

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 85 (1987)

Heft: 12

Artikel: Bestimmung eines herkömmlichen TP-Netzes mit satellitennutzender Vermessung

Autor: Beckmann, A. / Larisch, H.-J. / Schuster, O.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-233469>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

par la superposition photographique de toutes les couches d'information. Des compilations partielles ou en couleurs sont possibles pour tenir compte des besoins particuliers de certains services publics. La méthode de production choisie présente deux avantages supplémentaires: le fait de pouvoir travailler simultanément sur plusieurs couches augmente la vitesse de réalisation, et l'exploitation de la base de données cadastrales pour le dessin automatique de certaines couches diminue les frais de production.

Les levés photogrammétriques permettent également de mettre à jour le plan cadastral: les aménagements principaux sont restitués avec une précision suffisante pour être reportés sur le plan cadastral et introduits en base de données alors que les lacunes constatées aux bâtiments font l'objet de mandats de conservation aux géomètres privés qui établissent des tableaux de mutations.

Le plan d'ensemble, pour tout le canton de Genève, sera réalisé selon cette méthode en l'espace de 10 ans. A ce jour, 9 plans ont été produits, sur un total de 87.

La mise à jour du nouveau plan d'ensemble

Pour répondre aux exigences des utilisateurs, le plan d'ensemble continuera d'être

mis à jour en permanence à l'aide des éléments cadastraux. Les plans de mutation sont réduits à l'aide d'une photocopieuse et les nouvelles informations sont dessinées sur le film, au fur et à mesure de leur enregistrement au Cadastre. Des copies du plan d'ensemble actualisées peuvent ainsi être obtenues en tout temps sur la base du film complet.

La mise à jour des diverses couches peut apparaître comme une tâche supplémentaire. Cependant, le fait que les éléments sont séparés permet des interventions pour corrections sans nécessairement causer la retouche des tracés adjacents, comme c'était le cas sur les feuilles aluminium.

Dans des cas de modifications importantes aux couches «situation cadastrale» et «hachures» on peut même en faire tracer une nouvelle gravure complète, selon les informations déjà introduites en base de données.

Conclusion

Dans le canton de Genève, territoire exigu et de forte densité d'occupation, les nécessités de planification exigent des informations toujours plus complètes et actualisées. Pour répondre à ce besoin, la rénovation du plan d'ensemble peut mainte-

nant être entreprise dans des conditions favorables, grâce à la conjonction de nombreux éléments:

- les études et propositions de la Direction fédérale des mensurations;
- la volonté politique et la capacité de financement;
- l'exploitation immédiate de la base de données cadastrales;
- les performances de la photogrammétrie analytique;
- les moyens modernes de tracé et de reproduction;
- l'état de vétusté de la collection des plans en usage, dont les caractéristiques avaient cependant habitué les utilisateurs à de hautes exigences.

Tirant parti de toutes ces pressions et possibilités, le service du Cadastre s'est engagé dans l'exécution d'une oeuvre qui devra satisfaire de larges cercles d'utilisateurs dans un délai rapproché.

Adresse des auteurs:
R. Braun et J.-P. Wisard
Service du Cadastre
Case postale 36
CH-1211 Genève 8

Bestimmung eines herkömmlichen TP-Netzes mit satellitennutzender Vermessung

A. Beckmann, H.-J. Larisch, O. Schuster

Beobachtung, Auswertung und die für eine Satellitenmessung erforderlichen Vorarbeiten werden beschrieben. Am Beispiel der Neutriangulation Hergarten (Nordeifel) werden die Schritte dargestellt, die für eine solche Satelliten-Kampagne erforderlich sind: Die Planung der Messung, die Erkundung der Antennenstandpunkte, die Satellitenbeobachtungen, die Berechnung der Strecken, die Berücksichtigung von Zentrierungsmessungen und Nivellement sowie die dreidimensionale Ausgleichung der Beobachtungen. Die Ergebnisse werden erläutert und bewertet.

Les travaux préliminaires, les observations et le traitement des mesures pour l'utilisation des satellites sont d'abord décrits. Les différentes étapes nécessaires pour une campagne de mesures sont ensuite présentées en prenant l'exemple de la nouvelle triangulation de Hergarten (Nordeifel): planification des mesures, reconnaissance de l'emplacement des antennes, observation des satellites, calcul des distances, prise en compte des excentricités et du nivellement, compensation tridimensionnelle des observations. Les résultats sont finalement évalués et commentés.

1. Revolution GPS

Die Topographie des Kreises Euskirchen ist typisch für die Mittelgebirge Deutschlands. Dichte Bewaldung und flache Kuppen mit Höhen bis zu 500 m verhindern die freie Sicht zwischen Vermessungspunkten. Wegen der hohen Kosten für Beobachtungsleitern und Signalbauten wurde über Jahrzehnte von einer Neutriangulation (NT) abgesehen.

Seit Mitte 1983 muss auch in bergigem Gelände nicht mehr auf ein weitgehend spannungsfreies, übergeordnetes Netz verzichtet werden: Der Einsatz der Satellitenvermessung mit dem Global Positioning System (GPS) liefert kostengünstig hochgenaue dreidimensionale Koordinaten für die Trigonometrischen Punkte.

2. Macrometernetz NT Hergarten 3. Ordnung

Die anstehenden Flurbereinigungen im Kreis Euskirchen benötigen ein einwandfreies übergeordnetes Festpunktfeld für

das neue Kataster. Zum Zeitpunkt der Messung (Herbst 1985) war das TP-Netz 2. Ordnung bereits durch die GPS-Kampagne NT Nordeifel (1983, 1984) [Lindstrot 1987] bestimmt worden. Die danach berechneten Anschlusskoordinaten wurden erst kürzlich in den amtlichen TP-Nachweis des Landes Nordrhein-Westfalen übernommen. Es durfte also angenommen werden, dass die neuen Verdichtungs-messungen gut in den bestehenden Rahmen passen.

2.1 Planung des GPS-Netzes Hergarten

2.1.1 Das vorhandene Netz 3. Ordnung

Das vorhandene TP-Feld 3. Ordnung wies an einigen Stellen Netzspannungen in der Grössenordnung mehrerer Dezimeter auf,

so dass schon deswegen die Neuaufnahme geboten war. Ursache dieser Spannungen ist zum einen die Topographie des Gebietes zum anderen die Art der Netzanlage und -entstehung. Bei einigen Punkten liegt die letzte Bestimmung bereits 50 Jahre zurück (so wurden z.B. die Punkte 19/5405 (8) und 32/5405 (20) seit 1938 nicht mehr eingemessen). Die Einflüsse unterschiedlicher Messverfahren (Winkel- und Streckenmessung) zu verschiedenen Zeiten sind von unsicherer Punktidentifikation (z.B. mögliche Kriegseinwirkungen) nicht zu trennen. Durch einzelne Erneuerungen in den letzten Jahrzehnten ist darüber hinaus ein messtechnisch inhomogenes Festpunktfeld entstanden. Die vorhandenen Spannungen waren so gross, dass sie die nachgeordneten TP-Züge beeinträchtigten. Für die geplante Flurbereinigung war also

eine umfassende Netzerneuerung notwendig.

2.1.2 Netzerneuerung 1985

Die Neutriangulation Hergarten ist Teil einer umfassenden Erneuerung des Festpunktfeldes 3. Ordnung im Kreis Euskirchen. Wegen der Verfügbarkeit des Personals wurde der grösste Teil des Netzes durch Trilateration konventionell gemessen, zumal die topographischen Bedingungen nach Osten hin günstiger sind. Bei der ebenfalls 1985 durchgeführten benachbarten NT Zülpich beispielsweise wurden lediglich zwei Vierecke mit Macrometern gemessen.

Die Anschlusspunkte im Netz Hergarten sind 8 TP 1. bzw. 2. Ordnung, die in der o.e. NT Nordeifel Neubestimmt wurden. Dazu kommen 29 TP 3. und 4. Ordnung, die das neue Netz der 3. Ordnung bilden werden. TP-Verlegungen wurden nicht vorgenommen. Wo es nötig war, wurden die Macrometer-Punkte als Exzentren an die bestehenden TP angeschlossen. Diese Vorgehensweise ist erforderlich, da sich alle Katasterpunkte auf die TP beziehen.

Die Nord-Süd-Ausdehnung des Gebietes beträgt etwa 30 km, die durchschnittliche Breite ca. 8 km (Abbildung 1).

Der Netzentwurf ist im Stil einer gewöhnlichen trigonometrischen Netzverdichtung gehalten, die das neu zu vermessende Gebiet flächenhaft überdeckt. Der Entwurf ist für die gleichzeitige Verwendung von vier Macrometern ausgelegt, so dass ein Viereck die Grundfigur der Messungsanordnung ist.

Bei der Auswahl der gleichzeitig zu messenden Vektoren sollte als Messprinzip

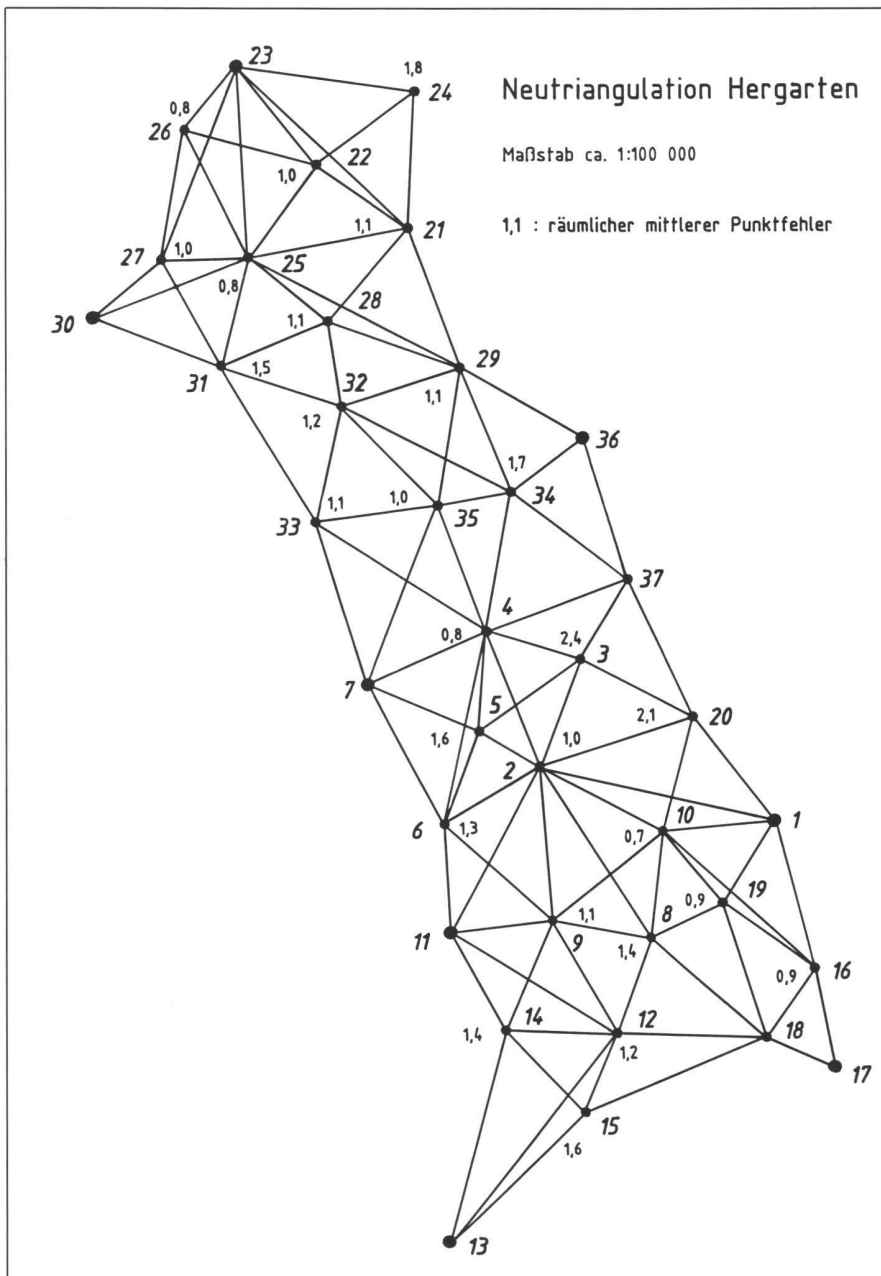


Abb. 1: Netzbild

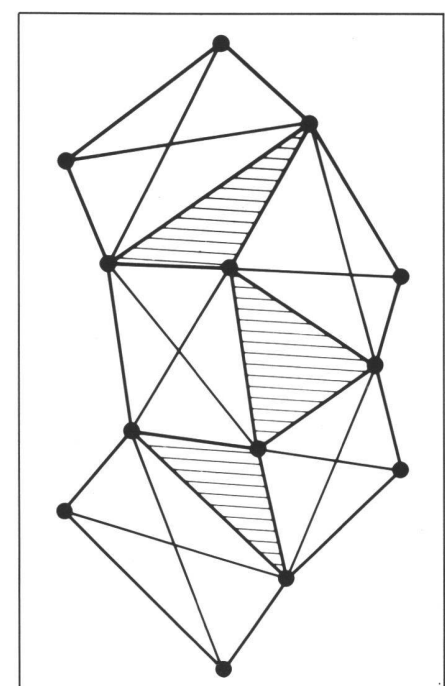


Abb. 2: Die Methode Füllnetz

die «Methode Füllnetz» [BEYER, LARISCH, SCHUSTER 1986] angewandt werden. Sie besagt, dass die Vektoren möglichst nicht doppelt gemessen werden sollen. Die gleichzeitig beobachteten Vierecke müssen also so aneinander gefügt werden, dass zwischen ihnen jeweils Dreiecke frei bleiben (s. Abb. 2). Man erhält auf diese Weise die günstigste Verteilung unabhängiger Vektoren bei guter Wirtschaftlichkeit.

Neben den GPS-Vektoren sind im östlichen Teil des Netzes fünf Strecken konventionell mit EDM-Geräten gemessen worden. Sie wurden als Schrägstrecken in die Ausgleichung eingeführt.

2.2 Die örtlichen Vorbereitungen

Zur örtlichen Vorbereitung einer GPS-Messung zählen die Erkundung der Antennenstandpunkte, die Planung und Durchführung der erforderlichen Zentrierungsmessungen sowie die Nivellements zur Bestimmung der orthometrischen Punkthöhen.

2.2.1 Auswahl der Antennenstandpunkte

Da bei einer Neutriangulation nur in seltenen Fällen gänzlich neue Festpunkte ausgewählt werden, muss die Verwendbarkeit der vorhandenen Netzknoten für die GPS-Messung geprüft werden. Im Netz Hergarten sind die alten Festpunkte wegen der schwierigen Topographie überwiegend Hochpunkte (Kirchtürme, Schornsteine, ...).

Hochpunkte dieser Art sind als Antennenstandpunkte nicht geeignet, so dass Exzentren ausgewählt werden müssen, die sowohl die Kriterien eines GPS-Punktes als auch die konventionellen Anforderungen erfüllen müssen. Folgende Bedingungen gelten für die Auswahl eines GPS-Punktes:

- keine Hindernisse oberhalb von 15° Höhenwinkel
 - Anfahrbare auch bei schlechten Witterungs- und Strassenverhältnissen
- Zusätzlich hierzu müssen bei der Punktauswahl noch die folgenden Kriterien eingehalten werden, die durch die terrestrischen Anschlussmessungen bedingt sind:
- Sichtverbindung zum Zentrum
 - Anschlussicht zu (mindestens) einem Nachbarpunkt

2.2.2 Zentrierungsmessungen

Ein GPS-Netz kann ohne alle Zentrierungen auskommen. Die Rücksichtnahme auf die alte Struktur des Festpunktfeldes bedingt jedoch, dass auch heute noch aufwendige Zentrierungsmessungen durchgeführt werden müssen. Die Qualität der Zentrierungsmessungen sollte so gut sein, dass die Zentrierungsbeträge in der sich anschließenden Netzausgleichung als fehlerfrei angesehen werden können. Da aber die Satellitenverfahren mit dem GPS

den konventionellen Methoden der Streckenmessung an Genauigkeit weit überlegen sind, ist diese Forderung mit herkömmlichen Messungen kaum einzuhalten, zumal wegen der oben angesprochenen an einen Macrometerpunkt zu stellenden Bedingungen die Entfernung zwischen Zentrum und Exzentrum eher grösser ist als in der Vergangenheit. Sind schon bei konventionell gemessenen Netzen Standpunkt- und Zielpunktzentrierungen die Schwachstellen der Punktbestimmung, so gilt dies umso eher für die Satellitenbeobachtungen. Die hohe Genauigkeit der GPS-Messungen spiegelt sich in den Koordinaten der Antennenstandpunkte wider, während der TP nur noch die Genauigkeit eines abgeleiteten Punktes besitzt. Obwohl diese Genauigkeit höher ist als die bisher erreichbare, verliert der TP seine zentrale Bedeutung. Lediglich seine Anschlussichtfunktion bleibt erhalten.

2.2.3 Höhenbestimmung

Zur Bestimmung eines Lagefestpunktfeldes mit GPS ist eine Höhenbestimmung der Antennenstandpunkte prinzipiell nur auf den Anschlusspunkten nötig. Da jedoch aus den Satellitenmessungen ellipsoidische Höhen abgeleitet werden, lassen sich durch den Vergleich mit den Nivellementshöhen direkt die Geoidundulationen ermitteln (auch NN-Undulationen der Anschlusspunkte sind bereits vorhanden [Lindstrot 1987]). In diesem Zusammenhang werden dann auch die Herallegungen der Hochpunkte gemessen, um die dreidimensionalen Punktexzentrizitäten zu erhalten.

3. Macromettermessung und Streckenberechnung

Die Planung der NT Hergarten war ausgelegt auf die Verwendung von vier Macrometern V-1000. Daraus ergab sich eine Netzstruktur mit insgesamt 20 Vierecken. Um die Zahl der erforderlichen Messtage – und somit die Kosten – einzuschränken, wurde der nutzbare Beobachtungszeitraum («das Fenster») unterteilt. Pro Tag konnten auf diese Weise zwei Vierecke gemessen werden. Die damalige Satellitenkonfiguration machte zwei Fenster von jeweils mindestens drei Stunden möglich, zwischen denen 30 Minuten Zeit zum Wechseln der Standpunkte blieben.

Während der Messkampagne standen folgende Satelliten zur Verfügung:

Tabelle 1

Die beiden Messungszeiträume fand man vor Beginn der örtlichen Messung mit Hilfe einer Simulationsrechnung. Diese erbrachte, dass die Basisvektoren in beiden Fenstern mit etwa derselben Genauigkeit zu bestimmen seien. Allerdings sollte die sonst bei Macromettermessungen übliche Genauigkeit von 1 – 2 ppm wegen dieser Fensterunterteilung nicht ganz erreicht werden, die Simulation ergab Werte von 2 – 4 ppm. Wie sich später zeigte, wurde aber ein etwas besseres Ergebnis erzielt (s. Kapitel 4.1).

3.1 Messungsablauf

Die praktische Durchführung der Macromettermessung setzt für jede Aufstellung die Berechnung eines «Almanachs der Satelliten» voraus, der den Empfänger in die Lage versetzt, die Satelliten zu finden und zu verfolgen. Für diese Vorbereitung werden genäherte Bahndaten, die Näherungskordinaten der Antennenstandpunkte (Kartengenauigkeit) und die gewünschte Beobachtungszeit benötigt.

Die Messzeiten im November 1985 lagen nachts zwischen 0 h und 7 h (UTC). Die Fahrt- und Umbauzeit von 30 Minuten war für eine Messung 3. Ordnung sehr knapp angesetzt und konnte nicht immer eingehalten werden, da Glatteis, Schnee und Schneeverwehungen die Fahrzeuge behinderten. Beobachter und Messkraftwagen litten sehr unter diesen Witterungsbedingungen. Die Macrometer V1000 überstanden den Einsatz unbeschadet.

Die für die Messung erforderlichen Informationen wie Startzeit, Länge der Beobachtungsepochen usw. erhält das Macrometer aus den im Almanach gespeicherten Daten. Die Phasenmessung selbst läuft automatisch ab. Mit der Kontrolle der aufgezeichneten Messdaten wird die tägliche Messung beendet.

3.2 Berechnung der Basisvektoren

Der Auftraggeber der Messkampagne Hergarten wünschte die Berechnung aller möglichen Raumvektoren. Somit wurden für jeden Messtag 12 Vektoren bestimmt. Dieses Ergebnis lieferten die Macrometer-Programme INTRFT und LSQT (Abbildung 3). Startpunkt war einer der Anschlusspunkte des übergeordneten Netzes, für den durch die Macrometer-Mes-

Satellit		Fenster 1	Fenster 2
NAVSTAR 3	PRN 6	*	—
NAVSTAR 4	PRN 8	*	—
NAVSTAR 6	PRN 9	*	*
NAVSTAR 8	PRN 11	*	*
NAVSTAR 9	PRN 13	—	*
NAVSTAR 10	PRN 12	*	*

Tab. 1: Verfügbarkeit der Satelliten

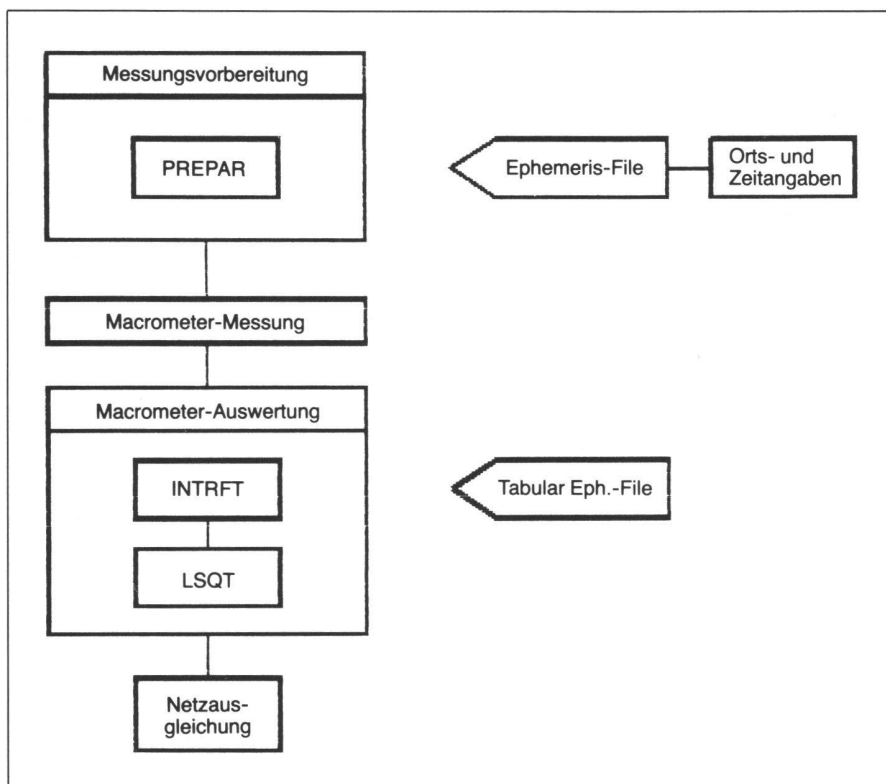


Abb. 3: Ablaufplan einer Macrometer-Kampagne

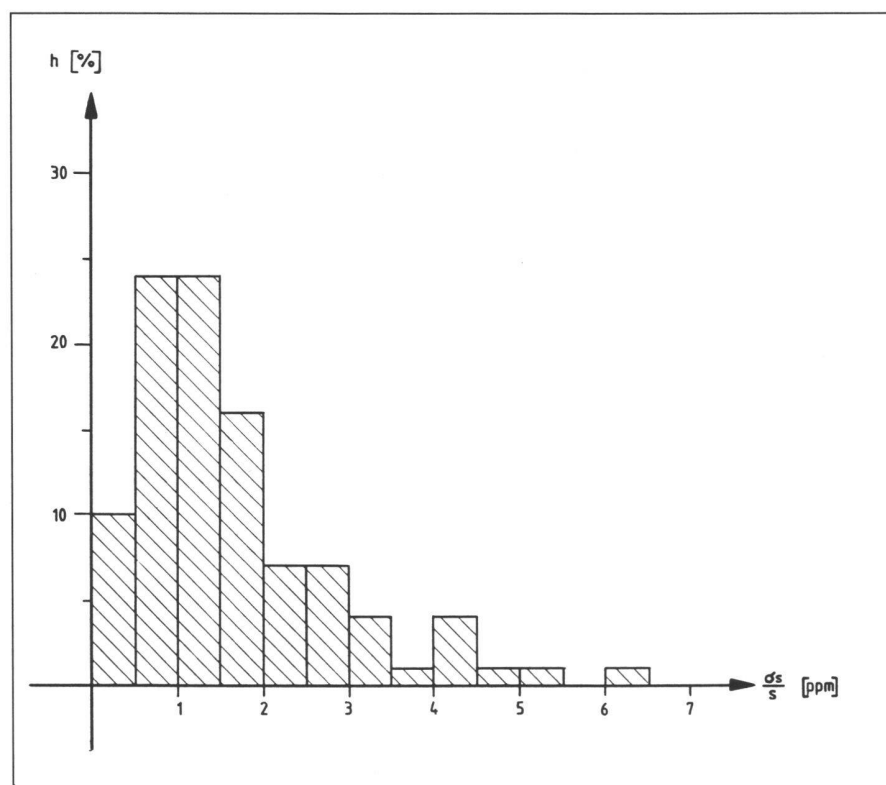


Abb. 4: Häufigkeitsfunktion der inneren Genauigkeit

sung NT Nordeifel (s.a. Kapitel 2) Koordinaten im System des WGS72 bestimmt worden waren.

Das Ergebnis der Vektorberechnung sind die dreidimensionalen kartesischen Koordinatenunterschiede x , y , z sowie die

Schrägstrecke 1 . Ebenso werden ihre Standardabweichungen s_x , s_y , s_z und die Korrelationen r_{xy} , r_{yz} , r_{xz} berechnet. Abbildung 4 zeigt die in der NT Hergarten erreichten inneren Genauigkeiten.

Zur Prüfung der Dreiecksschlüsse wurden

anhand des Netzbildes willkürlich fünf Sessionen ausgewählt und die Koordinatenunterschiede der entstehenden Dreiecke aufsummiert (Tabelle 2). Mit Ausnahme der Messungen im Viereck 16-17-18-19 liegen die Dreiecksschlüsse im Rahmen der erwarteten Grössenordnung (2–3 ppm). Die grösseren Klaffungen scheinen durch Beobachtungen auf TP 14/5405 (17) verursacht zu sein.

4. Vom Raumvektor zur Koordinate

Ein Raumvektor bietet im Vergleich zu EDM-Strecke oder Horizontalwinkel sehr viel mehr Information. Enthalten sind Horizontalentfernung, Zenitdistanz und Azimut. Um diese Information voll ausnutzen zu können, wird von der bisherigen Praxis abgegangen, die Lage- und Höhenauswertung getrennt vorzunehmen. An die Stelle von zwei unabhängigen Berechnungen tritt eine einzige dreidimensionale Ausgleichung. Konventionelle Beobachtungen wie Entfernungen, Horizontalwinkel usw. können dabei zusätzlich zu den Satellitenmessungen in die Auswertung einbezogen werden. Gleichartige Messungselemente werden zu Gruppen zusammengefasst; für jede Gruppe lassen sich je nach Beobachtungsart zusätzliche Unbekannte wie Massstabsfaktor, Additionskonstante usw. berechnen. Die Satellitenbeobachtungen werden als Raumvektoren mit zugehörigen Varianz-Kovarianz-Matrizen in die Ausgleichung eingeführt.

Der Ausgleichungsprozess ist in folgende Schritte unterteilt:

4.1 Zwangsfreie dreidimensionale Netzausgleichung zur Kontrolle der Satellitenmessungen

Die konventionellen Messungselemente bleiben unberücksichtigt. Beobachtungsgrössen sind zunächst nur die dreidimensionalen Koordinatenunterschiede der Satellitenmessungen. Zu bestimmen sind die Koordinaten der Neupunkte. Die Grösse der Verbesserungen der Vektorkomponenten gibt Auskunft über eventuelle Messfehler sowie über die innere Genauigkeit der Satellitenmessungen. Abbildung 5 zeigt die Häufigkeitsfunktion der 351 Verbesserungen $v(x)$, $v(y)$, $v(z)$ der NT Hergarten.

Dabei sind in der x -Komponente 3%, in der y -Komponente 9% und in der z -Komponente 14% der Verbesserungen grösser als 1.5 cm. Die relative Genauigkeit der Raumstrecken ergibt sich zwischen 0.5 und 3.0 ppm (Millimeter pro Kilometer). Unsere Experimente zeigen, dass bei kurzen Strecken der Aufstellfehler auf die Genauigkeit durchschlägt. Er ist unter extremen Bedingungen mit 0.5 – 1.0 cm zu veranschlagen.

Diese Werte geben noch keinen Aufschluss darüber, mit welcher Genauigkeit

Dreieck	Σx [m]	Σy [m]	Σz [m]
2-3-4	- 0.001	- 0.001	- 0.002
4-5-2	+ 0.004	+ 0.001	+ 0.002
3-2-5	+ 0.002	- 0.001	- 0.001
9-12-14	+ 0.001	- 0.002	- 0.001
14-11-9	- 0.002	- 0.002	- 0.003
12-9-11	+ 0.002	+ 0.006	+ 0.006
32-29-34	- 0.002	- 0.003	- 0.003
34-35-32	+ 0.004	+ 0.002	+ 0.004
35-34-29	- 0.001	- 0.003	- 0.002
21-22-23	- 0.001	- 0.001	0.000
23-24-21	0.000	+ 0.001	+ 0.001
22-21-24	+ 0.002	+ 0.003	+ 0.004
25-31-27	- 0.003	- 0.001	- 0.004
27-30-25	+ 0.002	+ 0.001	+ 0.001
30-27-31	- 0.001	- 0.001	- 0.001
16-17-18	- 0.009	- 0.009	- 0.017
18-19-16	+ 0.001	+ 0.001	+ 0.001
17-16-19	+ 0.005	+ 0.007	+ 0.011
19-18-17	+ 0.003	+ 0.001	+ 0.005

Tab. 2: Dreiecksschlüsse repräsentativer Messtage

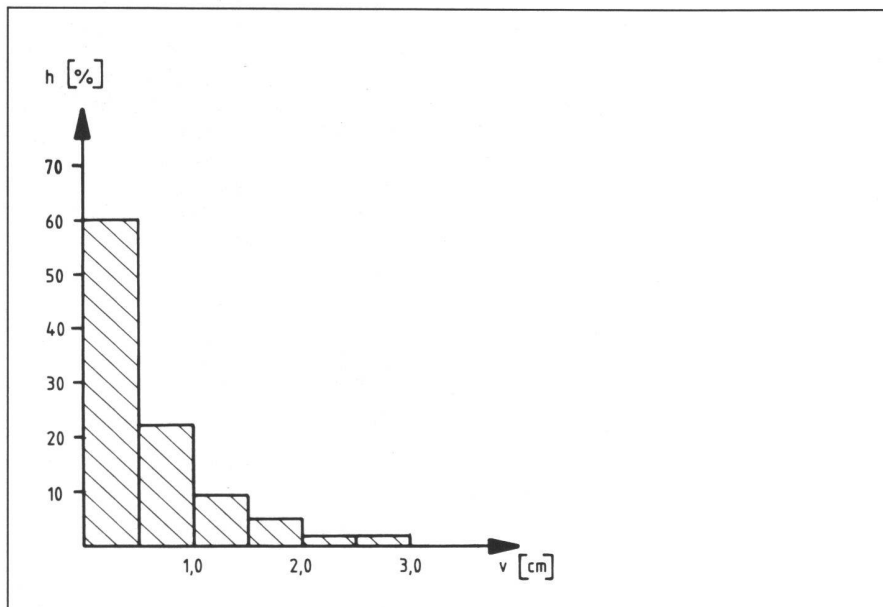


Abb. 5: Häufigkeitsfunktion der Verbesserungen (zwangsfreie Ausgleichung)

die Neupunkte in das Anschlusspunktfeld eingepasst werden können. Es wird aber deutlich, dass die vom Macrometer gelieferten Ergebnisse den Ansprüchen an eine Neutriangulation gerecht werden.

4.2 Einbeziehung der konventionellen Beobachtungen

Die konventionell gemessenen Entfernungen werden als Schrägstrecken in die Ausgleichung eingeführt. Die rohen Messungsergebnisse sind bei den verhältnismässig kurzen Strecken lediglich wegen Refraktion und Erdkrümmung zu reduzieren.

Die Ausgleichung ergibt, dass die EDM-Strecken sich gut in das Macrometernetz einpassen. Die Genauigkeit der ausgeglichenen Koordinaten wird etwas besser, was auf die grössere Anzahl von Überbestimmungen zurückzuführen ist. Die Kombination von Satellitenmessungen und herkömmlichen Beobachtungsverfahren erweist sich als unproblematisch (siehe aber 5.2).

4.3 Zentrierung der Beobachtungen

Die Berechnung der Zentrierungselemente geschieht ausserhalb des dreidimensionalen Ausgleichungsprogramms. Der

Höhenunterschied wird durch Nivellement oder Herablegung bestimmt, für den Lageunterschied erfolgt eine Einzelpunktausgleichung. Die ermittelten Koordinatenunterschiede sind ins System der Satellitenbeobachtungen zu transformieren und als Korrektur an diese anzubringen. Wird an dieser Stelle eine erneute zwangsfreie Ausgleichung mit den zentrierten Beobachtungen durchgeführt, so lässt sich die Qualität der Zentrierungsmessungen durch Vergleich mit dem vorherigen Ergebnis feststellen. Die Zentrierung der Beobachtungen darf keinen Genauigkeitsverlust zur Folge haben (vergleiche Kapitel 2.2.2).

4.4 Transformation der Anschlusspunktkoordinaten ins Bezugssystem der Satellitenmessungen

Die Koordinaten der Anschlusspunkte liegen nur dann im Bezugssystem der Satelliten vor, wenn im Aufnahmegebiet bereits früher einmal Anschlusspunkte durch Satellitenbeobachtungen bestimmt worden sind. Im allgemeinen existieren die Koordinaten zweidimensional im Gauss-Krüger-System. Die zugehörige Höhe bezieht sich auf den Landeshorizont. Diese Koordinaten sind zunächst in geographische Koordinaten auf dem Bessel-Ellipsoid umzurechnen. Die ellipsoidische Höhe berechnet sich dabei entweder aus der NN-Höhe und der Geoidundulation (Abstand von Geoid und Ellipsoid gemessen entlang der gekrümmten Lotlinie) oder aus der NN-Höhe und der NN-Undulation (Abstand von Normal-Null-Fläche und Ellipsoid). Für die Neutriangulation Hergarten wurde das Lelgemann-Geoid (astro-gravimetrische Lösung 1981) in der Lagerung von Heitz (1970) verwendet.

Die geographischen Koordinaten sind in kartesische geozentrische umzuformen. Da sich das Bessel-Ellipsoid und das Ellipsoid des WGS72 auch in der Lagerung unterscheiden, muss bei deren Transformation in die kartesischen Koordinaten des Satellitenbezugssystems eine entsprechende Nullpunktverschiebung (drei Translationen) berücksichtigt werden.

4.5 Ausgleichung unter Zwang

Die Koordinaten der Anschlusspunkte werden fest angehalten. Satelliten- und konventionelle Messungen werden unter Zwang ausgeglichen. Das Ergebnis dieser Ausgleichung ist zunächst nur vorläufig, da die Zentrierungselemente evtl. durch die Transformation vom Bessel- ins WGS-System kleine Veränderungen erfahren. Diese lokalen Transformationsparameter werden aber erst während der Ausgleichung bestimmt (s. unten). Die sich nachträglich ergebenden Korrekturbeträge betragen jedoch bei kurzen Strecken nur wenige Millimeter.

Die Ausgleichung unter Zwang liefert unter anderem zwei Ergebnisse: Die Widersprü-

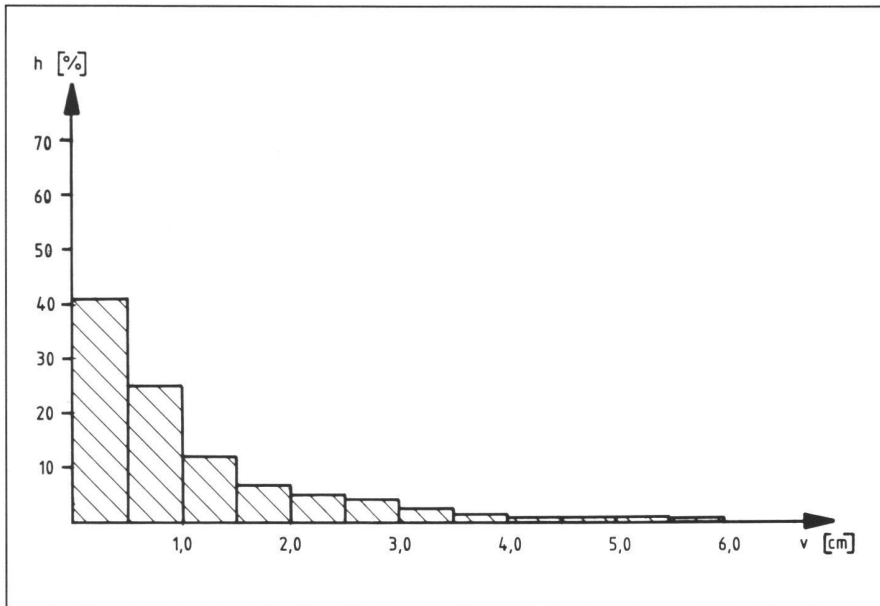


Abb. 6: Häufigkeitsfunktion der Verbesserungen (Ausgleichung unter Zwang)

v [cm]	v(x) [%]	v(y) [%]	v(z) [%]
0.0 – 0.5	48.7	45.3	29.1
0.5 – 1.0	27.4	30.8	17.9
1.0 – 1.5	7.7	12.8	16.2
1.5 – 2.0	6.8	4.3	8.5
2.0 – 2.5	2.6	4.3	7.7
2.5 – 3.0	6.0	0.9	6.0
3.0 – 3.5	0.9	–	6.0
3.5 – 4.0	–	–	3.4
4.0 – 4.5	–	1.7	–
4.5 – 5.0	–	–	2.6
5.0 – 5.5	–	–	1.7
5.5 – 6.0	–	–	0.9

Tab. 3: Häufigkeiten der Verbesserungen nach der Ausgleichung unter Zwang

che zwischen den Anschlusskoordinaten und die Netzspannungen zum umliegenden TP-Feld.

Da im Kreis Euskirchen das übergeordnete Punktfeld bereits durch Satellitenmessungen bestimmt worden war – und damit höchsten Qualitätsansprüchen genügt –, konnte erwartet werden, dass diese Ausgleichung keine grossen Widersprüche aufdecken würde. Die Verbesserungen der Koordinatenunterschiede sowie die geringe Abnahme der relativen Genauigkeiten bestätigen im wesentlichen diese Vermutung. Nach der Ausgleichung ergibt sich folgendes Bild der Verbesserungen $v(x)$, $v(y)$, $v(z)$:

Die relative Genauigkeit der Raumstrecken beträgt im Mittel ca. 3.5 ppm. Während nach der zwangsfreien Ausgleichung kein wesentlicher Unterschied zwischen den Werten in den drei Koordinatenachsen besteht, sind nach der Zwangsausgleichung die Verbesserungen in z-Richtung signifikant grösser (Tabelle 3). Sie enthalten eindeutig noch einen systematischen Anteil. Da die Satellitenbeobachtungen –

wie die freie Ausgleichung zeigt – annähernd homogen sind, ist die ungenauere Bestimmung der z-Koordinaten vermutlich auf Widersprüche in den Anschlusskoordinaten zurückzuführen. Weitere Untersuchungen und Auswertungen werden hier evtl. Aufschluss geben.

4.6 Transformation der Zentrierungselemente

Aus den gemessenen und zentrierten Koordinatenunterschieden werden bei der Ausgleichung unter Zwang lokale Transformationsparameter (3 Rotationen, 1 Massstab) für den Übergang vom WGS72 ins Datum des Hergarten-Netzes bestimmt. Es ist:

$$\begin{aligned}\beta(x) &= +0.22 \pm 0.31 ["] \\ \beta(y) &= -1.34 \pm 0.29 ["] \\ \beta(z) &= -2.13 \pm 0.28 ["] \\ m &= -11.59 \pm 0.97 [\text{mm/km}]\end{aligned}$$

Mit diesen Parametern sind die anfangs berechneten Zentrierungselemente, die sich ja auf dem Bessel-Ellipsoid ergaben, in Zentrierungselemente im System des

WGS72 umzurechnen. Mit den sich daraus ergebenden neuen zentrierten Beobachtungen erfolgt eine nochmalige Zwangsausgleichung. Bei der NT Hergarten blieben sämtliche Zentrierungszuschläge wegen der kurzen Strecken unter 0.5 mm. Daher wurde auf eine Korrektur verzichtet.

4.7 Vergleich der berechneten Neupunktkoordinaten mit den Eingangswerten

Nach jeder Neutriangulation ist es interessant, festzustellen wie gross die Differenzen zum ursprünglichen Netz sind. Diese Differenzen sind die Summe aus mangelnder Punktidentifizierung, Messungsunschärfen, Zentrierungsfehlern und Aufstellungsunsicherheiten im alten Netz. Ein direkter Vergleich ist jedoch nur in den Gauss-Krüger-Koordinaten möglich; Die Satellitenmessung liefert Ellipsoidhöhen, während lediglich die NN-Höhen der Punkte bekannt sind. Tabelle 4 zeigt die sich aus der Ausgleichung unter Zwang ergebenden Koordinatenänderungen.

Die Verschiebungsvektoren sind bis zu 33 cm lang. Während im nördlichen Teil des Netzes kaum eine Systematik erkennbar ist, werden im südlichen Bereich fast alle Punkte in nordwestlicher Richtung verschoben (Abbildung 7). Trotz dieser offensichtlichen Systematik ist die reizvolle Aufgabe der Interpretation der Vektoren kaum lösbar, wie sich in vielen früheren Untersuchungen gezeigt hat. An den Daten wird aber deutlich, welche Bedeutung die Neutriangulation für das nachgeordnete Netz hat. Lageunterschiede einer solchen Größenordnung sind nämlich weder im heutigen Kataster noch für technische Anwendungen tolerierbar.

Die Abbildung 7 zeigt ferner die NN-Undulationen, die sich als Differenzen zwischen den ausgeglichenen Ellipsoid- und den ursprünglichen NN-Höhen ergeben. Die geklammerten Werte der Anschlusspunkte (Macrometer-Kampagne EIFMAC 1983/84) bieten auch hier die Möglichkeit eines Vergleichs: Die Undulationen – die sich ja aus zwei vollkommen unabhängigen Macrometermessungen ergeben – passen in ihrer Tendenz gut zusammen. Das spricht für die Verwendbarkeit der zugrunde gelegten Modelle.

5. Ergebnisse

5.1 Zentrierungsmessungen

Die innere Genauigkeit der Beobachtungen (ohne Zentrierungsmessungen) ergibt sich zu 0.5 bis 2.0 ppm. Die Messungen zur Bestimmung der Zentrierungselemente müssen so ausgeführt werden, dass die Genauigkeiten der Satellitenmessungen nicht negativ beeinflusst werden. Diese Forderung wird bei der Neutriangulation Hergarten lediglich von der z-Komponente erfüllt, die sich im wesentlichen aus dem

Nr.	Rechts (Y) [m]	d(Y) [cm]	Hoch (X) [m]	d(X) [cm]	NN-Höhe [m]	Und. [cm]
2	2538849.090	- 2.7	5604225.620	+ 8.3	375.017	+ 23.6
3	2539586.940	- 7.9	5606448.720	+ 6.4	254.532	+ 22.0
4	2537631.213	- 1.3	5607195.973	+ 6.9	350.490	+ 20.8
5	2537533.090	- 1.3	5604971.620	+ 12.9	396.590	+ 24.5
6	2536786.530	- 17.0	5602919.650	+ 19.4	415.604	+ 28.8
8	2541429.990	- 18.0	5600521.740	+ 2.4	427.74	+ 25.0
9	2539261.790	- 9.0	5600823.520	+ 4.1	309.32	+ 26.4
10	2541658.250	- 12.8	5602851.280	+ 5.5	283.47	+ 23.4
12	2540694.630	- 4.7	5598395.280	+ 32.5	401.680	+ 48.4
14	2538200.910	+ 3.3	5598446.710	+ 27.8	422.620	+ 28.6
15	2539995.000	+ 2.0	5596665.160	+ 11.1	449.87	+ 27.9
16	2545021.980	- 5.9	5599885.460	+ 10.0	420.300	+ 25.2
18	2543975.260	- 2.3	5598381.110	+ 9.8	395.680	+ 32.4
19	2543121.910	- 8.1	5601349.430	+ 7.1	384.080	+ 23.0
20	2542294.470	- 9.1	5605415.840	+ 4.5	228.880	+ 14.5
21	2535722.940	- 3.7	5616030.790	+ 4.1	236.649	+ 11.5
22	2533824.350	- 7.7	5617307.750	+ 6.1	256.34	+ 4.8
24	2535877.530	+ 11.7	5618947.880	+ 0.8	189.570	+ 7.5
25	2532323.990	- 7.8	5615353.740	+ 4.5	279.131	+ 14.1
26	2530871.111	0.0	5618020.020	- 9.1	280.35	- 4.9
27	2530387.400	- 0.8	5615146.140	- 3.2	263.920	+ 13.3
28	2534089.629	- 13.9	5613953.267	- 20.1	116.67	+ 12.0
29	2536870.320	- 7.2	5612910.010	+ 3.5	252.578	+ 15.0
31	2531779.040	- 14.8	5612913.920	+ 9.7	307.81	+ 13.7
32	2534644.797	- 1.8	5612071.025	- 12.5	284.425	+ 21.8
33	2533922.790	+ 1.7	5609454.750	- 11.3	345.99	+ 17.0
34	2538113.940	- 1.4	5610244.860	+ 6.7	255.740	+ 16.2
35	2536638.420	- 1.8	5609866.290	+ 18.7	303.620	+ 17.8
37	2540775.830	- 2.4	5608339.390	+ 15.4	243.300	+ 15.7

Tab. 4: Reduzierte GK-Koordinaten der TP 3. und 4. Ordnung und deren Verschiebungen nach der Ausgleichung

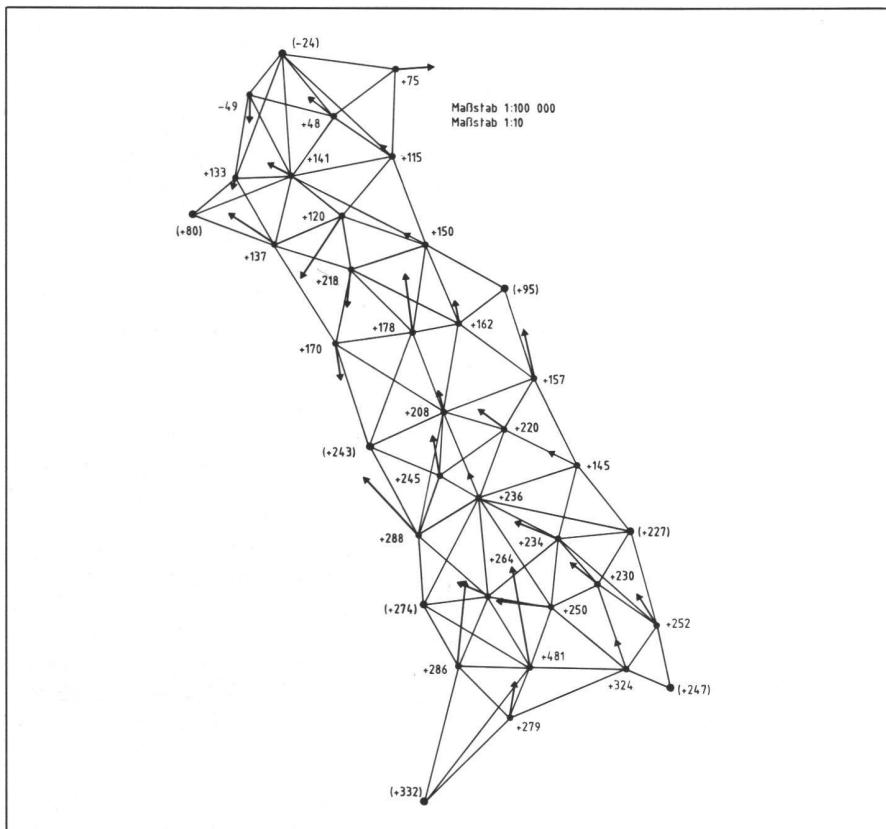


Abb. 7: Verschiebungsvektoren aus der Neutriangulation

nivellistisch ermittelten Höhenunterschied zwischen Zentrum und Exzentrum ergibt. Die Einführung der Koordinatenunterschiede in der Lage hingegen führt zu einer deutlichen Verschlechterung der inneren Genauigkeit auf 1.0 bis 3.0 ppm. Dieser Genauigkeitsverlust kann durch geeignete Messmethoden vermieden werden.

5.2 Mittlere Fehler der ausgeglichenen Neupunktkoordinaten

Abbildung 1 zeigt die räumlichen mittleren Punktfehler, die sich aus der Zwangsausgleichung ergeben. Der Tabelle 5 sind die Standardabweichungen der einzelnen Komponenten zu entnehmen. Deutlich wird dabei unter anderem die schlechtere Punktbestimmung im Bereich des rein konventionell beobachteten Dreiecks – besonders in der Länge und in der Höhe. Durch die gute Geometrie des gesamten Netzes ist die erreichte Genauigkeit aber trotzdem voll ausreichend.

Tabelle 5

Weitere Genauigkeitsverluste entstehen zum einen im nordöstlichen Bereich durch die ungünstige Verteilung der Anschlusspunkte und zum anderen in der Bestimmung der Nord-Süd-Komponente durch die zum Zeitpunkt der Beobachtung ungünstige Satellitenkonstellation.

5.3 Verdichtungsmessungen mit GPS

Die NN-Undulationen (Abbildung 7), die durch diese Neutriangulation bestimmt werden konnten, passen gut zu den Ergebnissen, die sich aus der Auswertung der Macrometer-Kampagne 2. Ordnung EIFMAC ergaben. Für zukünftige Verdichtungsmessungen des Lagepunktfeldes mit GPS im Raum Hergarten kann damit das Nivellement zur Bestimmung der NN-Höhen entfallen. Diese können dann mit Hilfe der bekannten NN-Undulationen aus den durch Satellitenmessungen bestimmten Ellipsoidhöhen abgeleitet werden.

5.4 Vergleich der mehrfach beobachteten Macrometerstrecken

In Tabelle 6 sind die 13 mehrfach gemessenen Strecken der Neutriangulation Hergarten einander gegenübergestellt. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss unterschieden werden zwischen der Übereinstimmung der Koordinatenunterschiede und der Streckenlängen. Bei den Koordinatenunterschieden treten in der x-Komponente die grössten Abweichungen zwischen den Wiederholungsmessungen auf. Es ist allgemein bekannt, dass diese Koordinate wegen der nicht optimalen Satellitenkonfiguration mit der relativ grössten Unsicherheit behaftet ist. Die Differenzen der y- und z-Komponenten liegen von wenigen Ausnahmen abgesehen fast im Bereich der Aufstellgenauigkeit der Antenne. Von den 13 mehrfach beobachteten Strecken stimmen 11 im Bereich von

Partie rédactionnelle

Station	$\sigma(x)$ [cm]	$\sigma(y)$ [cm]	$\sigma(z)$ [cm]	mp [cm]
2 5405030	0.6	0.4	0.6	1.0
3 5405033	1.1	1.1 x	1.8 x	2.4 x
4 5405168	0.5	0.3	0.5	0.8
5 5405031	1.2	0.5	0.9	1.6
6 5405025	1.0	0.4	0.6	1.3
8 5405019	0.8	0.5	1.0	1.4
9 5405097	0.6	0.4	0.7	1.1
10 5405024	0.4	0.2	0.5	0.7
12 5405016	0.7	0.5	0.8	1.2
14 5405017	0.8	0.5	0.9	1.4
15 5405012	1.2	0.5	0.9	1.6
16 5405018	0.6	0.3	0.6	0.9
18 5405015	0.9	0.6	1.0	1.5
19 5405021	0.6	0.3	0.6	0.9
20 5405032	0.8	1.0 x	1.6 x	2.1 x
21 5305030	0.6	0.4	0.8	1.1
22 5304031	0.5	0.4	0.7	1.0
24 5205013	0.8	0.9	1.3	1.8
25 5304027	0.4	0.3	0.5	0.8
26 5304035	0.4	0.3	0.5	0.8
27 5304128	0.5	0.4	0.7	1.0
28 5304166	0.7	0.4	0.6	1.1
29 5305023	0.6	0.4	0.7	1.1
31 5304022	0.9	0.5	1.0	1.5
32 5304038	0.8	0.4	0.8	1.2
33 5304014	0.8	0.4	0.6	1.1
34 5305019	0.6	0.9	1.2	1.7
35 5305016	0.6	0.4	0.6	1.0
37 5305014	0.8	1.1 x	1.6 x	2.1 x

x: konventionell gemessenes Dreieck

Tab. 5: Standardabweichungen und mittlere Punktfehler nach der Ausgleichung unter Zwang

	Macrometer [m]	terrestr. [m]	Differenz	
			[m]	ppm
5405–16.01 – 5405–17.00	2386.015	2385.980	– 0.035	– 14.7
5405–02.00 – 5405–21.10	1987.146	1987.158	+ 0.012	+ 6.0
5204–01.99 – 5304–35.04	1838.944	1838.964	+ 0.020	+ 10.9
5305–30.10 – 5305–23.10	3325.210	3325.223	+ 0.013	+ 3.9
5305–19.00 – 5305–01.10	2013.421	2013.408	– 0.013	– 6.4

Tab. 7: Vergleich von konventionellen und Satellitenbeobachtungen

0.8 bis 2.9 ppm überein. Die relative Genauigkeit aller Raumstrecken liegt im Mittel bei 2.4 ppm. Berücksichtigt man hier den bei kurzen Strecken noch grossen Einfluss des Aufstellfehlers (der heute durch ein besseres Zentriersystem bei 0.5 cm und weniger liegt), so ist die innere Genauigkeit der Strecken sehr gut.

5.5 Vergleich mit elektrooptisch gemessenen Strecken

Einige der mit dem Macrometer ermittelten Strecken wurden mit elektrooptischen Distanzmessern gleichfalls beobachtet. Zum Vergleich eignen sich lediglich fünf über identischen Vermarkungen ausgeführte Messungen. Tabelle 7 zeigt die Differenzen der beiden Bestimmungen. Die kombinierte dreidimensionale Ausgleichung aller gemessenen Strecken und Vektoren ergab grössere Punktfehler im Bereich der terrestrischen Strecken (s. Kapitel 5.2). Die Satellitenmessungen liefern folglich bessere Genauigkeiten als herkömmliche Distanzmessungen.

5.6 Wirtschaftlichkeit

Die Aufzeichnungen der Landesvermessungsbehörden lassen erkennen, dass sich die Kosten von herkömmlicher Bestimmung zu GPS-Bestimmung in der 1. und in der 2. Ordnung wie 2:1, in der 3. Ordnung wie 3:2 und in der 4. Ordnung wie 1:1 verhalten. Durch besondere Messanordnungen und ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Anschluss- und Neupunkten ist speziell für die 4. Ordnung eine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit zu erwarten.

6. Wertung der Ergebnisse

Die während der Macrometermessung und der Netzausgleichung gewonnenen Erfahrungen lassen sich in den folgenden Thesen zusammenfassen:

- GPS-Messungen lassen sich gemeinsam mit konventionellen Messungen auswerten



von	nach	Δ_x [m]	Δ_y [m]	Δ_z [m]	σ_s / S [mm / km]
26	23	- 1222.558 - 1222.564	+ 1224.220 + 1224.220	+ 886.134 + 886.138	2.9
27	26	- 2253.168 - 2253.168	+ 249.695 + 249.693	+ 1831.656 + 1831.666	2.1
27	25	- 358.613 - 358.619 - 358.610	+ 1909.657 + 1909.657 + 1909.660	+ 136.009 + 136.008 + 136.018	1.0
26	25	+ 1894.554 + 1894.558	+ 1659.962 + 1659.966	- 1695.646 - 1695.650	2.3
25	23	- 3117.110 - 3117.128	- 435.740 - 435.749	+ 2581.783 + 2581.795	2.2
7	4	- 1177.192 - 1177.188	+ 2422.860 + 2422.858	+ 641.677 + 641.668	2.0
4	5	+ 1749.021 + 1748.997	+ 85.417 + 85.401	- 1376.117 - 1376.128	5.7 !
11	9	- 487.874 - 487.886	+ 2219.743 + 2219.736	+ 40.988 + 40.994	1.8
2	9	+ 2527.001 + 2527.023	+ 680.090 + 680.095	- 2214.148 - 2214.136	2.8
14	12	- 244.061 - 244.056	+ 2481.734 + 2481.731	- 60.592 - 60.596	1.4
15	12	- 1434.460 - 1434.453	+ 552.397 + 552.394	+ 1059.925 + 1059.922	4.3
19	16	+ 940.168 + 940.148	+ 2009.680 + 2009.694	- 912.579 - 912.574	0.8
2	10	+ 693.207 + 693.203	+ 2896.916 + 2896.915	- 957.379 - 957.402	1.7

Tab. 6: Gegenüberstellung der mehrfach gemessenen Strecken

- GPS-Messungen sind den herkömmlichen Messungen hinsichtlich der Genauigkeiten überlegen
- GPS-Messungen sind wirtschaftlicher als die konventionellen Methoden
- GPS-Messungen werden in ihrer Genauigkeit eingeschränkt durch:
 - den Antennen-Aufstellfehler
 - die Zentrierungsmessungen.

Die Satellitenverfahren mit dem Global Positioning System sind den konventionellen Messungen schon bei der heutigen Satellitenverfügbarkeit überlegen. Der vollständige Ausbau des Systems bis hin zur 24-stündigen weltweiten Überdeckung wird die Anwendungsmöglichkeiten der GPS-Verfahren weiter steigern.

Unser besonderer Dank für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Messung gilt Herrn Dohr und seinen Mitarbeitern beim Regierungspräsidenten Köln.

Literatur:

- [1] Beyer, W., H.-J. Larisch, O. Schuster: Fortschritte bei der Nutzung von GPS, BDVI-FORUM 2 (1986), S. 318 – 325.
- [2] Lindstrot, W.: Macrometermessungen in der Eifel (noch nicht veröffentlicht).

Adressen der Verfasser:

Dipl.-Ing. Angela Beckmann
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Larisch
Dr.-Ing. Otmar Schuster
GEOsat GmbH
Löhberg 78, D-4330 Mülheim a.d. Ruhr 1

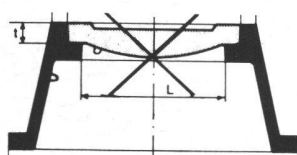
Mehr Sicherheit im Strassenverkehr mit

Chrétien-Polygonkappen



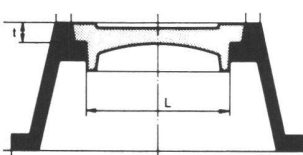
seit 1883

Bisher:



Deckel nur eingelegt

Verbesserte Ausführung:



Deckel geführt

Chrétien & Co.
Eisen- und Metallguss
4410 Liestal

Tel. 061 / 91 56 56