



Integration aktueller Forschungsergebnisse in die Lehre am Beispiel „Netzplanung“

Günter Schmitt, Karlsruhe

Der optimale Entwurf geodätischer Netze war in den letzten Dekaden ein zentraler Forschungsschwerpunkt am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe. Es wird gezeigt, wie die Studierenden des Karlsruher Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik im Rahmen einer Übung zur Netzplanung und im Projektstudium bei den Hauptvermessungsübungen an die Problematik herangeführt und für die entscheidenden Aspekte beim Entwurf geodätischer Netze sensibilisiert werden.

1 Einleitung

Das Ziel universitärer Ingenieurstudiengänge sollte nicht nur in der Vermittlung fundierter allgemeiner theoretischer und praktischer Kenntnisse liegen, sondern es sollte den Studierenden auch die Gelegenheit gegeben werden, einen Einblick über den Stand der Forschung im betreffenden Fachgebiet zu erhalten. Die Möglichkeit des Schnüpperns an der Forschungsfront eröffnet zum Einen neue Perspektiven für die Studierenden und ihr späteres Berufsfeld und zieht zum Anderen potentielle wissenschaftliche Nachwuchskräfte an. Zur Realisierung dieser Ziele bieten sich einschlägige Studien- und Diplomarbeiten und die direkte Mitarbeit bei Forschungsprojekten über Hilfsassistenten an. Weiterhin sollten für die Praxis relevante Entwicklungen und Ergebnisse in das Grundfachstu-

dium integriert und für besonders interessierte Studierende spezielle Lehrveranstaltungen im Vertiefungsstudium angeboten werden. Wie sich Letzteres ermöglichen lässt, soll am Beispiel des Forschungsschwerpunkts „Geodätische Netzoptimierung“ in Karlsruhe gezeigt werden.

2 Geodätische Netzoptimierung

In den beiden letzten Dekaden hat sich als einer der zentralen Forschungsschwerpunkte am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe (GIK) der optimale Entwurf geodätischer Netze, kurz geodätische Netzoptimierung, herausgebildet. In diesem Zeitraum wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft neun Mannjahre im Rahmen von Normalverfahren finanziert, es entstanden drei Dissertationen und eine Vielzahl von Diplomarbeiten, Veröffentlichungen und Kongressbeiträgen, von denen die wichtigsten in der Literaturliste am Ende des Beitrags zusammengestellt sind. Einen wesentlichen Schwerpunkt stellten die Arbeiten zum Design zweiter Ordnung, der Gewichtsoptimierung dar (SCHMITT 1979, BILL et al. 1983, MÜLLER 1984, MÜLLER und SCHMITT 1985, MÜLLER 1986), mit besonderen Erweiterungen zur Behandlung von hierarchischen und Verdichtungsnetzen (Design dritter Ordnung) (HOPPE und KALTENBACH 1989, ILLNER 1988) und der Untersuchung verschiedener Konzepte von Kriteriummatrizen (BILL 1985, KALTENBACH und SCHMITT 1988). Interessante alle Designordnungen übergreifende Ansätze finden sich in JÄGER und DRIXLER (1989) und JÄGER und VOGEL (1990a, 1990b).

Einen völlig neuen Weg beschreiten die Arbeiten zur spektralen Analyse und Optimierung geodätischer Netze, vor allem vor dem Hintergrund der besseren Trennung von Netzschwachformen und eigentlichen Deformationen bei Überwachungsnetzen (JÄGER 1988, JÄGER und KALTENBACH 1990, KALTENBACH 1992, SCHMITT 1997).

Die Arbeiten zur Netzoptimierung haben die Lehre im Studiengang Geodäsie und Geoinformatik (vormals Vermessungswesen) an drei Positionen befruchtet:

- einstündige Vorlesung „Geodätische Netzoptimierung“ als Angebot im Vertiefungsstudium,
- Übung „Netzplanung“ zur Vorlesung „Analyse und Planung geodätischer Netze“ (6. Semester),
- Projekt „Entwurf, Messung und Ausgleich eines Ingenieurnetzes“ im Rahmen der Hauptvermessungsübungen III (HVÜ III nach dem 6. Semester).

3 Übung Netzplanung

Die zur Vorlesung „Analyse und Planung geodätischer Netze“ im Grundfachstudium, 6. Semester, gehörende Netzplanungsübung umfasst folgende Aufgabenstellung:

Der Gebäudebestand der Universität Karlsruhe soll für die Erstellung eines Campusinformationssystems mit Dezimetergenauigkeit aufgemessen werden. Dazu ist in der Örtlichkeit zur Verdichtung des vorhandenen Festpunktfeldes ein Netz zu erkunden, das die folgenden Forderungen des Auftraggebers bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit und Testgüte (bezüglich der Zuverlässigkeitsmaße) mit möglichst geringem Messaufwand erfüllt:

- *Aufnehmbarkeit sämtlicher Gebäude- und weiterer Objektpunkte von den Netzpunkten aus,*
- *möglichst kreisförmige Fehlerellipsen,*
- *große Halbachse jeder absoluten 95%-Konfidenzellipse kleiner als 1,5 cm,*

etc. Weitere Forderungen beziehen sich auf Maße bzw. Grenzwerte der inneren und äußeren Zuverlässigkeit.

Die Durchführung der Netzanalyse hat in verschiedenen Modellen stattzufinden:

- freies Netz,
- Netz mit stochastischen Anschlusspunkten (Punktlagegenauigkeit 1 cm, unkorreliert),
- hierarchisches Netz.

Die schriftliche Ausarbeitung der Übung beinhaltet folgende Einzelpunkte:

- Erarbeitung eines Vorschlags für ein Geräte- und Messprogramm,
- Tabellarische Zusammenstellung der sich aus dem Vorschlag ergebenden Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmaße für die einzelnen Modelle,
- Graphische Darstellung der Analyseergebnisse aus den verschiedenen Modellen in Netzbildern mit absoluten und relativen Fehlerellipsen,
- Interpretation der Ergebnisse,
- Erstellung eines Angebots unter Berücksichtigung der erforderlichen Arbeitszeit und der verwendeten Geräte (auf der Basis vorgegebener Stunden- und Geräteleihsätze).

Die Netzplanungen sind auf den PCs im Rechnerraum des GIK auf der Grundlage des Ausgleichsprogramms NETZ2D mit dem unter AUTOCAD verfügbaren Netzplanungstool N2DPLAN durchzuführen.

NETZ2D ist ein am GIK entwickeltes Programm zur Lagenetzgleichung mit allen gängigen Ausgleichsmodellen und Beobachtungstypen, inklusive GPS-Sessions (OPEN und JÄGER 1991), für das mittlerweile auch eine komfortable WINDOWS-Oberfläche zur Verfügung steht. N2DPLAN dient zum interaktiv graphischen Aufbau eines Lagenetzes in einer in AUTOCAD abgelegten georeferenzierten topographischen Karte. Mit einfachen Maus-

klicks können Netzpunkte definiert und Näherungskordinaten bestimmt sowie ein Beobachtungsplan mit Strecken, Richtungen und GPS-Baselines aufgebaut werden. Gleichzeitig wird im Hintergrund ein Eingabefile für NETZ2D erstellt. Nach Wahl des Ausgleichsmodells und der Beobachtungsgenauigkeiten wird die Ausgleichung gerechnet, wonach Protokoll und Netzplots mit Fehlerellipsen und eventuell relativen Fehlerellipsen zur Interpretation bezüglich der in der Aufgabenstellung formulierten Forderungen bereit stehen. Eine iterative Vorgehensweise mit jeweiliger Modifikation des Netzdesigns führt zum endgültigen Entwurf. Die Übung wird in Zweiergruppen durchgeführt, für

jede Gruppe wird ein anderer Campusbereich festgelegt. Abb. 1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus dem Campusplan der Universität, in dem der für eine Gruppe aufzunehmende Bereich umrahmt ist. Abb. 2 zeigt einen mittels N2DPLAN interaktiv erstellten Netzentwurf/Beobachtungsplan. Abb. 3 vermittelt beispielhaft einen Eindruck über die mit diesem Entwurf erzielbare Punktlagegenauigkeit im Ausgleichsmodell ‚freies Netz‘, Abb. 4 für die hierarchisch angeschlossene Netzvariante. Die Abgabe der schriftlichen Ausarbeitung erfolgt im Rahmen eines Abschlusskolloquiums, wo die Studierenden ihren Entwurf erläutern und zu speziellen Problemen Stellung nehmen müssen.



Abb. 1: Ausschnitt aus dem Campusplan der Universität Karlsruhe mit Markierung des im Rahmen der Aufgabenstellung zu erfassenden Bereichs



Abb. 2: Mittels N2DPLAN interaktiv erstellter Entwurf des Aufnahmenetzes

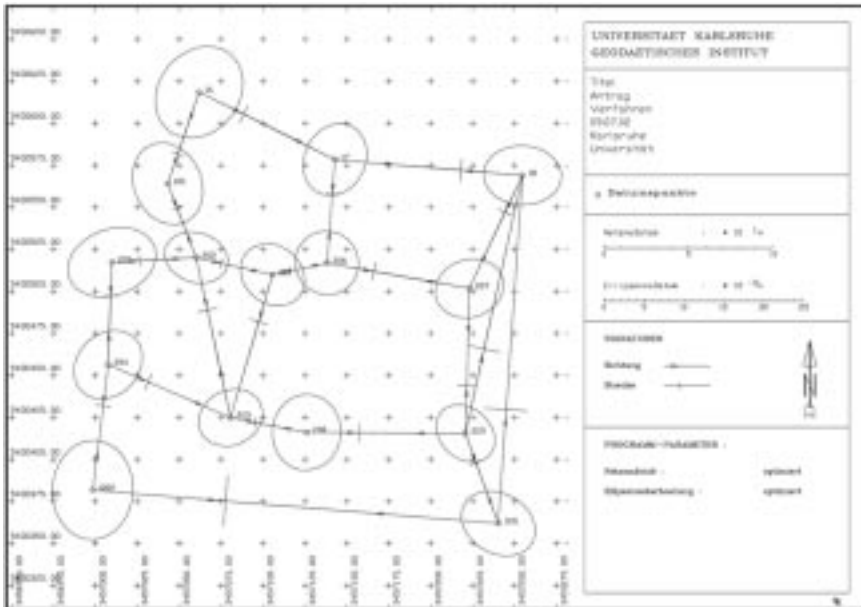


Abb. 3: Netzplot mit Punktfehlerellipsen für freies Netz

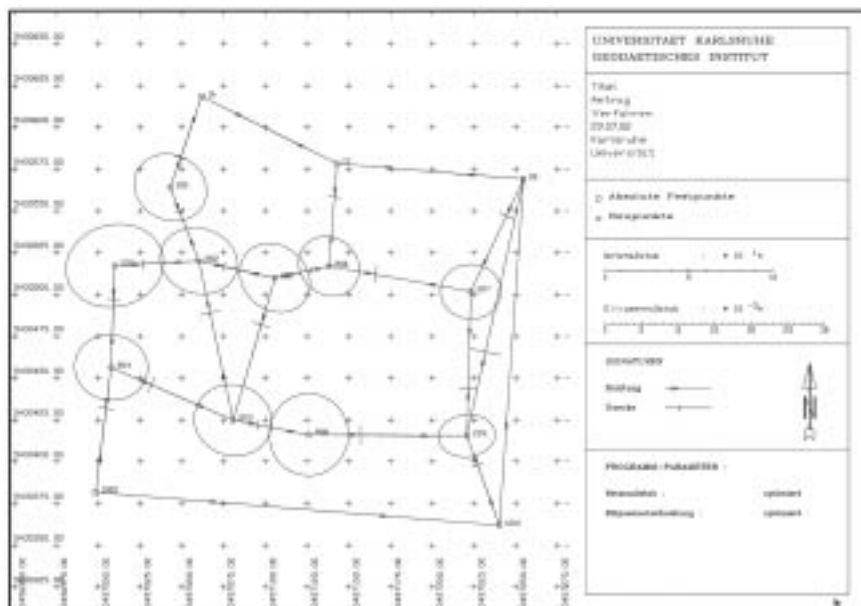


Abb. 4: Alternativer Netzentwurf mit Punktfehlerellipsen für angeschlossenes Netz

4 Projekt Ingenieurnetz

Die in Karlsruhe bearbeitete Netzplanungsübung dient auch als Vorbereitung auf das oben bereits angesprochene Teilprojekt „Entwurf, Messung und Ausgleich eines Ingenieurnetzes“ der im Anschluss an das 6. Studiensemester stattfindenden HVÜ III. Es handelt sich hierbei um ein terrestrisches Netz im Millimeter-Genauigkeitsbereich, das z.B. als Grundlagennetz für den Bau eines Tunnels dienen könnte. Auch hier werden den Studierenden gewisse Vorgaben zu Punktlagegenau-

igkeit, Fehlerellipsenform und Zuverlässigkeitsmaßen gemacht, die durch den Entwurf mehr oder weniger eingehalten werden sollen. Nach der Netzerkundung im Gelände bezüglich Punktlage und möglichem Beobachtungsplan folgt auch hier der Netzentwurf am Rechner mit den Werkzeugen NETZ2D und N2DPLAN in AUTOCAD. Bei diesem Entwurf spielen der Aufwand und damit die Kosten eine entscheidende Rolle, die minimal gehalten werden können durch drastische Reduktion des alle technisch möglichen Beobachtungen enthaltenden

Beobachtungsplans, insbesondere durch die Elimination ganzer Richtungssätze auf bestimmten Netzpunkten.

Ein neuralgischer Punkt bei der Planung ist die Einhaltung der für innere und äußere Zuverlässigkeit vorgegebenen Schranken, die wegen bestimmten topographischen und geometrischen Gegebenheiten in manchen Netzteilen einfach nicht machbar ist. Hier lernen die Studierenden die Prinzipien der gegenseitigen Kontrollierbarkeit einzelner Beobachtungen, z.B. die gegenseitige Kontrolle einer Richtung und einer Strecke bei annähernd rechtwinkligem Schnitt in Abhängigkeit von den jeweiligen Beobachtungsgenauigkeiten. Entscheidend ist das Erkennen von Schwachstellen im Netz und die entsprechende Sensibilisierung für die Durchführung von Messung und Ausgleich.

5 Fazit

Die Einführung der oben beschriebenen Ausbildungssegmente in den Studiengang Geodäsie und Geoinformatik in Karlsruhe auf Grund der Weiterentwicklung der Forschungsarbeiten zur Analyse und Optimierung geodätischer Netze am GIK hat sich bewährt. Den Studierenden eröffnet sich die Chance einen vertieften Einblick in die Charakteristika terrestrischer Lagenetze zu erlangen, wobei die Software-Werkzeuge auch die Einbeziehung von GPS-Messungen zulassen (hybride Lagenetze). Von besonderer Bedeutung ist das Erkennen der teilweise gegensätzlichen Beziehungen zwischen den Entwurfskriterien Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Kosten und dem geometrischen Netzdesign. Das Erkennen der geometrischen Beziehungen zur gegenseitigen Kontrollierbarkeit unterschiedlicher Beobachtungstypen bezüglich grober Fehler sensibilisiert den künftigen Netzdesigner für Schwachstellen im Netz und gibt Ansatzpunkte zu entsprechender Aktion oder Reaktion.

Sowohl die Netzplanungsübung in Karlsruhe als auch der Ingenieurnetzentwurf bei der HVÜ werden von den Studierenden mit viel Enga-

gement betrieben, sie bereiten offensichtlich Spaß. Gerade die gruppenweise Planung am gleichen Netz bei der HVÜ artet gelegentlich zu einem fast sportlichen Wettbewerb aus. Wenngleich beide Ausbildungssegmente einen nicht unerheblichen Betreuungsaufwand erfordern, sind sie für den lokalen Karlsruher Studienplan unverzichtbar.

6 Literatur

- BILL, R.: Kriteriummatrizen ebener geodätischer Netze. DGK A-102, München 1985
- BILL, R., MÜLLER, H., SCHMITT, G., MÖNICKE, H.-J.: Der optimale Entwurf eines Staudamm-Überwachungsnetzes. AVN 90 (1983), 369–384
- HOPPE, H., KALTENBACH, H.: Gewichtsoptimierung angeschlossener geodätischer Netze. DGK A-105, München 1989
- ILLNER, M.: Anlage und Optimierung von Verdichtungsnetzen. DGK C-317, München 1986
- JÄGER, R.: Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien. DGK C-342, München 1988
- JÄGER, R., KALTENBACH, H.: Spectral analysis and optimization of geodetic networks based on eigenvalues and eigenfunctions. Manuscripta Geodaetica 15 (1990), 302–311
- JÄGER, R., DRIXLER, E.: Netzoptimierung im Design 0. Und 1. Ordnung: Optimale Position für eine vorgegebene Zahl einzuschaltender Stützpunkte. AVN 96 (1989), 264–281
- JÄGER, R., VOGEL, M.: Theoretisches Konzept zum Design 1., 2., 3. Und 0. Ordnung mittels analytischer Differentiation der Kovarianzmatrix und spektralem Ansatz für Kriterium-Zielfunktionen. ZfV 115 (1990a), 425–426
- JÄGER, R., VOGEL, M.: Kriteriummatrixorientierte Netzoptimierung im Design 0. Bis 3. Ordnung – Das Programmsystem CADSOC und einige Optimierungsstudien zu unterschiedlichen Netztypen und Designs. ZfV 115 (1990b), 473–481
- KALTENBACH, H.: Optimierung geodätischer Netze mit spektralen Zielfunktionen. DGK C-393, München 1992
- KALTENBACH, H., SCHMITT, G.: A new approach for criterion matrices based on graph theory. Manuscripta Geodaetica 13 (1988), 296–305
- MÜLLER, H.: A Numerically Efficient Solution of the Second-Order Design Problem. Bulletin Géodésique 58 (1984), 85–99
- MÜLLER, H.: Zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit bei der Gewichtsoptimierung geodätischer Netze. ZfV 111 (1986), 157–169
- MÜLLER, H., SCHMITT, G.: SODES2 – Ein Programmsystem zur Gewichtsoptimierung zweidimensionaler geodätischer Netze. DGK B-276, München 1985
- OPPEN, S., JÄGER, R.: Das Softwarepaket NETZ2D. DVW-Landesverein Baden-Württemberg 38 (1991), Sonderheft, 190–209
- SCHMITT, G.: Optimization of Geodetic Networks. Reviews of Geophysics and Space Physics 20 (1982), 877–884
- SCHMITT, G.: Zur Numerik der Gewichtsoptimierung in geodätischen Netzen. DGK C-256, München 1979
- SCHMITT, G.: Spectral analysis and optimization of twodimensional networks. Geomatics Research Australasia 67 (1997), 47–66

Anschrift des Verfassers:

GÜNTER SCHMITT
Geodätisches Institut
Universität Karlsruhe
Englerstraße 7, D-76128 Karlsruhe
schmitt@gik.uni-karlsruhe.de