Kaunke

H 6679 F

NACHRICHTEN DER NIEDERSÄCHS. VERMESSUNGS UND KATASTERVERWALTUNG

Nr. 3 HANNOVER · 35. Jahrgang 3. VIERTELJAHR 1985

NACHRICHTEN DER NIEDERSÄCHSISCHEN VERMESSUNGS- UND KATASTERVERWALTUNG

Herausgegeben vom Niedersächsischen Minister des Innern, Hannover

Nr. 3 **Hannover · September 1985** **35. Jahrgang**

INHALT

HEIDE/HEINEKE — Die Auswertung der Beobachtungen der TP-Netze 2. Ordnung 146

TORGE/BAEUMKER — Dreidimensionale Netze in der Landesvermessung – ein Experiment in Norddeutschland – 175

AUGATH/SEEBER — Die Überprüfung der Neukoordinierung der niedersächsischen TP-Netze 1. und 2. Ordnung mit Meßverfahren der Satellitengeodäsie 191

NEISECKE — Landwirtschaftliche Bodenrichtwerte 205

SEMMELROGGEN — Bodenrichtwerte landwirtschaftlich genutzter Flächen im Landkreis Göttingen 211

TEGELER — Zur Vermessung von Aufnahmepunkt-Sicherungsmarken mit elektrooptischen Tachymetern 226

Aus der Rechtsprechung 233

Buchbesprechungen 236

Personalnachrichten 239

Weitere Nachrichten 242

Anschriften der Mitarbeiter 243

Einsendeschluß für Manuskripte 244

Die Beiträge geben nicht in jedem Falle die Auffassung der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung wieder

Schriftleitung: Ministerialrat von Daack, Lavesallee 6, 3000 Hannover 1
(Niedersächsisches Ministerium des Innern)

Verlag, Druck und Vertrieb:
Niedersächsisches Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -, Warmbüchenkamp 2, 3000 Hannover 1

Erscheint einmal vierteljährlich

Bezugspreis: 2,00 DM pro Heft

Mit den Aufsätzen von Heide / Heineke, Torge / Bäumker und Augath / Seeber werden die in Heft 2/1985 begonnenen Beiträge über die »Erneuerung der TP-Netze 1. und 2. Ordnung« abgeschlossen.

Die Auswertung der Beobachtungen der TP-Netze 2. Ordnung

Von Hans-Dieter Heide und Udo Heineke

Gliederung

1 Einleitung

2 Beobachtungsdaten

3 Aufbereitung der Beobachtungsdaten
3.1 Verfahrensgang, technischer Ablauf
3.1.1 Reduktion elekromagnetischer Strecken
3.1.2 Auswertung der örtlichen Messungen
3.1.3 Ausgleichung der Jahresmeßprogramme
3.2 Ergebnisse der Untersuchungen und Besonderheiten

4 Gesamtausgleichung
4.1 Programmsystem HANNA
4.2 Festlegen der Gewichte
4.3 Ergebnisse
4.4 Qualität des Netzes

5 Ausblick

6 Literatur

1 Einleitung

Das TP-Netz der 2. Ordnung hat zusammen mit dem TP-Netz 1. Ordnung in Niedersachsen die Funktion eines Rahmennetzes für die Netze der 3. und 4. Ordnung. Es wurde in Niedersachsen in kurzer Zeit vollständig neu beobachtet (Pötzschner 1974). Diese 1972 begonnenen und 1982 beendeten Beobachtungen bilden ein geschlossenes Vermessungswerk (Augath 1984, Meliß, Umbach 1985).

Über die Auswertung, den Gang der Berechnungen, die dabei gewonnenen Erfahrungen und erzielten Ergebnisse soll hier berichtet werden. Es wird die

Vorgehensweise erläutert, von der Korrektion und Reduktion der Meßdaten, über die Voruntersuchungen der zentrierten und orientierten Beobachtungen und lokalen Testausgleichungen einzelner Meßkampagnen bis zu den Ergebnissen der Gesamtausgleichung mit dem Programmsystem HANNA und dessen statistischer Aussagen zur Qualität.

2 Beobachtungsdaten

Bei den oben genannten Beobachtungen handelt es sich um Streckenmessungen, die sich homogen über die gesamte niedersächsische Landesfläche und darüber hinaus bis zu den nächstgelegenen TP (1) erstrecken. Dieses Netz umfaßt 1345 Netzpunkte (mit ca. 5300 Stationen). Es besteht im wesentlichen aus Mikrowellenmessungen mit dem Gerät SIAL MD 60. Einige Ergänzungsmessungen wurden mit einem Laserentfernungsmesser (Range Master II sowie HP 3808 A) vorgenommen.

Darüber hinaus wurden in die Auswertung für eine Neukoordinierung der 1. und 2. Ordnung auch andere neuere Messungen (nach 1945) einbezogen. Hierzu zählen die flächendeckenden Streckenmessungen sowie die ergänzenden Richtungsmessungen im DHDN. Diese waren bereits im Rahmen der von der AdV durchgeführten »Diagnoseausgleichung des DHDN« zusammengestellt worden und lagen aufbereitet vor (Schmidt, Ehlert 1982, Schmidt 1981). Sie wurden lediglich um neuere direkte Streckenmessungen ergänzt. Ferner sind die im Bereich des Harzes, des Großraumes Hannover, des Emslandes und der Elbe in den 50er und 60er Jahren für Gebietswiederherstellungen 2. Ordnung vorgenommenen Winkelmessungen (Augath 1984) hinzugezogen worden.

Für die Neukoordinierung des niedersächsischen TP-Feldes liegt daher folgendes Beobachtungsmaterial vor:

1)	318 Richtungen	1. Ordnung	gemessen 1955 bis 1967
2)	786 Streckenmittel	1. Ordnung	gemessen 1959 bis 1980
	(davon 185 Strecken in Schleswig-Holstein)		
3)	3525 Richtungen	2. Ordnung	gemessen 1952 bis 1972
	(Elbe, Harz, Hannover, Emsland)		
4)	14 171 Strecken	2. Ordnung	gemessen 1972 bis 1982
	(davon ca. 2000 Strecken vom Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen gemessen)		

18 800 Beobachtungen insgesamt

Die in den Gruppen 1) bis 3) aufgeführten älteren Messungen stellen ¼ der Gesamtbeobachtungen dar. Die Strecken unter 4) setzen sich aus 7042 Verbindungen zusammen, die mehrmals – an verschiedenen Tagen – gemessen wurden.

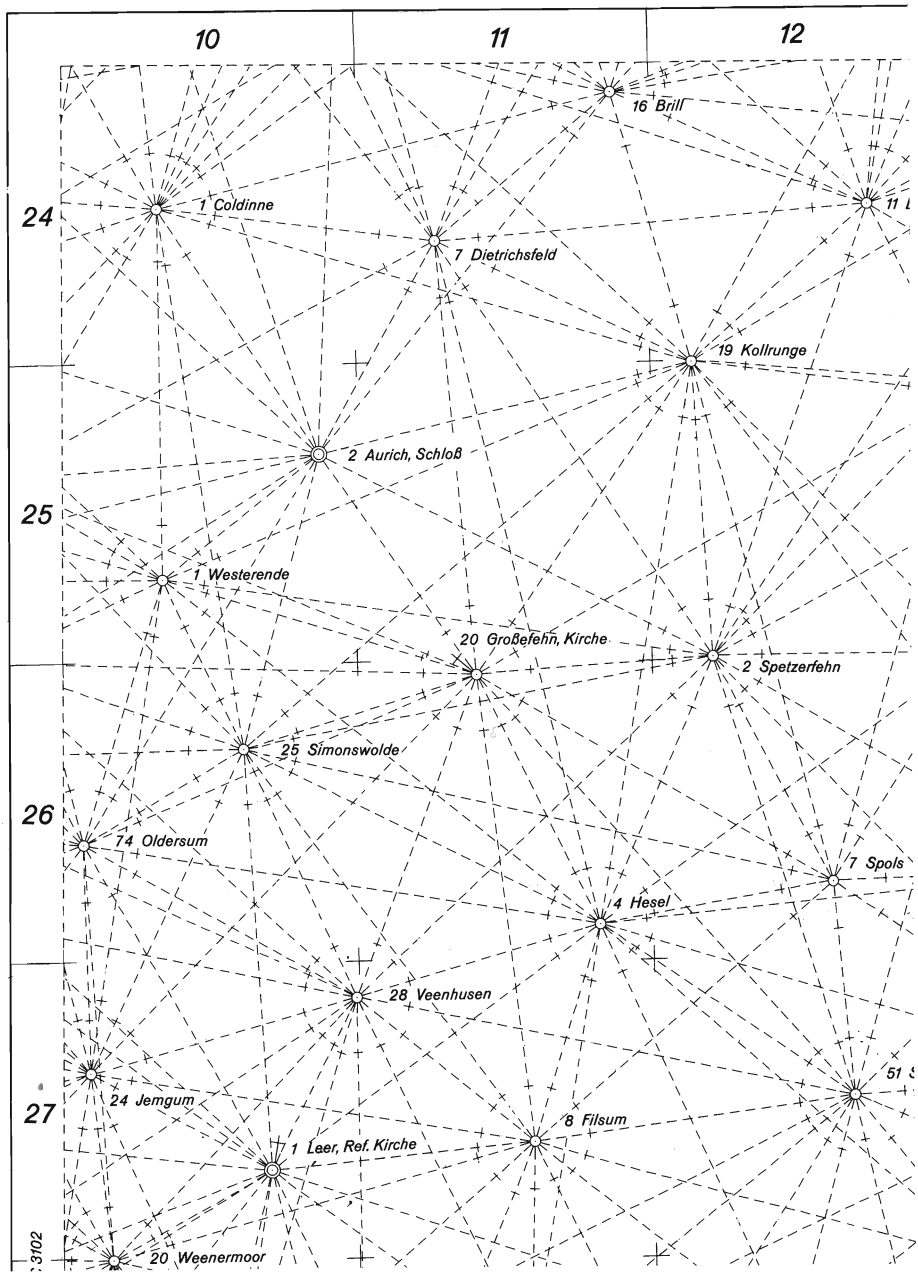


Abb. 1: Netzkonfiguration des TP-Feldes 2. Ordnung in Niedersachsen

Die Minimalkonfiguration für ein Trilaterationsnetz ist ein Dreiecksnetz. Der Aufbau von Vierecken, die durch Diagonalen versteift werden, stellt eine gängige Verbesserung dar. Bei dem hier vorliegenden Netz wurde die Zahl der gemessenen Verbindungen wesentlich erhöht. Es wurden auf einer Station die Verbindungen zu sämtlichen Nachbarpunkten und zu den Punkten der nächsten Nachbarschaftskategorie gemessen. Diese Konfiguration ist das Ergebnis einer Optimierung nach Genauigkeit und Zuverlässigkeit unter Berücksichtigung der Kosten (Meliß, Umbach 1985). Der wirtschaftliche Mehraufwand war dabei begrenzt, da die entsprechenden Punkte mit Signalen bebaut und gleichzeitig von Meßtrupps besetzt war.

Einen Eindruck von der sich daraus ergebenden Netzkonfiguration liefert die Abb. 1.

3 Aufbereitung der Beobachtungsdaten

Die Steckenmessungen aus den Jahren 1972 bis 1982 teilen sich in die Beobachtungsdaten der Jahresmeßprogramme. Diese sind wiederum in 4 Meßkampagnen (mit je 30 bis 50 Punkten) pro Jahr entstanden (Meliß, Umbach 1985). Bereits während jeder Feldkampagne wurden die Beobachtungsdaten in ablochfähigen Erfassungsbelegen festgehalten und überarbeitet.

Neben allgemeinen Ergänzungen – wie z. B. Hinweise auf Lotungen – waren hier insbesondere Eintragungen erforderlich, die die Daten für eine anschließende EDV-Auswertung vervollständigten, so z. B. die Eingabe von Geräteverschlüsselungen. Mit dem Abschluß einer Meßkampagne war im allgemeinen auch diese Durchsicht beendet, so daß die Feldbücher unmittelbar danach zur Erfassung im Dezernat B 7 (maschinelle Verarbeitung) gegeben werden konnten mit dem Ziel einer vorläufigen EDV-Auswertung zum Erkennen grober Fehler.

Die eigentliche Aufbereitung der Beobachtungsdaten erfolgte dann systematisch jahrgangsweise. Jeweils ein Jahresmeßprogramm wurde zu einem Rechenblock zusammengefaßt. Einige Ausnahmen in den Jahren 1978, 1979 und 1980 waren aus rechentechnischen Gründen erforderlich.

Die Beobachtungsdaten wurden mit dem Programmsystem der »Geodätischen Berechnungen« der Niedersächsischen Landesvermessung ausgewertet, das eine auftragsbezogene Bearbeitung und Speicherung der Eingabedaten und Ergebnisse ermöglichte (Augath 1974). Einige Lücken im Datenfluß erforderten zu Beginn allerdings erhebliche Zweiterfassungsarbeiten.

Abb. 2 zeigt ein Beispiel eines Ausgabeprotokolles mit Streckenmeßdaten.

```
                PNR          DATUM   INSTR.H.     PNR              ZEIT   HOEHE
                           GEM. STR.        K     DRUCK       T     T"       N
1160 01      340700161 4 270582.25      0.290                     16.48
1180 86      360800156   29904.360                 999.0   25.70 16.96
1200 01      360800156 1 270582.28      0.290                     16.48
1220 86      340700161   29904.371                 998.7   25.56 17.22
     SCHRAEGSTRECKE          29904.449    K<NEIG>   =   -0.549    N1 = 315.2
     SPHAER.STRECKE <INT>    29903.915    K<KRUEMM>=    0.015    N2 = 317.8
       01      340700161                                          H = 113.390
       04      360800156     29903.516  SPHAER. IN M<LEG>         H = 120.140

1240 01      350900253 2 270582.22      0.290                     16.50
1260 86      360800257   15777.702                1005.6   26.10 17.26
1280 01      360800257 7 270582.36      0.290                     16.50
1300 86      350900253   15777.716                1000.5   26.14 17.38
     SCHRAEGSTRECKE          15777.740    K<NEIG>   =   -0.242    N1 = 317.6
     SPHAER.STRECKE <INT>    15777.500    K<KRUEMM>=    0.002    N2 = 317.1
       01      350900253                                          H =  62.900
       04      360800257     15777.289  SPHAER. IN M<LEG>         H =  98.960
```

Abb. 2: Ergebnisbogen des Progr. »GEI EDI« Auswertung elektromagnetisch gemessener Strecken

3.1 *Verfahrensgang, technischer Ablauf*

Die Aufbereitung der Beobachtungsdaten eines jeden Jahres gliederte sich in folgende Arbeitsgänge:

- Korrektion und Reduktion der elektromagnetischen Strecken,
- Auswertung der örtlichen Messungen (Koordinierung der Stationspunkte, Zentrierung der Strecken, Höhenbestimmung),
- zwangsfreie Ausgleichung zur Untersuchung der Daten,
- Ausgleichung mit Zwang an die bisherigen Koordinaten der 1. Ordnung.

3.1.1 *Korrektion und Reduktion der elektromagnetischen Strecken*

Ein erster EDV-Programmablauf unmittelbar nach Abschluß der Messungen (Programm GE 1 EDI) diente vorrangig der Ermittlung der meteorologischen Korrektion (1. und 2. Geschwindigkeitskorrektion), um so die Mehrfachmessungen gegenüberstellen zu können und unverträgliche Beobachtungen bzw. Ausreißer zu erkennen. Da zu diesem frühen Zeitpunkt die Zentrierungsmessungen (örtliche Messungen) noch nicht vorlagen bzw. noch nicht ausgewertet waren, wurden für diesen ersten »Reduktionslauf« vorläufige Höhen und Koordinaten verwendet, was für den obigen Zweck ausreichte.

Der Vorteil lag hier in der frühen Ermittlung vergleichbarer Streckendaten und der dadurch möglichen Kontrolle. Größere Differenzen in den Messungen konnten so schon frühzeitig erkannt und die Beobachter über Besonderheiten dieser Strecke befragt werden. Waren die Signale noch nicht abgebaut (bei Randstrecken zum nächsten Teilblock), konnten so einige Strecken ohne großen Mehraufwand beim nächsten Meßdurchgang erneut gemessen werden.

Bei der Korrektion und Reduktion der elektromagnetischen Messungen wurde das folgende Formelsystem der EDM-Richtlinien der ADV (1973) verwendet.

1. Geschwindigkeitskorrektion

$$K_1 = (N_0 - N) \cdot D \; 10^{-6}$$

Hier bedeuten:
N = Brechzahl
N_0 = Gerätekonstante
D = Gemessene Schrägentfernung

Fügt man noch die Additionskonstante A hinzu, so erhält man daraus die Länge des gekrümmten Wellenweges $\bar{D}$:

$$\bar{D} = D + K_1 + A$$

Krümmungs- und 2. Geschwindigkeitskorrektion:

$$K_2 = (1 - k)^2 \frac{\bar{D}^3}{24 \, R_A^{\,2}}$$

mit: k = Refraktionskoeffizient der Mikrowellen
R_A = Krümmungsradius des Bessel-Ellipsoides in Abhängigkeit von der mittleren geographischen Breite und vom Azimut der Strecke.

Neigungs- und Höhenreduktion:

$$K_3 = \left(\sqrt{\frac{1 - \left(\frac{H_a - H_e}{\bar{D}}\right)^2}{\left(1 + \frac{H_a}{R_A}\right)\left(1 + \frac{H_e}{R_A}\right)}} - 1 \right) \bar{D}$$

mit: H_a, H_e = ellips. Höhe des Anfangs- bzw. des Endpunktes

Die ellipsoidische Strecke ist somit:

$S = \bar{D} + K_2 + K_3$

Das Programm GE 1 EDI liefert als Ergebnis die ellipsoidische Strecke im internationalen und legalen Meter. Bei Bedarf können, wenn Koordinaten für Zentren und Exzentren vorliegen, die Strecken mit diesem Programm auch zentriert werden. Die Reduktion der Strecke auf die Gauß-Krüger-Abbildungsebene und im allgemeinen auch die Zentrierung wurde anschließend im EDV-Programm »Geodätische Berechnungen« vorgenommen.

3.1.2 *Auswertung der örtlichen Messungen*

Die Auswertung der örtlichen Messungen war sehr aufwendig. Hierzu gehören nicht nur die Ablotungen der Instrumentenstandpunkte auf den Beobachtungsleitern. Hinzu kommt, daß viele der TP 1. und 2. Ordnung nicht zentrisch mit Signalen bebaut werden konnten. Die Beziehung zum Zentrum (Festlegung) wurde dann durch örtliche Zentrierungsmessungen hoher Genauigkeit (±1 ... ±3 mm) hergestellt (Meliß, Umbach 1985). Wenn Hochpunkte beteiligt waren, so fielen viele komplizierte Herablegungen an. Weiterhin waren die Sicherungspunkte der TP (2) (mindestens jeweils 2 Platten) und die vorab verlegten Altpunkte einzubeziehen. Die Höhenbestimmung wurde trigonometrisch vorgenommen.

Diese örtlichen Messungen sind für jedes Jahresprogramm in EDV-Aufträgen zusammengestellt und mit dem Programm »Geodätische Berechnung« berechnet worden.

Ein Jahresprogramm umfaßte dabei etwa 100 TP 1. und 2. Ordnung mit durchschnittlich 5 Stationspunkten sowie 10 Lotpunkten je Netzpunkt, also etwa 500 Stationspunkte und 1000 Lotpunkte.

Jeder Auftrag wurde so aufgebaut, daß der Ausgangspunkt der Stationsberechnung jeweils identisch mit dem Stationspunkt war, der an der Ausgleichung teilnehmen sollte. Es war dann möglich, über diesen Auftrag die Netzstrecken zu zentrieren und – nach der Ausgleichung – die Stationspunkte, die an der Ausgleichung nicht teilnahmen, an die Ausgleichungsergebnisse anzuschließen, also auch in dem neuen Lagestatus zu koordinieren. Diese Vorgehensweise hat später die Berechnung der Stationspunkte im Lagestatus 100 sehr erleichtert.

Die NN-Höhen der Stationspunkte wurden mit einem HP-97 Tischrechner berechnet.

Die für die Reduktion auf das Besselellipsoid erforderliche ellipsoidische Höhe h wurde ermittelt aus

$$h = H_{üNN} + N .$$

Die Geoidhöhe N wurde für die einzelnen Stationen einer Isoliniendarstellung des Heitz-Geoides (EDM Richtlinien der ADV 1973) entnommen.

Mit diesen neu ermittelten Koordinaten und Höhen wurden die elektromagnetisch gemessenen Strecken endgültig reduziert und auf das Zentrum der Station zentriert.

3.1.3 *Ausgleichung der Jahresmeßprogramme*

Die zentrischen Strecken der einzelnen Meßperioden eines Jahres wurden in einem EDV-Auftrag bereitgestellt. Aus Mehrfachmessungen, die innerhalb eines Tages angefallen waren, wurden Tagesmittel im Sinne der EDM-Richtlinien gebildet. Die Anzahl der so ermittelten Strecken lag in den einzelnen Jahresblöcken zwischen 1000 und 1400. Diese Daten wurden einer zwangsfreien Ausgleichung zugeführt. Allen *einmal* an *einem* Tag gemessenen Strecken wurde das Gewicht 1 ($m_0$apr. = ± 25 mm) gegeben. Diese Annahme ist im Sinne eines ersten vorläufigen Ansatzes zu verstehen. Vorrangiges Ziel der zwangsfreien Ausgleichungen der Jahresmeßprogramme war das Aufspüren von groben Fehlern ($> 3\,\varepsilon$) und Ausreißern.

Der kritische Leser wird sich hierzu eventuell fragen, ob eine Ausgleichung dafür die richtige Methode ist, da bekanntlich durch das Ausgleichungsverfahren jeder Widerspruch auf seine Umgebung verteilt wird und in der entsprechenden Verbesserung v nur noch Anteile davon zu finden sind. Vorweg sei dazu erwähnt, daß eine andere Methode, das Durchrechnen der einzelnen geometrischen Figuren, sich bei großen Netzen aus Gründen der Unübersichtlichkeit nicht empfiehlt. Es ist aber zu klären, ob anhand der Ausgleichungsergebnisse grobe Fehler in diesen Netzen zu lokalisieren sind. Das ist eine Frage der Kontrollierbarkeit der Beobachtungen, also der inneren Zuverlässigkeit des Netzes (Pelzer 1977). Das gesamte Netz ist in seinem Aufbau sehr homogen. Man kann dann – unter der vereinfachten Annahme gleichgenauer Beobachtungen – auf einfache Weise den Ausgleichungsgewinn, die Abnahme des mittleren Fehlers im Mittel nach folgender Formel berechnen (Reißmann 1978):

$$k = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{n_f}{n_e}}}$$

k = Abnahme des mittleren Fehlers in %
n_f = Freiheitsgrad = n – u
n_e = notwendige Anzahl der Beobachtungen
n = Zahl der Beobachtungen
u = Zahl der Unbekannten

Der mittlere Fehler der ausgeglichenen Beobachtungen $\bar{m}$ beträgt damit
$\bar{m} = m\,(1 - k)$
m = mittlerer Fehler der Beobachtungen

Mit den Werten des Gesamtnetzes (siehe auch Kap. 2) $n_f = 16\,110$ und $n_e = 2690$ erhält man $k = 0{,}62$. Der mittlere Fehler der ausgeglichenen Beobachtungen wird also in diesem Netz im Mittel um 62 % geringer sein als der einer Beobachtung vor der Ausgleichung.

Ferner ergibt sich ein mittlerer Redundanzanteil r für die einzelne Beobachtung l_i aus

$$r = \frac{R}{n}$$

Mit $R = [r_i] = n - u$ und $n = 18\,800$ sowie $u = 2690$ erhält man $r = 0{,}86$.

Dieser Parameter r zeigt die Kontrollierbarkeit der einzelnen Beobachtung an. Er kann Werte zwischen 0 (Beobachtung nicht kontrollierbar) und 1 (Beobachtung völlig kontrollierbar ($r = 1$ würde bedeuten, daß der wahre Wert bekannt ist) annehmen. Ein Wert von $r_i = 0{,}86$ besagt, daß das hier vorliegende Netz in besonders gutem Maße kontrollierbar ist. Der homogene Aufbau des Netzes läßt erwarten, daß die tatsächlichen Teilredundanzen sich nahe bei diesem mittleren Wert r_i bewegen werden. Man konnte daher mit Erfolg die Suche nach groben Fehlern anhand der Durchmusterung der einzelnen Verbesserungen v_i betreiben, da sich – im Mittel und natürlich nicht an den Rändern – 86 % des Widerspruches in der entsprechenden Verbesserung wiederfinden.

Im diesem Sinne wurde vorgegangen. Die Streckenverbesserungen wurden in 3 Klassen eingeteilt: 0 bis 4 cm, 5 bis 7 cm, >8 cm und farblich unterschiedlich in einer Berechnungsübersicht dargestellt. Eine gründliche Untersuchung hinsichtlich der möglichen Ursachen wurde vorgenommen:

bei Strecken $\leqq 10$ km und einem $|v| > 5$ cm bzw.
bei Strecken > 10 km und einem $|v| > 8$ cm.

Überprüft wurden in diesen Fällen die Eintragungen in den Feldbüchern, (Wetter, Bemerkungen über Besonderheiten), die Zentrierungsberechnungen sowie die Höhenübertragung.

Wenn die Ursache für den Widerspruch nicht beseitigt werden konnte, wurde die Strecke dann nachgemessen, wenn sie *benachbarte* TP (2) betraf. Strecken zu weiter entfernt liegenden Punkten wurden nur gestrichen, wenn es für den Widerspruch eine meßtechnische Erklärung gab. Hierunter fielen lediglich 30 Strecken $\triangleq$ 1,5 ‰. Sie bilden daher eine unbedeutende Ausnahme.

Zur Erzeugung von Koordinaten im System des Deutschen Hauptdreiecksnetzes wurde abschließend eine Ausgleichung mit Zwangsanschluß an die Landeskoordinaten der 1. Ordnung durchgeführt. Hierbei wurden streckenabhängige Gewichte verwendet. Das Ergebnis, Landeskoordinaten 2. Ordnung im Lagestatus 0, dient bis zur endgültigen Koordinierung den zwischenzeitlichen Netzverdichtungsverfahren 3. und 4. Ordnung als spannungsfreier Rahmen.

Es ist zu erkennen, daß diese Voruntersuchungen und Auswertungen mit Plausibilitätsprüfungen begannen und mit einer Detailanalyse endeten. Ferner

wurde bei dieser Vorgehensweise das Prinzip verfolgt, mit einer begrenzten Datenmenge anzufangen und im Zuge fortlaufender Fehlerbereinigung diese allmählich zu erweitern. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß die Erschwernis in der Fehleranalyse, die beim Vorhandensein mehrerer Fehler leicht auftreten kann, begrenzt wird. Zum anderen wird aber auch die erweiterte Kontrollmöglichkeit, die durch das Zusammenfassen von Datenmengen entsteht, genutzt.

3.2 *Ergebnisse und Besonderheiten*

Die Untersuchungen begannen mit der Gegenüberstellung der aus einer ersten Vorauswertung erhaltenen meteorologisch korrigierten Strecken. Die Ergebnisse der an einem Tag durchgeführten Mehrfachmessungen lieferten jedoch durchweg keine Hinweise auf Störeinflüsse, da die Differenzen im Bereich von wenigen cm ($\pm$ 3 cm) blieben. Hier kommt die im allgemeinen hohe physikalische Korrelation der zeitlich unmittelbar nacheinander gemessenen Strecken zum Ausdruck. Insgesamt war jedoch die durch die Anlage des Meßverfahrens (Strecken $<$ 20 km, Signale mindestens 20 m hoch) erzwungene große Homogenität des meteorologischen Feldes erstaunlich. Bei an verschiedenen Tagen durchgeführten Mehrfachmessungen konnten jedoch auch größere Differenzen auftreten. Erst bei der Gegenüberstellung *dieser* Strecken kommt der meteorologisch bedingte Anteil im Fehlerhaushalt zum Ausdruck. Der integrale Brechungswert längs des Mikrowellenstrahls kann durch die 2 Meßstationen am Anfangs- und Endpunkt bekanntlich nur genähert erfaßt werden. Dieser Resteinfluß tritt natürlich erst bei unterschiedlichen Wetterlagen auf. Nachmessungen wurden aus diesen Differenzen, wenn sie die Signifikanzschwelle 3 ς nur leicht überschritten, noch nicht gefordert. Für eine derartige Entscheidung wurde das Verhalten dieser Strecken in den weiteren Stadien der Untersuchungen abgewartet.

Die Ergebnisse der zwangsfreien Ausgleichung der Jahresmeßprogramme mit den in einer Berechnungsübersicht dargestellten Verbesserungen bildeten die Grundlage für die Fehleranalyse (Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt). Aus Untersuchungen eines großen Kollektivs (Augath 1976) wurde als relative Genauigkeit für eine Einzelmessung der Wert $2 \ldots 3 \cdot 10^{-6}$ übernommen. Im Mittel kann daraus für die Beobachtungen der Wert $m_s = \pm$ 2,5 cm abgeleitet werden. Die klassische 3- ς -Grenze ergibt sich daraus zu $\sim$7,5 cm.

Die Abb. 3 zeigt einen typischen Ausschnitt aus dem Verteilungsbild der Verbesserungen. Hier ist außerdem eine Strecke vorhanden, die die 3- ς -Grenze überschreitet. Die Strecke von Großefehn nach Simonswolde mit einer Länge von 9,2 km weist folgende Verbesserungen [mm] auf: – 81; – 76; – 59. Da auch die Durchsicht der Berechnungen bis hin zu den Feldbüchern keinen Hinweis auf Fehler in den Datensätzen erbrachte, wurde die Strecke nachgemessen. Die sich ergebende Verbesserung für diese Strecke ist: v = – 16 mm.

Der Abbildung ist außerdem zu entnehmen, daß sich ein grober Streckenfehler nicht merklich in den benachbarten Verbesserungen ausdrückt, was – wie bereits in 3.1.3 beschrieben – die Fehlersuche außerordentlich erleichterte.

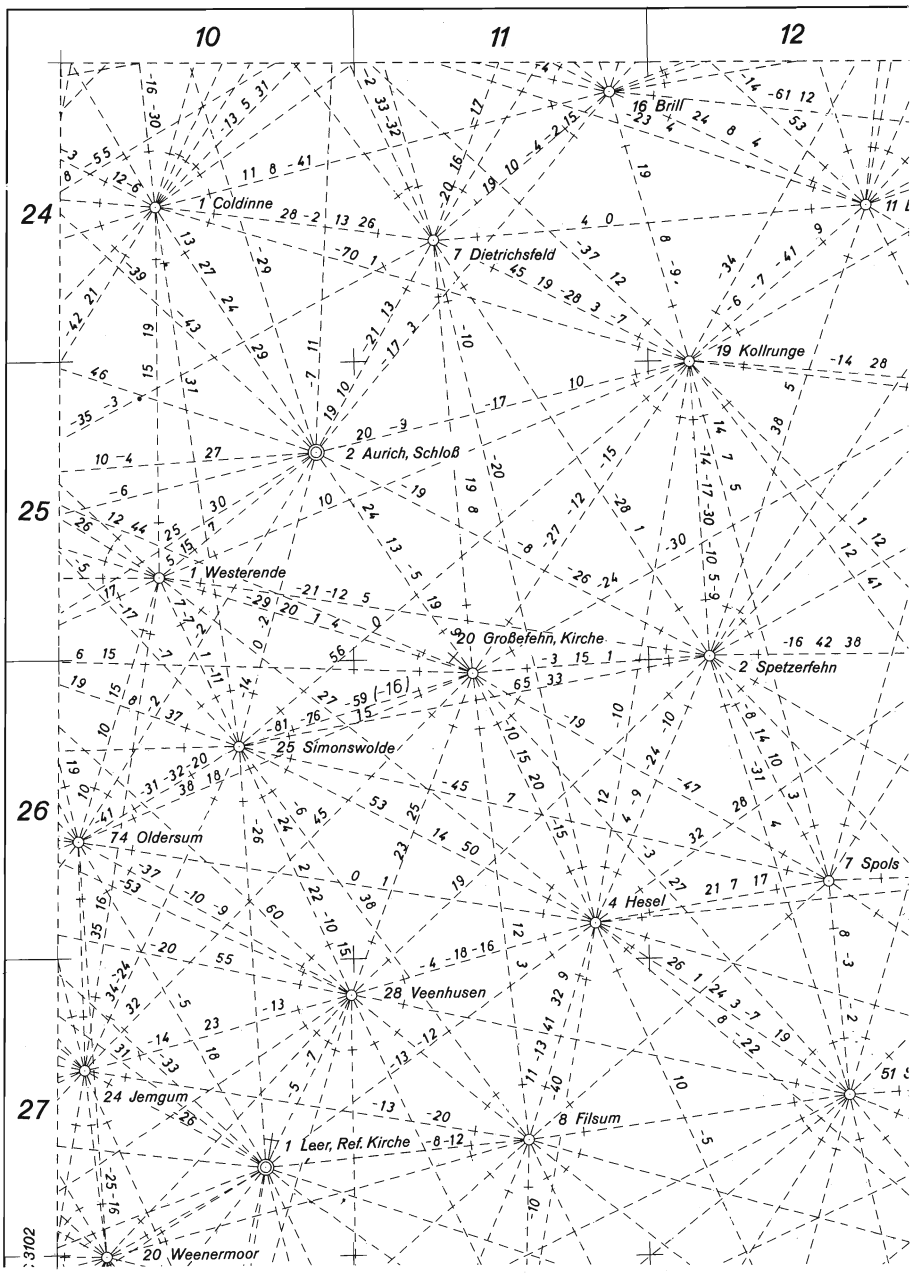


Abb. 3: Ausschnitt aus einer Berechnungsübersicht zwangsfreie Ausgleichung: Verteilung der Streckenverbesserungen [mm]

Auf der anderen Seite erfordert dieses in der hohen Redundanz des Netzes begründete Verhalten der Fehler aber dann besondere Maßnahmen, wenn sich größere Fehler regional häuften. Ein hierfür typischer Fall ist mit seiner möglichen Ursache in Abb. 4 dargestellt. In diesem Beispiel erbrachte die Untersu-

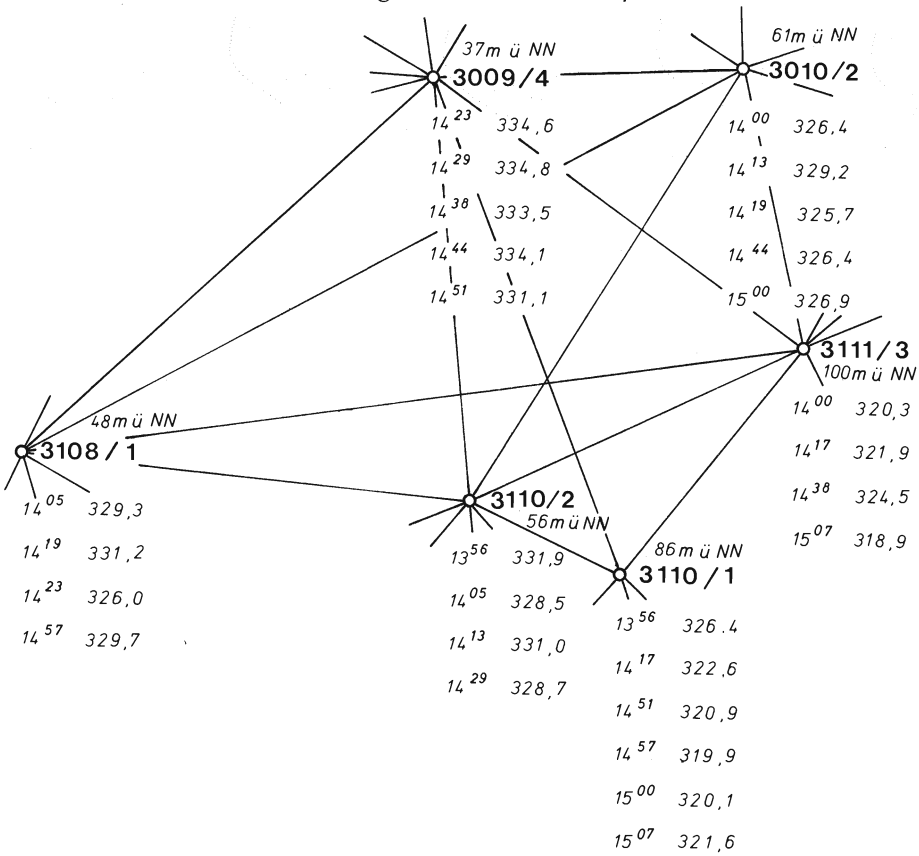


Abb. 4: Beispiel für zeitlich und räumlich unruhiges Brechungsindexfeld

chung, daß die während der Messung ermittelten N-Werte benachbarter Stationen verhältnismäßig große Differenzen aufwiesen. Auch der zeitliche Verlauf der meteorologischen Messungen auf *einer* Station weist eine beträchtliche Unruhe im Brechungsindexfeld nach. Den Feldbüchern war eine Wetterlage zu entnehmen, die zu einer ungenügenden räumlich und zeitlichen Homogenität des meteorologischen Feldes führte und daher für die Messungen ungünstig war (starke Sonneneinstrahlung ohne Wind). Der aus einer kurzzeitigen Ablesung während der Streckenmessung bestimmte und für die Reduktion dieser Messung verwendete N-Wert war dann nur sehr wenig repräsentativ für die meteorologischen Verhältnisse längs dieser Strecke, weil er kurzfristig gestört sein konnte. In einem solchen Falle half die Zusammenstellung aller in einer bestimmten Zeitspanne gemessenen Brechungszahlen (Abb. 4) dieser

und benachbarter Stationen. Anhand dieser konnten Extremwerte eliminiert und ein repräsentativeres Mittel gebildet werden. Die Verwendung der so gewonnenen Brechzahlen für die Reduktion und die anschließende Neuausgleichung führten dazu, daß die Verbesserungen wieder auf das normale Maß zurückgingen.

Einen anderen Problembereich stellten die Wattgebiete dar. Bei dem überwiegenden Teil der Strecken, die von der Küste über das Watt zu den Ostfriesischen Inseln gemessen wurden, traten große Verbesserungen (> 3 ⊊) auf. Hier

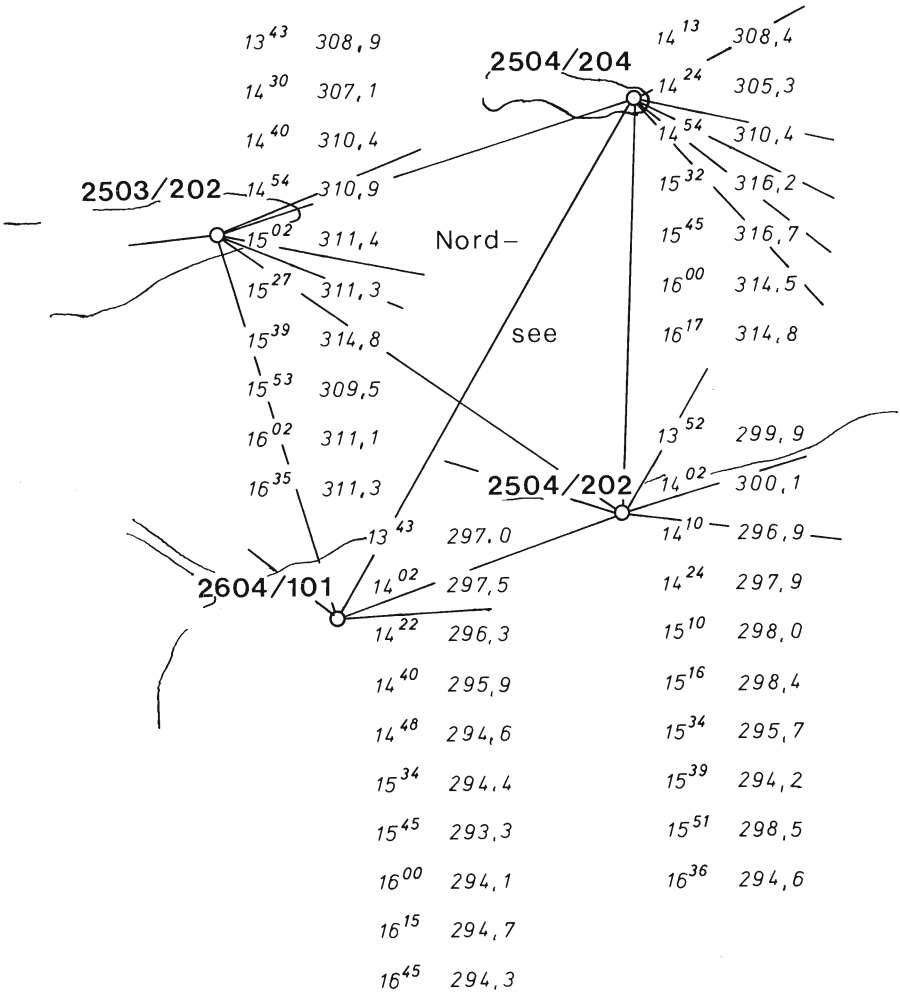


Abb. 5: Beispiel für Brechungsindexfeld bei Messungen an der Küste
(Wetter sonnig, leichter Wind, die Trockentemperatur ist auf den Inseln bis 3° niedriger, die Feuchttemperatur schwankt um 0,5°)

Deutsches Hauptdreiecksnetz
Niedersachsen

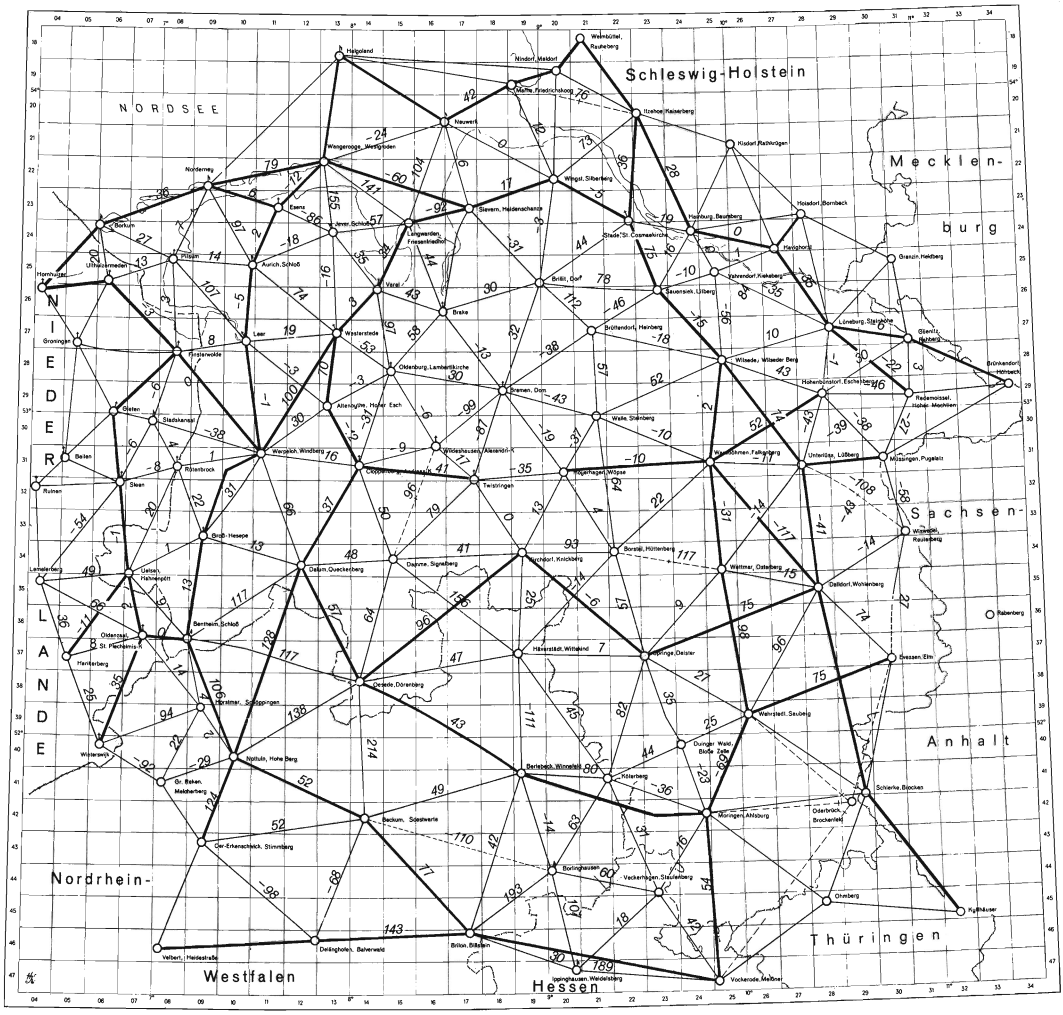


Abb. 6: Differenz zwischen 1. Ordnungsstrecken: abgeleitet aus 2. Ordnung – direkt gemessener Strecken 1. Ordnung [mm]

lagen wahrscheinlich Wetter und Reflexionseinflüsse vor. Letztere treten bei einer bestimmten Streckengeometrie – also abhängig vom Wasserstand und der Streckenlänge – besonders im Radiosichtbereich auf. Infolge dieser Mehrwegeausbreitung wird das direkte Signal geschwächt und seine Phase verfälscht (Kulpe 1982, Spellauge 1972).

Außerdem besteht im Wattgebiet hinsichtlich der Verteilung des Brechungswertes N und des Refraktionskoeffizienten $k = -R \frac{dN}{dH}$ (R = Erdradius) eine besondere Situation. Die lebhaften Energieaustauschvorgänge an der Wasseroberfläche können infolge des ständigen Wechsels der Gezeiten in diesem Bereich zu erheblichen horizontalen und vertikalen Inhomogenitäten des Brechungswertes und zu einem stark turbulenten Refraktionsfeld (Spellauge 1972) führen. Große Differenzen ΔN ($\sim$ 10 N, siehe Abb. 5) zwischen den gleichzeitig gemessenen Werten an den Streckenendpunkten (Landstation – Inselstation) deuten auf diesen Zustand hin. Die Ableitung eines repräsentativen Wertes für die Streckenmessung ist dann erschwert. Im Wattgebiet ist daher mit einem systematischen Resteinfluß zu rechnen.

Im Gegensatz zu den vorne genannten Fällen ließen sich hier jedoch die verfälschten Strecken nicht eindeutig lokalisieren. Einmal liegt das daran, daß ein

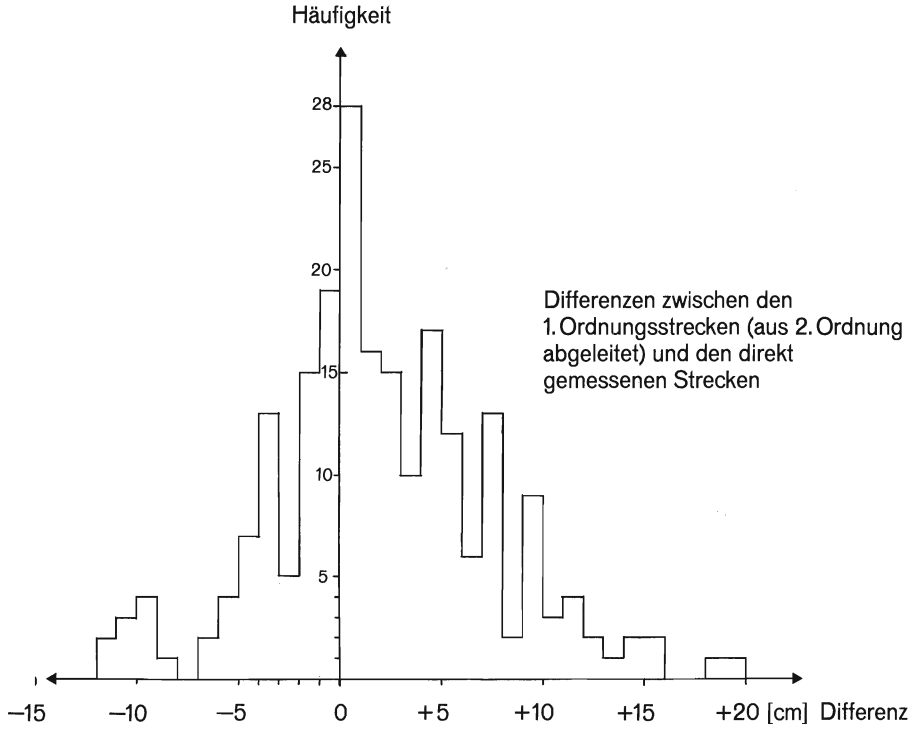


Abb. 7

Deutsches Hauptdreiecksnetz
Niedersachsen

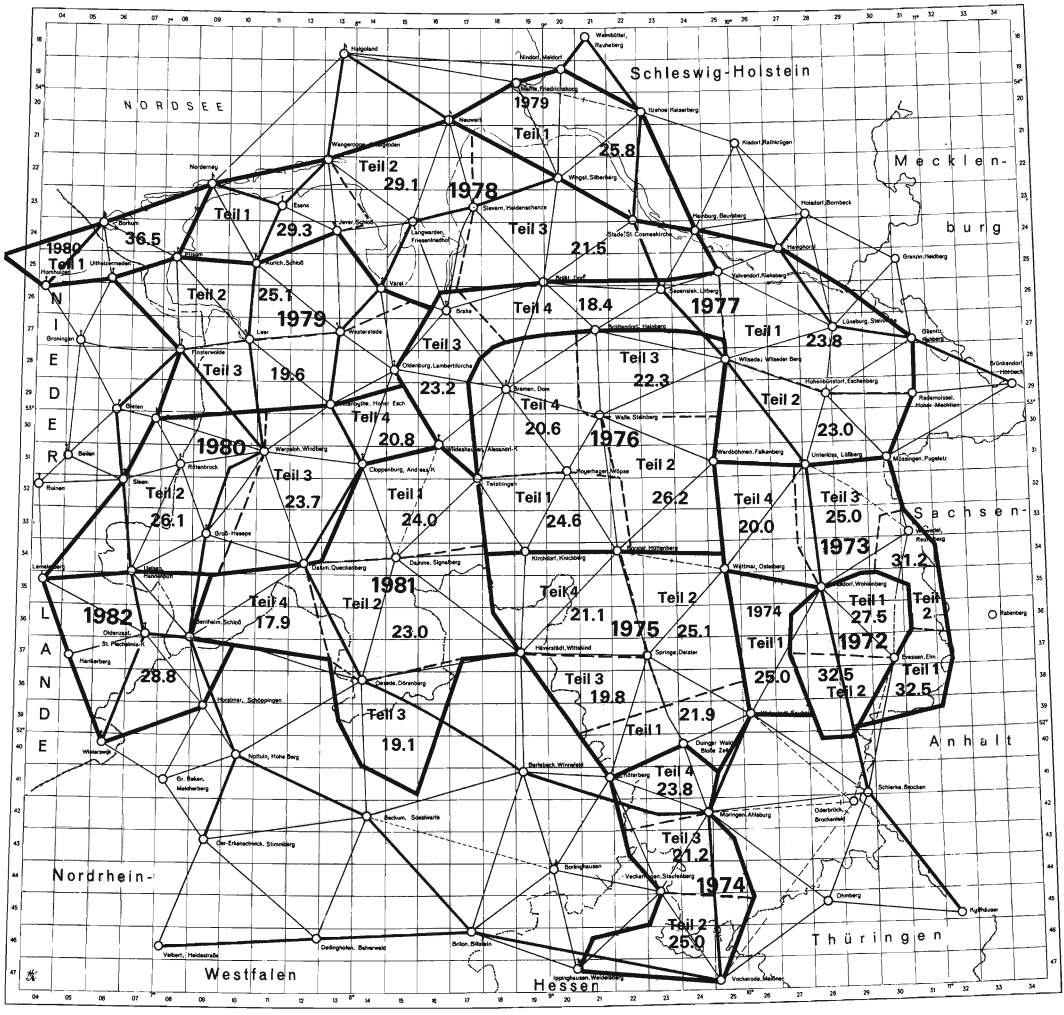


Abb. 8: Ausgleichungsergebnisse (m_0 a posterio) der einzelnen Meßkampagnen

relativ großer Netzteil betroffen war, in dem diese Bedingungen räumlich und zeitlich verteilt auftraten, zum anderen aber insbesondere daran, daß es sich um einen Netzrand handelt, in dem natürlich die Redundanz der Beobachtungen geringer ist ($r_i \sim 0{,}4$), so daß sich der einzelne Widerspruch sehr verteilt. Daher wurden im Küstenbereich mehrere Strecken elektrooptisch nachgemessen (Meliß, Umbach 1985).

Im Zuge weiterer Untersuchungen wurden aus den Koordinaten der zwangsfreien Ausgleichung der 2. Ordnung Strecken 1. Ordnung gerechnet und mit den Ergebnissen der direkten Streckenmessung 1. Ordnung, die für die Diagnoseausgleichung verwendet worden waren, verglichen (Abb. 6). Die Verteilung der 220 Differenzen zeigt das Histogramm in Abb. 7. Es weist eine leichte Schiefe zum positiven Bereich hin auf, jedoch darüber hinaus keine systematischen Effekte, die einer Normalverteilung entgegenstehen.

Nach der Datenbereinigung wurden für die einzelnen Meßkampagnen eines jeden Jahres Ausgleichungen gerechnet. Die Abb. 8 zeigt, daß das m_0 (mittlerer Fehler einer einmal gemessenen Strecke) zwischen ± 17,9 mm und ± 36,5 mm variiert.

Diese Streuung ist hauptsächlich in den unterschiedlichen mittleren Streckenlängen (siehe Bereich Borkum) und nicht so sehr in den unterschiedlichen Wetterbedingungen (Frühjahr – Sommer) begründet.

Anhand dieser Ergebnisse wurde ferner das Verhalten der Verbesserungen in Bezug zur Streckenlänge untersucht. Dazu wurden die Fehleranteile m_0 a posteriori verschiedener Streckenklassen gebildet. In Abb. 9 sind die Vergleichsergebnisse aus den Jahresprogrammen 1974 bis 1977 zusammen-

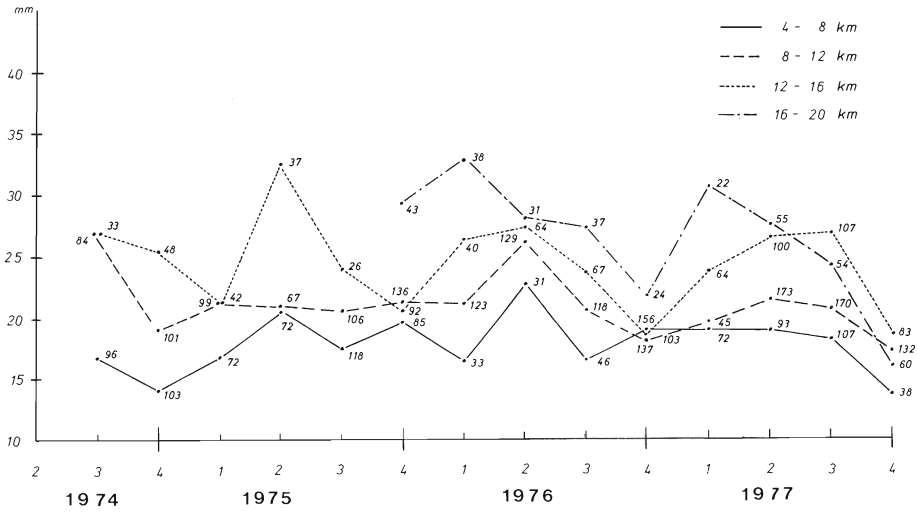


Abb. 9: Mittlerer Fehler einzelner Streckenklassen in den Meßkampagnen (Ausschnitt)

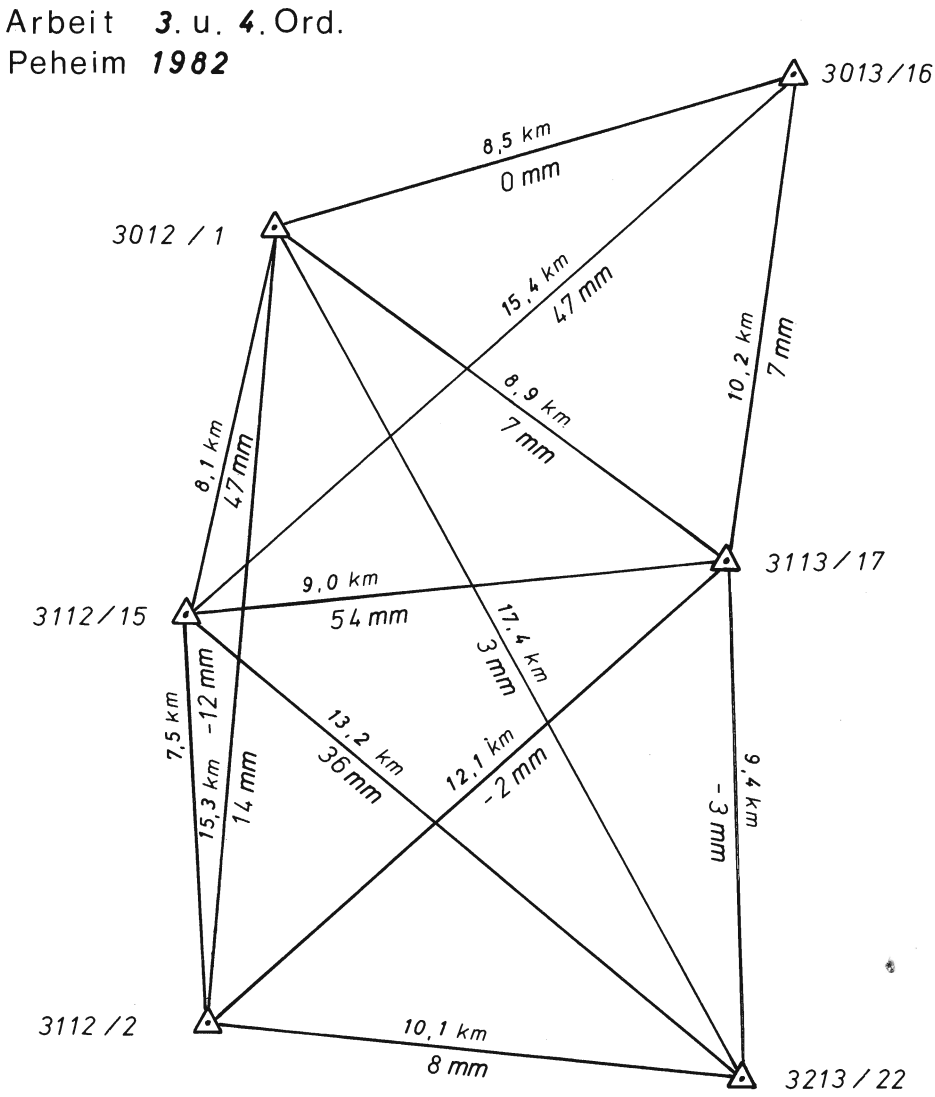


Abb. 10: Streckenvergleich: 2. Ordnung (zwangsfreie Ausgleichung) – Strecke, abgeleitet aus der 3. und 4. Ordnung (zwangsfreie Ausgleichung)

gestellt. Die Streckenabhängigkeit der Verbesserungen ist in allen Meßkampagnen in der gleichen charakteristischen Weise vorhanden. Ferner zeigen sich die oben genannten unterschiedlichen Wetterbedingungen der einzelnen Kampagnen in den Niveauunterschieden. Aus der Analyse dieser Daten, aus dem die Graphik (Abb. 9) einen Ausschnitt zeigt, wurde schließlich der Gewichtsansatz für die Strecken ermittelt:

$$m_s\,[\mathrm{mm}] = \pm\sqrt{20^2 + (1{,}3\ s\,\mathrm{km})^2}$$

Den so aufbereiteten Datensätzen wurden dann die älteren Messungen (siehe Kapitel 2) hinzugefügt. Die Richtungen erhielten den mittleren Fehler $m_{apr} = \pm 0{,}2$ mgon. Die entsprechenden Ausgleichungs-Programmläufe erbrachten keine Änderungen in dem Verhalten der Streckenverbesserungen. Die beiden Beobachtungskategorien konnten also zu einem homogenen Gesamtdatensatz zusammengefügt werden.

Die in den vergangenen 12 Jahren im Zuge der Auswertung dieser Arbeiten durchgeführten Vergleiche der aus den Messungen zur 3. und 4. Ordnung abgeleiteten 2. Ordnungsstrecken mit den direkten 2. Ordnungsstrecken ergaben Differenzen, die im allgemeinen $< 5 \cdot 10^{-6}$ S (km) blieben. Die Abb. 10 zeigt ein Beispiel dazu.

4 Gesamtausgleichung

Nachdem die Jahresmeßprogramme geprüft und die Nachmessungen eingearbeitet waren, wurde eine Datei der zentrierten Strecken und Richtungen (Abrißdatei) des gesamten Meßprogrammes erstellt und für eine Gesamtausgleichung vorbereitet.

4.1 *Programmsystem HANNA*

Der Umfang, den ein geodätisches Netz annehmen kann, das einer geschlossenen Ausgleichung in einem Rechner zugeführt wird, ist in den letzten Jahren sehr gestiegen. Das liegt einmal an dem enormen Zuwachs an Kapazität und Durchsatzvermögen der EDV-Hardware und zum anderen auch an der Entwicklung von leistungsfähiger Anwendersoftware. Gerade auf dem Gebiet der geodätischen Ausgleichungsrechnung verlief die Entwicklung durch Verwendung neuer Speicherplatz- und insbesondere zeitsparender Inversionstechniken in diesem rechenintensiven Teil des Ausgleichungsverfahrens besonders günstig.

Man löste sich von dem schulungsmäßigen und vollständigen Ablauf der Matrizenoperationen im Rechner und machte sich die – von der Anlage der geodätischen Messungen herrührende – besondere Struktur der Normalgleichungsmatrix (viele Nullelemente) zunutze (sparse-Technik) oder verwendete bandweiten- und profilreduzierende Algorithmen. Auf diese Weise wurde die Zahl der notwendigen Rechenoperationen beschränkt, was allerdings eine auf-

wendige Datenverwaltung erforderte. Damit ließ sich erreichen, daß dieser Teil des Ausgleichungsverfahrens seine Schlüsselstellung hinsichtlich der erforderlichen Rechenzeit und des möglichen Netzumfanges verloren hat (Steidler 1980).

Das hier für die Gesamtausgleichung verwendete Programm HANNA wurde an dem Geodätischen Institut der Universität Hannover im Rahmen eines Kooperationsvertrages entwickelt und inzwischen in der Niedersächsischen Landesvermessung installiert. Das Programm arbeitet mit sparse-Speichertechnik sowie externer Speicherung. Es ist derzeit auf 6000 Unbekannte mit quasi unbegrenzter Zahl an Beobachtungen ausgerichtet. An Beobachtungen können zur Aufstellung der Verbesserungsgleichungen eingegeben werden:

- Richtungen
- Azimute
- horizontale Strecken
- Raumstrecken
- Höhenunterschiede
- Zenitdistanzen
- Koordinaten

Im funktionalen Modell kann ferner eine Maßstabsunbekannte für die eingegebenen Strecken und jeweils eine Additionskonstante für jedes Entfernungsmeßgerät berücksichtigt werden. Die Beobachtungen werden auf Plausibilitätsfehler und die Netzkonfiguration auf Defekte untersucht. Mit dem Ausgleichungsergebnis wird eine Reihe von Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsaussagen geliefert, die eine Beurteilung der Qualität des Netzes zulassen.

4.2 *Festlegen der Gewichte*

Die richtigen Gewichte für die einzelnen Beobachtungsgruppen festzulegen, ist ein Problem, dem besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Denn wenn die getroffenen Annahmen über die Gewichtsverhältnisse grob fehlerhaft sind, dann werden auch die Ausgleichungsergebnisse, die Koordinaten, beeinflußt. Erst wenn sie jedoch in ihrer Feinabstimmung das tatsächlich vorhandene stochastische Modell wirklichkeitsgetreu beschreiben, dann sind die aus der Ausgleichung bestimmbaren Genauigkeitsparameter aussagekräftig und damit verwendbar. Gerade für ein Rahmennetz – wie es die 2. Ordnung für nachgeordnete Messungen darstellt – haben diese Genauigkeitsparameter eine erhöhte Bedeutung, weil sie in die Genauigkeitsanalyse jeder Messung im Verdichtungsnetz eingehen.

Zur Gewichtsbestimmung müssen alle Informationsquellen ausgeschöpft werden, z. B.:

- mittlere Fehler der verwendeten Streckenmeßgeräte
- mittlere Fehler aus Wiederholungsmessungen einer Strecke
- mittlere Fehler aus Teilausgleichungen
- mittlere Fehler aus Teilausgleichung eines kombinierten Netzes mit Richtungen bekannter Genauigkeit.

- VARIANZKOMPONENTENSCHAETZUNG -

BEOB. GRP.	VON	BIS	$V_iT\ PV_i$	r_i (REDUN-DANZ)	$S_{\sigma_i} = \sqrt{\frac{VT_i\ PV_i}{r_i}}$	ANZAHL	GRP.-STANDARD-ABWEICHUNG APR.	APOST.
RICHTUNGEN			3152.635	2401.495	1.15	3843	0.2	0.2
STRECKEN		4000.0	76.223	45.999	1.29	65	16.9	21.8
	4000.0	8000.0	3058.302	2865.807	1.03	3475	21.5	22.2
	8000.0	12000.0	4726.124	4247.205	1.05	5010	23.5	24.8
	12000.0	16000.0	2968.959	2680.517	1.05	3071	26.8	28.2
	16000.0	20000.0	1622.979	1605.216	1.01	1789	30.2	30.4
	20000.0	24000.0	723.315	644.288	1.06	722	33.2	35.2
	24000.0	28000.0	375.109	234.900	1.26	277	34.6	43.7
	28000.0	32000.0	206.110	127.925	1.27	155	37.3	47.3
	32000.0	36000.0	194.047	85.154	1.51	106	37.3	56.3
	36000.0	40000.0	131.957	65.322	1.42	79	38.3	54.4
	40000.0	44000.0	55.455	39.726	1.18	48	40.7	48.1
	44000.0	48000.0	41.000	32.985	1.11	43	40.4	45.0
	48000.0	52000.0	104.963	24.792	2.06	33	40.7	83.7
	52000.0	56000.0	54.957	22.601	1.56	28	51.5	80.3
	56000.0	60000.0	59.456	16.458	1.90	20	49.6	94.3
	60000.0	64000.0	36.125	11.308	1.79	12	56.8	101.5
	64000.0	68000.0	23.563	5.696	2.03	7	50.2	102.1
	68000.0	72000.0	30.455	5.631	2.33	6	61.1	142.1
	72000.0	76000.0	2.092	3.688	0.75	4	69.9	52.6
	76000.0	80000.0	6.678	1.900	1.87	2	54.1	101.4
	80000.0	84000.0	10.020	2.493	2.00	3	73.8	148.0
	84000.0	88000.0	5.145	0.879	2.42	1	43.6	105.5

Abb. 11: Varianzkomponentenschätzung in der Gesamtausgleichung

Zur Kontrolle des Ansatzes dient die bekannte Tatsache, daß die eingegebenen (a priori) Gewichte den aus der Ausgleichung ermittelten (a posteriori) gleich sein müssen.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde ermittelt, daß die a posteriori Gewichte der separaten Jahrgangsausgleichungen die verläßlichsten Schätzungen für die a priori Gewichte der Gesamtausgleichung darstellt. Dieses Ergebnis entspricht den Erfahrungen, die auch andere Bearbeiter großer geodätischer Netze gemacht haben (Böhme 1983, Kobold 1980). Man erhält jedoch auch bei dieser Verfahrensweise zuerst: m_i (a posteriori) > m_i (a priori). Hier zeigt sich, daß in den Teilausgleichungen der Jahresmessungen die Wirkung einiger, die Genauigkeit beeinflussende Faktoren nicht völlig erfaßt wird. Hierzu können zählen:

- Fehler im Maßstab der verwendeten Instrumente,
- nicht erfaßter systematischer Einfluß von Großwetterlagen.

Eine gute Möglichkeit, das Verfahren der Gewichtsfestsetzung zu objektivieren, bietet die Varianzkomponentenschätzung (Pelzer 1985), die sich auch mit dem Programm HANNA durchführen läßt. Mit dieser kann man den Ansatz für das Fehlerniveau der einzelnen Beobachtungsgruppen kontrollieren und iterativ verbessern. Das hier vorliegende Beobachtungsmaterial läßt sich einmal in Richtungen und Strecken aufteilen. Da der Streckenfehler entfernungsabhängig ist, wurden die Strecken weiter in 22 Beobachtungsgruppen mit einer Klassenbreite von 4000 m eingeteilt. Der Ausgleichungsalgorithmus verlangt, daß die empirischen Standardabweichungen der Gewichtseinheit (entspricht dem mittleren Fehler der Gewichtseinheit)

$$So_i = \sqrt{\frac{v_i^T\, p\, v_i}{r_i}} \qquad (r_i = \text{Redundanzanteil der Gruppe})$$

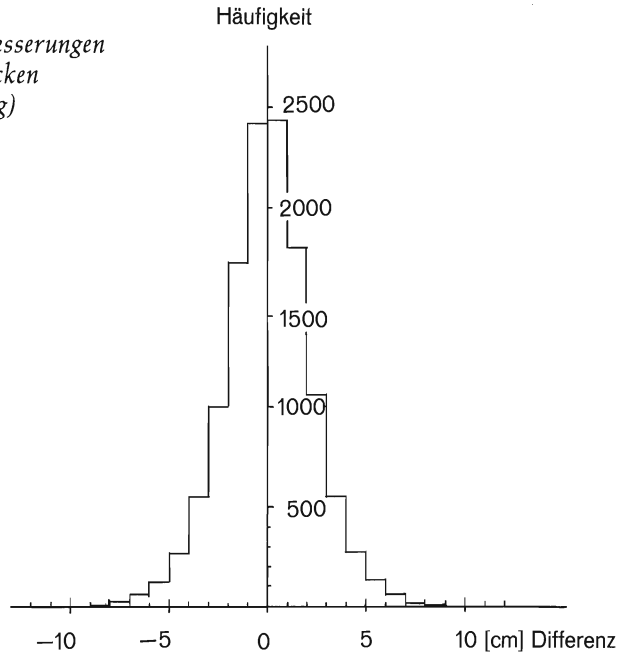
der einzelnen Gruppen alle gleich sein müssen (hier $So_i \overset{!}{=} 1$) bzw. daß die daraus berechneten empirischen Varianzen der Beobachtungen jeder Klasse $s^2_{a\ post.}$ gleich den eingegebenen Werten $s^2_{apr.}$ sein müssen. Die Abb. 11 zeigt ein Ergebnis der Varianzkomponentenschätzung der Gesamtausgleichung. Es zeigt sich hier, daß die längeren Strecken (ab 50 km) noch ein etwas zu hohes Gewicht haben. Hierbei handelt es sich um Strecken, deren Gewicht aus der Diagnoseausgleichung übernommen wurde. Da es sich nur um eine geringe Zahl handelt, wurde dieser Ansatz beibehalten.

Eine gute graphische Aussage zu der hier ebenfalls zu stellenden Frage nach der Normalverteilung der Verbesserungen gibt das entsprechende Häufigkeitsdiagramm (Abb. 12). Dieses Bild weist bereits auf die hervorragende Qualität der Beobachtungen hin.

4.3 *Ergebnisse der Gesamtausgleichung*

Bei allen Ausgleichungen gibt es einen Wert, der die Güte des gesamten Werkes charakterisiert, nämlich der mittlere Fehler der Gewichtseinheit a posteriori. Er muß dem Wert des a priori eingegebenen Fehlers (hier: ± 1,0) entspre-

Abb. 12:
Verteilung der Verbesserungen der 2. Ordnungsstrecken (Gesamtausgleichung)



chen. Er beträgt ± 1,07. Die Abweichung vom Sollwert ist bedeutungslos. Von vorrangigem Interesse ist ferner der Vergleich dieser Koordinaten mit den Landeskoordinaten des DHDN. Die nach einer konformen Helmerttransformation verbleibenden Restklaffungen, die die regionalen Inhomogenitäten der Altkoordinaten nachweisen, sind bereits in Augath (1984) dargestellt und kommentiert worden. Der Benutzer des TP-Feldes sei an dieser Stelle daran erinnert, daß zu diesen mehr großräumigen Spannungen die des alten TP-Feldes der 3. und 4. Ordnung hinzukommen, die auf den inhomogenen Aufbau dieses Netzes (Verletzung des Nachbarschaftsprinzips) zurückgehen (Pötscher 1974).

Sehr instruktiv ist auch eine Darstellung des jeweiligen Maßstabs der Dreiecksseiten des DHDN, der sich aus dem Vergleich mit den aus zwangsfreier Gesamtausgleichung im internationalen Maßstab abgeleiteten Strecken 1. Ordnung ergibt (Abb. 13). Der Sollwert hierfür wäre: – 13,35 mm / km (Differenz internales Meter – legalmeter M). Hieran sind die Verzerrungen, denen sich die nachfolgenden Verdichtungsmessungen unterwerfen mußten, besonders deutlich abzulesen.

Bislang wurde die zwangsfreie im internationalen Maßstab durchgeführte Gesamtausgleichung diskutiert. Über die Parameter »Lagerung«, »Orientierung« und »Maßstab« kann danach bekanntlich noch verfügt werden. Im allgemeinen bemüht man sich, hierfür zusätzliche Beobachtungen einzubringen (z. B. Azimute), so daß eine optimale Festlegung dieser Parameter im geodäti-

Deutsches Hauptdreiecksnetz
Niedersachsen

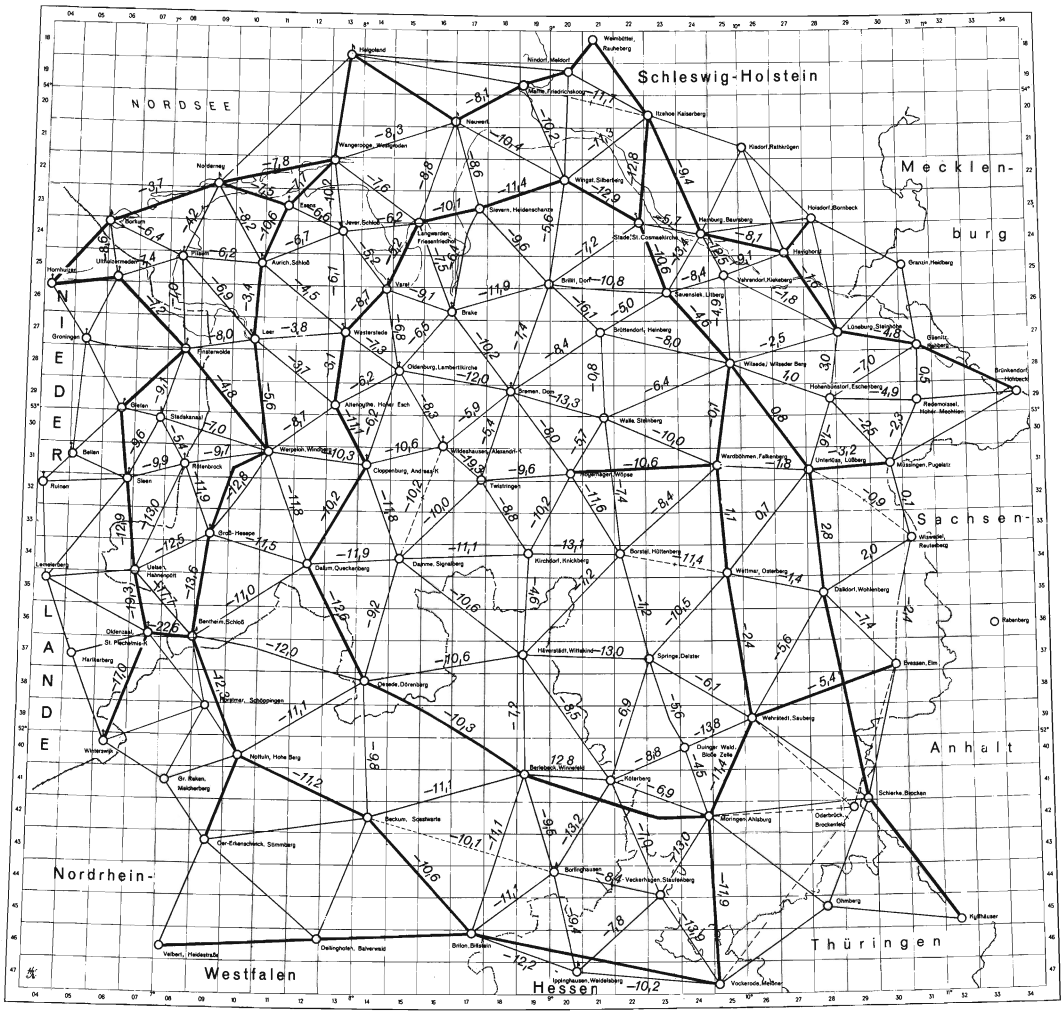


Abb. 13: Maßstäbe der Dreiecksseiten im alten DHDN in [mm / km], Sollwert: –13,35 mm / km

schen Bezugssystem erfolgen kann. Davon wurde jedoch hier abgewichen. Über diese Parameter wurde in einer Weise verfügt, die aus der Verwendung dieses Vermessungswerkes als spannungsfreies Rahmennetz (Lagestatus 100) für *nachgeordnete* Verdichtungsarbeiten zu verstehen ist. Die Koordinaten der zwangsfreien Gesamtausgleichung wurden einer konformen Helmerttransformation auf 7 ausgewählte Punkte des alten DHDN (Lagestatus 200) am Rande Niedersachsens unterzogen mit dem Ziel, die Koordinatenänderungen – bezogen auf das alte DHDN (Lagestatus 200) – nicht zu groß werden zu lassen und Koordinatensprünge an den Grenzen zu den Nachbarländern möglichst zu vermeiden (Augath 1984). Die innere Geometrie des Netzes wird durch die Helmerttransformation bekanntlich nicht verändert. Ferner ist eine Umrechnung in andere Systeme jederzeit durch die Transformation möglich. Schließlich ist es mit Einführung der Punktdatei möglich, Koordianten in einem anderen System (in einem anderen Lagestatus) mit vorzuhalten und zu verwalten (Abb. 14).

Daher wird durch die Berücksichtigung der obigen Restriktionen der Wert dieses Vermessungswerkes nicht geschmälert und seine Verwendungsmöglichkeit in der Zukunft nicht eingeschränkt. Diese Transformation ergab – bezogen auf das internationale Meter – einen Maßstabsfaktor von –9,0 mm / km.

4.4 *Qualität des Netzes*

Die Kriterien zur Beurteilung eines Netzes sind Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Ein genaues Netz ist nicht in jedem Fall ein zuverlässiges. So können in einem Netz mit schwacher Überbestimmung (Redundanz) relativ kleine *grobe* Fehler die Punktkoordinaten in unzulässigem, durch die Punktlagefehler nicht ausgewiesenem Maße verfälschen. Nach Grafarend (1979) ist ein Netz zuverlässig bestimmt, wenn unerkannt gebliebene Störeinflüsse durch die Beobachtungsverbesserungen v bzw. Überbestimmungen genügend kompensiert werden. Als »Güteparameter« in diesem Sinne dienen die innere und äußere Zuverlässigkeit.

Unter den Genauigkeitskriterien sind besonders die lokalen Genauigkeitsmaße für den Benutzer interessant. Die mittlere Koordinatengenauigkeit wird durch die mittlere empirische Standardabweichung für die Koordinaten (mittlere Fehler der Koordinaten im Mittel) nachgewiesen. Er beträgt $S_x = S_y = \pm 13$ mm. Daraus ergibt sich der Helmertsche Punktfehler im Mittel über das ganze Netz zu:

$m_{p'}$ Helmert $= \pm 19$ mm.

Eine weitere wichtige Kenngröße ist die Konfidenzellipse. Sie überdeckt den Bereich, der um einen Punkt eingerichtet werden muß, um mit einer bestimmten, vorzugebenden Sicherheitswahrscheinlichkeit (hier: 95%) die wahre Punktlage zu erfassen. Im Mittel erhält man hier für die große Halbachse a = 36 mm und für die kleine b = 30 mm.

```
*-----------------------------------*-----------------------------------*
|      NACHWEIS DER FESTPUNKTE      |PUNKT                .3026-0-00300 0|
|                                   |                 ================  |
|                                   |AKTUALITAET 04            10.12.1984|
|***** TRIGONOMETRISCHER PUNKT ******|ANTRAG  910.84902  ( 1)    SEITE   1|
*-----------------------------------*-----------------------------------*
|NIEDERS.LANDESVERWALTUNGSAMT                LANDESVERMESSUNG HANNOVER  |
|KATASTERAMT                        0399088  SOLTAU                    |
|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                       |
| PUNKTART                 0   TP                                       |
| PUNKTSTATUS              0   PUNKT DES AMTLICHEN NACHWEISES           |
| VERMARKUNGSART           110 FESTLEGUNG 1.ORDNUNG                     |
| BEMERKUNGEN ZUM PUNKT 0  **SF M                  1  **ID.SP 01100     |
|                          2  ID.890602                                 |
|                                                                       |
| ANGABEN ZUM FESTPUNKT                                                 |
| ---------------------                                                 |
| ORDNUNG                  2   TP(2)                                    |
| DARSTELLUNGSHINWEIS      BT                                           |
|                                                                       |
| NAME,LAGEBEZEICHNUNG                                                  |
| POITZEN,KREUTZER BERG                                                 |
|                                                                       |
| LAGE (EINHEIT M)                                                      |
| ----                                                                  |
|  RECHTS (Y)      HOCH (X)  STATUS    GENAUIGKEIT      ZUV.  BERECHNUNG |
|                                     STUFE   WERT            JAHR-AKTENZ.|
|                                                                       |
| 3574 039.322  5865 017.694  000     0                 0   1977-       |
| 3574 039.196  5865 017.630  100     0                 0   1977-  1984 |
| 3574 039.570  5865 017.660  200     0                 0   1889-0602   |
|                                                                       |
| HOEHE (EINHEIT M)                                                     |
| -----                                                                 |
|      H           MESSUNG   STATUS    GENAUIGKEIT      ZUV.  BERECHNUNG |
|                 JAHR.MONAT          STUFE    MH             JAHR-AKTENZ.|
|                                                                       |
|   91.37         1982.        128    4                 0   1982-      |
|   90.45         1977.        129    4                 0   1977-      |
|                                                                       |
|                                                                       |
|                                                                       
```

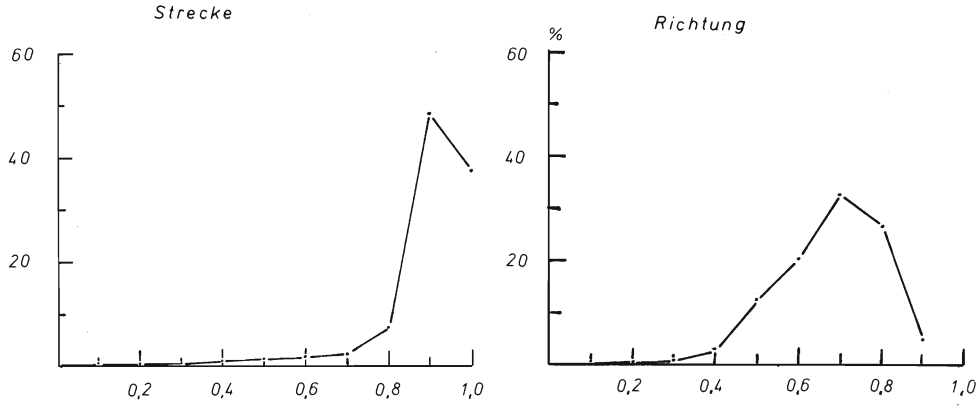


Abb. 14: Redundanzanteile Strecken und Richtung

Ein erstes wichtiges Zuverlässigkeitskriterium für die Beurteilung eines Netzes sind die Redundanzanteile der einzelnen Beobachtungen. Sie geben – wie schon erwähnt – an, wieviel Prozent eines eventuellen Fehlers in der Beobachtung l_i sich in der zugehörigen Verbesserung v_i zeigt (Förstner 1979). Die prozentuale Verteilung der Redundanzanteile für Richtungen und Strecken zeigen die Graphiken in Abb. 15. Besonders bemerkenswert ist die hohe Redundanz der Strecken, die auch schon bei den Voruntersuchungen angesprochen wurde. 86 % der Strecken besitzen eine Redundanz $r_i \geqq 0{,}9$.

Als Maß für die äußere Zuverlässigkeit in einem Lagenetz bezeichnet man den Einfluß eines gerade nicht mehr aufzudeckenden groben Beobachtungsfehlers auf die Punktkoordinaten. Diese Werte liegen im Mittel bei 0,022 m (Schwankungen zwischen 0,006 m und 1,18 m) in der Punktlage. Sie zeigen die hohe äußere Zuverlässigkeit dieses Netzes.

5 Ausblick

Die Voruntersuchungen, die Ergebnisse und deren statistische Analyse weisen das einheitliche meßtechnische Niveau und die Qualität dieses Vermessungswerkes nach. Inzwischen erfolgte Testmessungen mit einem Satellitenverfahren (Heineke 1984), die großräumige Entfernungsvergleiche (50...100 km) ermöglichten, stützen dieses Ergebnis (Differenzen im cm-Bereich). Das neu koordinierte TP-Feld 1. und 2. Ordnung erfüllt damit in Niedersachsen die Bedingungen eines spannungsfreien Grundnetzes für Verdichtungsvermessungen im Lagefestpunktfeld. Die Messungen in der 3. und 4. Ordnung können daher jetzt mit aller Kraft vorangetrieben werden. Von dem Netzaufbau und der Durchführung her ist sichergestellt, daß die hohe Genauigkeit des Rahmennetzes (1...2 cm) an die Aufnahmenetze weitergegeben wird.

6 Literatur

ADV — Richtlinien für die elektromagnetische Distanzmessung im Hauptdreiecksnetz (EDM Richtlinien), Mainz 1973

Augath, W. — Zur Auswertung trigonometrischer Beobachtungen – Erfahrungen und Ergebnisse bei der Erneuerung des TP-Feldes –. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 24. Jahrgang, Hannover 1974

Augath, W. — Untersuchungen zum Aufbau geodätischer Lagenetze, Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, usw. an der Technischen Universität Hannover, Nr. 72, Hannover 1976

Augath, W. — Die Neukoordinierung des Niedersächsischen Anteils am Deutschen Hauptdreiecksnetz (DHDN) und des TP-Netzes 2. Ordnung, Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 24. Jahrgang, Hannover 1984

Böhm, J. — Wirkung der Winkel- und Streckenfehler im kombinierten Netz, Vermessungstechnik, 31. Jahrgang, 1983

Grafarend, E. — Optimierung geodätischer Meßoperationen, Sammlung Wichmann, Neue Folge, Band 11, Karlsruhe 1979

Heineke, U. — Ergebnisse von Macrometermessungen in Niedersachsen und Vergleiche mit anderen Verfahren, Vortrag auf dem Seminar »GPS-System und Macrometermessungen«, Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bonn – Bad Godesberg 1984

Kobold, F. — Das Europäische Triangulationsnetz – RETRIG, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Frankfurt 1980

Kulpe, H.-R. — Der Einfluß der Mehrwegeausbreitung auf die Streckenmessung mit frequenzmodulierten Mikrowellen im maritimen Bereich, Hannover 1982

Meliß, E., Umbach, J. — Die Messungsarbeiten bei der Erneuerung des TP-Netzes 2. Ordnung, Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 35. Jahrgang, Heft 2, Hannover 1985

Pelzer, H. — Criteria for the reliability of geodetic Networks. Intern. Symposium on Optimization and Computation of Control Networks, Sopron / Ungarn, 1977

Pelzer, H. — Grundlangen der mathematischen Statistik und der Ausgleichungsrechnung, in: Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Herausgeber: H. Pelzer, Hannover 1985

Pötschner, W. — Hundert Jahre trigonometrisches Festpunktfeld –. Das Werk Schreibers und seine Erneuerung –. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 24. Jahrgang, Hannover 1974

Reißmann, G. Welche Genauigkeitssteigerung ist durch Ausgleichung zu erwarten? Vermessungstechnik 26. Jahrgang 10/1978

Schmidt, R. Die Diagnoseausgleichung 1980 des Deutschen Hauptdreiecksnetzes Band II, Strecken, DGK, Reihe B, Heft 253, Frankfurt 1981

Schmidt, R., Ehlert, D. Die Diagnoseausgleichung 1980 des Deutschen Hauptdreiecksnetzes, Band I: Richtungen, DGK, Reihe B, Nr. 262, Frankfurt 1982

Steidler, F. Darstellung und Vergleiche von Lösungsstrategien für schwach besetzte Normalgleichungssysteme in der Geodäsie und Photogrammetrie, DGK, Reihe C, Nr. 261, München 1980

Dreidimensionale Netze in der Landesvermessung – ein Experiment in Norddeutschland

Von Wolfgang Torge und Manfred Bäumker

1 Einleitung

Die räumliche Aufgabenstellung der Geodäsie erfordert grundsätzlich die Einführung dreidimensionaler Koordinatensysteme. In der Erdmessung ist diese dreidimensionale Konzeption – die gemeinsame Behandlung des Lage- und Höhenproblems – seit mehr als 100 Jahren klar definiert (Bruns 1878), praktikable Lösungen gelingen seit mehr als 20 Jahren mit Verfahren der Satellitengeodäsie. Die Genauigkeit der in großem Umfang eingesetzten Satelliten-Dopplermethode erlaubt bereits, klassische *Lage*-Kontrollnetze großräumig (Punktabstände > 100 km) zu stützen. Mit dem zur Zeit operationell getesteten und wesentlich wirtschaftlicher arbeitenden NAVSTAR Global Positioning System (GPS) verschiebt sich die Schnittstelle zwischen räumlichen und terrestrischen Meßverfahren in den Entfernungsbereich von 10 km oder darunter, gleichzeitig wird – bei entsprechender Kenntnis des Geoids – eine Kontrolle terrestrischer *Höhen*netze bei Punktabständen > 50 bis 100 km möglich.

Die Landesvermessung wird damit herausgefordert, diese Möglichkeiten der Satellitengeodäsie optimal zur gewünschten Verbesserung ihrer Festpunktfelder zu nutzen (Wolf 1983). Sie muß hierzu ihre bisherige Konzeption kritisch überdenken und – gestützt auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse und auf die Ergebnisse von Pilotprojekten – gegebenenfalls entsprechende Reformen durchführen (vergleiche Pötzschner 1977). Die verschiedenen Nutzerwünsche und organisatorische Probleme können dabei durchaus zu komplexen Lösungen mit unterschiedlich definierten Systemen von Gebrauchs- und Sonderkoordinaten führen (Augath 1984a).

Im norddeutschen Raum wird in enger Zusammenarbeit zwischen der Abteilung Landesvermessung des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes und den geodätischen Hochschulinstituten seit längerer Zeit die Leistungsfähigkeit der »Dreidimensionalen Geodäsie« für den Aufbau und die Verbesserung regionaler Festpunktfelder untersucht, wir berichten anschließend über die Berechnung eines ersten dreidimensionalen Testnetzes »Norddeutschland«. Hierzu wird im Abschnitt 2 zunächst herausgestellt, wie die Satellitentechniken die klassische Konzeption der Landesvermessung beeinflussen, welche neuen Möglichkeiten sie bieten und welche Probleme sie aufwerfen. Abschnitt 3 beschreibt dann ein zur Ausgleichung regionaler dreidimensionaler Netze entwickeltes Modell und Abschnitt 4 seine Anwendung auf die in

Norddeutschland im Jahre 1983 vorliegenden und zum Aufbau eines Grundnetzes geeigneten Daten (Bäumker 1984). Eine Diskussion der Resultate und ein Ausblick auf die weitere Entwicklung schließen den Bericht ab.

2 Satellitengeodäsie und klassische Landesvermessung

Die Methoden der *Satellitengeodäsie* liefern räumliche *kartesische* Koordinaten bzw. Koordinatendifferenzen, die sich auf ein globales geozentrisches System beziehen (nähere Ausführungen zu den hier benutzten geodätischen Grundlagen finden sich in den Lehrbüchern der Geodäsie, z. B. Torge 1975, vergleiche auch Torge 1985). Die für Landesvermessungszwecke besonders geeigneten Doppler- und GPS-Verfahren erreichen bei Koordinatendifferenzen Genauigkeiten, die entfernungsabhängig zwischen einigen 10^{-6} und 10^{-7}S (S = Punktabstand) betragen, wobei der entsprechende Entfernungsbereich bei den Dopplermessungen etwa zwischen 100 und 1000 km und bei den GPS-Messungen (noch im experimentellen Stadium) zwischen 10 und 1000 km liegt (Seeber 1984, 1985). Die kartesischen Koordinaten(-differenzen) können – nach Einführung eines ebenfalls im Erdschwerpunkt orientierten Erdellipsoids – leicht in räumliche *ellipsoidische* Koordinaten transformiert werden. Diese legen die Punktlage durch die Richtung der Ellipsoidnormalen (geographische Breite φ und geographische Länge λ) und die Punkthöhe durch den in der Normalen gemessenen Abstand vom Ellipsoid (ellipsoidische Höhe h) fest. Dieses System ist geometrisch definiert, der Einfluß des Schwerefeldes in den Satellitenbeobachtungen wird in den vorausgehenden Bahnberechnungen berücksichtigt. φ und λ als der Erdoberfläche angepaßte Flächenparameter werden von zahlreichen Nutzern (Kartographie, Ingenieurwissenschaften, Navigation) gewünscht.

Die Strategie der klassischen *Landesvermessung* beruht nun auf der separaten Lösung des Lage- und Höhenproblems, wobei die zweidimensionalen *Lagesysteme* ebenfalls durch ellipsoidische Koordinaten φ, λ beschrieben werden (Torge 1980a). Die Lagebestimmungselemente (Strecken, Horizontalrichtungen) werden hierzu auf das Ellipsoid reduziert und dann in φ, λ transformiert, wobei die bei der Reduktion benötigte Schwerefeldinformation (Geoidhöhen, Lotabweichungen) als fehlerfrei angesehen wird. Durch geeignete Orientierung und Dimensionierung des Referenzellipsoids (Geodätisches Datum, Torge 1980b) läßt sich der Einfluß des Schwerefeldes klein halten, bei der Anlage der klassischen Lagenetze konnte er unter Berücksichtigung der Meß- und Rechenungenauigkeiten ($\pm 10^{-5}$S) sogar völlig vernachlässigt werden. Mit modernen Meß-und Rechentechniken und bei hinreichender Kenntnis des Schwerefeldes werden in solchen terrestrischen Lagenetzen heute Genauigkeiten von etwa $\pm 10^{-6}$S erreicht (Augath 1984b).

Die *Höhensysteme* der Landesvermessung basieren auf dem Verfahren des geometrischen Nivellements, welches Genauigkeiten von $\pm 5 \times 10^{-7}$S und besser liefert. Wegen des Anschlusses an die Lotrichtung sind diese Systeme im Schwerefeld definiert, praktische Bedeutung haben nur die Normalhöhen H_N

(hypothesenfrei bestimmbar) und die orthometrischen Höhen H (durch Topographiemodell und Rechenvorschrift definiert) bzw. Annäherungen hieran (späroidisch-orthometrische Höhen des DHHN) erlangt (Wolf 1974). Die am Nivellement zur Transformation in ein Höhensystem dieser Art anzubringenden Schwerereduktionen sind klein und hinreichend gut bestimmbar, bei nachgeordneten Nivellements können sie vernachlässigt werden. Der Abstand der Höhenreferenzfläche (Normalhöhe: Quasigeoid, orthometrische Höhe: Geoid) vom Referenzellipsoid des Lagesystems wird hierbei nicht benötigt. Diese Schwerefeld-Höhensysteme weisen – außer den kleinen Reduktionen – den Vorteil auf, daß die Flächen H_N = const. bzw. H = const. nur wenig (mm ... cm) von Gleichgewichtsflächen abweichen, was besonders für Nutzer aus den Ingenieur- und Geowissenschaften von Bedeutung ist. Die von der Satellitengeodäsie gelieferten ellipsoidischen Höhen h eignen sich dagegen weniger für ein Gebrauchshöhensystem, da die am Nivellement anzubringenden Reduktionen groß sind (dm ... m über Distanzen von einigen 10 ... 100 km) und da die Flächen h = const. entsprechend große Abweichungen von Gleichgewichtsflächen aufweisen.

In Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit den klassischen geodätischen Verfahren gleichwertige (oder überlegene) Satellitentechniken bieten demnach die folgenden *Möglichkeiten:*

- Bezug der geodätischen Systeme auf ein einheitliches geodätisches Datum, Datumstransformationen bei länderübergreifenden Vermessungsaufgaben entfallen,
- Kontrolle von Maßstab und Orientierung klassischer Systeme durch die orientierten Satellitenresultate, systematische Fehler dieser Art treten in Lage- und Höhennetzen insbesondere durch nicht hinreichend berücksichtigte Einflüsse von Schwere- und Refraktionsfeld auf,
- Kontrolle der Fehlerfortpflanzung und Steigerung der Genauigkeit in klassischen Netzen durch die Einbeziehung übergreifender räumlicher Verbindungen mit günstigerem Fehlerverhalten,
- rasche und wirtschaftliche Einrichtungen von Verdichtungsnetzen homogener Genauigkeit (GPS-Methoden).

Um die in den Satellitenresultaten enthaltene, der Lageinformation gleichwertige Höheninformation ausnutzen zu können, ist die Verbindung zwischen den ellipsoidischen Höhen h und den Normalhöhen H_N bzw. den orthometrischen Höhen H mit entsprechender Genauigkeit herzustellen. Mit dem Zusammenhang

$$h = H_N + \zeta = H + N$$

entspricht das der Bestimmung des Quasigeoids (Höhenanomalie ζ) bzw. des Geoids (Geoidhöhe N). Wegen der Hypothesenfreiheit wird hier die Aufspaltung der ellipsoidischen Höhe in Normalhöhe und Höhenanomalie bevorzugt, der spätere Übergang zum Geoid ist – falls gewünscht – leicht möglich.

3 Ein Modell zur Ausgleichung regionaler dreidimensionaler Netze

Am Institut für Erdmessung der Universität Hannover werden seit etwa 15 Jahren intensive Forschungsarbeiten zum Aufbau regionaler dreidimensionaler geodätischer Netze durchgeführt. Schwerpunkte liegen dabei auf den folgenden Fragestellungen:

- Leistungsfähigkeit von operationellen Satellitentechniken beim Aufbau von Grundlagenetzen (Hoyer 1982, Egge et al. 1983, Schenke 1984, Seeber et al. 1984, Seeber 1985),
- hochauflösende astrogeodätische Bestimmung des Lotabweichungsfeldes und des Quasigeoids einschließlich der Entwicklung und Erprobung transportabler Zenitkameras (Geßler 1976, Heineke und Torge 1979, Wissel 1982),
- hochauflösende gravimetrische Bestimmungen des Lotabweichungsfeldes und des Quasigeoids (Wenzel 1981, Torge et al. 1983, Weber 1984),
- Entwicklung dreidimensionaler Ausgleichungsmodelle, Erprobung in Testnetzen und Analyse der Resultate (Torge 1977, Torge und Wenzel 1987, Bäumker 1984).

Besonders die in Kooperation mit der Abteilung Landesvermessung des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes durchgeführten Projekte »Testnetz Westharz«, »Niedersächsische Dopplerkampagne 1981« und »Lotabweichungsfeld Niedersachsen« haben dabei wertvolle Erkenntnisse zur Anlage dreidimensionaler Netze gebracht.

Zur dreidimensionalen Bearbeitung größerer Netze hat Bäumker (1984) schließlich ein *Ausgleichungsmodell* entwickelt, das insbesondere die folgenden Gesichtspunkte berücksichtigt:

- Verarbeitung umfangreicher Datenmengen,
- gemeinsame Bearbeitung unterschiedlicher geodätischer Beobachtungen unter Berücksichtigung von Datumsunterschieden zwischen den räumlichen und den terrestrischen Daten,
- separate Aufbereitung und Transformation der Schwerefeldinformation (Lotabweichungen, Schwereanomalien) zum Quasigeoid und strenge Berücksichtigung dieses Resultates in der Gesamtausgleichung,
- Behebung von Rangdefekten (Datumsdefekte) durch Auffelderung der auszugleichenden Koordinaten auf Näherungswerte (freie Netzausgleichung, vergleiche Niemeier 1985),
- Berücksichtigung von Korrelationen zwischen den Beobachtungen, soweit diese bei speziellen Beobachtungsgruppen (Koordinaten(-differenzen) aus Satellitenverfahren oder aus separaten Vorausgleichungen, aus der Kombination von vorweg berechneten Quasigeoidhöhen und Normalhöhen abgeleitete ellipsoidische Höhen oder Höhendifferenzen) von Bedeutung sind,

- praktikable Postvarianzschätzung mit dem Ziel der Überprüfung und evtl. Verbesserung der Varianzen einzelner Beobachtungsgruppen und der Elimination von Ausreißern,
- Transformation der Ausgleichungsergebnisse (Koordinaten mit zugehöriger Varianz-Kovarianzmatrix) in andere Systeme.

Die Ausgleichung wird nach vermittelnden Beobachtungen in einem mindestens genähert geozentrischen globalen kartesischen Koordinatensystem durchgeführt, als *Unbekannte* (maximal 1000) treten die folgenden Größen auf:

- räumliche kartesische Koordinaten der Netzpunkte (maximal 200 Punkte),
- Lotrichtungsparameter (astronomische Breite und Länge) in den Netzpunkten,
- Orientierungsparameter bei Horizontalrichtungsmessungen,
- Refraktionsunbekannte bei Zenitwinkelmessungen,
- systematische Längen- und Zeitfehler bei astronomischen Beobachtungen,
- Transformationsparameter (maximal 7) für jeden Satz von Satellitenbeobachtungen.

Es kann eine beliebig große Zahl von unkorrelierten *Beobachtungen* verarbeitet werden, und zwar:

- Schrägstrecken,
- Horizontalrichtungen,
- astronomische Azimute,
- Zenitwinkel,
- astonomische Breiten und Längen,
- ellipsoidische Höhen und Höhendifferenzen,
- räumliche Koordinaten und Koordinatendifferenzen.

Werden bei den beiden letzten Gruppen abgeleiteter Größen die Korrelationen berücksichtigt, so reduziert sich die Zahl der verwertbaren Daten auf maximal 1000 (jeweils für Höhen und Höhendifferenzen) bzw. 333 (jeweils für ausgeglichene dreidimensionale Koordinaten, Satellitenkoordinaten und Koordinatendifferenzen).

4 Das dreidimensionale Testnetz Norddeutschland

4.1 *Beobachtungsmaterial*

In das oben beschriebene Ausgleichungsmodell wurden die Daten eingeführt, die im Jahre 1983 zur räumlichen Koordinierung der Stationen des Hauptdreiecksnetzes im Bereich von Niedersachsen und Schleswig-Holstein zur Verfügung standen (Bäumker 1984). Damit konnte ein dreidimensionales Netz bearbeitet werden, das eine Fläche von $400 \times 350\,km^2$ überdeckt ($51° < \varphi < 55{,}3°$, $6° < \lambda < 11°$) und – mit Einschluß des Testnetzes Westharz –

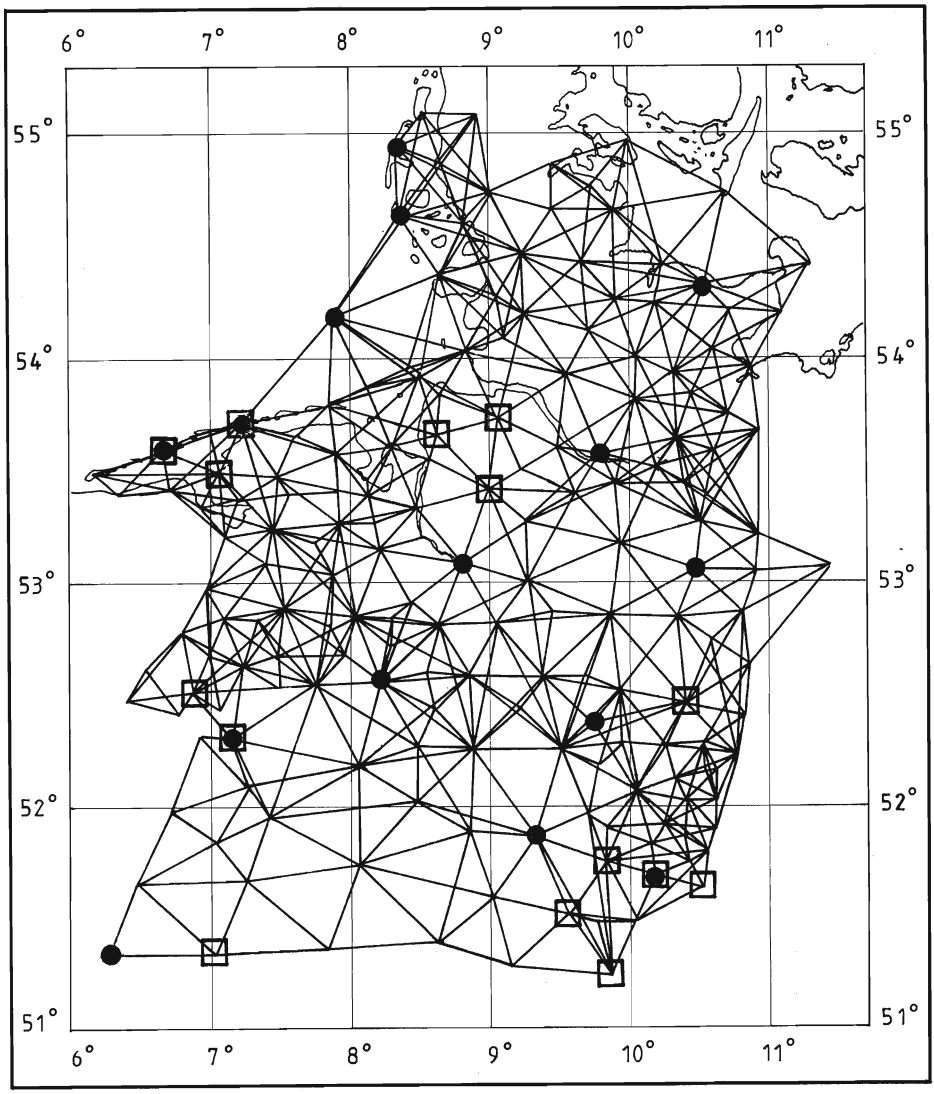


Abb. 1: Dreidimensionales Testnetz Norddeutschland: Streckennetz, Dopplerstationen (●) und Laplace-Stationen (□), nach Bäumker (1984)

196 Stationen umfaßt (Abb. 1). Folgendes Beobachtungsmaterial stand nach der Elimination weniger Ausreißer zur Verfügung:

- 673 ellipsoidische *Strecken*mittelwerte (überwiegend mit Mikrowellengeräten gemessen), die in Schrägstrecken zurückgerechnet wurden, siehe Abb. 1. Mit einem Gewichtsansatz, der die Anzahl der Einzelmessungen, ihre gegenseitige Korrelation, einen konstanten und einen entfernungsab-

hängigen Fehler berücksichtigt, ergaben sich a priori Standardabweichungen von ± 0,01...0,12 m,

- 1368 stationsausgeglichene *Horizontalrichtungs*beobachtungen mit a priori Standardabweichungen von ± 0,1...0,5 mgon (95% der Beobachtungen: ± 0,1...0,2 mgon). Die Lotrichtungsparameter lassen sich im norddeutschen Flachland durch die Ellipsoidnormalen annähern (Fehler <0,03 mgon), nur im Harz sind beobachtete Lotabweichtungen zu berücksichtigen,
- 15 *Laplace*-Stationen mit beobachteten astronomischen Azimuten, Längen und Breiten (Abb. 1). Unter Berücksichtigung systematischer Fehler des Systems Beobachter / Instrument und nach Bezug auf ein einheitliches Längensystem ergaben sich a priori Standardabweichungen von ± 0,2"...0,5" für die Azimute und von ± 0,2"...0,7" für die Längen (die ursprünglichen Fehlerschätzungen lagen meist bei ± 0,1"). Darüber hinaus zeigte sich die Notwendigkeit, weitere Ausgleichungsunbekannte zum Abfangen nicht modellierbarer systematischer Effekte in Azimut und Länge mitzuführen,
- 70 gegenseitig-gleichzeitig beobachtete *Zenitwinkel* im Bereich des Testnetzes Westharz mit einer mittleren Standardabweichung von ± 0,8 mgon. Wie bereits früher gezeigt, besitzen diese Daten gegenüber den ellipsoidischen Höhen aus dem geometrisch-astronomischeen Nivellement nur untergeordnete Bedeutung (Torge und Wenzel 1978),
- hinreichend gute Annäherungen (Vernachlässigungsfehler im allgemeinen <0,01 m) an *ellipsoidische Höhen*. Sie wurden als Quasibeobachtungen aus den amtlichen sphäroidisch-orthometrischen Höhen (angenommene Standardabweichung ± 0,01 m) und den mit Hilfe eines astronomischen Nivellements berechneten Höhenanomalien (Quasigeoidhöhen) gebildet.
- Zur Berechnung des *Quasigeoids* standen nach Bereinigung der in der Lotabweichungsdatei gesammelten 862 Werte noch 280 astronomische Lotabweichungsstationen (Beobachtungen: astronomische Breite und Länge, Standardabweichungen zwischen ± 0,1" und ± 0,9") zur Verfügung. Die mittlere Punktdichte beträgt 1,5 Station / 1000 km², besonders dicht sind die Testgebiete Westharz und Wesermündung vermessen (Abb 2). Wie bereits im Testnetz Westharz gezeigt wurde, können die z. Z. verfügbaren gravimetrischen Daten (global: mittlere 1° x 1° Schwereanomalien, regional: mittlere 6' x 10' Schwereanomalien) bei einer so hohen Stützpunktdichte die astrogeodätische Quasigeoidberechnung kaum verbessern (Boedecker 1976). Nach Konstruktion eines astronomischen Nivellementsnetzes (Dreiecksbildung aus Nachbarpunkten, Abb. 2) wurden mit linearer Lotabweichungsinterpolation insgesamt 781 Quasigeoiddifferenzen berechnet und ausgeglichen. In der Fehlerrechnung sind sowohl die Unsicherheiten der beobachteten Lotabweichungen (Fehlerfortpflanzung) als auch die Interpolationsfehler (von Punktdistanz und örtlicher Variation des Lotabweichungsfeldes abhängig) berücksichtigt worden. Die Resultate wurden schließlich auf das Quasigeoid der Bundesrepublik Deutschland (Lelgemann et al. 1981) aufgefeldert, die Quasigeoidhöhen (Abb. 3) beziehen sich damit auf das Datum des DHDN. Die Genauigkeit der ausgegli-

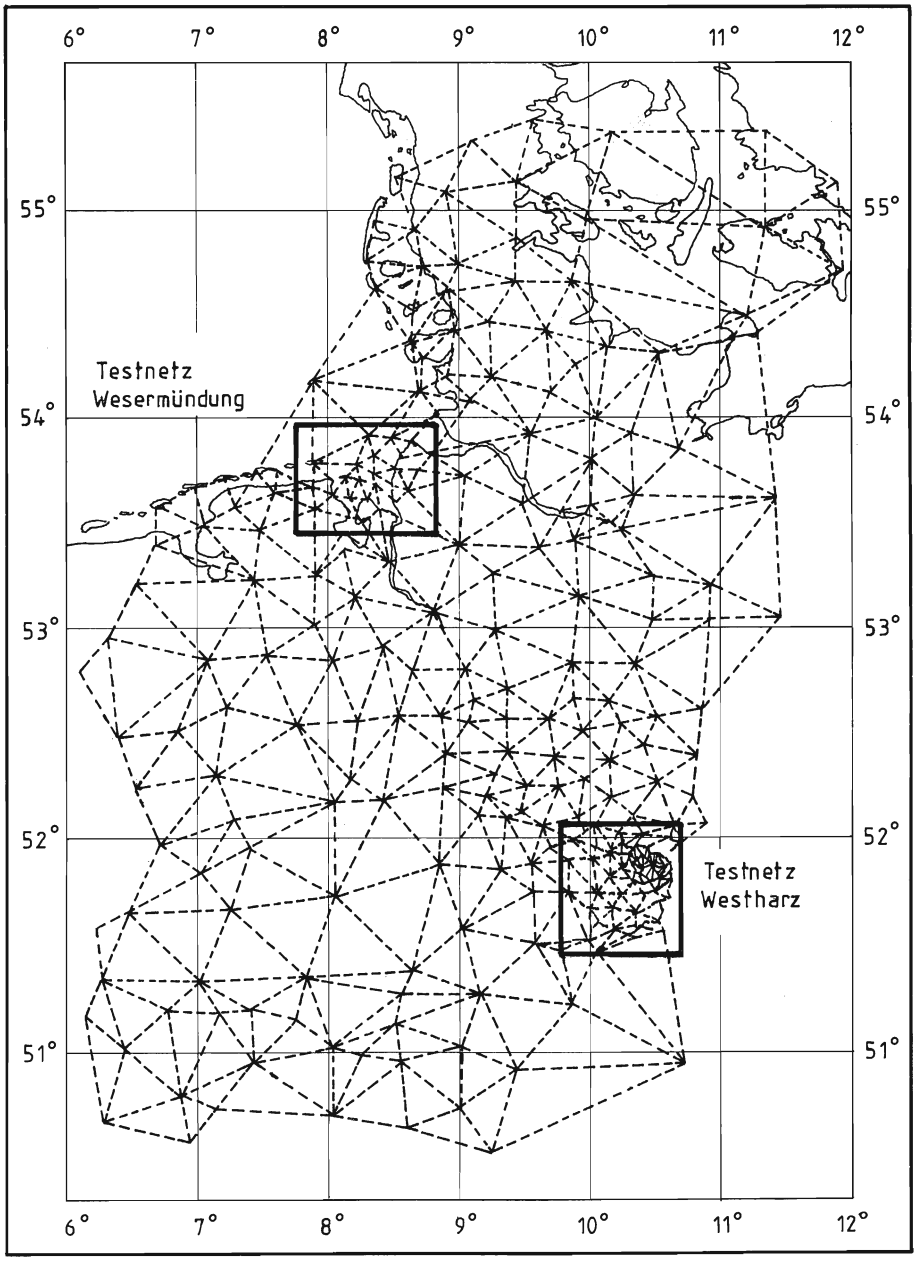


Abb. 2: Dreidimensionales Testnetz Norddeutschland: Verteilung der Lotabweichungsstationen und Astronomisches Nivellements-Netz, nach Bäumker (1984).

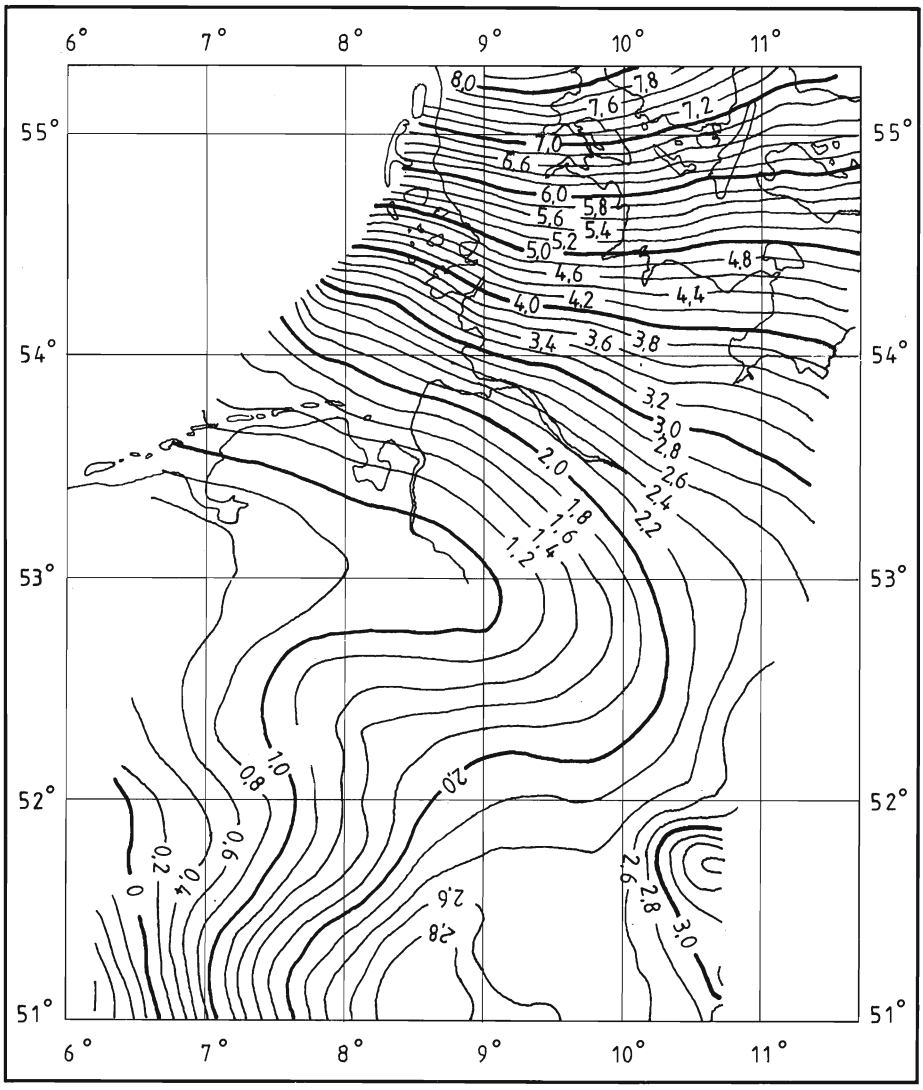


Abb. 3: Astrogeodätisches Quasigeoid von Norddeutschland, DHDN-Datum, nach Bäumker (1984).

chenen Quasigeoiddifferenzen kann durch eine entfernungsabhängige Funktion approximiert werden (Abb. 4),ab S = 40 km wird eine Genauigkeit von $\pm 1 \times 10^{-6}$S erreicht. Für die 84 Netzpunkte, in denen keine Lotabweichungsbeobachtungen vorlagen, wurden die Quasigeoidhöhen durch eine iterative Kollokation interpoliert, nach Abspaltung eines Flächenpoly-

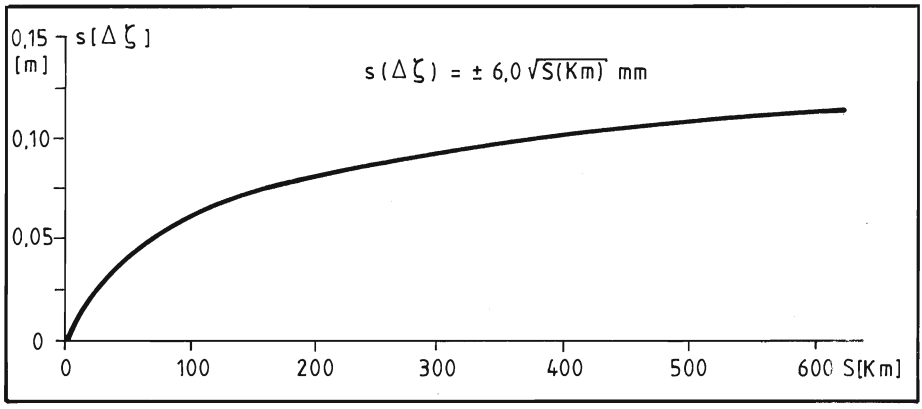


Abb. 4: Genauigkeit (Standardabweichung s) der Quasigeoidhöhendifferenzen $\Delta \varsigma$ in Abhängigkeit vom Punktabstand S, nach Bäumker (1984)

noms 2. Grades ließ sich die Korrelation der restlichen Quasigeoidsignale dabei durch die Kovarianzfunktion
$\mathrm{cov}(\varsigma, \varsigma) = 0{,}267 \exp(-0{,}000133\, S^2_{km})\ (m^2)$
beschreiben.

- *Satellitendopplerkoordinaten* in 15 Stationen (Abb. 1). Diese Koordinaten waren in drei verschiedenen Kampagnen gewonnen worden (DÖDOC: Rinner et al. 1982, FPNDOC: Seeber et al. 1982, NIEDOC: Egge et al. 1983). Vergleiche mit den terrestrischen Datean zeigten in der ursprünglichen Fehlerrechnung nicht erfaßte systematische Effekte auf, so daß die mittlere Standardabweichung der Koordinaten auf ± 0,3 m (Positionsbestimmung mit Hilfe der Precise Ephemeris) bzw. ± 1,2 m (Broadcast Ephemeris) vergrößert wurde. Wegen der hohen Korrelation gleichzeitig beobachteter Stationen ist die Genauigkeit von Koordinatendifferenzen recht hoch. Sie liegt – unabhängig vom Satellitensystem und von der Entfernung (Bereich 60 ... 400 km) – im Mittel bei ± 0,3 m (Lage) bzw. ± 0,2 m (Höhe).

4.2 *Ausgleichungsresultate*

Mit dem im Abschnitt 4.1 aufgeführten Beobachtungsmaterial wurden zunächst Einzel- und Kombinationsausgleichungen verschiedener Beobachtungsgruppen durchgeführt mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Datensätze zu untersuchen und die funktionalen und stochastischen Modelle zu überprüfen (evtl. Berücksichtigung systematischer Effekte, Elimination von Ausreißern, Verbesserung der Gewichtsansätze). Hierauf aufbauend lieferte die *Gesamtausgleichung* (Bäumker 1984) dann die ausgeglichenen dreidimensionalen Koordinaten der Netzpunkte mit ihrer Varianz-Kovarianz-

matrix in kartesischen und – nach entsprechender Transformation – in ellipsoidischen Koordinaten für zwei verschiedene Systeme:

- DHDN-Datum (Bessel-Ellipsoid in nicht geozentrischer Lagerung), Maßstab des internationalen Meters,
- DÖDOC (Deutsch-Österreichische Dopplerkampagne)-Datum (Ellipsoid des Geodätischen Referenzsystems 1980 in geozentrischer Lagerung), Maßstab des internationalen Meters (Rinner et al. 1982).

Wir fassen die wichtigsten *Resultate* der Ausgleichungen zusammen:

- die terrestrischen Streckenmessungen [Standardabweichung ausgeglichener Größen $\pm 4{,}5\sqrt{S(\mathrm{km})}$ (mm)] legen im wesentlichen die *Punktlage* fest. Wegen der anderen Fehlerfortpflanzung werden sie jedoch mit wachsender Distanz vom Netzzentrum zunehmend durch die Horizontalrichtungsmessungen gestützt (Standardabweichung abgeleiteter Strecken $\pm 1{,}4 \times 10^{-6} S$) mit dem Ergebnis, daß das kombinierte Strecken-/Richtungsnetz homogene Netzgenauigkeit aufweist [Standardabweichung ausgeglichener Strecken $\pm 2{,}7\sqrt{S(\mathrm{km})}$ (mm), siehe Abb. 5.] Die mittlere Lagegenauigkeit (bezogen auf das Datum eines freien Netzes) beträgt $\pm$ 0,04 m,

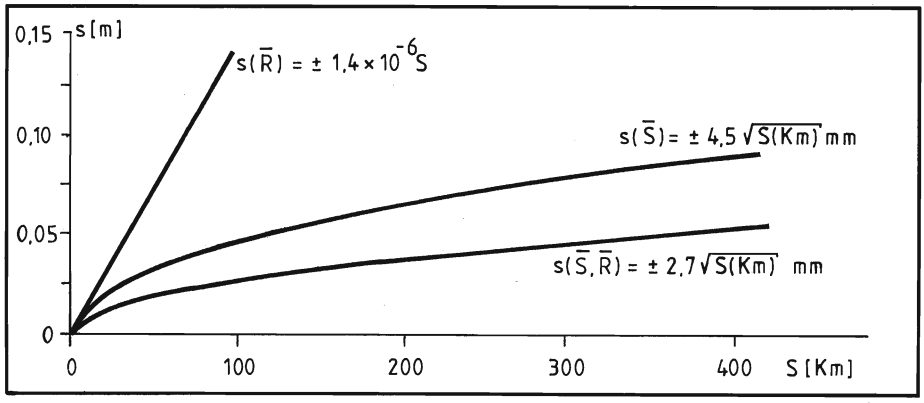


Abb. 5: Genauigkeit (Standardabweichung s) abgeleiteter Strecken in Abhängigkeit vom Punktabstand S für das Horizontalrichtungsnetz (R), das Streckennetz (S) und das kombinierte Netz (S, R), nach Bäumker (1984).

- die *Höhen* werden ausschließlich durch die aus dem geometrisch-astronomischen Nivellement abgeleiteten ellipsoidischen Höhen festgelegt, die Genauigkeit der Höhendifferenzen ist mit $\pm 6{,}0\sqrt{S(\mathrm{km})}$ (mm) nur geringfügig schlechter als die der Lagekomponenten, die mittlere Höhengenauigkeit beträgt $\pm$ 0,1 m,

- die Satelliten-Dopplerresultate beheben den Datumsdefekt des terrestrischen Netzes und bewirken eine *geozentrische Lagerung* mit einer Genauigkeit von ± 0,2 m (Precise Ephemeris-Datum),
- die *azimutale Orientierung* gelingt durch die Dopplerkoordinaten mit einer Genauigkeit von ± 0,07", so daß die Laplace-Azimute (bestmögliche Netzorientierung mit einer Genauigkeit von ± 0,14") keinen wesentlichen Beitrag leisten,
- die räumlichen Punktlagen werden durch die Dopplerresultate nicht verbessert, allerdings kommt die Höhengenauigkeit der relativen Genauigkeit ellipsoidischer Höhen bereits nahe,
- die Korrelation zwischen den Lage- und Höhenparametern ist bei einem überwiegend im Flachland gelegenen Netz gering. Die berechneten Lagekoordinaten sind identisch mit den Werten, die sich aus einer zweidimensionalen Ausgleichung der auf das Ellipsoid reduzierten Beobachtungen ergeben.

5 Ausblick

Die Untersuchungen im Testnetz Norddeutschland haben gezeigt, daß bei einem hochwertigen terrestrischen Netz im Flachland relative Lagegenauigkeiten von etwa $\pm 10^{-6} \ldots 10^{-7} S$ ($S = 10 \ldots 500$ km) erreichbar sind. Die Genauigkeit der astrogeodätischen Bestimmung des Quasigeoids und der daraus und aus dem geometrischen Nivellement abgeleiteten ellipsoidischen Höhen ist um den Faktor zwei geringer. Satelliten-Dopplerkoordinaten legen die räumliche Orientierung des Netzes so gut fest, daß auf astronomische Orientierungsgrößen verzichtet werden kann.

Eine weitere Verbesserung regionaler Grundnetze in Bezug auf die Netzhomogenität, die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit (»cm«-Genauigkeit) ist von Seiten der Geowissenschaften und von großräumigen Nutzern im Ingenieurbereich erwünscht und mit vorhandenen oder in naher Zukunft zu erwartenden Möglichkeiten auch der Realisierung näher gerückt. Folgende Datensätze sind hierzu vordringlich zu nutzen:

- vorhandene nachgeordnete terrestrische Messungen (insbesondere Streckenmessungen) hoher Präzision, ein Beispiel hierfür (gemeinsame Bearbeitung der Lagenetze 1. und 2. Ordnung) findet sich bei Augath (1984a),
- zukünftig in verschiedenen Entfernungsbereichen (einige km ... 100 km) anfallende GPS-Messungen (Seeber et al. 1984),
- vorhandene Punktschweredaten und topographische Information (hochauflösendes digitales Geländemodell),
- auf eine einheitliche Referenzfläche bezogene Nivellementshöhen, wobei eine engere Verbindung zwischen Lage- und Höhensystemen anzustreben ist.

Die Leistungsfähigkeit gravimetrischer Methoden bei Benutzung *mittlerer* Schwereanomalien konnte bereits bei Lotabweichungs- und Quasigeoidberechnungen für Europa und seine Randmeere nachgewiesen werden (Weber 1984, Torge et al. 1983).

Mit dem vorhandenen Datenmaterial begrenzter Auflösung ließen sich dabei Lotabweichungen mit einer mittleren Genauigkeit von $\pm 2''$ und Quasigeoidhöhendifferenzen mit einer durch den Ansatz $\pm 0{,}035 \sqrt{S(\mathrm{km})}(\mathrm{m})$ darstellbaren Fehlerfunktion bestimmen.

Die sachgerechte Nutzung dieser Daten verlangt ferner
- die Weiterentwicklung der funktionalen und stochastischen Modelle besonders für die neuen Raumtechniken und für die Höhen- und Schwerefeldbestimmung einschließlich der Berücksichtigung bisher vernachlässigbarer Anteile,
- den entsprechenden Ausbau der Ausgleichungsprogramme einschließlich der Erweiterung auf eine wesentlich größere Anzahl von Unbekannten,
- die Überprüfung der Modelle mit gemessenen Daten in Testnetzen entsprechend großer Ausdehnung.

Das Institut für Erdmessung der Universität Hannover hat bereits mit Untersuchungen zu den oben genannten Fragestellungen begonnen. Diese Arbeiten sollen im Rahmen spezieller Forschungsvorhaben »Satellitengestützte Systeme zur präzisen Punktbestimmung« und »Präzise Höhen- und Schwerefeldbestimmung« intensiviert werden, wobei weiterhin eine enge Kooperation mit der Abteilung Landesvermessung des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes geplant ist.

Das rasche Eindringen der GPS-Satellitentechniken in klassische Landesvermessungssysteme (z. B. Lindstrot 1983) zeigt, daß Forschungsarbeiten dieser Art durchaus nicht nur von wissenschaftlichem Interesse sind. Nachdem klassische Satellitenmethoden bereits einen festen Platz bei der Anlage oder Stützung von Festpunktfeldern in Entwicklungsländern gefunden haben (Hoyer 1982, Schödlbauer 1983), werden Raumtechniken in Zukunft auch bei großräumigeren Ingenieurprojekten größere Anwendung finden. Die in Zentraleuropa seit langem auf einem hohen Niveau stehende Geodäsie muß diesen Entwicklungen von Seiten der Wissenschaft *und* der Praxis nicht nur folgen, sondern sollte sie auch mit vorantreiben. Nur dann bleibt die deutsche Geodäsie im Rahmen des internationalen Wissens- und Technologie-Transfers auch ein gesuchter Partner für andere und insbesondere für die sich entwickelnden Länder.

Dank: Die Verfasser benutzen gern diese Gelegenheit, der Abteilung Landesvermessung des Niedersächsischen Landesverwaltungsamtes für die in Niedersachsen seit langem praktizierte hervorragende Zusammenarbeit zu danken. Dieser Dank gilt besonders dem Abteilungsdirektor Dr.-Ing. B. Wendt und den Mitarbeitern des Dezernats »Grundlagenvermessung«, vor allem dem Dezernatsleiter Dr.-Ing. W. Augath.

6 Literatur

Augath, W. Die Neukoordinierung des niedersächsischen Anteils am Deutschen Hauptdreiecksnetz (DHDN) und des TP-Netzes 2. Ordnung. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 34. Jahrgang, Seiten 173 bis 200, 1984a

Augath, W. Moderne Grundlagenvermessung im norddeutschen Raum – Anforderungen und Realisierungen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 109. Jahrgang, Seiten 12 bis 19, 1984b

Bäumker, M. Zur dreidimensionalen Ausgleichung von terrestrischen und Satellitenbeobachtungen. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 130, 1984

Boedecker, G. Astrograviemetrisch-topographisches Nivellement. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 64, 1976

Bruns, H. Die Figur der Erde. Publikation Königlich Preußisches Geodätisches Institut, Berlin 1978

Egge, D., Schenke, H. W., Seeber, G., Augath, W. The NIEDOC 81 Doppler Campaign-GEODOP V Short Arc results. XVIII. IUGG-IAG-General Assembly, Hamburg 1983

Geßler, J. Entwicklung und Erprobung einer transportablen Zenitkamera für astronomisch-geodätische Ortsbestimmungen. Wissenschaftliche Arbeiten Lehrstühle Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Hannover, Nr. 60, 1976

Heineke, U., Torge, W. Determination of a fine structured astrogeodetic geoid in a tidal flat area of the North Sea. Marine Geodesy, Jahrgang 2, Seiten 201 bis 214, 1979

Hoyer, M. Satelliten-Dopplermessungen als unterstützende Beobachtungen bei der Kontrolle und Verbesserung eines geodätischen Netzes in Venezuela. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 111, 1982

Lelgemann, D., Ehlert, D., Hauck, H. Eine astro-gravimetrische Berechnung des Quasigeoids für die Bundesrepublik Deutschland. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe A, Nr. 92, Frankfurt a. M. 1981

Lindstrot, W. Das Macrometer – ein neues Satellitenvermessungssystem und sein erstmaliger Einsatz in der TP-Bestimmung. BDVI Forum, Seiten 208 bis 211, 1983

Niemeier, W. Netzqualität und Optimierung. In: H. Pelzer (Herausgeber), Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Seiten 153 bis 224, K. Wittwer, Stuttgart 1985

Pötschner, W. Die Anpassung des Lagefestpunktfeldes an die heutigen Genauigkeitsansprüche. Zeitschrift für Vermessungswesen, 102. Jahrgang, Seiten 157 bis 165, 1977

Rinner, K., Seeger, H., Seeber, G. et al. Die Deutsch-Österreichische Dopplermeßkampange DÖDOC – Auswertung und Ergebnisse. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Nr. 260, Frankfurt a. M. 1982

Schenke, H. W. Untersuchungen zur Genauigkeit von Doppler-Satellitenbeobachtungen im Testnetz Westharz. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 129, 1984

Schödlbauer, A. Einrichtung eines geodätischen Festpunktfeldes erster Ordnung in der Republik Elfenbeinküste mit Hilfe des Navy Navigation Satellite Systems. Zeitschrift für Vermessungswesen, 108. Jahrgang, Seiten 309 bis 313, 1983

Seeber, G. Die Rolle des NAVSTAR Global Positioning Systems für die Lösung geodätischer Aufgaben. Zeitschrift für Vermessungswesen, 109. Jahrgang, Seiten 1 bis 11, 1984

Seeber, G. Netze der Satellitengeodäsie. In: H. Pelzer (Herausgeber), Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Seiten 335 bis 372, K. Wittwer, Stuttgart 1985

Seeber, G., Egge, D., Hoyer, M., Schenke, H. W., Schmidt, K. H. Einsatzmöglichkeiten von Doppler-Satellitenmessungen. Allgemeine Vermessungsnachrichten, 89. Jahrgang, Seiten 373 bis 388, 1982

Seeber, G., Egge, D., Wübbena, G. Erste Erfahrungen mit einem TI 4100 GPS-Empfangssystem. Zeitschrift für Vermessungswesen, 109. Jahrgang, Seiten 435 bis 438, 1984

Torge, W. Geodäsie. W. de Gruyter, Berlin - New York 1975

Torge, W. Untersuchungen zur Höhen- und Geoidbestimmung im dreidimensionalen Testnetz Westharz. Zeitschrift für Vermessungswesen, 102. Jahrgang, Seiten 173 bis 186, 1977

Torge, W. Zwei- und dreidimensionale Modellbildung. In: H. Pelzer (Herausgeber),Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Seiten 113 bis 130, K. Wittwer, Stuttgart 1980a

Torge, W. Geodätisches Datum und Datumstransformation. In: H. Pelzer (Herausgeber), Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Seiten 131 bis 140, K. Wittwer, Stuttgart 1980b

Torge, W. Dreidimensionale Netze. In: H. Pelzer (Herausgeber), Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Seiten 313 bis 331, K. Wittwer, Stuttgart 1985

Torge, W.
Wenzel, H.-G.
Dreidimensionale Ausgleichung des Testnetzes Westharz. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Nr. 234, München 1978

Torge W.,
Weber, G.,
Wenzel, H.-G.
Ein hochauflösendes gravimetrisches Geoid für Europa und angrenzende Meeresbereiche. Zeitschrift für Vermessungswesen, 108. Jahrgang, Seiten 321 bis 331, 1983

Weber, G.
Hochauflösende mittlere Freiluftanomalien und gravimetrische Lotabweichungen für Europa. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 135, 1984

Wenzel, H.-G.
Zur Geoidbestimmung durch Kombination von Schwereanomalien mit einem Kugelfunktionsmodell mit Hilfe von Integralformeln. Zeitschrift für Vermessungswesen, 106. Jahrgang, Seiten 101 bis 111, 1981

Wissel, H.
Zur Leistungsfähigkeit von transportablen Zenitkameras bei der Lotabweichungsbestimmung. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 107, 1982

Wolf, H.
Über die Einführung von Normalhöhen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 99. Jahrgang, Seiten 1 bis 5, 1974

Wolf, H.
Erdmessung und Landesvermessung in ihren heutigen Wechselbeziehungen. Zeitschrift für Vermessungswesen, 108. Jahrgang, Seiten 1 bis 7, 1983

Die Überprüfung der Neukoordinierung der niedersächsischen TP-Netze 1. und 2. Ordnung mit Meßverfahren der Satellitengeodäsie

– Bericht über die Meßkampagnen »NIEDOC 81« und »NIEMAC 83« –

Von Wolfgang Augath und Günter Seeber

1 **Einleitung**

2 **Neue technische Möglichkeiten in der Grundlagenvermessung**

2.1 *Punktbestimmung mit Doppler-Satellitenmessungen*
2.2 *Punktbestimmung mit dem Global Positioning System (GPS-System)*

3 **Die niedersächsischen Satellitenmeßkampagnen**

3.1 *Die Niedersächsische Dopplerkampagne »NIEDOC 81«*
3.2 *Die Niedersächsische Macrometerkampagne »NIEMAC 83«*

4 **Ausblick**

5 **Literatur**

1 Einleitung

In Niedersachsen ist in den letzten Jahren mit Hilfe von Streckenmessungen mit Mikrowellengeräten (Meliß, Umbach 1985) ein modernes Lagegrundnetz aufgebaut worden, das über eine hohe interne Präzision und Zuverlässigkeit im gesamten Landesgebiet verfügt (Heide, Heineke, 1985). Da hierbei jedoch im wesentlichen Beobachtungen aus dem TP-Netz 2. Ordnung nach dem Prinzip »Vom Kleinen ins Große« verwendet wurden, müssen auch die Risiken dieser Vorgehensweise – das Auftreten und Aufsummieren von systematischen Fehlern – bedacht werden. Eine wirksame Absicherung hätte z. B. das gezielte Nachmessen langer Strecken mit elektrooptischen Streckenmeßgeräten dargestellt, da diese ein völlig anderes stochastisches Verhalten aufweisen. Aus Kostengründen mußte davon jedoch Abstand genommen werden.

Eine echte unabhängige Kontrolle regionaler Art konnte jedoch ohne großen Aufwand mit Hilfe der neuen technischen Möglichkeiten der Satellitengeodäsie vorgenommen werden. Alle diese Arbeiten fanden im Rahmen der bewährten »Kooperation ohne Verträge« (Wendt, 1981) zwischen der Universität Hannover (hier: Institut für Erdmessung) und der niedersächsischen Landesver-

messung zum Nutzen beider Institutionen statt. An dieser Stelle soll nun über diese Arbeiten aus dem Blickwinkel der *Überprüfung der Neukoordinierung* der TP-Netze 1. und 2. Ordnung zusammenfassend berichtet werden.

2 Neue technische Möglichkeiten in der Grundlagenvermessung

Künstliche Erdsatelliten haben in vielen Bereichen der Wissenschaft und Technik einen festen Platz eingenommen. Dies gilt auch für die Geodäsie, wo die Anwendung der künstlichen Raumflugkörper zu einer eigenen Disziplin, der Satellitengeodäsie entwickelt wurde.

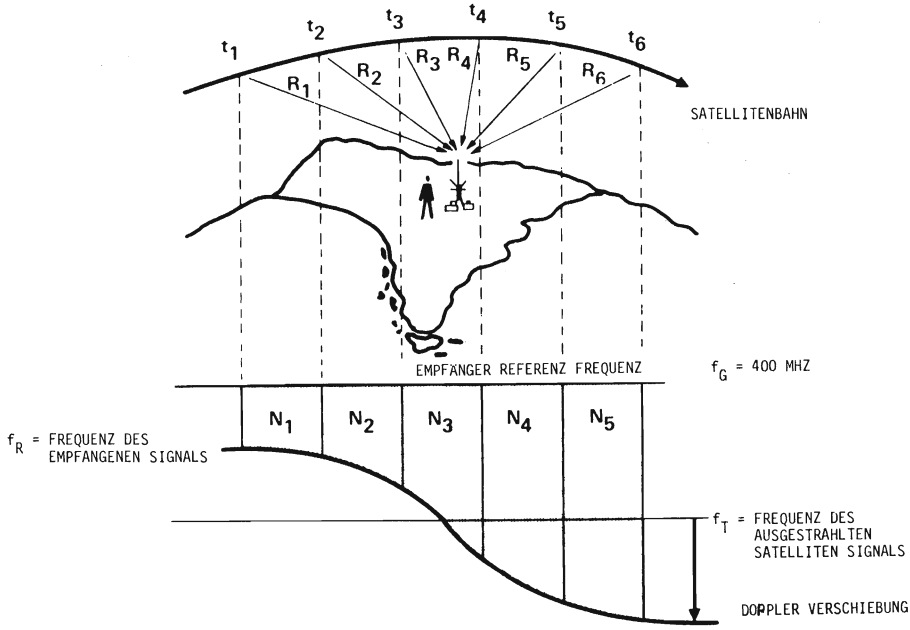
In den Anfangsjahren nach dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten Sputnik 1 am 4. Oktober 1957 standen globale und großräumige Fragestellungen im Vordergrund des Interesses. Es ging beispielsweise darum, den Abplattungswert eines bestanschließenden Erdellipsoids zu ermitteln, die Kenntnis des Erdschwerefeldes zu verbessern und Kontinente geodätisch miteinander zu verbinden. In den letzten Jahren hat die Satellitengeodäsie aber auch zunehmend Eingang in die Vermessungspraxis auf regionaler oder lokaler Ebene gefunden. Dabei haben sich vier Hauptgesichtspunkte herausgestellt:

1. die Methoden erlauben absolute geodätische Positionsbestimmung in entlegenen Gebieten, die keinen Anschluß an herkömmliche geodätische Netze haben;
2. sie liefern geozentrische Koordinaten in einem einheitlichen globalen Koordinatensystem, so daß unterschiedliche geodätische Netze miteinander verbunden werden können;
3. durch Satellitenmethoden können konventionelle terrestrische Messungen überprüft werden;
4. die relative Positionsbestimmung mit Satellitenverfahren kann in vielen Fällen wirtschaftlicher als mit konventionellen terrestrischen Methoden ausgeführt werden.

Insgesamt hat diese Entwicklung dazu geführt, daß in Entwicklungsländern mit unzureichenden geodätischen Grundlagen heute für die Anlage der Festpunktfelder 0. und 1. Ordnung nahezu ausschließlich die Satellitengeodäsie genutzt wird. Mit zunehmender Genauigkeitssteigerung der Verfahren wurde die Satellitengeodäsie aber auch für Länder mit guten geodätischen Grundlagen interessant, wobei insbesondere die Gesichtspunkte 3. und 4. im Vordergrund stehen. So wurden und werden auch in Niedersachsen Methoden der Satellitengeodäsie für Forschungs- und Versuchszwecke im Hauptdreiecksnetz eingesetzt. Für die Zukunft zeichnet sich eine verstärkte Nutzung dieser Verfahren auch in Verdichtungsnetzen ab. Verbunden sind die Methoden mit den Bezeichnungen »Dopplermessungen«, »Macrometermessungen« oder »GPS-Messungen«. In diesem Beitrag sollen die Grundzüge dieser Verfahren kurz erläutert und diesbezügliche Arbeiten in Niedersachsen vorgestellt werden.

2.1 *Punktbestimmung mit Doppler-Satellitenmessungen*

Etwa von 1970 bis 1982 waren Satellitenbeobachtungen für Zwecke der Landesvermessung ausschließlich mit dem Begriff »Dopplermessungen« verknüpft. Bei diesem Verfahren wird der sogenannte »Dopplereffekt« benutzt, benannt nach dem Physiker Christian DOPPLER. Hierunter versteht man die Frequenzverschiebung eines Wellensignals, wenn Sender und Empfänger zueinander eine Relativbewegung ausführen. Die gemessene Frequenzverschiebung ist damit ein Maß für die Entfernungsänderung zwischen Sender (= Satellit) und Beobachter (= Empfangsanlage auf TP). Man kann nun verhältnismäßig einfache mathematische Beziehungen aufstellen, die es gestatten, aus der Messung des Dopplereffekts und den bekannten Bahnkoordinaten der zugehörigen Satelliten die Koordinaten des Beobachters abzuleiten (vergleiche Abb. 1).



$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/C}^{t_2 + R_2 C} \left(f_G - f_R\right) dt = \left(f_G - f_T\right)\left(t_2 - t_1\right) + \frac{f_G}{C}\left(R_2 - R_1\right)$$

Abb. 1: Prinzip der Transit-Dopplerpositionsbestimmung

Dieser Grundgedanke wurde mit dem Transitsystem NNSS realisiert, das aus 5 Satelliten in ca. 1000 km hohen polaren Bahnen besteht. Diese Satelliten werden von Bodenstationen aus genau überwacht und senden neben zwei stabilen Frequenzen (für die Erzeugung des Dopplereffektes) ständig Informationen über ihre Bahn aus. Nutzer mit geeigneten Empfangsanlagen und Auswerte-

programmen können damit überall in der Welt ihre eigenen Standortkoordinaten bestimmen. Diese Koordinaten beziehen sich, ebenso wie die Satellitenkoordinaten, auf ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem, dessen Ursprung im Massenmittelpunkt der Erde liegt. Diese »absoluten« Koordinaten lassen sich mit einer Genauigkeit von ± 3 ... 5 m bestimmen.

Wenn gleichzeitig auf zwei oder mehr Empfangsstationen im Arbeitsgebiet beobachtet wird, dann wirken sich Fehler in der Kenntnis der Satellitenbahn oder der Signalausbreitung in der Atmosphäre etwa in gleicher Weise auf die Stationskoordinaten aus. Deshalb lassen sich Koordiantendifferenzen auf benachbarten Stationen bis zu wenigen Hundert km mit wesentlich höherer Genauigkeit von einigen Dezimetern bestimmen. Aus diesen Grunde wird für geodätische Arbeiten heute ausschließlich dieses sogenannte Translocation- oder Mehrstationsverfahren verwendet.

Bei umfangreichen Forschungsarbeiten, die vom Institut für Erdmessung der Universität Hannover im Testnetz Westharz durchgeführt wurden, hat sich herausgestellt, daß nach etwa einwöchiger Dopplerbeobachtung Koordinatendifferenzen mit einer mittleren Genauigkeit von ± 0,15 m bestimmt werden können (Schenke 1984). Für den Bereich von ganz Niedersachsen wurde 1981 ein Dopplernetz von 8 Stationen bestimmt. Hierzu werden in Abschnitt 3.1 die Ergebnisse mitgeteilt.

Weiterführende Angaben zum Einsatz von Dopplermessungen in der Geodäsie sowie zum internationalen Schrifttum finden sich bei Seeber 1984b, Seeber 1985.

2.2 *Punktbestimmung mit dem Global Positioning System (GPS-System)*

Das Transit-Dopplerverfahren hat zwei wesentliche Nachteile, die einen regelmäßigen Einsatz für Zwecke der Landesvermessung in einem gut vermessenen Land ausschließen: die kaum zu unterschreitende Genauigkeitsgrenze liegt bei etwa ± 0,1 ... 0,2 m und die zugehörige Beobachtungsdauer beträgt etwa eine Woche.

Hier eröffnet das neue Satellitensystem NAVSTAR-GPS wesentlich weitergehende Möglichkeiten. Nach etwa einstündiger Beobachtungszeit auf wenigstens zwei simultan besetzten Punkten wird eine Relativgenauigkeit von wenigen cm erwartet. Gegenwärtig wird untersucht, ob auch ± 1 cm über Entfernungen von 10 ... 20 km gesichert sind.

Das GPS-System wird von den USA als neues Navigationssystem aufgebaut. Es wird im Endausbau 1989 insgesamt 18 Satelliten in 20 000 km Höhe enthalten, so daß ständig mindestens 4 Satelliten über dem Horizont stehen. Gegenwärtig sind 6 Satelliten nutzbar, die etwa für 4 bis 6 Stunden täglich Beobachtungen ermöglichen.

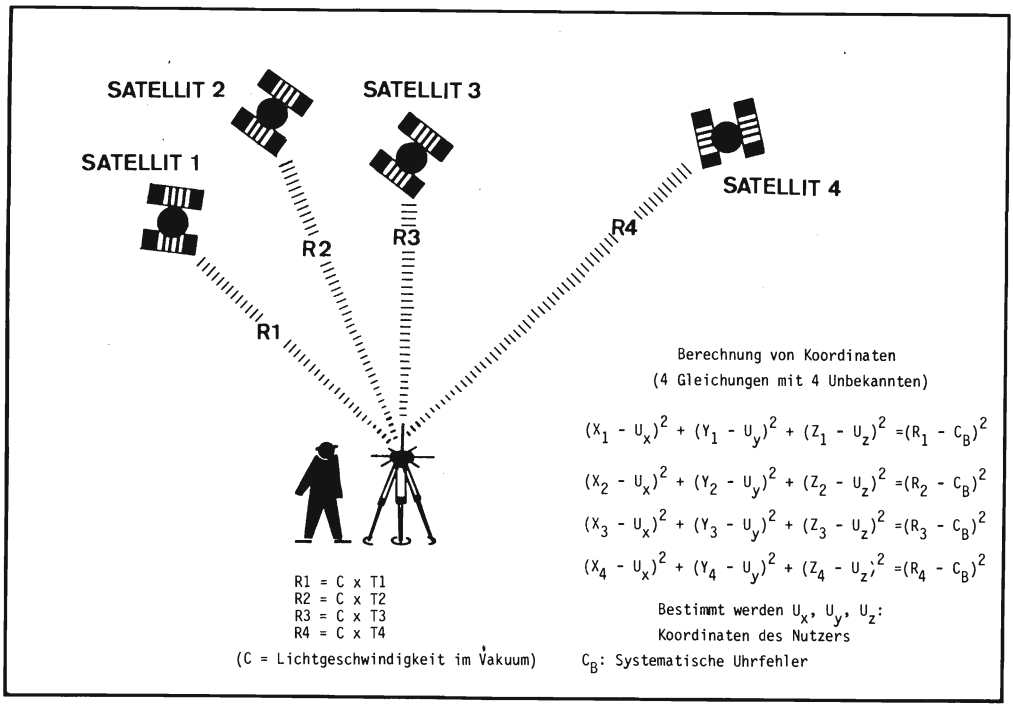


Abb. 2: Prinzip der Positionsbestimmung mit GPS durch Entfernungsmessungen

Das grundlegende Beobachtungskonzept ist die Entfernungsmessung zwischen dem Beobachter und vier Satelliten (Abb. 2), so daß die Beobachtungsposition durch räumlichen Bogenschlag bestimmt wird. Hierzu müssen die Satellitenkoordinaten aus den ständig abgestrahlten Satellitensignalen entschlüsselt werden, und es muß ein Code zur Entfernungsmessung bekannt sein. Für autorisierte Nutzer ist damit jederzeit eine Positionsbestimmung auf wenige Meter möglich.

Für die geodätische Anwendung interessanter ist die sogenannte Phasenmessung. Hierbei wird die Phasenlage der von den Satelliten gesendeten Trägerwellen auf mindestens zwei Empfangsstationen miteinander verglichen. Da die Wellenlänge mit etwa 20 cm sehr klein ist, führt die Phasenauflösung sehr schnell zu einem Genauigkeitsbereich von wenigen cm oder sogar mm. Durch die geeignete Kombination der Messungen auf verschiedenen Stationen zu verschiedenen Satelliten und bei Kenntnis der Satellitenpositionen lassen sich dann Koordinatendifferenzen zwischen den Beobachtungsstationen ebenfalls mit cm-Genauigkeit ableiten. Um die Anzahl der ganzen Wellenzüge zu bestimmen, d. h. um die Mehrdeutigkeiten zu lösen, muß etwa eine Stunde lang beobachtet werden. Sind die Satellitenkoordinaten während der Meßzeit nicht bekannt, muß etwa 4 bis 6 Stunden beobachtet werden.

Gegenwärtig werden zur Nutzung der GPS-Signale für die Geodäsie zwei Empfängertypen eingesetzt. Um die Trägerphasen messen zu können, müssen die Satellitensignale vom Code befreit werden. Bei bekanntem Code geschieht

dies durch einfache Subtraktion. Ein solcher Empfänger ist der TI 4100 von Texas Instruments, der an der Universität Hannover eingesetzt wird. Vorteil dieses Verfahrens ist u. a., daß die Satellitenkoordinaten entschlüsselt und während der Beobachtungs- und Auswertephase genutzt werden können. Dies ist insbesondere für Navigationsaufgaben wichtig. Nachteilig kann sein, daß die entsprechenden Codes nach 1990 möglicherweise nicht mehr für jedermann verfügbar sind.

Ohne Kenntnis des Codes arbeitet das Macrometer V 1000. Hier werden die empfangenen Signale miteinander multipliziert, so daß ein Wellensignal von doppelter Frequenz der Trägerwelle entsteht. Ein Vorteil ist in der Codeunabhängigkeit zu sehen. Nachteilig ist die längere Beobachtungsdauer von 4 bis 6 Stunden und die Notwendigkeit, Bahndaten auf anderem Wege zu beschaffen.

Beide Empfängertypen haben ihre Leistungsfähigkeit für Zwecke der Landesvermessung nachgewiesen. Für die kommenden Jahre sind weitere interessante Entwicklungen zu erwarten. Nähere Informationen zur geodätischen Nutzung von GPS findet man u. a. bei Seeber 1984 a und Lindstrot 1984.

3 Die niedersächsischen Satellitenmeßkampagnen

3.1 *Die Niedersächsische Dopplerkampagne NIEDOC 81*

Niedersachsen war in den vergangenen Jahren häufiger Schauplatz von Satelliten-Dopplermessungen. Genannt seien u. a. die Europäische Dopplerkampagne EDOC2 (1977), die Deutsch-Österreichische Dopplerkampagne DOEDOC (1977), das Dopplernetz im Testnetz Westharz HARDOC (1980) und das Europäische Dopplernetz zum Retrig RETDOC (1984). Im Jahre 1981 wurde mit NIEDOC 81 erstmalig ein umfassendes Dopplernetz auf dem Gesamtgebiet eines einzelnen Bundeslandes beobachtet. Ähnliche Arbeiten wurden später auch in anderen Bundesländern durchgeführt, so z. B. in Rheinland-Pfalz (Frevel u. a. 1984).

NIEDOC 81 wurde vom 26. 10. bis 6. 11. 1981 durchgeführt. Hauptziele waren dabei:

1) Untersuchung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit des Transit Satellitensystems für die Positionsbestimmung in einem genauen Vergleichsnetz mittlerer Größe;
2) Untersuchung der Übereinstimmung eines modernen terrestrischen Kontrollnetzes mit Weltraummethoden;
3) Bestimmung von Transformationsparametern zwischen Satellitendatum und terrestrischem Datum für das Untersuchungsgebiet;
4) Bestimmung eines sehr genauen Basisdatensatzes von Dopplerkoordinaten für wissenschaftliche und praktische Zwecke, wie z. B. Vergleiche und Kombination mit terrestrischen geodätischen Daten und gegebenenfalls spätere Wiederholungsbeobachtungen mit anderen Methoden.

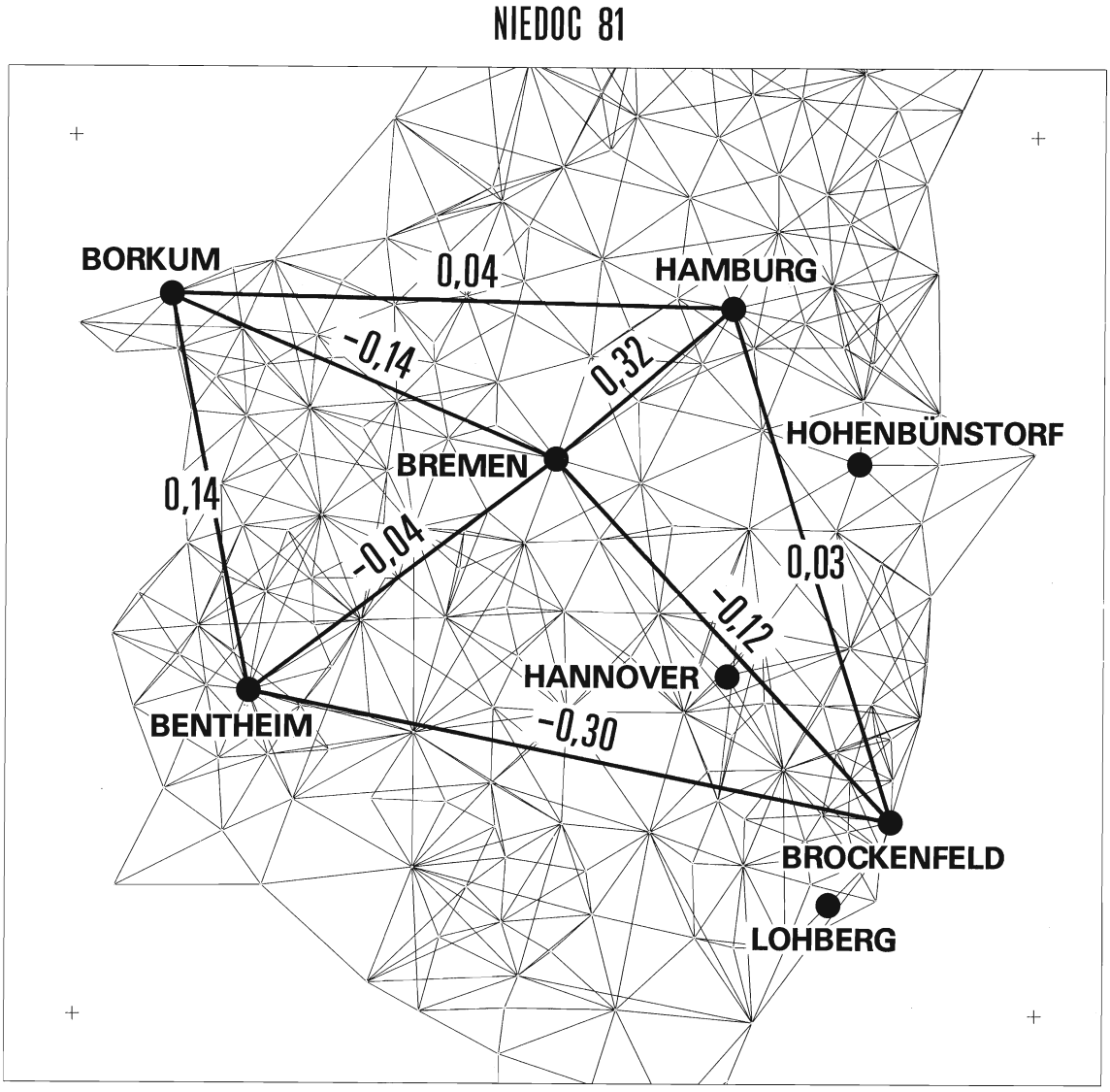


Abb. 3: Stationsverteilung im Niedersächsischen Dopplernetz NIEDOC 81

Für die Dopplerbeobachtungen wurden acht Empfangsanlagen eingesetzt, so daß simultan auf acht Stationen gemessen werden konnte (Abb. 3). Neben den drei Dopplerempfangsanlagen des Instituts für Erdmessung kamen Geräte der folgenden Institutionen zum Einsatz

- Technische Universität Delft, Afdeling der Geodesie, Niederlande
- Rijkswaterstaat, Den Haag, Niederlande
- Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung, Bremerhaven
- Geodätisches Institut, Universität Bonn.

Den beteiligten Instituten sei auch an dieser Stelle für ihre Bereitschaft gedankt, das Vorhaben zu unterstützen. Die Stationsbezeichnungen und die Geräteverteilung sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Stations-Nr.	Abkürzung	Name	Gerätetyp
1	BOR	Borkum	MX 1502 (Magnavox)
2	HBG	Hamburg	MX 1502
3	BRM	Bremen	CMA 761 (Marconi)
4	HHB	Hohen-bünstorf	CMA 761
5	HAN	Hannover	MX 1502
6	BTM	Bentheim	CMA 751 (Marconi)
7	BRO	Brockenfeld	CMA 751
8	LOH	Lohberg	CMA 751

Tabelle 1: NIEDOC 81 Stationen

Die Auswertung der Dopplerbeobachtungen erfolgte mit dem Programmsystem GEODOP V, das u. a. über die Option eines Short Arc Ansatzes verfügt, d. h. im Zuge der Berechnung wird die Satellitenbahn mit ausgeglichen.

Die Genauigkeit der Satellitenmessungen konnte aus einem Vergleich zu den terrestrisch bestimmten Koordinaten abgeschätzt werden. Da Ergebnisse der Satellitengeodäsie naturgemäß in einem dreidimensionalen geozentrischen Koordinatensystem gegeben sind, mußten die terrestrischen Koordinaten zunächst in ellipsoidische Koordinaten φ, λ, h umgewandelt werden. Ellipsoidische Höhen h wurden durch Addition der Höhen über NN mit Geoidundulationen erzeugt. Nach einer 7-Parameter-Transformation (Helmert-Transformation) beider Datensätze aufeinander ergaben sich die in Tab. 2 nachgewiesenen Residuen.

Weitere Hinweise auf die Qualität der Dopplerbeobachtungen findet man, wenn die abgeleiteten Größen Schrägstrecke, Höhendifferenz und Azimut sowohl aus Koordinaten des Dopplernetzes als auch des terrestrischen Netzes gerechnet und miteinander verglichen werden. Als Mittelwerte der Abweichungen ergeben sich für Schrägstrecken $\pm$ 0,2 m, für ellipsoidische Höhendifferenzen $\pm$ 0,1 m und für die Azimute $\pm$ 0,3″. Detaillierte Analysen nach unterschiedlichen Kriterien finden sich bei Egge u. a. 1983, Seeber und Seeger 1984.

Station	Nord (m)	Ost (m)	Höhe (m)
1 BOR	–0,02	0,02	0,04
2 HBG	0,32	–0,01	–0,06
3 BRM	0,03	–0,12	–0,13
4 HHB	–0,15	0,10	0,12
5 HAN	–0,10	0,15	0,10
6 BTM	–0,16	0,12	0,00
7 BRO	0,15	–0,21	–0,11
8 LOH	–0,06	–0,07	0,03

Tabelle 2: Residuen nach räumlicher Helmert-Transformation (Auswertung mit präzisen Ephemeriden ohne ionosphärische Korrektur höherer Ordnung)

Aus einer kombinierten Ausgleichung von Dopplermessungen und terrestrischen Messungen ergab sich erwartungsgemäß, daß eine Verbesserung der Lagekoordinaten des terrestrischen Netzes nicht zu erzielen war. Die mittleren Fehler für Nord- und Ostkomponenten blieben unverändert bei etwa ± 0,04 m. Es zeigte sich jedoch, daß die apriori angenommenen Genauigkeit der ellipsoidischen Höhen von ± 0,15 m durch Hinzunahme der Dopplerbeobachtungen auf ± 0,10 ... 0,12 m verbessert wurde. Weitergehende Untersuchungen mit einer unabhängigen Ausgleichung sämtlicher verfügbaren Daten zeigten außerdem (Bäumker 1984), daß durch die Hinzunahme der Dopplerbeobachtungen die bisher durch astronomische Azimute gegebene Orientierungsgenauigkeit des niedersächsischen Gesamtnetzes ganz erheblich verbessert wird.

3.2 *Die Niedersächsische Macrometerkampagne »NIEMAC 1983«*

Im September und Oktober 1983 standen in Deutschland durch die Vorarbeiten des Landesvermessungsamtes Nordrhein-Westfalen vier Macrometer V 1000 zur Verfügung. Nach Beendigung der nordrheinwestfälischen Testarbeiten, die sich auf den Einsatz bei der Erneuerung des TP-Netzes 2. Ordnung konzentrierten, wurden die Geräte jeweils für wenige Tage in Hessen und in Niedersachsen eingesetzt.

Die Zielsetzung der Arbeiten in Niedersachsen betraf zwei Bereiche:

1) Einmal sollte eine großräumige, unabhängige Kontrolle der gerade fertiggestellten TP-Netze 1. und 2. Ordnung vorgenommen werden;
2) daneben ergab sich die Möglichkeit, die Leitungsfähigkeit des neuen Meßgerätes mit hochpräzisen Vergleichswerten zu testen.

Bei der Planung der Arbeiten konnte auf Verbindungen zwischen Stationen des »NIEDOC 81« zurückgegriffen werden. Die Verteilung der Meßstationen

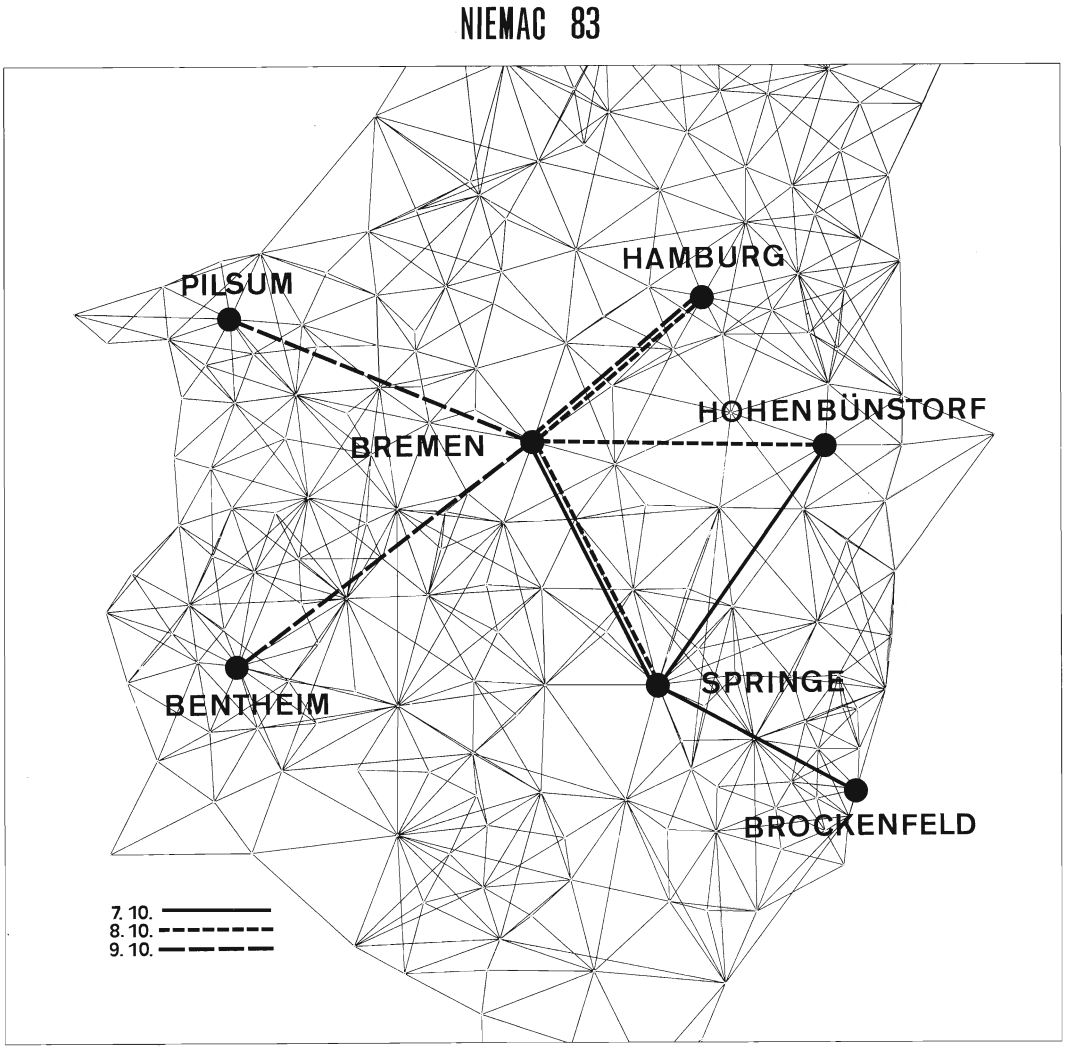


Abb. 4: Meßanordnung bei der Niedersächsischen Macrometerkampagne NIEMAC 83

zeigt Abb. 4. Es sollte an drei Tagen mit mindestens 3 Geräten gemessen werden. Da jedoch keine Ausfälle auftraten, ergaben sich einige Verbindungen doppelt.

Die Durchführung der Messungen fiel auf das Wochenende vom 7. bis 9. Oktober 1983. Wie Abbildung 5 zeigt, lag das tägliche Beobachtungsfenster, in dem mindestens 4 Satelliten gleichzeitig angemessen werden konnten, zwischen 6.00 und 10.00 Uhr.

VISIBILITY OF GPS SATELLITES. DATE: 1983 / 10 / 7
STATION HANNOVER NO. 1
latitude = 52°23'7".000
longitude = 9°42'44".000
height = 100.000 m

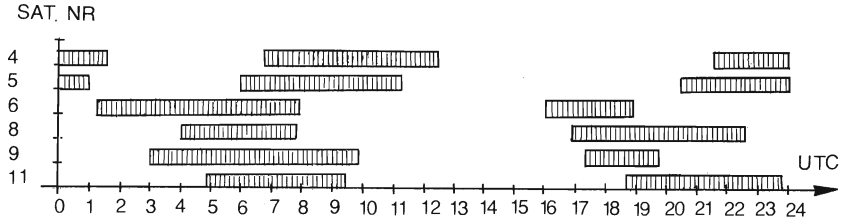


Abb. 5: »Sichtbarkeit« der GPS-Satelliten am 7. 10. 1983 in Hannover (Sommerzeit = UTC + 2 Stunden)

Eine Teilauswertung mit endgültigen Satellitenbahndaten erfolgte anschließend in den USA. Als Ergebnis liegen dreidimensionale Koordinatenunterschiede zwischen den Stationen ΔX, ΔY, ΔZ und die Kovarianzmatrix zwischen diesen drei Komponenten vor.

Die Diskussion der Ergebnisse kann an dieser Stelle auf einen Vergleich der Schrägstrecken (terrestrisch gegen interferometisch) beschränkt werden, da dies für die Zielsetzung der Arbeiten ausreicht. Für weitergehende Aussagen sei auf Heineke (1984) verwiesen.

Wie es sich aus Abb. 6 ergibt, differieren die Schrägstrecken höchstens um $2 \cdot 10^{-6}$ mm / km, die größeren Differenzen treten durchweg bei längeren Strecken auf. Als Ergebnis kann deshalb festgehalten werden, daß die niedersächsischen TP-Netze 1. und 2. Ordnung mit interferometrischen GPS-Messungen gut übereinstimmen. Es treten keine Effekte auf, die auf systematische Fehler des terrestrischen Datenmaterials schließen lassen. Umgekehrt zeigt der Vergleich aber auch die hohe Meßgenauigkeit der interferometrischen Beobachtungen. Die angegebene Relativgenauigkeit von $\pm (1-2) \cdot 10^{-6}$ kann durchweg als erreicht angesehen werden, der leichte Anstieg mit der Streckenlänge ist mit dem Fehlerhaushalt interferometrischer Beobachtungen leicht zu erklären.

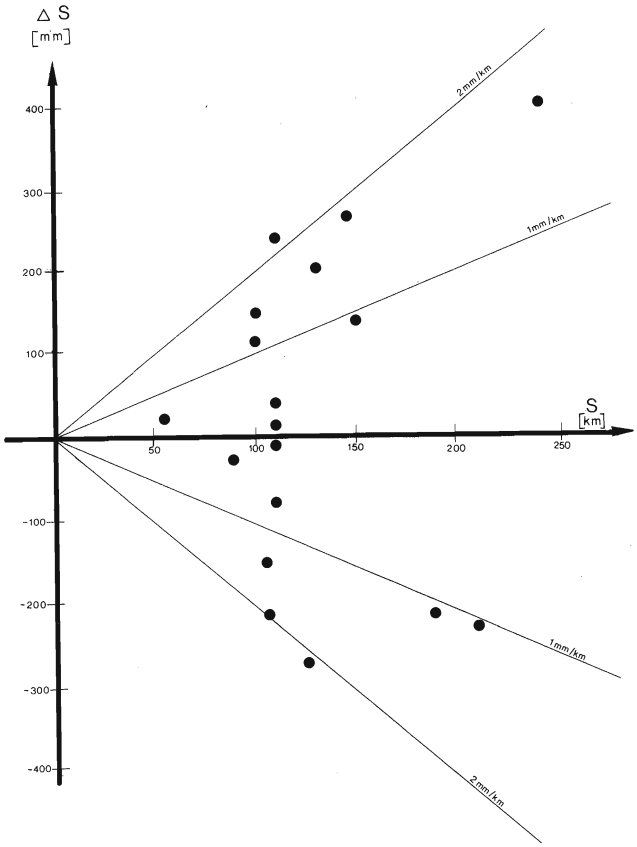


Abb. 6: Streckendifferenzen (terrestrisch-interferometrisch) in NIEMAC 83

4 Ausblick

Nachdem die Überprüfung der niedersächsischen TP-Netze 1. und 2. Ordnung mit Meßverfahren der Satellitengeodäsie als erfolgreich abgeschlossen angesehen werden kann, lohnt es sich, abschließend einen Ausblick über den Einsatz dieser neuen Meßverfahren speziell in der niedersächsischen Grundlagenvermessung vorzunehmen.

Zum einen muß auf die Revolution in der Meßtechnik hingewiesen werden (Heineke 1984), da GPS-Meßverfahren die Flexibilität in der Grundlagenvermessung entschieden erweitert haben. Weiterhin ist sicher, daß der Einsatz dieser Meßverfahren schon unter den derzeit noch ungünstigen Bedingungen (hohe Gerätepreise, begrenzte Meßzeiten pro Tag) in TP-Netzen 0. bis 2. Ordnung sowohl genauigkeits- wie kostenmäßig den vorhandenen terrestrischen Methoden gleichwertig ist (Lindstrot, 1984) (Augath, 1985). Vor diesem Hintergrund ist das überaus große Interesse der deutschen Landesvermessungsämter gut zu verstehen.

In Niedersachsen sind Arbeiten in diesen Netzen jedoch abgeschlossen. Das Hauptaugenmerk liegt derzeit in der beschleunigten Fertigstellung der TP-Netze 3. und 4. Ordnung als Basis für das neue Aufnahmenetz (Bauer 1984). Aber auch hier ergeben sich durch den Einsatz interferometrischer GPS-Meß-

verfahren neue Möglichkeiten, deren praktische Durchführung im Detail derzeit in Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdmessung in einem Praxistest erprobt wird. Es haben bereits mehrere Meßeinsätze stattgefunden, so z. B. der erste Mehrgeräteeinsatz mit dem System TI 4100 in Europa überhaupt. Die Arbeiten sind so angelegt, daß abschließend Fragen der Genauigkeit, des Netzaufbaus und auch der Wirtschaftlichkeit gelöst werden können. Die ersten Ergebnisse erweisen sich dabei als sehr vielversprechend (Seeber, u. a. 1984) (Wübbena, 1985).

5 Literatur

Augath, W. — Lagenetze. In Pelzer, H. (Herausgeber): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Stuttgart, 1985

Bauer, H. — Einrichtung, Nachweis und Erhaltung der Festpunktfelder, besonders der Aufnahmenetze. Nachrichten der Niedersäschsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 34, Seite 11, 1984

Bäumker, M. — Zur dreidimensionalen Ausgleichung von terrestrischen und Satellitenbeobachtungen. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 130, 1984

Egge, D., Schenke, H. W., Seeber, G., Augath, W. — The NIEDOC 81 Doppler Campaign – Geodop V Short Arc Results. Paper presented to the XVIII. IUGG General Assembly, Hamburg 1983

Frevel, H., Hasch, B. Lohmar, F.J. — Die Rheinland-Pfälzische Dopplermeßkampagne RPDOC'83. Zeitschrift für Vermessungswesen 109, Seiten 397 bis 406, 1984

Heide, D., Heineke, U. — Die Auswertung der Beobachtungen der TP-Netze 2. Ordnung. Nachrichten der Niedersäschsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung (in diesem Heft), 1985

Heineke, U. — Ergebnisse von Macrometermessungen in Niedersachsen und Vergleiche mit anderen Verfahren. Vortrag gehalten auf dem Seminar »GPS-System und Macrometermessungen« Bad Godesberg, 1984

Lindstrot, W. — Das Macrometer – ein neues Satelliten-Vermessungssystem und sein erstmaliger Einsatz in der TP-Bestimmung. Forum, Seite 208 ff, 1983

Lindstrot, W. — Ergebnisse von Macrometermessungen in Nordrhein-Westfalen und Vergleiche mit anderen Verfahren. Forum, Seite 477, 1983

Meliß, E., Umbach, J. — Die Messungsarbeiten bei der Erneuerung des TP-Netzes 2. Ordnung. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 35, Seite 101, 1985

Seeber, G. Die Rolle des NAVSTAR Global Positioning Systems für die Lösung geodätischer Aufgaben. Zeitschrift für Vermessungswesen 109, Seiten 1 bis 11, 1984a

Seeber, G. Das Navy Navigation Satellite System und seine geodätische Nutzung. In: Schödlbauer, A., Welsch, W. (Herausgeber): Satelliten-Dopplermessungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar am 24./25. 9. 1984, Schriftenreihe des Wissenschaftlichen Studienganges Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, Neubiberg, 1984b

Seeber, G. Netze der Satellitengeodäsie. In Pelzer (Herausgeber), Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Stuttgart 1985

Seeber, G., Seeger, H. Satelliten-Dopplermessungen im Deutschen Hauptdreiecksnetz. In: Schödlbauer, A., Welsch, W. (Herausgeber): Satelliten-Dopplermessungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar am 24./25. 9. 1984, Schriftenreihe des Wissenschaftlichen Studienganges Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, Neubiberg 1984

Seeber, G., Wübbena, G. GPS-TI 4100 Measurements within the National Basis Control Network of Northern Germany. Vortrag gehalten auf dem FIG Joint Meeting in München, 1985

Schenke, H. W. Untersuchungen zur Genauigkeit von Doppler-Satellitenbeobachtungen im Testnetz Westharz. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, 1984

Wendt. B. Universität und Landesvermessung – Kooperation ohne Verträge – Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen, Universität Hannover, Nr. 100, 1981

Wübbena, G. Model- and Program-Developement for cm-Positioning with GPS in Geodetic Control Networks. Vortrag gehalten auf dem FIG Joint Meeting in München, 1985

Landwirtschaftliche Bodenrichtwerte

Von Otto Neisecke

1 Einleitung

Seit Übernahme des Katasteramtes Wolfenbüttel durch den Verfasser im Jahre 1970 wurden hier Kaufpreise landwirtschaftlicher Grundstücke gesammelt und daraus Bodenwertindexreihen aufgestellt, obwohl nach dem Bundesbaugesetz von 1960 noch niemand dazu verpflichtet war. Dieses ergab sich aber einfach aus der praktischen Notwendigkeit und der Bestellung landwirtschaftlicher Gutachter im Gutachterausschuß.

Erst mit der Novellierung des BBauG vom 18. 8. 1976 und der DVBBauG vom 19. 6. 1978 gehört die Bewertung landwirtschaftlicher Grundstücke auch zum Aufgabenbereich der Gutachterausschüsse. Im neuen Gesetz und insbesondere in der Durchführungsverordnung vom 19. 6. 1978 wird aber jetzt besonders die Markttransparenz der ermittelten Werte gefordert.

Erst mit der Zuordnung eines zweiten höheren Dienstes zum Katasteramt Wolfenbüttel ab 1. 11. 1984 konnte die bis dahin aus 1½ Personen und dem Amtsleiter bestehende Geschäftsstelle des Gutachterausschusses wegen der Arbeitsüberlastung (im Schnitt 200 Gutachten/Jahr) daran gehen, diese Markttransparenz zu entwickeln.

In diesem Aufsatz sollen die Gedanken zur Entwicklung einer Bodenrichtwertkarte landwirtschaftlicher Grundstücke aufgezeigt werden.

2 Grundlagen

Die oben angegebenen Bodenwertindexreihen sind gemarkungsweise aufgestellt. Zur Frage, ob diese Art der Abgrenzung nach Gemarkungen auch für die Kartendarstellung zweckmäßig sei, oder ob eine Abgrenzung nach Gemeinden, Samtgemeinden oder Einheitsgemeinden für den Benutzer besser ist, seien folgende Gedanken ausgeführt.

Die Einteilung der Gebiete nach Samtgemeinden oder Einheitsgemeinden, wie es das Katasteramt Hannover in seiner Bodenrichtwertkarte gewählt hat, ist übersichtlicher. Aber hat der dann veröffentlichte Wert noch dieselbe Aussagekraft wie die gemarkungsweise geführte Bodenindexreihe? Sicher dann nicht, wenn die Bodenmittelwerte der einzelnen Gemarkungen in den beiden

Aussagekriterien, nämlich dem Bodenpreis / m^2 und der mittleren Acker- oder Grünlandzahl stark schwanken. Das war ein Grund, zunächst eine gemarkungsweise Einteilung vorzusehen; dabei wurden die Ackerzahlen, wie auch in Hannover, zu Fünfergruppen zusammengefaßt. Es ergab sich dann bei annähernd gleichen Boden- und Wertverhältnissen mitunter die Zusammenfassung von 2 bis maximal 5 Gemarkungen zu einer Preisgruppe; d. h. also, daß weder eine strenge Abgrenzung nach Einheits- oder Samtgemeinden, noch eine gemarkungsweise Einteilung vorgesehen wurde, sondern es wurde einer flexiblen Lösung der Vorzug gegeben.

So wurden aus den 103 gemarkungsweise aufgestellten Bodenwertindexreihen 82 Preisgruppeneinteilungen gebildet. Die Bodenrichtwertkarte wurde auf einer Gemarkungskarte des Landkreises Wolfenbüttel im Maßstab 1 : 100 000 dargestellt.

Die gemarkungsweise Einteilung hat ihren Vorgänger bereits in der Reichseinheitsbewertung [1], [2]. Nach der Ermittlung der mittleren Acker- und Grünlandzahl waren seinerzeit Zu- oder Abschläge wegen der äußeren Verkehrslage z. B. zur Zuckerfabrik, zur nächsten Bahnstation oder wegen des Acker-und Grünlandverhältnisses gemarkungseinheitlich gegeben, bevor in der Einzelbewertung die innere Verkehrslage des betreffenden Besitzes und sein Gebäudebestand zur Größe der bewirtschafteten Acker- und Grünlandfläche Anlaß von Zu- und Abschlägen sein konnten.

Zumindest die äußere Verkehrslage der Gemarkung, sein Acker- und Grünlandverhältnis sowie auch das Verhältnis der in einer Gemarkung angetroffenen Bodenarten mit ihren Bodenzahlen sind sicher von Gemarkung zu Gemarkung mehr oder weniger unterschiedlich. Alle diese äußeren Bedingungen schlagen sich neben dem Hauptkriterium, der Ackerzahl, im Preis nieder. Es wäre für die Kaufpreissammlung unnötig und auch fast unmöglich, alle diese Einzeleinflüsse herauszuselektieren.

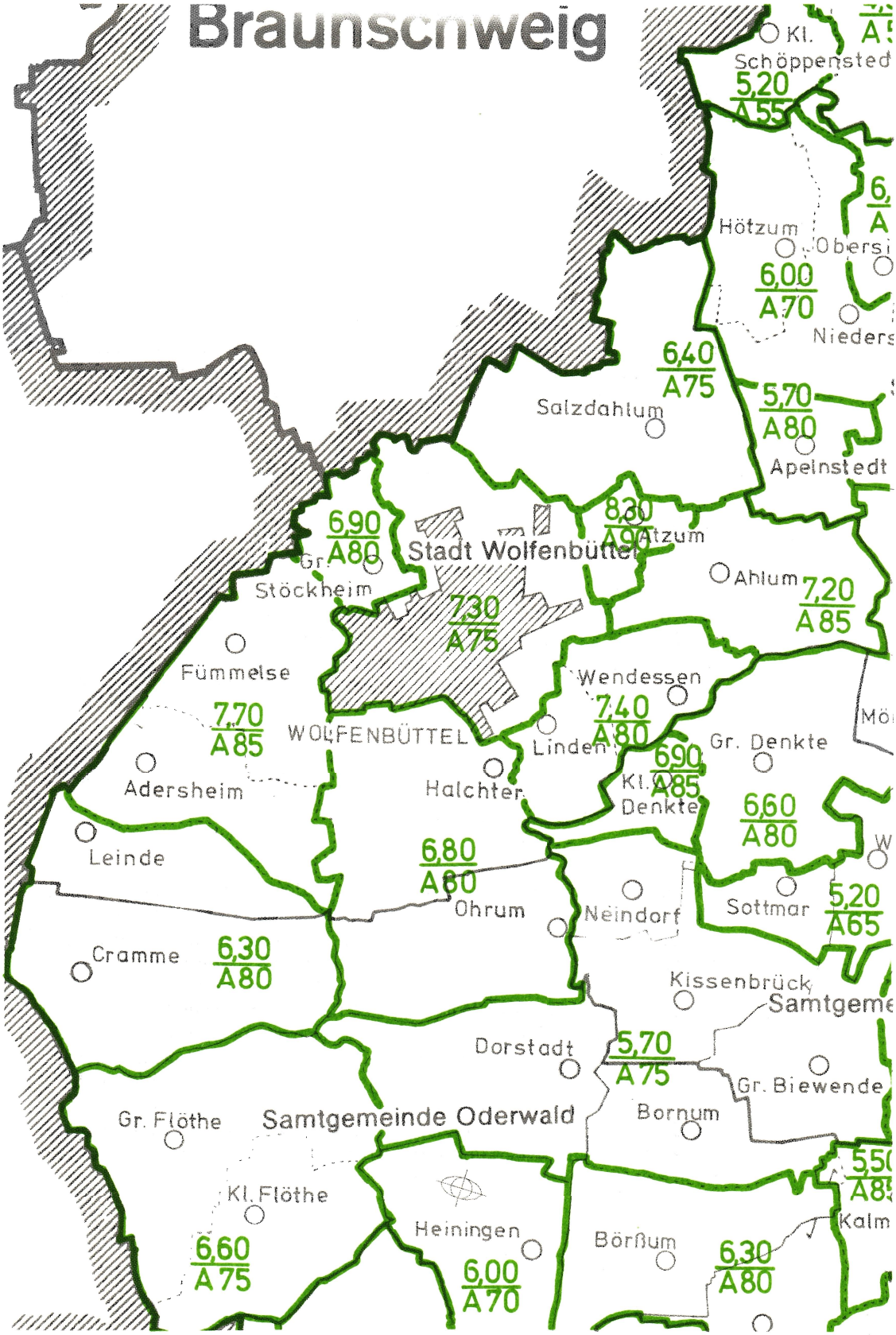
Als integraler Bestandteil aller dieser Einflüsse steht uns der Kaufpreis zur Verfügung und als Haupteinflußgröße die Bodenart. Somit sind Kaufpreis und Ackerzahl die relevanten Größen, die in den Kaufpreiskarten darzustellen sind.

Bodenindexreihen

Was beinhalten aber nun meine Bodenindexreihen und wie sind sie entstanden? Jeder seit 1970 angefallene landwirtschaftliche Bodenpreis ist darin registriert. Die Kaufpreise sind zunächst jahrgangsweise für die einzelnen Gemeinden gesammelt. Für jeden Kaufpreis ist aus dem Verhältnis

$$\frac{\text{Bodenpreis /m}^2}{\text{Ackerzahl (nach RBS)}}$$ ein Index ermittelt worden.

Dieser Index gibt an, wieviel unter der Voraussetzung eines linearen Verhältnisses zwischen Bodenpreisen und Ackerzahl ein m^2 Ackerboden von


Braunschweig
Kl. Schöppenstedt
5,20
A55
Hötzum
6,00
A70
Niederstedt
6,40
A75
Salzdahlum
5,70
A80
Apelnstedt
6,90
A80
Stadt Wolfenbüttel
8,30
A90
Atzum
Gr. Stöckheim
7,30
A75
Ahlum
7,20
A85
Fümmelse
7,70
A85
WOLFENBÜTTEL
Wendessen
7,40
A80
Linden
Gr. Denkte
6,90
A85
Kl. Denkte
Adersheim
Halchter
6,60
A80
Leinde
6,80
A80
Ohrum
Neindorf
Sottmar
5,20
A65
Cramme
6,30
A80
Kissenbrück
Samtgemeinde
Dorstadt
5,70
A75
Gr. Biewende
Gr. Flöthe
Samtgemeinde Oderwald
Bornum
Kl. Flöthe
6,60
A75
Heiningen
6,00
A70
Börßum
6,30
A80
Kalme

100 Bodenpunkten nach der Reichsbodenschätzung kosten würde. Damit hat man alle Preise auf eine einheitliche Basis zurückgeführt. Jetzt kann man aus allen Kauffällen einer Gemarkung des betreffenden Jahres das arithmetische Mittel aller Bodenpreise bilden und diesen Indexwert notieren. Die Summe aller Indexwerte des gesamten Landkreises führt dann durch allgemeine arithmetische Mittelbildung zu einem Kreismittel für das betreffende Jahr.

Dabei müssen noch zwei Grundsätze beachtet werden. Kleine Grundstücke unter 1000 m^2 werden ausgeschieden, da es meistens keine typischen landwirtschaftlichen Kaufpreise sind, und Indexwerte der Nachbarorte zur Stadt Braunschweig und zur Stadt Wolfenbüttel werden nicht in das Kreismittel einbezogen, weil sie wegen der Verdrängungswirkung durch Baulandkäufe und Wiederkäufe in der 2-Jahresfrist wegen der Einkommensteuerbefreiung um 1 bis 2 Einheiten höhere Indexwerte zeigen, abgeleitet aus den höheren Kaufpreisen dieses Raumes.

Kaufpreiskarte

In der Kaufpreiskarte finden nun nicht nur die Kaufpreise des letzten Jahres ihren Niederschlag, sondern indirekt alle bisher gesammelten Kaufpreise der letzten 15 Jahre. Man hat damit eine einigermaßen statistisch gesicherte Zahl von Kauffällen. Es gibt dann aber auch noch Gemarkungen, in denen in all den Jahren überhaupt keine Kauffälle registriert wurden oder nur wenige (bis 5). In diesen Fällen muß man sich an das Preisniveau der Nachbargemeinden angleichen.

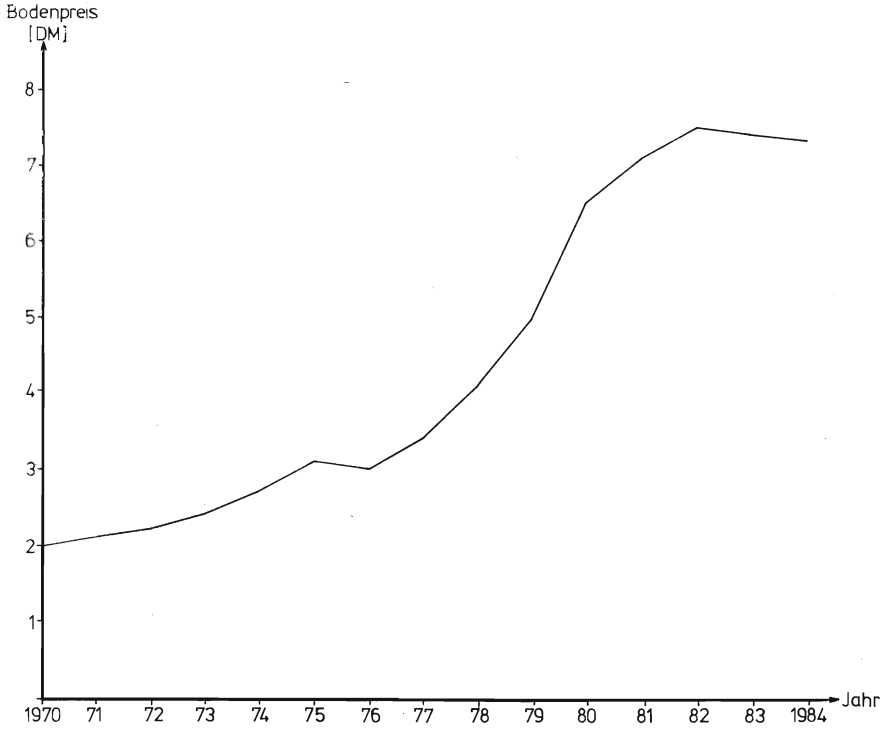
Das Kreismittel hat sich seit 1970 bis heute unregelmäßig verändert, nämlich von 2,0 bis 7,3, d. h. im Jahre 1970 ergab sich ein Wertfaktor von 2,00 DM/m^2 bei 100 Bodenpunkten und im Jahre 1984 ein Wertfaktor von 7,30 DM/m^2.

Wertfaktoren ... Seite 209

Für den aktuellen Preis dieses Jahres werden in jeder Gemarkung die Indexabweichungen in den einzelnen Jahren gegen das jeweilige Kreismittel gebildet und unter Berücksichtigung der Kauffälle des jeweiligen Jahres zu einem allgemeinen arithmetischen Mittel zusammengefaßt. Das Kreismittel plus die jeweiligen Indexabweichungen ergeben dann den Wert in DM für den Ackerlandboden bei 100 Punkten. Wird dieser Wert mit der mittleren Ackerzahl der betreffenden Gemarkung multipliziert, ergibt sich daraus der in der Karte einzutragende Bodenwert, der auf volle 0,10 DM abgerundet wird und im Bereich von weiteren 0,10 DM mit der Nachbargemarkung zusammengefaßt werden kann, wenn beide Gemarkungen die gleiche mittlere Ackerzahl haben. Hier wurde immer nur von Ackerzahlen gesprochen, weil es im Landkreis Wolfenbüttel nur wenige Gemarkungen mit Grünlandflächen gibt, schon gar keine Gemarkungen mit überwiegender Grünlandfläche.

Im einzelnen lauten diese Wertfaktoren:

Jahr	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Bodenpreisindex	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	3,1	3,0	3,4	4,1	5,0	6,5	7,1	7,5	7,4	7,3



Ackerlandpreis (100 Bodenpunkte)
Kreismittel 1970 - 1984

Es muß noch ein Wort zur Voraussetzung des linearen Verhältnisses zwischen Bodenpreis und Ackerland gesagt werden. Es ist natürlich bekannt, daß das lineare Verhältnis zwischen diesen Wertelementen im Bereich ab etwa 80 Bodenpunkten nicht mehr zutrifft. Damit errechnet sich für diese Bereiche bei einem linearen Ansatz ein Indexwert unter den allgemeinen Kaufpreisen. Dieser zeigt sich aber dann auch weiter z. B. in dem betreffenden Gemarkungsmittel. So hat beispielsweise die Gemarkung mit der höchsten mittleren Ackerzahl von 95 Bodenpunkten eine mittlere Indexabweichung von minus 0,7 Einheiten. Multipliziert man diesen Wert dann wieder mit der Bodenzahl, ergibt sich ein Preis, der unter dem linearen Anstieg liegt. Ich will damit sagen, daß sich dieses nichtlineare Ansteigen im jeweiligen Kaufpreis wiederspiegelt, der seinen Niederschlag im geringeren Indexwert findet, und dieser damit den integralen Ausgleich liefert, so daß keine Einzeluntersuchung notwendig ist.

Literatur

Rothkegel, W. — Geschichtliche Entwicklung der Bodenbonitierung und Wesen und Bedeutung der deutschen Bodenschätzung

Rothkegel, W. — Landwirtschaftliche Schätzungslehre

Bodenrichtwerte landwirtschaftlich genutzter Flächen im Landkreis Göttingen

Von Karl Semmelroggen

Inhalt

1 Einleitung

2 Vorbereitung der Bodenrichtwerte
2.1 Untersuchungsraum
2.2 Aufbereitung des Materials
2.3 Technischer Ablauf

3 Beteiligung des Gutachterausschusses und anderer Stellen

4 Darstellung des Bodenrichtwertes

5 Ausblick

1 Einleitung

Die Kaufpreissammlung ist neben anderen Kriterien wesentlich nach sächlichen Teilmärkten getrennt aufgebaut. Die Gliederung einzelner solcher Teilmärkte (Grundstücksarten) einschließlich weitergehender Untersuchungen ergibt räumlich abgegrenzte Unterteilmärkte innerhalb eines Sachgebietes, wie z. B. bei dem Teilmarkt »Landwirtschaftliche Nutzflächen«. Er weist stellenweise oder auch global die sächliche Unterteilung in Ackerflächen und Grünlandflächen auf. Hier sei nur von dem sächlichen Teilmarkt Ackerflächen die Rede.

Schon aufgrund früherer Untersuchungen anhand der Kaufpreissammlung konnten mittels Indexreihen (sogenannter Faktor $M = \frac{\text{Kaufpreis}}{\text{Fläche}} \times 100$: mittlere Ackerzahl) räumlich über die Gemarkungsgrenzen hinausgehende Marktbereiche, in denen weitgehend gleiches Preisniveau herrscht, erkannt werden.

Anläßlich der Wertermittlung in einem Entschädigungsfeststellungsverfahren wurde dem Gutachterausschuß vorgeworfen, er habe bei seinen Ermittlungen der Verkehrswerte im Bereich des Leinetals unbeachtet gelassen, daß hier zu

unterscheiden sei zwischen rübenfähigen und nicht rübenfähigen Böden. In Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Beratungsstellen wurden daraufhin die rübenfähigen Böden in Karten erfaßt und danach teilmarktgetrennt die Preisanalyse durchgeführt (ca. 180 Kauffälle). Ohne näher auf das Auswerteverfahren (multiple Regression (1, 2)) einzugehen, sei hier nur kurz das Ergebnis in den Abbildungen 1 und 2 vorgestellt. Es zeigt sich deutlich, daß dieser räumlich begrenzte Teilmarkt keinen nennenswerten Unterschied bei sächlich differenzierten Vorgaben aufweist. Der erhobene Vorwurf konnte so entkräftet werden (3).

2 Vorbereitung der Bodenrichtwerte

Die einleitend vorgestellten Beispiele für Teilmarktuntersuchungen landwirtschaftlicher Nutzflächen sollen verdeutlichen, daß auch die Gutachterausschüsse und deren Geschäftsstelle an einer Markttransparenz interessiert waren. Eine Veröffentlichung in einer Richtwertkarte war nun endgültig für das Jahresende 1984 vorgesehen. Weitere Anlaßgründe für eine derartige Veröffentlichung geben der Beitrag von KNOOP und KOHLENBERG (6) in umfassender Form.

2.1 *Untersuchungsraum*

Der Landkreis Göttingen ist Teil der Großlandschaften Weserbergland, Leinebergland und Harz. Es sind folgende, landwirtschaftlich genutzte naturräumliche Haupteinheiten vorhanden (5):

- Westhessische Senke: Unregelmäßige Folge von Niederungen und Becken, die durch flache Schwellen und Rücken voneinander getrennt sind. Die lößdeckenden Hänge dienen dem Ackerbau, die braunen Aueböden werden als Grünland genutzt.
- Unteres Werraland: Terrassen- und beckenförmige Weitungen, Auelehm- und Lößlehmdecke, bis zu 2 m mächtig. Überwiegend Acker-, teils auch Grünlandnutzung.
- Sollingvorland: In den breiten Senken befinden sich tiefgründige, nährstoffreiche, frische Braunerden, auf den Hochflächen flachgründige Braunlehme, die überwiegend als Acker genutzt werden.
- Leine / Ilme-Senke: Sie ist eine zentrale Tiefenfurche des südlichen Leineberglandes. Der Leinegraben erstreckt sich 40 km lang und 6 bis 8 km breit in Nordsüdrichtung. Die Randlagen in etwa 200 m Höhe fallen als Löß-Lehmflächen (auf Keuper und Lias) zu der 150 m hoch gelegenen Talaue flach ab. Auf den mächtigen Auelehmpolstern der Leine und ihrer Nebenbäche haben sich fruchtbare Braune Aueböden entwickelt, die ausschließlich als Acker genutzt werden.
- Eichsfelder Becken (Goldene Mark): Weiträumige, klimatisch milde Bekkenlandschaft in 200 m Höhe. Der Lößlehmboden wird weitgehend ackergenutzt. Die umliegenden Hochflächen (lößbedeckter Buntsandstein) unterliegen gleichfalls Ackernutzung, soweit unbewaldet.

Von der Gesamtfläche des Landkreises Göttingen (einschließlich Stadt Göttingen), welche 1980 entsprechend dem Nachweis des Liegenschaftskatasters 111 623 ha umfaßte, wurden im gleichen Jahr 60 637 ha landwirtschaftlich genutzt. Das entspricht einem Nutzungsanteil von 54,3 % (ohne die zugehörigen Hofflächen). Nachrichtlich sei hier angemerkt, daß der Waldanteil bei 32,5 % und der Anteil für Verkehr und Siedlung 1980 bei etwas über 10 % lag.

2.2 *Aufbereitung des Materials*

Die Geschäftsstelle des Gutachterausschusses Göttingen (Land / Stadt) ging davon aus, daß für die Ermittlung von Richtwerten für landwirtschaftliche Nutzflächen nur Kaufpreise des innerlandwirtschaftlichen Grundstücksverkehrs in Frage kommen. Landankäufe der Bundesbahn (Neubautrasse Hannover–Würzburg) sowie der Straßenbauverwaltung mögen zwar das Preisniveau allgemein beeinflussen, sind aber insgesamt als heterogen zum landwirtschaftlichen Grundstücksmarkt zu werten. Der Umfang des somit zur Verfügung stehenden Kaufpreismaterials ist in dem Histogramm Abbildung 3 veranschaulicht.

Zur Auswertung kamen hiervon 863 Kauffälle, da einerseits nur selbständige Ackerflächen untersucht wurden und andererseits der Untersuchungszeitraum auf die Jahre 1980 bis 1984 beschränkt wurde.

2.3 *Technischer Ablauf*

Für sich betrachtet, ergibt sich aus den allgemeinen Kaufvertragsmodalitäten kein bestimmbares Wertgefüge in Abhängigkeit relevanter Einflußmerkmale. Daher wird der Informationsgehalt der Kaufpreissammlung durch die Angaben des Liegenschaftskatasters erweitert und somit ein Datenmaterial geschaffen, das es ermöglicht, bestimmte Abhängigkeiten zu untersuchen und deren Gesetzmäßigkeiten nachzuweisen. In diesem Zusammenhang wurde auf bereits vorhandene Erkenntnisse zurückgegriffen, die im Zuge der Vorbereitung der Datenstrukturen eine erhebliche Arbeitserleichterung bedeuteten. So wurden in bezug auf räumliche Abgrenzungen und Selektionen des Vergleichsmaterials sowie bei den Einflußgrößen die erforderlichen Analysen angestellt.

Zu den bereits hinreichend bestimmten Einflußgrößen kam für die großräumige Untersuchung eine zusätzliche Lage- und Qualitätskomponente hinzu. Sie wurde als Standortwert bezeichnet.
Die Einflußgrößen im einzelnen sind:

1 = Kaufzeitpunkt
2 = Größe des jeweiligen Kaufobjekts
3 = erstes Qualitätsmerkmal (durchschnittliche Ackerzahl des jeweiligen Kaufobjekts)

4 = erstes Lage- und Zuordnungsmerkmal (durchschnittlicher Faktor M pro Gemarkung und Jahr)
5 = zweites Lage- und Zuordnungsmerkmal (durchschnittliche Ackerzahl pro Gemarkung)
6 = zweites Qualitätsmerkmal (Standortwert)
7 = Kaufpreis pro Quadratmeter = Zielgröße

Während die Einflußmerkmale Nr. 1 bis 5 bekannt und bereits verwendet worden sind, ist mit dem sogenannten Standortwert ein weitergreifendes Kriterium aufgenommen worden, das mit den anderen gesetzten Kriterien korreliert. Der Standortwert (Abb. 5) beinhaltet im eigentlichen Sinne sämtliche Lage- und Qualitätskomponenten in sich. Trotz der zu beobachtenden Korrelation mit den anderen Einflußmerkmalen eignet sich diese Variable gerade bei großflächigen Untersuchungen und Analysen als regionale Lagekomponete. Darüber hinaus ist die orographische Karte mit ihren Höhenstufen ein geeignetes Hilfsmittel für die Bildung regionaler Untersuchungsblöcke (Abb. 4).

Es ist z. Z. mit dem zur Verfügung stehenden Programmsystem auf der WANG-Anlage nur möglich, eine großflächige Kaufpreisanalyse mit der entsprechenden Anzahl von Vergleichspreisen und Elemente durchzuführen, indem mehrere, voneinander getrennte Rechensätze aufgestellt werden. Damit dennoch vergleichbare Ergebnisse erreicht werden, und zwar unter gleichgeschalteten Voraussetzungen, bot sich diese kombinierte Lage- und Qualitätskomponente an.

Der Standortwert bzw. die Standortkennzeichnung für eine bestimmte Fläche wurde der bodenkundlichen Standortkarte 1:100 000 entnommen (siehe Abb. 5). Er erscheint in einer dreistelligen Zahl, wobei jede Stelle voneinander unabhängig betrachtet wird:
Die erste Stelle differenziert nach dem großräumlichen Relief und kennt für den Landkreis Göttingen die »submontane Berglandregion« (5) und »Talauen und Moore« (0).

Die zweite Stelle steht für die Lagebedingungen, wie z. B. Lößdecken (1), flach- bis mittelhängiges Bergland (3), Moore (2) usw. Für die submontane Berglandregion gibt es sechs Unterscheidungen und für die Talauen und Moore zwei Unterscheidungen. Diese werden wiederum durch die dritte Stelle differenziert nach den Böden, wobei jeder Lagebedingung mehrere qualitativ unterschiedliche Merkmale wie Standorte, Bodentypen und Ausgangsmaterial der Bodenbildung zugeordnet werden. Für jede Stelle gilt: Je niedriger die Zahl, desto besser sind die Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung, die in der Qualität der Böden, aber auch in der Reliefbeschaffenheit liegen.

Entsprechend dem von KERTSCHER / VOLLE (4) vorgestellte Vergleichswertverfahren wurde das aufbereitete Datenmaterial der multiplen Regression unterworfen. Es wurde dabei eine Aufteilung in 11 Rechenblöcken vorgenommen, die Bestimmtheitsmaße für den Regressionsansatz von 0,3 bis 0,78 auf-

wiesen. In den räumlichen Bereichen mit niedrigerem Kaufpreisniveau ist die relative Streuung entsprechend hoch, so daß hier die Bestimmtheitsmaße absanken.

3 Beteiligung des Gutachterausschusses und anderer Stellen

Die selektierten Daten, die Aufbereitung, das Analyseverfahren und die in einer flächendeckenden Landkreiskarte 1:50 000 eingetragenen Ergebnisse wurden in einer Arbeitsstandsitzung den drei landwirtschaftlich sachverständigen Gutachtern und den beiden Gutachtern vom Finanzamt vorgestellt und mit ihnen diskutiert. Hierbei zeigte sich bereits eine weitgehende Kontinuität der einzelnen Standpunkte. Nach Einarbeitung geringfügiger Änderungen konnte der Kartenentwurf dem Amt für Agrarstruktur (z. Z. sind 18 Flurbereinigungsverfahren im Landkreis Göttingen in Bearbeitung) und den landberatenden Stellen vorgeführt werden in der Absicht, eine Abgleichung von eventuell divergierenden Auffassungen und zum andern ein Höchstmaß an sachgemäßen Informationen zu erreichen.

4 Darstellung des Bodenrichtwertes

Analog zu den Baulandrichtwerten ist auch hier der Wertmaßstab DM pro Quadratmeter Bodenfläche angebracht, wobei die Intervalle betragen

bei 1,00 bis 8,00 DM/m² = 0,10 DM/m²,
über 8,00 DM/m² = 0,50 DM/m².

Diesem Wert ist die durchschnittliche Ackerzahl unter Abrundung auf Fünferintervalle beigeordnet. Die Legende gibt weiterhin eine Größenbestimmung an (1 ha) und enthält den Hinweis, daß es sich bei dem Richtwertgrundstück um ein normal geschnittenes, wirtschaftlich nutzbares Areal handelt.

Der Druck der Karte durch das Landesverwaltungsamt - Landesvermessung - erfolgte auf der Grundlage der Wanderkarte 1:50 000 »Göttingen und Umgebung«. Sie umfaßt das gesamte Kreisgebiet (siehe Abb. 6). Der Grundriß einschließlich Schrift usw. wurde grau gedruckt, während die Richtwertangaben im Gründruck dargestellt wurden. Da die Begrenzungslinien der Richtwertzonen als fließend zu betrachten sind, wurden sie als 6 mm breiter Rasterstreifen (50%) erstellt.

Die Resonanz aufgrund der öffentlichen Auslegung der Bodenrichtwertkarte in den Städten und Gemeinden gemäß § 143 b BBauG ist gut. Des weiteren wurde die Karte der Presse vorgestellt, was das Göttinger Tageblatt veranlaßte, einen eigenen graphischen Entwurf herzustellen (Abb. 7).

5 Ausblick

Angesichts der seit Ende der siebziger Jahre rückläufigen Einkommensentwicklung in der Landwirtschaft mutet es verwunderlich an, daß gerade seit dieser Zeit überdurchschnittliche Preissteigerungen für landwirtschaftliche Nutzflächen zu verzeichnen sind. Sicherlich sind auch hier z. T. inflationsbedingte Komponenten enthalten, die den Preisauftrieb beschleunigen. Im wesentlichen wird aber der Preis durch Nachfrage und Angebot bestimmt. Der Richtwert soll der Markttransparenz dienen. Er gibt nicht an, was auf dem Markt gezahlt werden sollte, sondern vollzieht nach, was gezahlt worden ist. Oftmals kommt in diesem Zusammenhang der Einwand, die Kaufpreissammlung enthalte auch Kaufpreise, die zum Zwecke der Steuer- und Gebührenverkürzung zu niedrig beurkundet seien (7). Abgesehen davon, daß sich eine solche Preisunwahrheit kaum belegen läßt, bewirkt sie allenfalls eine zusätzliche Streuung in der Kaufpreissammlung und dementsprechend eine größere Bandbreite des Vertrauensbereichs der Ergebnisse. Seit Einführung der Buchungspflicht für eine Vielzahl der landwirtschaftlichen Vollerwerbsbetriebe zum 1. 7. 1981 dürfte die Preisunwahrheit rückläufig sein.

6 Literatur

(1) Ziegenbein, W. Zur Anwendung multivariater Verfahren der mathematischen Statistik in der Grundstückswertermittlung
Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Hannover; Nr. 77, 1977

(2) Schmidt, K.-J. Zur Anwendung der Vergleichswertverfahren bei bebauten Grundstücken – Erfahrung multipler Regression auf der WANG 2200 T2 – Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 1979, Seite 149 ff

(3) Kertscher, D. Anwendung des Vergleichswertverfahrens bei landwirtschaftlich genutzten Grundstücken; Fortbildungsveranstaltung der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung in Lüneburg im November 1979 (unveröffentlicht)

(4) Kertscher, D./ Volle, G Marktgerechte Grundstückswertermittlung mit Hilfe des Vergleichswertverfahrens. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 1983, Seite 202 ff

(5) Landkreis Göttingen, Raumordnungsprogramm, Entwurf 1984

(6) Knoop, H./ Kohlenberg, F. Bodenrichtwerte landwirtschaftlich genutzter Flächen in großstadtnahen Gebieten. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 1982, Seite 334 ff

(7) Bewer, C. Bodenbewertung im Agrarbereich. Schriftenreihe des Hauptverbandes der landwirtschaftlichen Buchstellen und Sachverständigen 76, Bonn: Pflug und Feder, 1974

(8) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bodenkundliche Standortkarte 1:200 000 (BSK 200)

Entwicklung der Kaufpreise

bei konstanter Ackerzahl = 80 Bodenpunkte

—— - —— Landwirtschaftl. Flächen allgemein

— — — — Zuckerrübenfähige Böden

---------- Vertrauensbereich p = 90 %

Flächengröße 1ha

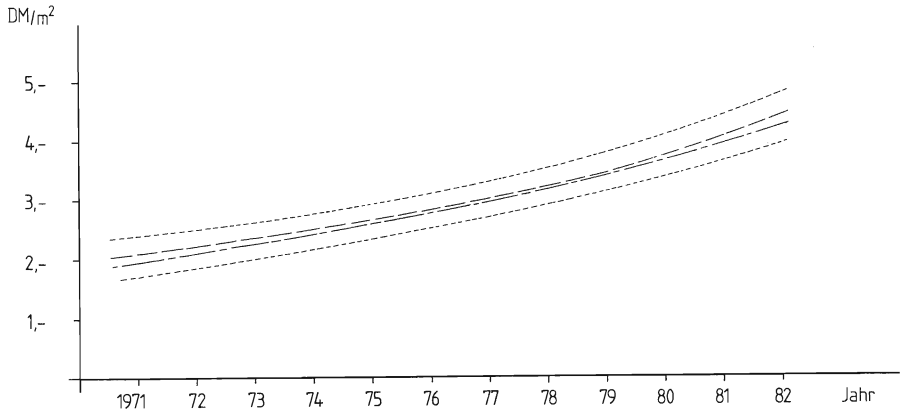


Abb. 1

Kaufpreise im Jahr 1982

bei unterschiedlicher Ackerzahl

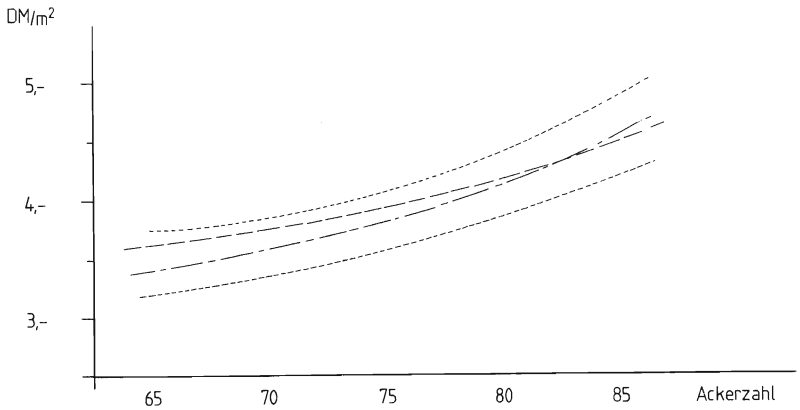
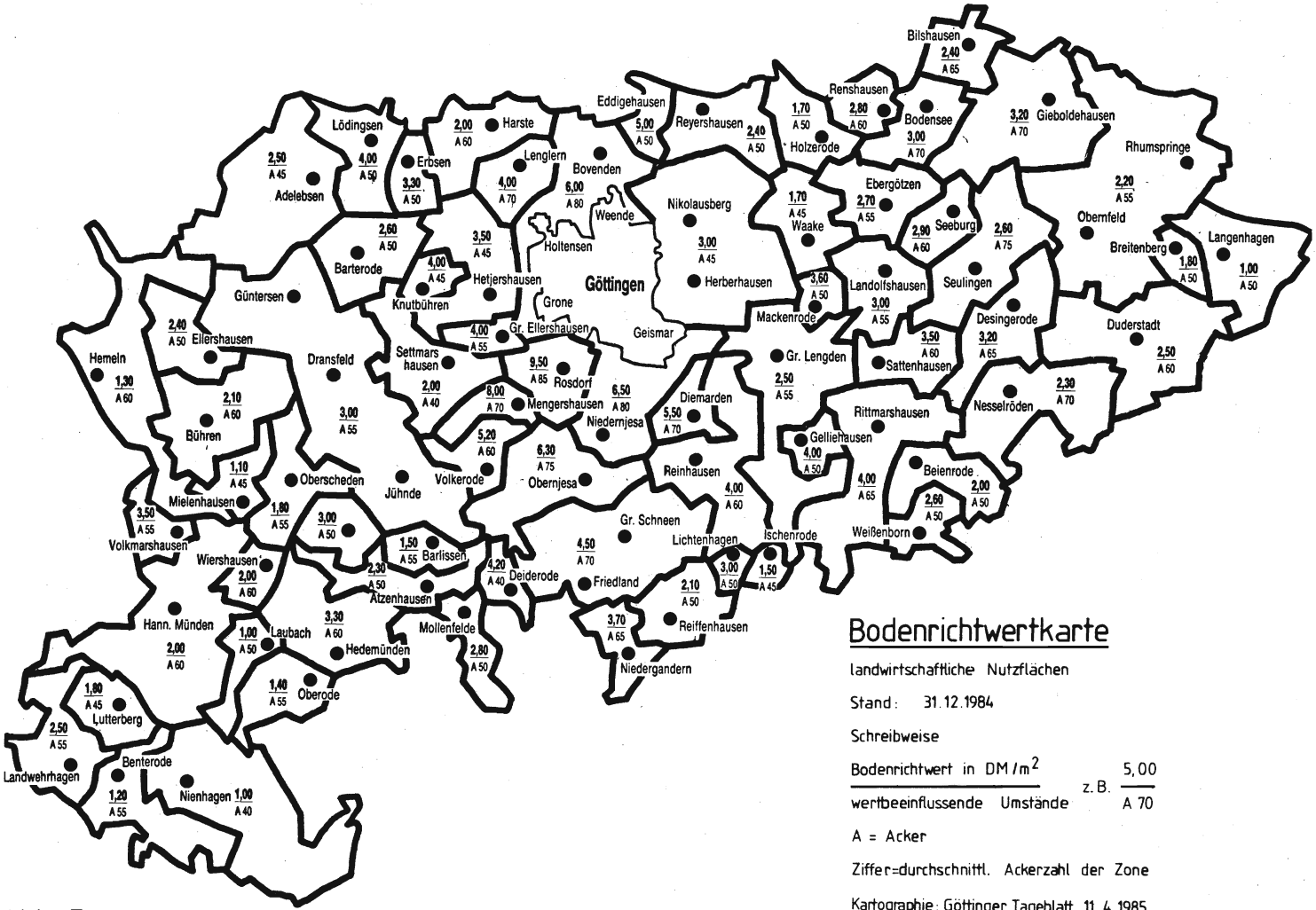


Abb. 2



Bodenrichtwertkarte

landwirtschaftliche Nutzflächen

Stand: 31.12.1984

Schreibweise

Bodenrichtwert in DM/m² / wertbeeinflussende Umstände z.B. 5,00 / A 70

A = Acker

Ziffer=durchschnittl. Ackerzahl der Zone

Kartographie: Göttinger Tageblatt 11.4.1985

Abb. 7

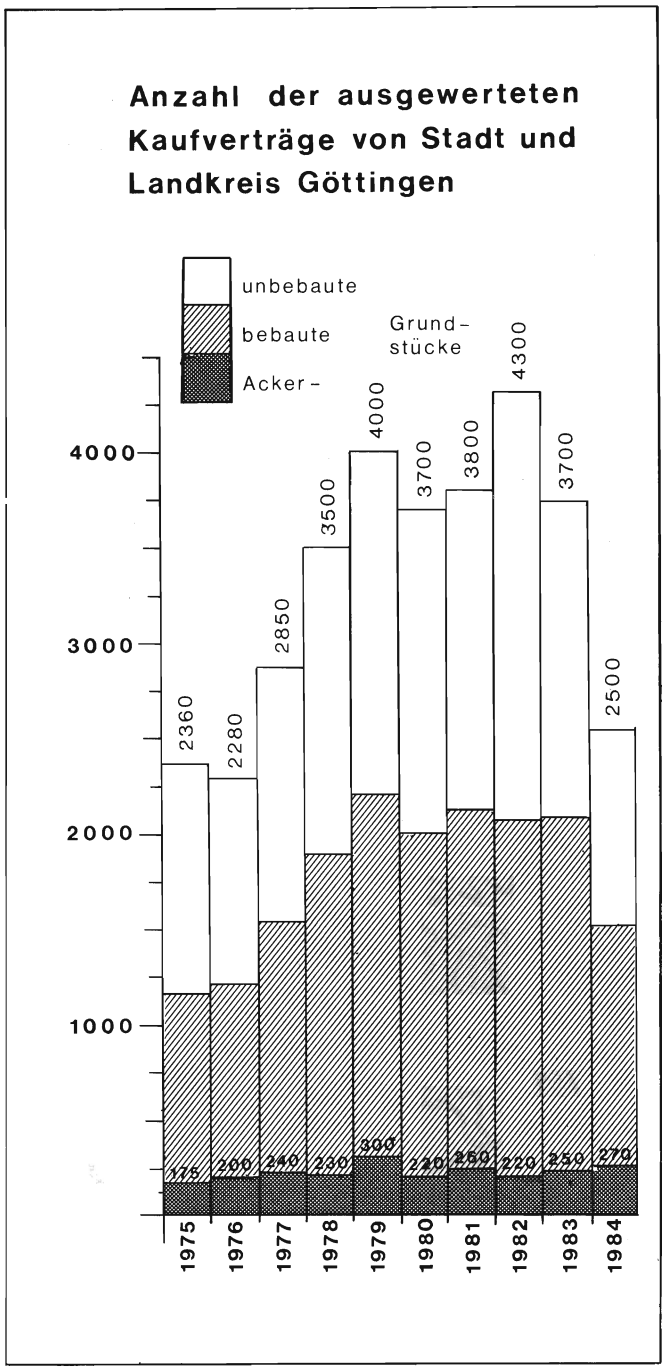


Abb. 3

Legende zur

Orographischen

Karte –

Ausschnitt Göttingen

< 150 m

150 – 200 m

200 – 250 m

250 – 300 m

300 – 350 m

350 – 400 m

400 – 450 m

Bebaute Fläche

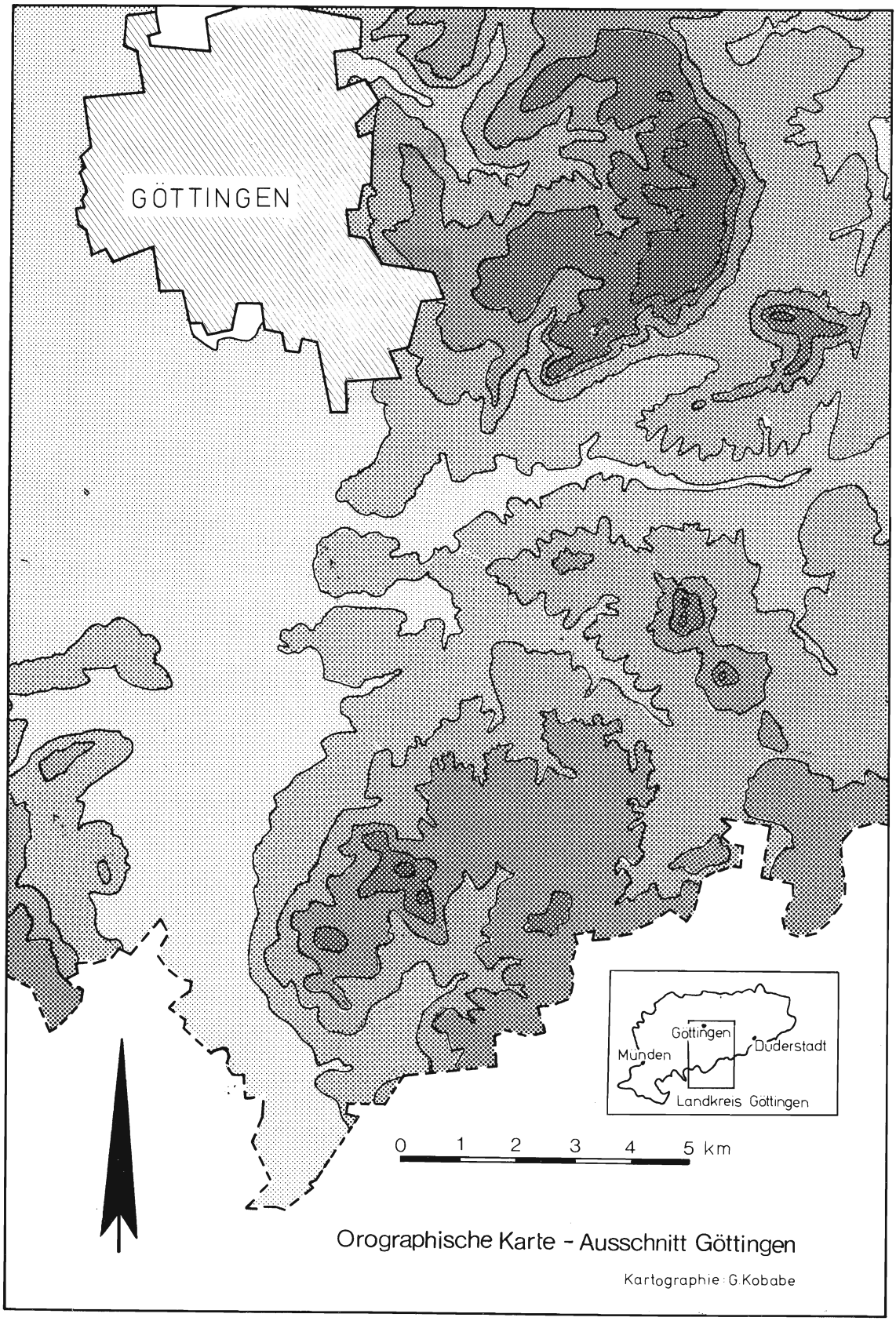

GÖTTINGEN
Göttingen
Duderstadt
Munden
Landkreis Göttingen
0 1 2 3 4 5 km
Orographische Karte - Ausschnitt Göttingen
Kartographie: G.Kobabe

Abb. 4

Legende zum Ausschnitt der

Bodenkundlichen Standortkarte – Blatt Göttingen

Talauen, z. T. mit Überflutungsgefahr
Standortbeschreibung: Frische bis feuchte lehmige Schluff- und schluffige Tonböden
Standortwert: 011

Moore
Standortbeschreibung: Feuchte bis nasse Niedermoor- und Anmoorböden
Standortwert: 022

Ebene bis flachwellige Lößbecken
Standortbeschreibung: Frische, tonige Schluffböden
Standortwert: 511

Flachhängige Lößbecken und Hangfußlagen
Standortbeschreibung: Frische, örtlich staunasse, tonige Schluffböden
Standortwert: 521

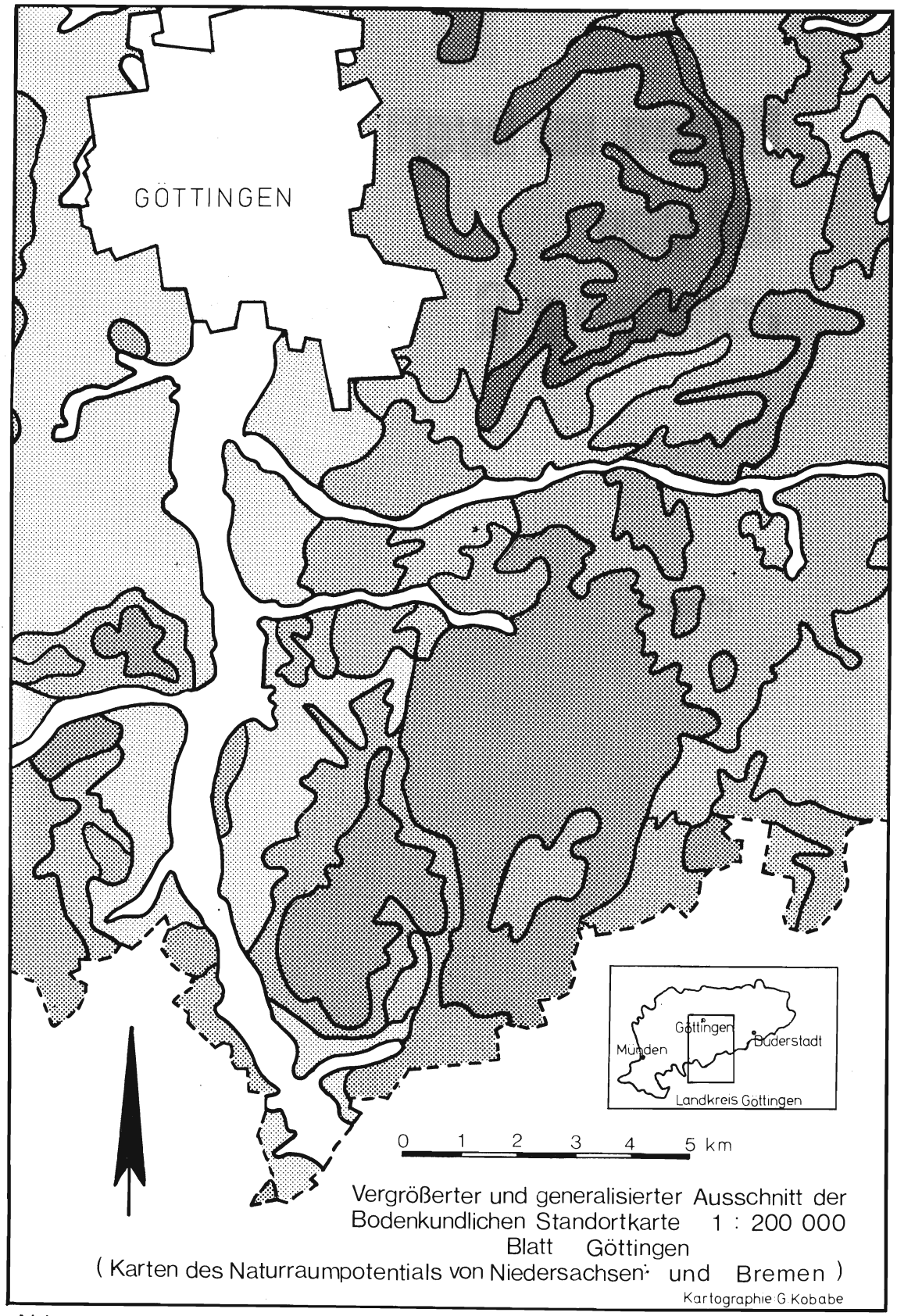
Flach- bis mittelhängiges Bergland
Standortbeschreibung: Mäßig trockene bis frische, tonig-lehmige Verwitterungsböden
Standortwert: 533 - 535

Mittel- bis steilhängiges Bergland
Standortbeschreibung: Mäßig trockene bis frische, örtlich staunasse, steinige,lehmig bis tonige Verwitterungsböden
Standortwert: 543 - 545

Hochflächen, z. T. mit steilen Hängen
Standortbeschreibung: Mäßig trockene, örtlich staunasse, steinige tonige Verwitterungsböden
Standortwert: 553

Gebirgskämme und Schichtstufen mit steilen Hängen
Standortbeschreibung: Trockene, flachgründige, steinige Kalkstein-Verwitterungsböden
Standortwert: 561

Bebaute Fläche



Vergrößerter und generalisierter Ausschnitt der Bodenkundlichen Standortkarte 1 : 200 000
Blatt Göttingen
(Karten des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen)

Kartographie G Kobabe

Abb. 5

Bodenrichtwertkarte für den Landkreis Göttingen

– Landwirtschaftliche Nutzflächen –

1 : 50 000

31. 12. 1984

Gutachterausschuß für Grundstückswerte
Geschäftsstelle beim Katasteramt Göttingen

224

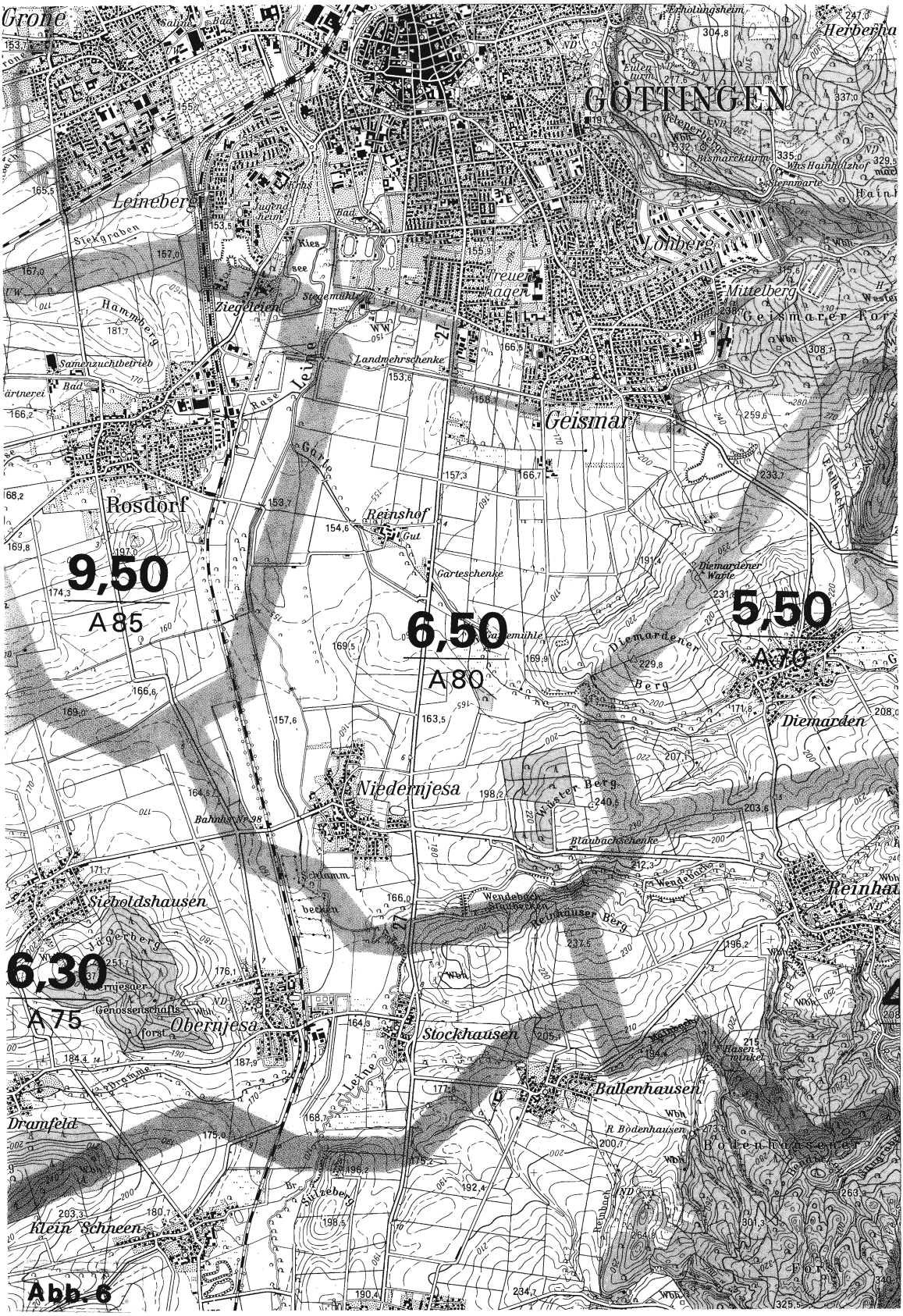

Grone
GÖTTINGEN
Leineberg
Lombergs
Mittelberg
Geismar
Rosdorf
Reinshof
Diemarden
Niedernjesa
Siebholdshausen
Obernjesa
Stockhausen
Ballenhausen
Dramfeld
Klein Schneen
Reinhausen
9,50
A 85
6,50
A 80
5,50
A 70
6,30
A 75

Abb. 6

Zur Vermessung von Aufnahmepunkt-Sicherungsmarken mit elektrooptischen Tachymetern

Von Wilhelm Tegeler

1 Einführung

AP-Sicherungsmarken dienen (NFPF-Erl. Nr. 3.4):
a) der Überprüfung der AP-Marke,
b) erforderlichenfalls der Wiederherstellung des AP und
c) bei Bedarf als selbständiger AP.
Die Unsicherheit der Vermessungen zu den Sicherungsmarken soll im Durchschnitt 0,002 m nicht überschreiten (Anl. 3.2.1 o.a. Erl.), die AP-Nachbarschaftsunsicherheit wird mit 0,007 angenommen. Für Richtungsmessungen ist das mühelos zu erreichen. Bei den Streckenmessungen sind jedoch spezielle Messungsanordnungen zu wählen, damit die systematischen Meßwert-Abweichungen kompensiert werden. Bandmessungen können außerdem noch erheblich durch den Straßenverkehr und andere Hindernisse beeinträchtigt werden.

2 Systematische Abweichungen bei Streckenmessungen

2.1 *Streckenmessung mit frei hängenden Stahlmeßbändern*

(siehe Großmann / Kahmen 1985)

2.1.1 Kalibrier- und Temperaturkorrektion
können ausreichend berücksichtigt werden.

2.1.2 Die Neigungsreduktion

kann aus dem Zenitwinkel zur Spitze des AP-Zielstabes o. ä. abgeleitet werden, da für die Richtungsmessungen ohnehin ein Theodolit auf dem AP aufgebaut wird.

2.1.3 Die Durchhangreduktion

beträgt bei gleich hohen Bandenden für 20 m und 5 kp Zugkraft –0,005 m und für 10 m nur noch –0,001 m, da die Bandlänge mit der 3. Potenz eingeht. Bei Verdoppelung der Zugkraft geht der Reduktionsbetrag auf ein Viertel zurück; allerdings wird man bei 10 kp das Meßband ohne Hilfsmittel kaum ruhig halten können.

2.2 *Bei elektrooptischen Distanzmeßgeräten (EDM)*

können folgende systematische Abweichungen auftreten (die atmosphärische Korrektion wird hier nicht behandelt):

2.2.1 Die Nullpunktskorrektion

kann zwischen Nahbereich (bis 30 m) und Einer-Reflektor-Meßbereich (bis 600 m) bis zu 5 mm differieren. Einen durchschnittlichen Korrektionswert erhält man aus der Kalibrierung.

2.2.2 Die Maßstabskorrektion

wird ebenfalls durch Kalibrierung bestimmt und bei der Auswertung berücksichtigt.

2.2.3 Zyklische Abweichungen

Bei elektrooptischen Distanzmessern tritt wegen des optischen und elektrischen »Übersprechens« periodisch mit dem Feinmaßstab ein zyklischer Phasenfehler auf. Die Reproduzierbarkeit dieser Abweichung liegt bei preiswerten Geräten (10 TDM) etwa in der Größenordnung der mittleren Amplitude (± 4 mm), so daß durch eine Korrektion keine Verbesserung erreicht wird. Amplitude und Phasenlage schwanken außerdem von Instrument zu Instrument und der für den gesamten Kalibrierbereich von 570 m abgespaltene »integrale« zyklische Fehler ist besonders für den Nahbereich nicht repräsentativ.

2.2.4 Abweichungen wegen Phaseninhomogenitäten

Die Öffnungswinkel von Sende- bzw. Empfangskegel betragen bis zu 0,35 gon. Für Absteckungen sind große Winkel günstig, für die Genauigkeit aber kleine. Ist das Distanzmeßgerät nicht gut ausgerichtet (kein max. Empfangssignal) – »die Sendeachse nicht justiert« –, können die Strecken im Nahbereich bis zu einigen Zentimetern verfälscht werden, auch bei Verkleinerung der Prismafläche durch Blenden.

Nachstehend einige Streckenfehler S für Messungen am Rande des Sendekegels:

Instrumenten-Typ	effektiver Öffnungswinkel	Streckenfehler		
		S = 10 m	20 m	30 m
Geodimeter 210	0,3 gon	−30 mm	−18 mm	−13 mm
SokkishaRedMini	0,3 gon	−55 mm	−26 mm	—
Wild DI 1000	0,3 gon	− 5 mm	− 4 mm	− 5 mm
Zeiss Eldi 2	0,1 gon	+ 1 mm	+ 3 mm	+ 1 mm

3 Zielmarken für elektrooptische Sicherungspunkt-Vermessungen

3.1 *Marken im Boden*

Sind die Sicherungspunkte im Boden vermarkt, so können zentrisch über den Marken Stative oder AP-Zielstäbe mit Prismenreflektoren aufgestellt werden.

3.2 *Marken an Gebäuden und Bauwerken*

3.2.1 Spezialreflektoren für Bolzen

Zum Anziehen von Bolzen werden Spezialreflektoren angeboten, die eine Querexzentrizität von 500 mm besitzen. Mit Hilfe des Gehäusediopters kann das Prisma in Längsrichtung auf ± mm ausgerichtet werden.

3.2.2 Mehrzweck-Reflektoren für Adapter-Bolzen

3.2.2.1 Der Adapter-Bolzen (AB)

wird seit Mitte der 70er Jahre in Kanada verwendet (Chrzanowski / Steeves 1977); die frei gewählten Standpunkte leitet man aus vier Stationspunkten ab, ein Zentrum ist nicht vermarkt.

In Hamburg und beim Katasteramt Rotenburg / Wümme werden seit 1983 Adapter-Bolzen in der 100-mm-AdV-Version eingesetzt (Abb. 1).

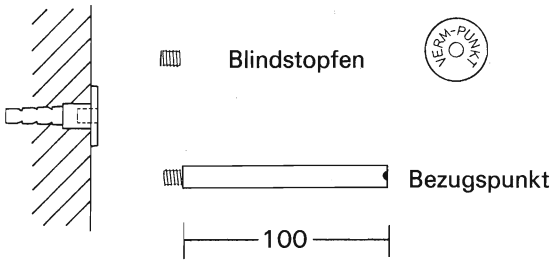


Abb. 1: Adapter-Bolzen (AB)

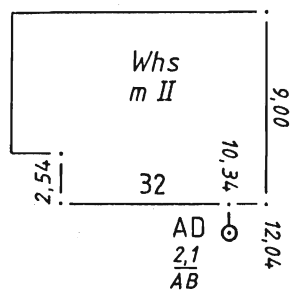


Abb. 2: Darstellung in AP-Beschreibungen entsprechend ZV, SZ 0124.

Der Bolzen wird ins Mauerwerk einzementiert (Schraub-Befestigungen entsprechen nicht einem Festpunkt!). Bei Benutzung des Punktes wird aus dem Innengewinde des Bolzens der Blindstopfen entfernt und je nach Vermessungsverfahren ein 100-mm-Adapter (Theo-Meßband) oder ein Adapter für den 100-mm-Mehrzweck-Reflektor (EDM) eingeschraubt; der Bezugspunkt der Sicherung liegt also immer 100 mm vor dem Bolzenflansch. Adapter-Bolzen sollten mindestens kippachsenhoch eingebracht werden (Abb 2).

3.2.2.2 Der Mehrzweck-Reflektor

nach Abb. 3, der zusammen mit dem Katasteramt Bückeburg entwickelt wurde, kann verwendet werden als:

a) Reflektor für Adapter-Bolzen (Abb. 3 a)
b) Gebäude-Reflektor (Abb. 3 b)
c) Reflektor für Zwangszentrierung (Abb. 3 c)
d) Reflektor mit konstanter Querexentrizität zum Anzielen von Bolzen o. ä. an Bauwerken (Abb. 3 d)
e) Boden-Reflektor (mit umgekehrtem Prismenstab und Lattenrichter) (Abb. 3 e)

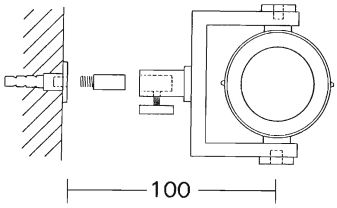


Abb. 3 a: als Reflektor für Adapter-Bolzen

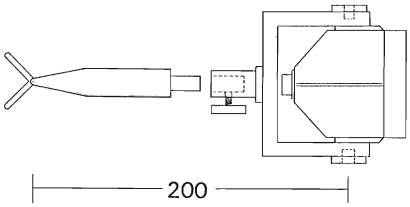
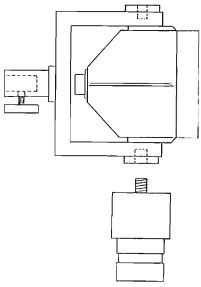


Abb. 3 b: als Gebäude-Reflektor



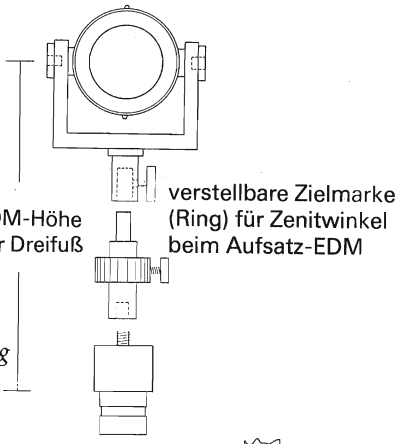


Abb. 3 c: Versionen für Zwangszentrierung (mit Zapfen) und Prismen

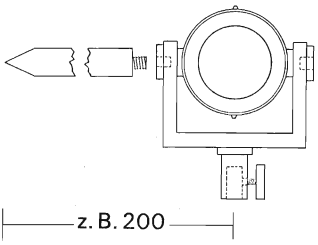


Abb. 3 d: als Reflektor mit konstanter Querexentrizität

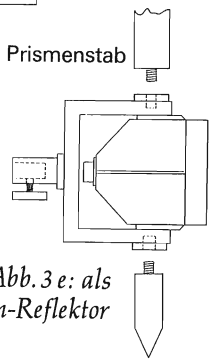


Abb. 3 e: als Boden-Reflektor

Abb. 3: Mehrzweck-Reflektor

4 Tachymetervermessungen zu Sicherungspunkten

Aus den unter 1 und 2 aufgeführten Gründen können EDM-Strecken zu Sicherungspunkten in der Regel nicht direkt gemessen werden. Richtungen können aus der indirekten Polarvermessung nur abgeleitet werden, wenn die Einflüsse nach 2.2 die Sicherungsmarken-Unsicherheit nicht überschreiten. Da Sicherungspunkt-Vermessungen aber nicht nur bei der Bestimmung, sondern auch bei jeder AP-Überprüfung notwendig sind, ist es zweckmäßig, die Überprüfungs-Vermessungen z. B. mit Liegenschaftsvermessungen nach dem Verfahren der frei gewählten Standpunkte zu kombinieren. Wiederherstellungs-Vermessungen sollten aus Genauigkeitsgründen nicht kombiniert werden.

4.1 *Messungsanordnung*

Die Tachymeter-Aufstellungspunkte T1 und T2 (Abb. 4) sollten etwa gleichen Abstand (auf 10%) vom AP 100 und den Sicherungspunkten 101 und 102 haben, damit der Einfluß systematischer Streckenfehler nach 2.2 etwa gleich ist und bei der Auswertung kompensiert wird. Bei ungleichen Abständen (z. B. Sicherungspunkt 103) kann insbesondere der zyklische Phasenfehler das Auswerteergebnis verfälschen – je nach Amplitude und Phasenlage – z. B. bei Amplitudenwerten von ± 5 mm bis zu 10 mm. Zufällige Streckenabweichungen beeinflussen den »Brechungswinkel« auf AP 100.

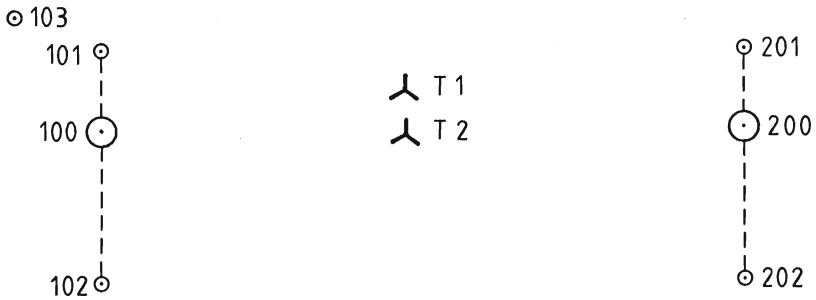


Abb. 4

Auf T1 – und zur Kontrolle auf T2 – werden die Richtungen, Zenitwinkel und Strecken zum AP, seinen Sicherungspunkten und benachbarten Polygon- und Liniennetzpunkten gemessen. Durch die Richtungs- und Streckenmessung zum AP 200 wird das System orientiert und kontrolliert. Die gleichzeitige Sicherungsvermessung für AP 100 und AP 200 kann zweckmäßig sein, wenn die geometrischen Bedingungen dies erlauben.

Topographische Einmessungen mit elektrooptischen Tachymetern werden zweckmäßig auch auf die Aufnahmelinien bezogen.

4.2 *Auswertung der Sicherungsvermessungen*

Die Tachymeterdaten der indirekten Sicherungsvermessung können z. B. mit dem HP-71-Programm »SIVERM« erfaßt und ausgewertet werden. Da die Sicherungspunkte vor der AP-Bestimmung vermessen werden müssen, werden die Koordinaten (Kontrollen) im örtlichen System berechnet mit dem AP als Nullpunkt und der Richtung zu einem benachbarten Lagefestpunkt als Abszissenachse. Ordinaten- und Abszissendifferenzen dürfen nicht größer als 0,008 mm sein.

Sobald die AP-Koordinaten im LS 100 vorliegen, sollten die Koordinaten der Sicherungspunkte mit einer Drei-Parameter-Transformation und Restklaffen-Beseitigung in dieses System überführt werden.

Das die Koordinaten der Sicherungspunkte in Bezug auf die des jeweiligen AP auf Millimeter nachgewiesen werden, kann auf den Nachweis der Sicherungs-Richtungen und -Strecken in den AP-Beschreibungen verzichtet werden.

4.3 *AP-Überprüfung im Netz bei Liegenschaftsvermessungen mit elektrooptischen Tachymetern*

Bei Liegenschaftsvermessungen nach dem indirekten Polarverfahren sind aus Gründen der Zuverlässigkeit (Kontrollierbarkeit) bei flächenhafter Verteilung mindestens 3 Anschlußpunkte, sonst 4 Anschlußpunkte erforderlich. Dafür sind besonders die Sicherungspunkte der AP geeignet. Es ist zweckmäßig, die Überprüfungs-Vermessung im Netz mit den – direkten – Anschlußmessungen vom frei gewählten Standpunkt zu kombinieren.

Dazu werden die bei der Anschlußmessung ermittelten Koordinaten mit Hilfe einer Drei-Parameter-Transformation auf die Koordinaten aus der Sicherungsvermessung transformiert.

Die Punktmarken sind als identisch anzusehen, wenn bei – direkter Zielung – und 4 Anschlußpunkten die Koordinaten-Restabweichungen 0,010 m sind.

5 Literatur

Chrzanowski / Steeves — Control Networks with Wall Monumentation; Canadian Surveyor 1977, Seite 211

Großmann / Kahmen — Vermessungskunde I, Sammlung Göschen, Berlin 1985

Aus der Rechtsprechung

Verkopplungskarte = Unterlage des Katasternachweises?

Das Oberverwaltungsgericht (OVG) Lüneburg hat 1983 in einem Berufungsurteil zur katasterrechtlichen Bedeutung der Verkopplungskarte bei Grenzfeststellungen Stellung genommen. Die in der Urteilsbegründung enthaltenen grundsätzlichen Ausführungen verdienen es meines Erachtens, sie wegen ihrer Auswirkungen im Verwaltungsverfahren Grenzfeststellung, zu veröffentlichen.

Vorbemerkungen:

Unterlagen von Verkopplungen und anderer Bodenordnungsverfahren waren zur Einrichtung des Grundsteuerkatasters herangezogen und ausgewertet worden. Dabei sind aus den Verfahrenskarten die Katasterurkarten, in der Regel durch Nadelstichkopie, abgeleitet und die Flächen der Flurstücke mit den in den Rezessen nachgewiesenen Flächen abgeglichen worden. Zweitstücke (Nadelstichkopien, Abschriften) der Verfahrenskarten, z. B. der Verkopplungskarten und der Rezesse wurden in der Regel von den Katasterämtern in den Archiven aufbewahrt.

Sachverhalt: (gekürzt)

Mit der Klage gegen den aus Anlaß einer Grenzfeststellung erlassenen Abmarkungsbescheid hatte der Kläger beantragt, der Feststellung und Abmarkung des rückseitigen Grenzpunktes seiner Grenze, neben einer Gebäudeeinmessung, insbesondere die Originalverkopplungskarte von 1847/49 zugrunde zu legen. Für die Grenze lagen bisher neben der 1891 auf dem Flustück des Klägers durchgeführten Gebäudeeinmessung – Unterlage b) –, durch die das Flurstück entsprechend den Nutzungsarten Hofraum und Garten vorübergehend in zwei Flurstücke zerlegt worden war, noch folgende Katasterunterlagen vor:

a) die Flurkarte im Maßstab 1:2133,3, die aus der Verkopplungskarte abgeleitet worden war und
c) eine Straßenvermessung von 1936, bei der der straßenseitige Grenzpunkt, durch eine Mauerecke abgemarkt, festgestellt worden war.

Nach Auswertung dieser Unterlagen ist der oben genannte Grenzpunkt und damit die Grenze anhand der Unterlagen zu a) und c) örtlich festgestellt und abgemarkt worden.

Die Gebäudeeinmessung – b) – hat aufgrund des im Fortführungsriß nachgewiesenen Grenz- und Zahlennachweises für die Feststellung des oben genannten Grenzpunktes keine Bedeutung.

Im Widerspruchsverfahren war durch eine mathematische Auswertung (Digitalisierung) der Verkopplungskarte, über heute noch identische Grenz- und Gebäudepunkte, die Feststellung und Abmarkung des Grenzpunktes durch das Katasteramt bestätigt worden.

Urteilsbegründung: (gekürzt)

In dem erstinstanzlichen Urteil stellte das VG nach Hinzuziehung eines Sachverständigen fest, daß der Grenzpunkt und damit auch die gemeinsame Grenze zwischen dem Kläger und dem Beigeladenen zutreffend abgemarkt sei. Die im Gutachten des Sachverständigen erwähnten Maße seien richtigerweise von der Katasterurkarte des Jahres 1875 abgegriffen worden; der abgemarkte Grenzpunkt füge sich zwanglos in die auf der Katasterurkarte abgegriffenen Maße ein. Der Gebäudeeinmessung des Jahres 1891 komme keine maßgebliche Bedeutung zu.

Im Berufungsurteil stellte das OVG fest, daß das VG die Klage zu Recht abgewiesen habe und der Beklagte (Katasteramt) in Übereinstimmung mit den formellen und materiellen Vermessungsvorschriften festgestellt habe, daß die abgemarkte Grenze hinsichtlich des hier streitigen Grenzpunktes mit dem Katasternachweis übereinstimme.

Zur katasterrechtlichen Bedeutung der Verkopplungskarte führte das OVG u. a. aus:

Das Liegenschaftskataster besteht aus dem Flurkartenwerk und den Katasterbüchern (§ 11 Abs. 1 Verm.KatG). Das Flurkartenwerk enthält Angaben über Grenzen, Lage, Nummern der Flurstücke usw. Nach dem Fortführungserlaß II, der als allgemein anerkannte Regel der Vermessungstechnik keine Rechtsquelle darstellt, besteht der Katasternachweis aus der Flurkarte und deren Unterlagen.

Danach gehören entgegen der Auffassung des Klägers weder das Original noch eine heute davon gefertigte Kopie der Verkopplungskarte von 1847/49 zum Katasternachweis im Sinne des § 16 Abs. 4 Verm.KatG. Denn sie gehören nicht zum Flurkartenwerk im Sinne des § 11 Abs. 2 Verm.KatG.

Der Katasternachweis beginnt vielmehr erst mit der Katasterurkarte von 1875, die von der Verkopplungskarte unmittelbar abgeleitet und dem Gutachten des Sachverständigen auch richtigerweise zugrunde gelegt worden ist. Der Kläger irrt, wenn er meint nach Anlegung des Grundbuches die Verkopplungskarte zur Katasterkarte erklärt worden sein. Vielmehr ist nur eine Kopie der Verkopplungskarte zur Katasterurkarte erhoben worden, auf die die heutige Flurkarte im selben Maßstab von 2133,3 auch zurückgeht.

Demnach erschöpft sich die katasterrechtliche Bedeutung der Verkopplungskarte von 1847/49 darin, daß sie durch Kopierung zur Herstellung der ersten Gemarkungskarte gedient hat. Ein Rückgriff im Rahmen des Katasternachweises auf die Verkopp-

lungskarte erscheint dem Senat nach Herstellung der ersten Gemarkungskarte von 1875 daher ausgeschlossen. Wenn danach der Katasternachweis im Hinblick auf den hier streitigen Grenzpunkt im wesentlichen in der Katasterurkarte von 1875 besteht, so war insbesondere zu prüfen, ob die nach diesem graphischen Nachweis abgegriffenen und in die Örtlichkeit übertragenen Maße sich innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen (größten zulässigen Abweichungen) halten.

Ebenso wie vom VG wurde der Gebäudeeinmessung von 1891 vom OVG keine Bedeutung zugemessen.

Die wegen der nicht zugelassenen Revision eingelegte Beschwerde wurde vom BVG 1984 zurückgewiesen.

Olbrich

Buchbesprechungen

Gottfried Konecny / Gerhard Lehmann: **Photogrammetrie,** 4., völlig neu bearbeitete Auflage des Göschenbandes 1188 / 1188a, Lehmann: »Photogrammetrie«. 396 Seiten, 196 Abbildungen und 4 Anaglyphenbildseiten, Format 15,5 cm x 23 cm. Walter de Gruyter, Berlin / New York 1984. Gebunden 52,00 DM. ISBN 3 – 11 – 007358 – 7.

Der Göschen »Photogrammetrie« von G. Lehmann wollte nur eine Einführung in die Photogrammetrie sein. Dank des pädagogischen Geschicks des Verfassers, für den die preußische Maxime »mehr sein – als scheinen« galt, war auch der damalige Göschen schon mehr als ein Einführungslehrbuch. Die Neubearbeitung von Konecny ließ das bescheidene Bandchen zu einem hervorragend ausgestatteten Lehrbuch werden. Diese Neubearbeitung steht aber auch in der Tradition der Lehmannschen Schule und dokumentiert, was in Hannover für die Aerotriangulation – speziell für die Bündelausgleichung und die zusätzlichen Parameter – getan worden ist. Hauptsächlich ist es natürlich das Werk des polyglotten Photogrammeters Konecny, der die Photogrammetrie als Fernerkundung mittels des sichtbaren Lichtes und des fotographischen Verfahrens auffaßt. Damit stellt er Photogrammetrie im Rahmen der weltweiten aktuellen Probleme dar, bis hin zur metrischen Kamera im Spacelab 1983. Die Stellung der Photogrammetrie im Zusammenhang mit physikalischen und mathematischen Fachbereichen von der elektromagnetischen Strahlung, der elektronischen Bildkorrelation, der digitalen Bildverarbeitung bis hin zu den analytischen Auswertefragen wird geboten. Daneben finden sich auch ganz praktische Fragen und Antworten zum Bedarf an topographischen Karten und den Kosten für ihre Herstellung.

Insgesamt füllt das neue Lehrbuch eine Lücke in der Fachliteratur zur Photogrammetrie und kann allen herzlich empfohlen werden.

Bauer

Walter Großmann / Heribert Kahmen: **Vermessungskunde I,** Fehlerlehre, Vermessungen und Berechnungen für großmaßstäbige Karte und Pläne, Nivellieren. – 16. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. – Sammlung Göschen 2160, 1985, Walter de Gruyter, Berlin – New York. 24,80 DM.

Zwei Jahre nach der Neuauflage des in Heft 1/84 besprochenen Bandes »Vermessungskunde II« liegt nun auch der erste Band in vollkommen überarbeiteter Form vor. Schon ein erstes flüchtiges Durchblättern läßt erkennen, daß der Verfasser nicht nur auf die Aktualisierung, sondern auch auf die Systematisierung des Stoffes großen Wert gelegt hat. Die überarbeitete Gliederung, das erweiterte Literaturverzeichnis und ein neu eingefügtes Symbolverzeichnis verleihen dem Band endlich wieder die Qualität eines aktuellen Nachschlagewerks. Darüber hinaus hat es der Verfasser ausgezeichnet verstanden, den Stoff durch ausführliche Einleitungen zu den Kapiteln und zusätzlich eingefügte Erklärungen von Fachausdrücken soweit aufzubereiten, daß er, ergänzt durch eine Vielzahl von Abbildungen und Rechenbeispielen, auch für Laien und Berufsanfänger wesentlich leichter zu erarbeiten ist.

Aus Sicht der Praktiker ist zu begrüßen, daß in der Neubearbeitung neben den neuen Einheiten und Symbolen auch die bisher gebräuchlichen Bezeichnungen nachrichtlich aufgeführt sind.

Die inhaltliche Erweiterung des ersten Abschnittes »Grundlagen« besteht im wesentlichen aus einer Gegenüberstellung und Beschreibung der geodätischen Bezugsflächen. In einem kurzen historischen Exkurs wird die Entwicklung der heutigen Meßeinheiten anschaulich nachgezeichnet.

Im Abschnitt »Abstecken und Messen gerader Linien« liegen die Schwerpunkte nunmehr auf der Beschreibung von Instrumenten und Verfahren, die auch im Zeitalter der elektrooptischen Entfernungsmessung noch Bedeutung haben. Dazu zählen insbesondere die Längenmessungen mit Stahlmeßstäben für die sehr genaue Längenbestimmung auf engem Raum und die mit Stahlmeßbändern und Drähten bei hohen Präzisionsanforderungen. Von den Instrumenten zum Abstecken fester Winkel ist die Kreuzscheibe, die heute eher dekorativen Wert besitzt, in den Hintergrund gerückt. Winkelspiegel werden, ihrer Bedeutung in der Praxis angemessen, nicht mehr erwähnt.

Im dritten Abschnitt »Lagevermessung für großmaßstäbige Karten« wird nunmehr auch das Polarverfahren beschrieben. Verglichen mit der Bedeutung, die dieses schon seit Jahren eingesetzte Verfahren besitzt, könnte der Informationsgehalt dieses Kapitels umfassender sein. Wünschenswert wäre hier u. a. eine umfassende Darstellung der Voraussetzungen, die für einen wirtschaftlichen Einsatz des Verfahrens erfüllt sein müssen. Über Anforderungen an das Festpunktfeld oder an die Geräteausstattung ließe sich sicherlich viel schreiben. Der Teil über Kartierung und Zeichnung gibt dagegen einen realistischen Überblick über die heutige Praxis. Interaktive graphische Kartier- und Datenbanken stehen hier gleichrangig neben der manuellen Kartierung.

Auch im Bereich der Flächenberechnung (Abschnitt 4) sind die heutigen Automationsansätze, insbesondere bei der graphischen Flächenbestimmung, gebührend

berücksichtigt. Hier reicht die Palette vom Planimeter mit elektronischem Zähler bis zum Digitalisiertisch mit Rechner.

Der Abschnitt 5 über Bestandteile geodätischer Meßinstrumente enthält jetzt ausführliche Beschreibungen von Planspiegel- und Reflexionsprismen-Systemen. Neu ist auch der Abschnitt über Libellenprüfer hoher Präzision.

Neue Schwerpunkte hat der Verfasser in den letzten Abschnitten über Nivelliergeräte und -verfahren gesetzt. Besonders eingehend werden die Ursachen und Wirkungen systematischer Fehler bei den zwei verschiedenen Gerätetypen behandelt, wobei selbst der vor kurzem erkannte Einfluß des Magnetfeldes auf Kompensatoren nicht fehlt.

Besonders hervorzuheben sind auch die Kapitel über das Kalibrieren von Nivellierlatten, den Einsatz mobiler Datenerfassungsgeräte und der kurze Abschnitt über Refraktionsmodelle. Bei den Nivellierverfahren ist das Feinnivellement besonders im Hinblick auf systematische Fehler ausführlicher als bisher beschrieben. Neueste Erkenntnisse über die Fehlerfortpflanzung zufälliger und systematischer Fehler runden die Ausführungen ab.

Der neue Band »Vermessungskunde I« ist in jeder Hinsicht als gelungen anzusehen. Dieser Band sollte als Standardwerk auf keinem Schreibtisch fehlen. Eine Neuanschaffung lohnt sich!

Anngret Brandt-Wehner

Personalnachrichten

Beamte des höheren Dienstes

I. Ernannt:

zum Ministerialrat

VermDir	Möllering	MI-Ref. 57	18. 1.84

zu VermDir

VermOR	Groeneveld	KatA Bückeburg	13.11.84
VermOR	Walter	KatA Northeim	25. 1.85

zu VermOR

VermR	Washausen	NLVwA-B 3	30.11.84
VermR	Schönherr	NLVwA-B 8	1. 2.85

zu VermAss.

Ass. d. Verm. Dienstes	Dauert	KatA Osnabrück	1.11.84
Ass. d. Verm. Dienstes	Wissel, Dr.	KatA Meppen	1.11.84

II. Versetzt:

VermOR	Koch	vom KatA Bad Gandersheim an das KatA Braunschweig	1.11.84
VermOR	Grundmann	von der Reg. Bez. Braunschweig an das KatA Salzgitter	1.11.84
VermR	Kieschke	vom KatA Salzgitter an das KatA Wolfenbüttel	1.11.84

Beamte des gehobenen Dienstes

I. Ernannt:

zu VermOAR

VermAR	Zimmermann	KatA Osterode	1.10.84
VermAR	Tschirschke	Bez.-Reg. Weser-Ems	1.12.84

zu VermAR

VermA	Uphues	NLVwA-B 3	2.10.84
VermA	Harder	NLVwA-B 3	25.11.84
VermA	Klöver	Bez.-Reg. Weser-Ems	1. 2.85

zu VermA			
VermOInsp	Podreneck	NLVwA - B 2	1. 9.84
VermOInsp	Kranzbühler	KatA Osnabrück	1.11.84
zu VermOI			
VermOInsp z.A.	Schulz	KatA Lüchow	29. 8.84
VermOInsp z.A.	Rabe	KatA Celle	24. 9.84
VermOInsp z.A.	Flack	KatA Gifhorn	27.10.84
VermOInsp z.A.	Köcher	KatA Peine	17.11.84
zu VermOInsp z.A.			
VermInspAnw	Waltje	Bez.-Reg. Hannover	5. 9.84
VermInspAnw	Jahnke	KatA Delmenhorst	6. 9.84
VermInspAnw	Wüstefeld	NLVwA - B 1	6. 9.84
VermInspAnw	Held	NLVwA - LVm	6. 9.84

II. Versetzt:

VermOI	Stünkel	vom KatA Hannover an das NLVwA - LVm -	1. 2.85
VermOI	Hösl	von der Bez.-Reg. Hannover an das KatA Hannover	1. 2.85
VermOI z.A.	Held	vom NLVwA - LVm - an die Bez.-Reg. Hannover	1. 2.85
VermAR	Ansorge	vom KatA Cuxhaven an die Bez.-Reg. Lüneburg	1. 2.85
VermA	Wiedenroth	vom KatA Gifhorn an das KatA Celle	1. 2.85
VermOI	Wacker	vom KatA Uelzen an das KatA Osnabrück	1. 2.85
VermOI	Achnitz	vom KatA Wolfsburg an das KatA Gifhorn	1. 2.85

III. In den Ruhestand versetzt:

VermAR	Onken	KatA Wittmund	1.11.84
VermAR	Rumpf	KatA Göttingen	1. 1.85
VermAR	Ehle	KatA Gifhorn	1. 1.85
VermOAR	Schmidt	Bez.-Reg. Lüneburg	1. 2.85
VermAR	Janssen	KatA Aurich	1. 3.85
VermOAR	Lange	MI – Ref. 56 –	1. 3.85

Beamte des mittleren Dienstes

I. Ernannt:

zu VermAI			
VermHSekr	Abenrieb	Bez.-Reg. Lüneburg	1.10.84
VermHSekr	Mandel	KatA Vechta	1.12.84
zum VermHSekr			
VermOSekr	Deye	Bez.-Reg. Weser-Ems	1. 9.84

zum VermOSekr			
VermSekr	Wellen	KatA Nordhorn	1. 9.84
zu VermSekr			
VermAssist	Timmer	KatA Nordhorn	1. 9.84
VermAssist	Schomburg	KatA Oldenburg	1.11.84
zum VermAssist z.A.			
VermAssistAnw.	Ziegler	KatA Hannover	28. 1.85

Weitere Nachrichten

Liste der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure

I. Eintragung:

Lfd. Nr.	Name, Vorname	Geburts-datum	Amtsbezirk	Amtssitz	Aufsichts-behörde
149	Geisemeyer, Dieter	26. 4. 1954	Land Niedersachsen	Stadthagen	Bezirksregierung Hannover
150	Helms, Burghard	28. 2. 1952	Land Niedersachsen	Osterholz-Scharmbeck	Bezirksregierung Lüneburg

II. Änderung:

Dem unter lfd. Nr. 138 aufgeführten Werner Busch ist auf Antrag als Amtssitz Cuxhaven zugewiesen worden.

Dem unter lfd. Nr. 104 aufgeführten Bernd Hesse ist auf Antrag als Amtssitz Buxtehude zugewiesen worden.

III. Löschung:

Der unter lfd. Nr. 138 aufgeführte Werner Busch mit Amtssitz in Cuxhaven ist auf Antrag mit Wirkung vom 1. 2. 1985 aus seinem Amt entlassen worden.

Der unter lfd. Nr. 140 aufgeführte Joachim Raschdorf mit Amtssitz in Alfeld ist auf Antrag mit Wirkung vom 15. 4. 1985 aus seinem Amt entlassen worden.

Anschriften der Mitarbeiter

Hans-Dieter Heide, Dipl.-Ing. im Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -, Warmbüchenkamp 2, 3000 Hannover 1

Dr.-Ing. Udo Heineke, Vermessungsoberrat im Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -, Warmbüchenkamp 2, 3000 Hannover 1

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Torge, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Nienburger Straße 6, 3000 Hannover 1

Dr.-Ing. Manfred Bäumker, Lörracher Straße 18, 7800 Freiburg

Dr.-Ing. Wolfgang Augath, Vermessungsdirektor im Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -, Warmbüchenkamp 2, 3000 Hannover 1

Prof. Dr.-Ing. Günter Seeber, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Nienburger Straße 6, 3000 Hannover 1

Dr.-Ing. Otto Neisecke, Vermessungsoberrat, Leiter des Katasteramtes Wolfenbüttel, Harztorwall 246, 3340 Wolfenbüttel

Karl Semmelroggen, Vermessungsamtmann beim Katasteramt Göttingen, Danziger Straße 40, 3400 Göttingen

Dr.-Ing. Wilhelm Tegeler, Vermessungsdirektor im Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Landesvermessung -, Warmbüchenkamp 2, 3000 Hannover 1

Helmut Olbrich, Vermessungsamtmann bei der Bezirksregierung Hannover, Am Waterlooplatz 11, 3000 Hannover 1

Dr.-Ing. Hans Bauer, Ministerialrat im Niedersächsischen Ministerium des Innern, Lavesallee 6, 3000 Hannover 1

Anngret Brandt-Wehner, Vermessungsrätin im Niedersächsischen Ministerium des Innern, Lavesallee 6, 3000 Hannover 1

Einsendeschluß für Manuskripte

Heft 1 ..... 10. November
Heft 2 ..... 10. Februar
Heft 3 ..... 10. Mai
Heft 4 ..... 10. August