

## KALIBRIERUNG VON NIVELLIERGERÄTEN UND -LATTEN AN DER HOCHSCHULE NEUBRANDENBURG

E. Müller, W. Heger

Hochschule Neubrandenburg, Deutschland

**Schlissebwürfer:** kalibrierung, nivelliergeräte.

### Nivellierprobe

Feldprüfverfahren für Nivellierinstrumente stellen den aktuellen Justierzustand des Nivelliergerätes unmittelbar vor oder nach der Messung unter Feldbedingungen fest. Durch den einfachen Aufbau sind sie ohne großen Zeitaufwand zu bewältigen. Sie eignen sich besonders für das messungsbegleitende Qualitätsmanagement vor Ort.

Insgesamt sind es 4 Verfahren:

- aus der Mitte;
- nach Kukkamäki;
- nach Förstner;
- nach Näbauer.

Aktueller Stand der Technik ist die Durchführung der Nivellierprobe mit anschließender Justierung der Ziellinie. Dies erfolgt durch den Beobachter im Felde. Dazu wird meist mittel Justierschrauben die Strichplatte oder bei einigen Präzisionsnivellieren eine Keilplatte verstellt. Einige Hersteller geben Empfehlungen ab wann die Ziellinie justiert werden soll. Aufgrund von praktischen Erfahrungen sollte der bei der Nivellierprobe festgestellte **Zielachsenfehler**  $\alpha$  daher erst bei größeren Beträgen (mehrere 10-er Bogensekunden) mechanisch korrigiert werden.

Die Dicke des Horizontalfadens  $d$  eines Nivelliers mit der Brennweite  $f$  umgerechnet in den Winkelwert  $\alpha = d/f \cdot \zeta$  ergibt sich für viele Geräte der Betrag von  $\alpha = 2''$ . Dieser Winkelwert wird an der Latte abgebildet und erscheint in der speziellen Teilung (außer Digitalnivellier).

Damit ergibt sich eine Unsicherheit in der Ablesung/Schätzung bei der analogen Latte (Felder – oder Strichteilung).

Die Ablesung bei Bau – und Ingenieurnivellieren erfolgt visuell an Felderlatten nach **DIN 18703**. Je nach Entfernung kann das 10mm Intervall 1:5–1:10 aufgelöst (geschätzt) werden. Dies entspricht einer Unsicherheit von 1-2mm. Bezogen auf eine Entfernung von 20m ist dies ein Winkelwert von 10''–20'', bei 50m ein Winkelwert von 4''–8''. Dies liegt weit oberhalb der **Einspielgenauigkeit des Kompensators**.

Alle Nivellierproben setzten direkt (Kukkamäki, aus der Mitte) oder zu mindestens rechnerisch (Förstner, Näbauer) voraus, dass bei gleichen Zielweiten für Rück – und Vorwärtsblick gleiche Instrumentenfehler (hier Höhenkollimationsfehler=Zielachsenfehler) auftreten. Dann entfällt der Einfluss des Zielachsenfehlers.

Die hohe Genauigkeit des Nivellements in der Praxis wird auch durch die konsequente Einhaltung gleicher Zielweiten bei Rück- und Vorblick erreicht. In modernen Digitalinstrumenten kann eine evtl. Zielweitendifferenz auch automatisiert rechnerisch berücksichtigt werden. Der Zielachsenfehler muss im Wesentlichen für die Zeit von Rück- und Vorblick konstant bleiben.

Bei der Justierung der Ziellinie können zwischen den Justierschrauben und Strichplattenfassungen mechanische Spannungen auftreten die sich bei Schock und Vibration

entladen und zu Lageänderungen führen können. Führt man für das Nivellier ein Gerätebegleitheft mit den Ergebnissen der Nivellierprobe so kann man die Veränderungen der Ziellinie über die Zeit, nach Transporten und eventuell auch bei wechselnden Temperaturen erfassen (Beispiel: Gerätebegleitheft).

Die Differenz der täglichen Überprüfung (eine Nivellierprobe) des Zielachsenfehlers soll  $< 3''$  betragen. 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.

Für jede Nivellementsstrecke ist die Lattentemperatur zu Beginn der Messung zu erfassen.

Auch bei ungünstigen Bedingungen eine Standardabweichung des Mittels einer Zielung von 20 m von kleiner 0,1 mm einzuhalten.

### Genauigkeit

Die Gerätehersteller zertifizieren ihre Geräte nach nationalen und internationalen

Vorschriften. Für das geometrische Nivellement wird eine Standardabweichung für das Doppelnivellement (Hin- und Rückweg) definiert.

In Neubrandenburg hat sich eine Einteilung in drei Gerätklassen bewährt:

Baunivellement:  $> 2 \text{ mm/km DN}$

Ingenieurnivellement:  $< 2 \text{ mm} > 0,5 \text{ mm/km DN}$

Präzisionsnivellement:  $< 0,5 \text{ mm/km DN}$

Wesentlichen Anteil an der Genauigkeit des geometrischen Nivellements hat die horizontale Ziellinie. Diese wird aktuell durch einen sogenannten Kompensator realisiert. Gegenüber der Verwendung einer Libelle steigert er die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und die Messgeschwindigkeit.

Der Arbeitsbereich des Kompensators ist in der Regel etwas größer als die Angabe der Dosenlibelle des Gerätes und beträgt in der Regel ca. 15arcmin.

**Die Fehler des Kompensators** lassen sich in folgende drei Arten unterteilen:

- Kompensatoreinspielfehler (zufällige Spannungen in der Konstriktion  $< 1''$ );
- Kompensatorumkehrfehler (symmetrische Restreibungen in den Lagern,  $< 2''$ );
- Kompensationsrestfehler (mechanisch-optische Dejustierung in der Größenordnung  $2''$ ).

Die **Unempfindlichkeit eines Digitalnivelliers gegenüber dem Erdmagnetfeld** ist entweder durch Laboruntersuchungen oder durch einen zertifizierten Herstellernachweis zu belegen. Die zulässige Abweichung  $ZM = 0,0207''$  (bzw. 0,1 mm/km) darf nicht überschritten werden.

Bei den hier behandelten Nivellierlatten handelt es sich um Präzisionslatten des Herstellers NEDO. Sie bestehen aus Lattenkörper (Aluminium) und dem Teilungsträger (Invarband 25 mm).

Am unteren Ende befindet sich eine Hartmetallplatte als Aufsetzfläche. Das Invarband ist lackiert und weist Striche oder Balken auf. Diese werden aus dem Lack herausgebrannt und stellen dann schwarze Flächen auf gelben Grund dar.

Die **Kalibrierung der Nivellierlatten** ist zweckmäßig einmal pro Jahr bzw. nach Reparaturen oder stärkeren Beanspruchungen durchzuführen.

Die Kalibrierstellen untersuchen auf einem Vertikalkomparator in Hin- und Rückmessung die Lage aller Codebalken im mittleren Brennspeurbereich, separat für die zweite, dritte und vierte Spur, mit einer Präzision von 1 ppm bis 2 ppm. Die mittleren Lattenmeter der einzelnen Brennspeuren sollen weniger als 10 ppm differieren.

“Die Grenzabweichung darf bei 20° C für einen beliebigen Teilungsabschnitt den Wert nach Gleichung nicht überschreiten:  $\Delta l = \pm (0,02 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot l)$  dabei ist:  $\Delta l$  – Grenzmaß in mm,  $l$  – Länge der Nivellierlatte [mm].”

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

$$\Delta l (3 \text{ m}) = \pm (0,02 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot 3000 \text{ mm}) = \pm (0,02 \text{ mm} + 0,06 \text{ mm}) = \pm \mathbf{0,08 \text{ mm}}$$

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



Bild 1

Nach Bedarf wird der thermische Ausdehnungskoeffizient mit bestimmt.

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

#### Genauigkeitsmaße zur Beurteilung der Messungen

Werden auf einem Standpunkt Doppelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt, so sollen die gemessenen Höhenunterschiede aus der Ablesefolge RVVR (R1, V1, V2, R2) die Differenz ZSP =  $\pm 0,3$  mm nicht übersteigen.

Sofern auf einem Standpunkt Einzelblicke mit Mehrfachablesungen ausgeführt werden, gilt zur Beurteilung der Messung (Kompensatorruhe, Refraktionseinflüsse) die maximale Standardabweichung von 0,2 mm (Wiederholpräzision)

Grundsätzlich sollen der überwiegende Teil der Messungen im ersten Drittel der zulässigen Abweichungen liegen.

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

Standardabweichung  $S_{dH}$  [mm] für einen Kilometer Doppelnivellement wird wie folgt berechnet:

$$S_{dH} = \sqrt{\frac{1}{n_S} \left[ \frac{W_S^2}{4 \cdot S} \right]}$$

mit:  $n_S$  = Anzahl der Nivellementsstrecken;  $S$  = Länge der Nivellementsstrecke (einfacher Messweg) in km;  $W_S$  = tatsächlicher Streckenwiderspruch (Summe der korrigierten Höhenunterschiede der Hin- und Rückmessung einer Nivellementsstrecke) in mm.

Der Wert  $S_{dH}$  soll für die Nivellementslinien 0,4 mm nicht überschreiten.

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

$$p = \frac{1}{S} \text{ ersetzt durch } p = -25 \cdot S + 10$$

um den Wert  $S_S$  nicht durch kurze Nivellementsstrecken zu verfälschen.

**Laborprüfverfahren.** Die Überwachung der Nivelliergeräte wird im Labor oder in Servicestellen durchgeführt. Einige Bundesländer unterhalten für den Bereich öffentlichen Vermessung eigene Servicestellen. Die Labore weisen konstante meteorologische Verhältnisse auf (Temperatur, Feuchte, Luftstrom). Zum Einsatz kommen sogenannte Nivellierprüfstände. Diese werden in der Regel von den Benutzern selbst konzipiert. Ein Nivellierprüfstand soll die Parameter des untersuchten Nivelliers einwandfrei bestimmbar machen. An der Hochschule Neubrandenburg werden folgende Parameter geprüft:

- Stehachslibelle;
- Zielachsenfehler;
- Kompensatoreinspielfehler;
- Kompensatorumkehrfehler;
- Kompensatorrestfehler;
- magnetischer Einfluss auf die Kompensatorlage.

Als Ziel und horizontale Referenz dienen Kollimatoren mit entsprechenden Strichbildern:

- 1) der Leica-Spezialkollimator zwei Strichplatten jeweils für sichtbares und infrarotes Licht (Bild 2);
- 2) Strichplatten aus AKG1100 und AKGV90 von Möller – Wedel.

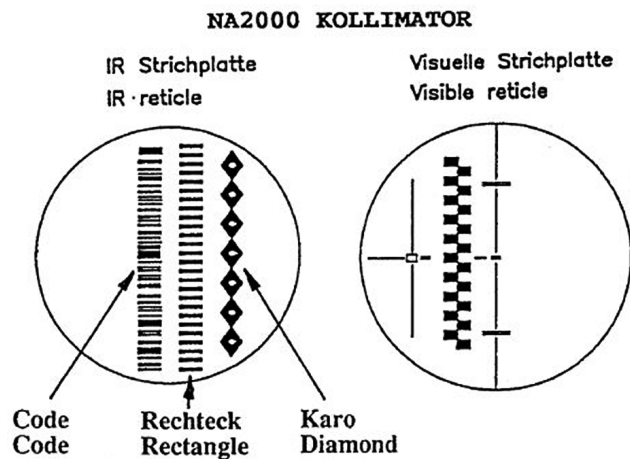


Bild 2. Strichplatten Leica Kollimator

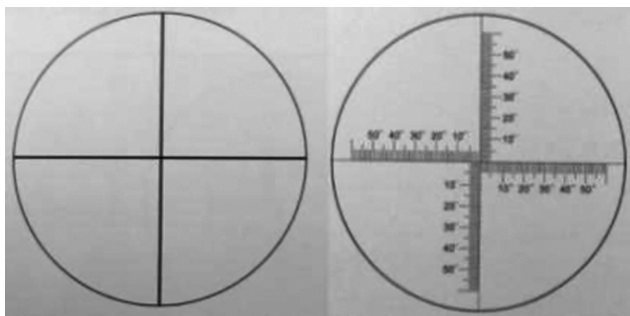


Bild 3. Strichplatten AKF

### Horizontierung des Kollimators – Konzepte –

#### Präzisionstheodolit

Präzisionstheodolite liefern Winkelgenauigkeiten für die Zenitdistanz von 0,5“. Dies setzt ein gutes optisches System, hohe Winkelmessgenauigkeit und gute Erfassung der aktuellen Stehachsenlage voraus. Erreicht wird dies apparativ durch die Sensoren/Komponenten bzw. durch die Messungsanordnung und in situ Korrektur von Sensorfehlern (Messung in 2 Fernrohrlagen, Erfassung von Neigungen).

#### Präzisionsnivellier

Präzisionsnivelliere sind bekannt für eine Einspielgenauigkeit der Kompensatoren. Im Labor für Instrumentenprüfung an der HS NB wird ein spezielles NI 002A CARL ZEISS JENA verwendet. Dieses ist speziell kalibriert und dient bislang als Referenz für die Einrichtung des AKG 1100/105/14,7 MD Kollimators.

Die erreichbare Genauigkeit wird mit 1“ abgeschätzt.

### Lösung mit Quecksilberhorizont (Kiev)

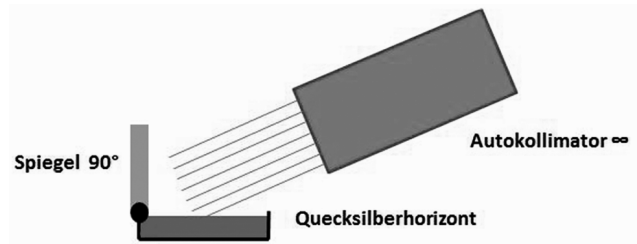


Bild 4



Bild 5

**Schritt 1.** Der 45°-Spiegel wird auf den Hg-Horizont ausgerichtet (Bild 4).

**Schritt 2.** Der Prüfling kann über den 45°-Spiegel/Hg-Horizont horizontalisiert werden (Bild 5).

### Gegenseitiges Richten mit 2.tem Kollimator (WBK-Bochum)

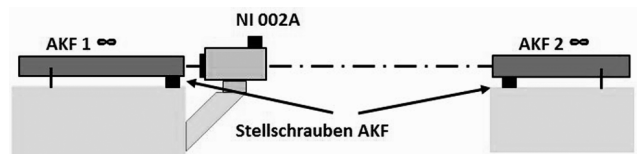


Bild 6

**Schritt 1:** das Referenznivellier NI 002A richtet AKF 1 und 2 ein. Es entsteht bei beiden AKF die gleiche Schiefstellung

**Schritt 2:** nicht kollearen Achsen werden durch gegenseitiges Richten zur Deckung gebracht.

### Leica Kollimator für Digitalnivelliere

Zur Justierung von Digitalnivelliere werden Spezialekollimatoren wie das Leica Gerät mit zwei Strichplatten verwendet. Für die elektronische Ablesung der Barcode-teilung wird der Infrarotanteil des Lichtes genutzt. Im Vergleich zum sichtbaren Spektrum gibt es hier unterschiedliche Brechungen und somit unterschiedliche Brennweiten. Beide Strichplatten des Spezialekollimators sind miteinander verklebt und lassen sich nur gemeinsam justieren.

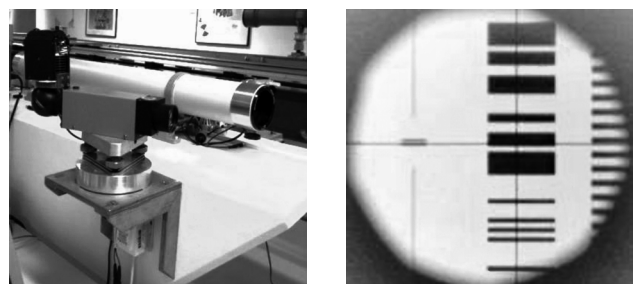


Bild 7 und 8. Leica NA2000 mit zwei Strichplatten

### Neubrandenburger Lösung

Die Neubrandenburger Lösung (Bild 9.) besteht aus:

- Fundament mit Autokollimator, Messsäule;
- Kipptisch mit Präzisions-Inclinometer (HL-Planartechnik NS-1/P, Winkelmessbereich  $\pm 1^\circ$ , Genauigkeit  $\pm 0,001^\circ$ );
- Messeinrichtung Möller/Heidenhain am AKF mit Digitalanzeige (Längenmesssystem MT 1201, Genauigkeit  $\pm 0,2\mu\text{m}$  / Positionsanzeige ND720 zwei Achsen mit Digitalcamerasystem "The ImagingSource");
- Ablaufsteuerung und Datenerfassung am PC;
- Referenzgeräte zur Überprüfung/Justierung des Prüfplatzes (Prüfplatz wird regelmäßig mittels NI002A in beiden Kompensatorlagen überprüft).

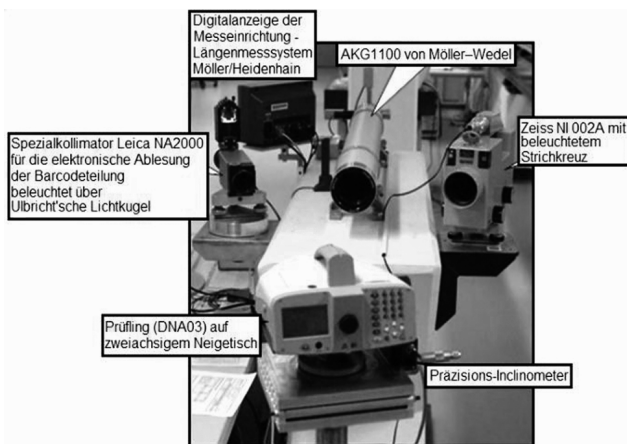


Bild 9

### Ablauf einer Kalibrierung

Vor jeder größeren Kalibrierung, mindestens aber am Anfang der Woche, wird der Prüfkollimator AKG1100 Möller-Wedel mittels Präzisionsnivellier ZEISS JENA NI 002A durch Mehrfachmessung in 2 Spiegellagen justiert. Dazu kann die Strichplatte des als Autokollimator ausgeführten Gerätes mechanisch verstellt werden. Die Verstellung der Strichplatte erfolgt über zwei Präzisionsspindeln. Kontrollmessungen mit einem WILD/T-3000 ergaben eine Differenz der AKF-Ziellinie von  $1,8''$  mit der Standardabweichung von  $0,08''$ .

Die Veränderung des Strichkreuzes wird durch den MT1201/ND720/"The ImagingSource" Präzisionslängenmesser der Fa. Heidenhain erfasst und bei Erreichen der Justierposition wird die digitale Anzeige der Längen auf

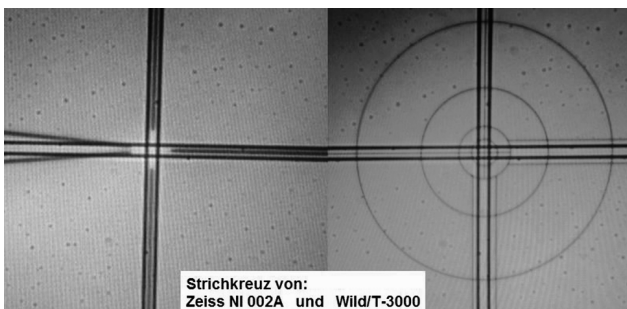


Bild 10

Null gesetzt. Damit ist der Kollimator als Referenzhorizont vorbereitet. Der Präzisionslängenmesser MT 1201 hat eine Digitalanzeige und löst  $1\mu\text{m}$  ( $0,2''$ ) auf.

Die Ablauf der dann folgenden Nivellierüberprüfung ist wie folgt:

- Dosenlibelle justieren.

Die Dosenlibelle ist ein häufig unterschätztes Messmittel. Ideal ist Ihr Justierzustand beim Nivellier 0 arcmin. Bei Abweichungen von 0 arcmin ergibt sich jeweils eine andere Stelle der Ablaufkurve die bei einigen Geräten bedeutende Abweichungen der Zielachse erzeugen können (Zeiss Ni2).

- Zielachsenfehler bestimmen;

– Arbeitsbereich des Kompensators feststellen (eventuell justieren).

Mittels Kipptisch wird das Nivellier vor dem Kollimator geneigt bis das Strichkreuz des Nivelliers nicht mehr einspielt sondern mit der positiven bzw. negativen Kippung relativ zum Kollimatorstrichbild mitwandert. Der ermittelte Bereich sollte ideal symmetrisch zu dem Nullpunkt, welcher durch die justierte Dosenlibelle gegeben wird, verlaufen.

- Kompensatoreinspielfehler

Als mechanisch-optisches Bauteil im Schwerfeld hat der Kompensator in der Regel keine herkömmlichen Lager sondern ist an Fäden oder Bändern aufgehängt. Diese stellen sicher, daß kaum Reibung bei dem Einschwingen in die Lotlinie auftritt. Auch bei sorgfältigster Planung ergeben sich unvermeidbar auch bei den Federn bzw. Bändern Reststrebungen im Material bzw. Hysterese und Temperatureffekte. Bei älteren Instrumenten durch Schock evtl. in unzulässiger Größe. Für den Moment der Kalibrierung unter konstanter Temperatur und stabiler Aufstellung kann deshalb durch wiederholtes Einspielen des Kompensators aus einer Neigungsrichtung heraus ein Wert für die Güte der Einspielung ermittelt werden. Dies ist der Einspielfehler. Dazu wird der Kompensator 5x aus beiden Richtungen eingespielt. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Güte des Kompensators. Eine Verschlechterung des Wertes bei kontinuierlichen Kontrollen kann auf Verschleiß oder Beschädigung hindeuten.

- Kompensatorumkehrfehler (Hysterese)

Dieser Wert ist in Bezug auf den Einspielfehler zu untersuchen.

– Kompensatorablaufkurve (gibt im Hin- und Rückgang Hinweis auf K.-Umkehrfehler über den Arbeitsbereich) zeigt den Kompensationsrestfehler (Arbeitsgenauigkeit des Kompensators) und die Hysterese in der Nulllage.

### Ablauf einer Justierung an dem Beispiel von dem Kompensator angebauten im Zeiss Ni2

Angaben vom Hersteller zu dem Kompensator von Zeiss Ni2:

Kompensatorbereich  $\pm 15'$

Pendelbegrenzung  $\pm 13' \pm 2,5'$ ;

Längsablauf von  $\pm 10'$  über  $0' \leq 9''$ ;

Querablauf von  $\pm 10'$  über  $0' \leq 6''$ ;

Einspielgenauigkeit des Pendels  $\leq 1''$ .

Zugelassene Toleranz des Kompensationsfehler  $\pm 2''$ .

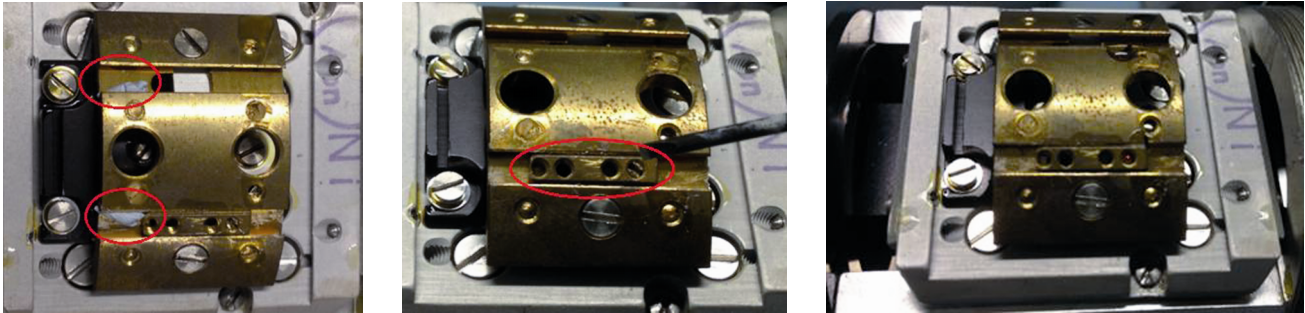


Bild 11–13

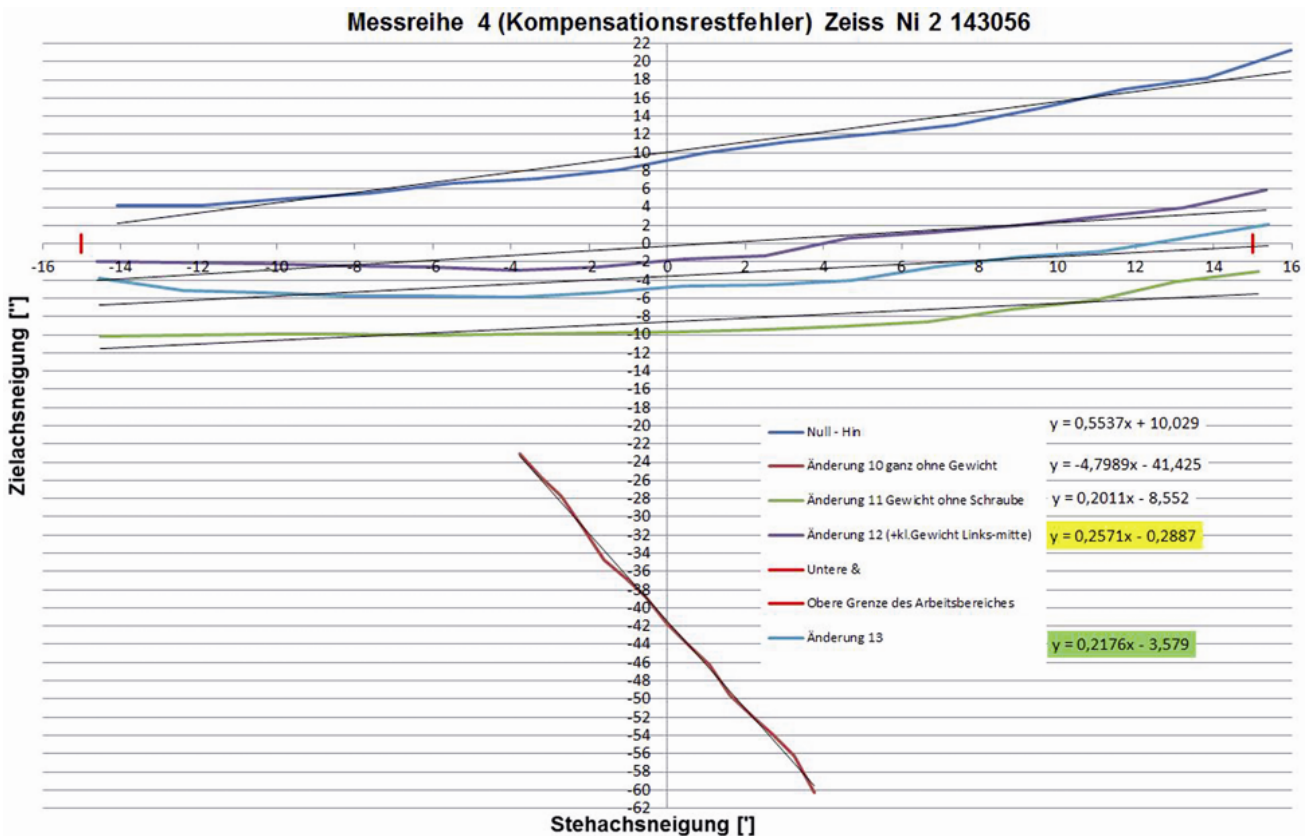


Bild 14

**Schritt 1:** Es wurden mehrere Versuche mit dem zusätzlichem Gewicht

(Klebemasse von Bostik “Blu Tack”) durchgeführt:

Bei größerer Abweichung der Ziellinie, muss das Pendel leichter werden.

**Schritt 2:** Die weitere Justierung ist durch verschieben des Schiebegewichtes, welches sich auf dem Pendeldach des Kompensators befindet, erfolgt.

Wie auch die Korrektur mit ein- oder ausschrauben von Gewichtsschrauben.

**Schritt 3:** In diesem Fall hat die Entnahme der Gewichtsstifte das beste Ergebnisse geliefert.

Dabei verändert das Gewicht eines Gewindestiftes M1,7x2,5 die Kompensatorlage um ca.2" bis 3". Nach der Justierung wurde das Schiebegewicht mit Schellack gesichert.

**Zusammenfassung**

An der Hochschule Neubrandenburg werden seit mehr als 15 Jahren Nivelliere geprüft. Die Prüfgrößen wurden

in diesem Beitrag vorgestellt und an praktischen Beispielen erläutert. Die erreichbare Genauigkeit des Prüfverfahrens liegt derzeit bei ca. 0,5 arcsec.

Bislang erfolgt die Prüfung mit und ohne Magnetfeldeinfluss immer in der Fernrohrstellung Unendlich. In Zukunft soll ein geeigneter Kollimator mit der Möglichkeit der Prüfung für Gegenstandsweiten kleiner Unendlich aufgebaut werden. Damit kann dann der Einfluss von kurzen Zielweiten auf den Verlauf der Kompensatorkurve bestimmt werden.

**Anhang 1. Literaturverzeichnis**

1. Adv: Richtlinien für den einheitlichen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 26.01.2006). Umlaufverfahren 03/2006 des Arbeitskreises Raumbezug.
2. Alle Präzisionsnivellierlatten müssen der DIN 18717 entsprechen (DIN 1996)
3. Felderlatten nach DIN 18703

4. Die Höhenbolzen müssen DIN: DIN 18708 (Norm-Entwurf), Ausgabe 1998-08: Höhenbolzen. DIN e. V., Berlin 1998 entsprechen.
5. Für die optische Geräte gilt ISO: ISO 17123-2: Optics and optical instruments – field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 2: Levels, ISO, Genf 2001.
6. Feldprüfverfahren nach DIN 18723 Teil 2
7. Die Unempfindlichkeit eines Digitalnivelliers gegenüber dem Erdmagnetfeld ist einmal entweder durch Laboruntersuchungen oder durch einen zertifizierten Herstellernachweis zu belegen.
8. Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen im Vermessungswesen – Teil 1: Allgemeines. DIN: DIN 18709-1, Ausgabe 1995-10 DIN e. V., Berlin 1995.
9. Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, DIN: DIN SN ENV 13005 (Vornorm), Ausgabe 2000-07: DIN e. V., Berlin 1999.

#### Калібрування нівелірних приладів та рейок у Вищій школі Нойбранденбург

Є. Мюллер, В. Герер

Розглядається калібрування геодезичних вимірювальних засобів, зокрема, вимірювання висот за допо-

могою геометричного нівелювання. Застосування горизонтальної візирної лінії і двох вертикальних масштабів дає можливість визначити вертикальну різницю висот  $dH'$ .

#### Калибровка нивелирных приборов и реек в Высшей школе Нойбранденбург

Е. Мюллер, В. Герер

Рассматривается калибровка геодезических измерительных средств, в частности измерения высот с помощью геометрического нивелирования. Применение горизонтальной визирной линии и двух вертикальных масштабов дает возможность определить вертикальную разницу высот  $dH'$ .

#### Calibration of levelling devices and lathes in Neubrandenburg University of Applied Sciences

E. Muller, W. Heger

The article deals with calibration of geodetic measuring means, particularly heights geometric levelling. The application of horizontal viewfinder line and two vertical scales makes it possible to determine the vertical difference of heights  $dH'$ .

