



Einfluß von GPS-Messungen und neuer Netzteile auf ein bestehendes trigonometrisches Netz I. Ordnung, dargestellt am ED87 in Österreich

Walter Ehrnsperger ¹

¹ *München*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **84** (4), S. 339–348

1996

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Ehrnsperger_VGI_199649,  
  Title = {Einflu{\ss} von GPS-Messungen und neuer Netzteile auf ein bestehendes  
          trigonometrisches Netz I. Ordnung, dargestellt am ED87 in {"0}sterreich},  
  Author = {Ehrnsperger, Walter},  
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {339--348},  
  Number = {4},  
  Year = {1996},  
  Volume = {84}  
}
```



cher Atmosphäre bei einem Heurigenabend, bei einem Schloßfest in Grafenegg, bei einem Empfang im Wiener Rathaus und zur geistigen und auch sportlichen Erbauung bei Orgelkonzerten und einem Radausflug treffen.

Dank und Anerkennung dem Kongreßdirektor mit seinem erfolgreichen Team, die das alles so gekonnt über die Bühne brachten!

Literatur

[1] Kraus, K.: Die Vorbereitungen des 18. Kongresses der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, VGI, vol. 84, pp. 125 – 130, 2/1996

[2] Schlögl, M.: Eduard Dolezal – ein Vater der österreichischen Photogrammetrie, VGI, vol. 84, pp. 119 – 120, 2/1996

[3] Brandstätter, G., Höflinger, E., Kilga, R.: Austria – National Report, VGI, vol. 84, pp. 132 – 137, 2/1996

[4] Kilga, R., Paresi, C. N.: OEEPE – Regional Member Report 1992 – 1996, VGI, vol. 84, pp. 138 – 144, 2/1996

Anschrift des Autors

Baurat h. c. Dipl.-Ing. Ernst Höflinger, IKV
Postfach 441, A-6021 Innsbruck
Fax: +43-512-58 13 16 - 9
E-mail: geo.hoef@aon.at



Einfluß von GPS-Messungen und neuer Netzteile auf ein bestehendes trigonometrisches Netz I. Ordnung, dargestellt am ED87 im Bereich von Österreich

Walter Ehrnsperger, München

Zusammenfassung

Das 1989 fertiggestellte ED87 wurde auf die Länder Tschechische Republik, Slowakei und Ungarn ausgedehnt. Zur Sicherung der Nachbarschaftsgenauigkeit zwischen Österreich und Ungarn wurde eine eigene GPS-Kampagne durchgeführt. Das ED87 wurde mit den zusätzlichen terrestrischen und den GPS-Daten als Gesamtausgleichung neu berechnet. Die Verschiebungsvektoren gegenüber der bisherigen Lösung von ED87 im Bereich von Österreich werden dargestellt und diskutiert.

Abstract

The ED87, finished in 1989, has been enlarged by the countries of the Czech Republic, Slovakia and Hungary. A special GPS-campaign has been performed in order to ensure the accuracy between Austria and Hungary. The whole adjustment of the ED87 using also the new terrestrial and GPS-data has been recomputed. The shift vectors between the old and new solution of the ED87 in the region of Austria are presented and discussed.

1. Einleitung

Die gemeinsame strenge Ausgleichung aller verfügbaren Daten I. Ordnung der Europäischen Triangulationen, ein schon von [2] genanntes Ziel, wurde als European Datum 1987 (ED87) vollendet und 1989 publiziert [3]. Allerdings war diese Ausgleichung wegen der damaligen politischen Verhältnisse auf Westeuropa beschränkt [9]. Die Triangulationen der osteuropäischen Staaten wiederum wurden in einem „United Astrogeodetic Network“ (UAGN) mit über 2000 Stationen auf dem Krassowsky-Ellipsoid ausgeglichen. Damit bildete bis 1989 die mitten durch Europa verlaufende Grenze der Wirtschafts- und Einflußsphären zugleich auch eine Trennungslinie der geodätischen Systeme Europas, zwischen denen es seit 1945 keinerlei Verbindungsmessungen mehr gab. Erst nach der „Zeiten-

wende“ von 1989 konnte die Trennungslinie auch zwischen den geodätischen Systemen durchbrochen werden. Seither arbeiten die Staaten Ost- und Westeuropas intensiv an der Verwirklichung eines gemeinsamen europäischen Bezugssystems, dem European Reference Frame (EUREF), zusammen. Darüberhinaus werden auch klassische Triangulationen über die alten Blockgrenzen hinweg gerechnet. Auf Bitte der Vertreter der Tschechischen Republik, der Slowakei und Ungarns wurden die trigonometrischen Netze I. Ordnung dieser Länder von der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung neu ausgeglichen.

Zunächst wurde dies als wichtiger Schritt für die Integration Europas angesehen, im Verlauf der Rechnungen zeigte sich jedoch auch ein beträchtlicher wissenschaftlicher Gewinn, der vor

allem Aussagen über die Stabilität klassischer Netze bei Verwendung von zusätzlichen nichtterrestrischen Beobachtungen betrifft.

2. Verwendete Daten

Die von der ehemaligen Tschechoslowakei und Ungarn übermittelten, auf das Internationale Ellipsoid 1924 reduzierten Daten umfaßten Richtungsmessungen, elektro-optisch gemessene Strecken und geodätische Azimute. Im ungarischen Netz wurden zusätzlich die Ergebnisse von 2 Doppler-Kampagnen übermittelt, die 18 Stationen betrafen. Im tschechischen und slowakischen Netzteil wurden neun aus GPS-Messungen abgeleitete Maßstabsstrecken eingeführt. Die 23 elektro-optischen Strecken im Bereich der ehemaligen CS erhielten, obwohl sie mit Geodimetern gemessen sind, einen unbekannt Maßstabsfaktor, das heißt, sie wurden wie Verhältnisstrecken behandelt. Tabelle 1 gibt eine Aufstellung der neuen und alten Daten.

Messungsart/ Block	Ungarn	CS	ED87 (alt)	Bemerkungen
Richtungen	758	751	28619	
Richtungssätze	139	137	6227	
Strecken	49	23	22315	
Azimute	40	16	562	
GPS-Strecken	0	9	0	
Doppler-Punkte	18	0	126	
Stationen	155	172	7768	
GPS-Stationen	10	6	0	10 in A

Tabelle 1: neue und alte Daten

3. Vorarbeiten

Zu einer länderübergreifenden Ausgleichung werden möglichst viele Dreieckspunkte benötigt, die Teil der benachbarten Landesnetze sind, mit anderen Worten, die in beiden Netzen als Stand- und/oder Zielpunkte verwendet wurden. Dazu wurden vielfach eigene Verbindungsketten gemessen. Die Verbindung zwischen dem ED87 und der Tschechischen Republik ist durch die „Deutsch-Böhmisch-Mährische Verbindungskette 1940–1942“ [8] gegeben. Die Netze der Tschechischen Republik und der Slowakei wurden als einheitliches Netz der ehemaligen Tschechoslowakei beobachtet. Die Verbindungsmessungen zwischen der Slowakei und Ungarn wurden in den Jahren 1949–1959 durchgeführt. Für die Verbindung zwischen Österreich und Ungarn lagen Richtungsmessungen aus der Zeit der k. u. k. Monarchie vor. Wegen der Unsicherheit der Zentrierelemente zwischen den neuen und

alten Zentren, bzw. der mindestens teilweise fraglichen Exzentrizitäten wurden diese alten Messungen zunächst nur mit geringem Gewicht eingeführt. Der Ausreißertest nach (Baarda 1968) zeigte trotz kleiner Gewichte noch einige Richtungen an, deren standardisierte Restfehler wi beträchtlich über dem eingeführten Grenzwert

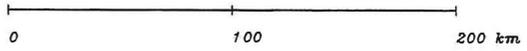
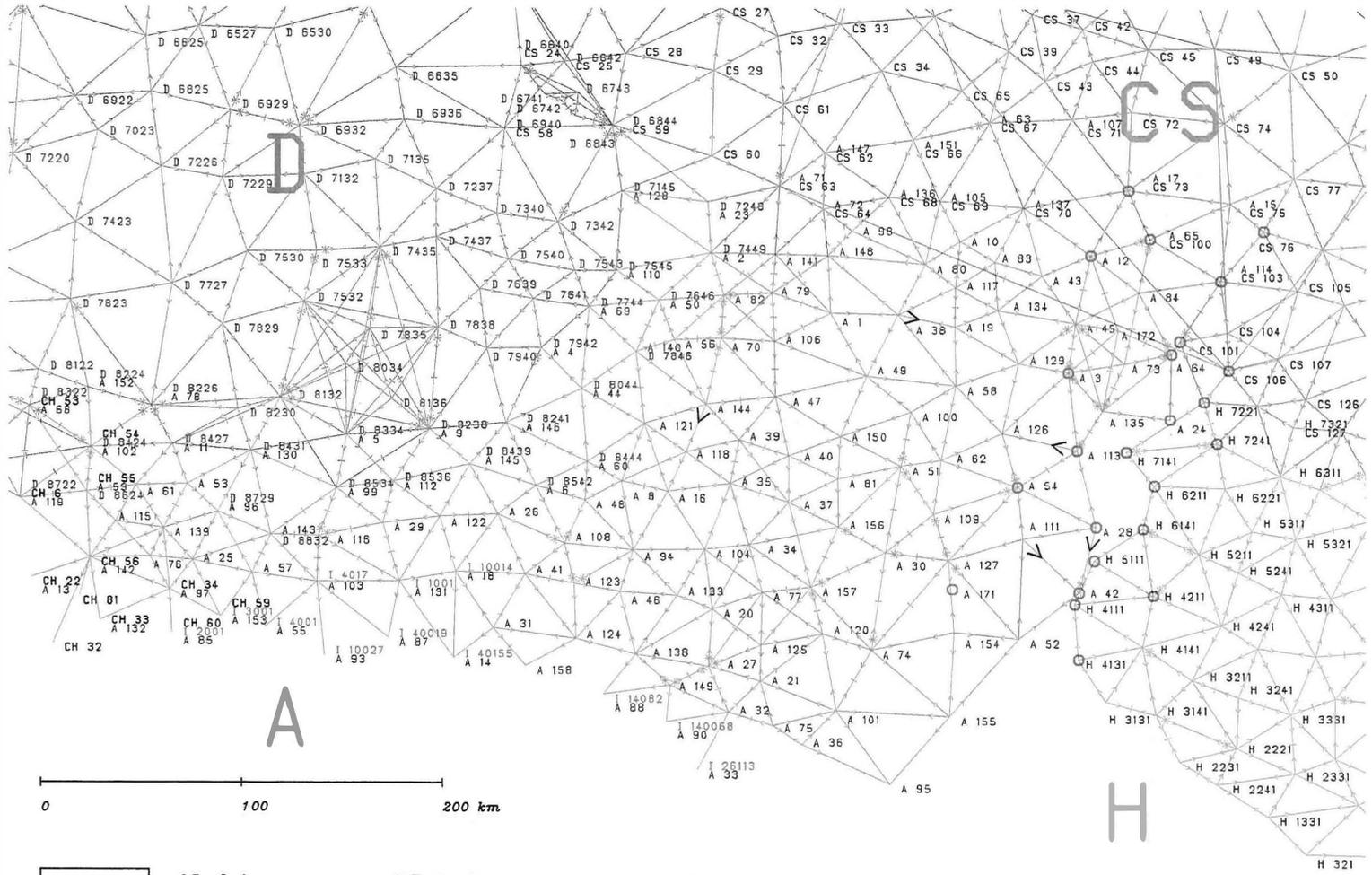
$$w_i > \sqrt{F_{0,999,1,\infty}} = 3,29$$

lagen. Daher wurden im Herbst 1993 auf 26 Stationen in Österreich, Ungarn, der Tschechischen und Slowakischen Republik GPS-Messungen durchgeführt und im erstem Halbjahr 1994 von drei Institutionen unabhängig voneinander ausgewertet [7]. Die aus den Einzellösungen geschätzten mittleren Fehler für die Punktgenauigkeit einer GPS-Station liegen zwischen 2 und 9 mm. Die zunächst eingeführten, alten Verbindungsmessungen zwischen Österreich und Ungarn wurden nun wieder entfernt. Abbildung 1 zeigt das terrestrische Netz von Österreich zusammen mit den angrenzenden Netzen, die GPS-Stationen in rot und die Nahtzonen zwischen den klassischen Netzen in gelb. In Nahtzonen liegen die Stationen, die Beobachtungen beider benachbarter Landesnetze enthalten.

4. Ausgleichung

Zunächst war geplant, die neuen Netze von Ungarn und der ehemaligen Tschechoslowakei an das ED87 „anzurechnen“, also alle im ED87 bestimmten Koordinaten festzuhalten. Die gemeinsame Naht ist etwa 400 km lang und reicht von CS 205/D 5839 Kapellenberg im Nordwesten bis nach A 15/CS 75 Cupy bzw. A 114/CS 103 Rostum im Osten. Es wurden etwa 10 verschiedene Varianten mit festgehaltenen Nahtstationen gerechnet. Da die Festpunkte einen beträchtlichen Zwang auf das neue Netz ausübten, befriedigte keine dieser Versuchsrechnungen. Auch ein Blick auf Abbildung 1 zeigt, daß die Nahtpunkte im Nordosten des österreichischen Netzes wegen der ungünstigen Geometrie und der Möglichkeit der Überbestimmung von nur einer Seite her nur eine geringe Zuverlässigkeit aufweisen können.

Um den Einfluß der neuen Netzteile und der neuen GPS-Beobachtungen (für die Naht Ungarn Österreich) auf die Nahtkoordinaten abschätzen zu können, wurde eine vollständige Neuausgleichung des gesamten ED87 versucht. Dabei erwies sich die bisherige Bestimmung der ED87-Koordinaten als sehr stabil, lediglich die Nahtstationen und ihre unmittelbaren Nachbarstationen erfuhren merkliche Koordinatenänderungen. Die maximale Koordinatenänderung betrug 24,5 cm für die



Nahtzone
 GPS Station
 → *Ausreisser*

Abb. 1: Netz Österreich und angrenzende Blöcke des ED 87

nordöstlichste Station im österreichischen Netz (A 15/CS 75 Cupy), die bereits in der ehemaligen Tschechoslowakei liegt. Das Feld der Änderungsvektoren zeigt Abbildung 2. Die 47 Absolutbeträge der Koordinatenverschiebungen, die größer als 5 cm sind, gibt Tabelle 2 wider. Drei Werte übersteigen 20 cm, elf Werte 15 cm und zwanzig Werte 10 cm. Die Systematik der Vektoren im Nordostteil des Netzes läßt den Einfluß der GPS-Maßstabsstrecken im Gebiet der ehemaligen CS erkennen. In diesem Zusammenhang ist vor allem auf die Strecke CS 63 – CS 101 hinzuweisen, die überwiegend auf österreichischem Gebiet verläuft.

Die Unregelmäßigkeit der Vektoren im Südostteil des österreichischen Netzes dagegen ist ausschließlich durch den Zwang der GPS-Stationen verursacht. Hier sind besonders die Stationen A 28 Geschriebenstein (Irottkö) und A 42 Güssing zu nennen, deren Verschiebungsvektoren in konträre Richtungen weisen. Damit korrespondierend zeigen die Richtungsmessungen in A 113 Rosalienkapelle, A 28 Geschriebenstein (Irottkö) und A 42 Güssing Ausreißer an, die bei der alten Ausgleichung ohne GPS nicht auftraten. Der zunächst vermutete Verdacht, daß etwa bei Station A 42 unrichtige Exzentrizitäten zwischen GPS-Station und ED87-Punkt eingeführt worden seien, wurde

vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), Wien, nicht bestätigt. Vielmehr wies das BEV darauf hin, daß in diesem Bereich die Richtungsmessungen gegenüber dem übrigen Netz weniger zuverlässig sind.

Das Verfahren der Ausgleichung selbst ist, soweit möglich, dasselbe wie bei der Berechnung des ED87. Die verwendeten Formeln wurden in [4] bereits ausführlich vorgestellt. In der Berechnung des ED87 sind allerdings keine Raummessungen mit der durch GPS erreichten Genauigkeit enthalten. Lagen im ED87 die mittleren Fehler der Dopplermessungen bei 0,30 m und die der Laserfundamentalstationen noch bei 0,10 m, so beträgt die Nachbargenauigkeit der neuen GPS-Stationen 0,005 m. Das Verhältnis der Gewichte lautet demnach etwa

Doppler : Fundamentalstationen : GPS = 1 : 9 : 3600.

Zwei Fragen sind bei diesen großen Gewichtsunterschieden zu klären:

1. Können die für Doppler-Messungen konzipierten Formeln [10] auch auf GPS-Messungen angewendet werden?

Da von der Theorie her kein Unterschied zwischen GPS und Doppler erkennbar ist, kann diese Frage nur durch eine praktische Erpro-

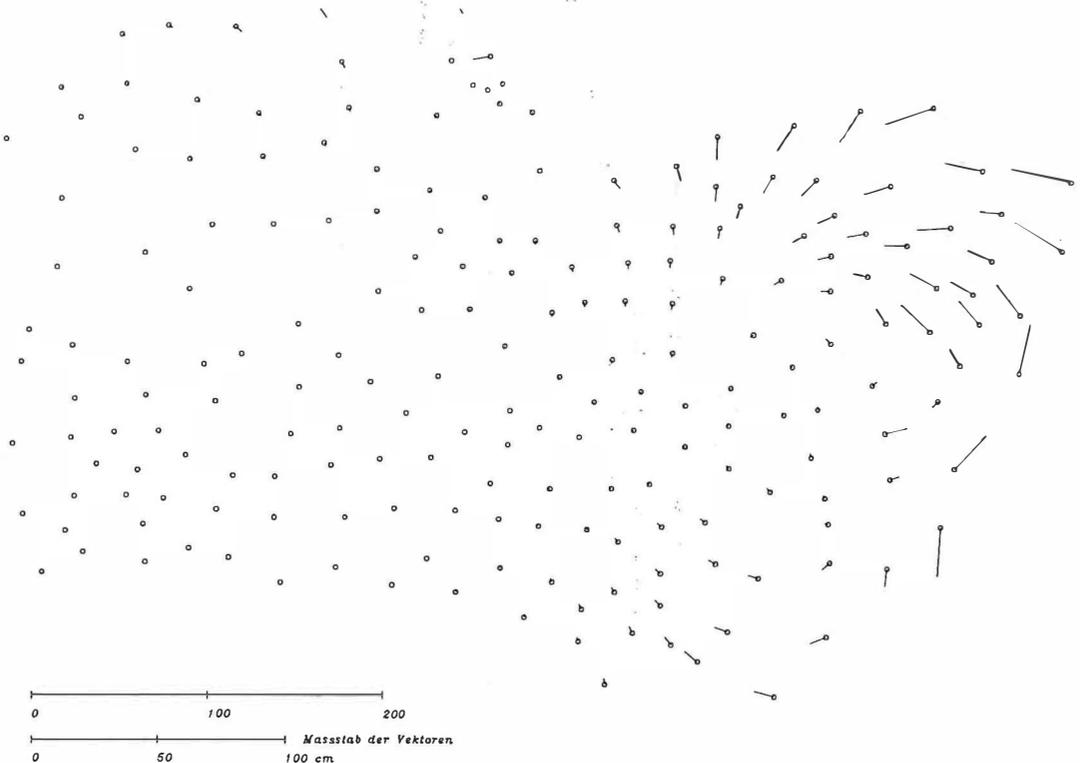


Abb. 2: Verschiebungsvektoren von ED 87 (alt) nach ED 87 (neu)

Stationsnummer (manche Stationen haben zwei Nummern)		Vektorkomponenten (Verbesserung zu ED 87)		Betrag des Vektors [cm]	Bemerkung
		dφ [cm]	dλ [cm]		
CS 75	A 15	5,4	-23,9	24,5	
CS 103	A 114	11,6	-19,0	22,2	GPS-Station
	A 24	19,5	4,8	20,1	GPS-Station
CS 71	A 107	- 6,5	-18,6	19,7	
	A 42	-19,1	- 1,2	19,1	GPS-Station
CS 205	A 28	13,3	12,5	18,2	GPS-Station
	D 5839	- 3,6	16,0	16,4	
CS 21	D 6041	- 9,5	13,2	16,3	
CS 73	A 17	3,1	-15,3	15,6	GPS-Station
	A 3	10,5	-11,0	15,3	GPS-Station
CS 67	A 64	12,2	- 9,1	15,2	GPS-Station
	A 63	-12,4	- 7,9	14,7	
CS 22	D 6240	-12,4	7,7	14,6	
	A 12	- 0,8	-13,1	13,2	GPS-Station
	A 73	9,1	- 8,1	12,2	
CS 66	A 151	-10,1	- 6,6	12,1	
	A 45	5,6	-10,3	11,7	
CS 70	A 137	- 3,3	-10,5	11,0	
	A 172	5,1	- 9,2	10,6	
	A 84	4,2	- 9,5	10,4	
CS 62	A 147	- 8,8	0,1	8,8	
CS 69	A 105	- 6,3	- 6,1	8,8	
	A 54	2,2	8,4	8,7	GPS-Station
	A 43	0,2	- 8,7	8,7	
CS 100	A 65	0,8	- 8,6	8,6	GPS-Station
	D 5537	0,9	8,6	8,6	
	D 5936	- 4,7	6,9	8,3	
	A 95	2,0	- 7,8	8,1	
CS 68	A 135	6,8	- 4,3	8,0	
	A 136	- 6,6	- 3,6	7,5	
	A 83	- 1,4	- 7,1	7,3	
	A 10	- 3,1	- 6,5	7,2	
	A 129	5,8	- 3,7	6,9	
	D 5735	- 0,5	6,8	6,9	
	A 52	- 6,7	- 0,8	6,8	
CS 25	D 6642	- 1,4	- 6,5	6,7	
	A 155	- 2,5	- 6,1	6,6	
CS 63	A 71	- 5,9	1,9	6,2	
	A 36	3,6	- 4,8	6,1	
	D 5534	0,9	5,9	6,0	
CS 64	D 6034	- 2,7	5,0	5,7	
	A 72	- 5,6	- 0,1	5,6	
	A 134	1,2	- 5,4	5,5	
	A 101	1,7	- 5,0	5,3	
	D 6434	- 4,1	3,4	5,3	
	A 80	- 2,6	- 4,5	5,2	
	A 117	- 1,3	- 4,9	5,0	

Tabelle 2: Stationen, deren Koordinaten sich bei einer Neuausgleichung des ED87 um mehr als 5 cm ändern

bung beantwortet werden. Die vorliegenden Ergebnisse, die auch durch eine teilweise Iteration kontrolliert wurden, zeigen das Funktionieren dieser Vorgehensweise.

2. Wie kann die Cholesky-Zerlegung des Normalgleichungssystems bei derart großen Koeffizientenunterschieden noch durchgeführt werden? Der übliche Weg der Pivotsuche ist bei der vorliegenden Konzeption des Programmsystems nicht möglich, da jeweils nur ein Teil des Systems in den Kernspeicher geladen wird.

Wenn das Gleichungssystem nicht verändert wird, treten tatsächlich Scheinsingularitäten durch Stellenauslöschung bei der Aufsummierung von Produkten im Cholesky-Algorithmus auf. Werden dagegen die Normalgleichungen, die GPS-Beobachtungen enthalten, an das Ende des Gleichungssystems getauscht, so kann dieses ohne Probleme aufgelöst werden.

5. Singularitätsprüfung der neuen Blöcke

Die Singularitätsprüfung der neuen Blöcke erfolgte mit Hilfe der Eigenwerte der teilreduzierten Normalgleichungsmatrizen. Da auch die Nähe der Blöcke Deutschland und Österreich wegen der neuen Netze geändert werden mußten, wurde auch für diese eine Singularitätsprüfung durchgeführt. Bedeutsam ist für jeden Block die Anzahl der Eigenwerte gleich Null oder nahezu gleich Null. Für ein Netz auf der Ebene müssen mindestens vier Eigenwerte Null sein, zwei für die Lagerung (x, y) einer für den Maßstab und einer für die Orientierung. Die Verhältnisse für die Rechnung auf dem Ellipsoid sind etwas komplizierter, weil z.B. Netzmaßstab und Größe der Ellipsoidachsen korreliert sind. In der praktischen Anwendung spielt dies wegen der im Vergleich zu den Ellipsoiddimensionen geringen Ausdehnung der berechneten Netze jedoch keine Rolle.

Sind einzelne Punkte eines Blockes nicht bestimmbar, weil sie z.B. nur von einem Standpunkt aus angezielt sind, so muß für jeden derartigen Punkt ein weiterer Eigenwert Null sein. Im Block Österreich sind die Normalgleichungen insgesamt 17fach singular. Außer den vier obligaten Nullstellen sind folgende 13 Punkte nicht mit österreichischen Messungen allein bestimmbar:

A 15 = CS 75
 A 107 = CS 71
 A 147 = CS 62
 D 6844 = CS 59
 A 4 = D 7942

A 78 = D 8226
 A 152 = D 8224
 A 13 = CH 22
 CH 32

CH 81
 A 85 = I 2001
 A 93 = I 10027
 A 33 = I 26113

Der graphische Auftrag der Eigenwerte für den Block Österreich zeigt im logarithmischen Maßstab deutlich den Sprung zwischen dem 17. und 18. Eigenwert (Abbildung 3). In gleicher Weise wurden auch die Teilmatrizen der ehemaligen Tschechoslowakei und Ungarns geprüft.

Interessant sind auch die Eigenwerte für das Gesamtsystem. Abbildung 4 zeigt den graphischen Auftrag dieser Werte, wobei bereits vorher ein Großteil der im Gesamtsystem enthaltenen Punkte herausreduziert wurde. Dieses System ist in Übereinstimmung mit der Theorie dreifach singular, nämlich zwei Werte für die Lagerung in φ und λ sowie einen Wert für die Azimutunbekannte. Der Maßstab ist durch Raum-, bzw. Geodimetermessungen definiert. Die unterschiedliche Genauigkeit der Punktbestimmung ist auch in der Größe der Eigenwerte erkennbar. Die 14 Eigenwerte, die größer als 10^4 sind, können nicht herausreduzierten GPS-Stationen und Fundamentalstationen zugeordnet werden. Dieser Sprung in der Genauigkeit, der bei Netzen mit nur terrestrischen Beobachtungen nicht auftritt, ist auch bereits in der bisherigen ED87-Gesamtmatrix bei den drei größten Eigenwerten erkennbar [4].

6. Auflösung des Gesamtssystems, Ergebnisse

Zur Berechnung des Gesamtnetzes wurden, wie in [3] beschrieben, die Normalgleichungsanteile der terrestrischen, der Doppler- und GPS-Daten mit ihren jeweiligen Gewichten aufaddiert. Die Auflösung des Gesamtsystems ergibt numerische Werte für die darin enthaltenen Unbekannten. Neben den Verschiebungsvektoren für die Koordinatenunbekannten sind dies Werte für die eingeführten Bias-Parameter und die Transformationsparameter zwischen den Raumsystemen und dem terrestrischen System ED87(neu). Weiter sind Aussagen über die relative Genauigkeit in einem Netz möglich. Der Ausreißertest nach Baarda (1968) gibt darüberhinaus Hinweise auf Schwachstellen in den Beobachtungen.

Die Verschiebungsvektoren gegenüber ED87(alt) sind in Abbildung 2 dargestellt und in Tabelle 3 aufgelistet. Die Werte der Bias-Parameter [4, Tab. 7.2] ändern sich durch die Einfüh-

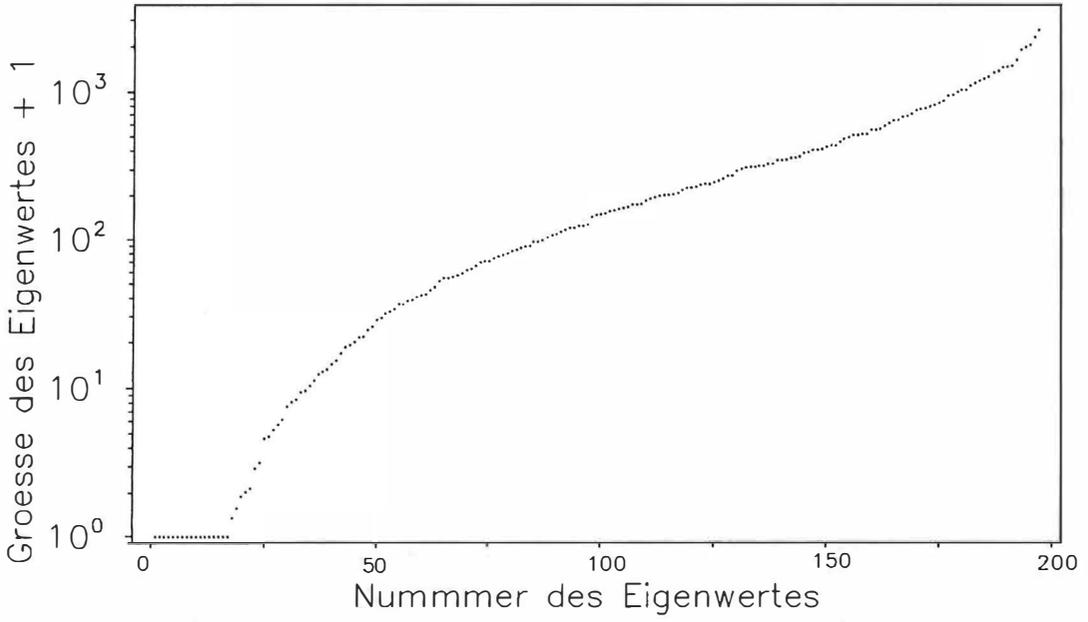


Abb. 3: Eigenwerte Österreich

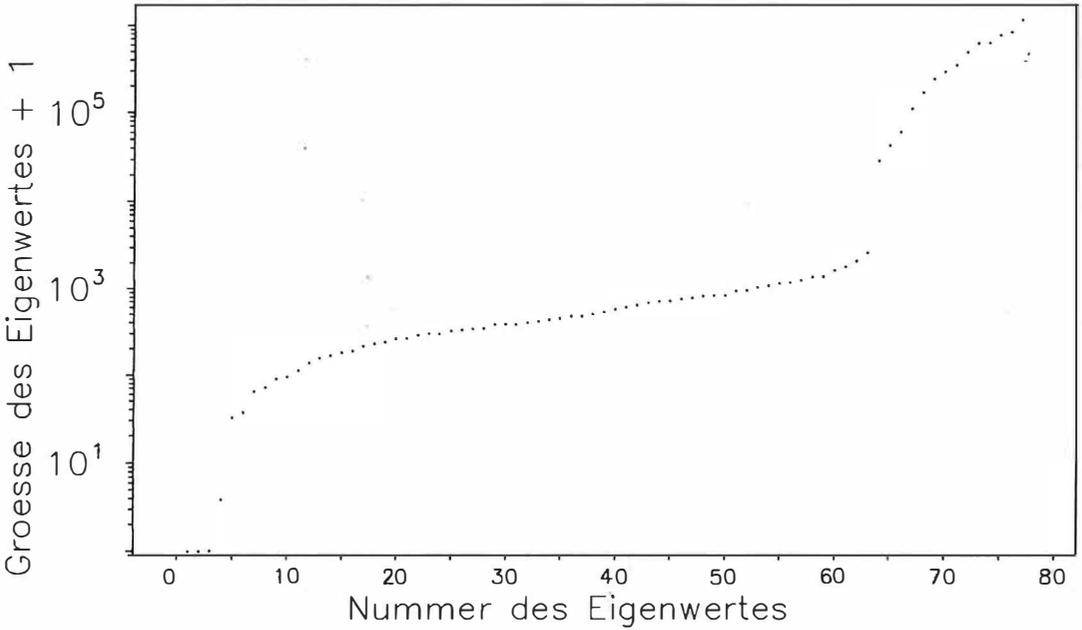


Abb. 4: Eigenwerte ED 87 (neu)

rung der neuen Daten nur marginal. Am meisten betroffen ist die Mikrowellenunbekannte für den Block A, deren Wert in ED87(alt) mit 1,85, in ED87(neu) mit 1,96 ppm berechnet wurde. Die gemeinsame Azimutunbekannte wird in ED87(alt) mit $-0,1976''$, in ED87(neu) mit $-0,2057''$ berechnet, die Differenz beträgt $-0,0081''$, die theoretische Querverschiebung in 1000 km Entfernung somit 4 cm.

Wie bei ED87(alt) [4, Tab. 6.2], wurden auch für ED87(neu) Transformationsparameter von geozentrischen Raumsystemen in das System ED87(neu) gerechnet (Tabelle 3). Die in oben genannter Tab. 6.2 genannten Werte erfahren durch die neuen Daten bei der DÖDOC-Kampagne maximale Änderungen von etwa 1‰, die Transformationswerte aller anderen Kampagnen ändern sich um noch wesentlich kleinere Beträge (vgl. die beiden letzten Spalten der Tabelle 3). Dies ist in der Tatsache begründet, daß von den insgesamt 20 DOEDOC-Stationen vier (A 27, A 70, A 171 und A 172) im Gebiet von Österreich liegen. Die Absolutbeträge der Koordinatenänderungen gegen ED87(alt) dieser vier Stationen betragen in mm:

A 172	106
A 27	20
A 70	19
A 171	13

Da A 171 Graz an vier weiteren Kampagnen mit europaweit verteilten Stationen und relativ hohem Gewicht teilnahm, war diese Station im System ED87(alt) bereits sehr fest verankert. Die GPS-Verbindungskampagne Österreich-Ungarn enthielt auch die Station A 171 Graz und stabilisierte so den Anschluß der neuen Netze an das ED87.

Netz Parameter	GPS		HDOP85		HDOC82		DOEDOC im System			
	Wert	m.F.	Wert	m.F.	Wert	m.F.	ED87(alt)		ED87(neu)	
	Wert	m.F.	Wert	m.F.	Wert	m.F.	Wert	m.F.	Wert	m.F.
Maßstab [ppm]	.00	.00	.49	.49	.85	.41	.82	.19	.85	.18
Δx [m]	84.20	.01	79.06	4.81	83.71	3.82	88.96	1.67	89.06	1.65
Δy [m]	95.76	.02	94.86	3.93	106.97	3.90	92.82	2.05	92.83	2.03
Δz [m]	115.33	.01	113.47	4.85	123.37	4.13	118.40	1.42	118.50	1.40
$\delta x_0/R_0$ ["]	.01	.00	.00	.20	.01	.17	.04	.05	.04	.05
$\delta y_0/R_0$ ["]	.01	.00	.05	.12	.18	.12	.13	.07	.13	.07
δA_0 ["]	.15	.00	.16	.10	.16	.09	.01	.04	.01	.04
ϵx ["]	.10	.00	.07	.13	.03	.12	.10	.06	.10	.05
ϵy ["]	.03	.00	.01	.19	.00	.16	.06	.06	.06	.06
ϵz ["]	.11	.00	.16	.11	.24	.10	.09	.05	.09	.05
m_0	.00		0.17		.24		.30		.31	

Tabelle 3: Transformationsparameter von den geozentrischen Raumsystemen in das System ED87(neu) sowie die Parameter für DÖDOC in das System ED87(neu) und ED87(alt)

χ^2 -Anpassungstest für Österreich

Die standardisierten Restfehler w_i von Österreich wurden, wie bei ED87(alt), dem χ^2 -Anpassungstest unterworfen (20 Klassen), und zwar nach Richtungen, Strecken und Azimuten getrennt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zu finden.

Art der Beobachtung	Anzahl	Testwert χ^2	Wahrscheinlichkeit der Normalverteilung in %
Richtungen	684	24.65	17.22
Strecken	115	11.09	92.09
Azimute	41	22.09	24.17
Alle Beobachtungen	840	23.19	22.91

Tabelle 4: χ^2 -Test für Restfehler Österreich

Danach sind, ebenso wie schon im Block Österreich(alt), nur die Strecken normalverteilt, während die Richtungen, die vor allem im Netz enthalten sind, keine Normalverteilung aufweisen.

Relative Fehlerellipsen

Zur Abschätzung der Nachbargenauigkeit wurden für den gesamten neuen Netzteil und Österreich zwischen ausgewählten Punkten relative Fehlerellipsen gerechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 graphisch dargestellt. Danach variieren die großen Halbachsen der Fehlerellipsen zwischen 0,281(A 113 – H 7431) und 1,042 ppm (CS 96 – H 81011) und im österreichischen Netz zwischen 0,282 (A 17 – A 113) und 1,019 ppm (A 103 – A 130). Abbildung 5 macht sowohl den Genauigkeitsabfall im Hochgebirge als auch den

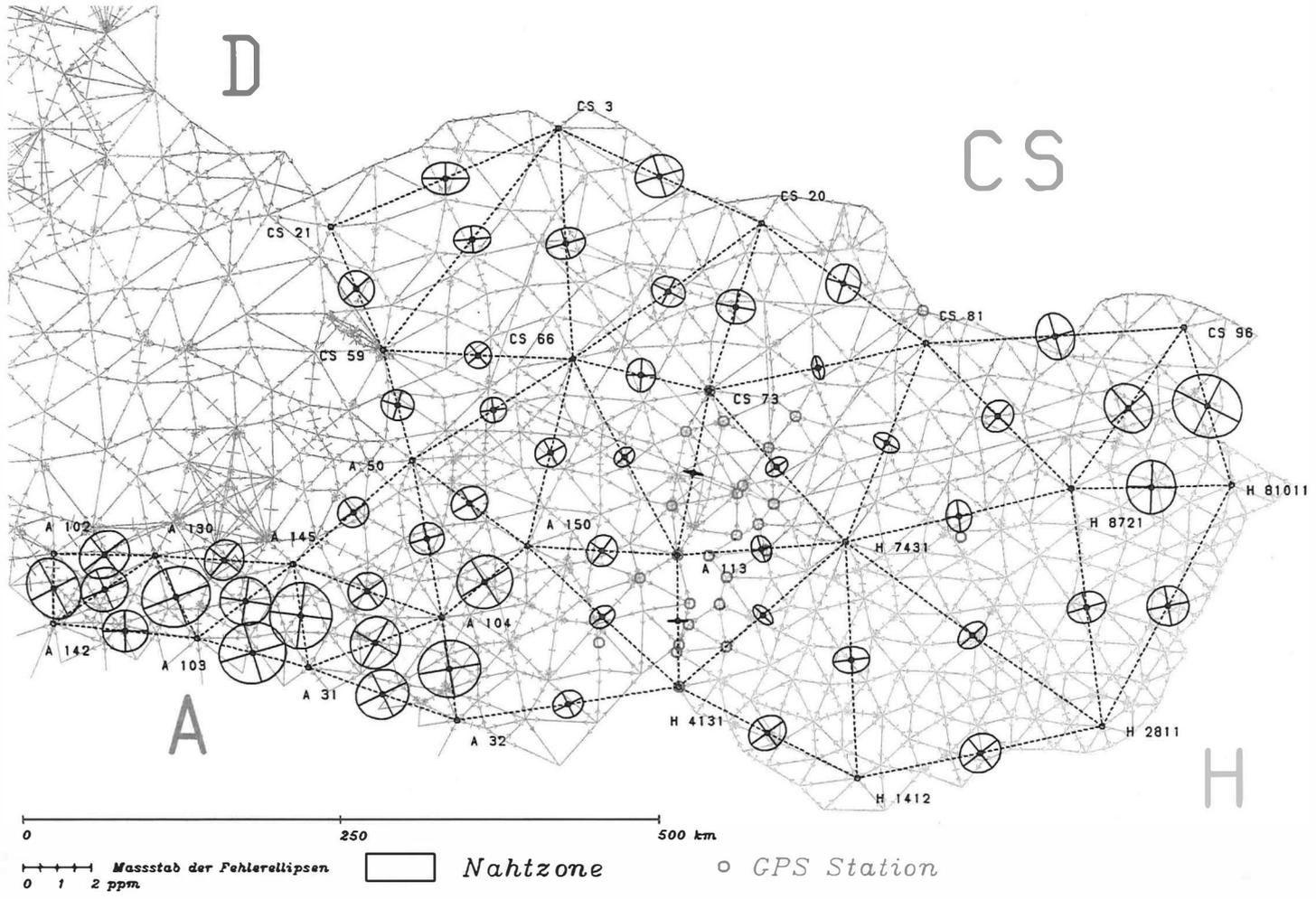


Abb. 5: Netz und relative Fehlerellipsen für die neuen Teile des ED 87 (neu)

Lfd. Nr.	Standpkt.	Zielpkt.	Wert			v	w	vermuteter Fehler CC	Grenzwert für auffindbare Fehler CC
			g	c	cc				
1	A 28	A 42	0	0	0,3	2,6	3,37	-3,5	4,31
2	A 38	A 19	82	31	59,2	2,5	3,63	-4,2	4,81
3	A 111	A 42	154	99	22,1	3,3	4,59	-5,1	4,56
4	A 113	A 126	278	16	50,5	2,5	3,71	-4,3	4,84
5	A 144	A 118	72	73	34,4	4,8	3,63	-7,6	8,67

Tabelle 5: Ausreißertest für Österreich

erheblichen Genauigkeitsgewinn durch GPS-Messungen deutlich.

Ausreißertest

Der Block Österreich(neu) wurde dem Ausreißertest nach [1] unterworfen. Fünf Richtungen überschritten die Grenze von 3,29 für standardisierte Restfehler w , die in Tabelle 5. aufgelistet sind. Abbildung 1 zeigt die Lage der Ausreißer.

Die lfd. Nummern 2 und 5 fielen bereits bei der Ausgleichung ED87(alt) auf. Die lfd. Nummern 1, 3 und 4 liegen in unmittelbarer Nähe zu neuen GPS-Stationen, so daß ihre Entdeckung ausschließlich den GPS-Messungen zu verdanken ist. Es fällt auf, daß bei allen fünf „Ausreißern“ der vermutete Fehler in derselben Größenordnung wie der Grenzwert für dessen Auffindbarkeit liegt (max. Abweichung 23%) und daß nur bei lfd. Nummer 3 der vermutete Fehler den Grenzwert für dessen Auffindbarkeit überschreitet (um 12%).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Erweiterung des ED87 bot die Möglichkeit, dessen Stabilität im Bereich der Randlage eines Netzteils zu untersuchen und zu verbessern. Abgesehen von den klassischen terrestrischen Beobachtungsdaten wurden auch GPS-Messungen von 1993, die cm-Genauigkeit aufweisen, eingeführt. Die kombinierte Ausgleichung der terrestrischen, Laser, GPS und Dopplerdaten zeigte die Möglichkeit der gegenseitigen Kontrolle dieser Daten auf. In diesem Zusammenhang verdient besonders erwähnt zu werden, daß bei einer kombinierten Lösung Zentrierfehler der GPS-Messungen relativ einfach aufgedeckt werden können. Außerdem werden auch die bereits vorhandenen trigonometrischen Messungen entsprechend ihrer Gewichte in einer Lösung nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate optimal genutzt.

Diese Aussage gilt auch für Gebiete mit systematischen Plattenbewegungen, in denen alte trigonometrische Messungen allein den damaligen Stand widergeben. Bei einer kombinierten Ausgleichung können die alten Messungen wegen der höheren Gewichte der GPS-Stationen als Interpolation in das neue präzise GPS-Netz aufgefaßt werden.

Dank

Diese Arbeit verdankt ihr Entstehen der großzügigen Unterstützung durch die Kollegen aus Österreich, der ehemaligen Tschechoslowakei und Ungarn. Das betrifft das Bereitstellen der Daten, die Auswertung der GPS-Messungen und die Unterstützung bei der laufenden Rechnung. Die Rechenarbeiten wurden auf den Rechenanlagen des Leibniz-Rechenzentrums der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt.

Literatur

- [1] Baarda W. (1968): A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. Netherlands Geodetic Commission, Vol. 2, No. 5, Delft
- [2] Bayer J. (1857): Die Verbindungen der preußischen und russischen Dreiecksketten bei Thorn und Tarnowitz. Ausgeführt von der trigonometrischen Abteilung des Generalstabes. Berlin: In Commission von Ferd. Duemmlers Verlagsbuchhandlung
- [3] Ehrnsperger W.: (1989): The ED87 Coordinates. In: IAG, Section I Positioning, 18, S. 62-136, München
- [4] Ehrnsperger W.; Erker E. (1989): Das Europäische Datum 1987 (ED87) und sein österreichischer Anteil. In: Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 77, S. 47-91
- [5] Ehrnsperger W. (1991a): Das Europäische Datum 1987 (ED87). Zeitschrift für Vermessungswesen, 116, S. 45-59
- [6] Ehrnsperger W. (1991b): The ED87 Adjustment. Bulletin Géodésique, 65, S. 28-43
- [7] Erker E. (1994): GPS-Kampagne „Interconnection“ – Ein Brückenschlag zwischen Ost und West. In: EVM, Eich- und Vermessungsmagazin, Nr. 77, S. 24-30, Wien.
- [8] Schmidt R.; Ehlert D. (1982): Die Diagnoseausgleichung 1980 des Deutschen Hauptdreiecksnetzes. DGK, Reihe B, 262, Frankfurt
- [9] Sigl R. (1989): The European Datum 1987 (ED87) A Contribution to the Geodetic Integration of Europe. In: IAG, Section I Positioning, 18, S. 26-32, München
- [10] Wolf H. (1982): Minutes on the Combining Procedure of Doppler Observations with RETrig's Phase III. In: IAG, Section I Networks 14, S. 212-221, München