

Höhenreferenzsysteme

1 Grundlagen und Begrifflichkeiten	3
1.1 Definition des Höhenbegriffes	3
1.2 Das Erdschwerefeld und dessen Bedeutung	3
1.2.1 Praktische Bedeutung	5
1.3 Geoid und Geoidundulation.....	5
1.3.1 Das Geoid in Österreich	7
1.4 Nivellement und Schwerepotential	8
2 Höhenarten	10
2.1 Geopotentielle Koten.....	10
2.2 Dynamische Höhen	11
2.3 Orthometrische Höhen	12
2.4 Normalhöhen	12
2.5 Normal-orthometrische Höhen (sphäroidisch-korrigierte Höhen).....	13
2.6 Ellipsoidische Höhen.....	14
3 Das System der Gebrauchshöhen.....	15
3.1 Sphäroidische Korrektur	15
3.2 Bezugspegel	16
3.3 Historische Betrachtung.....	18
4 Nivellement-Netz und Höhenfestpunkte in Österreich	20
4.1 Stabilisierungsarten der Höhenfestpunkte	21
4.2 Punktkarte Höhenfestpunkt.....	23
5 Das europäische Höhenreferenzsystem	27

5 Das europäische Höhenreferenzsystem	27
5.1 Realisierungen des EVRS.....	28
5.2 EVRF2000 als internationaler Höhenbezug in Österreich.....	28
6 Höhentransformationen mit Rasterdaten.....	30
6.1 Zwischen ellipsoidischen Höhen und orthometrischen Höhen	31
6.2 Zwischen Gebrauchshöhen und orthometrischen Höhen	31
6.3 Zwischen ellipsoidischen Höhen und Gebrauchshöhen.....	32
7 EPSG Codes.....	33
Literaturverzeichnis.....	34

1 Grundlagen und Begrifflichkeiten

1.1 Definition des Höhenbegriffes

Der Begriff „Höhe“ lässt mehrere Deutungen zu, wobei sich selbst Fachleute nicht immer einig sind, welche Definition des Höhenbegriffs die beste bzw. die geeignetste ist. Ganz allgemein versteht man unter Höhe den vertikalen Abstand eines Punktes zu einer Bezugsfläche, wobei u.a. die Bezugsfläche Definitionssache und im Prinzip frei wählbar ist.

Für ein Höhensystem, das den Aufgaben der Landesvermessung genüge leistet, kann man folgende Anforderungen auflisten:

1. Punkthöhen sollen **eindeutig und unabhängig vom Messweg** (z.B. im Nivellement) bestimmbar sein.
2. Höhen sollen möglichst **frei von hypothetischen Annahmen** bestimmbar sein.
3. Höhen sollen **physikalisch sinnvoll** sein, d.h. Punkte gleicher Höhe liegen auf einer Fläche gleichen Schwerepotentials (Niveaufläche). Damit ist sichergestellt, dass zwischen diesen Punkten kein Wasser fließen kann.
4. **Korrekturen**, die an gemessene Höhenunterschiede anzubringen sind, sollten **möglichst klein** sein, um sie bei kleinräumigen Vermessungen gegebenenfalls vernachlässigen zu können.
5. Höhen sollen **geometrisch anschaulich** (mit Einheit Meter) sein und eine eindeutige Bezugsfläche besitzen.

In Kapitel 2 folgt eine Beschreibung und Diskussion verschiedener Höhensysteme bzw. Höhenarten, wobei keines alle fünf Bedingungen gleichzeitig erfüllen kann. Je nach Anwendung wäre abzuwägen, welches am besten geeignet ist. Beispielsweise ist für Wasserbauten (z.B. Staudämme) Bedingung 3 („es fließt kein Wasser zwischen zwei Punkten gleicher Höhe“) besonders wichtig und sollte vom gewählten Höhensystem möglichst gut erfüllt werden. Für eine ausführliche Diskussion des Höhenbegriffs und der verschiedenen Höhenarten sei auf Bretterbauer (1986) [1] verwiesen.

1.2 Das Erdschwerefeld und dessen Bedeutung

Höhen und das Schwerfeld der Erde stehen in einem engen Bezug zueinander und müssen bei vielen Anwendungen in der Geodäsie gemeinsam betrachtet werden. Dieser Zusammenhang wird offensichtlich, wenn man die oben angeführte Bedingung betrachtet,

dass zwischen zwei Punkten gleicher Höhe kein Wasser fließen darf. Die Fließrichtung des Wassers wird nämlich durch das Erdschwerefeld bestimmt. Ebenso horizontiert man geodätische Messinstrumente, wie Nivellier oder Theodolit, im Bezug auf das Erdschwerefeld durch Einspielen einer Libelle. Wichtige Größen zur Beschreibung des Erdschwerefeldes sind Lotrichtung, Schwere und das Schwerepotential, sowie dessen Niveaulflächen.

Das **Schwerefeld der Erde** ist ein Kraftfeld das vor allem durch die Anziehung der Erdmasse (Gravitationskraft) und der Rotation der Erde (Zentrifugalkraft) hervorgerufen wird. Es entspricht genähert einer an den Polen leicht abgeplatteten Kugel (Rotationsellipsoid) und weist v.a aufgrund der ungleichförmigen Massenverteilung im Erdkörper globale, regionale und lokale Unregelmäßigkeiten auf. Das Erdschwerefeld bezeichnet im eigentlichen Sinne das Vektorfeld der Schwerebeschleunigung \vec{g} , wobei diese als Gradient des **Schwerepotentials** W dargestellt werden kann:

$$\vec{g} = \text{grad}(W) \quad (1)$$

Der Betrag des Vektors der Schwerebeschleunigung $\|\vec{g}\| = g$ wird allgemein als **Schwere** g bezeichnet. g besitzt die Einheit m/s^2 und entspricht der Schwerebeschleunigung in **Lotrichtung**. Die Lotrichtung beschreibt somit die Richtung, in der wir die Schwerekraft erfahren und wahrnehmen können, z.B. beim freien Fall eines Gegenstandes.

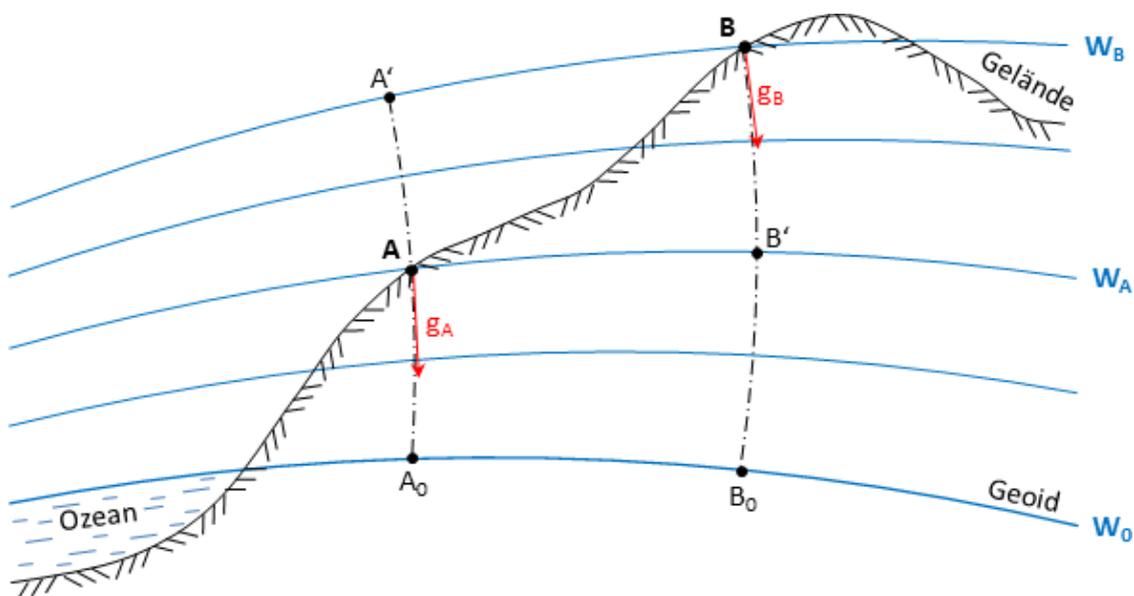


Abbildung 1: Das Geoid entspricht einer Niveaulfläche (blaue Linien) auf mittlerer Meereshöhe mit dem konstanten Schwerepotential W_0 . Die Lotlinien (strich-punktierte Linien) durch die Geländepunkte A und B sind im Allgemeinen gekrümmt und stehen normal auf alle durchschnittenen Niveaulflächen. Der Schwervektor in einem Punkt (rot) zeigt in Lotrichtung (Tangente an Lotlinie) und hat den Betrag g .

Die Lotrichtung in einem Punkt A ist definiert als Tangente an die gekrümmte **Lotlinien** durch A (siehe Abbildung 1). Lotlinien definieren im Allgemeinen die Richtung der Schwerkraft im Schwerefeld der Erde. Dementsprechend bewegt sich ein Gegenstand im freien Fall entlang der Lotlinie.

Als **Niveaufläche** oder **Äquipotentialfläche** bezeichnet man eine Fläche mit konstantem Schwerepotential $W = const.$ (blaue Linien in Abbildung 1). Die Lotlinien im Schwerefeld schneiden die Niveauflächen des Schwerepotentials in jedem beliebigen Punkt rechtwinkelig. Aufgrund der Abplattung des Erdkörpers, der Zentrifugalbeschleunigung der Erdrotation und der zuvor erwähnten ungleichmäßigen Massenverteilung im Erdinneren (sowie anderer kleiner Effekte, die hier vernachlässigt werden), verlaufen benachbarte Niveauflächen im Allgemeinen nicht parallel zu einander. Betrachtet man Abbildung 1 so äußert sich dieser Umstand dadurch, dass der vertikale Abstand (in Meter, entlang der Lotlinien) der Punkte A und A' nicht gleich dem Abstand zwischen B und B' ist, obwohl A und B' , bzw. A' und B , jeweils auf denselben Niveauflächen (W_A bzw. W_B) liegen.

1.2.1 Praktische Bedeutung

Die Bedeutung des Erdschwerefeldes in der Geodäsie kann nicht deutlich genug hervorgehoben werden. Da die Lotrichtung senkrecht zu den Niveauflächen steht, liegt jede Horizontale in einem Punkt stets in der Tangentialebene der Niveaufläche durch diesen Punkt. Die Libelle eines geodätischen Instruments spielt sich also immer tangential zu der durch sie gehenden Niveaufläche ein. Dementsprechend erfolgen Winkelmessungen mit dem Theodolit und Messungen von Höhenunterschieden mit dem Nivellier (Höhenwinkel = 0) immer im Bezug auf den lokalen Horizont und die lokale Lotrichtung, die durch das Erdschwerefeld vorgegeben werden. Niveauflächen entsprechen auch dem landläufigen Begriff von „Niveau“, im Sinne von „gleicher Höhe“. Eine ruhende Wasseroberfläche (See - oder Meeresspiegel) stellt einen Ausschnitt einer Niveaufläche dar. Dementsprechend eignen sich Niveauflächen als Referenzflächen zur Angabe von Höhen. Eine ausgezeichnete Niveaufläche ist das **Geoid**, siehe Kapitel 1.3.

1.3 Geoid und Geoidundulation

Die Niveaufläche auf Höhe des mittleren Meeresspiegels wird als **Geoid** bezeichnet (siehe Abbildung 1). Das Geoid (so wie sämtliche Niveauflächen des Schwerepotentials) kann nicht analytisch, d.h. mittels einer geschlossenen mathematischen Formel, dargestellt werden. Aus diesem Grund wird das Geoid in der Geodäsie üblicherweise durch **Rotationsellipsoide** angenähert, deren Geometrie durch Angabe weniger Kenngrößen, wie großer und kleiner

Halbachse, eindeutig beschrieben werden kann. Durch ihre einfache mathematische Darstellung eignen sich Rotationsellipsoide als Referenzfläche für Berechnungen aller Art.

Die Form des Geoids kann durch Angabe von **Geoidundulationen N** beschrieben werden. Undulationen beschreiben den Abstand zwischen Geoid und Rotationsellipsoid entlang der Ellipsoidnormalen (siehe Abbildung 5). Abbildung 2 zeigt die Undulationen des globalen EIGEN-6C4 Geoidmodells in 10.000-fach überhöhter Darstellung.

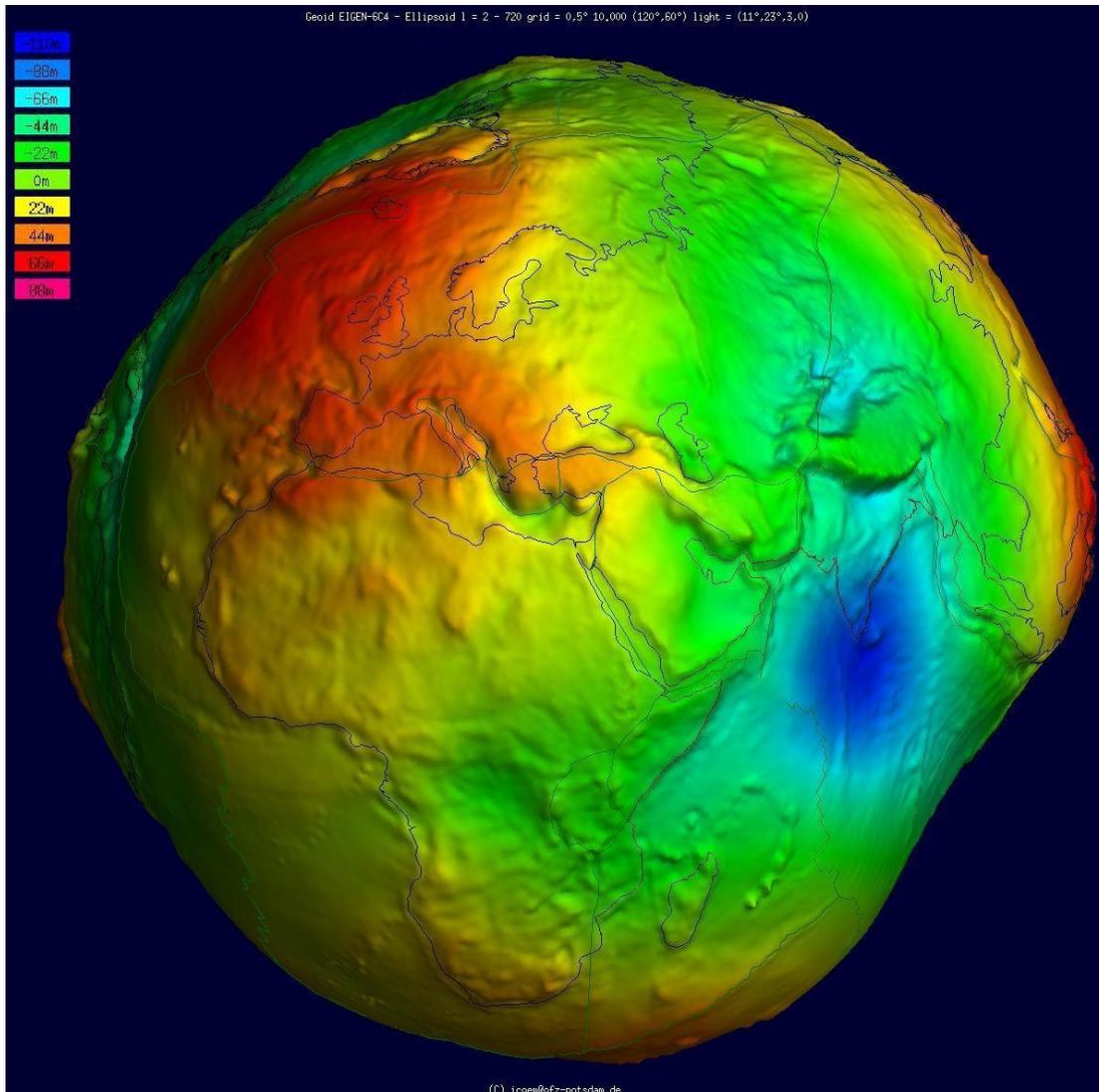


Abbildung 2: Undulationen des globalen Geoidmodells EIGEN-6C4 in 10.000-fach überhöhter Darstellung [2]. Die Abweichungen des Geoids vom mittleren Erdellipsoid erstrecken sich global gesehen über einen Wertebereich zwischen -110 m (*dunkelblau*) und + 88 m (*pink*). © icgm@gfz-potsdam.de

1.3.1 Das Geoid in Österreich

In Kooperation mit der TU Graz wurde 2008 ein neues Geoidmodell für Österreich berechnet. Dieses basiert auf einer Vielzahl an gemessenen Schweredaten und Lotabweichungen, verteilt über ganz Österreich, sowie einem digitalen Geländemodell. Für tiefer gehende Informationen siehe Pail et al. (2008) [3].

Für Österreich stehen derzeit zwei Geoidmodelle in Form von Geoidundulationen zur Verfügung: Bezogen auf das Bessel Ellipsoid (Lagerung MGI) und bezogen auf das GRS80 Ellipsoid (System ETRS89). Bezogen auf das Bessel Ellipsoid ergeben sich für Österreich Undulationen im Bereich zwischen ca. -2 m (im westlichen Innviertel) und ca. +3,5 m (in den Öztaler Alpen bzw. in Osttirol), siehe Abbildung 3. Bezogen auf das internationale Erdellipsoid GRS80 (Bezugssystem ETRS89) nimmt die Undulation Werte zwischen ca. -42 m (im Nordosten) und ca. -53 m (in den Öztaler Alpen) an, siehe Abbildung 4. Geoidkarten und Geoidundulationen als Rasterdatensätze können unentgeltlich über die BEV Webseite bezogen werden¹.

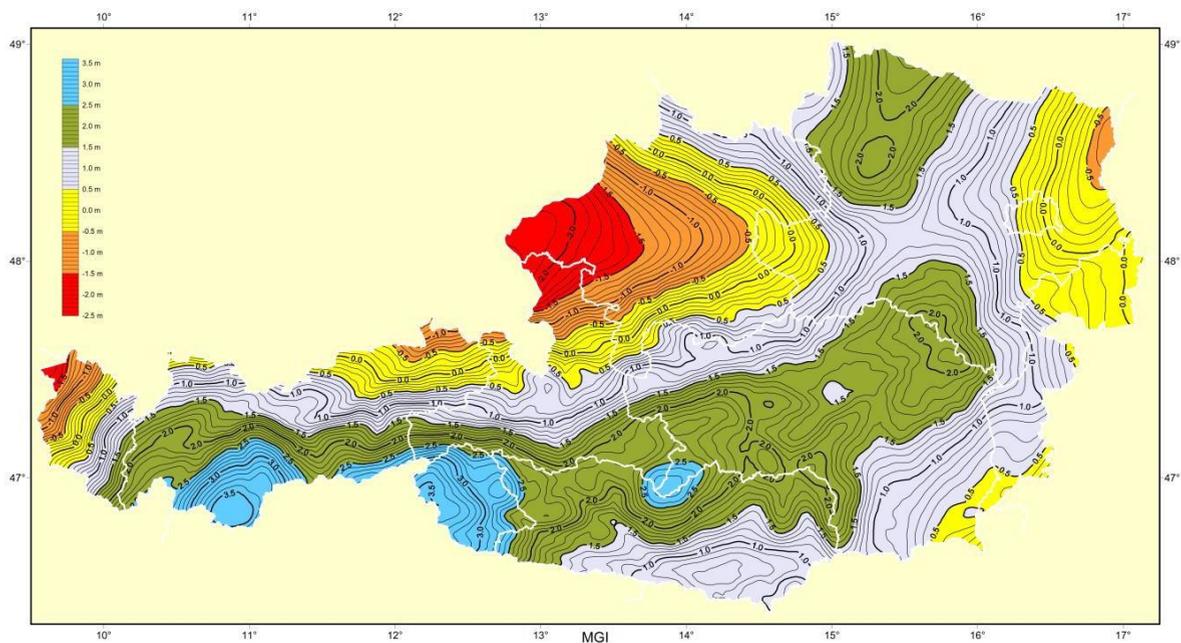


Abbildung 3: Österreichische Geoidkarte bezogen auf das Bessel Ellipsoid (Lagerung MGI).

¹ https://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2157077&_dad=portal&_schema=PORTAL

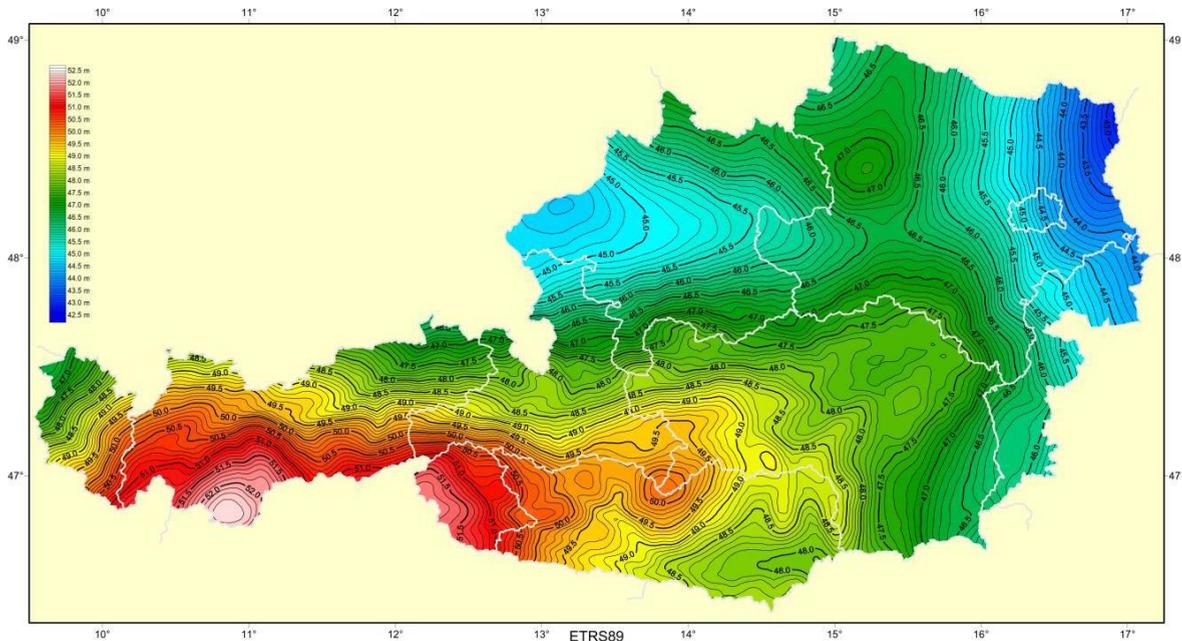


Abbildung 4: Österreichische Geoidkarte bezogen auf das GRS80 Ellipsoid (ETRS89).

1.4 Nivellement und Schwerepotential

Betrachten wir in Abbildung 1 ein geometrisches Nivellement von Punkt A nach Punkt B , so entspricht die Summe der gemessenen Höhenunterschiede zweier Lattenaufstellungen (jeweils berechnet aus „Rückblick minus Vorblick“) dem reinen Nivellementergebnis. Aufgrund der Nichtparallelität der Niveaulächen (siehe Kapitel 1.2) ist dieses jedoch vom Messweg abhängig. Bezogen auf Abbildung 1 ergeben sich unterschiedliche Höhenunterschiede, je nachdem, ob man gedanklich von A über A' nach B , oder von B über B' nach A nivelliert, da die Nivellements entlang der Niveaulächen AB' und $A'B$ jeweils Null ergeben. Im Gegensatz zu den nivellierten Höhenunterschieden ist die Potentialdifferenz ($W_B - W_A$) vom Weg unabhängig.

Um nun ein vom Messweg unabhängiges Nivellementergebnis zu erhalten, müssen die nivellierten Höhenunterschiede dh transformiert werden. Ausgangspunkt ist hier immer die Beziehung

$$dW = -g \cdot dh, \quad (2)$$

wobei dW die wegunabhängige Potentialdifferenz und g die Schwere in Richtung des Lotes ist. Dementsprechend können nivellierten Höhenunterschiede dh unter Einbeziehung der

(gemessenen oder theoretisch berechneten) Erdschwere in verschiedene Höhenarten transformiert werden, siehe Kapitel 2.

2 Höhenarten

Entsprechend ihrer theoretischen Definition können mehrere Höhenarten unterschieden werden. Relevante Höhenarten werden im Folgenden diskutiert.

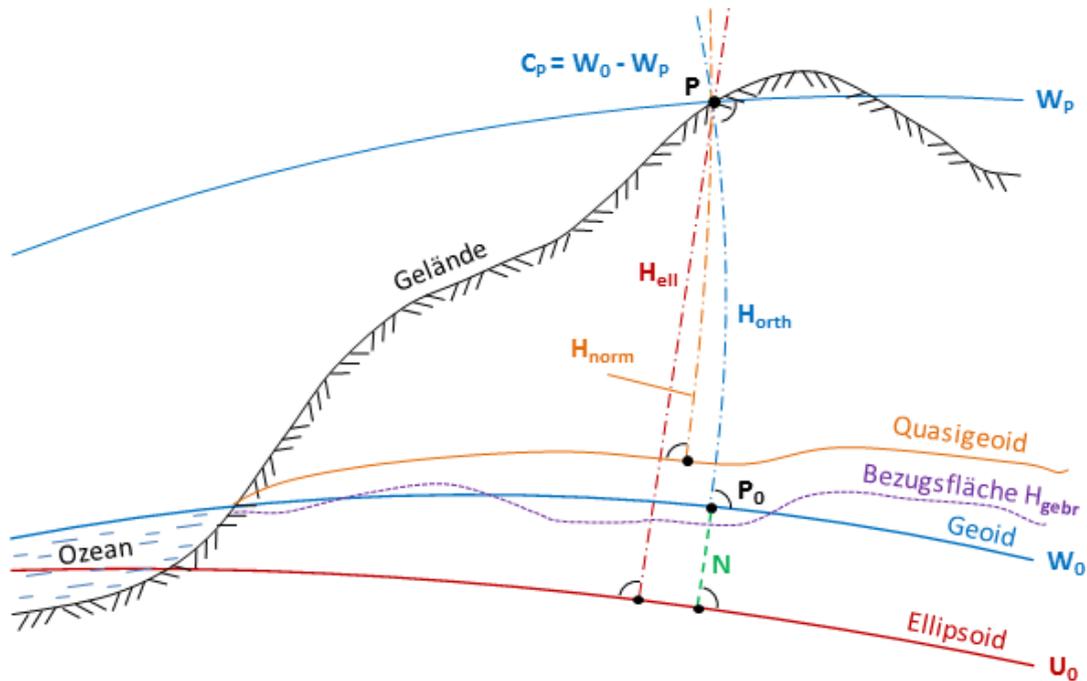


Abbildung 5: Die geopotentielle Kote C_p des Punktes P berechnet sich aus der Differenz des Schwerepotentials W_0 am Geoid und des Potentials der Niveauläche durch P (W_p). Die orthometrische Höhe H_{orth} entspricht der Länge der gekrümmten Lotlinie (strich-punktiert, blau) zwischen P und dem Lotpunkt am Geoid (P_0). Die ellipsoidische Höhe H_{ell} entspricht der Länge der Lotlinie auf das Referenzellipsoid (strich-punktiert, rot) durch P . Die Differenz zwischen H_{orth} und H_{ell} entspricht der Geoidundulation N (strichliert, grün). Die Normalhöhe H_{norm} entspricht der Länge der im theoretischen Schwerfeld (Normalschwere) gekrümmten Lotlinien zwischen P und dem Fußpunkt am Quasigeoid. Die Bezugsfläche der in Österreich geführten Gebrauchshöhen (H_{gebr} , sphäroidisch-korrigierte Höhen) zeigt österreichweit Differenzen zum Geoid im Bereich von etwa $-0,5$ m bis $+0,2$ m.

2.1 Geopotentielle Koten

Formel (2) zeigt, wie man Potentialunterschiede messen kann, nämlich durch die Verbindung von geometrischem Nivellement (dh) und Schweremessung (g). Es ist nun naheliegend, eine ausgezeichnete Niveauläche, nämlich das Geoid (siehe Kapitel 1.3), als Referenzfläche für die Angabe der Höhe eines Punktes P in Form einer Potentialdifferenz heranzuziehen.

Dementsprechend wird die Potentialdifferenz zwischen Geoid und dem (Oberflächen-)Punkt P als geopotentielle Kote C_P bezeichnet, wobei sie sich wie folgt berechnet:

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P g \cdot dh \approx \sum_0^P g \cdot dh \quad (3)$$

Man verwendet für geopotentielle Koten üblicherweise die Einheit $1 \cdot kGal \cdot m = 10 \cdot m^2 / s^2 = 1 \cdot gpu$ (*geopotential unit*), da diese Werte nur etwa 2% kleiner sind als die entsprechenden Meereshöhen in Meter. Nichtsdestotrotz ist die Höhenangabe in Form eines Potentialunterschieds geometrisch nicht anschaulich und für die vermessungstechnische Praxis daher nicht praktikabel. Anwendung finden geopotentielle Koten beispielsweise bei der Berechnung großräumiger (internationaler) Höhennetze (z.B. des EVRS, siehe Kapitel 5), da sie ohne Korrekturen, hypothesenfrei und theoretisch einwandfrei ausgeglichen werden können. Geopotentielle Koten können in weiterer Folge in andere (metrische) Höhensysteme umgerechnet werden.

2.2 Dynamische Höhen

Indem man geopotentielle Koten durch einen (beliebig wählbaren) konstanten Schwerewert dividiert erhält man Höhenangaben in Meter – die sog. dynamischen Höhen. Eine Konvention (nach Helmert) ist hier beispielsweise, durch den theoretischen Schwerewert in 45° Breite (γ_{45°) zu dividieren:

$$h_P = C_P / \gamma_{45^\circ} \quad (4)$$

Dynamische Höhen sind somit, wie geopotentielle Koten, theoretisch einwandfrei und ohne Hypothesen bestimmbar, d.h. Bedingung 1 und 2 aus Kapitel 1.1 sind erfüllt. Bedingung 3 ist auch erfüllt: dynamisch Höhen sind physikalisch sinnvoll, d.h. es kann kein Wasser zwischen zwei Punkten mit gleicher h_P fließen. Jedoch gibt es keine eindeutige, physikalisch oder geometrisch definierte Bezugsfläche und die dynamischen Korrekturen, welche anzubringen sind, um ein reines Nivellementergebnis zu transformieren, können unangenehm groß werden (bis zu 2,5 m bei 1000 m Höhenunterschied). Da die dynamischen Korrekturen in einem großen Messgebiet stark variieren können, sind dynamische Höhen zwar für kleinräumige Projekte mit physikalischem Hintergrund (z.B. im Wasserbau) geeignet, für die großräumige Verwendung in der Landesvermessung jedoch nicht.

2.3 Orthometrische Höhen

Die orthometrische Höhe H_{orth} ist definiert als die Länge der gekrümmten Lotlinie (steht normal auf alle durchstoßenen Niveaulflächen) zwischen dem Oberflächenpunkt P und P_0 am Geoid, siehe Abbildung 5. Sie entspricht somit dem landläufigen Begriff der „Meereshöhe“. Die orthometrische Höhe des Punktes P berechnet sich als Quotient der geopotentiellen Kote C_P und dem integralen Mittelwert der Schwere entlang der Lotlinie \bar{g} .

$$H_{orth} = C_P / \bar{g} \quad (5)$$

C_P kann mittels Nivellement und Schweremessungen eindeutig ermittelt werden, siehe Kapitel 2.1. Dem gegenüber ist die Berechnung von \bar{g} sehr aufwendig und hypothesenbehaftet. Die Berechnung erfolgt auf einem digitalen Geländemodell basierend und unter Annahmen über die Dichteverteilung im Erdinneren, welche nicht direkt zugänglich und messbar ist. Daher können orthometrische Höhen nie eindeutig und exakt berechnet werden, wobei der Einfluss der unbekanntenen Dichteverteilung mit der Höhe wächst. Eine Folge daraus ist, dass Punkte gleicher orthometrischer Höhe im Allgemeinen nicht exakt auf einer Niveaulfläche liegen, d.h. es kann Wasser zwischen diesen Punkten fließen. Für Details zur Berechnung orthometrischer Höhen für Österreich sei beispielsweise auf Ruess (2001) [4] und auf Meurers et al. (2001) [5] verwiesen.

Vorteile sind, dass die Nivellementkorrekturen wesentlich kleiner ausfallen als z.B. bei den dynamischen Höhen und dass sich H_{orth} auf die physikalisch eindeutig definierte Bezugsfläche des Geoids beziehen. Somit können bei Kenntnis der Geoidundulation N (siehe Kapitel 1.3) orthometrische Höhen H_{orth} eindeutig in ellipsoidische Höhen H_{ell} (siehe Kapitel 2.6) umgerechnet werden mit der Beziehung:

$$N = H_{ell} - H_{orth}. \quad (6)$$

2.4 Normalhöhen

Der größte Nachteil der orthometrischen Höhen liegt in der nicht eindeutig bestimmbareren mittleren Lotlinienschwere \bar{g} . Dies wird im System der Normalhöhen umgangen, indem man in Formel (5) die mittlere Lotlinienschwere nicht aus gemessenen Schwerewerten berechnet, sondern in einem theoretischen Schwerefeld (welches das natürliche Schwerefeld approximiert) mathematisch eindeutig berechnet. Die Normalhöhe eines Punktes P berechnet sich demnach aus:

$$H_{norm} = C_P / \bar{\gamma}, \quad (7)$$

wobei $\bar{\gamma}$ der integrale Mittelwert der Schwere im theoretischen Schwerefeld ist. $\bar{\gamma}$ lässt sich mittels mathematischer Formel eindeutig und hypothesenfrei berechnen.

Trägt man nun für alle Oberflächenpunkte die Normalhöhen nach unten ab, so erhält man als Bezugsfläche das sog. **Quasigeoid**. Auf den Meeren fallen das Quasigeoid und das Geoid per Definition zusammen. In den österreichischen Alpen liegt das Quasigeoid bis zu 35 cm über dem Geoid. Im Gegensatz zum Geoid hat das Quasigeoid keine physikalische Bedeutung.

2.5 Normal-orthometrische Höhen (sphäroidisch-korrigierte Höhen)

Die geopotentielle Kote eines Punktes P , die z.B. als Basis für die Berechnung der orthometrischen Höhe dient, berechnet sich laut Formel (3) aus der Summe der nivellierten Höhendifferenzen dh in Verbindung mit den gemessenen Schwerewerten g . Liegen nun keine Schweremessungen vor, so kann die Schwerekorrektur der gemessenen Höhenunterschiede auch mit der Normalschwere γ (mathematisch berechneter Schwerewert im theoretischen Feld) durchgeführt werden. Man erhält entsprechend:

$$C_P^* = \int_0^P \gamma \cdot dh \approx \sum_0^P \gamma \cdot dh. \quad (8)$$

Wie im System der Normalhöhen, lassen sich diese „Koten“ C_P^* durch Division mit dem integralen Mittelwert der theoretischen Schwere entlang der Lotlinien $\bar{\gamma}$ in eine metrische Höhenangabe umrechnen. Man erhält sog. normal-orthometrische, oder sphäroidisch-korrigierte Höhen H_{sph} mit

$$H_{sph} = C_P^* / \bar{\gamma}. \quad (9)$$

Diese Höhen können als eine Approximation der orthometrischen Höhen angesehen werden, die ausschließlich auf theoretischen Schwerewerten beruhen. Die Bestimmung von sphäroidischen Höhen mittels Nivellement ist deshalb nicht gänzlich vom Messweg unabhängig – die (Schleifenschluss-)Fehler fallen jedoch weitaus kleiner aus als bei reinen Nivellementergebnissen. Sphäroidisch-korrigierte Höhen haben keinen direkten Bezug zum Erdschwerefeld. Die H_{sph} beziehen sich auf Äquipotentialflächen des theoretischen Normalschwerefeldes. Sphäroidisch-korrigierte Höhen werden unter anderem für das österreichische System der Gebrauchshöhen verwendet (siehe Kapitel 3).

2.6 Ellipsoidische Höhen

Ellipsoidische Höhen H_{ell} stellen einen rein geometrischen Bezug dar, ohne Berücksichtigung der Erdschwere bzw. dessen Schwerepotentials. Die Referenzflächen sind hierbei mathematisch eindeutig bestimmte Rotationsellipsoide, deren formgebende Parameter (kleine- und große Halbachse, Abplattung, etc.) und Lagerung an die jeweiligen Anforderungen (z.B. des Landesvermessungssystems) angepasst wurden. So wird üblicherweise das GRS80 Ellipsoid („mittleres Erdellipsoid“; Moritz, 1980 [6]) in Verbindung mit den globalen bzw. kontinentalen Referenzsystemen WGS84, ITRS und dem ETRS verwendet, um das kartesische Koordinaten-Tripel (X, Y, Z) in geographische Länge, Breite und ellipsoidische Höhe (ϕ, λ, H_{ell}) umzurechnen. Für das österreichische Landesvermessungssystem (MGI) wird das Bessel Ellipsoid in der Lagerung MGI (angepasst an die Topographie in Österreich) verwendet. Somit beziehen sich ellipsoidische Höhen immer auf ein bestimmtes Ellipsoid. H_{ell} ist definiert als Länge der Ellipsoid-Normalen zwischen dem Geländepunkt P und dem entsprechenden Fußpunkt am Ellipsoid, siehe Abbildung 5.

Ellipsoidische Höhen sind in der heutigen Vermessungspraxis vor allem deshalb relevant, da sie mit den globalen Satellitennavigationsdiensten (GNSS) direkt bestimmt werden können. Höhen, die mit dem Austrian Positioning Service (APOS), dem GNSS-Positionierungsdienst des BEV, bestimmt werden, beziehen sich auf das GRS80 Ellipsoid (System ETRS89). Diese können über ein Transformations-Grid einfach in amtliche Gebrauchshöhen übergeführt werden (siehe Kapitel 6.3).

3 Das System der Gebrauchshöhen

Das System der Gebrauchshöhen stellt den amtlichen Höhenbezug für Österreich dar. Gebrauchshöhen werden nach wie vor im alten System des MGI (Pegel Triest 1875, siehe Kapitel 3.2) basierend auf Messungen im Präzisionsnivellement berechnet und geführt. Die Höhen des Präzisionsnivellements sind die Basis für viele weitere Höhen, abgeleitet aus technischen Nivellements (z.B. Stadtnivellements, hydrographische Nivellements, etc.), aber auch aus trigonometrischen Messungen (Höhen der Triangulierungspunkte im Festpunktnetz). Ebenso beziehen sich alle staatlichen Kartenwerke (wie auch jene von kommerziellen Anbietern) und digitale Geländehöhenmodelle des BEV auf das Gebrauchshöhensystem.

3.1 Sphäroidische Korrektur

Vor 1949 standen faktisch keine Schweremessungen zur Verfügung um damit die reinen Nivellement-Höhendifferenzen bezüglich der in der Natur vorhandenen Schwereunterschiede zu korrigieren. Diese sind erst in jüngster Zeit flächendeckend verfügbar. Als Ersatz für gemessene Schwerewerte wurden theoretische Schwerewerte berechnet und herangezogen, um in Form von sphäroidischen Korrekturen die Konvergenz des Erdschwerefeldes (bzw. dessen Niveauflächen)² in Nord-Süd Richtung zu berücksichtigen. Die sich ergebenden Höhen im österreichischen Gebrauchssystem werden dementsprechend als sphäroidisch-korrigierte Höhen, oder als normal-orthometrische Höhen bezeichnet (siehe Kapitel 2.5).

Zur Berechnung der Gebrauchshöhen wird an die nivellierten Höhendifferenzen zwischen zwei Punkten A und B eine sphäroidische Korrektur K angebracht. K ist abhängig von der mittleren geographischen Breite φ_m des Messgebietes, der Schwereabplattung β , sowie der mittleren Höhenlage H_m und der Differenz der geographischen Breite $\Delta\varphi$ der Punkte A und B (Ledersteger, 1969 [7]):

$$K = \frac{-\beta \cdot \sin(2 \cdot \varphi_m)}{1 - 2 \cdot \cos^2 \varphi_m} \cdot H_m \cdot \Delta\varphi, \quad (10)$$

$$\text{mit } H_m = \frac{H_A + H_B}{2}, \quad \Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A.$$

² Unter der „Konvergenz der Niveauflächen des Erdschwerefeldes“ versteht man die Nicht-Parallelität der Niveauflächen aufgrund der Abplattung der Erde an den Polen. Dementsprechend sind sphäroidische Korrekturen von der geographischen Breite abhängig.

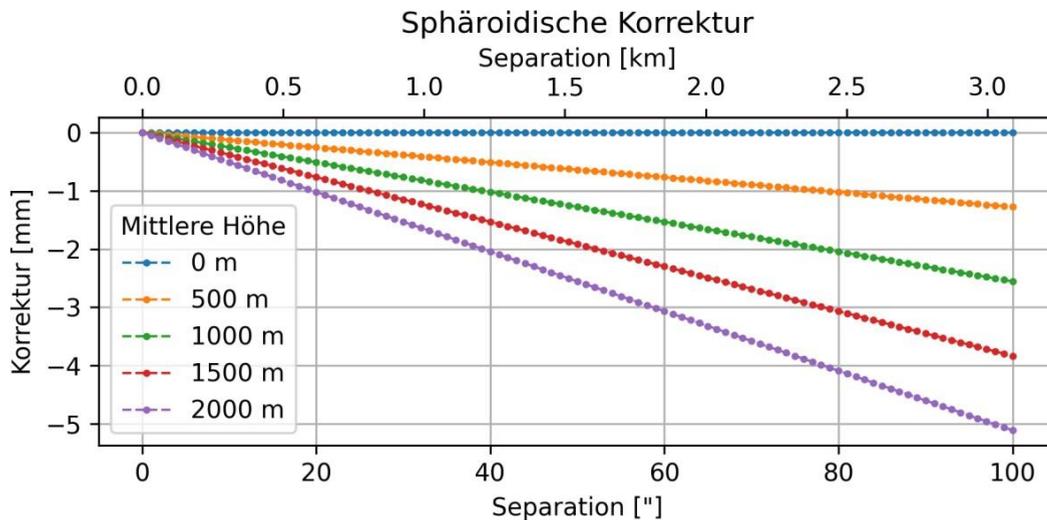


Abbildung 6: Sphäroidische Korrektur K laut Formel (10) in Abhängigkeit der Differenz der geographischen Breite $\Delta\varphi$ (Separation in km und Bogensekunden) für verschiedene mittlere Höhe H_m (farblich unterschieden).

Abbildung 6 zeigt K in Abhängigkeit von $\Delta\varphi$ für verschiedene mittlere Höhenlagen H_m . Die sphäroidische Korrektur wird seit Beginn der elektronischen Datenauswertung in den frühen 1990er Jahren mittels Formel (10), basierend auf den Lagekoordinaten der Punkte, berechnet. Davor wurde eine vereinfachte Gebrauchsformel unter Annahme einer konstanten mittleren geographischen Breite von $\varphi_m = 48^\circ$ verwendet und die Breitendifferenz $\Delta\varphi$ wurde graphisch aus dem vorliegenden Kartenwerk bestimmt. Für weiterführende Details siehe MGI (1897) [8].

3.2 Bezugspegel

Adriapegel

Historisch bedingt beziehen sich die Gebrauchshöhen auf den mittleren Adriapegel. Genau genommen auf die Höhenmarke Nummer 1 am Molo Sartorio in Triest. Aus Dringlichkeitsgründen wurde die Ausgangshöhe vom MGI im Jahr 1875 aus einer nur einjährigen Beobachtungsperiode mit dem selbstregistrierenden Flutautographen am dortigen Finanzwachgebäude bestimmt. Mehrjährige Folgemessungen zeigten, dass durch die kurze Beobachtungsperiode von nur einem Jahr langwellige Variationen des Meerwasserspiegels nicht berücksichtigt wurden. Somit wurde 1875 die Ausgangshöhe der Marke Nummer 1 um 89,9 mm zu niedrig angesetzt. Diese Differenz wurde jedoch nie korrigiert und ist auch heute noch als konstanter Offset in den Gebrauchshöhen enthalten (siehe z.B. Mitterschiffthaler, 2015 [9] oder Zeger, 1985 [10]).

Darüber hinaus zeigten italienische Untersuchungen, dass das Mittelwasser der Adria pro Jahrzehnt um ca. 15 bis 20 mm steigt. Summiert man den Meeresspiegelanstieg und den ursprünglichen Fehler von ca. 9 cm, so wird klar, dass der österreichische Bezugshorizont mittlerweile zu einem fiktiven Adriahorizont geworden ist, der um etwa 30 cm fehlerhaft ist (Zeger, 1985 [10]).

Haupt Höhenpunkt Hutbigl

Der Haupt Höhenpunkt (HHP) auf dem Hutbigl nördlich von Altenburg bei Horn wurde 1987 stabilisiert und stellt seitdem den sichtbaren Bezugspunkt des österreichischen Präzisionsnivellement-Netzwerkes dar. Der HHP ist sowohl nationaler Höhenreferenzpunkt, als auch internationaler Referenzpunkt für das European Vertical Reference Systems (EVRS; siehe Kapitel 5). Als einer von 13 bzw. 12 europaweit verteilten Höhenreferenzpunkten, die fix mit dem stabilen Teil der eurasischen Kontinentalplatte verbunden sind, realisiert er das vertikale Datum und somit den Bezugshorizont des EVRS in den Realisierungen 2007 (EVRF2007) bzw. 2019 (EVRF2019)³.

Abbildung 7 zeigt links das oberirdische Monument und rechts eine unterirdische Stabilisierung des HHP. Das Fundament ruht auf einem aus geologischer Sicht besonders stabilen Felsaufschluss des „Gföhler Gneis“. Zwecks Ausfallsicherheit und Überprüfbarkeit wurden neben dem eigentlichen HHP drei weitere Gruppen von Felsstabilisierungen in einem Umkreis von etwa 3 km installiert, die regelmäßig überwacht werden. Unter anderem dient der HHP als Referenzpunkt für die in Österreich beobachtbaren Höhenänderungen, die sich in einer Größenordnung von ca. +1 mm/Jahr im Alpenbereich und ca. -1 bis -2 mm/Jahr in der Molassezone und in den großen Beckenlandschaften bewegen (Ruess, 2009 [11]).

³ Siehe: <https://evrs.bkg.bund.de/>



Abbildung 7: Höhenhauptpunkt Hutbigl bei Horn (NÖ). Neben dem (a) Monument befindet sich (b) die unterirdische Stabilisierung, die direkt in einem geologisch besonders stabilen Felsaufschluss („Gföhler Gneis“) fundiert ist.

3.3 Historische Betrachtung

Wie beim gesamten österreichischen Landesvermessungssystem, reicht der Ursprung des Systems der Gebrauchshöhen bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. Grundlage ist das Nivellementnetz, das seit 1873 vom k. u. k. Militärgeographischen Institut (MGI), dem Vorgänger des BEV, gemessen wurde. Als Bezugshorizont wurde das Mittelwasser der Adria für das Jahr 1875 angenommen, das durch den selbstregistrierenden Pegelmessner am Finanzgebäude am Molo Sartorio in Triest definiert ist (siehe Kapitel 3.2).

Da für die Reduktion der Nivellementergebnisse bezüglich der in der Natur vorhandenen Schwereunterschiede in den Zeiten des MGI kaum Schweremessungen zur Verfügung standen, wurde nur die sphäroidische Korrektur an die reinen Nivellement-Höhenunterschiede angebracht. Diese Korrekturen können basierend auf der theoretischen Schwereformel, in Abhängigkeit der geographischen Breite und der Meereshöhe, berechnet werden. Die so berechneten Höhen werden als sphäroidisch-korrigierte oder normal-orthometrische Höhen bezeichnet (siehe Kapitel 2.5 und Kapitel 3.1).

Nach dem zweiten Weltkrieg konnte nicht mehr von einem geschlossenen österreichischen Nivellementnetz gesprochen werden, da im Krieg sehr viele Höhenfestpunkte des alten MGI-Netzes zerstört wurden. In den Nachkriegsjahren wurde das Nivellementnetz, beginnend mit Westösterreich, neu eingemessen. Dabei wurde der Bezug zum Adria-horizont durch Beibehaltung von Höhen ausgewählter Punkte hergestellt. Bei dieser Neuübermessung wurden grobe und systematische Fehler in den alten MGI Linien aufgedeckt und teilweise bereinigt. Nichtsdestotrotz büßte das Gebrauchshöhennetz einen Teil der tatsächlich

erzielbaren Genauigkeit aufgrund der damaligen Berechnungsmethoden und den daraus folgenden Anschlusszwängen ein.

Im Jahr 1966 begann die Neuübermessung der Präzisionsnivellement-Linien erster Ordnung, welche im Jahr 1983 abgeschlossen wurde. Das so erstellte Netz bestand aus 13 Schleifen innerhalb Österreichs, mit einer Gesamtlänge von 3894 km. Diese Messungen bilden im Wesentlichen die Grundlage für das derzeit gültige System der Gebrauchshöhen. In den folgenden Jahren und Jahrzehnten wurde dieses Netz durch neu eingemessene Nivellement-Linien weiter verdichtet. Bestehende Linien wurden teilweise zur Kontrolle und zur Wiederherstellung verloren gegangener Punkte übermessen. Kapitel 4 gibt Auskunft über den aktuellen Status des österreichischen Höhenfestpunktnetzes.

Viele Details zur Geschichte des österreichischen Nivellements und des daraus abgeleiteten Höhenreferenzsystems sind beispielsweise in den Publikationen von Zeger (1985 [10] und 1986 [12]) und in der Diplomarbeit von Gruber (1991) [13] zu finden.

4 Nivellement-Netz und Höhenfestpunkte in Österreich

Die Höhenfestpunkte des Präzisionsnivellement im System der Gebrauchshöhen bilden die Ausgangsbasis für jede weitere Höhenmessung im System der Österreichischen Landesvermessung und stellen den österreichweiten Höhenbezugsrahmen (im System der Gebrauchshöhen) dar.

Die aus der Ausgleichung abgeleitete Messgenauigkeit der Nivellementhöhen liegt bei $\pm 0,6$ mm/km. Aufgrund der Einpassung von neuen Messungen in das bestehende Netz ergeben sich zusätzlich Zwänge von bis zu 2 mm/km. Mit zunehmendem Alter der Messungen kann infolge von Höhenänderungen der Stabilisierungsobjekte eine Verringerung der Genauigkeit eintreten, d.h. das Alter der Höhenbestimmung stellt u.a. ein Kriterium für die Qualität der Höhenangabe dar. Die Lagegenauigkeit der Höhenfestpunkte im System MGI/GK ist je nach Kartierungsgrundlage unterschiedlich und liegt zwischen wenigen dm (trigonometrische Lagebestimmung, GNSS, DGPS) bis zu ca. 100 m (aus Digitalisierung der ÖK50).

Derzeit werden ca. 29.000 Höhenfestpunkte geführt. Tabelle 1 veranschaulicht die Messepochen. Abbildung 8 zeigt eine Übersicht der Linien des österreichischen Präzisionsnivellement-Netzes.

Tabelle 1: Messepochen der derzeit gültigen Höhenfestpunkte des Präzisionsnivellement-Netzwerkes.

Messperiode	Anzahl gültiger Punkte (Stand: Februar 2019)
1946 - 1955	255
1956 – 1965	1568
1966 – 1975	5390
1976 – 1985	8856
1986 – 1995	5264
1996 – 2005	4509
2006 – 2015	3243
2016 – 2018	243
Summe	29316

Linienübersicht im österreichischen
Präzisionsnivellement
(Stand 2018)

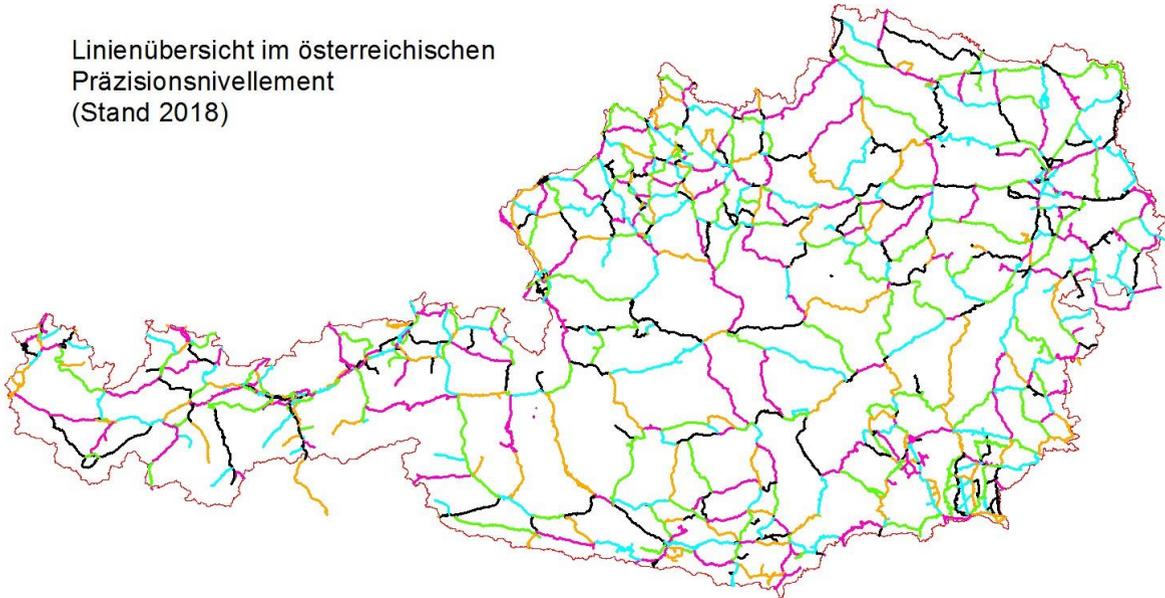


Abbildung 8: Übersicht der Linien des österreichischen Präzisionsnivellements (Stand 2018). Die Färbung dient zur Unterscheidung einzelner Linien.

4.1 Stabilisierungsarten der Höhenfestpunkte

Abgesehen von großräumigen Höhenänderungen hängt die Qualität der Höhenangabe wesentlich von der Stabilität der Stabilisierungsobjekte ab. Höhenfestpunkte im Präzisionsnivellement werden heute vor allem mit Höhenbolzen aus Messing, die horizontal in einem Gebäude oder in Gestein verankert werden, stabilisiert. Die unterschiedlichen Stabilisierungsarten der heute gültigen Höhenfestpunkte sind in Tabelle 2 gelistet.

Tabelle 2: Stabilisierungsarten der Höhenfestpunkte im Präzisionsnivellement.

Stabilisierungsart	Beispiele (exemplarisch)
Höhenmarke alte Type (rechteckig)	
Höhenmarke neue Type (quadratisch)	

**Turmbolzen,
österreichisch (mit
Lochmarke)**



**Turmbolzen, deutsch
(Höhenbezug über Loch
oder Scheitel)**



Höhenbolzen, horizontal



Höhenbolzen, vertikal

Bolzenform wie bei „Höhenbolzen, horizontal“

Höhenbolzen, schräg

Bolzenform wie bei „Höhenbolzen, horizontal“

Kugelbolzen, horizontal



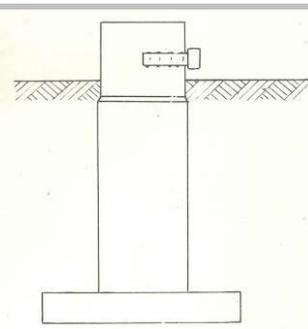
Kugelbolzen, vertikal



Kugelbolzen, schräg

Bolzenform wie bei „Höhenbolzen, horizontal/vertikal“, selten

**Nivellementstein mit
Höhenbolzen (horizontal)**



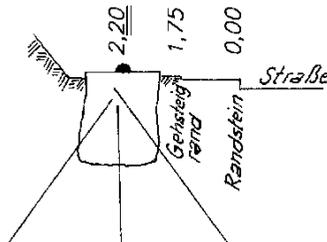
Nivellementstein mit Kugelbolzen (vertikal)



Betonrohr mit Kugelbolzen (ab 1990)



Betonfundament mit Kugelbolzen



Tief fundierte Rohrbefestigung

z.B. 12 m tief fundierte Betonpfeiler mit eingelassenem Chrom-Nickel Bolzen und einer Rohrummantelung (Bereich Neusiedlersee).

Sonstige Stabilisierung (Laut Beschreibung in der Punktskizze)



Pegel

Pegelmessstelle an einem Gewässer.

4.2 Punktkarte Höhenfestpunkt

Die Höhenfestpunkte des Präzisionsnivellements werden als Produkt des BEV sowohl digital als csv-Datei, als auch in Form einer Punktkarte vertrieben. Die angegebenen Höhen beziehen sich auf das System der Gebrauchshöhen (sphäroidisch-korrigierte Höhen, siehe Kapitel 3). Der genaue Inhalt der Punktkarten sei im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert, siehe Abbildung 9 (Übersicht) und Abbildungen 9 bis 11 (Details).

a)

**Punktkarte
Präzisionsnivellement P 48909**



Liniennummer: P 912
 Auflage der Punktkarte: 3
 Meridian: 34
 Bundesland: Wien
 Politische Gemeinde: Wien
 Gerichtsbezirk: Josefstadt
 Vermessungsbezirk: Wien
 Letzte Begehung: 2017



b)

h [m]	Stabilisierungsart	Höhenbezug	Op.Höhe	Messjahr	y_{GK} [m]	x_{GK} [m]	LKoord.
205,965	Höhenbolzen horizontal	Scheitel	1/01	2001	933,51	5340374,63	+/- 0,1 m

c)

Früh. PktNr.	Id. TP/EP	Id. ÖSGN	Sonst. Id.	ÖK50	KG-Nr.	KG-Name	Gst.Nr.	D2001	Mbl.
P 19735	TP243-59H1	S 3-059-09	STN FBB	59	01010	Neubau	1826		7635-73/4
Messweg (Punkt Entfernung [m]):		P 48908 67, P 48910 294							
Beschreibung:									

Lage- und Wegbeschreibung: an der Pfarrkirche Schottenfeld zum Hl. Laurenz,
Wien 7., Westbahnstraße 17

Vorläufige Ausgabe der Punktkarte.

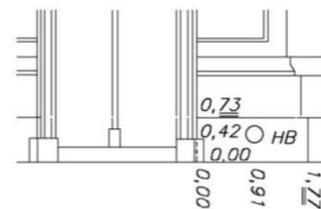
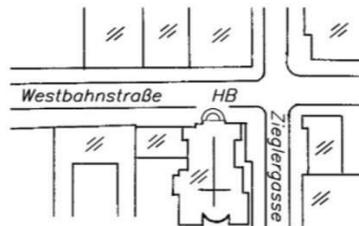


Abbildung 9: Punktkarte Höhenfestpunkt. Neben (a) der Punktbezeichnung und allgemeinen Informationen (zur hoheitlichen Zuordnung), (b) Angaben zur Höhe (im System der Gebrauchshöhen, siehe Kapitel 3) und (c) sonstigen Informationen zu Punktidentitäten, etc., zeigt die Punktkarte eine Skizze des lokalen Umfeldes (unten).

a) Punktbezeichnung und Allgemeines

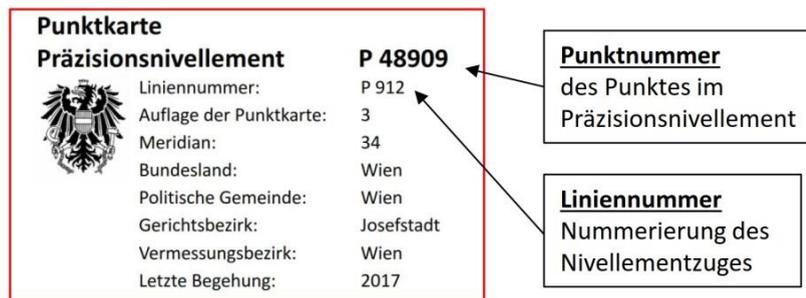


Abbildung 10: Details zur Punktkarte in Abbildung 9.

b) Lage und Höhe

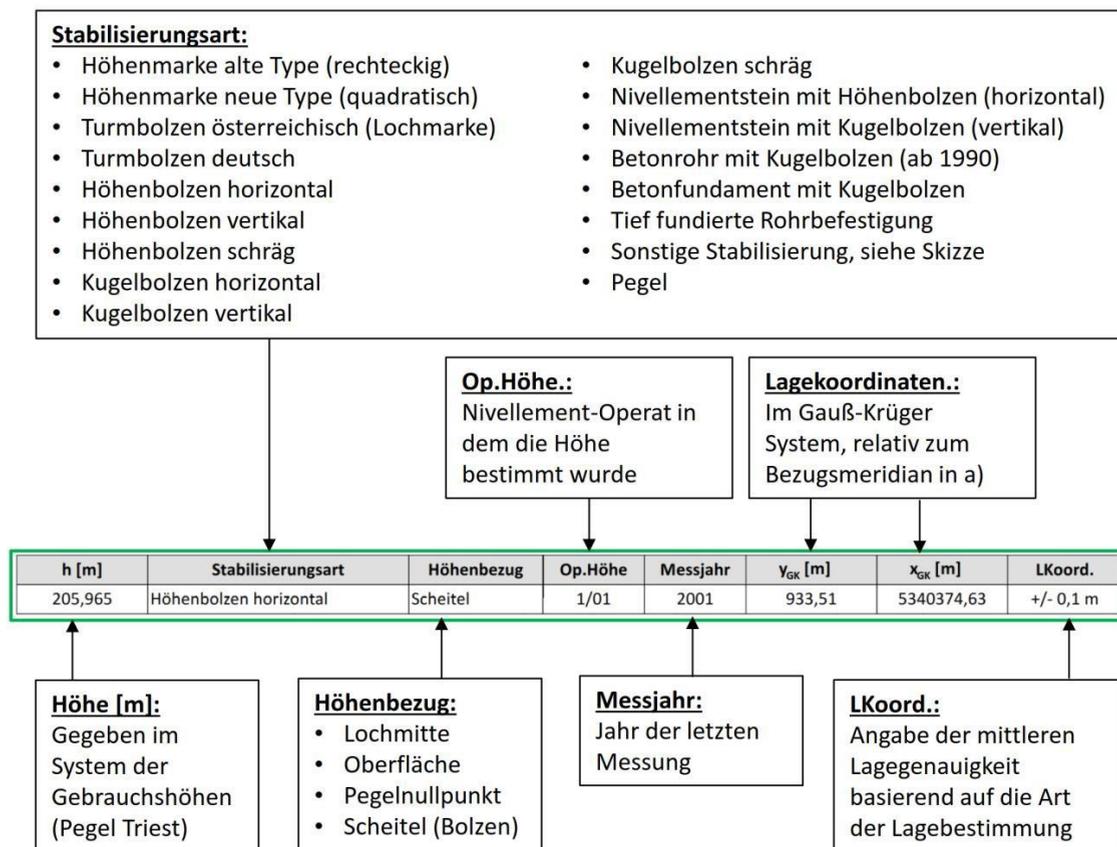


Abbildung 11: Details zur Punktkarte in Abbildung 9.

c) Sonstige Informationen

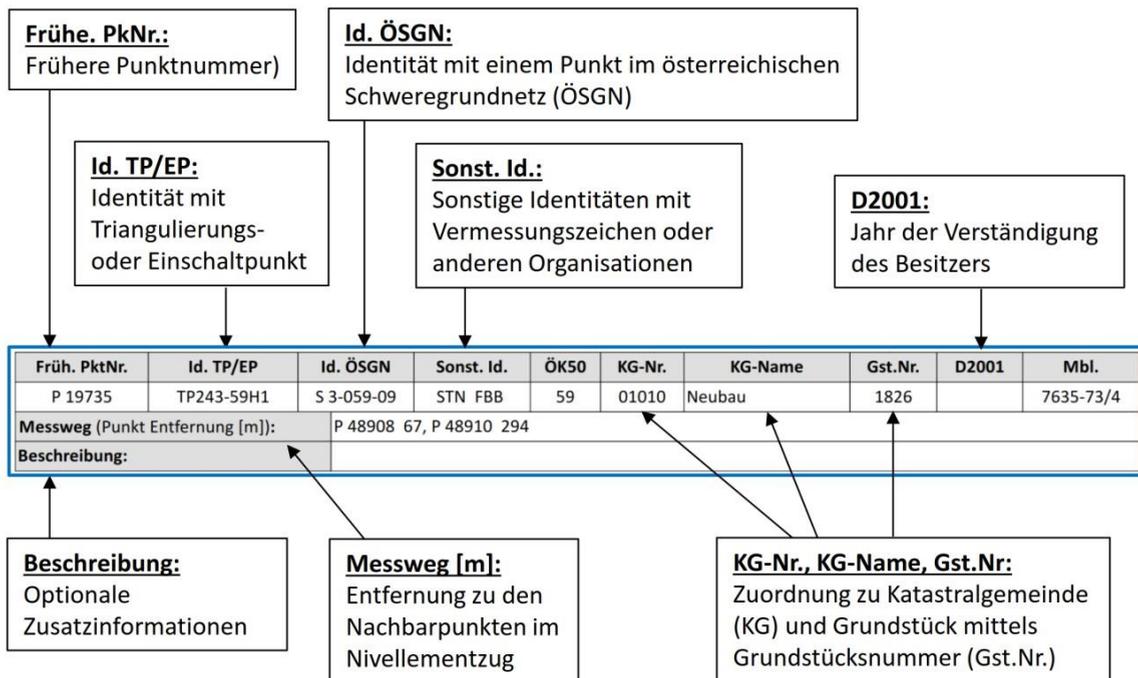


Abbildung 12: Details zur Punktkarte in Abbildung 9.

5 Das europäische Höhenreferenzsystem

Durch verschiedene Bezugspegel und Unterschiede in den theoretischen Höhendefinitionen unterscheiden sich die Bezugshöhen der nationalen Höhenreferenzsysteme der europäischen Länder jeweils um mehrere Dezimeter, im Extremfall um über 2 m. Gebräuchliche Höhenarten sind neben normal-orthometrischen Höhen, wie in Österreich, Normalhöhen und orthometrische Höhen.

Zur Realisierung eines einheitlichen europäischen Höhenreferenzsystems mit Dezimeter-Genauigkeit wurde in den 1980ern das **United European Levelling Network (UELN)** geschaffen (Sacher et al., 1999 [14]). Das UELN ist ein Zusammenschluss der Nivellementnetze 1. Ordnung aller beteiligten Länder. Der aktuelle Stand (2019) ist in Abbildung 13 dargestellt. Das Daten- und Analysezentrum des UELN befindet sich am Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Deutschland.

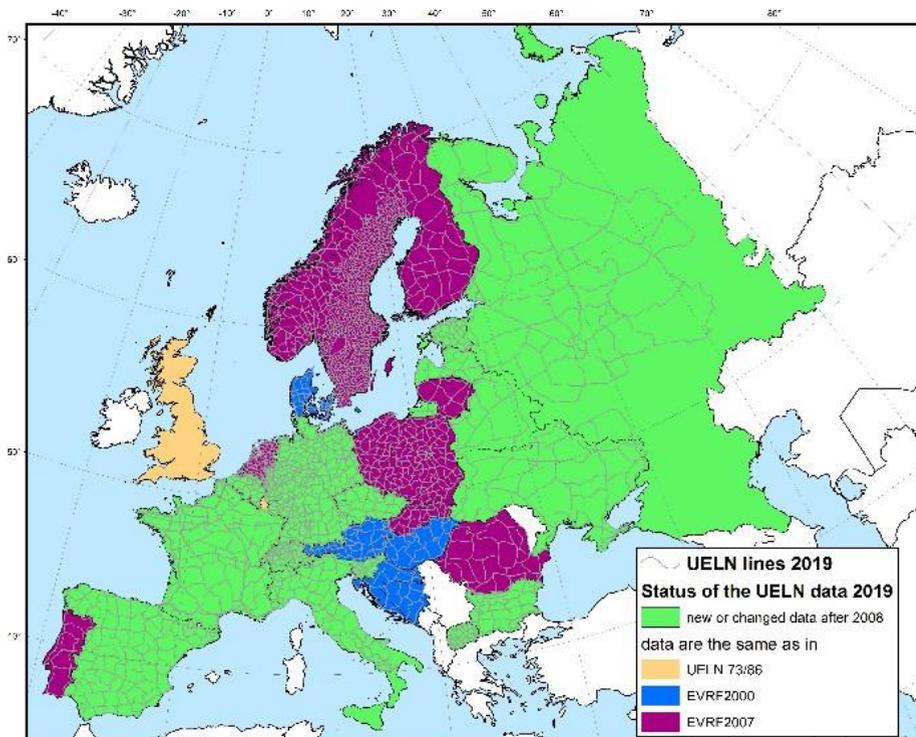


Abbildung 13: Status des United European Levelling Network (UELN) im Jahr 2019. Das UELN ist ein Zusammenschluss der Nivellementnetze 1. Ordnung (*graue Linien*) der beteiligten Länder. Der Aktualitätsstand der Nivellement-Daten im UELN Datenzentrum (BKG) ist *farblich gekennzeichnet* (Quelle: BKG).

Das UELN bildet die Grundlage für die Realisierung eines europaweiten Höhenreferenzsystems, des **European Vertical Reference Systems (EVRS)**. Das vertikale

Datum des EVRS ist definiert als Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes $W_0 = W_{0E} = \text{const.}$ mit dem Bezugspegel Amsterdam (Normaal Amsterdam Peil, NAP; siehe Waalewijn, 1986 [15]). Die Angabe der Höhe eines Punktes P erfolgt in Form von geopotentiellen Knoten C_P (siehe Kapitel 2.1). Es gilt:

$$C_P = W_{0E} - W_P. \quad (11)$$

Die vollständige Definition und weitere Details finden Sie auf der EVRS Webseite⁴ des BKG und in [16].

5.1 Realisierungen des EVRS

Das EVRS wird realisiert durch geopotentielle Knoten der UELN Knotenpunkte mit Bezug auf den Amsterdamer Pegel (NAP). Das Ergebnis des UELN Netzausgleichs von 1998 (UELN 95/98; siehe Sacher et al., 1999 [14]) wurde im Jahr 1999 an die beteiligten Staaten übergeben. Ein Jahr später wurde das UELN95/98 Ergebnis beim EUREF Symposium in Tromsø (Norwegen) offiziell als erste Realisierung des EVRS anerkannt und bekam die Bezeichnung **European Vertical Reference Frame 2000 (EVRF2000)**, siehe Ihde & Augath (2000) [17].

Nach dem Jahr 2000 aktualisierten viele Staaten ihre Nivellement-Messungen und das UELN Netz konnte weiter nach Osten ausgedehnt werden. U.a. beteiligten sich nun auch die baltischen Staaten, Rumänien und Bulgarien. Folglich wurde eine neue UELN Lösung gerechnet und die Ergebnisse wurden beim EUREF Symposium 2008 in Brüssel als **EVRF2007** anerkannt (Sacher et al., 2008 [18]). Eine weitere Aktualisierung erfolgte im Jahr 2020 mit der Veröffentlichung des **EVRF2019**. Das gesamte UELN Netz zur Berechnung des EVRF2019 ist in Abbildung 13 dargestellt.

5.2 EVRF2000 als internationaler Höhenbezug in Österreich

Für den UELN95/98 Ausgleich wurden im Netz des österreichischen Präzisionsnivellements 96 Knotenpunkte definiert. Die reduzierten Beobachtungen zwischen diesen Punkten (145 Differenzen geopotentieller Knoten) gingen in den UELN Ausgleich ein. Als Resultat erhielt das BEV für diese Punkte geopotentielle Knoten im EVRF2000, die in weiterer Folge den Bezug zum europäischen Höhenreferenzsystem innerhalb Österreichs realisieren.

⁴ Siehe: <https://evrs.bkg.bund.de/>

Basierend auf den 96 UELN Knotenpunkten wurden ab den frühen 2000er Jahren alle neuen Nivellement-Messungen sowohl im System der Gebrauchshöhen (siehe Kapitel 3), als auch im EVRF2000 ausgewertet. Außerdem wurden aus dem damals bestehenden Nivellement- und Schweredatensatz für alle österreichischen Höhenfestpunkte nachträglich geopotentielle Koten mit Bezug zum EVRF2000 berechnet.

Praktische Bedeutung:

Derzeit liegen für den Großteil der am BEV geführten Höhenfestpunkte geopotentielle Koten bezogen auf den EVRF2000 vor. Diese Koten können, laut den Formulierungen in Kapitel 2, in andere (metrische) Höhensysteme umgerechnet werden. Dementsprechend können **orthometrische Höhen** und **Normalhöhen** mit Bezug zum EVRF2000 (Pegel Amsterdam) für die nationalen Höhenfestpunkte abgeleitet werden.

6 Höhentransformationen mit Rasterdaten

Höhenreferenzsysteme unterscheiden sich nicht nur durch unterschiedliche Bezugspegel, sondern auch durch ihre theoretische Definition (Bezugsfläche, Höhenart, etc.) und verschiedene Herangehensweisen in der Berechnung. Deshalb ist das Anbringen eines konstanten Offsets (z.B. Unterschied im Bezugspegel) in der Regel nicht ausreichend um die gewünschte Höhentransformation mit ausreichender Genauigkeit großräumig durchzuführen. Eine übliche Vorgehensweise ist es, die Höhentransformation in Form eines Rasters („Grid“) darzustellen. Man erhält die transformierte Höhe H_{P_neu} für einen Punkt P indem man im Transformations-Grid den Wert für die Lage von P interpoliert und diesen Interpolationswert ΔH_{Grid} an die Ausgangshöhe H_{P_alt} von P anbringt:

$$H_{P_neu} = H_{P_alt} + \Delta H_{Grid} \quad (12)$$

Für Österreich relevante Höhentransformationen basierend auf Rasterdaten des BEV sind in Abbildung 14 angeführt. Weitere Details finden Sie in den Kapiteln 6.1 bis 6.3.

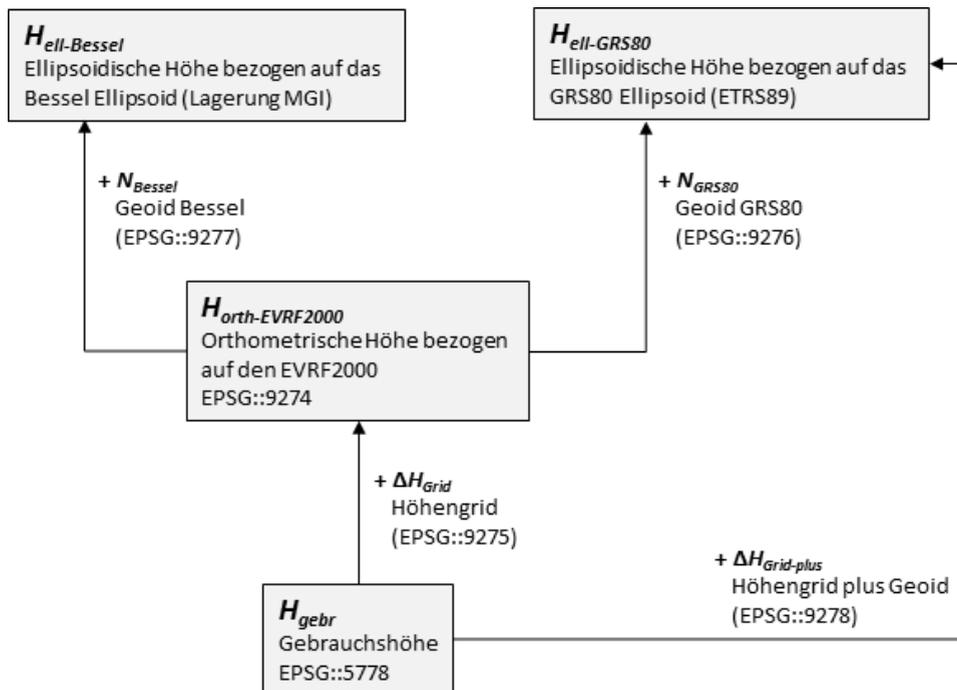


Abbildung 14: Raster-basierte Transformationen zwischen den gebräuchlichen Höhen in Österreich. Weiter Details zu den angegebenen EPSG Codes finden Sie in Kapitel 7.

Sämtliche Koordinatentransformationen, die das österreichische Landesvermessungssystem betreffen, sind in der online-Applikation BEV-Transformator implementiert und können entgeltfrei genutzt werden⁵.

6.1 Zwischen ellipsoidischen Höhen und orthometrischen Höhen

Die **Geoidundulation** N beschreibt die Differenz zwischen orthometrischer und ellipsoidischer Höhe laut Formel (6) und kann somit zur Transformation zwischen diesen Höhensystemen verwendet werden. Für Österreich bietet das BEV zwei Grids, die Geoidundulationen bezogen auf das GRS80 Ellipsoid (System ETRS89) bzw. auf das Bessel Ellipsoid (Lagerung MGI) mit einer Rasterweite von $1,5' \times 2,5'$ zur Verfügung stellen⁶. Entsprechend Abbildung 14 dienen diese zur Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen (bezogen auf GRS80 bzw. Bessel) und orthometrischen Höhen im vertikalen Referenzrahmen EVRF2000 (EPSG::9274). Für weitere Details siehe Kapitel 1.3.1. und Pail et al. (2008) [3].

6.2 Zwischen Gebrauchshöhen und orthometrischen Höhen

Das vom BEV angebotene **Höhengrid**⁷ kann zur Transformation zwischen amtlichen Gebrauchshöhen H_{geb} (siehe Kapitel 3, EPSG::5778) und orthometrischen Höhen H_{orth} bezogen auf den EVRF2000 (siehe Kapitel 5.2, EPSG::9274) herangezogen werden. Das Höhengrid stellt die Differenzen $H_{orth} - H_{geb}$ mit einer Gitterweite von $15'' \times 22,5''$ (entspricht ungefähr einem Abstand von 500 m) dar, siehe Abbildung 15. Ist ΔH_{HGrid} der auf die betreffende Lage interpolierte Wert im Höhengrid, so gilt:

$$H_{geb} = H_{orth} - \Delta H_{HGrid}. \quad (13)$$

Die mittlere Genauigkeit (1σ) des Höhengrid beträgt ± 5 cm. Für weitere Details sei auf die Publikation von Briese et al. (2011) [19] verwiesen.

⁵ BEV Transformator: <https://transformator.bev.gv.at/>

⁶ Die Geoid Grids sind unentgeltlich auf der BEV Webseite verfügbar:
https://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2157077&_dad=portal&_schema=PORTAL.

⁷ Das Höhengrid ist unentgeltlich auf der BEV Webseite verfügbar:
https://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2204753&_dad=portal&_schema=PORTAL.

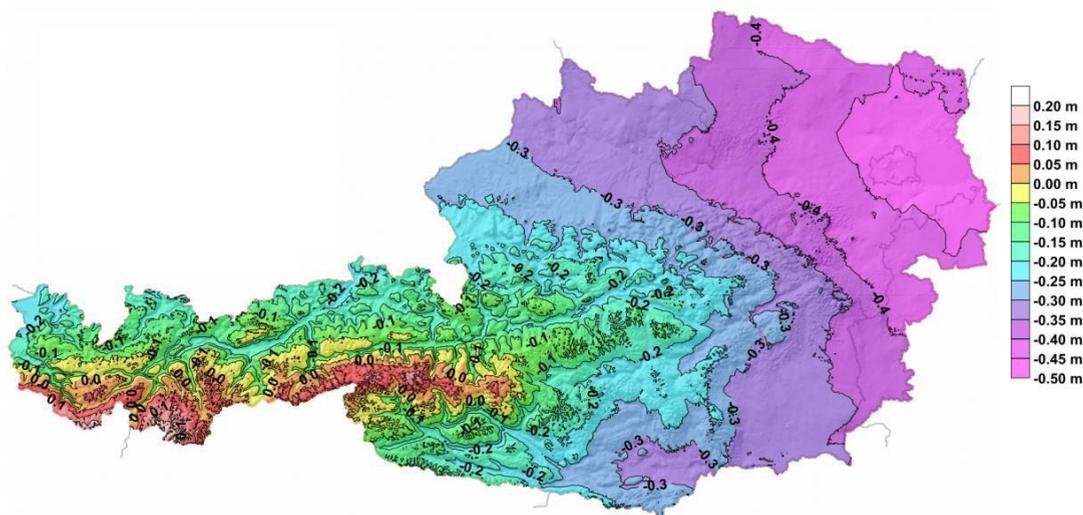


Abbildung 15: Das Höhenraster stellt die Differenzen ($H_{orth} - H_{geb}$) flächendeckend für ganz Österreich dar und kann zur Transformation zwischen orthometrischen Höhen bezogen auf den EVRF2000 und Gebrauchshöhen verwendet werden [19].

6.3 Zwischen ellipsoidischen Höhen und Gebrauchshöhen

Das **Höhenraster+Geoid**⁸ stellt die Vereinigung aus Höhenraster (Kapitel 6.2) und Geoid bezogen auf das GRS80 Ellipsoid (Kapitel 6.1) dar. Es ermöglicht somit die Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen im System ETRS89 (GRS80) und Gebrauchshöhen (EPSG::5778) in nur einem Schritt zu vollziehen. Das Höhenraster+Geoid kann somit direkt verwendet werden, um mit APOS im System ETRS89 bestimmte Höhen auf Gebrauchshöhen umzurechnen. Das Raster stellt die Differenzen $H_{ell_GRS80} - H_{geb}$ mit einer Gitterweite von 15'' x 22,5'' dar, wobei mit dem im Raster interpolierten Wert ΔH_{HGrid_plus} gilt:

$$H_{geb} = H_{ell_GRS80} - \Delta H_{HGrid_plus} \quad (14)$$

Die Genauigkeit (1σ) der Höhenkorrekturen (ΔH_{HGrid_plus}) beträgt im flachen Gelände ca. $\pm 3,5$ cm und in Gebirgsregionen ca. ± 6 cm.

⁸ Das Höhenraster ist unentgeltlich auf der BEV Webseite verfügbar:
https://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,2363167&_dad=portal&_schema=PORTAL.

7 EPSG Codes

Die EPSG Codes sind ein System von 4- bis 5-stelligen Schlüsselnummern zur eindeutigen Identifikation von Koordinatenreferenzsystemen und anderen geodätischen Datensätzen, wie Transformationen, Datumsdefinitionen, Projektionen und Referenzellipsoide⁹. Tabelle 3 enthält eine Auswahl der in Österreich relevanten EPSG Codes im Bezug auf Höhenreferenzsysteme.

Tabelle 3: Für österreichische Höhenreferenzsysteme relevante EPSG Codes. Die wichtigsten vertikalen Koordinatenreferenzsysteme (engl.: coordinate reference systems; CRS) haben die EPSG Codes 5778 und 9274.

EPSG Code	Typ	EPSG Bezeichnung	Beschreibung
5778	Vertical CRS	GHA height	Gebrauchshöhen, Pegel Adria (siehe Kapitel 3).
9274	Vertical CRS	EVRF2000 Austria height	Orthometrische Höhen mit Bezug zum EVRF2000 in Österreich, Pegel Amsterdam (siehe Kapitel 5.2) .
1261	Vertical Datum	European Vertical Reference Frame 2000 Austria	Vertikales Datum von EPSG::9274, definiert durch die UELN95/98 Knotenpunkte innerhalb Österreichs.
9276	Transformation	ETRS89 to EVRF2000 Austria height	Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen (GRS80, System ETRS89) und orthometrischen Höhen im EVRF2000 in Österreich (EPSG::9274) mit dem Geoid-Grid (GRS80).
9277	Transformation	MGI to EVRF2000 Austria height	Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen (Bessel, Lagerung MGI) und orthometrischen Höhen im EVRF2000 in Österreich (EPSG::9274) mit dem Geoid-Grid (Bessel).
9278	Transformation	ETRS89 to GHA Austria height	Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen (GRS80, System ETRS89) und österreichischen Gebrauchshöhen (EPSG::5778) mit dem Höhengrid+Geoid.
9275	Transformation	GHA height to EVRF2000 Austria height	Transformation zwischen österreichischen Gebrauchshöhen (EPSG::5778) und orthometrischen Höhen im EVRF2000 in Österreich (EPSG::9274) mit dem Höhengrid.
8881	Vertical CRS	Vienna height (Wiener Null)	Lokale Höhenreferenz der Stadt Wien.
9371	Transformation	Vienna height to GHA height	Transformation zwischen Gebrauchshöhen (EPSG::5778) und Wiener Null (EPSG::8881) durch Addition eines konstanten Offsets von 156,68 m an die entsprechenden Gebrauchshöhen.

⁹ Siehe z.B.: <http://www.epsg.org/>

Literaturverzeichnis

- [1] BRETTERBAUER, K. (1986): Das Höhenproblem in der Geodäsie. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie (ÖZ), 74. Jahrgang, Heft 4, 1986.
- [2] INCE, E. S., BARTHELMES, F., REISSLAND, S., ELGER, K., FÖRSTE, C., FLECHTNER, F., SCHUH, H. (2019): ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services and future plans. *Earth System Science Data*, 11, pp. 647-674, DOI: <http://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>.
- [3] PAIL, R., KÜHTREIBER, N., WIESENHOFER, B., HOFMANN-WELLENHOF, B., OF, G., STEINBACH, O., HÖGGERL, N., IMREK, E., RUESS, D., ULLRICH, Ch. (2008): The Austrian Geoid 2007. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation - VGI, 96. Jg., Heft 1/2008, pp 3-14.
- [4] RUESS, D. (2001): Aufbau des orthometrischen Höhensystems mit verfeinerten Methoden der Schwerereduktion. In: *Proceedings 8th Int. Meeting on Apline Gravimetry*, Leoben, Österreich, Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik.
- [5] MEURERS, B., RUESS, D., GRAF, J. (2001): A program system for high precise Bouguer gravity determination. In: *Proceedings 8th Int. Meeting on Apline Gravimetry*, Leoben, Österreich, Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik, pp 217-226.
- [6] MORITZ, H., 1980. Geodetic reference system. *Bulletin Géodésique*, 54, pp 395-405.
- [7] LEDERSTEGER (1969): *Handbuch der Vermessungskunde*, Band 5 – Astronomische und physikalische Geodäsie (Erdmessung), J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1969.
- [8] MGI (1897). *Das Präzisionsnivellement in der Österreichischen Monarchie – I. Theoretische Grundlagen und Ausführungsbestimmungen*. Astronomisch-Geodätische Arbeiten des K.u.K. Militär-Geographischen Institutes in Wien, VII. Band, 1897.
- [9] MITTERSCHIFFTHALER, Ph. (2016): Kinematischer Ausgleich des Österreichischen Höhennetzes 1. Ordnung. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation - VGI, 99. Jg., Heft 1/2015, pp 47-52.
- [10] ZEGER, J. (1985): Aufbau eines neuen Höhensystems in Österreich. *Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN)*, Heft 8-9, 1985. Herbert Wichmann Verlag GmbH, pp 299-311.
- [11] RUESS, D. (2009): Der Höhenhauptpunkt Österreichs als Referenzpunkt im europäischen Höhenbezugssystem. *BEV – Leistungsbericht 2009*, pp 44-45.
- [12] ZEGER, J. (1986): Historische Entwicklung des Präzisionsnivellements in Österreich. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie (ÖZ), 74. Jahrgang, Heft 4, 1986.
- [13] GRUBER, L.L. (1991): *Das Gebrauchshöhensystem in Österreich. Geschichtliche Entwicklung und derzeitiger Stand*. Diplomarbeit am Institut für Theoretische Geodäsie, Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, Technische Universität Graz.

- [14] SACHER, M., IHDE, J., LANG, H. (1999): Results of the Adjustment of the United European Leveling Network 1995 (UELN95/98). Report by the UELN data centre, Leipzig 1999.
- [15] WAALEWIJN, A. (1986): Der Amsterdamer Pegel (NAP). Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie (ÖZ), 74. Jahrgang, Heft 4, 1986.
- [16] BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIER UND GEODÄSIE (2019): Definition of European Vertical Reference System. Online:
https://evrs.bkg.bund.de/Subsites/EVRS/EN/References/Definitions/Def_EVRS-pdf.pdf
- [17] IHDE, J. und AUGATH, W. (2000): The Vertical Reference System for Europe. In: Veröff. Bayer. Komm. Int. Erdmess., Bayer. Akad. d. Wiss., Astron.-geod. Arb., München, 2000, H. 61, pp 99-110.
- [18] SACHER, M., IHDE, J., LIEBSCH, G., MÄKINEN, J. (2008): EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System. In: Proceedings of the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) in Brussels, June 18-21, 2008.
- [19] BRIESE, Ch., HÖGGERL, N., IMREK, E., OTTER, J., RUESS, D. (2010): Transformation von GNSS-Höhen in österreichische Gebrauchshöhen mittels einer Transformationsfläche (Höhen-Grid). Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation - VGI, 99. Jg., Heft 4/2011, pp 267-281.

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, 1020 Wien

Abteilung Grundlagen

Wien, 2020. Stand: 20. August 2020

DI. Dr Andreas Hellerschmied

Telefon: +43 1 21110-823220

E-Mail: andreas.hellerschmied@bev.gv.at