

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 61 (1963)

**Heft:** 4

**Artikel:** Probleme der Ziellinienstabilisierung durch ein astasiertes Pendel [Fortsetzung und Schluss]

**Autor:** Krötzl, Johann

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-218443>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Société suisse de Photogrammétrie

Convocation à la 36<sup>e</sup> Assemblée générale  
qui aura lieu le samedi 4 mai 1963, à Zurich,  
Zunfthaus «Zur Waag», Münsterhof 8

## Ordre du jour

1. Procès-verbal de l'assemblée d'automne du 24 novembre 1962
2. Rapport sur l'activité du Comité
3. Rapport de gestion des comptes 1962 et rapport de vérification
4. Cotisations annuelles et budget 1963
5. Nomination de l'auteur du rapport national pour le Congrès 1964
6. Communications sur l'activité des commissions et sur l'état de préparation du Congrès de Lisbonne
7. Communications du Comité et divers

La partie administrative sera suivie d'un exposé de Monsieur P. Fülscher, géomètre à la Division des Travaux de la Direction générale des Chemins de fer fédéraux, sur *La nouvelle voiture des CFF pour la mesure des profils*. Il s'agit d'un wagon spécialement équipé pour la mesure photogrammétrique des profils de tunnel.

L'exposé de Monsieur Fülscher sera suivi d'une visite de la voiture en gare de Zurich-Stadelhofen.

Les hôtes seront les bienvenus.

*Le Comité*

## Probleme der Ziellinienstabilisierung durch ein astasiertes Pendel

Von Johann Krötzl, dipl. Ing., Heerbrugg

(Fortsetzung und Schluß)

C. Wegen der physikalischen Eigenschaften der verwendeten Metalle und Legierungen sind folgende Fehler der einzelnen Bauteile zu berücksichtigen

### 1. Längenänderungen wegen Temperaturänderungen

Bei der Montage des Instrumentes herrscht gewöhnlich eine Temperatur nahe bei +20 °C. Im Feldgebrauch können jedoch Temperaturen bis zu —50 °C auftreten. Für die Differenz  $\Delta t = 70$  °C ergeben sich folgende Längenänderungen am Kompensator des NA 2.

a) Längenänderungen der Nivaroxdrähte. Der mittlere Wärmeausdehnungskoeffizient  $\lambda = 7,5 \times 10^{-6}$  / °C.

$$\frac{\Delta l}{l} = \lambda \cdot \Delta t = 7,5 \times 10^{-6} \times 7,0 \times 10 = 5,2 \times 10^{-4}$$

Für eine Einspielgenauigkeit von  $0,1''$  wird eine relative Genauigkeit der Drillfadenlänge von  $\frac{dl}{l} = 0,7 \times 10^{-5}$  verlangt. Der erhaltene Fehler entspricht einer Verstellung der Ziellinie um  $7,4''/\Delta t = 70^\circ\text{C}$  und liegt innerhalb der festgelegten Toleranz. Für die Längenausdehnung der Bifilarfäden erhält man  $\frac{dh}{h} = 1,1 \times 10^{-5}$ , was einem Ziellinienfehler von  $4,7''/\Delta t = 70^\circ\text{C}$  entspricht.

*b) Änderung des Abstandes der Einspannstellen der Bifilarrähte.* Am Schwingkörper sind die Einspannstellen aus Aluminium, an der Blattfeder jedoch aus Messing. Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient von Aluminium ist größer als derjenige von Messing und beträgt

$$\lambda = 2,4 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}.$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \lambda \cdot \Delta t = 2,4 \times 10^{-5} \times 70 = 168 \times 10^{-5}/\Delta t = 70^\circ\text{C}$$

Für eine Einspielgenauigkeit von  $0,1''$  wird eine Genauigkeit von  $\frac{de}{e} = 2,5 \times 10^{-5}$  verlangt. Man hat also im betrachteten Fall mit einem Ziellinienfehler von  $6,7''/\Delta t = 70^\circ\text{C}$  zu rechnen, der innerhalb der Fertigungstoleranz des NA 2 liegt.

*c) Eine Änderung der Pendellänge verursacht eine Änderung der Geometrie des Strahlenganges sowie eine Verschiebung des Schwerpunktes des Pendels.*

$$\text{Es ist } dM_P = 0,25 \cdot \frac{dL}{L} \cdot \alpha = 1,2 \times 10^{-7} \text{ für } d\alpha = 0,1'',$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \lambda \Delta t = 2,4 \times 10^{-5} \times 70 = 1568 \times 10^{-5}.$$

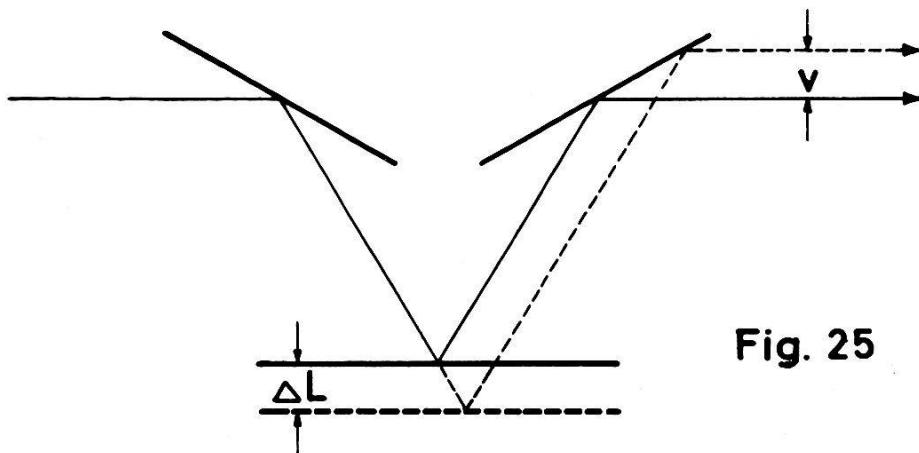
Für einen Pendelausschlag  $\alpha = 0^\circ 34'$ , der leicht einzuhalten ist, folgt daraus:

$$dM_P = 0,25 \times 168 \times 10^{-5} \times 10^{-2} \approx 4,2 \times 10^{-6}/\Delta t = 70^\circ\text{C}$$

Nimmt man jedoch eine sehr weite Montagetoleranz von zum Beispiel  $\alpha = 5^\circ 44'$ , so erhält man  $dM_P = 420 \times 10^{-7}$ , was bereits einen Ziellinienfehler von  $35''/\Delta t = 70^\circ\text{C}$  verursachen kann, der nahe an der von der Firma Wild sich selbst gestellten Fertigungstoleranz liegt.

Wegen der Änderung der Länge des Pendelarmes erfolgt eine Versetzung des Fernrohrbildes (Fig. 25). Sie könnte in unserem Fall (Aluminiumguß) maximal betragen:

$$v \approx 18 \text{ mm} \times 2,4 \times 10^{-5} \times 70^\circ\text{C} \approx 3 \times 10^{-2} \text{ mm}$$



**Fig. 25**

Bei einer Brennweite von 264 mm gibt das einen Fehler

$$\Delta\alpha = \frac{v}{264} \approx 24''/\Delta t = 70^\circ\text{C}.$$

Durch eine günstige Konstruktion des Kompensatorrahmens wird beim NA 2 eine weitgehende Kompensation dieses Fehlers erreicht.

*d) Änderung der Fernrohrlänge.* Alle optischen Teile des Fernrohrs sind in eine gemeinsame Messingfassung gebettet. Durch die Temperaturänderung von  $\Delta t = 70^\circ\text{C}$  resultiert eine axiale Verschiebung zwischen Objektiv und Strichplatte vom Betrage

$$\Delta l = l \cdot \lambda \cdot \Delta t \approx 210 \text{ mm} \times 18,4 \times 10^{-6} \times 70 \approx 0,27 \text{ mm}.$$

Unter der Annahme, daß die optischen Teile sich nicht deformieren und der Faktor des Kompensators unverändert bleibt, läßt sich der Ziellinienfehler infolge der Änderung der Fernrohrlänge abschätzen.

$$x \cdot n = f \cdot n - f, \quad dn = \frac{n \cdot dx}{f - x} = 0,136 \cdot dx \quad \text{für } n = 6 \\ f = 264 \text{ mm}$$

$x$  = Abstand zwischen Objektiv und Kompensator

So erhält man für einen Längsneigungsbereich von  $\pm 10'$  einen Ziellinienfehler von  $\pm 20''/\Delta t = 70^\circ\text{C}$ .

## 2. Der Einfluß von Temperaturänderungen auf die elastischen Eigenschaften der Federn und Drähte des NA 2 [20, 22, 24, 36]

Zur Herleitung der Ausdrücke für die Torsionsmomente des Drill- und des Bifilarfadens benutzten wir unendlich kleine Größen (Differentialausdrücke). Folglich gelten die bisher betrachteten Torsionsformeln im strengen Sinne nur für homogene und isotrope (richtungsunabhängige) Stoffe, von denen es nur wenige gibt (zum Beispiel Glas). Die in der Technik verwendeten Federmetalle sind Legierungen mit bestimmter Vorbehandlung (Vergütung). Im Mikroskop erkennt man die Mischkristall-

struktur dieser Stoffe. In der Metallkunde kennt man viele Verfahren, um eine Vielfalt von Stoffeigenschaften herbeizuführen. Es gibt zum Beispiel zähe, spröde, amagnetische und korrosionsbeständige Legierungen, solche mit kleinem Wärmeausdehnungskoeffizienten (Invar), solche mit hoher Zugfestigkeit und auch solche mit genau abstimmbarem Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls, wie die im NA2 verwendeten Nivaroxlegierungen, die von Straumann seit 1933 für Uhrenfedern entwickelt werden (Fig. 26).

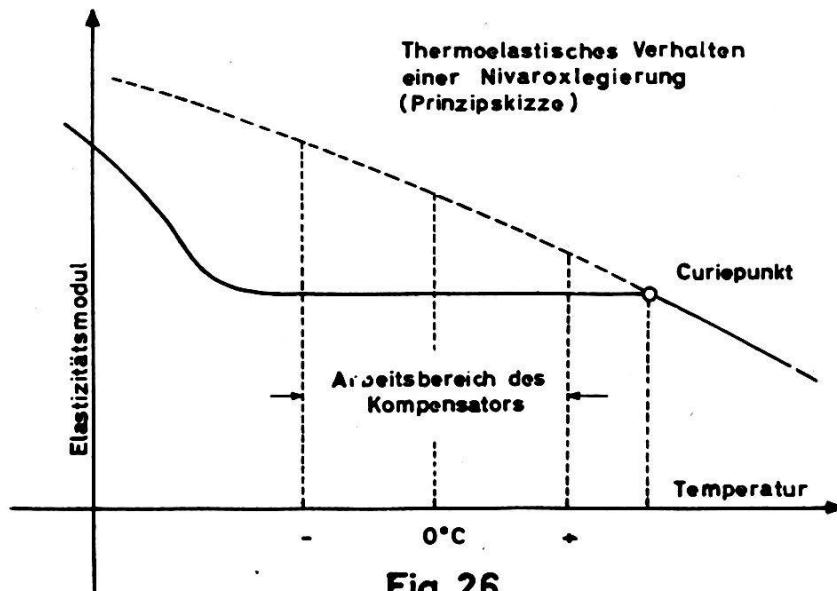


Fig. 26

Aus der Fehlerbetrachtung entnimmt man die geforderte relative Genauigkeit des  $E$ -Moduls  $\frac{dE}{E} = 0,5 \times 10^{-5}$ , damit die Nullage auf  $d\beta = 0,1''$  gewährleistet ist. Dies ist aber bereits der thermoelastische Koeffizient TK (oder  $\eta$ ), wenn man diese Genauigkeit auf eine Temperaturänderung von  $1^\circ\text{C}$  bezieht.  $\eta = \frac{1}{E} \cdot \frac{dE}{dt}$ . Gewöhnliche Metalle und Federn

stähle haben bei Feldarbeitsbedingungen einen Temperaturkoeffizienten des  $E$ -Moduls von etwa  $-10$  bis  $-50 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$  und können somit für den Kompensator nicht gebraucht werden. Bei gewissen Eisen-Nickel-Legierungen gelingt es jedoch, durch Beeinflussung der inneren Spannungen des Federmaterials die Genauigkeit von  $\frac{dE}{E \cdot dt} = \eta = \pm 0,5 \times 10^{-5}$  leicht zu erreichen.

Innere Spannungen haben ihre Ursache in der Temperatur, der angewandten Deformation und im Magnetisierungszustand. Durch Änderung der beiden letztgenannten Faktoren kann bei der Herstellung des Federmaterials die Thermokompensation erreicht werden. Die ferner denkbare und auch von uns versuchte Justiermöglichkeit (Feinjustierung durch zusätzliche Torsion der Einspannung beziehungsweise Anwendung

von magnetischen Justierschräubchen) wird am Kompensator des NA 2 nicht benutzt, da sich zeigte, daß das sorgfältig hergestellte Material ohnehin die gewünschte hohe Stabilität der Meßwerte aufweist.

Einige typische Daten über die Nivaroxlegierungen [23]:

30–40 % Nickel

50–60 % Eisen

zum Teil Zusätze aus: Chrom, Molybdän, Wolfram, Titan, Beryllium  
Korrosionsbeständig

Schwach magnetisch

*E*-Modul 19 000–21 000 kp/mm<sup>2</sup>

Elastizitätsgrenze 55–80 kp/mm<sup>2</sup>

Curietemperatur 80 °C

Ausdehnungskoeffizient  $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Koerzitivkraft 1–2 Oersted

Die Ermittlung der Temperaturabhängigkeit des Kompensators erfolgt in einer Prüfkammer. In dieser befindet sich ein T-4-Kollimator mit aufgesetztem Keilmikrometer (Einstellgenauigkeit 0,1"). Davor ist der mit einer umlegbaren Libelle versehene Prüfling auf einem Neigungstisch befestigt. Die Faktor- und Nullagefehler des Kompensators können somit schnell und genau bei verschiedenen Temperaturen gemessen werden.

### 3. Änderungen der elastischen Eigenschaften wegen mechanischer Beanspruchung [23, 25, 31]

Weil die Stahlfedern leicht rosten sowie empfindlich gegen magnetische Störungen und Temperatureinflüsse sind, können sie im Kompensator nicht verwendet werden. Die Nivaroxfedern haben diese Mängel fast nicht, besitzen aber eine niedrigere Elastizitätsgrenze als die Stahlfedern.

Der innere Spannungszustand der Legierung ist also sorgfältig zu beachten. Schon früher, bei der Besprechung der Temperaturkompen-sation, wurde darauf hingewiesen, daß das Federmaterial im unendlich kleinen Bereich nicht als homogen anzusehen ist und in dessen Misch-kristallstruktur entsprechend der Vorbehandlung ganz bestimmte Span-nungszustände herrschen. Je gleichmäßiger diese Spannungszustände über das ganze Material verteilt sind, das heißt, je besser es homogenisiert ist, um so mehr wird sein Verhalten in einem bestimmten Arbeitsbereich als homogen gelten können. Jede Störung dieser Homogenisierung, wie sie zum Beispiel durch eine in der Größenordnung der Vorbehandlung lie-gende mechanische Beanspruchung verursacht sein kann, muß die Feder-eigenschaften beeinflussen. Eine Bestimmung des dadurch entstehenden Fehlers gelingt nur in Versuchen.

a) Mechanische Beanspruchungen *vor* der Montage treten auf, wenn die zeichnungsgemäßen Fäden beim Verpacken oder beim Transport zur Montagewerkstätte verbogen werden. Daher prüft man die Fäden un-mittelbar vor dem Einbau ins Instrument mit optischen Hilfsmitteln auf

ihre Form. Im Idealfall sind die Fäden vollkommen gerade beziehungsweise eben, denn nur dann hängt das abgegebene Torsionsmoment von der Kippung allein ab. Die Spannkraft  $P$  kann in diesem Fall kein Torsionsmoment hervorrufen, das die Messung verfälschen würde.

b) Mechanische Beanspruchungen während der Montage lassen sich nicht vermeiden. Sie entstehen beim Befestigen der Fäden zwischen den Klemmbacken. Die Beseitigung der vorhandenen Materialspannungen gelingt durch eine einfache Wärmebehandlung.

c) Mechanische Beanspruchungen des Kompensators des NA 2 nach der Montage haben nur geringen Einfluß auf die Ziellinenstabilität. Die Bruchsicherheit des Kompensators ist der des Instrumentes selbst gleichzusetzen. Die vernünftige Sorgfalt, wie man sie beim Aufstellen und beim Transport von Libellennivelierinstrumenten walten läßt, ist auch für das selbsthorizontierende Nivellier vollkommen hinreichend. Bei einer groben Abschätzung der zulässigen Beanspruchung des Kompensators hat man die Stoßrichtung zu berücksichtigen. Der Stoß kann nämlich quer oder längs der Richtung der Einspannung erfolgen (Fig. 27).

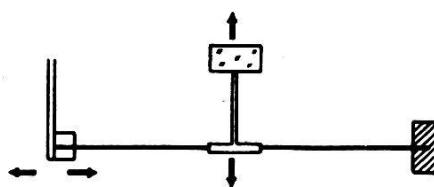
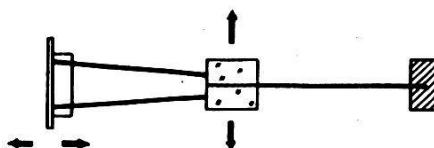


Fig. 27



Die *Querbeanspruchung* [31] verursacht eine geringe Änderung der Blattfederspannung  $P$ , welche auf die Drähte wirkt: Wird der Pendelkörper aus seiner Mittellage um einen kleinen Betrag ( $x$ ) ausgelenkt, so gibt die Einspannstelle an der Blattfeder so lange um den Betrag  $\Delta l = 2 \cdot l \cdot (1 - \cos x/l)$  nach, bis der Pendelkörper seine Anschlagsbegrenzungen berührt. Der Betrag  $\Delta l$  ist aber wegen der geringen Auslenkung ( $x$ ) so klein, daß selbst beidseitig fest eingespannte Drähte sich noch innerhalb des elastischen Bereiches dehnen könnten. Die beim Aufstellen und Eintreten des Stativs in Schotterboden oft auftretenden harten Stöße wirken quer auf die Einspannung des Kompensators und haben somit keinen schädigenden Einfluß.

Die *Längsbeanspruchung* der Einspannung erreicht nur bei Stürzen oder seitlichen harten Schlägen gefährliche Ausmaße. Es soll in der nun folgenden Überlegung der Fall eines plötzlichen Schlages von links betrachtet werden. Durch den Stoß wird das Massensystem der in der Einspannebene liegenden Teile des Pendelkörpers, der Drähte und der Blatt-

feder beschleunigt und dadurch unter anderem der Drillfaden gedeht. Nimmt man das Gewicht der beim Stoß am Drillfaden zerrenden Teile mit 5 p an, so ergibt sich aus der Elastizitätsgrenze für Nivarox von 55000 kp/mm<sup>2</sup> beziehungsweise 2750 kp/A ( $A = 0,05 \text{ mm}^2$  = Querschnittsfläche des Drillfadens) eine zulässige maximale Beschleunigung von etwa 550 g. Die tatsächliche bei einem Stoß auftretende Beschleunigung ist wegen der Unsicherheit in der Bestimmung der Stoßzeit beziehungsweise der tatsächlich erfolgten Deformation nicht einfach zu ermitteln. Schon für kleine Fallhöhen errechnet man Spannungen und Beschleunigungen, die weit über den zulässigen Wert hinausgehen, wenn man annimmt, daß der reine elastische Stoß unmittelbar auf den Drillfadenquerschnitt wirkt [9, 31]. Bis aber die Stoßwirkung an den Drillfaden gelangt, ist sie durch unelastische und elastische Deformationen des angeschlagenen Körpers, des Instrumentenlacks, des Instrumentengehäuses und des Kompensatorrahmens bedeutend geschwächt. Um sicher zu sein, daß das Instrument schweren Transportstößen widersteht, prüft man die Güte des Kompensators mit Hilfe eines Rütteltisches (5–200 Hz, 1–200 g) und durch Abklopfen des Instrumentes mit einem 50–100 p schweren Hauthammer.

#### *4. Sonstige Materialeigenschaften, die sich auf die Kompensatorfunktion auswirken können*

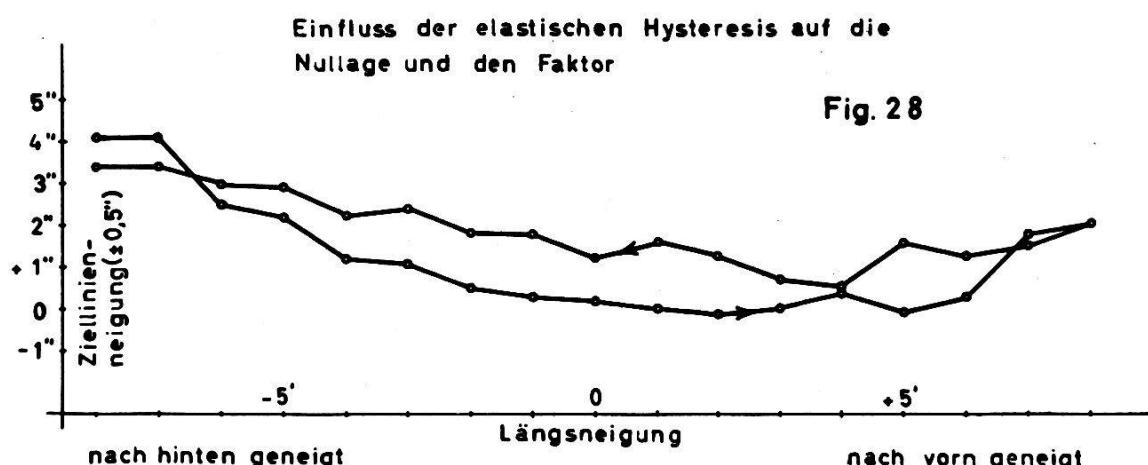
Das in den automatischen Nivellieren verwendete Feder- und Bandmaterial soll ein besonderes elastisches und thermoelastisches Verhalten aufweisen. Durch die hiefür notwendige Verwendung ferromagnetischer Stoffe läßt sich eine geringe Magnetempfindlichkeit nicht vermeiden [26]. Darum ergibt sich eine Verstellung der Ziellinie, sobald dieses Material in ein magnetisches Feld gerät. Die Ziellinienänderung ist aber wesentlich von der Richtung des magnetischen Feldes abhängig und für jeden Kompensatortyp verschieden. Die größte Änderung der Ziellinie beim NA2 wurde bei einer Annäherung eines zum Pendel gerichteten Magnetfeldes von unten festgestellt und betrug 0,5" beziehungsweise 12" je nachdem, ob der Dauermagnet [Oerstet 300,  $(1 \times 2) \times 3 \text{ cm}^3$ ] von der Oberfläche des Instrumentes 5 cm beziehungsweise 0,5 cm entfernt war.

Die Richtungsabhängigkeit eines störenden Einflusses von magnetischen Feldern wurde auch noch in der Nähe von größeren Eisenmassen und von Starkstromleitungen untersucht. Zu diesem Zweck wurde auf dem Gehäuse eine Kreuzlibelle angebracht und mit deren Hilfe das Instrument nach erfolgter Drehung stets neu horizontiert. Die Ziellinienneigung, die mit einem Wild T2 gemessen wurde, blieb konstant. Man wird also nur in der Nähe von stationären Magnetfeldern, wie sie von Dauermagneten und Gleichstromleitern kommen, mit Ziellinenfehlern zu rechnen haben.

Es gibt noch eine Reihe von Fehlereinflüssen, die anderswo, besonders im Hinblick auf die Herstellung elektrischer Meßgeräte, untersucht wurden [32]. Es handelt sich dabei aber um Instrumente mit viel größerem Torsionswinkel als beim NA 2.

Wohl aus diesem Grunde läßt es sich erklären, daß die festgestellten Nullagefehler des Kompensators infolge der elastischen Hysterese und der elastischen Nachwirkung klein sind. Die elastische Hysterese verursacht einen bleibenden Nullagefehler, der vom Richtungssinn der Neigung des Kompensatorpendels abhängig ist.

Sie erklärt sich, sehr allgemein ausgedrückt, als Folge einer inneren Reibung der Mischkristallstruktur und ist von der Größe des Ausschlages abhängig (irreversibel). Die elastische Nachwirkung erkennt man an einer langsamem zeitlichen Änderung der Ziellinie und kann ganz grob als Folge einer Verspannung der Mischkristallstruktur angesehen werden und ist von der Dauer des Ausschlages abhängig (reversibel). Beim normalen Aufstellen und Horizontieren des Instrumentes ist dieser Fehler wegen des Überschwingens der Nullage nicht mehr feststellbar. Die elastische Hysterese konnte nur bei vorsichtig ausgeführten Versuchen festgestellt werden und (Fig. 28) betrug  $0,5\text{--}1,5''$ . Eine elastische Nachwirkung konnte nicht ermittelt werden.



### *Die Dämpfung der Pendelbewegung [35]*

Bewegt sich, wie in unserem Fall, eine mit dem Pendelkörper verbundene Reinstaluminiumplatte im Luftspalt eines Dämpfungsmagneten, so wird diese Bewegung bekanntlich proportional der Geschwindigkeit gehemmt. Die Bremsung der Pendelschwingungen des astasierten Pendels erfolgt mit Hilfe des oberen zweispurigen Dauermagnetpaars. Die von Bodenerschütterungen und Windstößen verursachten Querschwingungen des Pendels werden durch die Zugkraft der Blattfeder gedämpft. Die Dämpfungscharakteristik dieser gekoppelten Schwingung läßt sich aber leichter abstimmen, wenn man ein zusätzliches zweispuriges Dauermagnetpaar verwendet. Es befindet sich hinten im Kompensator, unterhalb der Strichplatte.

Durch wiederholte, bei Föhnsturm, bei Straßenverkehr und auf Bauplätzen ausgeführte Versuche erreichte man die für das NA2 typische, starke (nicht aperiodische) Schwingungsdämpfung, bei der die vertikalen

Schwingungen des Bildes gegenüber den horizontalen leicht zurücktreten. Die Dämpfungseigenschaften sind von der Temperatur praktisch unabhängig. Wie bei allen automatischen Nivellieren gibt es auch beim NA2 Resonanzbereiche der Pendelschwingung. Aus diesem Grunde wird man in der Nähe von anlaufenden schweren Motoren keine Ablesung machen können.

### Ausgeführte Versuche

#### a) Laborversuche

Beim ersten Versuchsmuster zeigten sich vorerst unerklärliche, unregelmäßige Fehler, auch wenn die Versuchsbedingungen scheinbar gleich waren. Daher wurde die gesamthafte Untersuchung der Instrumentenfehler in folgende Teiluntersuchungen aufgeteilt:

- Stabilität des Instrumentengehäuses
- Stabilität der optischen Teile
- Stabilität des Kompensatorrahmens
- Stabilität des Kompensatorpendels

Erst nach der Beseitigung der einzelnen Mängel konnte man annehmen, daß der noch übriggebliebene Fehler von der Einspannung allein kam. Die Fehleranalyse stimmte nun auch weitgehend mit den erwarteten Werten überein, so daß eine Korrektur des einen und anderen Komponentenelementes schließlich den in der heutigen Form gebauten Kompensator ergab. Die für gut befundenen Prototypen des NA2 haben folgende maximale Fehler:

- Faktorfehler:  $\pm 2''$  bei  $\pm 10'$  Längsneigung und einem Temperaturbereich von  $\pm 50^\circ\text{C}$ .
- Neigungsänderung der Ziellinie infolge von Temperaturänderungen:  $0,5''/1^\circ\text{C}$  innerhalb eines Temperaturbereiches von  $\pm 50^\circ\text{C}$  (Fig. 29).
- Einspielgenauigkeit der Ziellinie:  $\pm 0,2''$  bis  $0,3''$  bei wiederholter Horizontierung des Instrumentes mit der Dosenlibelle.

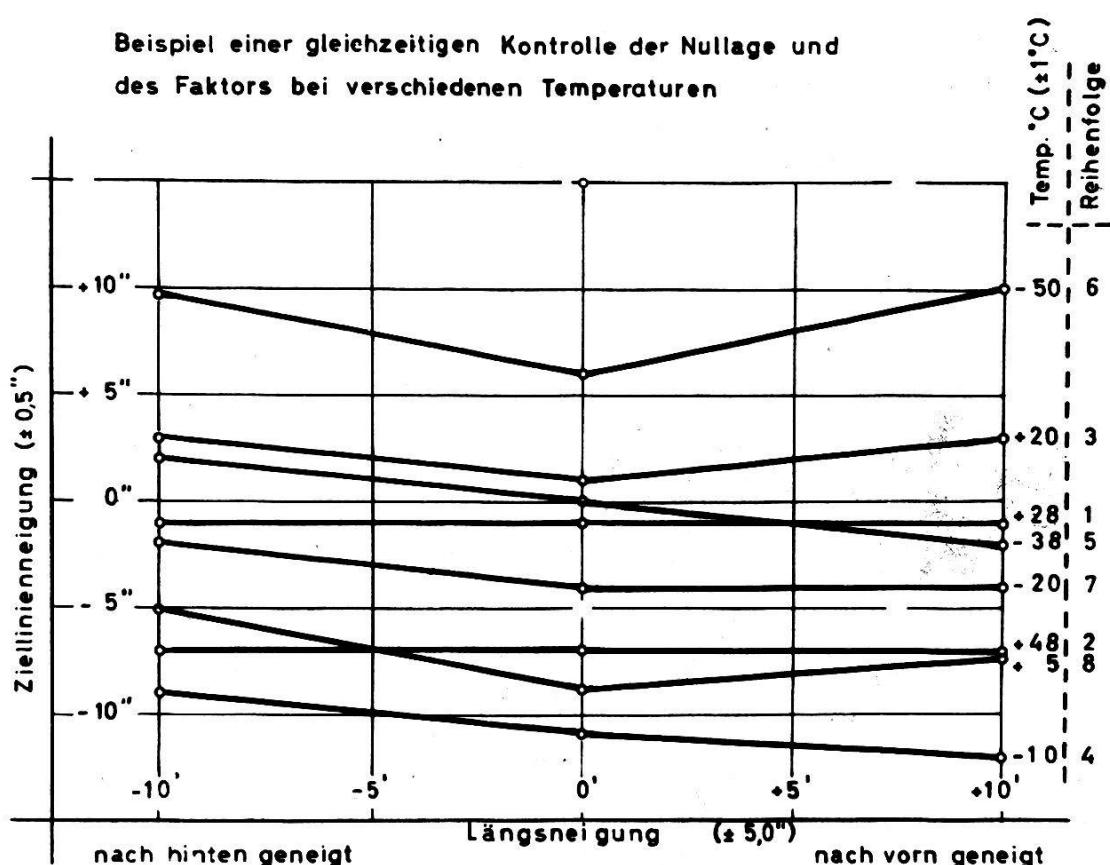
#### b) Feldversuche

Die Feldversuche wurden auf zweierlei Art ausgeführt:

1. Einmal als einfaches Nivellement, wobei auf ein zügiges Arbeitstempo geachtet wurde. Die Messung erfolgte entlang von Feldwegen und Asphaltstraßen, wobei in geneigtem Gelände auf gleiche Zielweiten nicht besonders geachtet wurde. Aus Schleifen von insgesamt 11 km Länge ergab sich ein mittlerer Kilometerfehler von  $\pm 2,0$  mm für das einfache Nivellement.

2. Bei der zweiten Art der Versuche wurde besonders auf eine systematische Durchführung des Nivellements geachtet. Weiters wurde zur Beschleunigung der Feldversuche oft mit bis zu drei Instrumenten gleichzeitig vom gleichen Stativ aus nivelliert. Das brachte zudem den Vorteil, daß grobe Ablesefehler sofort erkannt wurden. Bei Vergleichsmessungen, die grundsätzlich ohne Sonnenschirm erfolgten, zeigte sich der Einfluß

**Beispiel einer gleichzeitigen Kontrolle der Nullage und des Faktors bei verschiedenen Temperaturen**



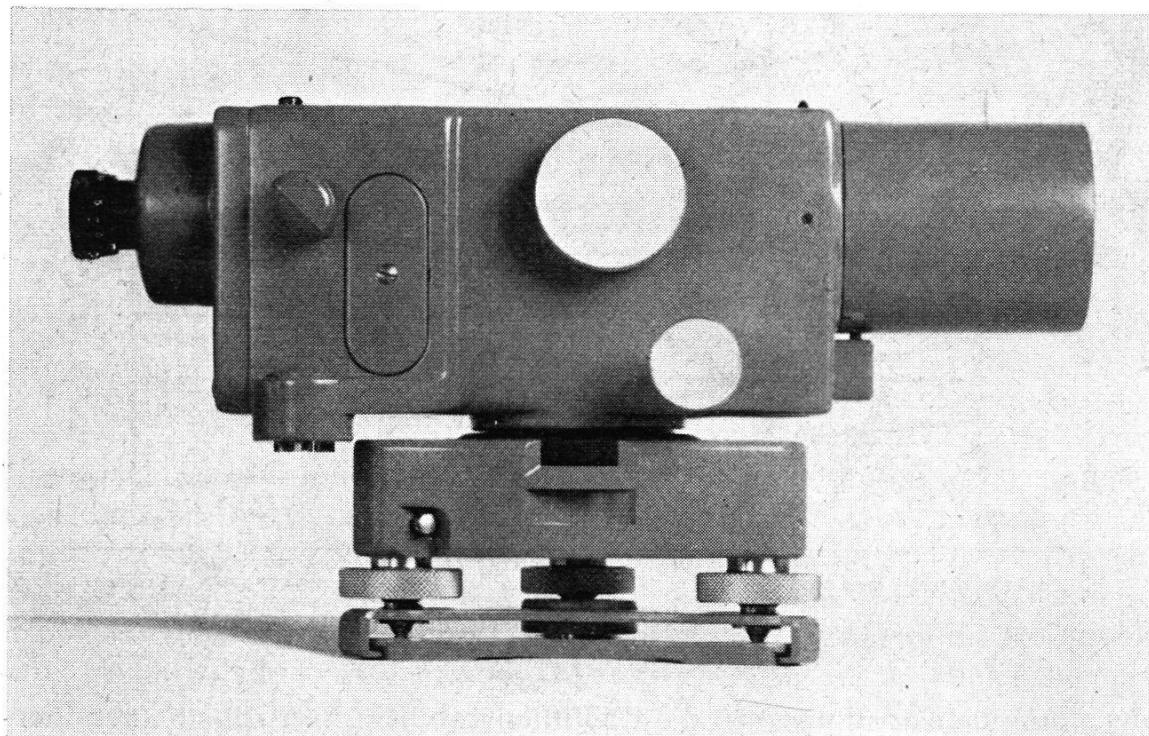
**Fig. 29**

der Sonneneinstrahlung auf die Ziellinenstabilität von Libellennivellierinstrumenten, der allerdings noch genauer untersucht werden soll. Für alle Nivellements wurde eine Wild-Nivellierlatte mit Schachbretteilung in der Mitte verwendet. Versuche mit dem Planplattenmikrometer und der Invarlatte sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen.

Es wurden drei Versuchsstrecken ausgewählt:

- Eine in der Richtung Südwest-Nordost sich erstreckende 1500 m lange Gerade im Rheinvorland bei Heerbrugg wurde in 25 m lange Teilstrecken unterteilt und deren Endpunkte mit Bolzen versichert. Sie diente für Nivellements aus der Mitte. Die Strecke wurde stets in beiden Richtungen nivelliert, so daß beim Hin- und Rückweg die gleichen Zwischenpunkte verwendet werden konnten. Aus dieser Anordnung folgte eine große Anzahl von Kontrollmöglichkeiten.
- Eine 800 m lange Wegstrecke oberhalb Balgach mit 30 m Höhenunterschied und einer Kehre in der Mitte der Strecke wurde besonders zur Ermittlung des Einflusses der Sonneneinstrahlung benutzt, da sie in einem Südhang liegt.
- Eine 1700 m lange Gerade entlang der einspurigen, elektrifizierten Bahnlinie zwischen Heerbrugg und Balgach diente für Nivellements, bei denen der Einfluß jener starken Erschütterungen gesucht war, die der Kompensator infolge des Aufstellens des Stativs im groben Schotter erfuhr.

Auf den beiden zuerst erwähnten Versuchsstrecken wurden bisher über 30 km Doppelnivellement mit dem Prototyp des NA2 ausgeführt und hiebei eine Genauigkeit von  $\pm 2$  mm pro 1 km Doppelnivellement eingehalten. Ein Nivellement entlang der Bahnlinie ergab den Abschlußfehler null.



#### *Technische Daten des NA 2*

Aufrechtes Fernrohrbild	
Länge des Fernrohrs	250 mm
Höhe des Instrumentes	145 mm
Gewicht des Instrumentes	2,7 kp
Fernrohrvergrößerung	30 ×
Objektivdurchmesser	45 mm
Gesichtsfeld	24,5°
Kürzeste Zielweite	2,1 m
Multiplikationskonstante	100
Additionskonstante	0
Empfindlichkeit der Dosenlibelle	8' / 2 mm
Längsneigungsbereich des Kompensators	20'
Teilungsintervall des Horizontalkreises	1° (1g)
Teilungsintervall der Skala	10' (10c)

#### *Literaturhinweise*

- [1] *E. Berchtold*, Eine interessante Neuerung am Wild-Repetitionstheodolit T1. Schweiz. Z. f. V. K. Phot. 1959, Nr. 7, p. 255–258.
- [2] *A. Berroth*, Theorie einiger gravimetrischer Instrumente nach dem Prinzip der bifilar Aufhängung. Zeitschrift für Geophysik 8, 1932, p. 331.

- [3] *P. Christoph*, Aufhängebänder. ATM J 013-5, März 1951.
- [4] *F. Deumlich*, Zum Stand der Entwicklung selbsthorizontierender Nivelliere. Vermessungstechnik 9, 1961, Nr. 7, p. 208.
- [5] *M. Drodofsky*, Neue Nivellierinstrumente. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1951, Nr. 8.
- [6] *M. Drodofsky*, Präzisionsnivellelement mit dem Zeiss-Ni2. ZfV. 1957, Nr. 12, p. 430–434.
- [7] *H. Ellenberger*, Das bifilare Prinzip und seine Anwendung zum Bau von hochempfindlichen und handlichen Schweremessern. DGK-C-2, 1952.
- [8] *H. Ellenberger*, Drehschwinglagerung. Deutsches Patent 868 670. 42d. 1–01. 1953.
- [9] *H. Ellenberger*, Das automatische Nivellier. AVN, 1955, Nr. 12, p. 331.
- [10] Filotecnica Salmoiraghi S.p.A., Milano, Livello a cannocchiale con richiamo automatico all'orizzonte dell'asse di collimazione. Schweizer Patent 323 649. 59. 1957.
- [11] *G. Förstner*, Das neue Zeiss-Opton-Nivellier mit automatisch horizontierender Ziellinie. ZfV. 1950, Nr. 9.
- [12] *P.J. Geary*, Torsion Devices. B.S.I.R.A. Research Report R. 249, London 1960.
- [13] *A. Graf*, Gravimeter, DGK-B-30. München 1957.
- [14] *N.A. Gusev*, Ein Flüssigkeitskompensator. Geodesia i Kartografia, 1958, Nr. 9, p. 28–33.
- [15] *O. Hofmann*, Ein neues astasiertes Pendel für genaue Neigungsmessungen und automatische Stabilisierung von Ziellinien. Jenaer Jahrbuch I, 1958, p. 63–183.
- [16] *F.B.R. Hogg* und *J.A. Armstrong*, Two Self-Aligning Levels. Empire Survey Review, 1959, Nr. 111, p. 2.
- [17] *E. Jänich*, Manuskrift, Wild Heerbrugg AG, 1959.
- [18] *P.B. Jones*, An investigation of the instrumental sources of error in levelling of high precision by means of automatic levels. The University of Sydney, Dep. Civ. Eng., Research Report R. 32, August 1962.
- [19] *Jordan-Eggert-Kneissl*, Handbuch der Vermessungskunde III, 10. Aufl., p. 72–77.
- [20] *M. Kersten*, Zur Wirkung der Versetzungen auf technische Magnetisierungsvorgänge. Schweizer Archiv, August 1959, p. 286.
- [21] *F. Kohlrausch*, Absolute Messungen mittels bifilarer Aufhängung. Annalen der Physik XVII, 1882, Nr. 13, p. 737.
- [22] *G. Krüger*, Neuere Untersuchungen über thermokompensierende Spiralfedern. Schweizer Archiv, August 1959, p. 299.
- [23] *G. Krüger*, Über Material für Spiralfedern für Uhren. Die Uhr, 1960, Nr. 9.
- [24] *G. Krüger*, Der Einfluß von Temperaturschwankungen auf den Gang der Uhr. Die Uhr, 1960, Nr. 11.
- [25] *G. Krüger*, Der Einfluß von mechanischen Spannungen auf die Kompensationseigenschaften der Spiralfeder. Die Uhr, 1960, Nr. 21.
- [26] *G. Krüger*, Der Einfluß von Magnetfeldern auf den Gang der Uhr. Die Uhr, 1961, Nr. 6.
- [27] *R.P.P. Lejay*, Développements modernes de la Gravimétrie. Gauthier-Villars, Paris 1947, p. 11–22.
- [28] *H. Matthias*, Das automatische Nivellierinstrument GK 1-A. Schweiz. Z. f. V. K. Phot., 1961, Nr. 6, p. 205.
- [29] *H. Ochsenhirt*, Untersuchung des Zeiss-Nivelliers Ni2 mit automatischer Horizontierung der Zielachse. ZfV. 1956, Nrn. 9 und 10.
- [30] *E. Samal*, Statik der Spannbandlagerung. ATM J 013–6, Oktober 1958.

- [31] *E. Samal*, Dynamik der Spannbandlagerung. ATM J 013–7, Februar 1959.
- [32] *E. Samal*, Einstell- und Nullpunktssicherheit von Band- und Spannbandlagerungen. ATM J 013–8, April und Juli 1959.
- [33] *D. Schellens*, Ausschaltung der Horizontschräge bei automatischen Nivellieren. IV. Internationale Kurse für geodätische Streckenmessung. München 1961.
- [34] *J. Schöne*, Fehlereinflüsse bei Messungen von selbsthorizontierenden Nivellierinstrumenten ... Vermessungstechnik, 1962, Nr. 8, p. 204–207.
- [35] *E. Schwabe*, Wirbelstromdämpfung und -bremsung mit daueragnetischen Systemen. ETZ-A, Bd. 78, H. 14, 11. 7. 1957, p. 495.
- [36] *R. Straumann, F. Straumann, G. Krüger*, Die Spiralfeder als ferromagnetisches Problem. Scientia Electrica IV, 1958, Nr. 2.
- [37] *S. Timoshenko und J. N. Goodier*, Theory of elasticity. New York, McGraw-Hill, 1951, p. 249.
- [38] *R. Tomaschek und W. Schaffernicht*, Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Schwerkraft. Annalen der Physik 15, 1932, Nr. 7, p. 787.
- [39] *H. Voit*, Über die Dimensionierung des Bifilargravimeters. Geofisica pura e applicata XV, 1949, p. 90.
- [40] *C. Weber*, Die Lehre der Drehungsfestigkeit. Forschungsarbeiten, Heft 249, VDI, Berlin 1921.

## Die prinzipiellen Mängel des isostatischen Konzeptes

Von K. Ledersteger, Wien

Die Lehre vom Massenausgleich in der Erdkruste oder vom isostatischen Gleichgewicht ist schon längst keine Hypothese mehr, sondern eine durch die Erfahrung wohlbegündete Theorie. Aber selbstverständlich kann jegliche Modellvorstellung der Isostasie wegen ihres notwendigerweise schematischen Charakters dem überaus komplizierten Aufbau der Erdkruste nur mehr oder minder gut gerecht werden. Im großen und ganzen darf es aber als erwiesen gelten, daß die über das Geoid herausragenden Kontinentalmassen nicht als Überschußmassen gewertet werden dürfen, die einfach einer Normalerde aufgesetzt sind, sondern daß sie weitgehend durch unterirdische Massendefekte kompensiert sind. Eine ähnliche Kompensation durch unterirdische Massenüberschüsse liegt für die Weltmeere vor, die man als Massendefizite auffaßt. Man ist aber zu der Überzeugung gelangt, daß es noch Teile der Erdkruste gibt, die sich noch nicht im isostatischen Gleichgewicht befinden, also Teile mit Über- oder Unterkompensation. Die drei entwickelten Modellvorstellungen, die lokale Isostasie nach Pratt-Hayford und Airy-Heiskanen sowie die regionale Isostasie nach Vening Meinesz, sind mehr oder minder zutreffende Idealisierungen, von denen die eine da, die andere dort den tatsächlichen Verhältnissen besser entspricht. Im allgemeinen verdient in physikalischer Hinsicht die Airysche Annahme des Schwimmgleichgewichtes den Vorzug vor der Prattschen Aufblähungstheorie und die regionale Kompensation nach Vening Meinesz den Vorzug vor den beiden lokalen Modellen, bei denen die Kompensation in vertikalen Elementarsäulen