

**Feldanweisung
für die
Präzisionsnivellements
zur
Erneuerung und Wiederholung
des
Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN)
im
Zeitraum 2006 bis 2011**

(Nivellement-Feldanweisung 2006–2011)

3. überarbeitete Fassung vom 01.08.2009



Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung

I. Netzentwurf, Linienverlauf und Punktfestlegung

1. Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen
2. Änderungen des Linienverlaufs
3. Anmessung von vorhandenen Höhenfestpunkten
4. Erhaltung von Nivellementslinien
5. Vermarkung
6. Höhenfestpunkt-Beschreibung

II. Messausrüstung

1. Nivellierinstrumente
2. Nivellierlatten
3. Lattenuntersätze
4. Instrumentenstative
5. Personal

III. Einflüsse auf den Messvorgang - Eliminierung und Berücksichtigung

1. Instrumentenbezogene Einflüsse
2. Nivellierlattenbezogene Einflüsse
3. Äußere Einflüsse

IV. Messungen

1. Arbeitsplanung
2. Prüfung und Überwachung der Ausrüstung vor und während der Messung
3. Zielweiten
4. Durchführung der Messung

V. Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen

1. Standpunktgenauigkeit
2. Genauigkeit des Nivellements
 - 2.1 Zulässige Abweichungen
 - 2.2 Standardabweichungen

VI. Strom- und Talübergangsmessungen

VII. Verkehrssicherung

VIII. Reduktionen

1. Gezeitenreduktion
2. Normalhöhenreduktion

IX. Automationsgerechte Datenerfassung

X. Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen

1. Knotenpunkt- und Linienbezeichnungen
2. Bezeichnungen und Abkürzungen

Anlagen

1. Literatur
2. Netzentwurf des DHHN
3. HFP-Beschreibung (AFIS[®] – Beispiel Niedersachsen)
4. Digitalnivelliere höchster Genauigkeit
5. Kritische Zielweiten bei Präzisionsdigitalnivellieren
6. Headerdaten
7. Kalibrierung der Präzisionsnivellierlatten
8. Magnetfelduntersuchung der Nivellierinstrumente

Anhang

1. Handhabung der zulässigen Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung Z_A
2. Beobachtungsschema
3. Empfohlene Ablesefolgen
4. Beispiele für die Messarten (Header 12B)

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS [®]	Amtliches Festpunkt-Informationssystem
AVN	Allgemeine Vermessungs-Nachrichten
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
DHHN 92	Deutsches Haupthöhennetz 1992 (ebenso 1912, 1985)
DHSN 96	Deutsches Hauptschwerenetz 1996
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EDBS	Einheitliche Datenbankschnittstelle
EPN	EUREF Permanent Network
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	European Reference Frame
GGP	Geodätischer Grundnetzpunkt
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRAF	German Reference Network
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
GUV	Gesetzliche Unfallverhütungsvorschriften
HFP	Höhenfestpunkt
HM	Höhenmarke

IGS	International GNSS Service
ISO	International Organization for Standardization
Mdl	Ministerium des Innern der Deutschen Demokratischen Republik
NIMEDA	Nivellement-Messdatenbank
NR	Normalhöhenreduktion
ÖbVI	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur
PKZ	Punktkennezeichen
RSA	Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
SAPOS [®]	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SNN 56	Staatliches Nivellementsnetz 1956 (ebenso 1976)
UENL	Unified European Levelling Network
UF	Unterirdische Festlegung
UTM	Universal Transverse Mercator
VRONI	Software zur Vorverarbeitung roher Nivellementsdaten
ZfV	Zeitschrift für Vermessungswesen
ZWIRN	Software zur Zwischenverarbeitung roher Nivellementsdaten

Vorbemerkung

Den Richtlinien für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (AdV 2006) folgend, sollen die Höhenfestpunkte 1. Ordnung aufgrund großräumiger tektonischer oder anthropogener Höhenbewegungen der Erdoberfläche in geeigneten Zeitabständen neu gemessen werden.

Zur Ausführung der Messungen wurde die vorliegende Feldanweisung als eine Sammlung von Empfehlungen und Arbeitsrichtlinien zur einheitlichen Ausführung von Präzisionsnivellements zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) verfasst. Sie ist ein Leitfaden für alle beteiligten Vermessungsstellen, um eine bundesweit flächendeckende Einheitlichkeit von Messung und Auswertung sowie eine Qualitätssicherung zu gewährleisten.

Zugleich sollen Wege aufgezeigt werden, wie das herkömmliche geometrische Messverfahren des Präzisionsnivellements mit dem Einsatz von modernen Digitalnivellieren und Programmlösungen mit der notwendigen Genauigkeit durchgeführt und in einem lückenlosen Datenfluss weiterverarbeitet werden kann.

Auf Grund der komplexen Thematik kann und soll diese Feldanweisung kein erschöpfender Leitfaden für alle beim Präzisionsnivellement anfallenden Tätigkeiten sein. Vielmehr wird auf die anerkannten Regeln des Präzisionsnivellements mittels Digitalnivellieren verwiesen, die in den einschlägigen Erlassen, Richtlinien und fachlichen Weisungen der Landesvermessungsbehörden sowie in den Lehrbüchern und DIN- und ISO-Normen enthalten sind (s. Anlage 1).

Ferner wird davon ausgegangen, dass

- die Arbeiten in Bezug auf das Instrumentarium und den daraus abgeleiteten Arbeitsabläufen die aktuellen wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisse berücksichtigen,
- unter den derzeitigen Rahmenbedingungen (Personal, Kosten, Zeit) eine angemessene Relation zwischen der angestrebten Genauigkeit und wirtschaftlich vertretbaren Gesichtspunkten eingehalten wird
- und sich die Wiederholungs- und Erneuerungsmessungen an den aktuellen Höhenfestpunkten 1. Ordnung ausrichten, um nach einer Auswertung die neuen Höhen mit den bestehenden amtlichen Höhen (Höhenzeitfolge) möglichst lückenlos vergleichen und analysieren zu können.

I. Netzentwurf, Linienverlauf und Punktfestlegung

1. Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen

Für die Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes ist der in Anlage 2 dargestellte Netzentwurf (etwa 60% des DHHN 92)¹ als Minimalziel anzuhalten. Zusätzliche Messungen der Bundesländer können in die Auswertung aufgenommen werden. Die Wiederholungsmessungen sollen innerhalb einer festgelegten Frist in Zusammenarbeit aller Bundesländer und der Nachbarstaaten zügig durchgeführt werden, um epochengleiche Ergebnisse zu erzielen. Als Zeitraum der Messung werden die Jahre 2006–2011 festgelegt (AdV 2005).

2. Änderungen des Linienverlaufs

Der Verlauf der Nivellementslinien im Netzentwurf ist grundsätzlich beizubehalten. Linienverlegungen müssen auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt bleiben.

Ausnahmen vom Grundsatz, Linienverlegungen zu vermeiden, können in begrenzten Abschnitten vor allem dann in Betracht kommen, wenn mehrere aufeinander folgende Altpunkte zerstört oder unbrauchbar sind und Ersatzpunkte auf einem stabilisierungs- und messtechnisch günstigeren Messweg festgelegt werden können. Ferner können Sicherheitsaspekte wegen gefährlicher Verkehrsverhältnisse bei der Messung und späteren Anbindung Linienverlegungen erfordern.

Die Oberflächenschwerewerte an den neuen HFP (Ersatzpunkten) sind bedarfsgerecht zu bestimmen (s. Abschnitt VIII Nr. 2).

3. Anmessung von vorhandenen Höhenfestpunkten

Nach Möglichkeit sind alle vorhandenen HFP, auch die seitlich der Linie gelegenen HFP 1.O., anzumessen. Dies gilt insbesondere für die Repräsentativpunkte, wie UF und HM sowie GGP (s. Anhang 2 Nr. 2).

Muss auf einem Abschnitt ein neuer Linienverlauf festgelegt werden und kommt dadurch ein HFP seitlich der neuen Linie zu liegen, so ist auch er erneut zu bestimmen, um genügend Daten für die Untersuchung von Höhenwertänderungen zu gewinnen (Höhenzeitfolge).

Vorhandene Ortsschleifen können als Sicherungsnetze zur Überprüfung von Knotenpunkten gemessen werden. Bei Abgabe an die Rechenstellen sind sie als Kontrollmessung mit der Kennung 5 bzw. 8 (Headersatz 12B Kennung II Art der Messung, s. Anlage 6) einzureichen.

¹ Der Umfang der Erneuerung und Wiederholung beträgt einschließlich der optionalen Nivellementslinien im März 2009 ca. 80% des DHHN 92.

4. Erhaltung von Nivellementslinien

Verlorengegangene HFP im Linienverlauf sind zu ersetzen. Der mittlere Punktabstand in der Nivellementslinie soll rund 700 m betragen. In Ortslagen sind dichtere Punktabstände zu empfehlen.

5. Vermarkung

Neue Höhenbolzen müssen aus korrosionsbeständigem Metall nach DIN 18708 (DIN 1998) (z. B. Nirosta Material) bestehen. UF und HFP-Pfeiler sind spätestens im Herbst des Jahres vor der Messung einzubringen. Vermarkungen an Neubauten sind zu vermeiden. Regional bewährte Vermarkungsarten können weiterhin verwendet werden.

6. Höhenfestpunkt-Beschreibung

HFP sind nach den bundeseinheitlichen Festlegungen des Amtlichen Festpunktinformationssystems (AFIS[®]) zu beschreiben (s. Anlage 3).

II. Messausrüstung

1. Nivellierinstrumente

Für die Messungen werden grundsätzlich Digitalnivelliere höchster Genauigkeit mit Fernrohröffnungen von 30 bis 50 mm und 20- bis 40-facher Vergrößerung eingesetzt (s. Anlage 4). Die Software der Digitalnivelliere soll auf dem neuesten Stand sein (Staiger und Witte 2005). Die Software-Version ist zu dokumentieren (Schlüsseldatei) und Änderungen den Rechenstellen mitzuteilen.

Es dürfen nur solche Nivellierinstrumente eingesetzt werden, die eine empirische Standardabweichung² von 0,4 mm/km Doppelnivellement erreichen und nachgewiesener Weise unempfindlich auf das Erdmagnetfeld reagieren (s. Abschnitt IV Nr. 2).

2. Nivellierlatten

Alle Präzisionsnivellierlatten müssen der DIN 18717 (DIN 1996) entsprechen. Für sie sind jährlich das mittlere Lattenmeter m_0 (im mittleren Brennspurbereich der Barcodierung) und bei Bedarf der thermische Ausdehnungskoeffizient α auf Vertikal-Interferenzkomparatoren zu bestimmen (s. Anlage 7). Ist er nicht individuell bestimmt, so wird ein Wert von $0,7 \text{ ppm} \cdot \text{K}^{-1}$ eingeführt.

Nivellierlatten sind schonend und sachgerecht (durchgangsfrei und unterlegt) in einem geeigneten Behälter zu transportieren.

² Im Sinne des „Leitfadens zur Angabe der Unsicherheit beim Messen - GUM“ als Standardunsicherheit Typ A zu verstehen (DIN 1999), s. auch Heister (2001).

3. Lattenuntersätze

Für die Wechsellpunkte der Nivellierlatten sind in der Regel 6 kg schwere Lattenuntersätze (Frösche) mit einem Aufsatzzapfen zu verwenden.

Die Lattenuntersätze sind den Bodenverhältnissen entsprechend zu fixieren, so dass die Gefahr nachträglichen Einsinkens oder Hebens möglichst gering ist. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen können Eisennägel oder -stifte mit Halbrundköpfen bzw. ausreichend lange Pflöcke bis in den stabileren Unterboden eingebracht werden.

4. Instrumentenstative

Es sind grundsätzlich Instrumentenstative mit starren Beinen zu verwenden.

5. Personal

Jeder Messtrupp soll in der Regel aus einem Beobachter, zwei Lattenträgern und einem Fahrer (Verkehrssicherung, Streckeneinteilung, Schirmhalter) bestehen. Weiteres Personal kann für eine wirkungsvolle Verkehrssicherung erforderlich werden (s. Abschnitt VII). Die Beobachter sollen mehrjährige Erfahrung im Präzisionsnivellement haben. Das Personal ist vor dem erstmaligen Einsatz unter anderem durch das Prüfverfahren nach ISO 17123-2 (ISO 2001) zu schulen. Die personelle Zusammensetzung des Messtrupps soll für die Dauer der gesamten Messungen möglichst unverändert bleiben.

III. Einflüsse auf den Messvorgang - Eliminierung und Berücksichtigung

Da alle vorgesehenen Digitalnivelliere selbsthorizontalierend sind (Kompensatornivelliere) und gleiche Bauteile wie die herkömmlichen analog-optischen Nivelliere beinhalten, zeigen sich bei der Messung mit ihnen die für Kompensatornivelliere bekannten und typischen Einflüsse. Deshalb müssen beim Einsatz der Digitalnivelliere überwiegend die gleichen Verfahren zu ihrer Eliminierung bzw. Minderung eingesetzt werden. Zusätzlich zu den mechanischen Komponenten (Libelle, Dreifuß usw.) müssen Teile der elektronischen Bildverarbeitung und Speichermedien bei Notwendigkeit separaten Prüfungen unterzogen werden.

Die Einflüsse und deren Beseitigung sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

1. Instrumentenbezogene Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Restneigung der elektronischen Ziellinie (Zielachsen-dejustierung)	Die Zielung wird jeweils nach oben oder nach unten, aber gleichartig an jeder Latte verfälscht.	Gleiche Zielweiten im Rück- und Vorblick; geräteinterne Berichtigung durch eine Ziellinienprüfung (s. Abschnitt IV Nr. 2)
Dosenlibelle zur Grobhorizontierung dejustiert	Es entsteht Horizontschräge durch Schiefstellung der Stehachse und geringer Neigung des Zielstrahls.	Justierung der Dosenlibelle, so dass Spielpunkt und Normalpunkt zusammenfallen.
Kompensationsrestfehler ³	Es entsteht Horizontschräge durch geringe Neigung des Zielstrahls.	Es ist die Ablesefolge $\underline{RV} \dots \underline{VR}$ oder \underline{RVVR} zu wählen und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr. 4, bzw. Anhang 3).
Hysterese bei Kompensatornivelliergeräten	Es entsteht Horizontschräge durch Über- oder Unterkompensation mit geringer Neigung des Zielstrahls.	Vor jeder Ablesung Einschwingen des Kompensators aus immer der gleichen Richtung.
Einwirkungen von magnetischen Feldern (Erdmagnetfeld)	Erzeugt eine Verfälschung der Höhenbestimmung; keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung	Überprüfung im Labor bzw. Herstellerzertifikat; Einfluss Z_M muss $\leq 0,1$ mm/km sein (s. Anlage 8)
Unsauberes Fokussieren	Führt zu Ablesungen, die vor allem bei Zielweiten < 5 m Höhenabweichungen bewirken.	Sorgfältiges Fokussieren und mittiges Anzielen der Nivellierlatte.
Unsauberes Horizontieren	Es entsteht Horizontschräge durch Schiefstellung der Stehachse.	Sorgfältiges Horizontieren mit der Dosenlibelle.
Auslösen der Messung am okularseitigen Instrumententeil	Bewirkt eine Verkipfung der Zielachse, die den Kompensator in Unruhe versetzt.	Gefühlvolles bzw. seitliches Auslösen der Messung.
Fehlinterpretation des Lattenbildes bei kritischen Zielweiten	Führt zu Ablesefehlern in Abhängigkeit der Lattenentfernung und vom Code.	Vermeiden der herstellerabhängigen kritischen Zielweiten (s. Anlage 5).

³ Der eingeführte Begriff „Kompensationsrestfehler“ wurde beibehalten, und nicht etwa im Sinne des GUM durch „Messabweichung“ ersetzt (vgl. auch Codeteilungsfehler, Nullpunktsfehler-Differenz, Sinusfehler, Zielachsfehler).

2. Nivellierlattenbezogene Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Codeteilungsfehler	Führt zu Fehlern bei der Ablesung durch Beschädigungen der Codeteilung.	Es sind nur kalibrierte Lat-ten mit einwandfreier Co-dierung zu verwenden. Auf Beschädigungen ist zu ach-ten, die Lat-ten sind ggf. zu er-setzen.
Lattenmaßstab	Bewirkt eine systematische Verfälschung der Lattenab-lesungen und des Höhen-unterschieds; keine Kom-pensation durch Hin- und Rückmessung.	Kalibrierung der Lat-ten mit Bestimmung des mittleren Lattenmeters und rechnerische Korrektur (s. Anlage 7).
Temperaturabhängiger Lat-tenmaßstab	Erzeugt eine systematische Verfälschung der Lattenab-lesungen und des Höhen-unterschieds; keine Kom-pensation durch Hin- und Rückmessung.	Sorgfältige Temperaturer-fassung der Nivellierlat-ten im Felde (z. B. mittels Kon-taktthermometer).
Einsinken der Nivellierlatte während der Messung auf den Standpunkten	Bewirkt eine systematische Verfälschung des Höhenun-terschiedes.	Es ist die Ablesefolge $\underline{RV} \dots \underline{VR}$ oder \underline{RVVR} zu wählen und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr. 4).
Einsinken der Nivellierlatte während des Standpunkt-wechsels	Erzeugt eine Verfälschung des Höhenunterschiedes, wobei es zu einer leichten Aufsum- mation von positiven Δh kommt. Einsinkeinflüsse lassen sich allenfalls beim Vergleich des Ge- samthöhenunterschiedes zwischen Hin- und Rück- weg erkennen.	Es ist nach Abschnitt IV Nr. 4 zu verfahren und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen. Bei wei- chem Untergrund wird eine Wartezeit von ca. 30 s bis zur ersten Messung emp-fohlen.
Schiefe und Unregelmäßig-keiten der Aufsatzflächen	Bewirken zufällige Mess-abweichungen je nach Auf- halten der Latte.	Die Aufsatzfläche ist regel- mäßig zu überprüfen und bei größeren Abweichun- gen ein Austausch des de- fekten Lattenfußes zu emp- fehlen (s. Abschnitt IV Nr. 2). Die Platzierung der Latte soll immer auf dem- selben Punkt erfolgen.
Nullpunktfehler-Differenz	Bei ungerader Anzahl von Instrumentenstandpunkten geht die Nullpunktfehler- Differenz als Fehler in den Höhenunterschied ein.	Es ist eine gerade Anzahl von Instrumentenstand- punkten einzuhalten.

Sinusfehler	Die Verlängerung der Nivel- lerlattenteilung verläuft nicht durch den Lattenauf- satzpunkt.	Die Latte ist direkt in Ver- längerung der Teilung senk- recht aufzuhalten.
Fehlende Codeinformatio- nen beim Anzielen der Lat- tenenden	Erzeugt eine Verfälschung der Beobachtungen.	Der Abstand des horizonta- len Zielstrahls soll mindes- tens 1% der Zielweite von den Lattenenden betragen.
Lattendosenlibelle dejustiert	Erzeugt abweichende Hö- henunterschiede in Hin- und Rückmessung; keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung. Der Einfluss ist in der Zusam- menstellung der Δh nicht erkennbar.	Die Lattendosenlibellen sind vor Beginn der Mes- sung zu prüfen und ggf. zu justieren (s. Abschnitt IV Nr. 2).

3. Äußere Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Bodennahe Zielstrahlen	Es entsteht eine Verfor- mung des Zielstrahles durch Refraktion, was zu systematischen Messab- weichungen führen kann; Keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung. Der Einfluss ist in der Zu- sammenstellung der Δh nicht erkennbar.	Der horizontale Zielstrahl soll 0,5 m + 1% der Zielwei- te, der untere Rand des Messkegels etwa 3 dm Ab- stand vom Boden nicht un- terschreiten. Bei starker Re- fraktion ist eine entspre- chend höhere Zielung ein- zuhalten, ggf. ist die Ziel- weite zu verringern. Hin- und Rückmessung sind bei unterschiedlichen meteoro- logischen Bedingungen durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr. 4).
Lokale Refraktionseinflüsse	Ergibt eine Störung durch verschiedenartige Tempe- raturgradienten bei unter- schiedlicher Luftschichtung.	Vermeiden von Messungen entlang störenden Umfel- des (z. B. Öffnungen an Gebäuden, KfZ).
Ungleiche oder sich än- dernde Lattenbeleuchtung	Es entstehen geräteinterne Probleme bei der Identifizie- rung des Messsignals, so dass eine systematische Abweichung der Mess- ergebnisse möglich ist.	Es sind freie Sichten zu gewährleisten und der vom Sensor erfasste Lattenab- schnitt schattenfrei zu hal- ten, bzw. komplett zu ver- schatten.

Einsinkbewegung des Statives	Erzeugt eine Verfälschung des Höhenunterschiedes.	Das Stativ ist auf festem Untergrund aufzustellen und eine zügige Beobachtung mit den Ablesefolgen <u>RV</u> ... <u>VR</u> oder <u>RVVR</u> durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr. 4).
Sonneneinstrahlung in das Objektiv und Okular oder starkes Gegenlicht	Das Nivelliergerät verweigert die Messung mit einer entsprechenden Fehlermeldung.	Geeignete Tageszeiten und Witterungsbedingungen sind zu wählen, Sonnenblenden zu verwenden, das Okular zu verschatten, auf genügend Kontrast der Latte vor dem Hintergrund zu achten und die Latte mittig anzuzielen. Zickzackmessung z. B. durch Unterführungen.
Änderung der Kompensatororientierung durch Temperatureinwirkung z. B. infolge von Sonneneinstrahlung	Es entstehen Neigungsänderungen der Ziellinie durch einseitigen Temperatureinfluss.	Schutz des Nivelliergerätes durch geeignete Maßnahmen, z. B. Feldschirm.
Nicht ausreichende Infrarotanteile (Leica) bzw. nicht genügend sichtbares Licht (Zeiss)	Es entstehen geräteinterne Probleme bei der Identifizierung des Messsignals.	Abhilfe durch zusätzliches Ausleuchten der Nivellierlatte, ggf. ist die Zielweite zu verkürzen.
Störungen auf das Einspielverhalten des Kompensators durch Verkehr, Wind usw.	Erzeugt eine Verfälschung der Messergebnisse.	Günstige Messbedingungen sind zu wählen bzw. die Anzahl der Messwerte zu erhöhen.
Umfokussieren beim Messvorgang	Eine Neigungsänderung der Ziellinie ist möglich.	Es sind auf jedem Standpunkt gleiche Zielweiten im Rück- und Vorblick einzuhalten (s. Abschnitt IV Nr. 3).
Erdkrümmung	Die Horizontale nimmt mit wachsender Zielweite einen immer größeren Abstand zu der genäherten Kugelform des Erdkörpers (lokale Niveaulfläche) an.	Es sind auf jedem Standpunkt gleiche Zielweiten im Rück- und Vorblick einzuhalten (s. Abschnitt IV Nr. 3) und ggf. ein Reduktionsfaktor im Gerät einzustellen.

IV Messungen

1. Arbeitsplanung

Pro Messperiode ist in Abstimmung benachbarter Bundesländer ein Netz geschlossener Nivellementsschleifen zu messen. Die Grenzanschlüsse zwischen den Bundesländern sind zeitnah auszuführen.

Jede Schleife kann in Teilen von verschiedenen Messtrupps gemessen werden. An den Bearbeitungsgrenzen verschiedener Messtrupps und an den Landesgrenzen sind Überschlagnivellements auszuführen (s. zulässige Abweichung Z_E). Anschlussmessungen sind durch Überschläge zu prüfen.

2. Prüfung und Überwachung der Ausrüstung vor und während der Messung

Die Unempfindlichkeit eines Digitalnivelliers gegenüber dem Erdmagnetfeld ist einmal entweder durch Laboruntersuchungen oder durch einen zertifizierten Herstellernachweis zu belegen. Die zulässige Abweichung $Z_M = 0,0064 \text{ mgon}$ ($= 0,0207''$ bzw. $0,1 \text{ mm/km}$) darf nicht überschritten werden (s. Anlage 8).

Die Kalibrierung der Nivellierlatten zur Bestimmung des mittleren Lattenmeters auf einem Vertikalkomparator ist mindestens einmal jährlich, bei Bedarf (im Falle vermuteter Beschädigungen) auch häufiger durchzuführen (s. Anlage 7).

Vor Beginn und während jeder Messperiode, ggf. täglich sowie nach besonderen Vorkommnissen (z. B. extreme Transportbedingungen oder außergewöhnliche Wettersituationen) sind folgende Prüfungen notwendig:

- Prüfung und ggf. Justierung des Digitalnivelliers,
- Prüfung und ggf. Justierung der Lattenlibellen,
- Bestimmung des Aufsatzflächenfehlers des Lattenfußes,
- Bestimmung der Differenz der Nullpunktfehler eines Lattenpaares,
- Überprüfung von Schraubenverbindungen am Dreifuß, an Latten und am Stativ auf festen Sitz.

Vor der täglichen Messung ist eine Nivellierprobe durchzuführen. Die Differenz der täglichen Überprüfung des Zielachsfehlers soll $< 3''$ betragen. Digitalnivelliere haben zwei unabhängige Zielachsen: eine elektronische und eine mechanisch-optische. Der Fehler der elektronischen Zielachse ist mit den Verfahren nach Näbauer oder Förstner zu bestimmen und im Instrument abzuspeichern, um die folgenden Ablesungen geräteintern zu korrigieren. Das Verfahren nach Kukkamäki ist nicht zugelassen. Sämtliche Prüfungen, Justierungen und Kalibrierungen bzw. Eichungen sind schriftlich nachzuweisen.

Während der Messung ist ständig darauf zu achten, dass

- der Kompensator einwandfrei arbeitet,
- die Dosenlibelle des Nivellierinstrumentes im Vor- und Rückblick korrekt einspielt,
- die Nivellierlatten jeweils in zwei Vertikalebene lotrecht stehen.

3. Zielweiten

Als Zielweiten sind Entfernungen bis 30 m zu wählen. Bei besonders günstigen Bedingungen kann die Zielweite auf maximal 40 m vergrößert werden. Bei schlechter Witterung sind die Zielweiten entsprechend zu verkürzen bzw. die Messungen abzubrechen. Der horizontale Zielstrahl soll refraktionsarm mindestens $0,5 \text{ m} + 1\%$ der Zielweite vom Erdboden entfernt sein.

Die Zielweiten sind im Vor- und Rückblick auf 2 m durch geeignete Stationierung gleich zu halten. Die Summen der Zielweiten der Vor- und Rückblicke dürfen für eine Nivellementsstrecke bis 400 m Länge bis zu 2 m und für eine Nivellementsstrecke von über 400 m Länge bis zu 3 m voneinander abweichen. Instrumentenspezifisch ungünstige Zielweiten sind zu vermeiden (s. Anlage 5).

4. Durchführung der Messung

Zum Temperatenausgleich sind Instrumente und Latten vor Beginn der Messung ausreichend lange der Außentemperatur auszusetzen. Als Erfahrungswert gilt: pro 1°C Temperaturdifferenz eine Minute Wartezeit. Zwischen dem Aufstellen des Instrumentes und der ersten Ablesung muss eine ausreichende Zeit gewartet werden, bis sich der Kompensator von den Erschütterungen des Transports und der Stativaufstellung beruhigt hat und nachträgliche Hebungen oder Senkungen des Stativs abgeklingen sind.

Zur Einhaltung der erforderlichen Präzision soll in Abhängigkeit von den Umgebungseinflüssen (Verkehr und Wetter) durch Voreinstellung eines Messmodus (Mittelwert mit Standardabweichung, Median, Mittelwert) eine ausreichende Anzahl von Einzelmessungen beobachtet werden. Bei den genannten Messmodi ist auch bei ungünstigen Bedingungen eine Standardabweichung des Mittels einer Zielung von 20 m von kleiner 0,1 mm einzuhalten.

Aufgrund der geforderten Genauigkeit (s. Abschnitt V) gilt beim Einsatz von Digitalnivellieren das gleiche Beobachtungsverfahren wie bei herkömmlichen Kompensatornivellieren: das Nivellieren aus der Mitte mit gleichen Zielweiten.

Folgende Ablesefolgen werden empfohlen:

Ablesefolge		Verfahren
ungerader Standpunkt i	gerader Standpunkt i+1	
<u>RV</u>	<u>VR</u>	„Rote Hose“
<u>RVVR</u>	<u>RVVR</u>	Förstner

Die Unterstreichung gibt an, in welcher Zielrichtung die Dosenlibelle eingespielt wird (s. Anhang 3).

Bei Einhaltung der Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen (s. Abschnitt V) sind andere Ablesefolgen möglich.

Jede Nivellementslineie ist in Abschnitte zu unterteilen, die in einer Arbeitswoche in beide Richtungen gemessen werden können. Dabei hat die Hin- und Rückmessung derselben Nivellementsstrecke nach Möglichkeit an verschiedenen Tagen und bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen zu erfolgen. Die Rückmessung eines Linienabschnittes darf nicht am letzten durch die Hinmessung erfassten Festpunkt beginnen, sondern am nachfolgenden HFP. Dadurch wird überprüft, ob die Verbindung der Linienabschnitte fehlerfrei erfolgt (s. Anhang 2 Nr. 1). Die Rückmessung darf nicht durch eine zweite Hinmessung ersetzt werden. Hin- und Rückmessung sind möglichst vom selben Beobachter mit derselben Messausrüstung auszuführen.

Bei längerer Messungsunterbrechung (z. B. mehrere Wochen) sind unter Beachtung der geologischen Verhältnisse und der Höhenstabilität der Festpunkte entsprechend ausgedehnte Überschlagsmessungen in Hin- und Rückmessung durchzuführen.

Nachmessungen sind in der Regel in Hin- und Rückmessung zu beobachten. Werden Nachmessungen in Ausnahmefällen in nur einer Richtung ausgeführt, ist die Begründung zu dokumentieren. Nachmessungen sind auszuführen, wenn der zulässige Streckenwiderspruch (s. zulässige Abweichung Z_s) überschritten wird. Die zulässige Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung (s. zulässige Abweichung Z_d) ist zu prüfen.

Für jede Nivellementsstrecke ist die Lattentemperatur zu Beginn der Messung zu erfassen und abzuspeichern. Das Gesichtsfeld sollte während der Messung nicht durch Hindernisse eingeschränkt sein, insbesondere im Bereich des Strickkreuzes.

V. Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen

1. Standpunktgenauigkeit

Sofern auf einem Standpunkt Einzelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt werden, gilt zur Beurteilung der Messung (Kompensatorruhe, Refraktionseinflüsse) bei 20 m Zielweite die maximale Standardabweichung von $< 0,1$ mm (Wiederholungsgenauigkeit), wobei der Wert in Abhängigkeit der äußeren Einflüsse am Instrument voreingestellt werden kann oder individuell überwacht werden muss (s. o.).

Werden auf einem Standpunkt Doppelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt, so sind die gemessenen Höhenunterschiede aus der Ablesefolge RVVR auf jedem Standpunkt zu vergleichen. Alle Ablesungen sollen wiederholt werden, wenn die Differenz $Z_{SP} = \pm 0,3$ mm übersteigt.

2. Genauigkeit des Nivellements

2.1 Zulässige Abweichungen

Bei den Messungen dürfen nachfolgend aufgeführte zulässige Abweichungen Z (früher: Fehlergrenzen d) nicht überschritten werden.

Zulässiger Streckenwiderspruch Z_s

Der zulässige Streckenwiderspruch Z_s für W_s (Summe der Höhenunterschiede aus Hin- und Rückmessung einer Nivellementsstrecke S) beträgt (mit Streckenlänge S in km, Z_s und W_s in mm):

$$Z_s = 0,5 \cdot S \pm 1,5 \cdot \sqrt{S}.$$

Zulässiger Schleifenwiderspruch Z_U

Der zulässige Schleifenwiderspruch Z_U für W_U (Summe der korrigierten und reduzierten Höhenunterschiede einer Nivellementsschleife U) beträgt (mit Schleifenumfang U in km, Z_U und W_U in mm):

$$Z_U = \pm 2 \cdot \sqrt{U}.$$

Zulässige Abweichung beim Vergleich mit Höhenangaben aus dem amtlichen HFP-Nachweis Z_H

Bei Überschlagnivellement und Linieneinschaltung beträgt die zulässige Abweichung Z_H für W_H (Differenzbetrag des korrigierten und reduzierten Höhenunterschieds einer Nivellementsstrecke S von dem entsprechenden Höhenunterschied des amtlichen HFP-Nachweises mit S in km, Z_H und W_H in mm):

$$Z_H = \pm (2,0 + 2 \cdot \sqrt{S}).$$

Wird die zulässige Abweichung Z_H überschritten, sind die Messungen so weit auszudehnen, bis Z_H bei mindestens zwei Nivellementsstrecken eingehalten wird.

Zulässige Abweichung der beiden Mittel aus Erst- und Überschlagsmessung innerhalb der Messepoche (2006–2011) Z_E

Die zulässige Differenz Z_E für W_E (Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Überschlagsmessung einer Nivellementsstrecke S) beträgt (mit Streckenlänge S in km, Z_E und W_E in mm):

$$Z_E = \pm 2 \cdot \sqrt{S}.$$

Wird die zulässige Abweichung Z_E überschritten, sind die Messungen so weit auszudehnen, bis Z_E bei mindestens zwei Nivellementsstrecken eingehalten wird.

Der überwiegende Teil der oben genannten Abweichungen (W_S , W_U , W_H und W_E) soll im ersten Drittel der Zulässigkeiten liegen.

Zulässige Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung Z_Δ

Die zulässige Differenz Z_Δ für W_Δ (Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung einer Nivellementsstrecke S) beträgt (mit Streckenlänge S in km, Z_Δ und W_Δ in mm):

$$Z_\Delta = \pm 0,6 \cdot \sqrt{S}.$$

(MdlA 1974) (s. Anhang 1)

2.2 Standardabweichungen

Als Gewichtseinheit wird bei der Berechnung von Standardabweichungen, wie allgemein üblich, stets die doppelt, d. h. unabhängig hin und rück gemessene 1 Kilometer lange Nivellementsstrecke gesetzt.

Standardabweichung aus Streckenwidersprüchen S_s

Die Standardabweichung aus Streckenwidersprüchen S_s [mm] für einen Kilometer Doppelnivellement wird, wie folgt, berechnet:

$$S_s = \sqrt{\frac{1}{n_s} \left[\frac{W_s^2}{4 \cdot S} \right]}.$$

Mit

n_s = Anzahl der Nivellementsstrecken,

S = Länge der Nivellementsstrecke (einfacher Messweg) in km,

W_s = tatsächlicher Streckenwiderspruch (Summe der korrigierten Höhenunterschiede der Hin- und Rückmessung einer Nivellementsstrecke) in mm.

Der Wert S_s soll für die Nivellementslinien 0,4 mm nicht überschreiten.

Bei Nivellementsstrecken $< 0,2$ km wird der Gewichtsansatz

$$p = \frac{1}{S}$$

ersetzt durch

$$p = -25 \cdot S + 10,$$

um den Wert S_s nicht durch kurze Nivellementsstrecken zu verfälschen.

VI. Strom- und Talübergangsmessungen

Präzise Höhenübertragungen über Flüsse oder Täler ohne geeignete Brücken und Tunnel sind problematisch, da die bekannten fehlereliminierenden Methoden des geometrischen Nivellements nicht anwendbar sind und andere Messmethoden in der Regel zu ungenau sind. Für diese Strom- und Talübergangsmessungen bestehen Sonderausrüstungen, deren Anwendung z. B. von Drodofsky (1960) oder Mdlb (1974) beschrieben wird.

Die Ergebnisse sollen innerhalb der allgemein gültigen zulässigen Abweichungen liegen.

Höhenübertragungen über Gewässer können auch durch hydrostatisches Nivellement, trigonometrische Höhenübertragung oder satellitengestützte Verfahren (in Verbindung mit Quasigeoidinformationen) oder in Kombination der Verfahren ausgeführt werden. Die Genauigkeitsvorgaben gelten entsprechend.

VII. Verkehrssicherung

Bei allen Nivellementsarbeiten sind die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften sowie die landesspezifischen Sicherheitsbestimmungen für Verkehrseinrichtungen und Versorgungsleitungen zu beachten. Dies sind insbesondere die Vorschriften der StVO, evtl. dazu bestehende Regelungen in den Ländern sowie die Sicherheitsregeln für Vermessungsarbeiten der Bundesarbeitsgemeinschaft der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand, Regelpläne nach RSA (Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Bundesministerium für Verkehr, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund 1995) und GUV (Sicherheitsregeln Vermessungsarbeiten, Bundesverband der Unfallkassen 1994).

Jedem Messtrupp müssen so viele Hilfskräfte und Hilfsmittel zur Verfügung stehen, wie für eine in Anbetracht der jeweiligen örtlichen Verhältnisse ausreichende Verkehrssicherung benötigt werden. Das Personal ist zu Beginn eines Feldarbeitsjahres bzw. einer Messkampagne auf die Gefahren, insbesondere im Straßenverkehr, hinzuweisen (Sicherheitsbelehrung).

Gesundheitsuntersuchungen des mit der Ausführung der Messungen betrauten Personals durch einen Facharzt für Arbeitsmedizin sind regelmäßig in Anspruch zu nehmen.

Zeitgemäße Warneinrichtungen (Blinkpfeilwarnanlagen) an den Dienstwagen sind zu nutzen. Es wird empfohlen, die örtlichen Arbeiten über lokale Medien und Rundfunk anzukündigen.

VIII. Reduktionen

1. Gezeitenreduktion

Für eine Gezeitenreduktion wird für jede Nivellementsstrecke das Datum und die Uhrzeit zu Beginn der Messung protokolliert.

2. Normalhöhenreduktion

Zur Berechnung der Normalhöhenreduktion (NR) mittels Oberflächenschwerewerten sind die Schweredaten des Deutschen Hauptschwerenetzes 1996 (DHSN 96) zu verwenden.

Dazu sind für alle HFP Koordinaten im ETRS89 (UTM Zone 32) mit einer Standardabweichung der Lage von 20 m zu bestimmen.

Bei geändertem Linienvorlauf sind die Oberflächenschwerewerte für die HFP mit einer Standardabweichung von $1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ für Geländehöhen unter 1000 m zu bestimmen.

IX. Automationsgerechte Datenerfassung

Für einen lückenlosen automatisierten Datenfluss vom Feld bis zur Auswertung sind die so genannten Kopfdaten (Headerdaten) vor jeder Nivellementsstreckenmessung im Digitalnivellier im jeweiligen Instrumentenformat zur Verfügung zu stellen. Dies geschieht ausschließlich numerisch ohne Alpha-Zeichen. Für die erste Nivellementsstrecke einer Speichereinheit werden diese im jeweiligen Instrumentenformat vollständig eingegeben, bei jeder weiteren Strecke nur die zur vorangehenden Strecke sich ändernden Kopfdaten. Es wird eine tägliche Sicherung auf externem Speichermedium empfohlen.

Da die weiterführenden Auswerteprogramme die Kopfdaten interpretieren und langschriftlich wiedergeben, werden sie kodiert in einer bundesweiten Schlüsseldatei vorgehalten (s. Anlage 6).

Zur Erfassung der Nivellementsrohdaten und deren Vorauswertung kommt bundesweit einheitlich das Programm VRONI aus der Programmsammlung HÖHE der Bezirksregierung Köln, Dezernat 71 - Datenstandards, Raumbezug (vormals Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen) zum Einsatz. Hierzu wird das Anwendungshandbuch VRONI empfohlen (BezReg Köln 2005).

Bis zum Beginn der Nivellement-Messkampagne 2006 ist von den einzelnen Bundesländern an die beiden Rechenstellen eine Auflistung (Datei) aller vorgesehenen

- Beobachter,
- Vermessungsstellen (z. B. ÖbVI),
- Präzisionsnivelliere mit ihren Seriennummern,
- Präzisionsnivellierlatten mit ihren Seriennummern

zu liefern. Sie dient der Erstellung einer bundeseinheitlichen Schlüsseldatei, auf die die Auswerteprogramme zugreifen. Diese Datei wird im Verlaufe der Nivellement-Messkampagne von den Rechenstellen laufend gehalten.

Während der Nivellement-Messkampagne 2006–2011 übergeben die Bundesländer nach Abschluss der Messperiode eines jeden Jahres folgende geprüfte Daten an die beiden Rechenstellen:

1. Nivellementsrohdaten im jeweiligen Instrumentenformat,
2. Dateien im ZWIRN-Format (nach Arbeitsnummern sortiert),
3. Dateien im NIMEDA-Format (nach Arbeitsnummern sortiert),
4. Kalibrierdateien der jeweils eingesetzten Lattenpaare (jahrgangsweise),
5. erzeugte Linienverzeichnisse (vom Programm VRONI erzeugt)
6. Linienverlaufsdateien (nach Arbeitsnummern sortiert),
7. Nivellementspunktdateien der angemessenen Punkte im EDBS-Format.

Nach Abschluss der Nivellement-Messkampagne 2011 stellen die Bundesländer eine Liste der Nivellementspunkt-Identitäten der Netze 1960, DHHN 12, SNN 56, SNN 76, DHHN 85 und DHHN 2006–2011 zusammen, um den Rechenstellen eine Deformationsanalyse zu ermöglichen.

Zur Sicherstellung eines eindeutigen Linienverlaufs an den Landesgrenzen und Knotenpunkten sind von den Bundesländern vor Beginn der Messkampagne folgende Listen an die Rechenstellen zu übergeben:

1. Ein Übersichtsplan des Nivellementsnetzes 1. Ordnung mit allen Knotenpunkten.
2. Eine Excel-Tabelle mit den Nivellementslinien-Informationen:
 - von Knotenpunkt (PKZ),
 - nach Knotenpunkt (PKZ),
 - Liniennummer im Landesnetz.
3. Eine Liste und Skizzen der Grenzübergangspunkte und der zugehörigen Überschlagsnivellements an Landes- und Bundesgrenzen, die vorab zwischen den Ländern abzustimmen sind.

4. Eine Liste und Skizzen der Knotenpunkte sowie der anzumessenden unterirdischen Festlegungen (UF) und der Landeshöhenpunkte mit ihren Sicherungspunkten.

X. Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen

1. Knotenpunkt- und Linienbezeichnungen

Es wird eine projektbezogene Liniennummerierung eingeführt, die eine länderübergreifend eindeutige Bezeichnung der Nivellementslinien ermöglicht. Zu diesem Zweck werden die Knotenpunkte des Nivellementsnetzes 1. Ordnung von den Rechenstellen vorab bundeseinheitlich jeweils mit einer dreistelligen fortlaufenden Nummer versehen. Für jedes Bundesland wird eine Zuordnungsliste der 10stelligen PKZ zu der dreistelligen projektbezogenen Knotenpunktnummer erzeugt und mit den Ländern abgestimmt. Die Nivellementslinien werden durch die zwei dreistelligen Nummern der Anfangs- und Endpunkte (Knotenpunkte 1. Ordnung) bezeichnet, und zwar zunächst die kleinere gefolgt von der größeren Knotenpunktnummer (z. B. 012143).

2. Bezeichnungen und Abkürzungen

Hinsichtlich Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen gelten die DIN-Normen, insbesondere die DIN 18709-1 (DIN 1995) und ergänzend die in der Anlage 1 aufgeführte Fachliteratur.

Literatur

AdV: Beschluss 116/14 "Erneuerung des DHHN". 116. Tagung des Plenums am 27. und 28.04.2005 in Bonn.

AdV: Richtlinien für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (26.01.2006). Umlaufverfahren 03/2006 des Arbeitskreises Raumbezug.

BezReg Köln: Anwendungshandbuch VRONI. Bezirksregierung Köln, Dezernat 71 - Datenstandards, Raumbezug (vormals Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen), Bonn 2005.

DIN: DIN 18709-1, Ausgabe 1995-10: Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen im Vermessungswesen – Teil 1: Allgemeines. DIN e. V., Berlin 1995.

DIN: DIN 18717, Ausgabe 1996-11: Präzisions-Nivellierlatten. DIN e. V., Berlin 1996.

DIN: DIN 18708 (Norm-Entwurf), Ausgabe 1998-08: Höhenbolzen. DIN e. V., Berlin 1998.

DIN: DIN SN ENV 13005 (Vornorm), Ausgabe 2000-07: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, DIN e. V., Berlin 1999.

Drodofsky, M.: Stromübergangsnivellement mit dem Zeiss-Nivellier Ni 2. ZfV, 1960, S. 227–235.

Heister, H.: Zur Angabe der Meßunsicherheit in der geodätischen Meßtechnik. In: Schriftenreihe des DVW e. V. - Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement Heft 42, S. 108–119 Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart 2001.

ISO: ISO 17123-2: Optics and optical instruments – field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 2: Levels, ISO, Genf 2001.

Mdla: Instruktion für das Nivellement I. u. II. Ordnung. Ministerium des Innern der DDR, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen, Berlin, 1974, 2. Auflage, S. 72–73 und Anlage 38.

Mdlb: Instruktion für das Nivellement I. u. II. Ordnung. Ministerium des Innern der DDR, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen, Berlin, 1974, 2. Auflage, S. 77–80.

Staiger, R., Witte, B.: Zur Bedeutung der Prüfung von Präzisionsnivellierlatten für die Praxis. AVN, 2005, Heft 6, S. 200–203.

Weitere Literatur

AdV: Die Wiederholungsmessungen 1980 bis 1985 im Deutschen Haupthöhennetz und das Haupthöhennetz 1985 der Bundesrepublik Deutschland. Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1993.

AdV: Deutsches Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92). Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1995.

AdV: Beschluss 115/7 "Strategie für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland". 115. Tagung des Plenums am 06. und 07.10.2004 in Wismar.

Berndt, F.: Feineinwägung und Geologie. Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme, 6. Jahrgang Nr. 2 1930/31, S. 102–110.

Lang, H.: Vorbereitende Arbeiten des IfAG zur Ausgleichung des DHHN 92. AVN, 1994, Heft 10, S. 367–380.

Fröhlich, H.: Ein Vorschlag zur Ermittlung der Beobachtungsgenauigkeit im Deutschen Haupthöhennetz 1980-85. AVN, 1985, Heft 7, S. 254–256.

Fröhlich, H., Schauerte, W., Schuler, D.: Praxistipps zum Präzisionsnivellement mit Digitalnivellieren. Selbstverlag Fröhlich, Sankt Augustin 2003.

Ingensand, H.: Die Entwicklung von Digitalnivellieren und Codelatten. AVN, 2005, Heft 6, S. 229–232.

Müller, G.: Wiederholungsmessungen im nordrhein-westfälischen Anteil des DHHN 1980-85 und im Netz 2. Ordnung - Erfahrungen, erste Ergebnisse, Ausblick. Vermessungswesen und Raumordnung 1990 Heft 2, S. 130–149.

Sadowski, H., Sorge, B.: Der Normalhöhenpunkt von 1912 – Datumspunkt des DHHN 2012? Vermessung Brandenburg, Heft 2/2005, S. 31–39.

Schlemmer, H.: 30 Jahre Interferenzkomparatoren für Präzisionsnivellierlatten. AVN, 2005, Heft 6, S. 198–199.

Weber, D.: Das neue gesamtdeutsche Haupthöhennetz DHHN 92. AVN, 1994, Heft 5.

Weber, D.: Berechnung des Deutschen Haupthöhennetzes 1992 abgeschlossen. ZfV, 1995, S. 196–200.

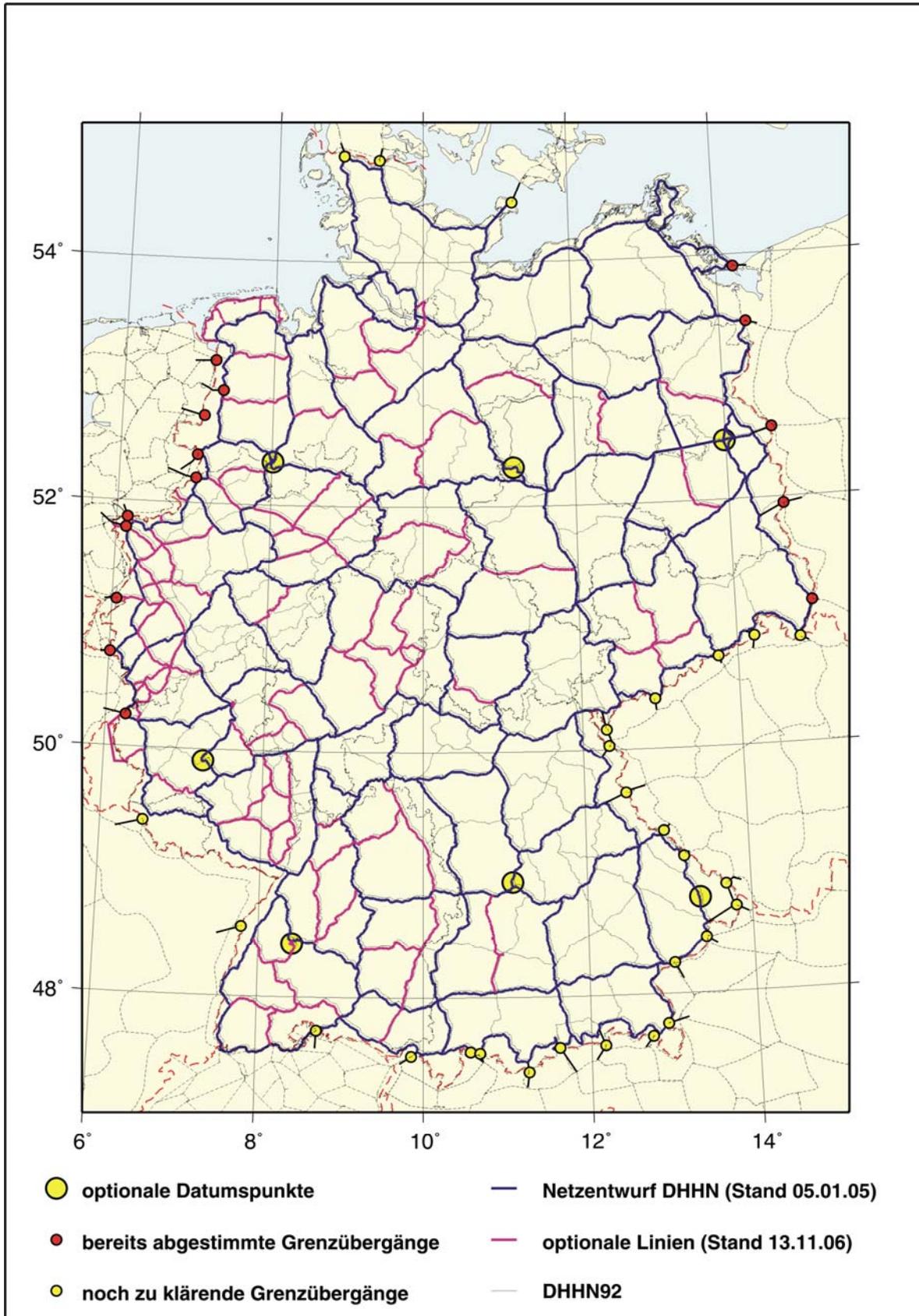
Wolfram, S.: Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes 2006–2011. LSA VERM. Heft 1/2008: 33–44.

Woschitz, H.: System Calibration of Digital Levels: Calibration Facilities Procedures and Results, TU Graz, Shaker-Verlag, Aachen 2003.

Woschitz, H.: Systemkalibrierung: Effekte von digitalen Nivelliersystemen. AVN, 2005, Heft 6, S. 239–244.

Wübbelmann, H.: Die Wiederholungsmessungen im Deutschen Haupthöhennetz. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung 1993, Heft 3, S. 155–163.

Netzentwurf des DHHN



Netzentwurf für die Wiederholungsnivellements im DHHN, Januar 2007

Bundesland	Nivellementslänge [km]	GNSS-Punkte	Absolutschwerepunkte
Baden-Württemberg	1227	22	9
Bayern	3105	55	22
Berlin	107	2	1
Brandenburg	1078	19	8
Bremen	22	0	0
Hamburg	77	1	1
Hessen	653	12	4
Mecklenburg-Vorpommern	1190	21	8
Niedersachsen	1649	29	12
Nordrhein-Westfalen	1317	23	9
Rheinland-Pfalz	810	14	6
Saarland	85	2	1
Sachsen	870	15	6
Sachsen-Anhalt	723	13	5
Schleswig-Holstein	630	11	4
Thüringen	587	10	4
Gesamtanzahl	14130	250	100

Anteil der Nivellementslinienlängen pro Bundesland und Anzahl an GNSS-Punkten und Absolutschwerepunkten, Januar 2005⁴

Der Netzentwurf wurde vom BKG im Auftrag der PG „Erneuerung des DHHN“ erstellt und anschließend entsprechend den Anmerkungen und Wünschen der Landesvermessungsbehörden überarbeitet. Über die vereinbarten Nivellementslinien hinaus können zusätzliche optionale Linien des DHHN 92 gemessen werden. Derartige Linien, die im Projektzeitraum gemessen werden und den Richtlinien der Niv-Feldanweisung entsprechen, tragen zur Verbesserung des Höhennetzes bei und werden in die Ausgleichung des Höhennetzes einbezogen.

In dem oben abgebildeten Netzentwurf sind die Grenzübergänge, die in die Ausgleichung des aktuellen europäischen Nivellementsnetzes eingegangen sind, in Gelb gekennzeichnet. Die künftigen Grenzübergänge zu den Niederlanden, Belgien und Polen wurden bereits durch die angrenzenden Bundesländer mit den entsprechenden Nachbarstaaten abgestimmt. Diese Grenzübergangspunkte sind rot dargestellt. Die Messungen nach Polen fanden bereits im Oktober 2004 statt. Konkrete Abstimmungen mit den übrigen Nachbarländern haben noch nicht stattgefunden⁵. Größere

⁴ Anmerkung: Die Nivellementslinienlängen wurden neu ermittelt (verbesserte Zuordnung einzelner Punkte zu den Ländern, insbesondere neue Bundesländer). Die geschätzten Linienlängen von Bremen und Hamburg, die in der Datenbank unter Niedersachsen bzw. Niedersachsen und Schleswig-Holstein gespeichert sind, wurden von diesen Ländern abgezogen. Alle Angaben sind übereinstimmend mit dem Umlaufbeschluss 04/2005 des AK Raumbezug „Kosten für die Wiederholungsmessung des DHHN“.

⁵ Zu Beginn 2009 sind alle Grenzübergangspunkte mit dem Ausland abgestimmt bzw. geplant, so auch mit Frankreich.

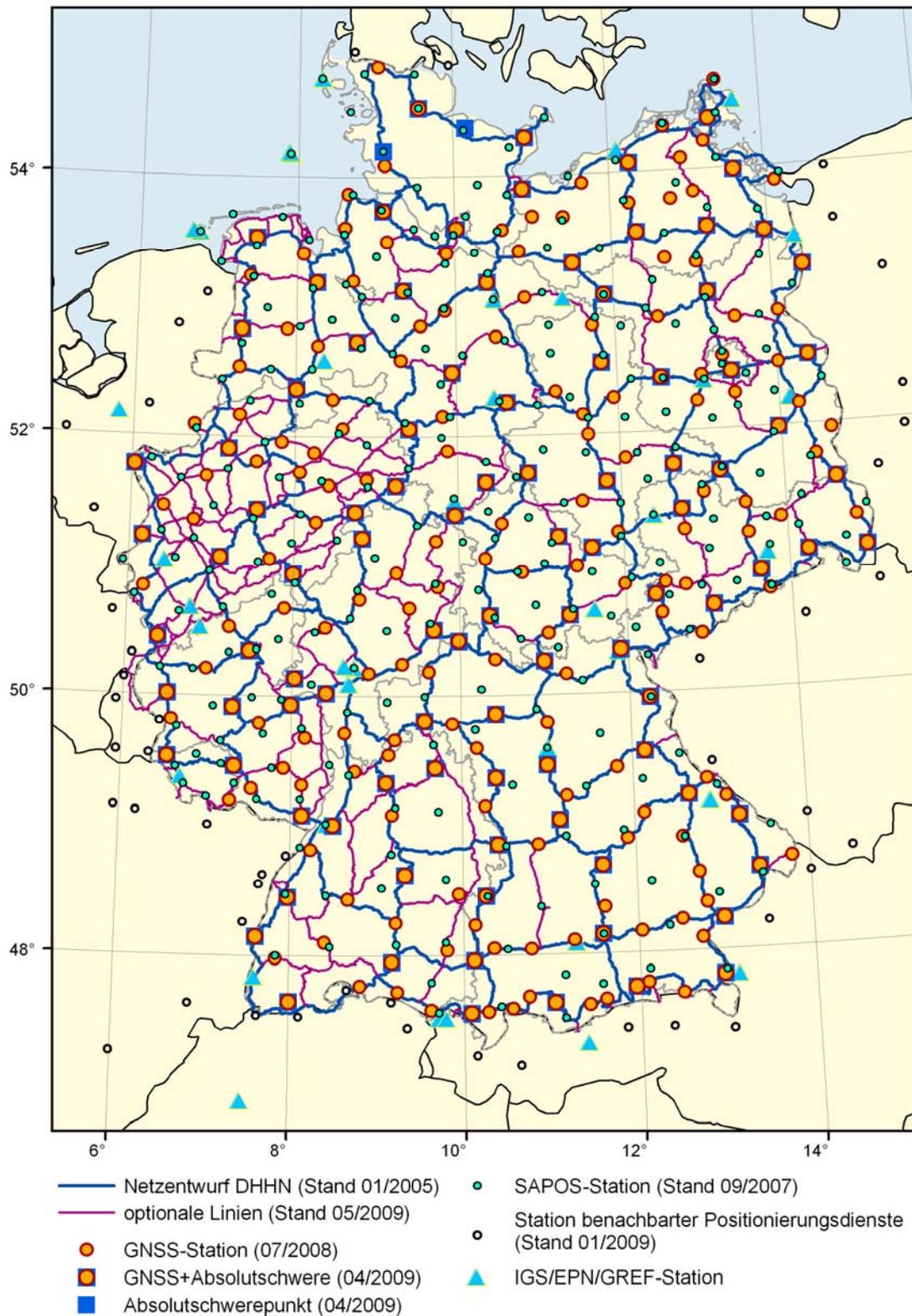
Probleme sind aber nur bei den Grenzübergängen nach Frankreich zu erwarten. Für die Grenzverbindung zur Schweiz sind ca. vier Übergänge vorzusehen. Bei der Planung der Grenzübergänge sollten sich die Landesvermessungsbehörden mit dem BKG in Verbindung setzen und sich über den aktuellen Stand der existierenden und im europäischen Nivellementsnetz (UELN) verwendeten Grenzmessungen sowie die entsprechenden Anschlusspunkte in den europäischen Nachbarländern informieren.

Die unterirdischen Festpunktgruppen Wallenhorst, Flechtingen und Hoppegarten wurden als potentielle Datumspunkte diskutiert. Die Einbeziehung weiterer Datumspunkte im Süden der Bundesrepublik in eine zwangsfreie Ausgleichung des Nivellementsnetzes ist wünschenswert⁶. Eine Grundlage für die Auswahl eines oder mehrerer Datumspunkte des neu zu messenden Netzes wird ein Stabilitätsnachweis der in Frage kommenden Punktgruppen sein. Aktuelle Kontrollmessungen der Festpunktgruppen wurden in Hoppegarten 2004, in Flechtingen 2005 und in Wallenhorst 2006/2008 ausgeführt.

In der Abbildung auf der folgenden Seite ist die Verteilung der heute betriebenen SAPOS[®]-Referenzstationen entlang der Nivellementslinien der Erneuerung und Wiederholung des DHHN dargestellt. Bundesweit befinden sich knapp 50% davon in unmittelbarer Nachbarschaft (i. d. R. $\ll 10$ km) der geplanten Nivellementslinien 1. Ordnung. Diese Referenzstationen sollen neben den ohnehin vorgesehenen rund 250 GNSS-Punkten mithilfe entsprechender Methoden der lokalen Höhenübertragung in die Präzisionsnivellements eingeschlossen werden⁷. Zusätzlich sind die Permanentstationen des GREF sowie des IGS/EPN in das geplante GNSS-Netz einzubeziehen, die zum Teil in den abgebildeten Kartenausschnitt fallen.

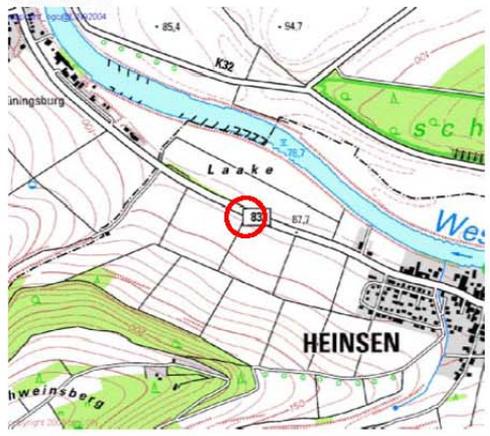
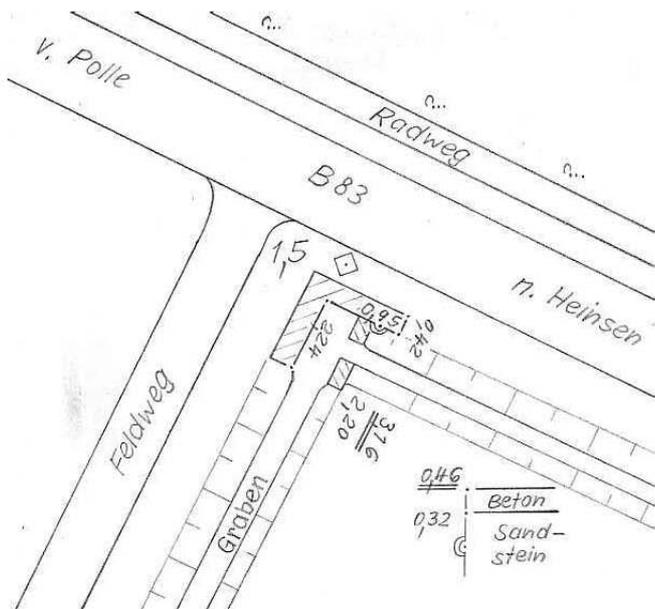
⁶ Weitere Vorschläge von Punktgruppen zur Datumsfestlegung aus Baden-Württemberg (Lossburg), Bayern (Saldenburg und Schernfeld) sowie Rheinland-Pfalz (Wahlenau) werden 2009 überprüft.

⁷ Die im Rahmen der GNSS-Kampagne 2008 gemessenen 250 GNSS-Punkte wurden vollständig im Jahr 2008 an die Nivellementslinien 1.O. angeschlossen. Ausgewählte SAPOS[®]-Referenzstationen folgen zwischen 2008 und 2010.



Netzentwurf DHHN mit GNSS-Boden- und Referenzstationspunkten (IGS, EPN, GREF, SAPOS®), Januar 2009

HFP-Beschreibung (AFIS® – Beispiel Niedersachsen)

 <p>Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen - Landesbetrieb – Podbielskistraße 331 30659 Hannover</p>				<p>Einzelnachweis Höhenfestpunkt</p>	
<p>Auszug aus dem amtlichen Festpunktinformationssystem (AFIS®)</p>				<p>4122 00051 TK 25 Nummer</p>	
<p>Punktvermarkung Mauerbolzen</p>		<p>Klassifikation Ordnung NivP(1) - Haupthöhenpunkt, Zwischenlinienpunkt 1. Ordnung</p>			
<p>Punktkennung als SP 4122805300</p>		<p>Lage System ETRS89_UTM32 Messjahr East [m] North [m]</p>			
<p>Überwachungsdatum 1997</p>		<p>1988 32528877 5748589 Genauigkeitsstufe Standardabweichung S <= 500 cm</p>			
<p>Gemeinde Polle Gemarkung Heinsen</p>		<p>Höhe System DE_DHHN92_NH Messjahr Höhe [m] 1982 88,702 Genauigkeitsstufe Genauigkeitswert 8 mm</p>			
<p>Übersicht</p> 		<p>Lagebeschreibung Polle-Heinsen, B 83; km 1,5; Durchlass</p>			
		<p>Bemerkungen Mauerbolzen 0,46m unter Oberkante</p>			
<p>Lage-/Einmessungsskizze/Ansicht</p> 					
<p>Nivellement-Feldanweisung 2006-2011 – Anlage 3 (Stand 11/2005)</p>					
<p>Dieser Ausdruck ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Herausgebers. Als Vervielfältigung gelten z. B. Ausdruck, Fotokopie, Mikroverfilmung, Digitalisierung und Speicherung auf Datenträger.</p>				<p>Erstellt am: 12.07.2005</p>	

Digitalnivelliere höchster Genauigkeit

Instrument	NA 3000/3003	DNA 03	DL 101 C	DiNi 10/11/12 10T/11T/12T	DiNi 0.3
Hersteller	Leica Geosystems Heerbrugg (CH)	Leica Geosystems Heerbrugg (CH)	Topcon Tokyo (J)	Trimble (Zeiss) Jena (D)	Trimble (Zeiss) Jena (D)
Messprinzip	Korrelations- rechnung	Korrelations- rechnung	Fast-Fourier- Transformation	geometrische Methode	geometrische Methode
Fernrohr					
Vergrößerung	24fach	24fach	32fach	32fach	32fach
Objektiv- durchmesser	36 mm	36 mm	45 mm	40 mm	40 mm
Sehfeld optisch	3,5 m/100 m	3,5 m/100 m	2,3 m/100 m	2,2 m/100 m	2,2 m/100 m
Sehfeld elektro- nisch	3,5 m/100 m	1,9–2,5 m/100 m (1,1° - 1,4°)	2,3 m/100 m	0,3 m/100 m	0,3 m/100 m
Messbereich					
Elektronisch	1,8–60 m ¹ 1,8–100 m ²	1,8–60 m ¹ 1,8–110 m ²	2,0–60 m ¹ 2,0–100 m ²	1,5–100 m	1,5–100 m
Visuell	ab 0,6 m	ab 0,6 m	ab 0,5 m	ab 1,3 m	ab 1,3 m
Kompensator					
Bauart	Pendel	Pendel	Pendel	Pendel	Pendel
Dämpfung	Luft (später dann auch magnetisch)	magnetisch	magnetisch	Luft	Luft
Neigungsbereich (Arbeitsbereich)	12'	10'	12'	15'	15'
Einspielgenauig- keit (1σ)	0,4"	0,3"	0,3"	0,2"	0,2"
Höhengenaugigkeit³					
Präzisionsteilung elektronisch	0,4 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,3 mm	0,3 mm
kleinste Anzeige- einheit					
Höhe	0,01 mm	0,01 mm	0,01 mm	0,01 mm	0,01 mm
Entfernung	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Display	2-zeilig	8-zeilig	2-zeilig	4-zeilig	240(B)x160(H) Pixel

Instrument	NA 3000/3003	DNA 03	DL 101 C	DiNi 10/11/12 ff.	DiNi 0.3
Verschiedenes					
Horizontierung	8'2 mm ⁴	8'2 mm ⁴	8'2 mm ⁴	8'2 mm ⁴	8'2 mm ⁴
Messzeit	4 s	3 s	4 s	3 s	3 s
Speicherung	REC-Modul RS-232 (on- line)	PCMCIA- Card Interner Speicher RS-232 (onli- ne)	PCMCIA-Card Interner Speicher RS-232 (online)	PCMCIA-Card Serie 11, 11T, 12, 12T Serie 10, 10T Speicher Me- mE alle Typen: RS-232 (online)	USB-Flash- Drive Interner Speicher
Stromversorgung	NiCd, intern, aufladbar, extern	NiMh, intern, aufladbar, extern	intern, aufladbar	NiMh, intern, 6 V, aufladbar	Lithium-Ionen Batterie, 7,4 V / 2,4 Ah, aufladbar
Arbeitszeit / Bat- terie	8 h	12 h oder 24 h	10 h	3 Tage	3 Tage
Staub-/ Wasser- dicht ⁶		IP53	IP54		IP55
Abmessungen					
Masse	2,5 kg	2,85 kg	2,8 kg	3,0 kg	3,5 kg
Abmessungen	k. A.	240x210x168 mm	237x196x141 mm	125x176x295 mm	155x235x300 mm
Bemerkungen					
Justierverfahren	Förstner	Förstner, Näbauer, (Kukkamäki)	Förstner, Näbauer	Förstner, Näbauer, (Kukkamäki)	Förstner, Näbauer, (Kukkamäki)
Besonderheiten	Median als Messwert Messmodus mit Genau- igkeitsvor- gabe	Median als Messwert Messmodus mit Genau- igkeitsvorgabe	Auslenkung des Kompensa- tors wird bei Messauslösung erfasst und be- rücksichtigt ⁵	Registrierung der Messzeit- punkte	Registrierung der Messzeit- punkte

¹ Präzisionslatte

² Klapp- oder Stecklatte

³ nach DIN 18723

⁴ Dosenlibelle

⁵ Herstellerangabe - E-Mail vom 18.10.2005

⁶ nach DIN 40050 / IEC 60529

k. A.: keine Angaben

Kritische Zielweiten bei Präzisionsdigitalnivellieren

Alle Präzisionsdigitalnivelliere zeigen bei bestimmten Zielweiten signifikante Abweichungen auf, die durch ungünstige Geometrieverhältnisse (Pixelgröße zu Codeelement) begründet sind und den Quantisierungsfehler (vernachlässigbare Rundungen) übersteigen. Hierbei können die auftretenden Instrumentenfehler nicht mehr von denen der Latte getrennt behandelt werden, sondern beide Fehlerkomponenten zusammen erzeugen Höhenfehler, die in Abhängigkeit zu den verwendeten kritischen Zielweiten stehen sowie bei Ablesungen an den beiden Lattenenden auftreten. Die Höhenfehler treten auf, wenn die Größe der auf die Nivellierlatte projizierten Pixel des CCD-Sensors größtmäßig mit einem oder mehreren Codeelementen des jeweiligen Nivellier-Messsystems übereinstimmt. Die Projektionsgröße ist dabei wiederum eine Funktion aus Lattendistanz und Brennweite des Systems. Aufgedeckt wurden diese Unzulänglichkeiten bei Systemkalibrierungen (Ingensand 2005, Staiger und Witte 2005, Woschitz 2003 und 2005, Leica Geosystems 2005, TOPCON 2005, Trimble (Zeiss) 2005).

Nivelliersystem Leica Geosystems

NA 3000 / NA 3003

Die kritische Zielweite beträgt 15,0 m ($\pm 0,1$ m). So treten beim NA 3000 und NA 3003 in einer Lattendistanz von etwa 15 m Höhenfehler mit einer Amplitude von $\pm 0,18$ mm (in einer Codeelement-Periode von 2,025 mm) auf. Der Effekt tritt auch bei 7,5 m und den Vielfachen davon auf, jedoch in wesentlich abgeschwächter Form. Bei 7,5 m und 22,5 m ist der Höhenfehler max. $\pm 0,05$ mm. Bei weiteren Vielfachen treten zwar auch Höhenfehler auf, die allerdings in der Praxis vernachlässigbar sind.

DNA 03 / DNA 10

Die DNA arbeiten mit einem CCD-Sensor mit höherer Auflösung als die NA 3003. Daher haben sich auch die kritischen Zielweiten etwas verschoben. Die kritische Zielweite beträgt hier 26,7 m ($\pm 0,1$ m). So treten beim DNA 03 und DNA 10 in einer Lattendistanz von etwa 26,7 m Höhenfehler mit einer Amplitude von $\pm 0,18$ mm (in einer Codeelement-Periode von 2,025 mm) auf. Der Effekt tritt auch bei 13,4 m und den Vielfachen davon auf, jedoch in wesentlich abgeschwächter Form. Bei 13,4 m und 40,1 m ist der Höhenfehler max. $\pm 0,05$ mm. Bei weiteren Vielfachen treten zwar auch Höhenfehler auf, die allerdings in der Praxis vernachlässigbar sind.

In den Bereichen der oberen und unteren Lattenenden kann es wegen fehlender Codeelemente zu Höhenfehlern von bis zu 0,05 mm kommen; diese Lattenabschnitte sind ebenfalls kritisch (Ingensand 2005 S. 230 u. 231, Staiger und Witte 2005 S. 202, Woschitz 2005 S. 240–242, Leica Geosystems 2005). Der Beobachter erhält in diesen Fällen ab Software-Version 200.4530 (Leica Geosystems 2006) eine Warnung, kann aber immer über die Verwendung des Messwertes im Einzelfall entscheiden.

Empfehlung:

Kritische Messdistanzen sind zu meiden:

NA 3000 / NA 3003: 15,0 m ($\pm 0,1$ m)

DNA 03 / DNA 10: 26,7 m ($\pm 0,1$ m)

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Latten mindestens 30 cm oberhalb vom Lattenfuß bzw. unterhalb vom Lattenende angezielt werden.

Nivelliersystem TOPCON

Bei den TOPCON-Digitalnivellieren DL 101 liegt die kritische Distanz im Übergangsbereich zwischen Nah- und Fernbereich, zwischen etwa 8 m und 10 m, des Weiteren bei 13 m mit systematischen Abweichungen von 0,15 mm. Bei Ablesungen in den Lattenendebereichen betragen die Höhenfehler bis zu 0,34 mm (Ingensand 2005 S. 230 u. 232, Staiger und Witte 2005 S. 202, Woschitz 2005 S. 240 u. 241, TOPCON 2005).

Empfehlung:

Die kritische Messdistanz zwischen 8 m und 10 m sowie 13 m ($\pm 0,2$ m) ist zu meiden, ebenso Ablesungen an den beiden Lattenenden (mindestens 30 cm unterhalb).

Nivelliersystem Trimble (Zeiss)

Die DiNi-Instrumente weisen mehrere ungünstige Messbereiche auf, unter anderem bei Zielweiten von 10 m und 20 m, die allerdings nur Abweichungen von maximal $\pm 0,05$ mm verursachen. Bei 30 m Zielweite geht der Störeffekt schon im Messrauschen unter. Detaillierte Untersuchungen des 10-m-Effektes zeigten, dass die Abweichungen jeweils nur in einem engen Zielbereich von ± 10 mm (!) um eine bestimmte Zielweite auftreten. Damit bestätigt sich, dass mit solchen Effekten nur zu rechnen ist, wenn das 2-cm-Messintervall (= 1 Bit) auf einer ganzzahligen Anzahl von Pixel abgebildet wird. Man kann daher davon ausgehen, dass kritische Zielweiten bei Instrumenten von Trimble (Zeiss) im praktischen Einsatz keine Rolle spielen, solange nicht ständig Messungen mit derselben, auf 10 mm konstanten Zielweite durchgeführt werden.

Die Interpretation der Höhenablesung ist auch vom angezielten Lattenabschnitt abhängig. Beim DiNi wird im Ziellinienbereich nur ein zum Strichkreuz symmetrischer Lattenabschnitt von 30 cm verwendet, was sich gegenüber anderen Instrumenten als Vorteil herausstellt, da auf diese Weise der Bereich bodennaher Refraktion nicht so stark in die Messung eingeht. Der Lattenabschnitt wird um bis zu 15 cm nach oben oder unten verschoben, wenn die symmetrische Ablesung durch Hindernisse gestört ist. Der Messwert kann dann um einen Betrag von 1/100 mm verfälscht sein. Sollte nun dauerhaft eine konstante Zielweite benutzt werden bzw. ein dauerhaftes Messen am Lattenende, so kann es zu einer Verfälschung des Gesamtergebnisses kommen (Ingensand 2005 S. 230 u. 231, Staiger und Witte 2005 S. 202, Trimble (Zeiss) 2005). Die direkte Ablesung an beiden Lattenenden kann Höhenfehler von 0,15 mm verursachen (Woschitz 2005 S. 241).

Die Messwerterfassung ist in den Software-Versionen 2.30 und 3.40 identisch; in der Version 3.40 werden zusätzlich zum unteren Lattenende auch das obere Lattenende und die Symmetrie des 30-cm-Lattenabschnitts geprüft. Der Beobachter erhält in diesen Fällen eine Warnung, kann aber immer über die Verwendung des Messwertes im Einzelfall entscheiden (Staiger und Witte 2005 S. 202, Trimble (Zeiss) 2005).

Empfehlung:

Es ist stets die aktuelle Software-Version der Digitalnivelliere von Trimble (Zeiss) zu verwenden (2.30-10, 10T; 3.40 oder höher -11, 11T, 12, 12T). Das DINI 10 enthält nicht die automatischen Prüfungen, deshalb muss bei diesem Gerät auf die Kontrollen (oberes Lattenende und 30-cm-Abschnitt) selbst geachtet werden.

Es sind wiederholte Ablesungen bei konstanter Zielweite (± 10 mm) zu meiden, desgleichen Ablesungen an den beiden Lattenenden (mindestens 15 bis 17 cm unterhalb - damit wird ein voller 30 cm-Bereich erreicht).

Literatur

Ingensand, H.: Die Entwicklung von Digitalnivellieren und Codelatten. AVN, 2005, Heft 6, S. 229–232.

Leica Geosystems: Firmenmitteilung vom 04. und 07.11.2005 (E-Mail).

Leica Geosystems: Leica DNA03/DNA10 Gebrauchsanweisung, Leica Geosystems, Schweiz 2006.

Staiger, R., Witte, B.: Zur Bedeutung der Prüfung von Präzisionsnivellierlatten für die Praxis. AVN, 2005, Heft 6, S. 200–203.

Woschitz, H.: System Calibration of Digital Levels: Calibration Facilities Procedures and Results, TU Graz, Shaker-Verlag, Aachen 2003.

Woschitz, H.: Systemkalibrierung: Effekte von digitalen Nivelliersystemen. AVN, 2005, Heft 6, S. 239–244.

TOPCON: Firmenmitteilung vom 18.10.2005 (E-Mail).

Trimble (Zeiss): Firmenmitteilung vom 21. und 25.10.2005 (E-Mail).

Auflistung und Erläuterung von Inhalt und Struktur der zu erfassenden Headerdaten (Kopfdaten)

Headersatznr.		Headersatzstruktur						S	Headersatz/Headersatzsegment
0	1	A	A	B	B	C	C		Arbeitsnummer
		0	6					A	Jahr
				0	2			B	Landeskennung
						1	2	C	Unternummer
0	2	A	A	B	B	C	C		Datum
		2	8					A	Tag
				0	4			B	Monat
						0	6	C	Jahr
0	3	A	A	A	B	B	B		Liniennummer
		0	1	2				A	Punktnummer Anfangspunkt der Linie
					1	4	3	B	Punktnummer Endpunkt der Linie
0	4	A	A	A	A	B	C		Instrument
		0	2	3	0			A	Instrumentenschlüssel
						3		B	Besonderheiten
							2	C	Lattenuntersatz
0	5	A	B	C	C	C	C		Latten
		1						A	Lattenstandpunkt
			1					B	Lattenmerkmal
				0	4	2	0	C	Lattenpaarschlüssel

Headersatznr.		Headersatzstruktur						S	Headersatz/Headersatzsegment		
0	6	A	B	C	C	C	C		Genauigkeit / Ablesefolge / Beob.		
		1						A	Messgenauigkeit		
			1						B	Ablesefolge	
				0	0	5	7	C	Beobachterschlüssel		
0	7	A	A	B	B	C	D		Meteorologie		
		1	2						A	Lattentemperatur	
				0	5					B	Bedeckungsgrad
							1		C	Wind	
								1	D	Luftfeuchte	
0	8	A	A	A	A	B	C		Anfangspunkt (NB,PA) / Verkehr		
		4	7	1	1				A	TK25-Anfangspunkt	
						9		B	Punktart Anfangspunkt		
							3	C	Verkehrsaufkommen		
0	9	A	A	A	A	B	C		Endpunkt (NB,PA) / Boden		
		4	7	1	2				A	TK25-Endpunkt	
						9		B	Punktart Endpunkt		
							2	C	Bodenfestigkeit		
1	0	A	A	A	A	A	B		Punktnummer Anfangspunkt		
		0	0	0	1	2				A	Punktnummer Anfangspunkt
							1	B	Punktunternummer Anfangspunkt		

Headersatznr.		Headersatzstruktur						S	Headersatz/Headersatzsegment	
1	1	A	A	A	A	A	B		Punktnummer Endpunkt	
		0	1	0	4	5		A	Punktnummer Endpunkt	
								1	B	Punktunternummer Endpunkt
1	2	A	B	C	C	C	C		Messvorgang / Uhrzeit	
		1						A	Kennung I Hin-/Rückmessung	
			2						B	Kennung II Art der Messung
				1	0	4	5	C	Zeit (MEZ bzw. MESZ) zu Beginn der Messung	

Erläuterungen

S Segment des Headersatzes

Die Inhalte der grünen Felder sind nach den Vorgaben der Schlüsseldatei anzugeben, sie werden durch die Fachprogramme langschriftlich ausgegeben.

Der Inhalt der Schlüsseldatei zur Wiederholungsmessung des DHHN 2006-2011 wird von den Rechenstellen in Absprache mit den Bundesländern einheitlich vorgehalten.

1 Zahlenbeispiel für ein Headersatzsegment.

Um die Nivellementsergebnisse aller Bundesländer einheitlich auswerten zu können, werden die zu erfassenden numerischen Elemente der Headerdaten (Kopfdaten) beschrieben. Es ist nicht nur das Austauschformat der Messungsdaten festgelegt, sondern auch eine Reihe von Elementen angegeben, die zusätzlich zu den Nivellementsdaten erfasst werden sollen, z. B. Uhrzeit, Temperatur, Wind, Bewölkung, Bodenbelag, Nummern des Instruments und der Latten. Diese Angaben sollen die Berechnung von Korrekturen (z. B. Refraktionskorrekturen) und Reduktionen, verschiedenartige Auswertungen sowie Aussagen über Ursachen systematischer Messabweichungen und Messunsicherheiten ermöglichen.

Die zu einer Nivellementsstrecke zu erfassenden Elemente (Verwaltungsdaten) werden als **Headerdaten** bezeichnet.

Die Gesamtheit der Headerdaten besteht aus so genannten **Headersätzen**.

Ein Headersatz ist 8 Byte lang beginnend mit 2-stelliger **Headersatznummer** und weiteren 2 bis 4 **Headersatzsegmenten**.

Ein Headersatzsegment besteht aus einem 1 bis 6 Byte großen numerischen Feld und beinhaltet Daten, die entweder

a) selbsterklärend sind, wie z. B.

- Arbeitsnummer
- Datum
- Temperatur
- ... etc.

oder

b) in einer Schlüsseltable kodiert sind, wie z. B.

- Beobachter
- Dienststelle
- Instrument
- Latten
- ... etc.

Erläuterung der Messpraxis im Nivellementsnetz 1. Ordnung am Beispiel Nordrhein-Westfalen:

a) Messdaten

- jede Ablesung erhält in der Zwischenauswertung, je nach eingesetzter Nivelliertechnik, eine Korrektur des mittleren Lattenmeters bzw. eine Teilstrichkorrektur, d. h. es werden nur individuell kalibrierte Präzisionsnivellierlatten eingesetzt
- jede Ablesung wird temperaturkorrigiert (Lattentemperatur)

Deshalb sind alle Messwerte in digitaler Form für die Auswertungen bereitzustellen.

b) Headerdaten

Bei der Auswertung von Präzisionsnivellements müssen Headerdaten erfasst werden, die einerseits die verwaltungsmäßige Führung eines lückenlosen Nachweises ermöglichen, andererseits die notwendigen Parameter für Korrekturen und Reduktionen liefern. Bei der Entwicklung des Programms VRONI (Vorverarbeitung von rohen Nivellementsdaten, Modul des Programmsystems HÖHE) wurden die von der AdV für die Kampagne DHHN 80–85 festgelegten Headerdatenelemente als Berechnungs- und Verfahrensgrundlage festgelegt. Durch die Einführung der Digitalnivelliere entfielen einige dieser Elemente, andere mussten aufgrund von Mengenproblemen höher dimensioniert bzw. anders strukturiert werden. Im Grunde genommen wurden allerdings nahezu alle in der Kampagne DHHN 80-85 geforderten Headerdatenelemente in das Programmsystem HÖHE integriert.

Gegenüberstellung: Beaufort-Skala - Winderfassung für Header 07C

Windstärke Beaufort- Skala	Geschwin- digkeit [m/s]	Bezeichnung	Beschreibung	Header 07C	Beschrei- bung
0	0,0 ... 0,5	Windstille	Rauch steigt gerade empor	1	windstill
1	0,6 ... 1,7	leichter Zug	Rauch steigt fast gerade empor	2	schwach
2	1,8 ... 3,3	leichte Brise	Für das Gefühl eben bemerkbar		
3	3,4 ... 5,2	schwache Brise	Bewegt Blätter der Bäume und Wimpel		
4	5,3 ... 7,4	mäßige Brise	Bewegt kleine Zweige der Bäume, streckt einen Wimpel	3	mittel
5	7,5 ... 9,8	frische Brise	Bewegt größere Zweige der Bäume, für das Gefühl schon unangenehm		
6	9,9 ... 12,4	starker Wind	Hörbar an Häuserecken und anderen festen Gegenständen	4	stark
7	12,5 ... 15,2	steifer Wind	Bewegt schwächere Baumstämme, Wasserwellen haben Schaumköpfe	X	X
8	15,3 ... 18,2	stürmischer Wind	Ganze Bäume werden bewegt, ein gegen den Wind schreitender Mann wird aufgehalten		
9	18,3 ... 21,5	Sturm	Leichtere Gegenstände, wie Dachziegel, werden aus ihrer Lage gebracht		
10	21,6 ... 25,1	schwerer Sturm	Bäume werden umgeworfen		
11	25,2 ... 29,0	orkanartiger Sturm	Zerstörende Wirkungen schwerer Art		
12	über 29	Orkan	Verwüstende Wirkung		

Umsetzung im Headersatz 07, Meteorologie C) Wind

- 1= windstill (Windgeschwindigkeit von 0,0 bis 0,5 m/s)
- 2= schwach (Windgeschwindigkeit von 0,6 bis 5,2 m/s)
- 3= mittel (Windgeschwindigkeit von 5,3 bis 9,8 m/s)
- 4= stark (Windgeschwindigkeit von 9,9 bis 12,4 m/s)

Quelle

Mdl: Instruktion für das Nivellement I. u. II. Ordnung. Ministerium des Innern der DDR, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen, Berlin, 1974, 2. Aufl., Anlage 37.

Verschlüsselung Luftfeuchte (Niederschlagsneigung) für Header 07D

Schlüsselzahl	Bezeichnung	Niederschlagsneigung
1	trocken	kein Niederschlag
2	feucht	Nieselregen
3	Nebel	Nebel
4	Regen	dickere Regentropfen

Verschlüsselung Verkehrsaufkommen für Header 08C

Schlüsselzahl	Erläuterung	Fahrzeuge pro min	1 Fahrzeug pro xx s
1	kein Verkehr	0	0
2	wenig Verkehr	1-5	60-12
3	mittlerer Verkehr	6-20	10-3
4	starker Verkehr	> 20	< 3

Befinden sich Kfz, Instrument und Latten auf dem gleichen Fahrbahnuntergrund, so gelten die unreduzierten Werte der Skala von 1-4.

Befinden sich Instrument und Latten (überwiegend) auf einem vom Kfz-Verkehr getrennten Weg (Radweg, Nebenstraße, ...) in der Nähe einer verkehrsbelasteten Straße, so sind die Angaben gegebenenfalls gemäß der folgenden Skala zu reduzieren:

Abstand von Straße	Reduzierungsstufen	Header 08C zum Beispiel
bis 3 m	1	von 4 auf 3
> 3 m bis 10 m	2	von 4 auf 2
> 10 m bis 20 m	3	von 4 auf 1

Verschlüsselung Bodenfestigkeit für Header 09C

Schlüsselzahl	Erläuterung
1	Asphalt weich
2	Asphalt hart
3	Beton
4	Plattenbelag
5	Kopfsteinpflaster
6	Splittbelag
7	gewachsener Boden
8	Sonstiges

Verschlüsselung Kennung I Hin-/Rückmessung für Header 12A

Schlüsselzahl	Erläuterung
1	Hinmessung
2	Rückmessung
3	Hinmessung (Stichstrecke)
4	Rückmessung (Stichstrecke)
9	Abbruch der Messung

Verschlüsselung Kennung II Art der Messung für Header 12B

1 – Wiederholungsmessung

Die Messart wird verwendet, wenn die Nivellementsstrecke bei der letzten Wiederholungsmessung des DHHN bzw. SNN nivelliert wurde und diese in die Gesamtausgleichung des DHHN 2006–2011 als Linienmessung eingehen soll.

2 – Neumessung

Die Messart wird verwendet werden, wenn die Nivellementsstrecke erstmalig im DHHN 2006–2011 nivelliert wird und diese in die Gesamtausgleichung des DHHN 2006–2011 als Linienmessung eingehen soll.

3 – Überschlagsmessung

Die Messart wird verwendet, wenn die Nivellementsstrecke zur Überprüfung des Knotenpunktes oder eines Linienanschlusspunktes, an dem nach Unterbrechung oder Ausrüstungswechsel die Linienmessung fortgesetzt wird, dient. Die Nivellementsstrecke wird für die Datenauswertung verwendet, geht aber nicht in die Gesamtausgleichung ein.

4 – wird nicht belegt

5 – Kontrollmessung

Die Messart wird verwendet, wenn die Nivellementsstrecke zur Überprüfung eines Nivellements punktes oder einer Punktgruppe dient und nicht unmittelbar zur DHHN-Linie gehört. Durch Kontrollmessungen werden Orts- und Kleinstschleifen gebildet, mit denen Linienteile zusätzlich durch die Schleifenschlussprüfung abgesichert werden. Die Kontrollmessungen gehen nicht in die Gesamtausgleichung ein.

6 – Wiederholungsmessung im Nachbarland

Die Messart wird verwendet, wenn die Bedingungen der Messart '1' erfüllt sind und die Nivellementsstrecke im Nachbarland der Messstelle liegt.

7 – Neumessung im Nachbarland

Die Messart wird verwendet, wenn die Bedingungen der Messart '2' erfüllt sind und die Nivellementsstrecke im Nachbarland der Messstelle liegt.

8 – Kontrollmessung im Nachbarland

Die Messart wird verwendet, wenn die Bedingungen der Messart '5' erfüllt sind und die Nivellementsstrecke im Nachbarland der Messstelle liegt.

9 – Sonstige Messung

Die Messart wird verwendet, wenn die Bedingungen der Messarten '0' bis '8' nicht erfüllt sind.

0 – Überschlagsmessung im Nachbarland

Die Messart wird verwendet, wenn die Bedingungen der Messart '3' erfüllt sind und die Nivellementsstrecke im Nachbarland der Messstelle liegt.

Die Verwendung der Messarten 6, 7, 8 und 0 hängt in der Regel von der Festlegung des gemeinsamen Anschlusspunktes ab. Dieser kann, muss aber nicht der Grenzübergangspunkt (Landesgrenze) zwischen zwei Bundesländern sein. Bei der Auswahl des Anschlusspunktes sollte besonders die Höhenbeständigkeit des HFP ausschlaggebend sein.

Siehe auch Beispiele im Anhang 4.

Kalibrierung der Präzisionsnivellierlatten

1. Bestimmung des mittleren Lattenmeters

In der **Nivellement-Feldanweisung 2006–2011** ist zur Teilungsgenauigkeit unter Abschnitt II Nr. 2 festgelegt:

„Alle Präzisionsnivellierlatten müssen der DIN 18717 entsprechen (DIN 1996). Für sie sind jährlich das mittlere Lattenmeter m_0 (im mittleren Brennspurbereich der Barcodierung) ... zu bestimmen ...“

Die **DIN 18717 „Präzisions-Nivellierlatten“** (November 1996) normiert u. a. Fertigungsanforderungen für Nivellierlatten, wobei die Form D der Latte einer Barcode-Teilung entspricht. Zur Teilungsgenauigkeit heißt es dort unter Nr. 6:

„Bei der Form D für elektronische Nivelliere ist der Teilungsträger mit einer codierten nicht bezifferten Teilung zu versehen. Diese Code-Teilung kann nur mit einem dazugehörigen elektronischen Nivellier benutzt werden. Für Präzisions-Nivellierlatten der Form D gelten die für die Präzisions-Nivellierlatten der Formen A und B aufgestellten Genauigkeitsanforderungen sinngemäß.“

Für die analogen Formen A und B (bezifferte Strichlatten) lauten die Genauigkeitsanforderungen in Nr. 6 wie folgt:

„Die Grenzabweichung darf bei 20° C für einen beliebigen Teilungsabschnitt den Wert nach Gleichung (2) nicht überschreiten:

$$\Delta l = \pm (0,02 + 2l \cdot 10^{-5}) \quad (2)$$

dabei ist:

Δl Grenzabmaß in mm,
 l Länge der Nivellierlatte in mm.“

Somit beträgt für eine 3 m (3000 mm) lange Nivellierlatte das Grenzabmaß maximal

$$\begin{aligned} \Delta l(3 \text{ m}) &= \pm (0,02 \text{ mm} + 2 \cdot 3000 \text{ mm} \cdot 10^{-5}) = \\ &= \pm (0,02 \text{ mm} + 0,06 \text{ mm}) = \\ &= \pm \mathbf{0,08 \text{ mm}}; \text{ dies entspricht } 0,08 \text{ mm}/3000 \text{ mm} = \mathbf{26,7 \text{ ppm}}. \end{aligned}$$

Der konstante Term von 0,02 mm (bzw. 20 ppm) berücksichtigt die Fertigungsgenauigkeit der einzelnen Codebalken der Teilungsform D einer Digitalnivellierlatte. Der längenabhängige Term kann bei einer 3 m langen Nivellierlatte Werte zwischen 0 μm und 60 μm annehmen; er berücksichtigt die Fehleranteile aus Spannung und Ausdehnung des Teilungsträgers (Invarband).

Nach Aussage der Firma Nedo GmbH in Dornstetten (Nedo 2006), die Hersteller aller marktgängigen Digitalpräzisionsnivellierlatten ist, liegt für ihre Code-Teilung der Form D die Fertigungstoleranz bei maximal ± 20 ppm, typisch bei ± 10 ppm; sie erfüllt also die Anforderung nach DIN 18717.

Kalibrieranweisung:

Die Kalibrierstellen untersuchen auf einem Vertikalkomparator in Hin- und Rückmessung die Lage aller Codebalken im mittleren Brennspeurbereich der Barcodierung (zweite bis vierte Spur) mit einer Präzision von 1 ppm bis 2 ppm. Aus den Soll-Ist-Vergleichen werden Längenverbesserungen der Einzelcodebalken erhalten, die auf eine Regressionsgerade bezogen sind.

Die Steigung dieser Geraden ist das **mittlere Lattenmeter** m_0 bei der zum Zeitpunkt der Messung herrschenden Temperatur T_0 . Das Lattenmeter darf nach DIN 18717 eine Grenzabweichung nach Formel (2) von ± 20 ppm nicht überschreiten. Die **Längenverbesserungen** der Einzelcodebalken sind in tabellarischer Form schriftlich und digital nachweisbar.

2. Kalibrierung einzelner Brennspeuren

Die Nivellement-Feldanweisung 2006–2011 geht davon aus, dass die Kalibrierung einer Digitalnivellierlatte sich auf die Mitte des Codebalkens bezieht. Bei der Herstellung der Nivellierlatten werden fünf Brennspeuren von ca. 6 mm Breite auf den 25 mm breiten Invarträger geschossen. Die fünf Brennspeuren überlappen sich um ca. 1 mm, so dass die einzelne mittlere Brennspur mit nur ca. 3 mm Breite sichtbar ist. Bei einer getrennten Betrachtung der einzelnen Brennspeuren muss dafür Sorge getragen werden, den Überlappungsbereich links und rechts der Brennspur sicher auszuschließen. Alternativ zur Bestimmung nur innerhalb der dritten (mittleren) Brennspur, bietet sich die Maßstabsbestimmung über die drei mittleren Brennspeuren (zweite bis vierte Spur) oder sogar über alle fünf sichtbaren Brennspeuren jeweils in Bezug zur mittleren, dritten Spur (Codebalkenmitte) an.

Nach Aussage der Firmen Trimble (Zeiss) (2006), Leica Geosystems (2006) und TOPCON (2006) betrifft die Pixelgröße der CCD-Zeile in Abhängigkeit von der Brennweite des Nivellierfernrohrs und bezogen auf eine Zielweite von 30 m einen horizontalen Lattenausschnitt von lediglich 1,5 mm bei DiNi-Instrumenten von Trimble (Zeiss), 2,27 mm bei DNA-Instrumenten von Leica und 1,45 mm bei DL-Instrumenten von TOPCON. Theoretisch wäre also immer die mittlere Spur ansprechbar. Da die Breite einer Brennspur ohne Überlappungsbereich jedoch nur ca. 3 mm beträgt, ist während der praktischen Durchführung eines Nivellements im Felde die Einhaltung nur der mittleren Spur nicht gesichert.

Der insgesamt 25 mm breite Teilungsträger (Invarband mit fünf Brennspeuren zu je 6 mm abzüglich der vier Überlappungsbereiche sowie eines Randstücks) ist nach DIN 18717 nur zu 22 mm sichtbar, d. h. 3 mm des Teilungsbildes sind rechts und links durch das Gehäuse des Teilungsträgers verdeckt. Weitergehende Aussagen zur Befestigung des Teilungsträgers kennt die DIN 18717 nicht. Somit entfallen Einzelkalibrierungen der Randspuren 1 und 5.

Aufgrund des Fertigungsverfahrens der Teilungen können die einzelnen Brennspuren voneinander abweichende mittlere Lattenmeter aufweisen. Nach Aussage der Firma Nedo (2006) kann diese Streuung bis zu 10 ppm betragen. Wenngleich diese Invarlatten die Forderungen der DIN 18717 erfüllen, hat sich Nedo dazu bereit erklärt, Teilungsträger ab einem Produktionsdatum 2005 auszutauschen, falls die erläuterte Streuung größer als 10 ppm sein sollte.

Kalibrieranweisung:

Die Kalibrierstellen untersuchen auf einem Vertikalkomparator in Hin- und Rückmessung die Lage aller Codebalken im mittleren Brennspurbereich, separat für die zweite, dritte und vierte Spur, mit einer Präzision von 1 ppm bis 2 ppm. Die mittleren Lattenmeter der einzelnen Brennspuren sollen weniger als 10 ppm differieren. Die **Abweichungen der einzelnen Brennspuren** sind für einen beliebigen Codebalken und für das mittlere Lattenmeter in tabellarischer Form schriftlich und digital nachweisbar.

3. Prüfzertifikate

Die Prüfzertifikate der Kalibrierstellen weisen folgende Informationen aus:

- Das mittlere Lattenmeter m_0 für den mittleren Brennspurbereich (zweite bis vierte Spur) und seine Standardabweichung S_m .
- Die Streuung der Lattenmeter m_2 , m_3 und m_4 der einzelnen Brennspuren zwei, drei und vier.
- Ein Hinweis, ob die Präzisionsnivellierlatte die Forderungen der DIN 18717 und dieser Feldanweisung erfüllen.

Jede Präzisionsnivellierlatte, deren Abweichungen bezogen auf das mittlere Lattenmeter kleiner 20 ppm betragen und deren einzelne Brennspuren (zwei bis vier) eine Lattenmeter-Streuung von weniger als 10 ppm aufweisen, gilt als normgerecht nach DIN 18717 und ist für den Einsatz im DHHN 2006-2011 geeignet, vorbehaltlich anderweitiger Prüfkriterien.

4. Kennzeichnung der Präzisions-Nivellierlatten

Präzisionsnivellierlatten, die der DIN 18717 entsprechen, dürfen auf der Rückseite mit „DIN 18717“ gekennzeichnet werden. Sie müssen mit einer Seriennummer, dem Namen des Herstellers und des Eigners versehen sein.

Literatur

DIN: DIN 18717, Ausgabe 1996-11: Präzisions-Nivellierlatten. DIN e. V., Berlin 1996.

Foppe, K., P. Wasmeier, T. Wunderlich: Erfahrungen aus nahezu 25 Jahren Nivellierlattenprüfungen an der TUM. AVN, 2005, Heft 6, S. 213–220.

Leica Geosystems: Firmenmitteilung vom 06.04.2006 (E-Mail).

Nedo: Firmenmitteilung vom 06.04.2006 (E-Mail).

TOPCON: Firmenmitteilung vom 04.05.2006 (E-Mail).

Trimble (Zeiss): Firmenmitteilung vom 24.03.2006 (E-Mail).

Schauerte, W., Heister, H.: Der Ringversuch 2003/2004 zur Kalibrierung von Präzisionsnivellieren. AVN, 2005, Heft 6, S. 221–228.

Staiger, R., Witte, B.: Zur Bedeutung der Prüfung von Präzisionsnivellierlatten für die Praxis. AVN, 2005, Heft 6, S. 200–203.

Magnetfelduntersuchung der Nivellierinstrumente

1. Einfluss des Erdmagnetfeldes

Die systematische Auslenkung der Ziellinie eines Digitalnivelliers durch magnetische Felder, insbesondere das Erdmagnetfeld, wird heute durch die Hersteller dadurch klein gehalten, dass im Kompensatorbereich und am Kompensator selbst keine ferromagnetischen Materialien verwendet werden. Zur Untersuchung von Restfehlern durch Magnetfeldeinwirkungen ist in der **Nivellement-Feldanweisung 2006–2011** unter Abschnitt IV Nr. 2 festgelegt:

„Die Unempfindlichkeit eines Digitalnivelliers gegenüber dem Erdmagnetfeld ist einmal entweder durch Laboruntersuchungen oder durch einen zertifizierten Herstellernachweis zu belegen. Die zulässige Abweichung $Z_M = 0,0064$ mgon (= 0,0207" bzw. 0,1 mm/km) darf nicht überschritten werden ...“

2. Kalibrieranweisung zur Untersuchung des Einflusses magnetischer Gleich- und Wechselfelder auf Digitalnivelliere

2.1 Untersuchung des Einflusses magnetischer Gleichfelder

Die Kalibrierstellen untersuchen den Einfluss magnetischer Gleichfelder auf den Kompensator des Digitalnivelliers mittels Helmholtz-Spule im Labor. Das Instrument wird einem Magnetfeld von kleiner 0,2 mT (Millitesla) ausgesetzt. Das entspricht einem Wert von etwa dem 10-fachen der Horizontalintensität des Erdmagnetfeldes von ca. 0,02 mT für Deutschland (Linthe 2007). Die Messungen erfolgen bei Zielweiten kleiner 30 m mit jeweils zwei unterschiedlich orientierten Magnetfeldeinrichtungen, die dem realen Erdmagnetfeld in Nord-Süd- bzw. in Süd-Nord-Messrichtung entsprechen. Die Einzelmessungen sind tabellarisch im Prüfzertifikat nachzuweisen. Die Zielachsablenkung d_a darf die zulässige Abweichung von Z_M nicht überschreiten.

2.2 Untersuchung des Einflusses magnetischer Wechselfelder

In der Örtlichkeit treten magnetische Wechselfelder in der Nähe von Starkstromleitungen, Oberleitungen, elektrifizierter Bahnlinien, Transformatoren, Windkraftanlagen, Generatoren usw. auf. Die Kalibrierstellen untersuchen den Einfluss magnetischer Wechselfelder auf den Kompensator des Digitalnivelliers mittels Helmholtz-Spule im Labor. Das Instrument wird einem magnetischen Wechselfeld von kleiner 0,2 mT mit einer Frequenz von 50 Hz ausgesetzt. Die Einzelmessungen sind tabellarisch im Prüfzertifikat nachzuweisen. Die Zielachsablenkung d_a darf die zulässige Abweichung von Z_M nicht überschreiten. Nach der Untersuchung ist das Instrument zu entmagnetisieren, indem man das Magnetfeld auf den einfachen Wert zurückführt.

3. Prüfzertifikat

Die Prüfzertifikate der Kalibrierstellen weisen folgende Informationen aus:

- Der ermittelte Einfluss d_a des magnetischen Gleich- und Wechselfeldes auf das Digitalnivellier.

- Eine Aussage, ob eine signifikante Abweichung vorliegt oder nicht und ob das Nivellier die Forderung der Nivellement-Feldanweisung 2006–2011 erfüllt.

Literatur

Geßler, J.: Der Einfluß des Erdmagnetfeldes auf die verwendeten automatischen Präzisionsnivelliere. In: AdV (Hg.), Die Wiederholungsmessungen 1980 bis 1985 im Deutschen Haupthöhennetz und das Haupthöhennetz 1985 der Bundesrepublik Deutschland, Druck: Bayerisches Landesvermessungsamt, München 1993, S. 61–70.

Linthe, H.-J.: Persönliche Mitteilung vom 22.03.2007 (E-Mail), GfZ Potsdam, Observatorium Niemegk, Brandenburg.

Noack, G.: Untersuchung systematischer Ziellinienveränderungen des Präzisionskompensatornivelliers NI002 des VEB Carl Zeiss Jena in magnetischen Gleich- und Wechselfeldern. Autorreferat am 08.02.1984 zur verteidigten Diplomarbeit. Vermessungstechnik (VT), 33. Jg., 1985, Heft 3.

Noack, G.: Nivellements unter 280-kV-Hochspannungsfreileitungen. Vermessungstechnik (VT), 35. Jg., 1987, Heft 12.

Noack, G.: Einflüsse elektrischer und magnetischer Felder auf das Präzisionsnivellement. Autorreferat zur genehmigten Dissertation am 17.02.1987. Vermessungstechnik (VT), 36. Jg., 1988, Heft 1.

Schauerte, W.: Anwendung geodätischer Messtechniken am Beispiel der Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA) der Universität Bonn. Dissertation Bonn 1989, hier insb. Abschnitt 6 Auswirkungen von Magnetfeldeinflüssen auf Kompensatoren geodätischer Meßgeräte, S. 62–91.