

Neuere Entwicklungen zu GNSS–RTK für optimierte Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: Referenzstationsnetze und Multistations–RTK–Lösungen

Gerhard Wübbena, Andreas Bagge

Geo++ GmbH

**Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische
Technologien mbH, Garbsen**

46. DVW–Seminar »GPS–Praxis und –Trends ´97«
29.9.–1.10.97 in Frankfurt/Main

1 Einleitung

Vermessung und Positionierung mit Satelliten auf der Basis von GPS ist heute Stand der Technik. RTK-Systeme erreichen heute mit differentiellen Techniken (DGPS) und Lösung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten (PDGPS) Genauigkeiten von etwa einem Zentimeter in Echtzeit. Allerdings gelten diese Werte in der Regel nur mit Einschränkungen hinsichtlich der Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. In diesem Beitrag werden die gegenwärtigen Grenzen der herkömmlichen Systeme aufgezeigt und Lösungen für deren Überwindung vorgestellt.

2 Grenzen herkömmlicher RTK-Systeme

2.1 Genauigkeit

Begrenzend für die Genauigkeit sind folgende Fehlerquellen, die durch herkömmliche RTK-Systeme nicht beseitigt werden können:

	<i>Fehleranteil</i>	<i>Größenordnung</i>
(a)	Bahnfehler – SA-Effekte	ca. 2 ppm
(b)	Ionosphäre – insbesondere für Einfrequenz-Empfänger – abhängig von Sonnenaktivität	z.Zt. < 5 ppm in Zukunft >5 ppm
(c)	Troposphäre – bewirkt primär Höhenfehler	Bis 3 ppm
(d)	Multipath – kritisch bei statischen Antennen	Phase: mm ... cm Code: m
(e)	Antennen-Phasenzentrum – elevations-/azimut-abhängige Anteile	1 cm
(f)	Geometrie, PDOP – lokale Abschattungen	$\sigma_p = \text{PDOP} * \sigma_\varphi$

Die zuletzt aufgeführten Fehleranteile (d) bis (e) wirken lokal auf beiden Stationen einer RTK-Verbindung, sind also nicht über die Entfernung korreliert. Für ihre Reduzierung können geeignete Techniken angesetzt werden, die entsprechend lokal wirken (Multipathre-

duzierung, Antennenkalibrierung, zusätzliche Satelliten durch GLONASS).

Die Fehleranteile (a) bis (c) wirken primär entfernungsabhängig. Sie bewirken, daß mit herkömmlichen RTK-Systemen über größere Entfernungen keine Genauigkeiten im Zentimeter-Bereich erreicht werden können.

2.1.1 Beispiel Bahnfehler

Die Entfernungsabhängigkeit eines Fehlereinflusses läßt sich exemplarisch an einem Satelliten-Bahnfehler veranschaulichen (siehe Abbildung 1).

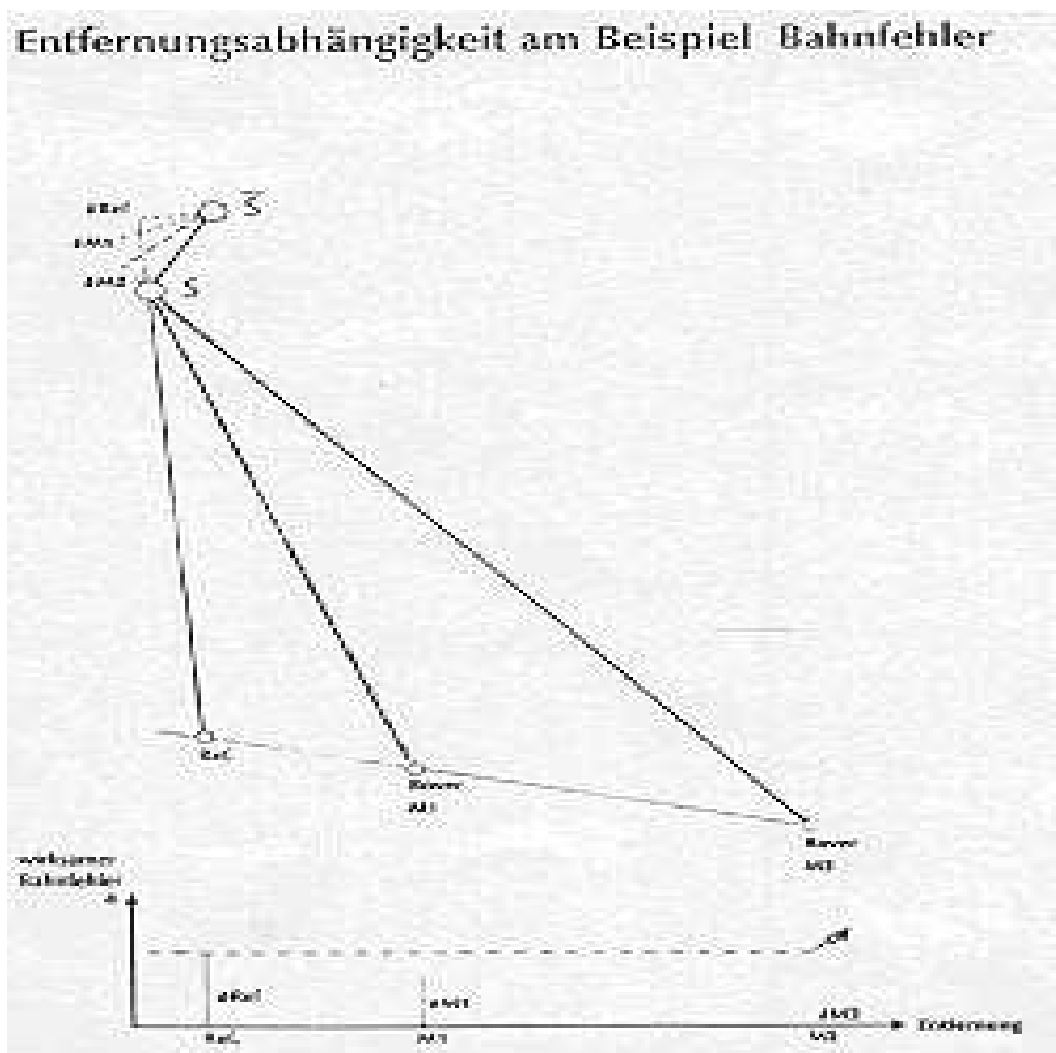


Abbildung 1: Entfernungsabhängigkeit am Beispiel Bahnfehler

Ein sich an der »wahren« Position S_{\sim} befindender Satellit wird aufgrund fehlerhafter Bahninformation an der Position S angenommen. Ein Meßsystem auf der Erde (Referenz- oder Mobilstation) berechnet sich die Satellitenposition zu S , während die Code- und Trägerphasenmessungen zum wahren Ort S_{\sim} erfolgen. Relevant ist für beide Meßgrößen, da es sich um Entfernungsmessungen handelt, jeweils nur die radiale Komponente.

Am Ort einer Referenzstation wirkt sich der daraus resultierende Fehler mit d_{Ref} aus. Unterschlagen wir an dieser Stelle einmal alle anderen Fehlereinflüsse, so kann bei bekannten Standpunktkoordinaten dieser Wert d_{Ref} aus einem Vergleich zwischen gemessener und berechneter Entfernung ermittelt und als Korrekturwert an die Mobilstationen in der Umgebung übertragen.

Auf einer Mobilstation $M1$ wirkt zunächst derselbe Bahnfehler. Der resultierende Einfluß auf eine Code- oder Trägerphasenmessung d_{M1} ist aber wegen der veränderten Geometrie ein anderer als der für die Referenzstation. Die Mobilstation kennt aber aus den Korrektursignalen nur den Korrekturwert d_{Ref} , der in Ermangelung des unbekanntes Wertes d_{M1} in die Berechnung der Mobilstationskoordinaten eingeführt wird. Die Differenz $d_{M1} - d_{\text{Ref}}$ wirkt damit als systematischer Fehler in der Positionsbestimmung.

Für eine Mobilstation $M2$ in größerer Entfernung von der Referenzstation wird der Unterschied zwischen dem tatsächlichen Einfluß d_{M2} und dem verwendeten Korrekturwert d_{Ref} immer größer. Je näher eine Mobilstation an der Referenzstation arbeitet, desto geringer fällt dagegen der systematische Fehler aus. Der Fehlereinfluß auf die Positionsbestimmung ist also entfernungsabhängig.

2.1.2 Ionosphäre und Troposphäre

Im Prinzip gleiche Überlegungen gelten auch für die anderen Fehlereinflüsse Ionosphäre und Troposphäre. Wie stark der entfernungsabhängige Effekt ist, hängt davon ab, wie stark die systematischen Einflüsse über die Entfernung korreliert sind.

2.1.3 Antennenphasenzentren und Mehrwegeausbreitung

Variationen des Antennenphasenzentrums sind insbesondere dann von Bedeutung, wenn mit unterschiedlichen Antennentypen gemessen wird. Gerade bei RTK-Messungen reicht es dabei oft nicht aus, mittlere Offsets in den drei Koordinatenrichtungen anzugeben, denn wegen der extrem kurzen Meßdauer bei RTK wirken sich azimut- und elevationsabhängige Variationen des Phasenzentrums sofort aus.

Die Einflüsse aus Antennenphasenzentrumsvariationen sind nicht von der Entfernung abhängig. Der geeignete Weg zu ihrer Elimination führt über eine Kalibrierung der Antennen.

Ein weiterer Fehleranteil, der nicht entfernungsabhängig wirkt, entsteht durch die Mehrwegeausbreitung (Multipath) der Satellitensignale in der Umgebung der GPS-Antenne. Neben der Verwendung von Choke Ring Antennen hat sich in der Vergangenheit nur Vermeidung multipath-empfindlicher Antennenstandorte als die geeignetste Maßnahme erwiesen.

2.2 Zuverlässigkeit

Voraussetzung für eine zuverlässige GPS-Positionsbestimmung mit Trägerphasen ist in erster Linie eine korrekte Mehrdeutigkeitsbestimmung. Die Mehrdeutigkeitslösung ist, da abhängig von statischen Entscheidungskriterien, hoch korreliert mit dem Fehlerhaushalt. Zwar kann die Zuverlässigkeit durch Redundanz im System (hohe Satellitenanzahl) positiv beeinflusst werden, wegen der Korrelation zum Fehlerhaushalt bleibt aber die Zuverlässigkeit aber wie die Genauigkeit in hohem Maße entfernungsabhängig.

2.3 Verfügbarkeit

Für die Verfügbarkeit eines RTK-Systems sind heute mehrere Kriterien relevant.

2.3.1 Funkreichweite

Die Verfügbarkeit von Korrekturdaten wird bei den heute vorwiegend verwendeten Übertragungskanälen von der Funkreichweite bestimmt. Mit den zwar genehmigungspflichtigen, aber relativ frei erhältlichen Frequenzen im 70cm-Band sind bei den erlaubten Sendeleistungen i.d.R. 1 bis 3 km Reichweite möglich. Der Empfang kann jedoch kurzfristig und unberechenbar gestört werden, weil die Frequenzen nicht geschützt sind und daher von anderen mitbenutzt werden können.

2.3.2 GPS-Reichweite

Eine hochgenaue und schnelle Lösung ist nur verfügbar, wenn die Mehrdeutigkeiten korrekt gelöst werden. Herkömmliche RTK-Systeme haben heute ab etwa 5–10 km Probleme mit den oben genannten systematischen Fehlern. In Zukunft können diese Probleme wegen der zu erwartenden stärkeren Ionosphärenaktivität durchaus bereits bei 3–5 km einsetzen. Neben dem Datenalter spielt auch die Initialisierungszeit eine Rolle, die von den systematischen Fehlern beeinflusst ist. Die Verfügbarkeit einer RTK-Lösung ist mithin ebenfalls entfernungsabhängig.

2.3.3 Verfügbarkeit im homogenen Bezugssystem

Herkömmliche RTK-Systeme können keine großen Entfernungen überbrücken. Wegen des erforderlichen Anschlusses an Datumspunkte liefern sie Koordinaten lediglich in einem lokalen Bezugssystem. Wünschenswert sind i.d.R. jedoch Koordinaten in einem globalen System wie z.B. dem ETRS.

2.3.4 Zeitliche Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit eines Korrekturdatensignals ist auch abhängig von der Ausfallsicherheit einer Referenzstation.

2.3.5 Abschattungen

Letztlich ist die Verfügbarkeit eines Systems natürlich auch abhängig von der

Empfangbarkeit der Satellitensignale, die in der Praxis oft durch lokale Abschattungen stark beeinträchtigt ist. Oftmals sind gerade in den städtischen Bereichen, wo eine hohe Genauigkeit gefordert ist, die Abschattungen so groß, daß mit GPS allein keine Lösung zu erzielen ist.

2.4 RTK und SAPOS

Die wesentlichen RTK-Probleme heute sind folgende:

- (a) die begrenzte Reichweite,
- (b) ein hoher Aufwand durch eine eigene Referenzstation und
- (c) der Anschluß an ein lokales und damit i.d.R. inhomogenes Bezugssystem.

Bei unvernetzten Korrekturdaten besteht das Problem, daß im Überlappungsbereich ggf. mehrere Referenzstationen empfangen werden können, wobei aber die verschiedenen Korrekturdaten nicht zusammen passen (siehe Abbildung 2) und letzten Endes zu unterschiedlichen Koordinaten führen, je nachdem an welche Referenzstation man sich angeschlossen hat. Die Nachbarschaft zwischen so bestimmten Punkten kann in einer Größenordnung bis zu mehreren Zentimetern gestört sein.

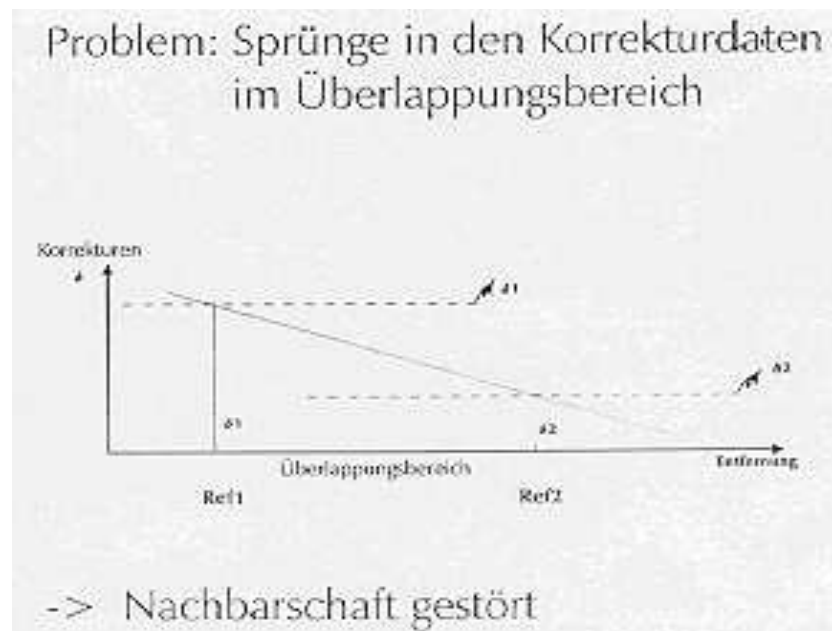


Abbildung 2: Sprünge in den Korrekturdaten im Überlappungsbereich

Ein Dienst wie der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessungen SAPOS ist an einem homogenen Bezugssystem besonders interessiert. Mit der RTK-Technologie ist dieses Ziel nur zu erreichen durch

- (a) eine hohe Referenzstationsdichte (<10km Abstand), oder
- (b) Empfang von mehreren Referenzstationen auf einer Mobilstation (mit Multistationslösung), oder
- (c) durch eine Vernetzung von Referenzstationen (mit Multistationslösung).

2.4.1 Höhere Referenzstationsdichte

Sollen die genannten Probleme mit einer Erhöhung der Referenzstationsdichte gelöst werden, muß heute von einem Referenzstationsabstand von 15–20 km ausgegangen werden. Bei Berücksichtigung der zu erwartenden verstärkten Ionosphärentätigkeit in den nächsten Jahren muß der Abstand ggf. noch weiter verringert werden.

Neben den wesentlich höheren Investitionskosten ist dieser Ansatz meist schon aus logistischen Gründen (geeignete Standorte etc.) nicht praktikabel.

Wesentliche Voraussetzungen eines Referenzstationsdienstes wie kontinuierliches Monitoring und permanente Überwachung sowie ein regelmäßiger Datenaustausch erfordern i.d.R. trotzdem eine Datenverbindung.

2.4.2 Multistationslösung im Feld

Eine Multistationslösung im Feld ist heute mit geeigneter Multistations-RTK-Software technisch möglich. Auf den Referenzstationen sind für diese Lösung gegenüber der heute üblichen Ausstattung keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich. Auf der Mobilseite müssen jedoch zusätzlicher Kommunikationsaufwand (je zu empfangender Referenzstation ein Empfangsgerät) und neue RTK-Algorithmen mit hohem Rechenaufwand vorgesehen werden.

Mit Standard-RTK-Algorithmen und -Systemen ist eine Multistationslösung in

Echtzeit heute nicht machbar. Es erfordert eine High-End-Software wie GNNET-RTK, mit der dieser Ansatz heute bereits möglich ist. Als Standardlösung für SAPOS-RTK ist es jedoch nicht praktikabel.

2.4.3 Multistationslösung für Referenzstationen

Eine Multistationslösung für mehrere Referenzstationen erfordert

- (a) eine permanente Kommunikationsverbindung zu jeder Referenzstation in Echtzeit,
- (b) eine Multistationssoftware mit Mehrdeutigkeitslösung in Echtzeit,
- (c) die Modellierung aller systematischen Fehlereinflüsse (Bahnen, Ionosphäre, Troposphäre),
- (d) die Ableitung eines einfachen Fehlermodells (Flächen-Korrektur-Parameter FKP) mit möglichst wenigen signifikanten Parametern und
- (e) eine Erweiterung des Korrekturdatenformates RTCM für die zusätzlich zu übertragenden FKP.

Auf jeder Mobilstation, die die zusätzlichen Informationen aus der Referenzstationsvernetzung verwenden möchte, ist nur die Verarbeitung der FKP im einfachen Fehlermodell erforderlich. Wenn diese Verarbeitung in einem SAPOS-Dekoder integriert ist, kann praktisch jedes heute für SAPOS verwendete RTK-System auch für die Arbeiten mit vernetzten Referenzstationen verwendet werden.

3 Multistationssoftware GNNET

3.1 Funktionsweise

Die Echtzeit-Multistationssoftware Geo++[®] GNNET erlaubt als einzige Software am Markt die simultane Verarbeitung von beliebig vielen GNSS (GPS, GLONASS etc.) Stationen in Echtzeit. Es kann prinzipiell eine beliebige Kombination von Referenz- und Mobilstationen verarbeitet werden.

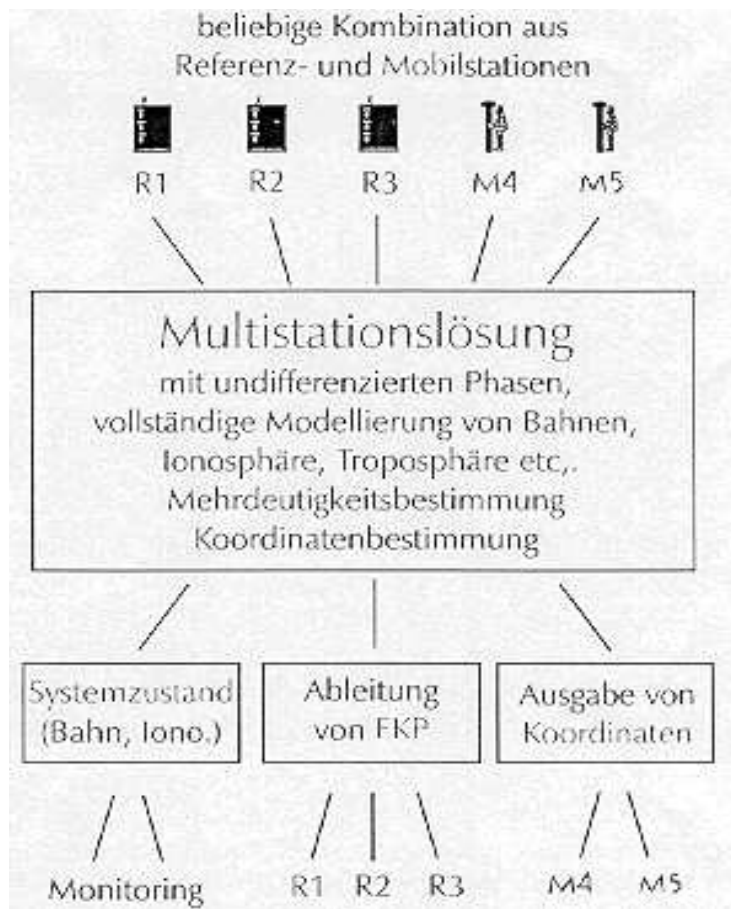


Abbildung 3: GNNET Funktionsweise

Als Beobachtungen können die Meßgrößen aller heute gebräuchlichen GPS- oder GLONASS Empfänger direkt verarbeitet werden. Außerdem ist es möglich, Beobachtungen zu verwenden, die im RTCM-Datenformat z.B. von entfernten Stationen eingehen.

Kennzeichnend für die GNNET Multistationslösung sind folgende Punkte (vgl. Abbildung 3):

- (a) Beobachtungsgleichungen auf der Basis von undifferenzierten Trägerphasen,
- (b) vollständige Modellierung von systematischen Fehlern wie Bahnen, Ionosphäre, Troposphäre etc.,
- (c) Bestimmung der Trägerphasen-Mehrdeutigkeiten,
- (d) Koordinatenbestimmung von Neupunkten

Die Ergebnisse können in Echtzeit auf vielfältige Weise weiterverarbeitet werden. In einem Referenzstationsnetz können aus den ermittelten Parametern der

systematischen Fehler Flächenkorrekturparameter (FKP) abgeleitet werden.

3.2 Modellbildung FKP

Ein im Zuge der Referenzstations–Netzlösung bestimmtes Fehlermodell mit seinen aktuellen Parametern kann in der Regel nicht direkt auf einer Mobilstation verwendet werden, weil die Komplexität des Modells die Rechenkapazität eines einfachen SAPOS–Dekoders überfordert und die notwendigen Parameter über die in ihrer Bandbreite beschränkten Kommunikationskanäle meist nicht ausreichend schnell übertragen werden können.

Für die Kommunikation zur und die Rechenkapazität auf der Mobilseite besser geeignet ist ein Ansatz über ein Flächenpolynom, welches die erforderlichen Parameter in ihrer Ortsabhängigkeit beschreibt. Für diese Parameterdarstellung wird in letzter Zeit häufig der Name *Flächenkorrekturparameter (FKP)* verwendet. Das Modell der FKP ist zweckmäßigerweise so zu wählen, daß

1. die Auswertung auf der Mobilseite möglichst wenig Rechenkapazität erfordert,
2. auf der Mobilseite neben der eigenen Position möglichst wenig zusätzliche Informationen bereitgestellt werden müssen,
3. möglichst wenige Informationen von der aussendenden Referenzstation zur Mobilstation übertragen werden müssen,
4. diese Informationen nur möglichst selten aufdatiert werden müssen,
5. das Modell und der Wertebereich der zu übertragenden Parameter auch unter extremen Bedingungen (große Bahnfehler, starke ionospärische Einflüsse oder Gradienten) noch ausreichende Genauigkeit liefert, und
6. die Auflösung der zu übertragenden Parameter die geforderte Genauigkeit einzuhalten erlaubt.

Eine wichtige Einflußgröße ist dabei der räumliche Geltungsbereich, für den ein Satz Flächenkorrekturparameter erzeugt und verbreitet werden soll. Innerhalb der typischen Reichweite eines Funksignals im 2m–Band von vielleicht 30 km kann ein einfaches lineares Modell ausreichen. Bei der Ausstrahlung eines einzigen Korrekturdatensignals für ein Bundesland (z.B. über den digitalen Rundfunk DAB) ist dagegen je nach der Korrelationslänge der zugrundeliegenden

Fehlereinflüsse ein komplizierteres Modell erforderlich (siehe Abbildung 4).

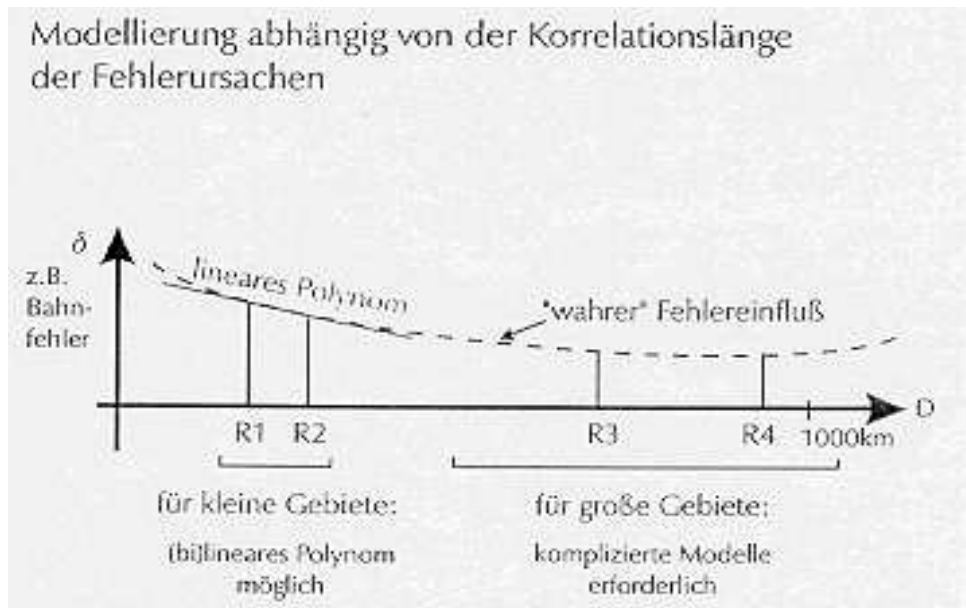


Abbildung 4: Zur Modellbildung FKP

Ein einfacher linearer Ansatz FKP-Ansatz könnte z.B. so aussehen:

$$\delta(t) = \delta_o(t) + \delta_{FKP}(t)$$

$$\delta_{FKP}(t) = A_\phi(t) * (\phi - \phi_o) + A_\lambda(t) * (\lambda - \lambda_o)$$

mit:

$\delta(t)$	Gesamtkorrektur
$\delta_o(t)$	Korrektur aus unverbundener Referenzstation
$\delta_{FKP}(t)$	Korrekturanteil aus Vernetzung
$A_\phi(t), A_\lambda(t)$	Flächenkorrekturparameter (FKP)
ϕ, λ	Position Rover
ϕ_o, λ_o	Position Referenzstation

Die Gesamtkorrektur setzt sich zusammen aus einem Anteil, der auch für unverbundene Referenzstationen gilt, und einem Anteil aus der Vernetzung. Interessant ist die unterschiedliche Dynamik der Korrekturparameter:

$\delta_o(t)$	hochdynamisch, Aufdatierung jede Sekunde erforderlich
$A_\phi(t), A_\lambda(t)$	gering dynamisch, Aufdatierung alle 10 bis 60 Sekunden (abhängig von Wahl des FKP-Modells)

Wegen der geringen Dynamik der FKP ist es möglich, diese zeitversetzt zu berechnen, ggf. über ein Rechnernetz zu versenden und erst mit einigen Sekunden zeitlicher Verzögerung in das hochdynamische Korrekturdatensignal einzumischen.

3.3 Kommunikationslösungen

Die bei einer permanenten Referenzstationsvernetzung erforderlichen Datenströme und dabei verwendeten Datenformate sowie die möglichen Kommunikationsmedien werden deutlich am Beispiel des Datenflusses im Bereich des LVA Brandenburg (siehe Abbildung 5).

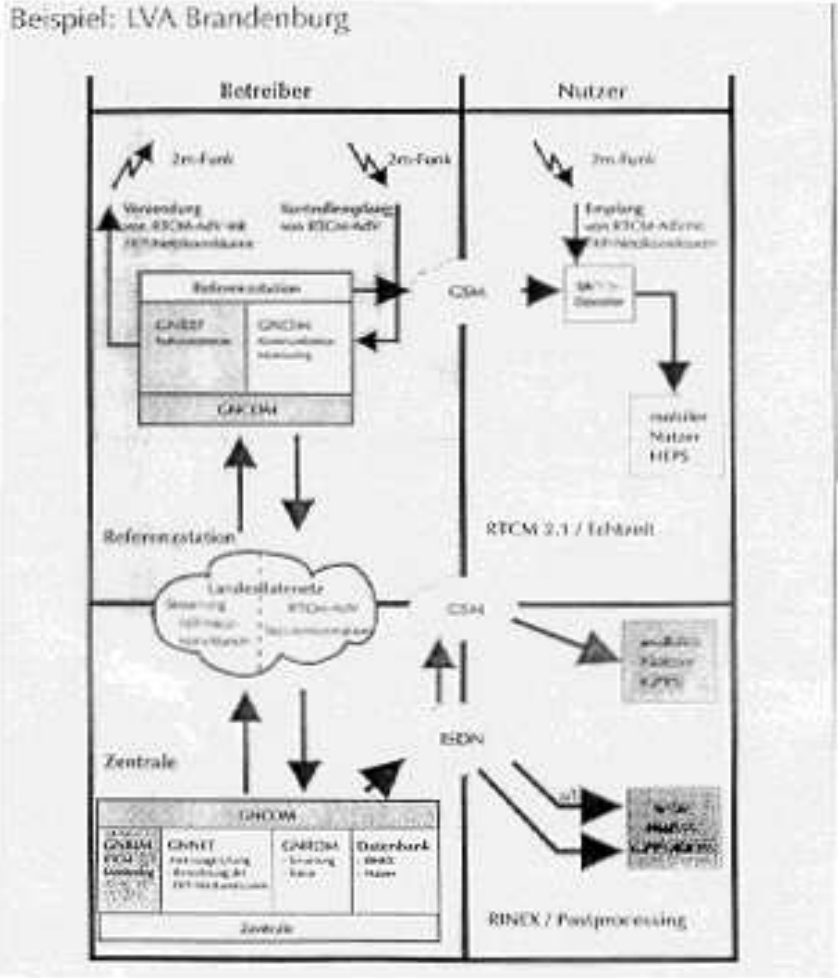


Abbildung 5: GNREF / GNNET Datenfluß am Beispiel LVA Brandenburg

3.4 Qualitätssteigerung durch GNNET

Die Verwendung der FKP auf der Mobilstation bringt wegen der verringerten systematischen Fehler zum einen eine Genauigkeitssteigerung, zum anderen auch eine Beschleunigung der Mehrdeutigkeitsfestsetzung.

Damit wird eine Homogenisierung hinsichtlich Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit für das gesamte von den vernetzten Referenzstationen abgedeckte Gebiet erreicht (siehe Abbildung 6).

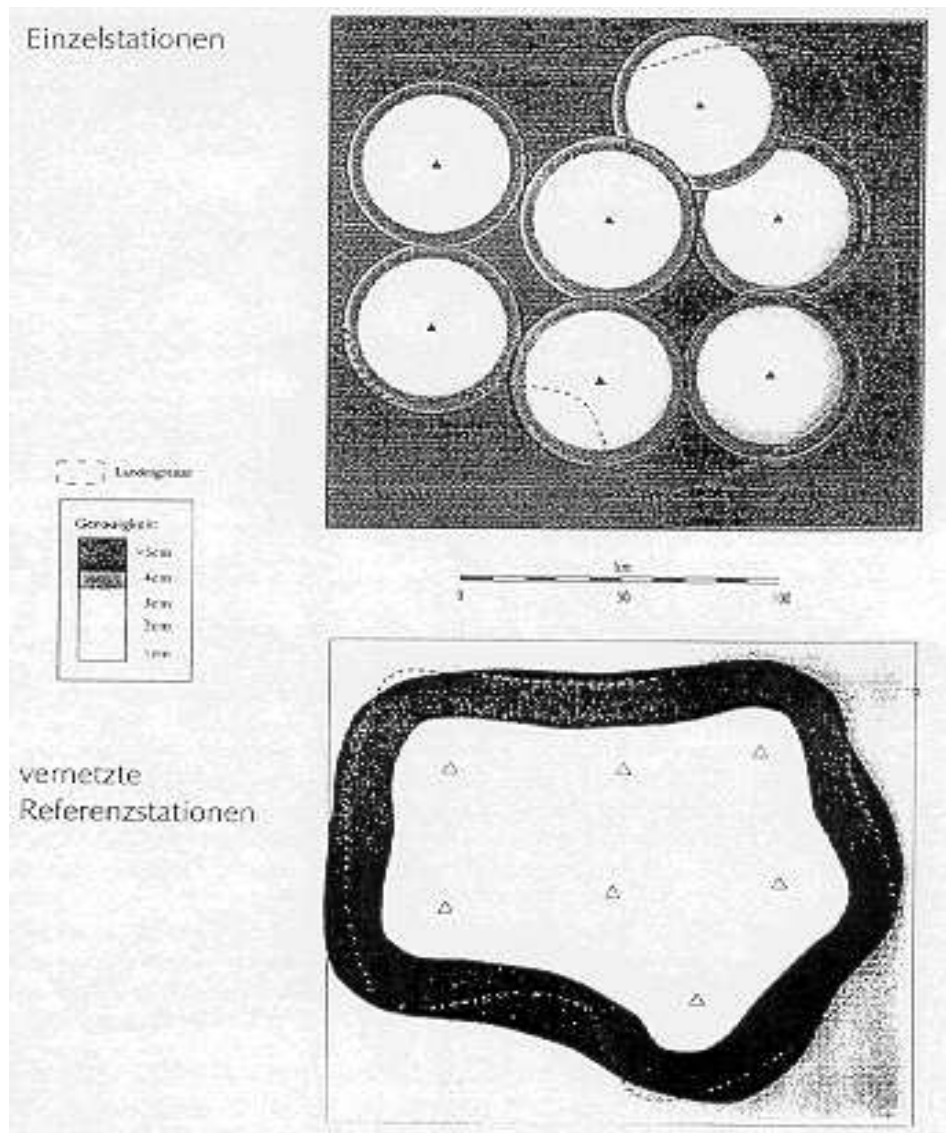


Abbildung 6: Homogenisierung durch Referenzstationsvernetzung

Erste Testmessungen im Jahr 1996 in Hamburg, wegen fehlender Echtzeitkommunikation noch im Postprocessing ermittelt, bestätigten die erwarteten Ergebnisse (siehe Abbildung 7). Sowohl die Genauigkeit als auch die zur Mehrdeutigkeitsbestimmung erforderliche Zeit sind durch den Multistationsansatz auf einem optimalen Niveau homogenisiert.

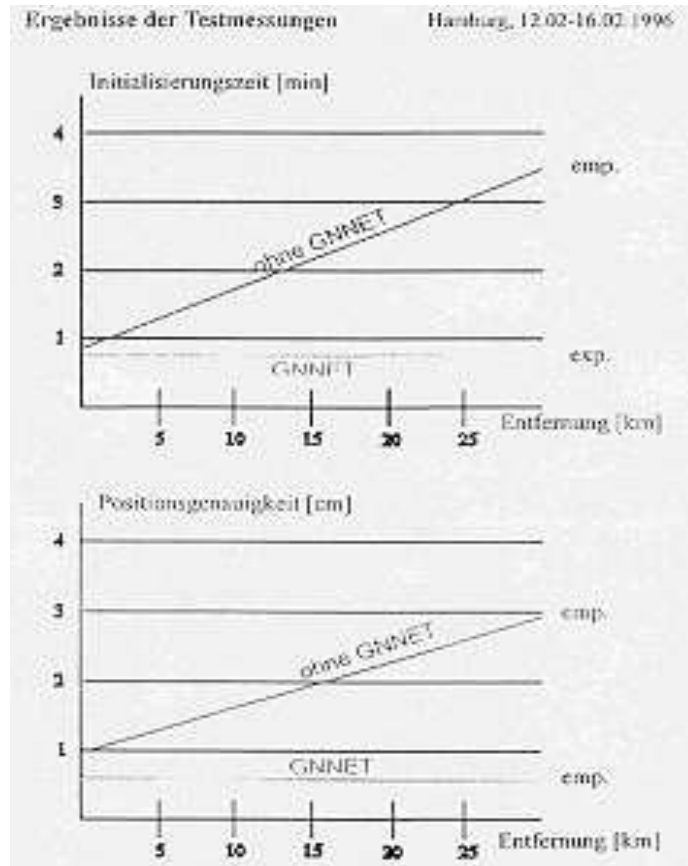
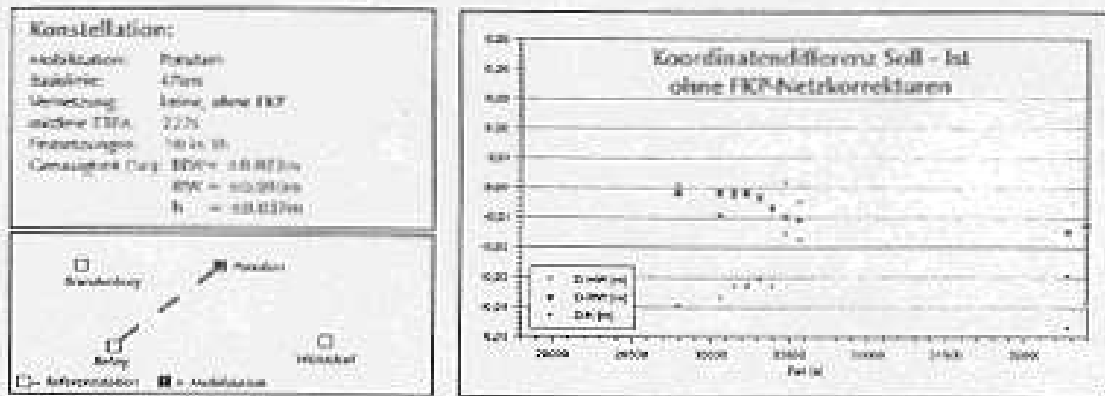


Abbildung 7: Qualitätssteigerung durch GNNET

Ein jüngeres Beispiel aus Brandenburg (siehe Abbildung 8) erlaubt einen direkten Vergleich für eine Echtzeit-Positionsbestimmung über eine große Entfernung. Im Brandenburger Referenzstationsnetz ist eine Multistationslösung mit GNNET installiert, die permanent FKPs für jede Station bestimmt. Für Testzwecke wurde eine Station in Postdam durch eine RTK-Lösung mit Korrekturdaten der 47km entfernten Station Belzig bestimmt.

Pilotprojekt SAPOS-Referenzstationsvernetzung LVA Brandenburg

(a) ohne FKP-Netzparameter



(b) mit FKP-Netzparametern

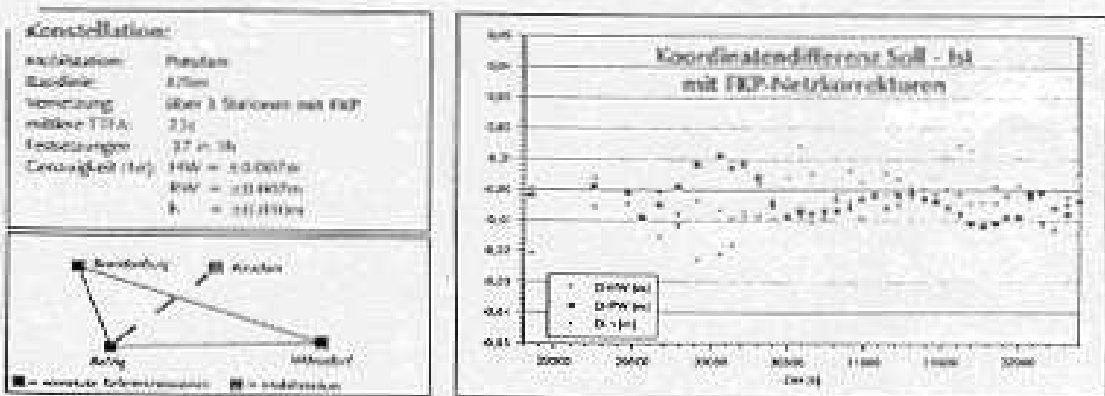


Abbildung 8: Qualität der Positionsbestimmung ohne/mit FKP (Pilotprojekt Brandenburg)

Ohne Nutzung der FKP, d.h. mit herkömmlichen Korrekturdaten, (obere Bildhälfte) konnten über die dargestellte Zeitspanne von einer Stunde nur sehr wenige Mehrdeutigkeitsfestsetzungen realisiert werden. Es gab große Zeiträume, in denen überhaupt keine Lösung gefunden wurde.

Bei Nutzung der FKP dagegen (untere Bildhälfte) konnte fast immer eine

Mehrdeutigkeitslösung gefunden werden. Die erforderliche Zeit für eine Lösung (Time to Fix Ambiguity, TTFA) ist deutlich kürzer als oben. Außerdem ist die Qualität der Lösung (Größe der Residuen) mit GNNET insgesamt besser. Es zeigt sich die mit GNNET mögliche deutliche Steigerung der Genauigkeit und der Verfügbarkeit einer RTK-Lösung über große Entfernungen. Weitere Untersuchungen in anderen GNNET-Netzen bestätigen diese Ergebnisse [8].

4 Weitere Einsatzbeispiele

Neben den bereits gezeigten Einsatzmöglichkeiten einer Multistations-Echtzeitlösung zur Referenzstationsvernetzung läßt sich GNNET auch in vielen anderen Bereichen, z.B. der Ingenieurvermessung oder der hochgenauen Fahrzeugpositionierung gewinnbringend einsetzen, wie die Beispiele aus den folgenden Abbildungen zeigen.

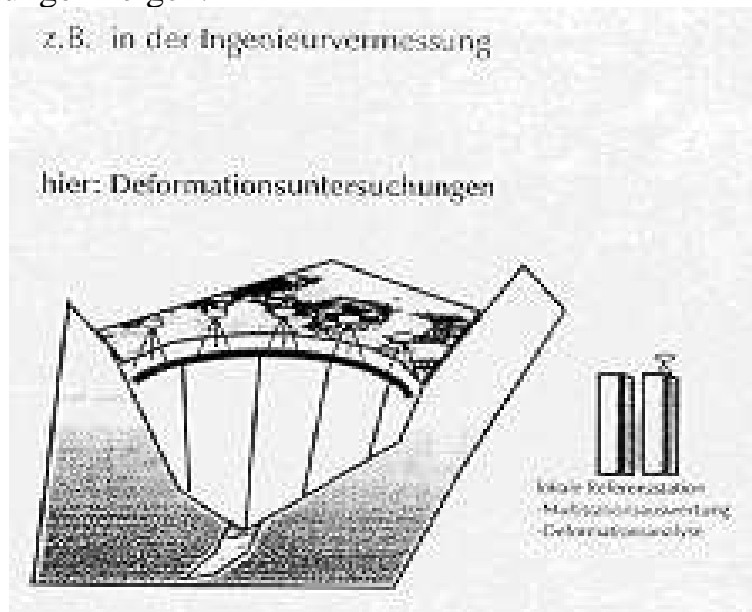


Abbildung 9: hochgenaue Echtzeit-Deformationsmessungen

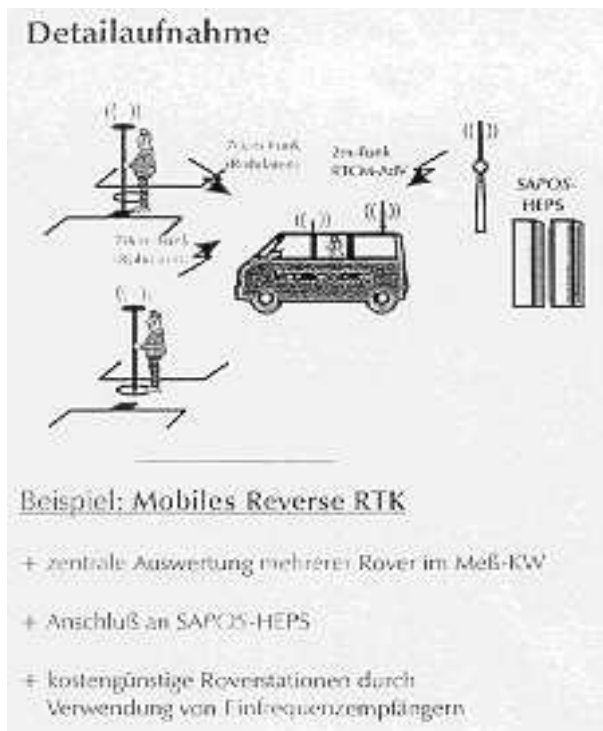


Abbildung 10: mobile Detailaufnahme

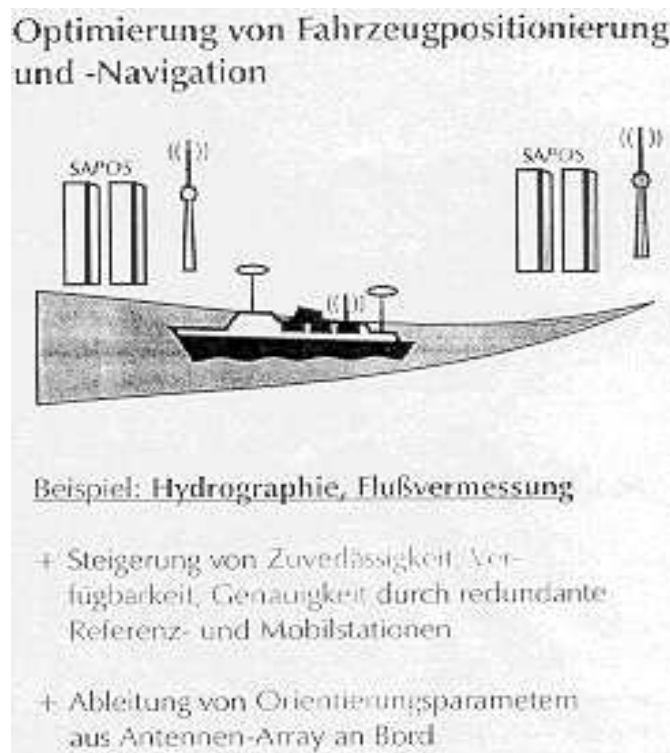


Abbildung 11: Optimierung von Fahrzeugpositionierung und Navigation

5 Literatur

- [1] Wübbena, G., A. Bagge, G. Seeber: *Developments in Real-Time Precise DGPS Applications – Concepts and Status*. In: Beutler et al. (Ed.): *GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne and Spaceborn Applications*. IAG Symposium 113, Boulder 1995.
- [2] Hankemeier, P.: *The DGPS Service for the FRG – Concept and Status*. In: Beutler et al. (Ed.): *GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne and Spaceborn Applications*. IAG Symposium 113, Boulder 1995.
- [3] Wübbena, G., A. Bagge, G. Seeber, V. Böder, P. Hankemeier: *Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference station Networks*. Proceedings ION-GPS'96, Kansas City, Sept. 1996.
- [4] Wübbena, G., V. Menge, M. Schmitz, G. Seeber, C. Völksen: *A New Approach for Field Calibration of Absolute Antenna Phase Center Variations*. ION-GPS'96, Kansas City, Sept. 1996.
- [5] Bagge, A., G. Wübbena: *DGPS Datenformate*. Geo++ 1996.
- [6] Böder, V., G. Seeber: *Real-Time PDGPS Positioning, Attitude determination and INS-Integration for Hydrographic Applications*. International Symposium on kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Canada 1997.
- [7] Seeber, G., V. Menge, C. Völksen, G. Wübbena, M. Schmitz: *Precise GPS Positioning Improvement by Reducing Antenna and Site Effects*. To be published in: IAG Symposium Series, IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro 1997.
- [8] Titz, H., R. Weber: *SATVB – A multipurpose GPS/GLONASS reference station network in Burgenland/Austria*. Paper in: Kahmen, Brückl, Wunderlich (Eds.): *IAG SC4, Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, Eisenstadt 1998