

Programm zur Kontrolle der Beobachtungen und zur Berechnung von Näherungskordinaten

Die wichtigste Änderung im Vergleich zur alten Version ist ein iteratives Verfahren zum Erkennen von Punktverwechslungen als häufigste Fehlerursache bei Vermessungen:

Bei Unstimmigkeiten in den Beobachtungen werden Stand-/Zielpunkte umbenannt bis das Gesamtsystem ohne Widersprüche ausgewertet werden kann. Anschließend werden die berechneten Koordinaten der Punkte verglichen, um Punktidentitäten zu entdecken.

Zur Kontrolle werden aus den neu berechneten Koordinaten die Beobachtungen abgeleitet und mit den tatsächlichen Beobachtungen verglichen, Abweichungen werden dokumentiert.

Verfahren

Es können Höhendifferenzen, Tachymeterdaten und Basislinien verarbeitet werden. Jede Beobachtungsart muss getrennt ausgewertet werden. Die Beobachtungen müssen auf die vermarkten Punkte zentriert sein, d. h. die Datenreduktion muss vorher abgeschlossen sein.

Ziel ist ein möglichst robustes Verfahren zur Bestimmung der Koordinaten in einem Schritt. Deshalb wird bei einer Netzmessung als Basis eine L1 Ausgleichung für die Berechnungen gewählt. Um das Problem einer fehlenden Startlösung für die Ausgleichung eines Netzes zu umgehen, wird mit einem linearen Ausgleichungsmodell gearbeitet. Für Höhendifferenzen und Basislinien (Koordinatendifferenzen) stellt diese Forderung kein Problem dar, da diese Beobachtungen lineare Funktionen der Höhe, bzw. der Koordinaten sind. Problematisch ist die Handhabung von Tachymeterdaten (Richtungen, Zenitwinkel und Schrägstrecken bzw. Horizontalstrecken), da diese keine linearen Funktionen der Koordinaten sind. Es wird deshalb nicht mit den originären Tachymeterdaten gearbeitet, sondern es werden aus den Tachymetermessungen abgeleitete Koordinatendifferenzen verwendet. In allen anschließenden Arbeitsschritten wird mit den Koordinatendifferenzen gearbeitet.

Bilden die Tachymetermessungen kein zusammenhängendes Netz, sondern bestehen die Messungen aus freien Stationierungen, so werden die einzelnen Stationierungen berechnet und schrittweise zu einem Gesamtnetz zusammengefügt.

Bei 3D Tachymeterdaten werden Lage und Höhe getrennt ausgewertet.

Sofern bei den einzelnen Schritten Unstimmigkeiten auftreten, werden Punkte automatisch umbenannt und die iterative Suche wird wiederholt. Die Bearbeitung endet, wenn keine Widersprüche mehr auftreten. Anhand der berechneten Koordinaten werden identische Punkte detektiert.

Das Programm führt die folgenden Schritte aus:

- Die Tachymeterbeobachtungen werden einem Plausibilitätscheck unterzogen.
- Iterative Suche nach Punktverwechslungen bis keine Unstimmigkeiten mehr vorhanden sind:
 - Aufteilung des gesamten Netzes in Teilnetze mithilfe der Graphentheorie.
 - Jedes Teilnetz wird getrennt ausgewertet.
 - Die Punktkoordinaten werden auf identische Punkte geprüft.
 - Anschließend werden die Teilnetze zu einem Gesamtnetz zusammengefügt.

- Das Gesamtnetz wird im Sinne einer Helmert-Transformation auf die gegebenen Anschlusspunkte transformiert. Bei größeren Klaffungen werden die Punkte aus der Liste der Datumspunkte entfernt.
- Anhand der berechneten Punktkoordinaten wird geprüft, ob es identische Punkte gibt.
- Kontrolle der Tachymetermessungen: Aus den berechneten Näherungskoordinaten werden die Beobachtungen berechnet und mit den ausgeführten Messungen verglichen.

Plausibilitätscheck der Tachymeterbeobachtungen

Für jede Kombination Standpunkt/Aufstellung wird geprüft, ob eine Zielpunktbezeichnung mit der Standpunktbezeichnung übereinstimmt, sofern dies zutrifft, wird der Zielpunkt umbenannt. Wird in einer Aufstellung ein Zielpunkt mehrfach angemessen, so werden die Beobachtungen verglichen und bei Unterschieden erhalten die Zielpunkte neue, eindeutige Punktbezeichnungen.

Es werden alle Standpunkte/Aufstellungen miteinander verglichen. Es wird geprüft, ob identische Zielpunkte angemessen werden. Für die identischen Zielpunkte werden die Messungen verglichen. Sofern Längs- bzw. Querabweichungen der Messungen einen Grenzwert überschreiten, werden die Beobachtungen und damit die Zielpunkte als unterschiedlich betrachtet. Zwei Standpunkte gelten als identisch, wenn keine unterschiedlichen Beobachtungen zu mindestens 2 identischen Zielpunkten vorliegen. Bei Unstimmigkeiten werden beide Standpunkt umbenannt.

Aufteilung des Netzes in Teilnetze

Aus den Nivellement- bzw. Basislinienbeobachtungen wird ein ungerichteter Graph, aus den Tachymeterbeobachtungen wird ein gerichteter Graph abgeleitet. Es werden stark zusammenhängende Netzteile bestimmt, bei dieser Art von Graphen sind alle Punkte untereinander erreichbar.

Bei Nivellement- und Basislinienbeobachtungen bilden alle verknüpften Punkte ein stark zusammenhängendes Netz. In der Regel reicht ein identischer Punkt, um Netzteile zu verknüpfen. Bei den gerichteten Tachymeterbeobachtungen bestehen die stark zusammenhängenden Netzteile aus Standpunkten, die durch *Hin- und Rückmessung* miteinander verbunden sind. Dies ist bei klassischen Netzmessungen oder bei Polygonzügen der Fall. Freie Stationierungen bilden kein stark zusammenhängendes Netz, da vom Standpunkt zwar die Zielpunkte, jedoch der Standpunkt nicht von den Zielpunkten aus erreichbar ist.

Bei einer Netzmessung bestehen die zusammenhängenden Netzteile aus miteinander durch Hin- und Rückmessungen verknüpften Standpunkten. Bei freien Stationierungen bestehen die Teilnetze aus nur einem Standpunkt.

Im nächsten Schritt werden die angemessenen Polarpunkte den entsprechenden Standpunkten bzw. Teilnetzen zugeordnet:

Automatische Grobfehlersuche: 1. Iteration.
Bestimmen der Teilnetze

Es gibt insgesamt 3 Teilnetze!

Punkte in Teilnetz: 1 von 3 Teilnetzen. Art:

Standpunkte: 3
8000(*); 9002(*); 9003(*);

Punkte insgesamt: 20

1; 2; 3; 4; 10; 13; 14; 8000(*); 9000; 9001; 9002(*); 9003(*); 9006; 1; 2; 5; 200; 213; 214; 219;

Punkte in Teilnetz: 2 von 3 Teilnetzen. Art:

Standpunkte: 5
8001(*); 8002(*); 8003(*); 8009(*); 8010(*);

Punkte insgesamt: 20

1; 2; 5; 6; 10; 11; 12; 13; 8001(*); 8002(*); 8003(*); 8009(*); 8010(*); 9004; 9006; 60001; 60002; 80005; 0200; 0212;

Punkte in Teilnetz: 3 von 3 Teilnetzen. Art:
Standpunkte: 3
8006(*); 8007(*); 8008(*);
Punkte insgesamt: 9
8006(*); 8007(*); 8008(*); 4141; 60001; 1143; 60058; 60060; 60061;

Auswertung der Teilnetze, klassische Netzmessung

Die stark zusammenhängenden Teilnetze werden wie folgt ausgewertet:

- Mitteln der Beobachtungen

Aus Mehrfachmessungen auf einem Punkt, sowie Hin- und Rückmessungen zwischen zwei Standpunkten wird der Median ermittelt. Für alle weiteren Berechnungen wird der Median der Beobachtungen verwandt. Sind große Abweichungen zwischen den einzelnen Beobachtungen vorhanden, wird der Median in der Protokolldatei gekennzeichnet. Sofern mindestens 3 Beobachtungen vorliegen, wird geprüft, ob ein Ausreißer bestimmt werden kann. Ausreißer werden umbenannt und die Auswertung wird neu gestartet. Bei Tachymetermessungen wird der Median aus den abgeleiteten Koordinatendifferenzen abgeleitet!

- Bestimmen und Berechnen von Zügen zwischen den Knotenpunkten

Knotenpunkte sind Punkte, die mindestens Beobachtungen zu 3 Nachbarn aufweisen. Punkte mit zwei Nachbarn werden als Polygonpunkte ausgewiesen. Punkte mit nur einem Nachbarn werden als Polarpunkte klassifiziert. Mithilfe von Algorithmen der Graphentheorie werden die Züge zwischen den Knotenpunkten bestimmt, wobei innerhalb der Züge auch Polygonpunkte auftreten können. Aus den einzelnen Beobachtungen wird die Koordinatendifferenz zwischen den Knotenpunkten berechnet.

- Mitteln der Züge

Sind zwischen zwei Knotenpunkten unterschiedliche Züge gemessen, so wird ebenfalls der Median der Koordinatendifferenzen bestimmt und für alle weiteren Berechnungen herangezogen. Bei groben Abweichungen der Koordinatendifferenzen zwischen den einzelnen Zügen wird der Median in der Protokolldatei markiert. Werden von zwei Standpunkten mehrere identische Zielpunkte angemessen, so wird pro Zielpunkt ein Zug zwischen den Standpunkten erzeugt. Sofern mindestens 3 Züge vorliegen, wird geprüft, ob ein Ausreißer bestimmt werden kann. Bei einem Ausreißer wird der Zug aufgetrennt, indem der auf den Startpunkt folgende Punkt umbenannt und die Auswertung neu gestartet wird.

- Bilden von Schleifen aus den Zügen, berechnen von Schleifenwidersprüchen

Es werden möglichst kleine Schleifen berechnet, Kriterium ist die Anzahl der Knotenpunkte.

- L1 Ausgleichung der Koordinatendifferenzen zwischen den Knotenpunkten

Es werden nur die Knotenpunkte ausgeglichen. Sofern große Verbesserungen auftreten, werden die zugrunde liegenden Züge aufgetrennt, und die Auswertung wird neu gestartet.

- Übertragen der Koordinaten auf die Polygonpunkte innerhalb der Züge

Residuen innerhalb des Zuges werden entsprechend der Weglänge auf die Punkte verteilt.

Auswertung der Teilnetze, freie Stationierungen

Bei der freien Stationierung wird jede Aufstellung als lokales System betrachtet und aus den Beobachtungen werden lokale Koordinaten berechnet. Bei Vorliegen von Richtungen/Zenitwinkeln und Schrägstrecken werden 3D Koordinaten bestimmt und nach Lage und Höhe getrennt ausgewertet. Sind nur Richtungen und Horizontstrecken vorhanden, werden 2D Koordinaten abgeleitet. Die Richtungen werden als Richtungswinkel interpretiert und der Standpunkt wird als Nullpunkt definiert. Jeder Standpunkt bildet ein Teilnetz.

Ausgabe der berechneten Koordinaten im lokalen System:

Punkt	Rechtswert[m]	Hochwert[m]	Höhe[m]
1111	92.1804	-32.0461	
1157	39.5468	-53.5586	
3020	200.8976	-74.2251	
3030	181.9996	-6.0871	
800029	199.6520	-72.9050	

Zusammenfügen der Teilnetze

Ausgehend von dem größten Teilnetz werden die anderen Teilnetze hinzugenommen. Voraussetzung ist, dass die Teilnetze mit dem Startnetz verknüpft sind. In einem ersten Schritt werden nur Netze hinzugefügt, die mindestens 3 identische Punkte aufweisen. Es wird kontrolliert, ob die Strecken zwischen den identischen Punkten in beiden Systemen vergleichbar sind. Ist diese Bedingung erfüllt, wird das Teilnetz zum Gesamtnetz hinzugefügt. Die Koordinaten der identischen Punkte, sowie die 4 Parameter für jede Helmert-Transformation werden als Unbekannte in einer L1 Ausgleichung bestimmt. Die Koordinaten der nicht identischen Punkte werden durch Anwenden der Transformationsparameter für jedes Teilnetz bestimmt. Treten bei einem Punkt größere Differenzen auf, wird der Punkt umbenannt und die Ausgleichung wiederholt. Dieser Vorgang wird ausgeführt, solange noch Differenzen bzw. noch mindestens 3 identische Punkte vorhanden sind.

Ergebnis der Teilnetzintegration, Ausgeglichene Transformationsparameter der Teilnetze:

Teilnetz:	1 XT:	-8.3501	YT:	-8.3501	alpha:	-0.0005	Scale:	1.00000692	a:	1.000006920	o:	-0.000008021
Teilnetz:	2 XT:	-8.2970	YT:	-8.2970	alpha:	-0.0010	Scale:	0.99999055	a:	0.999990546	o:	-0.000016183
Teilnetz:	3 XT:	44.0652	YT:	44.0652	alpha:	91.8014	Scale:	1.00003450	a:	0.128432348	o:	0.991753062
Teilnetz:	4 XT:	44.1462	YT:	44.1462	alpha:	91.8009	Scale:	1.00003741	a:	0.128440213	o:	0.991754972

Transformation des Gesamtnetzes

Die Koordinaten des Gesamtnetzes werden auf die Punkte mit den bekannten Koordinaten der Datumspunkte transformiert. Es wird eine 4 Parameter Helmert-Transformation nach der L2 Norm durchgeführt. Sofern nur zwei identische Punkte vorliegen, muss der Maßstab unbedingt kontrolliert werden. Weist ein identischer Punkt große Klaffungen auf, wird der Punkt aus der Gruppe der Datumspunkte entfernt und die Transformation wiederholt. Die Iteration endet, wenn keine Punkte mit großen Klaffungen mehr nachweisbar sind oder nur noch 2 Datumspunkte vorhanden sind.

2D Helmert-Transformation

Transformationsparameter:

X-Translation:	9664.18177	m
Y-Translation:	9690.87099	m
Orientierung:	0.009271	gon
Maßstab:	1.00004101/	41.007 ppm

Punkt	Rechts[m]	Hoch[m]	Kl R[m]	Kl H[m]
000000000000001	9700.19231	9659.87780		
000000000000002	9702.72263	9662.57254		
000000000000003	9697.29649	9667.72597		
000000000000004	9693.73682	9663.91573		
000000000000005	9696.40895	9661.37416	0.00119	-0.00012
000000000000006	9697.44547	9662.49892	0.00241	-0.00120
000000000000010	9699.23088	9658.79702	-0.00015	0.00508

Besonderheiten bei der Bearbeitung von Tachymeterdaten

Zusammenfassen von Aufstellungen

Bei Tachymetermessungen können auf einen Standpunkt mehrere Aufstellungen durchgeführt werden. Sofern mindestens ein Zielpunkt identisch ist, werden die Aufstellungen zusammengeführt. Bei mehreren identischen Zielpunkten wird eine L1 Ausgleichung zur Bestimmung der Richtungen auf dem Standpunkt verwendet.

Bestimmen der Orientierungsunbekannte

Bei einem stark zusammenhängenden, klassischen Netz bei dem die Richtungen in Hin- und Rückmessungen vorliegen, kann die Orientierungsunbekannte für alle Standpunkte berechnet werden. Die Übertragung der Orientierungsunbekannten erfolgt über eine L1-Ausgleichung. Hohe Residuen weisen auf Fehler in den Richtungen hin. Anschließend werden aus den orientierten Richtungen und den Horizontalstrecken Koordinatendifferenzen in der Lage berechnet. Höhendifferenzen werden aus den Zenitwinkeln und Schrägstrecken abgeleitet.

Standpunkt	Zielpunkt	Richtung[gon]	Residuum[gon]
8000/0	9002/0	400.00000	0.00000
9002/0	9003/0	400.00000	0.00000

Orientierungsunbekannte:

Standpunkt:	8000/0	Orientierungsunbekannte:	0.00000 [gon]
Standpunkt:	9002/0	Orientierungsunbekannte:	0.00000 [gon]
Standpunkt:	9003/0	Orientierungsunbekannte:	0.00000 [gon]

Einzelpunktbestimmung

Mit dem **Rückwärtseinschneiden** werden die Koordinaten des Standpunktes bestimmt, wenn die Richtungen zu mindestens 3 Zielpunkten mit bekannten Koordinaten gemessen wurden. Sind auch Strecken gemessen, wird eine **freie Stationierung** berechnet. Wurden mehr als 3 Punkte angemessen, so erfolgt die Auswahl der Zielpunkte willkürlich, es wird nicht ausgeglichen!

Wurde auf dem Neupunkt nicht beobachtet, sondern der Punkt von mindestens 2 unterschiedlichen Punkten richtungsmäßig angemessen, wird der Neupunkt über **Vorwärtseinschneiden** bestimmt. Wurde der Punkt von mehr als 2 Punkten angemessen, so werden nur 2 Richtungen verwandt, eine Ausgleichung findet nicht statt.

Ausgehend von den vorgegebenen Festpunkten in der Koordinatendatei wird versucht, weitere Punkt mit den oben beschriebenen Methoden zu berechnen. Das Programm bricht ab, wenn keine weiteren Punkte berechenbar

Kontrolle der Tachymeterbeobachtungen

Nach Transformation des Gesamtnetzes auf die bekannten Punkte werden die Beobachtungen kontrolliert. Aus den Koordinaten der Punkte werden die Beobachtungen berechnet und den tatsächlichen Beobachtungen gegenüber gestellt. Bei den Richtungsmessungen wird eine mittlere Orientierungsunbekannte berechnet und angebracht. Aus den Differenzen werden die Querabweichung (Richtungsdifferenz) und die Längsabweichung (Streckendifferenz) berechnet. Sofern eine Abweichung den Grenzwert überschreitet, wird eine entsprechende Fehlermeldung im Protokoll ausgegeben.

Vergleich der aus den Näherungskordinaten berechneten Beobachtungen mit den durchgeführten Beobachtungen:
Beobachtung weist große Längsabweichung auf: 113 - 55 Strecke(ber): 7.7965 m Strecke: 7.8499 m
Diff: -0.0534 m Maßstab: -6800.1535 Achtung Scale sehr groß!

Beobachtung weist große Längsabweichung auf: 116 - 73 Strecke(ber): 29.6260 m Strecke: 29.6867 m
Diff: -0.0606 m Maßstab: -2042.3627 Achtung Scale sehr groß!

Ergebnis Check Koordinaten! Getestete Standpunkte: 16 Punkte mit Querabweichungen > 5 cm: 0 Punkte mit Längsfehler > 5 cm: 2