



Kinematischer Ausgleich des Österreichischen Höhenetzes 1. Ordnung

Philipp Mitterschiffthaler, Graz

Kurzfassung

Das Nivellement blickt im BEV und dessen Vorgängerinstitutionen auf eine lange Geschichte zurück. Bereits im Jahr 1871 wurde mit ersten Messungen im Zuge der damaligen europäischen Gradmessung begonnen, bezogen auf den Pegel am Molo Sartorio in Triest. Dieses damals geschaffene System spiegelt sich teilweise noch heute in unseren Höhendaten wider. Es wurde bis dato keine zwangsfreie Ausgleichung der Höhen durchgeführt. Höhenänderungen waren bisher österreichweit nur bedingt aufdeckbar.

Die Ausgleichungen des Nivellements wurden bisher mit als stabil angenommenen Knotenpunkten durchgeführt. Im Zuge dieses Projektes sollen nun alle zur Verfügung stehenden Beobachtungsdaten verwendet werden, um Aussagen über die Qualität der Knotenpunkte zu erhalten und diese gegebenenfalls in der Höhe zu verbessern.

Das Messprinzip des Nivellements hat sich in den letzten 150 Jahren nicht verändert. Daher sind die Daten sehr gut kombinier- und vergleichbar. Allerdings hat sich die Instrumentengenauigkeit verbessert, weshalb in einem ersten Schritt die Beobachtungsdaten vor 1945 nicht für diese Vergleiche herangezogen werden sollen.

Bedingt durch die historische Entstehung des Nivellementnetzes in Österreich sind in den Höhen der Nivellementpunkte bis dato Änderungen, die durch geophysikalische Prozesse (Plattentektonik, Hangrutschungen, Alpenhebung, Absenkung von Becken, etc.) bedingt sind, nicht enthalten. Die vorhandenen Höhen der Punkte wurden stets durch Festhalten älterer Punkte bestimmt, wodurch Zwänge entstanden. Im Zuge eines Neuausgleiches sollen auf Basis der originären Beobachtungen auftretende vertikale Geschwindigkeiten von mehrfach gemessenen Höhenbezugspunkten bestimmt werden.

Die durch die Neuausgleichung homogenisierten Höhenknoten sollen künftig für ein neues Höhensystem verwendet werden. Parallel zu den bestehenden MGI-Höhen ergibt sich für das BEV die Möglichkeit, diese neu gewonnenen Höhendaten in ein internationales Netz einzupassen und orthometrische Höhen sowie Normalhöhen im EVRS als neues Produkt am Markt zu etablieren.

Im Datenbestand des BEVs befinden sich ca. 40.000 dauerhaft stabilisierte Höhenfestpunkte verteilt über das gesamte Bundesgebiet. Für die Ausgleichung werden jene Punkte verwendet, die in zumindest zwei Epochen bestimmt wurden. Das heißt, es stehen ca. 25.000 Beobachtungen ca. 10.000 Unbekannten gegenüber. Als Höhenbezugspunkt dient der Haupthöhenpunkt Hutbigl, der auch in internationalen Projekten verwendet wurde und eine Einpassung in ein internationales System (EVRS) erlaubt.

Schlüsselwörter: Präzisionsnivellement, Höhenausgleich, Dijkstra Algorithmus, EVRS

Abstract

The Federal Office of Metrology and Surveying (BEV) and its predecessor institutions have been levelling for more than 140 years. It all started with the European arc measurement in 1871. The average water surface elevation at Molo Sartorio became the datum valid for the whole Austro-Hungarian monarchy; for Austria the 1875 gauge is used as the datum. The system was based on spheroidal heights. Up to now there has been no adjustment without strong constraints. Regional changes in time caused by physical processes (plate tectonics, landslides), could almost not be detected. The former adjustments were heavily constraint at the fixed defined node points.

The project now uses all survey data to check the quality of the node points and to handle them as variable too. The method of levelling didn't change during the last 150 years. Therefore the data can be combined easily and are comparable. The precision of the instruments has improved considerably, therefore the observations before 1945 will not be considered at the first stage.

The new adjustment is based on the observations from 1945 to 2014. All points which are observed in more than one epoch are used. Most of these points have two or three epochs, the maximum number is eleven. To combine these observations the Dijkstra's algorithm is used to find the shortest distances for a common epoch. The redundancy of the observations allows to estimate individual velocities and to reference all points to a common epoch. Based on that data orthometric heights will be computed by using gravity data. Thus the levelling data can be directly compared with geometrical heights derived by GNSS.

The adjusted heights will refer to EVRS 2007. For that the connection to the neighbouring countries and to UELN (United European Levelling Network) will be used. At the end the heights will be delivered as a service by the Federal Office. The results then will be available at the BEV. At a later stage of the project the results will be investigated if they can be compared to the movements derived from GNSS time series. Presently the first results demonstrate that the method and the data are promising.

Keywords: precise levelling, height adjustment, Dijkstra's algorithm, EVRS

1. Entstehung des Nivellements in Österreich

Die in Österreich heute vorliegenden Gebrauchshöhen haben ihre Grundlage in einem Nivellementnetz, das vor über 140 Jahren begonnen wurde. Daher lohnt es sich, einen genaueren Blick auf die Entstehung des österreichischen Höhensystems zu werfen. Die historischen Angaben in diesem Kapitel sind [2], [4] und [5] entnommen.

1.1 Die Anfänge

Das Präzisionsnivellement hat in Österreich eine lange Geschichte und Tradition. Der Startschuss für eine flächendeckende Höherfassung der Monarchie fiel am 1. November 1871. Damals erging ein Erlass des „k. und k. Reichs-Kriegs-Ministeriums“ an den „Präses der österreichischen Kommission für die europäische Gradmessung“, welche eine Vorgängerinstitution der heutigen österreichischen geodätischen Kommission (ÖGK) war.

„... die für die Gradmessung wichtige Operation eines geometrischen Präzisions-Nivellement auf dem Gebiete der österreichisch-ungarischen Monarchie, so bald als thunlich beginnen zu lassen.“ [2]

Nach Vorarbeiten im Jahre 1872 wurde im Jahr darauf vom Militärgeographischen Institut (MGI) mit den eigentlichen Nivellementarbeiten begonnen. In den darauffolgenden 23 Jahren wurde das österreichische Präzisionsnivellementnetz geschaffen. Das Netz hatte eine Länge von ca. 25.000 km und wurde realisiert durch 6.000 Höhenmarken und 11.000 Steinmarken.

Definiert wurde das Netz durch sieben Urmarken, die heute allesamt außerhalb Österreichs liegen, sowie durch das Ausgangsniveau der Höhenangaben am Molo Sartorio in Triest. Der sogenannte Nullpunkt wurde mit einem selbstregistrierenden Flutautographen im Finanzwachgebäude über ein Jahr hinweg bestimmt und mit der Höhenmarke #1 am Gebäude versichert. Tatsächlich wurden die Schwankungen des Meeresspiegels in Triest schon seit 1869 beobachtet, aber den Berechnungen liegt leider nur das Jahr 1875 zugrunde. Später hat man festgestellt, dass durch diese kurze Beobachtungsdauer von nur einem Jahr langwellige Variationen des Meeresspiegels nicht berücksichtigt wurden und die Höhe der Höhenmarke #1 fälschlicherweise mit 3.3520 m angenommen wurde. Die Genauigkeit wurde mit ± 1 cm angegeben, da man sich auch damals schon bewusst war, dass diese kurze Beobachtungsdauer für eine bessere Genauigkeit

nicht ausreichend ist. Aus späteren achtjährigen Beobachtungen wurde die Höhe der Höhenmarke mit 3.2621 m angegeben. Die Differenz von 89.9 mm wurde allerdings nie angebracht und ist dem Höhensystem als konstanter Offset erhalten geblieben.

Nachdem das Präzisionsnivellement 1895 abgeschlossen wurde, wurden bis 1918 nur noch vereinzelt Linien gemessen.

In den Jahren der Zwischenkriegszeit kamen die staatlichen Nivellementarbeiten auf Grund der schwierigen finanziellen Situation fast völlig zum Erliegen. Daraufhin war abermals die ÖGK bzw. damals die Österreichische Kommission für die internationale Erdmessung (ÖKIE) die treibende Kraft gemeinsam mit dem BEV ein neues Präzisionsnivellementnetz zu schaffen. Davon sollte allerdings nur eine Linie gemessen werden, ehe aus dem österreichischen Höhennetz ein Reichshöhennetz wurde und die Arbeiten damit eingestellt wurden. Auch die Arbeiten während der Jahre des Nationalsozialismus waren nicht sehr befriedigend und so musste man im Jahre 1945 feststellen, dass aus dem vom MGI geschaffenen Präzisionshöhennetz nur noch vereinzelt isolierte Punkte vorhanden waren. Weiters ist zu erwähnen, dass die Messungen und Stabilisierungen des MGI meist entlang von aufgeschütteten Bahntrassen stattfanden und daher langfristig keine geeignete Stabilisierung bildeten.

1.2 Die erneuten Anfänge

Auf Basis dieser Analyse war man in der Nachkriegszeit gezwungen, ein neues Präzisionsnivellementnetz aufzubauen. Da sich die Grenzen mittlerweile stark verändert hatten und Österreich durch die strengen Bestimmungen der Besatzungsmächte nicht mehr die Möglichkeit hatte, direkt am Pegel von Triest anzuschließen, mussten die alten MGI-Höhenmarken in ein neues System übernommen werden. Durch die Messungen mit moderneren Instrumenten und vor allem abseits der Bahnlinien konnten allerdings Zwänge im MGI-Netz aufgedeckt werden. Theoretisch wurden Diskrepanzen bis zu 0.5 mm/km toleriert, allerdings stellte sich in der Praxis heraus, dass man teilweise viel höhere Zwänge (bis zu 1.6 mm/km) in Kauf nehmen musste. Es konnten aber systematische und grobe Fehler aufgedeckt und beseitigt werden. Dieser Weg war durchaus gangbar, da das Höhensystem hauptsächlich für lokale Anwendungen verwendet wurde. Bis zum Jahr 1961 wurden auf ca. 6000 km 8000 neue Höhenfestpunkte geschaffen.

1.3 Die Übermessung

Zwischen 1966 und 1995 erfolgte eine neuerliche Übermessung der Hauptlinien mit weiter verbesserter Ausrüstung. Ergänzungen und Übermessungen einzelner Linien und Linienteile wurden und werden seither durchgeführt. Eine komplette Übermessung des österreichischen Präzisionsliniennetzes ist derzeit nicht vorgesehen und mit den vorhandenen Ressourcen auch nicht möglich.

2. Status Quo

Zusammengefasst kann man also festhalten, dass das derzeitige übergeordnete Präzisionsnivellementnetz zumindest zweimal zur Gänze übermessen wurde.

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, sind ca. 75% der aktuell gültigen Nivellementpunkte älter als 30 Jahre. Auf Grund der budgetären Situation sind auch keine großangelegten Übermessungen zu erwarten. Daher soll nun eine Netzanalyse durchgeführt werden, um Inhomogenitäten aufzudecken und eine Grundlage für ein modernes Höhensystem zu schaffen.

2.1 Internationale und nationale Referenz Hutbigl

Der Haupthöhenpunkt (HHP) Hutbigl liegt etwa 5 km westsüdwestlich von Horn und wurde 1987 fix stabilisiert. Seither gilt der HHP als stabiler Referenzpunkt für das österreichische Höhensystem. Diese Lage wurde auf Grund der be-

sonders stabilen geologischen Situation gewählt. Der Haupthöhenpunkt ist mit drei Punktgruppen im Umkreis von 3 km versichert und wird seither regelmäßig überwacht. Veränderungen zwischen den Epochen 1991 und 2008 betragen relativ max. 1 mm und sind daher nicht signifikant.

Auf dem angrenzenden Absolutschwerepunkt des österreichischen Schweregrundnetzes (ÖSGN) im Stift Altenburg wird auch die Schwerebeschleunigung beobachtet und für den Hutbigl dadurch eine geopotentielle Kote abgeleitet. [9]

Bei der Bestimmung des European Vertical Reference Systems 2007 (EVRS2007) wurde der Hutbigl als einer von 13 Datumspunkten ausgewählt. Das EVRS ist durch Bestrebungen von EUREF [6], der IAG-Subkommission für europäische Referenzsysteme, seit Anfang 2000 entwickelt worden. Da das aktuelle niederländische Präzisionsnivellement den Amsterdamer Pegelpunkt nicht beinhaltet, wurden 13 Datumspunkte ausgewählt. Diese besitzen bereits geopotentielle Koten aus UELN95/98, welches auf dem Pegelpunkt Amsterdam basierte. [12]

3. Kinematischer Höhenausgleich

Da bis dato keine zwangsfreie Ausgleichung der Höhen durchgeführt wurde, sind österreichweite Veränderungen der Höhe nur bedingt aufdeckbar. Bisherige Ausgleichungen des Nivellements wurden mit als stabil angenommenen Knotenpunkten durchgeführt [3]. Auf Grund der

modernen Messmethoden und Anforderungen wird der Wunsch nach einem homogenisierten Höhenfestpunktfeld immer stärker. Das Ziel ist ein kinematischer Höhenausgleich wobei sämtliche verfügbaren und verwendbaren Beobachtungen zu kombinieren und neu auszugleichen sind. Der Neuausgleich erfolgt im System geopotentieller Koten und es soll neben einer ausgeglichenen Kote auch eine Geschwindigkeit pro Punkt bestimmt werden. Daher sind Messungen aus mindestens zwei Epochen erforderlich.

3.1 Das Prinzip

Das Prinzip der Nivellementmessung ist so genial wie einfach. Durch eine horizontale Visur ist es möglich, den Höhenunter-

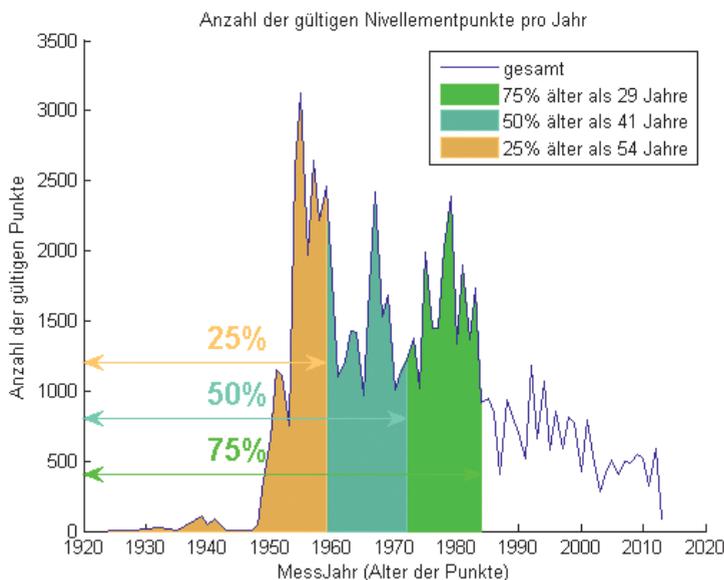


Abb. 1: Anzahl der pro Jahr errichteten und heute noch gültigen Nivellementpunkte

schied zwischen zwei Latten zu bestimmen. Bei großräumiger Betrachtung allerdings erkennt man: „...that leveling is more complicated than it appears at first sight.“ [1]

Verallgemeinert ist eine Beobachtung eine Messung zwischen zwei Potentialflächen. Auf Grund der unterschiedlichen Massenverteilungen in der Erde sind diese Potentialflächen aber nicht parallel. Da die Potentialdifferenz zwischen zwei Potentialflächen, im Gegensatz zur Höhendifferenz überall denselben Wert annimmt, ist es sinnvoll die Höhenunterschiede über das Potential und die Schwere zu definieren. Die Potentialdifferenz wird wie folgt definiert [1]:

$$\delta W = -g \cdot \delta n \quad (1)$$

daraus folgt:

$$W_B - W_A = -\sum g \cdot \Delta n \quad (2)$$

Oder um die Potentialdifferenz eines Punktes mit dem Geoid, also die geopotentielle Kote, anzugeben erhält man

$$\int_0^A = W_0 - W_A = C_A = \sum g \cdot \Delta n \quad (3)$$

3.2 Geopotentielle Kotendifferenzen

Um nun den Übergang von geometrischen Höhendifferenzen auf physikalische Potentialdifferenzen zu vollziehen, wurde bereits im Jahr 1949 damit begonnen bei Nivellementmessungen zusätzlich mit Relativgravimetern differenzielle Schwerewerte zu bestimmen. Approximiert man das Linienintegral aus Formel (3) mit der Summe so erhält man

$$\Delta C_{ij}^k = \Delta h_{ij}^k \cdot \frac{g_i + g_j}{2} \quad (4)$$

mit Δh_{ij}^k Nivellementhöhendifferenz zweier Punkte zum Zeitpunkt k

und g_i, g_j Schwere an den Punkten

Da allerdings nicht bei jedem Höhenfestpunkt Schweremessungen durchgeführt werden konnten, werden die fehlenden Werte aus der Punktwolke sämtlicher flächenhaft verteilten Schwerpunkte in Österreich im Bouguerschwerfeld interpoliert und rückgerechnet [7]. Im Wesentlichen wurden im Flachland Schweremessungen im Abstand von etwa 1 km an den Höhenfestpunkten vorgenommen, an Steilstrecken im Bergland in kürzeren Abständen, wobei besonders auf Umkehrpunkten im Höhenverlauf (Pässe, Sättel, Talsohlen) Rücksicht genommen wurde. Darüber hinaus existieren flächig verteilt Schwerpunkte mit einer Punktdichte von min-

destens 1 Punkt/10 km². Die Interpolationsfehler der Schwere sind i.A. kleiner als $3 \cdot 10^{-6}$ m/s². [11]

Nach Abschätzungen von Ruess [13] beträgt der geschätzte Fehler bei 100 m Höhendifferenz ca. 0.1 mm und ist daher vernachlässigbar.

Ca. 40% der Beobachtungsdaten lagen ausschließlich in analoger Form vor und mussten für dieses Projekt erfasst und neu ausgeglichen werden. Dafür werden allerdings in einem ersten Schritt nur Messdaten ab 1945 verwendet. Die Gründe dafür liegen in der historischen Entwicklung des Nivellementnetzes (siehe Kapitel 3). Die Beobachtungsdaten werden operatsweise erfasst und ausgeglichen. Daraus resultiert, dass alle Beobachtungen zwischen zwei fix vermarkten Punkten zu einer ausgeglichenen Beobachtung zusammengefasst werden. Endpunkte einer Linie besitzen demnach pro Epoche auch nur eine Beobachtung. Dies führt in weiterer Folge zu Problemen in den Knotenbereichen.

Es liegt nun der gesamte Datenbestand nach 1945 in digitaler, ausgeglichener und von groben Fehlern bereinigter Form vor.

3.3 Zusammenfassen mehrerer Messungen

Wie bereits erwähnt wurde, bedarf es für diese Ausgleichsmethode einer großen Überbestimmung an Beobachtungen. Daher müssen gleichartige Beobachtungen zu mehreren Epochen aufgefunden werden. Da auf Grund von Punktverlusten oder neuen Punktbestimmungen sowie unterschiedlicher Streckenführungen diese Beobachtungen beinahe nicht vorhanden sind, bedarf es einiger Vorarbeit, um die Daten für die Berechnungen vorzubereiten.

Zuerst werden alle Beobachtungen eines Jahres operatsweise zusammengefasst. Durch eine Datenbankabfrage können alle Punkte die in mehreren Messeperioden bestimmt wurden abgefragt und den einzelnen Operaten zugewiesen werden.

Da es keine Informationen über die Reihenfolge der Beobachtungen in einem Operat gibt, bedarf es eines Suchalgorithmus, der die kürzesten Verbindungen zwischen zwei mehrfach bestimmten Punkten (Mehrfachpunkte) findet. Es muss ein Algorithmus entwickelt werden, der das Aufsummieren von Beobachtungen in einer gewissen Reihenfolge ermöglicht. Dazu wird Anleihe in der Navigation genommen und ein Nivellementgraph wie ein Straßengraph in Knoten-Kanten-Struktur betrachtet. Der Dijkstra-Algorithmus [10] ermöglicht das Auffinden von

kürzesten Verbindungen in einem Graphen und wird üblicherweise im Routing eingesetzt.

Das Auffinden der Beobachtungen erfolgt in mehreren Schritten:

- Festlegung der Punkte die in mehreren Epochen beobachtet wurden
- Finden aller eindeutigen Verbindungen zwischen diesen Punkten (Routing)
- Aufsummieren der einzelnen Beobachtungen über die einzelnen Routingergebnisse

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Nivellementnetz. In grün sind die Punkte dargestellt, die in zumindest zwei Epochen beobachtet wurden und für den Ausgleich verwendet werden (Mehrfachpunkte).

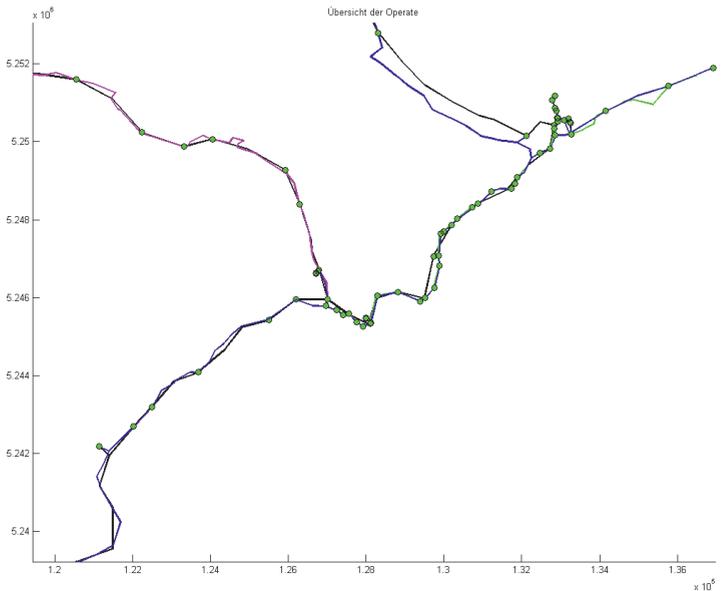


Abb. 2: Ausschnitt der zusammengefassten Beobachtungen

Die Linien stellen die bereits aufsummierten Beobachtungen zwischen zwei Mehrfachpunkten dar und sind je nach Operat eingefärbt!

Als Ergebnis liegen nun mindestens zwei Beobachtungen zu allen mehrfach bestimmten Punkten vor. Dies erfüllt die Erfordernisse des kinematischen Ausgleichs, da pro Punkt zwei Unbekannte ($C^0; v$) bestimmt werden sollen.

3.4 Die Beobachtungsgleichung

Eine geeignete Methode gleichartige Beobachtungen in mehreren Epochen miteinander zu vergleichen, erfolgt laut Schlatter [8] über:

$$\Delta C_{i,j}^k + e_{i,j}^k = C_j^0 - C_i^0 + (t^k - t^0) \cdot \left(\frac{C_j}{dt} - \frac{C_i}{dt} \right) \quad (5)$$

$\Delta C_{i,j}^k$ Potentialdifferenz zwischen den Punkten i und j zur Messzeit t^k

$e_{i,j}^k$ Verbesserung der gemessenen Potentialdifferenz

C_i^0, C_j^0 Unbekannte geopotentielle Koten der Punkte i und j zur Messzeit Referenzzeit t_0

$\frac{C_j}{dt}, \frac{C_i}{dt}$ Unbekannte zeitliche Potentialänderungen der Punkte i und j

t^0 Nullepoche

t^k Zeitpunkt k der betreffenden Messung

Dabei stehen auf der linken Seite der Gleichung die tatsächlich gemessenen Kotenunterschiede

zwischen den Punkten C_i und C_j zum Messzeitpunkt t^k . Um nun den Zusammenhang zwischen Messung und Geschwindigkeiten herzustellen, werden die Höhen zu einer festgelegten Referenzeпоche t^0 , sowie die zeitlichen Veränderungen (Geschwindigkeiten) angesetzt. Es ist leicht ersichtlich, dass hier eine Beobachtung vier Unbekannten gegenüber steht, daher bedarf es einer großen Überbestimmung bei den Beobachtungen. Dies wird einerseits durch die mehrfache Messung eines Punktes zu einem Zeitpunkt (linienhaftes Nivellement) sowie über mehrere Epochen realisiert.

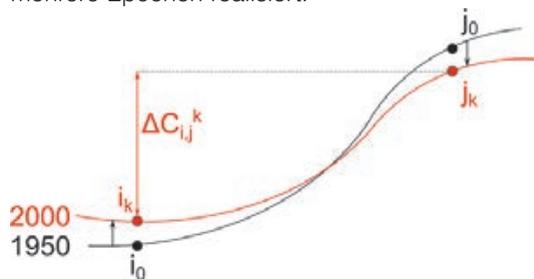


Abb. 3: Schematische Darstellung der Änderung geopotentieller Koten

Wie in Abbildung 3 dargestellt, ist es nun möglich durch das Ansetzen von Geschwindigkeiten in den Höhenpunkten mit den gemessenen Koten zu einem bestimmten Zeitpunkt (k) zu den Höhenkoten (i_0, j_0) rückzurechnen. Der Ausgleich liefert als Ergebnis also neben einer Höhenkote auch die Vertikalgeschwindigkeit eines Punktes.



Abb. 4: Vorläufiges Teilergebnis Niederösterreich

3.5 Ergebnisse

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung kann noch kein gesamtösterreichisches Ergebnis präsentiert werden. Allerdings soll beispielhaft das nordöstliche Niederösterreich in Abbildung 4 gezeigt werden. Die starken Absenkungen östlich von Wien bestätigen frühere Berechnungen [11]. Wie bereits erwähnt, sind die Bewegungen nicht absolut sondern relativ zum Haupthöhenpunkt Hutbigl zu betrachten.

Die Tatsache der geringen Überbestimmung im österreichischen Präzisionsnivellementnetz vor allem bei Verbindungen zweier Linien bedarf einer genaueren Betrachtung der Ergebnisse die bis dato noch nicht abgeschlossen werden konnten.

Referenzen

- [1] B. Hofmann-Wellen Hof and H. Moritz, Physical Geodesy, Springer-Verlag Wien, 2005
- [2] Die Astronomisch-Geodätischen Arbeiten des k.u.k. Militär-Geographischen Institutes in Wien, VII. Band, Das Präzisions-Nivellement, Wien, 1897
- [3] N. Höggerl, Die Ausgleichung des österreichischen Präzisionsnivellementnetz, österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1986
- [4] J. Zeger, Historische Entwicklung des Präzisionsnivellements in Österreich, österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1986
- [5] Mitteilungen des K.u.k. Militär-Geographisches Institute, Band IVXX, Wien, 1904
- [6] J. Ihde, J. Mäkinen, M. Sacher, Conventions for the Definition and Realization of a European Vertical Reference System (EVRS), BKG 2008
- [7] B. Meurers, D. Ruess, J. Graf, A program system for high precise Bouguer gravity determination, BEV Wien 2002
- [8] A. Schlatter, Das neue Landeshöhennetz der Schweiz LHN95, Schweizerische geodätische Kommission 2007
- [9] D. Ruess, 2009: Der Haupthöhenpunkt Österreichs als Referenzpunkt im europäischen Höhenbezugssystem. BEV – Leistungsbericht 2009, p. 44-45
- [10] Dijkstra Algorithmus, <http://de.wikipedia.org/wiki/Dijkstra-Algorithmus>, abgerufen am 05.04.2015
- [11] D. Ruess, P. Mitterschiffthaler, Rezente Höhenänderungen in Österreich abgeleitet aus geodätischen Wiederholungsmessungen, Hanke, K. & Weinold, T. (Hrsg.) (2015): 18. Internationale Geodätische Woche Oberurgl 2015. VDE VERLAG GMBH, Berlin/Offenbach. ISBN 978-3-87907-554-6
- [12] Definition of EVRF 2007 http://www.bkg.bund.de/nn_164806/geodIS/EVRS/EN/EVRF2007/evrf2007__node.html_nnn=true, abgerufen am 23.03.2015
- [13] Ruess D., 1993: Schwere und Höhe im alpinen Bereich. Fachvorträge d. 7. Geodätischen Woche in Oberurgl 1993; Univ. Innsbruck, Inst. f. Geodäsie, Institutsmittellungen Heft 15, 44-58.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Philipp Mitterschiffthaler, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, c/o Institut für Weltraumforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Schriedlstrasse 6, 8042 Graz.

E-Mail: philipp.mitterschiffthaler@bev.gv.at