



## GPS-Messungen im Hochgebirge

Albert Grimm-Pitzinger <sup>1</sup>, Klaus Hanke <sup>2</sup>, Thomas Weinold <sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Geodäsie, Universität Innsbruck, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck*

<sup>2</sup> *Institut für Geodäsie, Universität Innsbruck, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck*

<sup>3</sup> *Institut für Geodäsie, Universität Innsbruck, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **79** (1), S. 42–49

1991

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Grimm-Pitzinger_VGI_199104,  
Title = {GPS-Messungen im Hochgebirge},  
Author = {Grimm-Pitzinger, Albert and Hanke, Klaus and Weinold, Thomas},  
Journal = {{\''0}sterreichische Zeitschrift f{\''u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {42--49},  
Number = {1},  
Year = {1991},  
Volume = {79}  
}
```



## GPS-Messungen im Hochgebirge

von *Albert Grimm-Pitzinger, Klaus Hanke und Thomas Weinold, Innsbruck*

### Kurzfassung

Das Institut für Geodäsie der Universität Innsbruck führte im Sommer 1990 eine GPS-Meßkampagne durch. Die Beobachtungsplanung war gekennzeichnet durch lange Wegzeiten im hochalpinen Bereich und extreme Abschattung der Satellitenbahnen durch Topographie und Bewuchs. Als Ergebnisse werden die Restklaffungen von Transformationen auf terrestrisch ermittelte Koordinaten angegeben.

### Summary

In summer 1990 the Department of Geodesy of the University of Innsbruck organized a campaign to study the application of GPS-technology in high-alpine regions. The result is presented by means of transformations on coordinates gained by terrestrial methods.

### 1. Einleitung

Zentrales Thema der Forschungsarbeit des Institutes für Geodäsie der Universität Innsbruck sind Planungs-, Meß- und Auswertemethoden von ingenieurgeodätischen Netzen. Bedingt durch die geographische Lage des Institutes stehen dabei Untersuchungen von Meßanordnungen im Hochgebirge im Vordergrund. Ein aktueller Aspekt ist die Anwendung der GPS-Technologie in diesen Bereichen. Um praktische Erfahrungen mit dem Einsatz des Systems in extremem Gelände zu erhalten, organisierte das Institut im Juli 1990 eine Meßkampagne, während der das 3-D-Testnetz Obergurgl und das von der Abteilung „Technische Vermessung“ der Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG) betreute Deformationsnetz Kampe-Burgschrofen gemessen wurden (siehe Abb. 1).

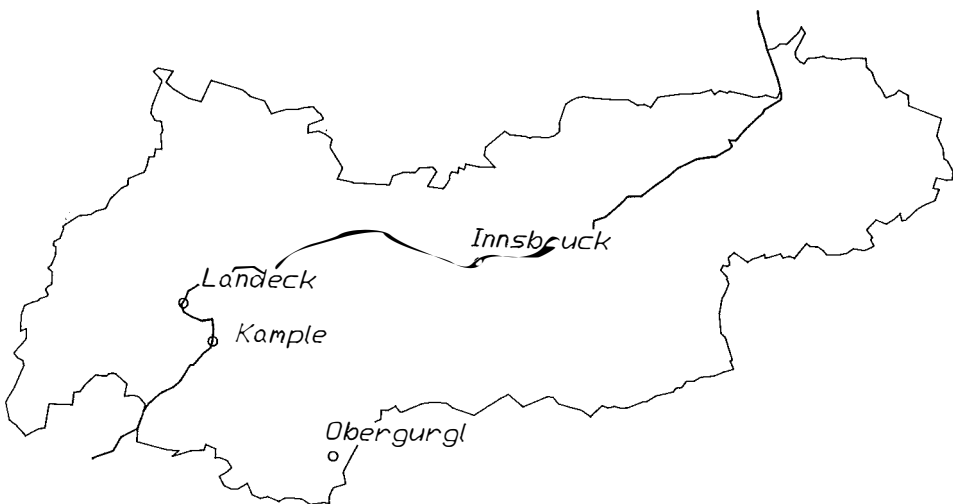


Abb. 1: Geographische Lage der beiden Netze

Beide Netze haben lokalen Charakter und weisen große Höhendifferenzen auf. Primär stellte sich die Frage nach der Auswirkung der teilweise extremen Abschattung der Satellitenbahnen auf die Messungen und die Qualität der Ergebnisse (siehe Abb. 2). Die Messungen sind weiters Teil eines Forschungsvorhabens zur Untersuchung von Modellbildungen von dreidimensionalen ingenieurgeodätischen Netzen im Gebirge.

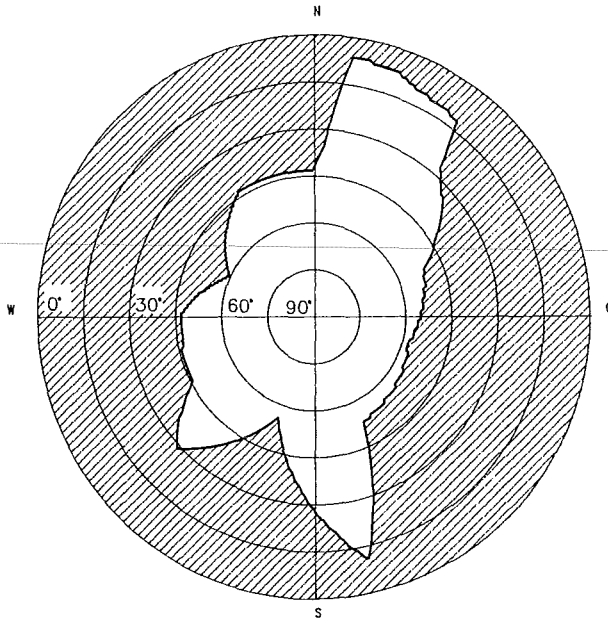


Abb. 2: Beispiel für die extreme Abschattung (Kample, Punkt 6558)

Für die Messungen standen der institutseigene Empfänger vom Typ WM-102 der Firma Wild-Magnavox und zwei Leihgeräte desselben Typs der Firma Rost zur Verfügung. Es wurde an vier Tagen gemessen, mit Beginn um 07.00 Uhr morgens. Die Meßdauer pro Punkt wurde, mit Ausnahme der fixen Stationen, auf eine Stunde begrenzt. Die starke Abschattung verkürzte das Beobachtungsfenster auf ca. fünf Stunden, was besonders im Testnetz Obergurgl große Anforderungen an die Organisation und die Mobilität der Meßtrupps stellte.

Die Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket POPS, Version 3.01, der WM Satellite Survey Company. Es wurden die als Defaultwerte vorgeschlagenen Modellparameter und die am Beginn der Messung in die Empfänger übertragenen Broadcast-Ephemeriden benutzt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Vergleiche der GPS-Messungen mit terrestrisch gemessenen Netzen bzw. von zwei GPS-Datensätzen untereinander (Obergurgl) gezeigt. Es soll vorausgeschickt werden, daß es sich bei den zwei terrestrischen Datensätzen nicht um vergleichsweise fehlerfreie Komparatoren handelt. Dennoch vermitteln die angegebenen Ergebnisse einer gleichgewichteten 7-Parameter-Transformation einen guten ersten Einblick in das Zusammenpassen der verschiedenartigen Datensätze.

## 2. Deformationsnetz Kample-Burgschrofen

Dieses Netz dient der Überwachung eines rutschungsgefährdeten Steilhanges. Es besteht aus zehn Punkten und weist mit einer Höhenausdehnung von 870 m bei einer längsten Schrägdistanz von 3,3 km und Zenitdistanzen bis zu  $64^{\text{gon}}$  stark dreidimensionalen Charakter auf (siehe Abb. 3).

Es wurde nahezu gleichzeitig mit konventionellen terrestrischen Methoden (horizontale Richtungen, Raumstrecken und gegenseitige Zenitdistanzen) gemessen. Die Ausgleichung ergab für die Lage durchschnittliche große Halbachsen der Helmertschen Fehlerellipsen von 3 mm, die durchschnittlichen Standardabweichungen der Höhen betragen ebenfalls 3 mm.

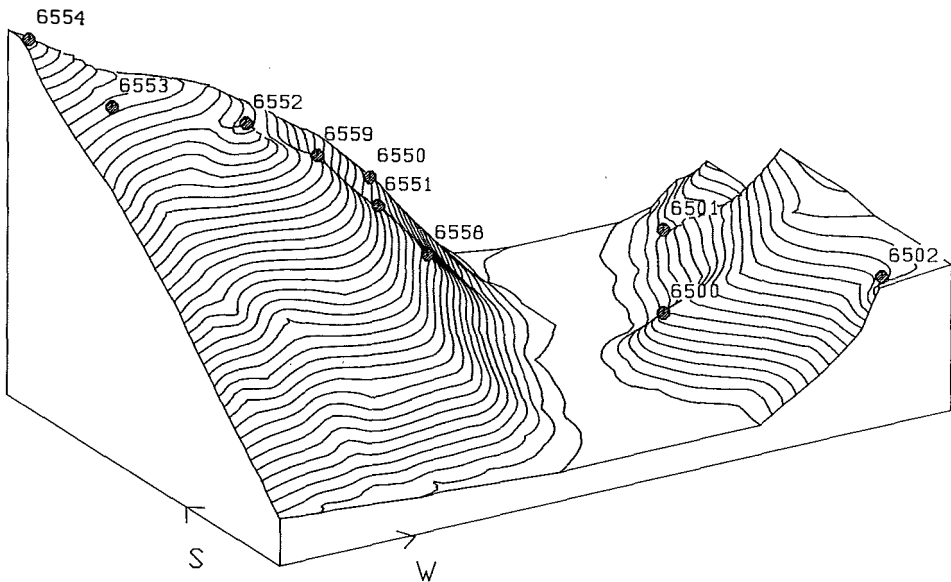


Abb. 3: DGM des Netzes Kample-Burgschrofen

Die Abdeckung durch das steile Gelände wird durch die starke Bewaldung verschärft. So mußten auf fünf der zehn durch Pfeiler stabilisierten Punkte die Satellitenmessungen exzentrisch durchgeführt werden. Als ständig besetzter Zentralpunkt wurde auf Grund der geringen Abdeckung der Punkt 6500 gewählt (siehe Abb. 4). Jeder Punkt ist mit einem geländegängigen Fahrzeug erreichbar, sodaß pro Beobachtungsfenster zweimal umgesetzt werden konnte.

An den zwei zur Verfügung stehenden Tagen wurden neun Vektoren, davon drei zweimal, beobachtet. Als inneres Genauigkeitsmaß für die aus der Auswertesoftware resultierenden Koordinaten der Netzpunkte werden deren Standardabweichungen angegeben. Sie liegen im Durchschnitt unter 2 mm.

Die auf der single-point-Lösung des ersten Tages des Punktes 6500 basierenden, im WGS-84-System vorliegenden, dreidimensionalen kartesischen Koordinaten der ursprünglich zehn Netzpunkte wurden auf die terrestrisch gewonnenen Koordinaten transformiert (siehe z. B. *Chesi, Grimm-Pitzinger*). Da der Punkt 6552 eine große Restklaffung aufwies, wurde er von der Transformation ausgeschlossen. Deren Ergebnisse

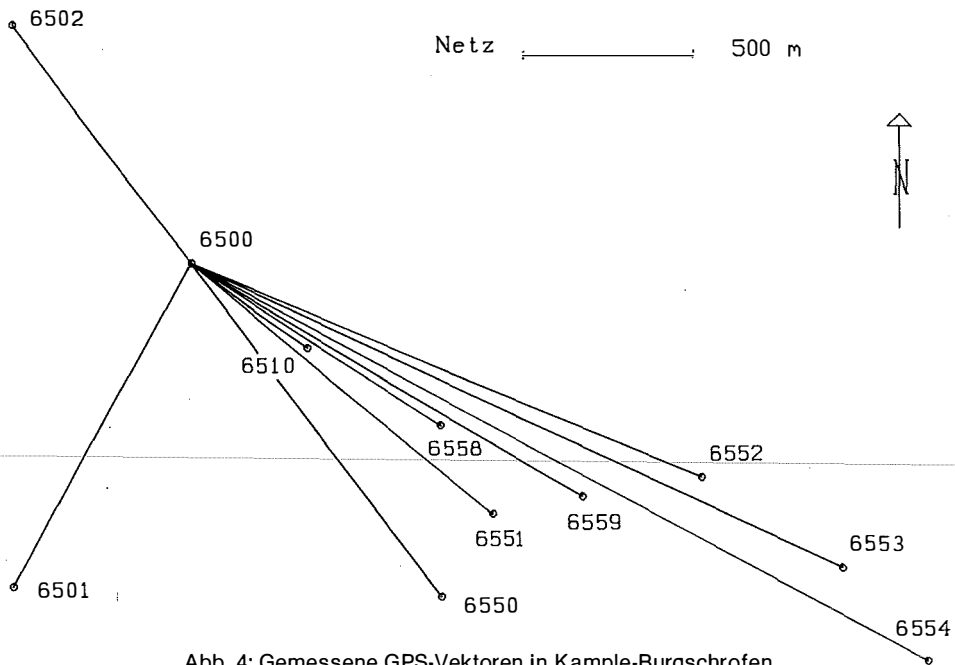


Abb. 4: Gemessene GPS-Vektoren in Kampele-Burgschrofen

sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Eine Transformation aller zehn Punkte mit den so bestimmten Transformationselementen ergab eine Klaffung im Punkt 6552 von 34 cm. Ursache dieses groben Meßfehlers dürfte ein unmittelbar neben dem Punkt befindlicher Sendemast sein (siehe z. B. Kahmen, Schwarz, Wunderlich).

	Breite	Länge	Höhe
6500	.002	— .009	— .022
6501	— .010	.016	.018
6502	.010	— .004	.011
6550	.009	— .004	— .005
6551	.009	— .003	— .032
6553	— .009	— .003	.029
6554	— .002	— .002	.002
6558	— .010	.003	.040
6559	.001	.007	— .039

RMS (Lage) = 0.007 m

RMS (Höhe) = 0.026 m

S<sub>0</sub> = 19 mm

Tabelle 1: Restklaffungen der 7-Parameter-Transformation des GPS-Netzes auf die terrestrisch gewonnenen Koordinaten

Der Maßstab erweist sich als nicht signifikant:

$$MS = 11,1 \cdot 10^{-6}$$

$$S_{MS} = 5,6 \cdot 10^{-6}$$

Die Übereinstimmung der beiden Netze ist in den Lagekoordinaten besser als in den Höhen. Ob und in welchem Ausmaß dies auf gravimetrische Einflüsse zurückzuführen ist, ist Gegenstand von weiteren Untersuchungen.

### 3. Testnetz Obergurgl

Für Forschungs- und Ausbildungszwecke des Institutes für Geodäsie besteht südlich von Obergurgl ein Testnetz in den Öztaler Alpen. Es besteht aus sieben Punkten und weist eine Höhenausdehnung von 2.100 m bis 2.570 m, Zenitdistanzen bis zu  $67^{\text{gon}}$  und eine maximale Raumstrecke von 2 km auf (siehe Abb. 5).

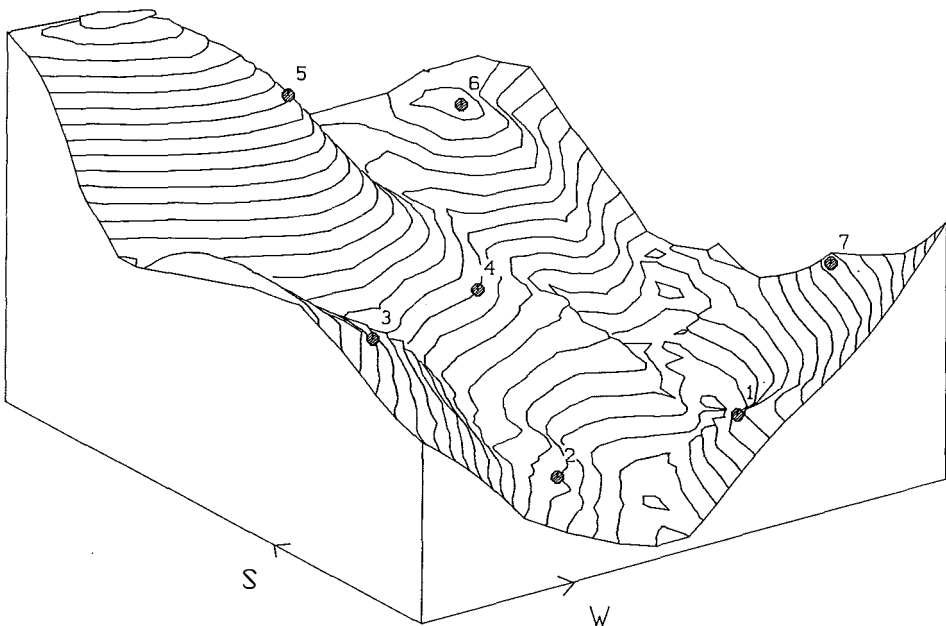


Abb. 5: DGM des Testnetzes Obergurgl

Die terrestrischen Messungen (Raumstrecken, horizontale Richtungssätze und gleichzeitig-gegenseitige Zenitdistanzen) resultieren aus Meßübungen für Studenten. Sie erfolgten, ebenso wie die GPS-Messungen, von Stativen aus. Die Lageausgleichung ergab eine durchschnittliche Halbachse der Helmertschen Fehlerellipsen von 3 mm; aus dem Höhenausgleich resultierte eine durchschnittliche Standardabweichung der Höhen von 4 mm.

Trotz der langen Umsetzzeiten zwischen den Punkten (die meisten sind nur durch Fußmärsche zu erreichen) und des durch die steilen Berghänge eingeeengten Beobachtungsfensters, gelang es, jeden Empfänger zweimal umzusetzen. So konnte das Netz an den zwei zur Verfügung stehenden Tagen insgesamt zweimal gemessen werden. Als ständig besetzter Zentralpunkt wurde an beiden Tagen aus organisatorischen und aus Abschattungsgründen der Punkt 3 gewählt (siehe Abb. 6).

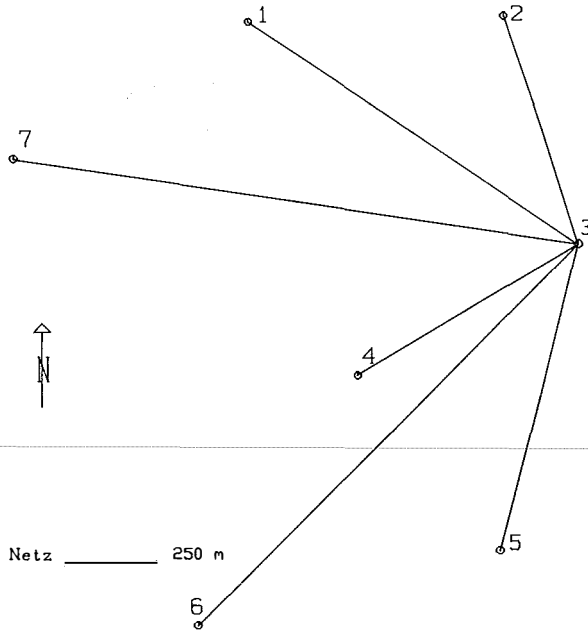


Abb. 6: Gemessene GPS-Vektoren in Obergurgl

Aus der Auswertung resultierten somit zwei Koordinatensätze, bezogen auf die single-point-Lösung des Punktes 3 vom ersten Tag. Die, wie vorhin erwähnt, als innere Genauigkeit zu interpretierenden Standardabweichungen der Koordinaten betragen durchschnittlich 1 mm.

Die beiden GPS-Koordinatensätze wurden aufeinander transformiert. Die Ergebnisse sind aus den Tabellen 2 und 3 ersichtlich:

	Breite	Länge	Höhe
P1	.002	— .004	.001
P2	.007	— .006	.001
P3	— .002	.004	.000
P4	— .006	.003	.003
P5	— .003	.001	— .005
P6	.005	— .006	.004
P7	— .002	.007	— .005

RMS (Lage) = 5 mm  
 RMS (Höhe) = 3 mm  
 S<sub>0</sub> = 5 mm

Tabelle 2: Restklaffungen der 7-Parameter-Transformation der beiden GPS-Datensätze

Parameter	Werte	RMS	Dimension
Verschiebung dx	-0.002	0.002	[m]
Verschiebung dy	0.003	0.002	[m]
Verschiebung dz	0.006	0.002	[m]
Drehung $\varphi(x)$	2.08	0.71	['' ]
Drehung $\varphi(y)$	0.68	0.65	['' ]
Drehung $\varphi(z)$	0.94	0.59	['' ]
Maßstab	-1.6	2.4	[p.p.m.]

Tabelle 3: Transformationsparameter (Modell Molodensky-Badekas) der beiden GPS-Datensätze mit Genauigkeitsangaben

Das gleichgewichtige Mittel der transformierten GPS-Koordinatensätze wurde weiters auf das terrestrisch ermittelte Netz transformiert (siehe Tabelle 4):

	Breite	Länge	Höhe
P1	— .003	.000	— .005
P2	.000	— .003	.005
P3	— .002	— .006	— .001
P4	.003	.003	— .001
P5	— .008	.011	.000
P6	.007	— .004	.001
P7	.002	— .002	.000

RMS (Lage) = 5 mm

RMS (Höhe) = 3 mm

$S_0$  = 5 mm

Tabelle 4: Restklaffungen der 7-Parameter-Transformation des gemittelten GPS-Netzes auf das „terrestrische Netz“

Von den Transformationsparametern sei nur der Maßstab erwähnt:

$$MS = 9,6 \cdot 10^{-6}$$

$$S_{MS} = 2,5 \cdot 10^{-6}$$

### Zusammenfassung

Trotz der durch die Topographie vorgegebenen starken Abschattung der Satellitenbahnen konnten die aufgrund der Erfahrungen aus anderen Meßkampagnen zu erwartenden Ergebnisse erzielt werden. Die zur Genauigkeitsschätzung durchgeführten Transformationen auf terrestrisch ermittelte Koordinatensätze zeigen gute Ergebnisse.

Zu beachten ist das Versagen der GPS-Messung auf einem Punkt im Netz Kampe-Burgschrofen. Diese vermutlich durch eine Sendeanlage verursachte Störung ist in der gewählten GPS-Meßkonfiguration nicht aufdeckbar. Da die Ursachen solcher Störungen nicht immer klar erkennbar sind (siehe *Kahmen et al.*), wird empfohlen, zuverlässige GPS-Meßanordnungen zu wählen. Dies geschieht z. B. durch Hinzufügen terrestrischer Elemente (*Grimm-Pitzinger*).

### Dank

Er gilt der Abteilung „Technische Vermessung“ der Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG) für die Zusammenarbeit.



### Literatur

- Chesi, G., Grimm-Pitzinger, A.: GPS-Messungen in Tunnelnetz Roppen, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 1989/3.
- Grimm-Pitzinger, A.: Zuverlässigkeitskriterien für GPS-Messungen in Tunnelnetzen, (Deutsche) Zeitschrift für Vermessungswesen, 10/1990.
- Kahmen, H., Schwarz, J., Wunderlich, T.: GPS-Messungen im Testnetz „Neue Welt“, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 1987/3.

## Über die Auswirkung von Koordinatenänderungen in der Referenzstation bei relativen Positionierungen mittels GPS

von H. Lichtenegger, Graz

### Summary

Based on vector- and matrix-calculus the paper presents a simple derivation of the formulas describing the effect of coordinate changes in the reference site on relative positioning with GPS.

### Zusammenfassung

In der Arbeit werden auf einfache Weise jene Formelsysteme hergeleitet, welche den Einfluß von Koordinatenänderungen in der Referenzstation bei relativen Positionierungen mittels GPS beschreiben.

### 1. Problemstellung

Bei relativen Positionierungen mittels GPS müssen zur Vermeidung von Rangdefekten die Koordinaten einer Referenzstation  $\underline{X}_0$  vorgegeben werden und die Koordinaten einer benachbarten Station  $\underline{X}_i$  folgen über den aus Beobachtungen abgeleiteten Basisvektor  $\Delta\underline{X}_i$ :

$$\underline{X}_i = \underline{X}_0 + \Delta\underline{X}_i \quad (1)$$

Alle in Gl. (1) auftretenden Vektoren seien vorerst in dem geozentrischen kartesischen Bezugssystem von GPS, d. h. im System WGS 84, ausgedrückt. In diesem Fall folgt bei festgehaltenem Basisvektor  $\Delta\underline{X}_i$  unmittelbar, daß sich bei einer Änderung der Referenzkoordinaten um  $d\underline{X}_0$  zwar die absolute Position der benachbarten Station um den gleichen Betrag ändert, die relative Position hingegen bleibt dadurch unbeeinflußt.

Andere Verhältnisse liegen vor, wenn von den dreidimensionalen kartesischen Koordinaten (X, Y, Z) auf die ellipsoidischen Koordinaten ( $\varphi, \lambda, h$ ) übergegangen wird. Es gilt jetzt also, den funktionalen Zusammenhang zwischen den Änderungen der ellipsoidischen Koordinaten in der Referenzstation und jenen in einer benachbarten Station zu finden, wobei der zugehörige Basisvektor  $\Delta\underline{X}_i$  wiederum festgehalten wird.

Das Problem wurde zwar bereits in (Heiskanen und Moritz 1967, Gl. (5—57)) im Zusammenhang mit Datumstransformationen gelöst, doch hat es bei relativen Punktbestimmungen mittels GPS neue Aktualität erlangt und wurde erst jüngst in (Breach 1990) wieder behandelt. Da letztere Arbeit aber wegen der skalaren Schreibweise eher schwer lesbar ist und eine Reihe von Druckfehlern aufweist, erscheint die Darstellung einer einfachen Ableitung der Lösung gerechtfertigt.