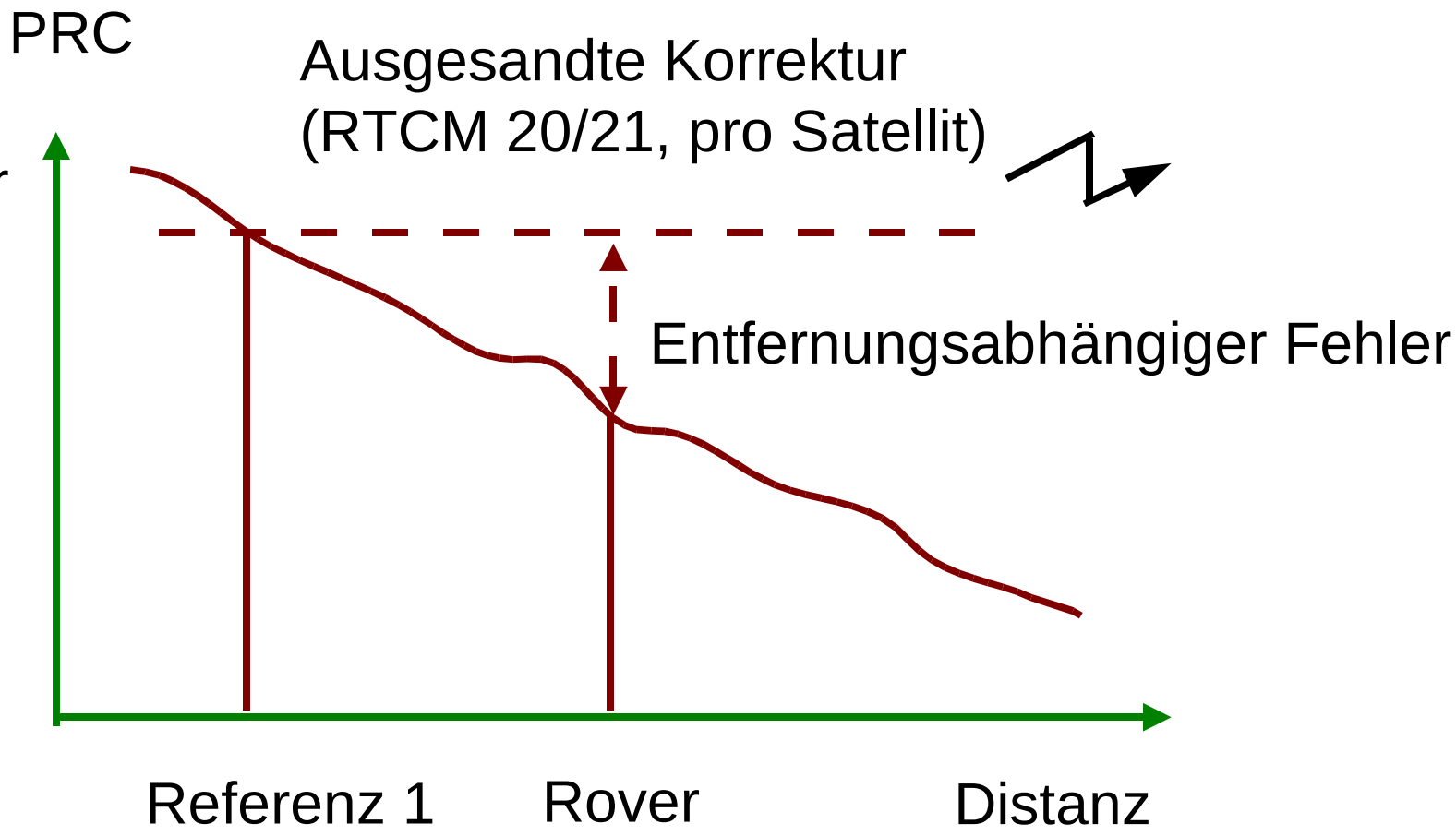
Aufgabe von Referenzstationsnetzen

- Primäre Aufgabe:
  - Bestimmung verbesserter Korrekturdaten durch Erfassung und Modellierung von entfernungsabhängig wirkenden Fehlereinflüssen im Netz der Referenzstationen
  - Bereitstellung von Informationen für Rover zur Interpolation der Fehler für die Position des Rovers (Individualisierung)

©2002 Geo++® GmbH

Herkömmliches RTK
Entfernungsabhängigkeit

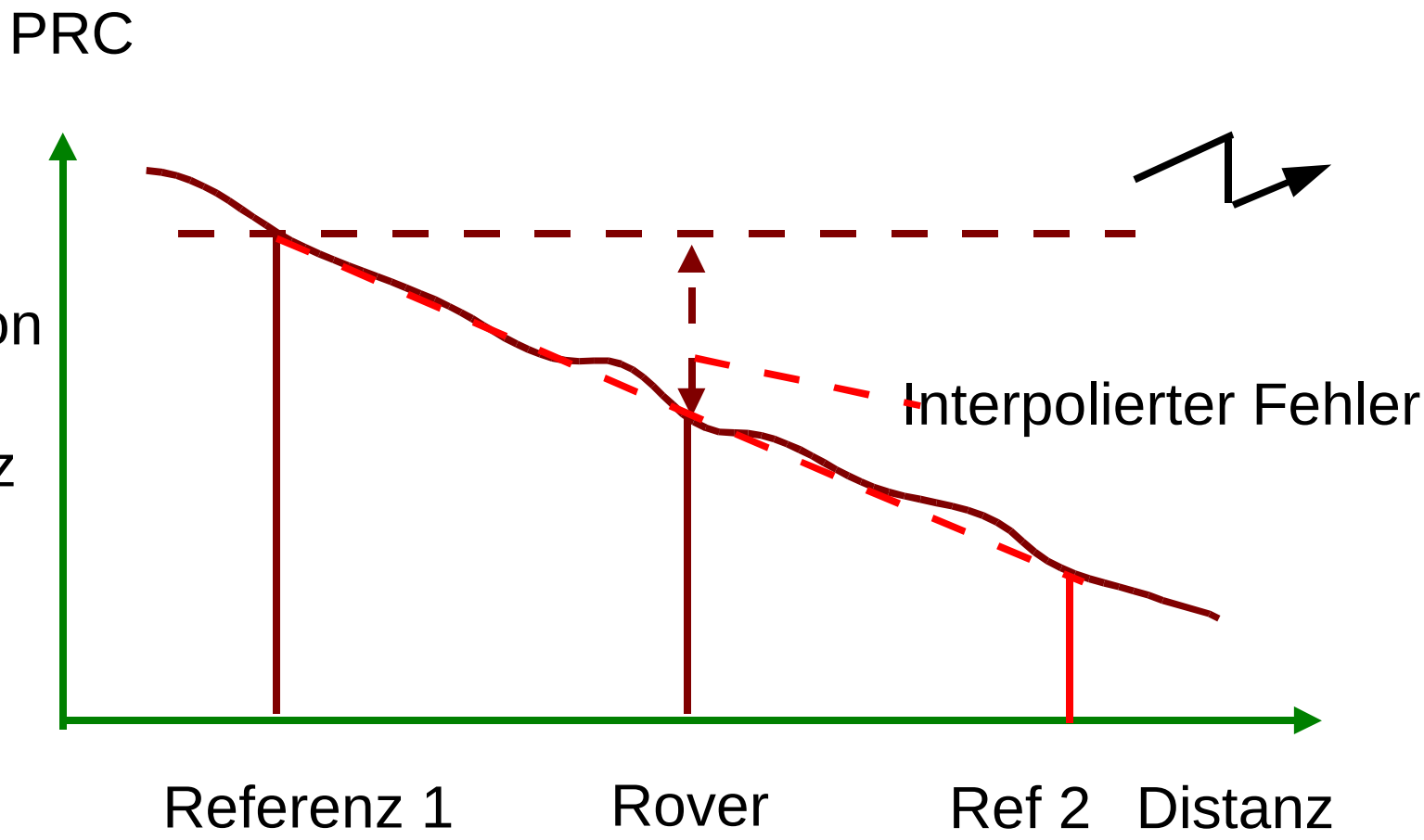
Pseudoent−
fernungs− oder
Trägerphasen−
Korrektur:
„Lump Sum“
aller Fehler−
anteile



©2002 Geo++® GmbH

„Network−RTK“ aus Referenzstationsnetz

Vebesserung der Repräsen−tation der Korrekturfunktion durch Inter−polation im Netz von Referenz−stationen



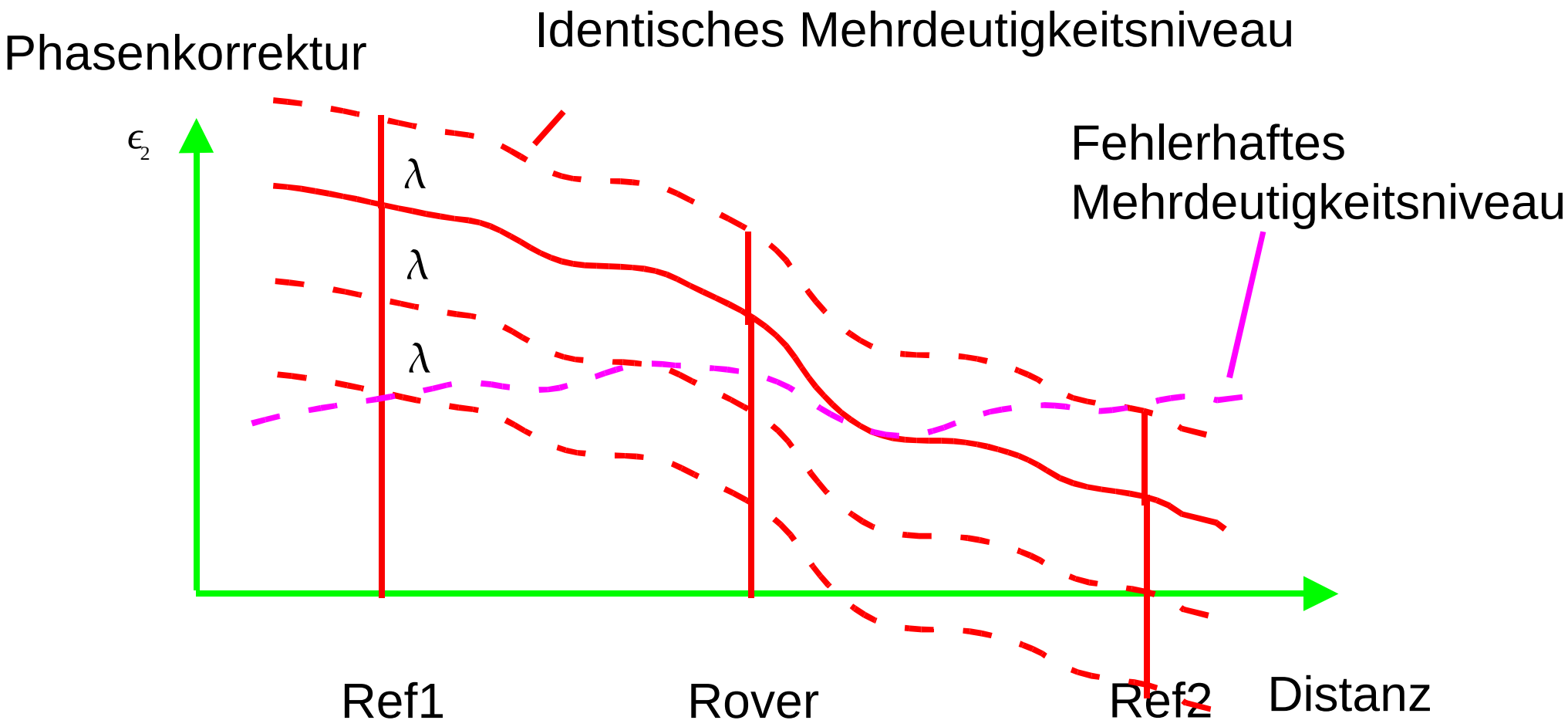
©2002 Geo++® GmbH

Aufgaben Referenzstationsvernetzung

- Hauptproblem:
  - Lösung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten innerhalb des Netzes

©2002 Geo++® GmbH

Mehrdeutigkeitsniveau: „Ambiguity Level“



©2002 Geo++® GmbH

Aufgaben Referenzstationsvernetzung

- Hauptproblem:
  - Lösung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten innerhalb des Netzes
  - Mehrdeutigkeitslösung abhängig von der Entfernung zwischen den Referenzstationen
    - Einfache Modelle über kurze Distanzen tlw. ausreichend
  - Modellierung der individuellen Fehlereinflüsse notwendig, um Distanz zwischen Referenzstationen zu vergrößern
    - ==> vollständige Zustandmodellierung mit erwartungstreuer Schätzung im Multistationsansatz erforderlich: GNSMART

©2002 Geo++® GmbH

Vorteile durch hohe Redundanz und großräumige Netze

- Steigerung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit
- Schätzung und Reduktion stationsabhängiger Fehler
- Vergrößerung der Interstationsdistanzen („Sparse Networks“)
- Bessere Dekorrelation (Trennbarkeit) der Zustandsparameter
- Verwendung von Zustandsparametern anstelle von Beobachtungskorrekturen für Rover
  - Geringere Bandbreite der Übertragungsmedien
  - Austausch von Zustandsinformationen zwischen hierarchischen und kooperierenden Netzen
  - Erschliessung von Diensten mit dm−Genauigkeit (GIS)
  - Austausch von Zustandsinformationen mit anderen Anwendungen (Wetterdienste,...)

©2002 Geo++® GmbH

Reduktion stationsabhängiger Fehleranteile

- PCV der Antennen können durch absolute Kalibrierung und Korrektur praktisch vollständig eliminiert werden
- Problem Mehrwegeausbreitung („Multipath“, MP)
  - wird durch hohe Redundanz im Netz mit Faktor $\sqrt{(n-3)}$ reduziert, da MP Effekt zwischen Stationen unkorreliert
  - kann bei MP−Kalibrierung weniger Stationen durch indirekte Kalibrierung der anderen Stationen über die Redundanz im Netz erheblich reduziert werden bzw. vollständig kalibriert werden

©2002 Geo++® GmbH

Informationsaustausch zwischen Netzen

- Möglichkeiten
  - Rohdaten (Beobachtungsraum)
    - N: Hohe Datenmengen
    - N: Mehrfache Verarbeitung der Daten
    - V: Keine Modellabstimmung erforderlich
  - Korrekturdaten (Beobachtungsraum)
    - N: reduzierte aber noch hohe Datenmengen
    - V/N: teilweise Vorverarbeitung der Daten
    - V: keine Modellabstimmung erforderlich
    - V: Möglichkeit der Anbringung lokaler Korrekturen (PCV,MP)
  - Zustandsinformationen

©2002 Geo++® GmbH

Informationsaustausch zwischen Netzen

- Durch Austausch von Zustandsinformationen
  - Beobachtungen lassen sich ohne Informationsverlust in entsprechende Zustandsparameter mit zugehöriger Varianz−Kovarianzmatrix transformieren
    - V: bestmögliche Informationsverdichtung unabhängig von Stationsanzahl
    - V: bestmögliche Nutzung vorhandener Rechnerkapazitäten
    - N: Abstimmung und Konsistenz der Modellbildung erforderlich

©2002 Geo++® GmbH

Hierarchische und kooperierende Netze

- Austausch von Zustands− und zugehöriger Varianz−Kovarianzinformationen zwischen
  - hierarchischen Netzen (Netze unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und Dichte, z.B. Bund−Länder, Europa−Bund)
  - kooperierenden Netzen (gleichartige Netze, z.B. Land−Land)
  - Bessere Bestimmung/Trennung der Zustandparameter
  - Verwendung von Satellitenbahn, −uhr und großräumiger Atmosphäreninformation aus den übergeordneten Netzen im untergeordneten Netz bzw. zwischen benachbarten Netzen
  - ==> „Performancesteigerung“ (schnellere Lösung für aufgehende Satelliten die bereits in kooperierenden Netzen verfügbar sind)

©2002 Geo++® GmbH

Repräsentation der Netzinformation

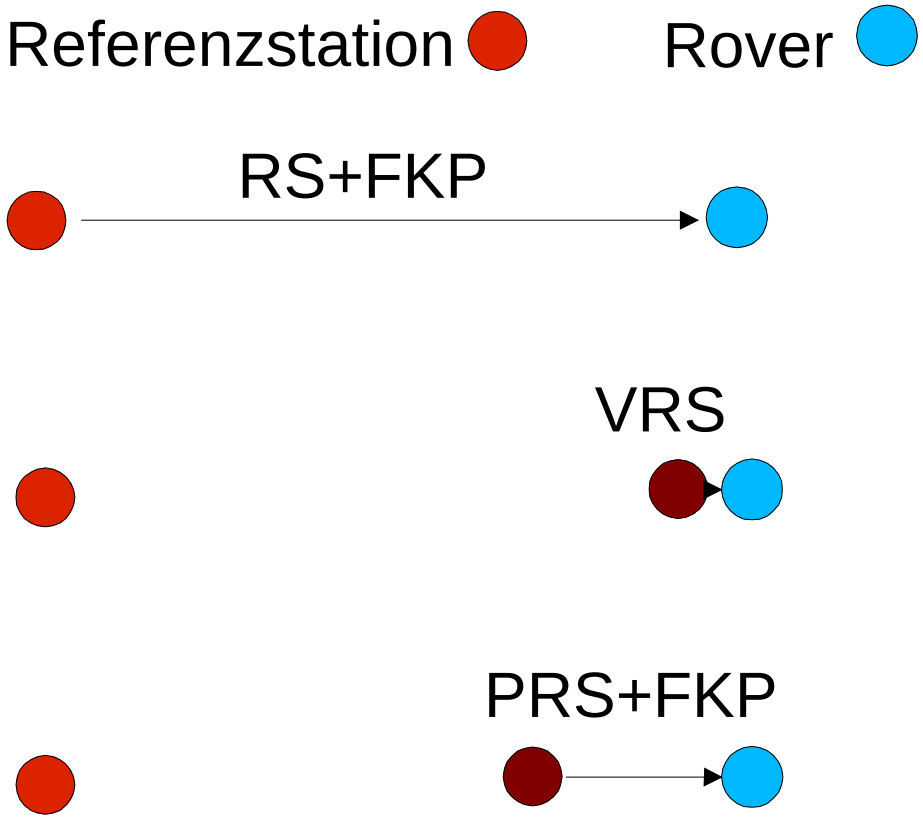
©2002 Geo++® GmbH

Repräsentationsverfahren

- Beobachtungsraum (RTK, kurze Distanzen)
  - Einzelne Referenzstation:
    - RINEX Postprocessing
    - RTCM Real Time
      - Rohdaten Typen 18,19
      - Korrekturdaten Typen 20,21
  - vernetzte Referenzstationen
    - FKP (GNSMART: transformierte Zustandsinformation)
    - VRS (Virtuelle ReferenzStation)
    - PRS (Pseudo−ReferenzStation)
- Zustandsraum (z.Zt. z.B.: IGS, globale Netze)

©2002 Geo++® GmbH

Repräsentation im Beobachtungsraum: Restfehler Erwartungshaltung des Rovers



R: erwartet Restfehler jedoch u.U. zu groß, Modellierung O.K. jedoch u.U. Größere Initialisierungszeit

R: erwartet keine Restfehler, die jedoch i.d.R. vorhanden sind
==> Modellierungsfehler
==> keine Initialisierung

R: erwartet Restfehler in Abhängig−keit von der Distanz zur Pseudo−referenzstation,
Modellierung O.K., Initialisierung O.K.

©2002 Geo++® GmbH

Repräsentationsverfahren

- Zustandsraum (z.Zt. z.B.: IGS, globale Netze)
  - Postprocessing (IGS Produkte aus Netzlösungen)
    - Präzise Bahndaten
    - Präzise Satellitenuhren
    - Ionosphäre
    - Troposphäre
    - Nutzung durch direkte Verwendung bzw. Korrektur von Beobachtungen, z.B. PPP−Verfahren (Precise Point Positioning) mit IGS Produkten
  - Echtzeit
    - Information wie oben aus Echtzeitvernetzung
    - Problem heute: fehlende Standards für Echtzeitverfahren

©2002 Geo++® GmbH

Repräsentation im Zustandsraum

- Vorteile der Zustandsrepräsentation (SSR) im Vergleich zur Repräsentation im Beobachtungsraum (OSR)
  - „Broadcast“ −fähig (z.B. UDP Multicast im Internet)
  - Optimierbare Bandbreite
    - 200−300 bps (SSR)
    - >=2400 bps (OSR−RTCM)
  - Informationsaustausch zwischen Netzen
- Nachteile der SSR vs OSR
  - Kompliziertere Standardisierung durch Notwendigkeit der konsistenten Modellierung
- Anforderung: Zustandsparameter müssen die „Integer“ Natur der Trägerphasenmehrdeutigkeiten erhalten

©2002 Geo++® GmbH

Repräsentation im Zustandsraum

- Erschliessung weiterer Dienste
  - SAPOS:
    - EPS 1..3 m (Typ 1,21,19)
    - HEPS 1..3 cm (Typ 20,18)
    - ?EPS 1..3 dm (Zustandsraum)
      - Anwendungen im GIS Bereich
      - HEPS Signal kann genutzt werden, Kosten jedoch u.U. zu hoch aufgrund der Gebührenstruktur und Kommunikationskosten
      - ==> Repräsentation im Zustandsraum und Nutzung von Medien geringer Bandbreite (LW,MW,UKW) (50 ... 100 bps) oder günstiger Kostenstruktur (GPRS)

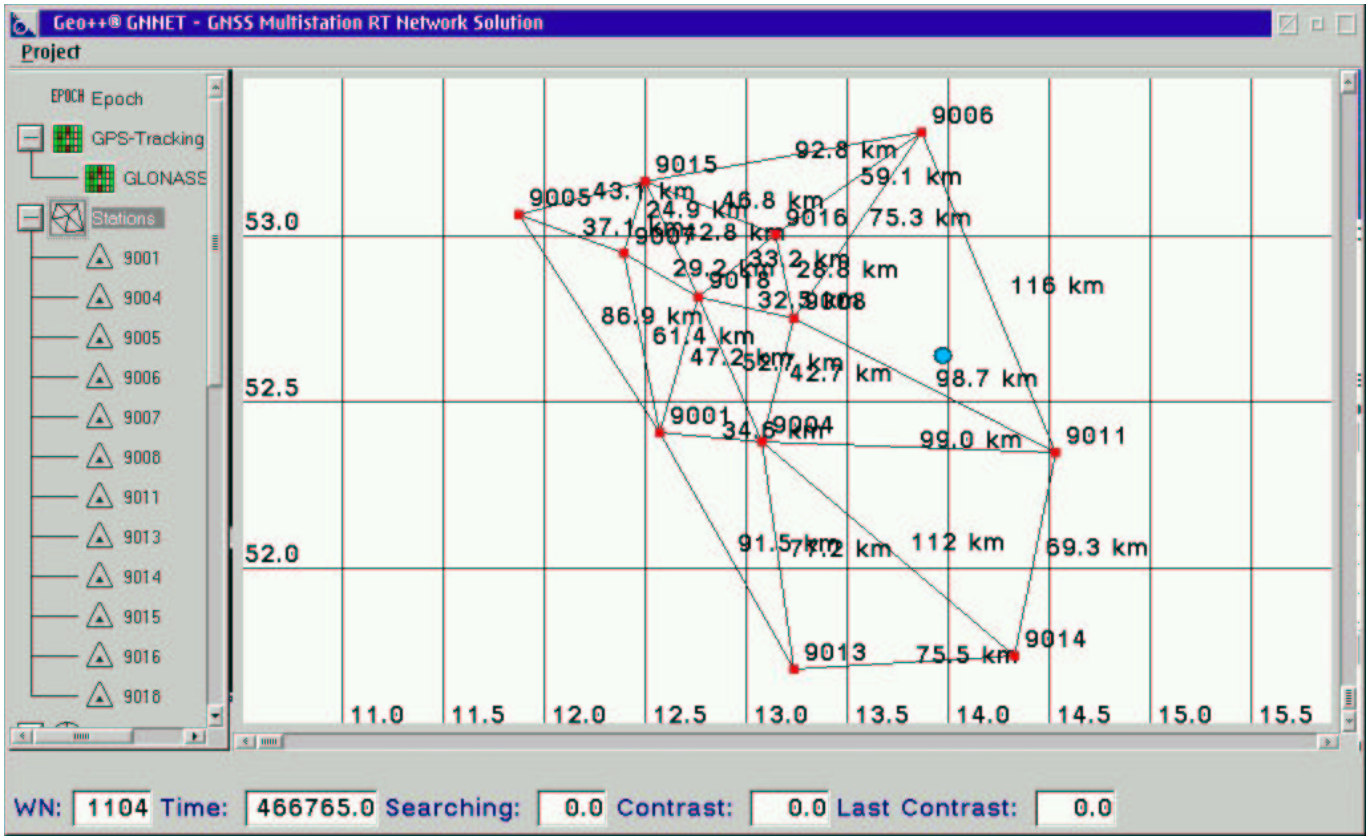
©2002 Geo++® GmbH

„Sparse RTK−Networks“
Beispiele

©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network (100 km) SAPOS Brandenburg

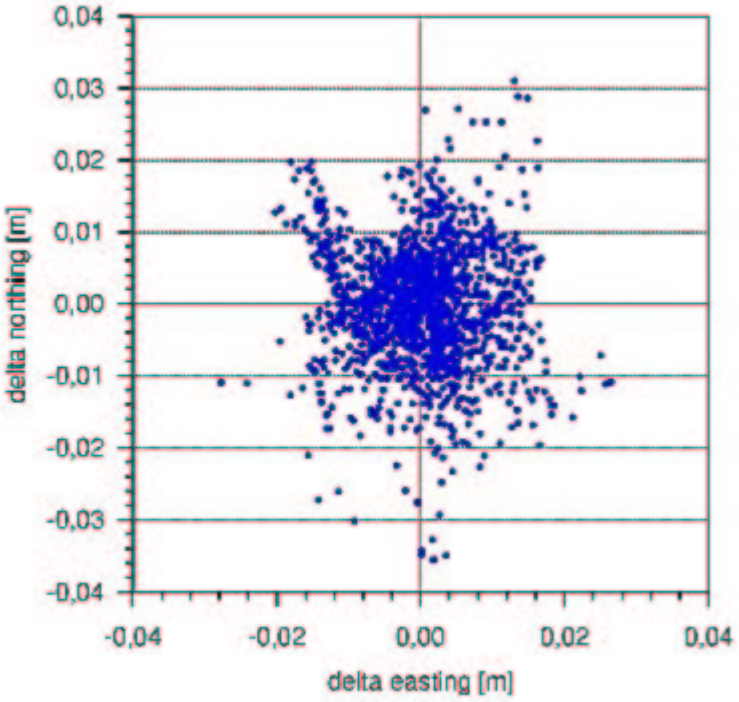
- Nordwest−Netz
- 12 Referenz−stationen
- Dist. bis 116 km
- State Space Model (SSM) FKP mode
  - rover position



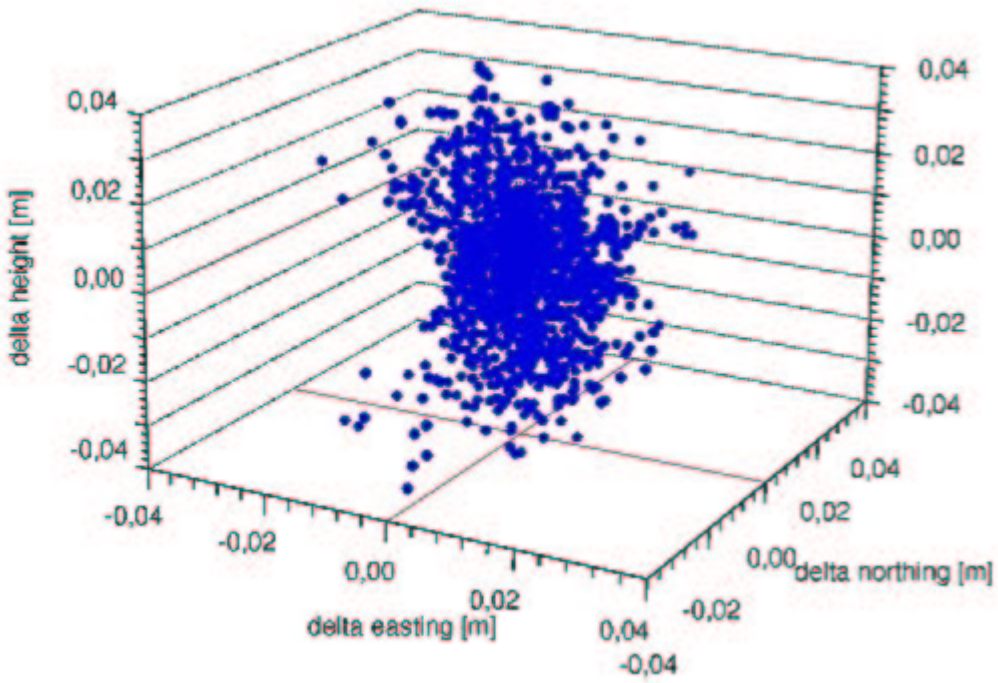
©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network (100 km) SAPOS Brandenburg

- 1544 fixes over 12 hours
- 47 to 58 km distance to closest reference stations



2D Scatter Plot +/− 11 mm

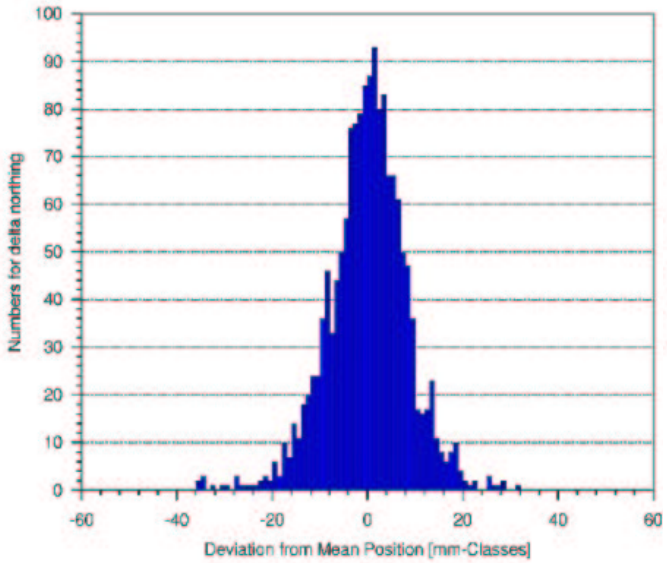


3D Scatter Plot +/− 21 mm

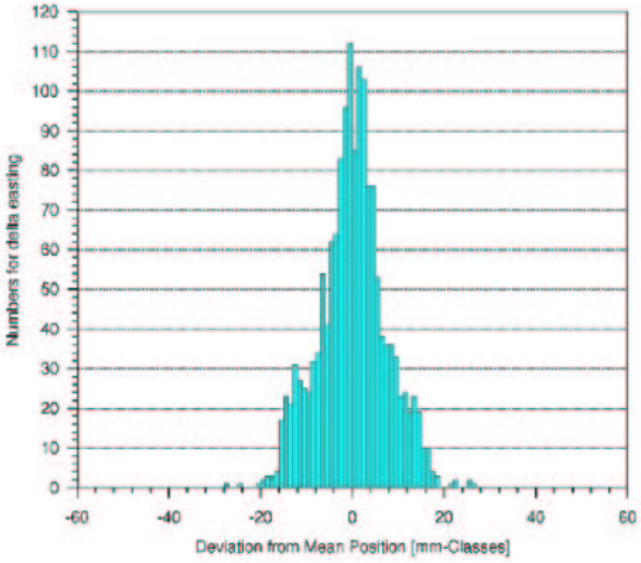
©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network (100 km) SAPOS Brandenburg

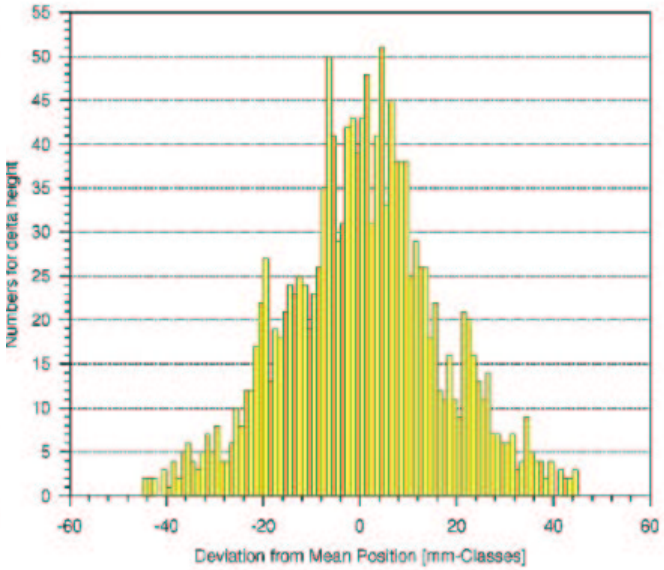
- 1544 fixes over 12 hours
- 47 to 58 km distance to closest reference stations



Northing +/− 8.3 mm



Easting +/− 7.4 mm

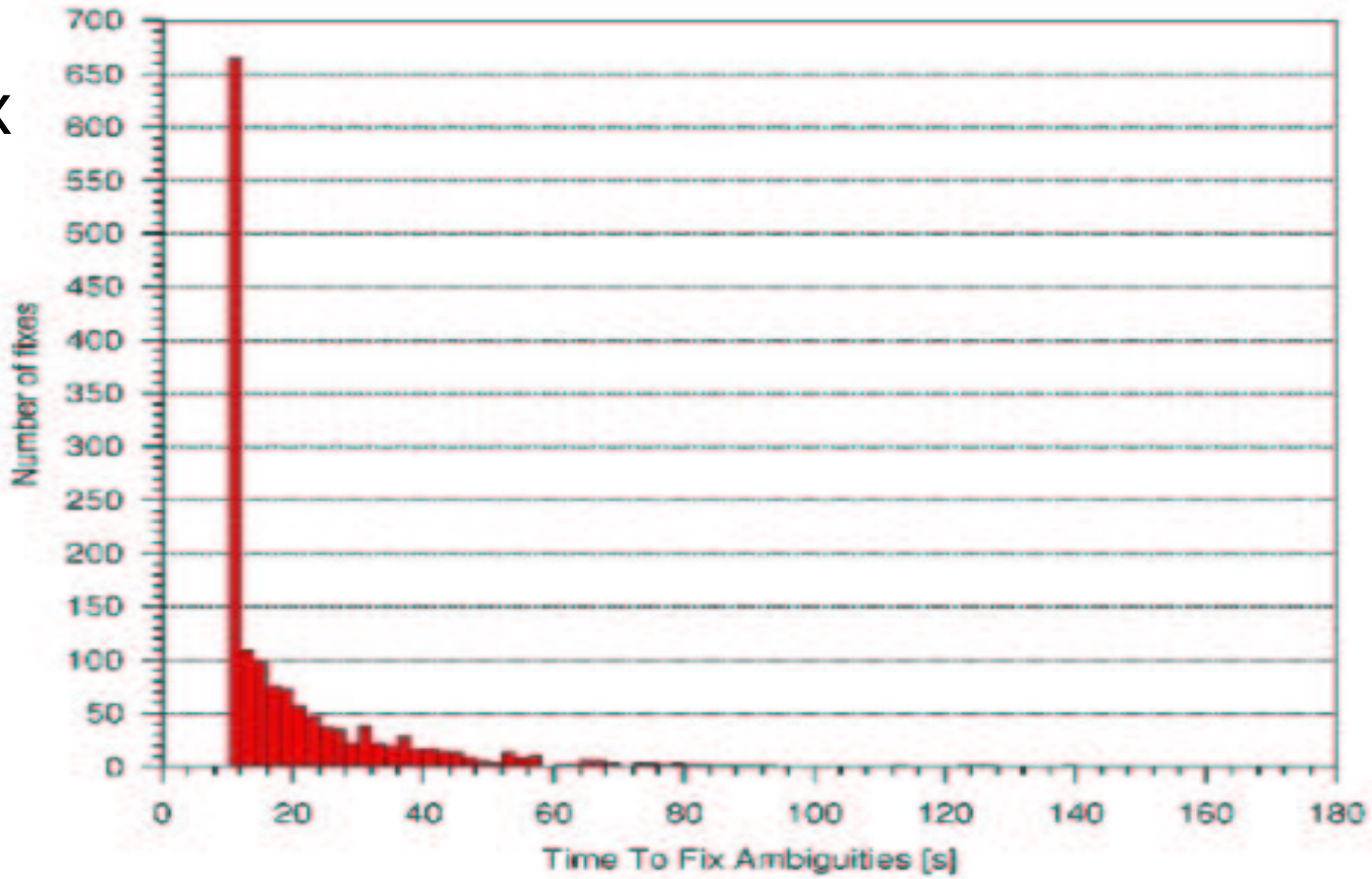


Height +/− 17.0 mm

©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network (100 km) SAPOS Brandenburg

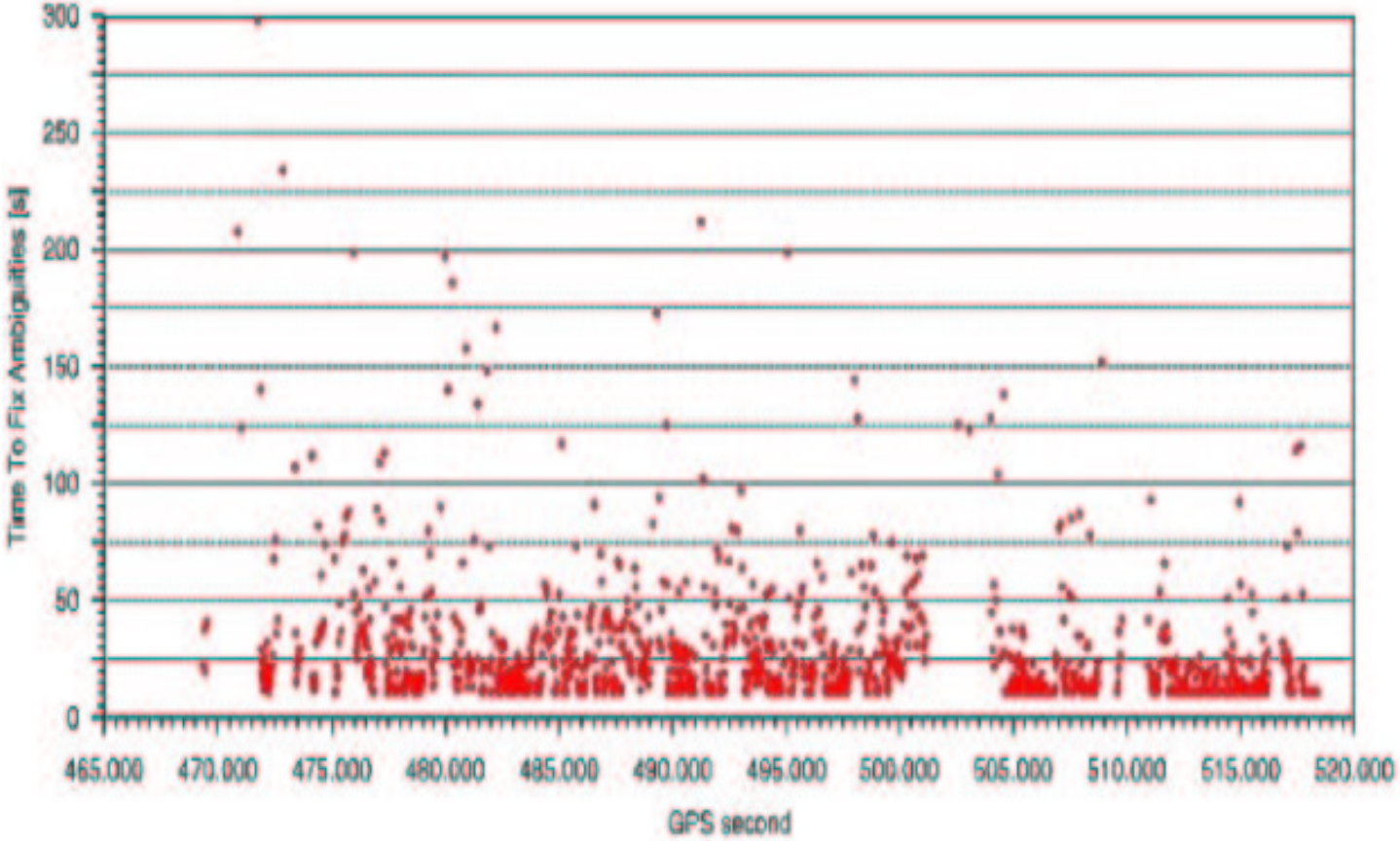
- TTFA (time to fix ambiguity)− histogram
- 1544 fixes
- mean 12 s



©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network (100 km) SAPOS Brandenburg

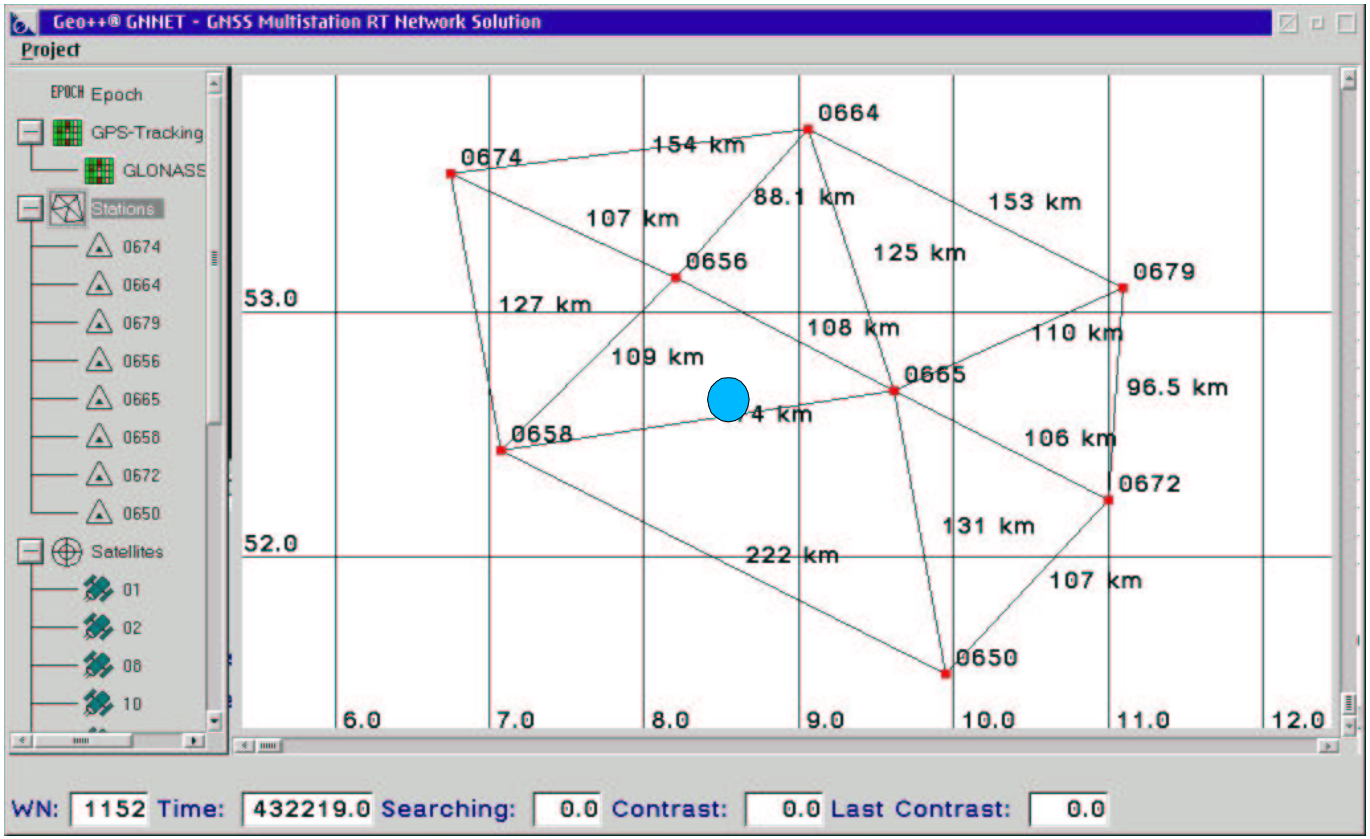
- TTFA (time to fix ambiguity)
- 12 hours
- mean 12 s



©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network SAPOS Niedersachsen (8 Stations)

- complete area 300 x 400 km
- 8 reference stations
- 96 to 222 km
- State Space Model (SSM) FKP mode

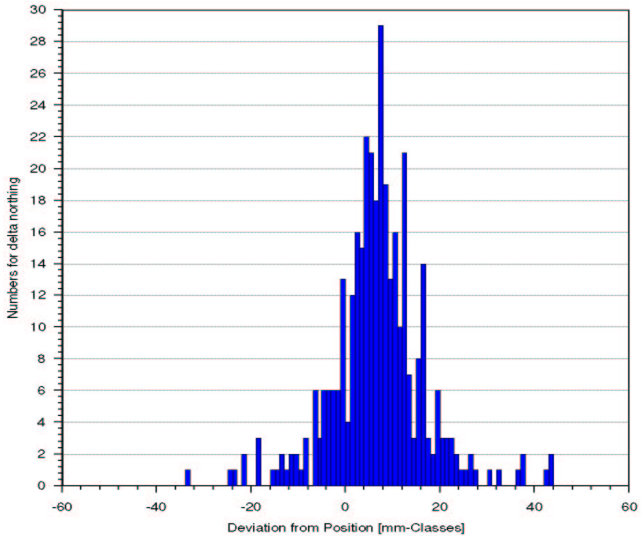


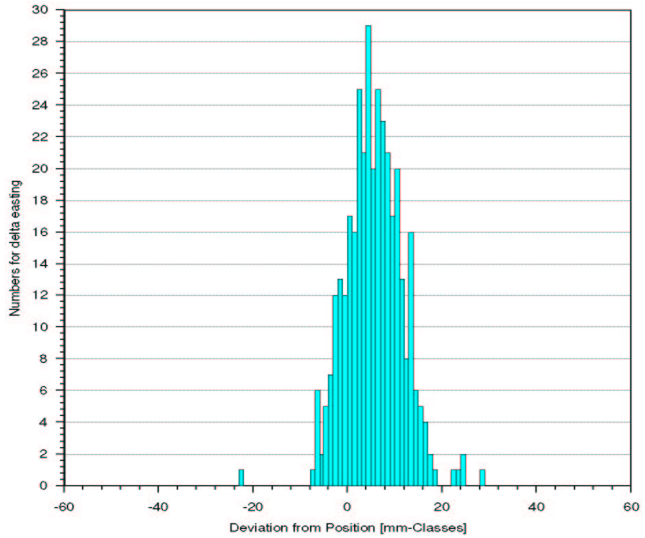
– rover 0654 position

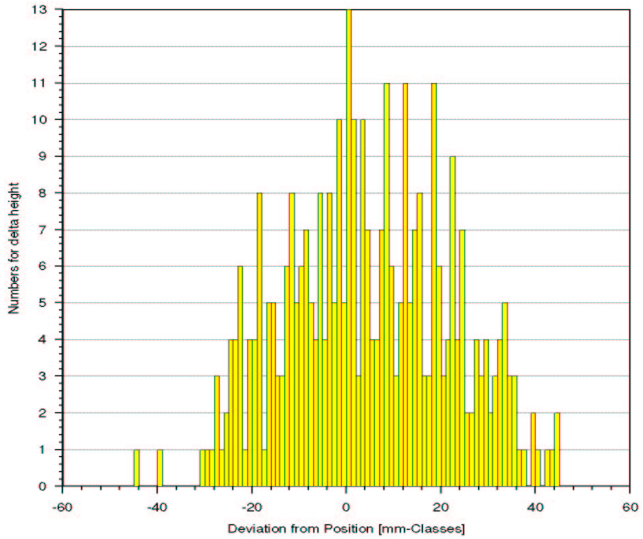
©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network SAPOS Niedersachsen (8 Stations)

- Rover 0654, 354 fixes over 12 h with stochastic trop.
- 65.4 km distance to closest reference station





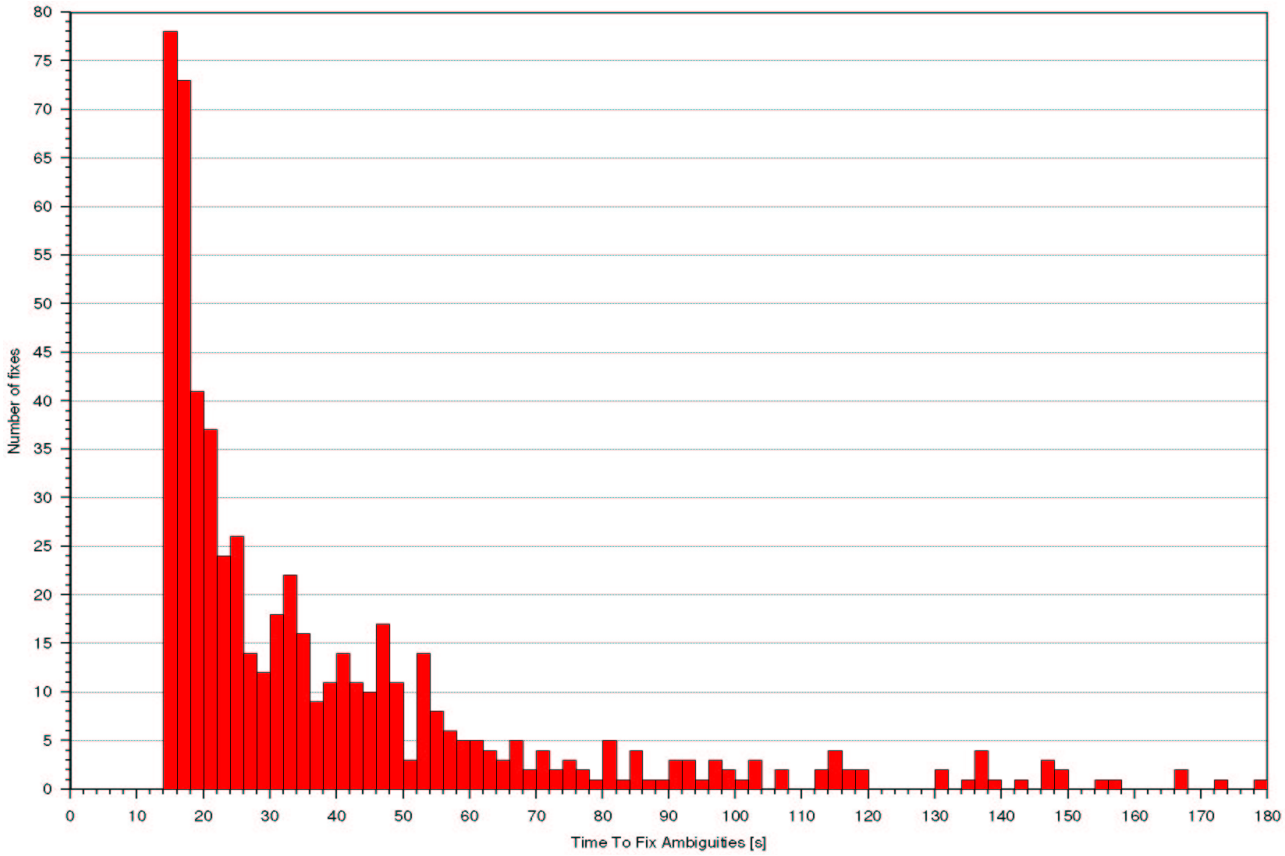


Northing +/− 13,0 mm Easting +/− 8,6 mm Height +/− 18,9 mm

©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Sparse RTK Network SAPOS Niedersachsen (8 Stations)

- TTFA (time to fix ambiguity)−histogram
- rover 0645
- 583 fixes
- Mean 43 s
- with stochastic Troposphere



©2002 Geo++® GmbH

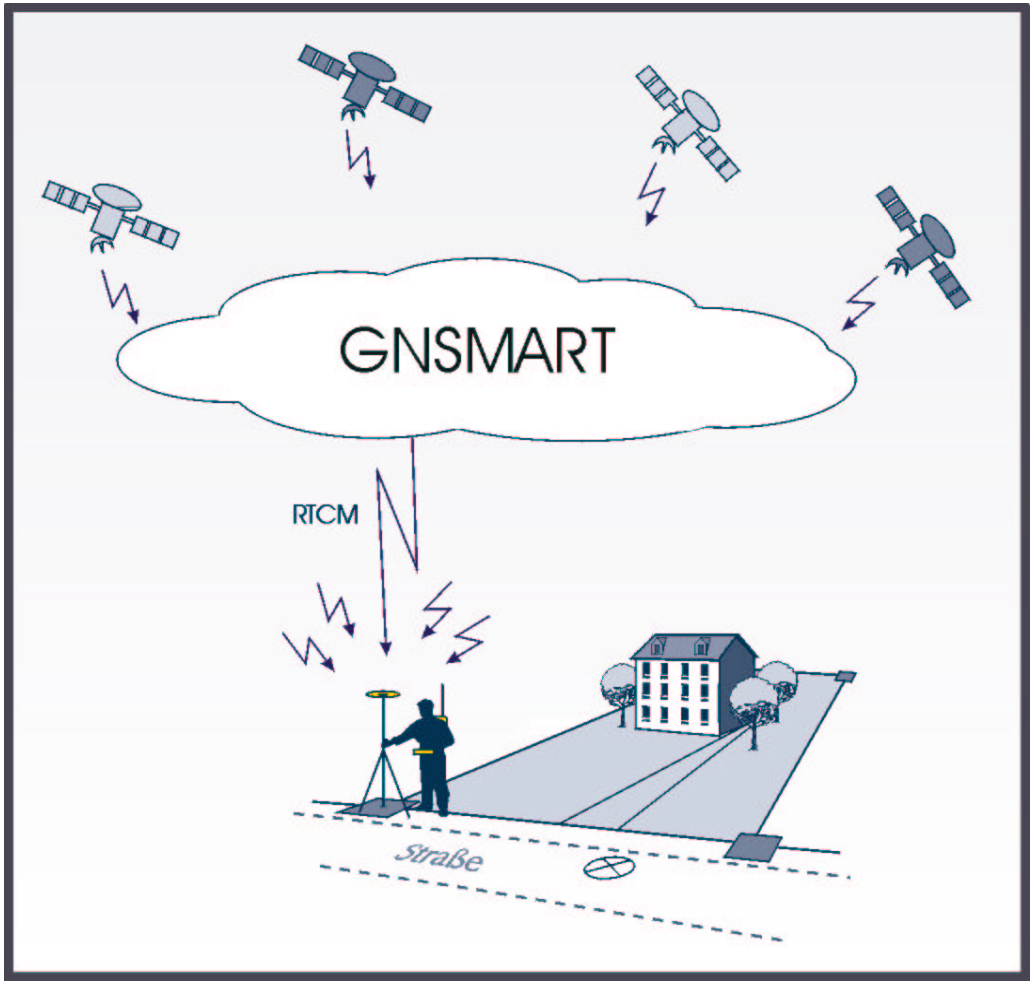
Zusammenfassung

- großräumige redundante Netze
  - liefern genauere Korrekturinformationen für Rover
  - können mit geringerer Stationsdichte arbeiten
  - erlauben eine bessere Zustandsschätzung
- Zustandsinformationen
  - können mit geringerer Bandbreite im Broadcast übertragen werden
  - sind zusammen mit Varianz−Kovarianzinformation sehr gut geeignet für Austausch zwischen hierarchischen und kooperierenden Netzen, da sie den vollen Informationsgehalt der Beobachtungen tragen
- Realisierung: GNSMART, ein GNSS−SMART (State Monitoring And Representation Technique) System

©2002 Geo++® GmbH

GNSMART: Network−RTK: Nutzersicht

- Nutzer im Feld
  - empfängt alle notwendigen Informationen
  - zur Bestimmung seiner absoluten RTK Position (RT−PPP)
- 1 cm Genauigkeit



©2002 Geo++® GmbH

Geo++® GNSMART

©2002 Geo++® GmbH