

# HISTORISCHE PEGEL UND BEZUGSHÖHEN IN EUROPA

VON MANFRED SPATA

## 1. Einleitung

Seit jeher hat die ruhende Meeresoberfläche als Bezugsfläche für Höhenmessungen und Höhenangaben gedient. So versteht man die sogenannte Meereshöhe eines beliebigen Geländepunktes als seinen in der Lotlinie gemessenen Abstand von der Niveauläche der ruhenden Ozeane, die man sich unter den Kontinenten fortgesetzt denkt. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurde für die topographische Landesaufnahme der Staaten keine systematische Höhenmessung durchgeführt. Erst in späterer Zeit haben die einzelnen Staaten aus Pegelmessungen einen mittleren Meeresspiegel einer nahe gelegenen Küstenstation als Bezugsfläche gewonnen und diese durch einen besonders ausgewählten Höhenausgangspunkt dauerhaft vermarktet. Der mittlere Meeresspiegel einer Küstenstation wird allerdings durch Strömungen, Wind und andere Faktoren einseitig beeinflusst. Da es nur schwer gelingt, solch störende Einflüsse exakt zu erfassen, sind auch die Höhenbezugsflächen der einzelnen Staaten etwas verschieden. Die Binnenländer ohne eigenen Zugang zum Meer benötigen zur Ermittlung eigener Meereshöhen entsprechende Ausgangshöhen ihrer Nachbarländer. Die Entwicklung des deutschen Höhensystems und die Unterschiede zu seinen benachbarten Höhensystemen sowie europaweit einheitliche Höhensysteme werden ausführlich dargestellt.

## 2. Geodätische Höhensysteme

Alle geodätischen Messungen, insbesondere die geometrischen Nivellements, werden durch die Lotrichtung bestimmt und sind deshalb von der Richtung der Schwerkraft abhängig. Daher können die Begriffe Höhe und Bezugsfläche nicht rein geometrisch, sondern nur unter Zuhilfenahme physikalischer Begriffe definiert werden. Die theoretisch beste Bezugsfläche eines Höhensystems ist eine Niveauläche. Sie ist dadurch definiert, daß sie in allen ihren Punkten senkrecht zur Schwerkraft  $g$  steht. Zugleich ist sie aber auch eine Fläche gleichen Potentials  $W$ , deshalb lautet ihre Gleichung  $W = \text{const.}$  Eine dieser Niveaulächen, die durch die ruhende Oberfläche der Ozeane gebildet wird, nennt man das **Geoid**. Die Abweichung der gekrümmten Niveauläche gegenüber einer ebenen Fläche beträgt etwa 78 mm auf 1 km; sie nimmt zu mit dem Quadrat der Abstände.

Den Übergang von einer Niveauläche auf eine andere im Abstand  $dh$  kann man sich physikalisch als Arbeitsleistung vorstellen, d.h. als Produkt aus Kraft und Weg:  $dW = -g \cdot dh$ . Infolge der Erdabplattung nimmt  $g$  vom Äquator zu den Polen hin zu. Es ändert sich also  $g$  von Punkt zu Punkt derselben Niveauläche, während das Produkt  $g \cdot dh$  gemäß der Definition konstant bleibt. Folglich muß sich der geometrische Abstand  $dh$  ändern, d.h. die Niveaulächen der Erde sind nicht parallel. Das unmittelbare Nivellementergebnis  $dh$  ist somit vom Nivellementweg abhängig und muß zur Erzielung eindeutiger Höhenangaben mit Hilfe von Schwerereduktionsformeln umgewandelt werden.

Die Verschiedenheit der geodätischen Höhensysteme ist bedingt durch mehrere Möglichkeiten, die Ergebnisse der praktischen Höhenmessung dh mit dem Erdschwerefeld in Verbindung zu bringen. Die aus Schweremessung und Nivellement hypothesenfrei berechenbare Größe bezeichnet man als **geopotentielle Kote**  $C$  des Punktes  $P$ . Die nichtmetrische Einheit für  $C$  beträgt  $\text{Nm/kg}$ , weshalb die Kote manchmal auch als Arbeitshöhe bezeichnet wird. Dividiert man  $C$  durch einen geeigneten Schwerewert, so erhält man eine praxisgerechte metrische Höhenangabe für  $P$ .

**Normalhöhen** nach der Theorie von Molodensky werden durch Division von  $C$  durch den Mittelwert der Normalschwere  $\gamma$  in der Lotlinie von  $P$  errechnet:  $H_N = C/\gamma$ . Sie sind hypothesenfrei streng berechenbar. Trägt man von den Oberflächenpunkten deren Normalhöhen längs der Lotlinien nach unten ab, so entsteht punktweise die Oberfläche des sogenannten Quasigeoides, dessen Abweichung vom Geoid nur wenige Zentimeter bis Dezimeter beträgt.

**Orthometrische Höhen** gewinnt man, wenn die geopotentielle Kote  $C$  durch den Mittelwert der tatsächlichen Schwere  $g_m$  in der Lotlinie des betreffenden Punktes dividiert wird:  $H_O = C/g_m$ . Da dieser Schwerewert nur unter Zuhilfenahme von Annahmen über die Dichteverteilung längs der Lotlinie berechnet werden kann, sind orthometrische Höhen nicht streng wissenschaftlich bestimmbar, sie sind hypothesenbehaftet.

In Deutschland werden seit 1912 **normalorthometrische Höhen** bestimmt, wobei der Schwerewert  $g_m$  nach der Schwereformel von Helmert mit Bezug zum normalen Niveausphäroid ermittelt wird. Sie berücksichtigt also nur die Änderung der Schwere mit der geographischen Breite und Höhe, nicht dagegen die örtliche Schwereanomalie, weil seinerzeit gravimetrische Messungen wirtschaftlich nicht möglich waren. Die Normalnull-Fläche entsteht ebenfalls punktweise durch Abtragen der NN-Höhe nach unten; sie ist nur genähert eine Niveaufläche.

### *3. Bezugsflächen für Höhenmessungen in europäischen Ländern*

Bislang bestehen in den Staaten Europas recht unterschiedliche Höhensysteme, die aufgrund der historischen Gegebenheiten mehr oder weniger stark von einander variieren. Alle Höhensysteme sind zwar auf die Meeresoberfläche bezogen, um absolute Meereshöhen zu erhalten. Und doch ist dieser Bezug zum Meeresspiegel komplizierter, als es auf den ersten Blick erscheint. Zunächst ist der Meeresspiegel selten ruhig, sondern durch viele Einflußfaktoren ständig in Bewegung: vor allem durch Wind und Wellen, Ebbe und Flut, Wassertemperatur und Salzgehalt. Aus Pegelaufzeichnungen längerer Zeit berechnet man einen mittleren Wasserstand, das sogenannte Mittelwasser, das die ständigen Ungleichmäßigkeiten möglichst ausschalten soll. Indem man dies für verschiedene Pegelstationen im Küstenbereich vorgenommen und sie durch Nivellement untereinander verbunden hatte, zeigte sich bald, daß diese verschiedenen Mittelwasser voneinander abwichen. So wird durch die verschiedene Dichte des Meeresswassers die betreffende Niveaufläche verändert. Niedrige Temperatur und höherer Salzgehalt des Wassers drücken die Niveaufläche unter die Normalfläche herab, so daß in verschiedenen Küstenteilen die Niveaufläche sehr wohl verschieden hoch liegen kann. In der Regel liegen diese Unterschiede nur im Dezimeterbereich (siehe Tabellen 1 und 2).

Deutschland hat gemeinsame Grenzen mit neun Nachbarstaaten, von denen nahezu jeder einen eigenen Höhenbezug hat. Die Unterschiede bestehen insbesondere hinsichtlich des Pegelbezugs, der berechneten Schwerereduktionen sowie der Aktualität und Genauigkeit der Höhenmessungen. Identische Punkte an den Grenzen haben mehr oder weniger

| Staat                | Höhenbezug                           | Schwerereduktion                   | Abweichung zu Normal-Null m |
|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Dänemark<br>DNN      | Höhenmarke<br>am Dom zu Århus        | orthometrisch                      | -0,09                       |
| Niederlande<br>NAP   | Stadtpegel<br>in Amsterdam           | nicht reduziert                    | +0,02                       |
| Belgien<br>DNG       | Niedrigwasser<br>in Ostende          | nicht reduziert                    | -2,30                       |
| Luxemburg<br>NG      | NHP 1912<br>(NN-Höhe in Aachen)      | normalorthometrisch                | 0,00                        |
| Frankreich<br>IGN 69 | Mittl. Meeresspiegel<br>in Marseille | Normalhöhen,<br>(Vignal-Höhen)     | -0,25                       |
| Schweiz<br>LN 02     | Pierre du Niton<br>im Hafen von Genf | nicht reduziert                    | -0,06                       |
| Österreich           | Pegel Molo Sartorio<br>in Triest     | normalorthometrisch                | -0,25                       |
| Tschechien<br>EPNN   | Pegel Kronstadt                      | Normalhöhen,<br>(Molodensky-Höhen) | +0,16                       |
| Polen<br>EPNN        | Pegel Kronstadt                      | Normalhöhen,<br>(Molodensky-Höhen) | +0,16                       |

Tabelle 1 Höhengsysteme in den deutschen Nachbarstaaten (Spata 1992)

große Differenzen zwischen den jeweiligen Landeshöhen. Die Situation der Höhennetze in den deutschen Nachbarstaaten ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Die dort angegebenen Höhendifferenzen (NN-Höhe minus Landeshöhe) sollen nur einen Überblick der Größenordnung geben, sie eignen sich nicht für punktspezifische Umrechnungen.

In **Belgien** ist die Grundlage des Höhensystems das Nivellement Général (1873–79), dessen Ergebnisse erstmals 1879 vom Institut Géographique National (IGN) veröffentlicht wurden. Als Nullpunkt für die Höhenangaben gilt das mittlere Niedrigwasser nach Springflut im Hafen von Ostende, das 2,1355 m unter dem dortigen Mittelwasser und etwa 2,3 m unter dem Amsterdamer Pegel liegt. Dadurch werden für tatsächlich unter dem mittleren Meeresspiegel liegende Gebiete negative Höhenzahlen vermieden. Die Bezugsfläche der 1960 abgeschlossenen Erneuerung des Höhennetzes (Deuxième Nivellement Général [DNG]) blieb unverändert. Die belgischen Höhen beinhalten keine Schwerereduktionen.

In **Dänemark** werden seit 1884 Präzisionsnivellements durchgeführt. Als Bezugshorizont der orthometrischen Höhen diente der im Jahre 1910 in zehn Häfen ermittelte mittlere Wasserstand (Dansk Normal Null [DNN]) mit dem Höhenanschluß in Århus. Nach 1957 erfolgte eine Neubestimmung des DNN mit dem neuen Höhenanschluß in Eritsø. Derzeit läuft eine weitere Netzerneruerung mit Anschluß an 13 im ganzen Land verteilte Pegelstationen, es sollen wiederum orthometrische Höhen berechnet werden.

Das Höhennetz von **Frankreich** basiert auf dem Mittelwasserspiegel des Mittelmeeres am Pegel in Marseille. Das Nivellement Général de la France (N.G.F.) mit orthometrischen Höhen ist seit 1969 abgelöst vom Nivellement IGN 69 mit Normalhöhen (Vignal-Höhen). Der Berechnung liegen gemessene Schwerewerte im System Europäisches Schwerenetz 1962 (Potsdam Datum) zugrunde. Für Korsika besteht ein gesondertes Netz (IGN 78).

Im Großherzogtum **Luxemburg** wurde das letzte Höhennetz Nivellement Général

| Hafenpegel      | Höhendifferenz<br>m | Hafenpegel     | Höhendifferenz<br>m |
|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Knock bei Emden | -0,218              | Warnemünde     | -0,139              |
| Wilhelmshaven   | -0,420              | Stralsund      | -0,085              |
| Geestemünde     | -0,179              | Wiek           | -0,077              |
| Bremerhaven     | -0,165              | Swinemünde     | -0,023              |
| Cuxhaven        | -0,219              | Kolbergermünde | -0,119              |
| Eckernförde     | -0,344              | Stolpmünde     | -0,099              |
| Kiel            | -0,236              | Neufahrwasser  | +0,011              |
| Travemünde      | -0,203              | Pillau         | -0,078              |
| Wismar          | -0,165              | Memel          | +0,242              |

Tabelle 2 Höhen der Mittelwasser an den Nord- und Ostseehäfen mit Bezug auf Normal-Null (Preußische Landesaufnahme 1879)

(NG) 1956 vollendet. Es bezieht sich auf die NN-Höhen in Deutschland durch Anschluß an den Niv-Punkt Aachen, St. Adalbertkirche mit 166,108 m. Mit der seit 1993 laufenden Erneuerung des NG ist das IGN in Brüssel beauftragt. Der Höhenbezug soll durch drei Anschlußpunkte im deutschen System DHHN 85 realisiert werden. Nach Erstellung eines Schwerenetzes wird die orthometrische Reduktion angebracht.

Von 1875 bis 1885 wurde in den **Niederlanden** das erste Hauptnivellement mit Anschluß an fünf Höhenmarken (Dijkpeilstenen) des Amsterdamer Stadtpegels (AP) aus dem Jahre 1684 ausgeführt. Seit 1891 führt dieser Höhenbezug die Bezeichnung »Normaal Amsterdams Peil (NAP)«, um die Höhen des Hauptnivellements nach 1875 deutlich von älteren AP-Höhen vor 1875 zu unterscheiden. Der Höhenbezug hat sich hierdurch aber nicht geändert. Das zweite niederländische Hauptnivellement der Jahre 1926 bis 1940 behielt seinen unveränderten NAP-Bezug. Zur dauerhaften Festlegung der NAP-Fläche wurden im ganzen Land verteilt 48 unterirdische Festlegungen in das Nivellement einbezogen. Aus dem gleichzeitigen Anschluß an das deutsche NN-System ergab sich eine durchschnittliche Höhendifferenz  $NN - NAP = +2$  cm (z.B. Höhe in Elten:  $H_{NN} = 14,95$  m;  $H_{NAP} = 14,93$  m). Der unveränderte Höhenbezug auf den NAP wurde 1950–59 und 1965–78 vom zuständigen »Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat« in Delft durch Feinnivellement zu den unterirdischen Festlegungen überprüft. Mit dem fünften Hauptnivellement ist im Jahre 1996 begonnen worden. Niederländische Untersuchungen haben inzwischen ergeben, daß die Festlegung des NAP nicht stabil ist und mit etwa 5 bis 6 cm pro Jahrhundert sinkt (bzw. der mittlere Meeresspiegel steigt). Alle NAP-Höhen sind nicht schwerereduziert. Die mittlere Meereshöhe an der niederländischen und deutschen Nordseeküste entspricht etwa dem Nullpunkt des Amsterdamer Pegels.

Das bisherige normalorthometrische Höhensystem in **Österreich** bezieht sich auf das Mittelwasser der Adria am Pegel Molo Sartorio in Triest. Die Höhe der Referenzmarke war 1875 vom Militärgeographischen Institut (MGI) mit 3,352 m bestimmt worden. Nachfolgende mehrjährige Pegelbeobachtungen zeigten allerdings, daß wegen der Hebung des Adriameeresspiegels die Bezugshöhe heute um ca. 30 cm vom Mittelwasser abweicht. Als nationaler Höhenbezugspunkt dient der Haupthöhenpunkt Hutbiegl/Horn im Böhmenmassiv. Eine erste Erneuerung erfolgte 1947 bis 1963, eine zweite von 1966 bis 1985. Das künftige orthometrische Höhensystem beruht auf einer Neuausgleichung der zweiten Erneuerung mit Anschluß an das europäische Höhensystem UELN und somit indirekt an den Amsterdamer Pegel.

In **Polen** wurde 1974 bis 1979 das Hauptnivellement erneuert. Diese Messungen gingen in die gemeinsame Ausgleichung der Netze der osteuropäischen Länder (Einheitliches Präzisionsnivellementnetz [EPNN]) ein. Durch den Anschluß an das EPNN besteht der Bezug zum Pegel Kronstadt (Insel 50 km westlich vor Sankt Petersburg). Die 1986 fertig berechneten Höhen sind Normalhöhen (Molodensky-Höhen).

Als Ausgangspunkt für das 1865 bis 1887 von der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) durchgeführte Präzisionsnivellement der **Schweiz** wurde die Bronzemarke auf dem Pierre du Niton, einem Felsblock im Hafen von Genf, angehalten. Die Höhe des Repère Pierre du Niton (RPN) wurde 1902 mit 373,600 m über dem Mittelwasser des Hafens von Marseille festgelegt. Auch die Höhen des zwischen 1903 und 1933 erneuerten Landesnivellements (LN 02) haben keine Schwerereduktionen. Inzwischen haben die Arbeiten für ein Landesnivellement (LN 95) als wissenschaftliches Zweitsystem mit Anschluß an das europäische Höhensystem UELN und unter Berücksichtigung von Oberflächenschwerewerten begonnen.

Die letzten Erneuerungsmessungen wurden in **Tschechien** in den Jahren 1973 bis 1978 durch den Geodätischen Dienst in Prag ausgeführt. Auch das tschechische Netz ist Bestandteil des osteuropäischen EPNN. Folglich sind die tschechischen Höhen ebenfalls angeschlossen an den Pegel Kronstadt und sind Normalhöhen (Molodensky-Höhen).

Der Zustand der unterschiedlichen Höhensysteme in Europa kann manchen Nutzern künftig nicht mehr zugemutet werden. Deshalb bestehen von Seiten der europäischen Vermessungsverwaltungen (Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle [CERCO]) Bestrebungen nach einem einheitlichen europäischen Höhensystem. Alle CERCO-Staaten sind sich grundsätzlich einig, daß für Zwecke europäischer Geoinformationssysteme eine Einheitlichkeit wichtiger ist als die Genauigkeit und Aktualität von Höhen. Die Festlegung auf ein europaweit einheitliches Höhensystem steht aber noch aus.

#### *4. Bezugsflächen für Höhenmessungen in Deutschland*

Solange das Gelände in den deutschen Landkarten nur durch Schraffen dargestellt wurde, wie dies bis Mitte des 19. Jahrhunderts in der Regel der Fall war, benötigte der Topograph nur (relative) Neigungsmessungen, nicht aber (absolute) Höhenmessungen. Aus diesem Grund wurde in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts in Deutschland für die topographische Landesaufnahme noch keine systematische Höhenmessung durchgeführt. Die vereinzelt eingetragenen Höhenangaben aus dieser Zeit entbehren deshalb einer einheitlichen Grundlage, sie sind häufig barometrisch, seltener trigonometrisch bestimmt worden und können nicht in allen Fällen hinreichend genau in heutige Normalnull-Höhen umgerechnet werden. Die Höhenzahlen erfolgten früher in Fuß, Toise oder Pariser Linie, später nur noch in Meter.

In Preußen wurden vor 1866 alle Höhenangaben der Landesaufnahme in den östlichen Provinzen auf den Nullpunkt des Pegels von Neufahrwasser (Ortsteil von Danzig), in den westlichen Provinzen auf den Amsterdamer Pegel bezogen, teilweise auch auf das Mittelwasser eines Hafenortes der Nord- und Ostsee (häufig Swinemünde) oder bei Spezialvermessungen auf einen geeignet gelegenen Flußpegel. In Tabelle 2 sind die Höhendifferenzen zwischen den deutschen Nord- und Ostseepegeln zusammengestellt. Bayern hatte als Ausgangspunkt das Mittelwasser der Adria am Pegel von Venedig, Baden den Boden des Straßburger Münsters, dessen Höhe von den Franzosen nach dem Mittelwasser des Mittelmeeres in Marseille festgelegt war.

Aufgrund der Empfehlungen der zweiten Konferenz der Europäischen Gradmessung

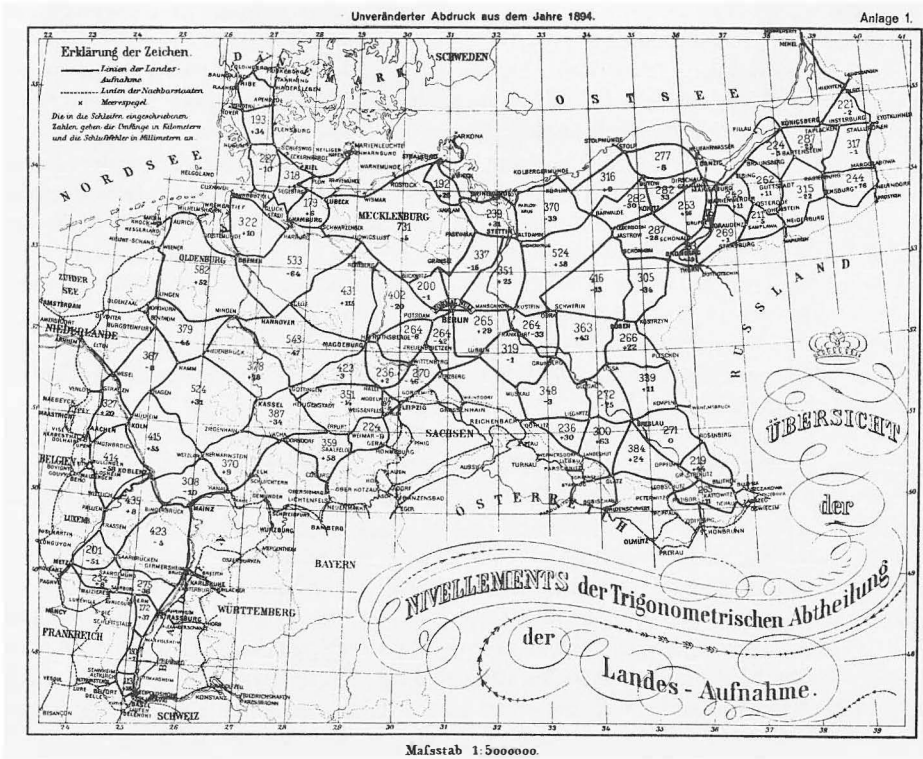
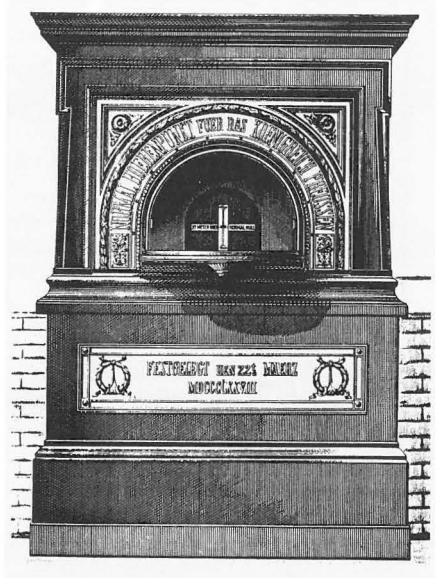
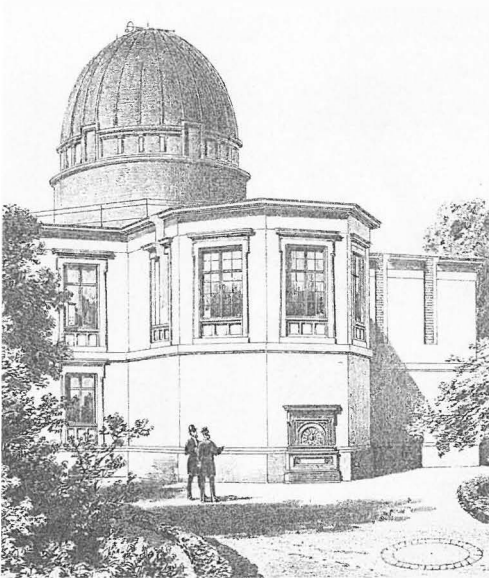


Abb. 1 Übersicht des preussischen Nivellements, gemessen in den Jahren 1868 bis 1894. Die in die Schleifen eingeschriebenen Zahlen geben die Umfänge in Kilometer und die Schleifenschlußfehler in Millimeter an. Der erste Normalhöhenpunkt (NHP 1879) lag an der alten Sternwarte in Berlin. (Nachdruck: Vahlensieck/Ottweiler, Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 1951)

begann Preußen 1868, ein genaues geometrisches Nivellement als Grundlage für die Höhenmessung zu schaffen. Bis 1894 entstand ein Netz von Höhenfestpunkten, das sämtliche Länder des preussischen Staates überzog (Abb. 1). Durch Nivellement war 1876/79 die Höhe des Amsterdamer Pegels auf den Normalhöhenpunkt (NHP 1879) an der alten Berliner Sternwarte (Abb. 2) übertragen worden. Das niederländische und preussische Höhenetz beziehen sich also auf den denselben Ausgangspunkt NAP, sind aber als separate Nivellementnetze anzusehen. Als Nullpunkt für die preussischen Höhen war der Punkt anzusehen, der 37,000 m unter dem NHP lag (Abb. 3). Er erhielt die Bezeichnung »Normalnullpunkt« und die Höhenbezugsfläche »Normal-Null-Fläche (NN-Fläche)« sowie die Höhen »Normal-Null-Höhen (NN-Höhen)«. Diese NN-Höhen des sogenannten Urnivellements (Abb. 1), für die noch keine Schwerereduktionen berechnet wurden, erhielten später die Bezeichnung »NN-Höhen im alten System«. Alle früheren Höhenangaben der Preussischen Landesaufnahme, die sich auf den Pegel zu Neufahrwasser bezogen, wurden durch Abzug von  $-3,513$  m in NN-Höhen umgewandelt. Die alten Höhen in Schleswig-Holstein, die sich auf den Flutmesser zu Hamburg bezogen, wurden durch Abzug von  $-3,538$  m in NN-Höhen umgewandelt.

Kurz vor dem Abbruch der alten Berliner Sternwarte wurde 1912 ein neuer Normalhöhenpunkt (NHP 1912) in der Nähe von Hoppegarten (etwa 40 km östlich von Berlin, Abb. 4) festgelegt, wodurch sich jedoch an dem Höhenbezug nichts änderte. Danach wurde



Links Abb. 2 An der Nordseite der alten Sternwarte in Berlin wurde 1879 der Normalhöhenpunkt durch einen Syenitpfeiler von 1,7 m Höhe vermarktet. Die Sternwarte wurde nach 1910 abgerissen. (Preußische Landesaufnahme 1879) – Rechts Abb. 3 Der »Normalhöhenpunkt für das Königreich Preußen« an der Nordseite der Berliner Sternwarte war 1879 festgelegt durch den Mittelstrich einer 20 cm langen Millimeterskala von Email. Unter dieser Markierung lag in 37,000 m Tiefe diejenige Bezugsfläche, die man »Normal-Null« bezeichnete. Zum Schutz gegen Witterung und Zerstörung war die Markierung von einem verschleißbaren Gehäuse verdeckt. (Preußische Landesaufnahme 1879)

das gesamte Nivellementnetz mit Anschluß an den NHP 1912 und unter Berücksichtigung der normalorthometrischen Reduktion (NOR) berechnet. Diese neuen normalorthometrischen Höhen heißen »NN-Höhen im neuen System«. Die Differenz zwischen den NN-Höhen im »alten System« und im »neuen System« betragen in Nord- und Westdeutschland nur wenige Zentimeter, im Flachland weniger, im Mittelgebirge mehr.

Die Entstehung des preußischen Nivellementnetzes vollzog sich in mehreren Teilnetzen, die jeweils für sich ausgeglichen wurden. Im Gebiet von Nordrhein-Westfalen erfolgten die Messungen zwischen 1921 und 1938. Seit 1935 wurde das neue Netz »Reichshöhennetz (RHN)« genannt, nach 1945 lautete die Bezeichnung »Deutsches Haupthöhennetz (DHHN)«, heute DHHN 12 genannt.

Bestimmte Höhenmessungen der Landesvermessungsämter aus den Jahren 1947 bis 1962 wurden von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) in einem Guß ausgeglichen und als »Nivellementnetz 1960« veröffentlicht. Diese Höhen dienten nur wissenschaftlichen Zwecken, sie wurden nicht als amtliche Höhen der Landesvermessung eingeführt.

Von 1980 bis 1985 wurde das gesamte DHHN nach einheitlichem Meßverfahren neu beobachtet und in einem Guß ausgeglichen. Die zwangsfreie Netzausgleichung wurde an den Niv-Punkt Wallenhorst (nördlich von Osnabrück) mit seiner NN-Höhe aus dem Jahre 1928 angehängt. Der geologisch stabile Niv-Punkt Wallenhorst war bereits im Zuge des Verbindungs-nivellements vom Amsterdamer Pegel zur Berliner Sternwarte bestimmt worden. Das Ausgleichungsergebnis heißt »Hauptthöhennetz 1985 (DHHN 85)«. Die normal-

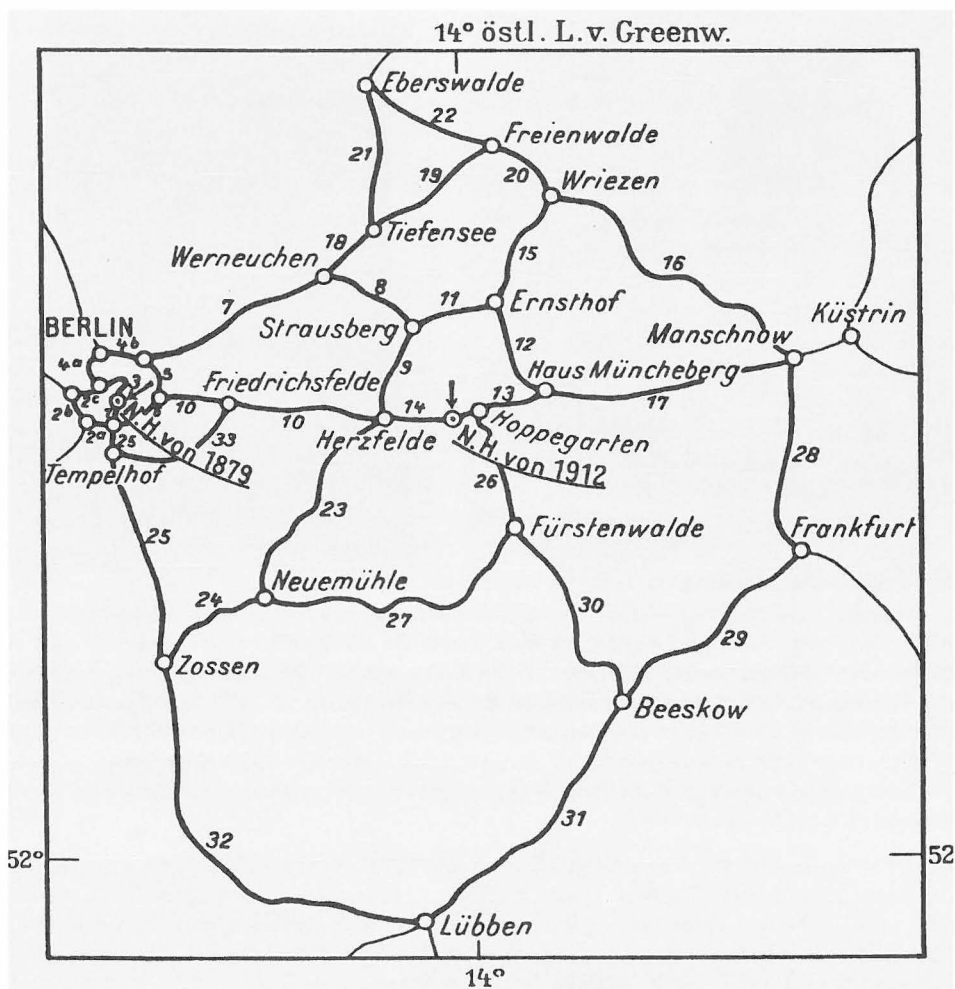


Abb. 4 Niv-Netz zur Bestimmung des neuen Normalhöhenpunktes von 1912 bei Hoppegarten, etwa 40 km östlich von Berlin. (Nachdruck: Vahlensieck/Ottweiler, Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen 1951)

orthometrischen Höhen des DHHN 85 haben nach wie vor einen Bezug zum Amsterdamer Pegel (NAP). Mit Hilfe von Schweremessungen entlang der Niv-Linien wurden auch geopotentielle Koten und daraus wiederum Normalhöhen für wissenschaftliche Zwecke berechnet. Die NN-Höhen des DHHN 85 fanden lediglich in Rheinland-Pfalz Anerkennung als amtliche Höhen. Alle anderen (alten) Bundesländer übernahmen diese Höhen nicht, weil im Zuge der deutschen Einheit 1990 das große Höhenproblem zwischen Ost- und Westdeutschland eine neue gesamtdeutsche Lösung erforderte.

In der ehemaligen DDR entstand in den Jahren 1954 bis 1956 das Staatliche Nivellementnetz (SNN 56) als Teil des osteuropäischen Systems EPNN und mit Bezug zum Pegel Kronstadt. Die Normalhöhen (Molodensky-Höhen) erhielten die Bezeichnung »Höhen über Höhen-Null (HN-Höhen)« zur Unterscheidung von den bisherigen »Höhen über Normal-Null (NN-Höhen)«. Den HN-Höhen liegen Helmert-Normalschwereformeln



mit Bezug zum Krassowski-Ellipsoid zugrunde. Das SNN wurde nach 1974 erneut beobachtet und 1976 an den NHP 1912 fehlerfrei angeschlossen. Diese HN-Höhen führen die Bezeichnung »Normalhöhen 1976 (HN 76)« und waren bis 1990 die amtlichen Höhen der DDR. Neben den Normalhöhen wurden für die Bereiche der Volkswirtschaft auch weiterhin NN-Höhen benutzt, u.a. von der Deutschen Reichsbahn in der DDR.

### 5. Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92)

Durch die politische Vereinigung Deutschlands im Jahre 1990 wurde die Berechnung eines neuen einheitlichen Haupthöhennetzes erforderlich. In den Jahren 1990 bis 1992 schufen die Landesvermessungsämter Nivellementverbindungen zwischen den Haupthöhennetzen der alten Bundesländer (Niv-Netz des DHHN 85) und der neuen Bundesländer (Niv-Netz des SNN 76). Im Oktober 1993 stimmte das AdV-Plenum dem Ergebnis der gemeinsamen Ausgleichung von DHHN 85 und SNN 76 zu. Das neue Höhensystem für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland trägt die Bezeichnung »Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92)« (Abb. 5). Die zwangsfreie Ausgleichung des DHHN 92 in geopotentiellen Koten ist wiederum angeschlossen an den Niv-Punkt Wallenhorst mit seiner geopotentiellen Kote aus dem Europäischen Nivellementnetz UELN 86 (siehe nächster Abschnitt). Dadurch ist auch das DHHN 92 an den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels angeschlossen.

Mit Blick auf ein künftiges, europaweit einheitliches Höhenbezugssystem sind die Höhen des DHHN 92 als Normalhöhen nach der Theorie von Molodensky berechnet. Hierbei werden die Niveauellipsoid-Parameter und die Normalschwereformel des Geodätischen Referenzsystems 1980 (GRS 80) verwendet. Die geographischen Koordinaten der Niv-Punkte beziehen sich auf das Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989 (ETRS 89). Die Höhen des DHHN 92 werden als »Höhen ber Normalhöhennull (NHN-Höhen)« bezeichnet. Die Differenzen der NHN-Höhen gegenüber den NN-Höhen betragen in Nord- und Westdeutschland nur wenige Zentimeter, erreichen in den Mittelgebirgen und im Alpenvorland jedoch Dezimeterbeträge.

### 6. Europaweite Höhensysteme

Bislang gibt es in Europa zwei weitreichende Höhensysteme. Im Osten besteht das Einheitliche Präzisionsnivellementnetz Osteuropäischer Länder (EPNN). Dieses Netz ist angeschlossen an den Pegel Kronstadt und in Normalhöhen nach Molodensky berechnet. Es ist zugleich die Grundlage der Höhennetze aller osteuropäischen Staaten (einschließlich der ehemaligen DDR).

Im Westen existiert das Vereinigte Europäische Nivellementnetz (United European Levelling Network [UELN], früher: Réseau Européen Unifié de Nivellement [REUN]). Es wurde 1954 aus Nivellementlinien der beteiligten nord-, west- und südeuropäischen Staaten gebildet und mehrfach ausgeglichen, zuletzt 1986. Das UELN enthält mehrere Meerespegel, sein Höhenbezugspunkt ist der Amsterdamer Pegel (NAP). Es ist nicht in metrischen Meereshöhen, sondern in geopotentiellen Koten berechnet.

Im Gegensatz zu dem osteuropäischen Netz ist das UELN kein Gebrauchshöhennetz, es hat bisher nur wissenschaftliche Zielsetzungen, u.a. den Vergleich der Mittelwasserstände an den europäischen Küsten. Jedoch setzt sich das Messungsmaterial aus einem Zeitraum von mehr als 70 Jahren (1912 bis 1984) zusammen. Es ist mit unterschiedlichen Schwerere-

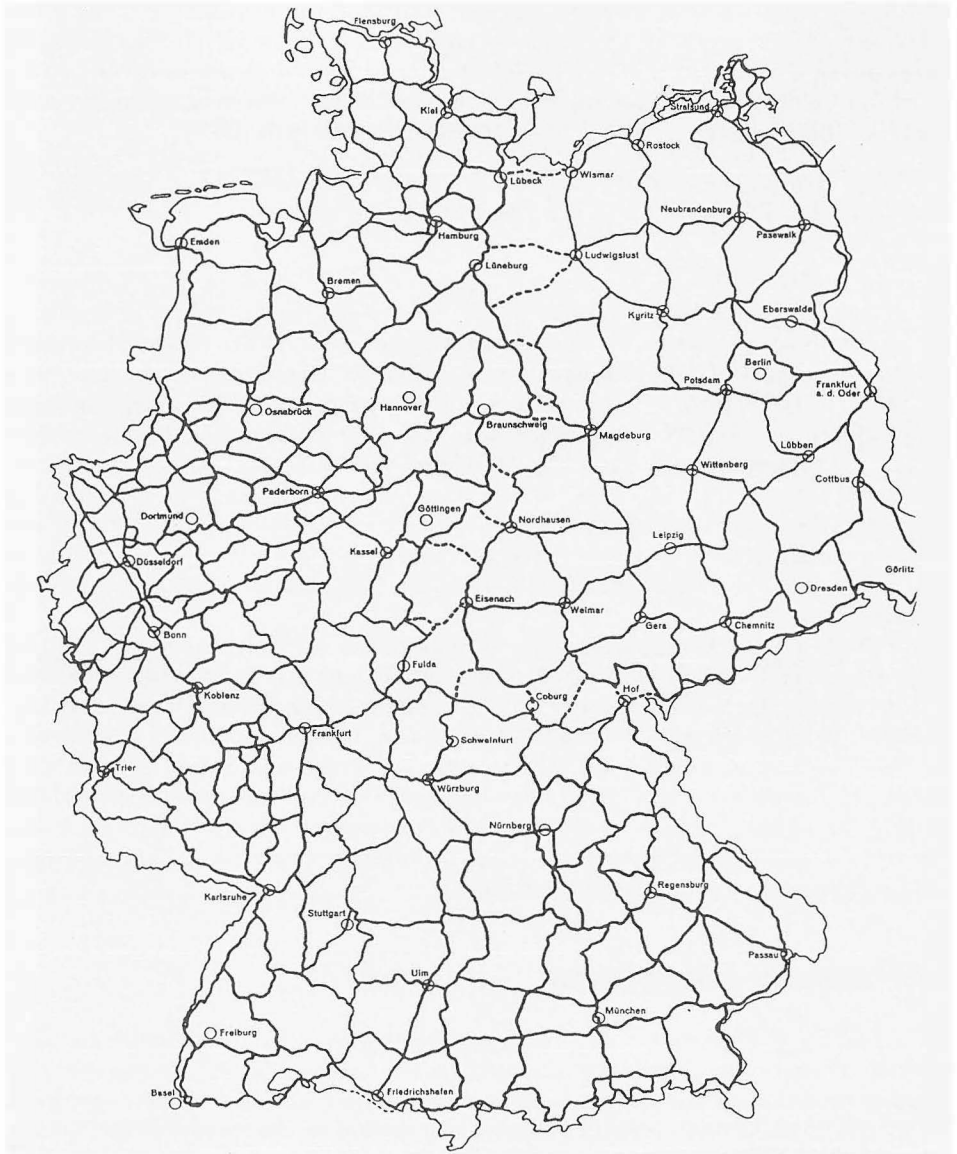


Abb. 5 Im Zuge der deutschen Einheit entstand das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92). Es besteht aus dem westdeutschen Niv-Netz des DHHN 85 und dem ostdeutschen Niv-Netz SNN 76, verknüpft durch 15 neue Verbindungsmessungen, gestrichelt dargestellt. (AdV 1995)

duktionsverfahren bearbeitet worden, so daß keine befriedigende Netzhomogenität vorliegt. Folglich kann das UELN den heutigen Genauigkeitsansprüchen nicht genügen. Die UELN-Höhen haben deshalb bisher keinen Eingang in die Praxis der Landesvermessung gefunden. Nur vereinzelte UELN-Punkte sind Anschlußpunkte für neue Landesnetze, so dient z.B. die UELN 86-Kote des Niv-Punktes Wallenhorst als Anschlußhöhe für das neue DHHN 92.

Seit 1994 laufen Arbeiten mit dem Ziel, das UELN auf die Länder Osteuropas zu erweitern, ältere Messungen durch neue Nivellements zu ersetzen und dadurch eine bessere Homogenität des Netzes mit Dezimeter-Genauigkeit zu erreichen (UELN 95, Abb. 6). Des Weiteren sind 1997 europaweit 195 Punkte mit Hilfe von GPS-Messungen an 63 europaweit verteilte Meeresspiegel angeschlossen worden (Abb. 7). Durch die Gegenüberstellung der so ermittelten ellipsoidischen Höhen mit den nivellitisch bestimmten Höhen ergeben sich Stützpunktwerte für eine europäische Quasigeoidberechnung. Durch den Anschluß an die 63 Pegelstationen in Europa besteht nun die Möglichkeit, Meeresspiegelschwankungen besser zu untersuchen. Die CERCO-Staaten sind grundsätzlich bereit, aufgrund der künftigen UELN-Ergebnisse einen Mittleren Meereshorizont für ganz Europa festzulegen. Favorisiert wird die Beibehaltung des Amsterdamer Pegels und die Berechnung von Normalhöhen.



Abb. 6 Übersicht des Vereinigten Europäischen Nivellementnetzes (UELN). Das ursprünglich auf Westeuropa begrenzte UELN wird seit 1994 auf die osteuropäischen Staaten ausgedehnt. Die neuen UELN 95-Ergebnisse in Form von Normalhöhen beziehen sich auf den Amsterdamer Pegel. (Ibde 1997)

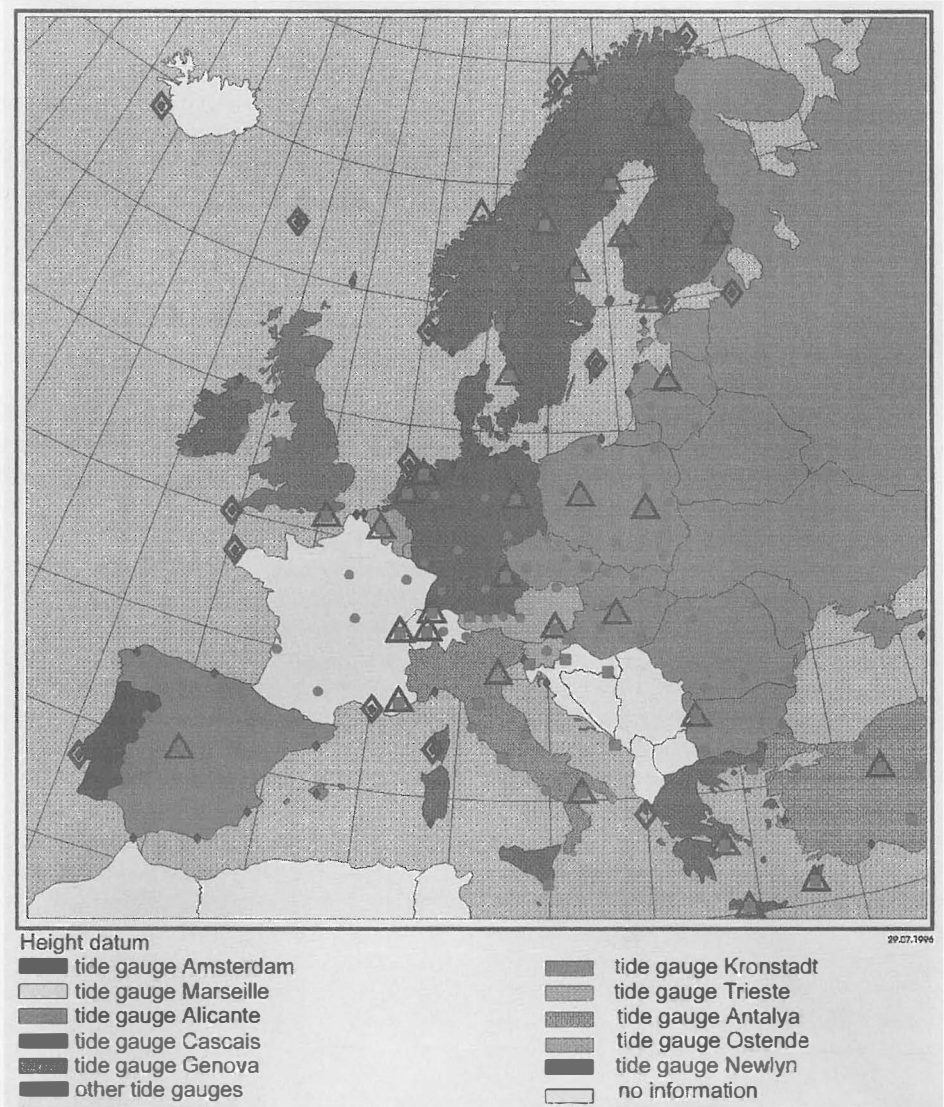


Abb. 7 Übersicht der nationalen Höhensysteme in Europa mit Kennzeichnung der Pegelstationen (Rautenzeichen), UELN-Punkte (Kreiszeichen) und GPS-Stationen (Dreieck- und Quadratzeichen). Die dargestellten Punkte wurden 1997 europaweit mit GPS-Messungen verknüpft, um durch den Anschluß an die Pegelstationen die Meeresspiegelschwankungen besser zu untersuchen und einen Mittleren Meereshorizont für ganz Europa festzulegen. (Ihde 1997)

## 7. Satellitengestützte Höhenmessungen

Durch die in den letzten Jahren fortschreitende Entwicklung der Satellitenpositionierungstechniken, insbesondere des US-amerikanischen NAVSTAR Global Positioning System (GPS), haben ellipsoidische Höhen an Bedeutung gewonnen. Die **ellipsoidischen Höhen** sind nicht potentialtheoretisch festgelegt, es fehlt ihnen der Bezug zum Erdschwerefeld. Als

rein geometrisch definierte Abstandshöhen zu einer Ellipsoidoberfläche haben sie Vorteile, sie sind anschaulich, eindeutig, metrisch und hypothesenfrei. Die Ellipsoidoberfläche eines rein geometrisch definierten Referenzellipsoides ist aber keine Niveaufläche des Erdschwerfeldes und somit physikalisch ohne Bedeutung. So fallen gleiche ellipsoidische Höhen z.B. nicht mit der ruhenden Oberfläche eines Sees zusammen, d.h. zwischen Punkten mit gleicher ellipsoidischer Höhe fließt Wasser. Deshalb widersprechen die ellipsoidischen Höhen dem natürlichen Empfinden von einer Höhe. Sie haben trotz ihrer Vorteile bisher noch keinen Eingang in die Vermessungspraxis gefunden. Global betragen die Unterschiede zwischen dem Geoid und einer Ellipsoidoberfläche bis zu 100 m.

Die mit Hilfe von GPS-Messungen bestimmten Koordinaten und Höhen gehören originär zum World Geodetic System 1984 (WGS 84). Die dreidimensionalen geozentrischen Koordinaten XYZ können mit Bezug zum vorgegebenen Referenzellipsoid GRS 80 in unterschiedliche Abbildungen unmittelbar umgerechnet werden, z.B. in ellipsoidische Werte geographische Breite  $B$ , geographische Länge  $L$  und ellipsoidische Höhe  $h$ . Die Gebrauchshöhen der Landesvermessungen sind streng zu unterscheiden von den GPS-bestimmten ellipsoidischen Höhen im WGS 84. Das Einpassen von GPS-Höhenunterschieden in das Höhensystem der Landesvermessung erfordert genaue Kenntnis der gegenseitigen Zuordnung der beiden Bezugsflächen und ihrer Lagerung im Raum, z.B. des WGS 84-Ellipsoides und der NN-Fläche. Der ortsabhängige Differenzbetrag zwischen ellipsoidischen Höhen  $h$  und Landeshöhen  $H$  wird als **Undulation** bezeichnet:  $U = h - H$ .

In Nordrhein-Westfalen schwanken die auf das WGS 84-Ellipsoid bezogenen Undulationen  $U_{\text{WGS84}}$  zwischen +44 m am Niederrhein und +48 m im Sauerland. Mit anderen Worten: das WGS 84-Ellipsoid verläuft etwa 46 m unterhalb der NN-Fläche. Demgegenüber erreichen die auf das Bessel-Ellipsoid des DHDN bezogenen Undulationen  $U_{\text{DHDN}}$  in NRW lediglich Werte zwischen -0,9 m am Niederrhein und +1,7 m im Sauerland. Man erkennt daran, daß das Bessel-Ellipsoid als deutsches Referenzellipsoid deutlich besser der NN-Fläche angepaßt ist. Für Bestimmungen im neuen Bezugssystem ETRS 89 werden künftig NHN-Undulationen als Differenz ellipsoidischer Höhen des ETRS 89 und Normalhöhen des neuen Höhensystems DHHN 92 benötigt.

#### Literatur:

- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV): Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92). Druck: Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1995.
- Bender, K.: Normal Amsterdamer Pegel (NAP). In: Der Ingenieur der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Heft 4/1996, S. 15-25.
- Gronwald, W.: Die Bedeutung von Pegeln und Pegelbeobachtungen und die Pegelvorschrift vom 14.9.1935. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 1938, S. 342ff.
- Gronwald, W.: Das »Einheitliche Europäische Nivellementnetz« und der »Mittlere Meeresspiegel«. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, 1963, S. 141-153.
- Heyde, G.: Die Höhennullpunkte der amtlichen Kartenwerke der europäischen Staaten und ihre Lage zu Normal-Null. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, Heft 3-4, Berlin 1923, S. 147-150 (Sonderheft des Büros für die Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen).
- Ihde, J.: Geodätische Bezugssysteme. In: Vermessungstechnik, 39. Jg., 1991, S. 13-15 und 57-63.
- Ihde, J.: Concept and Status of the European Vertical GPS Network (EUVN). CERCO Report. Nicosia, Cyprus, 1997.
- Kremers, J.: Das Deutsche Haupthöhennetz im europäischen Umfeld. In: Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen (NÖV), Heft 2/1994, S. 84-90.
- Preußische Landesaufnahme: Der Normal-Hoehenpunkt für das Koenigreich Preussen an der Koeniglichen Sternwarte zu Berlin. Berlin 1879.
- Spata, M.: Transformation von Koordinaten und Höhen der Landesvermessung, Teil 1: Theoretische Grundlagen. Druck: Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bonn 1992.
- Spata, M., und Kühnhold, H.W.: Satellitennavigation mit GPS-Handgeräten. In: BDVI-FORUM 3/1994, S. 389-395.

Steinberg, G., und Papo, H.: Ellipsoidale Heights: The Future of Vertical Geodetic Control. In: GPS World, 2/1998, S. 41-43.  
 Vahlensieck, O. und Ottweiler, G.: Die Nivellements im Lande Nordrhein-Westfalen. Druck: Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, Bad Godesberg 1951.

## Historical water marks and reference elevations in Europe

### Summary

Throughout history, the still surface of the sea has been used as a reference for heights and elevations. A given landmark's "height above sea level" is the distance measured in a plumb line from the landmark itself to the surface of the sea, which continues beneath the surface of the continents. Until the mid nineteenth century, the topographical surveying of countries did not include the measurement of elevations. This practice only ensued after the mean sea level of each country was determined at nearby coastal tide gauging sites and marked by permanent bench marks. The mean sea level at a tide gauging site is influenced by several factors including tides, currents and winds. As it is difficult to monitor these influences, the mean sea levels of different countries vary somewhat. Landlocked countries must base their national elevation systems upon the level datums supplied by neighbouring countries. The development of the German national elevation system and the ways in which it differs from those of its neighbours as well as from standardised European systems are described in detail.

## Niveau historique de la mer et hauteurs de référence en Europe

### Résumé

Tout au long de l'histoire, la surface de la mer a été utilisée comme référence pour l'établissement de niveaux et de hauteurs. «Le niveau au-dessus de la mer» ainsi indiqué d'un lieu donné est la distance mesurée à la verticale entre ce lieu lui-même et la prolongation virtuelle de la surface de la mer sous les continents. Jusqu'au milieu du 19e siècle, les relevés topographiques des pays ne comptaient aucun nivellement. C'est seulement à partir du moment où le niveau moyen de la mer fut déterminé par des sites de référence avec indicateurs côtiers de marées et marqué par un repère de niveau permanent, que chaque pays put déterminer ses propres nivellements à l'aide du niveau côtier le plus proche.

Le niveau moyen de la mer d'un site de référence avec indicateur de marée est soumis à diverses influences, telles que celles des marées, des courants et des vents. Comme il est difficile de contrôler ces différentes influences, les niveaux moyens de la mer sont légèrement différents d'un pays à l'autre. Les pays ne possédant pas de côtes propres sont obligés d'utiliser les relevés des pays voisins pour déterminer leur système de hauteurs nationales. Le développement du système allemand de hauteur nationale et les différences avec les systèmes voisins sont décrits en détail, de même que les systèmes européens standardisés.