



Landesvermessungsamt
Nordrhein-Westfalen



Normalhöhen in Nordrhein-Westfalen ab 1. Januar 2002



Einführung des neuen Höhensystems "Deutsches Haupthöhennetz 1992" in Nordrhein-Westfalen

Am 01.01.2002 wird in Nordrhein-Westfalen das neue Höhensystem "Deutsches Haupthöhennetz 1992" (DHHN92) eingeführt. Dieses trägt, wie auch die neue EURO-Währung, deren Einführung zum gleichen Zeitpunkt erfolgt, 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 deren 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. Die Höhen werden auch bezeichnet als Höhen über der Normalhöhennull-Fläche (NHN-Höhen).

Für einen zukunftsweisenden Schritt in Richtung Europa ist somit in der Höhenvermessung der Grundstein gelegt.

Die Erstellung des DHHN92 erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten:

- Schaffung einer homogenen und hochgenauen geodätischen Grundlage für Höhenmessungen in ganz Deutschland
- Erstellung von geeigneten Verbindungen mit dem Europäischen Nivellementnetz REUN/UELN
- Verwendung einer sowohl wissenschaftlich fundierten, als auch für die Praxis gut geeigneten Höhendefinition

Berechnung des Höhensystems DHHN92

Mit der Berechnung 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
- Messungen für das Staatliche Nivellementnetz 1976
- Verbindungsmessungen zwischen den beiden Netzen
- Messungen der Nachbarstaaten (zur Netzrandstabilisierung)
- Schweremessungen

In einer zwangsfreien Berechnung wurden die Knotenpunkte in geopotentiellen Koten (s. Abb. 3) ausgeglichen. Die Linienpunkte wurden in einer weiteren Berechnung im Linienausgleich an die Knotenpunkte ermittelt. Anschließend wurden aus den geopotentiellen Koten Normalhöhen berechnet.

Geschichtlicher Rückblick

1974 -1976	Neumessung des Staatlichen Nivellementnetzes 1. Ordnung (SNN76) in der ehemaligen DDR
1980 -1985	Durchführung von Wiederholungsnivellements und Schweremessungen auf den Linien der 1. Ordnung in den alten Bundesländern zur Erstellung des Deutschen Haupthöhennetzes 1985
1990	Wiedervereinigung Deutschlands
1990 -1992	Verbindungsnivellements inkl. Schweremessungen zwischen den Nivellementnetzen der alten und der neuen Bundesländer
1993	Beschluss der AdV (93. Tagung): Einführung des neuen, bundesweit einheitlichen Höhenbezugsystems DHHN92
1994	Gesamtausgleichung eines deutschen Nivellementnetzes 1. Ordnung
ab 1995	Anrechnung niederer Ordnungen in den Landesnetzen durch die jeweiligen Landesvermessungsämter der Bundesländer

Geodätische Eigenschaften des Höhensystems DHHN92

Das neue Höhensystem ist mit folgenden Angaben festgelegt:

Anschlusspunkt:	Höhenmarke Kirche Wallenhorst (Niedersachsen)
Bezugspunkt:	Pegel Amsterdam (NAP)
Höhenbezugsfläche:	NHN-Fläche (Quasigeoid nach der Theorie von Molodenski und Vignal)
Benennung der Höhen:	Höhen über NHN (NHN-Höhen)
Höhenart:	Normalhöhe
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. in Deutschland Bessel, Hayford 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 oder bei GPS-Messungen, bezieht man sich auf ein Niveuellipsoid, 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 Niveuellipsoides kann ein Normalschwerewert berechnet werden. GPS-Höhen beziehen sich z.B. auf das GRS80-(Niveau) Ellipsoid.

Die Breitengrad- und höhenabhängige, teils sogar lokal unterschiedlich auftretende Schwerkraft beeinflusst jegliche Bewegung und Kraftpotentiale. Deshalb wurde für vielerlei Anwendungen in der Geodäsie eine eigene mathematische, 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 (Abbildung 1).

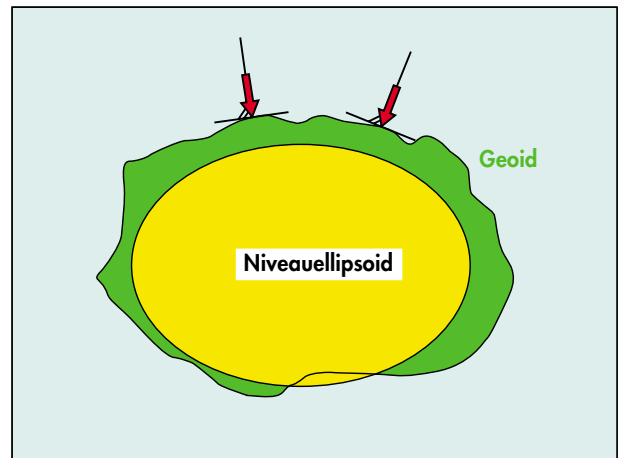


Abbildung 1: Geoid

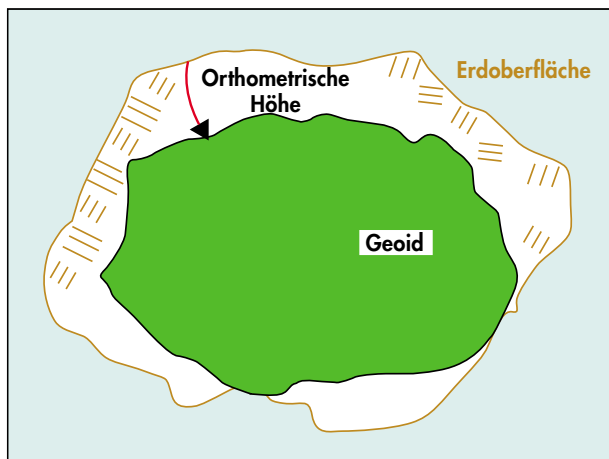


Abbildung 2: Orthometrische Höhe

Die Länge der Lotlinie vom Geoid zur Erdoberfläche ist definiert als die orthometrische Höhe (Abbildung 2); sie ist die wissenschaftlich beste Definition einer Höhe. Um die Länge der (gekrümmten) Lotlinie zu bestimmen bedarf es allerdings der Kenntnisse der Schwerebeschleunigungswerte entlang dieser Linie, die jedoch messtechnisch nicht bestimmt werden kann. In einigen europäischen Ländern werden diese Werte aus modellhaften Dichteverhältnissen der Erdstruktur abgeleitet.

Da weder das Niveuellipsoid noch das Geoid den Anforderungen für hochgenaue Höhenmessungen genügt bzw. nicht in jedem Punkt der Erde genau definiert werden kann, hat sich das Plenum der AdV im Oktober 1993 für die Einführung von Normalhöhen mit dem Quasigeoid als Höhenbezugsfläche entschieden.

Normalhöhen erfüllen folgende Anforderungen an ein Höhensystem:

Forderung: 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 Ergebnissen führen.

Forderung: 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.

Forderung: Reduktionswerte sind klein zu halten

Die Reduktionen sind lokal betrachtet sehr klein, summieren sich allerdings großräumiger betrachtet, besonders in Gebieten mit großen Höhenunterschieden, zu Werten auf, die nicht mehr vernachlässigbar sind.

Somit kann für die Praxis bei kleinräumigen Arbeiten auf die Reduktion verzichtet werden, für die Anlegung einer großräumigen Netzgestaltung sind die Reduktionen allerdings unabdingbar.

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 erfüllt. Mit den drei vorstehend erfüllten Anforderungen stellen 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 Abstand von einem Punkt 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, das mit den Parametern des GRS80 berechnet wurde und durch den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (NAP) verläuft.
- 2) Die Geopotentielle Kote (auch Potential genannt) wird am Amsterdamer Pegel mit dem Wert "0" definiert. Sie hat zum Nivellement folgenden Bezug:

Die Geopotentielle Kote ist die Potentialdifferenz zu einer physikalischen Bezugsfläche.

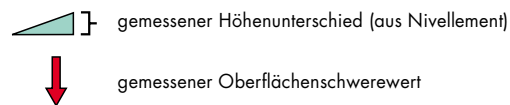
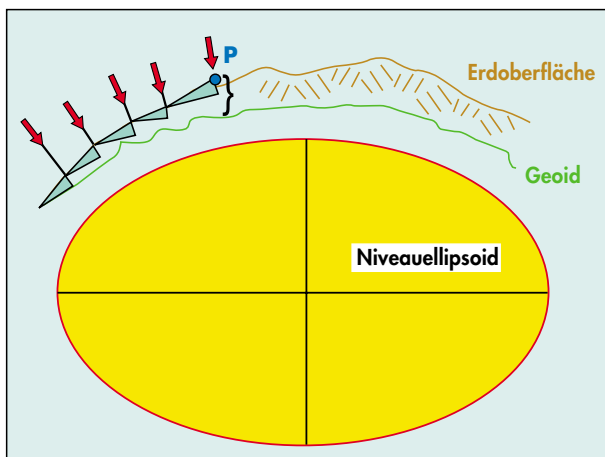
$$\text{Potential} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Masse}} = \frac{\text{Kraft} * \text{Weg}}{\text{Masse}} = \frac{\text{Masse} * \text{Beschleunigung} * \text{Weg}}{\text{Masse}} = \frac{[m * m]}{[s^2]} = \frac{[m^2]}{[s^2]}$$

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

Übertragen auf den Nivellementbereich gilt somit:

$$\text{Potential} = \text{geopotentielle Kote} = \text{Schwerkraft} * \Delta H \text{ (nivellierter Höhenunterschied)}$$

- 3) Durch Summierung der partiellen Energien ($\Delta H * \text{Oberflächenschwerwert}$), ausgehend von einem bekannten Anschlusspunkt (dies geschieht stufenweise), erhält man die geopotentielle Kote des Punktes P (Abbildung 3).



$$\sum(\Delta H * \text{Schwere}) = \text{geopotentielle Kote von P}$$

Abbildung 3: Berechnung der geopotentiellen Kote P

- 4) Soll aus der geopotentiellen Kote wieder ein metrisches Maß abgeleitet werden, so muss sie durch einen Schwerwert dividiert werden. Da man sich auf das Geoid als Höhenbezugsfläche beziehen möchte, aber den integralen Schwerwert entlang der Lotlinie (i.d.R.) nicht bestimmen kann, muss eine andere bestimmbare Bezugsfläche gewählt werden, die dem Geoid möglichst nahe kommt.
- 5) Geht man von der Theorie aus, dass der Schwerwert 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 Normalschwerwert für den Punkt P ermitteln.
Der Normalschwerwert 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 eines jeden Punktes auf der Erdoberfläche durch die ermittelten Normalschwerwerte und trägt diese metrischen Maße von der Erde nach unten ab, so ergibt sich eine Höhenbezugsfläche, die Quasigeoid genannt wird (Abbildung 4).

Auf das Quasigeoid beziehen sich alle Normalhöhen.

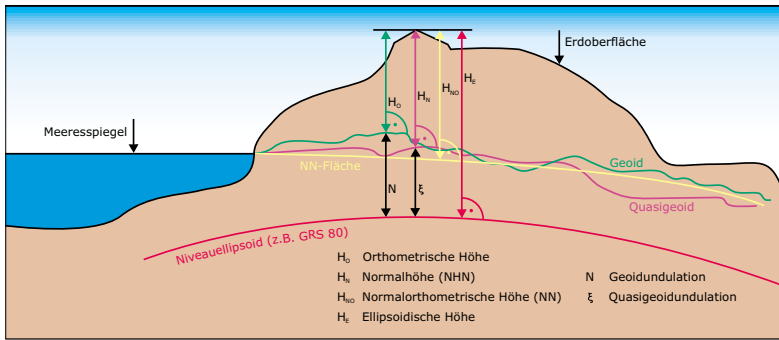


Abbildung 4: Quasigeoid

Anwender was nun ?

Worauf sich der Anwender in Zukunft einstellen muss:

- 1) Durch ein neues geodätisches Datum und infolge der Normalhöhenreduktionen werden sich die NHN-Höhen von den bisherigen NN-Höhen im Sub-Dezimeterbereich unterscheiden.
- 2) Bei Berechnungen 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 Stützpunkte zulässig.
- 4) Das neue Höhensystem hat als primäres Gebrauchshöhensystem die Höhenstatuszahl 160. Höhen in anderen Systemen werden durch andere Höhenstatus gekennzeichnet.
- 5) Bei kleinräumigen örtlichen Netzen kann die Berechnung der Schwerekorrekturen entfallen, da diese einerseits im Rahmen der Messgenauigkeit i. d. R. vernachlässigbar sind und andererseits die Verbesserungen (entstanden durch den Widerspruch Messung – Höhendifferenz an den Anschlusspunkten) den Genauigkeitsverlust kompensieren.
- 6) In örtlichen Netzen ohne Anschlüsse an das Landesnetz kann ein für die Region repräsentativer pauschaler Schwerewert für alle Netzpunkte verwendet werden. Dieser Schwerewert ist die Summe von einem breiten- und höhenabhängigen Normalschwerewert und der vorherrschenden durchschnittlichen Schwereanomalie. Die Schwereanomalie kann der "Karte der Schwereanomalien in NRW" entnommen werden, die beim LVermA NRW vorgehalten wird.
- 7) Die Höhen aller Festpunkte in den Grundlagennetzen der Landesvermessung werden im neuen Höhensystem DHHN92 (HST 160) angegeben.

Welche Vorteile bringt das neue System mit sich ?

- Die Höhen sind unabhängig vom Messweg, somit sind sie eindeutig.
- Bei Kenntnis der Quasigeoid-Undulation (Höhenanomalie) können Normalhöhen mit ellipsoidischen Höhen (GRS80) - aus GPS-Messungen im ETRS89 berechnet - verknüpft werden.
- Die Reduktionen zu gemessenen Höhen sind so klein, dass sie in lokalen Gebieten vernachlässigbar sind und jederzeit Gebrauchshöhen für die jeweiligen Anwendungen ermittelt werden können.

NHN – Die deutschen Höhen im europäischen Umfeld

Wie die Abbildung 6 zeigt, haben die einzelnen europäischen Länder zwar unterschiedliche Bezugspegel, die teilweise stark differieren, jedoch sieht man in der Abbildung 7, dass in West- und Osteuropa überwiegend die Höhenarten Normalhöhen und Orthometrische Höhen verbreitet sind.

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 in 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 Bezugssystem, bei dem räumliche Koordinaten, schwerefeldbezogene Höhen und Meeresspiegelbeobachtungen in einem kontinentalen System vereinigt sind.

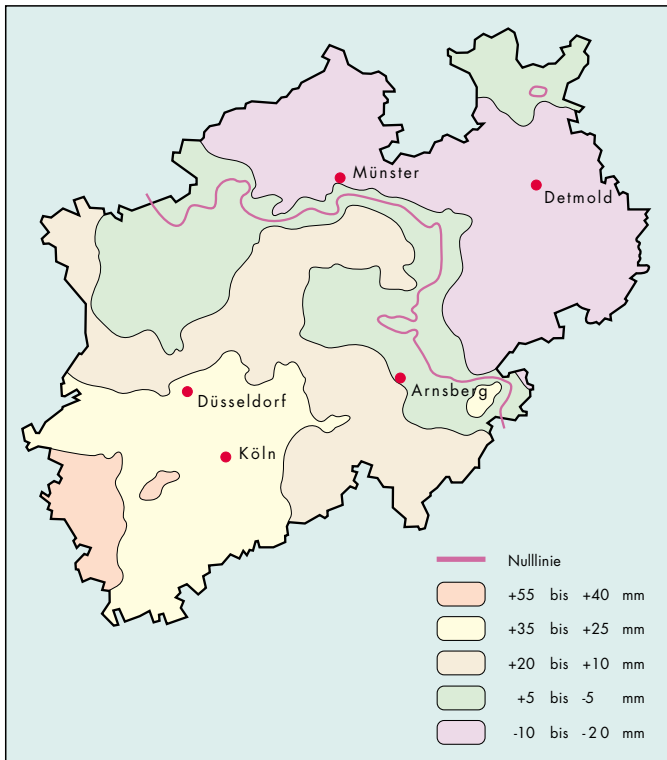


Abbildung 5: Isolinien für Nordrhein-Westfalen (Höhen DHHN92 - Höhen DHHN12)

In der Abbildung 5 sind die Differenzen zwischen NN-Höhen und NHN-Höhen in flächenhaften, farblichen Abstufungen dargestellt. So ist zu erkennen, dass lokale Unterschiede von +55 mm bis -20 mm in Nordrhein-Westfalen auftreten können.

Abbildungen 6 und 7 aus "Report on the Results of the European Vertical Reference Network GPS Campaign 97" (EUREF-Symposium, 10.-12. Juni 1998, Bad-Neuenahr-Ahrweiler)

Abbildung 6: Bezugspegel von nationalen Höhensystemen in Europa

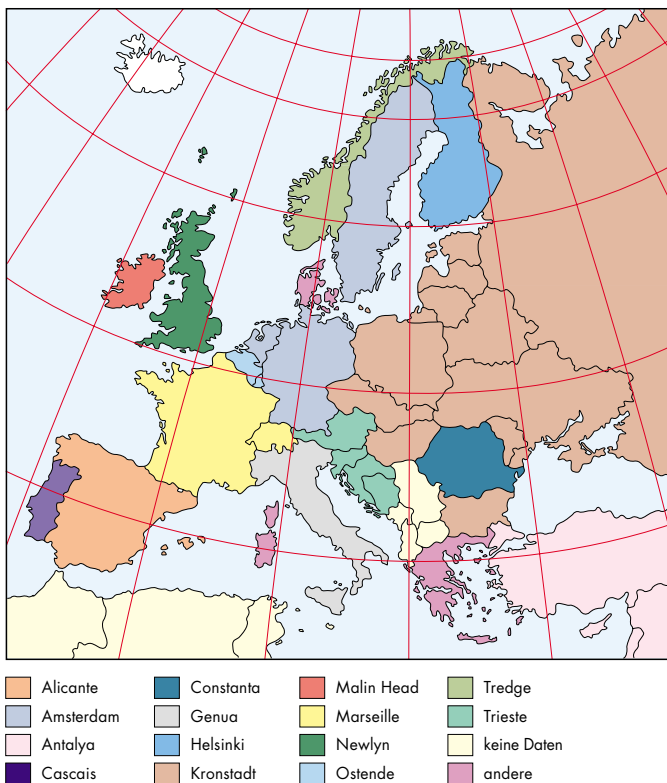
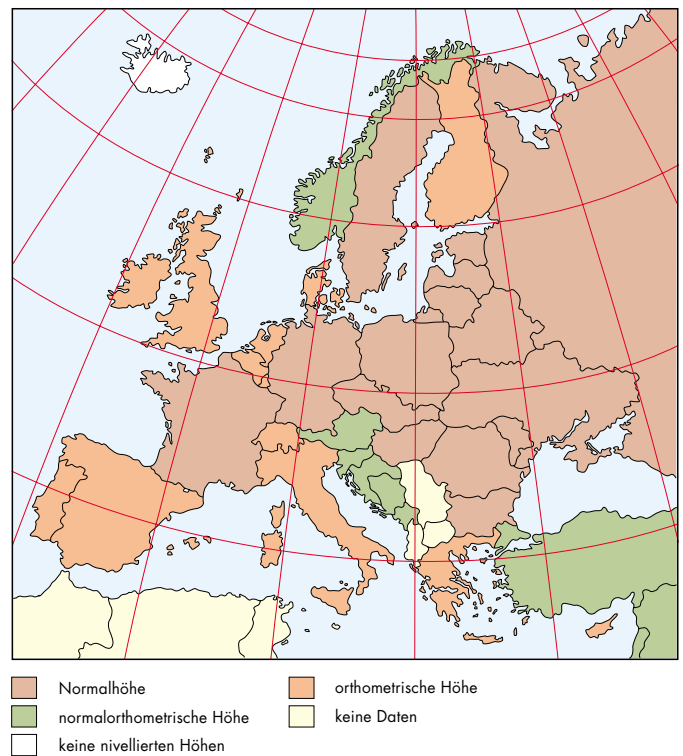


Abbildung 7: Höhenarten von nationalen Höhensystemen in Europa



Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen
Muffendorfer Straße 19-21, 53177 Bonn

Telefon: (02 28) 8 46 - 46 46
Fax: (02 28) 8 46 - 46 48
E-Mail: shop@lverma.nrw.de
<http://www.lverma.nrw.de>

Durchwahl Ihrer Ansprechpartner
Peter Haupt: 8 46 - 23 00
Dieter Schuler: 8 46 - 23 30