

Merkblatt für Höhenbestimmungen mit GPS in der amtlichen Vermessung

Ausgangslage

Als Bestandteil der neuen Landesvermessung LV95 hat das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) das neue Landeshöhenetz LHN95 als Ersatz für das bisherige 'Gebrauchshöhensystem' LN02 nur in der geodätischen Landesvermessung eingeführt.

Im Juni 2002 wurde durch die Geschäftsleitung der swisstopo entschieden, dass LN02 das Höhenbezugssystem für die amtliche Vermessung (AV) bleibt und auf einen Übergang auf LHN95 verzichtet wird. Dieser Beschluss folgte dem Antrag des Kompetenzzentrums 'Raumbezogene Daten / Landesvermessung 95 (CC RD/LV95)', welcher aufgrund von Besprechungen und in Rahmen eines Hearings mit diversen Benützern der Daten der AV und der Projektleitung LHN95 gestellt wurde. Der Entscheid wurde im Kreisreiben Nr. 2002/04 der Eidgenössischen Vermessungsdirektion (V+D) den kantonalen Aufsichtsbehörden detailliert dargelegt und in einem Artikel in der Zeitschrift 'Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik' (VPK 8/2002) der breiten Öffentlichkeit bekannt gegeben.

Um den Benützern trotzdem einen optimalen Nutzen von GPS für die Höhenbestimmung zu gewährleisten, wird ab Ende dieses Jahres durch swisstopo ein Transformationsprogramm zur Verfügung gestellt. Mit dem Programm HTRANS können Höhen zwischen den beiden Höhenrahmen LN02 und LHN95 transformiert werden.

Zusammenhang zwischen den Höhensystemen

Folgende Grafik gibt eine Übersicht über die unterschiedlichen Höhensysteme:

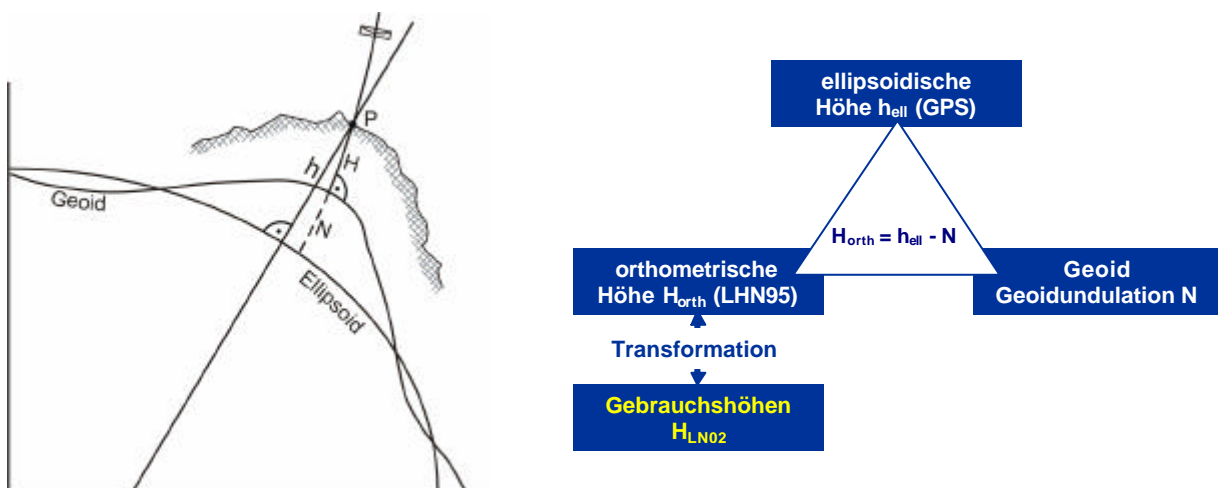


Abbildung 1 und 2: Zusammenhang zwischen den Höhensystemen

Die orthometrische Höhe H entspricht der Länge der Lotlinie eines Punktes P über dem Geoid. Zwischen den orthometrischen Höhen H , den ellipsoidischen Höhen h und den Undulationen N besteht die einfache Beziehung $H_{\text{orth}} = h_{\text{ell}} - N$ (s. Abb. 1 und 2). Korrigiert man ellipsoidische Höhen aus GPS-Messungen mit den Geoidundulationen, so resultieren orthometrische Höhen.

Gebrauchshöhen sind keine orthometrischen Höhen!

Gebrauchshöhen LN02 haben keinen mathematisch definierten Bezug zu den orthometrischen Höhen LHN95. Gebrauchshöhen sind entstanden, indem die reinen Landesnivellementmessungen (bis zum heutigen Zeitpunkt) im Wesentlichen in die Höhen des Nivellement de Précision der Schweizerischen Geodätischen Kommission (1864 - 1891) eingezwängt wurden. Kantonale und kommunale Höhenfixpunktnetze (HFP2 und HFP3) sowie die daran anschliessende Triangulation IV. Ordnung und die

Parzellarvermessungen der AV bilden seit Beginn des 20. Jahrhunderts die Verdichtung des Gebrauchshöhenrahmens LN02.

Wie gross sind die Differenzen zwischen den Gebrauchshöhen LN02 und den orthometrischen Höhen LHN95?

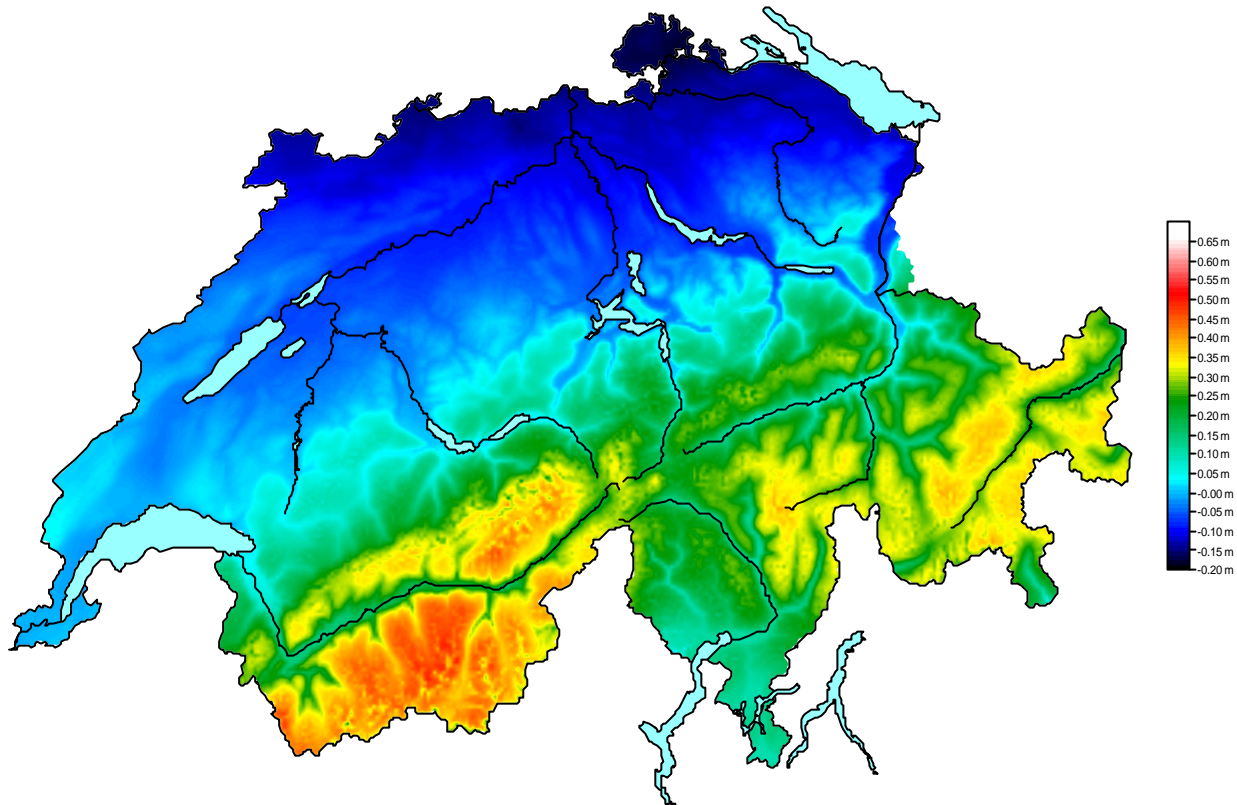


Abbildung 3: Die Unterschiede LHN95 minus LN02

Abbildung 3 zeigt die Unterschiede zwischen den orthometrischen Höhen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02. Die Differenzen bewegen sich schweizweit zwischen -20 cm im nördlichen Schaffhausen und +65 cm auf den höchsten Gipfeln der Walliser Alpen. Nebst grossräumigen systematischen und lageabhängigen Anteilen ist eine deutliche Höhenabhängigkeit festzustellen, welche sich vor allem lokal auswirkt. Die Differenzen setzen sich aus verschiedenen Teilen zusammen:

- einem systematischen Anteil aufgrund des Einflusses des Schwerefeldes
- dem Einfluss der Kinematik (Einfluss der Alpenhebung im Zeitraum von bis zu 100 Jahren)
- den Verzerrungen von LN02 (Qualität des 'Nivellement de Précision 1864-91')

In Tabelle 1 sind einige Zahlenbeispiele zu den Unterschieden LHN95/LN02 an ausgewählten Orten aufgeführt.

Welche Schwierigkeiten stellen sich dem GPS-Benutzer im Gebrauchshöhenrahmen LN02?

Der Entscheid, dass die AV und die überwiegende Mehrheit der raumbezogenen Daten im Gebrauchshöhensystem LN02 verbleiben, bedingt, dass der Bund und die Kantone diesen Rahmen auch aufrecht erhalten. Traditionelle Anwendungen im lokalen Bereich bieten dabei gar keine Probleme, die Regeln der Kunst bleiben erhalten. Schwierigkeiten können dann entstehen, wenn Höhenbestimmungen mit GPS durchgeführt werden. Zwei klassische Beispiele:

➤ **LFP2-Fixpunktbestimmung in der amtlichen Vermessung:**

Nachdem viele Kantone keine HFP2-Netze mehr unterhalten oder nie erstellt haben, wird der Gebrauchshöhenrahmen LN02 zwischen den Landesnivellementlinien oft durch die LFP2-Netze und die daran angeschlossenen Vermessungswerke aufrecht erhalten. Die aktuellen LFP2-Fixpunkterneuerungen erfolgen fast ausschliesslich mit GPS-Messungen.

Lokale Erneuerungen in Gebieten ohne bedeutende Höhendifferenzen bieten dabei meist keine Probleme, da die Höhenrahmen LN02 und LHN95 sich innerhalb der Messgenauigkeit nur durch einen Höhenshift unterscheiden.

In ausgedehnten Operaten in voralpinem oder alpinem Gelände resultieren oft (höhen)-massstabsabhängige Differenzen zwischen den GPS-Höhen und den bestehenden Gebrauchshöhen. Eine sorgfältige Lagerung in vorhandene LN02-Höhen wird erschwert, indem auch die höhenabhängige Verteilung berücksichtigt werden sollte. Ansonsten resultieren für die Neupunkte Höhen, welche streng genommen weder dem einen noch dem anderen Höhensystem zugeordnet werden können. Diese Aufgabe wird dadurch erschwert, dass die Qualität der bestehenden LFP2-Höhen aufgrund der herkömmlichen Bestimmung oft zweifelhaft ist.

➤ **online Höhenbestimmung mit Positionierungsdiensten:**

Wer zurzeit mit Positionierungsdiensten Höhenbestimmungen unter Verwendung des Geoidmodells CHGEO98 durchführt, erhält näherungsweise orthometrische Höhen LHN95. Die Differenzen zum gesuchten Gebrauchshöhensystem entsprechen den Angaben in Abbildung 3 oder den numerischen Beispielen (Kolonne *Diff.*) in Tabelle 1. Die Differenzen können also Beträge annehmen, die über der Messgenauigkeit liegen.

| Ort System/Herkunft | ellips. Höhe [m] | | ortho. Höhe [m] | | Gebrauchshöhe LN02 |
|------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | CH1903+ | Undulation [m] CHGEO98 | LHN95 | Diff. [m] HTRANS | |
| Genève RPN | 370.94 | -2.66 | 373.60 | 0.00 | 373.60 |
| Bern | 539.34 | -0.62 | 539.96 | -0.04 | 540.00 |
| Basel | 259.92 | 1.07 | 258.85 | -0.15 | 259.00 |
| Zürich | 407.89 | 0.01 | 407.88 | -0.12 | 408.00 |
| Chiasso | 234.38 | -3.72 | 238.10 | 0.10 | 238.00 |
| Landquart | 530.94 | 0.96 | 529.98 | -0.02 | 530.00 |
| Davos | 1562.81 | 2.66 | 1560.15 | 0.15 | 1560.00 |
| Flüelapass | 2386.67 | 3.34 | 2383.33 | 0.33 | 2383.00 |

Tabelle 1: ellipsoidische, orthometrische und Gebrauchshöhen und deren Unterschiede

HTRANS: Die Höhentransformation zwischen LHN95 und LN02

Der Bereich Geodäsie der swisstopo hat ein Programm realisiert, welches die Umrechnung von LN02 in LHN95 und umgekehrt ermöglicht. Es trägt den noch provisorischen Namen 'HTRANS'. Die Theorie, welche hinter den Anwendungen steckt, wurde bereits in einem VPK-Artikel vorgestellt (VPK 1/02).

Die Transformation basiert zurzeit noch auf provisorischen Auswertungen des Landesnivellements (LHN95 / LN02), einigen wenigen integrierten HFP2-Linien und ausgewählten Anschlüssen an das GPS-Landesnetz LV95. Konzept, Realisierung und Tests mit unabhängigen Daten wurden dem CC RD/LV95 in zwei Berichten vorgelegt.

Tests auf kantonalen HFP2-Netzen in flachem und hügeligem Gelände haben gezeigt, dass die Transformation mit einer absoluten Genauigkeit von 1-2 cm durchgeführt werden kann, wobei die Nachbargenauigkeit zwischen den Punkten bedeutend höher ist.

Tests auf LFP2-Netzen zeigen eher ein zwiespältiges Bild. Die verbleibenden Residuen (cm - dm) sind oft eine Folge von Unregelmässigkeiten in den bestehenden LFP-Netzen. Zurzeit wird deshalb darauf verzichtet, LFP2-Höhen als Stützwerte einzuführen. Es zeigt sich auch hier ganz deutlich, dass auf dem Gebiet der Transformationen keine Wunderlösungen erwartet werden dürfen.

Welche Vorteile bietet HTRANS?

Zwei wesentliche Vorteile werden durch die Verwendung von HTRANS erwirkt.

➤ Transformation mit GPS bestimmter Höhen in LN02:

Für die Fixpunktbestimmung in der amtlichen Vermessung können die aus GPS und Geoidmodell hergeleiteten orthometrischen Höhen in LN02 transformiert werden. Dadurch werden die bekannten Netzverzerrungen des Landesnivellements und vor allem ein Grossteil der höhenabhängigen Differenzen aus den Daten beseitigt, ohne die Nachbargenauigkeit aus den GPS-Messungen wesentlich zu beeinflussen. Die nachfolgende Einzwängung in LN02 (mit einer Ausgleichung) wird insofern erleichtert, indem dank der vorgängigen Elimination von systematischen Effekten die Restklaffungen auf den bestehenden Punkten besser analysiert werden können.

➤ Online GPS-Höhenbestimmung in LN02:

Nebst dem eigentlichen Programm HTRANS wird eine Möglichkeit geschaffen, die Höhenkorrektur über den Positionierungsdienst oder mit einem im GPS-Empfänger integrierten Modell (analog dem Geoidgitter CHGEO98) anzubringen. Dadurch wird auch die online GPS-Höhenbestimmung im Gebrauchshöhensystem LN02 näherungsweise ermöglicht.

Wieso ist HTRANS erst Ende 2004 erhältlich?

Zurzeit erstellt der Bereich Geodäsie der swisstopo ein neues Geoidmodell (CHGEO03), welches zusammen mit den GPS-Höhen LV95 und dem Höhenrahmen LHN95 konsistent sein wird. Um dieses Ziel zu erreichen, mussten 2003 noch ergänzende GPS/Nivellement-Anschlüsse gemessen werden. Die Einführung von HTRANS wird gleichzeitig mit der Einführung des neuen Geoidmodells Ende 2004 erfolgen und entspricht somit auch den zeitlichen Vorgaben des CC RD/LV95.

Zeitplan und Strategie für die Einführung von HTRANS

Die Einführung und Verbreitung des Transformationsprogramms LN02 ↔ LHN95 wird zentral durch das CC RD/LV95 koordiniert und geleitet. Hierzu gehören auch entsprechende Informations- und Ausbildungsveranstaltungen. Vorerst sind folgende Teilschritte geplant:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Information der kantonalen Fachstellen mit vorliegendem 'Merkblatt für die Höhenbestimmung mit GPS in der amtlichen Vermessung' – Information der kantonalen Fachstellen im Rahmen der ERFA-Tagungen '04 – Anpassung und Revision der 'Richtlinien für die Bestimmung von Fixpunkten' – Einführung von HTRANS für die Anwendungen in der amtlichen Vermessung und für die online GPS-Positionierungsdienste | <p>Januar/Februar 2004</p> <p>März/April 2004</p> <p>2004</p> <p>Ende 2004</p> |
|--|--|

Was ist bei der Bestimmung von neuen LFP2-Höhen mit GPS in LN02 zu beachten?

Es entstehen gegenüber früheren Weisungen **ab Ende 2004** keine grundsätzlich neuen Anforderungen. Infolge der bleibenden Bedeutung des Höhenrahmens LN02 seien die Anforderungen an die GPS-Höhenbestimmung hier nochmals erwähnt und präzisiert.

a) Arbeitsablauf

GPS-(Höhen)-Messungen:

- Ein Höhennetz muss an genügend Punkte des GPS-Netzes LV95 **und** an genügend bestehende Punkte mit LN02-Höhen anschliessen.
- Die Wahl der Messmethode ist nach wie vor frei. Infolge der zusätzlichen Bedeutung der Höhe muss die Antennenhöhe ebenfalls mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit erhoben werden.

GPS-(Höhen)-Auswertung:

Es sind folgende Schritte zu durchlaufen:

- Auswertungen der GPS-Messungen in CHTRS95.
- Transformation der einzelnen Koordinatensätze (Sessionen) von CHTRS95 in LV95 mit den offiziellen LV95-Parametern:

$$\begin{aligned}DX &= -674.374 \text{ m} \\DY &= -15.056 \text{ m} \\DZ &= -405.346 \text{ m}\end{aligned}$$

- Berechnung von orthometrischen Höhen (LHN95) pro Koordinatensatz (Session) mit dem Geoidmodell CHGEO03 (ab 2005, bis Ende 2004 noch CHGEO98). Diese Koordinatensätze bilden die Basis für die Ausgleichung in LV95.
- Die Lagerung dieser Ausgleichung (Lage und Höhe) erfolgt ausschliesslich auf Punkten des GPS-Netzes LV95.
- Berechnung von genäherten Gebrauchshöhen LN02 mit HTRANS.
- Ausgleichung der Koordinatensätze (Sessionen), Lagerung der Höhenberechnung auf bekannten und geeigneten Punkten in LN02 (mit Anschlusshöhen als Beobachtungen, im Normalfall ohne Kippungen oder Höhenmassstab).
- Kontrolle und Analyse der Höhenresiduen auf bestehenden Anschlusspunkten.
- Gezwängte Höhenberechnung in LN02, im Normalfall ohne Kippungen oder Höhenmassstab für die GPS-Messungen.

b) Lagerung

Bedeutung der Höhen-Anschlüsse und -Festpunkte:

- Der präzise Höhenrahmen LN02 wird durch das Landeshöhennetz (HFP1) und die aktuellen und in das Landeshöhennetz integrierten kantonalen (HFP2) oder kommunalen Höhenfixpunktnetze festgelegt.
- Nivellierte LV95-Punkte sind geeignete Lagerungspunkte, welche in beiden Höhenreferenzrahmen integriert sind. Rund die Hälfte der GPS-LV95-Punkte ist direkt an das Landeshöhennetz angeschlossen.
- LFP2-Punkte entlang dem Landeshöhennetz, die neu bestimmt werden, sollen direkt an die nahe liegenden HFP1 und HFP2 angeschlossen werden. swisstopo ist bei Neumessungen von Linienabschnitten bestrebt, die nahe gelegenen LFP2 in Absprache mit den Kantonen direkt in die Messungen einzubeziehen.
- Bei fehlenden geeigneten Anschlusspunkten mit Höhen in LN02 ist der direkte Anschluss mit GPS an das Landeshöhennetz (HFP1 und HFP2) anzustreben.
- Bei der Beurteilung der Höhenresiduen bestehender LFP2 ohne Anschluss an die HFP-Linien sind gute Kenntnisse über die Entstehung der Höhen unerlässlich.
- Die Toleranzstufen der jeweiligen Gebiete sind zu beachten.

c) Dokumentation der Messungen und Resultate:

- In offiziellen Dokumenten der amtlichen Vermessung (Punktprotokolle, Koordinatenlisten, Auszüge an Dritte etc.) dürfen nur LN02-Höhen publiziert werden. Unabhängig davon, ob die Lage-Koordinaten im Bezugssystem CH1903 (Y: 600'000 X: 200'000) oder in CH1903+ (E: 2'600'000 N: 1'200'000) vorliegen, die entsprechende **Höhe H bezieht sich immer auf den Höhenbezugsrahmen LN02.**
- Im technischen Bericht zu den Berechnungen ist **zwingend** das **verwendete Geoidmodell** und die Version des Programms **HTRANS** zu **dokumentieren.**
- Werden nebst den rohen Messungen für **interne Zwecke** auch Resultatlisten von Zwischenschritten (bspw. orthometrische Höhen aus Geoidmodell) dokumentiert, so ist **in den Listen** zwingend die **eindeutige Identifikation der Höhen** darzustellen (Höhenbezugsrahmen, Geoidmodell etc.).
- Jede Möglichkeit der Verwechslung ist a priori zu vermeiden. Nebst der eindeutigen Kennzeichnung von Höhenangaben sind auch die Instruktion und die Schulung von allen betroffenen Personen zu gewährleisten.

Wabern, im Januar 2004, slt