

# **Das NI 002** im Einsatz beim Motorisierten Präzisionsnivellement

Theo Ith

### 1. Grundsätzliche Überlegungen

Von der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) wurde ein internationales Geodynamikprojekt beschlossen. Eine der insgesamt 10 Arbeitsgruppen, die an der Lösung der damit im Zusammenhang stehenden Probleme beteiligt sind, beschäftigt sich mit der Erforschung rezenter Erdkrustenbewegungen. Abgesehen von solchen extremen Verhältnissen, wie beispielsweise in Island und Japan, wo im Zusammenhang mit Erdbeben lokale Änderungen in vertikaler Richtung bis zu 3 m auftreten, sind im allgemeinen Bewegungen von wenigen mm/a zu ermitteln. Dazu ist ein erheblicher Aufwand an Präzisionsnivellements erforderlich. Allein in der DDR (108178 km²) sind 6000...7000 km Wiederholungsnivellement I. Ordnung zu bewältigen. Es erhebt sich natürlich die Frage, ob dieser Aufwand für Untersuchungen gerechtfertigt ist, die bei oberflächlicher Betracke tung rein wissenschaftlichen Wert zu haben scheinen. Welche volkswirtschaftliche Bedeutung die Kenntnis der rezenter En krustenbewegungen hat, zeigen folgende Beispiele:

- Man erhält Kenntnisse über die Prozesse in der Erdkruste und im oberen Mantel. In der Zukunft werden diese Schichten für die Rohstoff- und Energieversorgung eine große Rolle spielen.
- Es werden rezente aktive Störzonen ermittelt und damit wichtige Kenntnisse für die Erkundung bzw. den ökonomischen Abbau von Lagerstätten gewonnen.
- Untersuchung rezenter Erdkrustenbewegungen dienen der Erdbebenprognose und bilden eine wichtige Grundlage für die Standortplanung besonders gefährdeter Objekte (z. B. Talsperren).
- Da selbstverständlich auch geodätische Lage- und Höhennetze beeinflußt werden. zieht auch die Geodäsie selbst praktischen

Nutzen aus der Beobachtung dieser Veränderungen. Man kann sich bei der Anlage derartiger Netze danach richten, in die Netzausgleichung dynamische Größen einführen und die Zeitfolge der notwendigen Wiederholungsmessungen entsprechend

Man bezeichnet international gesehen Nivellements mit mittleren Kilometerfehlern bis zu ± 1 mm noch als Nivellements I. Ordnung, Bei den Nivellements I. Ordnung, die bis 1970 in vielen Ländern nach herkömmlichen Methoden durchgeführt wurden, haben sich mittlete Kilometerfehler berechnet aus Streckendifferenzen - von ± 0,4 mm erreichen lassen. Die Ermittlung signifikanter Werre für die rezenten Erd-krustenbewegungen setzt jedoch mittlere Kilometerfehler von  $\pm$  0,2 mm voraus [1]. Eine Betrachtung der auf das Nivellement einwirkenden Fehlereinflüsse zeigt, daß ein erheblicher Teil davon mit der Messungsdauer veränderlich ist. Eine Beschleunigung der Messungen läßt also eine Genauigkeitsteigerung erwarten. Kompensatornivelliere ermöglichen auch schon beim Nivellement zu Fuß eine Beschleunigung um etwa 25% gegenüber Libellennivellieren, ein Teil der Beschleunigung - etwa 5% - wird jedoch durch die Wartezeit auf die Vorblicklatte wieder kompensiert.

Alle diese Überlegungen führten zu den Bestrebungen, das Nivellement durch den Einsatz von Fahrzeugen für den Wechsel von Instrumenten- und Lattenstandpunkten schneller und wirtschaftlicher zu gestalten

## 2. Das Verfahren

Mit den ersten Versuchen wurde im Jahre 1962 auf Anregung von PESCHEL an der Technischen Universität Dresden begonnen. Während der Erprobung des Verfahrens wurden die verschiedensten Fahrzeuge, wie Fahrräder, Mopeds, Pkw und Pritschenwagen, auf ihre Eignung getestet. Die heutige Lösung, wie sie in der DDR in den nächsten Jahren bei den Wiederholungsnivellements I. Ordnung angewendet wird, sieht als Instrumentenfahrzeug einen Kübelwagen "Trabant 601 F" (Bild 2, Seite 125) und als Lattenfahrzeuge 2 Limousinen "Trabant 601" (Bild 3, Seite 125) vor. Die gesamte Ausrüstung setzt sich zusammen aus

- Instrumentenfahrzeug mit Beobachtersitz, Hebevorrichtung für das Instrument, Stationierungszähler und Addiermaschine mit Registrierstreifen,
- 2 Lattenfahrzeugen mit Stationierungszähler, Haltevorrichtung für die Latten und Spezialtür mit Rasten für Lattenuntersätze und Schlagvorrichtungen,
- Präzisions-Kompensatornivellier NI 002 mit Stativ und Grobhorizontierkopf,
- 1 Paar Invar-Nivellierlatten mit Lattenschuhen, Lattenuntersätzen und Schlagvorrichtungen,
- 3 Funksprechgeräten (nicht unbedingt erforderlich).

Die Forderungen des Arbeitsschutzes und der Straßenverkehrsordnung werden durch Kennzeichnung an den Heckteilen der Fahrzeuge, Rundumleuchten, Warnblinkanlagen und Beschilderung ausreichend

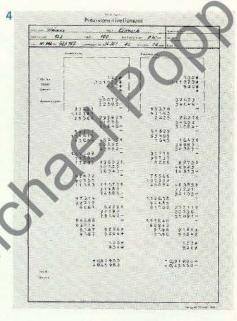
Der Meßtrupp sollte erfahrungsgemäß am zweckmäßigsten wie folgt besetzt sein

- 1. Beobachter (Truppführer), Dipl.-Ing. oder Verm.-Ing.,
- 2. Beobachter, Verm.-Ing.,
- Fahrer des Instrumentenfahrzeugs, Verm.-Facharbeiter oder Kraftfahrer.
- Fahrer des Lattenfahrzeugs, Kraftfahrer oder Meßgehilfe.

Die Beobachter wechseln sich nach etwa 3...4 Stunden ab. Der abgelöste







Beobachter übernimmt das eine Lattenfahrzeug und registriert solche Daten wie Temperatur, Verkehrsaufkommen, Bewachsung sowie Zustand der Vermarkung und des Untergrundes (z. B. Straßenbelag). Der Beobachterwechsel ist empfehlenswert, weil doch deutliche Ermüdungserscheinungen bemerkt wurden, die sich in der Häufung fehlerhafter Ablesungen mit zunehmender Beobachtungszeit äußerten. Der ständige Fahrer des zweiten Lattenfahrzeugs ist außerdem für die Wartung und Einsatzbereitschaft aller 3 Fahrzeuge verantwort lich. Der Fahrer des Instrumentenfahrzeugs gibt die Ablesungen fortlaufend in die Addiermaschine ein, so daß nach Abschluß einer Strecke sofort das Ergeonis auf dem Registrierstreifen vorliegt Bild 4, Seite 125).

## 3. Das Präzisions-Kompensatornivellier NI 002

Das Motorisierte Präzisionsnivellement stellt im wesentlichen 2 Forderungen an das Nivellierinstrument:

1. Einschränkung der Stationierungsgenauigkeit. - Die Stationierung erfolgt mit Meterzählern, die in die Fahrzeuge eingebaut werden. Die beim Nivellement zu Fuß übliche Stationierung auf Dezimeter zur Ausschaltung des Zielachsenfehlers ist nicht mehr möglich.

2. Beobachtung ohne Platzwechsel des Beobachters. - Die räumliche Einengung des Beobachters im Fahrzeug bedingt, daß für die beiden Beobachtungsrichtungen nicht um das Gerät herumgegangen werden kann.

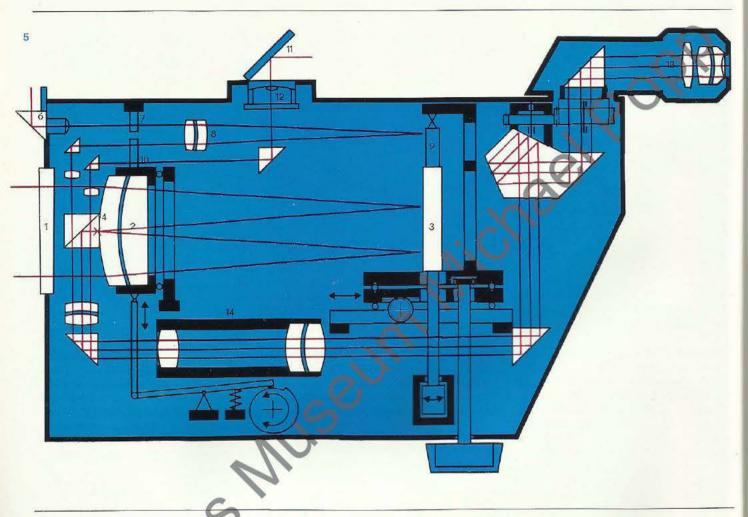
Diese Forderungen werden gegenwärtig von keinem anderen Präzisionsnivellier als NI 002 des JENAer Werkes erfüllt. Zum besseren Verständnis sei in diesem Zusammenhang kurz auf den Aufbau und die Wirkungsweise des Instruments eingegangen (Bild 5, Seite 126):

Das Meßsystem besteht aus dem Abschlußglas 1, dem Objektiv 2, dem Pendelspiegel 3 und dem auf das Objektiv aufgetragenen Strichkreuz 4. Der übrige Teil ist reine Betrachtungsoptik, und Dejustierungen in diesem Bereich bleiben ohne Einfluß auf die Lage der Ziellinie. Die Elemente des Mikrometers sind die Objektivgruppe (bestehend aus dem Objektiv 2 und dem Strichkreuz 4), die Mikrometerskale 10, der Spiegel 9, das Objektiv 8, der Mikrometerindex 7 und das Beleuchtungsprisma 6. Die mit dem Spiegel 11 zu betrachtende Dosenlibelle 12 ist durchsichtig und wird ebenso wie die Mikrometerablesung mit in die Okularbildebene abgebildet (Bild 6, Seite 126).

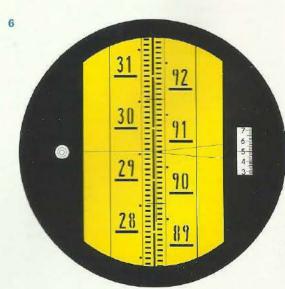
Neigungsfehler des Kompensators werden nach dem gleichen Prinzip eliminiert wie bei der Messung in 2 Fernrohrlagen bei Theodoliten oder bei Nivellieren mit wälzbarem Fernrohr und Reversionslibelle. Da es üblich ist, den Höhenunterschied zweimal zu ermitteln, entsteht kein zusätzlicher Arbeitsaufwand. Der quasi-absolute Horizont kann im Werk mit einem absoluten Nullpunktsfehler i < 1" geprüft bzw. am keilförmigen Abschlußglas justiert werden.

Es ergeben sich insgesamt folgende Vorteile:

- · Einsparung der genauen Stationierung und damit Eignung für das Motorisierte Präzisionsnivellement. - Durch Einschränkung der Stationierungsgenauigkeit auf solche Größenordnungen, die Erdkrümmung und symmetrische Refraktion berücksichtigen, können 10...15% der Nivellements-Gesamtkosten eingespart werden [3].
- · Wegfall der sonst üblichen Justierungen im Feld.
- Ermöglichung von Spezialmessungen. -Bekanntlich gibt es in der Ingenieurgeodäsie Aufgaben, wo sich ungleiche Zielweiten nicht vermeiden lassen. Das NI 002 ist hierfür bestens geeignet.
- · Wegfall des Sonnenschirmes.
- Möglichkeit der Erfassung von Refraktionseinflüssen. - Während sich im allgemeinen Temperatur- und Refraktionsein-



Jirkuelles



flüsse untrennbar überlagern, ist beim NI 002 eine solche Möglichkeit infolge der Unempfindlichkeit gegen Temperaturänderungen gegeben.

Neben dem quasi-absoluten Horizont sind beim NI 002 noch weitere konstruktive Maßnahmen getroffen worden, um systematische Fehler zu vermeiden:

- Die Verwendung der Objektivgruppe als Objektivmikrometer und die direkt damit verbundene Mikrometerskale schalten Ablauffehler und Fehler von mechanischen Übertragungselementen aus, die von Planplattenmikrometern bekannt sind.
- Da die Fokussierung über den Pendelspiegel erfolgt, werden Ablauffehler ausgeschaltet, die sonst von Fokussierlinsen hervorgerufen werden.
- Da beim Fokussieren mit dem Grob-Fein-Trieb der Kompensator bewegt wird, ändern sich in gleichem Maße die Brennweite f und der Abstand q des Kompensators vom Strichkreuz. Dadurch wird für alle Zielweiten die Kompensationsbedingung

 $f \cdot \alpha = g \cdot \beta$ 

eingehalten, wobei a die Geräteneigung und \( \beta \) der Ablenkungswinkel vom Kompen-

 Der anallaktische Punkt der Höhenmessung liegt beim NI 002 nicht in der Stehachse. Die Kompensation des dadurch zu erwartenden Fehlers wird erreicht, indem der Mikrometerindex über einen mit dem Fernrohrpendel verbundenen Spiegel auf die Mikrometerskale abgabildet wird. Zu diesem Zweck ist der Strahlengung des Mikrometers so berechnet, daß die Mikrometerablesung automatisch korrigiert wird.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß das NI 002 mit dem quasi-absoluten Horizont der Forderung des Motorisierten Präzisionsnivellements nach Einschränkung der Stationierungsgenauigkeit entspricht. Darüber hinaus wird es auch der Forderung nach der Möglichkeit der Beobachtung ohne Platzwechsel im Fahrzeug gerecht. Das Schwenkokular mit Bildaufrichtung im gesamten Schwenkbereich, die beidseitig zu benutzenden Bedienelemente und die Rechtwinkelsucher auf beiden Seiten zur Grobausrichtung bilden die Voraussetzungen dafür. Aber auch beim Nivellement zu

Fuß bringt die nur mit dem NI 002 mögliche Beobachtung ohne Standortwechsel des Beobachters Vorteile bei schwierigen Aufstellungen und im Hinblick auf die Verminderung des Stativeinsinkens.

## 4. Vorteile des Motorisierten **Präzisionsnivellements**

Es liegen mehrjährige Erfahrungen aus Versuchsmessungen bei der Entwicklung des Verfahrens und vom Wiederholungsnivellement I. Ordnung in der DDR vor. Daraus lassen sich die Vorteile des Motorisierten Nivellements mit dem NI 002 gegenüber Nivellements zu Fuß ableiten:

- Steigerung der Genauigkeit durch Ver ringerung systematischer Fehlereinflüsse [1].
- 42% Einsparung an Arbeitszeit und 24% Kostensenkung mit Berücksichtigung der Amortisation der 3 Fahrzeuge [4].
- Erhöhung der Tagesleistung von 80...90 Punkten beim Nivellement zu Fuß auf 120...140 Punkte. – Für Auf- und Abbau der Ausrüstung werden etwa 30 Minuten pro Tag benötigt. Für Vorbereitung und Abschlußdokumentation sind etwa 5 Minuten pro Strecke erforderlich [2].
- Durch die Möglichkeit, eine Addiermaschine ohne zusätzlichen Transportaufwand mitzuführen, liegen Ergebnis und vollständiges Protokoll auf Registrierstreifen sofort nach Abschluß der Strecke vor.
- Der Anteil an k\u00f6rperlicher Arbeit wird verringert.
- Das ständige Nachholen des Transportfahrzeuges - wie beim Nivellement zu Fuß sowie der Rückmarsch mit Ausrüstung nach Abschluß einer Strecke entfallen.
- Den Forderungen des Arbeitsschutzes wird besser entsprochen. Erfahrungsgemäß finden im Verkehrsraum befindliche Fahrzeuge mehr Beachtung durch andere Verkehrsteilnehmer als einzelne Personen. Außerdem ist es möglich, den technischen Aufwand an Sicherheitsanlagen zu erhöhen, da deren Mitführung keine Transportprobleme mit sich bringt.
- Die Ziellinie verläuft höher (etwa in 1,80 m Höhe) über dem Erdboden. Dadurch wird bei gleichmäßiger Geländeneigung die Latte im Bereich 0,7...3 m besser ausge-

nutzt, und die Sichtbehinderungen Verkehrsraum treten seltener ein.

Abschließend ist zu bemerken, daß dieses Verfahren wegen der guten Erfahrungen, die man in der DDR damit gesammelt hat, auch zunehmend internationales Interesse findet. Beispielsweise wurden auch in Schweden, beim "Statens Lantmäteriverk", im Rahmen routinemäßiger Präzisionsnivellements Versuche zur Einführung des Verfahrens unternommen und mit positivem Ergebnis abgeschlossen [5].

Für seine Verdienste bei der Entwicklung Verfahrens und die Schaffung der gerätetechnischen Voraussetzungen mit der Entwicklung des NI 002 wurde einem Kollektiv von Wissenschaftlern der Technischen Universität Dresden und Mitarbeitern der Bereiche Forschung und Produktion in JENA am 7. Oktober 1973 der Nationalpreis III. Klasse verliehen.

## Literatur

- [1] PESCHEL, H.: Das Motorisierte Präzisionsnivellement - leistungsfähigstes genauer Höhenmessungen. Verfahren Verm.-Technik 22 (1974) 2, 57-64.
- [2] DEGENHARDT, K., und CH. GRAUP-NER: Erste Erfahrungen aus der Anwendung des Motorisierten Nivellements in Verbindung mit dem Präzisions-Kompensatornivellier NI 002 aus JENA. Vermessungs-Informationen (1977) Heft 34.
- [3] HÜTHER, G.: Das neue Präzisions-Kompensatornivellier NI 002 aus JENA. Jenaer Rundschau 18 (1973) Messe-Sonderheft, 50-60.
- [4] AUST, R.: Wirtschaftlichkeitsvergleich des Motorisierten Präzisionsnivellements zum Fußnivellement I. Ordnung. TU Dresden (1968), unveröffentlicht.
- [5] BECKER, J.-M.: Das Motorisierte Nivellement in Schweden. Vermessungs-Informationen (1977) Heft 34.