

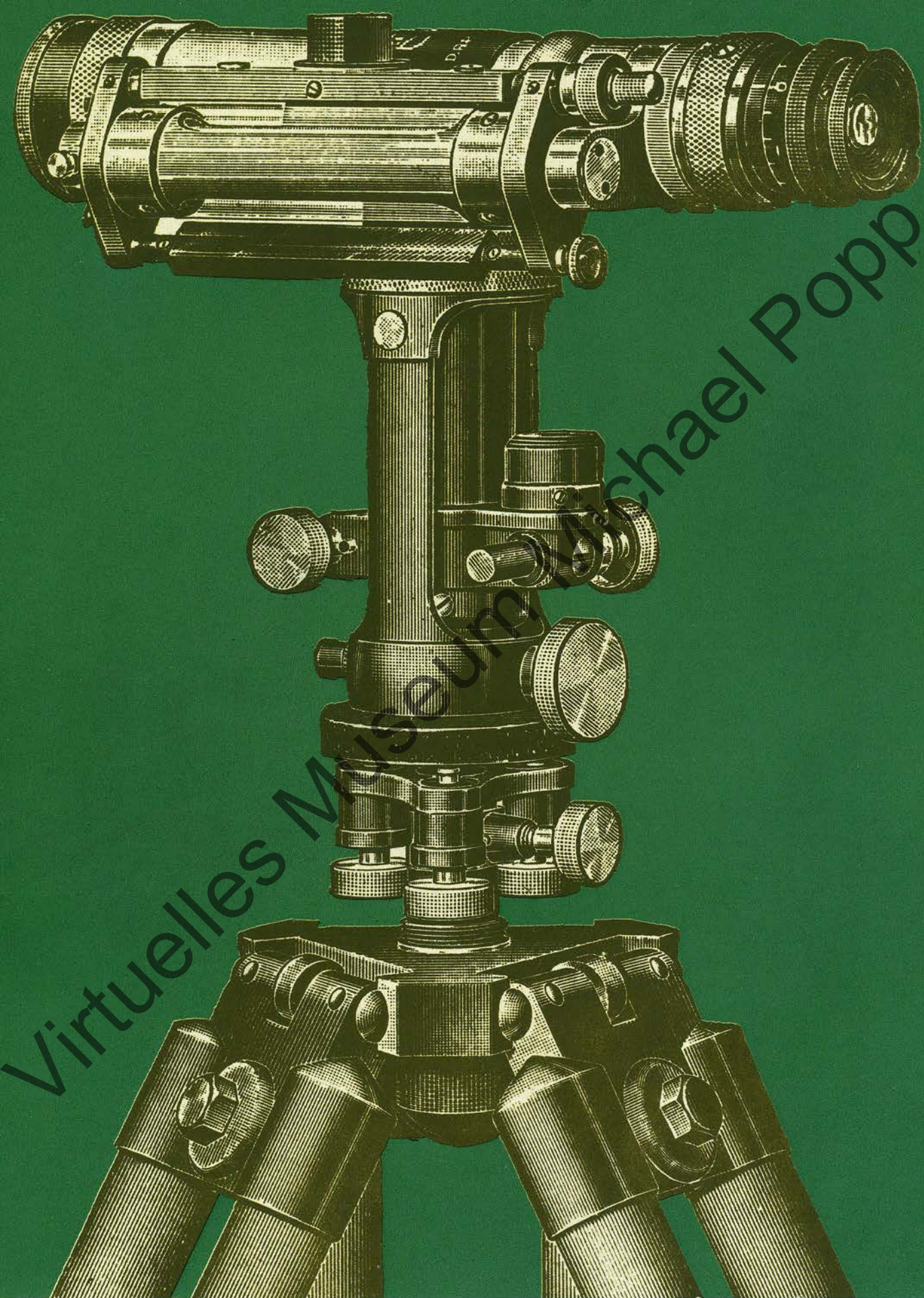
aus  
JENA

# JR

Beilage  
der Jenaer Rundschau

75 Jahre  
Vermessungsgerätebau in Jena





# Der Beginn der Entwicklung geodätischer Geräte in Jena

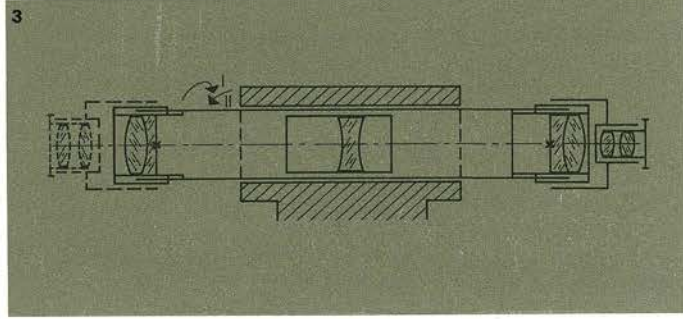
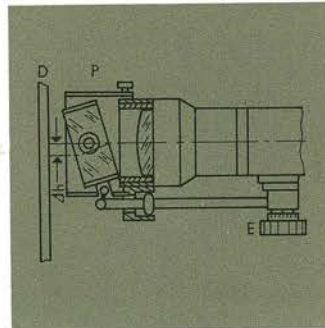
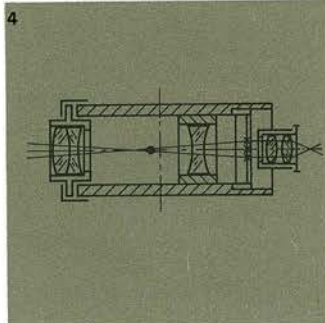
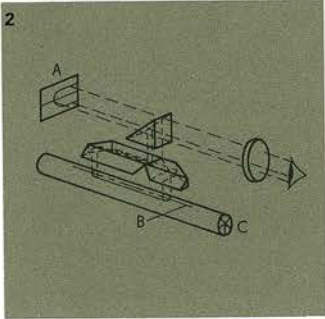
Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gab es in Europa eine Reihe bekannter und leistungsfähiger Werkstätten, die außer Fernrohren und Mikroskopen auch Nivelliere und Theodolite von hoher Qualität in handwerklicher Fertigung herstellten. Das erste Nivellier war in der Mitte des 17. Jahrhunderts und der erste Theodolit zu Beginn des 18. Jahrhunderts gebaut worden. Das Zielfernrohr mit Okularauszug, die Röhrenlibelle, die konische Vertikalachse und die in Silber geteilte Kreisteilung mit Ableseeinrichtungen an Nonien und Skalen mit Mikroskopen sowie die optische Fadendistanzmessung bestimmten den technischen Stand dieser Geräte. Die aus den genannten optisch-mechanischen Baugruppen aufgebauten Theodolite und Nivelliere waren groß und schwer, ihre Fernrohre lang und die Durchmesser der Teilkreise zur Gewährleistung der notwendigen Genauigkeit beträchtlich. Im Gelände mußte man diese Geräte vor Beginn der Messung in ihren Grundfunktionen häufig neu justieren. Die offene Bauweise führte zum schnellen Verschmutzen der Sehfelder und der Achsen, und wegen unzuverlässiger Meßwerte mußten Messungen wiederholt werden. Diese Erfahrungen machte auch der Vermessungsingenieur der schweizerischen Landestopographie und ehemalige Artillerieoffizier HEINRICH WILD (1877 bis 1951) bei seinen Vermessungsarbeiten im Gebirge. Er wandte sich deshalb mit seinen neuen Ideen und praktischen Vorschlägen zur Verbesserung geodätischer Geräte an die damals schon bekannte Fertigungsstätte für feinmechanisch-optische Geräte in Jena. Dieser relativ junge Betrieb war im Jahre 1846 von dem Mechanikermeister CARL ZEISS gegründet worden, der in der Folgezeit gemeinsam mit Professor ERNST ABBE auf der Basis neuer wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse eine industriemäßige Produktion feinmechanisch-optischer Geräte nach modernster Technologie aufbaute. Die sich schnell entwickelnde Firma Carl Zeiss nahm bereits nach wenigen Jahrzehnten in der Fertigung von Mikroskopen, physikalischen Meßgeräten und Fernrohren eine führende Stellung in der Welt ein. Entsprechend dem Prinzip ERNST ABBEs, nur dann neue Instrumente zu bauen, wenn es sich um grundsätzliche Neuerungen handelte, wurde in Jena mit der Entwicklung der ersten Nivelliere und Theodolite begonnen. So entstand im Jahre 1908 in der damaligen Astro-Abteilung die erste Konstruktion eines geodätischen Instruments.

Bereits 1909 wurde die selbständige Abteilung für geodätische Geräte gegründet, die bereits nach wenigen Jahren über ein umfangreiches Programm an neuartigen Nivellieren und Theodoliten mit entsprechenden Zubehöreinheiten verfügte.

Wieland Feist  
**75 Jahre**  
Vermessungsgerätebau  
in Jena  
Beilage der  
Jenaer Rundschau  
1/1983

**Bild 1 :** Nivellierinstrument I,  
das älteste Jenaer Nivellier.





### Die ersten Nivelliere und ihre Besonderheiten

Als erstes Jenaer geodätisches Gerät wurde 1909 das Nivellierinstrument I auf den Markt gebracht. Es handelte sich um ein kleines, leichtes (1,3 kg) und auseinandernehmbares Gerät der mittleren Genauigkeit, mit dessen Entwicklung man 1908 begonnen hatte. Ihm folgten im Jahre 1911 das Nivellierinstrument III, das ein Ingenieurnivellier der höheren Genauigkeit darstellte und erstmalig mit einer Planplatte zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit an der vertikalen Meßplatte ausgerüstet war, des weiteren ein kleines Nivellier II der mittleren Genauigkeit. Letztere Geräte besaßen eine geschützte Kippeinrichtung des Fernrohrs und einen größeren Dreifuß. In dieser Ausstattung, die sich im Feldgebrauch bestens bewährte, wurde ab 1911 auch das Nivellier I geliefert.

Die Nivellierinstrumente I, II und III zeichneten sich gegenüber den Konkurrenzgeräten der damaligen Zeit durch folgende Neuheiten aus:

- Die Prismenablesung der Libelle gestattete dem Beobachter ein genaueres und schnelleres Einspielen der Libelle von seinem Standpunkt aus.
- Das biaxiale wälzbare Fernrohr ermöglichte die Justierung des Gerätes mit nur einer Aufstellung.
- Das Fernrohr mit verschiebbarer Zwischenlinse und Distanzmeßfäden verkürzte die Baulänge und beseitigte den schmutzempfindlichen Okularauszug.
- Mit dem Planplattenmikrometer wurde die Ablesegenauigkeit an der Meßplatte gesteigert.
- Die Einführung der Invarband-Nivellierlatte führte zur Steigerung der Genauigkeit des Lattenmeters und seiner Unabhängigkeit von Temperatureinflüssen.
- Der Ersatz der Spinnenfäden durch ein in eine Glasplatte geätztes Strichkreuz, die den Fernrohrkörper abschloß, garantierte einen sicheren Gebrauch und eine gute Justierhaltigkeit der Ziellinie im Felde.
- Die zylindrische Vertikalachse gewährleistete eine stets gleichmäßige Gängigkeit der Gerätedrehung.
- Die Anwendung der Reichenbachschen Distanzmeßfäden auch im Fernrohr mit Zwischenlinse führte zur Multiplikationskonstanten 100 und einer kleinen Additionskonstante.

Wie Publikationen aus jener Zeit zeigen, fand das Nivellierinstrument I auf dem badischen Geometertag im Jahre 1910 in Freiburg große Anerkennung und galt als eine epochemachende Neuerung.

### Der erste Theodolit

In den Jahren 1910 bis 1912 begann die Entwicklung des ersten Theodolits, des Repetitionstheodolits RTh II. In seiner äußeren Form ähnelte er dem bisher bekannten Theodolit, war aber mit den neuen Baugruppen ausgerüstet, die bereits in den Nivellierinstrumenten verwendet wurden. Mit seinem nur 230 mm langen Fernrohr mit 35-mm-Öffnung, 30facher Vergrößerung, Innenfokussierung, optischer Strichplatte, Distanzstrichen, neuem zylindrischem Vertikalachsensystem, geschlossener, stabiler und justierhaltiger Kippachsenlagerung, geschlossenen Skalenmikroskopen zur schnellen Ablesung der Teilkreisanzeige sowie der Prismenablesung der Höhenindexlibelle des Vertikalkreises stellte der RTh II im Jahre 1912 eine bedeutende Theodolitweiterentwicklung dar, die bis zum Beginn der 30er Jahre gebaut wurde.

**Bild 6:** Invarbandnivellierlatte (Ausschnitt aus der Lattenenteilung).

F Meßteilung, G Invarband mit der Meßteilung, H Kontrollteilung.

**Bild 7:** Die in eine Glasplatte geätzte Strichfigur.

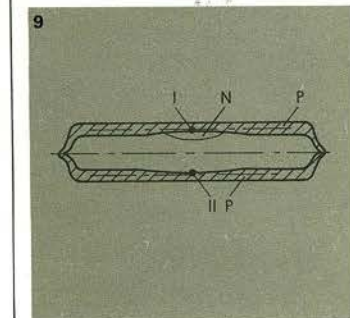
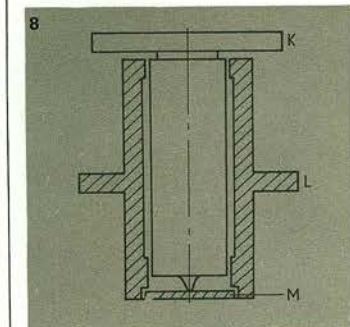
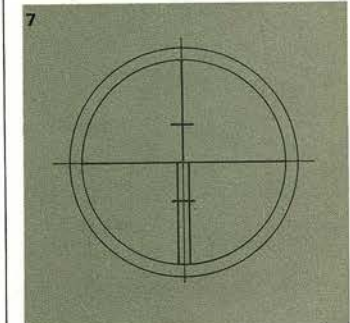
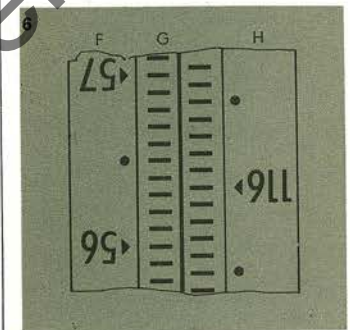
**Bild 8:** Das zylindrische Vertikalachssystem. K Achse, L Achsbuchse, M Spurplatte.

**Bild 9:** Libelle nach CONNELLY mit parallelen Spielpunkt tangente (Libellenachsen).

N Libellenblase, I Spielpunkt I, II Spielpunkt II, P die parallelen Libellenachsen.

**Rechte Seite**

**Bild 10:** Repetitionstheodolit RTh II mit Aufsatzbussole, der erste Theodolit aus Jena.



**Bild 2:** Prismenablesung der Libelle. A Ablesebild, B Libellenachse, C Röhrenlibelle.

**Bild 3:** Das biaxiale wälzbare Fernrohr.

— Lage 1 des Okulars,

--- Lage 2 des Okulars,

( Lage I des Fernrohrs,

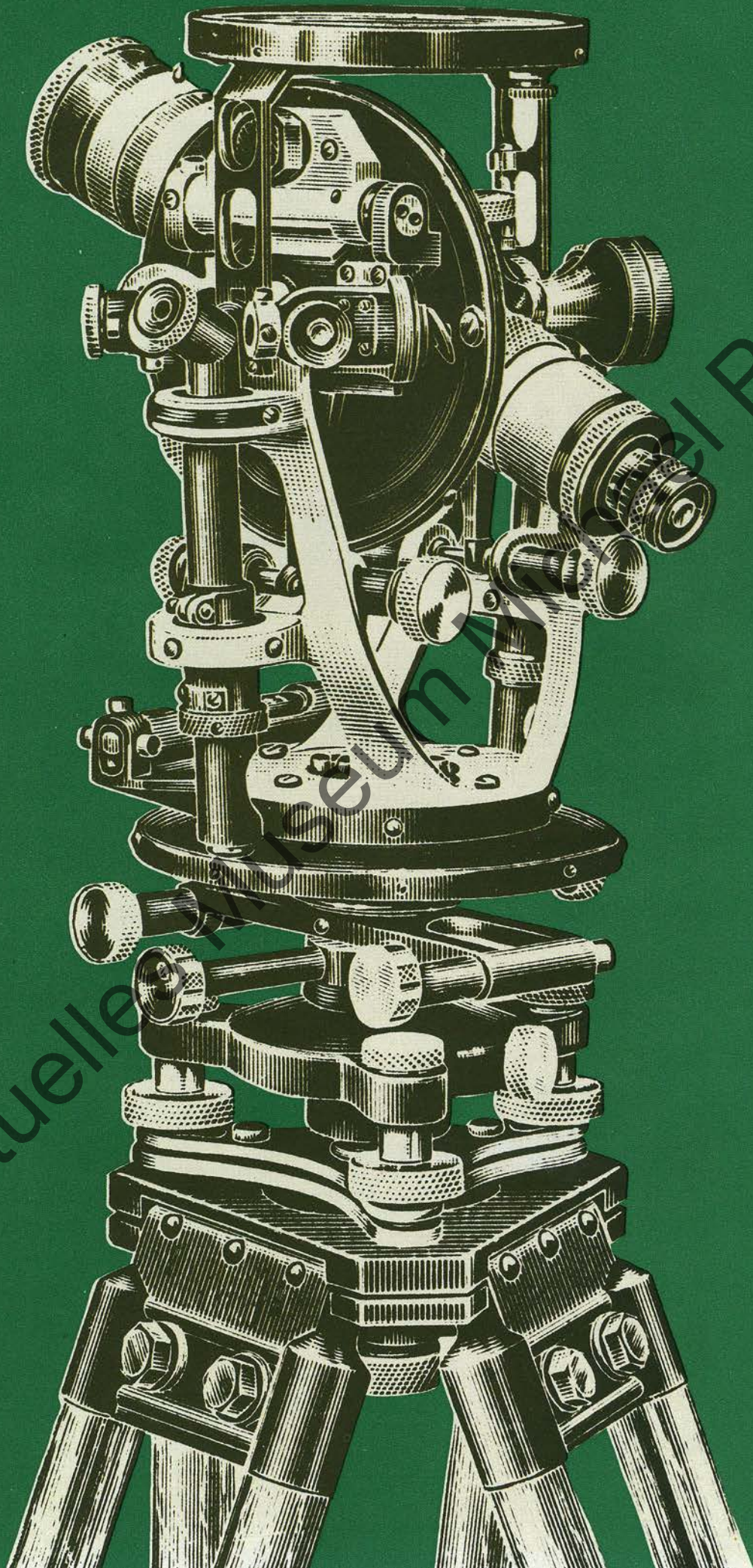
⊂ Lage II des Fernrohrs.

**Bild 4:** Das Fernrohr mit negativer Zwischenlinse und Distanzstrichen.

**Bild 5:** Planplattenmikrometer P auf dem Nivellierfernrohr.

D Meßplatte, E Meßtrommel,  $\Delta h$  ausgemessenes Lattenintervall.

Virtuelle  
Summa Popp



# Die ersten optischen Theodolite für Triangulation und Polygonierung, zur Absteckung und Beobachtung von Bauwerken aller Art

Bereits im Jahre 1920 wurde an der Konstruktion des ersten optischen Theodolits gearbeitet, der 1924 produktionsreif war. Dieser Theodolit besaß erstmalig einen Horizontal- und einen Vertikalkreis aus Glas. Beide Teilkreisanzeigen konnten mit einem Mikroskop und mit einem Doppelplanplattenmikrometer an diametralen Stellen nach dem Prinzip der optischen Mittelbildung vom Standpunkt des Beobachters aus mit Sekundengenauigkeit abgelesen werden.

Die Verwendung von Glasteilkreisen ermöglichte den neuartigen Aufbau des gesamten Ablesesystems für alle Teilkreisstellen mit optischen Bauteilen, wie Prismen, Objektive und Planplatten, und führte so zum optischen Theodolit mit geschlossener Bauweise. Nach diesem Prinzip entstand 1924 bis 1929 der Theodolit III mit der für die Jenaer Theodolite typischen Art der U-förmigen, geschlossenen Theodolitstütze, in der sämtliche optischen Bauelemente, wie die Teilkreise und das Ablesesystem, sowie die mechanischen Baugruppen eine geschützte Aufnahme fanden. Der Theodolit III war ein Gerät der mittleren Genauigkeit mit diametraler Ablesung der Teilkreise im Durchlicht. Die Entwicklung des Theodolits mittlerer Genauigkeit fand 1930 ihren Abschluß mit dem Theodolit IV. Letzterer besaß im Ablesemikroskop der Teilkreisanzeigen, das direkt neben dem Fernrohr lag, eine Großfeldskalenablesung. Ein weiterer Vorteil war das Ablesen nur einer Anzeige eines jeden Teilkreises (erster Einzeigertheodolit dieser Genauigkeit). Die mechanische Fertigung hochgenauer Vertikalachssysteme war in Jena inzwischen so weit entwickelt, daß das Spiel der Achsen und die Zentriergenauigkeit der Teilkreise auf wenige Zehntel Mikrometer begrenzt werden konnte. Mit diesem neuartigen Repetitionsachsensystem und den Teilkreisen mit 2 bis 3  $\mu\text{m}$  breiten Strichen wurde mit einer Ablesung ohne Mikrometer eine Genauigkeit von 6'' bzw. 1 mgon direkt erreicht.

Nicht nur mit dem Ablesesystem der Teilkreise, sondern auch bei der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Fernrohre wurden von den Optik-Konstrukteuren unter Leitung von ALBERT KÖNIG neue Wege beschritten. Das Öffnungsverhältnis und die Helligkeit der Fernrohre konnten durch die Berechnung neuer Objektivtypen gesteigert werden. Diese Arbeiten fanden in dem ebenfalls 1930 auf den Markt gebrachten Sekundentheodolit Th II ihren Niederschlag. Der Theodolit II verfügte außer über ein leistungsstarkes Fernrohr über Teilkreise hoher Genauigkeit, ein neues Ablesesystem der optischen Koinzidenz zur optischen Mittelbildung der an einer sehr feinen „Scheidekante“ übereinanderstehenden Bilder diametraler Teilkreisstellen mit Sekundengenauigkeit sowie über ein genaues System der Zwangszentrierung. Mit diesen Eigenschaften war der Th II als Präzisionstheodolit für die Triangulationen II. und III. Ordnung, für die Präzisionspolygonierung über und unter Tage, für genaue Absteckungen und Fluchtungen im Bauwesen sowie für die Überwachung von Bauwerken sehr gut geeignet und erschloß in den 30er Jahren eine neue Meßtechnik.

## Rechte Seite

**Bild 11** : Optischer Theodolit Th I (unten), Repetitionstheodolit Th III (links), Tachymetertheodolit Th IV (rechts), Sekundentheodolit Th II (oben).

Theodolit	$\Gamma$	Objektivdurchmesser	Fernrohrlänge [cm]	Ablesegenauigkeit am Kreis	Höhe des Gerätes [cm]	Masse [kg]
Th I	18×	30	13,7	1''	17	3,8
Th III	27×	40	17,5	12''	21	5,8
Th IV	27×	35	18,5	6''	20,5	5,3
Th II	27×	40	17,5	1''	22	6,3



# Vom Ingenieurnivellier zur Nivellierreihe für Höhenmessungen niederer bis höchster Genauigkeit

Zu Beginn der 20er Jahre wurde die Entwicklung neuer Nivelliere mit der Konstruktion von zwei Nivellieren der niederen Genauigkeit, dem Ni IV und dem Ni V, fortgesetzt. Beide Geräte zeichneten sich durch einen vereinfachten robusten und zuverlässigen Aufbau aus und waren für die Vermessungen im Bauwesen bestimmt. Aufbauend auf den Erfahrungen in der Fertigung, und in der Anwendung dieser neuen Konstruktionen erschien Ende der 20er Jahre – einem Vorschlag des Engländers CONNELLY folgend – ein neues Ni II mit kurzem, einfachem Fernrohr und Wendelibelle mit praktisch genau parallel geschliffenen Libellenachsen. Ihren Abschluß fand die Entwicklung des Ingenieurnivelliers mit dem Modell Ni I im Jahre 1930, das erstmalig den für die Jenaer Ingenieurnivelliere charakteristischen geschlossenen und gedruckenen Aufbau hatte. Sein kurzes Fernrohr mit 25facher Vergrößerung und 30-mm-Öffnung, die neue Kippachsenlagerung mit Kippschraube, die geschützte Libellenanordnung mit Prismenablesung, die für die damalige Zeit sehr kurze minimale Zielweite von nur 2 m und der geschlossene Dreifuß bildeten eine Neuheit, die sich in den Folgejahren im Feldeinsatz sehr gut bewährte. Mitte der 30er Jahre erfuhren die einzelnen Nivelliertypen weitere Verbesserungen und erschienen unter neuen Bezeichnungen auf dem Markt. Die Baunivelliere Ni V und Ni IV erhielten die Namen Ni E und Ni D, die Ingenieurnivelliere Ni I und Ni II wurden Ni C und Ni B genannt. Mit dem Ni A, der Weiterentwicklung des Ni III im Jahre 1935, war eine vollständige, auf dem Weltmarkt konkurrenzlose Nivellierreihe geschaffen worden, die allen Anforderungen der geodätischen Praxis genügte.

Das Ni A war für Einwägungen höchster Genauigkeit, Landesnivellements I. und II. Ordnung sowie für Senkungs- und Abstekungsbeobachtungen im Bauwesen und im Bergbau bestimmt. Mit ihm konnten erstmalig Neigungswinkel auf 0,1'' bis 0,2'' reproduzierbar genau gemessen werden. Die hohe Vergrößerung des Fernrohrs, die geschlossene Bauweise, die alle funktionswichtigen Baueinheiten, wie Libelle, Planplatte mit Ableseeinrichtung und Kippschraube, integrierte, die stabile Aufstellung und der Schutz vor Sonnenstrahlung garantierten zuverlässige Meßergebnisse.

## Rechte Seite

**Bild 12:** Die Nivellierreihe für niedere bis höchste Genauigkeit für Bauwesen, Landesnivellement, Höhenübertragung, Ni A, Ni C, Ni B, Ni D, Ni E (von oben nach unten).

Nivellier	mittl. Höhenmeßfehler [mm]	$I'$	Objektivöffnung [mm]	Fernrohrlänge [cm]	Höhe des Gerätes [cm]	Libellenangabe ["]	Masse [kg]
Ni E	± 8	25×	30	19	12	30	1,4
Ni D	± 8	25×	30	19	12	30	1,9
Ni C	± 4	25×	30	19	12	30	2,0
Ni B	± 2	31×	35	21	17	20	2,7
Ni A	± 0,4	44×	55	40	20	10	5,4





Virtuelles Museum Michael Popp

# Neue optische Streckenmeßgeräte

## Neue geodätische Meßverfahren

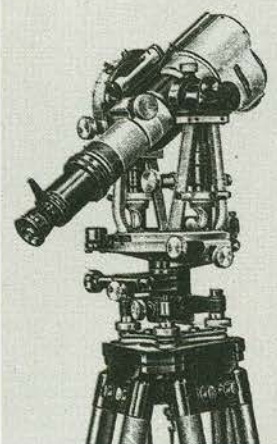
Das tachymetrische Meßverfahren mittels Distanzmeßfäden im Fernrohr wurde erstmalig 1810 von GEORG von REICHENBACH in größerem Umfang bei der bayrischen Katastervermessung angewendet. Diese Meßmethode war jedoch wegen der begrenzten Meßgenauigkeit der Fadendistanzmessung und wegen des großen Rechenaufwandes zur Ermittlung der horizontalen Entfernung und des Höhenunterschiedes nur beschränkt einsetzbar. Da aber die polare Meßmethode und das tachymetrische Aufnahmeverfahren universeller und wesentlich wirtschaftlicher waren als die Streckenmessung mit Bandmaß und Meßlatte, fehlte es nicht an Versuchen und Vorschlägen, die Genauigkeit der optischen Distanzmessung zu erhöhen. So kam um 1923 der Schweizer Grundbuchgeometer R. BOSSHARDT mit dem Vorschlag nach Jena, den für die optische Streckenmessung notwendigen parallaktischen Winkel nicht durch Meßfäden im Fernrohr, sondern optisch durch Glaskeile vor dem Fernrohr zu erzeugen und diese in Abhängigkeit vom Höhenwinkel zu drehen. Damit wurden durch die optischen Keile zwei verschiedene Abschnitte einer horizontalen Meßlatte in Abhängigkeit von der Entfernung gegeneinander verschoben. Die Ausmessung des Restintervalls in dem so entstandenen Doppelbild erfolgte mit einer Planplatte, mit der das nicht abgelenkte Bild gegen das abgelenkte Bild meßbar verschoben wurde.

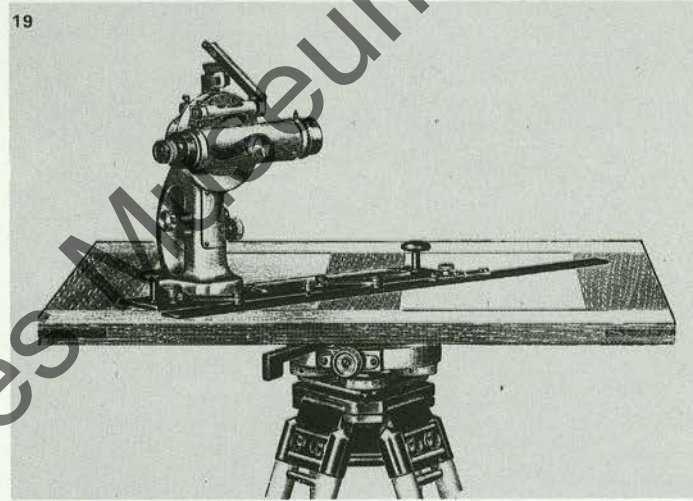
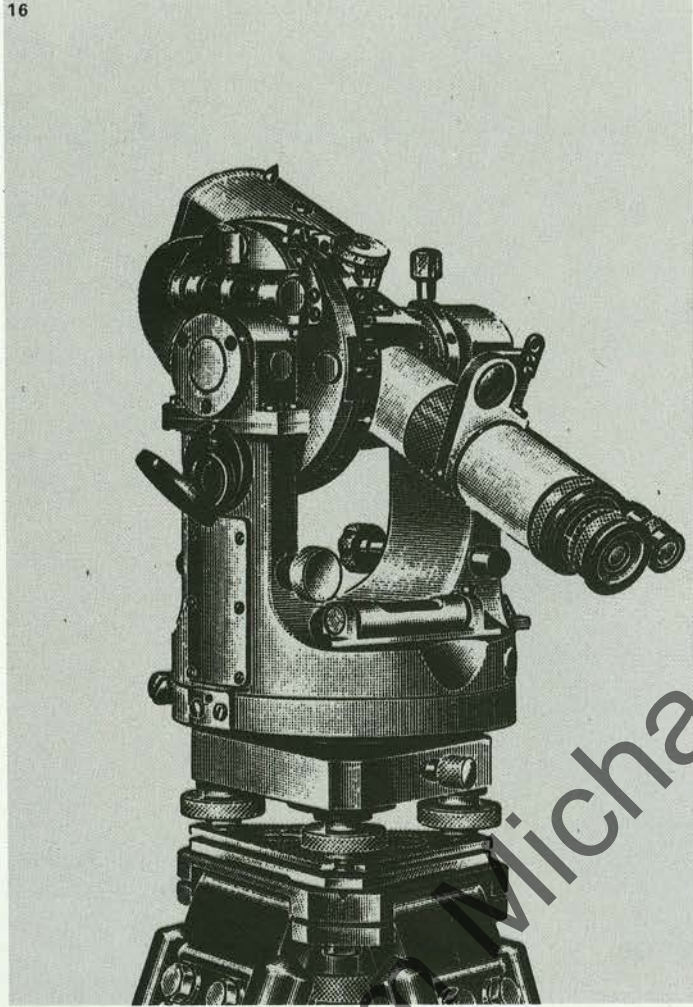
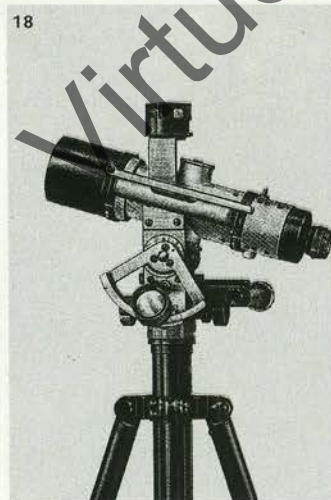
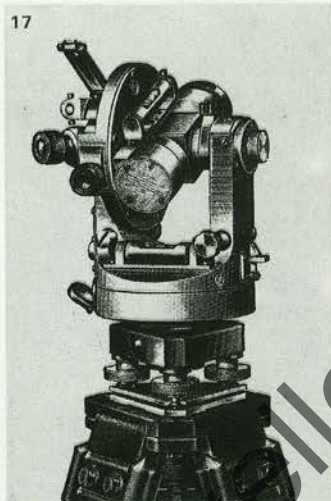
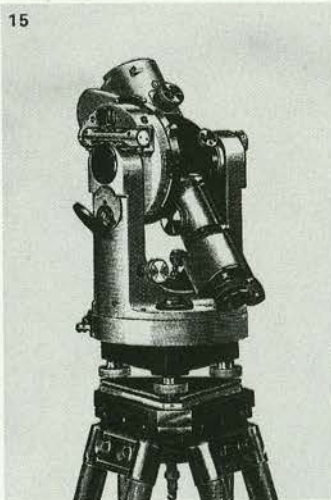
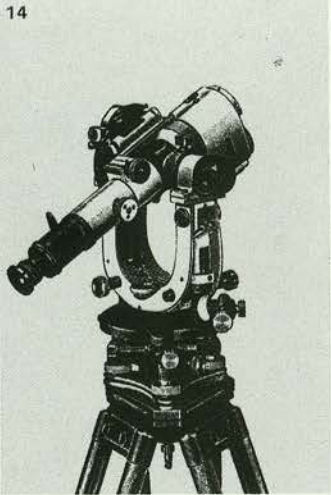
Die Drehung der Keile bewirkte die Reduktion der schrägen auf die horizontale Entfernung. Die exakte optische Bildtrennung und das Ineinanderlegen der Pupillen gestatteten, den parallaktischen Winkel auf Bruchteile von Bogensekunden genau auszumessen. Das nach diesem Grundprinzip aufgebaute Doppelbild-Reduktionstachymeter erschien 1925 als Redta I auf dem Markt. Das Redta I war zunächst in der Stütze eines RTh II montiert. Eine verbesserte Variante mit U-förmiger Stütze und mit Tangensteilung im Vertikalkreis erschien 1927 als Redta II. Mit einem neuen optischen System zur Bildzusammenlegung und Pupillenüberdeckung und damit kürzerem Fernrohr sowie mit Teilkreisen aus Glas entstand 1929 das Redta III. Eine letzte verbesserte Variante des Redta – mit längerem Fernrohr und mit den Qualitäten des Th IV – wurde 1936 als Modell B bezeichnet.

Die Entwicklung neuer optischer Streckenmeßgeräte und daraus resultierende neue geodätische Meßverfahren, wie Polygonierung und optische Präzisionsstachymetrie, sind eng mit dem Namen OTTO von GRUBER verbunden.

Der Einsatz des Redta führte zu Kostensenkungen bei der Polygonierung um 20% und bei der Grundstücks- und Geländevermessung bis zu 50%. Eine 100 m lange Strecke konnte erstmalig in einem Schritt auf  $\pm 2$  cm genau gemessen werden. Eine weitere Genauigkeitssteigerung wurde durch die Messung des parallaktischen Winkels mit dem Sekundentheodolit nach der 2-m-Invarbasislatte erreicht. Der Streckenmeßfehler betrug nur  $\pm 1$  cm. Damit ergab sich die Möglichkeit, auch Polygonseiten sehr genau zu messen, und es entstand das Verfahren der optischen Präzisionspolygonierung. Um die optische Präzisionsstreckenmessung auch mit dem Theodolit ausführen zu können, wurde der Distanzmeß-Vorsatzkeil Dimeß mit einer gesonderten Lattenausrüstung entwickelt. Trotz der Möglichkeit der Präzisionsstachymetrie wurde immer wieder der Wunsch laut, mit einer einfacheren Meßausrüstung und mit einer geringeren Streckenmeßgenauigkeit schnell und einfach tachymetrische Geländeaufnahmen auszuführen. So unterbreitete bereits 1921 der norwegische Vermessungsingenieur DAHL den Vorschlag, das gesamte Latten- und Geländebild durch einen in der Fernrohrbildebene liegenden Diagrammkreis mit Meßkurven zur selbstreduzierenden Strecken- und direkten Höhenunterschiedsmessung mit einem Okular zu betrachten. Durch die Konstruktion einer besonderen Kurventeilmaschine zur Fertigung des Kurvenkreises konnte dieses Prinzip technisch realisiert werden. Damit war 1938 die Entwicklung des Reduktionstachymeters Dahlta abgeschlossen. In der Kombination mit einem Feldkartiertisch entstand die Dahlta-Karti-Methode, die für die Geländeaufnahme zu hoher Perfektion und Effektivität geführt wurde.

13





In den 30er Jahren kamen für verschiedene Meßverfahren mit unterschiedlichsten Genauigkeiten noch zahlreiche weitere optische Streckenmeßgeräte hinzu. Genannt seien hier nur die Meßtisch-ausrüstung mit Kippregel für die Topographie, die Kippplodis für die Stadtvermessung und das Teletop für die Kulturen- und Forstvermessung.

**Bild 13:** Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta I.  
**Bild 14:** Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta II.  
**Bild 15:** Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta III.  
**Bild 16:** Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta B.  
**Bild 17:** Reduktionstachymeter Dahlta.  
**Bild 18:** Stadtentfernungsmesser Kippplodis.  
**Bild 19:** Meßtisch mit Kippregel.

# Komplette Reihen geodätischer Geräte

## für die Aufgaben der Geodäsie in Wirtschaft und Wissenschaft, Lehre und Praxis

**Bilder 20 bis 25:**  
Spannbandbussole,  
Signalscheinwerfer,  
Kartiertisch, Zieltafel,  
Markscheiderlichtsignal,  
Basislatte.

**Aufklappbare Seiten**

**Bild 26:** Vermessungsgeräte-  
reihen 1949 bis 1975.

Nach dem zweiten Weltkrieg war der JENOPTIK JENA GmbH vornehmlich die Aufgabe gestellt, den volkswirtschaftlichen Erfordernissen vieler Länder beim friedlichen Aufbau mit einem weitgehend kompletten Programm an geodätischen Geräten zu entsprechen.

So kam bereits im Jahre 1949 das erste einfache Nivellierinstrument, das Ni 060, auf den Markt, und fast jedes Jahr wurde das Angebot mit weiterentwickelten Nivellieren, Theodoliten, Tachymetern und von Zubehör erweitert. Alle Geräte erhielten eine einheitliche Form- und Farbgestaltung, und sie waren in Genauigkeitsklassen gestuft, die den Fachbelangen der Geodäsie in bezug auf Genauigkeit und Arbeitsgeschwindigkeit entsprachen. Sie verfügten über eine hohe Zuverlässigkeit und Justierhaltigkeit, so daß sie allen Anforderungen der geodätischen Praxis gewachsen waren.

Der Sekundentheodolit Theo 010 erhielt z. B. ein leistungsfähiges Spiegellinsenfernrohr mit vermindertem sekundärem Spektrum zur Erhöhung der Zielgenauigkeit und der Reichweite sowie ein in die Alhidade eingebautes optisches Lot zum schnelleren und genaueren Zentrieren des Gerätes über dem Bodenpunkt.

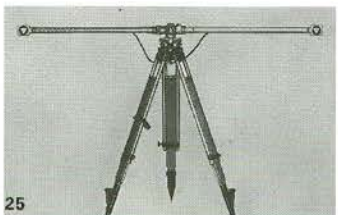
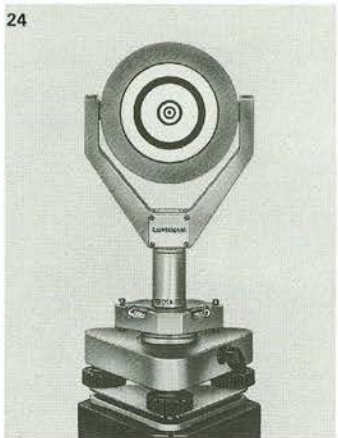
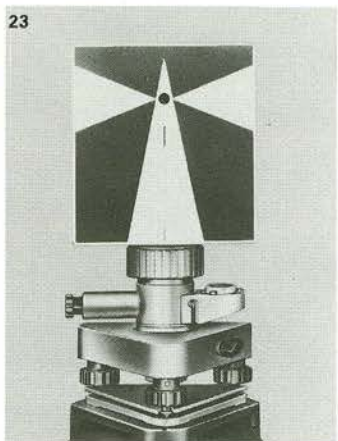
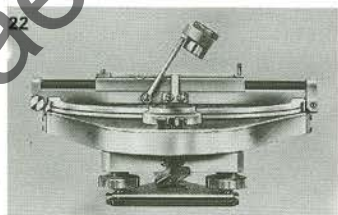
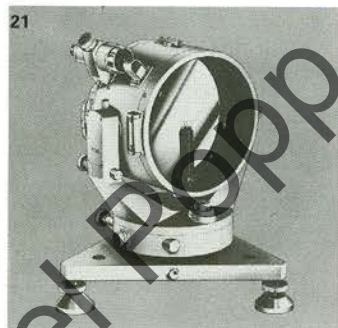
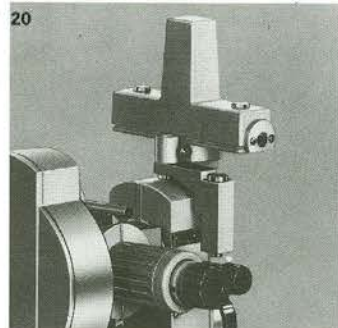
Das Präzisionsnivellier Ni 004 wurde mit einer neuen Fernrohrlagerung, die sich bereits beim Ingenieurnivellier Ni 030 bewährt hatte, und mit einem geschlossenen Metallmantel zum Schutz vor Sonnenstrahlung ausgerüstet.

Das Dahlta 020 erhielt ein geradsichtiges Fernrohr mit einer über ein großes Sehfeld verbesserten Bildqualität. Die Höhenindexlibelle wurde bei Theodoliten und bei Tachymetern in die Stütze integriert, und die Teilkreise erhielten dünnere Teilungsstriche mit höherer Konturschärfe, um die Ablesegenauigkeit an den Skalen zu vergrößern.

So entstand in den 50er Jahren ein komplettes Programm an geodätischen Geräten, das die Libellennivelliere Ni 060, Ni 030, Ni 004, die Reduktionstachymeter Dahlta 020, Redta 002, BRT 006 und die Theodolite Theo 120, Theo 030 und Theo 010 mit einem umfangreichen Zubehör umfaßte. Dieses Geräteprogramm erwarb sich in wenigen Jahren internationale Anerkennung.

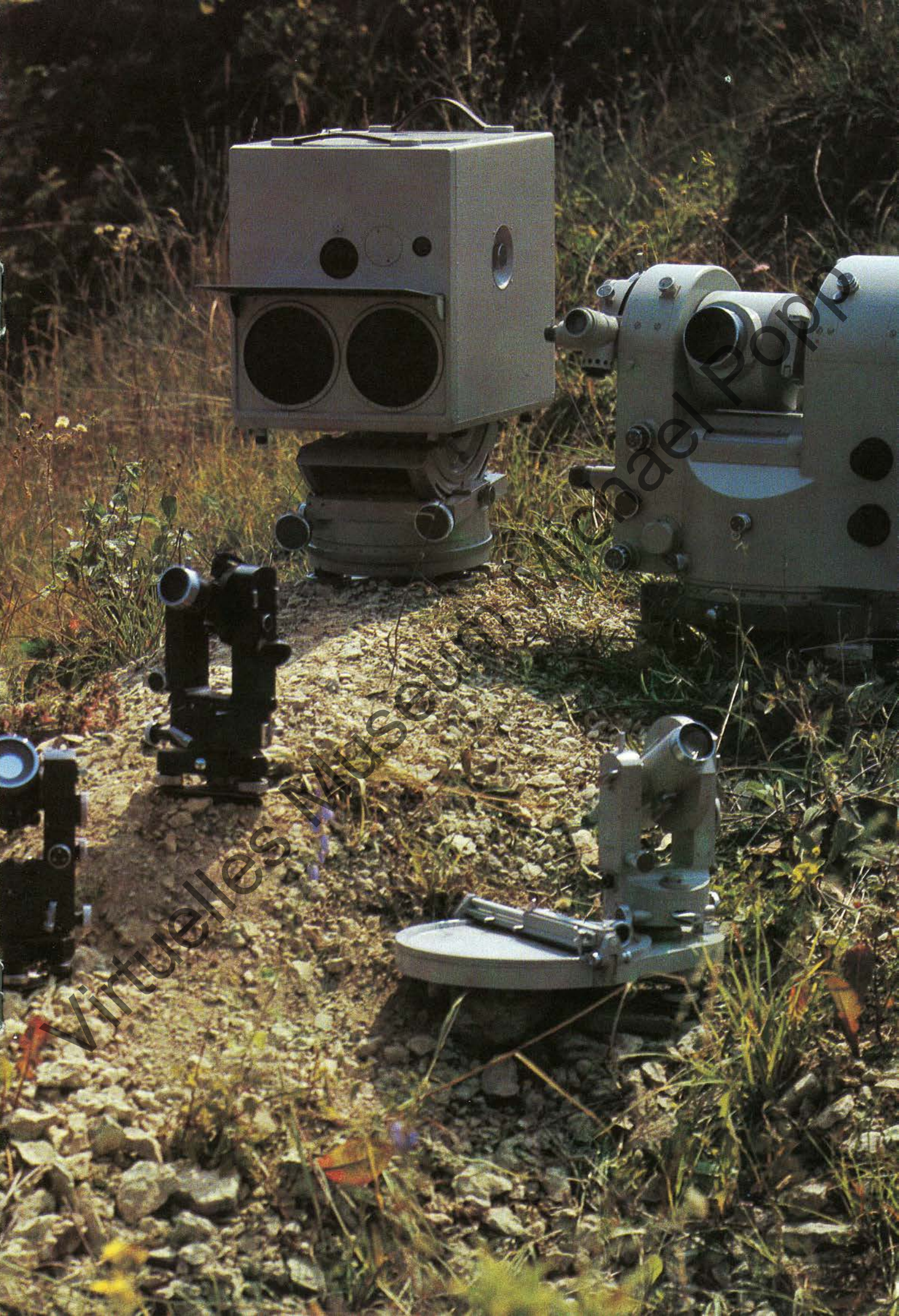
### Umfangreiches Zubehör erweiterte Einsatzmöglichkeiten der Geräte

Kreisbussole, Röhrenbussole, Spannbandbussole, Meridian-sucher, Nivellierlibelle, Reiterlibelle für Theo 010, Horrebowlibelle für Theo 010, Steilsichtprismen, Zenitokulare, Beleuchtungseinrichtungen, optisches Lot II, Doppelwinkelprisma, Tafelsignalausrüstung, Signalscheinwerfer, Nivellierlatten, Tachymeterlatte, Redta-Lattenausrüstungen, Basislatte, Stative verschiedener Größe, Maueruntersatz, Sonnenschutzfilter, Farbglasfilter, Markscheiderausrüstung, Markscheiderlichtsignal.













# Erste Automatisierung der geodätischen Geräte

In den 40er und 50er Jahren waren international einige physikalische Effekte zur technischen Nutzung gebracht worden. Ihr Einsatz im geodätischen Instrumentenbau konzentrierte sich auf zwei Schwerpunkte:

- Die selbsttätige Stabilisierung von Ziellinien optischer Systeme zur Lotrichtung mit Hilfe des physikalischen Pendels.
- Die elektrooptische Distanzmessung mit moduliertem Licht verschiedener Wellenlängen.

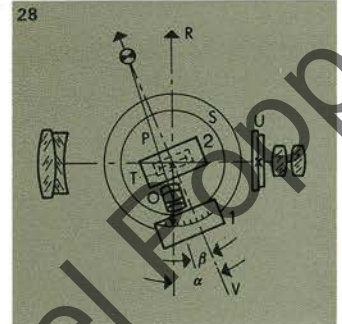
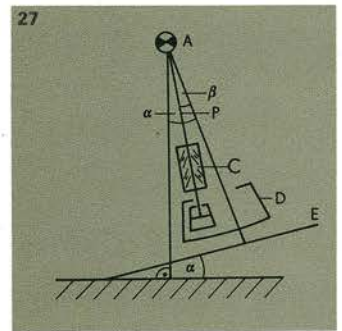
Sie führten zur Entwicklung neuer Instrumente, wie den Kompensatornivellieren Ni 007, Ni 025, Ni 050 und Ni 002 (auch „automatische Nivelliere“ genannt), und zu den elektrooptischen Streckenmeßgeräten längerer oder kürzerer Reichweiten, wie dem EOS und dem EOK 2000. Der Einsatz dieser neuen Geräte in der geodätischen Praxis führte zu beträchtlichen Kosten- und Zeiteinsparungen bei den Feldarbeiten.

Das „automatische Nivellier“ enthält im Strahlengang des Fernrohres einen Neigungskompensator, der ein optisches Bauelement besitzt, das, vom Pendel zur Lotrichtung selbsttätig gesteuert, in einem gewissen Neigungsbereich stets den horizontalen Zielstrahl auf das Bild der Meßplatte im Sehfeld des Nivellierfernrohres abbildet, unabhängig von der Horizontierung des Gerätes selbst. Damit entfällt die Feinhorizontierung mittels Kippschraube. Das verkürzt den Meßprozeß erheblich, vermindert die Fehler der Libelle und gewährleistet eine höhere Horizontiergenauigkeit und Justierhaltigkeit auch gegenüber Umgebungseinflüssen, wie Erschütterung und Temperatur. Auf Grund dieser Vorteile im Feldeinsatz entstanden 1960 das Ni 007, ein Kompensatornivellier hoher Genauigkeit mit Planplattenmikrometer, 1963 das Ingenieurnivellier Ni 025 für alle Nivellementsarbeiten mittlerer Genauigkeit und 1968 das Baunivellier Ni 050, das sich als das geeignete Nivellier für den Bauingenieur erwies.

Der Neigungskompensator nach dem Prinzip des einfach hängenden Pendels mit Kreuzbandgelenk erreichte eine Einspiegelgenauigkeit von  $\approx 0,1''$  und eignete sich dazu, auch ein automatisches Präzisionsnivellier Ni 002 zu entwickeln, das im Jahr 1973 vorgestellt wurde. Mit dem Einsatz des Neigungskompensators wurde eine Verkürzung der Meßzeit erreicht. Beim Ni 002 fand erstmalig das Verfahren des quasiabsoluten Horizonts Anwendung. Dies führte durch den Wegfall der Vorstationierung zu einer weiteren Verkürzung der Meßzeit, zu einer Steigerung der Meßgenauigkeit und zur Verminderung des Einflusses systematischer Fehler im Nivellementsergebnis, was international große Anerkennung fand. Bei den Theodoliten dient der Neigungskompensator zur „automatischen“ Stabilisierung des Höhenindex der Vertikalkreisanzeige zur Lotrichtung und ersetzt damit die Höhenindexlibelle. Mit dieser Neuerung, die eine einfachere, schnellere, genauere und zuverlässigere Zenitwinkelmessung bewirkte, wurden 1959 der Theo 020, 1965 der Theo 002 und 1971 die Geräte THEO 020 A, THEO 010 A, DAHLTA 010 A der Theodolit-Typenreihe A ausgerüstet.

In dem 1965 entwickelten und bis 1981 gebauten geodätisch-astronomischen Universaltheodolit Theo 002 dienen Neigungskompensatoren nicht nur zur Stabilisierung des Höhenindex des Vertikalkreises, sondern auch zur Stabilisierung der vertikalen Zielebene des Beobachtungsfernrohres zur selbsttätigen Ausschaltung der primären und sekundären Theodolitachsenfehler, was eine einmalige Neuheit in der Welt darstellte.

Mit der Entwicklung der neuen Theodolittypenreihe A mit neuem einheitlichem Erscheinungsbild wurde eine Reihe neuer Funktionselemente realisiert, die weitere Vorteile im praktischen Einsatz brachten. Das aufrechte seitenrichtige Fernrohrbild, die coaxialen Feintriebe, die biaxial angeordneten Klemmelemente und die optisch digitale Teilkreisanzeige im



**Bild 27:** Funktionsschema eines Neigungskompensators. Vergrößerungsfaktor  $n = \beta/\alpha$ .  $\alpha$  Neigungswinkel des Gerätes,  $\beta$  Kippwinkel des Pendels, A Pendelgelenk, P Pendel, C optisches Funktionselement, D Dämpfer, E Pendelbasis.

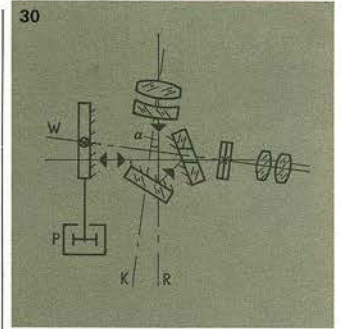
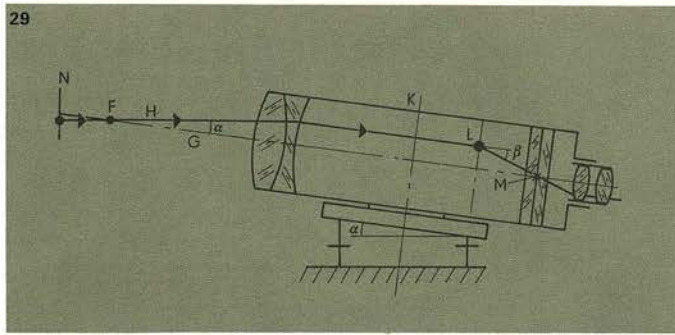
**Bild 28:** Das Prinzip der Neigungsstabilisierung des Index des Vertikalkreises. P Pendel, O Abbildungsobjektiv, R Lotrichtung, S Vertikalkreis, 2 Prisma 2, T Ableseskala mit dem Index, U Zielfernrohr, 1 Prisma 1, V um den Winkel  $\alpha$  geneigte Stehachse,  $\beta$  Kippwinkel des Pendels,  $\leftrightarrow$  Weg des Ablesestrahls vom Teilkreis zum Index über die Prismen 1 und 2 durch das Objektiv.



NI 002

Virtuelles Museum Michael Popp

**Bild 29:** Prinzip der Neigungskompensation im Fernrohr eines Kompensatornivelliers (vereinfachte Darstellung).  
 F vorderer Objektivbrennpunkt,  
 G optische Zielachse,  
 H Horizontalstrahl,  
 K Stehachse,  
 L Neigungskompensator,  
 M Strichkreuz,  
 $\alpha$  Neigungswinkel des Gerätes,  
 $\beta$  Ablenkungswinkel des Kompensators,  
 → Abbildungsweg des Horizontalstrahls,  
 N Meßlatte.



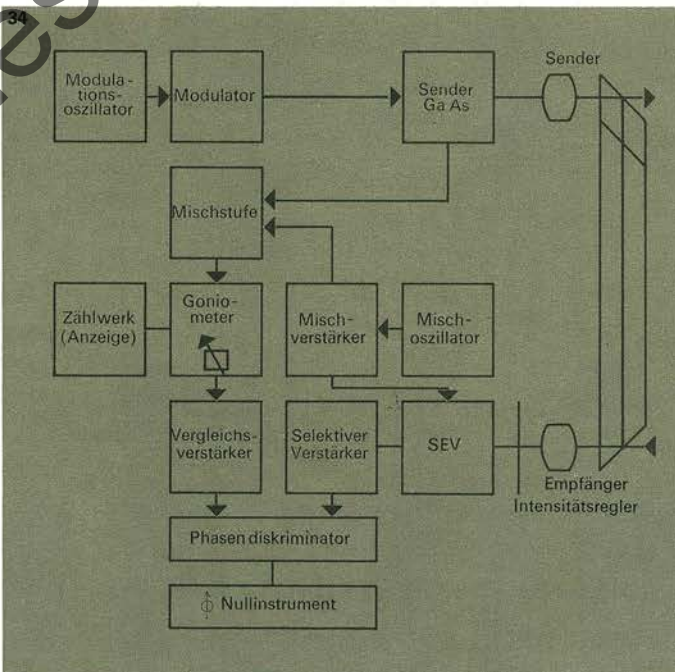
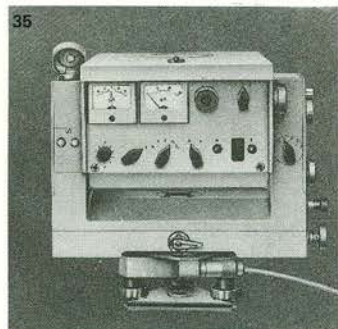
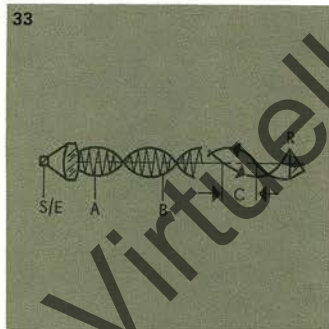
**Bild 30:** Prinzip der Stabilisierung einer vertikalen Beobachtungsebene (Theo 002), Fernrohr in Zenitzielung.  
 W Kippachse, P Pendel,  
 K Stehachse, R Lotrichtung,  
 → Weg des vertikalen Strahles.

**Bild 31:** Das motorisierte Präzisionsnivellament.  
 Linke Seite

**Bild 32:** Strahlengang im Präzisionskompensatornivellier NI 002.



Sekundentheodolit haben ebenso weltweite Beachtung gefunden wie das eingebaute optische Lot, die einheitliche Kippachsenhöhe, die einheitliche Instrumentenbeleuchtung und das umfassende Zubehör.



**Bild 33:** Prinzip der elektrooptischen Entfernungsmessung. Ausmessung der Phasendifferenz früher analog, heute digital. S/E Sender/Empfänger, R Reflektor, A Schwingung des Senderlichtes, B Modulationsschwingung, C Phasenverschiebung zwischen Meß- und Bezugssignal.

**Bild 34:** Blockschaltbild des elektrooptischen Streckenmeßgeräts EOK 2000, erstes Kurzstreckenmeßgerät mit Gallium-Arsenid-Sende-diode.

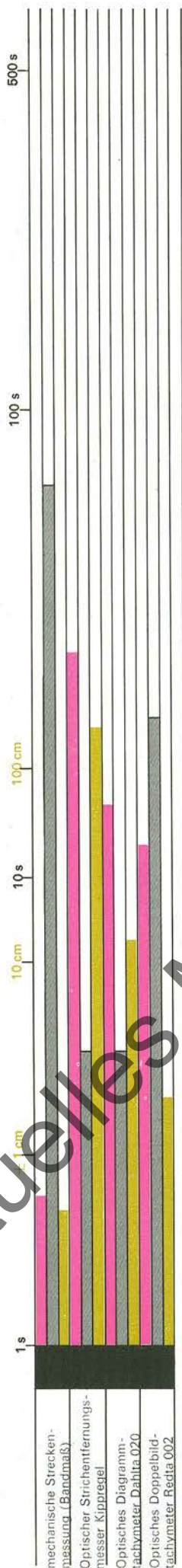
**Bild 35:** Elektrooptisches Streckenmeßgerät EOK 2000.

# Opto- und Mikroelektronik beschleunigen die Automatisierung geodätischer Geräte

Im Jahre 1965 erschien mit dem EOS das erste elektrooptische Streckenmeßgerät der JENOPTIK JENA GmbH auf dem Weltmarkt. Es beruhte auf dem Prinzip, das sichtbare Licht als Trägerwelle zu benutzen und durch eine günstig gewählte Frequenz so zu modulieren, daß aus dem in der zu messenden Strecke enthaltenen Vielfachen der Wellenlänge und aus der Größe des Restintervalls die genaue Streckenlänge abgeleitet werden konnte. Die Ausmessung des Restintervalls erfolgte mittels analoger Phasenvergleichsverfahren, wobei zur Ermittlung der Vielfachen der Modulationswellenlänge mehrere Wellenlängen dienten. Der im EOS verwendete Ultraschall-Festkörpermodulator gestattete die Wahl hoher Modulationsfrequenzen, gewährleistete eine hohe Lichtstärke und hatte einen geringen Leistungsverbrauch. Diese Eigenschaften verliehen dem EOS eine hohe Meßgenauigkeit und Reichweite.

Mit dem Fortschritt der Halbleitertechnik ergab der Einsatz der Gallium-Arsenid-Lumineszenzdiode durch die direkte Modulation der ausgesendeten infraroten Strahlung mit Meßfrequenzen bis in den GHz-Bereich bei niedriger Modulationsspannung für die elektrooptische Streckenmessung große Vorteile. Dies bedeutete kleinere und leichtere Streckenmeßgeräte für die geodätische Praxis. Auf dieser Basis entstand 1968 mit dem EOK 2000 ein elektrooptisches Kurzstreckenmeßgerät mit einer Reichweite von 2500 m, einer Meßgenauigkeit von  $\pm 1$  cm und eingebautem Suchscheinwerfer zum schnellen Auffinden der im Zielpunkt aufgestellten Reflektoren.

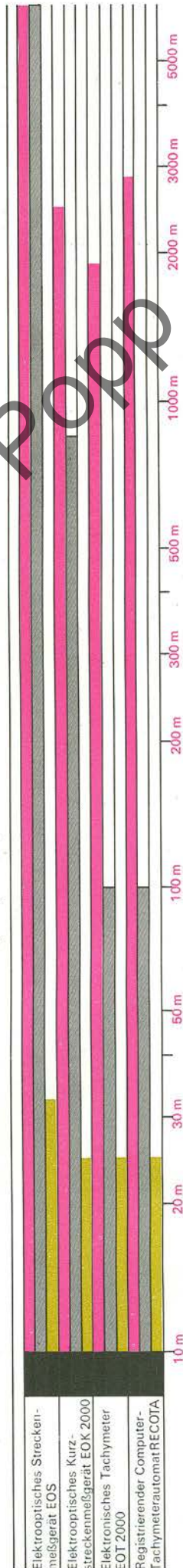
Durch Verwendung von Mikroprozessoren konnte die elektrooptische Streckenmessung automatisiert werden. Der Mikroprozessor übernimmt die digitale Phasenmessung, den Phasenvergleich und die Auswertung, berücksichtigt die eingegebenen Korrekturen bezüglich Additionskonstante und Atmosphäre und berechnet die gemessene Schrägentfernung. Damit wurden ein weiterer Schritt zur Verkleinerung des elektrooptischen Streckenmessers getan, die Stromaufnahme reduziert und die Meßzeit beträchtlich verkürzt.

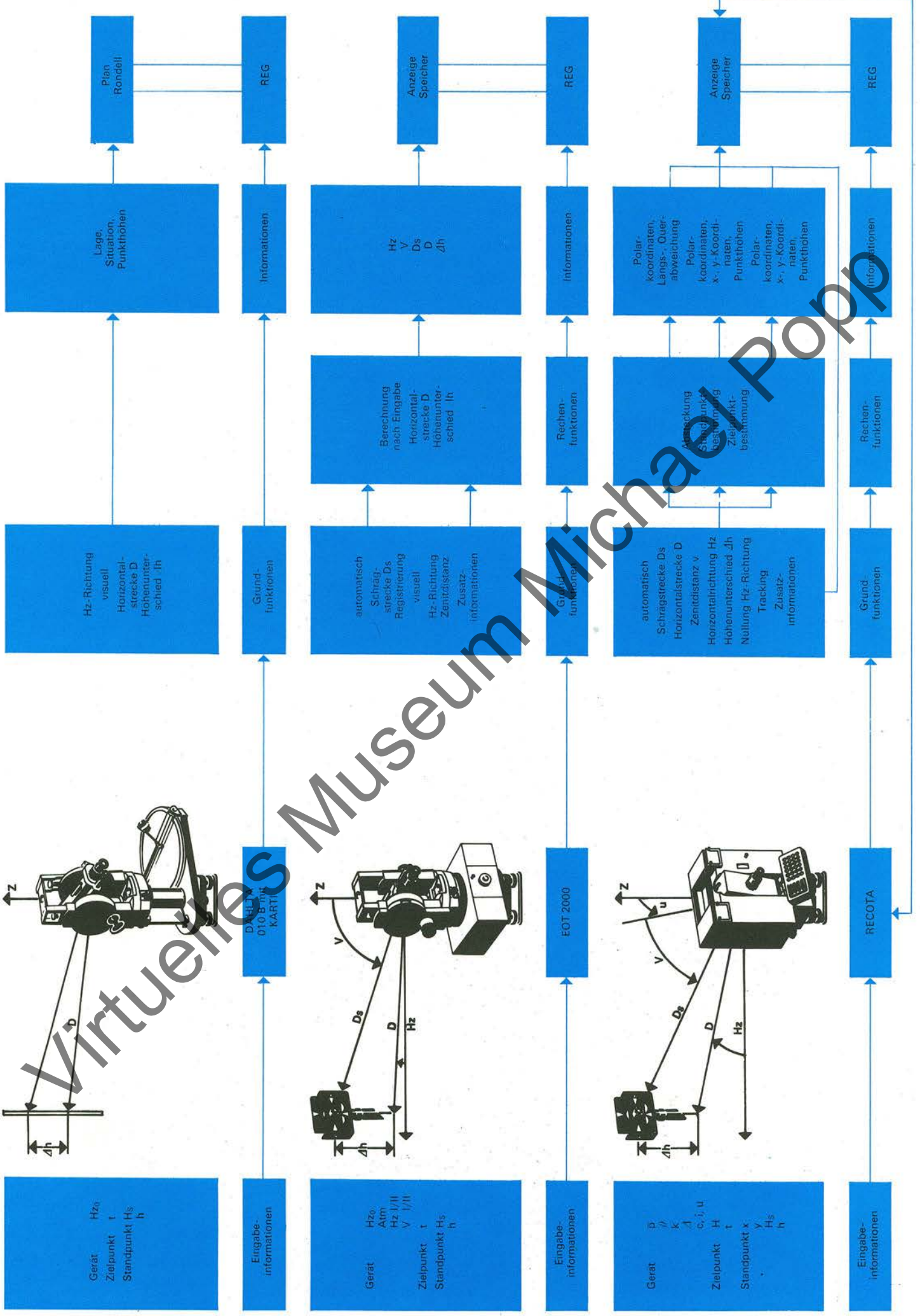


**Bild 36:** Die Entwicklung der Streckenmeßgenauigkeiten mit Jenaer Geräten. Rot: Reichweite, grau: Meßzeit, gelb: Genauigkeit bezogen auf Reichweite.

(Anmerkung zur Streckenmessung mit dem EOS: Reichweite bis 15 km, Meßzeit 7 bis 8 min, Auswertzeit 15 bis 30 min).

**Rechte Seite Bild 37:** Datengewinnung und -speicherung. DAHLTA mit Kartiertisch, EOT 2000 und RECOTA.





Virtuelles Museum Michael Popp

# Die Entwicklung elektronischer Tachymeter

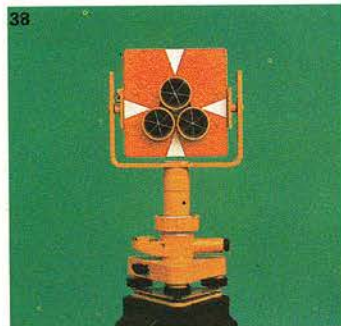
Das mit den Funktionen eines Theodolits ergänzte elektrooptische Streckenmeßgerät führte zum elektronischen Tachymeter. In der ersten, halbautomatischen Form wurde das elektrooptische Streckenmeßgerät mit einem Vertikal- und mit einem Horizontalkreis sowie mit Einrichtungen zur visuellen Ablesung ihrer Anzeigen ausgerüstet. Beispiel dieses Gerätetyps ist das im Jahre 1977 entwickelte EOT 2000.

In der zweiten Stufe wurde die visuelle Ablesung der Teilkreisanzeigen durch eine automatische Ablesung und automatische digitale Anzeige der Meßwerte ersetzt. Ein Mikrorechner verwendet die elektronisch digitalen Meßwerte des Zenitwinkels zur automatischen Reduktion der gemessenen Schrägstrecke auf die horizontale Strecke und berechnet den Höhenunterschied. Damit stehen in elektronisch digitaler Form im Rechner des Gerätes gespeichert der Horizontalwinkel, die Zenitdistanz, die Schrägentfernung, die Horizontalstrecke und der Höhenunterschied zur Anzeige durch Abrufen bereit. Sie ergeben damit die Möglichkeit der automatischen Registrierung in geräteexternen Speichern. Dies führte zum registrierenden automatischen elektronischen Tachymeter. Beispiel dafür ist der 1982 entwickelte Tachymeterautomat RETA. Er ist außer mit den genannten Meßfunktionen zum Einsatz in der Polygonierung, Tachymetrie, für das trigonometrische Nivellement und für die Präzisionstachymetrie auch mit einigen Sonderfunktionen, wie Nullung einer Bezugsrichtung und Trackingfunktion, ausgestattet. Damit ist der RETA auch für die zahlreichen Vermessungen, insbesondere für Absteckungen, im Bauwesen einsetzbar. Die Trackingfunktion bietet den Vorteil, daß in Sekundenabständen die Horizontalrichtung und alle drei Sekunden ein neuer Streckenwert angezeigt werden. Ein beweglicher Reflektor kann so bei laufender Anzielung ständig positioniert werden.

Nun liegt es nahe, den Mikrorechner des Systems durch eine Reihe geodätischer Rechenprogramme zu ergänzen, um aus den gewonnenen Meßdaten in Verbindung mit vorhandenen Koordinateninformationen Festpunktbestimmungen unmittelbar im Felde durchzuführen oder andere Spezial- und Kontrollberechnungen vorzunehmen. Auf diese Weise erfolgen die Aufbereitung der Meßdaten und damit die Bereitstellung neuer Ausgangsdaten für die Fortführung der Messungen bereits im Felde.

Ein entsprechender registrierender Computer-Tachymeterautomat ist der 1980 vorgestellte RECOTA, mit dem analog zum RETA die Kette des automatischen Datenflusses von der Aufnahme bis zur Kartierung geschlossen wurde. Mit seinen zahlreichen Meß- und Rechenfunktionen für die geodätische Festpunktbestimmung nach der Methode der freien Standpunktwahl und für Koordinatentransformationen wird die Automatisierung und Rationalisierung des tachymetrischen Meßverfahrens erreicht. Durch eine Reihe von Sonderfunktionen, wie indirekte Streckenmessung, Spannweitenmessung und Absteckung nach Polarkoordinaten mit Anzeige von Längs- und Querabweichung, eignet sich der RECOTA besonders auch für Absteckungs- und Aufnahmearbeiten im Bauingenieurwesen (vgl. Beiträge über RECOTA und RETA in JR 1/83).

Bereits im Jahre 1979 fand eine Spezialentwicklung des elektronischen Tachymeters ihren Abschluß, nämlich des EOT-S, eines Wurfweitenmeßgerätes für den Sport. Die Wurfweitenmessung basiert auf dem Prinzip der indirekten Streckenmessung. Das EOT-S wurde erstmalig bei der Völkerspartakiade 1979 in Moskau und 1980 bei den Olympischen Spielen mit großem Erfolg eingesetzt und fand die Anerkennung der internationalen Sportorganisation.



**Bilder 38 und 39:** Reflektoren.  
**Rechte Seite**  
**Bild 40:** Elektronische Tachymeter. EOT-S, RETA, EOT 2000, RECOTA (von oben nach unten).



# Die Theodolite und Nivelliere der 80er Jahre bewirken eine höhere Effektivität und Qualität der Technologie geodätischer Meßprozesse

## Theodolit-Typenreihe B

Die bekannten Theodolite der Typenreihe A wurden im Jahre 1981 durch eine Reihe neuer Funktionssysteme ergänzt:

- Sie erhielten einen Tragegriff zum bequemen Tragen und zur Aufnahme von Zubehöreinheiten.
- Zur Optimierung des Zielvorganges wurden die Fernrohre mit einer Grob-Fein-Fokussierung ausgestattet und ihre Vergrößerung auf 30fach gesteigert.
- Ein Grob-Fein-Kreistrieb dient im Sekunden- und Mikrometertheodolit zur genauen Vororientierung des Horizontalkreises.
- Der Dreifuß wurde mit verstärkten Fußschrauben ausgerüstet und erhielt so eine höhere Verdrehungsfestigkeit.
- Die Theodolitreihe wurde durch den neuentwickelten Mikrometertheodolit THEO 015 B ergänzt, der eine optisch-digitale Teilkreisanzeige erhielt.

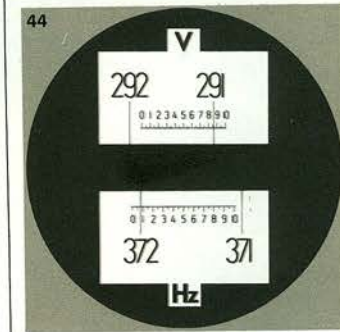
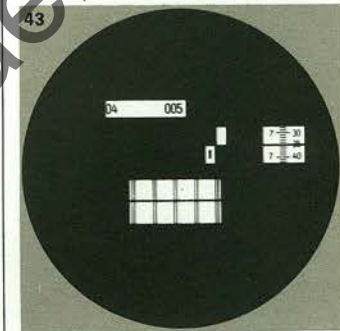
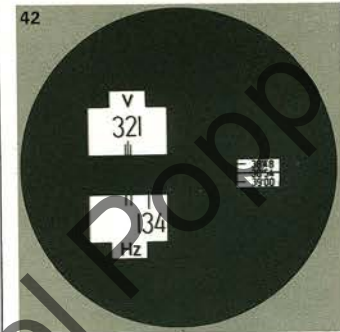
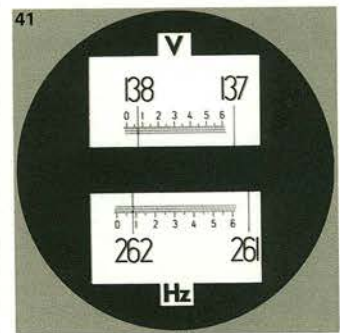
Die neuentwickelten Zubehöreinheiten umfassen die Schnellzentriereinrichtung, den Zielstab, das 90°-Vorsatzprisma, Vorsatzlinsen für den Nahbereich und eine neue Beleuchtungseinrichtung.

## Nivellier-Typenreihe A

Die 1983 auf der Leipziger Frühjahrsmesse vorgestellte Nivellier-typenreihe A (vgl. JR 1/83) umfaßt das Kompensatorbaunivellier NI 040 A, die Ingenieurnivelliere NI 020 A mit Kompensator und NI 021 A mit Libelle sowie das Kompensatornivellier hoher Genauigkeit, das NI 005 A mit eingebautem Planplattenmikrometer und mit in das Sehfeld eingespiegelter Mikrometeranzeige.

- Sämtliche Geräte zeichnen sich durch ein einheitliches Erscheinungsbild aus.
- Sie besitzen einen Handgriff zum bequemen Tragen.
- Die Dämpfung des Neigungskompensators wurde optimiert.
- Die Fernrohrvergrößerungen wurden um 20 % gesteigert.
- Die Durchsichtdosenlibelle ermöglicht eine schnelle Grobhorizontierung der Geräte.
- Die Teilkreise erhielten für die häufigen Absteckungsarbeiten im Bauwesen eine Rechts-Links-Bezifferung.

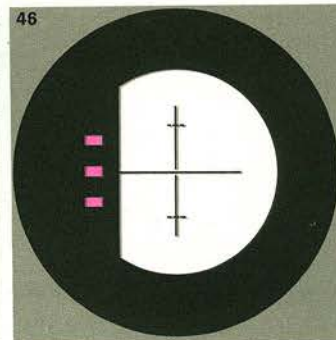
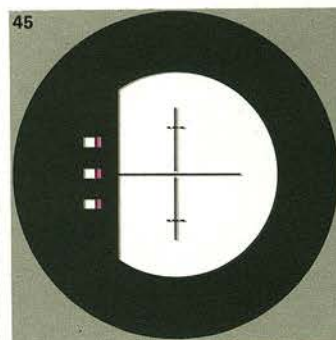
Zahlreiche Zubehöreinheiten bereichern erstmalig das Nivellierprogramm: das Schwenkokular für den Seiteneinblick, die Industrielattenausrüstung, die Gerätekonsole, die Kollimations- und Autokollimationseinrichtungen und die in Zentimetern bezifferte Latten-teilung. Verschiedene Horizontiereinrichtungen, wie Keilscheibe, Kugelfuß und Fußschrauben kommen bei den einzelnen Geräten in unterschiedlichem Umfang zum Einsatz.



## Bilder 41 bis 44:

Teilkreisanzeigen der Theodolite THEO 020 B (20"), THEO 015 B, THEO 010 B, THEO 020 B.

Bilder 45 und 46: Warnblende im Sehfeld des NI 020 A. Gerät genau horizontiert (Bild 45), nicht horizontiert (Bild 46).



## Rechte Seite

Bild 47: Theodolit-Typenreihe B. THEO 015 B, THEO 020 B, THEO 010 B, DAHLTA 010 B (von oben nach unten).





**Zeittafel der Jenaer geodätischen Geräte von den Anfängen bis zur Gegenwart (1908 bis 1983)**

**Nivelliere**

1908	Beginn der Entwicklung
1909	Nivellierinstrument I
1910–1912	Neu- und Weiterentwicklungen der Nivelliere I, II, III, IV, V
1919–1930	Nivellierinstrumente I, II, III, IV, V weiterentwickelt
1935–1941	Neu- und Weiterentwicklungen der Nivelliere: Ni A, Ni B, Ni C, Ni D, Ni E
1949	Baunivellier mit Libelle Ni 060
1950	Ingenieurnivellier mit Libelle Ni 030
1953	Präzisionsnivellier mit Libelle Ni 004
1960	Kompensatornivellier Ni 007
1963	Kompensatornivellier Ni 025
1968	Kompensatornivellier Ni 050
1973	Präzisionskompensatornivellier NI 002
1982	Kompensatornivellier NI 020 A
1983	Libellennivellier NI 021 A, Kompensatornivelliere NI 005 A und NI 040 A

**Theodolite**

1912	Repetitionstheodolit RTh II
1922	Repetitionstheodolit RTh II neu
1924	Optischer Theodolit Th I
1929	Theodolit Th III
1930	Sekundentheodolit Th II, Tachymetertheodolit Th IV
1934	Sekundentheodolit Th D, Kleintheodolit Th F
1935–1942	Neu- und Weiterentwicklungen der Theodolite: Th II, Th C, Th 40, Th B
1950	Tachymetertheodolit Theo 030
1955	Sekundentheodolit Theo 010
1959	Tachymetertheodolit Theo 020
1961	Kleintheodolit Theo 120
1965	Geodätisch-astronomischer Universaltheodolit Theo 002
1971	Tachymetertheodolit THEO 020 A, Sekundentheodolit THEO 010 A, Kleintheodolit Theo 080
1975	Kleintheodolit THEO 080 A
1981	Tachymetertheodolit THEO 020 B, Mikrometertheodolit THEO 015 B, Sekundentheodolit THEO 010 B

**Tachymeter und Streckenmeßgeräte**

1912	Nivelliertachymeter Ni Ta
1923	Tachymeter (BOSSHARDT)
1925	Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta I
1927	Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta II
1928	Doppelbild-Entfernungsmesser Dimeß
1929	Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta III
1930	Lotstab-Entfernungsmesser Lodis
1932	Nivelliertachymeter Ni Ta neu
1936	Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta B, Topographischer Entfernungsmesser Teletop, Meßtisch-Kippregel B
1938	Reduktionstachymeter Dahlta
1951	Doppelbild-Reduktionstachymeter Redta 002
1953	Reduktionstachymeter Dahlta 020
1956	Optischer Vorsatzkeil Lota 007
1960	Basisreduktionstachymeter BRT 006
1965	Elektrooptisches Streckenmeßgerät EOS
1968	Reduktionstachymeter Dahlta 010, Elektrooptisches Kurzstreckenmeßgerät EOK 2000
1971	Reduktionstachymeter DAHLTA 010 A
1977	Elektronisches Tachymeter EOT 2000
1979	Elektronisches Tachymeter Sport EOT-S
1980	Registrierender Computer-Tachymeterautomat RECOTA
1981	Reduktionstachymeter DAHLTA 010 B
1982	Registrierender Tachymeterautomat RETA

**Rechte Seite**

**Bild 48:** Nivellier-Typenreihe A. NI 005 A, NI 021 A, NI 020 A, NI 040 A (von oben nach unten).



