

Eine Strategie zum automatisierten Aufdecken von Festpunktfehlern in Katasternetzen

Albert GRIMM-PITZINGER, Johannes OTEPKA

Abstract

Cadastral surveys within the national coordinate system become complicated if the coordinates of the used control points contain blunders. Instead of try-and-error methods, which are often employed in these cases, a new automated strategy using adjustment methods is suggested. This technique allows to reduce processing time and provides statistical reliable results, which will be demonstrated with an example. The presented strategy is implemented in the adjustment software GEOSI GEONET.

1 Grundlagen

Die Ausgleichsrechnung war lange Zeit ausschließlich ein Instrument für Genauigkeitssteigerung und Genauigkeitsschätzung bei der Berechnung anspruchsvoller Netze in den Bereichen Ingenieurgeodäsie und Landesvermessung. Für den zweiten großen Themenkreis, die statistische Analyse der Netzmodelle und den statistischen Ausreißertest von Messungen, waren Auswertestrategien für die Praxis wegen des damit verbundenen großen Rechenaufwandes noch nicht entwickelt.

Die Situation hat sich durch die Entwicklung der Rechentechnik grundlegend geändert. Moderne Ausgleichungssoftware bietet dem User ein hohes Maß an Datensicherheit durch den Einsatz statistischer Testverfahren, ein Aspekt, der den genauigkeitssteigernden Effekt in der Praxis meist an Bedeutung übertrifft. Damit dringt die Ausgleichsrechnung immer öfters in Aufgabengebiete der klassischen Standardvermessung vor.

Wie bereits angedeutet können Ausgleichungsmethoden bei der Auswertung von Katastervermessungen entscheidende Vorteile für die Praxis bringen. Der Anschluss an das Festpunktfeld ist der kritischste und zugleich auch der zeitaufwendigste Teil der Mess- und der Rechenarbeiten bei solchen Operaten. Die Messanordnung wird dabei so gewählt, dass möglichst viele Festpunkte polar oder zumindest durch Richtungsmessung einbezogen werden, um eine zuverlässige Bestimmung der neuen Standpunkte zu garantieren. Minimalkonfiguration, wie z.B. nicht überbestimmte freie Stationierungen, sind zu vermeiden. Allzu leicht könnten Fehler im polar erfassten Festpunkt unentdeckt bleiben. Die Ursachen solcher Ausreißer können vielfältig sein: verrutschte Stabilisierungen, Punktverwechslungen oder auch nur die Zugehörigkeit zu einem anderen BEV – Operat.

Die Vermessungsverordnung selbst schreibt keine spezielle Messanordnung vor. Die Vermessung ist nach dem Stand der Wissenschaft und Technik (VERMV 1994, § 6) und unter

Bedachtnahme auf die mittlere Punktlagegenauigkeit der Festpunkte auszuführen (VERM V 1994, § 7).

Liegt eine Konfiguration mit überbestimmtem Anschluss und Verschiebungen im Festpunktfeld vor, so ist die Rechenarbeit mit einer konventionellen Geodäsiesoftware meist aufwendig. Die Koordinaten der Neupunkte werden mittels unterschiedlicher Rechenwege mehrfach ermittelt und verglichen. Intuitiv werden Messungen bzw. Punkte ausgeschlossen bis die Ergebnisse „zusammenpassen“.

Eine Alternative dazu stellt die automatisierte, gleichzeitige Berechnung aller Messungen unter Einbeziehung aller Anschlusspunkte in Form einer Ausgleichung dar. Sie ist Gegenstand dieses Artikels.

2 Die Methode der weichen Lagerung

Bei einem Ausgleich vermittelnder Beobachtungen besteht die Möglichkeit, eingeführte Messungen einem Ausreißertest zu unterziehen, womit die Messungen auf enthaltene Fehler getestet werden können. Bei einer Standardausgleichung werden die Koordinaten der Anschlusspunkte (KTs bzw. EPs) als Konstante oder als Unbekannte eingeführt und können deshalb keinem Test unterzogen werden. Abhilfe schafft die Methode der weichen Lagerung, welche die Koordinaten der Anschlusspunkte nicht nur als Unbekannte, sondern auch als Messungen in die Ausgleichung eingeführt. Sie gelten damit, wie Richtungen und Strecken, als zufällige Messgrößen, versehen mit Standardabweichungen, welche vom Bearbeiter vor der Berechnung gruppenweise definiert werden.

Diese Punkte übernehmen die Lagerung des Netzes. Das Festhalten von Punkten oder das Transformieren auf Punktgruppen ist dadurch nicht mehr notwendig. Neben der Bezeichnung „weiche Lagerung“ wird diese Methode in der Literatur auch als „weiches Datum“ bezeichnet. Die Bezeichnung „weich“ soll dabei eine Assoziation mit der charakteristischen Eigenschaft dieser Lagerungsmethode hervorrufen, nämlich dem Nachgeben gegenüber Spannungen innerhalb der Datumpunkte. Ein Teil dieser Spannungen geht – in Abhängigkeit der definierten Standardabweichungen - in die Geometrie der Messungen, der andere, wie erwähnt, in die Lage der Anschlusspunkte. (KRAUS, 1996)

Diese („gemessenen“) Lagerungspunkte bekommen also durch die Ausgleichung Zuschläge und Standardabweichungen. Damit können sie, wie bereits erwähnt, einem Ausreißertest unterzogen werden.

2.1 Der Ausreißertest

Für jede der Messungen, ob ein oder zweidimensional, wird eine Testgröße errechnet. Sie basiert auf den aus dem Ausgleich resultierenden Verbesserungen bzw. Zuschlägen. Diese Größen werden zusätzlich durch Division durch ihre Standardabweichung normiert. Mit anderen Worten: die Stellung der Messung im Netzverband (die Kontrolliertheit der Messung) und die Genauigkeiten werden rechnerisch berücksichtigt. Dieser Ausreißertest wird auch als multipler t-Test bezeichnet.

Die theoretisch korrekte Vorgangsweise bei der Durchführung des Tests ist folgende: die Testgrößen werden einer wahrscheinlichkeitstheoretisch berechneten Schranke (Fraktile) gegenübergestellt. Da diese stark von der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit des Tests abhängt, ist das Ergebnis in gewisser Weise willkürlich und gleichzeitig unflexibel.

Die praktische Vorgangsweise vermeidet diese streng definierte schwarz – weiß Entscheidung: liegt eine Testgröße knapp unter der Schranke, ist jedoch deutlich größer als die anderen, so wird die zugehörige Messung versuchsweise eingefroren und der Ausgleich neu berechnet. Sind die neuen Testgrößen annähernd untereinander gleich und sämtliche Messungen zufriedenstellend kontrolliert, so wird die eingefrorene Messung endgültig eliminiert.

Ob dieses Testverfahren einen Fehler im Anschlusspunkt tatsächlich findet, hängt von der Messanordnung und der Genauigkeit der eingesetzten Messmittel ab. Je größer die Zahl der Anschlusspunkte bzw. der Überbestimmung und je genauer die Messungen, desto besser ist die Aufdeckbarkeit. Ein objektives Maß für dieses Netzkriterium ist die „innere Zuverlässigkeit“ (GRIMM-PITZINGER). Sie beschreibt den kleinsten, gerade noch aufdeckbaren Fehler in der Beobachtung. Ein kleiner Wert der inneren Zuverlässigkeit zeigt eine hohe Aufdeckbarkeit an.

Der limitierende Faktor der Methode ist der Grad der Überbestimmung. Unterschreitet sie eine bestimmte Grenze, ist der Punktfehler nicht mehr lokalisierbar. Weiters wird vorausgesetzt, dass sich im Datensatz nur ein Ausreißer befindet. Sind zwei oder mehr fehlerhafte Punkte vorhanden, versagt die (in diesem Fall sequentiell durchgeführte) Methode nicht prinzipiell, aber die Anforderungen an die Konfiguration wachsen rasch an. Generelle Aussagen über den Zusammenhang von Messkonfiguration, Genauigkeit der Messungen und Anzahl der Ausreißer sind nicht möglich.

Die derzeit gängige Methode der Lagerung mittels „Zwangsanschluss“ überträgt Spannungen in den Anschlusspunkten auf die Netzgeometrie und deformiert diese. Die Lagerung mittels weicher Lagerung dagegen fängt einen Teil dieser Spannungen durch Zuschläge an den Festpunktkoordinaten auf und gibt nur einen Teil an die Geometrie weiter. Verbleibt ein Ausreißer trotz Test im Datensatz, so wird seine Auswirkung auf die Berechnung der Neupunkte gemildert, die Nachbarschaftsgenauigkeiten bleiben besser erhalten.

3 Ein Beispiel aus der Praxis

Die beschriebene Strategie soll an einem Beispiel veranschaulicht werden. Dabei handelt es sich um ein gemessenes Netz mit dem Zweck der Anbindung einer größeren Parzellierung an das Festnetz. Zur Schaffung von 7 Neupunkten wurden 46 Richtungen und 23 Strecken gemessen, 8 Festpunkte standen für den Anschluss zur Verfügung (siehe Abbildung 1).

Dieses Netz wurde, so wie oben beschrieben, ausgeglichen, mit dem Ziel, Ausreißer im Datensatz aufzuspüren. Zur Lagerung dienten die 8 Festpunkte, indem sie als Beobachtungen definiert wurden.

Großen Einfluss auf das Ergebnis der Fehlersuche haben die a-priori angenommenen Genauigkeiten der Messgruppen. Sie wurden hier mit:

Standardabweichung der Richtungen = 15cc

Standardabweichung der Strecken = 3 mm + 3 p.p.m.
 Standardabweichung der Koordinaten = 10 mm

festgelegt. Auffallend ist möglicherweise die niedrigere Standardabweichung der Koordinaten im Vergleich zu Angaben des Gesetzgebers, der die Genauigkeit von Festpunkten mit 5 bzw. 7 cm definiert. Dazu ist zu bemerken, dass diese Genauigkeit nicht näher definiert und wohl eher als absolut, dem „Gesamtsystem“ gegenüber, zu verstehen ist und keineswegs als Nachbarschaftsgenauigkeit in einem kleinen für eine Anschlussmessung herausgenommenen Punktverband. Die Ansprüche an das „Zusammenpassen“ der Anschlusspunkte in einer Anschlussmessung sind jedoch wesentlich höher und wurden deshalb im konkreten Fall mit 10 mm definiert.

Dieser niedrigere Wert bringt zwei Vorteile mit sich: der Ausreißertest wird schärfer (kleinere Ausreißer können damit aufgedeckt werden) und die Anschlusspunkte bekommen kleine Zuschläge, womit eine größere Ähnlichkeit gegenüber den Ergebnissen einer Zwangsausgleichung gewahrt bleibt.

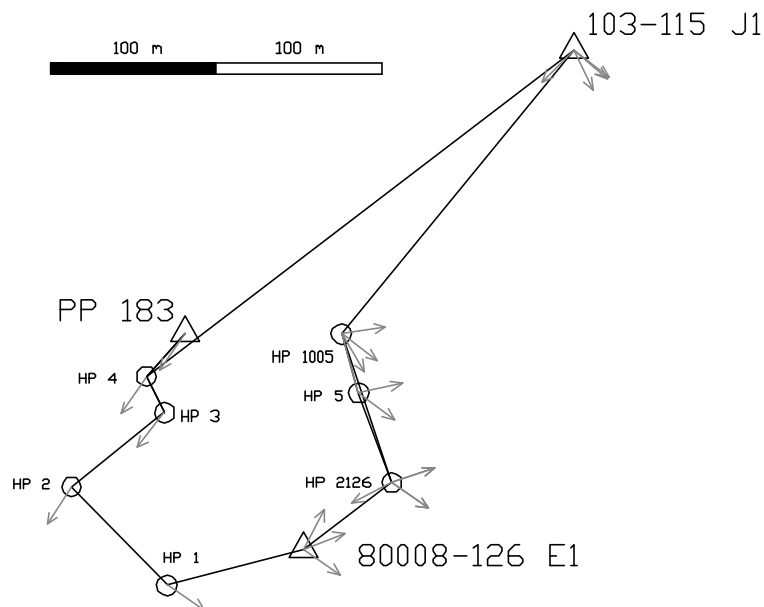


Abb. 1: Kartierung des Testbeispiels

3.1 Resultate der Berechnungen

Das gemessene Netz wurde in vier unterschiedlichen Ausgleichungen berechnet. Zuerst wurde das originale Netz gezwängt und mit weicher Lagerung berechnet. Anschließend wurde der Punkt 80008-126 E1 um -5 cm in x Richtung verschoben und die beiden Ausgleichungen wiederholt. Sämtliche Ausgleichungen wurden mit den oben genannten a priori Genauigkeiten berechnet.

In Tabelle 1 sind die 10 größten Testgrößen des originalen Netzes bei weicher Lagerung aufgelistet. Das Fraktile des multiplen t-Tests (abhängig vom Freiheitsgrad des Gesamtnetzes bzw. der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit) ergab sich zu 3,5. Damit wurde die Richtungsbeobachtung von HP 2126 nach 4-116 J1 als fehlerhaft klassifiziert und ein Fehler von -60 cc mit Hilfe des Redundanzanteils der Beobachtung geschätzt. Obwohl die Testgröße dieser Beobachtung nahe beim berechneten Fraktile liegt, ist das Deaktivieren der Beobachtung durchaus gerechtfertigt, da sich die besagte Testgröße deutlich von den anderen Testgrößen abhebt.

Tab. 1: Originales Netz – Weiche Lagerung. Die ersten 10 nach der Testgrößen sortierten Beobachtungen.

Beobachtungstyp	Von	Nach	TG (f=3,5)	Vermuteter Fehler
Richtung	HP 2126	4-116 J1	3,5	-60 cc
Y-Beobachtung	130-115 J1		2,9	
X-Beobachtung	130-115 J1		2,7	
X-Beobachtung	103-115 J1		2,6	
Richtung	HP 4	129-115 J1	2,3	
Richtung	103-115 J1	133-116 T1	1,9	
X-Beobachtung	133-116 T1		1,9	
Y-Beobachtung	133-116 T1		1,9	
Richtung	HP 4	103-115 J1	1,7	
Y-Beobachtung	129-115 J1		1,7	
...				

Im nächsten Schritt wurde die bereits angesprochene Festpunktverschiebung in Punkt 80008-126 E1 eingeführt und die Ausgleichung von neuem gestartet. Die berechneten Ergebnisse der Beobachtungen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Man erkennt, dass 3 Beobachtungen als fehlerhaft klassifiziert wurden, wobei die künstlich verfälschte Beobachtung die größte Testgröße erhält. Auch der vermutete Fehler liegt im Größenordnungsbereich des tatsächlich eingeführten Fehlers (-50 mm).

Die Tatsache, dass die Koordinaten des Punkte 130-115 J1 ebenfalls als fehlerhaft ausgewiesen wurden, lässt sich damit erklären, dass der eingeführte Fehler Spannungen an anderen Stellen im Netz verursacht. Deshalb sollte man Beobachtungen immer nur sequentiell (eine in jedem Iterationsschnitt der Ausgleichung) deaktivieren.

Tab. 2: „Fehlerhaftes“ Netz – Weiche Lagerung. 1 Iteration.

Beobachtungstyp	Von	Nach	TG (f=3,5)	Vermuteter Fehler
X-Beobachtung	80008-126 E1		4,5	-40 mm
Y-Beobachtung	130-115 J1		3,7	-149 mm
X-Beobachtung	130-115 J1		3,7	46 mm
Richtung	HP 2126	4-116 J1	3,1	
Richtung	HP 4	129-115 J1	1,9	
Y-Beobachtung	103-115 J1		1,9	
Richtung	HP 2126	129-115 J1	1,6	
Richtung	HP 2125	4-116 J0	1,5	
X-Beobachtung	133-116 T1		1,5	
Y-Beobachtung	133-116 T1		1,5	
...				

In Tabelle 3 sind die Beobachtungen und Testgrößen dargestellt, nachdem die Punktbeobachtung 8008-126 E1 deaktiviert wurde. In GEONET wird die Philosophie verfolgt, dass eine als fehlerhaft erkannte Koordinatenbeobachtung den Ausschluss sämtlicher Koordinatenbeobachtung des entsprechenden Punktes zu Folge hat. Dabei wird der Überlegung Rechnung getragen, dass eine physikalische Verschiebung eines Festpunktes sich nicht nach Koordinatenachsen richtet.

Die Klassifizierung der zuvor als fehlerhaft bewerteten Koordinatenbeobachtungen des Punktes 130-115 J1 änderte sich damit. Nun wurden diese Beobachtungen als richtig eingeschätzt und die Richtungsbeobachtung, die bereits beim originalen Netz aufgefallen ist, als fehlerhaft klassifiziert. Nach der Deaktivierung dieser Richtung wurden keine weiteren Beobachtungen als fehlerhaft bewertet.

Tab. 3: „Fehlerhaftes“ Netz – Weiche Lagerung. 2 Iteration.

Beobachtungstyp	Von	Nach	TG (f=3,5)	Vermuteter Fehler
X-Beobachtung	80008-126 E1		deaktiviert	
Y-Beobachtung	80008-126 E1		deaktiviert	
Richtung	HP 2126	4-116 J1	3,8	-63 cc
Y-Beobachtung	130-115 J1		3,4	
X-Beobachtung	130-115 J1		3,3	
X-Beobachtung	103-115 J1		2,5	
Richtung	HP 4	129-115 J1	2,3	
Richtung	103-115 J1	133-116 T1	1,9	
X-Beobachtung	133-116 T1		1,9	
Y-Beobachtung	133-116 T1		1,9	
...				

3.2 Beurteilung der Neupunktskoordinaten bei weicher Lagerung

Wie gezeigt wurde, sind Festpunktverschiebungen mittels weicher Lagerung gut detektierbar. Zusätzlich bietet diese Ausgleichungsmethode interessante Aspekte für die Berechnung der Koordinaten der Neupunkte, die letztendlich die eigentlich gesuchten Parameter solcher Ausgleichung sind. Wie bereits erwähnt werden bei dieser Ausgleichungsmethode auch die Lagerungspunkte verbessert. Da nur ein Teil der Festpunktspannungen die Netzgeometrie deformieren, differieren die Neupunktskoordinaten bei weicher Lagerung im Verhältnis zum Zwangsnetz. Nachdem die Koordinatengenauigkeit mit 1 cm angesetzt wurde, sind die Differenzen aber relativ klein. In Tabelle 4 sind die Neupunktskoordinatendifferenzen des originalen Netzes bei weicher Lagerung und des korrigierten „fehlerhaften“ Netzes bei weicher Lagerung (3. Iteration) relativ zum originalen Zwangsnetz zusammengefasst.

Tab. 4: Vergleich der Neupunktskoordinaten bei weicher Lagerung mit den Koordinaten des originalen Zwangsnetzes.

	Original Netz - Weiche Lagerung			Korrigiertes „fehlerhaftes“ Netz - Weiche Lagerung (3. Iteration)		
	dY [mm]	dX [mm]	dL [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dL [mm]
HP 1	0,005	-0,006	0,008	0,010	-0,011	0,015
HP 2	0,003	-0,001	0,003	0,007	-0,005	0,009
HP 3	0,004	-0,001	0,004	0,007	-0,005	0,009
HP 4	0,003	0,001	0,003	0,006	-0,002	0,006
HP 5	0,007	-0,004	0,008	0,011	-0,007	0,013
HP 1005	0,006	-0,001	0,006	0,009	-0,004	0,010
HP 2126	0,008	-0,006	0,010	0,013	-0,009	0,016

Die Lagedifferenzen sind selbst beim korrigierten „fehlerhaften“ Netz relativ klein (≤ 16 mm), obwohl dort immerhin ein Anschlusspunkt deaktiviert wurde. Tests haben gezeigt, dass bei Ausgleichung mit einer reduzierten Anzahl von Lagerungspunkten die weiche Lagerung meist bessere Ergebnisse liefert (d.h. Koordinatendifferenzen zu den ursprünglichen Koordinaten sind kleiner) als mit konventionelle Zwangsnetzen.

Dazu kommt noch ein weiterer Aspekt, der in Tabelle 5 ersichtlich wird. Die aufgelisteten Koordinatendifferenzen stammen von einer Ausgleichung mit weicher Lagerung und einem Zwangsnetz, bei welchem der verschobene Anschlusspunkt 8008-126 E1 als fehlerfreier Datumspunkt angenommen wurde. Bleibt, wie in diesem Beispiel, eine Datumspunktverschiebung unentdeckt, so wirkt sich dieser Fehler beim Zwangsnetz voll auf die Koordinaten der Neupunkte aus. Hingegen ist der Verschiebungseffekt bei einer Ausgleichung mit weicher Lagerung deutlich gedämpft.

Tab. 5: Vergleich der Neupunktkoordinatenzuschläge des „fehlerhaften“ Netzes bei weicher Lagerung und bei einem Zwangsnetz.

	unkorrigiertes „fehlerhaftes“ Netz - Weiche Lagerung (1. Iteration)			unkorrigiertes „fehlerhaftes“ Zwangsnetz		
	dY [mm]	dX [mm]	dL [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dL [mm]
HP 1	0,004	-0,022	0,022	0,000	-0,042	0,042
HP 2	0,001	-0,015	0,015	-0,004	-0,025	0,025
HP 3	0,003	-0,015	0,015	0,002	-0,018	0,018
HP 4	0,001	-0,011	0,011	-0,003	-0,006	0,007
HP 5	0,005	-0,018	0,019	0,004	-0,035	0,035
HP 1005	0,004	-0,015	0,016	0,002	-0,028	0,028
HP 2126	0,007	-0,021	0,022	0,006	-0,040	0,040

4 Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt eine Strategie zur Anbindung von Katastermessungen an das Festnetz mittels Netzausgleichung. Die Koordinaten der Anschlusspunkte werden dabei als gemessene, mit Standardabweichungen versehene, Größen eingeführt. Sie übernehmen die Lagerung des Netzes und sind gleichzeitig, so wie alle anderen Beobachtungen, bezüglich Ausreißer testbar.

Die Güte dieser Tests hängt vom Grad der Überbestimmung und von der Genauigkeit der Messungen ab. Diese zwei Parameter bestimmen somit die Aufdeckbarkeit der Ausreißer und damit die „innere Zuverlässigkeit“ der Beobachtung.

Wird ein Ausreißer in der Punktlage eines Anschlusspunktes durch den Test nicht aufgedeckt, so greift der zweite Vorteil der Lagerung mittels weicher Lagerung. Wie im Beispiel demonstriert, fangen die beweglichen Lagerungspunkte Teile der durch den Ausreißer entstandenen Spannungen auf. Dadurch bleibt die Nachbarschaftsgenauigkeit zwischen Fest- und Neupunkten besser gewahrt als bei einer Berechnung mit unbeweglichen Anschlusspunkten.

Die „weiche Lagerung“ ist ein Instrument zur Steigerung der Qualität der Berechnung von Katasteranschlüssen bei gleichzeitiger Reduktion des Zeitaufwandes. Das Verfahren ist in der Ausgleichungssoftware GEOSI GEONET realisiert.

5 Literatur

- VermV (1994): *Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über Vermessungen und Pläne*, StF: BGBl. Nr. 562/1994
- Staudinger, M. & J. Otepka (2001): *Netzausgleichung unter Berücksichtigung der Punktlagegenauigkeit der Festpunkte*, VGI Heft 1/2001
- Kraus, K. (1996): *Photogrammetrie*, Band 2: Verfeinerte Methoden und Anwendungen, Fred. Dümmers Verlag, S. 98 ff
- Grimm-Pitzinger, A. (1990): *Zuverlässigkeitskriterien für GPS-Messungen in Tunnelnetzen*, ZfV, Heft 10, Stuttgart