

**Feldanweisung
für
Präzisionsnivellements
im
Deutschen Haupthöhennetz (DHHN)**

**Feldanweisung Präzisionsnivellement
(FA-PN)**

4. überarbeitete Fassung vom 01.06.2022



Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen
der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Vorbemerkung	6
I. Netzentwurf, Linienverlauf und Punktfestlegung	7
1. Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen.....	7
2. Änderungen des Linienverlaufs	7
3. Anmessung von vorhandenen Höhenfestpunkten.....	7
4. Erhaltung von Nivellementslinien	7
5. Vermarkung	8
6. Höhenfestpunkt-Beschreibung	8
II. Messausrüstung	9
1. Nivellierinstrumente	9
2. Nivellierlatten	9
3. Lattenuntersätze und Lattenfußadapter	9
4. Instrumentenstative	10
5. Personal	10
III. Einflüsse auf den Messvorgang - Eliminierung und Berücksichtigung	11
IV. Messungen	18
1. Arbeitsplanung.....	18
2. Prüfung und Überwachung der Ausrüstung vor und während der Messung.....	18
3. Zielweiten.....	19
4. Durchführung der Messung	19
V. Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen	22
1. Ablesegenauigkeit	22
2. Genauigkeit des Nivellements	22
2.1 Zulässige Abweichungen	22
2.2 Standardabweichung.....	24
VI. Strom- und Talübergangsmessungen	25
VII. Verkehrssicherung	25
VIII. Reduktionen	25
1. Gezeitenreduktion	25
2. Normalhöhenreduktion	26
IX. Automationsgerechte Datenerfassung	26
X. Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen	27
1. Knotenpunkt- und Linienbezeichnungen in der bundesweiten Messkampagne für das DHHN2016.....	27
2. Bezeichnungen und Abkürzungen.....	27

XI. Literatur	28
1. Zitierte Literatur	28
2. Weitere Fachliteratur	30
Anlage A: Netzkonfiguration des DHHN2016	32
Anlage B: AFIS®-HFP-Beschreibung (Beispiel)	35
Anlage C: Kalibrierung der Präzisionsnivellierlatten	36
Anlage D: Lattenuntersätze und Lattenfußadapter	44
Anlage E: Magnetfelduntersuchung der Nivellierinstrumente	49
Anlage F: Kritische Zielweiten bei Präzisionsdigitalnivellieren	51
Anlage G: Empfohlene Ablesefolgen	54
Anlage H: Beobachtungsschema	57
Anlage I: Handhabung der zulässigen Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung ZA	59
Anlage J: Auflistung und Erläuterung von Inhalt und Struktur der zu erfassenden Headerdaten (Kopfdaten)	63

Abbildungsverzeichnis

Abb. A-1: Netzbild des DHHN2016 nach Abschluss der bundesweiten Messkampagne	32
Abb. A-2: Netzbild DHHN2016 mit GNSS-Boden- und Referenzstationspunkten (IGS, EPN, GREF, SAPOS®), Stand 2014	34
Abb. B-1: Beispiel AFIS®-HFP-Beschreibung	35
Abb. C-1: Zulässige Abweichung ΔI der Skalenklassifizierung A.....	37
Abb. D-1: Frosch Schweizer Bauart.....	44
Abb. D-2: Schwerer Frosch mit Tragegriff	45
Abb. D-3: Fuß des schweren Frosches mit Rändelprofil	45
Abb. D-4: Nivellierlatte mit breiter Aufsatzfläche, Lattenschuh und schwerem Frosch	46
Abb. D-5: Bodenbolzen und Schlagkappe.....	47
Abb. D-6: Lattenfußadapter – Variante 1	48
Abb. D-7: Lattenfußadapter – Variante 2.....	48
Abb. F-1: Manuelle Auswahl des Lattentyps bei LS 10 und LS 15	52
Abb. G-1: Prinzipskizze Förstner -Verfahren.....	54
Abb. G-2: Prinzipskizze Verfahren "Rote Hose"	55
Abb. H-1: Verbindung von Linienabschnitten	57
Abb. H-2: Messweg bei seitwärts liegenden Festpunkten	58
Abb. H-3: In die Ausgleichung eingehende Höhenunterschiede	58

Abb. J-1: Überschlagsmessung am Knotenpunkt	71
Abb. J-2: Überschlagsmessung bei Messungsunterbrechung	72
Abb. J-3: Kontrollschleife	73
Abb. J-4: Überschlagsmessung und Kontrollschleife am Knotenpunkt	74
Abb. J-5: Grenzübergangsmessung	75
Abb. J-6: Überschlagsmessung und Kontrollschleife am Knotenpunkt im Nachbarland	76

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Instrumentenbezogene Einflüsse	11
Tab. 2: Nivellierlattenbezogene Einflüsse	13
Tab. 3: Äußere Einflüsse	15
Tab. 4: Empfohlene Ablesefolgen	20
Tab. A-1: Anteil der nivellierten Linienlängen und Anzahl an GNSS-Punkten pro Bundesland	33
Tab. C-1: Klassifizierung von Invarbändern nach DIN ISO 12858-1	36
Tab. C-2: Skalenklassifizierung (Klassifizierung der Teilung) nach DIN ISO 12858-1	36
Tab. I-1: Beispiel 1a - Grob fehlerhafte Messung	59
Tab. I-2: Beispiel 1b - Systematische Abweichung in der Erstmessung	60
Tab. I-3: Beispiel 2 - Systematische Abweichung in der Erst- und Nachmessung	61
Tab. I-4: Beispiel 3 - Systematische Abweichung in der Erst- und Nachmessung mit weiterem Handlungsbedarf	62
Tab. J-1: Inhalt und Struktur der Headerdaten	63
Tab. J-2: Verschlüsselung Besonderheiten für Header 04B	66
Tab. J-3: Verschlüsselung Lattenuntersatz für Header 04C	66
Tab. J-4: Verschlüsselung Ablesefolge für Header 06B	67
Tab. J-5: Gegenüberstellung: Beaufort-Skala - Winderfassung für Header 07C	67
Tab. J-6: Verschlüsselung Luftfeuchte (Niederschlagsneigung) für Header 07D	68
Tab. J-7: Verschlüsselung Verkehrsaufkommen für Header 08C	68
Tab. J-8: Reduzierung der Schlüsselzahl für das Verkehrsaufkommen bei Messungen abseits der Straße	68
Tab. J-9: Verschlüsselung Untergrund-/Oberflächenbeschaffenheit für Header 09C	69
Tab. J-10: Verschlüsselung Kennung I Hin-/Rückmessung für Header 12A.....	69

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AFIS®	Amtliches Festpunkt-Informationssystem
AVN	Allgemeine Vermessungs-Nachrichten
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
DHHN2016	Deutsches Haupthöhennetz 2016 (ebenso 1912, 1985, 1992)
DHSN2016	Deutsches Hauptschwerenetz 2016 (ebenso 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
Rili-RB-AdV	Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland
RSA	Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
SAPOS®	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
SNN 56	Staatliches Nivellementsnetz 1956 (ebenso 1976)
UELN	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

Die Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (Rili-RB-AdV) definiert Höhenfestpunkte (HFP) 1. Ordnung als Teil des bundeseinheitlichen integrierten geodätischen Festpunktfeldes und legt Anforderungen an deren Vermarkung, Bestimmung der geodätischen Bezugsgrößen und deren Genauigkeit, Erhaltung, Pflege, Überwachung und Überprüfung fest. Der Bezugsrahmen für den amtlichen physikalischen Höhenbezug in Deutschland ist das Deutsche Haupthöhennetz (DHHN), das durch die HPF 1. Ordnung physisch repräsentiert ist.

Die vorliegende Feldanweisung beschreibt die Technologie zur Bestimmung physikalischer Höhen von HFP 1. Ordnung und stellt eine Sammlung von Empfehlungen und Arbeitsrichtlinien zur Ausführung von Präzisionsnivellements zur Qualitätssicherung und Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) dar. Sie ist ein Leitfaden für alle beteiligten Vermessungsstellen, um eine bundesweit einheitliche Vorgehensweise als Basis eines flächendeckenden Qualitätsstandards zu gewährleisten.

In der Feldanweisung werden Wege aufgezeigt, wie das klassische geometrische Messverfahren des Präzisionsnivellements mit dem Einsatz von modernen Digitalnivellieren und einer einheitlichen Programmlösung 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. Abschnitt XI – weitere Fachliteratur).

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,
- für die Gewährleistung dauerhafter Datenkompatibilität und mögliche statistische Auswertungen immer auch die Umweltbedingungen bei den Messungen in Form der Kopfdaten (Headerdaten) erfasst werden,
- 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, Linienerlauf und Punktfestlegung

1. Netzentwurf und zeitliche Einteilung der Messungen

Bei einer vollständigen Wiederholungsmessung des Deutschen Haupthöhennetzes ist grundsätzlich die Beobachtung aller Linien des DHHN2016 (s. Anlage A) in Zusammenarbeit aller beteiligten Stellen anzustreben. Die Wiederholungsmessungen sollen innerhalb einer festgelegten Frist zügig durchgeführt werden, um epochengleiche Ergebnisse zu erzielen.

2. Änderungen des Linienerlaufs

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

Ausnahmen von diesem Grundsatz 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 Linienerlegungen erfordern.

3. Anmessung von vorhandenen Höhenfestpunkten

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

Muss auf einem Abschnitt ein neuer Linienerlauf 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. Sie sind als Kontrollmessung mit der Kennung 5 bzw. 8 (Headersatz 12B Kennung II Art der Messung, s. Anlage J) zu kennzeichnen.

4. Erhaltung von Nivellementslinien

Verlorengegangene HFP im Linienerlauf sind zu ersetzen. Der mittlere Punktabstand in der Nivellementslinie soll rund 700 m betragen. Bedarfsgerecht (z. B. in Ortslagen, bei größeren Höhenunterschieden, bei geologischen Verwerfungen) werden dichtere Punktabstände empfohlen.

5. Vermarkung

Neue Höhenbolzen müssen aus korrosionsbeständigem Metall nach DIN 18708 (DIN, 1998) (z. B. Nirosta Material) bestehen. Vermarkungsarten mit Betonfundament, die erfahrungsgemäß ihre endgültige Stabilität erst nach Setzungen erlangen (z. B. Pfeilervermarkungen, unterirdische Säulen), 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 B).

II. Messausrüstung

1. Nivellierinstrumente

Für die Messungen werden grundsätzlich selbsthorizontierende Digitalnivelliere (Kompensatornivelliere) höchster Genauigkeit mit Fernrohröffnungen von mindestens 30 mm und mindestens 20-facher Vergrößerung eingesetzt. Die Firmware der Digitalnivelliere soll auf dem neuesten Stand sein (Staiger und Witte, 2005) und ist zu dokumentieren.

Es dürfen nur solche Nivellierinstrumente eingesetzt werden, für die der Hersteller eine Standardabweichung¹ von maximal 0,3 mm/km Doppelnivellement angibt² und die in nachgewiesener Weise unempfindlich auf das Erdmagnetfeld reagieren.

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 mm/km) darf nicht überschritten werden (s. Anlage E).

2. Nivellierlatten

Alle Präzisionsnivellierlatten müssen der DIN 12858-1 (DIN, 2016) entsprechen. Für sie sind jährlich das mittlere Lattenmeter m_0 (im mittleren Brennspreibereich der Barcodierung) auf Vertikal-Interferenzkomparatoren und einmalig der thermische Ausdehnungskoeffizient α zu bestimmen (s. Anlage C).

Im Falle vermuteter Beschädigungen sind die Latten vor der weiteren Verwendung erneut zu kalibrieren.

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

3. Lattenuntersätze und Lattenfußadapter

Für die Wechsellagen der Nivellierlatten sind Lattenuntersätze (Frösche) mit Aufsatzzapfen zu verwenden, die weder einsinken noch bei geneigten Aufstellflächen verrutschen können. Geeignet sind z. B. Lattenuntersätze Schweizer Bauart und klassische - ca. 6 kg schwere - Frösche mit ebenen, profilierten Standflächen (ohne Stahlspitzen) (s. Anlage D). Die Haftreibung der Lattenuntersätze muss bei geneigten Aufstellflächen in jedem Fall mindestens 20 Newton größer als die Hangabtriebskraft sein. Im Zweifelsfall sollte dies mit einem Federkraftmesser überprüft werden.

¹ Im Sinne des „Leitfadens zur Angabe der Unsicherheit beim Messen - GUM“ als Standardunsicherheit Typ A zu verstehen (ISO, 2008), s. auch (Heister, 2001).

² Gemäß ISO 17123-2:2001-12 Optik und optische Instrumente - Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente - Teil 2: Nivelliere (ISO, 2001)

Die Lattenuntersätze sind den Bodenverhältnissen entsprechend festzutreten, so dass die Gefahr nachträglichen Einsinkens oder Hebens möglichst gering ist.

Bei ungünstigen Bodenverhältnissen können Bodenbolzen (s. Anlage D) oder Eisenrohre mit Halbrundköpfen bis in den stabileren Unterboden eingebracht werden.

Verdeckte HFP, die bis ca. 15 cm z. B. durch Wärmedämmung überbaut oder mit Efeu zugewachsen sind, können für Höhenzeitfolgen mit einem vorhandenen Lattenfußadapter (s. Anlage D) über einen nahegelegenen Ersatz- oder temporären Hilfspunkt in die Linie seitlich eingebunden werden (Wolfram, 2010). Zwischen dem verdeckten HFP und dem Ersatz- oder Hilfspunkt dürfen maximal 2 Wechsellpunkte sein. Dabei muss sowohl der verdeckte HFP als auch der Ersatz- oder Hilfspunkt mit dem an die Nivellierlatte angeschraubten Lattenfußadapter aufgehoben werden, damit sich der Offset eliminiert, welcher zwischen dem Nullpunkt der Nivellierlatte und dem Aufhaltepunkt des Lattenfußadapters besteht.

4. Instrumentenstative

Es sind grundsätzlich Instrumentenstative mit starren Beinen zu verwenden.

Stative sind den Bodenverhältnissen entsprechend festzutreten, so dass die Gefahr nachträglichen Einsinkens oder Hebens möglichst gering ist.

5. Personal

Jeder Messtrupp muss mindestens aus einem Beobachter und zwei Lattenträgern bestehen. Weiteres Personal kann für die angeordnete Verkehrssicherung erforderlich werden (s. Abschnitt VII). Die Beobachter und auch die Lattenträger sollen mehrjährige Erfahrung im Präzisionsnivellament haben. Das Personal ist vor dem erstmaligen Einsatz 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 selbsthorizontierend 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 Tabellen 1 bis 3 zusammengestellt.

Tab. 1: Instrumentenbezogene Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Restneigung der elektronischen Ziellinie (Zielachsendejustierung)	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 geringe Neigung des Zielstrahls.	Dosenlibelle grundsätzlich auf den vorher zu bestimmenden Spielpunkt horizontieren. Justierung der Dosenlibelle (so dass Spielpunkt und Normalpunkt zusammenfallen) spätestens dann, wenn der Spielpunkt den konzentrischen Einstellkreis erreicht.

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Kompensationsrestfehler ³	Es entsteht Horizontschräge durch geringe Neigung des Zielstrahls.	Es ist die Ablesefolge RV...VR oder RVVR zu wählen und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr.4 bzw. Anlage G).
Hysterese bei Kompensator-nivelliergeräten	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 E)
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 F).

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

Tab. 2: Nivellierlattenbezogene Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Codeteilungsfehler	Führt zu Fehlern bei der Ablesung durch Beschädigungen der Codeteilung.	Es sind nur kalibrierte Latten mit einwandfreier Codierung zu verwenden. Auf Beschädigungen ist zu achten, die Latten sind ggf. zu ersetzen.
Lattenmaßstab	Bewirkt eine systematische Verfälschung der Lattenablesungen und des Höhenunterschieds; keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung.	Kalibrierung der Latten mit Bestimmung des mittleren Lattenmeters und rechnerische Korrektion (s. Anlage C).
Temperaturabhängiger Lattenmaßstab	Erzeugt eine systematische Verfälschung der Lattenablesungen und des Höhenunterschieds; keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung.	Sorgfältige Temperaturerfassung der Nivellierlatten im Felde (z. B. mittels Kontaktthermometer).
Einsinken der Nivellierlatte während der Messung auf den Standpunkten	Bewirkt eine systematische Verfälschung des Höhenunterschiedes.	Es ist die Ablesefolge RV...VR oder RVVR zu wählen und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr.4). Zudem ist nach Abschnitt II Nr. 3 zu verfahren.
Einsinken der Nivellierlatte während des Standpunktwechsels	Erzeugt eine Verfälschung des Höhenunterschiedes, wobei es zu einer leichten Aufsummation von positiven Δh und damit zu einer Abweichung der Verteilung der Streckenwidersprüche von der Normalverteilung kommt. Einsinkeinflüsse lassen sich allenfalls beim Vergleich des Gesamthöhenunterschiedes zwischen Hin- und Rückweg erkennen.	Weiche Untergründe (z. B. erhitzter Asphalt) sind möglichst zu meiden, andernfalls wird eine Wartezeit von ca. 30 s bis zur ersten Messung empfohlen Es ist nach den Abschnitten II Nr. 3 und IV Nr.4 zu verfahren und eine Hin- und Rückmessung durchzuführen.

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Schiefe und Unregelmäßigkeiten der Aufsatzflächen	Bewirken zufällige Messabweichungen je nach Aufhalten der Latte.	Die Aufsatzfläche ist regelmäßig zu überprüfen und bei größeren Abweichungen ein Austausch des defekten Lattenfußes zu empfehlen (s. Abschnitt IV Nr.2). Die Platzierung der Latte soll immer auf demselben Punkt erfolgen; dazu wird die Verwendung von Lattenschuhen auf den Wechselpunkten empfohlen.
Nullpunktsfehler-Differenz	Bei ungerader Anzahl von Instrumentenstandpunkten geht die Nullpunktsfehler-Differenz als Fehler in den Höhenunterschied ein.	Es ist eine gerade Anzahl von Instrumentenstandpunkten einzuhalten.
Sinusfehler	Die Verlängerung der Nivellierlattenteilung verläuft nicht durch den Lattenaufsatzpunkt.	Die Latte ist direkt in Verlängerung der Teilung senkrecht aufzuhalten.
Fehlende Codeinformationen beim Anzielen der Lattenenden	Erzeugt eine Verfälschung der Beobachtungen.	Der Abstand des horizontalen Zielstrahls von den Lattenenden soll mindestens 1% der Zielweite betragen.
Lattendosenlibelle dejustiert	Erzeugt abweichende Höhenunterschiede in Hin- und Rückmessung; keine Kompensation durch Hin- und Rückmessung. Der Einfluss ist in der Zusammenstellung der Δh nicht erkennbar.	Die Lattendosenlibellen sind vor Beginn der Messung zu prüfen und ggf. zu justieren (s. Abschnitt IV Nr.2).

Tab. 3: Äußere Einflüsse

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Refraktion bei bodennahen Zielstrahlen	Es entsteht eine Verformung des Zielstrahles durch Refraktion, was – besonders in geneigtem Gelände - zu systematischen Messabweichungen führen kann, die nicht durch Hin- und Rückmessung kompensiert werden. Der Einfluss ist in der Zusammenstellung der Δh nicht erkennbar.	Lassen sich Messungen bei hohen Temperaturgradienten nicht vermeiden, ist besonders auf folgendes zu achten: Der horizontale Zielstrahl soll 0,5 m + 1% der Zielweite, der untere Rand des Messkegels etwa 3 dm Abstand vom Boden nicht unterschreiten. Bei starker Refraktion ist eine entsprechend höhere Zielung einzuhalten, ggf. ist die Zielweite zu verringern. Hin- und Rückmessung sind bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen durchzuführen (s. Abschnitt IV Nr.4).
Lokale Refraktionseinflüsse	Ergibt eine Störung durch verschiedenartige Temperaturgradienten bei unterschiedlicher Luftschichtung.	Vermeiden von Messungen entlang störenden Umfeldes (z. B. Öffnungen an Gebäuden, KfZ) und über unterschiedliche Bodenbedeckungen.
Übertragung der Bodenwärme auf die darüber liegenden Luftschichten	Bewirkt ungenaue Ablesungen durch das entstehende Luftflimmern	Abbruch der Messung bei zu hoher Streuung der einzelnen Lattenablesungen
Ungleiche oder sich ändernde Lattenbeleuchtung	Es entstehen geräteinterne Probleme bei der Identifizierung des Messsignals, so dass eine systematische Abweichung der Messergebnisse möglich ist.	Es sind freie Sichten zu gewährleisten und der vom Sensor erfasste Lattenabschnitt schattenfrei zu halten, bzw. komplett zu verschatten.

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Einsinkbewegung des Statives	Erzeugt eine Verfälschung des Höhenunterschiedes.	Das Stativ ist auf festem Untergrund aufzustellen und die Beine sind festzutreten. Es ist eine zügige Beobachtung mit den Ablesefolgen RV...VR oder RVVR 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. Bei entsprechenden Bedingungen sind Sonnenblenden und ggf. ein Feldschirm zu verwenden, das Okular zu verschatten und auf genügend Kontrast der Latte vor dem Hintergrund zu achten. 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. Hin- und Rückmessung sind bei unterschiedlichem Azimut der Sonne auszuführen.
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.	Ungünstige Messbedingungen (z. B. Windstärke > 4 Bft, starker Verkehr) sind zu vermeiden. Andernfalls ist die Anzahl der Messwerte zu erhöhen und im Extremfall die Zielweite zu verkürzen.

Einfluss	Auswirkung	Berichtigung
Umfokussieren beim Messvorgang	Eine Neigungsänderung der Ziellinie ist möglich.	Es sind auf jedem Standpunkt gleiche Zielweiten im Rück- und Vorblick einzurichten (s. Abschnitt IV Nr.3).
Erdkrümmung	Die Horizontale wird mit wachsender Zielweite einen immer größeren Abstand zu der genäherten Kugelform des Erdkörpers (lokale Niveaulfläche) annehmen.	Es sind auf jedem Standpunkt gleiche Zielweiten im Rück- und Vorblick einzurichten (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 als Hin- und Rückmessung auszuführen (s. zulässige Abweichung Z_E). Auch Anschlusspunkte sind durch Überschlagnivellements zu prüfen.

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

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.

Am Digitalnivellier muss eine mögliche Refraktionskorrektur deaktiviert sein, weil der jeweilige lokale Refraktionskoeffizient während der Messung stark variieren kann und durch das Anbringen eines konstanten Wertes die Messdaten nicht wirksam korrigiert, sondern verfälscht werden (Fröhlich, Schauerte, Schuler, 2003).

Vor der täglichen Messung ist eine Nivellierprobe durchzuführen. Dabei sind mindestens 6 Ablesungen vorzunehmen. Es ist auf erschütterungsfreie Standpunktbedingungen, möglichst geringe Geländeneigung und günstige Lichtbedingungen zu achten. Die Differenz der täglichen Überprüfung des Zielachsfehlers zum Vortag soll $< \pm 3''$ betragen. Die Ergebnisse der täglichen Nivellierproben sind grafisch aufzutragen. Sichtbare Trends sind ein Hinweis auf Gerätefehler (z. B. Dejustierung des Kompensators oder des CCD-Sensors). 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 sind zu dokumentieren.

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 in der Regel bis zu 30 m zu wählen. Bei besonders günstigen Bedingungen kann die Zielweite auf maximal 38 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 gleichzuhalten. Die Summen der Zielweiten der Vor- und Rückblicke dürfen für eine Nivellementsstrecke nicht mehr als 3 m voneinander abweichen. Instrumentenspezifisch ungünstige Zielweiten sind zu vermeiden (s. Anlage F).

4. Durchführung der Messung

Zum Temperatenausgleich sind Instrumente und Latten vor Beginn der Messung ausreichend lange der Außentemperatur auszusetzen (s. Angabe der Gerätehersteller). 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 Stativ-aufstellung beruhigt hat und nachträgliche Hebungen oder Senkungen des Stativs abgeklungen 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 (s. auch Abschnitt V Nr. 1).

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.

Der zur Lattenablesung verwendete Codeabschnitt muss ohne Einschränkungen sichtbar sein und ist mittig anzuzielen. Dabei sind die jeweiligen Vorgaben der Nivelliergerätehersteller zu beachten.

Beim Präzisionsnivellement mit einem Lattenpaar ist stets eine gerade Standpunktanzahl einzuhalten, damit die Nullpunktfehlerdifferenz eliminiert wird. Von der abwechselnden Verwendung der Latten des Lattenpaars darf

nicht abgewichen werden, damit die Lattenkorrekturen stets an der dazu passenden Messung abgebracht werden.

Folgende Ablesefolgen werden empfohlen:

Tab. 4: Empfohlene Ablesefolgen

Ablesefolge		Verfahren
ungerader Standpunkt i	gerader Standpunkt i+1	
<u>RV</u>	<u>VR</u>	"Rote Hose"
<u>RV</u>	<u>RV</u>	RV mit alternierender Einspielung der Dosenlibelle
<u>RVVR</u>	<u>RVVR</u>	Förstner

Die Unterstreichung gibt an, in welcher Fernrohrrichtung die Dosenlibelle eingespielt wird. Die Dosenlibelle ist dabei grundsätzlich systematisiert, z. B. im Sinne einer Senkung des Objektivs, auf den Spielpunkt einzustellen. Die Verfahren sind ausführlich in Anlage G beschrieben.

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

Jede Nivellementsline ist in Abschnitte zu unterteilen, die jeweils in einer Arbeitswoche in beide Richtungen gemessen werden können.

Bei der Entscheidung, wann die Hin- bzw. die Rückmessung erfolgt, ist zu beachten, dass das Präzisionsnivellement durch verschiedene äußere Einflüsse systematisch verfälscht wird. Sie ist unter Berücksichtigung der bei den örtlichen Bedingungen zu erwartenden Fehlereinflüsse (s. Abschnitt III) und praktischer Erwägungen oder organisatorischer Vorgaben zu treffen.

Das Einsinken von Latten und Stativ führt zu einer einseitigen Vergrößerung der positiven Streckenwidersprüche, während das Mittel aus Hin- und Rückmessung bei gleichen äußeren Bedingungen im Idealfall frei von diesem Fehler ist.

Andererseits gibt es systematische Fehler, die sich auch bei gleichen äußeren Bedingungen nicht im Streckenwiderspruch widerspiegeln und daher im Mittel aus Hin- und Rückmessung voll enthalten sind. Dazu gehören die unsymmetrische Refraktion in geneigtem Gelände, die Neigungsänderungen der Ziellinie durch einseitigen Temperatureinfluss infolge von Sonneneinstrahlung und die Fehler des temperaturabhängigen Lattenmaßstabes (Pelzer, 1984 und Fröhlich, Schauerte, Schuler, 2003). Geringe Streckenwidersprüche täuschen in diesem Fall eine zu hohe Genauigkeit vor. Dem kann entgegengewirkt werden, indem Hin- und Rückmessung derselben Strecke an verschiedenen Tagen und möglichst zu anderen Tageszeiten erfolgen, und somit die äußeren Umstände beim Präzisionsnivellement (Wetter, Lichtverhältnisse, Tageszeit, Verkehr) verschieden sind.

Um Aufhaltefehler auf Höhenbolzen und Eigenbewegungen der Vermarkungsträger zu kontrollieren, ist täglich mindestens eine Strecke am Ende des Arbeitstages lediglich in einer Richtung zu messen. In Bodenbewegungsgebieten mit einer jährlichen Höhenänderung von mehr als ± 3 mm (Gefeller, Krickel, Riecken, 2020) sind mindestens zwei Strecken am Ende des Arbeitstages lediglich in einer Richtung zu messen. Am Beginn des nächsten Arbeitstages werden von diesen einseitig gemessenen Strecken die entsprechenden Gegenrichtungen nivelliert.

Dadurch wird überprüft, ob die Verbindung der Linienabschnitte fehlerfrei erfolgt (s. Anlage H Nr. 1). Nach Möglichkeit sollen Abschnitte an höhenstabilen Festpunkten enden. Besonders geeignet sind z. B. unterkellerte Gebäude und unterirdische Festlegungen.

Die Rückmessung darf nicht durch eine zweite Hinmessung ersetzt werden. Hin- und Rückmessung sind möglichst 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 auszuführen, wenn der zulässige Streckenwiderspruch (s. zulässige Abweichung Z_s) überschritten wird. Sofern keine Ursache vermutet wird, die mit hoher Sicherheit auf eine fehlerhafte Einzelmessung schließen lässt, ist eine vollständige Nachmessung in Hin- und Rückmessung zu beobachten. Werden Nachmessungen in Ausnahmefällen in nur einer Richtung ausgeführt, ist die Begründung zu dokumentieren.

Im Fall einer vollständigen Nachmessung ist die zulässige Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung (s. zulässige Abweichung Z_Δ) zu prüfen (s. Anlage I).

Für jede Nivellementsstrecke ist die mittlere Lattentemperatur während der Messung zu erfassen und abzuspeichern.

V. Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen

1. Ablesegenauigkeit

Sofern auf einem Standpunkt Einzelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt werden, gilt zur Beurteilung der Messung (Kompensatorruhe, Refraktionseinflüsse) bei 20 m Zielweite die maximale Standardabweichung von $\leq 0,06$ mm (Wiederholungsgenauigkeit), wobei der Wert in Abhängigkeit der äußeren Einflüsse am Instrument voreingestellt werden kann oder individuell überwacht werden muss (s. o.). Empfohlen wird ein Wert von $\leq 0,02$ mm. Dabei sind mindestens 5 Ablesungen vorzugeben.

Werden auf einem Standpunkt Doppelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt, so sind die gemessenen Höhenunterschiede aus der Ablesefolge $R\overline{V}\overline{R}$ auf jedem Standpunkt zu vergleichen. Alle Ablesungen sollen wiederholt werden, wenn die Standpunktdifferenz $Z_{SP} = \pm 0,3$ mm übersteigt. Wenn die Standpunktdifferenz größer 0,15 mm ist, dann entscheidet der Beobachter in Abhängigkeit von den äußeren Einflüssen (Wetter, Verkehr, Bodenverhältnissen), ob er alle Ablesungen auf dem Standpunkt wiederholt. Es ist darauf zu achten, dass sich die Standpunktdifferenz nicht einseitig aufsummiert.

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):

$$Z_s = \pm 1,6 \cdot \sqrt{S} \quad (1)$$

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):

$$Z_u = \pm 2 \cdot \sqrt{U} \quad (2)$$

Zulässige Abweichung beim Vergleich mit Höhenangaben aus dem amtlichen HFP-Nachweis Z_H für den Nachweis der Stabilität von Anschlusspunkten

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):

$$Z_H = \pm (2,0 + 2 \cdot \sqrt{S}) \quad (3)$$

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 Mittel aus Erst- und Überschlagsmessung Z_E für den Nachweis der Stabilität von Verknüpfungspunkten innerhalb der gleichen Messepoche

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

$$Z_E = \pm 2 \cdot \sqrt{S} \quad (4)$$

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 Mittel aus Erst- und Nachmessung Z_Δ

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

$$Z_\Delta = \pm 0,6 \cdot \sqrt{S} \quad (5)$$

(Mdl, 1974a) (s. Anlage I).

2.2 Standardabweichung

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:

$$s_s = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot n} \sum_{i=1}^n (W_{s_i}^2 \cdot p_i)} \quad (6)$$

mit

n = Anzahl der Nivellementsstrecken,

W_{s_i} = Streckenwiderspruch (Summe der korrigierten Höhenunterschiede der Hin- und Rückmessung der Nivellementsstrecke) in mm

p_i = Gewicht der Nivellementsstrecke.

Um die Standardabweichung aus Streckenwidersprüchen s_s nicht durch extrem kurze Nivellementsstrecken zu verfälschen, wird der Gewichtsansatz

$$p_i = \frac{1}{S_i} \quad (7)$$

mit

S_i = Länge der Nivellementsstrecke (einfacher Messweg) in km

bei Nivellementsstrecken mit $S_i < 0,2$ km ersetzt durch

$$p_i = -25 \cdot S_i + 10 \quad (8)$$

Die Standardabweichung aus Streckenwidersprüchen s_s darf für Nivellementslinien den Wert von 0,4 mm nicht überschreiten.

Das Nivellement ist anfällig gegenüber systematischen Fehlereinflüssen. Die Standardabweichung aus Streckenwidersprüchen gibt keinen Aufschluss über deren Größe. Deshalb sollte die Normalverteilung der Streckenwidersprüche zusätzlich untersucht werden. Die Anzahl der positiven und negativen Streckenwidersprüche sollte möglichst gleich sein.

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 (Mdl, 1974b) 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 aktuellen 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 und GUV (Sicherheitsregeln Vermessungsarbeiten) in den jeweils geltenden Fassungen.

Bei der Verkehrssicherung mit Sicherungsfahrzeugen sind zeitgemäße Warneinrichtungen (Blinkpfeilwarnanlagen) an den Dienstwagen zu nutzen.

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.

VIII. Reduktionen

1. Gezeitenreduktion

Bei Wiederholungsmessungen des gesamten DHHN werden die variablen Anteile der Festerdegezeiten aus den Messungen reduziert. Dafür ist für jede Nivellementsstrecke das Datum und die Uhrzeit der Messung zu erfassen.

2. Normalhöhenreduktion

Zur Berechnung der Normalhöhenreduktion (NR) sind erforderlich:

- Koordinaten im amtlichen Koordinatenreferenzsystem mit einer Genauigkeit gemäß den Anforderungen aus der Rili-RB-AdV,
- Schwerewerte mit einer Genauigkeit von $\leq 1 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$. Bei einem großen Streckenhöhenunterschied (z. B. 100 m) sollte der Schwerewert möglichst auf $1 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$ bestimmt sein.

IX. Automationsgerechte Datenerfassung

Der folgende Abschnitt beschreibt die Datenerfassung bei der Verwendung des Programmpaketes Höhe (NRW), das allen Bundesländern kostenfrei zur Verfügung steht.

Für einen lückenlosen automatisierten Datenfluss vom Feld bis zur Auswertung sind die so genannten Kopfdaten (Headerdaten) für jede Nivellementsstreckmessung im Digitalnivellier im jeweiligen Instrumentenformat zur Verfügung zu stellen. Dies geschieht ausschließlich numerisch. 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 codiert in einer bundesweiten Schlüsseldatei vorgehalten (s. Anlagen J und K).

Zur Erfassung der Nivellementsrohdaten und deren Vorauswertung kommt bundesweit einheitlich das Programm VRONI aus der Programmsammlung HOEHE der Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 – Geobasis NRW zum Einsatz. Hierzu wird das Anwendungshandbuch VRONI (BezReg Köln, 2019) in der jeweils aktuellen Version empfohlen.

Bis zum Beginn einer bundesweiten Nivellement-Messkampagne ist von den einzelnen Bundesländern an die entsprechenden 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.

X. Definitionen, Bezeichnungen und Abkürzungen

1. Knotenpunkt- und Linienbezeichnungen in der bundesweiten Messkampagne für das DHHN2016

Es wurde eine projektbezogene Liniennummerierung eingeführt, die eine länderübergreifend eindeutige Bezeichnung der Nivellementsnetzes 1. Ordnung von den Rechenstellen vorab bundeseinheitlich jeweils mit einer dreistelligen fortlaufenden Nummer versehen. Für jedes Bundesland wurde eine Zuordnungsliste der 10stelligen PKZ zu der dreistelligen projektbezogenen Knotenpunktnummer erzeugt und mit den Ländern abgestimmt. Die Nivellementsnetzes wurden 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 18709-6 (DIN, 2021) und ergänzend die im Abschnitt XI. (Literatur) aufgeführte Fachliteratur.

XI. Literatur

1. Zitierte Literatur

AdV (2017): Richtlinie für den einheitlichen integrierten Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 16.05.2017).

BezReg Köln (2019): Messdatenerfassung und -auswertung. Einführung in die neue VRONI-Version. Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 – Geobasis NRW, Bonn 2019.

BezReg Köln (2021): Vorschlag von Landmann, J. Bezirksregierung Köln, Abteilung 7 – Geobasis NRW (unveröffentlichte E-Mail vom 07.12.2021)

DIN (1998): DIN 18708 (Norm-Entwurf), Ausgabe 1998-08: Höhenbolzen. DIN e. V., DIN Taschenbuch 111, Vermessungswesen. 6. Auflage. Beuth Verlag GmbH. 1998.

DIN (2016): DIN ISO 12858-1, Ausgabe 2016-04: Präzisions-Nivellierlatten. DIN e. V., Berlin 2016.

DIN (2021): DIN 18709-6, Ausgabe 2021-03: Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 6: Geodätische Bezugssysteme und Bezugsflächen. DIN e. V., Berlin 2021.

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

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

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

Gefeller, V., Krickel, B., Riecken, J. (2020): Anwendung der Radarinterferometrie in der Landesvermessung NRW. In: Tagungsband Geomonitoring 2020, S. 21-27. DOI: <https://doi.org/10.15488/9338>

Geßler, J. (1993): 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.

Heger, W. (2007): Informationsblatt zur Kalibrierung von Präzisions-Nivellierlatten auf dem Komparator der Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg 2007.

Heister, H. (2001): 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.

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

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

ISO (2008): ISO/IEC Guide 98-3:2008-09 (Technische Regel), Messunsicherheit – Teil3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Berlin 2008

Leica Geosystems (2005): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 04. und 07.11.2005 (E-Mail).

Leica Geosystems (2006a): Leica DNA03/DNA10 Gebrauchsanweisung, Leica Geosystems, Schweiz 2006.

Leica Geosystems (2006b): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 06.04.2006 (E-Mail).

Leica Geosystems (2018): Firmenmitteilung vom 13.06.2018 (Support).

Leica Geosystems (2020): Leica LS10/LS15 Gebrauchsanweisung, Leica Geosystems, Schweiz 2020.

Leica Geosystems (2021): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 20.01.2021 (E-Mail).

Leitnivellement NRW (1993): Richtlinien für die Ausführung des Leitnivellements im Bezirk des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen vom 23.12.1998.

Linthe, H.-J. (2007): Persönliche Mitteilung vom 22.03.2007 (E-Mail), GfZ Potsdam, Observatorium Niemeck, Brandenburg.

Maurer, W. (1993): Informationsblatt zur Kalibrierung von Präzisions-Nivellierlatten auf den Komparatoren des Geodätischen Instituts der Technischen Universität München, München 1993.

Mdl (1974a): 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.

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

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

Nedo (2006): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 06.04.2006 (E-Mail).

Nedo (2020): Gesamtkatalog 2020/2021, Seite 124, Nedo GmbH & Co. KG, Dornstedt 2020.

NivP Erlass NI (1971): Nivellements punkt- Erlass Niedersachsen 1971, Runderlass des Niedersächsischen Ministeriums des Inneren vom 09.07.1971, Seite 16.

Noack, G. (1988): 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. (1989): 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.

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

Schwarz, E. (1978): Neue Ergebnisse aus Wiederholungsnivellements im Oberrheingraben. ZfV, 1978, S. 420–424.

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

Pelzer, H. (1984): Systematische instrumentelle Fehler im Präzisionsnivellement. Vermessungswesen und Raumordnung (VR), 1984, Heft 2, S. 57–68.

TOPCON (2005): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 18.10.2005 (E-Mail).

TOPCON (2006): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 04.05.2006 (E-Mail).

Trimble (2005): Trimble (Zeiss): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 21. und 25.10.2005 (E-Mail).

Trimble (2006): Trimble (Zeiss): unveröffentlichte Firmenmitteilung vom 24.03.2006 (E-Mail).

Wolfram, S. (2010): Das Präzisionsnivellement Sachsen-Anhalts im Deutschen Haupthöhennetz 2006-2011. LSA VERM. Heft 1/2010: 19–34.

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

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

2. Weitere Fachliteratur

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.

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

AdV: „Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes und der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug 2016“, Arbeitskreis Raumbezug, Projektgruppe „Erneuerung des DHHN“

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

Eling C., Heinz E., Kuhlmann, H.: Vergleich von GNSS-Höhenübertragung und Stromübergangsnivellement am Rhein, zfv 6/2014 139. Jg., S.381-388

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

Landmann, J.: Froschforschung, VDV Magazin 5/2016

Landmann, J.: Das DHHN2016, eine Bewertung aus Sicht des Nivelleurs, AVN 2021, Heft 2

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.

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

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.

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

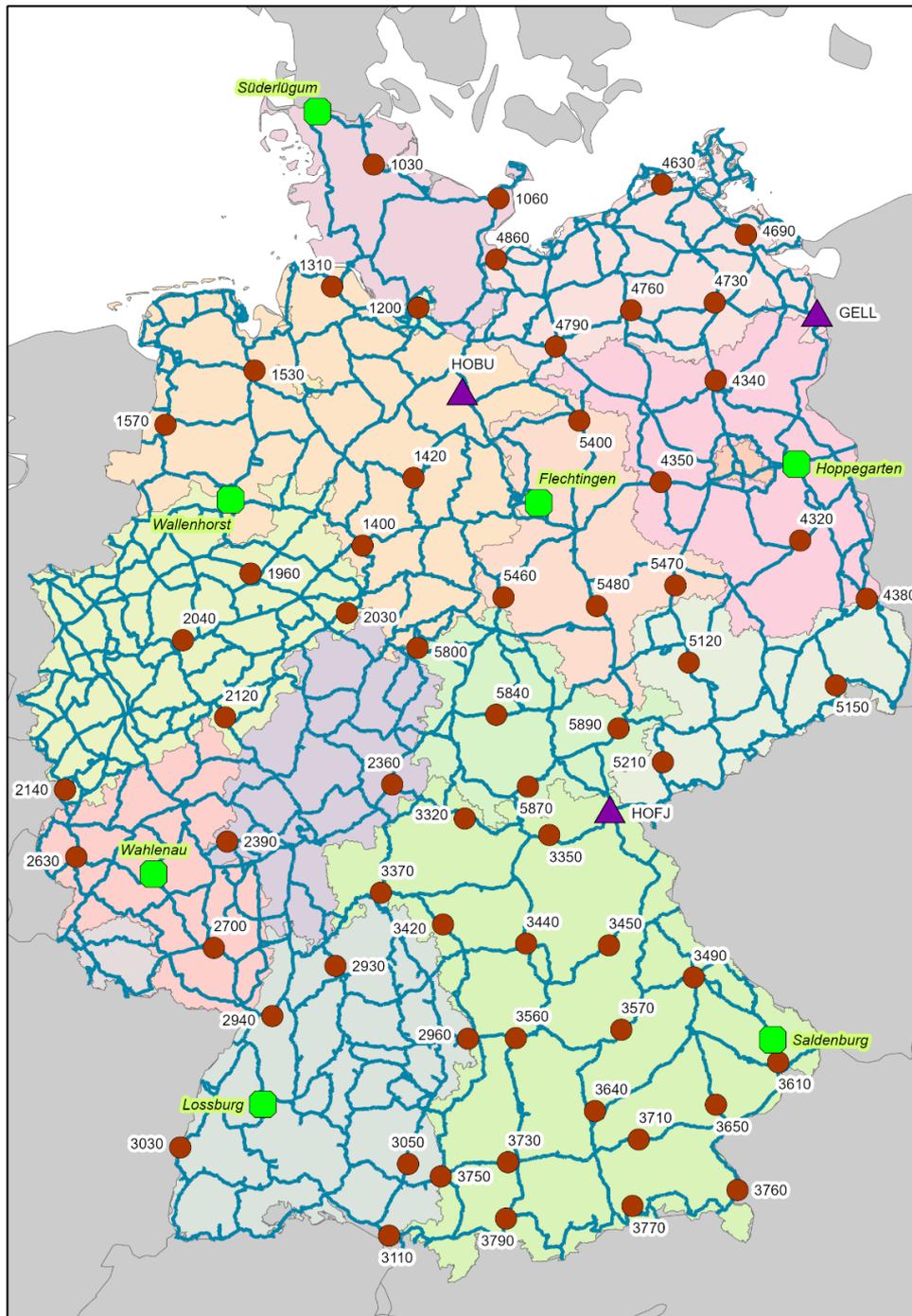
Weber, D.: Das neue gesamtdeutsche Haupthöhennetz DHHN 92. AVN, 1994, Heft 5.

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.

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

Anlage A: Netzkonfiguration des DHHN2016



— Linien des DHHN2016

Datumspunkte

● 7 Landesnivellementhauptpunkte

▲ 3 Referenzstationen

● 62 Geodätische Grundnetzpunkte

Abb. A-1: Netzbild des DHHN2016 nach Abschluss der bundesweiten Messkampagne

Tab. A-1: Anteil der nivellierten Linienlängen und Anzahl an GNSS-Punkten pro Bundesland

Bundesland	Nivellementsänge [km]	GNSS-Punkte
Baden-Württemberg	2954	22
Bayern	4364	56
Berlin	136	2
Brandenburg	2050	19
Hamburg	131	1
Hessen	1788	13
Mecklenburg-Vorpommern	2769	22
Niedersachsen + Bremen	4126	29
Nordrhein-Westfalen	4255	25
Rheinland-Pfalz	2062	15
Saarland	312	2
Sachsen	1417	16
Sachsen-Anhalt	1358	13
Schleswig-Holstein	920	5
Thüringen	1168	10
Gesamtanzahl	29809	250

Als Datumspunkte in der Ausgleichung des DHHN2016 dienten neben den 7 Landesnivellementsauptpunkten in Süderlügum (SH), Wallenhorst (NI), Flechtingen (ST), Hoppegarten (BB), Wahlenau (RP), Lossburg (BW) und Saldenburg (BY) auch 3 Referenzstationen und 62 Geodätischen Grundnetzpunkte aus der GNSS-Kampagne 2008.

Die etwa 50% der SAPOS[®]-Referenzstationen in unmittelbarer Nachbarschaft (i. d. R. << 10 km) der Nivellementslinien des DHHN2016 wurden neben den 250 Geodätischen Grundnetzpunkten und den Permanentstationen des GREF sowie des IGS/EPN, teils mithilfe entsprechender Methoden der lokalen Höhenübertragung, in die Präzisionsnivellements eingeschlossen.

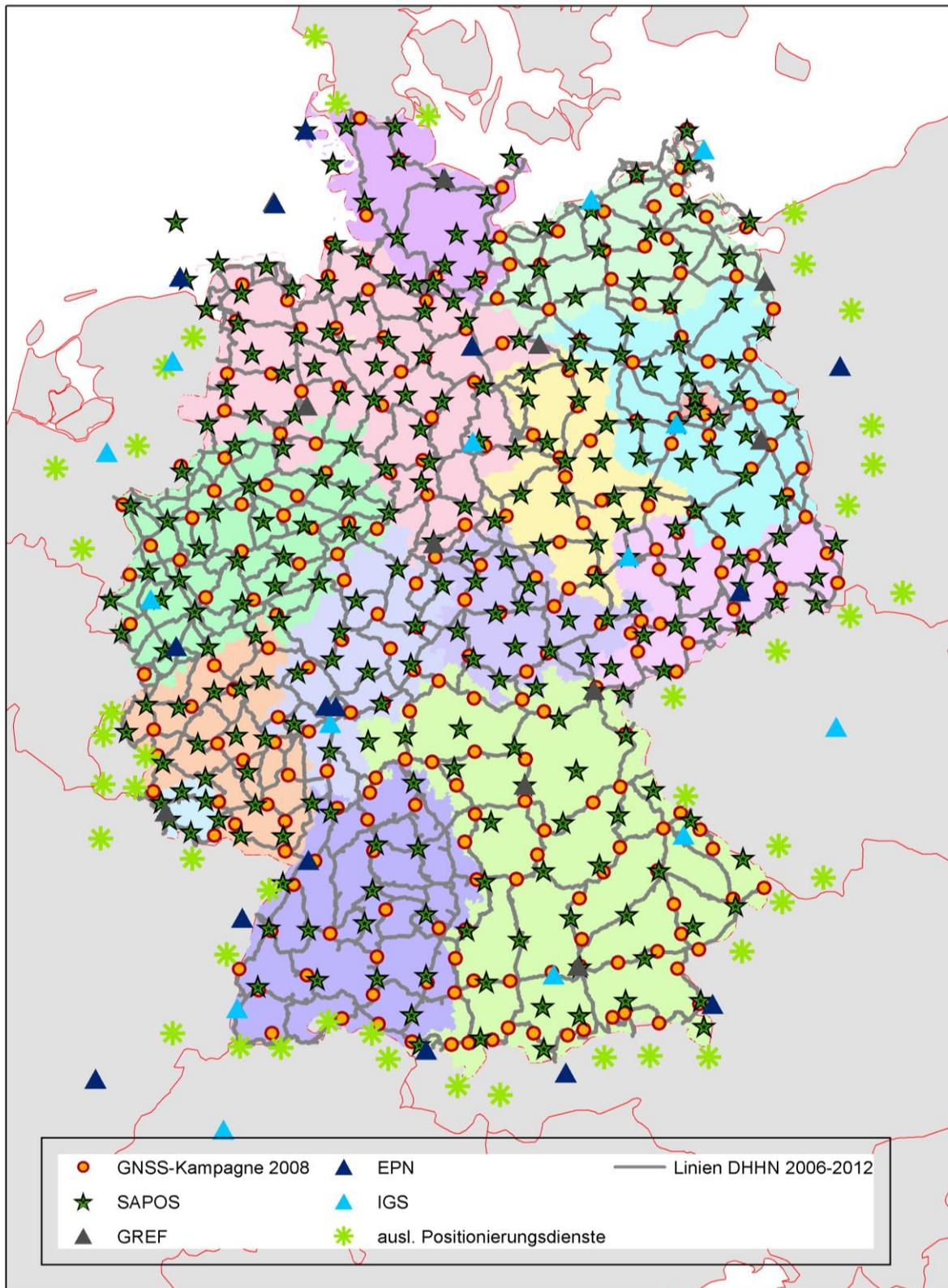


Abb. A-2: Netzbild DHHN2016 mit GNSS-Boden- und Referenzstationspunkten (IGS, EPN, GREF, SAPOS®), Stand 2014

Anlage B: AFIS®-HFP-Beschreibung (Beispiel)

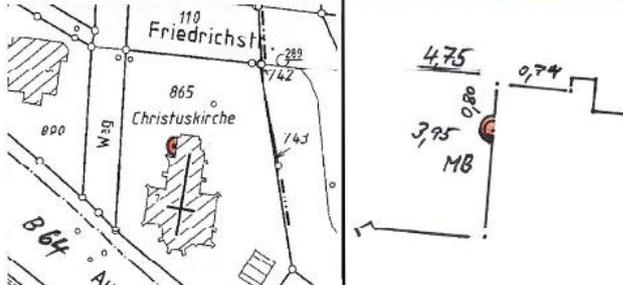
 <p>Bezirksregierung Köln Abt.7 - Geobasis NRW Muffendorfer Str. 19-21 53177 Bonn +49(0)221-147-4994</p> <p>Auszug aus dem amtlichen Festpunktinformationssystem</p>		<p>Einzelnachweis Höhenfestpunkt 4013 9 00032 Erstellt am 12.01.2022</p>	
<p>Punktvermarkung Mauerbolzen, horizontal eingebracht</p>		<p>Klassifikation Ordnung Höhenfestpunkt 1. Ordnung</p>	
<p>Überwachungsdatum Gemeinde Warendorf</p>		<p>Lage System ETRS89_UTM32 Messjahr East [m] North [m] 32 430265,000 5756090,000 Genauigkeitsstufe Standardabweichung S kleiner gleich 100 cm</p>	
<p>Übersicht DTK25</p> 		<p>Höhe System DE_DHHN2016_NH Messjahr Höhe [m] 2010 56,038 Genauigkeitsstufe Standardabweichung S kleiner gleich 2 mm</p>	
		<p>Schwere System DHSN2016 Messjahr Schwerewert [mgal] 981225 Genauigkeitsstufe Als Anschlusspunkt ungeeignet</p>	
		<p>Bemerkungen</p>	
<p>Lage-/Einmessungsskizze/Ansicht</p>  			
<p>Die Daten stehen zur Verfügung unter der Datenlizenz Deutschland – Zero – Version 2.0 (https://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0)</p>			

Abb. B-1: Beispiel AFIS®-HFP-Beschreibung

Anlage C: Kalibrierung der Präzisionsnivellierlatten

1. Bestimmung des mittleren Lattenmeters und thermischen Ausdehnungskoeffizienten

In der **Nivellement-Feldanweisung** ist im Abschnitt II Nr. 2 folgendes festgelegt:

„Alle Präzisionsnivellierlatten müssen der DIN ISO 12858-1 (DIN, 2016) entsprechen. Für sie sind jährlich das mittlere Lattenmeter m_0 (im mittleren Brennsprobereich der Barcodierung) ... und einmalig der thermische Ausdehnungskoeffizient α zu bestimmen ...“

Die **DIN ISO 12858-1, „Präzisions-Nivellierlatten“** (DIN, 2016) normiert u. a. Fertigungsanforderungen für Nivellierlatten.

Der thermische Ausdehnungskoeffizient α des Invarbandes ist dort entsprechend Tabelle 1 (s. Tabelle C-1) klassifiziert.

Tab. C-1: Klassifizierung von Invarbändern nach DIN ISO 12858-1

Klassifizierung des Invarbandes	thermische Ausdehnungskoeffizient α
A	$ \alpha \leq 0,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (C.1)
B	$ \alpha \leq 1,0 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (C.2)
C	$ \alpha \leq 1,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (C.3)

Die Firma Nedo GmbH & Co. KG in Dornstetten ist der Hersteller aller marktgängigen analogen- und codierten Präzisionsnivellierlatten. Nedo gibt für seine Präzisionsnivellierlatten einen thermischer Ausdehnungskoeffizient α des Invarbandes von kleiner $1,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ an (Nedo, 2020).

Das Invarband der Präzisionsnivellierlatten muss mindestens der Klasse C nach Tabelle C-1 entsprechen. Um die Temperaturkorrekturen der Lattenablesungen mit einer Genauigkeit von kleiner 0,01 mm berechnen zu können, sind die thermischen Ausdehnungskoeffizienten α der Präzisionsnivellierlatten einmalig zu bestimmen.

In Tabelle 2 (s. Tabelle C-2) der oben genannten Norm wird die zulässige Abweichung Δl der Skalierung von analogen und codierten Latten klassifiziert. Sie ist dort als eine maximale Abweichung (en: maximum permissible error, MPE) des Abstands zwischen zwei beliebigen Kanten der Lattenteilung festgelegt.

Tab. C-2: Skalenklassifizierung (Klassifizierung der Teilung) nach DIN ISO 12858-1

Skalenklassifizierung	Zulässige Abweichung [mm]
A	$ \Delta l \leq 0,015 \text{ mm} + l(1,0 \cdot 10^{-5})$ (C.4)
B	$ \Delta l \leq 0,025 \text{ mm} + l(2,5 \cdot 10^{-5})$ (C.5)
C	$ \Delta l \leq 0,050 \text{ mm} + l(5,0 \cdot 10^{-5})$ (C.6)

Dabei ist:

- Δl die zulässige Abweichung bei 20°C in mm,
- l der über 200 mm hinausgehende Abstand zwischen zwei Kanten der Teilung in mm.

Nach Aussage der Firma Nedo GmbH & Co. KG (Nedo, 2006) liegt für ihre Code-Teilung die Fertigungstoleranz (relative Abweichung) bei maximal ± 20 ppm (bzw. $\pm 20 \mu\text{m/m}$), typisch bei ± 10 ppm (bzw. $\pm 10 \mu\text{m/m}$). Nedo gibt 2020 für die analoge und codierte Teilung eine zulässige Abweichung von

$$|\Delta l| \leq 0,010 \text{ mm} + l(1,0 \cdot 10^{-5}) \quad (\text{C.7})$$

an.

Die Präzisionsnivellierlatten müssen in der Skalenklassifizierung mindestens der Klasse A nach Tabelle C-2 entsprechen.

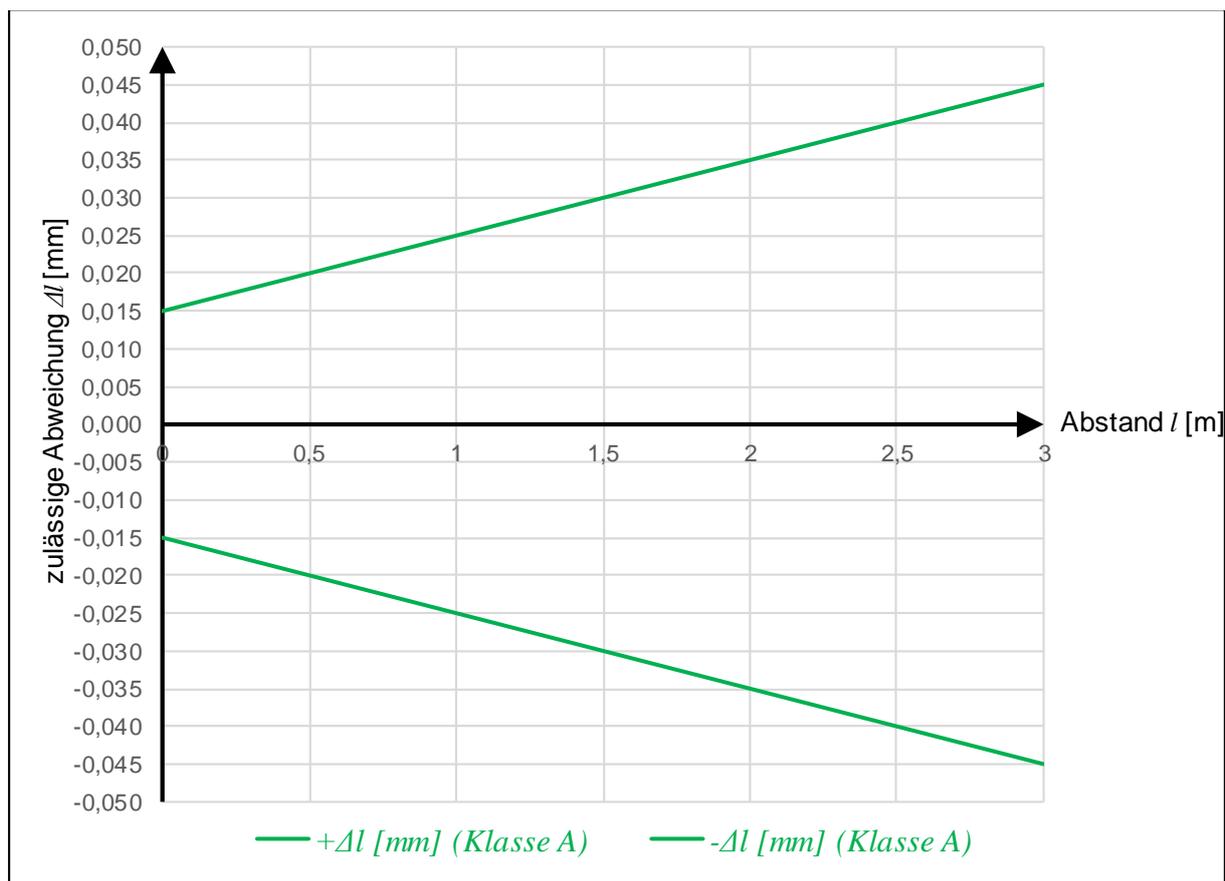


Abb. C-1: Zulässige Abweichung Δl der Skalenklassifizierung A

In der Klasse A beträgt die zulässige Abweichung Δl nach der Formel (C.4) für eine 3 m (3000 mm) lange Nivellierlatte maximal:

$$|\Delta l(3 \text{ m})| \leq 0,015 \text{ mm} + 3000 \text{ mm}(1,0 \cdot 10^{-5})$$

$$|\Delta l(3 \text{ m})| \leq 0,015 \text{ mm} + 0,030 \text{ mm}$$

$$|\Delta l(3 \text{ m})| \leq 0,045 \text{ mm} \leq 45 \mu\text{m}$$

Der konstante Term von 0,015 mm in der Klasse A berücksichtigt die Fertigungsgenauigkeit der einzelnen Codebalken einer Digitalnivellierlatte. Der längenabhängige Term kann bei einer 3 m langen Nivellierlatte Werte zwischen 0 μm und 30 μm in der Klasse A annehmen; er berücksichtigt die Fehleranteile aus Spannung und Ausdehnung des Teilungsträgers (Invarband).

Kalibrieranweisung:

Die Kalibrierstellen untersuchen auf einem Vertikalkomparator in Hin- und Rückmessung die Lage aller Codebalken im mittleren Brennspreibereich 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 der Regressionsgeraden ist das **mittlere Lattenmeter m_0** bei der zum Zeitpunkt der Messung herrschenden Temperatur T_0 .

Im Abstand l vom Lattennullpunkt müssen die **Längenverbesserungen** der Einzelcodebalken kleiner als die zulässigen Abweichungen Δl nach der Formel (C.4) sein. Die Längenverbesserungen der Einzelcodebalken sind in tabellarischer und grafischer Form schriftlich und digital nachzuweisen.

Für die Bestimmung des **thermischen Ausdehnungskoeffizienten α** werden die Nivellierlatten bei mindestens vier verschiedenen Temperaturen in Hin- und Rückmessung kalibriert. Man erhält in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedliche Lattenmeter, die wiederum auf eine Regressionsgerade bezogen werden (Maurer, 1993 und Heger, 2007). Die Steigung dieser Geraden ist der thermische Ausdehnungskoeffizient α . Die Beobachtungen erfolgen z.B. bei den Temperaturen $30 \rightarrow 0 \rightarrow 20 \rightarrow 40 \rightarrow 10$ [°C] (Foppe, Wasmeier und Wunderlich, 2005) oder $20 \rightarrow 5 \rightarrow 30 \rightarrow 10 \rightarrow 20$ [°C] (Heger, 2007). Die großen Temperatursprünge zwischen den Messungen gewährleisten, dass auch Fehlfunktionen des Spanmechanismus für das Invarband oder zu große Reibung zwischen Invarband und Lattenkörper aufgedeckt werden können (Maurer, 1993 und Heger, 2007). Der thermische Ausdehnungskoeffizient α darf einen Wert von $1,5 \text{ ppm} \cdot \text{K}^{-1}$ nicht überschreiten.

2. Kalibrierung einzelner Brennspreiben

Die Nivellement-Feldanweisung geht davon aus, dass die Kalibrierung einer Digitalnivellierlatte sich auf die Mitte des Codebalkens bezieht. Bei der Herstellung der Nivellierlatten werden fünf Brennspreiben von ca. 6 mm Breite mit einem interferometrisch gesteuerten Laserstrahl in die Lackschicht des 25 mm breiten Invarbandes graviert (NEDO, 2020). Die fünf Brennspreiben überlappen sich um ca. 1 mm, so dass die einzelne mittlere Brennspreibe mit nur ca. 3 mm Breite sichtbar ist. Bei einer getrennten Betrachtung der einzelnen Brennspreiben muss dafür Sorge getragen werden, den Überlappungsbereich links und rechts der Brennspreibe sicher auszuschließen. Alternativ zur Bestimmung nur innerhalb der dritten (mittleren) Brennspreibe, bietet sich die Maßstabsbestimmung über die drei mittleren Brennspreiben (zweite bis vierte Spur) oder sogar über alle fünf sichtbaren Brennspreiben jeweils in Bezug zur mittleren, dritten Spur (Codebalkenmitte) an.

Nach Aussage der Firmen Trimble (Zeiss) (Trimble, 2006), Leica Geosystems (LEICA, 2006b) und TOPCON (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- bzw. LS-Instrumenten von Leica und 1,45 mm bei DL-Instrumenten von TOPCON. Theoretisch wäre also immer die mittlere Spur ansprechbar. Da die Breite einer Brenns pur 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 Brenns puren zu je 6 mm abzüglich der vier Überlappungsbereiche sowie eines Randstücks) ist nach DIN ISO 12858-1 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 ISO 12858-1 nicht. Somit entfallen Einzelkalibrierungen der Randspuren 1 und 5.

Aufgrund des Fertigungsverfahrens der Teilungen können die einzelnen Brenns puren voneinander abweichende mittlere Lattenmeter aufweisen. Nach Aussage der Firma Nedo (Nedo, 2006) kann diese Streuung bis zu 10 ppm betragen. Wenngleich diese Invarlatten die Forderungen der DIN ISO 12858-1 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 Brenns purbereich, separat für die zweite, dritte und vierte Spur, mit einer Präzision von 1 ppm bis 2 ppm. Die mittleren Lattenmeter der einzelnen Brenns puren sollen weniger als 10 ppm differieren. Die **Abweichungen der einzelnen Brenns puren** sind für einen beliebigen Codebalken und für das mittlere Lattenmeter in tabellarischer Form schriftlich und digital nachzuweisen.

3. Prüfzertifikate

Die Prüfzertifikate der Kalibrierstellen weisen folgende Informationen aus:

- Einmalig den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α und seine Standardabweichung S_α .
- Das mittlere Lattenmeter m_0 für den mittleren Brenns purbereich (zweite bis vierte Spur) und seine Standardabweichung S_m .
- Die Streuung der Lattenmeter m_2 , m_3 und m_4 der einzelnen Brenns puren zwei, drei und vier.
- Ein Hinweis, ob die Präzisionsnivellierlatte die Forderungen der DIN ISO 12858-1 und dieser Feldanweisung erfüllen.

Jede Präzisionsnivellierlatte,

- die einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten kleiner $1,5 \text{ ppm}\cdot\text{K}^{-1}$ besitzt,
- deren Längenverbesserungen der Einzelcodebalken kleiner als die zulässigen Abweichungen Δl nach der Formel (C.4) sind und
- deren einzelne Brennsuren (zwei bis vier) eine Lattenmeter-Streuung von weniger als 10 ppm aufweisen,

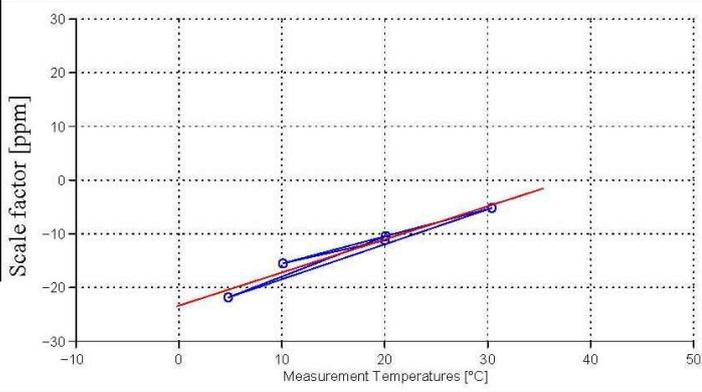
gilt nach der DIN ISO 12858-1 als normgerecht und ist für den Einsatz im DHHN geeignet, vorbehaltlich anderweitiger Prüfkriterien.

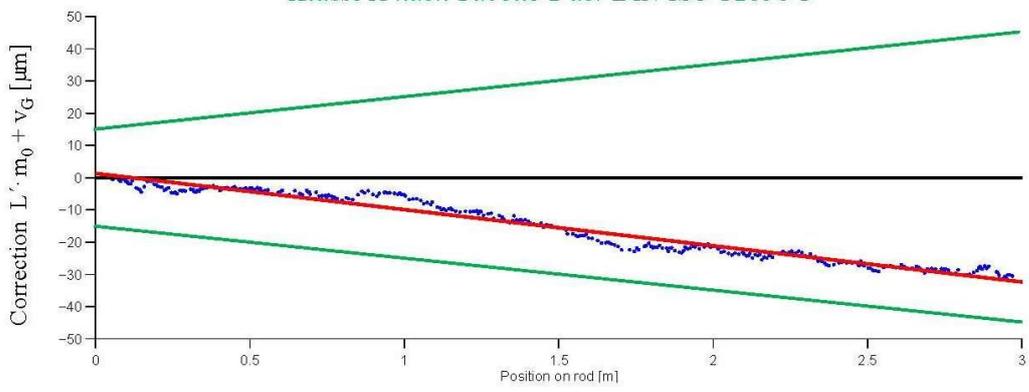
4. Kennzeichnung der Präzisions-Nivellierlatten

Präzisionsnivellierlatten, die der DIN ISO 12858-1 entsprechen, dürfen auf der Rückseite mit „DIN ISO 12858-1“ gekennzeichnet werden. Sie müssen mit einer Seriennummer und dem Namen des Herstellers versehen sein.

5. Beispiel – Kalibrierprotokoll mit Ergänzung der zulässigen Skalenklassifizierung

Calibration Report

<p>Invar rod (type, No.): GPCL3 23928 Spur 2 - 4</p> <p>No. of graduations measured: 6 - 345</p> <p>Contract: LVermGeo S-A</p> <p>Date : 03.12.2021</p>	<p>Determination of the coefficient of expansion Vertical calibration position</p> <p>Measurement cycle: 20 → 5 → 30 → 10 → 20 [°C]</p> 
<p>Coefficient of expansion: $\alpha_T = 0.62 \pm 0.07 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$</p>	

Determination of the scale factor	Vertical calibration position
<p style="color: green;">— Klasse A nach Tabelle 2 der DIN ISO 12858-1</p> 	
<p>Scale factor: $m_0 = -11.23 \pm 1.15 \text{ ppm}$ at $T_0 = 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$</p>	

Length adjustment from the vertical calibration (position of use)

$$L = l^0 + L' [1 + (m_0 + \alpha_T(T - T_0)) \cdot 10^{-6}] + v_G$$

$l^0 = l_K^0 + v_K$

$L' [\text{m}] = \text{observed rod length}$

$T [^\circ\text{C}] = \text{temperature}$

$l^0 [\text{m}] = \text{index correction } (l_K^0 [\text{m}] = \text{index correction of reference bar, } v_K [\text{m}] = \text{reference bar correction})$

$l^0 = -0.021 \pm 0.005 \text{ mm}$

$v_G = +0.001 \text{ mm}$

$l_K^0 = -0.023 \pm 0.005 \text{ mm}$

$v_K = +0.002 \text{ mm}$

Technical specialist:	Neubrandenburg, 21.12.2021
Laboratory director:	Institute director:

Labor für Instrumentenkunde und Kalibrierung, Hochschule Neubrandenburg
Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, Tel.: 0395 / 5693 - 8102, mfp-institut@hs-nb.de

Calibration Report

Number of Invar rod: 23928 Spur 2 - 4

Date: 03.12.2021

Type of rod: GPCL3

Contract: LVermGeo S-A

Positions of graduations measured: 6 - 345 (counting bar number from bottom)

Determination of the Scale Factor

Measurement Direction up

Mean temp.: 20.1 °C Mean press.: 999.4 hPa

Scale factor: $-11.33 \text{ ppm} \pm 1.15 \text{ ppm}$

Average deviation of measurements: 2.02 μm

Measurement Direction down

Mean temp.: 20.0 °C Mean press.: 999.4 hPa

Scale factor: $-11.14 \text{ ppm} \pm 1.15 \text{ ppm}$

Average deviation of measurements: 1.89 μm

Both directions averaged

Mean temp.: 20.0 °C Mean press.: 999.4 hPa

Scale factor: $-11.23 \text{ ppm} \pm 1.15 \text{ ppm}$

Average deviation of measurements: 1.92 μm

The scale factor is calculated using the middle 16 mm of the visible bar code. If the visible width is smaller than that amount, the whole visible width is used.

Determination of the Index Correction

Measurement Direction up

Correction: $-0.022 \text{ mm} \pm 0.008 \text{ mm}$

Measurement Direction down

Correction: $-0.024 \text{ mm} \pm 0.008 \text{ mm}$

Both directions averaged

Correction: $-0.023 \text{ mm} \pm 0.005 \text{ mm}$

Reference bar correction

Correction: 0.002 mm

The index correction is based on the lower edge of graduation bar No.66.825 [mm]. Therefore this edge must theoretically have no scale factor correction. Because the scale factor is calculated using the graduation bar centers, a small correction for that reference bar will appear if its gauge is not exact.

Variation of the Single Traces

Single Trace 1: ----- ppm

Single Trace 2: -7.61 ppm

Single Trace 3: -10.56 ppm

Maximum variation 6.73 ppm

Single Trace 4: -14.34 ppm

Single Trace 5: ----- ppm

Page 1 of 2

**Labor für Instrumentenkunde und Kalibrierung, Hochschule Neubrandenburg
Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, Tel.: 0395 / 5693 - 8102, mfp-institut@hs-nb.de**

Calibration Report

Number of Invar rod : 23928 Spur 2 - 4

Date : 03.12.2021

Type of rod : GPCL3

Contract : LVermGeo S-A

Positions of graduations measured : 6 - 345 (counting bar number from bottom)

Correction of Graduations

Correction of graduation bar centers is shown in [µm]

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0							0.0	0.6	0.8	0.0
10	-0.2	0.7	0.6	-0.0	-0.2	-0.5	-0.6	0.4	-1.6	-2.0
20	-2.0	-2.8	-1.1	0.6	0.9	1.1	0.1	0.0	-0.4	-0.6
30	-0.5	-1.4	-1.0	-0.6	-1.9	-1.8	-1.6	-2.0	-0.9	-1.0
40	-0.7	-0.9	-0.1	-0.1	-0.7	-0.9	-0.3	-0.5	0.1	0.5
50	0.9	0.9	1.5	1.7	1.4	0.6	0.9	1.6	1.7	1.5
60	1.7	2.2	1.6	1.9	1.9	2.2	1.9	2.5	2.5	2.0
70	2.8	2.2	2.7	1.9	2.1	2.4	2.2	2.4	2.8	1.5
80	1.8	1.5	3.2	1.4	2.5	2.2	3.7	3.2	3.4	2.7
90	3.4	2.4	2.6	2.8	2.4	3.1	2.8	2.1	2.6	2.2
100	1.9	2.9	2.6	2.5	4.2	5.5	5.1	5.9	4.9	4.5
110	5.4	5.9	6.1	5.9	6.1	6.0	5.8	6.2	5.8	6.0
120	5.6	4.7	4.9	5.0	4.7	3.9	4.3	3.9	4.6	3.3
130	3.2	2.7	3.0	2.6	3.2	3.4	3.0	2.7	2.6	3.1
140	3.0	3.2	3.4	3.6	2.8	3.6	3.5	2.4	3.0	3.3
150	1.9	3.0	2.4	2.0	1.3	1.1	2.0	3.4	2.2	2.1
160	2.5	1.9	2.5	2.1	1.7	1.6	1.4	2.1	0.9	1.8
170	1.5	1.7	1.3	1.4	1.3	0.8	-0.3	-0.1	-0.5	-0.8
180	-0.6	-0.4	-0.2	0.3	-0.8	-0.8	-1.2	-1.9	-1.6	-1.4
190	-1.5	-1.7	-2.0	-2.4	-3.3	-3.0	-3.2	-2.2	-2.6	-1.4
200	-1.1	-0.3	-1.1	-1.5	-1.2	-1.2	-0.5	-1.3	-1.1	-2.0
210	-0.9	-0.8	-1.6	-2.0	-2.0	-1.2	-0.1	-0.3	-0.6	-0.3
220	0.7	0.3	0.4	1.0	-0.1	1.2	0.7	1.7	1.4	0.8
230	1.3	0.5	-0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-0.2	-0.4	0.3	-0.2
240	-0.6	-0.3	0.3	-1.0	0.1	-0.1	0.3	-1.2	-0.3	-0.6
250	0.4	-0.1	2.1	1.7	1.3	2.1	2.5	1.7	2.1	2.8
260	2.4	1.5	2.4	1.3	1.6	0.4	1.4	0.5	0.9	0.1
270	-0.5	-0.5	-0.6	-0.1	0.6	1.1	1.0	1.4	0.9	1.1
280	1.0	1.4	1.5	0.5	1.9	0.9	1.0	0.7	0.0	0.0
290	-0.4	-0.5	-0.7	1.3	0.8	0.9	1.6	1.2	2.2	1.2
300	1.8	1.2	1.2	1.7	1.2	2.3	2.1	1.8	1.4	0.6
310	1.9	1.7	2.2	1.9	2.1	1.4	2.5	2.5	2.3	2.5
320	2.3	1.3	1.6	2.8	1.3	1.1	1.5	1.7	2.5	3.2
330	4.0	4.5	3.9	4.9	4.2	5.0	3.6	3.4	2.6	1.4
340	1.9	2.4	1.9	3.0	3.1	2.8				

Page 2 of 2

Labor für Instrumentenkunde und Kalibrierung, Hochschule Neubrandenburg
 Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, Tel.: 0395 / 5693 - 8102, mfp-institut@hs-nb.de

Anlage D: Lattenuntersätze und Lattenfußadapter

1. Frosch Schweizer Bauart



Abb. D-1: Frosch Schweizer Bauart

Kurzfassung

Der Nivellierlattenuntersatz schafft den Spagat zwischen nicht einsinken und nicht verrutschen. Aus dem geringen Gewicht von 1,5 kg ergibt sich eine stark verbesserte Arbeitsergonomie. Eine Magnetversion des Frosches ermöglicht den Transport am Lattenfuß, damit entfällt das Bücken beim Absetzen und Aufheben des Frosches.

Produktmerkmale und Handhabung

Der Frosch liegt im Prinzip auf drei Punkten. Zwei Punkte sind gehärtete Stahlspitzen, der dritte Punkt besteht aus einem Kugelgelenk mit drei Nylonfüßen, so dass der Frosch auch auf unebenen Untergründen „wackelfrei“ liegt. Die Nylonfüße haben eine Auflagefläche von 12 cm². Der Frosch besitzt zwei Edelstahlzapfen auf denen die Nivellierlatte wahlweise aufgesetzt und gedreht wird. Auf weichem Untergrund, z. B. Asphalt, wird der Zapfen „über“ den Nylonfüßen, auf hartem Untergrund, z. B. Pflaster, der Zapfen „über“ den Stahlspitzen benutzt. Bei kombinierten Untergründen kann der Frosch vorteilhaft mit den Spitzen auf dem Bordstein und mit den Nylonfüßen auf dem Asphalt positioniert werden.

Vor dem Aufsetzen der Nivellierlatten wird der Frosch „festgetreten“, indem er zwischen den Zapfen mit dem gesamten Körpergewicht belastet wird. Bei stärker geneigten Aufstellflächen ist der Frosch so zu positionieren, dass sich die Zapfen in der Falllinie befinden und die beiden Stahlspitzen „talwärts“ gerichtet sind. Grundsätzlich gilt, die Nivellierlatte nach dem Aufsetzen, vor der ersten Ablesung, erst einmal um 360° zu drehen.

Die Vorteile des Frosches Schweizer Bauart gegenüber dem klassischen 6 kg Frosch sind u.a.:

1. Minimiertes Einsinkverhalten
2. Maximierte Lagestabilität
3. Optimierte Arbeitsergonomie durch 75% geringeres Gewicht
4. Mehr Bodenfreiheit, wichtig bei Kopfsteinpflaster
5. Besser festzutreten
6. Bei der Magnetversion entfällt das Bücken beim Absetzen und Aufheben des Frosches.

Weitere Information: Geobasis NRW, raumbezug@bezreg-koeln.nrw.de

2. Schwerer Frosch (ca. 6kg)



Abb. D-2: Schwerer Frosch mit Tragegriff

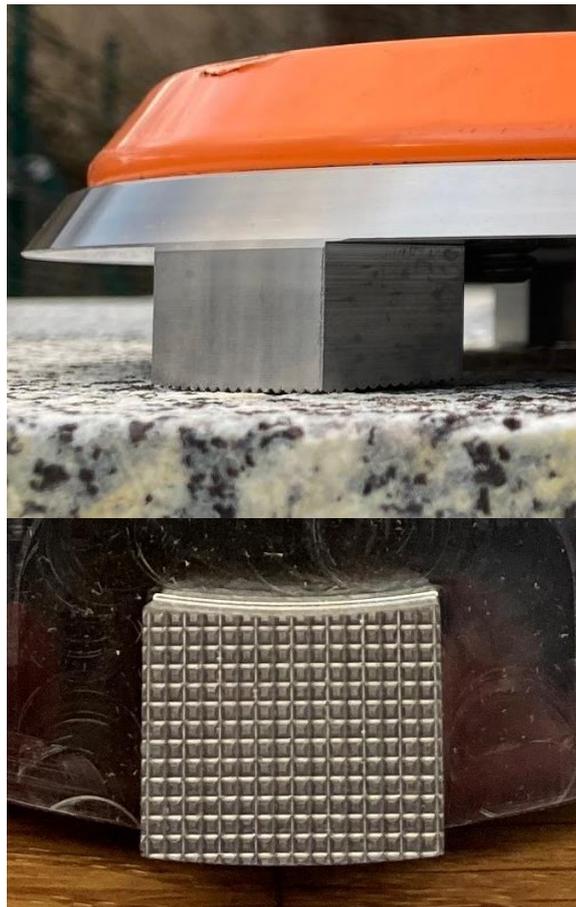


Abb. D-3: Fuß des schweren Frosches mit Rändelprofil



Abb. D-4: Nivellierplatte mit breiter Aufsatzfläche, Lattenschuh und schwerem Frosch

3. Bodenbolzen



Abb. D-5: Bodenbolzen und Schlagkappe

Weitere Informationen zum schweren Frosch und Bodenbolzen:

LVerGeo Sachsen- Anhalt, lvermgeogrundlagenvermessung@sachsen-anhalt.de

4. Lattenfußadapter

Variante 1:



Abb. D-6: Lattenfußadapter – Variante 1

Weitere Information: Geobasis NRW, raumbezug@bezreg-koeln.nrw.de

Variante 2:



Abb. D-7: Lattenfußadapter – Variante 2

Weitere Informationen:

LVerGeo Sachsen- Anhalt, Ivermgeogrundlagenvermessung@sachsen-anhalt.de

Anlage E: Magnetfelduntersuchung der Nivellierinstrumente

1. Einfluss des Erdmagnetfeldes

Die systematische Auslenkung der Ziellinie eines Digitalnivelliers durch magnetische Felder (Geßler, 1993, Noack, 1988, Schauerte, 1989), insbesondere das Erdmagnetfeld, wird heute herstellerseitig dadurch klein gehalten, dass im Kompensatorbereich und am Kompensator selbst keine ferromagnetischen Materialien verwendet werden. Zur Untersuchung von Restfehlern durch Magnetfeldeinwirkungen ist unter Abschnitt II Nr. 1 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 Bahnlagen, 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 erfüllt.

Anlage F: Kritische Zielweiten bei Präzisionsdigitalnivellieren

Alle Präzisionsdigitalnivelliere zeigen bei bestimmten Zielweiten signifikante Abweichungen, die durch ungünstige Geometrie-Verhältnisse (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, 2005).

Nivelliersystem Leica Geosystems

DNA 03 und LS 10 bzw. 15

Die kritische Zielweite beim DNA 03 und LS 10 bzw. 15 beträgt 26,7 m ($\pm 0,1$ m). So treten beim DNA 03 und LS 10 bzw. 15 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 DNA 03-Firmware-Version 200.4530 (Leica Geosystems, 2006a) und beim LS 10 bzw. LS 15 (Leica Geosystems, 2021) eine Warnung, kann aber immer über die Verwendung des Messwertes im Einzelfall entscheiden.

Beim LS 10 bzw. LS 15 kann es bei der automatischen Lattenerkennung im Bereich zwischen 1,90 m und 2,00 m zur fehlerhaften Interpretation des Codes auf der Latte kommen. Der Grund dafür ist, dass die automatische Lattenerkennung eine 2 m-Latte erkennt, obwohl es sich um eine 3m-Latte handelt. Durch diese falsche Annahme der 2m-Latte wird dann der restliche Code auf der 3m-Latte nicht ausgewertet. Diese fehlerhafte Interpretation des Codes kann eine systematische Abweichung der Ablesung von bis zu 0,1 mm verursachen (Leica Geosystems, 2018). Für Präzisionsnivelllements sind beim LS 10 bzw. LS 15 in den Instrumenteneinstellungen der Lattentyp manuell (Leica Geosystems, 2020) auszuwählen.

Empfehlung:

Kritische Messdistanzen sind zu meiden:

DNA 03 / LS 10 bzw. 15: 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.

Zusätzlich ist beim LS 10 bzw. LS 15 in den Instrumenteneinstellungen entsprechend den eingesetzten Lattentyp die manuelle Lattenauswahl (s. folgende Abbildung) zu treffen.

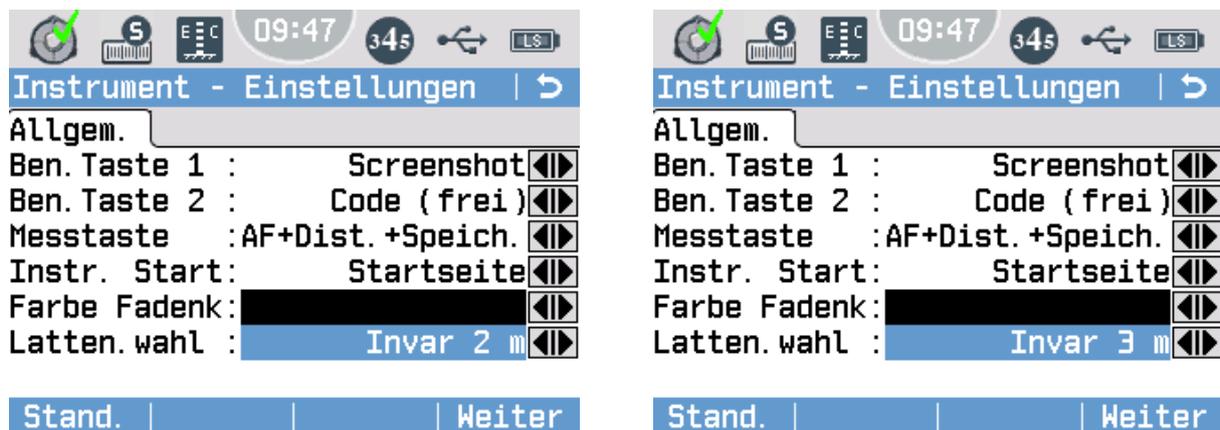


Abb. F-1: Manuelle Auswahl des Lattentyps bei LS 10 und LS 15

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 Lattenendbereichen 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 kritischen Messdistanzen zwischen 8 m und 10 m sowie 13 m ($\pm 0,2$ m) sind 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 konstanter 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, 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, 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).

Anlage G: Empfohlene Ablesefolgen

1. RVVR (Förstner- Verfahren)

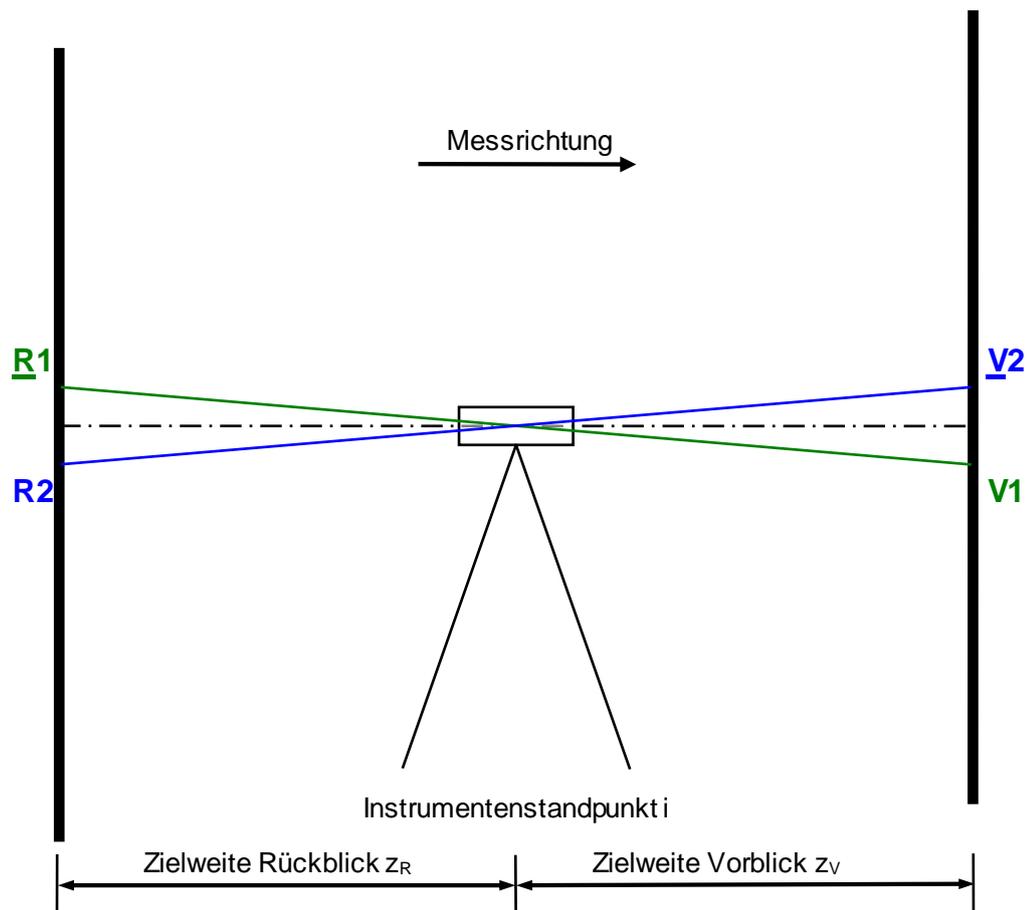


Abb. G-1: Prinzipskizze Förstner -Verfahren

Bedingung:

Auf dem Instrumentenstandpunkt i sind gleichlange Zielweiten im Rück- und Vorblick ($z_R \approx z_V$) einzuhalten (s. Abschnitt IV, Nr. 3).

Beobachtung (NivP Erlass NI, 1971, Schwarz, 1978, Leitnivellement NRW, 1993):

- 1) Nivellier auf dem Instrumentenstandpunkt i so aufbauen, dass eine Fußschraube in Messrichtung zeigt.
- 2) Gerät horizontieren.
- 3) Objektiv auf die Rückblicklatte richten.
- 4) Vor dem ersten Rückblick R1 das Objektiv mit der in Messrichtung zeigenden Fußschraube anheben (etwa eine halbe Umdrehung).
- 5) Beim Zurückdrehen der Fußschraube die Dosenlibelle auf den Spielpunkt einspielen.
- 6) Ablesungen R1 und V1 registrieren.
- 7) Vor dem zweiten Vorblick V2 erneut das Objektiv mit der in Messrichtung zeigenden Fußschraube anheben (etwa eine halbe Umdrehung).

- 8) Beim Zurückdrehen der Fußschraube die Dosenlibelle auf den Spielpunkt einspielen.
- 9) Ablesungen **V2** und **R2** registrieren.

2. **RV...VR (Verfahren "Rote Hose")**

Prinzipskizze:

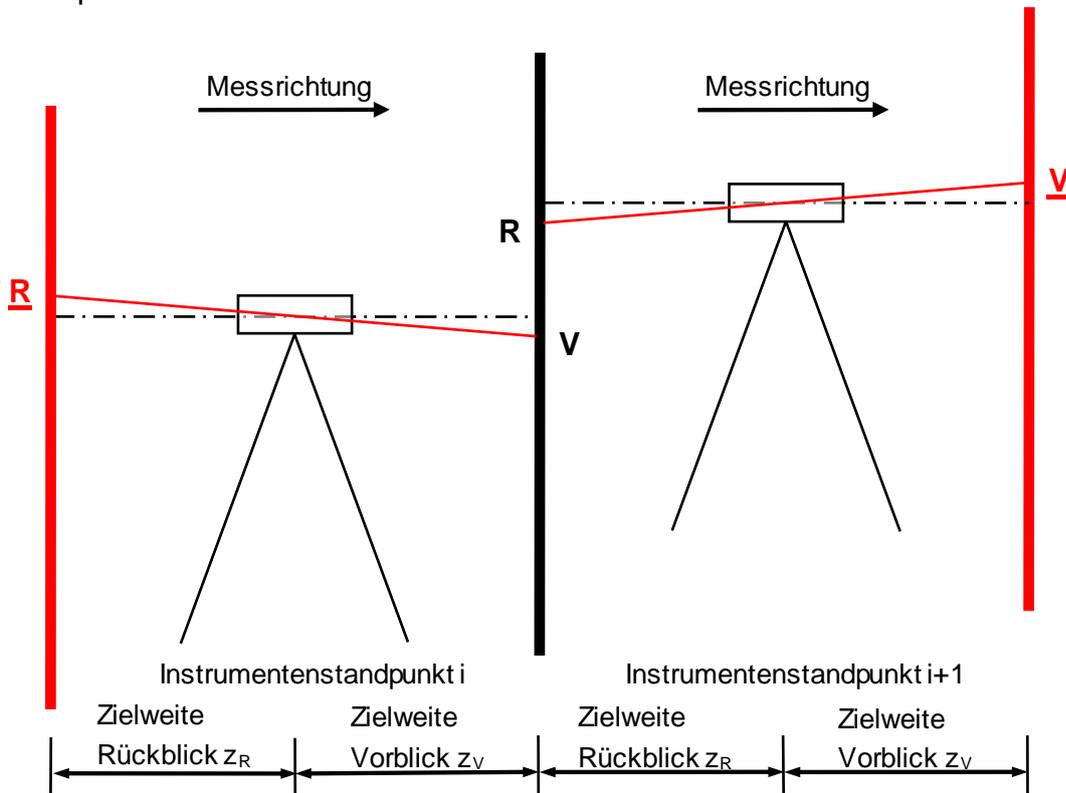


Abb. G-2: Prinzipskizze Verfahren "Rote Hose"

Bedingungen:

Das Nivellier soll möglichst in einer Geraden zwischen den benachbarten Wechsellpunkten stehen, damit der Fehlereinfluss der Horizontschräge bei den Ablesungen gleichgroß ist. Auf den Instrumentenstandpunkten i und $i+1$ sind paarweise gleichlange Zielweiten im Rück- und Vorblick ($z_R \approx z_V$) einzuhalten (Fröhlich, Schauerte, Schuler, 2003).

Beobachtung (NivP Erlass NI, 1971, Leitnivellement NRW, 1993):

Auf den ungeraden Instrumentenstandpunkten i ist folgender Ablauf einzuhalten:

- 1) Nivellier so aufbauen, dass eine Fußschraube in Messrichtung zeigt.
- 2) Gerät horizontieren.
- 3) Objektiv auf die Rückblicklatte richten.
- 4) Vor dem Rückblick **R** das Objektiv mit der in Messrichtung zeigenden Fußschraube anheben (etwa eine halbe Umdrehung).
- 5) Beim Zurückdrehen der Fußschraube die Dosenlibelle auf den Spielpunkt einspielen.

- 6) Ablesungen **R** und **V** registrieren.

Auf den geraden Instrumentenstandpunkten $i+1$ ist folgender Ablauf einzuhalten:

- 1) Nivellier so aufbauen, dass eine Fußschraube in Messrichtung zeigt.
- 2) Gerät horizontieren.
- 3) Objektiv auf die Vorblicklatte richten.
- 4) Vor dem Vorblick **V** das Objektiv mit der in Messrichtung zeigenden Fußschraube anheben (etwa eine halbe Umdrehung).
- 5) Beim Zurückdrehen der Fußschraube die Dosenlibelle auf den Spielpunkt einspielen.
- 6) Ablesungen **V** und **R** registrieren.

Als Alternative wird folgender Ablauf vorgeschlagen (BezReg Köln, 2021):

Auf den ungeraden Instrumentenstandpunkten i ist folgender Ablauf einzuhalten:

- 1) Nivellier so aufbauen, dass zwei Stativbeine in Messrichtung stehen, mit dem dritten Stativbein das Gerät grob vorhorizontieren, Stativfüße festtreten.
- 2) Objektiv auf die Rückblicklatte richten und Dosenlibelle im Sinne einer Objektivsenkung auf den Spielpunkt stellen.
- 3) Ablesungen **R** und **V** registrieren.

Auf den geraden Instrumentenstandpunkten $i+1$ ist folgender Ablauf einzuhalten:

- 1) Wie oben
- 2) Objektiv auf die Vorblicklatte richten und Dosenlibelle im Sinne einer Objektivsenkung auf den Spielpunkt stellen.
- 3) Ablesungen **V** und **R** registrieren.

3. **RV...RV** (mit alternierendem Einspielen)

Es gelten die Prinzipskizze G-2 und die Ausführungen zum Verfahren "Rote Hose". Auf den geraden Instrumentenstandpunkten $i+1$ gilt jedoch, dass das Objektiv vor der Ablesung wieder auf die Rückblicklatte auszurichten ist und erst Rückblick und dann Vorblick registriert werden.

Anlage H: Beobachtungsschema

1. Verbinden von Linienabschnitten

Die Prinzipskizze in Abbildung H-1 beschreibt eine mögliche Variante der Verbindung von Linienabschnitten.



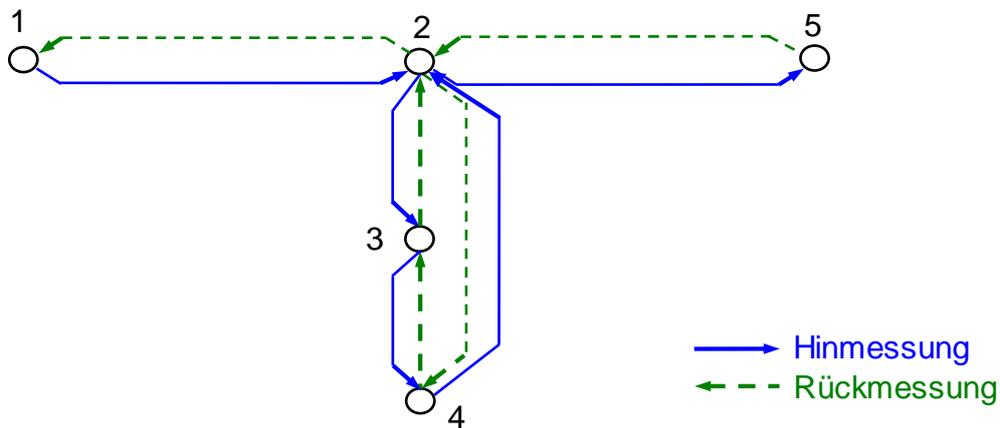
○ Höhenfestpunkt (HFP)

Abb. H-1: Verbindung von Linienabschnitten

1. Woche:	Hinmessung	Strecken 1 bis 9
	Rückmessung	Strecken 8 bis 1
2. Woche	Hinmessung	Strecken 10 bis 17
	Rückmessung	Strecken 16 bis 9

2. Einbindung von seitwärts liegenden Festpunkten in den Linienverlauf

Prinzipiskizze für den Messweg der örtlichen Hin- und Rückmessung:



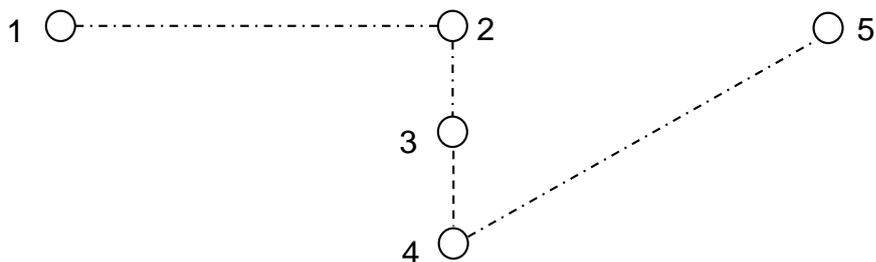
Hinmessung: 1-1 → 2-1 → 3-1 → 4-1 → 2-9 → 5-1

Rückmessung 5-1 → 2-9 → 4-1 → 3-1 → 2-1 → 1-1

Schreibweise: Punktnummer-Unternummer z. B. 2-9

Abb. H-2: Messweg bei seitwärts liegenden Festpunkten

Linienverlauf:



..... in die Ausgleichung eingehender Höhenunterschied

Abb. H-3: In die Ausgleichung eingehende Höhenunterschiede

Anlage I: Handhabung der zulässigen Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung Z_{Δ}

Anhand der folgenden Beispiele wird der zulässigen Streckenwiderspruch Z_s nach der Formel (1) berechnet und die Handhabung der zulässigen Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung Z_{Δ} nach der Formel (5) erläutert. Das Verhältnis Streckenwiderspruch W_s zum zulässigen Streckenwiderspruch Z_s zeigt die Einhaltung der oben genannten zulässigen Abweichung (früher: Fehlergrenze) an.

Fall 1a) Vermutlich grob fehlerhafte Erstmessung

Tab. I-1: Beispiel 1a

	Erstmessung		Nachmessung	
	Hin	Rück	Hin	Rück
Datum	09.10.12	10.10.12	11.10.12	10.10.12
Beginn	08:14	07:56	07:30	15:40
Ende	09:07	08:51	08:15	16:31
T [°C]	4	5	8	13
Wind [m/s]	0,0	1,0	0,3	2,5
Wolken [%]	50	100	100	100
Luftfeuchte	trocken	trocken	trocken	trocken
Verkehr	schwach	mittel	schwach	mittel
Boden	Beton	Beton	Beton	Beton
Besonderheiten	keine Angabe	z.T. Bodenschwingungen	keine Angabe	z.T. Bodenschwingungen
Standpunktanzahl	12	12	12	12
S [km]	0,675	0,676	0,675	0,676
Δh [m]	2,19712	-2,19022	2,19017	-2,19041
W_s [mm]		6,90		-0,24
Z_s [mm]		1,32		-1,32
W_s/Z_s		5,2273		0,1818
Δh_M [m]		2,19367		2,19029
W_{Δ} [mm]				3,38
Z_{Δ} [mm]				0,49

Erstmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Erstmessung überschreitet in diesem Beispiel den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s um den 5,2- fachen Wert der Zulässigkeit

Nachmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Nachmessung hält in diesem Beispiel den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s im ersten Drittel der Zulässigkeit ein
- die Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung W_{Δ} überschreitet die zulässige Differenz Z_{Δ}

Schlussfolgerung:

- da die zulässige Differenz Z_{Δ} überschritten wird, ist die Erstmessung vermutlich grob fehlerhaft

- die Nachmessung ist für die Auswertung maßgebend

Fall 1b) Vermutlich systematische Abweichung in der Erstmessung

Tab. I-2: Beispiel 1b

	Erstmessung		Nachmessung	
	Hin	Rück	Hin	Rück
Datum	21.05.12	22.05.12	24.05.12	23.05.12
Beginn	14:09	09:04	07:55	07:55
Ende	14:51	09:47	08:36	08:36
T [°C]	28	25	17	17
Wind [m/s]	5,7	1,9	1,5	1,1
Wolken [%]	90	80	0	50
Luftfeuchte	trocken	trocken	trocken	trocken
Verkehr	mittel	mittel	mittel	mittel
Boden	Asphalt hart	Asphalt hart	Asphalt hart	Asphalt hart
Besonderheiten	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
Standpunktanzahl	12	12	12	12
S [km]	0,790	0,790	0,790	0,791
Δh [m]	-0,07493	0,07667	-0,07656	0,07728
W_s [mm]		1,74		0,72
Z_s [mm]		1,42		1,42
W_s/Z_s		1,2254		0,5070
Δh_M [m]		-0,07580		-0,07692
W_{Δ} [mm]				1,12
Z_{Δ} [mm]				0,53

Erstmessung:

- der Streckenwiderpruch W_s der Erstmessung überschreitet den zulässigen Streckenwiderpruch Z_s um den 1,2- fachen Wert der Zulässigkeit

Nachmessung:

- der Streckenwiderpruch W_s der Nachmessung hält in diesem Beispiel den zulässigen Streckenwiderpruch Z_s im zweiten Drittel der Zulässigkeit ein
- die Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung W_{Δ} überschreitet die zulässige Differenz Z_{Δ}

Schlussfolgerung:

- da die zulässige Differenz Z_{Δ} überschritten wird, ist die Erstmessung vermutlich durch systematische Abweichungen beeinflusst
- die Nachmessung ist für die Auswertung maßgebend

Fall 2) Vermutlich systematische Abweichung in der Erst- und Nachmessung

Tab. I-3: Beispiel 2

	Erstmessung		Nachmessung	
	Hin	Rück	Hin	Rück
Datum	09.05.07	02.05.07	14.05.07	15.05.07
Beginn	12:45	12:40	12:45	08:00
Ende	15:05	15:32	15:10	10:00
T [°C]	17	24	21	14
Wind [m/s]	3,2	0,8	1,8	0,5
Wolken [%]	50	10	100	100
Luftfeuchte	trocken	trocken	trocken	feucht
Verkehr	schwach	schwach	schwach	schwach
Boden	sonstiges	sonstiges	sonstiges	sonstiges
Besonderheiten	keine Angabe	starkes Flimmern	keine Angabe	keine Angabe
Standpunktanzahl	28	28	28	28
S [km]	1,445	1,445	1,445	1,445
Δh [m]	6,75924	-6,75459	6,75707	-6,75561
W_s [mm]		4,65		1,46
Z_s [mm]		1,92		1,92
W_s/Z_s		2,4177		0,7591
Δh_M [m]		6,75692		6,75634
W_{Δ} [mm]				0,58
Z_{Δ} [mm]				0,72

Erstmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Erstmessung überschreitet den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s um den 2,4- fachen Wert der Zulässigkeit

Nachmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Nachmessung hält in diesem Beispiel den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s im letzten Drittel der Zulässigkeit ein
- die Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung W_{Δ} hält die zulässige Differenz Z_{Δ} ein

Schlussfolgerung:

- da die zulässige Differenz Z_{Δ} eingehalten wird, sind Erst- und Nachmessung vermutlich durch systematische Abweichungen beeinflusst
- in diesem Beispiel wird die Nachmessung in die Auswertung eingeführt

Fall 3) Vermutlich systematische Abweichung in der Erst- und Nachmessung mit weiterem Handlungsbedarf

Tab. I-4: Beispiel 3

	Erstmessung		Nachmessung	
	Hin	Rück	Hin	Rück
Datum	18.07.06	19.07.06	20.07.06	19.07.06
Beginn	08:20	11:00	08:05	14:20
Ende	10:10	12:55	09:40	16:40
T [°C]	21	32	24	35
Wind [m/s]	0,7	1,8	0,7	1,1
Wolken [%]	20	0	0	0
Luftfeuchte	trocken	trocken	trocken	trocken
Verkehr	schwach	schwach	schwach	schwach
Boden	Asphalt weich	Asphalt weich	Asphalt weich	Asphalt weich
Besonderheiten	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
Standpunktanzahl	20	20	20	20
S [km]	1,255	1,251	1,255	1,251
Δh [m]	-0,08739	0,08993	-0,08688	0,09025
W_s [mm]		2,54		3,37
Z_s [mm]		1,79		1,79
W_s/Z_s		1,4182		1,8816
Δh_M [m]		-0,08866		-0,08857
W_{Δ} [mm]				-0,09
Z_{Δ} [mm]				-0,67

Erstmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Erstmessung überschreitet in diesem Beispiel den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s um den 1,4-fachen Wert der Zulässigkeit

Nachmessung:

- der Streckenwiderspruch W_s der Nachmessung überschreitet in diesem Beispiel ebenfalls den zulässigen Streckenwiderspruch Z_s um den 1,9-fachen Wert der Zulässigkeit
- die Differenz der beiden Mittel aus Erst- und Nachmessung W_{Δ} hält die zulässige Differenz Z_{Δ} ein

Schlussfolgerung:

- da die zulässige Differenz Z_{Δ} eingehalten wird, sind Erst- und Nachmessung vermutlich durch systematische Abweichungen beeinflusst
- eine zweite Nachmessung wird empfohlen, um grobe Fehler auszuschließen
- bei Einhaltung der zulässigen Differenz Z_{Δ} kann die Erstmessung und die erste Nachmessung in die weitere Auswertung einbezogen werden
- in diesem Fall ist das weitere Vorgehen zwingend mit der Rechenstelle abzustimmen

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

Tab. J-1: Inhalt und Struktur der Headerdaten

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
0	6	A	B	C	C	C	C		Genauigkeit/Ablesefolge/Beob.
		1						A	Messgenauigkeit
			1					B	Ablesefolge
				0	0	5	7	C	Beobachterschlüssel

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

Headersatznr.		Headersatzstruktur						S	Headersatz/Headersatzsegment
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
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 gesamten DHHN 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 erfassenden Elemente (Verwaltungsdaten) einer Nivellementsstrecke 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 codiert 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 eine Korrektur des mittleren Lattenmeters bzw. – bei analogem Nivellement – 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.

Tab. J-2: Verschlüsselung Besonderheiten für Header 04B

Schlüsselzahl	Bemerkung
0	keine Angabe
1	starkes Flimmern
2	z.T. Schauer
3	Baustelle
4	z.T. Bodenschwingungen
5	Stromübergang
6	Windböen

Tab. J-3: Verschlüsselung Lattenuntersatz für Header 04C

Schlüsselzahl	Bezeichnung
2	schwer (Gewicht \geq 5kg)
4	fest vermarkte Wechsellpunkte
6	Schweizer Bauart

Tab. J-4: Verschlüsselung Ablesefolge für Header 06B

Schlüsselzahl	Bezeichnung	Erläuterung
2	<u>RV</u> <u>VR</u>	Verfahren "Rote Hose"
3	<u>RVVR</u> <u>RVVR</u>	Förstner - Verfahren
9	<u>RV</u> <u>RV</u>	RV mit alternierender Einspielung der Dosenlibelle

Tab. J-5: 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		
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 (Mdl, 1974c)

- 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)

Tab. J-6: Verschlüsselung Luftfeuchte (Niederschlagsneigung) für Header 07D

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

Tab. J-7: 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 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 Tabelle J-8 zu reduzieren:

Tab. J-8: Reduzierung der Schlüsselzahl für das Verkehrsaufkommen bei Messungen abseits der Straße

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

Befinden sich Kfz, Instrument und Latten auf dem gleichen Fahrbahnuntergrund, so gelten die unreduzierten Werte der Skala von 1-4 (Tab. J-7).

Tab. J-9: Verschlüsselung Untergrund-/Oberflächenbeschaffenheit für Header 09C

Schlüsselzahl	Erläuterung	Bemerkungen
1	Asphalt	
3	Beton	z. B. Betonplatten, Betonflächen
5	Pflaster	Beton-, Natursteinpflaster
6	befestigter Untergrund	Splitt-, Schotterwege
7	gewachsener Boden	
8	Sonstiges	

Tab. J-10: 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

0 – Überschlagsmessung im Nachbarland

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

1 – Wiederholungsmessung

Die Messart wird verwendet, wenn die Nivellementsstrecke bei der letzten Messung des DHHN nivelliert wurde und die Messung in die Auswertung als Linienmessung eingehen soll.

2 – Neumessung

Die Messart wird verwendet werden, wenn die Nivellementsstrecke erstmalig nivelliert wird und diese in die Auswertung 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 – Wiederholung wegen Fehlergrenzüberschreitung

Die Messart wird bei einer Nivellementsstrecke verwendet, die sich als fehlerhaft herausgestellt hat und nicht in der Ausgleichung bzw. Einrechnung des DHHN berücksichtigt wird. Sie dient statistischen und analytischen Zwecken.

5 – Kontrollmessung

Die Messart wird verwendet, wenn die Nivellementsstrecke zur Überprüfung eines Nivellementspunktes 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, sondern werden nachträglich unter Zwang eingerechnet.

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.

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.

Die Abbildungen J-1 bis J-6 zeigen Beispiele für die Vergabe von Header 12B (Art der Messung).

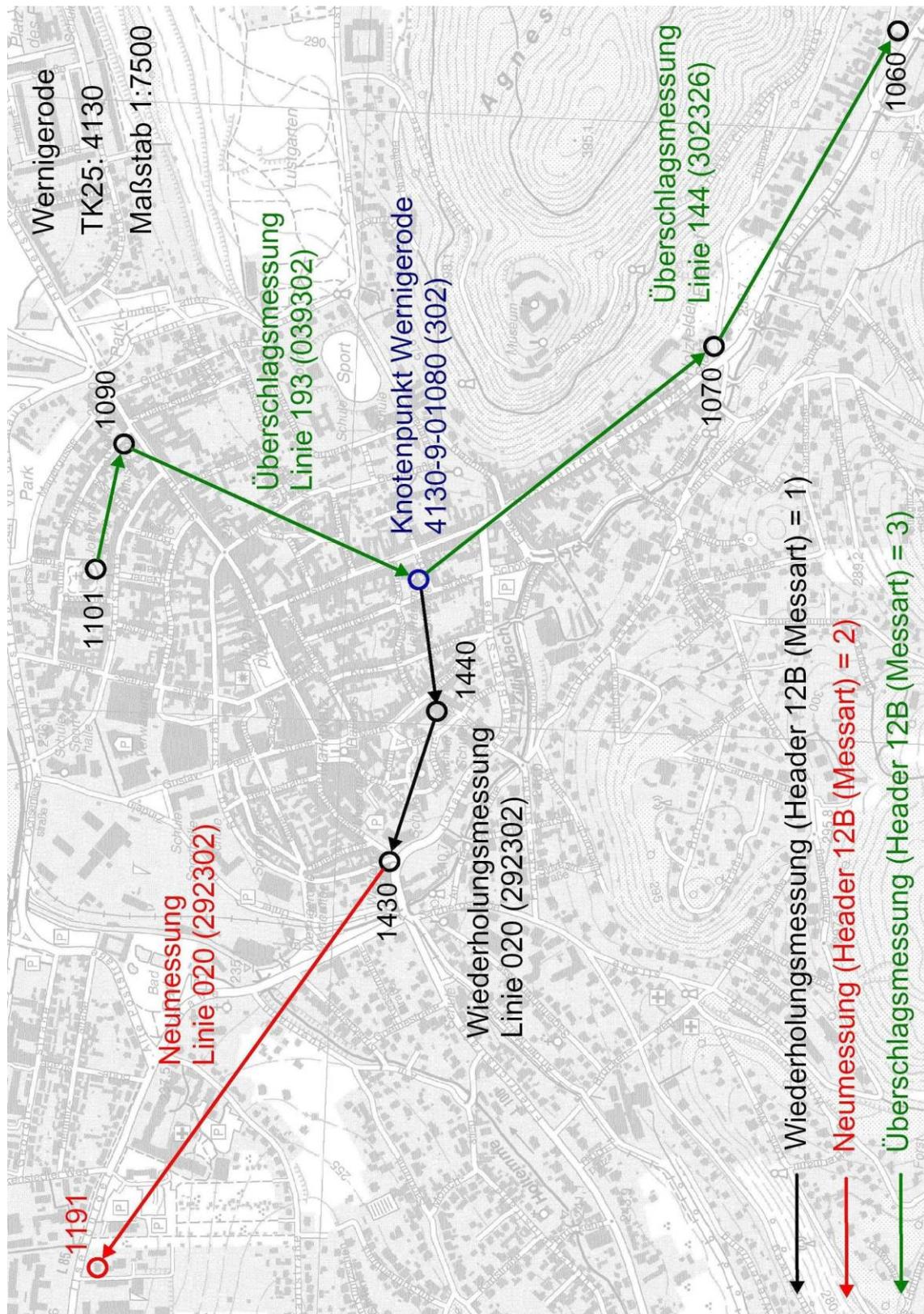


Abb. J-1: Überschlagsmessung am Knotenpunkt

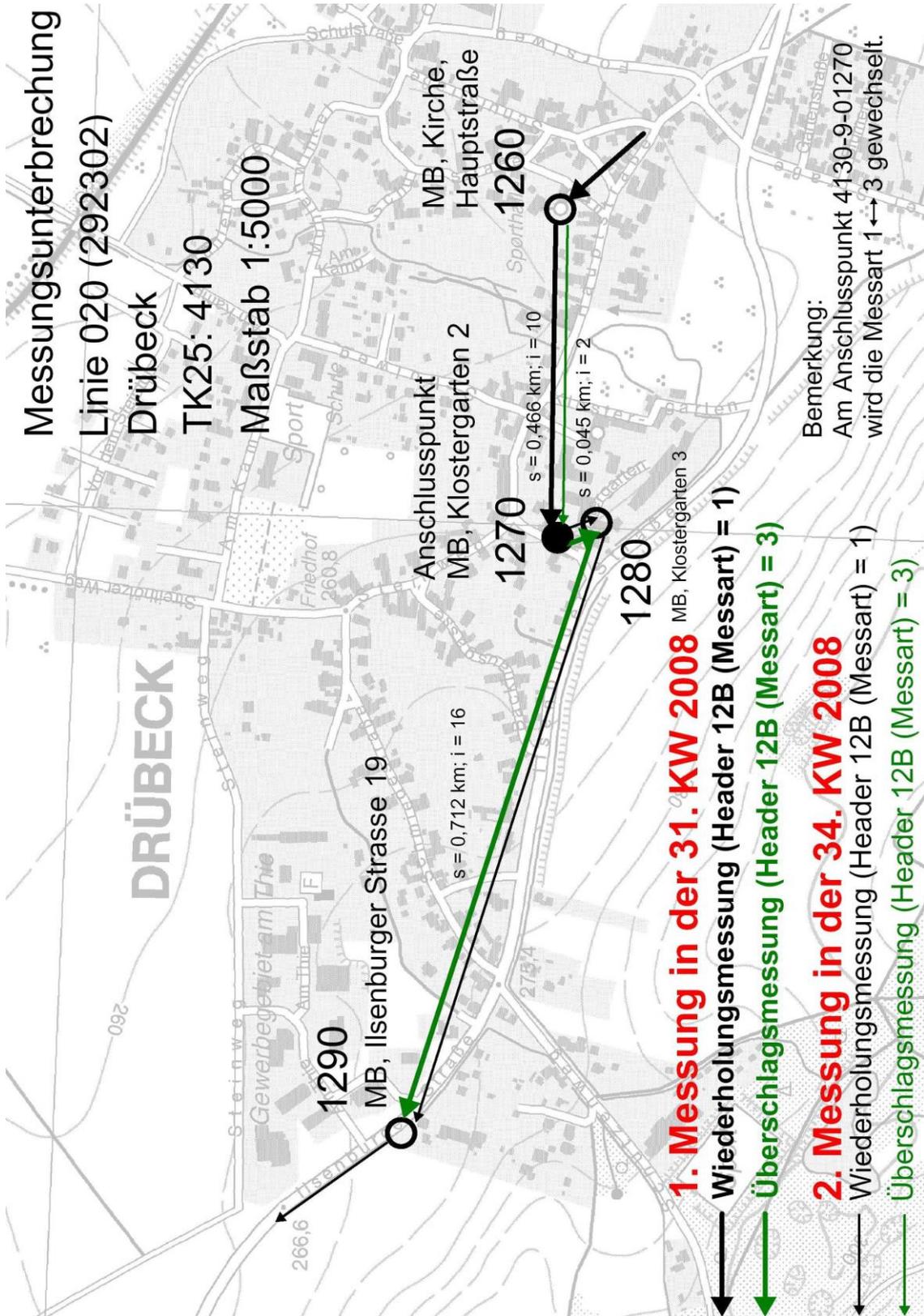


Abb. J-2: Überschlagsmessung bei Messungsunterbrechung

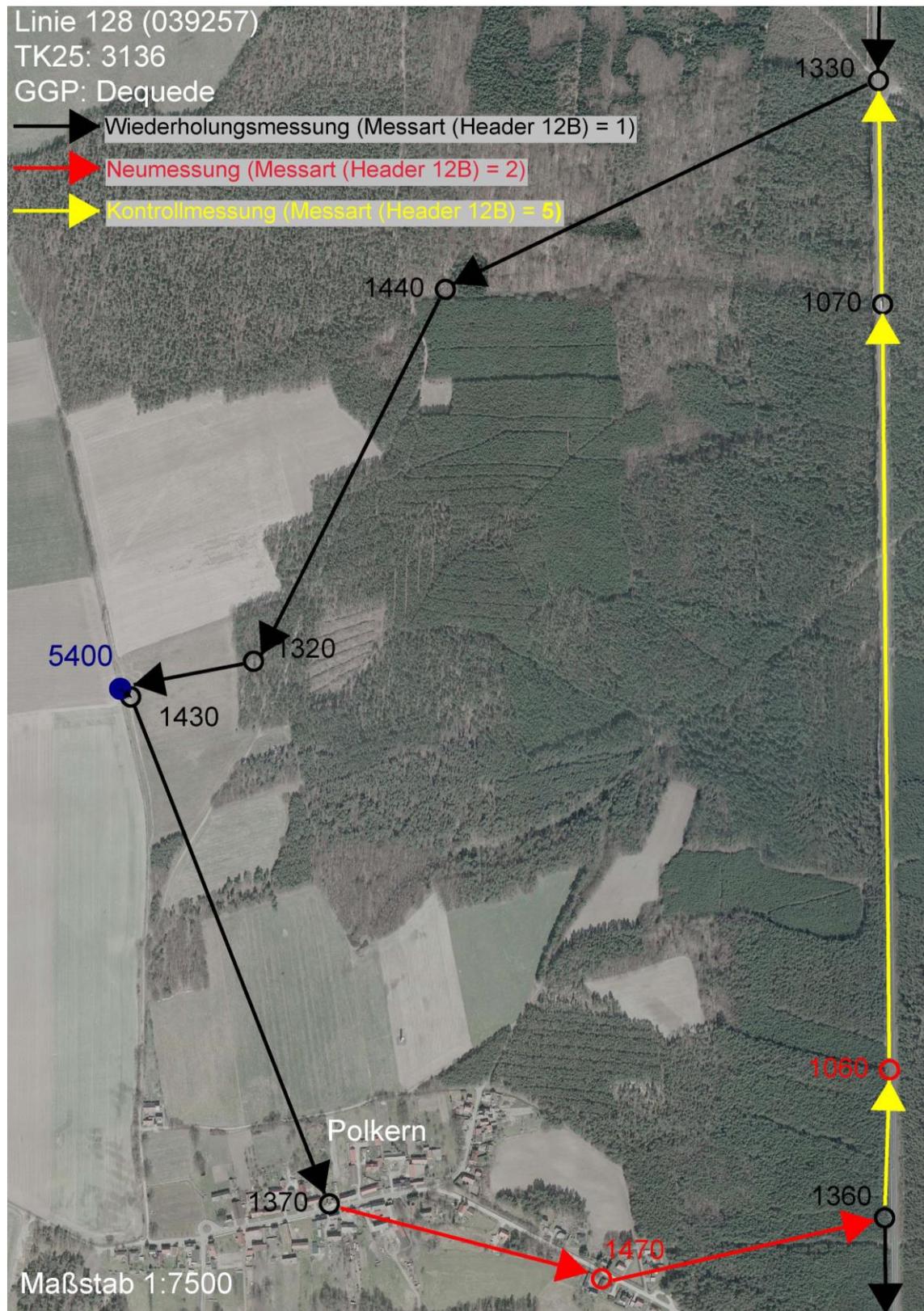
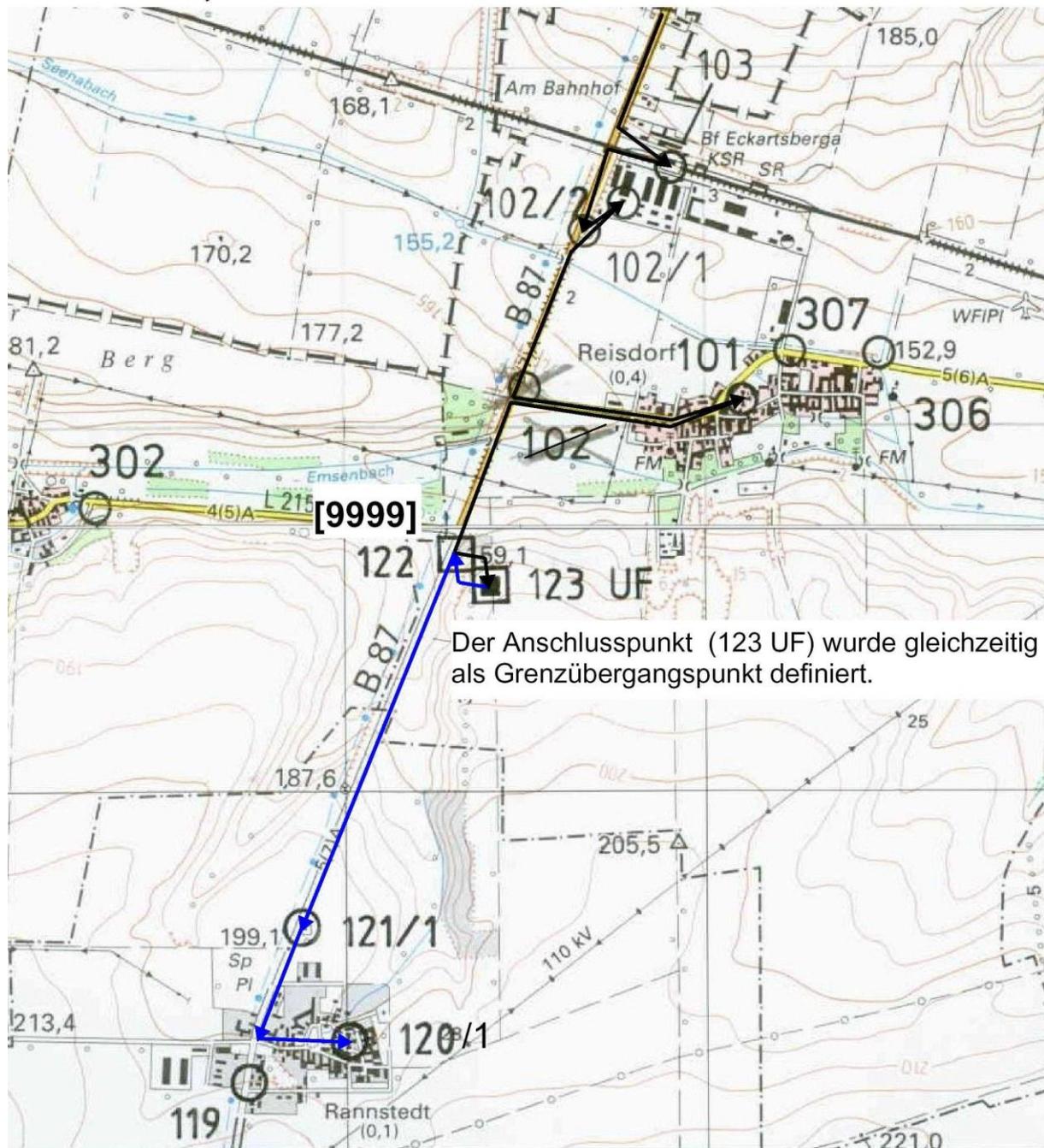


Abb. J-3: Kontrollschleife



Abb. J-4: Überschlagsmessung und Kontrollschleife am Knotenpunkt

Grenzübergangsmessung Linie 156 (052055) TK25: 4835, 4935



- Wiederholungsmessung (Header 12B (Messart) = 1)
- Überschlagsmessung im Nachbarland (Header 12B (Messart) = 0)
- [.....] Hilfspunktnummer (Header 10B oder 11B (Unternummer) = 9)

Abb. J-5: Grenzübergangsmessung

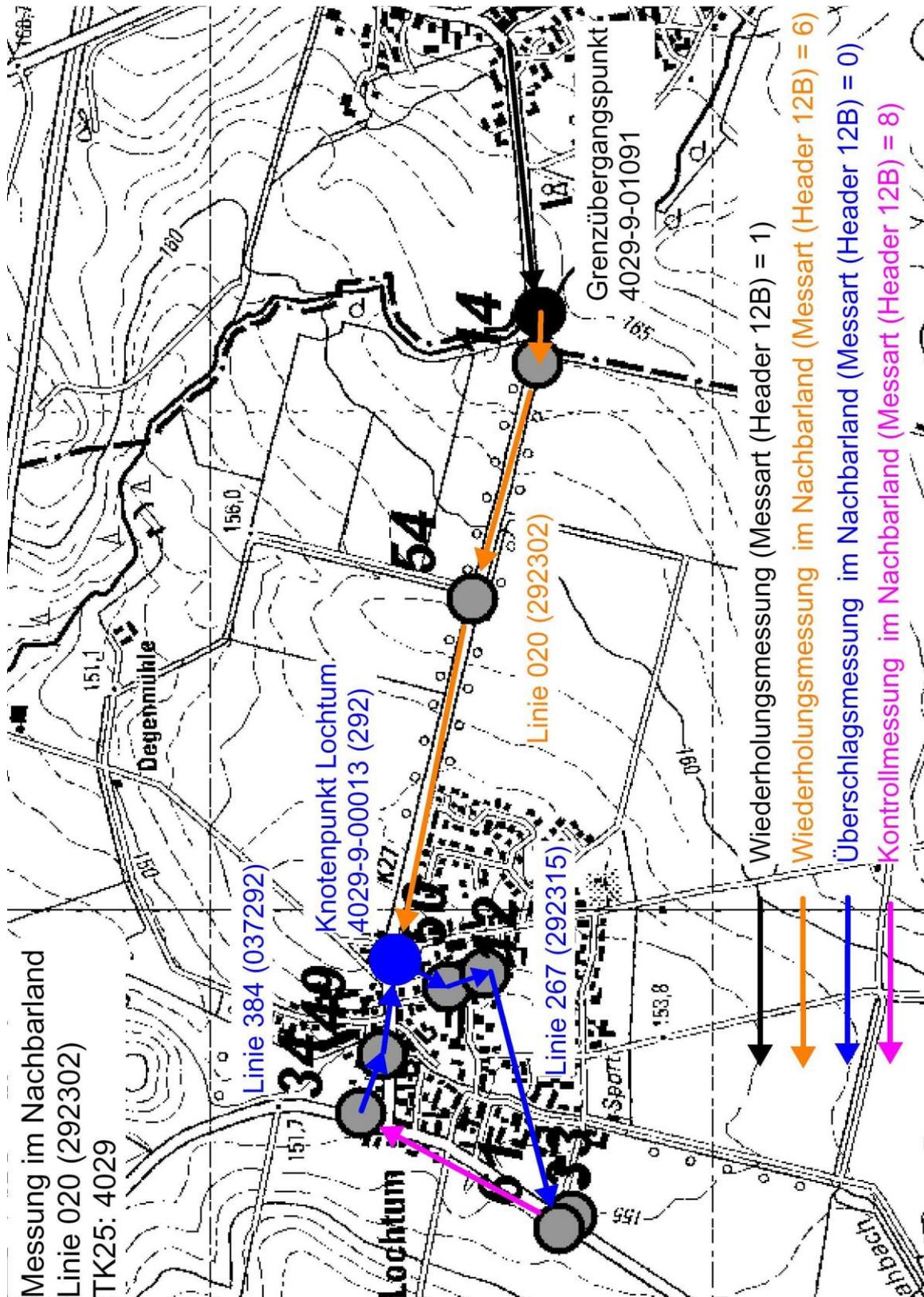


Abb. J-6: Überschlagsmessung und Kontrollschleife am Knotenpunkt im Nachbarland