

DER REGIERUNGSPRÄSIDENT

Normalhöhen in Nordrhein-Westfalen

Einführung des Höhensystems “Deutsches Haupthöhennetz 1992” in NRW

Seit dem 01.01.2002 gilt in Nordrhein-Westfalen das Höhensystem “Deutsches Haupthöhennetz 1992” (DHHN92). Es trägt, wie auch die neue EURO-Währung, deren Einführung zum gleichen Zeitpunkt erfolgte, dem „Europäischen Gedanken“ Rechnung. Dachte man schon vor dem Beitritt der neuen Bundesländer an ein neues einheitliches, bundesweites Haupthöhennetz (DHHN85), um so wichtiger wurde die Vereinheitlichung der geodätischen Bezugssysteme in Deutschland nach der Wiedervereinigung. Bereits 1993 beschloss die AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland), eine Höhenart und eine Höhenbezugsfläche zu wählen, die sich sowohl mit zukünftigen Methoden der Höhenmessung, als auch mit den Höhensystemen der europäischen Nachbarländer verbinden lässt: Normalhöhen über dem Quasigeoid als Höhenbezugsfläche. Diese Höhen werden auch als Höhen über der Normalhöhennull-Fläche (NHN-Höhen) bezeichnet. Für einen zukunftsweisenden Schritt in Richtung Europa ist somit in der Höhenvermessung der Grundstein gelegt.

Das Konzept des DHHN92 umfasst folgende Gesichtspunkte:

- Schaffung einer homogenen und hochgenauen geodätischen Grundlage für Höhenmessungen aller Art in ganz Deutschland.
- Erstellung von geeigneten Verbindungen mit dem Vereinigten Europäischen Nivellementnetz REUN (seit 1995 UELN).
- Verwendung einer sowohl wissenschaftlich fundierten als auch für die Praxis gut geeigneten Höhendefinition.

Geschichtlicher Rückblick

1974-1976	Neumessung des Staatlichen Nivellementnetzes 1.Ordnung (SNN76) in der ehemaligen DDR
1980 -1985	Wiederholungsnivellements und Schweremessungen auf den Linien 1. Ordnung in den alten Bundesländern zur Bestimmung des Deutschen Haupthöhennetzes 1985 (DHHN85)
1990 -1992	Im Nachgang zur Wiedervereinigung Deutschlands Verbindungsnivellements mit Schweremessungen zwischen den Nivellementnetzen der alten und der neuen Bundesländer
1993	Beschluss der AdV: Einführung des neuen, bundesweit einheitlichen Höhenbezugsystems DHHN92
1994	Gesamtausgleichung des DHHN92
ab 1995	Anrechnung ergänzender Teilnetze niederer Ordnungen in die Landesnetze durch die jeweiligen Landesvermessungsdienststellen der Bundesländer. In Nordrhein-Westfalen Neuausgleichung des Niv-Netzes 2. Ordnung und Transformation des Niv-Netzes 3. Ordnung.

Berechnung des Höhensystems DHHN92

Mit der Bestimmung von Normalhöhen entschied man sich für eine hypothesenfreie Ausgleichung des gesamtdeutschen Nivellementnetzes. In die gemeinsame Berechnung der etwa 55.000 Nivellementpunkte 1. Ordnung in allen Bundesländern wurden folgende Messungselemente einbezogen:

- Wiederholungsnivellements 1980-85 des DHHN85 (alte BRD),
- Neumessungen 1974-1976 des SNN76 (DDR),
- Verbindungsmessungen zwischen den beiden Netzen,
- Messungen der Nachbarstaaten zur Netzrandstabilisierung,
- Schweremessungen entlang der Nivellement-Linien.

In einer zwangsfreien Ausgleichung wurden für die Knotenpunkte zunächst geopotentielle Knoten bestimmt. Die Niv-Linienpunkte wurden in einer weiteren Berechnung im Linienausgleich an die Knotenpunkte ermittelt. Anschließend wurden aus den geopotentiellen Knoten Normalhöhen berechnet.

Geodätische Eigenschaften des Höhensystems DHHN92

Das neue Höhensystem ist mit folgenden Angaben festgelegt:

Höhenbezugspunkt:	Normaler Amsterdam Pegel (NAP)
Höhenanschlusspunkt:	Höhenmarke Kirche Wallenhorst (Niedersachsen) mit der geopotentiellen Kote des REUN73/86
Höhenbezugsfläche:	Normalhöhennull-Fläche (NHN-Fläche), entspricht dem Quasigeoid nach der Theorie von Molodenski und Vignal
Benennung der Höhen:	Höhen über Normalhöhennull (NHN-Höhen)
Höhenart:	Normalhöhe (Abstand eines Punktes vom Quasigeod)
Schwerereduktion:	Normalhöhenreduktion (NR)
Höhenstatus:	160 (mit einer Höhenstatuszahl werden u.a. amtliche Höhen in verschiedenen Höhensystemen unterschieden)

Höhenbezugsflächen

Um jeden Punkt der Erdoberfläche mathematisch einfach und eindeutig definieren zu können (z.B. bei der Kartenherstellung) ersetzt man die unregelmäßige, mathematisch kaum erfassbare Erde durch ein Ellipsoid (z.B. von Bessel, Clark oder Krassowski), dessen Figur durch seine Achsenparameter beschrieben ist und dessen Lage zur Erdoberfläche durch weitere Festsetzungen in Bezug gebracht wird.

In Bereichen, in denen die Schwerkraft die Messungsergebnisse beeinflusst, z. B. beim Nivellement, bezieht man sich auf ein Niveauellipsoid, wobei gleiche Dichteverhältnisse innerhalb dieser mathematischen Gestalt unterstellt werden. In jedem Punkt der Oberfläche liegt das gleiche kinetische Potential (Energie) vor. Für jeden beliebigen Punkt des Niveauellipsoides kann ein Normalschwerewert berechnet werden. GPS-Höhen beziehen sich heute in der Regel auf das GRS80 – Ellipsoid (Realisierung des WGS84 für Europa).

Die Breitengrad- und höhenabhängige, teils sogar lokal unterschiedlich auftretende Schwerkraft beeinflusst jegliche Bewegungen und Kraftpotentiale. Deshalb wurde für vielerlei Anwendungen in der Geodäsie eine eigene physikalische Erdgestalt geschaffen, das Geoid: Auf jedem Punkt seiner Oberfläche ist die potentielle Energie gleich und die Schwerkraft steht in jedem Punkt senkrecht zur entsprechenden Tangente. Sie entspricht gedanklich einer Fläche, auf der das Wasser nicht fließt.

Die Länge der Lotlinie vom Geoid zur Erdoberfläche ist definiert als die orthometrische Höhe; sie ist die wissenschaftlich beste Definition einer Höhe. Um die Länge der (gekrümmten) Lotlinie zu bestimmen, bedarf es allerdings der Kenntnis der Schwerebeschleunigungswerte entlang dieser Linie, die jedoch messtechnisch nicht bestimmt werden können. In einigen europäischen Ländern werden diese Werte aus modellhaften Dichteverhältnissen der Erdstruktur abgeleitet.

Da weder das Niveauellipsoid noch das Geoid den Anforderungen für praktische Höhenmessungen genügt bzw. nicht in jedem Punkt der Erde Schwereinformationen vorliegen, hat sich die AdV im Oktober 1993 für die Einführung von Normalhöhen mit dem Quasigeoid als Höhenbezugsfläche entschieden.

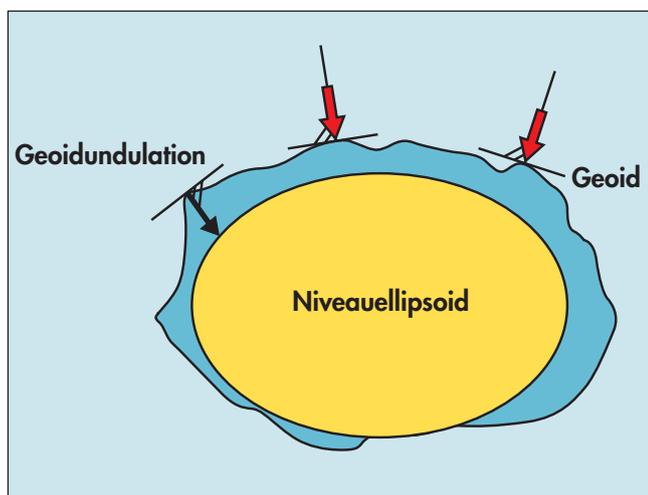


Abb. 1: Geoidundulation

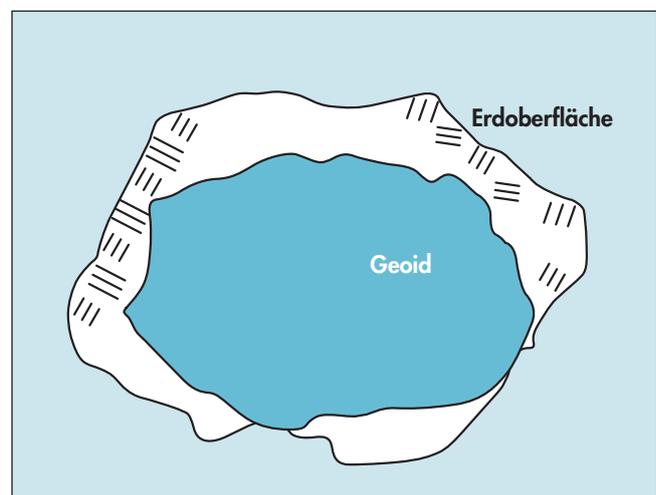


Abb. 2: Orthometrische Höhe

Normalhöhen erfüllen folgende Anforderungen an ein Höhensystem:

- **Wegeunabhängig bestimmte Höhen**

Alle geodätischen Messungen auf der Erde sind deren physikalischen Gesetzen unterworfen, so auch der Schwerkraft oder der Erdbeschleunigung. Da sich Libellen oder Kompensatoren der Nivellierinstrumente, ebenso wie stehende Gewässer, nach der Schwerkraft ausrichten, muss deren Auswirkung in den Berechnungen berücksichtigt werden, um gleichartige Ergebnisse zu erhalten. Nivellements, die von einem gemeinsamen Anfangs- und Endpunkt auf unterschiedlichen Messwegen durchgeführt werden, können ohne die nötigen Schwerereduktionen zu ungleichen Höhenunterschieden führen. Dies ist u.a. eine Ursache für Nivellements-Schleifenwidersprüche.

- **Höhenbezugsfläche Quasigeoid**

Die Höhe soll ein Abstand von einer eindeutig reproduzierbaren Bezugsfläche sein, deren Abstand zum mittleren Erdellipsoid berechenbar ist, um Beziehungen zu ellipsoidischen Höhen herstellen zu können.

- **Minimale Höhenreduktionswerte**

Die Normalhöhenreduktionen sind lokal betrachtet sehr klein; sie summieren sich allerdings großräumig - besonders in Gebieten mit großen Höhenunterschieden - zu nicht mehr vernachlässigbaren Werten auf. Somit kann für die Praxis bei kleinräumigen Arbeiten auf die Reduktion verzichtet werden, für die Anlegung einer großräumigen Netzgestaltung sind die Reduktionen allerdings unabdingbar und rechnerisch zu berücksichtigen.

In Anbetracht der verschiedenen Anforderungen an ein praktikables Höhensystem muss man Kompromisse schließen, denn alle denkbaren Forderungen widersprechen sich vielfach und werden von keinem Höhensystem komplett erfüllt. Mit den drei vorstehend erfüllten Anforderungen stellen allerdings die Normalhöhen für Wissenschaft und Praxis einen akzeptablen Kompromiss dar.

Die Berücksichtigung der Schwerkraft bei der Berechnung von "Normalhöhen"

Die Höhe ist als metrisches Maß der geometrische Abstand eines Punktes von der Erdoberfläche bis zu einer Höhenbezugsfläche.

1) Bei Normalhöhen, die unabhängig voneinander von Molodenski (Sowjetunion) und Vignal (Frankreich) entwickelt wurden, ist die Höhenbezugsfläche das Quasigeoid. Die Normalhöhen des DHHN92 sind u.a. mit den Parametern des Erdellipsoids GRS80 mit Bezug zum Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (NAP) berechnet.

2) Die Geopotentielle Kote C (auch Potenzial genannt) ist am Amsterdamer Pegel mit dem Wert „0“ definiert. Sie hat zum Nivellement folgenden Bezug:

Der Wert C ist die Differenz zwischen dem Schwerepotenzial eines Punktes auf der Erdoberfläche und auf dem Quasigeoid.

$$\text{Potential} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Masse}} = \frac{\text{Kraft} * \text{Weg}}{\text{Masse}} = \frac{\text{Masse} * \text{Beschleunigung} * \text{Weg}}{\text{Masse}} = \frac{[m * m]}{[s^2]} = \frac{[m^2]}{[s^2]}$$

$$\text{Potential} = \text{Beschleunigung} * \text{Weg}$$

Übertragen auf den Nivellementbereich gilt somit:

$$\text{Potential} = \text{geopotentielle Kote} = \text{Schwere} * \text{DH (nivellierter Höhenunterschied)}$$

3) Durch Summierung der partiellen Energien ($\Delta H \cdot$ Oberflächenschwerewert), ausgehend von einem bekannten Anschlusspunkt (dies geschieht stufenweise), erhält man die geopotentielle Kote des Punktes P.

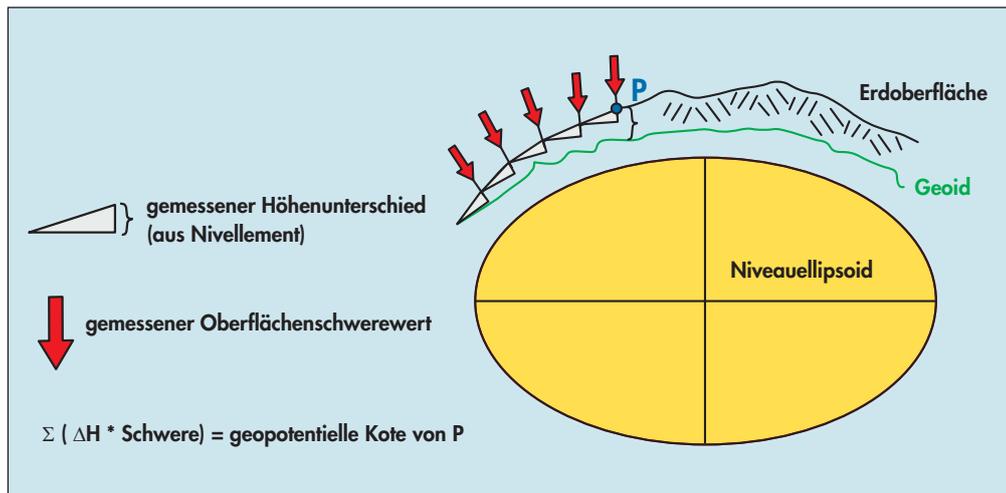


Abb. 3: Berechnung der geopotentiellen Kote P

4) Soll aus dieser geopotentiellen Kote wieder ein metrisches Maß abgeleitet werden, so muss sie durch einen Schwerewert dividiert werden. Da man sich auf ein Geoid als Höhenbezugsfläche beziehen möchte, aber den mittleren integralen Schwerewert entlang der Lotlinie (i.d.R.) nicht bestimmen kann, muss eine andere bestimmbarere Bezugsfläche gesucht werden, die dem gewünschten Geoid möglichst nahe kommt.

5) Geht man von der Theorie aus, dass der Schwerewert vom Geoid zur Erdoberfläche genau so groß ist wie vom Niveuellipsoid zu einer Hilfsfläche, die betragsmäßig den gleichen Höhenunterschied (Höhe Erdoberfläche – Höhe Geoid) zum Niveuellipsoid aufweist, so kann man einen Normalschwerewert für den Punkt P ermitteln. Der Normalschwerewert ist ein aus Erdanziehung und Fliehkraft zusammengesetzter Vektor, wobei Dichteschwankungen in der Erdkruste und topographische Einflüsse keine Berücksichtigung finden, vielmehr wird von gleichen Massen- und Dichteverhältnissen ausgegangen.

6) Dividiert man nun die geopotentielle Kote aller Punkte der Erdoberfläche durch die ermittelten Normalschwerewerte und trägt diese metrischen Maße von der Erde nach unten ab, so ergibt sich eine Höhenbezugsfläche, die Quasigeoid genannt wird.

Auf diese Fläche beziehen sich alle Normalhöhen (somit weder auf das GRS80-Ellipsoid noch auf das Geoid).

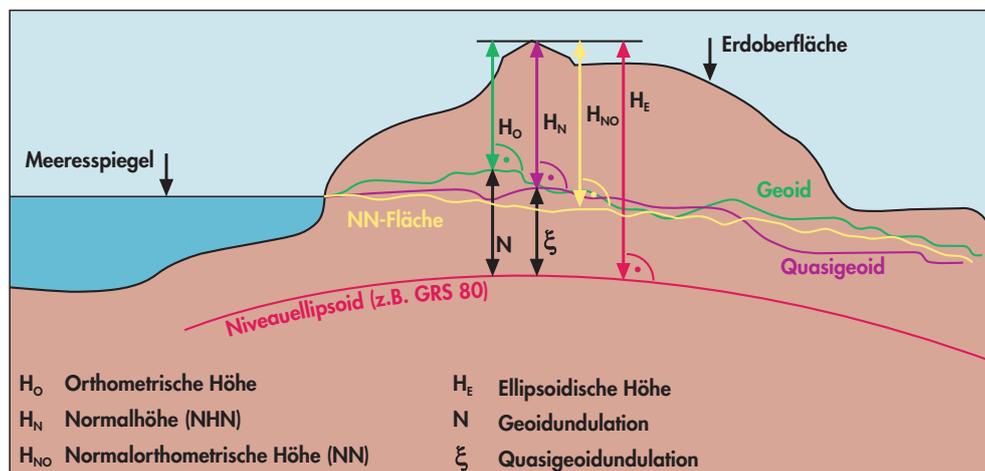


Abb. 4: Höhenbezugsfläche

Anwender was tun ?

Worauf sich der Anwender einstellen muss:

- 1) Durch das geodätische Höhensystem DHHN92 und infolge der Normalhöhenreduktion (NR) werden sich die NHN-Höhen von den ehemaligen NN-Höhen im Sub-Dezimeterbereich in Nordrhein-Westfalen unterscheiden.
- 2) Zur Berechnung von Normalhöhen im NivP-Feld der Landesvermessung in Nordrhein-Westfalen werden gemessene (oder interpolierte) Schwerewerte zur Berechnung der Normalhöhenreduktionen benötigt (Ausnahmen siehe Nr. 5).
- 3) Eine flächenhafte bzw. wegeabhängige Interpolation von Schwerewertanomalien ist unter Verwendung benachbarter Schwerestützpunkte zulässig.
- 4) Das neue Höhensystem hat als primäres Gebrauchshöhensystem die Höhenstatuszahl 160. Höhen in anderen Systemen werden durch andere Höhenstatus gekennzeichnet, z.B. 100 für NN-Höhen oder 310 für ellipsoidische Höhen des GRS80-Ellipsoids.
- 5) Bei lokalen Netzen (bis etwa 3 km Ausdehnung) kann die Berechnung der Schwerereduktion entfallen, da diese einerseits im Rahmen der Messgenauigkeit i. d. R. vernachlässigbar ist und andererseits die Höhenverbesserungen (entstanden durch den Widerspruch Messung – Höhendifferenz an den Anschlusspunkten) den Genauigkeitsverlust kompensieren.
- 6) In lokalen Netzen ohne Anschlusszwang an das Landesnetz kann ein für die Region repräsentativer pauschaler Schwerewert für alle Netzpunkte verwendet werden. Dieser Schwerewert ist die Summe von einem durchschnittlichen breiten- und höhenabhängigen Normalschwerewert und der vorherrschenden Schwereanomalie. Schwereinformationen können bei GEObasis.nrw nachgefragt werden.
- 7) Die Höhen aller Festpunkte der Grundlagenvermessung sind im Höhensystem DHHN92 (HST 160) angegeben. Seit dem 1.1.2002 werden NN-Höhen nicht mehr im amtlichen Nachweis der Festpunkte fortgeführt; sie sind nur noch als historische Werte abgespeichert. Zur Überführung von NN-Höhen in NHN-Höhen stellt GEObasis.nrw das Höhentransformationsprogramm HOETRA als Webanwendung (www.bezreg-koeln.nrw.de) zur Verfügung.

Die Differenzen zwischen NN-Höhen und NHN-Höhen erreichen in Nordrhein-Westfalen lokale Unterschiede von +55 mm bis –20 mm, hier dargestellt in farblichen Abstufungen.

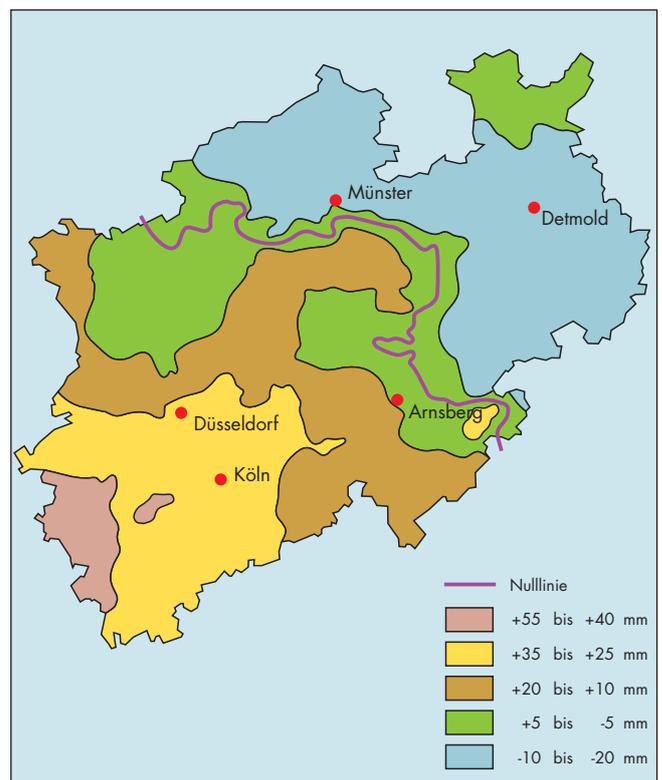


Abb. 5: Isolinien für NRW (Höhen DHHN92 - Höhen DHHN12)

Welche Vorteile bringt das neue Höhensystem mit sich ?

- Die NHN-Höhen sind unabhängig vom Messweg; somit sind sie eindeutig und hypothesenfrei.
- Bei Kenntnis der Quasigeoid-Undulation (Höhenmodell) können Normalhöhen aus ellipsoidischen Höhen (GRS80), z.B. durch SAPOS-HEPS-Messungen im ETRS89 bestimmt, ermittelt werden. Das Undulationsmodell für NRW unterstützt diese (siehe www.bezreg-koeln.nrw.de).
- Die Normalhöhenreduktion (NR) zu gemessenen Höhenunterschieden von einzelnen Nivellementstrecken ist so klein, dass sie in lokalen Gebieten vernachlässigbar ist und somit jederzeit NHN-Gebrauchshöhen für die jeweiligen Anwendungen ermittelt werden können.

NHN – Die deutschen Normalhöhen im europäischen Umfeld

Die europäischen Länder haben zwar unterschiedliche Bezugspegel, die teilweise stark differieren, jedoch haben sich die Länder in West- und Osteuropa überwiegend für die Einführung von Normalhöhen oder Orthometrischen Höhen entschieden.

Durch die Realisierung des EUVN (European Vertical Reference Network) sind diese Höhennetze miteinander verknüpfbar. Bei der Anlage des EUVN wurden 195 Punkte, 79 Punkte des einheitlichen europäischen Referenzsystems EUREF (European-Reference-Frame), 53 Knotenpunkte der Nivellements von Ost- nach Westeuropa und 63 Normalpegel mit GPS – Verfahren gemessen und als 3-dimensionalen Koordinaten im System des ETRS89 (European Terrestrial Reference-System 1989) bestimmt.

Eine Verknüpfung der einzelnen Ländernetze ist durch Transformationen jederzeit möglich. Die Anlage des EUVN ist ein Meilenstein zu einem integrierten europäischen Bezugssystem, bei dem räumliche Koordinaten, schwerefeldbezogene Höhen und Meeresspiegelbeobachtungen in einem kontinentalen System vereinigt sind.

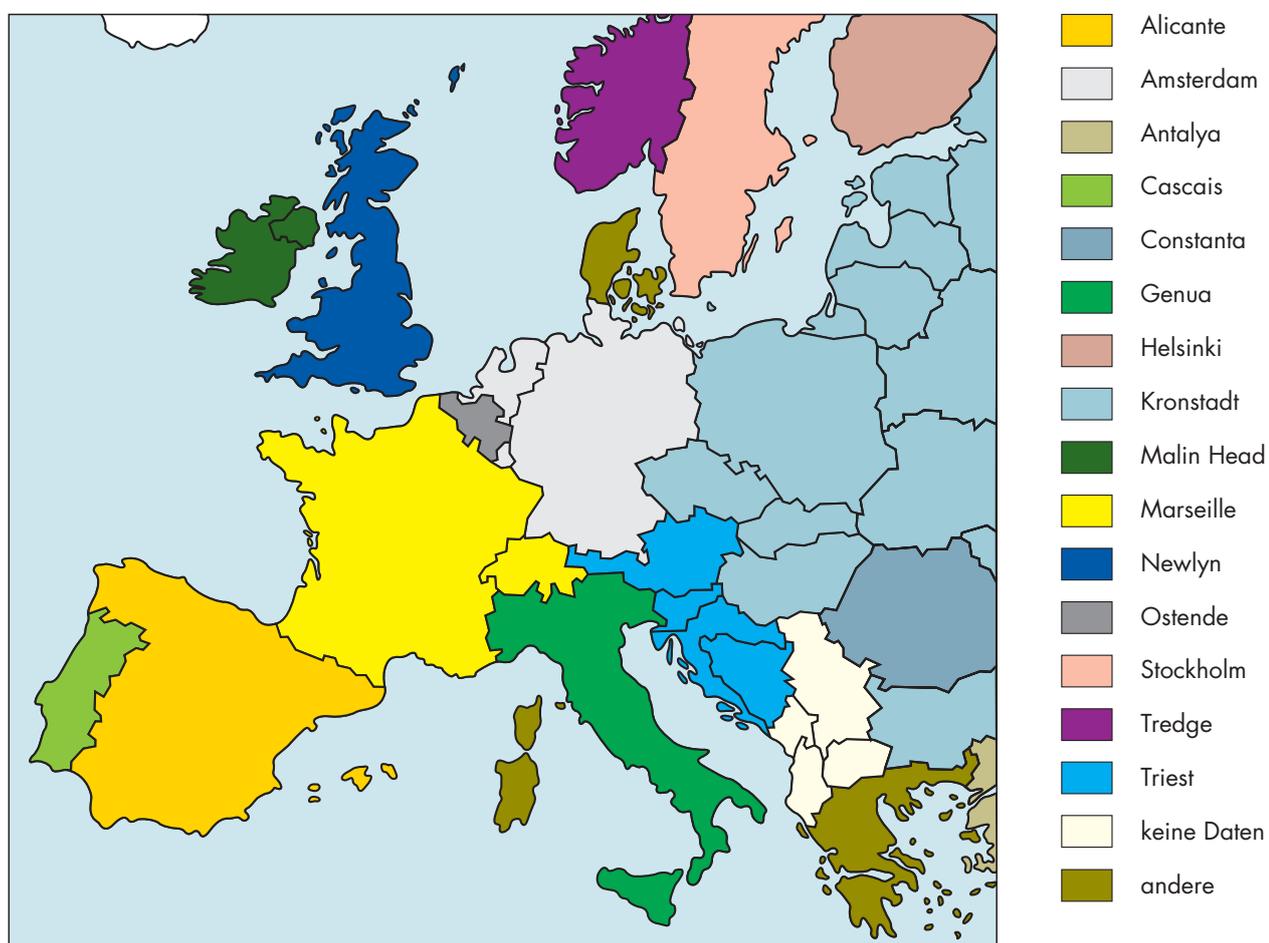


Abb. 6: Bezugspegel von nationalen Höhensystemen in Europa

Ausblick

Mit dem Ziel zur Schaffung eines bundeseinheitlichen, neuen Raumbezuges hat die AdV im April 2005 den Beschluss zur Erneuerung des DHHN gefasst.

Die technische Umsetzung basiert in Deutschland auf der Durchführung von Präzisionsnivellements auf den Linien des DHHN, verbunden mit den epochengleichen GNSS – Messungen auf 250 speziell vermarkten Punkten und Absolutschweremessungen auf 100 dieser Punkte. Die Messungen werden bis 2011 durchgeführt und in den Folgejahren analysiert und ausgewertet. Mit den Ergebnissen wird erstmals eine epochenübergreifende Analyse des Raumbezugspunktfeldes und dessen Bewegungen möglich werden. Diese Informationen werden für vielfältige Untersuchungen, u.a. für die Pegelentwicklungen in Verbindung mit der Klimaforschung benötigt.

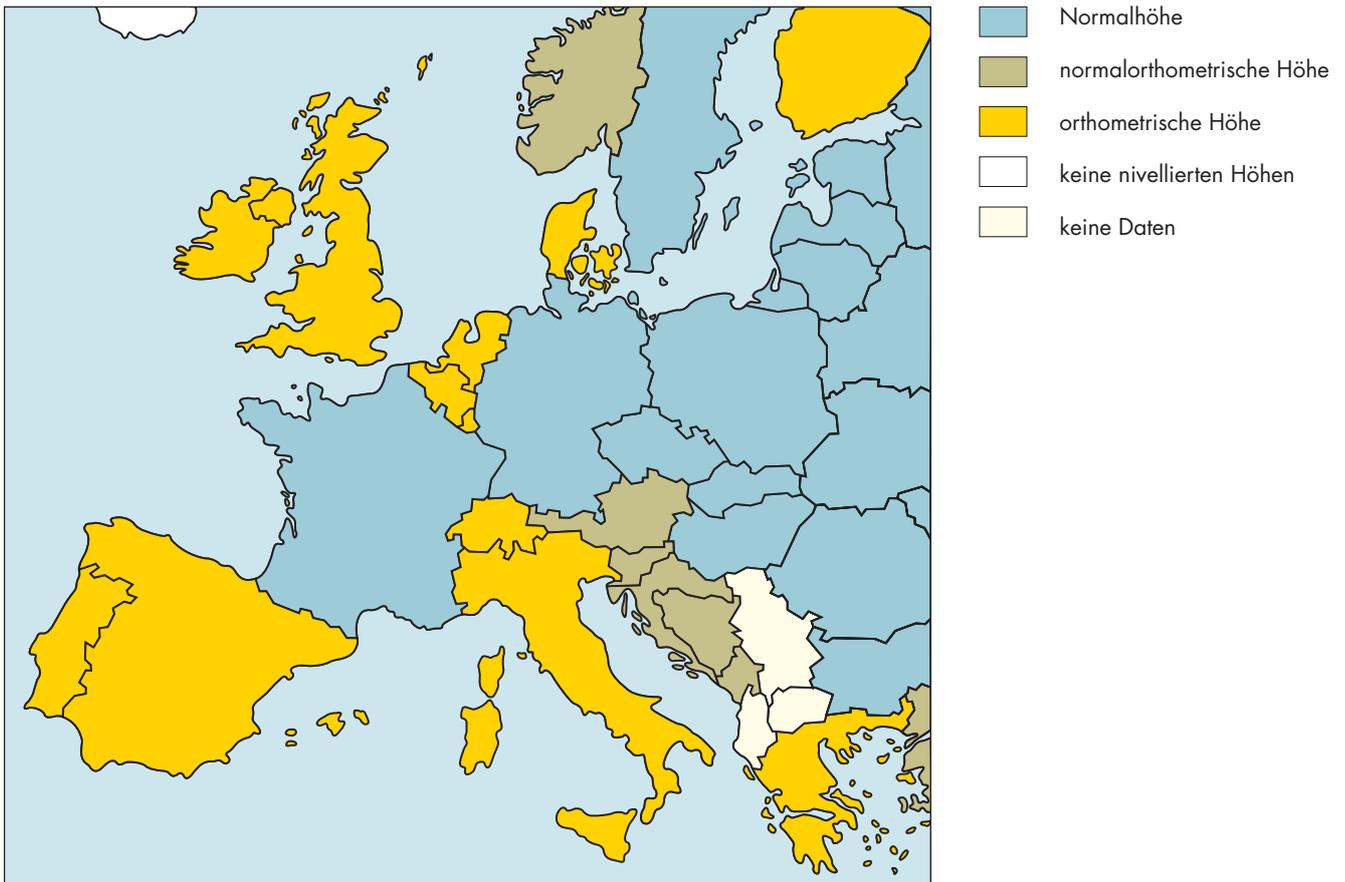


Abb. 7: Höhenarten von nationalen Höhensystemen in Europa

Sprechen Sie uns an. Wir beraten Sie gerne.

Bezirksregierung Köln

Abteilung 7 / GEObasis.nrw

Muffendorfer Straße 19-21, 53177 Bonn

www.geobasis.nrw.de

Geodatenzentrum

Fon: (0221) 147-4994

Fax: (0221) 147-4224

eMail: shop@geobasis.nrw.de

Stand: 4/2010

exakt, aktuell + hoheitlich: Ergebnisse der Landesvermessung