Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004

Autor(en): **Marti, U. / Schlatter, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **103 (2005)**

Heft 8

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-236250

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004

Die definitive Lagerung und Gesamtausgleichung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und die daraus berechneten orthometrischen Höhen von etwa 1400 Punkten des Landesnivellements sowie die Berechnung eines verbesserten Geoidmodells CHGeo2004 und die Resultate der GPS-Kampagnen für LV95 haben zu einem konsistenten Höhensystem geführt, welches fortan in der Landesvermessung eingesetzt wird. Das Rückgrat dieses Höhensystems bilden die etwa 200 gemeinsamen Punkte des GPS- und des Nivellementnetzes, deren ellipsoidische und orthometrische Höhen mit höchster Genauigkeit bestimmt wurden. Weitere wichtige Daten für die Fixierung des Höhensystems sind Lotabweichungen und Schweremessungen.

Le positionnement définitif et la compensation intégrale du cadre de référence altimétrique RAN95 ainsi que le calcul des altitudes orthométriques d'environ 1400 points du nivellement fédéral qui en a résulté, le calcul d'un modèle de géoïde CHGeo2004 amélioré et les résultats des campagnes GPS pour MN95 ont conduit à un système d'altitude performant, qui sera dorénavant utilisé dans la mensuration officielle. La colonne vertébrale de ce système altimétrique est constituée d'environ 200 points communs aux réseaux GPS et de nivellement, dont les altitudes ellipsoïdiques et orthométriques sont connues avec la plus grande précision. D'autres notions importantes pour la détermination de ces altitudes sont les déviations de la verticale et les mesures gravimétriques.

Il posizionamento definitivo e la compensazione integrale del quadro di riferimento altimetrico LHN95 e il conseguente calcolo delle quote ortometriche di circa 1400 punti della livellazione federale, così come il calcolo di un modello migliorato del geoide CHGeo2004 e i risultati della campagna di misurazione GPS per LV95 hanno condotto alla realizzazione di un sistema altimetrico consistente. Il quale viene da subito impiegato nella Misurazione Nazionale. L'elemento portante di questo quadro di riferimento altimetrico è costituito dai circa 200 punti appartenenti alla rete GPS e altimetrica, le cui quote ortometriche ed elissoidiche sono state definite con massima precisione. Ulteriori dati importanti per la definizione del sistema altimetrico sono le deviazioni della verticale e misurazioni gravimetriche.

U. Marti, A. Schlatter

Eines der Hauptziele des Bereichs Geodäsie des Bundesamts für Landestopografie der letzten Jahre war die Modernisierung des nationalen Höhensystems, um die Konsistenz zwischen Nivellement und GPS in der Höhenbestimmung zu erreichen. Dazu war es einerseits nötig eine potenzialtheoretisch strenge Ausgleichung des Landesnivellements durchzuführen, andererseits aber auch ein dazu passendes Geoidmodell zu bestimmen. Um die Konsistenz zwischen GPS und Nivellement sicher zu stellen, wurden die beiden Netze durch möglichst viele gemeinsame Punkte verknüpft. Eine grosse Anzahl der LV95- und AGNES-Punkte wurden ans Landesnivellement angeschlossen und einige Fixpunkte des Landesnivellements mit hochpräzisen GPS-Messungen beobachtet.

Die Festlegung des Höhensystems LHN95

Ein Höhensystem wird traditionellerweise festgelegt durch die Höhe eines Fundamentalpunktes und die Art der zu verwendenden Schwerereduktionen bei der Auswertung der Nivellementsmessungen. Es muss also festgelegt werden, ob es sich um ein orthometrisches Höhensystem, ein Normalhöhensystem oder irgendein anderes Höhensystem handelt. Näheres dazu ist in [2] ausgeführt. Gleichwertig dazu ist es, das Höhensystem durch die zu verwendende Referenzfläche (Geoidmodell) zu definieren.
Das weiterhin gültige Höhensystem LN02 (Landesnivellement 1902) wurde durch die Höhe von 373.6 m des Repère Pierre du Niton (RPN) festgelegt und es wurde ursprünglich als orthometrisches System geplant. Realisiert wurde LN02 jedoch ohne Berücksichtigung des Schwereeinflusses.
Die Definition des LHN95 (Landeshöhennetz 1995) basiert auf der orthometrischen Höhe des Fundamentalpunktes in Zimmerwald von 897.906 m, welche zur Festlegung des Höhenhorizontes konstant gehalten wird. Dieser Wert wurde so hergeleitet, dass sich auf dem RPN weiterhin die in LN02 verwendete orthometrische Höhe von 373.6 m ergibt [5]. LHN95 ist grundsätzlich ein orthometrisches System, es werden aber auch Normalhöhen und geopotenzielle Koten berechnet und bei speziellem Bedarf an die Benutzer abgegeben, ohne dass sie aber publiziert werden.

Die Realisierung von LHN95

Die Realisierung des Höhenrahmens LHN95 in der Form von existierenden Höhenfixpunkten erfolgte durch eine kinematische Ausgleichung der Potenzialdifferenzen zwischen 1600 ausgewählten stabilen Punkten entlang ca. 10 000 km Präzisionsnivellement des Landeshöhennetzes (LHN). Diese Punkte bilden das Rückgrat von LHN95. Zwischen 1902 und 2004 wurden im LHN bis zu drei Mess-

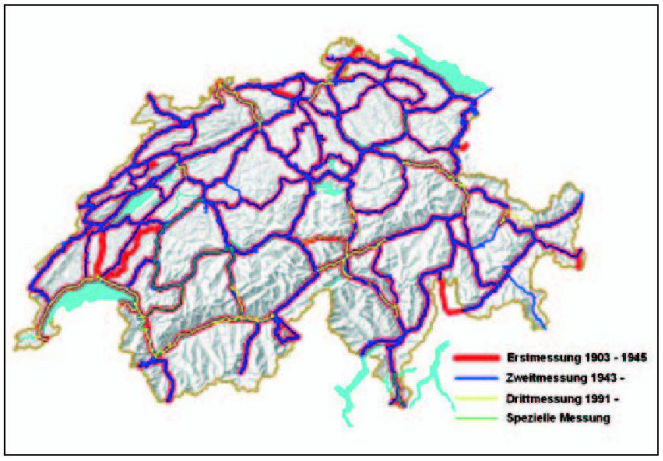


Abb. 1: Linien des Landesnivellements für LHN95, Stand Ende 2004.

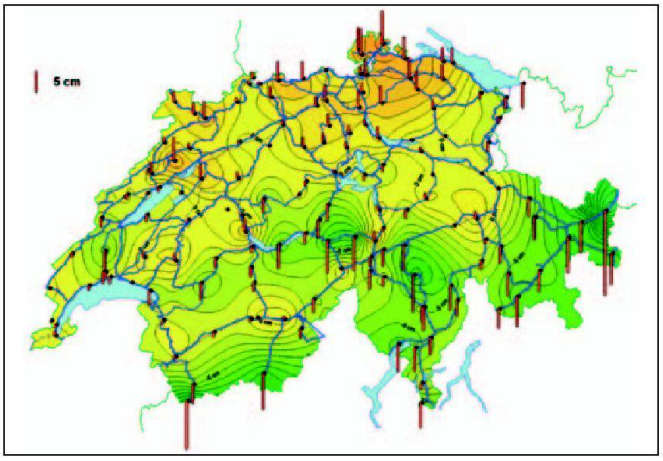


Abb. 2: GPS/Nivellement Residuen bei CHGeo98 (Stand 2003).

epochen linienweise realisiert (Abb. 1). Die Berechnung ist im Fundamentalpunkt der neuen Landesvermessung der Schweiz (LV95) in Zimmerwald gelagert, wo auch der Anschluss an die internationalen Netze definiert ist.

Die resultierenden geopotenziellen Koten bilden die Basiswerte für die orthometrischen Höhen, zu deren Berechnung auch Schwerewerte und Massenmodelle benötigt werden. Gleichzeitig können auch Normalhöhen berechnet werden, wie sie in Frankreich und seit Kurzem auch in Deutschland (nicht aber in Österreich) eingeführt sind. Der maximale mittlere Fehler der Höhen im LHN95 innerhalb der Schweiz und relativ zu Zimmerwald beträgt ±25 mm.

Für die wiederholt gemessenen Punkte werden mit der kinematischen Ausgleichung Vertikalgeschwindigkeiten geschätzt. Daraus resultieren die bekannten Vertikalbewegungen von bis zu 1.5 mm/Jahr gegenüber dem Mittelland in den Alpenregionen [3]. LHN95 bleibt für den Benutzer jedoch grundsätzlich ein statischer Höhenrahmen. Sämtliche Höhen werden zum Referenzzeitpunkt 1993.0 berechnet und publiziert.

Neben den Nivellement-Hauptpunkten lässt sich LHN95 mithilfe eines dazu konsistenten Geoidmodells auch durch GPS-Messungen mit recht hoher Genauigkeit realisieren. Deshalb war eines der Hauptziele bei der Festlegung eines mit LV95 kompatiblen Höhenrahmens auch die Bestimmung eines neuen Geoidmodells.

Das bisherige Geoidmodell CHGeo98

Das bisher in der Schweiz verwendete Geoidmodell CHGeo98 stützt sich im Wesentlichen auf ca. 600 Lotabweichungsmessungen. Daneben konnten etwa 70 GPS/Nivellement-Punkte als direkte Beobachtungen von Geoidhöhen in die Berechnung eingeführt werden. Schweremessungen wurden nicht direkt als Beobachtungen, sondern nur für die Reduktion der übrigen Beobachtungen auf Meereshöhe verwendet. Die für die Interpolation des Restfeldes wichtige Glättung der Beobachtungen wurde mit dem digitalen Höhenmodell DHM25 und einem einfachen Dichtemodell der Erdkruste durchgeführt. Die eigentliche Interpolation des Restfeldes geschah durch Kollokation nach kleinsten Quadraten.

Gemessene Lotabweichungen wurden im Mittel mit 0.5″ und GPS/Nivellement-Beobachtungen mit 3 cm mittlerem Fehler gewichtet. Das berechnete Geoid CHGeo98 hat eine Genauigkeit von 2–3 cm im Mittelland und von etwa 5 cm im Alpenraum. Die verbleibenden GPS/Nivellement-Residuen bewegen sich etwa in derselben Grössenordnung, zeigen jedoch zum Teil regionale Trends, wo sie mit den astrogeodätischen Lotabweichungsmessungen nicht in Einklang zu bringen waren. Diese verbleibenden Residuen sind in Abbildung 2 dargestellt, wo die systematischen Restklaffen deutlich ersichtlich sind. Im Norden herrschen positive Residuen vor mit Beträgen bis +7 cm im Kt. Schaffhausen, während im Süden negative Differenzen von mehr als –10 cm auftreten. Insbesondere im Tessin, in Graubünden und im südlichen Wallis liegt CHGeo98 zu tief und die orthometrischen Höhen aus Geoidmodell und GPS sind nicht konsistent mit den Resultaten aus dem Nivellement (LHN95).

Diese Diskrepanzen konnten zum grössten Teil durch systematische Abweichungen im Geoidmodell erklärt werden. Deshalb wurde entschieden, ein neues Geoid zu bestimmen, welches auch diese verbleibenden Residuen noch erheblich verkleinert.

Bestimmung des Geoids CHGeo2004

Der wesentlichste Schritt zur Verbesserung des Geoidmodells war die Erhöhung der Anzahl von qualitativ guten GPS/Nivellement-Stationen. Zu diesem Zweck wurde im Jahr 2003 eine spezielle GPS-Kampagne CHGeo2003 durchgeführt, in welcher ca. 40 Nivellement-Punkte mit GPS beobachtet wurden. Um eine möglichst grosse Höhengenauigkeit zu erhalten, wurden kurze Basislinien mit Sessionslängen von mindestens 24 Stunden gemessen. Neue Punkte wurden vor allem in der Nähe der Landesgrenze und in Regionen mit bekannten Problemen in CHGeo98 gewählt. Des Weiteren wurden

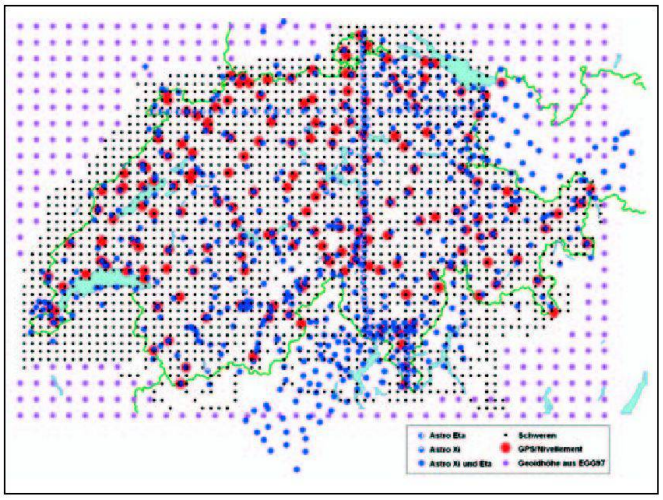


Abb. 3: Für die Geoidbestimmung 2004 verwendete Beobachtungen.

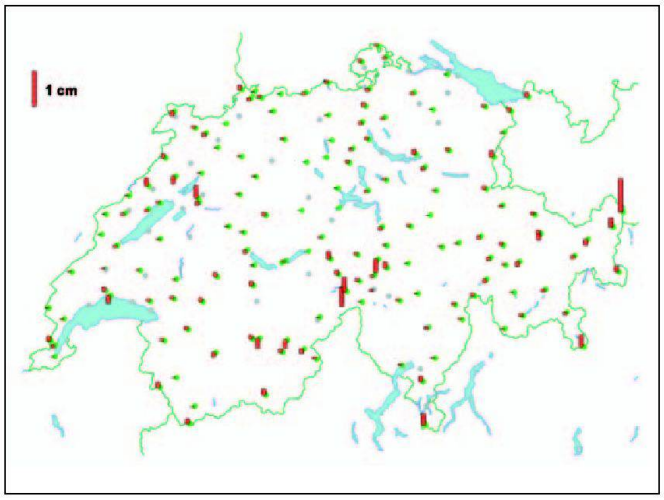


Abb. 4: GPS/Nivellement-Residuen bei CHGeo2004.

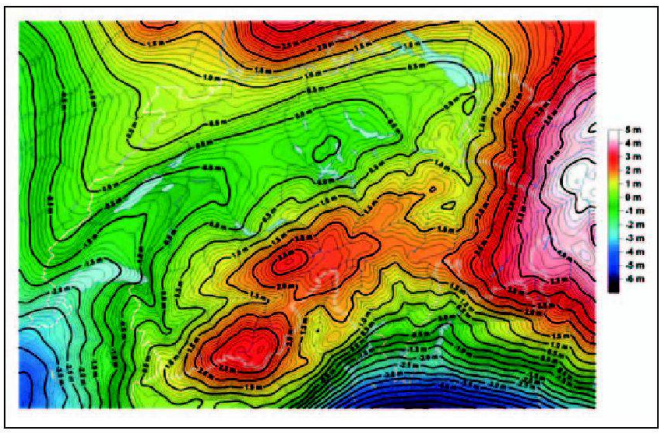


Abb. 5: Geoid CHGeo2004 im Schweizer Bezugssystem CH1903+.

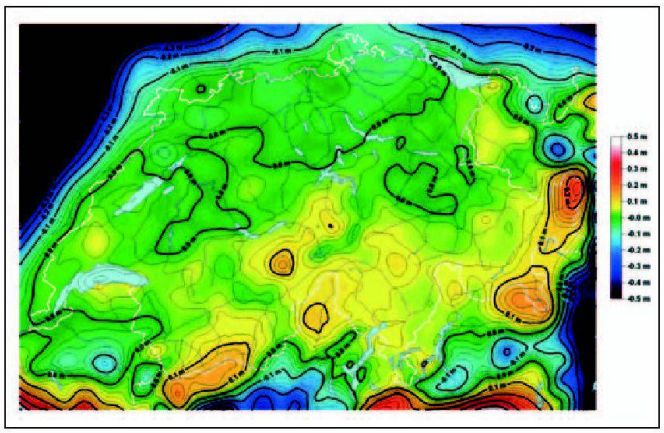


Abb. 6: Differenzen CHGeo2004 minus CHGeo98.

in den letzten Jahren in verschiedenen Messkampagnen möglichst viele der LV95- und AGNES-Stationen ans LHN angeschlossen. So liegen heute ca. 190 GPS/Nivellement-Punkte vor, welche für die Geoidbestimmung benutzt werden können. Diese Punkte sind sowohl in der GPS- als auch in der LHN95-Gesamtauswertung enthalten. Der definitive Satz von ellipsoidischen Höhen inklusive Varianz-Kovarianzinformation wurde aus einer Gesamtausgleichung aller GPS-Messungen von 1988 bis 2004 gewonnen (siehe Artikel in diesem Heft [1]).

Neben den neuen GPS/Nivellement-Stationen wurde in einer Kampagne im Oktober 2003 auch die Anzahl der astrogeodätischen Stationen erhöht. Dank dem Einsatz der beiden modernen digitalen Zenitkamerasysteme der ETH Zürich (Geodesy and Geodynamics Lab, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie) und der TU Hannover (Institut für Erdmessung) konnten innerhalb eines Monats 65 hochpräzise Lotabweichungsstationen beobachtet werden. Gegenüber älteren Messungen weisen diese neuen Werte eine verbesserte Genauigkeit von ca. 0.1″ auf und der Auswerteaufwand konnte erheblich reduziert werden.

Für die Geoidbestimmung CHGeo2004 wurden nun auch die Schweremessungen als Beobachtungen direkt eingeführt, was insbesondere in den Alpen noch einmal zu einer Genauigkeitssteigerung beitrug. Dabei konnte auf den umfangreichen Datensatz der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission (SGPK) der gravimetrischen Landesaufnahme zurückgegriffen werden. Die grosse Anzahl von ca. 30000 Punktschweren wurde für die Geoidbestimmung auf ein repräsentatives regelmässiges Gitter (5 x 5 km) reduziert.

Ein Problem des CHGeo98 waren fehlende Stützinformationen im benachbarten Ausland, so dass dieses Modell zum Teil bereits in der Nähe der Landesgrenze grössere Unsicherheiten aufwies. Durch den Einbezug von ausländischen Messungen (Schweren und Lotabweichungen) aber auch direkt von Geoidmodellen konnte der Gültigkeitsbereich von CHGeo2004 beträchtlich über die Landesgrenze hinaus erweitert werden.

Insgesamt wurden für CHGeo2004 1275 Lotabweichungskomponenten auf ca. 690 Stationen, ca. 2200 mittlere Schwerewerte, 190 GPS/Nivellement-Messungen und etwa 260 Stützpunkte benach-

barter Geoidmodelle verwendet. Diese Messungen sind in Abbildung 3 dargestellt.
Für die Reduktion auf Meeresniveau und für die Glättung des Residualfeldes wurden gegenüber der Geoidbestimmung von 1998 nur leicht modifizierte Massenmodelle eingesetzt. Einige Tests mit detaillierteren Dichtemodellen blieben für das Endresultat ohne wesentlichen Einfluss. Auch die Berechnungsmethode (Kollokation nach kleinsten Quadraten) wurde beibehalten.
Eine bedeutende Änderung war jedoch die Gewichtung der Messungen. Während 1998 die GPS/Nivellement-Messungen noch mit einem Fehler von 3 cm eingeführt wurden, werden sie in der neuen Berechnung praktisch als fehlerfrei betrachtet. Somit wird die generelle Form des Geoids durch diese Messungen festgelegt und die Residuen auf diesen Punkten verschwinden fast vollständig (Abb. 4). In Regionen, welche nicht durch das LHN abgedeckt sind, bestimmen vor allem die Lotabweichungen aber auch die Schweren die lokale Form des Geoids.
Die starke Gewichtung der GPS/Nivellement-Messungen hat natürlich zur Folge, dass damit die Konsistenz des Höhenrahmens zumindest auf diesen Punkten erreicht wurde. Ob die Konsistenz auch in den übrigen Gebieten gewährleistet ist, musste in einigen zusätzlichen Tests noch nachgewiesen werden. Dazu wurde in einer Testberechnung die Hälfte der GPS/Nivellement-Messungen nicht verwendet und die entstehenden Residuen untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass diese in der Regel deutlich kleiner als 1 cm sind. Es kann deshalb darauf geschlossen werden, dass die Konsistenz auch in den Gebieten ohne Landesnivellement innerhalb eines cm erreicht ist.
Das berechnete Geoidmodell CHGeo2004 (Abb. 5) kann ab sofort für alle Vermessungsarbeiten in der Schweiz und im grenznahen Ausland verwendet werden. Die Differenzen zum bisherigen Geoidmodell CHGeo98 (Abb. 6) liegen im Mittelland in der Regel unterhalb von ±3 cm. Nur ganz im Norden (Kt. Schaffhausen) treten grössere Differenzen von bis zu 6 cm auf. Auch im Alpenraum sind die Abweichungen grösstenteils kleiner als 5 cm. In kleineren Gebieten in Graubünden (Unterengadin und Puschlav) und im Süden des Wallis treten aber auch grössere Differenzen von mehr als 10 cm auf.

Die Konsistenz des Höhensystems

Mit der Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004 ist nun die Konsistenz zwischen den ellipsoidischen Höhen aus LV95

Bedeutung von LV95 / LHN95 für grosse Ingenieurprojekte

Am 28. April 2005 erreichten uns die Schlagzeilen, dass beim Lötschberg-Basistunnel der Hauptdurchschlag zwischen Berneroberland und Wallis erfolgt sei. Den Vermesser interessieren dabei natürlich vor allem die Ergebnisse der Vortriebsvermessung. Mit den Durchschlagsfehlern von 13.4 cm/10.3 cm (quer/längs) in der Lage und 4 mm in der Höhe haben die verantwortlichen Vermessungsingenieure der Ingenieurgemeinschaft IGBeWa das vorgegebene Ziel erreicht oder sogar übertroffen. Was steckt nun hinter diesen Ergebnissen?
Bei den klassischen Tunnelvermessungen vor über 100 Jahren am Gotthard (1869 und 1874–1875) und Simplon (1876/1898) wurden jeweils mit grossem Aufwand eigene Grundlagenvermessungen in der Form von Triangulations- und Nivellementsnetzen erstellt, um die notwendige Durchschlagsgenauigkeit zu erreichen.
Beim Aufbau der neuen Landesvermessung LV95 und insbesondere demjenigen des Landeshöhennetzes LHN95 wurde u. A. auch an die aktuellen Bedürfnisse der Vermessungen für die geplanten grossen Ingenieurprojekte wie BAHN2000 und AlpTransit gedacht. Beim Projekt Lötschberg-Basistunnel wurde die GPS-Grundlagenvermessung 1997 im Auftrag der BLS-AlpTransit AG und in enger Zusammenarbeit zwischen IGBeWa und swisstopo durchgeführt. Dabei dienten die Koordinaten der neuen LV95-Punkte als übergeordnete Referenzdaten.
Beim Höhengrundlagennetz konnten 1999 die ersten Ergebnisse der Arbeiten für das neue Landeshöhennetz LHN95 genutzt werden. Die orthometrischen Höhen für die fünf Portalnetze wurden aus einer freien, kinematischen Gesamtausgleichung von 6840 km Präzisionsnivellements (LN 1903–1998), sowie Ergänzungsmessungen und Schwerebeobachtungen auf ausgewählten Punkten berechnet. Die GPS-Höhenübertragung diente dabei als unabhängige Kontrolle. Bei den Vortriebsvermessungen wurden jeweils von swisstopo berechnete Lotabweichungs- und orthometrische Schwerefeld-Korrektionen angebracht und so die Effekte des Schwerefeldes auf das Durchschlagsnetz streng berücksichtigt.
Die ausgezeichneten Durchschlagsergebnisse in der Lage und vor allem in der Höhe sind in erster Linie ein Leistungsausweis für die an der Vortriebsvermessung beteiligten Fachleute. Daneben beweisen sie aber auch die hohe Qualität und den Nutzen der neuen Landesvermessung. Dank Koordination und enger Zusammenarbeit der Verantwortlichen für Projekt und Vermessung BLS-AlpTransit mit jenen der Landesvermessung konnten wertvolle Synergien genutzt werden.
Ein eingehender Bericht zur Durchschlagsvermessung beim Lötschberg-Basistunnel durch die beteiligten Vermessungsfachleute wird in einer späteren Nummer der Geomatik Schweiz erscheinen.

und den orthometrischen Höhen aus LHN95 im Sub-cm-Bereich erfüllt. Es lassen sich also aus GPS-Messungen im LV95-Rahmen und dem Geoidmodell CHGeo2004 problemlos auch orthometrische Höhen LHN95 mit grosser Genauigkeit berechnen. Durch zukünftige neue GPS/Nivellement-Stationen, welche in den nächsten Jahren gemessen werden, kann die Konsistenz des Höhensystems weiter kontrolliert werden. Bei eventuell auftretenden kleineren Inkonsistenzen auf LV95- oder AGNES-Stationen wird die erhaltene orthometrische Höhe LHN95 aus dem Nivellement Vorrang erhalten und die aus GPS bestimmten (ellipsoidischen) Höhen leicht korrigiert. Eine kurzfristige Korrektur des offiziellen Geoidmodells ist nicht geplant. Mit der Herausgabe des Geoidmodells CHGeo2004 wurde implizit auch der Höhenrahmen LHN95 fixiert. Die orthometrischen Höhen aller Höhenfixpunkte des LHN müssen auf den 1630 in der Gesamtausgleichung verwendeten Punkten eingezwängt werden.

Noch einmal hinweisen wollen wir auf die Konsistenz des neuen Höhensystems der Landesvermessung: LHN95-Höhen sind mit den ellipsoidischen LV95-Höhen mit Berücksichtigung von CHGeo2004 konsistent. Das weiterhin als offizielles Höhensystem der amtlichen Vermessung gültige LN02 ist davon nur am Rande berührt. Dessen Behandlung und die Transformation zwischen LHN95 und LN02 werden im folgenden Artikel [4] betrachtet.

Referenzen:

[1] E. Brockmann, D. Ineichen und A. Wiget (2005): Neumessung und Auswertung des GPS-Landesnetzes der Schweiz LV95. Geomatik Schweiz, 8/2005.

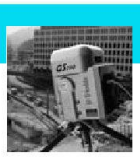
[2] U. Marti, A. Schlatter (2002): Höhenreferenzsysteme und -rahmen. VPK, 1/2002.

[3] A. Schlatter, U. Marti (2002): Neues Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. VPK, 1/2002.

[4] A. Schlatter, U. Marti (2005): Höhentransformation zwischen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02. Geomatik Schweiz, 8/2005.

[5] D. Schneider, E. Gubler, U. Marti, W. Gurtner (2001): Aufbau der Landesvermessung «LV95» Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen. Berichte aus der L+T Nr. 8.

Urs Marti
Andreas Schlatter
Bundesamt für Landestopografie
Bereich Geodäsie
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
urs.marti@swisstopo.ch



Trimble®
S6 Totalstation

Die neue Dimension für Vermessung

Die Trimble S6 Totalstation ist das Ergebnis modernster Forschung vom weltweit grössten Hersteller. Sie eröffnet mit den patentierten MultiTrack™-, MagDrive™- und SurePoint™-Technologien bisher ungeahnte Möglichkeiten. Dank kabelfreiem Einpersonenbetrieb (Robotic) in direkter Kombination mit GPS arbeiten Sie flexibel und effizient.
Profitieren auch Sie von den neusten Vermessungslösungen!

Rufen Sie uns an und vereinbaren Sie eine persönliche Beratung vor Ort.

Branchenführende Innovation

- MultiTrack™ kombiniert passive Anzielung und aktive Zielverfolgung
- MagDrive™ Servos für extrem leise, schnelle und zuverlässige Messungen
- SurePoint™ liefert präzise Messungen auch unter schwierigsten Bedingungen
- Integrated Surveying™ garantiert die optimale Kombination von GPS und Tachymeter

allnav

allnav ag
Obstgartenstrasse 7 CH-8006 Zürich
Telefon 043 255 20 20 Fax 043 255 20 21
allnav@allnav.com www.allnav.com

Geschäftsstelle in Deutschland: D-71522 Backnang

Trimble.