

Paper-ID: VGI\_198616



## Historische Entwicklung des Präzisionsnivellements In Österreich

Josef Zeger <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Abt. K 2 (Erdmessung), Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **74** (4), S. 250–263

1986

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Zeger_VGI_198616,  
Title = {Historische Entwicklung des Präzisionsnivellements In Österreich},  
Author = {Zeger, Josef},  
Journal = {Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {250--263},  
Number = {4},  
Year = {1986},  
Volume = {74}  
}
```



## Historische Entwicklung des Präzisionsnivellements in Österreich

Von Josef Zeger, Wien

### 1. Das Präzisionsnivellement des Militär-Geographischen Institutes in Wien

Die in Österreich derzeit verwendeten Gebrauchshöhen über Adria haben ihre Grundlage in dem Nivellementnetz, welches vom im Jahre 1839 gegründeten k. und k. Militär-Geographischen Institut (= MGI) in Wien gemessen wurde.

Bereits bei der „Ersten allgemeinen Konferenz der Bevollmächtigten zur Mitteleuropäischen Gradmessung“ vom 15. bis 22. Oktober 1864 in Berlin war der nachfolgend zitierte Antrag einstimmig angenommen worden:

1. *Es ist wünschenswert, daß in allen, bei der Mitteleuropäischen Gradmessung beteiligten Ländern, neben den trigonometrischen Höhenbestimmungen, Nivellements 1. Ordnung ausgeführt werden, bei welchen die Nivellierung aus der Mitte angewendet, und die Kontrolle durch polygonalen Abschluß der Stationen hergestellt wird. Die Nivellementzüge werden am zweckmäßigsten zunächst den Eisenbahnen, dann den Straßen und Kanälen folgen.*
2. *Das Höhennetz jedes Landes ist auf einen einzigen solid versicherten Nullpunkt zu beziehen. Alle diese Nullpunkte sollen durch Nivellements 1. Ordnung miteinander verbunden werden.*
3. *Die mittlere Höhe der verschiedenen Meere soll in einer möglichst großen Anzahl von Häfen und, wo es angeht, mittels registrierender Apparate bestimmt werden, die Nullpunkte dieser Pegel sind in das Höhennetz 1. Ordnung einzubeziehen.*
4. *Je nach dem Resultate dieser Messungen wird später der für ganz Europa giltige Nullpunkt der absoluten Höhen bestimmt werden.*

Von der zweiten allgemeinen Konferenz vom 30. September bis 7. Oktober 1867 in Berlin, bei der die Mitteleuropäische Gradmessung in Europäische Gradmessung umbenannt wurde, wurde dieser Beschluß neuerlich bestätigt, und es wurden die Grundsätze für die Durchführung dieser Nivellements festgelegt. Demnach waren die Nivellements grundsätzlich aus der Mitte durchzuführen. Die einzelnen Linien waren mehrfach zu nivellieren, und außerdem sollten zur weiteren Kontrolle auch Nivellements Schleifen gebildet werden. Die verwendeten Nivellierlatten waren auf Teilungsfehler zu untersuchen und es sollten für sie Gleichungen ermittelt werden. Eine wesentliche Bestimmung verlangte, daß der wahrscheinliche zufällige Fehler pro Kilometer Nivellementstrecke im allgemeinen 3 mm nicht überschreiten sollte und nur ausnahmsweise höchstens 5 mm erreichen durfte.

Anläßlich der dritten allgemeinen Konferenz der Europäischen Gradmessung vom 21. bis 30. September 1871 in Wien wurde die österreichische Regierung ersucht, möglichst bald das Präzisionsnivellement beginnen zu lassen. Mit Erlaß Nr. 3096 vom 1. November 1871 wurde daraufhin vom k. und k. Reichs-Kriegs-Ministerium die Durchführung eines Präzisionsnivellements angeordnet. Mit der Durchführung wurde die Triangulierungs- und Calcul-Abteilung, die spätere astronomisch-geodätische Gruppe des k. und k. Militär-Geographischen Institutes in Wien beauftragt. Nach Vorbereitungsarbeiten im Jahre 1872 wurde dann im Jahre 1873 mit den eigentlichen Nivellementarbeiten mit zwei Nivellierinstrumenten begonnen und in den folgenden Jahren mit vier und später mit noch mehr Instrumenten fortgesetzt. Durchgeführt wurden sie ausschließlich von Offizieren der astronomisch-geodätischen Gruppe des MGI, meist unter direkter Leitung des Triangulierungs-Direktors.

Das Präzisionsnivellement des MGI wurde in der Hauptsache in den Jahren von 1873 bis 1895 gemessen. Im Anschluß daran erfolgte bis 1918 nur mehr die Einschaltung einzelner

Nivellementlinien, zumeist außerhalb des jetzigen österreichischen Staatsgebietes. Bis 1918 hatte das Netz des Präzisionsnivellements des MGI eine Länge von insgesamt 25 055 km mit 6224 Höhenmarken (Lochmarken) und 11 369 nach heutigen Begriffen ungeeigneten und außerdem zumeist auch verloren gegangenen Steinmarken.

Die Nivellementlinien wurden im allgemeinen entlang von Bahnlinien geführt. Nur dort, wo dies nicht möglich war, wurde das Nivellement entlang von Straßen gemessen. Das Nivellement entlang von Bahnlinien hatte zur Folge, daß die Höhenmarken sich zumeist an Bahngebäuden befanden. Die Bahnlinien waren vielfach aufgeschüttet worden, und damit befanden sich auch die Bahngebäude vielfach auf aufgeschüttetem Untergrund. Es war daher die Verlässlichkeit der den Höhenmarken zugeordneten Höhenwerte durch die im Bereich einer Bahnlinie als Folge des Verkehrs unausbleiblichen Erschütterungen nicht gewährleistet, wie bereits einige in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen durchgeführte Anschlußmessungen gezeigt hatten.

Entlang der Linien des Präzisionsnivellements des MGI wurden einzelne ausgewählte Punkte durch Stabilisierungen festgelegt. Es gab drei Arten von Festlegungen: Hauptfixpunkte oder Urmarken, Höhenmarken und Steinmarken.

Im Bereiche der Monarchie wurden sieben Höhenmarken mit besonderer Sorgfalt als Hauptfixpunkte oder Urmarken an solchen Orten errichtet, wo nach Ansicht der k. k. Geologischen Reichsanstalt in tektonisch stabilem Gelände aller Voraussicht nach eine Hebung oder Senkung des Bodens nicht zu erwarten war. Sie sollten, über das Gebiet der österreichisch-ungarischen Monarchie möglichst gleichmäßig verteilt, der dauernden Horizontsicherung dienen, da zufolge der Ausdehnung der Monarchie nicht jederzeit zum Höhenausgangspunkt (Meerespiegel) zurückgegangen werden konnte.

Die sieben Urmarken sind:

Jahr der Einrichtung	Lage	Untergrund	Höhe über Adria in m
1878	Zwischen Maria Rast und Faal an der Bahnlinie im Drautal nahe Marburg	Gneis	295,5644
1887	Im Rothenturm-Paß südlich von Hermannstadt an der damaligen rumänischen Grenze	Amphibol-Schiefer	360,0558
1887	An der Straße über die Karpaten zwischen Márámaros-Sziget und Trebusa	Gneis	367,6820
1888	An der Eisenbahn zwischen Rutka und Sillein im Waagtal, Komitat Trencsin	Granit	371,0933
1888	Beim Dorf Nadap zwischen Stuhlweißenburg und Budapest	Granit	173,6901
1890	Zwischen Lischau und Budweis, Böhmen	Granulit	565,2065
1890	Im Werk F des unteren Forts in Franzensfeste in Südtirol	Granit	736,4520

Von diesen sieben Urmarken des MGI befindet sich keine einzige auf dem heutigen Staatsgebiet von Österreich. In relativer Grenznähe liegen die Urmarken in Franzensfeste in Italien, bei Maria Rast in Jugoslawien (Abb. 1) und bei Lischau in der Tschechoslowakei.

Die Herstellung dieser Urmarken erfolgte unmittelbar auf dem betreffenden festen Gestein. Nach einer entsprechenden Abtragung, um auf möglichst gesundes, unverwittertes Gestein zu kommen, wurde auf dem gewachsenen Fels eine etwa 1 dm<sup>2</sup> große horizontale Fläche poliert. Zum Schutz für die dadurch definierte Urmarke wurde über dieser polierten Fläche ein kleines Monument mit einer lateinischen Inschrift errichtet. In der Nähe des Hauptfixpunktes ist auch eine Höhenmarke angebracht, die normalerweise als Anschlußpunkt dient.

Maria Rast.

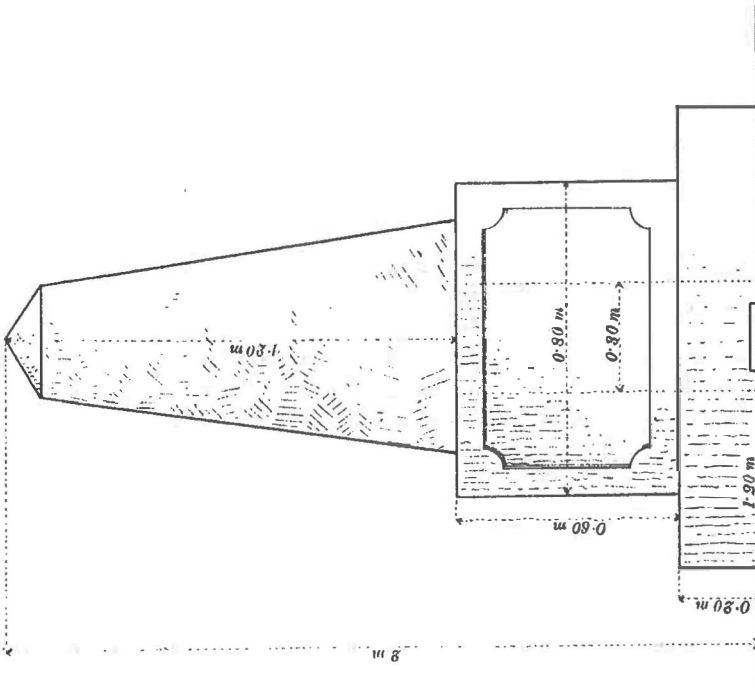
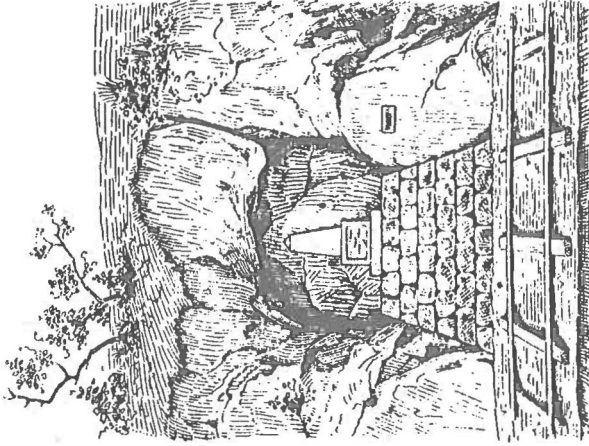


Abb. 1: Urmarke bei Maria Rast (Jugoslawien).

An den einzelnen Nivellementlinien wurden in einem durchschnittlichen Abstand von drei bis vier Kilometer an festen Gebäuden, wie Kirchen, Bahnhöfen u. dgl., in einer Höhe von etwa 2,0 m bis 2,2 m über dem Boden Höhenmarken als Höhenfestpunkte (Repèrepunkte) 1. Ordnung angebracht (Abb. 2). Eine Höhenmarke bestand aus einem ungefähr 10 cm langen Messingkonus mit Endflächen von 3 cm und 4 cm Durchmesser, mit einer Bohrung in seiner Achse von 4 mm Durchmesser. Dieser Konus wurde mit der kleineren Endfläche nach außen genau horizontal so in das Mauerwerk eingebracht, daß die Endfläche in der Mauerflucht lag. Als Schutz wurde der Messingkonus mit einer Gußeisenplatte mit der Inschrift „Höhenmarke“ abgedeckt. Diese Metallplatte hat unter der Inschrift einen horizontalen erhabenen Strich, in dessen Mitte die Platte durchbohrt ist. Beim Befestigen der Deckplatte in der Mauer wurde diese Durchbohrung auf die gleich weite Bohrung des Messingkonus aufgepaßt. Die aus dem Nivellement resultierende Meereshöhe bezieht sich auf die horizontale Achse der Bohrung des Messingkonus.

Zwischen den Höhenmarken wurden als Zwischenpunkte in etwa 1 km Abstand als Repèrepunkte 2. Ordnung sogenannte Steinmarken angebracht (Abb. 2). Hiefür wurden auf Kilometersteinen, Barrieresteinen, Sockeln von Brückengeländern, Stufen an Kapellen, auf Bildstöcken u. dgl., wie auch an Beobachtungspfeilern trigonometrischer und astronomischer Stationen, auf den Monumenten von Endpunkten geodätischer Grundlinien usw. ebene, horizontale Flächen für die Aufstellung der Nivellierlatten hergerichtet. Diese Aufstellflächen wurden durch eingemeißelte, mit Ölfarbe geschwärzte Vierecke begrenzt und durch die Buchstaben „H + M“ gekennzeichnet.

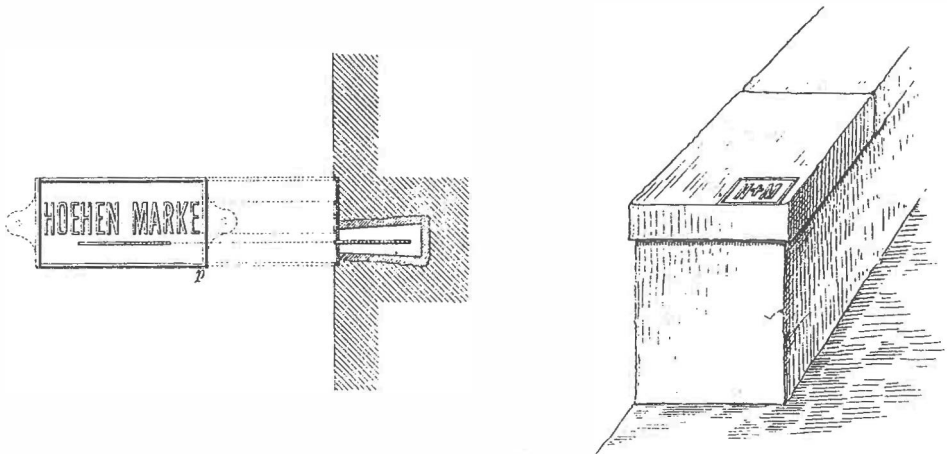


Abb. 2: Repèrepunkte 1. und 2. Ordnung.

Für die Messung wurden Nivellierinstrumente von Starke und Kammerer verwendet mit 30facher Vergrößerung, mit wälz- und umlegbarem Fernrohr, mit aufgesetzter und umlegbarer Libelle. Die Nivellierlatten hatten eine Länge von 3 m, sie waren aus Tannenholz, mit Ölfarbe bestrichen und hatten einen H-förmigen Querschnitt. Sie waren als Wendelatten ausgebildet und hatten je eine Teilung auf der Vorder- und Rückseite. Die Nullstriche der Teilung befanden sich einige Zentimeter oberhalb der Aufstellfläche und waren auf der Vorder- und Rückseite verschieden hoch. Diese Differenzen wechselten von Latte zu Latte. Auf der einen Seite der Latte war die schachbrettartige Zentimeterteilung bei den ganzen Dezimetern von 0 bis 29 bezeichnet, auf der anderen Seite von 30 bis 59. In den Jahren 1888–1890 wurden die Nivellierlatten zur Maßstabskontrolle auf beiden Seiten mit Stahlmaßstäben von 270 bis 290 cm Länge versehen (Abb. 3).



Abb. 3: Nivellementpartie des Militär-Geographischen Institutes.

Die Linien  
des  
Präzisions-Nivellement  
in der  
österreich-ungar. Monarchie  
Westlicher Theil.

Anschluss an Baiern und Württemberg  
bei Bregenz.



- Nivellementlinien, welche in diesem Bande behandelt sind
- - - - - Nivellementlinien, welche in diesem Bande nicht behandelt sind
- 36 Nummer der Nivellement-Linie
- ☒ Urmarke

Nivellement bei Wien



Vor dem Jahre 1889 wurde eine Korrektur des Lattenmeters der in Verwendung gestandenen Holz-Nivellierlatten bezüglich Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht berücksichtigt. Dies erfolgte erst ab diesem Zeitpunkt. Von den 62 Nivellementlinien des MGI, die nach dem ersten Weltkrieg ganz oder teilweise auf dem Staatsgebiet des heutigen Österreich verblieben, wurden 58 Linien vor 1889 gemessen.

Das Nivellieren erfolgte aus der Mitte mit etwa gleichen Zielweiten. Die Ablesung wurde in zwei Fernrohrlagen jeweils an allen drei Horizontalfäden vorgenommen. Als durchschnittliche Zielweite war eine solche von 60 m empfohlen. Bei günstigen atmosphärischen Verhältnissen wurde sie aber auch vergrößert, es wurden aber nur selten 80 m Zielweite überschritten. Als Lattenuntersätze dienten teilweise Stahlpflocke von 20–40 cm Länge oder Lattenuntersätze aus Gußeisen, sogenannte Frösche, mit drei Fußspitzen und einem kugelförmigen Aufstellbolzen.

Da Schweremessungen im allgemeinen fehlten, wurde an die gemessenen Höhenunterschiede nur die sphäroidische Korrektur angebracht, also nur der Einfluß der Schwerkraft nach ihrem theoretischen Verlauf für eine regularisierte Erde, die sogenannte Normal-schwere, in Abhängigkeit von der Meereshöhe und der geographischen Breite als normal-orthometrische Reduktion. Die Auswirkungen der Massen- und Dichteunregelmäßigkeiten und der daraus resultierenden tatsächlichen Schwereverhältnisse in der Natur blieben hierbei unberücksichtigt.

Für die einzelnen Nivellementsleifen wurden dann die Schleifenschlußfehler gebildet, welche die Widersprüche für die nachfolgende, als provisorisch geplante Ausgleichung des gesamten Nivellementnetzes der österreichisch-ungarischen Monarchie nach bedingten Beobachtungen darstellten. Diese Ausgleichung erfolgte jedoch nicht in einem Guß, sondern in drei großen Gruppen, wobei die Ergebnisse der vorhergegangenen Ausgleichungen für die nachfolgenden Gruppen als endgültig gegebene Werte angehalten wurden.

Als erstes wurden die Schleifen Nr. I bis XXVII im Westteil der Monarchie nach bedingten Beobachtungen ausgeglichen (Abb. 4), westlich der Linie Schönbrunn – Prerau – Lundenburg – Gänserndorf – Floridsdorf – Neu Erlaa – Wr. Neustadt – Bruck a. d. Mur – Graz – Kranichsfeld – Cilli – Mauthaus a. S. – Adelsberg – Sessana – Triest. Für diese 27 Schleifen lagen die Schleifenschlußfehler zwischen +186,7 mm (Schleife IV) und –281,0 mm (Schleife V). Abgesehen von diesen beiden Extremwerten lagen die übrigen Schleifenschlußfehler zwischen +87,9 mm und –103,9 mm. Nach der Ausgleichung ergaben sich für die einzelnen Linien Korrekturen zwischen +0,5605 mm/km und –0,8826 mm/km. Man erhielt aus dieser Ausgleichung einen mittleren Fehler von  $\pm 4,1$  mm/km für das Doppelnivellement und von  $\pm 5,8$  mm/km für das einfache Nivellement. Aus den Differenzen der Höhenunterschiede zwischen Hin- und Rückmessung bekäme man im Vergleich dazu nur einen mittleren Fehler von  $\pm 1,4$  mm/km für das Doppelnivellement und von  $\pm 2,0$  mm/km für das einfache Nivellement. Dies zeigt, daß in diesen Nivellementergebnissen ein sehr hoher Anteil an systematischen Fehlern enthalten war.

Ursachen für diese großen Fehler sind einerseits die damals üblichen relativ langen Zielweiten, zum Teil auch die Messung auf den aufgeschütteten Bahndämmen. Die wesentlichste Ursache ist jedoch, vor allem bei den Messungen in den Gebirgsgegenden vor dem Jahre 1889, die Nichtberücksichtigung der Änderungen der Lattenkorrektur zufolge der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, was zu sich dauernd ändernden und fast unkontrollierbaren Maßstabsfehlern führte. Die Messungsergebnisse aus den Jahren vor 1889 hätten auch mit einem geringeren Gewicht in die Ausgleichung eingeführt werden müssen als die späteren Messungen. Da aber diese Ausgleichung nur als Provisorium geplant war, wurde eine einheitliche Gewichtung aller Linien verkehrt proportional der Nivellementlänge gewählt, ohne weitere Berücksichtigung sonstiger Einflüsse.

In den Bereich dieser ersten Ausgleichungsgruppe fallen auch die Nivellementnetze für die Städte Wien und Prag, die aber nicht direkt in die Gesamtausgleichung einbezogen wur-



den, sondern erst im Nachhinein in die als endgültig festgehaltenen Ergebnisse der sie umgebenden Schleifen des Hauptnetzes hineingerechnet wurden.

In Wien bestanden innerhalb der Schleife Nr. XI des Hauptnetzes 10 lokale Schleifen mit Schleifenschlußfehlern zwischen +20,1 mm und -16,3 mm. Aus der Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen ergaben sich für die beteiligten Nivellementlinien die relativ hohen Korrekturen zwischen +2,1051 mm/km und -2,7525 mm/km, teilweise verursacht durch den Zwang aus der Ausgleichung des Hauptnetzes.

Die Beobachtungsergebnisse und die Ergebnisse der Ausgleichung für den Westteil der Monarchie sind im Band VIII der „Astronomisch-Geodätischen Arbeiten des k. und k. Militär-Geographischen Institutes in Wien“ im Jahre 1896 veröffentlicht worden. Die Vorschriften für die Durchführung des Präzisionsnivellements und die theoretischen Grundlagen sind im Band VII ausführlich beschrieben.

Der Band X dieser Veröffentlichungsreihe aus dem Jahre 1897 enthält die Beobachtungs- und Ausgleichungsergebnisse für den als zweite Gruppe ausgeglichenen Nordostteil der Monarchie, an dessen Westrand im heutigen Österreich das Marchfeld liegt. Für diesen zweiten Ausgleichungsabschnitt wurden die Ausgleichungsergebnisse der Linien von Schönbrunn über Prerau und Lundenburg bis Gänserndorf aus der Ausgleichung des Westteiles der Monarchie als endgültig festgehalten. Nach Osten anschließend wurden die 19 Schleifen von Nr. XXVIII bis XLVI gleichfalls nach bedingten Beobachtungen und unter der selben Gewichtsannahme wie bei der vorhergegangenen Gruppe ausgeglichen. Die Schleifenschlußfehler lagen zwischen +159,9 mm und -261,5 mm. Durch die Ausgleichung ergaben sich für die beteiligten Nivellementlinien Korrekturen zwischen +0,7261 mm/km und -0,6128 mm/km. Man erhielt aus der Ausgleichung einen mittleren Fehler von  $\pm 5,3$  mm/km für das Doppelnivellement und von  $\pm 7,5$  mm/km für das einfache Nivellement. Aus den Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung ergaben sich dem gegenüber  $\pm 1,5$  mm/km bzw.  $\pm 2,2$  mm/km.

Im Band XIV der „Astronomisch-Geodätischen Arbeiten . . .“ aus dem Jahre 1899 wurden die Beobachtungs- und Ausgleichungsergebnisse für den Südostteil der Monarchie veröffentlicht. Dies war die dritte und letzte Ausgleichungsgruppe. Die aus den beiden vorausgegangenen Ausgleichungen resultierenden Ergebnisse bis zu der Linie Edelsberg – Mauthaus – Cilli – Kranichsfeld – Graz – Bruck a. d. Mur – Wr. Neustadt – Neu Erlaa – Floridsdorf – Gänserndorf – Preßburg – Tyrnau – Neuhäusel – Gr. Nána – Rákos – Steinbruch – Czegléd – Szajol – P. Ladány – Debreczin – N. Banya – Márámos Sziget – Trebusa – Jakobeni wurden als gegeben festgehalten. In dieser Gruppe wurden die 22 Schleifen von Nr. XLVII bis LXVIII nach bedingten Beobachtungen unter der selben Gewichtsannahme wie bei den beiden vorangegangenen Gruppen ausgeglichen. Die Schleifenschlußfehler lagen zwischen +148,7 mm und -230,0 mm. Aus der Ausgleichung resultierten Korrekturen für die beteiligten Nivellementlinien zwischen +0,8734 mm/km und -0,7654 mm/km. Man erhielt einen mittleren Fehler von  $\pm 5,8$  mm/km für das Doppelnivellement und von  $\pm 8,1$  mm/km für das einfache Nivellement. Aus den Differenzen zwischen Hin- und Rückmessung erhielt man im Vergleich dazu nur  $\pm 1,4$  mm/km bzw.  $\pm 2,0$  mm/km. In dieser Netzgruppe sind vom heutigen Österreich die Oststeiermark und das Burgenland enthalten.

Vor dieser Ausgleichung in drei Gruppen war im Jahre 1878 in der Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins eine erste Veröffentlichung von Höhenknoten des Präzisionsnivellements im Wiener Raum erfolgt. Im Band XI der Mitteilungen des MGI wurden im Jahre 1892 die Ergebnisse einer ersten provisorischen Ausgleichung des Westteiles der Monarchie bekanntgegeben.

Wegen des großen Schlußfehlers in den Schleifen V und VI wurden nach Einschaltung der Linie Nr. 310 (Lend – Gastein – Lendorf) durch den Tauerntunnel in den Jahren 1908 bis 1910 einzelne Linien in diesem Bereich in den Jahren 1910 bis 1912 durch Doppelnivellements kontrolliert. Hierbei wurde zwischen den Höhenmarken Nr. 1206 (Kirchberg, Stationsgebäude) und 1216 (Kitzbüchel, Stationsgebäude) ein Fehler von rund 20 cm festgestellt. Es

wurde vermutet, daß an der damals nicht mehr vorhandenen Höhenmarke Nr. 1212 sowohl bei der Hin- als auch bei der Rückmessung der Anschlußmaßstab nicht richtig aufgehängt worden war. Nach der Aufdeckung dieses Fehlers wurden die Schleifen IV bis VII neu ausgeglichen. Bis zu der Linie Salzburg – Bad Ischl – Neuhaus – St. Michael ob Leoben – Judenburg – Klagenfurt – Villach wurden im Osten die Ergebnisse aus der Ausgleichung des Westteiles der Monarchie von 1896 als endgültig festgehalten. Für die Höhenfestpunkte westlich von dieser Linie ergaben sich durch die Neuausgleichung zum Teil beträchtliche Höhenänderungen im Ausmaß zwischen rund  $-17$  cm und  $+14$  cm. Die Ergebnisse dieser Ausgleichung sind im Band XXXII der Mitteilungen des MGI aus dem Jahre 1913 enthalten.

Auf der 17. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung im September 1912 in Hamburg wurden für das Präzisionsnivellement neue Fehlergrenzen festgelegt. Die zulässigen Fehler wurden durch folgende Höchstwerte begrenzt:

mittlerer zufälliger Fehler für einfaches Nivellement:	$\pm 2,0$ mm/km
mittlerer zufälliger Fehler für Doppelnivellement:	$\pm 1,5$ mm/km
wahrscheinlicher zufälliger Fehler für Doppelnivellement:	$\pm 1,0$ mm/km
mittlerer systematischer Fehler für Doppelnivellement:	$\pm 0,3$ mm/km
wahrscheinlicher systematischer Fehler für Doppelnivellement:	$\pm 0,2$ mm/km

Von dem durch das MGI erstellten Netz von Präzisionsnivellementlinien verblieben nach 1918 auf dem heutigen Staatsgebiet der Republik Österreich 7 geschlossene und 10 offene Polygone, insgesamt Linien von rund 3000 km Länge mit 540 Höhenmarken. Es waren dies die Linien Nr. 9–11, 15–30, 34–67, 70–71 und 269–270.

## 2. Der österreichische Adria-Bezugshorizont

Als Bezugshorizont für das im Jahre 1873 begonnene Präzisionsnivellement der österreichisch-ungarischen Monarchie wurde das Mittelwasser der Adria in Triest angenommen. Die deutschen Höhen über „Normal-Null“ beziehen sich auf den Amsterdamer Pegel (NAP).

Die Höhenmarke Nr. 1 im Raume des selbstregistrierenden Flutmessers im damaligen Finanzgebäude am Molo Sartorio in Triest wurde als Ausgangshöhenmarke festgelegt. Die Meereshöhe dieser Höhenmarke wurde nach Ermittlung und Angabe von Dr. *Farolfi*, Professor an der Nautischen Akademie in Triest, auf Grund einer aus Dringlichkeitsgründen leider nur einjährigen Beobachtungszeit des Mittelwassers der Adria für das Jahr 1875 mit  $+3,352$  m  $\pm 0,01$  m angenommen.

Wie *Sterneck* im Jahre 1905 veröffentlichte, ergaben spätere achtjährige Bestimmungen der Mittelwasserhöhen in Triest (1875/76, 1878/79, 1901/04) auf Grund der Auswertung der Beobachtungstreifen des selbstregistrierenden Flutmessers, daß für die Höhenmarke Nr. 1 richtiger die Höhe  $+3,2621$  m  $\pm 9,9$  mm gewesen wäre. Das bedeutet, daß der geltende österreichische Höhen-Bezugshorizont nicht auf das langjährige Mittelwasser der Adria, sondern auf einen um 89,9 mm tiefer gelegenen Horizont bezogen ist.

An der Adria standen für die österreichisch-ungarische Monarchie außer dem Triester Pegel noch die Flutmesser in Pola und Ragusa zur Verfügung, die später ebenfalls an das Präzisionsnivellement angeschlossen wurden. Aus dem Flutmesser in Pola ergab sich, daß der für das Präzisionsnivellement angenommene Horizont um 69,2 mm unter dem Mittelwasser in Pola lag. In Ragusa lag der angenommene Horizont um 96,5 mm unter dem dortigen Mittelwasser.

Eine vom Zentralbüro der Internationalen Erdmessung im Auftrage der Permanenten Kommission ausgeführte und im Jahre 1891 veröffentlichte Ausgleichung der Nivellements in West- und Mitteleuropa zum Zwecke der „Vergleichung der Mittelwasser der Ostsee und des Mittelmeeres“ hatte ergeben, daß der Wasserspiegel des Mittelmeeres um 13 cm tiefer liegt als jener der nördlichen Meere. Da jedoch dieses Ergebnis eine Unsicherheit von  $\pm 10$  cm

aufwies, ging der Vorschlag des Zentralbüros dahin, in den einzelnen Ländern die Meereshöhen vom Mittelwasser an den zunächst gelegenen Küsten abzuleiten und keinen für ganz Europa gültigen Höhen-Nullpunkt anzunehmen. Daher wurde vom MGI der Adria-Bezugshorizont von Triest beibehalten.

### **3. Nivellements des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in der Zeit von 1921 bis 1937**

Nach der Gründung des Bundesvermessungsamtes im Jahre 1921 und der Erweiterung zum Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen im Jahre 1923 wurden die Nivellements des ehemaligen MGI und jene der Katastralvermessung, die sich auf dem heutigen Staatsgebiet befanden, von der damaligen Abteilung „Neuvermessung“ verwaltet. Erst ab 1936 wurde das Präzisionsnivellement der Abteilung „Erdmessung“ übertragen.

Neue Präzisionsnivellements wurden in dieser Zeit vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (= BEV) nur in geringem Umfange durchgeführt. Nach dem Bericht an die 8. Generalversammlung der Internationalen Assoziation für Geodäsie (= IAG) in Oslo im Jahre 1948 wurden in den Jahren von 1921 bis 1938 insgesamt 973 km Präzisionsnivellement mit der Bestimmung von 1005 Höhenfestpunkten gemessen. Es sind dies die Linien Nr. 314–329 zur Verbindung und Verdichtung des aus der Monarchie stammenden Netzes.

Ähnlich wie beim Präzisionsnivellement des MGI wurden an stabilen Gebäuden, wie z. B. an Kirchen, in Abständen von etwa 10 km Höhenmarken angebracht. Dazwischen wurden in Abständen von ungefähr 0,8 bis 1,3 km an sicheren Hausmauern oder an Felsen Bolzen einbetoniert. In Gegenden mit Lehm- oder Lößböden, wie z. B. im Nordosten von Niederösterreich und in der Oststeiermark, wurden ca. 120 kg schwere Nivellementsteine auf einer in rund 1 m Tiefe liegenden Betonplatte von 1 dm Dicke aufsitzend in den Boden eingebracht, wobei die Zwischenräume zwischen dem Stein und dem Rand der Baugrube mit Beton ausgefüllt wurden. In der Oberfläche des Steines war ein Bolzen eingelassen.

Während in der Zeit des MGI die Nivellementlinien im allgemeinen den Eisenbahnlinien folgten, wurden sie nun entlang von Straßen geführt. Es wurden fast ausschließlich ZEISS-Nivellierinstrumente der Typen III und A verwendet, später mit optischem Mikrometer unter Verwendung von planparallelen Platten. Als Nivellierlatten fanden solche mit Lattenteilungen auf Invarband Verwendung. Hin- und Rücknivellement wurden für jede Linie von verschiedenen Beobachtern zu verschiedenen Zeiten gemessen. Vor und nach der Feldarbeit wurden die Latten geeicht.

Die neuen Geräte und die getroffenen Maßnahmen führten zu einer solchen Steigerung der Genauigkeit, daß der beim Einpassen der neuen Messungen in das alte Netz des MGI entstehende Zwang immer unangenehmer spürbar wurde. Eine Hauptursache dieser Spannungen lag in den unterschiedlichen Höhenänderungen der Höhenmarken des Präzisionsnivellements des MGI, da die Höhenmarken vielfach an Stationsgebäuden angebracht und als Folge des Bahnverkehrs vielfachen Erschütterungen ausgesetzt waren. Ein gesicherter Anschluß war fallweise auch dadurch nicht zu erreichen, daß man das Anschlußnivellement über zwei oder mehr alte Höhenmarken hinaus ausdehnte.

Bis 1929 waren 526 km Präzisionsnivellement gemessen worden, in den Jahren 1930–1932 nur 63 km und 1933–1936 insgesamt 115 km. Es kamen also die staatlichen Nivellementarbeiten in diesen Jahren aus finanziellen Gründen fast zum Erliegen.

Angesichts des auf die Dauer unhaltbaren Zustandes des österreichischen Präzisionsnivellements wurde im Jahre 1937 vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen gemeinsam mit der Österr. Kommission für die Internationale Erdmessung (= ÖKIE) beschlossen, ein neues österreichisches Präzisionsnivellementnetz zu schaffen. Hiervon kam allerdings als Folge der politischen Umwälzungen nur mehr die Linie über die Pack von Graz nach Kühnsdorf im Jahre 1937 zur Ausführung.

#### 4. Nivellements im Raum von Österreich in den Jahren von 1938 bis 1945

In den Jahren 1938–1945 waren die Agenden des Präzisionsnivellements dem Reichsamt für Landesaufnahme in Berlin unterstellt. Dieses arbeitete in dieser Zeit am sogenannten Reichshöhennetz, für welches die gleichen Genauigkeitsansprüche galten, die vordem in Österreich üblich gewesen waren. Es war allerdings die Linienverteilung anders geregelt. Die Messungen für das Reichshöhennetz blieben unvollendet.

Das in diesen Jahren gemessene Liniensystem umfaßte auf dem heutigen österreichischen Bundesgebiet eine Nivellementstrecke von 669 km mit insgesamt 912 Höhenpunkten. Es sind dies die Linien Schärding – Linz – Wien mit einigen nach Norden abzweigenden Ästen. Diese Linien haben die Nummern 549, 550 und 581–591. Punktbeschreibungen und Karten mit eingetragener Punktlage existieren von diesen Linien nicht. Das BEV besitzt davon nur ein Verzeichnis mit den ausgeglichenen Meereshöhen über Normal-Null, in dessen Text einfache Ortsbeschreibungen der Punkte aufscheinen. Über Instrumente, Meßverfahren, Genauigkeit usw. ist keine weitere Angabe vorhanden.

#### 5. Restbestand des Gebrauchshöhennetzes im Jahre 1945

Durch die Kriegs- und Nachkriegsereignisse gingen viele Höhenfestpunkte verloren. So waren z. B. in Niederösterreich allein bei den Kampfhandlungen mehr als 300 Höhenfestpunkte zerstört worden. Man konnte somit im Jahre 1946, als das BEV wieder im Aufbau war, nicht mehr von einem österreichischen Nivellementnetz sprechen, da davon nur mehr einzelne isolierte Teile bestanden.

Wie bereits erwähnt, war die Genauigkeit der noch vom Präzisionsnivellement des MGI stammenden Höhenmarken vor allem durch ihre Stabilisierung längs der Bahnlinien und die durch den Bahnverkehr bedingten Setzungserscheinungen, durch die früher gestatteten überlangen Zielweiten von 60 m und darüber, durch die Verwendung von Holzlatten, vielfach noch ohne Anbringen einer Korrektur bezüglich der Änderung des Lattenmaßstabes als Folge der herrschenden atmosphärischen Verhältnisse bei der Messung, und durch sonstige ungünstige Umstände sehr problematisch. Dazu kam bei den alten Höhenmarken noch die Trennung in den allein gültigen hinteren Lochmarken-Konus und in eine davor unabhängig montierte Lochmarken-Höhentafel. Dadurch war sehr oft ein genaues horizontales Einbringen des Stiftes für den Anschlußmaßstab nicht möglich.

Die wenigen in der Zwischenkriegszeit seit 1921 neu eingeschalteten, einwandfrei gemessenen Präzisionsnivellementlinien hatten zumeist übergroße Abschlußfehler als Folge des Zwanges im alten MGI-Netz. Dies ging so weit, daß bei einigen Linien die Fehlergrenzen weit überschritten wurden.

#### 6. Aufbau eines neuen Präzisionsnivellementnetzes nach 1945

Als Folge der nach dem zweiten Weltkrieg gegebenen Situation wurde der Plan von 1937 wieder aufgegriffen, ein neues Netz von Präzisionsnivellementlinien zu schaffen. Nach Erledigung der notwendigen Vorarbeiten konnte im Jahre 1947 mit den Messungen begonnen werden.

Es war geplant, die mit vergleichbarer Genauigkeit gemessenen, bereits bestehenden Linien in dieses neue Netz zu übernehmen, ebenso auch die Arbeiten für das Reichshöhennetz. Allerdings sollten alle diese Messungen im Zusammenhang mit den neu ausgeführten Messungen neu ausgewertet werden.

Dieses neue Präzisionsnivellementnetz sollte eine Gesamtlänge von rund 6000 km mit etwa 8000 Höhenfestpunkten haben. Die Linien sollten auf österreichischem Staatsgebiet nach Möglichkeit geschlossene Schleifen bilden und auch zu Punkten an den Staatsgrenzen führen, um dort einen Vergleich des österreichischen Höhensystems mit den Höhensystemen der Nachbarstaaten zu ermöglichen.

Um die Höhenfestpunkte der früheren Nivellements in das neue Präzisionsnivellement einbeziehen zu können, wurde die neue Linienführung weitgehend der alten angepaßt, jedoch von den Bahnlinien weg auf die Straße verlegt. Alle alten Höhenfestpunkte, deren Einmessung kein allzu weites Seitennivellement verursachte, waren in das neue Nivellement einzu-beziehen.

Es wurden in größerer Zahl auch Höhenfestpunkte aus fremden Nivellementoperaten miteinbezogen, um eine Umrechnung dieser Operate auf den Horizont des Präzisionsnive-lllements zu ermöglichen.

Die Messungen wurden durchwegs mit Nivellierinstrumenten der Typen ZEISS III, ZEISS A und WILD 3 unter Verwendung von Halbzentimeter-Strichlatten der Firma ZEISS vor-genommen.

Mit der Feldarbeitsperiode 1961 war die Messung des Nivellements 1. und 2. Ordnung zum Großteil abgeschlossen. In den Jahren 1962 und 1963 wurden nur noch die Linien 558 und 559 im Kremstal (Kirchdorf a. d. Krems — Kremsmünster — Traun bei Linz) zur Erzielung einer günstigeren Linienführung im Netz 1. Ordnung und die Linien 563 und 565 (Arnoldstein — Hermagor — Kötschach — Tassenbach) im Gailtal zur Ergänzung des vorhandenen Netzes 2. Ordnung und zur Stützung von Linien des nachgeordneten Nivellements gemessen.

Etwa ab dem Jahre 1960 war geplant, aus dem vorhandenen und teilweise sehr dichten Netz von Linien des Präzisionsnivellements eine Anzahl von Linien auszuwählen und zu einem übergeordneten Netz 1. Ordnung zu erklären. Dieses Netz sollte etwas dichter sein und einen etwas größeren Umfang haben als die für den österreichischen Anteil am internationalen REUN-Netz 1955 ausgewählten Linien. Vor allem sollten darin auch die Zusammenschlüsse mit den Nachbarstaaten an den Staatsgrenzen enthalten sein. Die Auswahl dieses Netzes konnte nach rein geometrischen Gesichtspunkten erfolgen, da fast alle Linien mit derselben Genauigkeit gemessen worden sind.

Die für das Netz 1. Ordnung vorgesehenen Linien sollten so ausgestaltet werden, daß eine angestrebte Punktdichte in Abständen von etwa 300—400 m erreicht wird. Nach Möglich-keit sollten auch Punktfestlegungen im Fels vorgesehen werden.

Die Linien des Netzes 1. Ordnung sollen zum Studium von Erdkrustenbewegungen in bestimmten Zeitabständen einer Wiederholungsmessung unterzogen werden. Eine periodi-sche Wiederholungsmessung wäre an sich für sämtliche Linien des Präzisionsnivellements wünschenswert und anzustreben. Dies ist jedoch wegen des bestehenden Personalmangels nicht durchführbar.

Die Schwierigkeit, geeignete Protokollführer zu finden, zwang die Beobachter vielfach, selbst die Feldbücher zu führen. Mit der ständigen Zunahme des Verkehrs wurde es entlang der Straßen immer gefährlicher, den für die Libellennivellierinstrumente unbedingt notwendigen Instrumentenschirm zu verwenden. Es wurden daher ab 1963 Versuche mit automatisch horizontierenden Nivellierinstrumenten unternommen, vorerst mit Instrumenten der Type ZEISS Ni 2 Opton, ab 1966 mit Nivellierinstrumenten KONI 007 von der Firma JENOPTIK. Ab 1969 wurden fast durchwegs nur mehr KONI 007 verwendet.

Für die Punkte der Lattenaufstellung wurden im allgemeinen nur mehr schwere Latten-untersätze (Frösche) verwendet und nicht mehr wie früher eiserne Pflöcke eingeschlagen.

Bei den neueren Linien ab der Linie 550 wurden die Höhenfestpunkte nicht mehr mit Höhenmarken stabilisiert. Es wurden nur mehr bereits vorhandene Höhenmarken und die Turmbolzen von Triangulierungspunkten (gleichfalls als Lochmarken zu werten) einbezogen.

## 7. Der Horizont des Präzisionsnivellements nach 1945

Da beim Beginn der Nivellementarbeiten im Jahre 1947 kein mit moderner Nivellieraus-rüstung gemessener Nivellementanschluß an den früheren Nullpunkt des alten österreichi-schen Präzisionsnivellements, den Pegel am Molo Sartorio in Triest, vorlag und für die folgen-

den Jahre auch nicht zu erwarten war, mußte trotz der bekannten Schwächen und der dadurch bedingten Horizontverbiegungen der Horizont des nun neu aufgebauten Höhensystems aus den in Österreich noch vorhandenen Höhenmarken abgeleitet werden.

Anfänglich konnte man nur im Westen Österreichs Messungen für das Präzisionsnivelement durchführen. Im Osten von Österreich wurden von der Besatzungsmacht nur fallweise technische Nivellements gestattet, mit denen zum Teil die Lücken im Nivellementnetz geschlossen werden konnten. Es war daher die Verwendung des in manchen Gebieten deformierten MGI-Horizontes eine durch die damaligen Umstände erzwungene Notlösung. Als dann später auch im Osten die Durchführung von Präzisionsnivelements möglich war, stand man bereits vor vollendeten Tatsachen und konnte das bereits bestehende Gebrauchshöhennetz nicht mehr ändern.

Im Westen von Österreich wurde die Höhenmarke Nr. 1272 am Stationsgebäude von Bruck-Fusch im Bundesland Salzburg als Ausgangspunkt verwendet. Dort begann die Linie 330, der nächste Höhenfestpunkt erhielt die erste neue Nummer des neuen Operates, nämlich 17482.

Einerseits um das Personal zu schulen, andererseits um die Methode zu erproben, wurde als erster Linienzug nach dem zweiten Weltkrieg die technisch schwierige Tauernschleife gemessen. Dies ist auch ein Grund für die Auswahl des oben angeführten Ausgangspunktes.

Für die Übernahme dieses alten Horizontes waren auch noch andere Gründe maßgebend. In der damaligen Zeit des Wiederaufbaues waren die Bedürfnisse der Wirtschaft und auch zahlreicher anderer Interessenten an den Ergebnissen der Messungen an einem wenn auch nur vorläufigen Höhensystem zu groß, um auf eine ursprünglich geplante und etwa für das Jahr 1960 erwartete strenge Ausgleichung des gesamten Nivellementnetzes warten zu können. Es wurde daher im Rahmen der jährlichen Vergrößerung des Netzes eine strenge Ausgleichung der einzelnen Nivellementschleifen durch praktische Rechenregeln ersetzt. Außerdem war das vorhandene ältere Höhenmaterial in einer großen Anzahl von Operaten der Abteilungen für Triangulierung, Neuvermessung und Topographie bereits verarbeitet worden, so daß es wünschenswert erschien, möglichst viel alte Netzpunkte in ihrer Höhe zu erhalten, um den allgemeinen Horizont für technische Netze der betreffenden Gebiete zu wahren. Unerträglicher Zwang im alten Netz, wie er an manchen Stellen auftrat, wurde allerdings beseitigt.

Es wurden somit allen angeschlossenen MGI-Höhenmarken, deren Höhenlage innerhalb gewisser Grenzen als stabil angesehen werden konnte, ihre alten Höhen belassen. Als Zulässigkeitskriterium wurde ein maximaler Zwang von 0,5 mm/km einschließlich eines vorausgesetzten systematischen Meßfehlers von 0,3 mm/km angenommen.

Da die Messungen des alten Präzisionsnivelements sphäroidisch korrigiert waren, war also auch für die Berechnung der Gebrauchshöhen des neuen Netzes gleichfalls die sphäroidische Reduktion anzuwenden.

Bei der Weiterführung der Arbeiten nach Osten wurde versucht, auch im Industriegebiet um Wien die alten Höhenkoten beizubehalten. Hierbei wurden nach Stichproben die Messungen des Reichsamts für Landesaufnahme übernommen. Teilweise mußten allerdings die sonst eingehaltenen Toleranzen überschritten werden. Auf der Linie nach Linz und im Raum von Bruck a. d. Mur mußten Zwänge von 0,7 mm/km in Kauf genommen werden, was sich im Sinne einer Horizonthebung (-kipfung) auswirkte. In der Oststeiermark zeigte sich ein Zwang von 1,1 mm/km und im Voralpengebiet sogar von 1,6 mm/km, die durch die nachträgliche Aufdeckung früherer Nivellementfehler des MGI von je 100 mm bei Donawitz und im Semmeringgebiet entstanden waren. Außerdem wurden im Zuge des neuen Präzisionsnivelements weitere systematische Fehler im alten Präzisionsnivelement aufgedeckt. In einzelnen Teilen von Österreich mußten daher in der Folge Kotenänderungen durchgeführt werden, um die Fehlergrenzen für ein modernes Präzisionsnivelement einigermaßen einhalten zu können. Insbesondere mußten aus diesen Gründen die alten MGI-Koten in Vorarlberg um etwa 10–20 cm

und in der Mittel- und Oststeiermark um rund 9 cm tiefer ausgewiesen werden. Diese Umrechnungen stellen jedoch keine echten Horizontänderungen dar, sie sind nur Auswirkungen der Beseitigung grober und systematischer Fehler früherer Jahrzehnte, die allerdings zusätzlich auch noch von zunächst noch nicht genau feststellbaren klein- und großräumigen Erdkrustenbewegungen überlagert sein können.

Durch diese Art der Höhenberechnung hat das gegenwärtige Gebrauchshöhennetz einen Teil seiner tatsächlich erzielten Meßgenauigkeit als Folge der Anschlußzwänge verloren. Für das Gebrauchshöhennetz wurde dies damals insofern als nicht von wesentlicher Bedeutung betrachtet, als es im allgemeinen nur einer lokalen oder höchstens einer regionalen Anwendung diene.

### 8. Neuübermessung des Präzisionsnivellementnetzes 1. Ordnung

Nach der im wesentlichen abgeschlossenen Wiederherstellung eines geschlossenen Präzisionsnivellementnetzes in Österreich nach dem zweiten Weltkrieg wurde im Jahr 1966 vom BEV mit einer Neuübermessung der Linien 1. Ordnung begonnen. Allerdings erfolgte in der Zeit seither auch weiterhin eine Verdichtung des bestehenden Nivellementnetzes.

In der Feldarbeitsperiode 1983 konnte diese Neuübermessung abgeschlossen werden. Das österreichische Präzisionsnivellement 1. Ordnung hat nun eine Länge von 3894 km, es ist durch 45 Knotenpunkte unterteilt. Innerhalb von Österreich besteht dieses Netz aus 13 Schleifen. In Verbindung mit ausländischen Nivellementlinien können dazu noch 16 Schleifen gebildet werden.

Als Folge des Abschlusses der Neuübermessung der Präzisionsnivellementlinien 1. Ordnung gab es Überlegungen über die Art der Auswertung der neuen Messungsergebnisse, was schließlich dazu führte, daß man sich dazu entschloß, für Österreich ein neues Höhensystem in Angriff zu nehmen, worüber bereits in einigen Veröffentlichungen berichtet wurde.

#### Literatur

*Kalmar, Alexander Ritter v.:* Die Gradmessungsarbeiten des k. u. k. militär-geographischen Institutes, Manuskript, Wien 1895 (?).

*Lehrl, Franz:* Das Präzisions-Nivellement in der österreichisch-ungarischen Monarchie. Mitteilungen d. MGI, Band IV, 1884, Seite 45–57; Mitteilungen d. MGI, Band XIX, 1899, Seite 166–192.

*Die astronomisch-geodätischen Arbeiten des k. u. k. Militär-Geographischen Institutes in Wien:* Band VII, 1897: Das Präzisions-Nivellement in der österr.-ungar. Monarchie.

I. Theoretische Grundlagen und Ausführungsbestimmungen.

Band VIII, 1896: Das Präzisions-Nivellement in der österr.-ungar. Monarchie.

II. Westlicher Theil.

Band X, 1897: Das Präzisions-Nivellement in der österr.-ungar. Monarchie.

III. Nordöstlicher Theil.

Band XIV, 1889: Das Präzisions-Nivellement in der österr.-ungar. Monarchie.

IV. Südöstlicher Theil.

*Sterneck, Robert v.:* Kontrolle des Nivellements durch die Flutmesserangaben und die Schwankungen des Meeresspiegels der Adria. Mitteilungen d. MGI, Band XXIV, 1904, Seite 75–141.

*Müllner, Adolf:* Die Fortsetzung des Präzisionsnivellements und die Neuausgleichung der Schleifen IV bis VII des Nivellementnetzes im westlichen Teile der Monarchie. Mitteilungen d. MGI, Band XXXII, 1912, Seite 53–118.

*Höggerl, Norbert:* Fertigstellung der Übermessung des Präzisionsnivellements 1. Ordnung. EVM Nr. 43, Juli 1984, Seite 14–19.

*Zeger, Josef:* Aufbau einer Datenbank für Höhenfestpunkte in Österreich. ÖZ 70, 1982, Nr. 2/3, Seite 87–90.

*Zeger, Josef:* Neue Vorhaben der Abteilung K 2 (Erdmessung). EVM Nr. 37, November 1982, Seite 13–15.

*Zeger, Josef:* Aufbau eines neuen Höhensystems in Österreich. AVN, 92. Jg., Heft 8–9, August–September 1985, Seite 299–311.