

Nivellier NI 002 - besondere Eignung für präzise Höhenmessungen in der Industrie

Theo Ith

Das Präzisions-Kompensatornivellier NI 1 002 hat hinsichtlich des Einsatzes bei der Landesvermessung sehr schnell internationale Beachtung gefunden [1 bis 3]. Es hat auch maßgeblich dazu beigetragen, die Vorbehalte abzubauen, die anfänglich gegen die Benutzung von Kompensatornivellieren bei Präzisionsnivellements bestanden. Nicht zuletzt ist es das einzige Nivellier, das den besonderen Anforderungen beim Motorisierten Nivellement entspricht [4].

Bedeutend weniger ist jedoch über Erfahrungen aus der ingenieurgeodätischen Praxis berichtet worden, beispielsweise in [5]. Das NI 002 zeichnet sich aber durch einige Vorteile aus, die es für präzise Höhenmessungen in der Industrie besonders geeignet machen. Im allgemeinen sind die Konstruktionselemente von Nivellieren so gewählt, daß man bei Zielweiten um 40 m optimale Ergebnisse erreicht.

Die Messungen in der Industrie erfolgen jedoch meistens im Nahbereich mit Zielweiten bis etwa 10 m, woraus sich unter Umständen andere Fehlereinflüsse ergeben. Häufig gibt es auch Probleme bei der Aufstellung des Instrumentes (ungleiche Zielweiten, Beleuchtung, Einblick in das Okular u. ä.). Im folgenden werden derartige Gesichtspunkte näher betrachtet und dabei die besondere Eignung des NI 002 erläutert.

1. Funktion des Kompensators

Die grundsätzliche Bedingung für die richtige Wirkung des Kompensators läßt sich durch die Gleichung $f \cdot \alpha = g \cdot \beta$ ausdrücken. Darin sind: f Brennweite, g Abstand des Kompensators vom Strichkreuz, a Geräteneigung, β der vom Kompensator bewirkte Ablenkungswinkel.

Beim Fokussieren wird f verändert, während g im allgemeinen konstant bleibt, die Gleichung kann also immer nur für eine bestimmte Brennweite und damit Zielentfernung gelten. Lediglich beim NI 002 werden beim Fokussieren f und g in gleicher Weise verändert, wodurch die Kompensationsbedingung immer eingehalten wird.

Aber auch bei konstanter Zielweite ist nicht unbedingt gewährleistet, daß Neigungen des Gerätes richtig kompensiert werden. Diese Kompensationsrestfehler erreichen vor allem bei solchen konstruktiven Varianten größere Beträge, bei denen durch Aufsetzen eines Planplattenmikrometers auf ein Nivellier mittlerer Genauigkeit ein Nivellier hoher Genauigkeit gemacht wird.

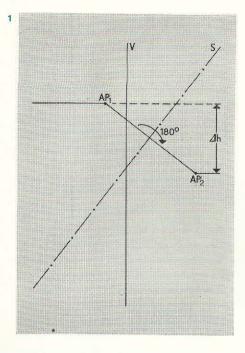


Bild 1: Einfluß der Lage des anallaktischen Punktes. AP1 und AP2 anallaktische Punkte in den Lagen 1 und 2, V Vertikale, S Stehachse.

Derartigen Fehlern kann man nur durch relativ genaue Vorhorizontierung begegnen. Auf alle Fälle geht dabei der mit Kompensatornivellieren beabsichtigte Zweck verloren, daß schon eine grobe Vorhorizontierung ausreichen sollte.

2. Anallaktischer Punkt der Höhenmessung

Der Begriff "anallaktischer Punkt" ist häufig nur im Zusammenhang mit der optischen Streckenmessung bekannt. Dort ist eine Additionskonstante zu berücksichtigen, wenn der anallaktische Punkt, in diesem Falle Ausgangspunkt für die Streckenmessung, nicht in der Stehachse liegt. Bei Nivellieren ist außerdem der anallaktische Punkt der Höhenmessung zu beachten. Seine Fehlerwirkung, wenn er nicht in der Stehachse liegt, ist in Bild 1 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß der Fehlereinfluß am größten ist, wenn das Instrument zwischen zwei Ablesungen um 180° gedreht wird. Es kommt hinzu, daß sich die Lage des anallaktischen Punktes im Widerspruch zu seiner Bezeichnung (anallaktisch = nicht wandernd) beim Aufsetzen von Planplattenmikrometern und Vorsatzlinsen sowie bei

Verschiebung der (Innen-) Fokussierlinse [6] ändert

Das NI 002 ist mit einer Einrichtung versehen, welche gleich die Mikrometerablesung um die Beträge korrigiert, die durch den Abstand des anallaktischen Punktes von der Stehachse hervorgerufen werden. Die Restfehler dieser Korrektureinrichtung sind < 0,01 mm bei 10' Neigung der Stehachse [7].

3. Fokussierung

Bei Messungen in der Industrie wirkt es sich besonders ungünstig aus, daß für die Scharfeinstellung im Nahbereich bis 10 m etwa 80% des Bewegungsbereiches der Fokussierelemente (meistens Fokussierlinse) in Anspruch genommen werden. Dabei werden Ungeradlinigkeiten im Ablauf der Fokussierelemente besonders wirksam. In [8] wird über praktische Untersuchungen von Präzisionsnivellieren berichtet, die Fehler beim Umfokussieren bis zu 0,2 mm zeigten.

Beim NI 002 treten auf Grund des Konstruktionsprinzips solche Fehler nicht auf: Zur Fokussierung wird der gesamte Kompensator (Planspiegel) verschoben. Dabei werden Ungeradlinigkeiten der Führungsbahn mit kompensiert.

4. Mikrometer

Für Messungen in der Industrie sind Mikrometer mit einem Meßbereich von 10 mm günstig. Dadurch werden auch Messungen ohne Nivellierlatte möglich, z. B. zur Bestimmung der Ebenheit von linien- oder flächenhaften Objekten mit Abweichungen in diesem Bereich. Das NI 002 wird je nach Bestellung mit 5 mm oder 10 mm Meßbereich und entsprechenden Latten geliefert.

Im allgemeinen bestehen Mikrometer aus planparallelen (Glas-)Platten. Die bei ihrer Kippung K entstehende Parallelverschiebung p der Ziellinie wird an einer Skale abgelesen. Der Betrag der Parallelverschiebung ist durch die Beziehung p $\approx \frac{n-1}{n} \cdot d \cdot \tan K$ gegeben. Darin sind n der Brechungsindex und d die Dicke der planparallelen Platte. Dieser Mikrometertyp hat den Mangel, daß kein linearer Zusammenhang zwischen K und p besteht und daß mechanische Übertragungsfehler wirken, wenn die Skale nicht direkt mit der planparallelen Platte verbunden ist.

Beim NI 002 befindet sich das Strichkreuz auf der Frontlinse des Objektivs. Somit läßt sich die Ziellinie durch Auf- und Abbewegen des Objektivs linear verschieben. Weil die

Mikrometerskale direkt mit der Objektivgruppe verbunden ist, sind auch Übertragungsfehler ausgeschlossen. Die Mikrometerskale kann zweckmäßigerweise mit im Fernrohrsehfeld abgelesen werden. Bei ungünstigen Lichtverhältnissen, die bei Arbeiten in Innenräumen leider relativ häufig herrschen, kann an dem NI 002 eine Beleuchtungseinrichtung für die Mikrometerskale und die Dosenlibelle angebracht werden.

5. Messungen unter beengten räumlichen Verhältnissen

Die Messungen sind häufig unter beengten räumlichen Verhältnissen durchzuführen. Daraus ergeben sich Konsequenzen sowohl aus meßtechnischer Sicht als auch im Hinblick auf die Bedienbarkeit des Instrumentes.

Die Ziellinie eines Nivelliers weist gewisse Restfehler in der Justierung auf. Diese Fehler unterliegen auch zeitlichen Veränderungen (z. B. durch Temperatureinflüsse). Man ist deshalb bestrebt, diese Abweichung der Ziellinie von der Horizontalen durch gleiche Zielweiten (Nivellement aus der Mitte) zu eliminieren. Für eine derartige Messungsanordnung ist aber oft kein Platz vorhanden. Hier wird der Hauptvorteil des NI 002 wirksam: Das NI 002 ist das einzige Präzisionsnivellier, mit dem durch Messungen in zwei Kompensatorlagen und Mittelbildung aus den dazugehörigen Ablesungen ein quasiabsoluter Horizont realisiert wird. Die restliche Neigung der Ziellinie ist < 1", das bedeutet maximal 0,05 mm Höhenfehler bei 10 m unterschiedlichen Zielweiten (die Erdkrümmung hat hier bereits einen Einfluß von 0,06 mm).

Aber auch hinsichtlich der Bedienbarkeit hat das NI 002 wesentliche Vorzüge:

- Es sind ohne Vorsatzlinsen minimale Zielweiten von 1,5 m möglich.
- · Alle Bedienelemente sind beidseitig angeordnet.
- Ein Schwenkokular gestattet Messungen nach allen Richtungen, ohne daß der Beobachter seinen Standort verändern muß.
- Rechtwinkel-Sucher erleichtern das Anzielen der Nivellierlatte, wenn der Benutzer rechtwinklig zur Beobachtungsrichtung am Instrument steht.

6. Anwendungsmöglichkeiten

In der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß über den Einsatz von Nivellieren in der Industrie bisher wenig veröffentlicht wurde. Das bedeutet jedoch keinesfalls, daß z. B. das NI 002 nur bei der Landesvermessung angewendet wird.

Ohne damit den Versuch einer vollständigen Aufzählung unternehmen zu wollen, sollen einige Anwendungsmöglichkeiten genannt werden:

- Messungen bei der Schiffs- und Flugzeugmontage
- Einrichten von Maschinenfundamenten
- Kontrolle der Deformation bei Belastungsproben (z. B. in Regalhochhäusern)
- Spezialmessungen beim Bau von Kern-, Wärme- und Wasserkraftwerken
- Bauwerkskontrollmessungen, z. B. an Industriebauten in Bergbaugebieten oder an Talsperren
- Messungen im Großmaschinenbau.

Zusammenfassung

Über den Einsatz von Präzisionsnivellieren in der Industrie liegen nur wenige Veröffentlichungen vor, obwohl es eine ganze Reihe von Anwendungsmöglichkeiten gibt. Nicht alle Nivelliere, die aus der Sicht der Landesvermessung als Präzisionsnivelliere bezeichnet werden, sind in gleicher Weise für Messungen in der Industrie geeignet. Einschränkungen können sich durch die Funktion des Kompensators, die Lage des anallaktischen Punktes der Höhenmessung, Veränderungen der Ziellinie beim Fokussieren, die Art des Mikrometers und durch die beengten räumlichen Verhältnisse ergeben. Beim NI 002 werden diese Einschränkungen nicht oder nur in geringem Maße wirksam, woraus sich die besondere Eignung des NI 002 für derartige Aufgaben ergibt.

Literatur

- [1] BUSBY, J. R.: Vermessungs-Informationen, Jena (1977) Sonderheft FIG '77, S. 31-36.
- [2] BECKER, J.-M.: Vermessungs-Informationen, Jena (1977) Sonderheft FIG '77,
- [3] POETZSCHKE, H.: ASP-ACSM Convention, Washington, March 1979 (79-340).
- [4] ITH, TH.: Jenaer Rundschau 22 (1977) 3, 123-127.
- [5] BLACHACZEK, K., u. a.: Jenaer Rundschau 22 (1977) 3, 128-131.
- [6] DEUMLICH, F.: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Berlin, VEB Verlag für Bauwesen, 1972.
- [7] HÜTHER, G.: Jenaer Rundschau 18 (1973) Messe-Sonderheft, S. 56-60.
- [8] FITZEN, H.-P.: Veröffentlichung Nr. 26 des Geodätischen Instituts der RW TH Aachen (1979), S. 67-78.

(Fortsetzung von Seite 47)

0,707 ·a, der den gesamten systematischen Fehler

 $M_{syst} = m_{syst} + 0.707 \cdot a$

ergibt, woraus schließlich die äußere Strekkenmeßgenauigkeit

$$M = \sqrt{M_{\text{syst}}^2 + \sigma^2}$$

folgt.

Wird m nach Reduktion auf die Summe Null berechnet, da dem Gerät eine Additionskonstantenkorrektur eingegeben werden kann, so folgt mit Verwendung der Meßergebnisse sowie der obigen Werte und Formeln M in Tabelle 2. Im quadratischen Mittel ergibt sich für die äußere Streckenmeßgenauigkeit

direkte Messung: M = ± 3,7 mm, indirekte Messung: $M = \pm 4,3 \text{ mm}$.

Abschließend wurden jeweils gleichzeitig mit Gerät 2 vom Standpunkt A und mit Gerät 3 vom Standpunkt B nach 38 Punkten, die in beliebigen Richtungen und im Entfernungsbereich 30 bis 110 m lagen, die "Wurfweiten" vom 20-m-Punkt (r = 0) in Sätzen zu je fünf Beobachtungen gemessen. Differenzen 5.38 = 190den $\Delta_{\text{max}} = + 8 \text{ mm},$ $\Delta_{i} = W_{2i} - W_{3i} \quad \text{sind} \quad$ $\Delta_{min} = -6$ mm. Die Mittelwerte lauten

$$\frac{1}{190} \sum \Delta = +1,2 \text{ mm}, \quad \frac{1}{190} \sum |\Delta| = 2,1 \text{ mm}.$$

Der aus den Differenzen berechnete mittlere Fehler einer Einzelmessung beträgt ± 2,1 mm.

Tabelie 2: Innere und äußere Genauigkeit des EOT-S für Strecke und Winkel im Bereich bis 200 m.

Gerät Nr.	1	2	3
mp/mm	1,0	1,0	1,0
m _{Hz} /mgon	0,07	0,07	0,10
my/mgon	0,27	0,11	0,17
M/mm direkt	4,5	3,8	2,3
M/mm indirekt	4,6	4,9	3,0

Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Differenz der Wurfweiten zweier Geräte mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,5% unter 10 mm bleibt.

4. Schlußfolgerungen

Die Vergleichsbasis des Jenaer Werkes für elektrooptische Kurzstreckenmeßgeräte mit einer solchen Genauigkeit bestimmt, daß die Längen als Sollwerte für Testungen benutzt werden können. Dies zeigt die Untersuchung von drei Geräten EOT-S, deren mittlere Fehler einer Einzelmessung im Entfernungsbereich bis 200 m betragen: Äußere Genauigkeit der Horizontalstrecke etwa ± 4 mm, innere Genauigkeiten von Strecke, Hz-Richtung, V-Winkel etwa \pm 1 mm, \pm 0,1 mgon, \pm 0,2 mgon.

Literatur

- [1] PAULI, W.: Vermessungstechnik, Berlin 25 (1977) 8, 265-267.
- [2] PAULI, W., u. a.: Vermessungstechnik, Berlin 27 (1979) 4, 135-137.
- [3] RÜEGER, J. M.: Vermess., Photogramm., Kulturtechnik, Zürich 74 (1976) 9, 249-251.