



Entwurf und Anlage eines langgestreckten GPS-Netzes entlang einer Eisenbahntrasse in Algerien

Gernot Fleischmann ¹, Günther Retscher ²

¹ *Fleischmann Vermessung, Sterneckstrasse 55, A-5020 Salzburg*

² *Inzersdorferstrasse 46, A-1100 Wien*

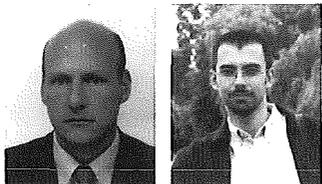
VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **88** (4), S. 206–211

2000

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Fleischmann_VGI_200025,  
Title = {Entwurf und Anlage eines langgestreckten GPS-Netzes entlang einer  
Eisenbahntrasse in Algerien},  
Author = {Fleischmann, Gernot and Retscher, G{\u}nther},  
Journal = {VGI -- {\u}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {206--211},  
Number = {4},  
Year = {2000},  
Volume = {88}  
}
```





Entwurf und Anlage eines langgestreckten GPS-Netzes entlang einer Eisenbahntrasse in Algerien

Gernot Fleischmann, Salzburg und Günther Retscher, Wien

Zusammenfassung

Als Grundlage für topographische Vermessungen musste ein trassennahes Festpunktfeld entlang einer bestehenden, rund 360 km langen Eisenbahnlinie in Algerien für deren Ausbau und Neutrassierung entworfen und angelegt werden. Dabei war gefordert, dass vorerst Netzpunkte in Punktabständen von rund 1 km entlang der Trasse durch GPS-Messungen geschaffen werden. Ausgehend von den Projektspezifikationen werden in diesem Beitrag die Erstellung des Netzentwurfs und die Wahl der Messstrategie sowie die Ergebnisse der Auswertungen der GPS Messungen beschrieben.

Abstract

For topographical surveys in the planning stage, a network of control points along a 360 km long railway line in Algeria had to be established using GPS measurements. The survey network with an average point distances of about 1 km is required for the redevelopment and realignment of the railway line. Starting from the project specifications, the network design and the observation strategy as well as the post processing results of the GPS observations are presented in this paper.

1. Einleitung und Zielsetzung

Für die Planung und den Bau von Verkehrsstrassen werden geodätische Netze benötigt, die unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden müssen. Entlang der Trasse muss in der Regel ein trassennahes Festpunktfeld mit konstanten Abständen zwischen den Netzpunkten geschaffen werden, wobei die Erzielung einer hohen Nachbarschaftsgenauigkeit entlang der Trasse im Vordergrund steht. Für die Schaffung eines solchen Netzes setzt man am wirtschaftlichsten GPS-Messverfahren ein. Besonders vorteilhaft hat sich die Schaffung eines modular aufgebauten Netzes erwiesen, wobei zunächst ein sog. übergeordnetes Netz bzw. Hauptnetz mit größeren Punktabständen geschaffen wird und anschließend mit Hilfe von Verdichtungsmessungen Netzpunkte im geforderten Abstand längs der Trasse eingemessen werden. Dieses Messkonzept wurde erstmals bei der Schaffung eines Punktfeldes im Baulos C längs der Neubaustrasse Frankfurt – Köln der Deutschen Bundesbahn angewendet und an der Abteilung Ingenieurgeodäsie der TU Wien entwickelt (siehe [3]). Beide Netze unterscheiden sich jedoch beträchtlich aufgrund ihrer Ausdehnung, nämlich die Gesamtlänge des trassennahen Netzes im Baulos C bei der DB Neubaustrasse beträgt nur rund 45 km und bei dem neu zu schaffenden Netz in Algerien mehr als das 8-fache.

Bei besonders langen Verkehrsstrassen nimmt das Netz meistens eine schlauchförmige Form

an, wobei die Mehrzahl der Netzpunkte direkt entlang der Trasse liegen und zusätzliche Punkte in einem gewissen Abstand zu der Trasse auf beiden Seiten zur Versteifung des Netzes angeordnet werden müssen. Die spezielle Form des Netzes erfordert die Wahl eines Messkonzepts, bei dem die erforderlichen Genauigkeiten für die trassennahen Festpunkte unter Beachtung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimal gewährleistet werden kann. In diesem Beitrag wird das Messkonzept für die Schaffung eines GPS-Netzes entlang einer ca. 360 km langen Eisenbahnlinie in Algerien beschrieben und die Ergebnisse der Auswertung der GPS Messkampagne präsentiert.

Bei dem Projekt handelt es sich um einen Planungsauftrag zwischen der staatlichen algerischen Eisenbahngesellschaft als Auftraggeber und einer ARGE bestehend aus österreichischen und algerischen Planungsbüros als Auftragnehmer. Die vorgelegte Aufgabenstellung umfasst eine Neutrassierung einer bestehenden Schmalspurreisenbahnlinie im Südwesten Algeriens nahe der marokkanischen Grenze, um die Strecke zukünftig auf Normalspurausbauen zu können. Das Planungsgebiet beginnt im Norden bei der Stadt Mecheria und endet im Süden im Ort Bechar (siehe Abb. 1). Dieser Region Algeriens ist relativ gebirgig mit nur karger Vegetation bestehend aus vereinzelt Büschen und ersten Sanddünen die den Beginn der Sahara ankündigen.

Der Auftrag beinhaltet auch eine topographische Vermessung der gesamten bestehenden

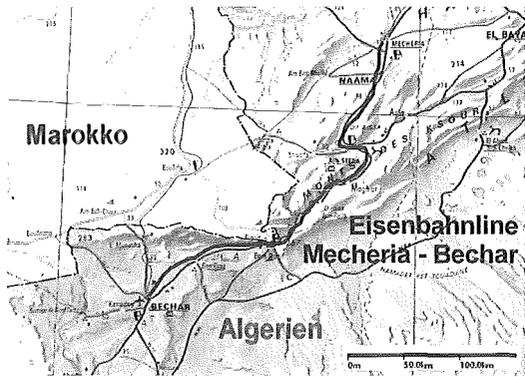


Abb. 1: Eisenbahnlinie Mecheria – Bechar in Algerien

Eisenbahnstrecke über die Gesamtlänge von rund 360 km. Aufgrund der Tatsache, dass ein amtliches Festpunktfeld in Algerien kaum vorhanden ist und auch dessen Güte nicht bekannt ist, wurde der Aufbau eines eigenen Festpunktfeldes entlang der gesamten Eisenbahntrasse gefordert. Dieses neue Netz besteht aus rund 400 Netzpunkten, die einen ungefähren Punkt-Abstand von 900–1200 m haben. Sämtliche Netzpunkte wurden entlang der bestehenden Trasse so gewählt und stabilisiert, dass die Punkte auch bei einem späteren Ausbau der Strecke nicht verloren gehen. Zur Stabilisierung dienten vorgefertigte Betonsteine in die zur Punktidentifikation Stahlstifte eingelassen wurden. Abb. 2 zeigt einen Punkt des Hauptnetzes während der Messungen im Februar 2000. Als Genauigkeitsanforderung werden ± 5 cm in der Lage und ± 7 cm in der Höhe für alle Netzpunkte verlangt.



Abb. 2: GPS-Empfänger auf Punkt des Hauptnetzes

2. Netzentwurf und Messkonzept

Wie eingangs beschrieben, wurde aufgrund der Länge der Eisenbahntrasse ein hierarchischer Netzaufbau in zwei Stufen gewählt, wobei das Hauptnetz der ersten Stufe aus trassenna-

hen Festpunkten in Abständen von rund 5 km besteht und anschließend in der zweiten Stufe durch das Verdichtungsnetz die Festpunkte entlang der Trasse im geforderten Punktabstand von rund 1 km geschaffen werden.

2.1 Hauptnetz

Das Hauptnetz besteht im wesentlichen aus 15 km langen Elementen, die jeweils von 4 Netzpunkten längs der Trasse und 2 Stützpunkten auf einer Seite der Trasse in einem Mindestabstand von einigen km gebildet werden. Drei derartige Elemente des Hauptnetzes sind in Abb. 3 dargestellt. Diese sog. Teilnetze bestehen also immer aus insgesamt 6 Punkten, wobei eine Verknüpfung zwischen aufeinanderfolgenden Teilnetzen jeweils über zwei Punkte erfolgt. Im Gegensatz zu dem an der TU Wien entwickelten Messkonzept für die DB Neubaustrecke Frankfurt – Köln (siehe [3]) standen für die Schaffung des Hauptnetzes keine ausreichende Anzahl von amtlichen Festpunkten abseits der Trasse zur Einbindung und Versteifung des schlauchförmigen Netzes zur Verfügung. Die Steifigkeit des Netzes musste somit alleine durch die seitlichen Stützpunkte gewährleistet werden. Aus diesem Grunde wurden diese Punkte bei maximal zwei aufeinanderfolgenden Teilnetzen auf einer Seite der Trasse angeordnet, anschließend wechseln die seitlichen Stützpunkte auf die andere Trassenseite. Wie in Abb. 3 ersichtlich ist, ergeben sich durch die Beobachtung der Basislinien zwischen den Eckpunkten der Teilnetze gute Verstreubungen in Form von Diagonalierecken.

Die Beobachtung des Hauptnetzes erfolgte mit vier GPS-Empfängern. Für ein Teilnetz sind dann 6 Beobachtungssessionen notwendig, damit alle Basislinien linear unabhängig voneinander bestimmt werden können. Die Abb. 4 zeigt die Besetzung der Netzpunkte und die zu bestimmen-

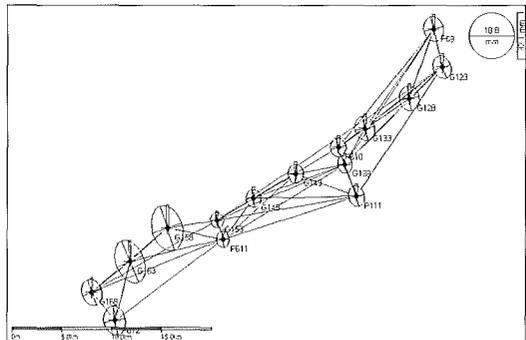
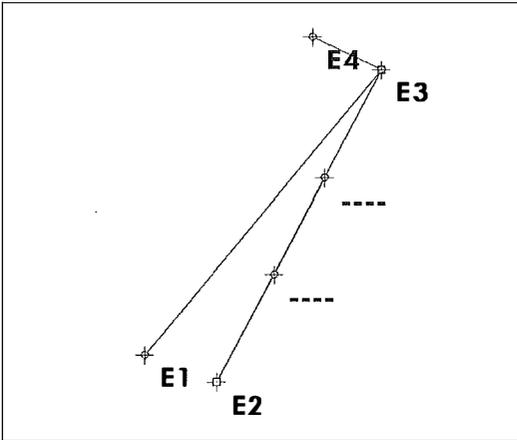
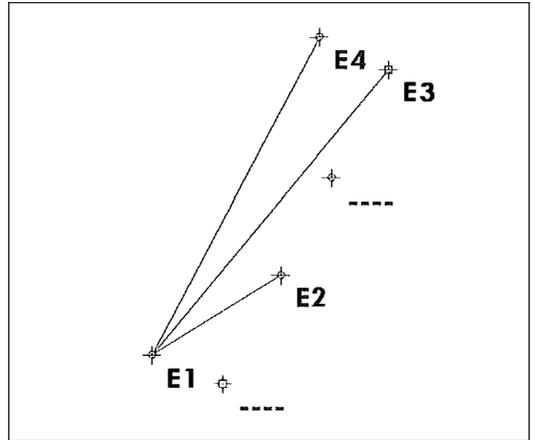


Abb. 3: Drei aufeinanderfolgende Elemente des Hauptnetzes (inkl. Fehlerellipsen)

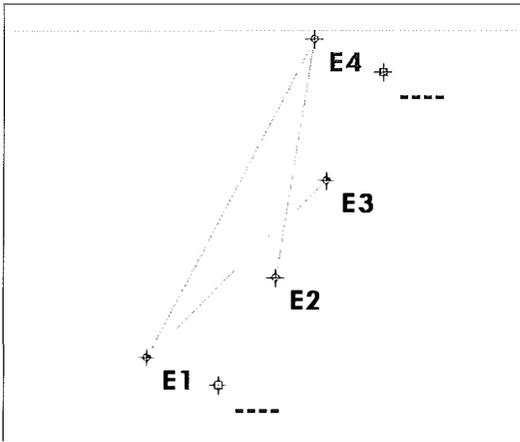
Session 1



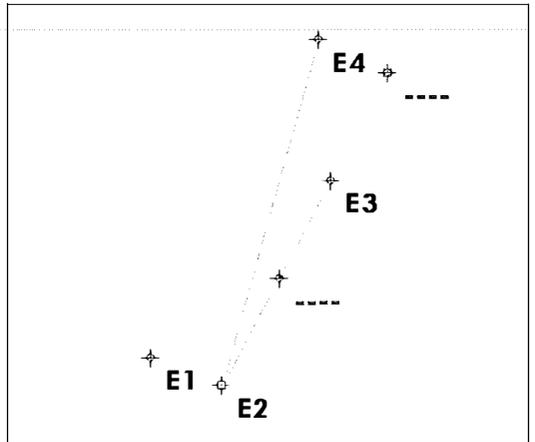
Session 2



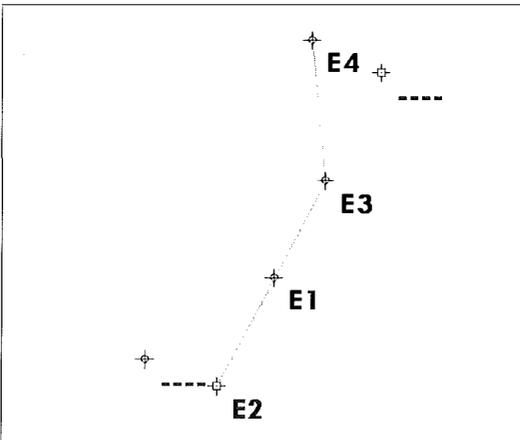
Session 3



Session 4



Session 5



Session 6

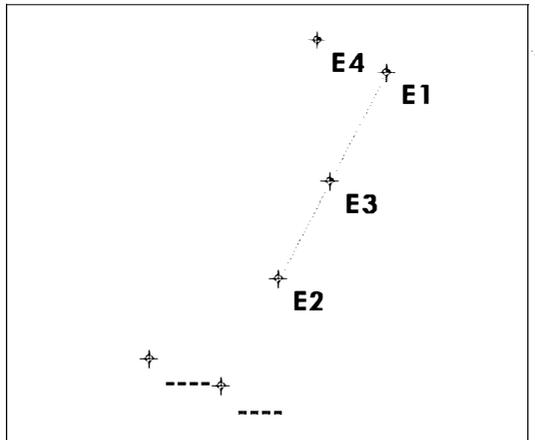


Abb. 4: Messanordnung für ein Teilnetz (mit Anordnung der GPS-Empfänger E1 bis E4)

den Basislinien in den einzelnen Sessionen. Durch diese Messanordnung wird gewährleistet, dass die langen Basislinien, wie z.B. die Diagonalen, in zwei aufeinanderfolgenden Sessionen bzw. über einen Zeitraum von mindestens einer Stunde beobachtet werden. Dementsprechend beträgt die Beobachtungszeit der einzelnen Sessionen 30 Minuten, die der Session 4 jedoch eine Stunde. Die GPS Messungen des Hauptnetzes wurden im November 1999 in Algerien durchgeführt. Durchschnittlich konnten dabei täglich alle Netzpunkte innerhalb eines 15 km langen Trassenabschnitts eingemessen werden.

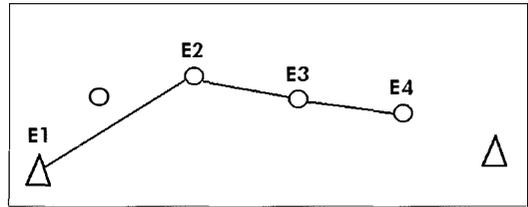
2.2 Verdichtungsnetz

Das Messkonzept der Verdichtungsnetze baut auf einem für das Netz der 2. Stufe in [3] beschriebenen Netzentwurf auf. Hierbei werden zwei Punkte des Hauptnetzes als Referenzstationen verwendet, um vier zusätzliche trassennahe Festpunkte im Abstand von rund 1 km einzumessen. Die Abb. 5 zeigt die Messanordnung in den einzelnen Sessionen. In insgesamt 3 Sessionen können alle Basislinienkombinationen zwischen den Neupunkten und den Referenzpunkten bestimmt werden. Für die Beobachtungszeit einer Session wurden 20 Minuten vorgesehen. Bei der Auswertung des Verdichtungsnetzes wird zusätzlich zu den linear unabhängigen Basislinien von den Referenzstationen zu den Neupunkten die Basislinie zwischen den beiden Referenzpunkten aus der Messung des Hauptnetzes verwendet. Durch diese Messanordnung wird eine hohe Nachbarschaftsgenauigkeit zwischen den Netzpunkten gewährleistet. Die Messungen des Verdichtungsnetzes konnten innerhalb von 4 Wochen im Jänner und Februar dieses Jahres durchgeführt werden. Dabei wurden an einen Tag jeweils wiederum die Neupunkte in einem Trassenabschnitt von 15 km Länge eingemessen. Eine weitere Verdichtung des Netzes erfolgt im Zuge der topographischen Geländeaufnahme ausgehend von diesen Punkten mit herkömmlichen Verfahren durch die Anlage von Polygonzügen.

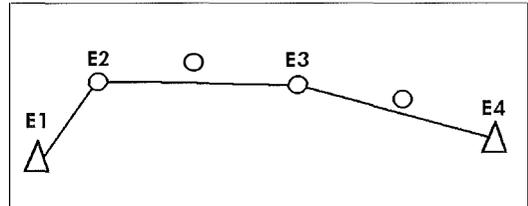
3. Auswertung

Für die GPS-Auswertung wurde das Softwareprogramm „GeoGenius 2.0“ der Fa. Spectra Precision verwendet. Dieses Softwarepaket beinhaltet sowohl sämtliche Module, die für GPS-Basislinienauswertung erforderlich sind, als auch einen vollständigen Netzausgleich. Alle GPS relevanten Berechnungen wurden mit dieser Software geplant, vorbereitet und durchgeführt.

Session 1



Session 2



Session 3

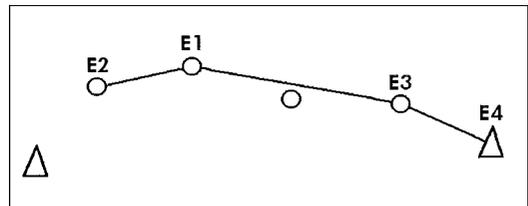


Abb. 5: Messanordnung im Verdichtungsnetz (mit GPS-Empfänger E1 bis E4)

3.1 Hauptnetz

Jeder der rund 15 km langen Hauptnetzteile wurde so ausgewertet, dass die lineare Unabhängigkeit gewahrt wurde, d.h. es wurden nur linear unabhängige Basislinien aus den einzelnen Sessionen berechnet. Das gesamte Hauptnetz wurde danach in 3 ungefähr gleich lange Teile zu jeweils 120 km aufgeteilt, welche aus insgesamt 8 Hauptnetzteilen zu 15 km Länge bestehen. Diese 3 Teile wurden nun getrennt voneinander frei ausgeglichen und anschließend wieder zu einem Ganzen zusammengeführt. Da das Algerische Institut für Geographie die UTM-Projektion einsetzt, wurden unsere Netzpunkte noch über eine UTM-Projektion abgebildet, um unserem Auftraggeber Koordinaten im Landesystem liefern zu können. Höhenmäßig wurden unsere Netzpunkte nicht an das algerische Höhensystem angeschlossen, da nicht ausreichend Festpunkte zur Verfügung standen. Jedoch wurde versucht, unsere Höhen an das algerische Höhensystem anzupassen um eine relative Übereinstimmung zwischen alten Plänen und Karten und unserer Vermessung zu erzielen.

Resultate

Aufgrund der anfangs erwähnten extrem guten Beobachtungsbedingungen für GPS konnten die geforderten Genauigkeiten ohne großen Aufwand erreicht beziehungsweise übertroffen werden. Da ganz selten weniger als 6 Satelliten zur Verfügung standen und auch die GPS eigenen Genauigkeitsfaktoren (PDOP, HDOP, VDOP, GDOP) immer innerhalb der definierten Toleranzen lagen, bewegten sich die mittleren Punktlagegenauigkeiten zwischen ± 3 cm im Norden und ± 4 cm im südlichsten der 3 Netzteile. Hierbei handelt es sich jeweils um den zweifachen Helmert'schen Punktlagefehler (2σ). Die Höhen-genauigkeit betrug zwischen ± 4 cm im Norden und ± 5 cm im Süden und lag somit immer innerhalb der geforderten Genauigkeit. Aufgrund der guten Überbestimmung unserer Messungen, konnten fehlerhafte Beobachtungen ausgeschieden werden, um das Ergebnis nicht zu verzerren. Ein Hauptgrund für die erfolgreichen GPS-Messungen lag sicherlich auch bei der sorgfältig ausgeführten Planung der Beobachtungsfenster. Durch eine exakte Vorausplanung konnten die optimalen Beobachtungsfenster ermittelt werden, um optimale Resultate zu erzielen (siehe auch [1]). Die folgende Abb. 6 zeigt ein 15 km langes Hauptnetz mit den erzielten Genauigkeiten. In Abb. 3 sind auch die Punktlagefehler von 3 Teilnetzen anhand von Fehlerellipsen und Höhenfehler graphisch dargestellt.

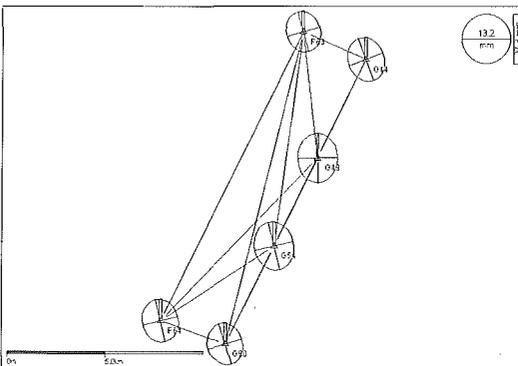


Abb. 6: Ausgeglichenes Hauptnetzteil mit 15 km Länge

3.2 Verdichtungsnetz

Nach Abschluß der Berechnungen für das Hauptnetz lagen als Ergebnis rund 70 ausgeglichene Festpunkte längs der Trasse vor, die nun für die weiteren Berechnungen der Verdichtungsnetzpunkte als Festpunkte betrachtet wurden. Die Verdichtungsnetzpunkte wurden nach der Vorauswertung jeweils zwischen zwei Festpunkten eingepasst und berechnet.

Resultate

Mit Hilfe der oben beschriebenen Vorgangsweise wurden die restlichen 260 trassennahen Punkte berechnet und ausgeglichen. Wie bereits bei der Auswertung des Hauptnetzes konnten auch hier Genauigkeit weit unter den Anforderungen ohne Mehraufwand erzielt werden. Es wurde dabei ein Maximum für den mittleren Punktlagefehler bei einem Konfidenzbereich von 2σ von $\pm 1,7$ cm in der Lage und ± 3 cm in der Höhe erreicht. Diese maximalen Werte traten jedoch nur in einem kleinen Bereich auf, in dem in dem größere Abschattungen das Messresultat stark beeinflussten. Dabei handelte es sich um eine 5 km lange Engstelle in einem Tal bei Bahnkilometer 510. Da keine Punkte des Hauptnetzes in diesem Bereich lagen, trat dieser Einfluss erst bei der Verdichtungsmessungen auf. Wie die Abb. 7 zeigt, ergaben sich in den anderen Bereichen Genauigkeiten im Bereich von rund ± 1 cm für die Lage und $\pm 1,5$ cm für die Höhe.

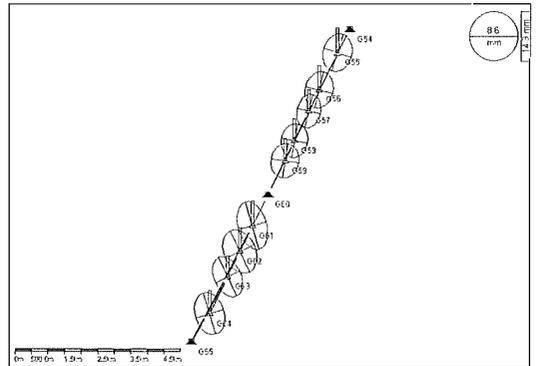


Abb. 7: Verdichtungsnetzpunkte in 2 Abschnitten mit jeweils 5 km Länge mit erzielter Punktlagegenauigkeit

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Schaffung eines GPS-Netzes entlang einer rund 360 km Verkehrsstraße stellte eine große Herausforderung an das Projektteam dar. Durch den gewählten Netzentwurf und die Messstrategie konnten die geforderten Genauigkeiten wirtschaftlich und dadurch sehr effizient erzielt werden. Der hierarchische Netzaufbau durch Unterteilung des Netzes in zwei Stufen, dem Hauptnetz und weitere Verdichtungsnetze, hat sich für die Aufgabenstellung mehr als bewährt. Das so entstandene Festpunktfeld wurde anschließend für eine topographische Vermessung entlang der gesamten Strecke mittels RTK-GPS und Tachymetern von einer österreich-algerischen ARGE genutzt. Die Streckenplanung ist kurz vor

der Fertigstellung. Als möglicher Start einer Realisierung für den Ausbau der Eisenbahnstrecke könnte 2005 angesehen werden.

Durch den Einsatz von Fachpersonal, sorgfältiger Vorbereitung, die Wahl der richtigen Messmittel und einer kleinen Portion Mut konnte dieses Projekt erfolgreich in der vorgesehenen Zeit abgewickelt werden. Die Vermessungen konnten mit Ende Mai dieses Jahres abgeschlossen werden, da danach schon Temperaturen von über 45 Grad Celsius den Normalfall darstellten. Dieses Projekt stellt ein schönes Beispiel von österreichischem Planungsexport dar und sichert somit Arbeitsplätze zum großen Teil in Österreich. Hier sind vor allem österreichische Ingenieurbüros gefragt, die durch verstärkte Aktivitäten in neuen Märkten der österreichischen Wirtschaft zu neuen Exportleistungen verhelfen können.

Literatur

[1] *Chmelina K., Jobst M., Retscher G. (1995):* GPS bei extremer Abschattungssituation – Routine oder Herausforderung? *Allgemeine-Vermessungs-Nachrichten*, Wichmann Verlag, Heidelberg, AVN 7/95, S. 257–266.

- [2] *Fleischmann G. (1997):* Tauglichkeit von GPS-Einfrequenzempfängern für topographische Vermessungen. Diplomarbeit am Institut für Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, Juli 1997.
- [3] *Kahmen H., Wunderlich Th., Retscher G., Kuhn M., Plach H., Teferle F.N., Wieser A. (1998):* Ein modulares Konzept zur Absteckung von Hochgeschwindigkeitstrassen. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart, ZfV 4/98, S. 115–121.
- [4] *Retscher G. (1997):* Charakteristika und Einsatz von GPS-Echtzeitvermessungssystemen für Spezialanwendungen. *AVN 1/97*, Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 2–11.
- [5] *Retscher G., Fleischmann G. (2000):* Langgestreckte GPS-Netze für Trassenplanungen anhand eines Projekts in Algerien. in: Schnädelbach K., M. Schilcher (Hrsg.): Beiträge präsentiert am Kurs für Ingenieurvermessung 2000 (XIII. International Course on Engineering Surveying), Technische Universität München, 13.–17. März 2000, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, S. 386–391.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. Gernot Fleischmann: Fleischmann Vermessung, Sterneckstrasse 55, A-5020 Salzburg. E-mail: gernot.fleischmann@fleischmann.co.at
Dipl.-Ing. Dr. Günther Retscher, Inzersdorferstrasse 46, A-1100 Wien. E-mail: guenther.re@chello.at



Verdichtung von Echolot Querprofilen unter Berücksichtigung der Flußmorphologie

Gottfried Mandlbürger, Wien

Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur Verdichtung von weitabständigen Echolot-Querprofilen unter Berücksichtigung der Flußmorphologie vorgestellt. Im Gegensatz zu konventionellen Ansätzen, die für diese Aufgabe Dreiecksvermaschungen verwenden, berücksichtigt der vorgestellte Ansatz bei der Punktverdichtung den krummlinigen Achsverlauf. Beispiele haben gezeigt, daß mit diesem Verfahren eine wesentlich bessere Approximierung des Gewässerbettes erreicht wird.

1. Einleitung

Für vielfältige Aufgaben im Bereich der Hydrologie und Hydraulik werden digitale Modelle des Flußbettes benötigt. Obwohl mit den Fächerloten bereits Instrumente zur flächenhaften Aufnahme des Gewässergrundes vorhanden sind, wird vielerorts nach wie vor die linienhafte Aufnahme in Form von Echolot-Querprofilen verwendet. Die Profile weisen in der Regel eine hohe Punktdichte in Profilrichtung (< 2m) und einen großen Profilabstand auf. Typische Profilabstände sind 50m, 100m, 200m oder gar 500m. Für die Erstellung qualitativ hochwertiger digitaler Geländemodelle (DGMe) des Gewässerbettes ist eine

Homogenisierung der Punktverteilung erforderlich. Die Datenverdichtung zur Überbrückung der stützpunktlosen Räume geschieht konventioneller Weise mit Hilfe einer Dreiecksvermaschung (*Triangular Irregular Network – TIN*) der Beobachtungsdaten. Aus den zwischen den Profilen verlaufenden Dreiecksflächen können weitere Zwischenpunkte linear eingerechnet werden. Vor allem an stark gekrümmten Flußläufen führt dieses Verfahren zu Einschnitten der inneren und zu Klaffungen an den äußeren Uferböschungen (siehe Abb.1). Im Rahmen des Pilotprojektes HGIS-Saar [1], welches das Institut für Photogrammetrie (I.P.F.) der TU Wien im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in