

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Band: 99 (2001)
Heft: 3

Artikel: Konzept- und Machbarkeitsstudie zu HFP2-Netzen im heutigen Umfeld
Autor: Schlatter, A. / Brockmann, E. / Signer, T.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-235750>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Konzept- und Machbarkeitsstudie zu HFP2-Netzen im heutigen Umfeld

Der vorliegende Artikel beschreibt die Machbarkeitstests 1998 für die Höhenbestimmung mit GPS (Global Positioning System) im neuen Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. Hauptanlass für diese Testmessungen, welche das Vermessungsamt des Kantons Bern zusammen mit dem Bundesamt für Landestopographie ausführte, war das Bedürfnis, ein neues Konzept für das kantonale Höhenfixpunktnetz zu erstellen. Erkenntnisse aus den Testmessungen aber auch Überlegungen ganz allgemeiner Art zu den Benutzerbedürfnissen in der amtlichen Vermessung und Vorstellungen über künftige kantonale Höhenfixpunktnetze werden in der Folge präsentiert.

L'article suivant décrit les tests de faisabilité de 1998 pour la détermination altimétrique avec GPS (Global Positioning System) dans le nouveau réseau national d'altitude de la Suisse LHN95. La raison principale pour ces mesures tests qui ont été exécutées par le Service des mensurations cadastrales du canton de Berne, en collaboration avec le Service fédéral de topographie, était le besoin d'élaborer un nouveau concept pour le réseau cantonal des points fixes altimétriques. Les connaissances résultant des mesures tests mais également des réflexions d'ordre général concernant les besoins des utilisateurs de la mensuration officielle ainsi que les idées sur les futurs réseaux cantonaux des points fixes altimétriques sont présentés ci-après.

Questo esposto descrive i test di fattibilità del 1998 per la definizione dell'altezza con il GPS (Global Positioning System) nella nuova rete altimetrica nazionale svizzera (LHN95). L'incentivo principale di queste misurazioni sperimentali – effettuate dall'Ufficio del catasto del Canton Berna assieme all'Ufficio fed. di topografia – consisteva nell'elaborazione di un nuovo concetto per la rete altimetrica dei punti fissi. Qui di seguito si indicano non solo i risultati delle misurazioni sperimentali ma si fanno anche delle considerazioni generali sulle esigenze dell'utenza nella misurazione ufficiale e sulla gestione futura delle reti altimetriche cantonali dei punti fissi.

A. Schlatter, E. Brockmann, Th. Signer,
A. Wiget, K. Wysser

Ausgangslage

Die Schlaufen des Landesnivellements wurden im Kanton Bern zwischen 1912 und 1945 durch 60 Nivellementzüge verdichtet und ergänzt (s. Abb. 1). Gekennzeichnet sind die kantonalen Höhenfixpunkte durch insgesamt 2600 Bolzen, üblicherweise in Zweier- oder Dreiergruppen angeordnet. Der Kanton verfügt über ein relativ dichtes Höhenfixpunktnetz, wie es auch in anderen Kantonen im Rahmen der Höhenbestimmung für die Triangulation 4. Ordnung entstanden ist. Der Zustand

der Kennzeichnung im Kanton Bern ist gut, wurden doch im Rahmen von Nachführungen zwischen 1933 und 1993 an einzelnen Zügen bis zu fünf Gesamtrevisionen sowie Teilrevisionen oder Begehungen von Punktgruppen ausgeführt. In insgesamt 22 Gemeinden des Kantons liegen zumindest in den Baugebieten HFP3-Netze vor.

Das Vermessungsamt des Kantons Bern (VmA-BE) ist bei der Bearbeitung der HFP2-Netze mit folgenden Schwierigkeiten konfrontiert:

- Der Nachführungsaufwand des bestehenden Höhenfixpunktnetzes ist mit den vorhandenen personellen und finanziellen Ressourcen nicht zu bewäl-

tigen. Seit 1994 wurde notgedrungen bewusst auf einen Unterhalt der HFP2 verzichtet. Das führt zu einem raschen, unkontrollierten Zerfall des Werkes.

- Durch die strenge Ausgleichung der LFP3-Netze mit Einbezug der HFP1/2 manifestiert sich eine teilweise schlechte Übereinstimmung zwischen Lage- und Höhenfixpunkthorizont.
- Züge führen teils durch Regionen, wo Höhen von dieser Qualität keinen Sinn machen und durch Zonen, wo keine Qualität der Werte gewährleistet werden kann (Rutschgebiete).
- Anschlussmessungen an neu berechnete Linien des Landesnivellements fehlen.

Ab ca. Ende 1996 begann das Bundesamt für Landestopographie (L+T) mit den Arbeiten am neuen Landeshöhennetz LHN95. Bis zu diesem Zeitpunkt war LHN95 ein theoretisches Konzept für ein modernes Höhensystem im Rahmen der neuen Landesvermessung LV95 [VPK 2/96]. Die Festlegung des neuen Höhenrahmens erfolgt durch die strenge Ausgleichung der Landesnivellementmessungen seit Anfang des 20. Jahrhunderts und der nachfolgenden Berechnung von orthometrischen Höhen. Grundsätzlich soll LHN95 ermöglichen, zusammen mit dem neuen Geoidmodell in einem zwangsfreien Rahmen kostengünstige satellitenbasierte Höhenbestimmungen durchzuführen. Die ellipsoidischen Höhen aus LV95, das neue Geoidmodell CHGEO98 und LHN95 sollen dabei im Rahmen der neuen Landesvermessung eine Einheit bilden. Analog der Lage muss ein definierter Übergang zwischen dem alten Höhenrahmen LN02 und LHN95 zur Verfügung gestellt werden.

Der Entscheid betreffend der Einführung eines orthometrischen Höhensystems in der AV ist noch hängig. Auch wenn sich LHN95 als offizieller Höhenrahmen nicht durchsetzt, wird schon in den Kantonen mit mässig ändernden topographischen Verhältnissen die Höhenbestimmung im bestehenden Höhenrahmen LN02 mit Hilfe von GPS problematisch werden, denn das Geoidmodell erlaubt streng genommen nur den Übergang in ein orthomet-

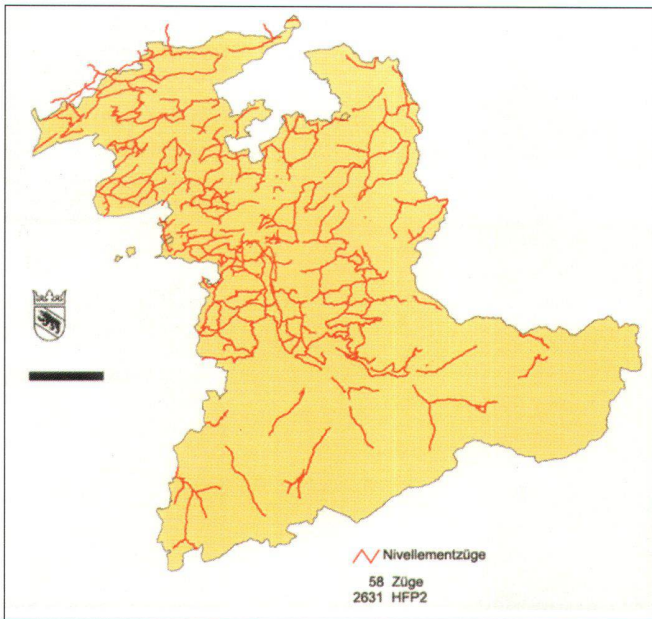


Abb. 1: HFP2-Züge im Kanton Bern (ohne Landesnivellementlinien).

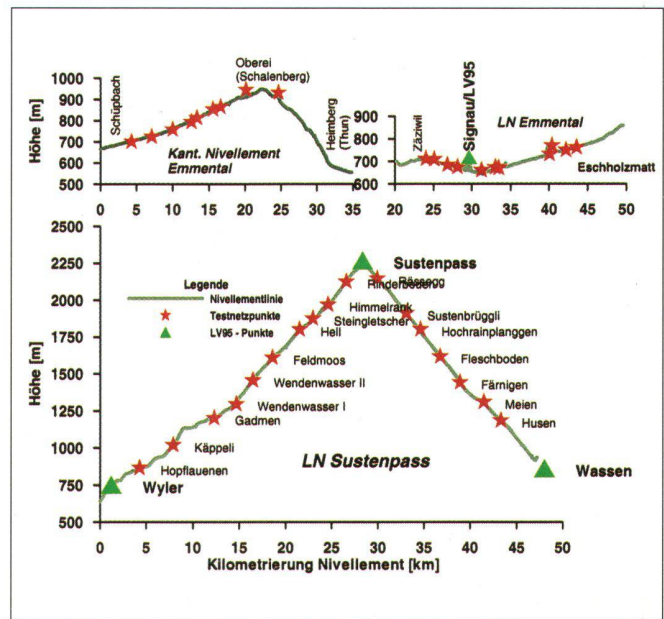


Abb. 2: Höhenprofile der Testnetzpunkte Emmental und Sustenpass.

risches Höhensystem. Je nach Einpassungsmöglichkeiten in Fixpunkte können immer noch Höhenmassstäbe von bis zu 1 cm / 100 m verbleiben. Die Resultate von LHN95 würden dann zumindest dazu beitragen, den Übergang vom Ellipsoid/Geoid ins alte Höhensystem LN02 zu verbessern.

Im März 1997 trat das VmA-BE mit der Anfrage für ein gemeinsames Projekt an die L+T. Unter dem Arbeitstitel «LHN95-Verdichtung: Machbarkeitsstudie 1998» (Projekt LHN95-V) wurde damals folgende generelle Zielsetzung festgehalten: Machbarkeitsstudie für die Aktualisierung der kantonalen Höhenetze (HFP2) und deren Integration ins neue Landeshöhennetz (LHN95) mit Hilfe von GPS. Nebst Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit von GPS, zum Übergang zwischen den Bezugsrahmen LHN95 und LN02, zur Troposphärenmodellierung und zu den Auswertverfahren sollte der Machbarkeitsnachweis für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der GPS-Höhenbestimmung durch den direkten Vergleich zwischen orthometrischen Höhen aus Nivellementmessungen und den GPS-Höhen unter Verwendung des cm-Geoides erfolgen. Es wurde eine Arbeitsgruppe mit Vertretern des VmA-BE sowie

der L+T, Bereiche Geodäsie und V+D, gegründet.

Die bestehenden Grundlagen für die amtliche Höhenfixpunktbestimmung sind in der Technischen Verordnung für die amtliche Vermessung (TVAV) sowie in den Richtlinien für die Bestimmung von Fixpunkten (RiFi) verankert. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurden bezüglich dieser Vorschriften beurteilt.

Testkampagnen Emmental und Sustenpass 1998

Es wurde beschlossen, in exemplarischen Voralpen- und Alpengebieten Testmessungen mit GPS durchzuführen. Dazu wurden die lokalen Testnetze «Emmental» und «Sustenpass» ausgewählt (s. Abb. 2). Dies aus folgenden Gründen:

Lokales Testnetz Emmental

Die Testmessungen Emmental konnten optimal mit den Verdichtungsmessungen im GPS-Netz LV95 und den Neumessungen für das LFP2-Ersterhebungsoperat Trub (Op. 585) kombiniert werden. Dadurch entstand ein vertretbarer Mehraufwand. Die LN-Linie Bern–Langnau–Luzern wurde von der L+T in den Jahre 1998/99 neu nivelliert. Als Grundlage für

die Ersterhebung Op 585 Trub und als sinnvolle Ergänzung des Landesnivellements entschloss sich das VmA-BE, den kantonalen Nivellementzug Signau–Oberei–Steffisburg zu erneuern. In die beiden Linien wurden 20 naheliegende LFP2-Punkte integriert, so dass ein optimales Testnetz für Vergleichsmessungen entstand.

Lokales Testnetz Susten

In den Jahren 1997/98 wurde die LN-Linie Innertkirchen–Sustenpass–Wassen von der L+T erneut nivelliert. Entlang dieser Strecke konnten ebenfalls 17 GPS-fähige Punkte einbezogen werden. Die GPS-Testmessungen konnten zudem auch hier mit Verdichtungsmessungen im GPS-Netz LV95 kombiniert werden.

GPS-Messkampagnen 1998

Bei beiden Testkampagnen wurden jeweils acht GPS-Empfänger TRIMBLE 4000SSi mit geodätischen Antennen durch fünf Operateure betreut. Im Emmental wurden während vier Tagen je zwei Tagessessionen à ca. drei Stunden zur Bestimmung der total 20 Testnetzpunkte und vier Nachtsessionen (20.00 bis 03.00) zur Bestimmung von sechs neuen LV95-Verdichtungspunkten gemes-



Abb. 3: Testmessungen am Sustenpass oberhalb Steingletscher.

sen. Am Sustenpass wurden die Messungen auf drei Tage à zwei Sessions (je ca. 2.5 Std.) sowie auf drei Nachtsessions (19.30–07.00) aufgeteilt. Insgesamt wurden hier 17 Testnetzpunkte und drei neue LV95-Verdichtungspunkte bestimmt. Mit Hilfe der relativ langen Tagessessions sollte auch der Zusammenhang zwischen der Messdauer und der erreichbaren

Höhengenauigkeit studiert werden können.

Es wurden nur statische Messungen erhoben. Das Messintervall betrug 15 Sec. für die Tages- und 30 Sec. für die Nachtmessungen. Die minimale Elevation zur Aufzeichnung der Messungen wurde auf 5° festgelegt. Die Stationierungen erfolgten hauptsächlich auf Holzstativen; auf wenigen LV95-Punkten wurden auch Stahlpfeiler montiert. Zur Ermittlung der Stativhöhen wurden die Messstäbe der L+T eingesetzt, welche eine Bestimmungsgenauigkeit von unter 1 mm durch nur einen Operateur erlauben (s. Abb. 4).



Abb. 4: System zur Bestimmung der Antennenhöhe (L+T).

Auswertung und Resultate der GPS-Messungen

Bei der Auswertung kamen drei verschiedene Softwarepakete zur Anwendung. Die beiden «kommerziellen» Produkte Ski-Pro (Beta 1.0) von Leica und GPSurvey 2.1 von Trimble wurden ausgewählt, da sie zum Zeitpunkt der Berechnungen die in der Schweiz gebräuchlichsten Auswertepakete waren. Expertenwissen in der Satellitengeodäsie ist bei den zwei Produkten nicht erforderlich. Es war aber nie die Absicht der Studie, einen sogenannten Performancetest durchzuführen.

Als Ergänzung kam das wissenschaftliche Auswertepaket Bernese 4.1 zur Anwendung. Die Bedienung und Berechnung ist hier einiges komplizierter, da eine Vielzahl von Programmen durchlaufen und etliche Parameter eingestellt werden müssen. Mit Bernese 4.1 wurden verschiedene GPS-Lösungstypen gerechnet, welche sich hauptsächlich durch folgende Merkmale unterscheiden:

- Variation der Beobachtungsdauer (künstliche Unterteilung der Sessions in kürzere Untersessions)
- Variation des Cutoff-Angle
- Wahl des Troposphärenmodells:
 - Schätzung von Troposphärenparametern (Schätzung der Laufzeitverzögerungen (path delays) aus den GPS-Beobachtungen)
 - Modellierung der Troposphäre mit COMEDIE: Aus den Druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsprofilen der ANETZ-Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA-MeteoSchweiz) wurden von Dr. A. Geiger (IGP ETH Zürich) mit dem Programm COMEDIE zeitlich-räumliche Modelle für die Druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilung und den Einfluss auf die Laufzeitverzögerung (zenit path delay) gerechnet.
 - Kombination von Troposphärenmodellen resp. COMEDIE mit Troposphärenschätzung
- Unterschiedliche Gewichtung der Beobachtungen in Abhängigkeit der Elevation
- Linearkombinationen der Phasenmessungen: Hauptsächlich kam die ionosphärenfreie Linearkombination (L3-Lösung) zur Anwendung.

Bei der Höhenbestimmung mit GPS spielt die Modellierung der Troposphäre eine entscheidende Rolle. Bei den Auswertungen wurde hierauf ein grosses Gewicht gelegt. Die Modellierung mit COMEDIE selbst stellt dabei einen eher wissenschaftlichen Versuch dar, bestmögliche Höhenergebnisse zu erzielen. Für die Praxis wäre eine solche Lösung zurzeit weder möglich noch akzeptabel. Um die Qualität der einzelnen Varianten

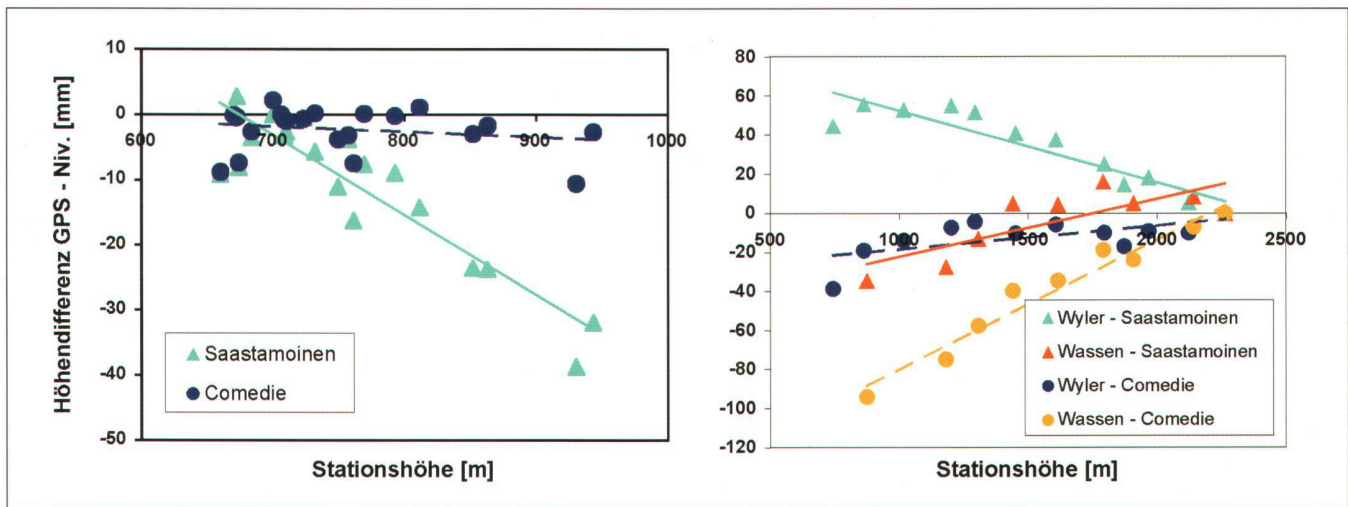


Abb. 5: Differenzen der GPS-Höhen zu LHN95 in Abhängigkeit der Punkthöhe; links Emmental, rechts Sustenpass.

zu beurteilen, wurden sie einerseits untereinander analysiert, andererseits wurden die Resultate unter Berücksichtigung des Geoidmodelles mit den orthometrischen Höhen aus dem Nivellement verglichen.

In Abbildung 5 werden als exemplarische Resultate für die beiden Testnetze Emmental und Sustenpass jeweils die Differenzen der resultierenden GPS-Höhen zu den orthometrischen Höhen aus Nivellement graphisch dargestellt. GPS-seitig werden dabei die Varianten «COMEDIE» und «Standardauswertung» (Saastamoinen) aufgeführt.

Beurteilung der Resultate

Aufgrund der durchgeführten Berechnungen lassen sich für GPS-Höhenbestimmungen folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die kommerzielle Software (SKI-Pro, GPSurvey) und das wissenschaftliche Auswerteprogramm Bernese 4.1 liefern bei Standardoptionen (a priori Saastamoinen-Modell) vergleichbare Resultate, welche nur wenige Millimeter differieren.
- Die Wahl des Troposphärenmodells hat einen wesentlich grösseren Einfluss auf die Resultate als die Wahl der Auswertesoftware. Bei beiden Produktions-

softwarepaketen konnten zum Zeitpunkt der Auswertung keine Troposphärenparameter direkt eingeführt werden, und die Schätzung von Troposphärenparametern war nur mit GPSurvey 2.1 möglich.

- Die verschiedenen Modellierungen der Troposphäre liefern Höhenresultate, die sich hauptsächlich durch einen Höhenmassstab voneinander unterscheiden. Dieser Höhenmassstab stieg im Extremfall bis auf 10 mm/100 m an (Testnetz Emmental).
- Es kristallisierte sich keine Modellierung als eindeutige Bestvariante heraus. Im Allgemeinen ergab die Modellierung mit COMEDIE sowohl die beste interne Wiederholbarkeit als auch die beste Übereinstimmung mit dem Nivellement/Geoid. Aber auch COMEDIE differierte in einem Fall (Sustenpass, Talseite Wassen) um 6 mm/100 m vom Nivellement.
- Die Schätzung von Troposphärenparametern aus GPS ist bei kurzen Beobachtungszeiten (<3 Std.) nicht geeignet. Bei längeren Beobachtungszeiten können mit der Schätzung von Troposphärenparametern in vielen Fällen gute Resultate erzielt werden. Aber auch hier zeigen sich unerklärliche Differenzen von bis zu 8 mm/100 m zum Nivellement/Geoid.
- Die Höhengenaugigkeit hängt bei Distanzen <10 km und 1–3 Stunden Be-

obachtungsdauer im wesentlichen von der vorhandenen Höhendifferenz und nur unwesentlich von der Distanz ab.

- Je kürzer die Beobachtungszeit ist, desto grösser ist die Streuung der Resultate (sowohl interne Wiederholbarkeit als auch Vergleich mit Nivellement/Geoid). Im Emmental hat sich gezeigt, dass mit Beobachtungszeiten von 30 Min. aussagekräftige Resultate (für ein entsprechendes Troposphärenmodell) erzielt werden können.
- Auch mit aufwendigen Modellen (z.B. COMEDIE, welches nur von Spezialisten berechnet und nur in wissenschaftlicher Software eingeführt werden kann) können in den Höhen noch systematische Fehler (Höhenmassstab) vorliegen, welche im Bereich von einigen mm/100 m (<10 mm/100 m) liegen dürften. Diese können auch mit Langzeitbeobachtungen nicht eliminiert werden.
- Bei den Vergleichen mit dem Nivellement/Geoid ist noch nicht restlos klar, inwieweit die systematischen Differenzen allenfalls auch auf das Nivellement bzw. Geoid zurückgeführt werden müssen.

Die vorliegenden Untersuchungen hatten zum Ziel, die mit GPS erzielbaren Höhengenaugigkeiten zu quantifizieren. Daneben stellt sich natürlich aber auch die Frage, welche Genauigkeiten allgemein erforderlich sind. Diese Frage soll im folgenden Abschnitt behandelt werden.

Beurteilung bezüglich den Vorgaben TVAV

Die Vorschriften bezüglich der Höhenfixpunktbestimmung sind in der TVAV einzig in Funktion des Punktabstandes definiert. Die ausführlichen Umschreibungen in den Richtlinien beschränken sich dabei auf die Nivellementmethode. Bei GPS hängt jedoch die Höhengenaugkeit in erster Linie vom Höhenunterschied und vergleichsweise unwesentlich vom Punktabstand ab. Es wurde dennoch versucht, die GPS-Resultate auch bezüglich der TVAV zu beurteilen: Für die Schätzung der Genauigkeit von GPS wurde der höhenabhängige Ansatz von $4 \text{ mm} + 7 \text{ mm}/100 \text{ m}$ verwendet, welcher intuitiv von den vorliegenden Untersuchungen abgeleitet wurde.

In Gebieten mit kleinen Höhendifferenzen (Emmental; $\pm 250 \text{ m}$) können mit GPS die Toleranzen gemäss TVAV eingehalten werden, während dies beim Extrembeispiel Sustenpass (1500 m) klar nicht der Fall ist. Der Vergleich der beiden Strecken ähnlicher Länge (Signau–Kröschenbrunnen/Wyler–Sustenpass) zeigt dies deutlich auf (siehe Tabelle).

Strecke	Pkt.-Abstand [km]	ΔH [m]	TVAV (HFP2, TS2) [mm]	GPS-Genauigkeit [$4 \text{ mm} + 7 \text{ mm}/100 \text{ m}$]
Signau–Kröschenbrunnen	16.0	55	48.3	7.9
Wyler–Sustenpass	17.0	1519	51.3	110.3

Nebst den Genauigkeits- und den davon abgeleiteten Zuverlässigkeitskriterien ist bei Fixpunktnetzen auch das Nachbarschaftsprinzip von Bedeutung. Bei GPS-Messungen werden jeweils Basislinien zu einer Referenzstation berechnet, womit die Nachbarbeziehung nur indirekt hergestellt wird. Die Nachbargenaugkeit in der Höhe hängt damit im wesentlichen vom Höhenunterschied zur Referenzstation und nicht vom Höhenunterschied bzw. der Distanz zwischen benachbarten Punkten ab. Bei kleineren Punktabständen erreicht man deshalb mit dem Nivellement bessere Nachbargenaugkeiten als mit GPS. Aus diesem Grund wäre die Messung eines HFP3-Netzes mit GPS kaum

empfehlenswert, auch wenn die Genauigkeitsanforderungen gemäss TVAV ebenfalls eingehalten werden könnten. Letzteres dürfte aber auch schon aus praktischen Gründen (Abdeckungen im Baugebiet) kaum durchführbar sein.

Zur Wirtschaftlichkeit der Methoden

Eine objektive Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der GPS-Methode ist nicht einfach. Sie ist vor allem dann zum Scheitern verurteilt, wenn die bisherigen Nivellement-Netzanlagen als Massstab für eine Kostenschätzung verwendet werden. Einfache Vergleiche zeigen deutlich auf, dass Nivellementkosten vor allem proportional zum Messweg sind, während der Aufwand für GPS-Messungen in erster Linie in Abhängigkeit zur Anzahl der zu messenden Punkte steht. GPS erlaubt im Gegensatz zum Nivellement, grosse Distanzen ohne Zwischenpunkte kostengünstig zu überbrücken. Die Wirtschaftlichkeit der Methode kann also nur am gewählten Konzept gemessen werden.

Durch die Einfachheit der Methode sind die Nivellementmess- und Auswertekosten sehr einfach und genau abschätzbar. Bei den GPS-Messungen ist der Aufwand sowohl für die Messungen (erforderliche Messzeit) als auch für die Auswertung aufgrund der Erfahrungen noch sehr ungewiss.

Folgerungen für die kantonalen Höhennetze HFP2

Gemäss der Verordnung über die amtliche Vermessung (VAV) sollen die Daten der amtlichen Vermessung als Grundlage

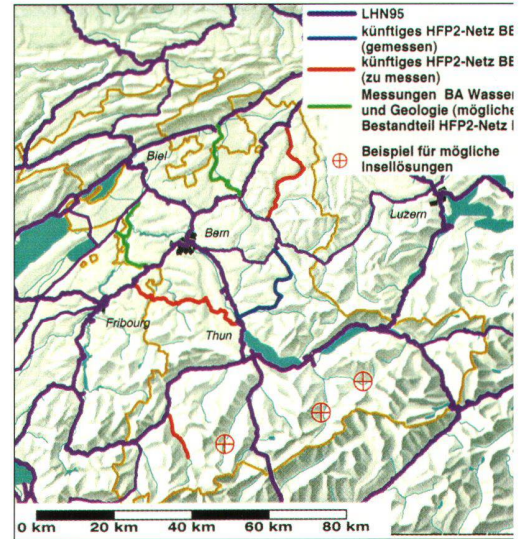


Abb. 6: Mögliche Anlage des künftigen HFP2-Netzes Kt. Bern.

für den Aufbau und den Betrieb von Landinformationssystemen und für öffentliche und private Zwecke verwendet werden können (Art. 1² VAV). Der Grossteil der HFP2-Netze wurde wie im Kanton Bern in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als Grundlage für die Höhenbestimmung der Triangulation 4. Ordnung erstellt. Aufgrund der Nivellementmethode resultierte eine Vielzahl von HFP2, die damals willkommene Höhen-Anschlusspunkte waren.

Das Projektteam hatte sich in der Folge erlaubt, einige Fragen grundsätzlicher Art zu stellen, ohne dabei auf Vollständigkeit zu beharren:

- Sind HFP2-Netze für die Erneuerung resp. Nachführung von LFP2/3-Operaten notwendig?
- Inwieweit genügen die Höhen der Lagefixpunkte (LFP1, LFP2 und LFP3) für die Höhenbestimmung der amtlichen Vermessung und den meisten Gemeindeingenieurarbeiten?
- Ist eine verordnete Punktgruppendichte HFP2 von 1 km (RiFi) noch sinnvoll?
- Ist die hohe Genauigkeitsanforderung für HFP2 in der TVAV notwendig?

Im Folgenden wird versucht, die Anforderungen an künftige Höhennetze HFP2 zu formulieren, um daran die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Höhenfixpunktmethoden neu zu beurteilen.

Benutzerbedürfnisse

Wo besteht heutzutage eine Nachfrage nach genauen Höhen?

Genauere Höhen werden praktisch ausschliesslich im Baugebiet verlangt. Moderne LFP3-Netze, welche eine qualitativ einwandfreie Höhenbestimmung aufweisen, genügen in den meisten Fällen für die Bedürfnisse einer durchschnittlichen Mittellandgemeinde.

Sog. «Millimeter-Höhen» werden von der Bauwirtschaft kaum gebraucht; allenfalls können diese Netze für Deformationsüberwachungen genutzt werden. Es fragt sich aber, ob es Aufgabe der AV ist, die Anlage solcher Netze zu fördern. Zudem besteht gerade bei Präzisionsnetzen das Problem der schnellen Alterung in der Form von natürlichen Senkungen des Objektuntergrundes.

Für die AV sind HFP aufgrund der Bestimmungsgenauigkeit (und bei einer entsprechenden Qualität der Kennzeichnung) geeignet, den Höhenhorizont langfristig zu gewährleisten.

Punktdichte und Anlage HFP2

Mit der Nivellementmethode ist es nachweislich nicht schwierig, einen HFP2-Punktgruppenabstand von 1 km zu realisieren (RiFi). Dieser Gruppenabstand ist in ländlichen Gebieten ausserhalb des Baugebietes kaum gefragt und führt zu einer Punktdichte, welche enorme Unterhaltsarbeiten auslöst. In instabilen Gebieten (Schwemmland, kultivierte Sumpfbereiche, Rutschgebiete etc.) ist jegliche Punktkennzeichnung fraglich. Solche Fixpunkte täuschen dem Anwender falsche Genauigkeiten vor. Allgemein muss eine kleinere Punktdichte mit stabileren Punkten angestrebt werden.

Es ist sicherlich begrüssenswert, dass HFPs künftig auch GPS-tauglich sind. Erfahrungsgemäss erfordern solche Punkte im Allgemeinen einen grösseren Aufwand für die Rekognoszierung und Kennzeichnung. Der dauernden Punktstabilität sollte auch künftig grosses Gewicht beigemessen werden.

Nachbarschaftsprinzip

Das Prinzip der Nachbarschaft, d.h. der

Anschluss an HFP gleicher und höherer Hierarchiestufe sowohl der HFPs wie auch der benachbarten LFPs muss eingehalten werden. Dazu müssen die TVAV und RiFi konsequent durchgesetzt werden, indem auch die LFP2- und LFP3-Netze sauber an den Höhennetzen angeschlossen werden. Offensichtliche Diskrepanzen zwischen benachbarten Punkten bringen die Fixpunktnetze in ein schlechtes Licht.

«Unterhaltsprinzip»

Nebst den Benutzerbedürfnissen sollte auch ein «Unterhaltsprinzip» postuliert werden. Dieses müsste beinhalten, dass im Rahmen der AV nur neu erstellt oder erneuert werden darf, was auch auf die Dauer unterhalten werden kann.

Überführung LN02 ↔ LHN95

Ähnlich der Problematik der Lagekoordinaten mit dem Übergang von CH1903 in CH1903+ muss auch für die Höhe eine Lösung erarbeitet werden, welche die Transformation von LN02 in LHN95 ermöglicht. Am Bundesamt für Landestopographie werden zurzeit entsprechende Lösungsansätze entwickelt und Testberechnungen durchgeführt.

Dieser Übergang kann nur dann sinnvoll realisiert werden, wenn genügend Stützpunkte vorhanden sind, welche in beiden Systemen bekannt sind. Entlang dem neuen Höhennetz LHN95 wird dies künftig auf allen HFP1 realisiert sein. Um lokale Inhomogenitäten im alten Netz LN02 zu berücksichtigen und die Stützpunktdichte allgemein zu erhöhen, ist es in jedem Fall wünschenswert, wenn die Polygone des Landesnivellements durch kantonale Nivellementlinien ergänzt werden können.

Struktur künftiger Höhennetze HFP1 und HFP2

Im Zusammenhang mit dem Projekt LHN95 wurde auch eine Netzbereinigung entlang der bestehenden HFP1-Linien durchgeführt. Dabei blieben die Haupt- und Sekundärlinien erhalten, jedoch wurden einige für das damalige Wasserwirtschaftsamt gemessene Linien nicht mehr ins künftige Netz übernommen.

«10-km-Raster»

Laut Art. 50 der TVAV ist die Dichte der HFP2 so zu wählen, dass in jeder grösseren Ortschaft wenigstens eine Gruppe von HFP2 zur Verfügung steht. Diese Forderung ist in den städtischen Gebieten des Kt. Berns bereits mit den bereinigten HFP1-Linien (LHN95) erfüllt. Hingegen würden künftig Orte wie Grindelwald, Wengen/Mürren, Adelboden und die Lenk, sowie einzelne Regionen wie z.B. Sumiswald, Huttwil, Bätterkinden oder Schwarzenburg über keine HFP1/2-Punkte mehr verfügen.

Diese Ausgangslage sowie der Stand und die Entwicklung der satellitenbasierenden Messverfahren veranlassen uns aber zu folgender Aussage:

Es wird in Zukunft genügen, einen Linienraster zur Verfügung zu stellen, welcher einen Anschluss mit max. Basislinienlänge von 5–10 km an einer HFP1/2-Gruppe erlaubt. Unter Berücksichtigung der Toleranzstufen kann die Maschenweite in Berggebieten einiges grösser sein. Dieses Netz würde genügen, um den Höhenrahmen für die untergeordneten Lage- und Höhenfixpunkte festzulegen.

«Insellösungen»

Für HFP3-Netze kann in einem 10-km-Raster das Prinzip des Anschlusses an übergeordnete oder gleichwertige Netze nicht mehr erhalten werden. Hier stehen jedoch andere Lösungsansätze zur Diskussion.

HFP3-Netze werden ausschliesslich in den Toleranzstufen 1 und 2 angelegt (Stadtgebiet resp. überbaute Gebiete und Bauzonen). Die HFP3-Netze werden weiterhin mit gleichbleibender Genauigkeit und Fixpunktan-lage nivelliert. Sie werden aber neu an wenige benachbarte LFP2- oder LFP3-Punkte angeschlossen. Diese Punkte müssen in der Höhe neu bestimmt werden, indem sie an den umliegenden HFP1/2-Raster (10-km-Raster) angeschlossen werden. Die resultierenden *Anschlusshöhen* dienen dabei der Festlegung eines gemeinsamen *Höhenhorizontes*. Aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt die Höhenbestimmungen in solchen Fällen vorzugsweise mit GPS. Die Stärke die-

ser Methode kommt so voll zum Tragen. Zudem ist auf diese Weise garantiert, dass zwischen Lage- und Höhenfixpunkten tatsächlich ein gemeinsamer Höhenhorizont besteht.

Gemäss Art. 54³ TVAV gelten die Anschlusspunkte a priori als fehlerlos. Falls die Höhen der Anschlusspunkte Zwänge gegenüber den HFP3-Messungen bewirken, drängt sich folgendes Vorgehen auf:

- In einer gemeinsamen, quasi freien Ausgleichung werden die Anschlusshöhen als Beobachtungen in die Netzausgleichungen eingeführt und – wegen den hochwertigen Nivellementverbindungen – Höhenänderungen zugelassen.
- Die resultierenden Höhen werden aus der freien Ausgleichung als Festhöhen übernommen und in eine definitive Berechnung des Netzes eingeführt.

Konsequenzen zur Realisation der Vorstellungen

Will man die Vorstellungen verwirklichen, so müssten folgende Punkte realisiert werden:

- Anpassung der Verordnungen und Richtlinien:
Anpassung der Verordnungen und Richtlinien bezüglich Punktdichte und (methodenunabhängiger) Genauigkeits- und Toleranzanforderungen.
- Strengere Anforderungen an die Höhengenaugigkeit der LFP3 in den Toleranzstufen 1 und 2:
Die Anpassung sollte so erfolgen, dass die Möglichkeiten der modernen Messmittel optimal und wirtschaftlich ausgenutzt werden und sich die Anlage von HFP3-Netzen erübrigt.

- Zweistufiges Verfahren der Höhenlage- rung bei Insellösungen zugunsten einer erhöhten Nachbargenaugigkeit
- Deklassierung/Löschung der alten HFP2:

Soweit die Punkte nicht Bestandteil von LHN95 oder des untergeordneten kantonalen 10-km-Rasters sind, werden sie als nicht unterhalten deklariert oder in den offiziellen Verzeichnissen gelöscht.

Abbildung 6 zeigt eine mögliche Struktur der HFP1/2-Netze am Beispiel des Kantons Bern. Mit einem 10-km-Raster verbleiben nur noch wenige HFP2-Linien, welche erneuert oder neu erstellt werden müssten.

Schlussbemerkungen und Ausblick

Die kantonalen Höhenfixpunktnetze wurden in der Vergangenheit aus verschiedenen Gründen sehr unterschiedlich bearbeitet. In einigen Kantonen wurden die HFP2 schon nach ihrer Erstellung dem Verfall überlassen und die Dokumentation ist gar nicht vorhanden oder veraltet. Andere Kantone wiederum haben die HFP2-Netze vorbildlich unterhalten und dokumentiert. Im Rahmen der Leistungsvereinbarung mit der Eidgenössischen Vermessungsdirektion (V+D) sind die kantonalen Vermessungsämter verpflichtet, bis Ende 2001 ein Fixpunkt-konzept zu erstellen. Dieses soll die veränderten Rahmenbedingungen (Spardruck auf kantonale Verwaltungen, neue Messmethoden etc.) optimal berücksichtigen.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde für den Kanton Bern ein mögliches Konzept

für die HFP2-Netze entwickelt. Die Problematik der Höhenfixpunktnetze wird durch die amtliche Vermessung bzw. die V+D noch weiter thematisiert werden müssen. Das Projektteam hofft, mit der vorliegenden Studie einen wertvollen Impuls gegeben zu haben.

Literatur:

Gubler E. et al.: Die neue Landesvermessung der Schweiz «LV95». Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik 2/96.

Schlatter A. et al.: Pilotstudie LHN95-Verdichtung. Machbarkeitstests 1998 in Zusammenarbeit mit dem VmA Bern im LFP2-Netz Emmental und der Sekundärlinie LN Sustenpass. Technischer Bericht 98–03 des Bereichs Geodäsie des Bundesamtes für Landestopographie.

A. Schlatter, E. Brockmann, Th. Signer,
A. Wiget
Bundesamt für Landestopographie
CH-3084 Wabern
andreas.schlatter@lt.admin.ch

K. Wysser
Bau- Verkehrs- und Energiedirektion des
Kantons Bern
Vermessungsamt
CH-3013 Bern

Wie? Wo? Was?

Das Bezugs-
quellenregister gibt
Ihnen auf alle diese
Fragen Antwort.