



Workshop Ril 883.2000 und NXO-Net - Anmerkungen GNSS Auswertung -

Martin Schmitz,
Stefan Wicke, Andreas Geilmann,

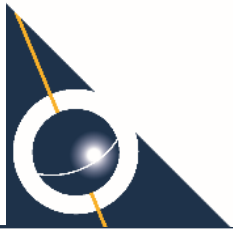
Geo++[®] GmbH
30827 Garbsen
Germany
www.geopp.com



- GNNET-Post
 - Referenzen, Grundkonzept, Parameterschätzung
 - Grundkonzept GNNET, Auswertemodelle
 - Weitere genauigkeitsbeeinflussende Effekte
- GNSS Auswertekonzepte in NXO-Net
 - NXO-Net Sessionsbegriff - Sessionsbildung
 - NXO-Net Ansatz für Stationskoordinaten
 - NXO-Net Netzausgleichung - z.Z. sichtbar
 - NXO-Net vs RTK-Dienste



- GNNET-Post
 - Referenzen, Grundkonzept, Parameterschätzung
 - Grundkonzept GNNET, Auswertemodelle
 - Weitere genauigkeitsbeeinflussende Effekte
- GNSS Auswertekonzepte in NXO-Net
 - NXO-Net Sessionsbegriff - Sessionsbildung
 - NXO-Net Ansatz für Stationskoordinaten
 - NXO-Net Netzausgleichung - z.Z. sichtbar
 - NXO-Net vs RTK-Dienste

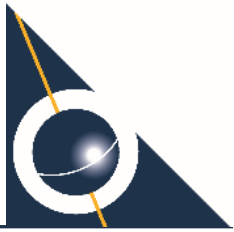


GNNET-Post (bzw. Vorgänger GEONAP) Auswertungen

- 1989 Deutsch-Österreichische DÖNAV GPS Kampagne
- 1991-1993 Border Survey Kingdom of Saudi Arabia/Sultanate of Oman
- 1991 Deutsches GPS Referenznetz DREF91
- 1998, 1999 SAPOS Stationen Hamburg, Berlin, Brandenburg
- 2000, 2002 SAPOS Stationen Niedersachsen, Saarland
- 2002-2004 DB AG NXO-Projekt, präzises 3D Referenznetz (7500), inklusive Analyse der deutschlandweiten SAPOS Stationen (250)
- 2008 GNSS-2008 Kampagne der DHHN-Erneuerung 2006-2011 der AdV

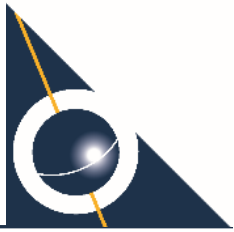


- GNSS Auswertung
 - **Auswertemodelle** mit **mm-Genauigkeit** für präzise Positionierung
 - **flexible** Ausnutzung der Beobachtungsdaten (Beobachtungen, Datenrate, Dauer, Anzahl Satelliten, etc.)
 - theoretisches Model wird in Ausgleichung auf Beobachtungsdaten angewendet
 - Auswertemodel muss so **vollständig wie nötig** sein
 - verwende a priori Informationen (Korrekturen)
 - berücksichtige alle Parameter
 - Ergebnis **Koordinaten** mit **vollständiger Varianz-Kovarianz-Matrix**
 - **strenge Kombination** der Ergebnis aus mehreren Sessionen

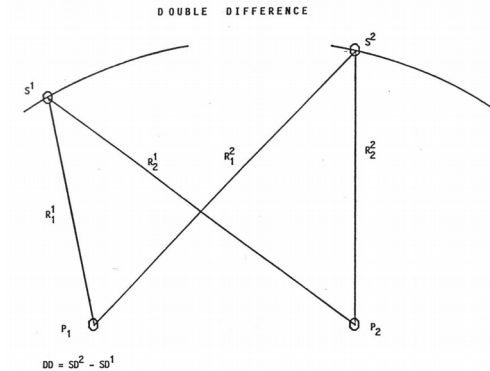


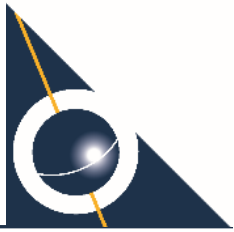
- Parameterschätzung
 - **undifferenzierte** GNSS Beobachtungen
 - keine mathematische Korrelation
 - alle Parameter werden geschätzt
 - Ergebnis sind **absolute Koordinaten** X, Y, Z
 - **vollständige Varianz-Kovarianz-Matrix**
 - räumliche und zeitliche physikalischer Korrelationen durch entsprechende Modelle
 - realistische Stochastik
 - **strenge 3 D Netzausgleichung**
 - Kombination der Sessionen ist streng und äquivalent zu einer gemeinsamen Auswertung
 - längere Rechenzeiten (heute nur noch bei großen Sessionen)

GNSS Parameterschätzung vs Parametereliminierung



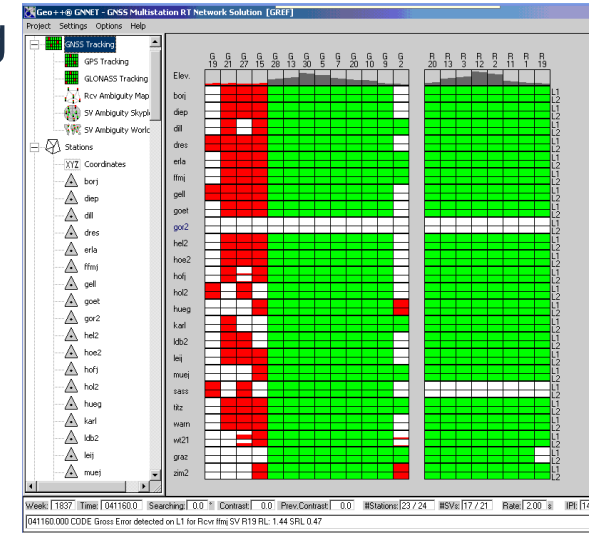
- Parametereliminierung
 - **Differenzen** der GNSS Beobachtungen eliminieren Fehler (z.B. Doppelte-Differenzen zwischen zwei Stationen/Satelliten)
 - mathematische Korrelation
 - ggf. Berücksichtigung von entfernungsabhängigen Restfehler notwendig
 - Ergebnis sind **Koordinatendifferenzen** ΔX , ΔY , ΔZ
 - Varianz-Kovarianz-Matrix oftmals nur für Koordinatendifferenzen
 - zu optimistische Stochastik
 - 3D Netzausgleichung
 - streng nur für Basislinien von zwei Empfängern
 - bei mehr als zwei Empfängern abhängige Kombinationen
 - kurze Rechenzeiten (heute nur noch bei großen Sessionen)





Grundkonzept GNNET-Post (1)

- **Kalman Filter** für GNSS Echtzeit und Post-Prozessing
- **Parameterschätzung** mit vollständiges **Zustandsmodell mit mm-Genauigkeit** für rigorose, simultane Ausgleichung
 - undifferenzierte GNSS Beobachtungen
 - **Multi-GNSS** (z.Z. GPS, GLONASS)
 - **Multi-Signal** (L1, L2, C/A, P1, P2)
 - simultane L1 & L2 Auswertung (Schätzung der Ionosphäre (keine L0 Auswertung))
 - **Multi-Station**
 - autonome Mehrdeutigkeitsschätzung (auch in niedrigen Elevationen)
 - Koordinatenschätzung mit **vollständige Varianz-Kovarianz-Matrix**
- GNNET identisches Kernmodul in Geo++ Produkten: Echtzeit (GNSMART), Post-Prozessing (GNNET-Post, SSRPOST, ...)



L0 ionosphärisch freie Linearkombination

Grundkonzept GNNET-Post (2)



- **Multi-Station-Multi-Sessions**ausgleichung
 - 3D Netzausgleichung mit GNPNET
 - GNSS Koordinatenbestimmungen
 - **strenge** 3D Netzausgleichung
 - **globale, kartesische Koordinaten** (GNSS Koordinatensystem)
 - **Kombination Terrestrik**
 - 3D Standpunktskoordinatensysteme
 - Transformation der Standpunktskoordinatensysteme in das GNSS Koordinatensystem
 - mindestens zwei **identische Punkte zu GNSS** und ausreichende Verknüpfung sind Voraussetzung



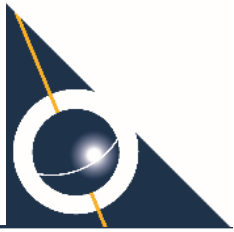
- optionale GNSS Modellierungsansätze
(abhängig von Messkonfiguration)
 - **Satellitenuhrfehler und Satelliten-Biases**
 - kinematisches **Satellitenbahnmodell**
 - präzise Ephemeriden, verbessert durch kinematisches Satellitenbahnmodell
 - Satelliten-PCV Korrektur (IGS igs08.atx)
 - **Ionosphärenmodell**
 - globales Ionosphärenmodell (Flächenpolynom, Kugelfunktionsentwicklung)
 - Empfänger-Satellit abhängige ionosphärische Modellierung
 - ionosphärische Residuen (stochastische Rest-Ionosphäre)



- optionale GNSS Modellierungsansätze
 - **Troposphärenmodell**
 - Saastamoinen /Niell Troposphärenkorrektur mit Tagesabhängigkeit
 - getrennte Troposphärenmodellierung für Trocken- und Feuchtanteil
 - troposphärischer Maßstabsfaktor
 - troposphärischer Gradient
 - verbesserte Abbildungsfunktion für niedrige Elevationen
 - individuelle Empfangs-**Antennenkorrektur** (PCV)
 - **Empfängeruhrfehler** und Empfänger-**Biases**



- Parameterschätzung liefert **absolute Koordinaten**
- unterschiedliche **apriori** Information bzw. **Auswertemodell**
- Stationskoordinaten einführbar
 - **individuell** über **Stochastik**
 - **individuell** für **jede Koordinatenkomponenten**
 - mit **vollständiger Varianz-Kovarianz-Matrix**
(in 3D Netzausgleichung)
- Stationskoordinaten mit unterschiedlichen Auswertemodellen
 - **statisch**
 - **kinematisch**
 - **dynamisch**
- Stationskoordinaten einführbar in
 - GNSS Ausgleichung
 - kombinierte GNSS + Terrestrik Ausgleichung
 - 3D Netzausgleichung



Weitere genauigkeitsbeeinflussende Effekte

- bekannte GNSS Fehlerkomponenten
 - ...
- weitere Einflussfaktoren (Seeber 1989, 2003)
 - „**Software Noise**“
 - eingesetzte GNSS Auswerteprogramm
 - „**Operator Noise**“
 - vom Auswerter gesetzte Auswerteoptionen
 - „**Reference Frame Realization Noise**“
 - Auswahl des Lagerungsansatzes
- sinnvoll für unterschiedliche Aufgaben
 - einheitliche Berechnung und Verifizierung basierend auf den Beobachtungsdaten



- GNNET-Post
 - Referenzen, Grundkonzept, Parameterschätzung
 - Grundkonzept GNNET, Auswertemodelle
 - Weitere genauigkeitsbeeinflussende Effekte
- GNSS Auswertekonzepte in NXO-Net
 - NXO-Net Sessionsbegriff - Sessionsbildung
 - NXO-Net Ansatz für Stationskoordinaten
 - NXO-Net Netzausgleichung - z.Z. sichtbar
 - NXO-Net vs RTK-Dienste

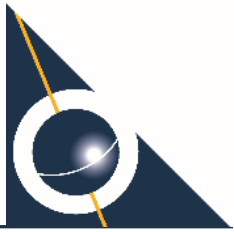


- NXO-Net Server
- wendet zwei unterschiedliche GNSS Auswertekonzepte an
 - PS0/PS1 **Auswertung**:
gemeinsame **GNSS Ausgleichung**
der hochgeladenen RINEX-Daten in Sessionen
 - zusätzliche PS0/PS1 **Analyse**:
GNSS Auswertung der einzelnen RINEX-Daten
basierend auf **SSR-Ansatz**
innerhalb einer deutschlandweiten GNSS Vernetzung

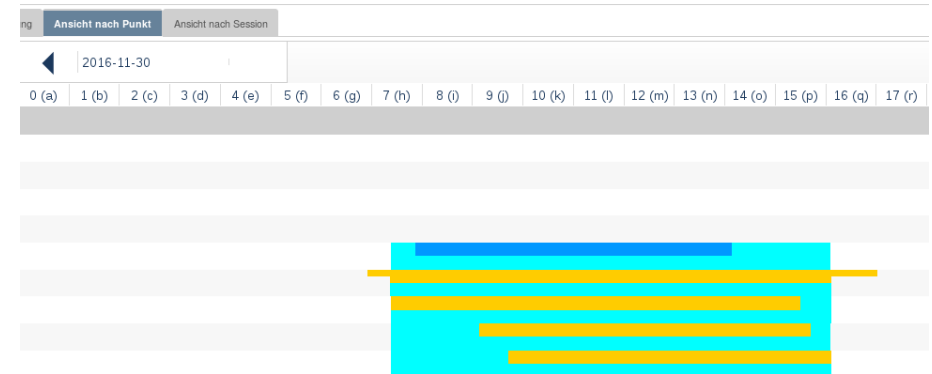


- NXO-Net Server
- wendet zwei unterschiedliche GNSS Auswertekonzepte an
 - PS0/PS1 **Auswertung:**
gemeinsame **GNSS Ausgleichung**
der hochgeladenen RINEX-Daten in Sessionen
 - zusätzliche PS0/PS1 **Analyse:**
GNSS Auswertung der einzelnen RINEX-Daten
basierend auf **SSR-Ansatz**
innerhalb einer deutschlandweiten GNSS Vernetzung

NXO-Net Sessionsbegriff – Sessionsbildung (1)



- Session (allgemein)
 - simultane GNSS Beobachtungen auf **mehreren Stationen/Punkten**
 - **keine Veränderung** der Stationsaufbauten
- Session (optimal) in NXO-Net angewendet
 - simultane GNSS Beobachtungen auf **mehreren Stationen/Punkten**
 - **Veränderung** der Stationsaufbauten **erlaubt** (Antennenhöhenänderungen)

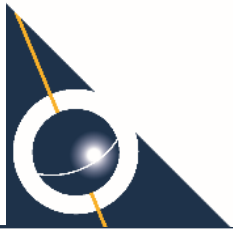


NXO-Net Sessionsbegriff – Sessionsbildung (2)

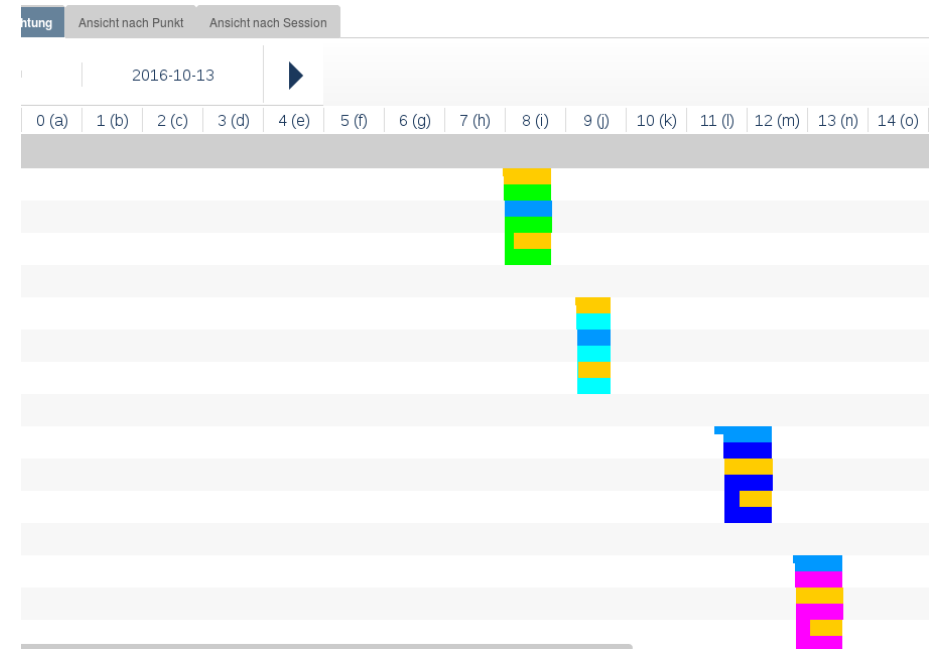


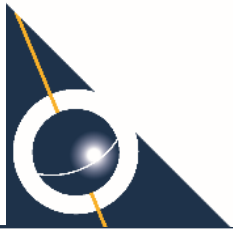
- Sessionbildung (optimal) in NXO-Net
 - **automatisierte** Sessionsbildung durch NXO-Net
 - Vorteile Nutzer
 - **kein editieren**, kürzen, **zusammenstellen** der RINEX Daten
 - Vorteile GNSS Ausgleichung
 - Sessionsbildung **nutzt** optimal **alle Beobachtungen**
 - **verbessert** Qualität (**Redundanz**)
 - es werden **keine Beobachtungen doppelt** verwendet bzw. stärker gewichtet
 - **Netzgeometrie** wird gesteigert (**nachbarschaftliche** Auswertung in einem Guss)
 - verbesserte **Zuverlässigkeit und Genauigkeit**

NXO-Net Sessionsbegriff – Sessionsbildung (3)

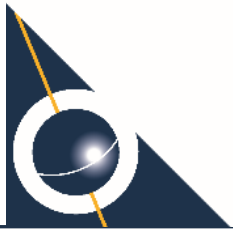


- ein älteres Beispiel ...
 - **Basislinienkonzept**
 - drei GNSS Ausrüstungen
- **NXO-Net** hat **keine Einschränkung**, wendet optimierte Sessionbildung an
- **optimierte Messkonfiguration** abhängig von
 - Messanforderung
 - Anzahl GNSS Ausrüstungen
 - Logistik
 - Kosten
 - ...



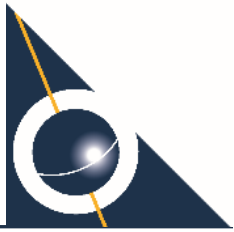


- Parameterschätzung liefert **absolute Koordinaten**
- Ausgleichung GNSS bzw. GNSS + Terrestrik
- Stationskoordinaten
 - **statisch**
 - **individuell für Punktgruppen** über **Stochastik**
 - **unterschiedlich für Lage- und Höhenkomponente**
- Standardabweichung Stationskoordinaten
 - **Neu-, Kontroll-Punkte** quasi frei
 - bekannte **PS0** mit einheitlichen Wert (z.Z. 10 mm 3D)
 - bekannte **PS1** mit einheitlichen Wert
 - individuelle Standardabweichung der **terrestrische Daten**
 - erfordert realistische Standardabweichung
 - **unter Zwang** mit 1/1000 mm
- 3D Netzausgleichung GNSS bzw. GNSS + Terrestrik
 - mit **vollständiger Varianz-Kovarianz-Matrix**
 - **externe Beobachtung** der Anschlusspunkte



Berücksichtigung terrestrische Messdaten

- NXO-Net
- 3D Netzausgleichung
 - benötigt **3D Koordinaten mit Stochastik**
- Kombination von GNSS und **Terrestrik**
 - Schnittstelle **Standpunktskoordinatensystem** mit Stochastik
 - unabhängig von Tachymeterformaten
 - Expertise bleibt bei terrestrischen Auswertepaketen
 - liefert **3D Koordinatensysteme**
 - ausreichende **Punktidentitäten** mit GNSS Besetzungen
- **Nivellement und Horizontalstrecken**
 - relative Informationen
 - Berücksichtigung der **3D Komponenten mit Stochastik**



- GNSS bzw. Kombinierte Ausgleichung
 - GNSS **Ausgleichung unter Zwang**, bekannte PS0 Koordinaten festgehalten
 - **Residuen** der ausgeglichenen Koordinate zur **Einzelbestimmung**
- GNSS bzw. Kombinierte Ausgleichung
 - Kombinierte **Ausgleichung** (GNSS+Terrestrik) **unter Zwang**, bekannte PS0 Koordinaten festgehalten
 - **Residuen** der ausgeglichenen Koordinate zur **Einzelbestimmung**
- zusätzliche Analysen SSRPOST
 - GNSS Ausgleichung jeder Besetzung in unabhängigen GNSS-Referenzstationsnetz
 - **Vergleich** der SSRPOST Einzellösung durch eine Ausgleichung **mit** der GNET-Post **Ausgleichung unter Zwang**
 - **Residuen** der ausgeglichenen **SSRPOST Einzellösung**



- NXO-Net
 - hohe Genauigkeitsanforderung
 - ausschließlich **physikalische Messungen** zu nutzen
 - **lokale, nachbarschaftliche Messungen** reduzieren Fehlerhaushalt
 - Anschluss an PS0-Punkte gefordert
 - keine externen Koordinaten als Anschlusspunkte möglich
- RTK-Dienste
 - **nicht-physikalische Daten** sind ungenauer (z.B. PRS, VRS)
 - Genauigkeit abhängig von entfernungsabhängigen Fehlerhaushalt
 - liefern **kataster-genaue** Positionierung
 - für Analyse und Kontrollzwecke sinnvoll
(SSR-Ansatz im NXO-Net)