

Das Zeiss-Nivellier

Von Dr.-Ing. M. D r o d o f s k y, Oberkochen

DK 526.9

Mit dem Nivellier 2 hat die Fa. Zeiss einen neuen Weg beschritten. Es hat zwar auch früher schon Nivellierinstrumente gegeben, deren Ziellinie automatisch ausgerichtet wurde, doch war die technische Ausführung eine grundsätzlich andere.

Vergegenwärtigen wir uns, was es auf diesem Gebiet schon gibt oder gegeben hat, so stellen wir fest, daß gerade die einfachsten Nivelliereinrichtungen automatisch arbeiten. Hier sind zu nennen: die Schlauchwaage (Bild 1) und die Kanalwaage (Bild 2). Beide richten die Ziellinie automatisch aus und sind automatisch justiert. Die Pendelwaage (Bild 3) richtet zwar die Ziellinie ebenfalls automatisch aus, bedarf aber einer Justierung.

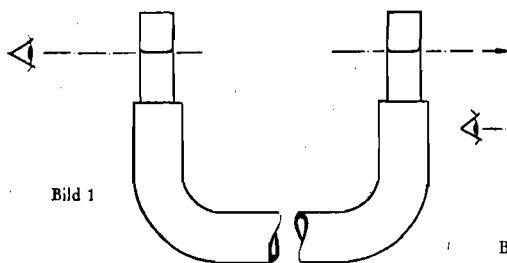


Bild 1

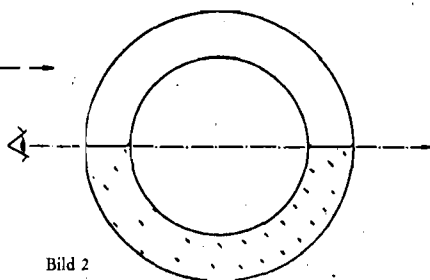


Bild 2

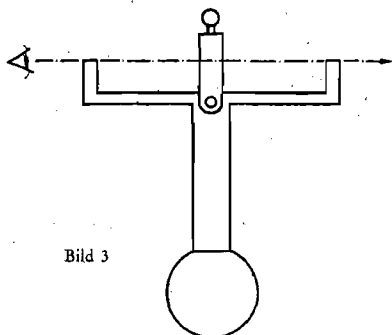


Bild 3

Bild 1. Schlauchwaage

Bild 2. Kanalwaage

Bild 3. Pendelwaage

Diese einfachen Instrumente sind recht ungenau, selbst wenn sie nicht freihändig, sondern auf einem Stativ verwendet werden. Zur Steigerung der Zielgenauigkeit ist ein Fernrohr notwendig. Es liegt somit nahe, ein Fernrohr mit einem Pendel fest zu verbinden und so die Ziellinie durch die Schwerkraft selbst ausrichten zu lassen. Ein solches Instrument aus dem Jahre 1790 (Bild 4) ist heute noch gebrauchsfähig und liefert eine Genauigkeit von etwa ± 10 mm je km Dop-

pelnivellement. Das Instrument ist schwer und unhandlich, da Fernrohr und Pendel zum Schutz gegen den Einfluß des Windes in einen Kasten eingeschlossen werden müssen. Das Instrument hat eine besondere Dämpfungseinrichtung, die darin besteht, daß das Pendelgewicht in ein Ölbad eintaucht.

Eine im Prinzip ähnliche Konstruktion aus dem Jahre 1878 sehen wir in Bild 5. Sie ist insofern günstiger, als hier das Fernrohr selbst die Pendelmassse bildet und die Fokussierbewegung keine Fehler verursachen kann, da die Verschiebung des Okularauszugs in der Vertikalen erfolgt. Trotzdem ist auch dieses Instrument für moderne Ansprüche zu ungenau und die Handhabung wegen der fehlenden Dämpfung zu schwierig.

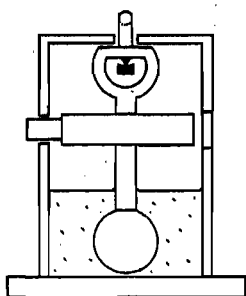


Bild 4. Pendelnivelier

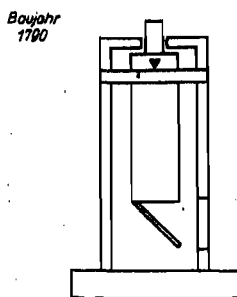


Bild 5. Pendelnivelier

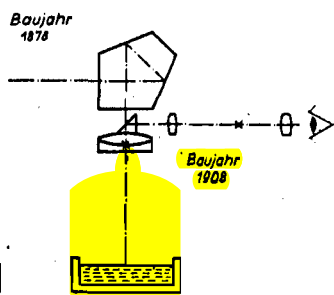


Bild 6. Nivelier mit Quecksilberhorizont

Der Fortentwicklung solcher Konstruktionen standen die in bezug auf Genauigkeit und Dämpfung unvergleichlich viel besseren Eigenschaften der Libellen im Wege. Die Libellen vermögen allerdings nach außen keine Kräfte abzugeben, so daß man auf die automatische Ausrichtung der Ziellinie verzichten mußte. Dieser Mangel wurde jedoch gerne zugunsten der Genauigkeit in Kauf genommen.

Nach dieser Entwicklung hatte es den Anschein, als ob Genauigkeit und Handlichkeit einerseits und automatische Einstellung andererseits unverträgliche Gegensätze wären.

Einer der ersten, die versucht haben, diesen Zustand zu ändern, war Heinrich Wild als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Firma Zeiss. Er hat etwa um 1908 ein Nivelier mit Quecksilberhorizont (Bild 6) entworfen, das auch gebaut worden ist. Wenn dieses Instrument praktisch brauchbar gewesen wäre, hätte es nicht nur eine automatische Einstellung, sondern für den Benutzer sogar eine automatische Justierung gehabt, denn die Justierung wäre nur von der Lage des Strichkreuzes zum optischen Mittelpunkt des Objektivs und von dem Ablenkungswinkel des Prismas abhängig gewesen. Beide Größen sind am fertigen Instrument unveränderlich, es hätte also vom Gebraucher niemals justiert werden müssen. Der Grund für das praktische Versagen des Instrumentes ist nicht genau bekannt, vermutlich machte die Handhabung des Quecksilberhorizontes zu viel Schwierigkeiten. Anstelle des Quecksilberspiegels kann bei entsprechender Änderung des Strahlengangs auch die totalreflektierende Oberfläche einer durchsichtigen Flüssigkeit verwendet werden. Die in dieser Richtung gehenden Vorschläge für automatische Nivelliere sind sehr zahlreich.

Wenn bei diesem Stand der Entwicklung das Problem erneut aufgegriffen werden soll, so kann die große Zahl grundsätzlicher Möglichkeiten durch die folgenden Überlegungen sehr weit eingegrenzt werden.

Zunächst kommen alle diejenigen Möglichkeiten nicht in Betracht, bei denen das ganze Fernrohr pendelnd aufgehängt wird, denn die großen pendelnden Massen können mit erträglichem Aufwand nicht transportsicher aufgehängt und vor der Wirkung des Windes geschützt werden; die Pendelschwingungen können nicht ausreichend gedämpft werden. Dann können alle diejenigen Lösungen des Problems ausgeschieden werden, bei denen eine freie Flüssigkeitsoberfläche als Spiegel im Fernrohrstrahlengang verwendet wird, weil diese bei den geringsten Erschütterungen gekräuselt wird und keine scharfe Abbildung mehr vermittelt.

Nach dem Ausscheiden dieser beiden Gruppen bleiben noch folgende Möglichkeiten:

Man kann gewöhnliche mechanische Pendel verwenden, um Teile des Fernrohres daran zu befestigen und so die Ziellinie automatisch auszurichten. Die Anordnungen entwickeln wir aus Bild 5. Dort ist der Aufhängepunkt schon sehr nahe am Strickkreuz. Legen wir ihn genau in das Strickkreuz, so führt dieses relativ zum Gehäuse keine Bewegungen aus, kann also fest mit diesem verbunden werden. Es genügt also, wenn die Objektivlinse am Pendel hängt, alles übrige kann fest eingebaut sein.

Denken wir uns das Fernrohr in Bild 5 umgekehrt, also Objektiv oben, Okular unten, so brauchen wir nur den Aufhängepunkt genau in das Objektiv zu legen und können dann alles außer dem Strickkreuz fest einbauen. Nur das Strickkreuz selbst liegt auf dem Pendel. Anstelle des einfachen Spiegels muß in beiden Fällen ein Pentagonprisma verwendet werden. Diese Anordnung ist in einem Lotfernrohr der Fa. Zeiss, sowie in einem Pendelsextanten der Fa. Schmidt und Hänsch schon angewandt worden.

Man kann an dem Pendel auch einen Spiegel befestigen, der dann an die Stelle der Quecksilberoberfläche in Abb. 6 gebracht werden kann.

Bild 7. Libellenblase als Linse

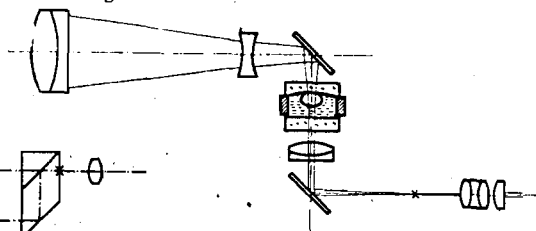
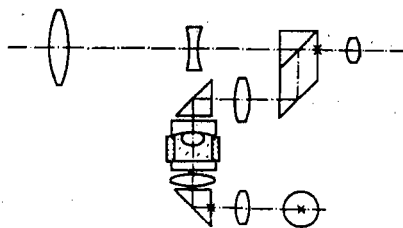


Bild 8. Libellenblase als Linse im Fernrohr

Eine grundsätzlich andere Möglichkeit besteht darin, Libellenblasen als Linsen in den Strahlengang einzuschalten. Ein Instrument dieser Art (Bild 7) wurde von mir im Jahre 1940 in Jena entworfen. Das Instrument ist auch gebaut worden und war funktionsfähig. Als Libelle diente eine für diesen Zweck entwickelte Dosenlibelle mit einer Angabe von $1/2^\circ$ je 2 mm und einer Genauigkeit von etwa $\pm 0,5''$.

Man kann auch (Bild 8) die Libelle in das Fernrohr direkt einfügen. Eine besondere Lichtquelle wird dann entbehrlich.

Mit diesem Instrument war das Ziel, die automatische Einstellung auch für Präzisionsnivelliere zurückzugewinnen, grundsätzlich erreicht. Selbstverständlich war aber mit der Libelle als Linse nicht dieselbe Qualität des Fernrohrbildes erreichbar wie mit einem Spiegel im Fernrohr. Deshalb wurde nach weiteren Möglichkeiten gesucht.

Bringt man einen stabilisierten Spiegel vor dem Fernrohrobjektiv in den Strahlengang, so werden die Neigungen an dem Spiegel verdoppelt, so daß keine Kompensation der Neigungen, sondern nur eine Umkehrung des Vorzeichens eintritt.

Bringt man ihn hinter das Fernrohrobjektiv, so muß er in der Mitte zwischen Objektiv und Bild liegen, damit die Verdopplung des Winkels gerade die Kompensation herbeiführt (Bild 9).

Die Kippachse eines solchen Instrumentes ist, wie leicht einzusehen ist, der anallaktische Punkt des Fernrohres. Sie geht also in Bild 9 durch den vorderen Brennpunkt des Objektivs.

Wenn die Genauigkeit, mit der die Stehachse vertikal gestellt wird, einen möglichst kleinen Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben soll, so muß die Kippachse möglichst nahe an der Stehachse liegen. Ein Instrument mit stabilisierter Zielinie muß also anallaktisch sein.

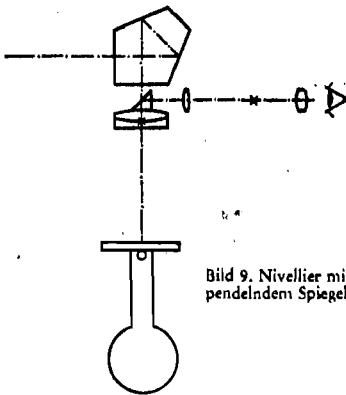


Bild 9. Nivellier mit pendelndem Spiegel

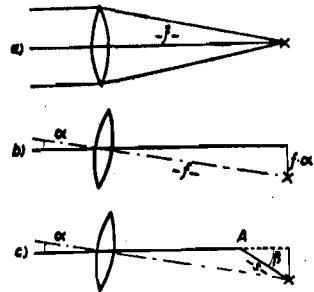


Bild 10

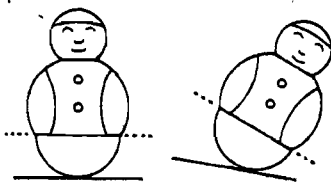


Bild 11. Stehaufmännchen

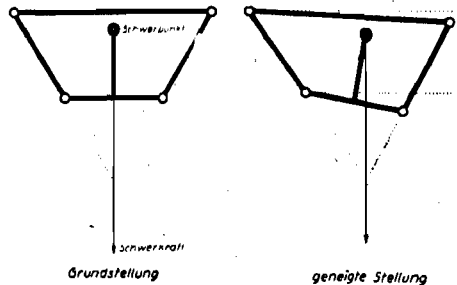


Bild 12. Gelenkviereck

In dem in Bild 9 gezeichneten Beispiel wäre das dadurch zu erreichen, daß das Pentagonprisma so groß gemacht wird, daß der vordere Brennpunkt des Objektivs noch innerhalb des Prismas liegt.

Die Verwendung von anallaktischen Systemen nach Porro oder mit innerer Fokussierlinse scheidet zunächst daran, daß bei diesen der Platz, den der stabilisierte Spiegel einnehmen müßte, durch eine Linse besetzt ist. Man ist deshalb bei diesen Fernrohren gezwungen, den Spiegel verhältnismäßig nahe an der Strichplatte anzubringen; sein Abstand von der Strichplatte muß kleiner als die halbe Brennweite des Linsensystems sein.

Die geometrischen Bedingungen für eine solche Anordnung lesen wir in Bild 10 ab. Bei horizontaler Fernrohrachse vereinigen sich die von einem fernen Punkt im Horizont kommenden Strahlen auf der Mitte des Strichkreuzes. Bei geneigtem Fernrohr treffen dieselben Strahlen oberhalb des Strichkreuzes auf die Bildebene. Um sie wieder in die Strichkreuzmitte zu bringen, muß an der Stelle A eine Spiegeleinrichtung angebracht werden, die die Strahlen um den Winkel β ablenkt. Dieser Winkel β steht zu der Neigung α des Fernrohres in demselben Verhältnis wie die Brennweite f des Linsensystems zu dem Abstand s . In dem Raum hinter der Fokussierlinse ist s stets kleiner als die halbe Brennweite, so daß der Spiegel um einen Winkel $\frac{\beta}{2}$ gekippt werden muß, der größer ist als die Neigung α . Man braucht also ein mechanisches System, das imstande ist, die Neigung α in einem ganz bestimmten Verhältnis vergrößert darzustellen.

Ein solches System ist uns allen als Kinderspielzeug wohl bekannt. Es ist das Stehaufmännchen (Bild 11). Wenn es auf einer horizontalen Unterlage steht, so ist das Männchen senkrecht. Wird die Unterlage um einen kleinen Winkel geneigt, so neigt sich das Männchen um einen wesentlich größeren Winkel.

Natürlich ist das Stehaufmännchen nicht für genaue Messungen geeignet. Denselben Gesetzen wie das Stehaufmännchen folgt ein Gelenkviereck (Bild 12). Die beiden oberen Gelenke sind in unserem Anwendungsbeispiel fest mit dem Fernrohrgehäuse verbunden. Die beiden unteren Gelenke sind Bestandteile eines Körpers, dessen Schwerpunkt bei S liegt und der den Spiegel trägt. Die oberen Gelenke sind durch je eine praktisch masselose Schwinge mit den unteren verbunden, so daß sich jedes der unteren Gelenke nur auf einen Kreis um das zugehörige obere Gelenk bewegen kann.

Nach den Gesetzen der Technischen Mechanik ist ein solches System im ruhenden Gleichgewicht, wenn die Wirkungslinie der im Schwerpunkt S angreifenden Schwerkraft durch den Schnittpunkt der Schwingen oder deren Verlängerungen geht. Das System hat also unter der Wirkung der Schwerkraft eine genau und eindeutig bestimmte Gleichgewichtslage. Man kann nun experimentell feststellen, wie sich die Gleichgewichtslage ändert, wenn das Fernrohr gegenüber der Ausgangslage geneigt wird.

Wenn wir die Bewegungen von Fernrohr und Spiegel messend verfolgen, so finden wir, daß in einem gewissen Bereich die Neigungsänderungen des Spiegels ein konstantes Vielfaches der Neigungsänderungen des Fernrohres sind, so wie wir es für das optische System brauchen. Wir finden ferner, daß der Proportionalitätsfaktor von der Höhe des Schwerpunktes abhängt.

Das Kernproblem bei der Ausführung solcher Systeme sind die Gelenke. Von diesen muß verlangt werden, daß sie völlig frei von Reibung und außerdem vollkommen spielfrei sind. Da nur sehr kleine Bewegungen verlangt werden, können beide Forderungen durch Federgelenke in idealer Weise erfüllt werden. Der Spiegel ist deshalb im Ni 2 an vier Drähten aufgehängt. Die Drähte sind oben und unten fest eingespannt und werden bei den Bewegungen des Spiegels um geringe Beträge verbogen.

Solche Gelenke haben keinen sichtbaren Drehpunkt. Trotzdem ist der Gelenkpunkt sehr genau definiert. Seine Lage kann aus der Gleichung für die elastische Linie des Drahtes berechnet werden. In Bild 13 ist ein oben fest eingespannter Draht schematisch dargestellt. Der Draht ist durch eine schräg nach unten wirkende Kraft belastet. Die Asymptote der Drahtachse schneidet die Achse des eingespannten Teils immer in demselben Punkt, unabhängig von der Richtung der Kraft. Dieser Schnittpunkt ist der tatsächlich wirksame Gelenkpunkt.

Die Dimensionen sind beim Ni 2 so gewählt, daß ein außerordentlich großer Sicherheitsbereich vorhanden ist. Das Drahtmaterial hat eine Bruchfestigkeit von

mindestens 250 kg/mm². Die Elastizitätsgrenze ist kleiner und liegt bei etwa 160 kg/mm². In der Mittelstellung bei geraden Drähten ist jeder Draht mit nur 0,6 kg/mm² belastet. In der Extremlage kommt dazu im Querschnitt der größten Biegung eine weitere Belastung von 3,7 kg/mm², so daß die maximale Belastung mit 4,3 kg/mm² etwa 1/40 der Elastizitätsgrenze beträgt. Es ist deshalb nicht zu befürchten, daß etwa durch Stöße eine Überlastung der Drähte eintreten könnte.

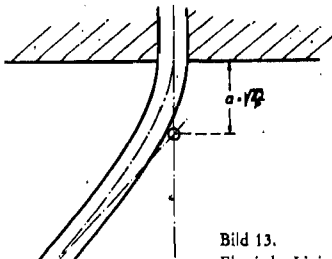


Bild 13.
Elastische Linie

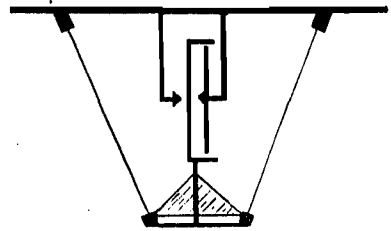
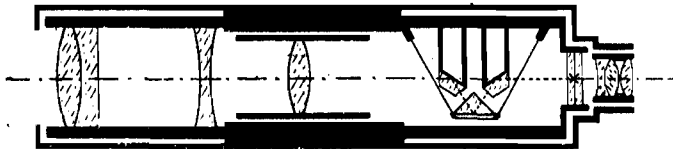


Bild 14. Dämpfungseinrichtung (schematisch)

Richtung der Kraft

Bild 15. Schnitt durch das Fernrohr
des Ni 2 (schematisch)



Die innere Reibung des Drahtmaterials ist so klein, daß es bisher nicht möglich war, ihren Einfluß auf die Lage des Spiegels nachzuweisen. Wegen dieser idealen Reibungsfreiheit ist eine Dämpfung der Spiegelbewegungen erforderlich. Diesem Zweck dient eine einfache Luftdämpfung, deren Kolben am Fernrohr und deren Zylinder an der Fassung des Spiegels befestigt ist. Da sich Kolben und Zylinderwand nicht berühren, ist auch die Dämpfung völlig reibungsfrei.

Das Prinzip der Dämpfungseinrichtung zeigt Bild 14. Die Eigenfrequenz des ungedämpften Systems ist 1,5 Hz. Wegen dieser hohen Eigenfrequenz ist es möglich, den Spiegel mit Hilfe der aperiodischen Luftdämpfung innerhalb von 0,5 Zeitsekunden zur Ruhe zu bringen.

In Bild 15 ist ein schematischer Schnitt durch das Fernrohr des Ni 2 dargestellt. Die Fokussierlinse ist positiv, damit für die Spiegel genügend Raum übrig bleibt. Das Teleobjektiv verkleinert die Baulänge des Fernrohres. Die Spiegel sind mit dem Gelenkviereck zu einer Baugruppe zusammengefaßt, die als Kompensator bezeichnet wird. Die dreifache Spiegelung gibt nebenbei eine Bildaufrichtung. Die Vertauschung der Seiten wird dadurch aufgehoben, daß die dritte Spiegelung in einem Dachprisma stattfindet. Bei sämtlichen Spiegelungen wird die Totalreflexion in Spiegelprismen ausgenutzt, so daß beste Haltbarkeit unter allen klimatischen Verhältnissen gewährleistet ist.

Der Kompensator hat einen Arbeitsbereich von etwa 0,5°. In der Mitte des Bereichs ist die optische Achse des Fernrohres etwa horizontal. Es wäre nicht schwierig, mit dem Kompensator auch einen größeren Bereich zu überbrücken, doch müßte dann das Instrument quer zur Zielrichtung genauer horizontalisiert werden als

in der Zielrichtung. Die Grenze in der Querrichtung ist dadurch gegeben, daß durch die Schiefe des Ablesertrichs keine merklichen Fehler entstehen dürfen. Man kann leicht ausrechnen, daß der Strich um höchstens etwa 6' geneigt sein darf. Da zur genäherten Horizontierung eine Dosenlibelle auf jeden Fall notwendig ist, ist es das Einfachste, auch in der Zielrichtung auf 6' genau zu horizontieren. Da ein gewisser Justierfehler der Dosenlibelle nicht ganz vermieden werden kann, und weil andererseits ein Anschlagen des Spiegels an der Bereichbegrenzung auf jeden Fall vermieden werden muß, ist als Arbeitsbereich des Kompensators $1/4^\circ$ in jeder Richtung gewählt worden.

Die Bewegungsmöglichkeiten des Spiegels sind durch feste Anschläge so weit eingengt, daß eine Arretierung beim Transport nicht notwendig ist, somit ist es auch nicht möglich, daß das Lösen der Arretierung vergessen wird.

Die Ziellinie wird durch den Kompensator mit einem mittleren Fehler von etwa $\pm 0,3''$ auf eine konstante Neigung zum Horizont eingestellt. Durch den Justiervorgang, der vom Justieren der Libelleninstrumente her bestens bekannt ist, wird die vom Kompensator eingestellte Neigung zu Null gemacht. Die Genauigkeit des Kompensators entspricht also der Arbeit mit einer einfachen 3"-Libelle, die bekanntlich mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,3''$ abgelesen werden kann.

Das Fernrohr des Ni 2 vergrößert 32fach. Die praktischen Ergebnisse müssen also mit Libelleninstrumenten verglichen werden, die ebenfalls etwa 30fache Vergrößerung haben. Diese werden im allgemeinen mit 20"-Libellen mit Koinzidenzeinstellung ausgerüstet, die einen mittleren Fehler von etwa $\pm 1''$ gewährleisten.

Der Kompensator ist gegen Störungen von außen verhältnismäßig unempfindlich. Die außerordentlich niedrige Beanspruchung der Drähte gibt ihm eine Transportsicherheit, welche die der entsprechenden Libelleninstrumente übertrifft.

Sämtliche beweglichen Teile sind aus nicht magnetisierbarem Material hergestellt, so daß äußere Magnetfelder erst bei der 2000fachen Stärke des Erdfeldes einen Einfluß gewinnen können. Bei so starken Feldern, die nur in unmittelbarer Nähe von elektrischen Großmaschinen und Hubmagneten auftreten können, machen sich die unvermeidbaren Verunreinigungen des Materials manchmal bemerkbar, solange das Magnetfeld vorhanden ist.

Die Temperatur beeinflusst den Kompensator nur in einem für die Praxis belanglosen Maß. Der Kompensator in seiner Normallage wird wegen des völlig symmetrischen Aufbaus überhaupt nicht beeinflusst, denn bei Dehnungen und Schrumpfungen infolge Temperaturänderungen bleibt das Gelenkviereck sich selbst ähnlich; der Schwerpunkt des schwingenden Körpers bewegt sich auf einer Vertikalen, so daß eine Änderung der Spiegelneigung nicht eintritt.

Wenn der Kompensator einen Ausschlag hat, d. h. also bei nicht einspielender Dosenlibelle, tritt ein geringer Einfluß auf, der sich jedoch auf das Ergebnis des Nivellements praktisch nicht auswirkt.

Für das praktische Ergebnis ist die Unempfindlichkeit des Kompensators gegen Temperaturunterschiede innerhalb des Instruments von entscheidender Bedeutung. Eine 20"-Libelle von 100 mm Länge zeigt um 5" falsch an, wenn ihre Rohrenden einen Temperaturunterschied von nur $0,15^\circ\text{C}$ haben. Deshalb muß man mehrere Minuten lang mit der Messung aussetzen, wenn infolge einer Unvorsichtigkeit die Sonne auch nur kurze Zeit auf ein Libelleninstrument geschienen hat. Im Gegensatz dazu erträgt der Kompensator Temperaturunterschiede von etwa 20°C auf 100 mm Länge innerhalb des Instrumentes, ohne um mehr als 5" falsch anzuzeigen. Seine Empfindlichkeit gegen Temperaturunterschiede innerhalb des Instrumentes ist also rund 140mal kleiner als die der Libellen. Aus diesem Grunde ist für das Ni 2 ein Sonnenschirm nicht notwendig.

Die bisher veröffentlichten Berichte über praktische Nivellements mit dem Ni 2 lassen seine großen Vorteile gegenüber normalen Instrumenten deutlich erkennen.

Schon der erste Bericht¹⁾ weist auf die damals sehr überraschende Tatsache hin, daß das Ni 2 mühelos ohne Mikrometerablesung eine Genauigkeit erreichen läßt, die sonst nur mit vergleichbaren Libelleninstrumenten mit Planparallelplatten-Mikrometer erreichbar ist. Diese große Genauigkeitsleistung ist durch alle folgenden Be-

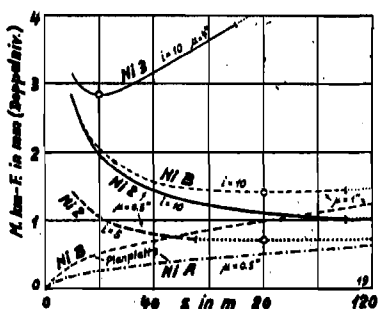


Bild 16. Genauigkeit verschiedener Nivelliere

richte immer wieder bestätigt worden. Die Praxis hat gezeigt, daß der mittlere Fehler des Nivellements nahezu ausschließlich durch den mittleren Fehler der Lattenablesung bestimmt wird. Da beim Ni 2 ohne Mikrometer die Zehntel der Intervalle einer Felderteilung geschätzt werden, ist es vorteilhaft, das Lattenintervall nur 5 mm groß zu wählen. Das ungewöhnlich helle und kontrastreiche Bild des Ni-2-Fernrohres läßt trotzdem Zielweiten bis zu 60 m zu.

Einen guten Überblick über die mit verschiedenen Instrumenten erreichbare Genauigkeit gibt Bild 16. Die Form der hier dargestellten Kurven ist aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz abgeleitet, die Konstanten sind aus praktischen Messungen bestimmt²⁾.

Nach rechts ist die durchschnittliche Zielweite abgetragen, nach oben der mittl. F. des Nivellements. Das Ni 3 ist ein einfaches Libellen-Nivellier mit 20facher Vergrößerung und 30"-Libelle ohne Koinzidenzeinstellung, es ist hier nur eingetragen, weil bei ihm das Minimum der Kurve noch in dem praktisch erreichbaren Bereich liegt. Die anderen Kurven für Instrumente ohne Mikrometer haben grundsätzlich dieselbe Form, doch liegt das Minimum bei Zielweiten, die praktisch nicht erreichbar sind.

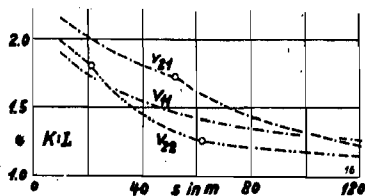


Bild 17. Arbeitsgeschwindigkeit mit Ni 2 im Verhältnis zu einem Libelleninstrument

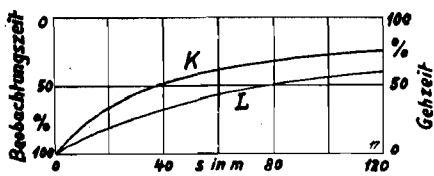


Bild 18. Zeitverteilung bei Ni 2 (K) und Libelleninstrument (L)

Das Ni B, das von Zeiss fast unverändert von 1910 bis 1945 gefertigt worden ist, hat 30fache Vergrößerung und eine 20"-Libelle mit Koinzidenzeinstellung. Es ist bei kurzen Zielweiten dem Ni 2' in der Genauigkeit gleichwertig, bei großen Zielweiten jedoch unterlegen.

¹⁾ E. Wagener, ZfV. 1951, S. 137—146.

²⁾ G. Förstner, Wirtschaftliches Nivellieren, AVN 1953, S. 151—161.

Die Gleichheit der praktischen Genauigkeit von Ni B mit Mikrometer und Ni 2 ohne Mikrometer besteht nur in dem für die Praxis besonders wichtigen Zielweitenbereich von 40 bis 60 m. Bei kleinen Zielweiten, also in steilem Gelände, ist das Instrument mit Mikrometer überlegen. Aus diesem Grunde wird in Kürze auch für das Ni 2 ein Mikrometerzusatz lieferbar sein.

Das Ni A ist ein Präzisionsnivellier mit 44facher Vergrößerung und 10"-Libelle mit Koinzidenzeinstellung. Es ist wegen der stärkeren Vergrößerung nicht ohne weiteres mit dem Ni 2 vergleichbar.

Die Praxis hat also gezeigt, daß die Genauigkeit des Ni 2 den vergleichbaren Instrumenten bisheriger Bauweise mindestens gleichwertig ist. Es hat sich aber weiter gezeigt, daß die Geschwindigkeit der Messung mit Ni 2 etwa doppelt so groß ist wie die mit Libelleninstrumenten. Einen Überblick gibt uns Bild 17, das auf ähnliche Weise entstanden ist wie Bild 16²⁾. Nach rechts ist wieder die Zielweite aufgetragen, nach oben das Verhältnis der Meßgeschwindigkeit mit Ni 2 zur Meßgeschwindigkeit mit einem vergleichbaren Libellen-Nivellier. Die mit v_{21} bezeichnete Kurve gilt für einen Meßstrupp, bestehend aus 2 Lattenträgern mit je 1 Latte und einem Beobachter mit Nivellierinstrument, v_{11} gilt entsprechend für 1 Lattenträger und 1 Beobachter, v_{22} für 2 Lattenträger und 2 Beobachter. Die praktisch wichtige Kurve ist die für v_{21} . Die Verdopplung der Meßgeschwindigkeit gilt also nur für die kurzen Zielweiten um 30 m herum, die von den meisten Berichtern bisher verwendet worden sind. Der Vorteil des Ni 2 in bezug auf die Geschwindigkeit nimmt mit wachsender Zielweite ab. Die Erklärung dafür gibt uns Bild 18, in dem die Verteilung der für das Nivellement insgesamt benötigten Zeit graphisch dargestellt ist²⁾. Nach rechts ist wieder die durchschnittliche Zielweite aufgetragen, nach oben der Anteil an Zeit, der zum Zurücklegen der Strecke mit Fußgängergeschwindigkeit notwendig ist. Wir sehen, daß beim Ni 2 schon bei 40 m Zielweite nur noch 50 % der Gesamtzeit für die Messung zur Verfügung stehen, und daß bei der Maximalzielweite von 120 m sogar nur noch 20 % für die eigentliche Messung verwendet werden können. Beim Libellen-Instrument ist dagegen der Anteil der reinen Beobachtungszeit bis 80 m Zielweite größer als 50 % und ist im Grenzfall immer noch 40 %.

In diesen zahlenmäßigen Betrachtungen über Genauigkeit und Geschwindigkeit der Messung kommt die nur subjektiv spürbare Entlastung des Beobachters nicht zum Ausdruck. In der Gesamtheit der Vorteile des Ni 2 ist aber gerade die Entlastung des Beobachters von der mühevollen Kleinarbeit beim Einstellen der Libelle ein sehr wesentlicher Faktor. Ein Beobachter, der noch nicht an das Ni 2 gewöhnt ist, fühlt sich immer als Faulenzer, da er — insbesondere bei großer Zielweite — viel warten muß, bis die Lattenträger ihre Latten aufgestellt haben. Aus diesem Grunde sind bisher vielfach sehr kurze Zielweiten verwendet worden, um zu erreichen, daß keine Wartezeiten entstehen. Da jedoch die Genauigkeit mit wachsender Zielweite — wie wir gesehen haben — zunimmt, sollte man immer die größtmögliche Zielweite wählen und dem Beobachter die Ruhepausen zugestehen, denn sie kommen letzten Endes doch der Qualität der Arbeit zugute.

Besonders groß ist der Vorteil der stabilisierten Ziellinie beim Flächennivellement, wo von demselben Instrumentenstand aus eine große Zahl von Zielungen genommen wird. In diesem Fall ist es vorteilhaft, drei oder vier Latten zu verwenden, damit am Instrument laufend abgelesen werden kann. Da sich der Beobachter nach einmaliger Grobhorizontierung des Instruments nur noch um das Aufsuchen des Zieles und das Fokussieren kümmern muß, geht die Arbeit außerordentlich schnell.

In dem Ni 2 ist mit der Genauigkeit und Handlichkeit der Libelleninstrumente erstmalig die stabilisierte Ziellinie mit ihren großen Vorteilen vereinigt.