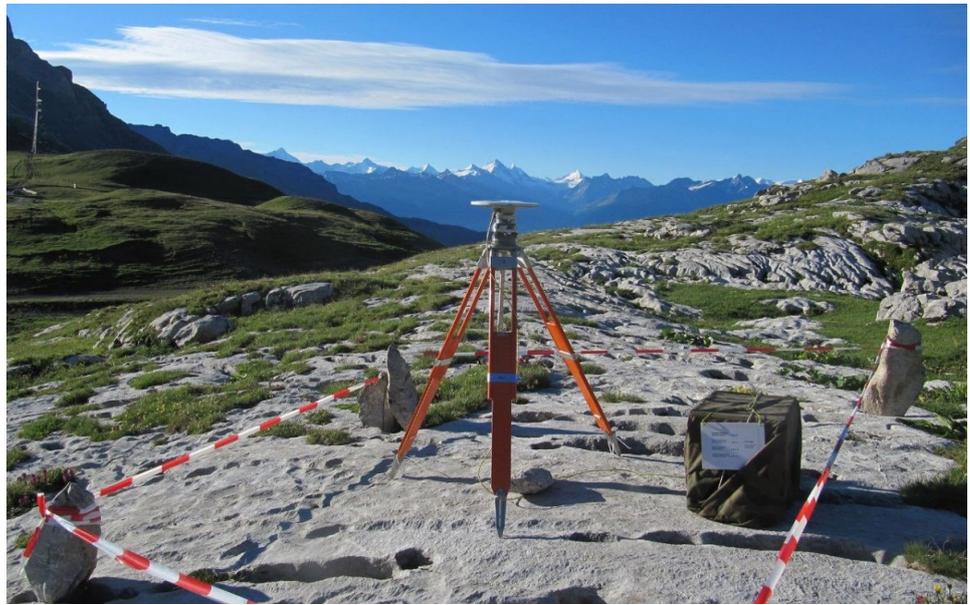


Neues Schweizer Höhensystem



© swisstopo

Studie zur Modernisierung des
Höhenbezugssystems und -rahmens in der Schweiz

Teil II – Definition des Systems
und Analyse der technischen Konsequenzen

Dr. Daniel Willi
Dr. Andreas Schlatter
Dr. Urs Marti
Elisa Borlat
Dr. Sébastien Guillaume
Jérôme Carrel



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Titelbild: statische GNSS-Messungen am Punkt LV95 «Sanetschpass» (S. Condamin)

Impressum

© 2024 Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Redaktion:
Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern

Telefon: +41 58 469 01 11
E-Mail: vermessung@swisstopo.ch



Management Summary

Der vorliegende, zweite technische Bericht umfasst die Definition des neuen Höhensystems, das Realisierungs- und Transformationskonzept sowie einige Ansätze für dessen Einführung. Dieses Dokument ist damit Teil der Vorabklärungen, die getroffen werden, damit die Geschäftsleitung von swisstopo 2027 einen fundierten Entscheid zum weiteren Vorgehen treffen kann. Der Entscheid über die Einführung eines neuen Höhensystems obliegt dem Bundesrat auf Antrag von swisstopo.

Dieser Bericht ist als Empfehlung an die Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger zu verstehen. Er soll einerseits eine Diskussion zu den Eigenschaften des neuen Höhensystems ermöglichen und andererseits als swisstopo-interne Grundlage für die weiteren Arbeiten dienen. Die wesentlichen Empfehlungen der Arbeitsgruppe werden nachfolgend kurz beschrieben.

Das neue Höhensystem ist ein kinematisches vertikales Koordinatenreferenzsystem. Es basiert auf Normalhöhen, die von geopotentiellen Koten abgeleitet werden. Die Normalhöhen weisen praktische Vorteile in Bezug auf die orthometrischen Höhen auf. LHN95 hingegen basiert auf orthometrischen Höhen.

Die vertikalen differentiellen Höhenänderungen zwischen dem Mittelland und den Alpen betragen 1 bis 2 mm pro Jahr und summieren sich im Laufe der Jahre, bis sie schrittweise auch im alltäglichen Gebrauch signifikant werden. Allein die Modellierung von Höhenänderungen kann die Langlebigkeit des Höhenbezugsrahmens und eine einheitliche Präzision in der gesamten Schweiz garantieren.

Die Verwaltung des kinematischen Modells wird durch Transformationsdienste vereinfacht. Die Höhen von offiziellen Geodaten werden zur Referenzepoche geführt, also im Realisierungsjahr des Bezugsrahmens. Sie verändern sich nicht im Laufe der Zeit, genau wie es bereits heute mit LN02-Höhen der Fall ist. Für die meisten Anwendungen wird das kinematische Modell nur einmalig bei der Höhenbestimmung berücksichtigt werden müssen.

Eine strenge Transformation zwischen LHN95 und dem neuen Höhenbezugsrahmen wird bestimmt. Für den Übergang von LN02 zum neuen Bezugsrahmen findet eine räumliche Interpolation auf Basis von Residuen statt. Dafür müssen mit statischen GNSS-Messungen Transformationsstützpunkte bereitgestellt werden.

Die Machbarkeit des gewählten Ansatzes soll in Zusammenarbeit mit einigen Kantonen im Rahmen von sogenannten «Proofs of Concept» überprüft werden. Diese Versuche fliessen dann in die definitiven Transformations- und Realisierungskonzepte ein.

Gleichzeitig zu den Machbarkeitsnachweisen sind alle Begleitmassnahmen – insbesondere die Kommunikations- und Finanzierungsmodelle – vorzubereiten, um die Einführung eines neuen offiziellen Höhensystems in der Schweiz innerhalb einer noch zu bestimmenden Frist zu ermöglichen. Insbesondere gilt es die Einführungsarbeiten mit anderen Projekten zu koordinieren, wie beispielsweise mit der Einführung des neuen Datenmodells der amtlichen Vermessung (DMAV).





Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
1.1. Geltungsbereich	7
1.2. Terminologie	7
1.2.1. Höhensystem	8
1.2.2. Höhenbezugsrahmen	8
1.2.3. Kinematisches Modell	8
1.2.4. Epoche	8
1.2.5. Offizielle Höhe	8
1.2.6. Quasigeoidmodell	8
1.2.7. Schweremodell	8
1.2.8. Modell der Lotabweichungen	9
2. Definition des neuen Systems	11
2.1. Grundsätze und Ziele	11
2.2. Grundlegende Definitionen	11
2.3. Produkte	13
2.4. Notationskonventionen	13
2.5. Zusammenfassung	14
3. Umsetzungskonzept	15
3.1. Berechnung der geopotentiellen Koten	15
3.1.1. Grunddaten und Netze	15
3.1.2. Berechnungsablauf	16
3.1.3. Datumsdefinition	17
3.2. Berechnung der Normalhöhen	18
3.3. Quasigeoidbestimmung	20
3.3.1. Messungen und Daten	20
3.3.2. Konzept und Methode	20
3.4. Umgang mit Restklaffen	21
3.5. Zusammenhang mit übergeordneten Systemen	21
3.6. Aktualisierung der Bezugsrahmen	22
4. Kinematisches Modell	23
4.1. Verwendung des kinematischen Modells	23
4.1.1. Anschluss an Fixpunkte	23
4.1.2. Verwendung eines GNSS-Positionierungsdienstes	23
4.1.3. Postprozessierte GNSS-Messungen	23
4.1.4. Verwendung eines PPP-Dienstes	23
4.2. Umsetzung des kinematischen Modells	23
4.2.1. Berechnung der Höhenänderung von Fixpunkten	24
4.2.2. Interpolationsmethode	26
5. Geodatenmodelle	27
5.1. Definition des neuen Bezugssystems in INTERLIS 2	28



5.2.	Anpassungen des Basismoduls des Bundes	29
5.3.	Empfehlungen für die Berücksichtigung der Kinematik	29
5.4.	Empfehlungen für das Geodatenmodell der amtlichen Vermessung DMAV	30
6.	Transformationskonzept der bestehenden Geodaten	31
6.1.	Transformationsalgorithmus	31
6.2.	Residualtransformation	32
6.2.1.	Interpolationsalgorithmus	33
6.3.	Umsetzung	33
6.3.1.	«Proofs of Concept» mit den Kantonen	33
7.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	35
	Bibliografie	37
	Abbildungsverzeichnis	39
	Tabellenverzeichnis	41
	Glossar	43



1. Einleitung

Mit der stetigen Steigerung der Genauigkeit der Höhenbestimmung mit RTK kommt diese Messtechnik für immer mehr Anwendungen in Frage. Verglichen mit der klassischen Höhenbestimmung mittels geometrischen oder trigonometrischen Nivellements ist die Höhenbestimmung mit RTK um einiges einfacher, schneller und effizienter.

Um diese Vorteile nutzen zu können, ist die dauerhafte Bestimmung eines neuen Höhenbezugssystems – dem CHVRS¹ – für die gesamte Schweiz erforderlich. Das System muss mit den übergeordneten internationalen Systemen kompatibel sein und der Höhenbestimmung mit GNSS angepasst sein.

Im Rahmen des Projekts «swiss height system»² wurde in einem ersten technischen Bericht verschiedene nationale, europäische und internationale Höhensysteme sowie der Stand der Wissenschaft betrachtet. Der vorliegende, zweite Bericht ist ein Entwurf der Definition des möglichen, zukünftigen Höhensystems.

Dieser Bericht dient einerseits als technische Arbeitsgrundlage für die weiteren Untersuchungen und andererseits als Grundlage für einen fundierten Entscheid zum weiteren Vorgehen. Es obliegt der Geschäftsleitung von swisstopo, die weiteren Untersuchungen freizugeben. Zur formellen Einführung eines neuen Höhensystems bedarf es eines Bundesratsentscheids auf Vorschlag von swisstopo.

Im vorliegenden Entwurf basiert das neue Höhensystem auf geopotentiellen Koten und Normalhöhen. Zudem wird – mit dem Ziel, einen möglichst langen Fortbestand des Höhenbezugsrahmens sicherzustellen – ein kinematisches Modell bestimmt, damit die in der Schweiz vorhandenen Höhenänderungen berücksichtigt werden können.

Der vorliegende Bericht enthält die grundlegenden Definitionen des neuen Höhensystems der Schweiz und des kinematischen Modells, das Umsetzungskonzept, einen Modellierungsvorschlag in INTERLIS³ sowie das Konzept für die Transformation der bestehenden Höhen in das neue Höhensystem.

1.1. Geltungsbereich

Gemäss Artikel 5 des Geoinformationsgesetzes [SR 510.62] erlässt der Bundesrat Vorschriften über die geodätischen Bezugssysteme und Bezugsrahmen für die Geobasisdaten des Bundesrechts. Die Geobasisdaten des Bundesrechts sind im Anhang 1 der Geoinformationsverordnung [SR 510.620] festgehalten. Beispiele für Geobasisdaten des Bundesrechts sind Luftbilder, das Landeskartenwerk oder die amtliche Vermessung. Für andere Geodaten kann der Bund keine Vorschriften zum Bezugssystem und zum Bezugsrahmen erlassen. Aufgrund der weiten Verbreitung der Geobasisdaten des Bundesrechts bedeutet die Einführung eines neuen Bezugssystems und Bezugsrahmens faktisch eine landesweite Einführung für fast sämtliche Geodaten.

1.2. Terminologie

Dieses Unterkapitel hat zum Ziel, die wichtigsten Begrifflichkeiten in Zusammenhang mit dem neuen Höhensystem einzuführen. Die Terminologie richtet sich nach folgenden Quellen und Standards:

- Terminologie der Bundesverwaltung⁴
- Wissenschaftlicher Usus
- ISO 19111:2019
- Interner Usus bei swisstopo

¹ *Swiss Vertical Reference System*

² Siehe <https://swiss-height-system.heig-vd.ch/>

³ In der Schweiz verwendete Geodaten-Modellierungssprache.

⁴ <https://www.termdat.bk.admin.ch>



1.2.1. Höhensystem

Ein Höhensystem ist die theoretische Definition eines Höhenbezugsrahmens. Das Höhensystem umfasst damit alle Konventionen die benötigt werden, um eine Höhe zu bestimmen. Gemäss der Terminologie der Bundesverwaltung sind *Höhenbezugssystem*, *Höhenreferenzsystem* und *Höhensystem* Synonyme. In der Norm ISO 19111:2019 wird der Begriff *Höhenbezugssystem* verwendet.

Das neue Höhensystem trägt den Namen *Swiss Vertical Reference System (CHVRS)*.

1.2.2. Höhenbezugsrahmen

Ein Höhenbezugsrahmen umfasst alle Resultate und Produkte, die nötig sind, um Höhen zu bestimmen. Es handelt sich also um die Umsetzung oder Realisierung eines Höhensystems. Gemäss der offiziellen Terminologie der Bundesverwaltung ist auch die Kurzform *Höhenrahmen* zulässig. In ISO 19111:2019 lautet der entsprechende Begriff *vertikaler Referenzrahmen*.

Ein *Bezugsrahmen* von CHVRS tragen den Namen *Swiss Vertical Reference Frame xxxx (CHVRFxxxx)*, wobei xxxx für das Jahr der Bestimmung oder der Realisierung steht.

1.2.3. Kinematisches Modell

Ein kinematisches Modell weist jedem Punkt der Oberfläche im betrachteten Gebiet eine Geschwindigkeit zu. Im Kontext der Höhenbestimmung handelt es sich um vertikale Geschwindigkeiten. Idealerweise ist das kinematische Modell ein Abbild der langsamen, tektonischen Prozesse. Dem kinematischen Modell liegt kein Kräftemodell zugrunde, weswegen der Begriff *kinematisch* verwendet wird und nicht der Begriff *dynamisch* gemäss ISO 19111:2019. Das kinematische Modell erlaubt es, Koordinaten von einer Epoche in eine andere Epoche zu transformieren. In ISO 19111:2019 wird diese Operation als *Punkt-Verschiebungsoperation* bezeichnet. Im wissenschaftlichen Kontext ist auch der Begriff *Intra-Frame-Deformationen* gebräuchlich.

1.2.4. Epoche

Die Epoche einer Koordinate oder einer Höhe ist der Zeitpunkt, auf der sich die Koordinate oder die Höhe bezieht. Die Epoche wird in Jahren mit einer oder zwei Nachkommazahlen angegeben und gemäss ISO 19111:2019 im gregorianischen Kalender.

Die Referenzeпоche des Höhenbezugsrahmens ist die Epoche, auf die sich die Höhen und die Produkte des entsprechenden Rahmens beziehen.

1.2.5. Offizielle Höhe

Als offizielle Höhe wird eine vertikale Koordinate im Bezugssystem und Bezugsrahmen gemäss Geoinformationsverordnung und zur Referenzeпоche des Bezugsrahmens bezeichnet.

1.2.6. Quasigeoidmodell

Ein Quasigeoidmodell ist die Referenzfläche bei der Bestimmung von Normalhöhen. Das zu CHVRFxxxx gehörige Quasigeoidmodell heisst *CH-QGeo-xxxx* und besteht aus einem statischen Anteil *CH-QGeo-Static-xxxx* und einen kinematischen Anteil *CH-QGeo-Kinematic-xxxx*.

1.2.7. Schweremodell

Das zu CHVRFxxxx zugehörige Modell der Schwere an der Oberfläche heisst *CH-SGrav-xxxx* und besteht aus einem statischen Anteil *CH-SGrav-Static-xxxx* und einem kinematischen Anteil *CH-SGrav-Kinematic-xxxx*.



1.2.8. Modell der Lotabweichungen

Das zu CHVRFxxxx zugehörige Modell der Lotabweichungen an der Oberfläche heisst *CH-SDeflec-xxxx* und besteht aus einem statischen Anteil *CH-SDeflec-Static-xxxx* und einem kinematischen Anteil *CH-SDeflec-Kinematic-xxxx*.





2. Definition des neuen Systems

2.1. Grundsätze und Ziele

Die Bestimmung des neuen Höhensystems richtet sich nach folgenden Grundsätzen und Zielen.

- **Internationale Kompatibilität** – Das neue Höhensystem ist mit den europäischen und internationalen Standards und Konventionen kompatibel; pragmatische Gründe und Schweizer Besonderheiten können dazu führen, dass von dieser Regel abgewichen wird.
- **Kompatibilität mit der Satellitengeodäsie** – Im Zeitalter der Satellitengeodäsie ist das neue Höhensystem der Schweiz mit den weltraumgeodätischen Verfahren und insbesondere mit GNSS kompatibel.
- **Allgemeine Einführung** – Das neue Höhensystem der Schweiz wird als neues offizielles System eingeführt. Somit wird es den Anforderungen der nationalen Vermessung, der amtlichen Vermessung, der Geoinformation und denjenigen weiterer Nutzerinnen und Nutzer gerecht.
- **Nachhaltigkeit** – Das neue Höhensystem hat kein Ablaufdatum und ist daher auf potentiell unbegrenzte Zeit gültig, mindestens jedoch während mehrerer Jahrzehnte.

2.2. Grundlegende Definitionen

Definition 1 – Das neue Höhensystem basiert auf geopotentiellen Koten (C), von denen Normalhöhen und orthometrische Höhen abgeleitet werden.

Die Mehrheit der Länder, die physikalisch klar definierte Höhensysteme verwenden, nutzen Normalhöhen oder orthometrische Höhen. Für Geodaten nach Bundesrecht muss eine Höhenart festgelegt werden. Für viele wissenschaftliche und technische Anwendungen muss zudem der Unterschied zwischen verschiedenen Höhenarten bekannt sein, insbesondere zwischen Normalhöhen und orthometrischen Höhen.

swisstopo muss daher in der Lage sein, beide Höhenarten – Normalhöhen und orthometrische Höhen – zu berechnen.

Die geopotentielle Kote C_P eines Punktes P entspricht der Differenz zwischen dem Potential der Referenzfläche W_0 und dem Erdschwerepotential W_P im Punkt, also $C_P = W_0 - W_P$.

Diese Definition entspricht der Definition des internationalen Höhenbezugssystems (vgl. Resolution Nr. 1 2015 der International Association of Geodesy).

Definition 2 – Das Referenzpotential W_0 wird als Teil des Referenzrahmens im Zuge der Realisierung festgelegt. Es wird mit der «no net translation»-Bedingung auf einer Auswahl von stabilen Punkten in der Schweiz berechnet und kann mit einem Offset versehen sein.

Die «no net translation»- Bedingung bedeutet, dass es keine Verschiebung des Referenzpunktnetzes gibt. Die Summe der Unterschiede zwischen den geopotentiellen Koten (oder Höhen) dieser Punkte in LHN95 (oder in einem anderen System wie EVRS) und denen im neuen Höhensystem beträgt entsprechend null. Vorzugsweise sind stabile Punkte für die Lagerung heranzuziehen. Der so erhaltene Wert kann zusätzlich mit einem Offset versehen werden, um zum Beispiel nationale Gegebenheiten zu berücksichtigen.



Definition 3 – Als offizielle Höhenart werden Normalhöhen verwendet.

Zur Berechnung von Normalhöhen aus geopotentiellen Koten ist keine Hypothese zur Massenverteilung der Erde nötig. Orthometrische Höhen hängen von der mittleren Schwere entlang der Lotlinie ab. Zur Berechnung der orthometrischen Höhen werden daher Modelle der Dichteverteilung in der Erdkruste benötigt. Unter der Annahme, dass diese Modelle in Zukunft sukzessive besser werden, kann auch die Genauigkeit der orthometrischen Höhen sukzessive verbessert werden. Die Normalhöhen sind davon hingegen nicht beeinflusst.

Für eine günstige Fehlerfortpflanzung und um die Langfristigkeit zu garantieren, ist es von Vorteil, ein System mit Normalhöhen zu definieren.

Definition 4 – Das Normalschwerefeld wird durch das offizielle Modell der International Association of Geodesy (IAG) definiert. Dies ist zurzeit das GRS80.

Die Normalhöhen hängen vom Referenzellipsoid und von dessen Normalschwere ab. Gemäss der Resolution Nr. 1 1979 der IAG wird das GRS80 verwendet.

Es ist zu berücksichtigen, dass das Referenzellipsoid für die Lage das Bessel-Ellipsoid ist (gemäss Definition des Bezugssystems CH1903+). In der Praxis ist es oft nicht möglich, gleichzeitig zwei verschiedene Ellipsoide zu verwenden. Normalhöhen können mit Hilfe eines Quasigeoidmodells aus ellipsoidischen Höhen berechnet werden, in Analogie zur Berechnung orthometrischer Höhen mittels Geoidmodell. Es ist in der Praxis daher nicht erforderlich, das Normalschwerefeld und das ihm zugrundeliegende Ellipsoid explizit verfügbar zu haben. Es genügt, das Quasigeoid in Form der Höhenanomalien (analog zu Geoidundulationen) zur Verfügung zu stellen. Das wird im Bezugssystem CH1903+ und entsprechend bezogen auf das Bessel-Ellipsoid erfolgen.

Definition 5 – Höhen, geopotentielle Koten und Messungen liegen im «Mean-Tide»-Gezeitemsystem vor oder werden entsprechend reduziert. Das Schwerefeldmodell liegt im «Zero-Tide»-Gezeitemsystem vor.

Das Gezeitemsystem definiert, wie die Anziehungskräfte der Sonne, des Mondes und der anderen Planeten in den Reduktionen der Messungen und in den Resultaten berücksichtigt werden. Im Wesentlichen gibt es drei Ansätze:

- *Tide-Free (oder non-tidal) – Bei einer sogenannten «Tide-Free»-Grösse werden alle Gezeiteneinflüsse rechnerisch entfernt, so als ob Mond, Sonne und andere Planeten nicht existierten. Dieses System kann niemals in der Realität beobachtet werden.*
- *Mean-Tide – Eine «Mean-Tide»-Grösse wird um die periodischen Effekte reduziert, enthält aber den permanenten Effekt von Sonne und Mond. Für die Erdkruste handelt es sich dabei um die mittlere Kruste. «Mean-Tide» ist gut geeignet, um die Bewegungen der Gewässer und den Gang der Uhren zu beschreiben. Dieses System bereitet jedoch Probleme bei der Bestimmung des Geoids, da die Auswirkungen der Massen ausserhalb des Erdkörpers noch enthalten sind.*
- *Zero-Tide – Eine sogenannte «Zero-Tide»-Grösse enthält nur die indirekten Effekte, die durch die Verformung der Erde durch Gezeiten entstehen, während alle direkten Effekte (direkte Anziehung von Sonne und Mond) entfernt wurden. Diese Zwischenlösung löst die Probleme bei der Bestimmung des Geoids.*

Gemäss der IAG-Resolution Nr. 16 1983 werden für die Koordinaten das «Mean-Tide»-Gezeitemsystem und für das Potentialfeld das «Zero-Tide»-Gezeitemsystem verwendet.

In der Vermessungspraxis kann das Gezeitemsystem meistens vernachlässigt werden.



Definition 6 – Das geometrische Bezugssystem für das neue Höhensystem ist CHTRS. Das Potential W_P eines Punktes ist eine Funktion seiner Koordinaten \mathbf{X}_P .

Entsprechend ist $W_P = W(\mathbf{X}_P)$, wobei \mathbf{X}_P in CHTRS vorliegt. CHTRS ist ein geozentrisches terrestrisches Bezugssystem, das mit ETRS89 kompatibel ist und auf der Erdkruste in der Schweiz gelagert ist.

Definition 7 – Das neue Höhensystem ist kinematisch.

Die relativen vertikalen Verschiebungen stabiler Punkte erreichen in der Schweiz Werte von rund 1 bis 2 mm pro Jahr. Damit der Fortbestand des Bezugsrahmens sichergestellt werden kann, umfasst das Höhensystem eine kinematische Komponente. Die Höhe variiert also mit der Zeit. Das kinematische Modell ermöglicht es, eine Höhe von einer Epoche in eine andere Epoche zu transformieren.

2.3. Produkte

Definition 8 – Der Bezugsrahmen umfasst die folgenden Produkte:

- Die offiziellen Höhen der Punkte des Höhenetzes mit einem statischen und einem kinematischen Teil;
- Ein Modell des Quasigeoids mit einem statischen und einem kinematischen Teil;
- Ein Modell der Oberflächenschwere mit einem statischen und einem kinematischen Teil;
- Ein Modell der Lotabweichung an der Oberfläche mit einem statischen und einem kinematischen Teil.

Die kinematischen Teile können den Wert null haben.

Definition 9 – Diese Produkte sind untereinander konsistent. Das bedeutet, dass sie vom gleichen Bezugsrahmen und vom gleichen Schwerefeldmodell abgeleitet werden.

Definition 10 – Die Produkte werden im offiziellen Schweizer Bezugssystem und -rahmen bereitgestellt sowie im europäischen System (ETRS89).

2.4. Notationskonventionen

Definition 11 – Ab Einführung des neuen Höhensystems muss bei jeder CHVRFxxxx Höhe zwingend der Bezugsrahmen CHVRFxxxx angegeben werden. Zum Beispiel:

1239.943 m CHVRF2030

Diese Angabe kann entweder direkt neben der Höhe stehen – oder allgemein festgehalten werden, z. B. in der Beschriftung eines Plans, am Rande einer Karte oder als Attribut in den Metadaten eines Datensatzes.

Definition 12 – Wenn sich die Höhe auf eine andere Epoche als die Referenzepoche des Referenzrahmens bezieht, ist die Angabe der Epoche zwingend. In den anderen Fällen ist die Angabe der Epoche empfohlen. Die Notationskonvention ist folgende:

1239.943 m CHVRF2030 2030.0



2.5. Zusammenfassung

Die folgende Tabelle fasst die im vorliegenden Dokument beschriebenen grundlegenden Definitionen des neuen Höhensystems zusammen.

Tabelle 2-1: Zusammenfassung der Definitionen des neuen Höhensystems CHVRS.

	CHVRS	Bezug im Dokument
Ursprung/Bezug	W_0 wird bei der Realisierung festgelegt	Definition 2
Höhenart	Normalhöhe	Definition 3
Normalschwerefeld	GRS80	Definition 4
Gezeitensystem	Mean-tide	Definition 5
	CHVRFxxxx	Bezug im Dokument
Realisierung des Ursprungs	«no net translation» auf mehreren Referenzpunkten	Definition 2
Kinematik	Kinematisches Modell	Definition 7



3. Umsetzungskonzept

Dieses Kapitel beschreibt das Umsetzungskonzept des Höhensystems CHVRS, wie es im vorhergehenden Kapitel beschrieben ist. Die Umsetzung umfasst zwei Hauptaspekte: Die Berechnung der geopotentiellen Knoten (inklusive zeitliche Veränderungen) für die Höhenfixpunkte sowie die Bestimmung des Geoids.

3.1. Berechnung der geopotentiellen Knoten

Die Berechnung der geopotentiellen Knoten für das neue Höhensystem basiert zum grossen Teil auf Methoden und Software, die für die Realisierung von LHN95 entwickelt wurden. LHN95 hat viele gemeinsame Eigenschaften mit dem neuen Höhensystem. Die Methoden und Berechnungsabläufe haben sich bewährt, und die Software ist vorhanden. Dies ist von immenssem Vorteil, weil sich dadurch die langwierige und mit Unsicherheiten behaftete Entwicklungsarbeit stark reduzieren lässt. Die detaillierte Beschreibung der Methoden und Berechnungsabläufe ist in den folgenden Abschnitten und in den referenzierten Publikationen zu finden.

3.1.1. Grunddaten und Netze

Für die Realisierung des neuen Höhensystems werden im Wesentlichen die **Nivellementmessungen** des Landeshöhennetzes (LHN) verwendet. Wie bei der Realisierung von LHN95 werden die Daten um einige kantonale Linien ergänzt, die mit denselben Qualitätsanforderungen gemessen wurden wie die Linien des LHN. Der Datensatz wurde seit der Berechnung des LHN95 fortlaufend ergänzt und beinhaltet die neusten Messungen im LHN.

Für die Berechnung der Potentialdifferenzen werden **Schweremessungen** benötigt. Auch für die Schweremessungen existieren Bestandsdaten, die herangezogen werden können. Zwei Datenquellen sind in diesem Kontext relevant:

1. Die erste Datenquelle sind die Schweremessungen entlang der Landesnivellementlinien. Seit 1974 werden diese Messungen regelmässig durchgeführt. Bis Ende 2007 kam hierfür ein LaCoste&Romberg Gravimeter zum Einsatz. Seither werden die Messungen mit einem Scintrex CG-5 bzw. CG-6 durchgeführt. Es existieren aber auch ältere Messungen, die unter der Leitung der Schweizerischen Geodätischen Kommission zwischen 1953 und 1957 erhoben wurden. Damals kamen Worden-Gravimeter zum Einsatz.
2. Die zweite Quelle ist der Datensatz der gravimetrischen Landesaufnahme der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission. Dieser Datensatz umfasst ca. 30'000 Messungen. Dieser Datensatz erlaubt die Interpolation von Schwerewerten an beliebigen Punkten der Oberfläche.

Diese beiden Schweredatensätze wurden seit der Realisierung von LHN95 ebenfalls laufend ergänzt und beinhalten die neusten Messungen, die somit ebenfalls in die Realisierung des neuen Höhensystems fliessen werden.



3.1.2. Berechnungsablauf

Der Berechnungsablauf für die Berechnung von geopotentiellen Koten auf den Hauptpunkten von LHN95 findet sich in Schlatter (2007). Zusammengefasst sind die Berechnungsschritte wie folgt:

1. Die beobachteten Höhenunterschiede werden unter Zuhilfenahme der Schweremessungen numerisch integriert, um Potentialdifferenzen zu berechnen. Das geschieht faszikelweise, wobei ein Faszikel eine Nivellementkampagne abbildet.
2. Die Messungen werden auf die Hauptpunkte reduziert. Die Hauptpunkte sind die Knotenpunkte (Verbindungen zwischen den Faszikeln sowie die Knoten zwischen den Schlaufen) sowie weitere, manuell ausgewählte Punkte, die als besonders stabil angenommen werden. Alle zusätzlichen Zwischenpunkte werden eliminiert.
3. Die Berechnung der Schleifenschlussfehler dient der Qualitätskontrolle (Überprüfung der korrekten und vollständigen Berechnung).
4. Die kinematische Ausgleichung ist das Herzstück des Berechnungsablaufs. Die Resultate dieses Berechnungsschritts sind die ausgeglichenen, geopotentiellen Koten sowie deren Geschwindigkeiten.

Grundsätzlich wird für die Berechnung der geopotentiellen Koten im neuen Höhensystem auf denselben Ablauf und dieselbe Softwarelösung gesetzt.

Die numerische Integration erfolgt abschnittsweise nach folgender Formel:

$$\Delta C = \sum_i g_i \delta n_i \quad (3.1)$$

Wobei ΔC die Potentialdifferenz des Abschnittes ist, δn_i der nivellierte Höhenunterschied und g_i die interpolierte Schwere für diesen Höhenunterschied sind. Die Reduktion auf die Hauptpunkte wird ebenfalls beibehalten. Es besteht aber keine Notwendigkeit, dieselben Hauptpunkte wie bei der Berechnung von LHN95 auszuwählen. Die Wahl der Hauptpunkte für die Berechnung des neuen Höhensystems kann neu erfolgen und die neusten Messungen berücksichtigen, wobei grosse Anpassungen weder nötig sein dürften noch erstrebenswert sind. Die kinematische Ausgleichung, das Kernstück der Berechnung, erfolgt nach dem folgenden Modell:

$$\Delta C_{i,j}^k + \epsilon_{i,j}^k = C_j^0 - C_i^0 + \Delta t (\dot{C}_j - \dot{C}_i) \quad (3.2)$$

Dabei ist $\Delta C_{i,j}^k$ der beobachtete Potentialunterschied zwischen den Punkten i und j zur Messepoche mit dem Index k , C_j^0 und C_i^0 sind die geopotentiellen Koten der Punkte i und j zur Referenzeпоche t_0 , Δt ist der Zeitunterschied zwischen der Messepoche und der Referenzeпоche ($\Delta t = t_k - t_0$) und \dot{C}_i und \dot{C}_j sind die zeitlichen Ableitungen der geopotentiellen Koten.

Das kinematische Modell für die Berechnung der geopotentiellen Koten ist nicht identisch mit dem kinematischen Modell des Bezugsrahmens. Im ersteren haben nur die Höhenfixpunkte eine Vertikalgeschwindigkeit. Die Referenzeпоche der Berechnung der geopotentiellen Koten ist nicht zwangsläufig identisch mit der Referenzeпоche des Bezugsrahmens und bei der Berechnung der geopotentiellen Koten gibt es keine Bedingungen zur Konsistenz mit vorangehenden Modellen.



3.1.3. Datumsdefinition

Die beiden, im Rahmen der neuen Landesvermessung 1995 entwickelten Höhenbezugsrahmen CHVRFyy⁵ und LHN95⁶ wurden damals wie folgt definiert:

Tabelle 3-1: Definition der zwei Höhenbezugsrahmen der neuen Landesvermessung 1995, CHVRFyy und LHN95.

Lagebezugssystem	CHTRS95	CH1903+
Höhenart	Geopotentielle Koten	Orthometrische Höhen
Ausgangspunkt	Fundamentalpunkt Z ₀ in Zimmerwald	Fundamentalpunkt Z ₀ in Zimmerwald
Ausgangshöhe	C ₀ = 880.3459 gpu ⁷	H ₀ = 897.9063 m
Lagerung Höhe		
Herkunft	UELN-Lösung 1973/1986	So gewählt, dass H _{RPN} = 373.600 m
Zugehöriger Höhenbezugsrahmen	CHVRFyy	LHN95
Lagerung Geschwindigkeiten		
$\dot{C} = 0$ auf folgendem Punkt	Aarburg	Aarburg

Beim neuen Höhensystem wird von dieser Definition abgewichen:

- Einerseits entfällt die Systemdualität. Es gibt in Zukunft nur noch ein Schweizer Höhensystem. Bei Bedarf werden Transformationsparameter zu anderen Höhensystemen berechnet und publiziert.
- Andererseits wird das System nicht mehr auf einem einzelnen Punkt gelagert, sondern mit einer «no net translation»-Bedingung auf einer Auswahl von Punkten. Die «no net translation»-Bedingung wird vorzugsweise auf die Höhen angewendet – und nicht auf die geopotentiellen Koten, da die Höhenstabilität der relevante Aspekt ist. Die Auswahl der Punkte wird in der Umsetzungsphase vorgenommen, wobei auf die Langzeitstabilität geachtet wird. Mit dieser Anpassung ist die Realisierung des Höhensystems nicht mehr von einem einzelnen Höhenfixpunkt abhängig und gewinnt sowohl an Flexibilität als auch an Robustheit.
- Bei der ersten Realisierung wird das Höhensystem mittels einer geeigneten Punkteauswahl auf EVRS gelagert, bei weiteren Realisierungen auf den letzten realisierten Höhenbezugsrahmen.

Die Formel für die «no net translation»-Bedingung lautet:

$$0 = \sum_i (H_i^* - H_i^{ref}) p_i \quad (3.3)$$

⁵ Nicht zu verwechseln mit CHVRFxxxx, einem Rahmen des neuen Höhensystems CHVRS.

⁶ In diesem Bericht wird LHN95 teilweise als Höhensystem bezeichnet, was eigentlich nicht korrekt ist. Im Kontext der neuen Landesvermessung 1995 wurden zwei Höhensysteme eingeführt, ein global gelagertes und ein lokal gelagertes. Die Systeme wurden aber nicht benannt. Die zugehörigen Höhenbezugsrahmen wurden CHVRFyy und LHN95 genannt.

⁷ Die Einheit der Geopotentialdimension ist identisch mit der eines Potentials. In der Geodäsie wird die Geopotentialdimension jedoch auch in einer speziellen Einheit, der Geopotentialeinheit [gpu], angegeben, die wie folgt definiert ist: 1 [gpu] = 10 [m² · s⁻²]



Wobei H_i^* die Normalhöhe des i -ten Höhenfixpunktes ist, der in die Datumsdefinition einfließt und H_i^{ref} ist die Referenzhöhe desselben Punktes für die Lagerung. p_i ist ein optionales Gewicht (standardmässig 1). Die Referenzhöhe kann, muss aber nicht eine Normalhöhe sein.

3.2. Berechnung der Normalhöhen

Die Berechnung der Normalhöhen aus den ausgeglichenen geopotentiellen Koten erfolgt mit:

$$H^*(x_P) = \frac{C(x_P)}{\bar{\gamma}} \quad (3.4)$$

Wobei $H^*(x_P)$ und $C(x_P)$ die Normalhöhe und die geopotentielle Kote des Punktes P mit Koordinate x_P repräsentieren, und $\bar{\gamma}$ die mittlere (GRS80) Normalschwere entlang der Normalotlinie.

Als numerisches Beispiel werden die folgenden Daten verwendet:

$$C(x_P) = 1037.6342 \text{ gpu} \\ \varphi = 46.929883^\circ$$

Die Berechnung der Normalhöhe erfolgt nach folgenden Schritten:

1. Berechnung der Normalschwere auf dem Ellipsoid (Moritz, 1980):

$$\gamma_0 = \gamma_E \cdot \frac{1 + k \cdot \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (3.5)$$

9.807944908 m · s⁻²

Mit γ_E : Normalschwere am Äquator; e^2 : erste numerische Exzentrizität im Quadrat; k : Konstante der Schwereformel, ausgeschrieben:

$$k = \frac{b \cdot \gamma_P}{a \cdot \gamma_E} - 1 \quad (3.6)$$

Mit γ_P : Normalschwere am Pol.

2. Berechnung der mittlere Normalschwere $\bar{\gamma}$ (Heiskanen & Moritz, 1967):

$$\bar{\gamma} = \gamma_0 \left[1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H^*}{a} + \frac{H^{*2}}{a^2} \right] \quad (3.7)$$

Dabei ist φ die ellipsoidische Breite in einem globalen Bezugssystem; a ist die grosse Halbachse des Ellipsoids; f ist die Abplattung und m das Verhältnis zwischen gravitationeller und zentrifugaler Kraft am Äquator.

$$m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM} \quad (3.8)$$

Mit ω : Rotationsgeschwindigkeit der Erde; b : kleine Halbachse des Ellipsoids; GM : geozentrische Gravitationskonstante.



Die mittlere Normalschwere kann dann iterativ berechnet werden. Für die erste Iteration wird der Wert von γ_0 als Näherungswert für $\bar{\gamma}$ verwendet.

Iteration 0:	$\bar{\gamma} = \gamma_0 = 9.807944908$	$H^* = 1057.95272$
Iteration 1:	$\bar{\gamma} = 9.806313071$	$H^* = 1058.12877$
Iteration 2:	$\bar{\gamma} = 9.806312800$	$H^* = 1058.12880$
Iteration 3:	$\bar{\gamma} = 9.806312800$	$H^* = 1058.12880$

Folgende GRS80 Konstanten und abgeleiteten Grössen sind zu verwenden:

$$a = 6378137.0000 \text{ m}$$

$$b = 6356752.3141 \text{ m}$$

$$f = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.257222101} = 0.00335281068118$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 0.00669438002290$$

$$\omega = 7.292115 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$GM = 398600.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\gamma_E = 9.7803267715 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\gamma_P = 9.8321863685 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM} = 0.00344978600308$$

$$k = \frac{b \cdot \gamma_P}{a \cdot \gamma_E} - 1 = 0.001931851353$$



3.3. Quasigeoidbestimmung

Entsprechend der Wahl der Normalhöhen entspricht das Quasigeoid der Bezugsfläche zur Bestimmung der Höhe. Das Quasigeoid kann direkt oder indirekt über das Geoid bestimmt werden, indem die Differenz zwischen dem Geoid und dem Quasigeoid addiert wird. Der derzeitige Ansatz besteht darin, den Weg über das Geoidmodell zu gehen.

3.3.1. Messungen und Daten

Die messbaren Grössen des Schwerefeldes sind die Lotabweichung, die Schwere, der Potentialunterschied (aus Nivellement und Schwere), sowie Höhenanomalien (üblicherweise in Form von GNSS-Nivellement-Punkten). Es sind in der Schweiz und im grenznahen Ausland genügend Messungen für eine gute Geoidbestimmung vorhanden, einzelne Neumessungen sind jedoch wünschenswert. Insbesondere sollen einzelne alte Lotabweichungsmessungen ersetzt und somit eventuelle systematische Fehler eliminiert werden. Falls möglich, sollen auch noch einige neue GNSS-Nivellement-Punkte bestimmt werden. Diese Punkte liegen bisher fast ausschliesslich entlang der Linien des Landesnivellements. Für eine bessere räumliche Verteilung müssten kantonale Nivellementlinien aus den Rohdaten aufbereitet werden.

Gezielte Kampagnen zum Füllen von Datenlücken im Gravimetrie-Datensatz werden nicht in Betracht gezogen, da dies ziemlich aufwändig ist. Diese Datenlücken bestehen natürlich in erster Linie im Hochgebirge. Grössere Datenlücken dieser Art werden am besten durch einige Lotabweichungsmessungen überbrückt.

Als Referenzmodell für ein lokales Geoidmodell muss ein globales Schwerefeldmodell verwendet werden. Für ein Land wie die Schweiz steht dabei die Verwendung eines hochauflösenden, kombinierten (Satellit und terrestrisch) Modells im Vordergrund.

Für die Berechnung eines präzisen nationalen Geoidmodells muss zumindest ein hochauflösendes digitales Höhenmodell verwendet werden. Eine Auflösung von 10 Metern ist dabei genügend; Für die Schwere-reduktion und die Reduktion der Lotabweichungen ist aber auch die Verwendung eines 2-Meter-Modells sinnvoll.

Ein Bathymetriemodell der grössten Schweizer Seen ist ebenfalls nötig. Dies verbessert in erster Linie die Reduktion der Messungen direkt am Seeufer, ist aber auch für die Interpolation des Geoidmodells über den Seen nützlich, da dort in der Regel keine Messdaten vorhanden sind.

Inwiefern weitere Dichtemodelle für ein nationales Geoidmodell nötig sind, muss noch abgeklärt werden. In erster Linie steht dabei ein Modell der Gletscher (GLAMOS), aber auch die Modellierung der Quartärtäler (GeoQuat) oder ein Modell der Oberflächendichten (SAPHYR).

3.3.2. Konzept und Methode

Für Transformationen zwischen Höhensystemen muss unabhängig von der gewählten Art des Höhensystems die Geoid-/Quasigeoid-Separation modelliert werden. Aus diesem Grund ist es auch möglich, entweder ein Geoidmodell oder ein Quasigeoidmodell zu berechnen und dieses anschliessend zu transformieren.

Eine statistisch signifikante Bestimmung der zeitlichen Veränderung des Geoids (kinematischer Ansatz) war bisher nicht möglich. Das Geoidmodell wird also vorläufig einen kinematischen Teil von Null haben.

Für eine optimale Realisierung des Höhensystems durch ein Geoidmodell muss die an den Benutzer abzugebende Lösung auf die GNSS-Nivellement-Punkte gezwängt werden (hybride Lösung; Marti, 1997, S. 19). Ansonsten könnten systematische Unterschiede entstehen – je nachdem, ob eine Höhe durch GNSS (plus Geoid) oder Nivellement (korrigiert um Gravimetrie) bestimmt wurde.

Der erste Schritt der Geoidbestimmung besteht in der Reduktion der Beobachtungen um den Einfluss der bekannten Massenmodelle. Klassischerweise handelt es sich dabei um ein globales Schwerefeldmodell und den Einfluss des digitalen Geländemodells (inkl. Bathymetrie). Weitere bekannte Dichtemodelle



könnten ebenfalls berücksichtigt werden, sind aber meist weniger wichtig. Ziel dieses Schrittes ist, ein relativ glattes, leicht zu interpolierendes Restfeld zu erhalten.

Dieses Restfeld wird in einem zweiten Schritt auf eine geeignete Weise interpoliert. Dabei werden die originalen Beobachtungen (Schweren und Lotabweichungen) in Höhenanomalien umgerechnet. Dabei müssen die bekannten Eigenschaften des Schwerfeldes als harmonisches Kraftfeld berücksichtigt werden. In der Schweiz wurde dazu für die offiziellen Geoidmodelle bisher ein Kollokationsansatz nach kleinsten Quadraten verwendet. Andere Methoden sind jedoch auch möglich. Ein Nachteil der Kollokationsmethode ist, dass eine Matrix mit der Dimension «Anzahl Beobachtungen» invertiert werden muss. Dies schränkt deren Einsatz auf relativ kleine Gebiete ein.

Der dritte Schritt der Geoidbestimmung besteht darin, dass die zuvor reduzierten Einflüsse der Massenmodelle wieder hinzugefügt werden – dieses Mal jedoch in Form von Höhenanomalien oder Geoidhöhen. Die Berechnung dieses dritten Schrittes erfolgt auf Punkten in einem regelmässigen Gitter. Das so generierte Raster wird dann an die Endnutzerinnen und Endnutzer abgegeben.

Da das Quasigeoid einen raueren Verlauf zeigt als das Geoid, kann man schon jetzt sagen, dass die Gitterauflösung eines neuen Geoidmodells höher sein wird als beim bisherigen Modell CHGeo2004 (1 km, resp. 30 Bogensekunden).

3.4. Umgang mit Restklaffen

Bei der Realisierung des Höhensystems entstehen unweigerlich Restklaffen. Nivellement-Messungen sind typischerweise mit langwelligen, systematischen Fehlern und GNSS-Messungen mit kurzwelligen, stochastischen Fehlern behaftet.

Im Rahmen der Realisierung ist zu untersuchen, ob es möglich ist, eine saubere spektrale Aufteilung der Restklaffen vorzunehmen, um dann die verschiedenen Anteile der jeweiligen Quelle zuzurechnen. Bei der Realisierung von LHN95 hat sich dies als nicht umsetzbar herausgestellt, weswegen die Restklaffen in das Geoid integriert wurden (durch eine gezwängte Lagerung des Geoids auf GNSS-Nivellement-Messungen).

3.5. Zusammenhang mit übergeordneten Systemen

Die präzise Definition des Höhensystems ist eine der Voraussetzungen für eine gute Kompatibilität mit den übergeordneten Systemen. Der Übergang von Rahmen übergeordneter Systeme wie EVRS und IHRS zu den Rahmen Schweizer Systeme wird durch Transformationen gewährleistet. Im Idealfall bestehen diese Transformationen nur aus einem ΔW_0 (oder ΔH). Es ist jedoch wahrscheinlich, dass Unzulänglichkeiten eine komplexere Transformation erfordern, z. B. eine interpolierbare Transformationsfläche oder ein Geoidmodell, das mit dem übergeordneten System kompatibel ist.

Es folgt:

$$H_{\gamma VRF} = \frac{H_{CHVRF}^* \bar{\gamma} + \Delta W_0}{g_0} \quad (3.9)$$

$H_{\gamma VRF}$ ist eine Höhe im Zielhöhenystem, H_{CHVRF}^* ist eine Höhe im CHVRS, $\bar{\gamma}$ ist die mittlere Normalschwere entlang der Ellipsoidennormale und g_0 ist die Beschleunigung, die der Höhenart des Zielhöhenystems entspricht.

Bei der Veröffentlichung eines neuen übergeordneten Bezugsrahmens und bei nachweislichem Bedarf stellt swisstopo den Nutzerinnen und Nutzern eine geeignete Transformation dieses Rahmens zum geltenden Schweizer Rahmen zur Verfügung.



3.6. Aktualisierung der Bezugsrahmen

Das Höhensystem ist so definiert, dass die Bezugsrahmen eine möglichst lange Lebensdauer haben. Die Erfahrung vom Übergang von LV03 zu LV95 zeigte, dass eine Änderung des Bezugsrahmens mit hohen Kosten verbunden ist. Das führt zwangsläufig zu einem ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis, ausser, die Neuerung bringt signifikante Vorteile. Der aktuell geltende Höhenbezugsrahmen ist LN02 aus dem Jahr 1902. Er ist also über 120 Jahre alt. Möglicherweise hat der neue Höhenbezugsrahmen eine ähnliche Lebensdauer.

So oder so wird die Konsistenz zwischen den Produkten beibehalten, damit nicht gegen die Definition verstossen wird. Zudem obliegt die Entscheidung über die Einführung eines neuen Höhenbezugsrahmens in jedem Fall swisstopo. Es sind keine Automatismen vorgesehen. Hier einige Beispielsituationen, die zur Realisierung eines neuen Bezugsrahmens führen können:

- inakzeptable Verschlechterung des geltenden Bezugsrahmens;
- neue swisstopo-interne oder swisstopo-externe Bedürfnisse;
- Einführung neuer Technologien;
- gesetzlicher Auftrag.



4. Kinematisches Modell

4.1. Verwendung des kinematischen Modells

Die Verwendung des kinematischen Modells unterscheidet sich je nach Anwendungsfall. Die folgenden Abschnitte erläutern die möglichen Fälle.

4.1.1. Anschluss an Fixpunkte

In der Nähe der Nivellementlinien haben die Nutzerinnen und Nutzer mittels Fixpunkten Zugang zum Höhenbezugsrahmen. Für verhältnismässig kurze Nivellierwege, das heisst, weniger als ein paar Kilometer, kann das kinematische Modell vernachlässigt werden; Die Nutzerinnen und Nutzer arbeiten nur mit Koordinaten zur Referenzepoche. Die Messepoche muss dann nicht berücksichtigt werden.

4.1.2. Verwendung eines GNSS-Positionierungsdienstes

Die GNSS-Positionierungsdienste (z.B. swipos) werden mehrere «Mountpoints»⁸ zur Verfügung stellen und überlassen damit den Nutzerinnen und Nutzern die Wahl der Epoche, auf die sich die Koordinate bezieht. Der Standardfall ist die Verwendung von Koordinaten zur Referenzepoche des Bezugsrahmens. Das kinematische Modell wird folglich vom Positionierungsdienst angebracht. Die Nutzerinnen und Nutzer müssen sich nicht um das kinematische Modell kümmern.

4.1.3. Postprozessierte GNSS-Messungen

Für eine präzise Auswertung muss das Post-Processing der GNSS-Messungen zur Messepoche erfolgen. Die Nutzerin oder der Nutzer muss die Daten der AGNES-Station zur Messepoche benutzen. Danach müssen die Ergebnisse in die Referenzepoche des Bezugsrahmens überführt werden. Diese Transformation wird mithilfe eines Webdiensts durchgeführt. Der Webdienst benötigt folgende Eingaben:

- Ost- und Nordkoordinate (LV95) und Höhe des Punktes
- Epoche der Höhe vor der Transformation
- Gewünschte Epoche nach der Transformation (Standardwert: Referenzepoche des Referenzrahmens)

Der Dienst berechnet die Höhe in der gewünschten Epoche, im vorliegenden Fall die Epoche des Bezugsrahmens.

4.1.4. Verwendung eines PPP-Dienstes

Die Nutzerinnen und Nutzer von PPP-Diensten (oder anderer globaler Dienste) erhalten geozentrische Koordinaten in einem globalen oder kontinentalen System, beispielsweise ITRS oder ETRS. Die Koordinaten müssen also zuerst in den Schweizer Bezugsrahmen transformiert werden (mithilfe eines Web-Dienstes wie REFFRAME), bevor sie in die richtige Epoche transformiert werden, wie im Fall der postprozessierten GNSS-Messungen.

4.2. Umsetzung des kinematischen Modells

Das kinematische Modell wird folgende Eigenschaften aufweisen:

⁸ Virtuelle Adresse eines Positionierungsdienstes, die die Übertragung verschiedener Arten von GNSS-Nachrichten und -Daten ermöglicht.



- Gute Abbildung der vertikalen Bewegungen der Erdkruste, ohne lokale Effekte. Unter «lokalen Effekte» versteht man die Phänomene, die sich auf einen Hang bzw. ein Rutsch- oder ein Senkungsgebiet beschränken. Die bekannten Senkungsgebiete, wie beispielsweise die Linthebene (Kantone Glarus, St. Gallen, Schwyz) oder die Region um Le Locle (Kanton Neuchâtel), und solche, die nicht auf tektonische Phänomene zurückzuführen sind, müssen vom Modell ausgeschlossen werden.
- Das kinematische Modell liefert für jeden in der Schweiz liegenden Punkt die vertikale Verschiebung, die dieser Punkt zwischen t_1 und t_2 erfahren hat:

$$\Delta h = f(E, N, t_1, t_2) \quad (4.1)$$

$$h(t = t_2) = h(t = t_1) + \Delta h \quad (4.2)$$

- In der Regel ist das Modell im mathematischen Sinn stetig, sowohl in räumlicher als in zeitlicher Hinsicht; es enthält also keine Sprünge. Von diesem Grundsatz kann abgewichen werden, falls die Höhen unetwige Änderungen erfahren, zum Beispiel durch ein Erdbeben.
- Die erste Ableitung ist nicht zwingend stetig.
- Das kinematische Modell repräsentiert jederzeit die beste bekannte Annäherung des Geschwindigkeitsfelds der Erdkruste in der Schweiz. Das Modell kann aktualisiert werden, ohne die Konsistenz mit den vorher publizierten Modellen gewährleisten zu müssen. Es kann folglich nicht garantiert werden, dass Höhen beliebig zwischen Epochen transformiert werden können, ohne eine Konsistenzeinbusse zu riskieren. Hat das kinematische Modell in der Zwischenzeit geändert, kann die Konsistenz verloren gehen.
- Sollte diese Voraussetzung für einen spezifischen Verwendungsfall inakzeptabel sein, müssen die betreffenden Höhen in der Messepoche abgelegt werden. Es kann tatsächlich sein, dass eine Anwendung Transformationen zwischen mehreren Epochen erfordert, die dauerhaft konsistent sind.

4.2.1. Berechnung der Höhenänderung von Fixpunkten

Die relativen Höhenänderungen einer Auswahl von Nivellement-Punkten wurden bereits bei der Realisierung von LHN95 berechnet. Diese vertikalen Bewegungen konnten durch wiederholte Messungen berechnet werden. Bei einem grossen Teil des Landeshöhennetzes liegen bereits zwei vollständige Wiederholungsmessungen vor. Abbildung 4-1 zeigt den Stand der wiederholten Messungen und Abbildung 4-2 die vertikalen Verschiebungen. Die Abbildung 4-1 zeigt das Ergebnis. Das kinematische Modell des neuen Höhensystems wird hauptsächlich auf dieser Methode basieren, da sie momentan die präzisesten und zuverlässigsten Ergebnisse liefert. Eine weitere wichtige Informationsquelle über die vertikalen Verschiebungen sind die permanenten GNSS-Stationen des AGNES-Netzes.

Je nach Bedarf und künftiger Entwicklung der Technologien können weitere Methoden diese Messungen ergänzen, insbesondere die GNSS-Messungen und die Radarinterferometrie (InSAR).

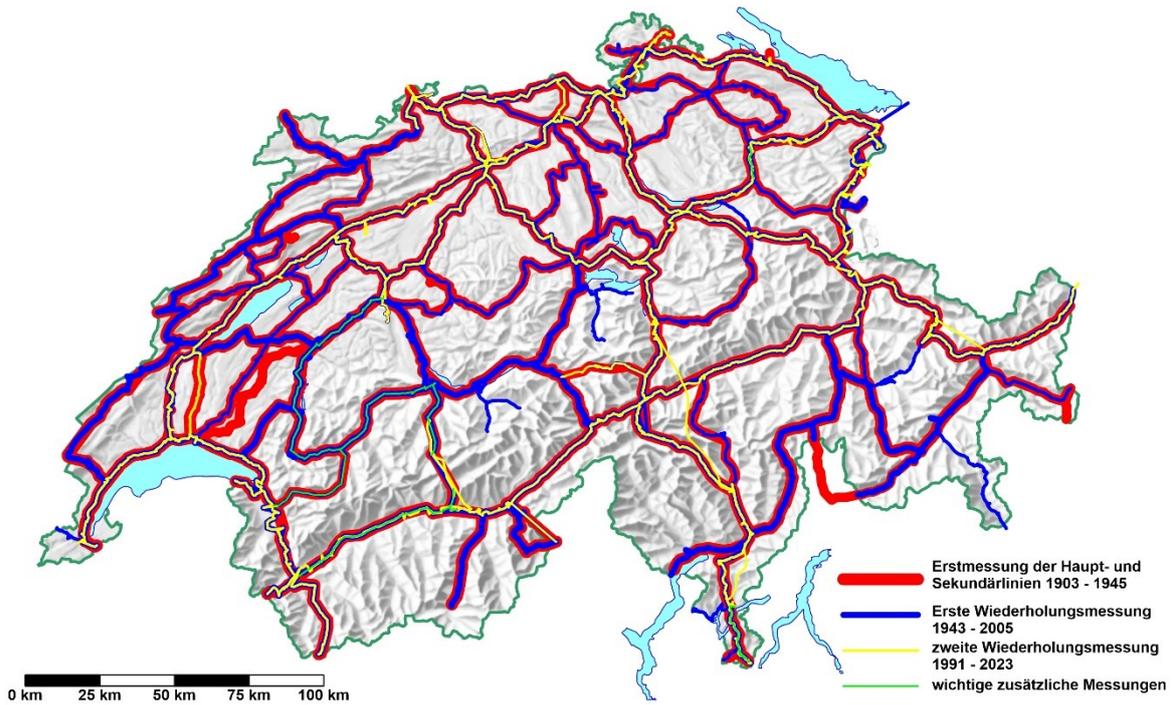


Abbildung 4-1 : Stand der wiederholten Nivellementmessungen 1902 – 2023

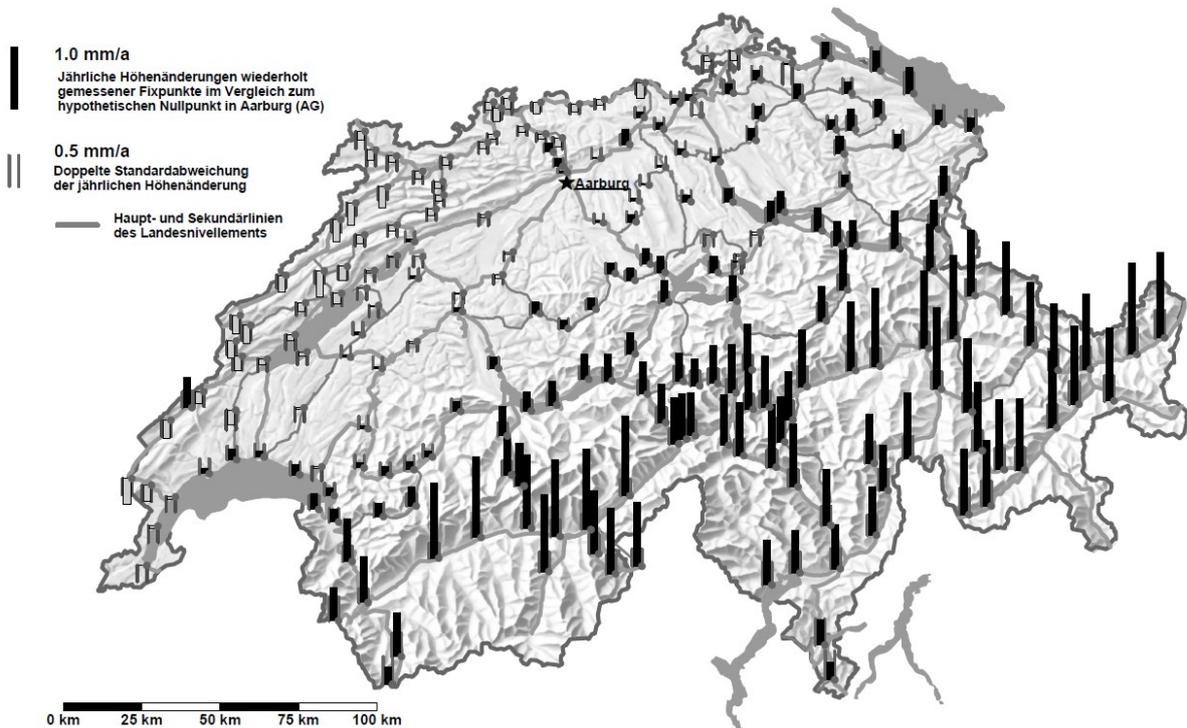


Abbildung 4-2: Relative Höhenänderungen gegenüber Aargau einer Auswahl von Fixpunkten des Landesnivellements. Quelle: Schlatter (2007).



4.2.2. Interpolationsmethode

Grosse Bedeutung kommt der Interpolationsmethode der Höhenänderungen zu. Eine Interpolation ist erforderlich, um die Höhenänderungen zwischen den Nivellementlinien und den Fixpunkten zu präzisieren.

Es gibt mehrere Methoden für die zweidimensionale Interpolation von verstreuten Daten (unregelmässiges Gitter). Einige davon sind die folgenden:

- Inverse Gewichtung nach der Entfernung
- Lineare Interpolation auf einem unregelmässigen Netz von Dreiecken
- Nichtlineare Interpolation auf einem unregelmässigen Netz von Dreiecken
- Interpolation durch radiale Basisfunktionen
- Kollokation nach kleinsten Quadraten

Die Interpolation durch radiale Basisfunktionen führt zum Nachteil, dass die Prädiktion ohne Messungen nach null konvergiert. Dies entspricht beim Geschwindigkeitsfeld der Erdkruste nicht der Realität. Diese Methode scheint im vorliegenden Fall folglich ungeeignet. Die in Frage kommenden Methoden sind die lineare oder nichtlineare Interpolation auf einem unregelmässigen Netz von Dreiecken sowie eine Interpolation basierend auf der inversen Gewichtung nach der Entfernung.

Die lineare Interpolation auf einem unregelmässigen Netz von Dreiecken hat den Vorteil, dass sie bei Geomatikerinnen und Geomatiker in der Schweiz bekannt ist, da die FINELTRA-Transformation darauf basiert, die den Übergang von LV03 nach LV95 ermöglicht. Zudem kann diese Transformation sehr flexibel bei allen möglichen Punktconfigurationen angewendet werden und ermöglicht die lokale Verdichtung ohne Auswirkungen auf die Punkte ausserhalb des betroffenen Dreiecks. Der Nachteil ist die Erstellung der Dreiecke, die aufgrund der Besonderheiten der offiziellen Vermessung nur bedingt automatisierbar ist.

Neben einer Interpolation auf einem unregelmässigen Gitter ist auch eine bilineare Interpolation auf einem regelmässigen Gitter denkbar, zumindest für die Bereitstellung des Geschwindigkeitsfelds.

Die endgültige Entscheidung für den Interpolationsalgorithmus wird bei der Realisierung gefällt.



5. Geodatenmodelle

Dieses Kapitel soll die erforderlichen Anpassungen an die relevanten INTERLIS-Dateien und an die minimalen Geodatenmodelle zur Einführung des neuen Höhensystems aufzeigen. Zudem werden Empfehlungen für die Anpassung des Geodatenmodells der offiziellen Vermessung DMAV formuliert.

Die INTERLIS-Dateien, die sich mit Bezugssystemen und Koordinatensystemen befassen, sind im Anhang K des Handbuchs INTERLIS 2 eCH-0031 aufgeführt. Es handelt sich um die folgenden Dateien:

- *CoordSys.ili* (Modell des Bezugssystems)
- *MiniCoordSysData.xtf* (Beschreibung der Bezugssysteme)

Die Modelle müssen angepasst werden, um die Definitionen des neuen Systems widerzuspiegeln (s. Abschnitt 2.2). Dies betrifft insbesondere die Verbindung einer Höhenkoordinate mit ihrem Bezugsrahmen⁹ sowie die Möglichkeit, die Messepochen zu berücksichtigen.

Insbesondere erfolgt eine Anpassung des Basismoduls des Bundes für das minimale Geodatenmodell, das die Geometrien beschreibt:

- *CHBase_Part1_GEOMETRY_V2.ili*

⁹ In Wirklichkeit beziehen sich die Höhen in der INTERLIS-Modellierung auf ein Koordinatensystem mit einer einzigen Achse, und es werden nicht direkt die Begriffe Bezugssystem oder Bezugsrahmen verwendet.



5.1. Definition des neuen Bezugssystems in INTERLIS 2

Das neue Höhenmodell kann als neue Klasse *GeoHeight* gemäss dem Bezugssystemmodell *CoordSys*, das unverändert bleibt, modelliert werden. Die erforderlichen Attribute für die Definition dieser Klasse *GeoHeight* umfassen die Art des Höhensystems, die Bezugshöhe sowie deren Beschreibung. Diese Klasse basiert auf einem Referenzellipsoid (Geoid) und einem Gravitationsmodell.

Um die Höhe mit ihrem Bezugsrahmen zu verbinden, muss dementsprechend z.B. die Datei *MiniCoordSysData* mit den folgenden neuen Beschreibungen vervollständigt werden:

```
<GeoHeight ili:tid="BcoordSys.CHVRFxxxx">
  <ili:Name>SwissVerticalReferenceFramexxxx</ili:Name>
  <ili:Axis>
    <LengthAXIS>
      <ShortName>H</ShortName>
      <Description>Swiss Normal Altitude</Description>
    </LengthAXIS>
  </ili:Axis>
  <System>normal</System>
  <ReferenceHeight>0</ReferenceHeight>
  <ReferenceHeightDescr>XX reference points</ReferenceHeightDescr>
  <EllipsoidRef ili:ref="BcoordSys.GRS80"/>
  <GeoidRef ili:ref="BcoordSys.CH-QGeo-xxxx"/>
  <GravityRef ili:ref="BcoordSys.CH-SGrav-xxxx"/>
</GeoHeight>

<Ellipsoid ili:tid="BcoordSys.GRS80">
  <ili:Name>GRS80</ili:Name>
  <EllipsoidAlias>GRS 1980</EllipsoidAlias>
  <SemiMajorAxis>6378137</SemiMajorAxis>
  <InverseFlattening>298.2572221</InverseFlattening>
  <Remarks>Geodetic Reference System 1980</Remarks>
</Ellipsoid>

<GeoidModel ili:tid="BcoordSys.CH-QGeo-xxxx">
  <ili:Name>SwissQuasiGeoidxxxx</ili:Name>
  <Definition>See new Swiss Geoid swisstopo</Definition>
</GeoidModel>

<GravityModel ili:tid="BcoordSys.CH-SGrav-xxxx">
  <ili:Name>SwissGravityNetworkxxxx</ili:Name>
  <Definition>See documentation swisstopo Landesschwerenetz</Definition>
</GravityModel>
```

Abbildung 5-1: Beschreibung von CHVRFxxxx (Datei MiniCoordSysData.xtf)

Von daher wird für die völlig neuen INTERLIS-Modelle die Höhe wie folgt modelliert:

```
REFSYSTEM BASKET BcoordSys ~ CoordSys.CoordsysTopic
OBJECTS OF GeoHeight: CHVRFxxxx;

DOMAIN
Hoehe = COORD
  -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m] {CHVRFxxxx[1]};
Hkoord = COORD
  2460000.000 .. 2870000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[1]},
  1045000.000 .. 1310000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[2]},
  -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m] {CHVRFxxxx[1]},
ROTATION 2 -> 1;
```

Abbildung 5-2: Modellierung einer Höhe CHVRFxxxx



5.2. Anpassungen des Basismoduls des Bundes

Um das neue Höhensystem einzuführen, muss das Modul CHBase_Part1_GEOMETRY_V2.ili¹⁰ verändert werden.

Dieses Modul umfasst die drei folgenden Modelle:

- *Geometry_V2*
- *GeometryCHLV03_V2*
- *GeometryCHLV95_V2*

Die Modelle *GeometryCHLV03_V2* und *GeometryCHLV95_V2* müssen wie folgt angepasst werden:

```
TYPE MODEL GeometryCHLV95_V2 (en)
  AT "https://models.geo.admin.ch/CH/" VERSION "2021-10-19" =

  IMPORTS Units;
  IMPORTS CoordSys;
  IMPORTS Geometry_V2;

  REFSYSTEM BASKET BcoordSys ~ CoordSys.CoordsysTopic
    OBJECTS OF GeoCartesian2D: CHLV95
    OBJECTS OF GeoHeight: CHVRFxxxx;

  DOMAIN
    !!@CRS=EPSG:2056
    Coord3 EXTENDS Geometry_V2.Coord3 = COORD
      2460000.000 .. 2870000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[1]},
      1045000.000 .. 1310000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[2]},
      -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m] {CHVRFxxxx [1]},
      ROTATION 2 -> 1;

    !!@CRS=EPSG:2056
    MultiPoint3D EXTENDS Geometry_V2.MultiPoint3D = MULTICOORD
      2460000.000 .. 2870000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[1]},
      1045000.000 .. 1310000.000 [INTERLIS.m] {CHLV95[2]},
      -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m] {CHVRFxxxx [1]},
      ROTATION 2 -> 1 ;
```

Abbildung 5-3: Empfehlungen für die Anpassung des Moduls CHBase_Part1_GEOMETRY_V2

5.3. Empfehlungen für die Berücksichtigung der Kinematik

Es gibt zwei unterschiedliche Szenarien, wie die Epochenverwaltung gelöst werden kann:

1. **Höhe ohne Angabe der Epoche:** In diesem Fall umfasst die Höhe keine Informationen zur Messepoche. Diese Höhe wird folglich als offizielle Höhe betrachtet, also als Höhe zur Referenzepoche des Bezugsrahmens.
2. **Höhe mit Angabe der Epoche:** Die Höhe umfasst eine Angabe der Messepoche. In diesem Fall liegt die Höhe in der angegebenen Epoche vor. Um eine offizielle Höhe zu erhalten – also zur Referenzepoche des Bezugsrahmens – ist die Anwendung des kinematischen Modells erforderlich.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt, die Messepoche in Dezimaljahren auszudrücken.

¹⁰ https://models.geo.admin.ch/CH/CHBase_Part1_GEOMETRY_V2.ili



Die Modellierung der Messepoche kann mit einem neuen Bereich für die Messepoche realisiert werden, gemäss folgendem Beispiel:

```
DOMAIN
  Hoehe = COORD
    -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m] {CHVRFxxxx[1]};
  Epoch = 1500.00 .. 2999.00;
```

5.4. Empfehlungen für das Geodatenmodell der amtlichen Vermessung DMAV

Heute sind die Höhen der amtlichen Vermessung mit einem simplen Wert modelliert und nicht mit einem Bezugssystem assoziiert. Die Höhe wird im Modell *DMAVTYM_Geometrie_V1_0.ili* wie folgt definiert:

```
DOMAIN
  Hoehe = -200.000 .. 5000.000 [INTERLIS.m]
```

Die Arbeitsgruppe empfiehlt der amtlichen Vermessung:

- Die Angabe des Bezugsrahmens in der Modellbeschreibung (s. Abbildung 5-2: Modellierung einer Höhe CHVRF);
- Die Messepoche nicht zu modellieren und nur Koordinaten zur Referenzepoche zuzulassen.



6. Transformationskonzept der bestehenden Geodaten

Dieses Kapitel beschreibt die Höhentransformation von bestehenden Geodaten zwischen dem offiziellen Höhenbezugsrahmen LN02, dem strengen Höhenbezugsrahmen LHN95 und dem neuen Höhenbezugsrahmen CHVRFxxxx.

6.1. Transformationsalgorithmus

Der Transformationsalgorithmus ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Der zentrale Teil des Algorithmus ist die Transformation von LHN95 zu CHVRFxxxx. LHN95 wird als ausreichend kompatibel mit CHVRFxxxx angenommen, damit eine direkte mathematische Transformation mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich ist, die durch eine ausreichende Anzahl Kontrollpunkte validiert wird. Diese Hypothese muss im Rahmen des «Proof of Concept» überprüft werden.

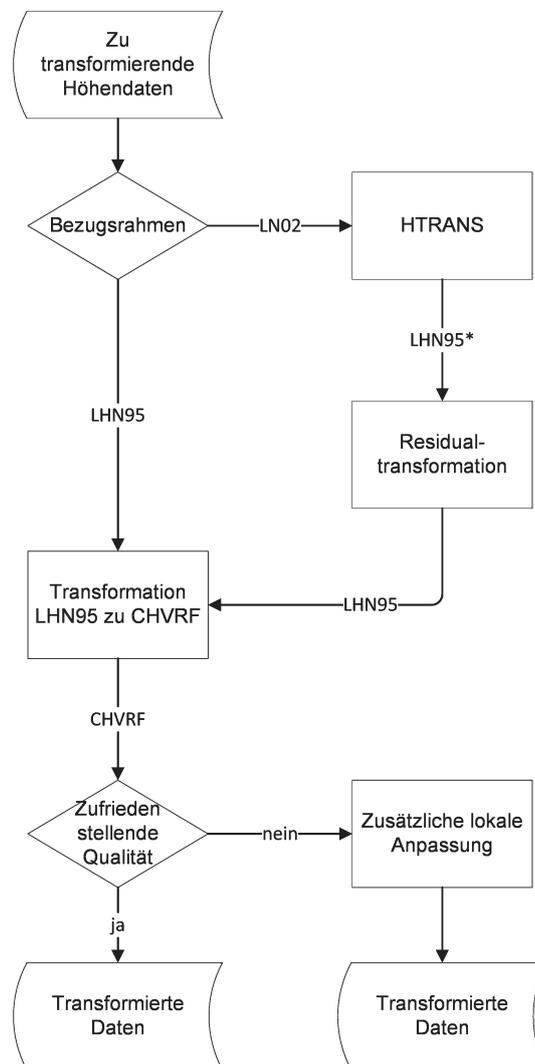


Abbildung 6-1: Höhentransformationsalgorithmus. LHN95* bezeichnet eine Näherung von LHN95 vor der Residualtransformation.



LN02-Höhendaten hingegen können nicht direkt mit ausreichender Genauigkeit mittels HTRANS nach CHVRFxxx transformiert werden. In diesem Fall muss HTRANS um eine Residualtransformation ergänzt werden.

6.2. Residualtransformation

Um die Höhengenaugkeit der bestehenden Geodaten im Bezugsrahmen LN02 beizubehalten und möglicherweise sogar zu verbessern ist eine zusätzliche Transformation erforderlich. HTRANS ist ausserhalb der Landesnivellementlinien tatsächlich nicht definiert. Die Ungenauigkeiten von LN02 sind ein weiterer limitierender Faktor. Die Restklaffen sind eine Funktion der folgenden Parameter:

- Art der Messung für die Höhenbestimmung (RTK-GNSS, geometrisches Nivellement, trigonometrisches Nivellement)
- Nivellierwege (für die nivellierten Punkte)
- Höhe der Anschlusspunkte
- Messepoche

Diese Faktoren sind grundsätzlich nicht bekannt. Restklaffen werden jedoch aufgrund von statischen GNSS-Messungen auf geeigneten Punkten mit einer bekannten LN02-Höhe bestimmt. Abbildung 6-2 stellt die Prozesse für die Berechnung von Restklaffen auf den Transformationsstützpunkten (TSP) dar.

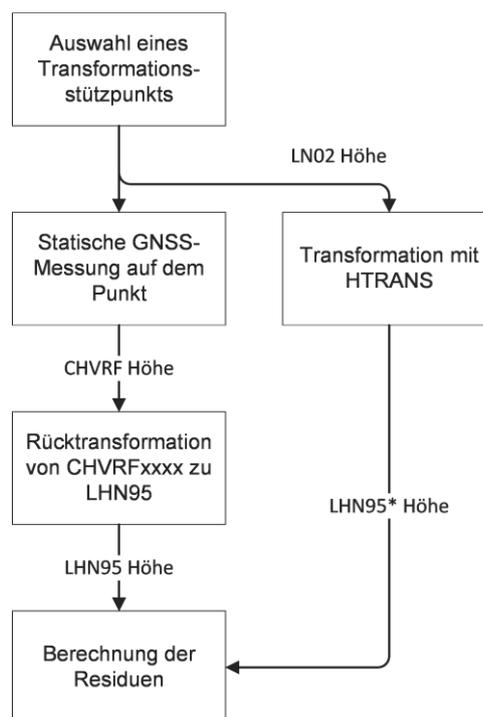


Abbildung 6-2: Prozess zur Festlegung von Transformationsstützpunkten (TSP).

Ein entscheidender Teil der Arbeit besteht also darin, die TSP zu identifizieren. Die kantonalen und kommunalen TSP vervollständigen die Transformation je nach lokalen Bedürfnissen und Ergebnissen der Transformationen.

Zudem werden für die Evaluation der Qualität der Transformationen systematisch Kontrollpunkte in ausreichender Anzahl bestimmt und mit den transformierten Höhen verglichen.



6.2.1. Interpolationsalgorithmus

Die Interpolationsmethode ist bei der Realisierung der Transformation zu definieren. Es sind mehrere Algorithmen denkbar (nicht abschliessende Liste):

- Transformation durch Dreiecksvermaschung (gleiche Art wie «FINELTRA», das für den Übergang von LV03 zu LV95 verwendet wird).
- Bilineare Interpolation auf einem regelmässigen Gitter mit Untergittern von höherer Dichte.

6.3. Umsetzung

Um die Umsetzung des neuen offiziellen Schweizer Höhensystems zu vereinfachen, werden den Nutzerinnen und Nutzern sowie der Öffentlichkeit benutzerfreundliche und leistungsfähige Transformationsdienste vorgängig zur Verfügung gestellt. Die Datenherrin oder der Datenherr ist für die Umsetzung verantwortlich, das heisst, für die Transformation der Geodaten in den neuen Höhenbezugsrahmen. Die transformierten Geodaten müssen den in diesem Dokument beschriebenen Notationskonventionen entsprechen.

6.3.1. «Proofs of Concept» mit den Kantonen

Um die Umsetzung des Transformationskonzepts der bestehenden Geodaten zu überprüfen, werden in einigen Gemeinden und mit unterschiedlichen Höhendaten rund vier Pilotprojekte durchgeführt. Die Projekte werden in Zusammenarbeit mit den Kantonen und unter der Leitung von swisstopo durchgeführt.

swisstopo wird bei den Kantonen eine Projektausschreibung lancieren, um das Pflichtenheft und die Ziele des Projekts zu klären. Nach der Durchführung der Projekte wird zu jedem Pilotprojekt ein Bericht verfasst; Damit soll das Transformations- und Realisierungskonzept gefestigt werden.





7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das vorliegende Dokument ist ein konsistenter Satz von Definitionen für das neue Schweizer Höhensystem CHVRS. Es bildet die Grundlage für die weiterführenden Arbeiten und ist damit Teil der Entscheidungsgrundlagen zum weiteren Vorgehen.

Die CHVRS Höhen sind von geopotentiellen Koten abgeleitet, sind Normalhöhen und im Gezeitensystem «mean-tide» vorliegend. Das geometrische Bezugssystem für das neue Höhensystem ist CHTRS. Das Ellipsoid für die Berechnung des Normalschwerefelds ist GRS80. Um den langfristigen Fortbestand des Höhenrahmens zu garantieren, werden vertikale Geschwindigkeiten modelliert. Die offiziellen Höhen sind Höhen im geltenden Bezugsrahmen und zur Referenzepoche. Bei Bedarf werden sie mithilfe des kinematischen Modells zur entsprechenden Epoche reduziert.

Das Realisierungskonzept des neuen Höhensystems basiert hauptsächlich auf einer kinematischen Ausgleichung relativer geopotentieller Koten aus schwerekorrigierten Nivellementmessungen im Landeshöhenetz. Die Datumsdefinition wird auf die Höhen mehrerer Fixpunkte gestützt.

Eine strenge Transformation zwischen LHN95 und CHVRS wird berechnet. Die Punkte, zu denen keine bekannte Höhe in LHN95 vorliegt, müssen mithilfe der Residualtransformation transformiert werden. Damit diese Transformation berechnet werden kann, sind Verdichtungsmessungen durch statische GNSS-Beobachtungen unerlässlich. Der Interpolationsalgorithmus ist in der Realisierungsphase zu definieren.

Die Transformations- und Realisierungskonzepte werden mit «Proofs of Concept» in Zusammenarbeit mit einigen Kantonen verfeinert.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt, die Arbeiten fortzusetzen, insbesondere:

1. Realisierung von «Proofs of Concept», um die Umsetzung des Transformationskonzepts von bestehenden Höhendaten zu überprüfen
2. Evaluation und Tests von wissenschaftlicher Software, insbesondere für die Geoidbestimmung
3. Realisierung und Anpassungen von Software-Tools für die Transformation von Höhen verschiedener offizieller Geodaten mit Schätzung der Genauigkeit der transformierten Höhen
4. Ausarbeitung von detaillierten Realisierungs- und Kommunikationsplänen
5. Erstellung eines Finanzierungsplans



Bibliografie

Heiskanen WA, Moritz H. (1967). Physical geodesy. San Francisco, WH Freeman.

Marti U. (1997). Geoid der Schweiz 1997. Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich, Switzerland.

Moritz H. (1980). Geodetic reference system 1980. Bulletin géodésique, 54, 395-405. doi: 10.1007/BF02521480.

Schlatter A. (2007). Das neue Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich, Switzerland.





Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 : Stand der wiederholten Nivellementmessungen 1902 – 2023	25
Abbildung 4-2: Relative Höhenänderungen gegenüber Aarburg einer Auswahl von Fixpunkten des Landesnivellements. Quelle: Schlatter (2007).	25
Abbildung 5-1: Beschreibung von CHVRFxxxx (Datei MiniCoordSysData.xtf).....	28
Abbildung 5-2: Modellierung einer Höhe CHVRFxxxx	28
Abbildung 5-3: Empfehlungen für die Anpassung des Moduls CHBase_Part1_GEOMETRY_V2	29
Abbildung 6-1: Höhentransformationsalgorithmus. LHN95* bezeichnet eine Näherung von LHN95 vor der Residualtransformation.	31
Abbildung 6-2: Prozess zur Festlegung von Transformationsstützpunkten (TSP).	32





Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Zusammenfassung der Definitionen des neuen Höhensystems CHVRS.	14
Tabelle 3-1: Definition der zwei Höhenbezugsrahmen der neuen Landesvermessung 1995, CHVRFyy und LHN95.	17





Glossar

AGNES: Automatisches GNSS Netz Schweiz; Netzwerk permanenter GNSS-Stationen in der Schweiz.

Bezugsrahmen: Gesamtheit der Punkte und Ergebnisse, die es ermöglichen, sich anhand von Koordinaten auf der Erde und im Weltraum zu positionieren.

Bezugssystem: Gesamtheit der theoretischen Grundlagen, die zur Schaffung eines Bezugsrahmens erforderlich sind.

CH1903+: Offizielles Bezugssystem der Schweiz.

CHTRS: Swiss Terrestrial Reference System; Schweizerisches terrestrisches Bezugssystem.

CHVRFxxxx: Ein Bezugsrahmen, der mit CHVRS verbunden ist. xxxx steht für das Jahr, in dem der Rahmen definiert wurde.

CHVRFyy: Swiss Vertical Reference Frame yy (wobei yy ist das Jahr des Rahmens). Bezeichnung für den globalen Höhenbezugsrahmen im Projekt LV95. Veraltet.

CHVRS: Neues Schweizer Höhensystem.

Dichtemodell oder Massenmodell: Modell des Untergrundes, das sowohl Informationen über die Geometrie als auch über die Dichte der Gesteine enthält.

DMAV: Datenmodell der amtlichen Vermessung; Datenmodell der amtlichen Vermessung in der Schweiz.

ETRS89: European Terrestrial Reference System 1989; Europäisches Bezugssystem.

EVRS: European Vertical Reference System; Europäisches Höhenbezugssystem.

Geopotentielle Kote: Potentialdifferenz zwischen dem Geoid und dem betrachteten Punkt. Es handelt sich um eine Art Höhe, die strengen Höhen zugrunde liegt.

Gezeitsystem: Konventionen, die zur Berechnung der Gezeiten zur Reduktion der Beobachtungen verwendet werden.

GNSS: Global Navigation Satellite System; Bezeichnet die wichtigsten Satellitennavigationssysteme, nämlich GPS (USA), Galileo (Europäische Union), GLONASS (Russland) und Beidou (China).

GRS80: Geodetic Reference System of 1980; Referenzsystem und Referenzellipsoid von 1980.

Höhe: Normalhöhe, ellipsoidische Höhe, orthometrische Höhe, Gebrauchshöhe.

Höhenbezugsrahmen: Bezugsrahmen, der die Bestimmung von Höhen ermöglicht.

HTRANS: Transformation von Höhen zwischen den Bezugsrahmen LN02 und LHN95.

IAG: International Association of Geodesy; Internationale Vereinigung für Geodäsie.

IHRS: International Height Reference System; Internationales Höhenbezugssystem.

InSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar; Technik der Satellitenfernerkundung, mit der Veränderungen der Erdoberfläche im Millimeterbereich festgestellt werden können. In der Praxis leidet diese Technik unter vielen Einschränkungen und hat daher bislang nur einen auf bestimmte Anwendungen beschränkten Einsatz.

INTERLIS: In der Schweiz verwendete Geodatenmodellierungssprache.

ITRS: International Terrestrial Reference System; Internationales Bezugssystem.

Kinematisch: eine Geschwindigkeit darstellend. Wenn die Geschwindigkeiten das Ergebnis einer physikalischen Modellierung sind, spricht man von Dynamik und nicht von Kinematik.

Kinematische Ausgleichung: Berechnung von Höhen unter Berücksichtigung der Vertikalbewegungen.

Lagebezugsrahmen: Bezugsrahmen, der die Bestimmung von Lagekoordinaten ermöglicht.



LHN95: Orthometrischer Höhenbezugsrahmen der Landesvermessung, entstanden mit dem Projekt LV95, basierend auf den Daten des Landeshöhen- und schwernetzes.

LN02: Offizieller Schweizer Höhenbezugsrahmen; basierend auf der Definition Repère Pierre du Niton (RPN) = 373.6 m aus dem Jahre 1902; realisiert durch die Landesnivellementmessungen und die daran anschliessenden Vermessungswerke.

Lotabweichung: Winkel zwischen der lokalen Lotrichtung und der Ellipsoidennormalen.

LV03: Offizieller Schweizer Lagebezugsrahmen bis 2016.

LV95: Offizieller Schweizer Lagebezugsrahmen seit 2016.

PPP: Precise Point Positioning; GNSS-Echtzeit-Positionierungsmethode mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich und dem Potenzial, eine Positionierung im Zentimeterbereich zu ermöglichen.

Proof of Concept: Machbarkeitsstudie, die vor einem Pilotprojekt durchgeführt wird.

REFRAME: Webdienst von swisstopo, der Zugriff auf die offiziellen Schweizer Transformationen bietet.

Residualtransformation: empirische Transformation, die darauf abzielt, die Unterschiede zwischen den transformierten Höhen und den gemessenen Höhen zu minimieren.

Restklaffe: Differenz zwischen einem gemessenen Wert und einem geschätzten Wert.

RTK: Real Time Kinematic; Kinematische GNSS-Messungen in Echtzeit mit Zentimetergenauigkeit.

Satellitengeodäsie oder weltraumgeodätische Verfahren: Allgemeiner Begriff, der alle Satellitensysteme umfasst, die für geodätische Messungen verwendet werden können, d. h. GNSS, VLBI, SLR und DORIS.

Schweizerische Geophysikalische Kommission: eine Kommission der Schweizerischen Akademie der Wissenschaften, die u. a. mit der Sammlung von gravimetrischen Daten in der Schweiz beauftragt war.

Schweremessungen: Messungen der Erdanziehungskraft mit einem Gravimeter. Nützlich für die Bestimmung des Geoids und die Korrektur des Nivellements.

UELN: United European Levelling Network; Europäisches Nivellementnetz.