



Götterdämmerung in der Geodäsie: Verlieren Koordinaten ihre Unsterblichkeit?

Bernhard Hofmann-Wellenhof ¹

¹ *Abteilung Landesvermessung und Landinformation der TU Graz*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (2), S. 95–102

1997

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Hofmann-Wellenhof_VGI_199712,  
Title = {Götterdämmerung in der Geodäsie: Verlieren Koordinaten  
ihre Unsterblichkeit?},  
Author = {Hofmann-Wellenhof, Bernhard},  
Journal = {VGI -- Österreichische Zeitschrift für Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {95--102},  
Number = {2},  
Year = {1997},  
Volume = {85}  
}
```



miteinander zu finden, fügt sich vordergründig das Motto des 6. Österreichischen Geodätentages „Vermessung ohne Grenzen“ ganz vorzüglich. Konkret ist eine solche natürlich am besten aus der Luft möglich, wie dies auch eines der Referate nahelegt. Ein anderes wird sich mit den internationalen Satellitenbilddaten befassen, die aus grenzenloser Beobachtung von oben entstanden sind und die vor den historischen Grenzen haltzumachen gar nicht in der Lage sind. Diese Draufsicht eröffnet, angewandt auf das retrospektive Verfahren des Historikers, das Potential universeller Grenzenlosigkeit der geschichtlichen Gegenstände. Auch das wollte

ich heute dartin und danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Literaturhinweise:

- [1] Bertels K.: Carantania. Beobachtungen zur politisch-geographischen Terminologie und zur Geschichte des Landes und seiner Bevölkerung im frühen Mittelalter. Carinthia 1177. 1987.
- [2] Hödl G.: Von der Vielfalt der Geschichte Österreichs. Kärntner Jahrbuch für Politik. 1994.
- [3] Hödl G.: Zur Geschichte des Alpen-Adria-Raumes im Frühmittelalter, in: Karantainen und der Alpen-Adria-Raum im Frühmittelalter. 2. St. Veiter Historikergespräche. Wien, Köln, Weimar, 1992
- [4] Krafwinkler H.: Friaul im Frühmittelalter. Wien, Köln, Weimar, 1992
- [5] Wolfram H.: Die Geburt Mitteleuropas. Geschichte Österreichs vor seiner Entstehung. Wien 1987.



Götterdämmerung in der Geodäsie: Verlieren Koordinaten ihre Unsterblichkeit?

Bernhard Hofmann-Wellenhof, Graz

Zusammenfassung

In den europäischen Ländern sind Überlegungen im Gange, ein gemeinsames Datum und einheitlich Normalhöhen einzuführen. Weiters soll für die Abbildung das UTM-System verwendet werden. Übertragen auf Österreich bedeutet dies einen Abschied vom Österreichischen Datum MGI und von den nicht klar definierten Gebrauchskordinaten sowie von der Gauß-Krüger-Abbildung.

Bevor sich Österreich zu diesem Schritt entschließen kann, muss eine Homogenisierung des Festpunktfeldes durchgeführt werden, die gebietsweise Spannungen im Netz reduziert. Durch die immer höheren Genauigkeiten infolge der Weiterentwicklung der Technologie muss aber auch ein homogenes und konsistentes Netz nachgeführt werden. Daher ist es sinnvoll, die Koordinaten des gesamten Festpunktfeldes auf eine gemeinsame Epoche zu beziehen und somit die Zeit als zusätzlichen Parameter einzuführen.

Abstract

Europe considers to use a common reference system, normal heights, and the Universal Transverse Mercator (UTM) system for the mapping of the ellipsoid into the plane. Referred to Austria, this implies to abandon the current national datum, the imprecisely defined „Gebrauchskordinaten“, and the Transverse Mercator projection (Gauss-Krügerprojection).

Before implementing a new reference system, the Austrian triangulation network must be homogenized. This implies a number of computations to locally get rid of the inherent network tensions. Even for a homogeneous and consistent network, regular updates are required due to continuously improving technologies yielding better accuracies. Thus, the full set of coordinates should refer to one epoch and time should be used as an additional parameter.

1. Die Problemstellung

1.1. Einführung

Im Jahr 1962 musste ich bei meiner ersten Mathematik-Schularbeit in der Mittelschule folgende Geometrieaufgabe lösen: gegeben waren die Seiten eines Rechtecks, das Rechteck war zu zeichnen und die Länge einer Diagonale

durch Abmessen zu bestimmen. Die Ergebnisse waren keineswegs homogen, da manche Klassenkameraden die Längen der gegebenen Seiten nicht richtig aufzutragen imstande waren, andere wiederum im Lineal als Messmittel die Möglichkeit zu erkennen glaubten, Genauigkeiten im Zehntel-Millimeterbereich und besser zu erfassen und eine dritte Gruppe, zu der auch ich gehörte, Ablesefehler machte.

Sollte dieselbe Aufgabe in einigen Jahren in der Mittelschule gestellt werden, so werden die Schüler mit einem Tastendruck auf dem Computer das gewünschte Ergebnis auf ihren Bildschirmen erzeugen.

Das kleine Beispiel in der Einleitung lässt sich auch in die geodätische Welt übertragen. Ich beschränke mich auf die Entwicklung der (geometrischen) Satellitengeodäsie, deren Meilensteine in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Jahr	Ereignis
1946	Stellartriangulation von Väisälä
1957	Sputnik, der erste Satellit, wird gestartet
1965	Erstes Weltnetz entsteht
1967	Dopplersystem NNSS (Navy Navigation Satellite System, auch als TRANSIT bezeichnet) ist für zivile Zwecke operabel
1973	Beginn der Entwicklung von GPS (Global Positioning System)
1984	Erste zivile Anwendungen von GPS
1995	Vollausbaustufe von GPS
1996	Vollausbaustufe von GLONASS (Global Navigation Satellite System)

Tabelle 1: Entwicklung der Satellitengeodäsie

Heute werden in der modernen Satellitengeodäsie abgesehen von GPS und GLONASS auch noch SLR (Satellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging), PRARE (Precise Range and Range Rate Equipment) verwendet. Um Dopplermessungen nicht bereits vor der Jahrtausendwende in Vergessenheit geraten zu lassen, soll noch DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning integrated by Satellite) erwähnt werden.

Die Entwicklung immer modernerer Verfahren und Systeme drückt sich auch in der Steigerung der erreichten Genauigkeiten aus, die in Tabelle 2 veranschaulicht ist.

Jahr	Genauigkeit	Messmethode
1955	± 100 m	astrogeodätisch
1965	± 10 m	Richtungen
1975	± 1 m	Laserdistanzen
1985	± 0.1 m	Doppler (TRANSIT)
1995	± 0.01 m	GPS
2005	???	???

Tabelle 2: Entwicklung der globalen Genauigkeit

Diese Tabelle ist bewusst mnemotechnisch aufgebaut worden (Zehnjahresintervalle, Genauigkeitssteigerung jeweils eine Größenordnung) und soll nur den Trend widerspiegeln.

1.2. Die Übertragung der Problematik auf Lagekoordinaten

Wenn man nun Koordinaten, also aus Messungen abgeleitete Größen, betrachtet, dann können Ergebnisse von heute nicht mit Resultaten, die vor langen Jahren erzielt wurden, homogen übereinstimmen. Generell werden in dieser Arbeit nur Lagekoordinaten behandelt. In Abbildung 1 werden die aus den Jahren 1990-1995 stammenden AGREF-(Austrian Geodynamic Reference Frame) Koordinaten, die durch GPS ermittelt wurden, mit den entsprechenden offiziellen Koordinaten des österreichischen Festpunktfeldes, den sogenannten „Gebrauchskordinaten“, verglichen, siehe hierzu auch [2], [9].

Abgesehen von der Größe der Koordinatenunterschiede fällt insbesondere die Inhomogenität auf, die keinen einheitlichen (z.B. systematischen) Trend erkennen lässt.

Die „innere“ Genauigkeit der AGREF-Koordinaten ist infolge der einheitlichen Messmethode sicherlich homogen, obwohl auch hierüber im Abschnitt 2.3 noch einige Bemerkungen folgen. Also liegen die Ursachen für die Inhomogenitäten, wie ja auch seit langem bekannt ist, in den Gebrauchskordinaten.

Worin liegt nun die primäre Problematik? Die inhomogenen Gebrauchskordinaten sind die offiziellen Koordinaten, die als unvollkommene Unveränderliche anzusehen sind. Es wäre aber aus der Sicht der Genauigkeit nicht sinnvoll, die AGREF-Koordinaten in das Gebrauchssystem zu zwingen (im wörtlichen Sinn) und dadurch einem Genauigkeitsverlust auszusetzen. Daher stehen die AGREF-Koordinaten nun im Bezugssystem ITRF94 zur Epoche 1993.0 zur Verfügung, siehe [3], wobei ITRF das Akronym für International Terrestrial Reference Frame ist. Dieses Bezugssystem wird jährlich neu aus Satellitenmessungen und VLBI (Very Long Baseline Interferometry) bestimmt und wird deshalb durch die entsprechende Jahreszahl gekennzeichnet.

1.3. Gedanken über die Entstehung der Problematik

Da ich an die Ursprünge der Problematik der Koordinatenspannungen gelangen wollte, vereinbarte ich mit dem Vermessungsinspektor von Steiermark und Kärnten, Hofrat Dipl.-Ing. Dieter Sueng, einen Besprechungstermin. Wie schnell die Zeit nicht nur Koordinaten, sondern auch Strukturen ändert, wurde mir bewusst, als ich diesen Termin wahrnahm und Hofrat Sueng mir mitteilte, er sei mit dem Tag der Besprechung



DIE BESTE TOTALSTATION DER WELT

Zur Feier unseres 50-jährigen Jubiläums haben wir eine Totalstation entwickelt, die unserer Ansicht nach jede andere Totalstation in den Schatten stellt. Zugegeben, es gibt Instrumente für Spezialeinsätze, die in einem ganz bestimmten Bereich besser sein mögen – aber keines, das in seiner Gesamtleistung auch nur in die Nähe des Geodimeter Modell "Bergstrand" kommt. Dieses Spitzenmodell der 600-er Serie ist ganz einfach derzeit das beste des technisch Machbaren.

Garantie: 10 Jahre

Reichweite
bei einem Prisma: 3500 m

Meßgenauigkeit: $\pm(1\text{mm} + 1\text{ppm})$ M.S.E.

Winkelmeßgenauigkeit: $1''$ ($3''$)

Arbeitsspeicher: 10 000 Punkte

Software: 15 integrierte Programme für Anwendungen in der modernen Geländeaufnahme bis zur fortschrittlichen Absteckung, z.B. 3D Roadline.

Geschwindigkeit/Leistung:
30% bis 80% höher als vergleichbare Totalstationen (Feldmeßergebnisse, von unabhängigen Vermessungstrupps erzielt).

Servosteuerung: 4 Geschwindigkeiten

AUTOLOCK™ und **ROBOTIC**.

Abnehmbare alphanumerische Tastatur mit 33 Tasten.

Geodimeter Modell "Bergstrand" ist nur während des Jubiläumsjahres 1997 erhältlich. Weitere Einzelheiten erfahren Sie von uns direkt oder von Ihrem Geodimeter-Fachhändler.



50 JAHRE INNOVATION



Geodimeter® Modell
"Bergstrand"

OBIGES BILD ZEIGT EIN GEODIMETER® MODELL "BERGSTRAND". SEINE GESCHWINDIGKEIT/LEISTUNG WIRD DURCH DIE ROBOTIC FUNKTION GEGENÜBER BISHERIGEN TOTALSTATIONEN UM BIS ZU 80% ERHÖHT.

 **Geotronics**

Geodimeter Ges.m.b.H.
Linke Wienzeile 110, 1060 Wien
Telefon 01-5964014. Telefax 01-5973112
Internet: <http://www.geotronics.se>

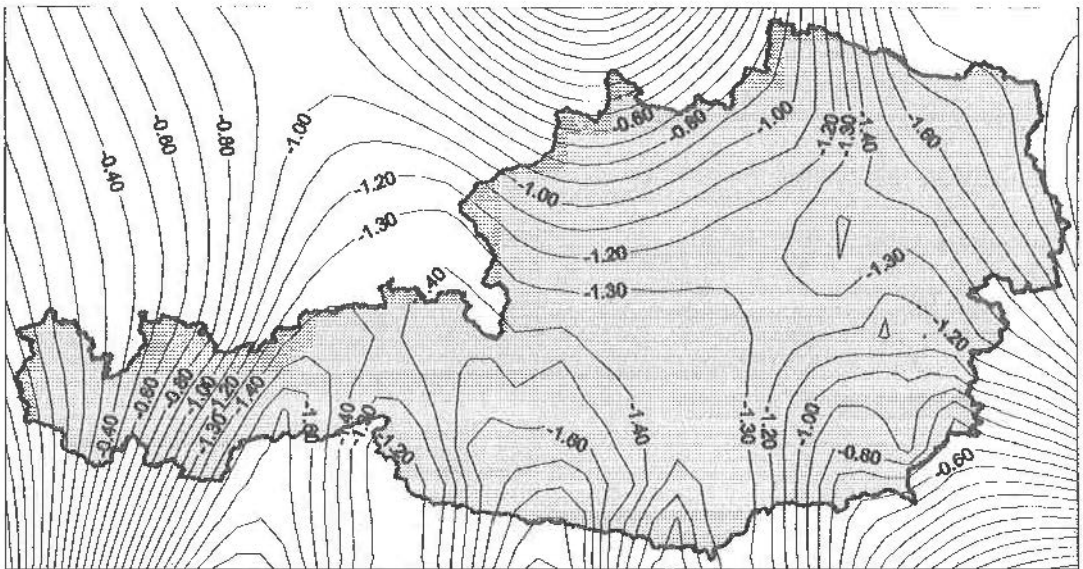
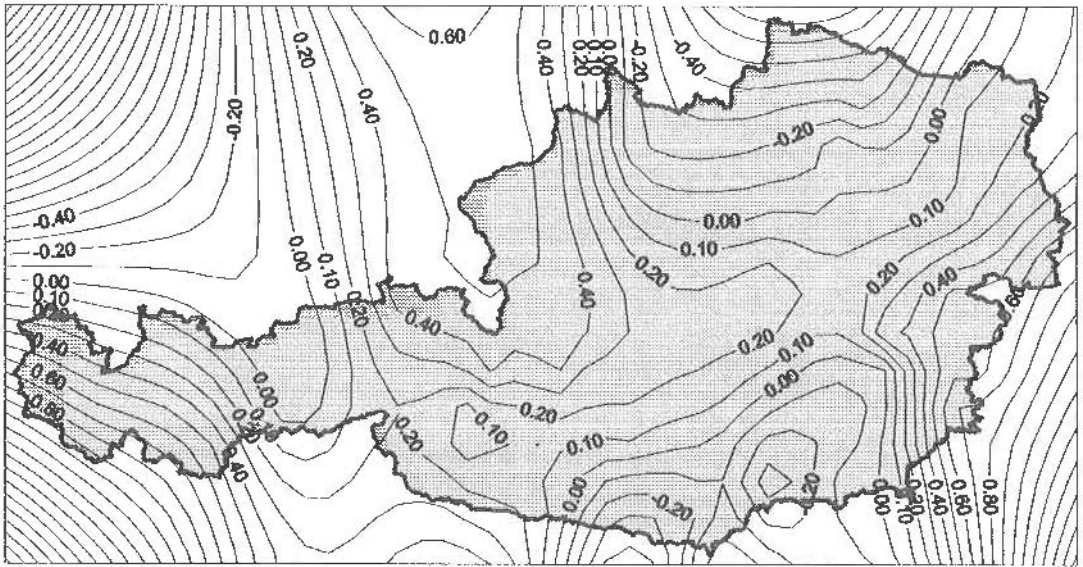


Abb. 1: Lageunterschiede in Metern zwischen AGREF- und Gebrauchskordinaten für die x-Koordinaten (oben) und die y-Koordinaten (unten)

infolge der Neustrukturierung des Bundesamtes nicht mehr Vermessungsinspektor, [4]. Nach der Methode der Bezugssystembezeichnung mit ITRF und der Jahreszahl könnte man vom BEV97 (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 1997) sprechen.

In diesem Abschnitt will ich versuchen, die wesentlichsten Gedanken des Gesprächs mit Hofrat Sueng zusammenzufassen.

Das Gebrauchsnetz reicht bis zum Militärgeographischen Institut (MGI) zurück, das im

vorigen Jahrhundert das Österreichische Datum festgelegt hat. Es handelt sich dabei um ein lokales Datum, dessen Koordinatenursprung gegenüber dem Geozentrum um einen Vektor mit den Komponenten $c_1 = 577$ m, $c_2 = 90$ m, $c_3 = 463$ m verschoben ist und dem das Besselipsoid zugrunde liegt. Dieses Datum wird durch den Fundamentalpunkt Hermannskogel, das Azimut zum Hundsheimer Berg und die Basis Josefstadt in Nordböhmen realisiert.

Die Koordinaten des österreichischen Festpunktfeldes beziehen sich auf dieses Datum

MGI. Durch verschiedene Neuausgleichungen kam es auch zu europäischen Datumsdefinitionen, etwa ED-50 (Europäisches Datum 1950) und ED-87 (Europäisches Datum 1987).

Der Vergleich von MGI mit ED-87 zeigte bei Punkten erster Ordnung Lageabweichungen bis zu einem Meter. Aber selbst ein Vergleich von Punkten im ED-87 mit Punkten im AGREF zeigte Lageabweichungen in dieser Größenordnung!

Wenn man das Festpunktfeld als Netz auffasst, liegen somit inhomogene Netzspannungen vor, vergleiche hierzu auch Abbildung 1. Lokal kann man die Spannungen, die auch als Klaffungen bezeichnet werden, zum Beispiel durch „Einbinden“ in bezug auf AGREF reduzieren.

In den 60er und 70er Jahren wurde das Festpunktfeld partiell immer wieder verbessert. Diese Verbesserungen sind der eigentliche Hintergrund für die heute übliche Bezeichnung „Gebrauchskoordinaten“. Das Netz der Festpunkte hat gebietsmäßig unterschiedliche Veränderungen erfahren. Durch diese Veränderungen mussten die Netze der EP (Einschaltpunkte) ebenfalls neu gerechnet werden. Diese Arbeiten sind heute zum Großteil abgeschlossen. Allerdings gibt es besonders dort Probleme, wo die EP photogrammetrisch bestimmt wurden. Diese Punkte sind zum Teil noch nicht an das verbesserte Festpunktfeld angeschlossen. In einem ersten Schritt wären diese EP ebenfalls anzuschließen, wobei aber gleichzeitig infolge der technologischen Entwicklung eine Verdünnung des Festpunktfeldes vorgenommen werden kann.

Das Problem der Grenzpunkte ist noch viel größer, denn Grenzpunkte wurden in den verschiedensten Stufen an Festpunkte angeschlossen. Mit dem Inkrafttreten des Vermessungsgesetzes am 1. Jänner 1969 wurde diese Problematik noch verstärkt, da seit diesem Zeitpunkt für Detailvermessungen in Grenzkatastergemeinden die Verpflichtung des Anschlusses an das Festpunktfeld und für die im Grenzkataster enthaltenen Grenzen der Schutz des Vertrauens (also eine Art von Rechtsverbindlichkeit) besteht. Dies führt bei nachträglichen Veränderungen der Festpunkte zu inhärenten Spannungen, die gemäß § 13 Vermessungsgesetz zu berichtigen sind. Das Berichtigungsverfahren ist aber mit einem hohen Verwaltungsaufwand verbunden.

Der Weg zu einer homogenen „Punktwolke“, die sowohl das Festpunktfeld mit rund 310.000 Punkten als auch die etwa 30 Millionen Grenzpunkte enthält, ist daher in jedem Fall sehr aufwendig. Diese Zahlen erhöhen sich noch we-

sentlich, wenn man jene Punktmenge berücksichtigt, die sich beim Anlegen der digitalen Katastralmappe durch die Erfassung der Bruch- und Schnittpunkte von Grundstücks- und Nutzungsgrenzen ergibt. Darüber hinaus sind die Geradenbedingungen zu erfüllen.

Die Vorgangsweise müsste zuerst vom Kleinen ins Große erfolgen, d.h., zunächst müssten gebietsweise die Grenzpunkte bezüglich des Gebrauchsnetzes nachgeführt werden, um lokale Spannungen zu reduzieren. Für eine sinnvolle Nachführung ist es jedoch notwendig, zu klären, wie für die Detailvermessung der Anschluss an das Festpunktfeld erfolgte. Dies bedingt wiederum Kenntnisse über die Punktgeschichte der TP (Triangulationspunkte) und der EP. Diesen Vorgang der Nachführung muss man pro Katastralgemeinde verifizieren.

Im nächsten Schritt müsste das Festpunktfeld bezüglich eines übergeordneten (europäischen oder globalen) Netzes nachgeführt und damit homogenisiert werden, damit schließlich die gesamte Punktwolke homogen und konsistent in einem Datum vorliegt.

2. Lösungsvorschläge

2.1. Lokale Einbindung

Um gebietsweise Spannungen reduzieren zu können, also lokale Entspannungen zu erreichen, soll, losgelöst von Grenzpunkten, EP und TP, noch einmal das Problem formuliert werden. Es liegen zwei verschiedene Punkthaufen vor. Der eine wird als übergeordnet angesehen. Der andere ist untergeordnet und soll über identische Punkte nachgeführt werden, also in den übergeordneten Punkthaufen transformiert werden. Weiters wird angenommen, es liegt keine zusätzliche Information durch Messungen vor.

Im Prinzip gibt es zur Lösung dieser Aufgabe eine Reihe von verschiedenen Ansätzen, vgl. [8], die aber hier nicht einzeln diskutiert werden. Es wird daher zur Illustration einer Lösung nur auf die Empfehlung von [8] zurückgegriffen und das gewichtete Mittel betrachtet, das als Approximationsverfahren von [1] den nicht stochastischen Methoden zugeordnet und als deterministische Prädiktion bezeichnet wird.

Das gewichtete Mittel wird für jede Koordinatenkomponente getrennt berechnet. Sind die beiden Punkthaufen beispielsweise in der Gauß-Krüger-Ebene durch x_i , y_i gegeben und bezeichnet man mit δx_i , δy_i die gegebenen Klaff-

funktionen in den identischen Punkten, so kann man für einen Punkt x_i, y_i des untergeordneten Systems den geschätzten Zuschlag, also die Transformation in das übergeordnete System, durch

$$\delta x_i = \frac{\sum_{j=1}^k p_{ij} \delta x_j}{\sum_{j=1}^k p_{ij}} \quad \delta y_i = \frac{\sum_{j=1}^k p_{ij} \delta y_j}{\sum_{j=1}^k p_{ij}} \quad (1)$$

berechnen (präzidieren), wobei p_{ij} das Gewicht zwischen dem identischen Punkt i und dem zu präzidierenden Punkt j bezeichnet, das in Abhängigkeit von der Distanz s_{ij} der beiden Punkte etwa mit

$$p_{ij} = 1/s_{ij}^2 \quad (2)$$

berechnet werden kann. Allgemeinere Gewichtsansätze mit einem Glättungsfaktor und anderen Potenzen für die Strecke sind möglich.

Das gewichtete Mittel erstreckt sich über k identische Punkte und ist für jeden zu präzidierenden Punkt neu zu berechnen. Um die Leistungsfähigkeit dieser ganz einfachen Prädiktion zu zeigen, wird ein Beispiel aus dem Gebiet im Norden von Graz in der Größe von 10×20 km mit 67 identischen Punkten von [8] übernommen, der nicht nur freundlicherweise die Genehmigung zur Publikation gegeben hat, sondern auch noch die Zeichnungen für diese Abbildung neu erstellt hat. Die Koordinaten der in Abbildung 2 abgebildeten trigonometrischen Punkte änderten sich durch eine Neuberechnung um bis zu 22 cm. Die Veränderungen sind durch die Verschiebungsvektoren in Abbildung 2 dargestellt.

Damit liegen nun zwei Punkthaufen (die Ausgangspunkte sowie die verschobenen) mit 67 identischen Punkten vor, und Formel (1) kann angewendet werden, wobei jeder der 67 identischen Punkte aus den jeweils verbleibenden 66 Punkten mittels (1) präzidiert wird. Damit ergeben sich gegenüber den Ausgangswerten neue Verschiebungen, die zur Verdeutlichung als Restklaffungen bezeichnet werden und in Abbildung 3 dargestellt sind.

Der Vergleich von Abbildung 2 mit Abbildung 3 zeigt die Leistungsfähigkeit des gewichteten Mittels. Die Statistik belegt dies auch eindrucksvoll: bei den ursprünglichen Verschiebungsvektoren betrug die Varianz aller Verschiebungen ± 10.6 cm, die maximale Verschiebung 21.9 cm, und nur 24% der Verschiebungen lagen zwischen 0 und ± 4 cm (alle anderen waren größer). Nach Anwendung des gewichteten Mittels betrug die Varianz aller nun als Restklaffungen bezeichneten Verschiebungen ± 4.4 cm, die ma-

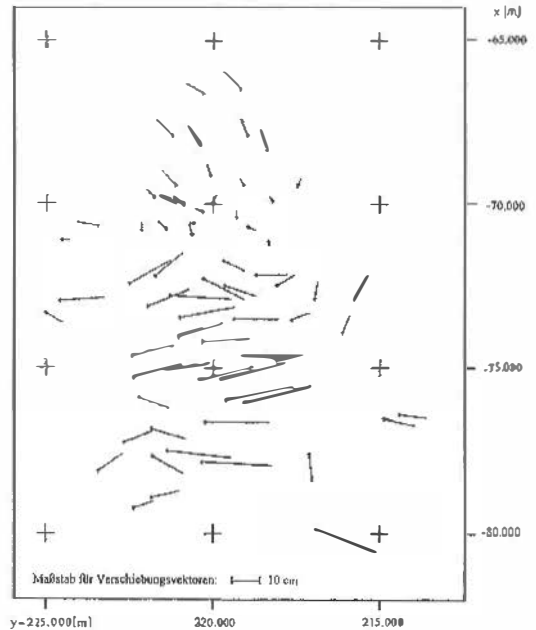


Abb. 2: Verschiebungsvektoren für 67 trigonometrische Punkte infolge einer Neuberechnung

ximale Restklaffung 16.9 cm, und bereits 78% der Restklaffungen lagen zwischen 0 und ± 4 cm.

Neben diesen numerischen Vergleichen lohnt sich nochmals der Blick auf die beiden Abbildungen 2 und 3. Bei der Ausgangslage scheint

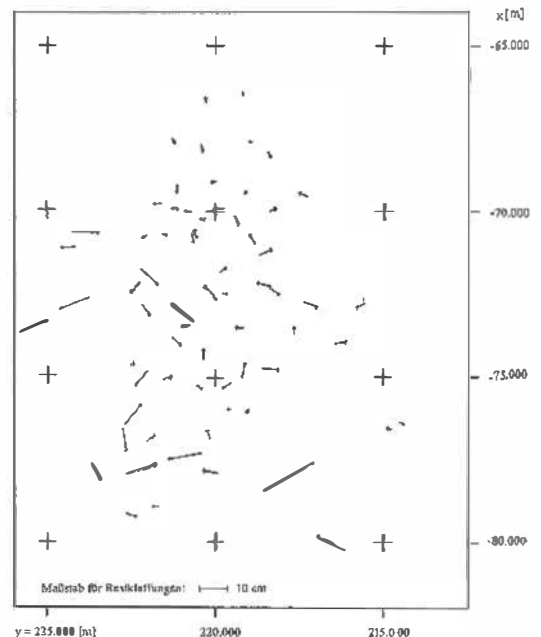


Abb. 3: Restklaffungen in den 67 Punkten nach Anwendung des gewichteten Mittels

man doch einen systematischen Trend in Form einer wirbelartigen Verdrehung, die im Süden immer stärker wird, zu erkennen. Bei Abbildung 3 jedoch scheinen die Restklaffungen nahezu wie zufällig angeordnet und können als Rauschen („noise“) gedeutet werden.

Mit dieser einfachen und zuverlässigen Methode werden durch den Gewichtsansatz sehr gut die lokalen Spannungsverhältnisse berücksichtigt. Je weiter ein Punkt von einem großen Verschiebungsvektor entfernt ist, desto geringer ist dessen Einfluss.

Die lokale Einbindung (Entspannung) könnte für alle Katastralgemeinden Österreichs angewendet werden. Aus der Summe dieser Anwendungen unter Berücksichtigung der von Hofrat Sueng erwähnten Punktgeschichten wäre im Prinzip, oder besser gesagt theoretisch, das gesamte Festpunktfeld homogenisiert.

Dazu sind zwei Anmerkungen zu machen:

(1) „Homogen“ darf man nicht mit spannungsfrei gleichsetzen; es können aber auch nachträglich lokal immer wieder Entspannungen durch Neumessungen und Anwendung des gewichteten Mittels durchgeführt werden.

(2) Die praktische Durchführung ist unter Beibehaltung des Schutzes des Vertrauens („Rechtsverbindlichkeit“) der Grenzpunkte derzeit undenkbar.

2.2. Globale Einbindung

Mit dem Erreichen eines homogenen Festpunktfeldes in Österreich ist aber die Aufgabe noch nicht zu Ende, da noch die Konsistenz zu einem übergeordneten (europäischen oder globalen) Bezugssystem fehlt. Die Einbindung in ein globales Bezugssystem kann nach [7] entweder durch eine Fundamentalstation und Integration dieser Station in die nationalen Netze erfolgen oder durch die Integration der nationalen Netze in globale Referenznetze.

Greift man auf den zweiten Vorschlag zurück, so kann die Einbindung der gesamten Punkt- wolke Österreichs (das „Festpunktfeld“ und die Grenzpunkte!) in ein globales System beispielsweise durch eine 7-Parameter-Transformation (Helmert-Transformation) erfolgen. Damit verbunden ist die Aufgabe des lokalen Datums! Dem globalen System liegt ein geozentrisches Niveauellipsoid zugrunde.

Auf Empfehlung der IAG (Internationale Asso- ziation für Geodäsie) Subkommission für EUREF

(European Reference Frame) mit Beschlüssen von 1990 und 1992 sollte das European Ter- restrial Reference System 1989 (ETRS89) als einheitliche Grundlage für alle Landes- vermessungen in Europa verwendet werden. Diese Empfehlung zu einem globalen Bezugs- system kann nach [7] durch folgende Punkte begründet werden:

(1) Die raumbezogenen Daten eines GIS (Geo- graphisches Informationssystem) werden immer häufiger länderübergreifend verwaltet.

(2) Die Navigation mittels globaler Positio- nierungssysteme (GPS, GLONASS) beruht auf globalen Bezugssystemen.

(3) Grenzüberschreitende Ingenieuraufgaben (wie zum Beispiel der Euro-Tunnel).

(4) Die internationalen Landesgrenzen sollten in einem globalen System verwaltet werden.

2.3. Zeitliche Einbindung

Wenn man annimmt, alle lokalen Spannungen wurden beseitigt und sämtliche Festpunkte, also die gesamte österreichische Punkt- wolke, wurde in ein globales System transformiert, können dann diese Koordinaten als unveränderliche Festpunkte angesehen werden? Nein, denn auch das globale Bezugssystem ist keine unver- änderliche Größe. Die Problematik wurde bereits im Zusammenhang mit AGREF angedeutet. Da sich AGREF über sechs Jahre (1990–1995) er- streckte, hätte man nach dem jeweils aktuellen Stand das WGS-84 (World Geodetic System 1984) sowie ITRF89 bis ITRF93 verwenden kön- nen. Die jeweiligen Systeme unterscheiden sich aber in den Stationskoordinaten um etwa 1–2 cm pro Jahr, siehe [3]. Wodurch entstehen diese Unterschiede? Einerseits kommt es laufend zu Systemverbesserungen – man denke an die Geometrieverbesserung bei GPS durch den Übergang von IOC (Initial Operational Capability) zu FOC (Full Operational Capability), siehe [6], Abschnitt 2.2.3 – und andererseits spiegeln diese Änderungen Plattenbewegungen wider.

Das Problem verschiedener Bezugssysteme und verschiedener Genauigkeiten infolge Geo- metrieverbesserungen kann zwar durch eine kompakte (auch landesweite) Messung ver- mieden werden. Dies wurde durch AREF-1 (Austrian Reference Frame-1) der GPS-Netz Zi- viltechniker Ges.m.b.H. [5] gezeigt. Aber die Ki- nematik der Platten kann damit nicht umgangen werden.

Daher muss die Epoche für die gesamte Punkt- wolke einheitlich sein. Änderungen der

Epoche, also der Übergang auf ein neues globales Bezugssystem, können mit minimalem Aufwand durch offizielle Formeln, die vom IERS (International Earth Rotation Service) regelmäßig bekannt gegeben werden, erreicht werden.

Die gesamte Punktwolke im globalen System zur jeweils aktuellen Epoche sollte zentral vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen verwaltet und den Anwendern zur Verfügung gestellt werden (z.B. über ein Netzwerk wie das Internet).

3. Visionen für die Zukunft und Götterdämmerung zum Ausklang

In den vorausgegangenen Abschnitten wurde eine prinzipielle Vorgehensweise zur Homogenisierung des österreichischen Festpunktfeldes gezeigt, die aber alle damit verbundenen rechtlichen Probleme außer acht ließ.

Die Rechtsprobleme mit der geltenden Fassung des Vermessungsgesetzes sind dem Autor, darauf sei noch einmal hingewiesen, bekannt. Aber eine Änderung aller Koordinaten in Österreich „mit einem Schlag“ könnte man dem Bürger vermutlich durchaus verständlich machen, selbst wenn sich seine Grundstücksgrenzen zu seinen Ungunsten verändern sollten.

Die völlige Aufgabe des lokalen Datums, die durch die Einbindung der Punktwolke Österreichs in ein globales Bezugssystem resultiert, könnte in einem weniger radikalen Vorschlag vermieden werden, siehe beispielsweise [10]. Ebenfalls vorsichtiger zeigt sich das neue Konzept LV95 der Schweiz, das eine Doppellösung vorsieht. Für die Landesvermessung und ingenieurgeodätische Aufgaben höchster Genauigkeit wird ein global gelagertes terrestrisches Bezugssystem eingeführt. Für die Arbeiten im Rahmen der Amtlichen Vermessung wird das bisherige lokal gelagerte terrestrische Bezugssystem abgesehen von einer genaueren Festlegung des Fundamentalpunktes beibehalten. Der Übergang zwischen den beiden Systemen muss mathematisch einfach zu realisieren sein, siehe [7].

Die Einbeziehung einer einheitlichen Epoche, die aber immer wieder aktualisiert werden muss, ist unumgänglich. Und damit setzt die Götterdämmerung der Koordinaten ein. „Festpunkte“ im Sinn von unveränderlichen Koordinaten gibt

es keine, da lokale und globale Bewegungen auftreten. Daher wird man in Zukunft, wenn man immer höhere Genauigkeitsansprüche stellt, nicht umhin können, die Bewegung des Punktfeldes (nicht mehr Festpunktfeldes!) durch ein dreidimensionales kinematisches Modell zu erfassen. Jeder Punkt wird neben seinen drei Koordinaten als vierte Komponente die Epoche, also die Zeit, auf die sich die Werte beziehen, verfügbar haben müssen.

Dank

Für die Mithilfe zu diesem Beitrag möchte ich Herrn Hofrat Dipl.-Ing. Dieter Stang (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Graz) herzlich danken, der durch seine Informationen wesentlich zur Struktur dieser Arbeit beigetragen hat und dessen Gedanken mit seiner Erlaubnis in einem eigenen Abschnitt festgehalten sind. Frau Dipl.-Ing. Regina Heiland, Dipl.-Ing. Gerhard Kienast, Doz. Dr. Herbert Lichtenegger und Doz. Dr. Wolf-Dieter Schuh (alle TU Graz) gilt mein Dank für die Berechnungen, das Erstellen der Abbildungen und Korrekturvorschläge. Schließlich bedanke ich mich bei Hofrat Dr. Erhard Erker (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien) für sein Vortragsmanuskript über „Die Realisierung des geodätischen Bezugssystems im 21. Jahrhundert – Fallstudie Österreich“.

Literatur

- [1] *Bjerkhann A (1973): Theory of errors and generalized matrix inverses.* Elsevier, Amsterdam.
- [2] *Erker E (1996): Die Realisierung des geodätischen Bezugssystems im 21. Jahrhundert – Fallstudie Österreich.* Vortragsmanuskript.
- [3] *Erker E, Imrek E, Pesec P, Stangl G, Sünkel H (1997): Das Österreichische Geodynamische Bezugssystem AGREF – Realisierung und Ergebnisse.* Einmalige Sonderausgabe des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Abteilung Satellitengeodäsie.
- [4] *Gissing R (1996): Strukturreform im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – Der etwas andere Weg.* Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, 84(4): 306–312.
- [5] *GPS-Netz Ziviltechniker Ges.m.b.H. (1996): GPS-Grundnetz – AREF-1, Messkonzept. Intermer Bericht.*
- [6] *Hofmann-Wollenhof B, Lichtenegger H, Collins J (1997): GPS Theory and Practice.* 4. Auflage. Springer, Wien New York.
- [7] *Schneider D, Gubler E, Wiget A (1995): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95. Teil 1. Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung.* Bericht 6 aus der Publikationsreihe „Berichte aus der L+T“ des Bundesamtes für Landestopographie, Wabern, Schweiz.
- [8] *Schuh W-D (1987): Punkttransformation unter Berücksichtigung lokaler Klaffungsverhältnisse.* Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, 75(3): 104–121.
- [9] *Stangl G (1996): AGREF – Ein multifunktionales Referenzsystem.* Eich- und Vermessungsmagazin, 81: 13–17.
- [10] *Weber R, Walter G, Kutz S (1995): GPS-relevante Koordinatensysteme und deren Bezug zum Österreichischen Festpunktfeld.* Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, 83(4): 190–200.