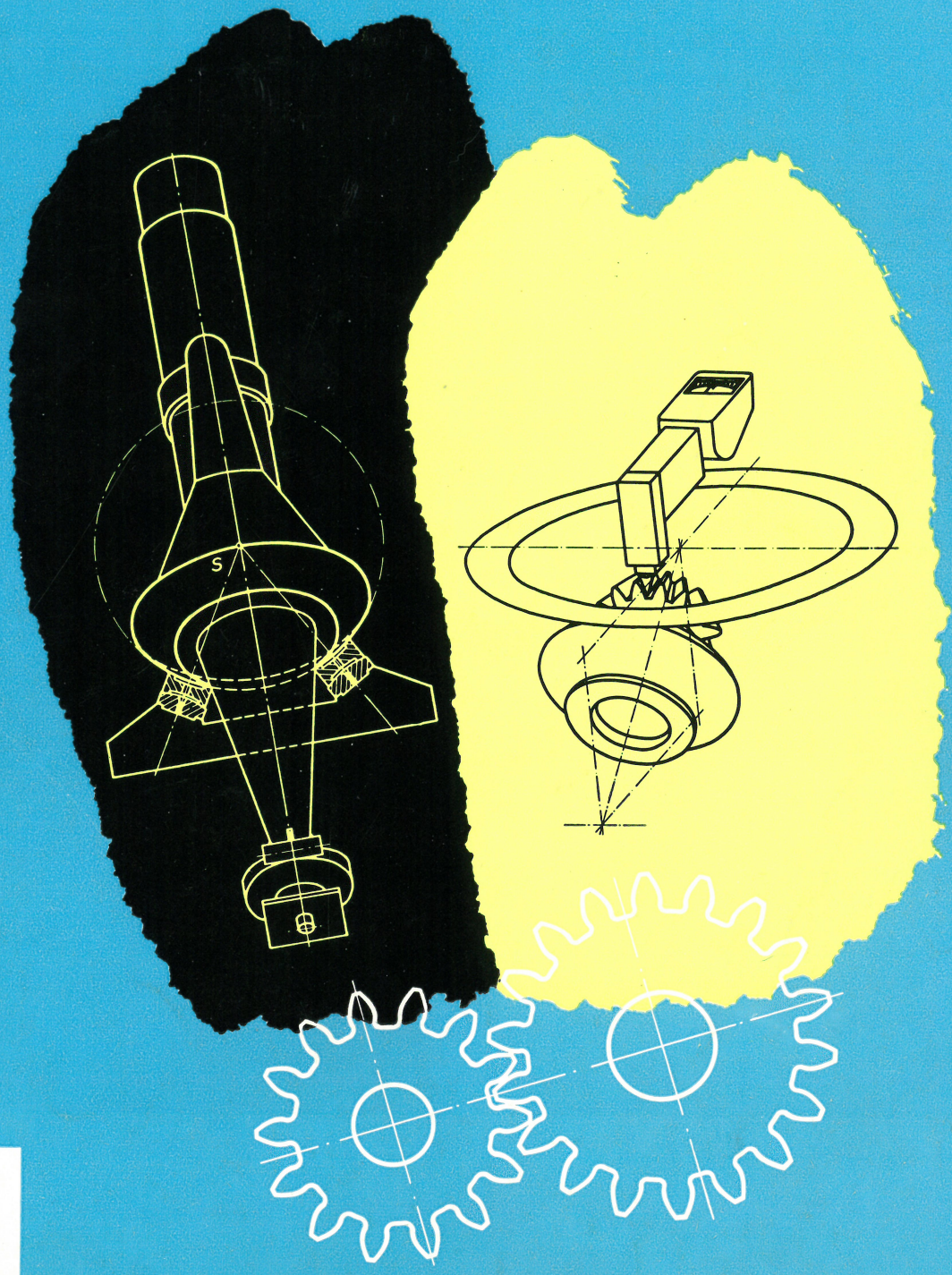


1958



MITTEILUNGEN



15

INHALT Seite

Dr. Strewinski	
Der große Schmidt-Spiegel der Hamburger Sternwarte in Bergedorf	1
Rosenkranz	
Ein neues Zahnflankenprüfgerät für Kegelräder	11
Faes	
Drei neue Kegelrad- Verzahnmaschinen	18
Frey	
Zahnradentgratmaschine Z 400 ...	24



MITTEILUNGEN

VEREINIGTE DREHBANK-FABRIKEN

GEBR. BOEHRINGER GMBH. GOPPINGEN * HEIDENREICH & HARBECK HAMBURG * H. WOHLBERG KOMM.-GES. HANNOVER

Nr. 15

März 1958

Dr. Strewinski
Heidenreich & Harbeck, Hamburg

Der große Schmidt-Spiegel der Hamburger Sternwarte in Bergedorf

Bereits kurz nach dem 2. Weltkriege befaßte sich die Sternwarte in Hamburg-Bergedorf mit Wünschen und Ideen zum Bau eines modernen Spiegelteleskops, eines sogenannten Schmidtspiegels. Zu diesen Projektierungsarbeiten wurde die Firma Heidenreich & Harbeck herangezogen, die sich nach erheblichen und vielleicht verständlichen Bedenken, da sie ja keinerlei Erfahrung im Bau astronomischer Instrumente besaß, zu diesen Arbeiten bereit fand. Der Wunsch, unserer Heimatstadt Hamburg ein wissenschaftliches Instrument von internationaler Bedeutung erbauen zu helfen, verbunden mit dem Gedanken, daß die Beschäftigung mit ungewöhnlicher Präzision auch im Werkzeugmaschinenbau einmal verwertet werden könnte, förderte die Bereitschaft zu dieser Aufgabe.

Nach 1948, sobald die Hansestadt die notwendigen Mittel zur Verfügung stellen konnte, gewannen die Ideen feste Gestalt, ein Vorgang, der der Aufgeschlossenheit der Stadt Hamburg für wissenschaftliche Forschung ein hohes Zeugnis ausstellt, wenn man sich der wirtschaftlichen Verhältnisse kurz nach der Währungsreform erinnert. Es wurde ein Übereinkommen getroffen, daß die Firma Zeiss in Jena Optik und Rohr, die Firma Heidenreich & Harbeck die Halterung, Lagerung und den Antrieb des neuen Spiegelteleskops liefern sollte. Es soll gleich hervorgehoben werden, daß trotz aller bestehenden äußeren Schwierigkeiten die Zusammenarbeit mit der Jenaer Firma ausgezeichnet gewesen ist.

Mit dem Vorhaben, sich am Bau eines astronomischen Instruments zu beteiligen, steht die Firma Heidenreich & Harbeck nicht allein da. Sowohl in England als auch in den Vereinigten Staaten haben sich Werkzeugmaschinen-Fabriken von Ruf an ähnlichen Problemen mit großem Erfolg beschäftigt.

Die Wünsche der Astronomen bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Instrumente sind sehr weitgehend. Es bedarf erheblicher Anstrengungen der Konstruktion und Fertigung, ausgezeichneter Fachkräfte und Fertigungsmittel, um die gestellten Forderungen zu erfüllen.

Zu gewinnen, das sei nebenbei bemerkt, ist, vom wirtschaftlichen Standpunkte gesehen, nichts. Man vergegenwärtige sich nur den Produktionsausfall, der mit der im allgemeinen unvermeidlich langen Bauzeit verbunden ist. Der eigentliche Gewinn muß in anderer Weise gesehen werden: Es werden im Laufe einer solchen Entwicklung wertvolle Erfahrungen gewonnen, die den anderen Erzeugnissen des Hauses in Form weiterer Steigerung ihrer Genauigkeit und Exaktheit der Funktion zugute kommen können. Die außergewöhnlichen Anforderungen, die an Sorgfalt und Achtsamkeit der Mitarbeiter gestellt werden müssen, haben hohen erzieherischen Wert.

Die Arbeit weckte eine unerwartet starke Anteilnahme im ganzen Werk. Über den Kreis der unmittelbar Beteiligten hinaus erfüllte daher die reibungslose Vollendung und die uneingeschränkte Anerkennung namhafter Fachleute aus aller Welt mit dem befriedigenden Gefühl einer nicht alltäglichen Leistung. Das Bewußtsein, die nicht geringen Schwierigkeiten gemeinsam erfolgreich überwunden zu haben, stärkte das Vertrauen zueinander und in sich selbst und darf als Quelle neuen Willens zur Leistung gewertet werden.

Die nebenstehende Aufnahme wurde uns von der Landessternwarte auf dem Königsstuhl bei Heidelberg zur Verfügung gestellt. Sie zeigt den Kometen „Arend-Roland“ am 25. 4. 1956, Aufnahme von H. Neckel mit dem Bruce-Teleskop.

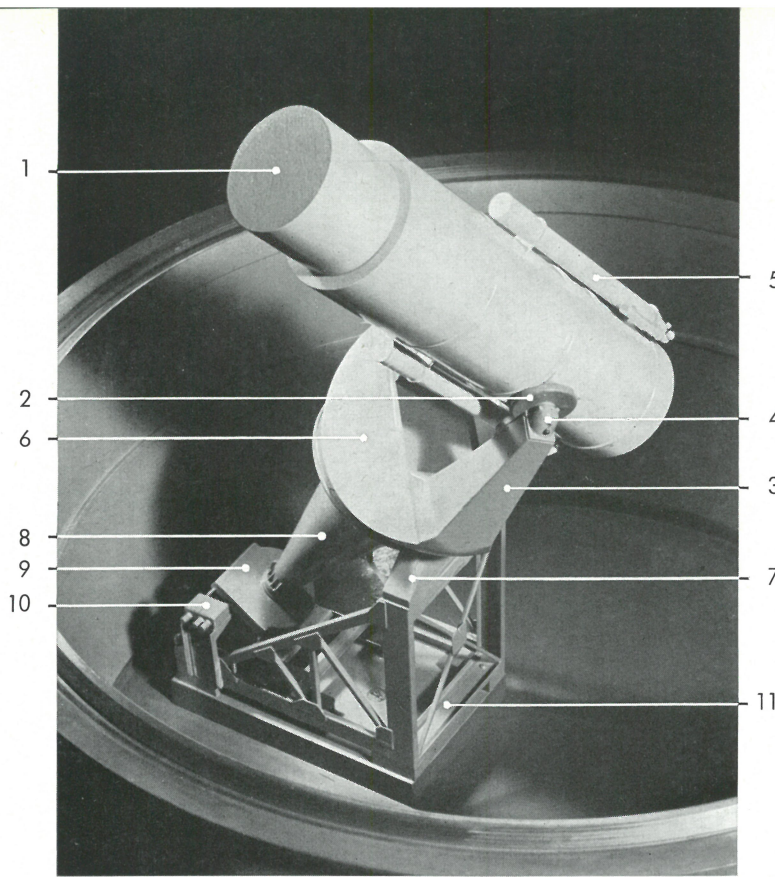


Abb. 1 Modell

Abb. 2 Das für den Schmidt-Spiegel gebaute Kuppelgebäude auf dem Gelände der Hamburger Sternwarte in Bergedorf.

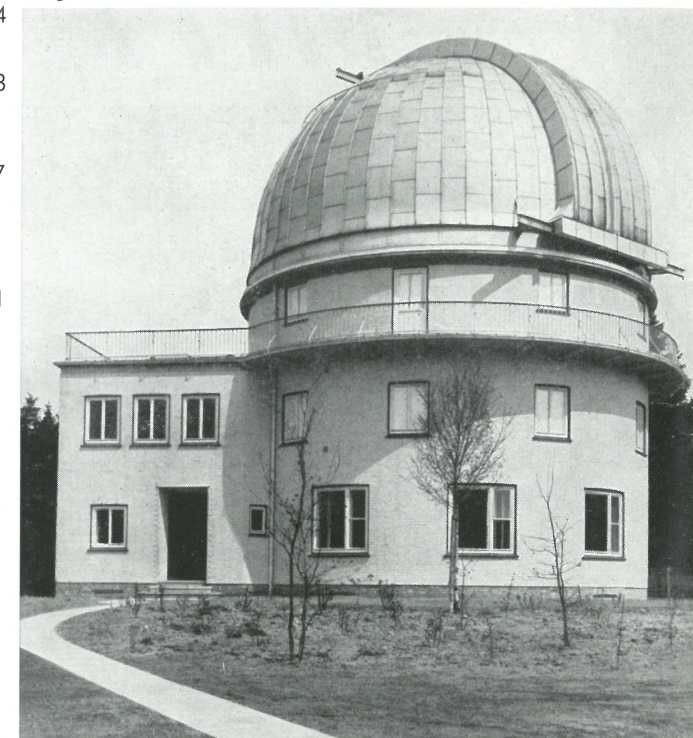
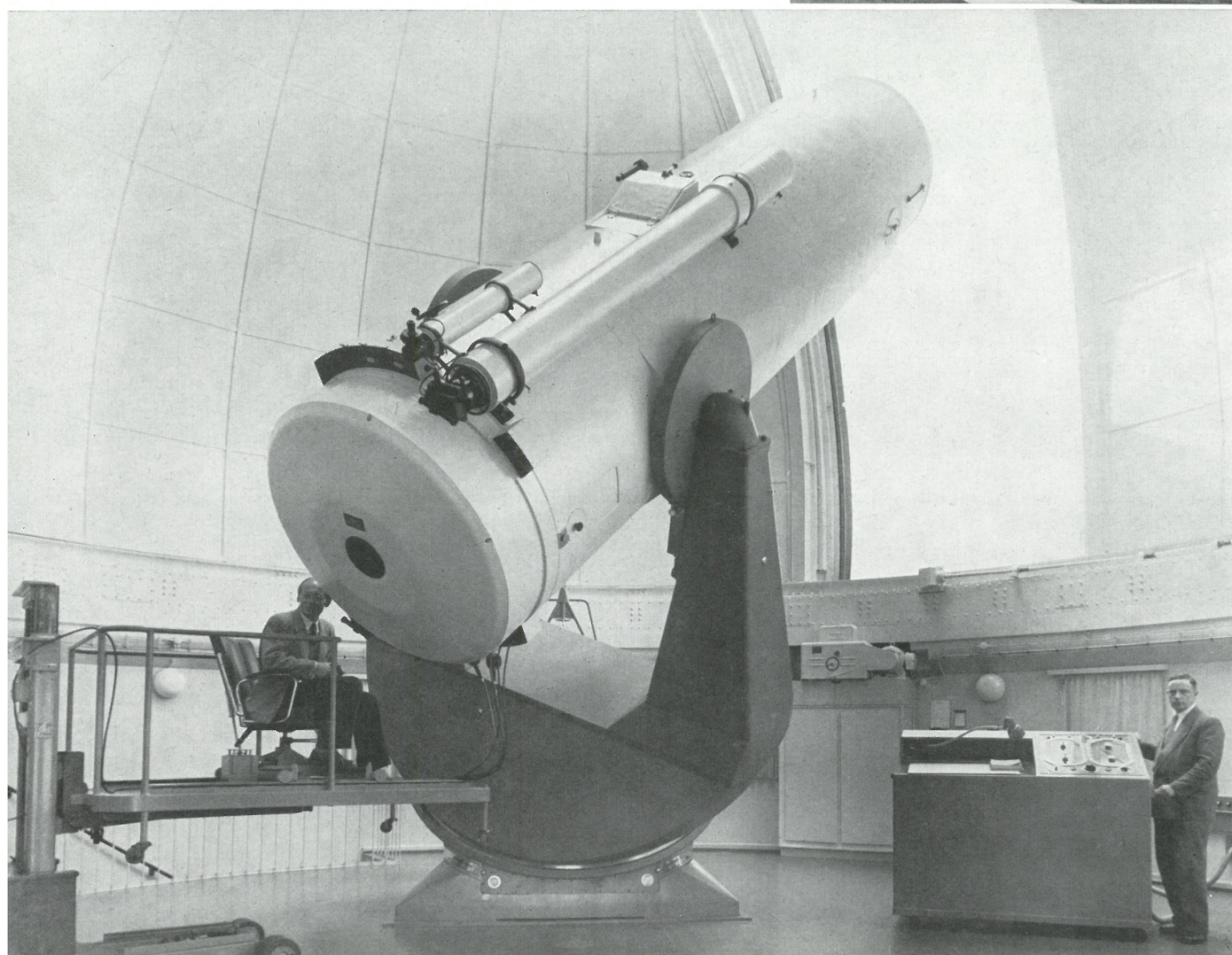


Abb. 3 Der fertig montierte Schmidt-Spiegel



Eine Vorstellung von dem Aufbau des Instrumentes vermittelt am besten eine Aufnahme des nach dem ersten Entwurf gefertigten Modells, Abb. 1, das der späteren Ausführung im wesentlichen entspricht. In dem neu errichteten Gebäude in Bergedorf, Abb. 2, erstreckt es sich über Kuppelraum und Obergeschoß. Originalaufnahmen wie Abb. 3 können daher nur Teilansichten und nicht den Zusammenhang wiedergeben.

Die in dem hell getönten Rohr (1) zusammengefaßte optische Ausrüstung erfüllt in hervorragender Weise alle Erwartungen. Bei 6 m Länge hat es einen äußeren Durchmesser von 1,5 m und wiegt 6,3 t. Die gegen das Rohr in dunklerer Farbe abgesetzten Teile der mechanischen Ausrüstung des Instrumentes — der Verbindung zwischen dem vom Gebäude isolierten Fundament, das also völlig frei auf gewachsenem Grund steht, und dem Rohr — gelten in der Sprache der Astronomen allgemein als die „Montierung“ des Teleskops. In Bergedorf hat eine in jüngerer Zeit entwickelte Ausführungsform, eine „Gabelmontierung“ Anwendung gefunden.

Das Rohr ruht mit zwei kurzen, kräftigen Tragzapfen auf den Gabelarmen (3) und ist in den Lagern (4) spielfrei drehbar. Die dadurch verkörperte Deklinations- oder δ -Achse ermöglicht das Schwenken des Rohres zwischen Horizont und Zenit. Das Deklinationsgetriebe (2) und Abb. 4 faßt das Rohr — gleichfalls spielfrei — und bewegt es nach Bedarf in drei Geschwindigkeitsstufen: der Verstellbewegung, etwa 2°/sec, zum schnellen Aufsuchen eines gewünschten Himmelsortes, sowie je einer groben und feinen Korrekturbewegung mit 1°/sec und 1"/sec, die der Feineinstellung auf einen Leitstern und dem Ausgleich der schwankenden Refraktion der Luft dienen. Alle Bewegungen sind rechts- wie linksdrehend möglich.

Die Arme (3) sind mit dem Tragkörper (6) verschraubt, dessen Form, durch eine hier eingeführte neue Art der Lagerung bedingt, dem Instrument einen vom herkömmlichen abweichenden, besonders stabilen Aufbau gibt. Der Tragkörper ruht mit nahezu dem gesamten Gewicht aller drehbaren Teile auf der Nordlagerung (7). Angeflanscht ist an ihn die kegelige Rohrachse (8), die in den, in der Fotografie durch den Antriebsmechanismus (9) dieser Achse — der Stunden- oder α -Achse — verdeckten Südlagerzapfen ausläuft. Rohrachse, Tragkörper und Arme sind aus 6...10 mm starkem Stahlblech gebogen bzw. gepreßt, geschweißt und durch Schotte und Verrippungen gehörig versteift. Das ebenfalls nicht sichtbare Südlager, ein Spezial-Pendelkugellager der SKF, ist radial wie axial so gut wie unbelastet und stellt den Stabilisierungspunkt des Lagersystems dar. In einer Ebene senkrecht zur Stundenachse ist es allseitig verstellbar und ermöglicht damit gleichzeitig die Justierung dieser parallaktisch, also auf den Himmelspol ausgerichteten bzw. zur Erdachse parallelen Achse. Sie wird durch das Stundengetriebe (10) (siehe auch Abb. 8) gedreht. Zu dem beim Deklinationsgetriebe angeführten Bewegungsstufen kommt hier noch der Stunden- oder Uhr-gang hinzu, der während der Beobachtung das Teleskop der scheinbaren täglichen Himmelsbewegung nachdreht. Es versteht sich, daß auch dieser Antrieb vollkommen spielfrei ist. Die eingebauten Elektromotoren sind einheitlicher Größe. Für die Schnellverstellung der um die Stundenachse beweglichen Teile im Gewicht von rund 12 t wird eine Leistung von nur 40 Watt bei 1000 Uml/min des Antriebsmotors benötigt. Die Schaltung der Getriebe erfolgt mit einer kleineren Type der in den VDF-Drehbankspindelkästen bewährten Elektro-Lamellenkupplungen. Alle Getriebe haben Ölumlaufrichtung, die größeren Lager Druckschmierung. Auf die Hauptlagerung wird noch ausführlicher eingegangen werden.

Nord- und Südlager sind auf einer Stahlkonstruktion, dem Gestell (11) montiert, das auf dem Fundamentkopf mit freier Wärmedehnungsmöglichkeit befestigt ist.

Nach dieser kurzen Allgemeinbeschreibung des Instrumentes noch ein paar Worte über die Schmidt-Optik, die einen neuen Abschnitt in der Erforschung des Weltalls eingeleitet hat. Ihr Kennzeichen ist außerordentliche Lichtstärke in Verbindung mit randscharfer, gestochener Zeichnung. Der sphärische, in einer besonderen Hochvacuum-Anlage aluminisierte Spiegel hat 1200 mm Durchmesser und 2400 mm Brennweite. Die Korrekturplatte aus ultraviolett-durchlässigem Glase sitzt in der Eintrittsöffnung von 800 mm Durchmesser. Die Bildfläche liegt auf einer konzentrischen Kugelfläche in der Mitte zwischen Spiegel und Korrekturplatte. Die fotografischen Platten in der Größe von 24×24 cm werden in ihrer Kasette entsprechend gebogen. Beim Öffnungsverhältnis von 1:3 kann ein Himmelsausschnitt von 5×5° darauf abgebildet werden. In Abb. 5 ist für ein parallel zur Achse einfallendes Lichtbündel der Strahlengang im Instrument gezeigt. Durch die streuende Wirkung der Randzone und die sammelnde Wirkung ihrer Mitte beseitigt die Korrekturplatte die sphärische Aberration des Kugelspiegels. Auf ihrer eigentümlichen Form und der verblüffend einfachen Methode, sie unter einseitiger Wirkung eines Vakuums aus einer ebenen Glasplatte zu schleifen, beruht der bedeutende Wert der Erfindung, die Bernhard Schmidt in den dreißiger Jahren während seiner Tätigkeit an der Hamburger Sternwarte machen konnte. Sie wird heute auch auf anderen Gebieten der Optik mit größtem Erfolg angewandt und ist einfach nicht mehr fortzudenken. Direkte Beobachtung ist bei dem Bergedorfer Schmidt-Spiegel nicht vorgesehen. Für diesen Zweck sind je zwei Leitrohre (5) und Sucher außen am Rohr angesetzt. Für spektrale Aufnahmen ist ein Objektiv-Prisma gleichfalls aus ultraviolett-durchlässigem Glase vorsetzbar.

Die Belichtungszeit für eine fotografische Aufnahme kann je nach Helligkeit der interessierenden Objekte bis zu einigen Stunden betragen. Für diese Zeitdauer muß der Beobachter den gewählten Leitstern so sorgfältig, wie die Luftunruhe es irgend zuläßt, im Fadenkreuz des Leitrohrkulars halten. Je genauer dies möglich ist, mit je geringerer Steuerung also das in dieser Zeit von einem fernen Himmelskörper aus dem Weltall kommende Licht auf den winzigen ihm zukommenden Platz auf der Platte konzentriert werden kann, um so wertvoller ist das Teleskop. Die kleinsten Sternscheibchen haben im Fokus einen Durchmesser von 6 μ , werden aber durch die Luftunruhe und die Lichtstreuung in der fotografischen Schicht auf ca. 25–30 μ vergrößert abgebildet.

Es ist leicht einzusehen, daß der mechanische Gegenpol zu der Qualität der Optik in der Genauigkeit, Feinfühligkeit und Reaktionsgeschwindigkeit liegt, mit der das Instrument den Kommandos folgt, die der Beobachter ihm mit einer Anzahl von Druckknöpfen laufend erteilt, während er das Auge am Okular hat. Optik und Mechanik zusammen bestimmen somit auch die Reichweite eines Teleskops, die für das Bergedorfer Instrument mit etwa 500 Millionen Lichtjahren angegeben werden kann, wenn man es auf schwache Spiralnebel richtet.

Für die automatische Nachführung wurde eine Genauigkeit von 1 Bogensekunde verlangt. Sie wird durch ein Antriebs-schneckenrad gewährleistet, das bei 288 Zähnen nur an wenigen Stellen — infolge menschlicher Unzulänglichkeit — einen Einzelteilfehler über 1 Bogensekunde, das ist, bezogen auf den Teilkreisdurchmesser, $\approx 3 \mu$, aufweist. Von seinem Platz aus in Abb. 3 links am Okular, kann der Astronom den Gang des Teleskops nur in geringem Maße beeinflussen oder aber ihn ganz beenden. Das Aufsuchen eines gewünschten Himmelsortes erfolgt von dem rechts in diesem Bilde sichtbaren Leitpult aus, das beliebig verfahrbar ist und auf dessen rechter Seite die für jede denkbare Bewegung des Teleskops erforderlichen Kommando-elemente zusammengefaßt sind. Abb. 6 zeigt diese Tafel. Die linken Skalen stellen die Bezugskreise dar für Rektaszension, die rechten beziehen sich auf die Deklination.

◀ Die Abbildungen 2 und 3 veröffentlichen wir mit Ireundlicher Genehmigung der Hamburger Sternwarte.

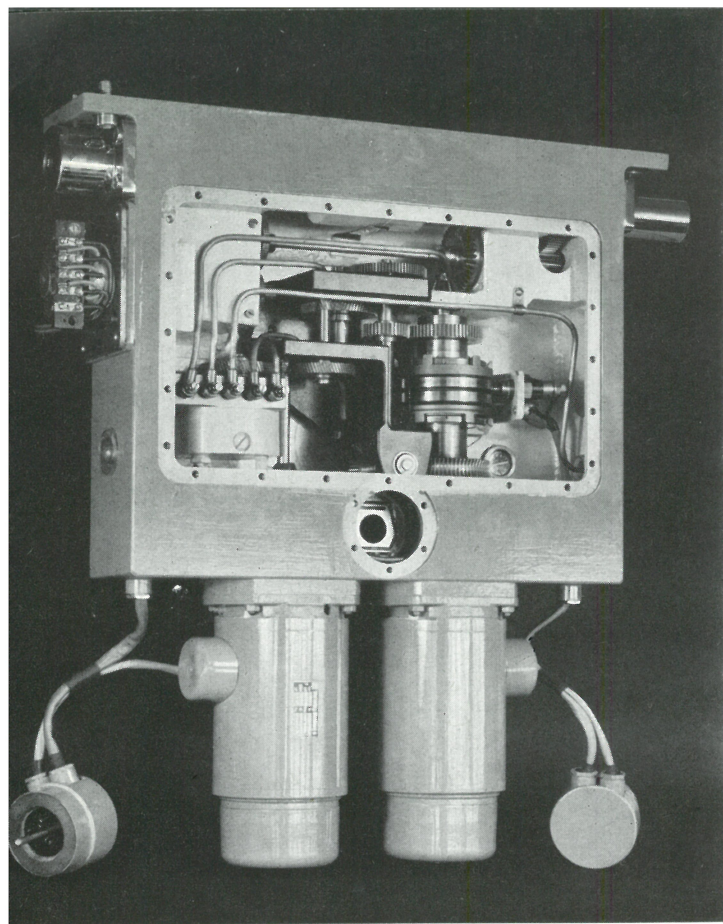


Abb. 4 Deklinationsgetriebe

Abb. 5 Strahlengang im Instrument

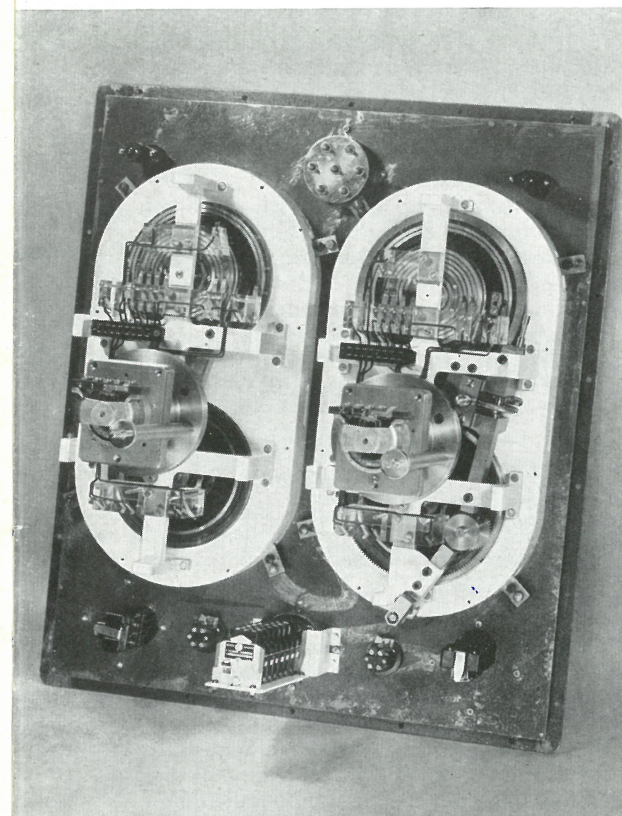
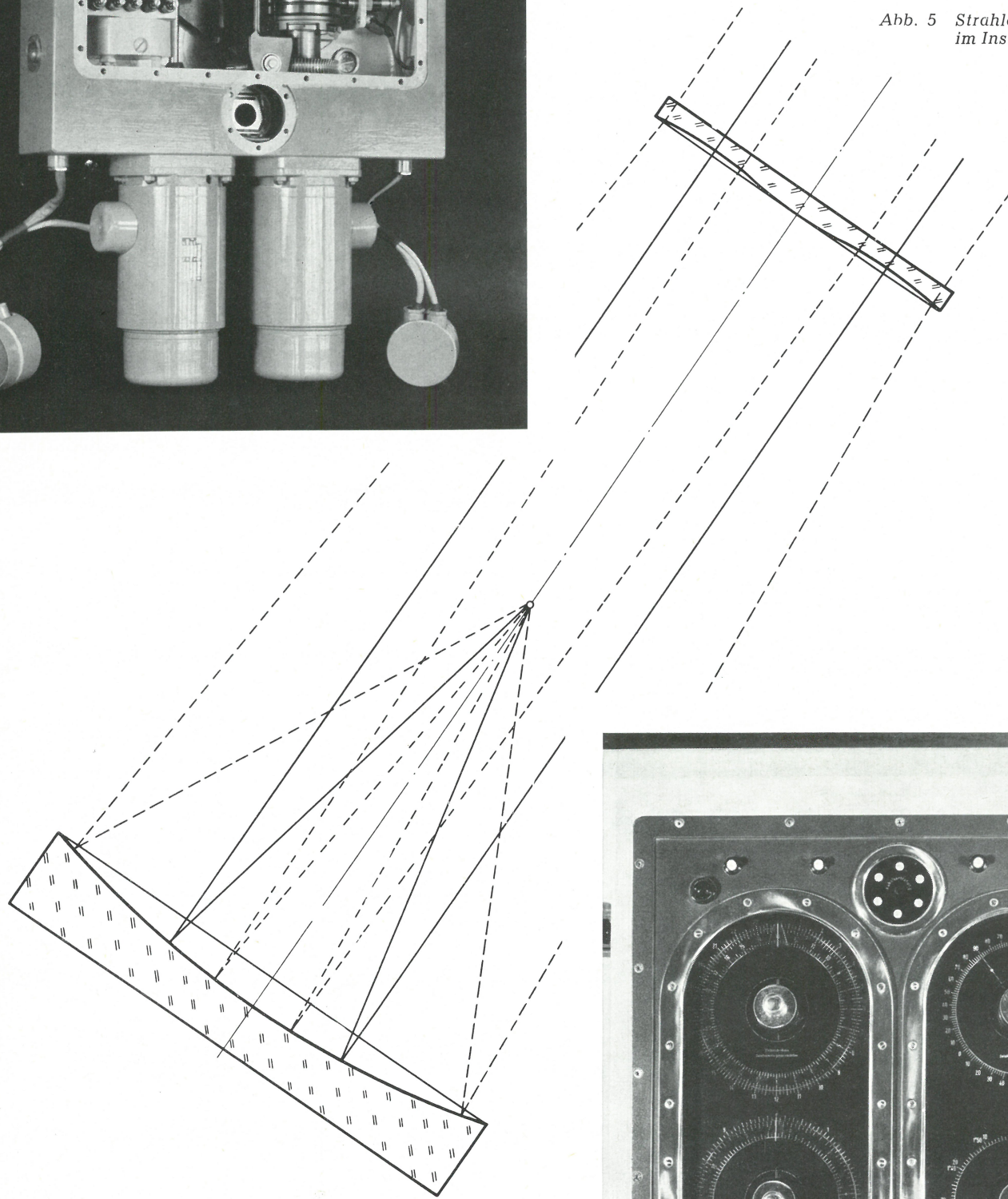


Abb. 7 Leitgerät Rückansicht

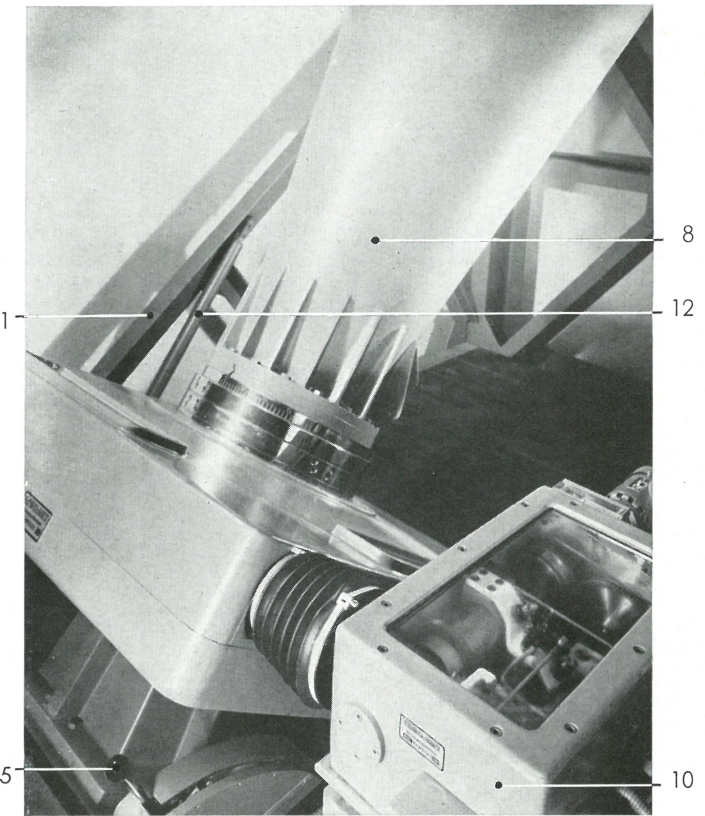


Abb. 8 Südlagerung mit Stundenantrieb

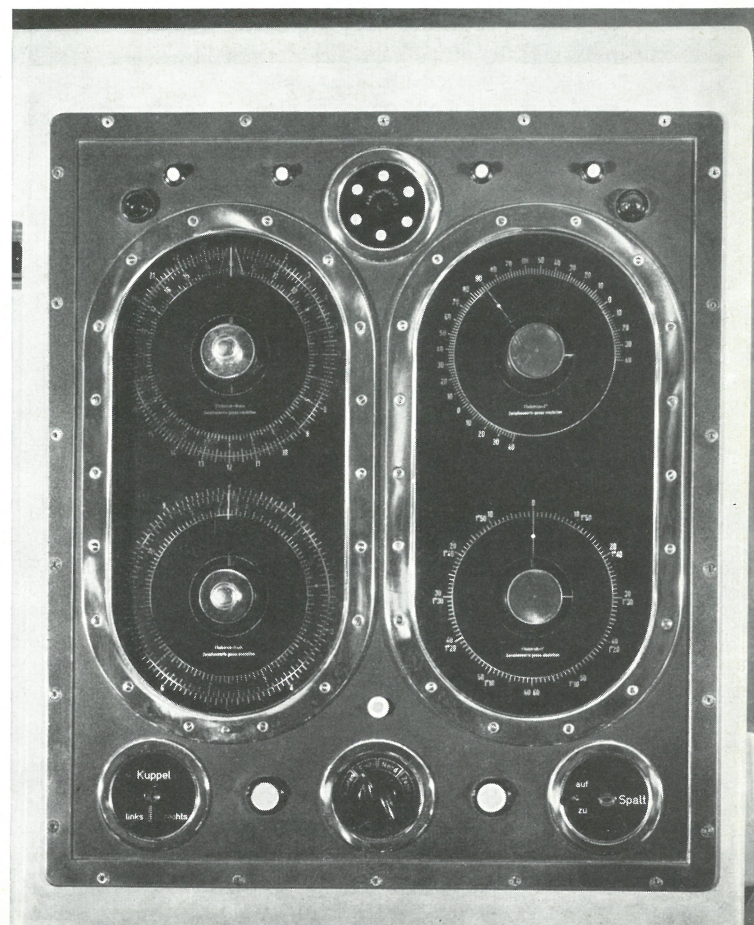


Abb. 6 Kommandotafel am Leitpult

Die oberen Kreise sind eingeteilt in 24 Stunden bzw. in Grad. Stellt man das Leitgerät so vor sich, daß man darüber hinweg von Westen auf das Teleskop sieht, so entspricht der durch den Wert 90° gelegte Diameter der Lage der Stundenachse. Die unteren Kreise enthalten die Feinteilungen zu den oberen. Die innerhalb der Teilungen sichtbaren Scheiben, sind von Hand an den in Abb. 3 erkennbaren Knöpfen drehbar. Sie sind mit Zeigern versehen, die in der Abb. 6 auf 0 h 0 min 0 sec sowie $90^\circ 0' 0''$ stehen. Wenn das Rohr auf einen bestimmten Stern gerichtet werden soll, so wird rechts dessen aus Tafeln zu entnehmende Himmelsbreite so genau, wie die Skalen es erlauben, eingestellt. Links stellt man den Zeiger nicht auf die äußere Skala, deren Teilung die irdische Orientierung des Rohres angibt, sondern auf die innere. Der Kreisring, auf den diese graviert ist, ist in der Platte drehbar gelagert und wird über eine Verstärkeranlage von einer Quarzuhr der Sternwarte angetrieben. Ein dem Motor vorgeschaltetes Getriebe wandelt die Sonnenzeit der Quarzuhr in Sternzeit, so daß also der Kreisring eine Sternzeituhr oder auch die relative Drehung des Sternhimmels gegen die Erde darstellt. Stellt man auch hier möglichst genau die Zeiger auf die Zeit des Meridiandurchganges des gesuchten Sternes und klemmt die Wahlscheiben an die Kreisringe an, so braucht man nur noch auf den Knopf „Ein“ zu drücken, um die Automatik auszulösen, die das Rohr jederzeit mit einer solchen Genauigkeit auf den gewählten Stern richtet, daß er ohne Benutzung des Suchers direkt im Leitrohr sichtbar wird. In der Klarsichtzone um die Stellknöpfe erkennt man je ein paar Doppelstriche, die mit den vorerwähnten Zeigern verbunden die Sollstellung des Teleskopes bezeichnen. Die daneben sichtbaren einzelnen Indexstriche geben die Iststellung des Instrumentes an. In dem Augenblick, in dem sie

auf allen vier Skalen ihren Sollwert zwischen den Doppelstrichen erreicht haben, schaltet sich der Stundenangang ein. Die grüne Lampe links zeigt dem Astronomen an, daß sein Leitstern in den Gesichtskreis des Leitrohres gelangt ist. Von nun an können die gegeneinander gesicherten Korrekturbewegungen eingeleitet werden. Rechts ist eine allgemeine Störungs Lampe. Die Wahlscheiben tragen eine Anzahl von Kontakten und Kontakttringen (Abb. 7), die mit einer oxydfreien Goldlegierung belegt sind, und durch die als erstes die Drehrichtung des Teleskops so vorgegeben wird, daß es dem gewünschten Himmelsort stets auf dem kürzesten Wege zustrebt. Kurz bevor dieser erreicht wird, wird eine Reduktion der Drehgeschwindigkeit in mehreren Stufen bewirkt, die den Verzögerungsdruck der bewegten Massen auf erträgliche Werte herabsetzt. Das Instrument fährt so langsam in den Abschaltzustand ein, daß die Richtbewegung unmittelbar, ohne Nachlauf, zum Stillstand kommt, bzw. in die Stundenangabebewegung übergeführt wird. Der Programmschalter, der unterhalb der beiden Leitgeräte in Abb. 6 zu sehen ist, steht hierbei auf „Richten“. Die übrigen Stellungen sind unveränderlich festgelegt. Bei „Süd“ fährt das Rohr in die südliche Horizontalstellung zum Einlegen der Kassette, bei „Nord“ in die entsprechende nordwärts gerichtete. Bei „Zenit“ stellt es sich genau senkrecht zur Abnahme des Spiegels, wenn dieser neu belegt werden soll. Die bisher zum Richten eines Instruments üblichen, direkt auf den Achsen angebrachten großen genauen Teilkreise erübrigen sich. Im unteren Raum ist lediglich zur Orientierung über die jeweilige Lage der Stundenachse eine grobe Teilung vorgesehen (Abb. 8). Die Stellung des Instrumentes wird über Ringfeldsysteme in die Leitgeräte übertragen.

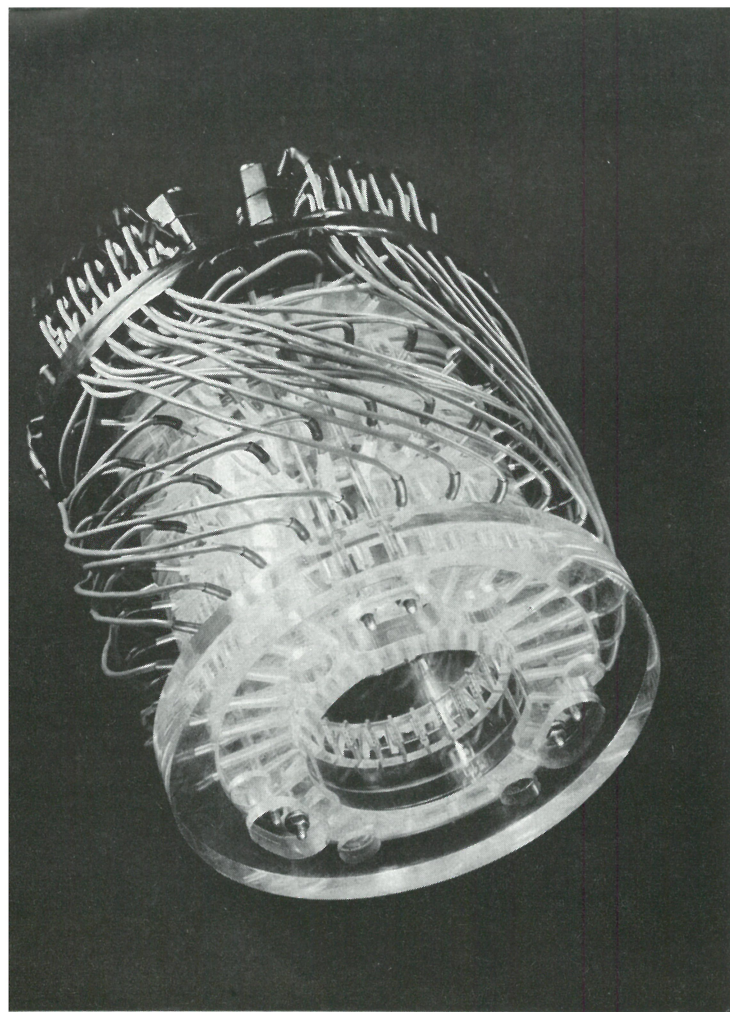


Abb. 9 Neunzigpolige Zentralsteckdose

Gegen Fehlbedienungen ist das Instrument durch eine Reihe von Sicherungen geschützt. Ein mit Quecksilber gefülltes und mit Kontakten ausgerüstetes Röhrensystem, der „Neigungsbegrenzer“ ist im Gegengewicht zum Deklinationsgetriebe eingebaut und sorgt dafür, daß das Rohr den Horizont nicht unterfahren kann, wenn es, sich selbst überlassen, dem vorgegebenen Ort zustrebt. Kurz vor dem Erreichen des Horizonts wird mit Vorrang ein Zwischenkommando erteilt, das das Rohr um ein bestimmtes Maß schnell gegen den Zenit bewegt, danach folgt es wieder der vorerteilten Order.

Unten auf der Tafel Abb. 6 sind links und rechts sinnfällig für die Bedienung auch im Dunkeln die Tasten für die Kuppel-drehung sowie für das Öffnen und Schließen des Beobachtungspaltes angeordnet. Beide Bewegungen können auch vom Beobachtungsplatz aus gesteuert werden.

Am Südlagerzapfen führen in 90 Adern die Energie- und Steuerleitungen in das Instrument. Die Verdrehung dieses Kabels wird oben, in Mitte der Kommandotafel von 60 zu 60° rechts- wie linksdrehend angezeigt, wenn die Stundenachse sich aus ihrer Grundstellung dreht. Nach einer vollen Umdrehung leuchtet die mittlere rote Warnlampe auf. Durch Betätigung des im übrigen verriegelten Hebels (15) in Abb. 8 kann man die neunzigpolige Zentralsteckverbindung trennen. Bestehende elektrische Verbindungen brechen nicht zusammen. Eine Rückholfeder dreht den Stecker gegen die Steckdose (Abb. 9) in die Ausgangsstellung, in der beide mit geringem Kraftaufwand wieder zusammengefügt werden können. Der Kontakt ist in allen Einzelverbindungen absolut zuverlässig.

In den Armen sind je 50 Adern verlegt, von denen der größte Teil durch die hohlen Tragzapfen ins Rohr eingeht.

Eine Anzahl Leitungen führt aus dem Rohr zu Steckleisten am Tragkörper, um dort Meßinstrumente anschließen zu können, insbesondere zu Temperaturmessungen mit im Rohr angebrachten Thermoelementen.

Spiegel, Taukappe und Gabelarme sind heizbar. Zum beschleunigten Temperaturengleich im Spiegel ist vorsorglich eine Luftumwälzung eingebaut.

Alle Teile, an denen eine Störung denkbar ist, die dem Verschleiß unterliegen oder die später überholungsbedürftig werden könnten, lassen sich ohne Demontage des Rohres ausbauen; so die Heizkörper, das Verdrehkabel, der Deklinationsantrieb, auch der ganze Stundenantrieb samt Südlager und -zapfen. Durch die im Gestell (11) beige-klappten Streben (12) in Abb. 8 kann das Instrument am unteren Ende der Rohrachse (8) festgelegt werden.

Aus der Menge der interessanten Konstruktions-Einzelheiten seien hier zwei Gruppen herausgegriffen,

1. die Lagerung
2. der Stundenantrieb,

deren Beschreibung für den Ingenieur besonders anregend sein dürfte.

Das Prinzip der Lagerung ist in Abb. 10 veranschaulicht. Es ist eine eindeutig bestimmte Dreipunkt-lagerung. Die beiden Nordlager sind in einem gemeinsamen Lagergehäuse (7) vereinigt. Der Lagersockel ist auf dem Gestell in Flurhöhe des Kuppelgeschosses montiert, das Südlager der Neigung der Stundenachse entsprechend, in dem darunterliegenden Obergeschoß. Es wurde auch schon kurz erwähnt, daß die Nordlager fast vollständig das Gewicht aller um die Stundenachse drehbaren Teile tragen, d. h. Last- und Lager-schwerpunkte liegen in einer nahezu senkrechten Ebene.

Die Formgebung der Tragfläche läßt sich am einfachsten so erklären, daß man sich um den Lastschwerpunkt S eine Kugel beschreiben denkt, deren Radius durch den konstruktiv bedingten Abstand der Lagerflächen von S gegeben ist, und aus dieser die in starken Linien umrissene Kugelzone — koaxial zur Stundenachse — herausgeschnitten denkt. Ihre Breite bestimmt sich aus der zur Aufnahme der Last erforderlichen Größe der Lagerfläche, die natürlich der Kugel angepaßt sein muß. Die Lagerfläche sitzt außerdem nicht unmittelbar auf dem Lagersockel auf. Eine „Lagerlinse“ (13) stützt sich vielmehr mit ihrer Unterseite nochmals gegen eine Kugel ab, von der eine Kappe, der „Lagerpilz“ (14) im Sockel fest eingesetzt ist. Um deren Mittelpunkt ist die Linse also schwenkbar.

Drückt man nun eine angemessene Ölmenge durch die Bohrung des Lagerpilzes, so hebt das Öl die Linse vom Pilz und die Kugelzone wiederum von der Linse soweit ab, daß es an den Rändern der Lagerlinse gerade herausquellen kann. Die Kugelzone und damit die Instrumentenachse schwimmt ohne metallische Berührung auf dem Öl. Entsprechend der geringen inneren Reibung der Flüssigkeit ist der Widerstand gegen Drehung trotz der großen Lagerlast erstaunlich gering. Außerdem ist er völlig gleichmäßig, insbesondere frei von dem Überrollungseffekt der Wälzlager. Zwei wichtige Voraussetzungen für die verlangte hohe Genauigkeit sind damit bereits erfüllt.

Die Nordlagerung für sich ist labil, und deshalb muß dem Pendelkugellager am Südende ein kleiner Lastanteil zugeteilt werden, der bei etwa 2 · 3 % der Gesamtlast liegt und im wesentlichen axial gerichtet ist.

Die Lage der Stundenachse ist durch die Mittelpunkte zweier Kugeln exakt definiert, und in der Verschiebung des Südlagers ist in Verbindung mit der Selbst-einstellung der Linsen eine einfache und feinfühlig-e Einrichtung gegeben, sie auf den Pol zu justieren. Da diese Verschiebung in einer Ebene erfolgt, während die Achse um den oberen Kugelmittelpunkt schwenkt, müssen die Linsen hierbei schwimmen, um sich auf die neue Lage dieses Punktes einstellen zu können. Für das Drehen der Stundenachse allein können

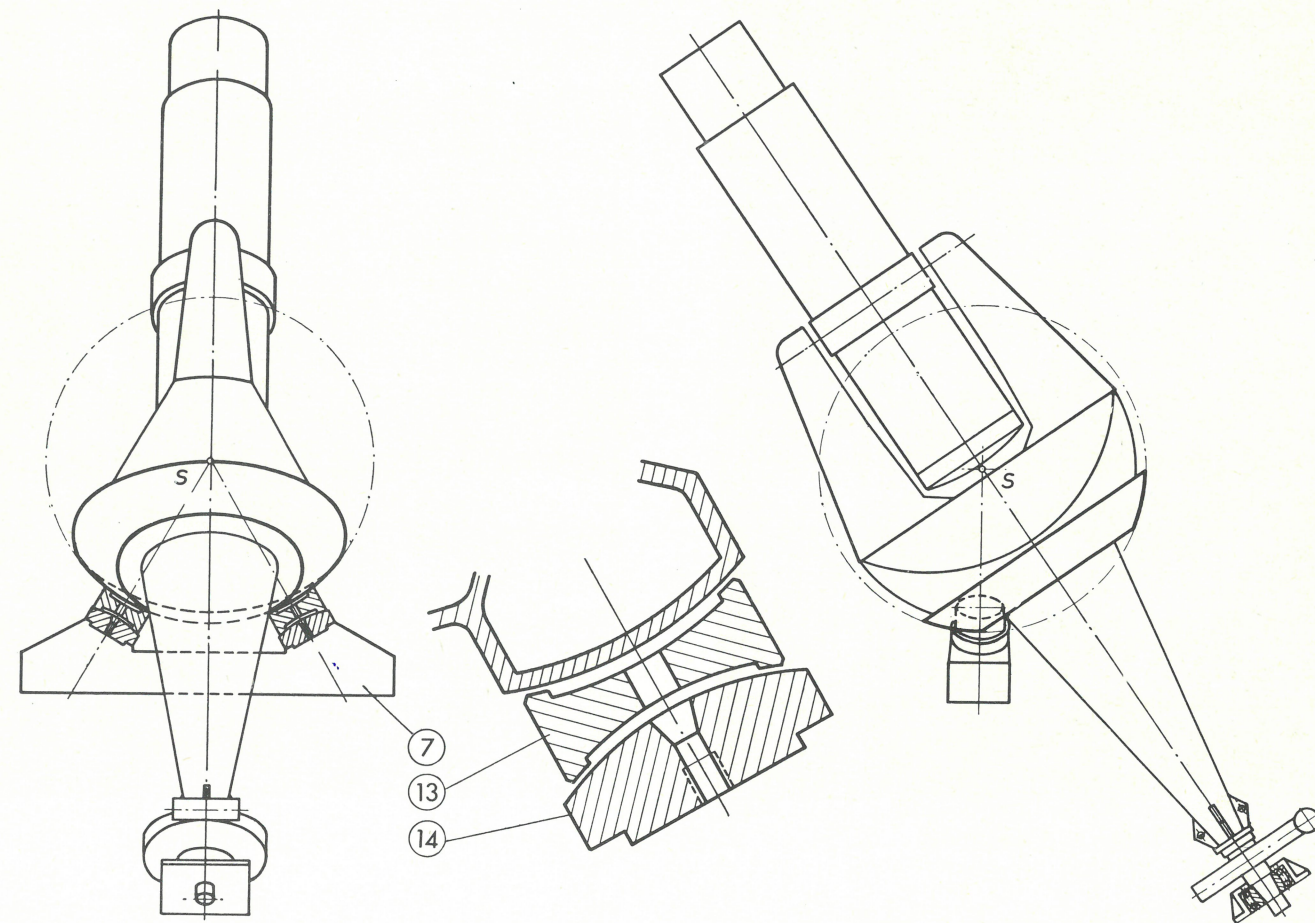


Abb. 10 Lagerung der Stundenachse

sie auf den Pilzen aufliegen. Deshalb werden Ober- und Unterseiten der Linsen aus getrennten Quellen gespeist. Vorsorglich werden jedoch bei jeder Inbetriebnahme die Linsen zunächst einen Augenblick zum Schwimmen gebracht. Während des Betriebes fließt nur der obere Ölstrom. Bevor die Stundenachse nicht schwimmt, läßt sich der Antriebsmechanismus nicht schalten.

Die Herstellung einer so großen und genauen Kugelzone schien zunächst mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden; es fand sich aber eine einfache Lösung. Wählt man den Kugelmittelpunkt so, daß er bei der Bearbeitung des Tragkörpers um ein kleines Maß innerhalb der Planscheibe zu liegen kommt, so läßt sich im Innenkonus der Drehbankspindel eine Hülse aufnehmen, in die eine Kugelkalotte eingearbeitet ist, deren Mittelpunkt identisch mit dem der Kugelzone ist. Eine solche Kalotte und der darin passende Kugelzapfen lassen sich überaus genau herstellen, und die Führung für einen Meß- und Bearbeitungsarm ist damit gegeben (Abb. 11). Der Arm ist in seinem Schwerpunkt aufgehängt und stützt sich auf einen zweiten Kugelzapfen am Boden, der den Support mit Drehstahl oder Schleif-einrichtung unmittelbar trägt.

Die Kugelform ergab sich nicht automatisch, weil selbst der Schleifdruck noch eine zu große Deformation des Armes erzeugte. Deshalb wurde nach Maß geschliffen. In einer dem optischen Schleifverfahren nahekommenen Weise wurden schließlich die benötigte Genauigkeit und Oberflächengüte durch Lappen erreicht. Für die relativ kurze Bearbeitungszeit hätte es sich nicht gelohnt, einen besonderen Mechanismus aufzubauen. Deshalb wurden die in ihrem Schwerpunkt aufgehängten Länglinsen der Einfachheit halber von Hand so geführt, daß sie ständig neue Bahnen beschreiben mußten. In Abb. 12 werden gerade die Traglinsen aufgelappt. Die erzielte Genauigkeit war vorzüglich, bei völlig reinen Oberflächen begannen die Linsen bereits zu haften.

Der wesentlichste Teil des Stundenachsenantriebes ist das Genauigkeits-Schneckenrad. Es sitzt nicht unmittelbar auf der Stundenachse, sondern ist mit den Antriebsschnecken auf einer besonderen formstabilen Getriebeträgerplatte sorgfältig gelagert, die wiederum auf der Stundenachse geführt wird. In einem Fixpunkt ist dieser Getriebeträger zwar gegen Verdrehung gesichert, kann aber geringe restliche (sehr langsame) durch die nicht besonders genau bearbeitete Stundenachse erzeugte Exzenterbewegungen zwangfrei mitmachen. Korrekturen am Polwinkel können durchgeführt werden, ohne daß sich die Eingriffsverhältnisse am Schneckengetriebe ändern.

Bevor auf die Fertigung des Schneckenrades eingegangen wird, sei zunächst noch gesagt, daß es seine Drehbewegung über eine Kreuzfederkupplung winkeltreu auf die Stundenachse überträgt und daß es zwischen zwei rechtwinklig zueinander gesetzten Schnecken spielfrei gehalten wird. Eine der Schnecken ist axial federnd gelagert und treibt das Schneckenrad, die andere stützt sich gegen ein festes Drucklager mit Taumelfehlerausgleich und steuert den genauen Gang des Schneckenrades bzw. der Stundenachse.

Der Antrieb der Schnecken im Uhr-gange erfolgt über das Stundengetriebe und ein Sternzeitvorgelege durch einen Synchronmotor, der über einen entsprechenden Verstärker an eine Quarzuhr der Sternwarte angeschlossen ist.

Um die Genauigkeit des Schneckenrades weitgehend zu erhalten, ist es repetierbar angebaut. Der hauptsächlich benutzte Zahnsektor soll im Turnus von einigen Jahren so gewechselt werden, daß eine möglichst gleichmäßige Abnutzung am gesamten Umfang des Rades erfolgt. Darüber hinaus aber sind, abweichend von bisher üblichen Ausführungen, weiche Messingschnecken eingebaut. Der Schneckenradfuß zeigt das bewährte dichte perlitische Gefüge mit ausgeprägter phosphidischer Netzstruktur, wie es für die Teilschneckenräder unserer Kegelradhobler und

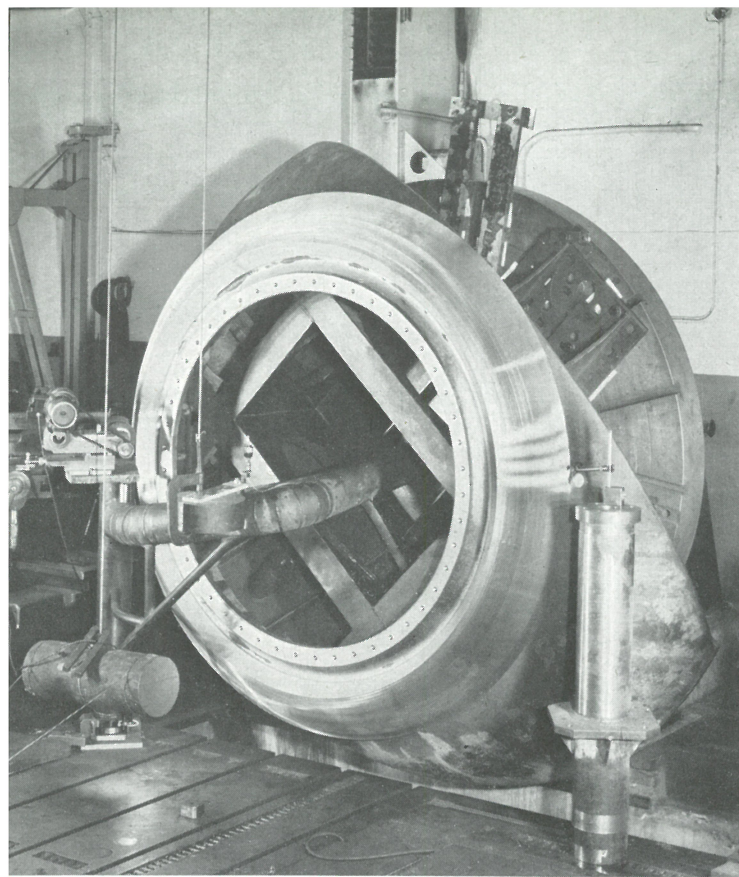


Abb. 11 Schleifen der Kugelzone

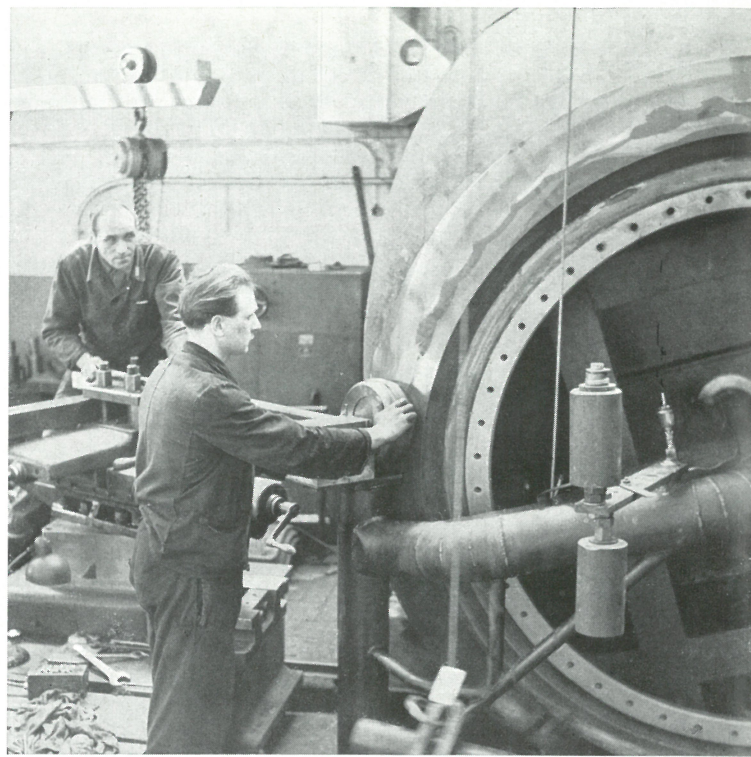


Abb. 12 Auflappen der Traglinsen auf die Kugel

Schleifmaschinen seit vielen Jahren mit bestem Erfolge benutzt wird. Daß es wesentlich härter ist als der Schneckenwerkstoff, sieht man an der leichten Gelbfärbung der Zahnflanken durch den Messingabrieb, der sich trotz Ölpflichtschmierung bei der geringen Umfangsgeschwindigkeit nicht vermeiden läßt.

Im Uhrzuge dreht sich die Schnecke in fünf Minuten einmal. Sie ist übrigens von keiner besonderen Genauigkeit. Wenn man sie schleifen wollte, so würde der Schleifstaub sich leicht in dem weichen Gefüge festsetzen und statt der beabsichtigten Schonung der Schneckenradzähne würden sie besonders energisch abgenutzt werden. Der periodische Schneckenfehler verläuft so, daß er durch eine sinusförmige Korrektur im Getriebe bis auf unbedeutende Reste aufgehoben werden konnte. Diese Reste liegen innerhalb der Größenordnung von Korrekturen, wie sie durch die wechselnde Refraktion der Luft verursacht und von dem Beobachter laufend ausgeglichen werden müssen.

Im Rahmen dieser Aufgabe wurde für die Herstellung der 288 Zähne des Genauigkeitsschneckenrades eine besondere Schneidemaschine entwickelt. Die Zahnflanken entstehen in mehreren Schnitten. Für die Teilung wurde der sehr genaue Glasteilkreis eines Wild-Theodoliten mit mikroskopischer Doppelablesung benutzt. Die Teilungsfolge berücksichtigt die zwar geringe, bei der großen Zahnzahl aber unvermeidliche Abnutzung der Schlagzahnflanken. Für jeden Schnitt wurde ein besonderer Schlagzahn eingesetzt. Die Schneidkanten wurden auf höchstmögliche Oberflächengüte gebracht, um ausreichende Standfestigkeit zu erreichen und die Bildung auch nur geringer Ansätze von Aufbauschneiden auszuschließen.

Der in langjähriger Erprobung vorzüglich bewährte Werkstoff für die Messer unserer Kegelradhobelmaschinen erwies sich in den vorangehenden, der Zahl der erforderlichen Hüllschnitte angepaßten Standzeitversuchen als besonders geeignet.

Es versteht sich von selbst, daß alle Lagerungen und Führungen an dieser Maschine durch entsprechende Maßnah-

men spielfrei gemacht werden mußten, die Bewegungswiderstände möglichst gering und gleichbleibend groß zu halten waren und dazu die wesentlichen Elemente ausreichend starr gebaut wurden. Die Maschine arbeitet in einem abgeschlossenen, gleichmäßig temperierten Räume. Um Erschütterungen fernzuhalten, ruht ihr besonders schwerer Sockel auf einem System von Federn.

Besondere Aufmerksamkeit erforderte die Entwicklung der Anklemmvorrichtung, durch die das Schneckenrad nach Einstellung auf eine neue Zahnücke mit dem Schneidmechanismus gekuppelt wird. Eine meßbare relative Verschiebung zwischen beiden tritt dabei nicht ein.

In Abb. 13 ist die Fehlerkurve dieses Schneckenrades zu sehen, wie sie unmittelbar nach dem Fertigschnitt der letzten Zahnücke, ohne jede weitere Korrektur oder Glättung durch Einlaufen, aufgenommen wurde.

Abschließend sei noch kurz erwähnt, wie die Gebäudekuppel, die auf einem das Mauerwerk des Beobachtungssaumes abschließenden Schienenkranz drehbar gelagert ist, für die Montage des Instrumentes nutzbar gemacht wurde. Ein kräftiger Träger wurde oben an dem Gewölbe befestigt. Durch den Beobachtungsspalt kragte er so weit aus, daß durch einen 5-t-Elektrozug mit Feinhubwerk zunächst die ankommenden Lasten direkt von der Wagenplattform abgehoben und mit der Laufkatze in das Kuppelinnere gefahren werden konnten. Nach dem Zusammenbau wurden mit diesem improvisierten „Drehkran“ auch die einzelnen Teile und Baugruppen aneinandergesetzt.

In Abb. 14 kommt gerade der Tragkörper durch den Beobachtungsspalt. Die Kugelzone liegt, gegen Beschädigungen durch eine Holzverschalung geschützt, oben. Abb. 15 zeigt das Aufsetzen des Rohres auf die Gabelarme. Das scheibenförmige Gebilde (rechts von der Bildmitte) ist das Gegengewicht für das an dem verdeckten Gabelarm sitzende Schneckenrad zum Drehen des Rohres um die Deklinationsachse und für das Getriebe selbst. Diese Teile mit den Lagern wurden vorher am Rohr montiert.

Einzelteilungsfehler - Diagramm

Stundenachs - Schneckenrad 901-40.10-03/00 Z 2

1. Verzahnungsdaten

Zähnezahl $Z = 288$
 Modul $m = 4$
 Teilkreisdurchmesser $d_o = 1152$ mm
 Eingriffswinkel $\alpha = 15^\circ$
 Überdeckungsgrad $\varepsilon = 2,427$
 (Siehe auch Skizze unter 4.)

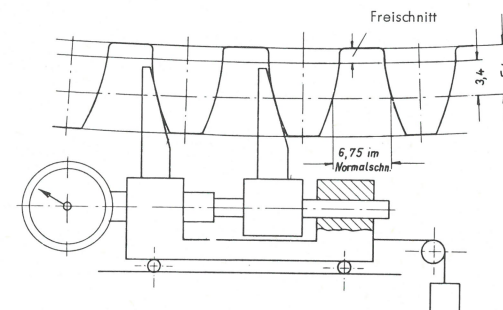
2. Radzustand

Unkorrigiert und nicht eingelaufen.

3. Aufnahme

Auf Schneckenradschneidemaschine unmittelbar nach dem Schneiden.

4. Messmethode



5. Messgerät

Zeiß-Zahnradprüfgerät Inv.-Nr. 1368

6. Messung durch

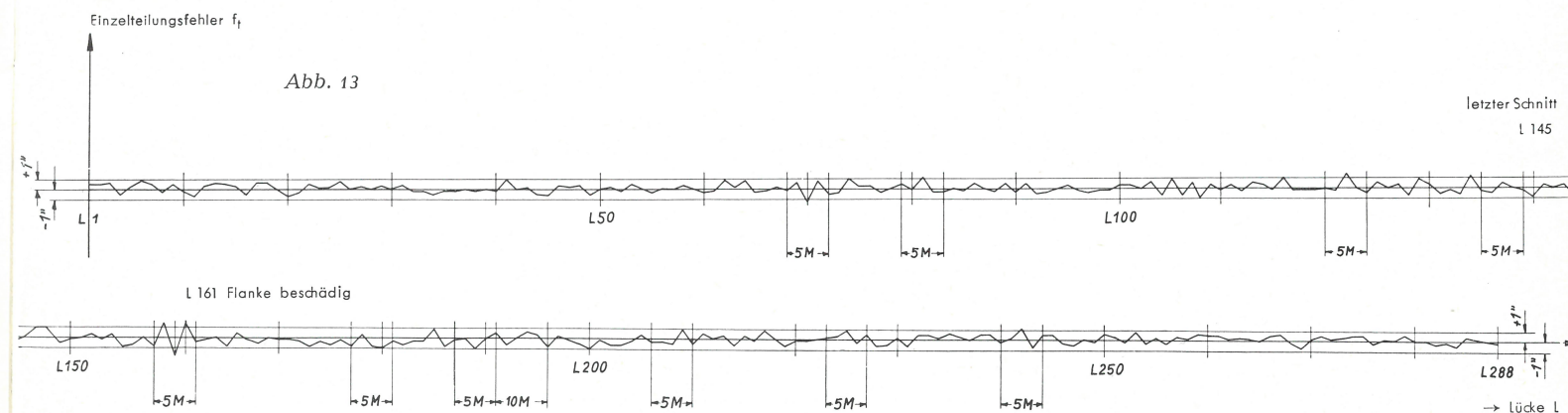
6.1. Konstruktionsbüro:
 Rosenkranz, G. Schneider, Wendt
 6.2. Zahnradmessraum: Lepach

7. Messungsauswertung

Wendt

8. Verzahnungsweise

8.1. Vorgefräst und Grund freigeschnitten auf Pfauter-Verzahnungsmaschine.
 8.2. Drei Genauigkeitsschnitte pro Flanke auf Spezial-Schneckenrad-schneidemaschine.

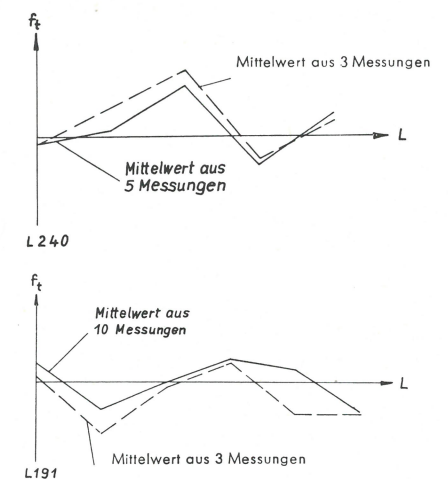


9. Schnittfolge beim Genauigkeitsverzahn

1. Schnitt	—	Lücke	L 1
2. "	—	"	L 2
3. "	—	"	L 288
4. "	—	"	L 3
5. "	—	"	L 287
6. "	—	"	L 4
7. "	—	"	L 286
8. "	—	"	L
288. "	—	"	L 145

10. Anzahl der Messungen

- 10.1 10 M Δ Bereich 10 mal gemessen
 10. Messung 5 mm über Mittelebene
 8. " 4 mm " "
 6. " 3 mm " "
 4. " 2 mm " "
 1. " in " "
 3. " 1 mm unter " "
 5. " 2 mm " "
 7. " 3 mm " "
 9. " 4 mm " "
- 10.2 5 M Δ Bereich 5 mal gemessen
 4. Messung 2 mm über Mittelebene
 2. " 1 mm " "
 1. " in " "
 3. " 1 mm unter " "
 5. " 2 mm " "
- 10.3 (Restlicher Bereich 3 mal gemessen)
- 10.4 Mehrere Messungen durchgeführt, um Messfehler durch Flankenrauigkeit klein zu halten.



11. Einzelteilungsfehler-Defination nach DIN 3960

Der Einzelteilungsfehler f_t der Teilkreisteilung ist der Unterschied zwischen dem Istmaß einer einzelnen Teilkreisteilung, gemessen auf dem zur Radachse mittigen Teilkreis, und dem Sollmaß.

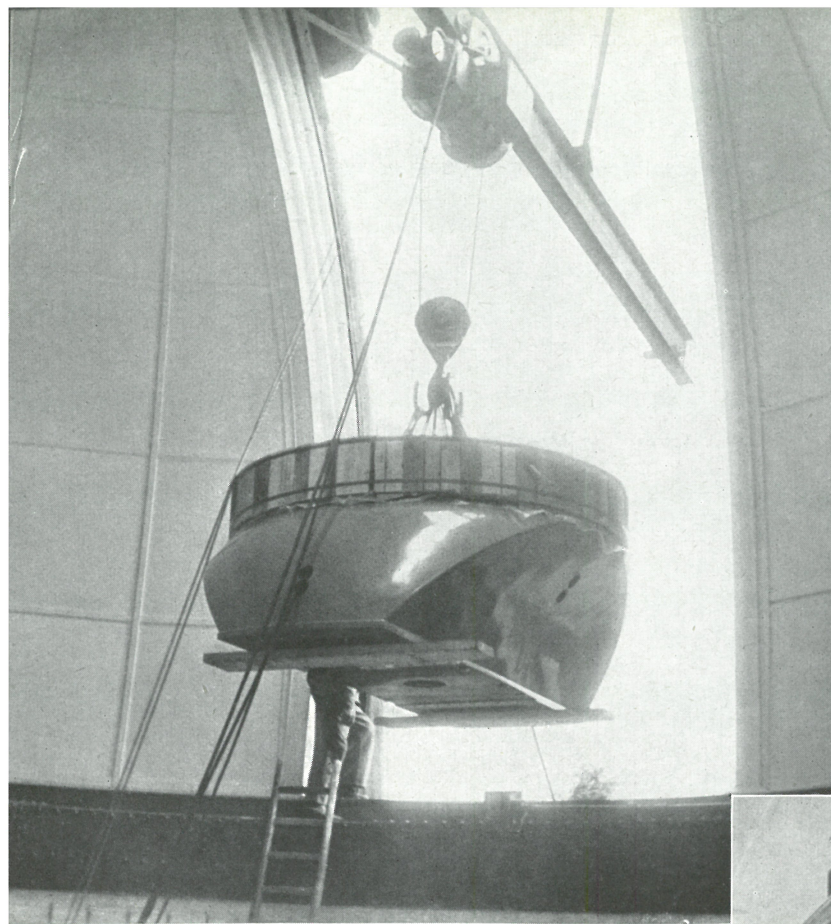


Abb. 14 Einbringen des Tragkörpers durch den Kuppelspalt

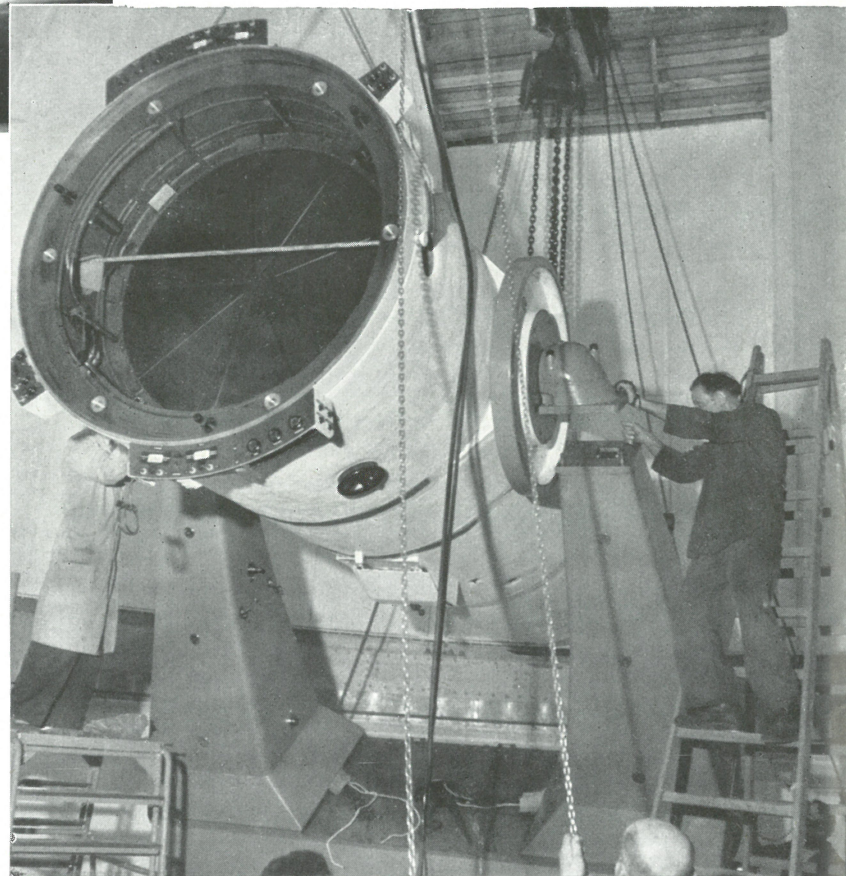


Abb. 15 Aufsetzen des Rohres auf die Tragarme

Die Übernahme des Instruments durch die Sternwarte ging reibungslos vor sich, und wir konnten beweisen, daß wir das, was die Astronomen gefordert hatten, wirklich erzielt haben. Außerdem haben wir durch Anwendung neuzeitlicher Steuerungsmittel dem Astronomen eine Rationalisierung seiner Arbeit ermöglicht. Gelegentlich einer Versammlung der Astronomen aus aller Welt in Hamburg wurde von vielen Seiten gesagt, daß das Hamburger Instrument in seiner modernen Bauweise der Lagerung und des Antriebes manche bisher offengebliebenen Wünsche der Astronomen erfüllt habe. Uns selbst bleibt die Genugtuung, uns auf einem ganz neuen Gebiet bewährt und darüber hinaus für die eigene Fertigung manche wertvolle Erkenntnisse gesammelt zu haben.

Rosenkranz · Heidenreich & Harbeck, Hamburg

Ein neues Zahnflankenprüfgerät für Kegelräder

Eine wesentliche Qualitätssteigerung erfahren Kegelräder durch die Möglichkeit, die Verzahnung zu schleifen. Damit erweitert sich das Anwendungsgebiet, weil jetzt auch gehärtete Räder austauschbar gefertigt werden können. Die erreichbaren Genauigkeiten erfordern aber auch zwangsläufig eine Verbesserung und Erweiterung der Prüfmethode, besonders für die Flankenform und die Zahnrichtung. Für die Prüfung von Stirnradverzahnungen gibt es seit langem ein recht umfassendes Angebot an Prüfgeräten. Wesentlich anders ist die Lage bei der Prüfung von Kegelradverzahnungen. Dort kennt man im allgemeinen nur die Teilungsprüfung, die Rundlaufprüfung, die Abrollprüfung zur Kontrolle des Tragbildes und die Abrollprüfung unter Last zur Prüfung des Laufgeräusches. Wegen der verwickelten Einbauverhältnisse ist es für viele Kegelradarten notwendig, die Räder eines Getriebesatzes gemeinsam zu prüfen und zu kennzeichnen. Für die Prüfung

des Zahnflankenprofils an Kegelrädern gab es dagegen bis vor einigen Jahren keine oder nicht ausreichende Prüfgeräte. Dies ist nicht verwunderlich. Denn sind schon Kegelräder in ihrer einfachsten Form geometrisch verhältnismäßig komplizierte Gebilde, so wird ihre Prüfung noch schwieriger, wenn Herstellungsverfahren angewendet werden, die zum Teil gewollte, aber auch ungewollte Abweichungen von dem theoretischen Flankenprofil oder der Zahnrichtung hervorrufen.

Den immer dringender gewordenen Forderungen Rechnung tragend, wurde von der Firma Heidenreich & Harbeck, Hamburg, das Kegelradprüfgerät 40 KP entwickelt. Das neue Gerät ermöglicht die Prüfung des Zahnflankenprofils und der Zahnrichtung für gerad-, schräg- und bogenverzahnte Kegelräder bis max. 400 mm ϕ und Übersetzungsverhältnisse bis 1:8.

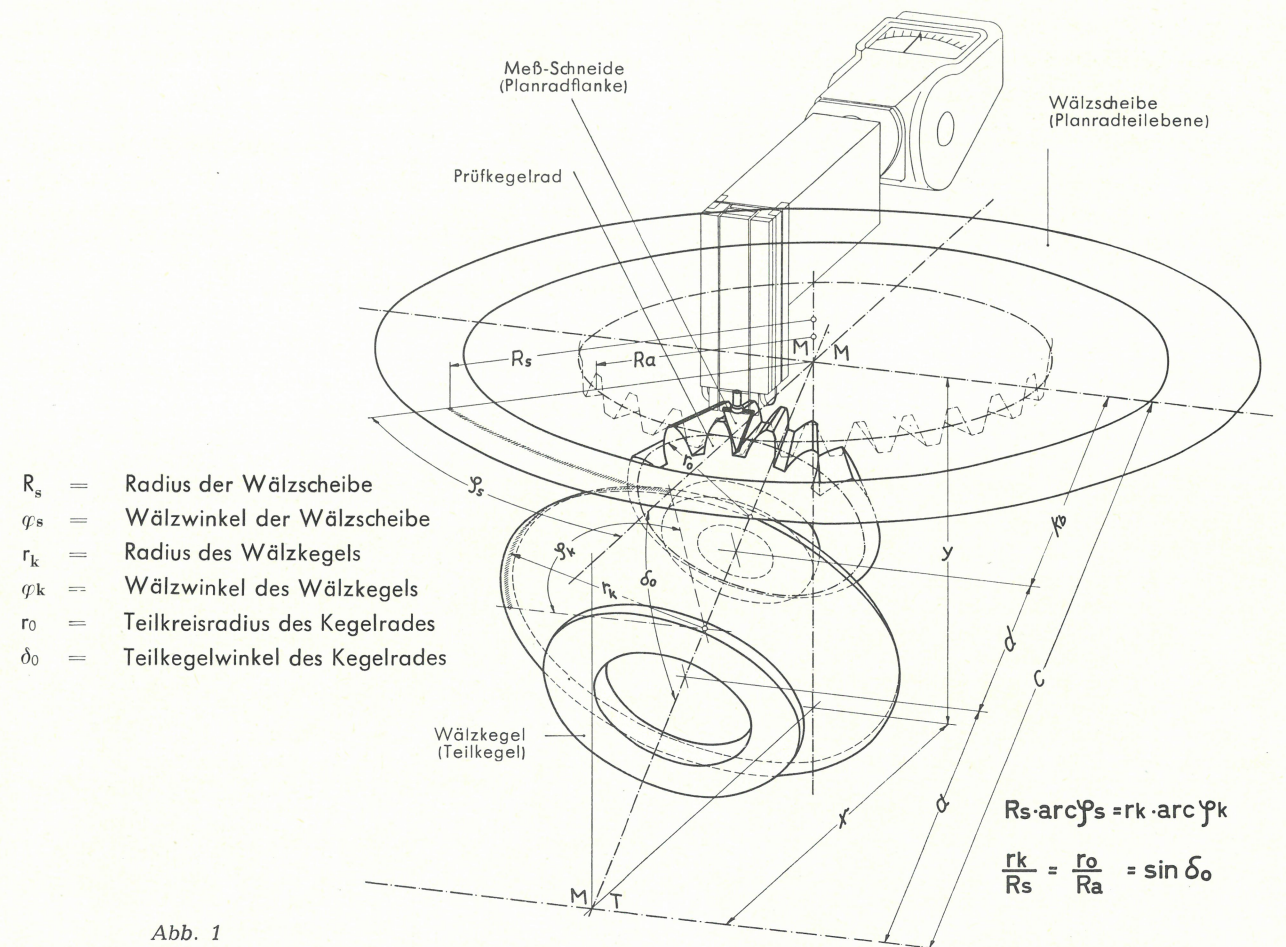


Abb. 1

Das Kegelradprüfgerät arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip, wie es auch für die Stirnradevolventenprüfung erfolgreich angewendet wird, nämlich mit einem „direkten Wälzgetriebe“, d. h. unter Ausschluß fehlerführender Übertragungsmittel überträgt ein Wälzkegel durch schlupffreie Reibmitnahme eine dem Übersetzungsverhältnis entsprechende Drehung auf die Wälzscheibe. Hierbei müssen folgende geometrische Bedingungen erfüllt sein:

$R_s \cdot \text{arc} \varphi_s = r_k \cdot \text{arc} \varphi_k$; $\frac{r_k}{R_s} = \frac{r_o}{R_a} = \sin \delta_0$
 Wälzkegel und Prüfkegelrad sind auf der Teilkopfspindel

angeordnet. Desgleichen sind die Wälzscheibe und das Schreibgerät mit Meßschneide formschlüssig miteinander verbunden. Bei diesem „Wälzgetriebe“ rollen Teilkegel aufeinander ab. Infolgedessen entspricht die Tasterform des Schreibgerätes der auf das Teilkegelplanrad (strichpunktiert angedeutet) bezogenen Werkzeugform. Während es bei der Stirnradevolventenprüfung üblich ist, die Wälzung vom „Grundkreis“ abzuleiten und die Flanke mit einem punktförmigen Taster abzufahren, wurde bei diesem Gerät bewußt davon abgewichen, die Wälzung auf entsprechende „Grundkegel“ zu beziehen. Fast alle Kegelrad-

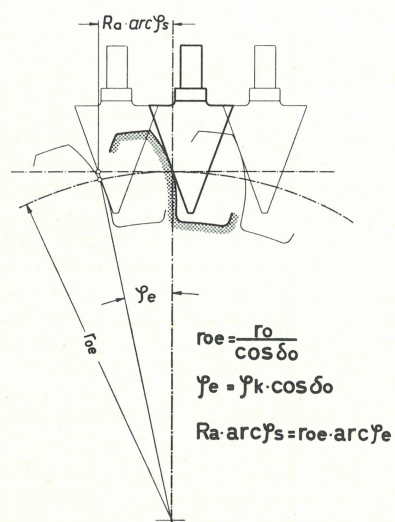


Abb. 2

- r_{oe} = Teilkreisradius des Ergänzungstirnrades
- δ_0 = Wälzwinkel des Ergänzungstirnrades
- R_a = Teilkreisradius des Plankegelrades (Teilkegellänge)

verzahnungsverfahren benutzen Werkzeuge, die, bezogen auf das „Planrad“ ein geradflankiges Profil haben (Planradzahn). Die hierdurch erzeugte Flankenform ist keine Evolvente, sondern eine Oktoide. Der Unterschied soll hier nicht näher erläutert werden. Würde eine Oktoidenverzahnung zur Prüfung auf dem „Grundkegel“ abgewälzt, so würde sich bei der Aufzeichnung eine gekrümmte Linie als Ist-Linie ergeben. (Die Abweichung von der Geraden entspricht der Abweichung der Oktoide von der Evolvente.) Die Beurteilung anderer Abweichungen des Diagrammes würde dadurch erschwert werden. Es gibt ein Verfahren, das einem punktförmigen Taster eine gesteuerte Zusatzbewegung erteilt, derart, daß der Taster während des Wälzens um den »Teilkegelwinkel« die Flanke des gedachten Planradzahnes darstellt. Der Ist-Verlauf dieser Aufzeichnung ist dann auch eine Gerade. Dieser Umweg wird bei diesem Gerät vermieden durch die Anwendung des »Teilkegelwälzbetriebes« und einer gradflankigen Meßschneide mit dem auf den Teilkreis bezogenen Eingriffswinkel. Eine gleichzeitige Aufzeichnung der Rauhtiefe wird nach diesem Verfahren nicht berücksichtigt. Es werden nur wirkliche Formfehler aufgezeichnet.

Abb. 2 zeigt den Vorgang des Abwälzens zwischen der Meßschneide und der Flanke des Prüfkegelrades. Der Einfachheit halber betrachtet man den Kegelschneidrad als den Zahn eines Ergänzungstirnrades mit dem Teilkreisradius r_{oe} . Die nachfolgenden geometrischen Beziehungen gelten nur für das auf einer Ebene abgewickelt gedachte Kegelrad. Die Beziehung $r_{oe} = \frac{r_o}{\cos \delta_0}$ ist in Abb. 3 dargestellt. Danach gelten auch die Beziehung $\varphi_e = \varphi_k \cdot \cos \delta_0$ und die Wälzgleichung $R_a \cdot \text{arc} \varphi_s = r_{oe} \cdot \text{arc} \varphi_e$. Wird diese Gleichung durch eine fehlerhafte Flanke gestört, so weicht die Nadel des Schreibgerätes von der „O“-Lage ab und zeichnet Größe und Lage des Fehlers auf.

Von größter Wichtigkeit ist die richtige Lage des Kegelschneidrades im Prüfgerät. Darin liegt überhaupt die grundsätzliche Schwierigkeit eines Flankenformprüfgerätes für Kegelschneidrad. Diesem Umstande wurde in unserem Prüfgerät besonders Rechnung getragen. Das Prüfkegelrad liegt richtig, wenn seine Achse durch den Kreuzungspunkt MM geht und sein Teilkegel in der Planradteilebene liegt. Dies wird ausgedrückt durch die Werte δ_0 und k_b . Die Besonderheit dieses Gerätes besteht darin, daß der Teilkopf mit einem Koordinatenfahrwerk und einer Schwenkmöglichkeit in die richtige Lage gebracht wird. Die Einstellwerte werden optisch abgelesen. Die Einstellungen sind dauernd kontrollierbar und in kürzester Zeit wiederholbar. Dies ist besonders wichtig für einen schnellen Wechsel der möglicherweise sehr großen Kegelschneidrad. Eine große Bohrung in der Teilkopfspindel gestattet bei diesem Gerät die Prüfung von Schaftegelrädern. Die erste Orientierung erfährt der auf den Teilkegelwinkel δ_0 eingeschwenkte Teilkopf durch den Wälzkegel. Die Wälzkegel haben eine ballige Laufbahn und gelten für einen bestimmten Teilkegelwinkelbereich.

Dies ist ein besonderer Vorzug, denn mit nur 15 Wälzkegeln wird der gesamte Teilkegelwinkelbereich von 7° bis 83° erfaßt. Der Teilkopf wird in Höhenrichtung verfahren, bis der Wälzkegel die Wälzscheibe berührt. Die Vertikal-komponente y wird abgelesen. Mit der Beziehung

$x = \frac{y}{\tan \delta_0}$ wird die Horizontalkomponente x ermittelt. Nach der Einstellung von x trifft die Teilkopfachse den Kreuzungspunkt MM (Maschinenmitte). Die Diagonalkomponente c ergibt sich aus der Beziehung $c = \frac{y}{\sin \delta_0}$. Um das Prüfkegelrad in die richtige Lage zu bringen, wird das Dornmaß $d = c - (a + k_b)$ ermittelt und durch genaue Paßringe dargestellt.

Es ist eine Grundforderung, daß ein Prüfgerät um ein Mehrfaches genauer ist als die Produktionsmaschine und daß sich die theoretischen Bedingungen so genau wie irgend möglich verwirklichen lassen. Deshalb müssen die all-gemeingültigen Konstruktionsforderungen wie Einfachheit, Eindeutigkeit, Fertigungsmöglichkeit, Zugänglichkeit und Schutzmaßnahmen sowie auch die die Genauigkeit beeinflussenden Faktoren wie Starrheit, Kraftfluß, Spannungen, Reibung, Zwang, Spiel, Trägheit, Beschleunigung, Wärmeeinfluß, Alterung, Schwingungsdämpfung usw. besonders berücksichtigt werden. Die Werkstatt muß neben ausreichenden Fertigungs- und Kontrollmitteln auch fähige, verantwortungsbewußte und gegenüber ungewöhnlichen Genauigkeitsansprüchen bereitwillige und ausdauernde Kräfte zur Verfügung stellen.

Abb. 4 zeigt das Kegelradprüfgerät vollständig geschlossen mit den großen Bedienöffnungen. Das Bett und das Gehäuse sind äußerst starre Bauteile. Das Gerät steht statisch bestimmt auf 3 Auflagern. (Progressivfeder mit starker Dämpfung.) Das Gehäuse liegt nur mit 3 Flächen auf dem Bett. Diese Flächen liegen senkrecht über den Auflagern. Dadurch erhält das als Laufbahnträger ausgebildete Bett keine zusätzliche Spannung und Biegung durch das Gehäusegewicht und den Zusammenbau beider Teile.

Abb. 5 zeigt die Justierung des Teilkopfes. Man sieht den Längsschlitten (x -Achse) und den Teilkopfschlitten (y -Achse). Das Gewicht des Teilkopfes mit Schlitten ist durch ein veränderbares Gegengewicht kompensiert, die Unterstützung so gewählt, daß die Teilkopfschlittenführungen völlig entlastet sind. Ein Aufzugwerk ermöglicht es, den Anpreßdruck zwischen Wälzkegel und Wälzscheibe zur Reibmitnahme frei wählbar einzustellen. Wegen der kleinen Wälzkegeldurchmesser bei Ritzeln wird zweckmäßigerweise die Teilkopfspindel angetrieben. Erkennbar sind die

- y = Vertikal-komponente des Teilkopfes
- x = Horizontal-komponente des Teilkopfes
- c = Diagonalkomponente des Teilkopfes
- a = Teilkopfkongstante (Teilkopfmittle — Spindelvorderkante)
- k_b = Spitzenabstand zur Bezugsebene des Kegelschneidrades (Einbaumaß)
- d = $c - (a + k_b)$ = Zwischenmaß für den Dorn

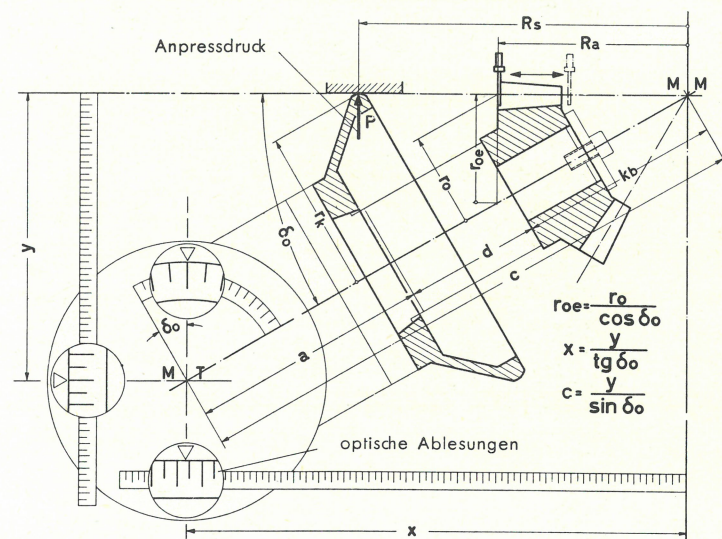
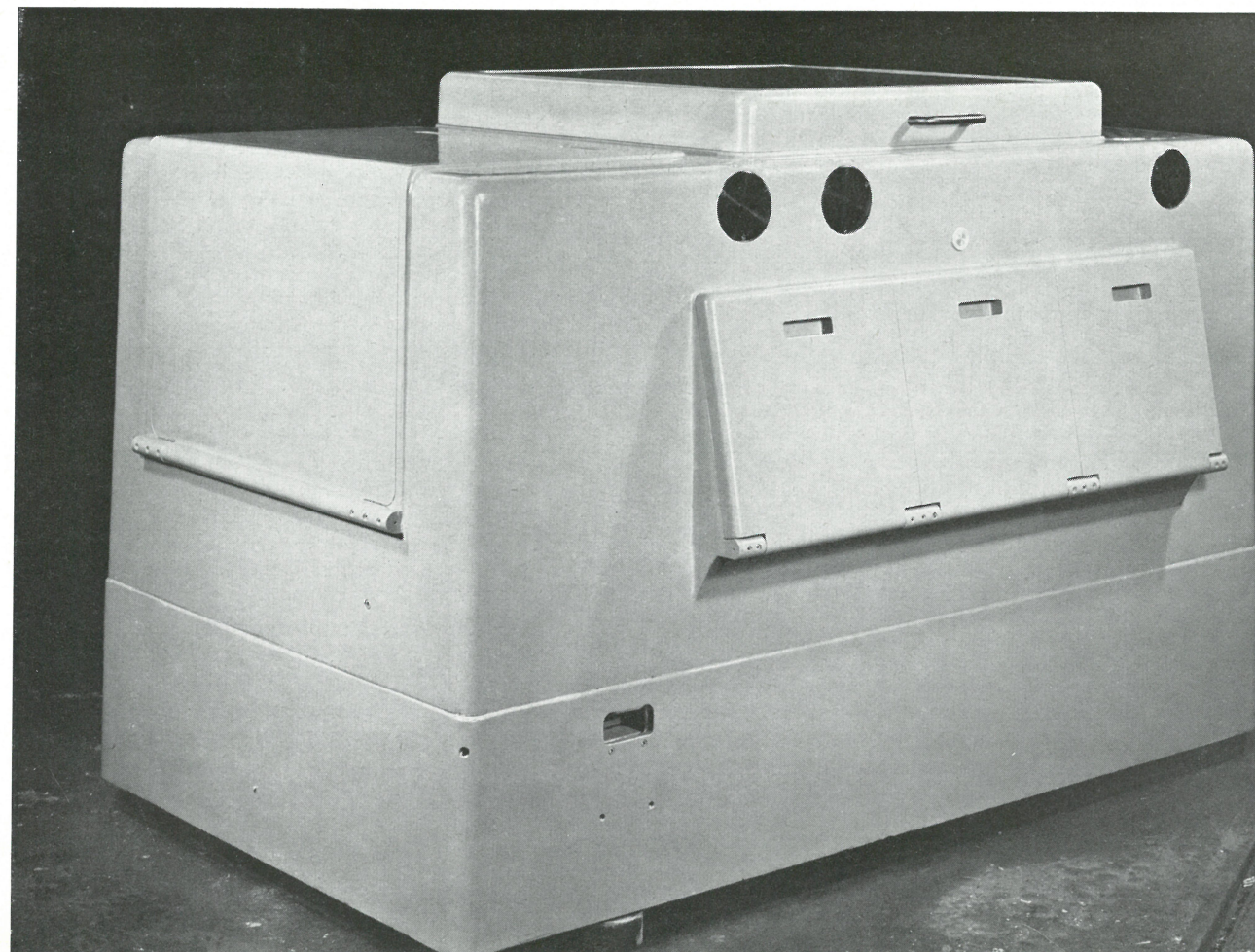


Abb. 3

Abb. 4



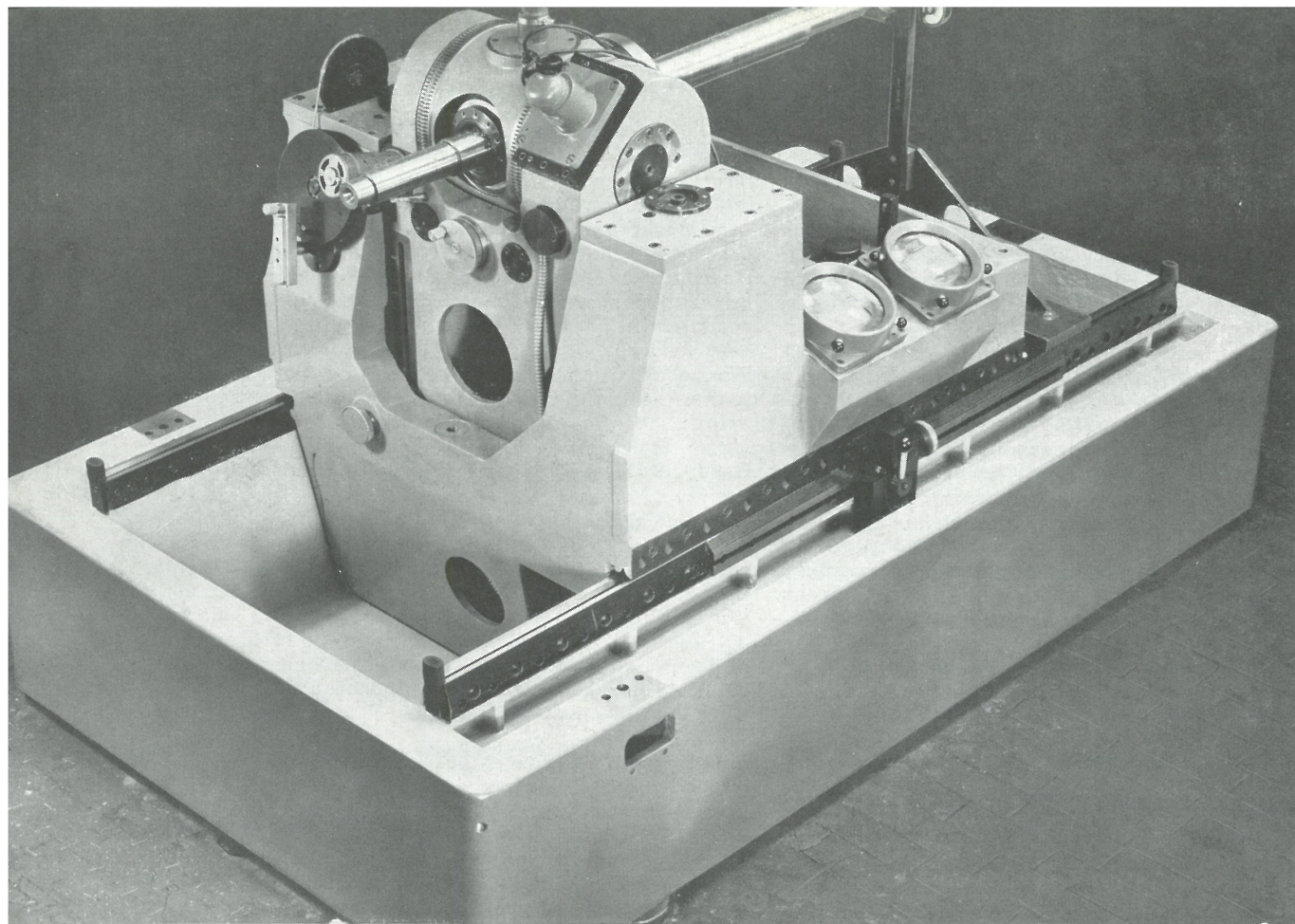


Abb. 5

beiden Projektionsablesungen der x-y-Achsen (Ablesegenauigkeit 0,001 mm) und die Winkelablesung für den Teilkegelwinkel δ_0 (Ablesegenauigkeit 5"). Die optischen Einrichtungen wurden durch die Firma Ernst Leitz GmbH, Wetzlar, eingebaut. Um an dieser Stelle etwas über die erreichte Genauigkeit zu sagen, sei erwähnt, daß an dem Prüfdorn, 1100 mm lang, an der größten Ausladung, 800 mm, ein Rundlauffehler von 1 μ gemessen wurde. Ein Planlauffehler an der Spindelvorderkante war nicht feststellbar (Johannson-Mikrokator). Diese Genauigkeit wurde erreicht durch eine sinnvolle Kombination von Rundschleifarbeiten zwischen festen Spitzen und die Verwendung von Kugeln und Kugelflächen. Die Kugel ist das Maschinenelement, das sich am genauesten und im Grunde auch am einfachsten herstellen läßt. Man denke nur an die Genauigkeit und Billigkeit der Stahlkugeln oder an optische Kugelflächen, deren Genauigkeit innerhalb der halben Wellenlänge des Lichtes liegt, d. h. kleiner als 0,2 μ .

Abb. 6 zeigt einen Blick in die große Montageöffnung. Das Prüfkegelrad und der Wälzkegel sind montiert. Die Laufflächen der Wälzkegel sind in der Originalspindel-lagerung geschliffen worden. Durch die Genauigkeit und sinnvolle Anordnung der Anlageflächen und der Zentrierung, die zum Vermeiden von Spannungen ein elastisches Element enthält, ist es möglich, einen Wälzkegel von ca. 600 mm ϕ mit einer Laufgenauigkeit von 2 \cdots 4 μ zu montieren.

Die Justierung der entsprechenden Meßschneidenflanke auf Maschinenmitte ist mit Hilfe des Justiermikroskops mit Fa-

denkreuzabbildung denkbar einfach. Das Schreibgerät ist längs und quer verfahrbar (Abb. 7).

Abb. 8 zeigt das Gerät in Betrieb. Die Meßschneide wälzt am Zahnkopf der rechten Flanke ein. Die Wälzscheibe ist am Außendurchmesser 650 mm spielfrei gelagert und wiegt mit dem Meßeinsatz ca. 50 kg. Eine Reibkraft von 200 g ist bei der Drehung zu überwinden. Der Meßeinsatz läßt sich herausheben. Er richtet sich auf 3 Punkten selbsttätig und zwangsfrei aus. Übersichtliche Bedienelemente erlauben eine einfache Handhabung.

Abb. 9 zeigt 3 Beispiele von Diagrammaufzeichnungen. Durch Vor- und Rückwärtswälzung sind jeweils 2 spiegelbildliche Aufzeichnungen entstanden. Die leichte Schräglage ist bedingt durch den Aufzeichnungsmechanismus. In Diagramm 1 ist eine gute Übereinstimmung von Wälzung und Eingriffswinkel zwischen Prüfkegelrad und Prüfgerät aufgezeichnet.

Die geneigte Aufzeichnung in Diagramm 2 stellt eine Eingriffswinkelabweichung dar. Diese ist entweder auf eine Wälzabweichung oder eine Eingriffswinkelabweichung des Werkzeuges zurückzuführen.

Das Diagramm 3 zeigt zwar eine gute Übereinstimmung von Wälzung und Eingriffswinkel, hat aber eine Höhenballigkeit (Flankeneinlaufspiel) aufgezeichnet.

Von diesem Gerät ist zu erwarten, daß es die Lücke füllt, die bisher auf dem Gebiet der Kegelradprüfgeräte bestanden hat.

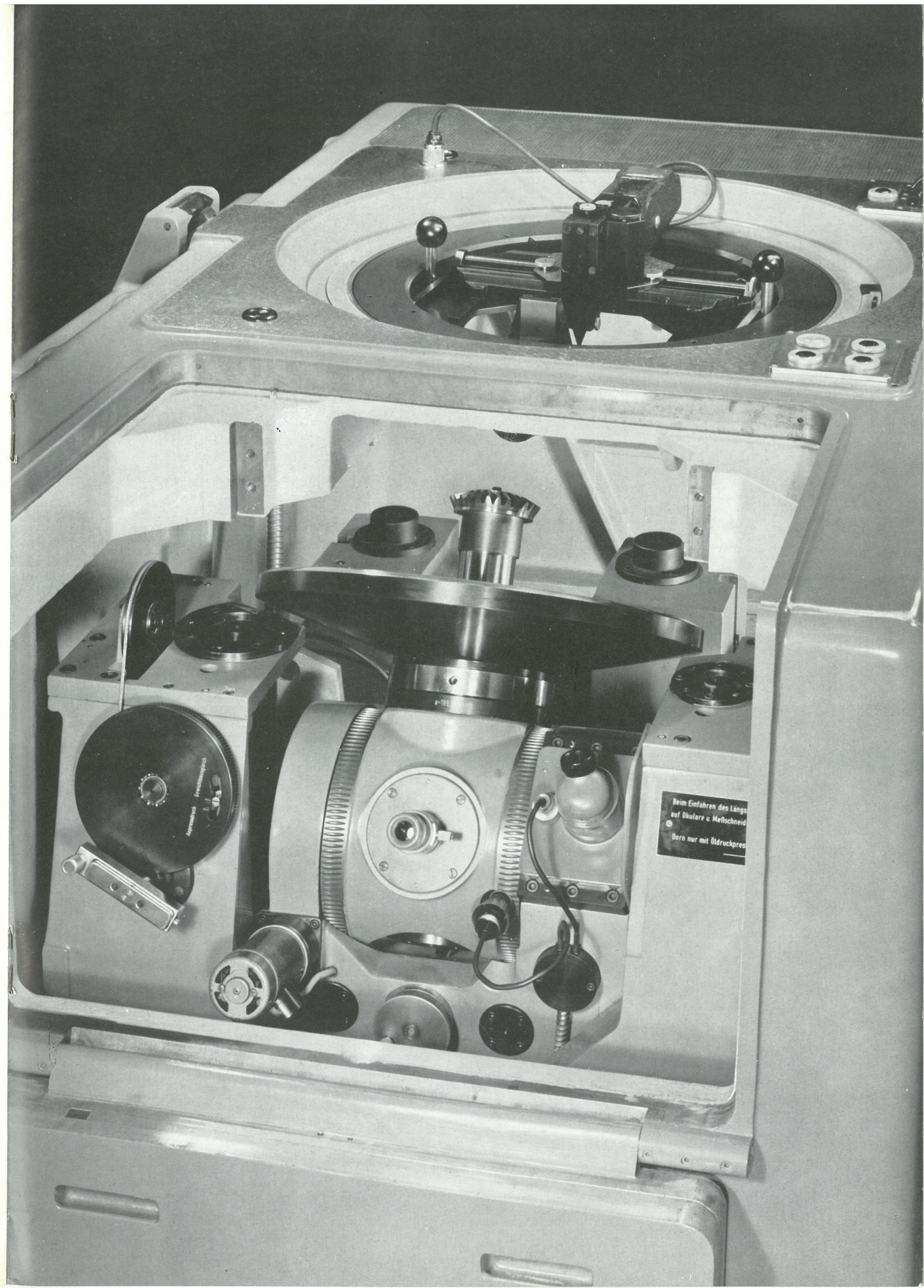


Abb. 7

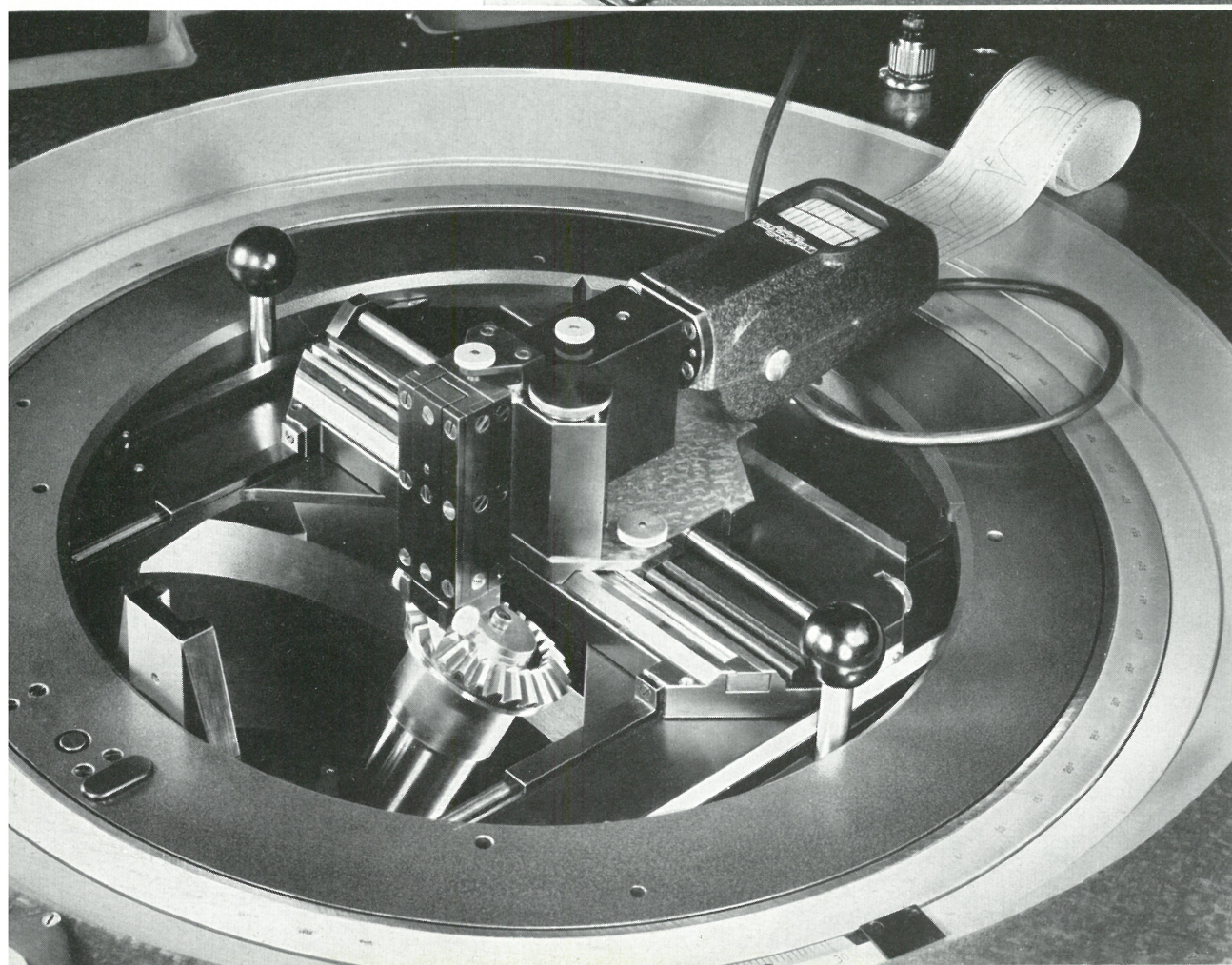
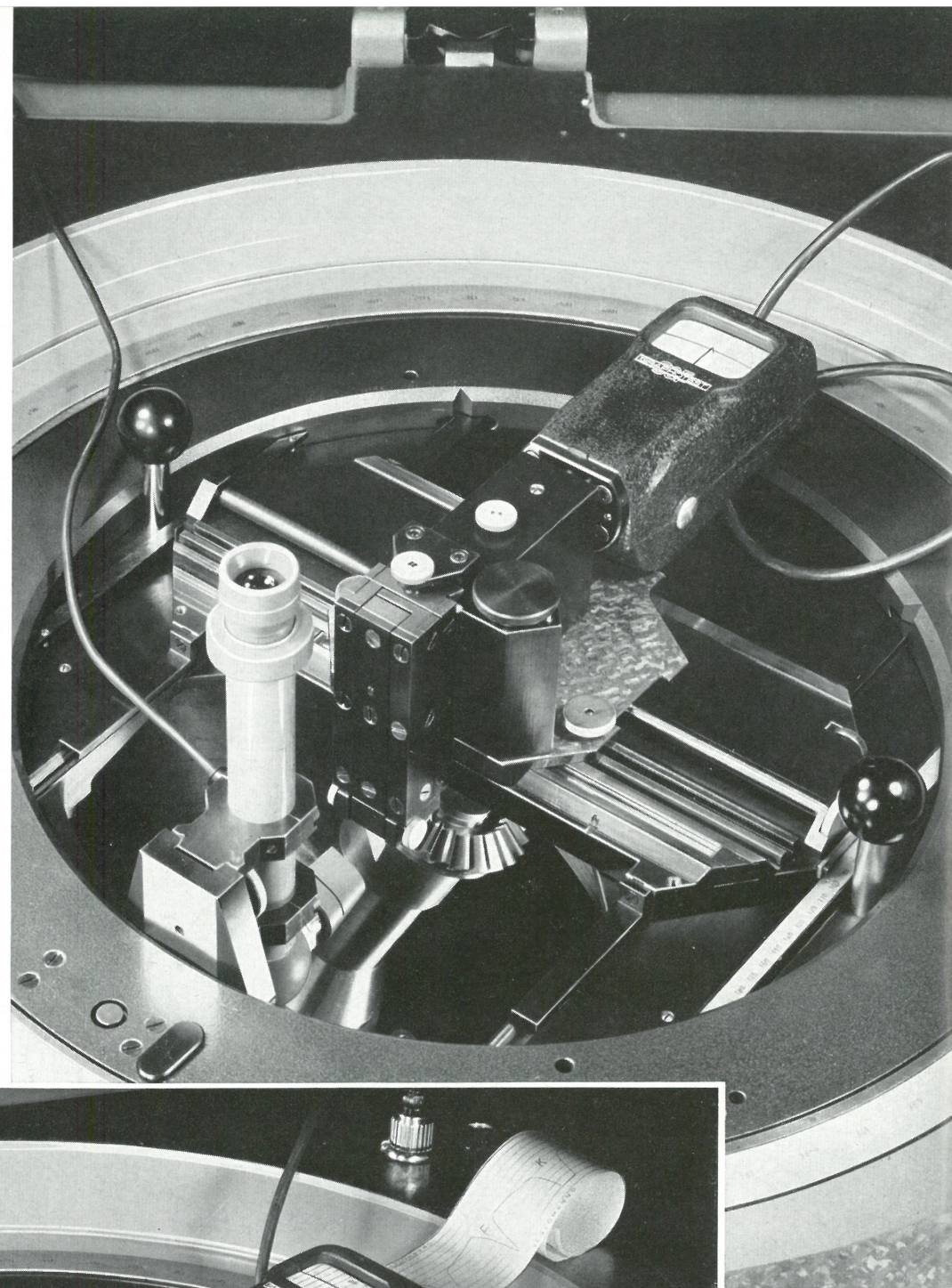


Abb. 8

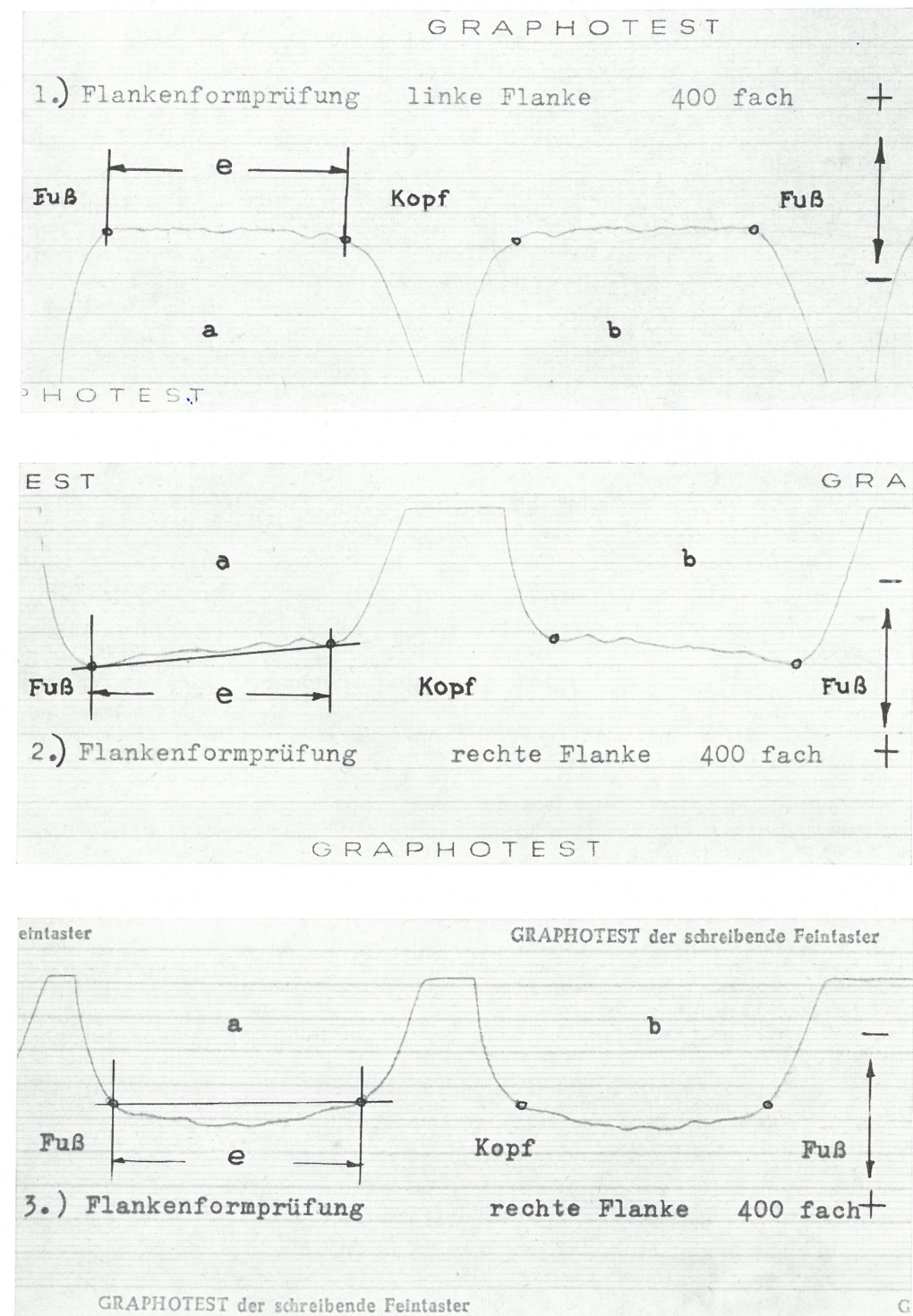


Abb. 9

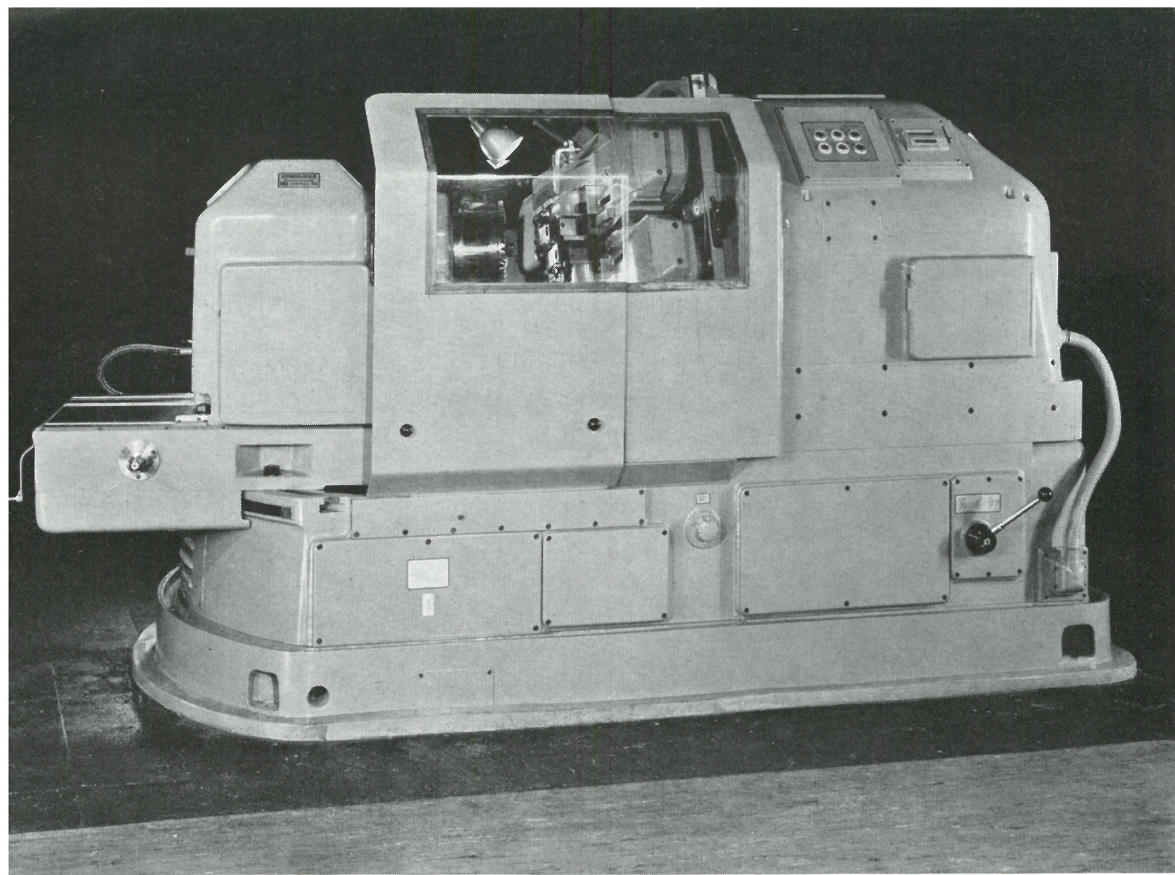


Abb. 1

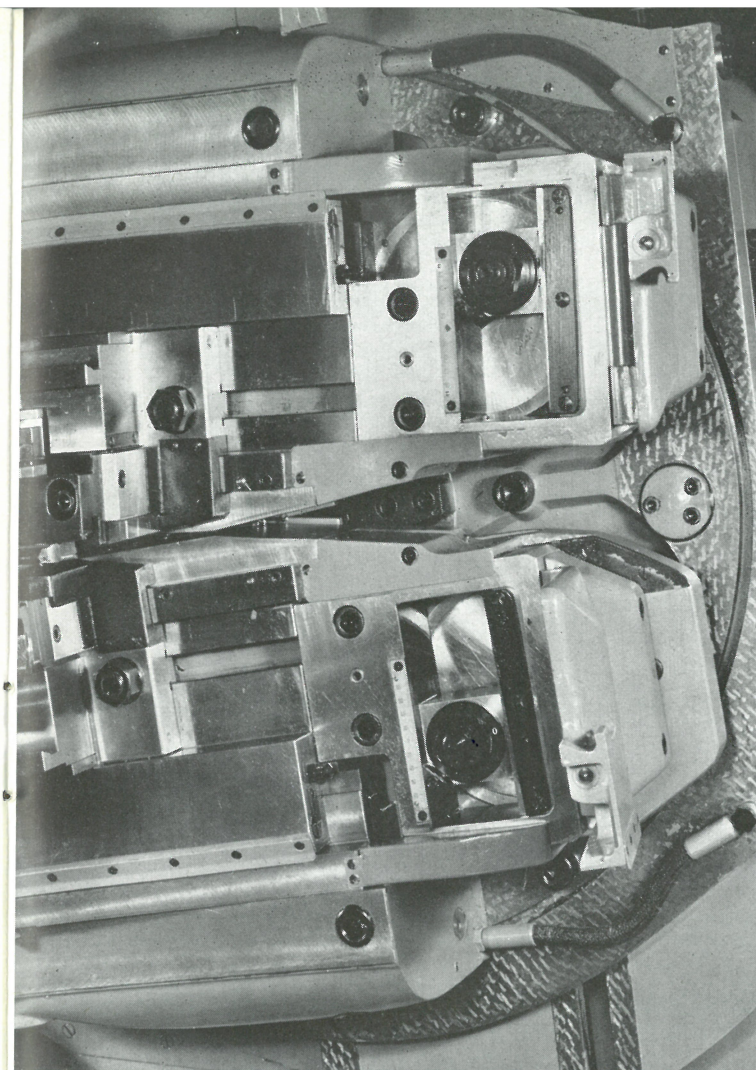


Abb. 3

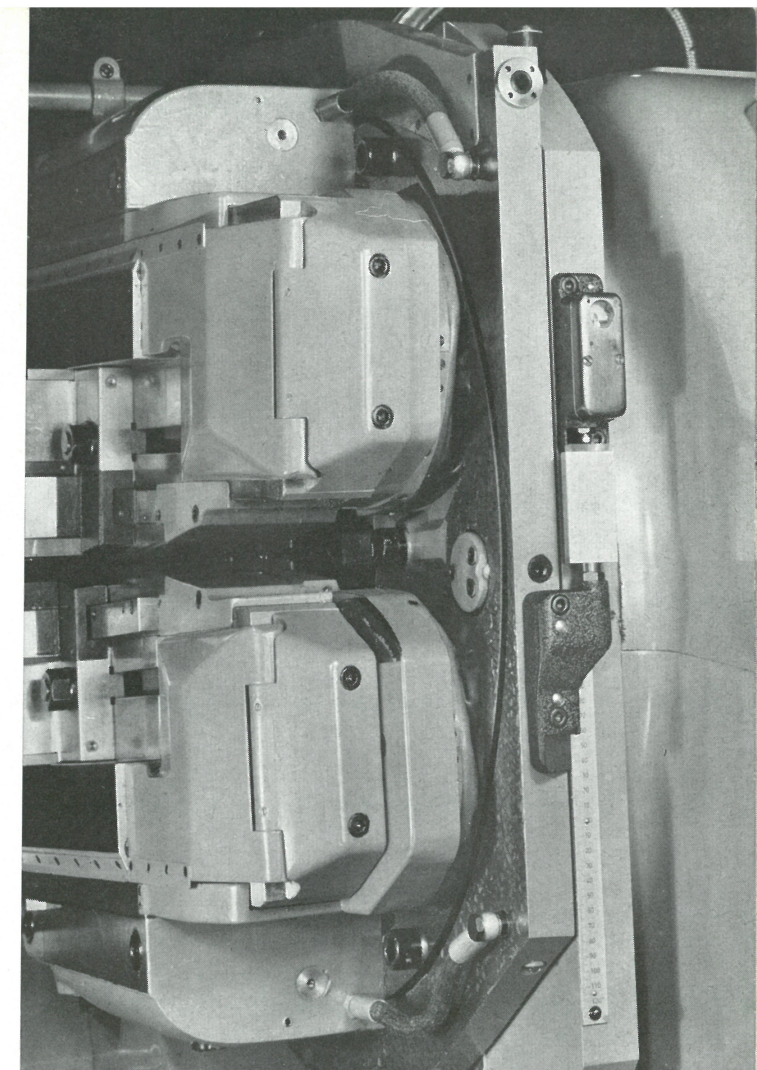


Abb. 4

Faes · Heidenreich & Harbeck, Hamburg

Drei neue Kegelrad-Verzahnmaschinen

Der Kegelradhobler Modell 60 H 4

Bis vor einigen Jahrzehnten ist gelehrt worden, daß Kegelräder als Antriebelemente möglichst vermieden werden sollten. Dies hatte seinen Grund darin, daß Kegelradgetriebe meistens viel Lärm machten. Lärm entsteht dann, wenn beim Lauf Ungenauigkeiten in der Verzahnung in dichter Folge aneinandergereiht werden oder, anders ausgedrückt, wenn durch die Drehzahl die Wiederholung eines Fehlers in einer gewissen Frequenz erfolgt.

Aus Kenntnis dieser Ursache hat man sich bemüht, Verzahnungsfehler, sei es im Rundlauf, in der Flankenform, in der Zahnrichtung oder in der Teilung auf eine Mindestgröße herabzusetzen. Es wurde früher schon betont, daß ein wesentlicher Anteil der Ungenauigkeiten in der Aufspannung zu suchen sei, entweder durch ungenauen Planlauf der Spannflächen oder durch nicht genügende Starrheit von Aufnahme und Werkstück, ganz besonders, wenn beim

Verzahn größere Spanleistungen verlangt wurden. Um auch von seiten der Maschine höheren Forderungen gewachsen zu sein, haben wir erstmalig bei unserem Modell 60 H 4 (Abb. 1 und 2) einen starreren Aufbau gewählt. Der Werkzeugkopf ist schwerer. Auch ist er in seiner Bettführung breiter und länger geworden. Der Wälzkörper, der Träger der Werkzeuge, als Verkörperung des Planrades ist im Inneren des Werkzeugkopfes sehr lang gelagert in gutem Verhältnis zu dem Vorbau, der durch Schrägzahnschieber, Winkelführungen, Stößelführungen, Stößel und Stahlhalter bedingt ist. Der Teilkopf auf seinem Schlitten ist besonders stabil. Die Ringführung des Bettes, auf der er festgespannt ist, stellt durch die starke Verrippung eine verzugsfreie Fläche dar. Durch diese konstruktiven Maßnahmen ist es möglich, eine Verzahnung zu erzeugen, die in bezug auf Genauigkeit den höchsten Ansprüchen genügt.

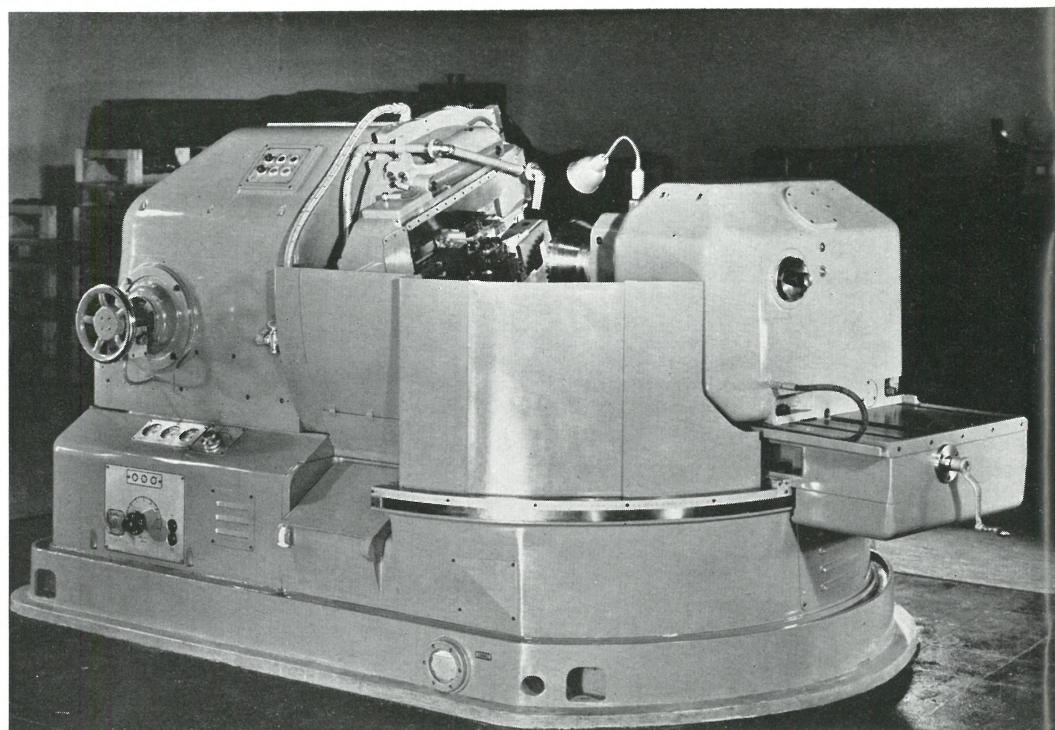


Abb. 2

Die Rationalisierung in den Betrieben erfordert das Herabsetzen aller Leerlaufzeiten, nicht zuletzt, um den Ausfall von Arbeitsstunden durch die verkürzten Arbeitszeiten aufzuholen. Jede einzelne Maschine muß ihren Teil dazu beitragen. Aus dieser Erkenntnis haben wir auch bei unseren Kegelradhoblern die Leerlaufzeiten soweit möglich noch weiter gekürzt. Im Zuge dieser Maßnahme ist die Geschwindigkeit für den Wälzrücklauf erhöht worden, so daß hierfür jetzt weniger Zeit gebraucht wird. Das Teilen, das bisher als zusätzliche Bewegung vor oder nach der Wälzung angehängt wurde, also besondere Zeit gekostet hat, wird nun durch Überlagerung des Wälzrücklaufes mit einem Differentialgetriebe ausgeführt, und zwar so, daß die Wälzgeschwindigkeit im Teilkopf gegenüber derjenigen im Werkzeugkopf so lange verzögert wird, bis die beiden Getriebezweige sich um eine volle Teilung versetzt haben.

Die Zeit für das Teilen verschwindet also völlig. Außer diesem Zeitgewinn wird ein weiterer erzielt durch höhere Spanleistung infolge größerer Starrheit der Maschine und Verlegung der Hubscheibe in die Stößelführung (Abb. 3), weil dadurch die Schnittkräfte innerhalb dieser abgefangen werden.

Es ist bekannt, daß durch Versetzen des Zahneingriffs an beiden Enden eines Zahnes eine günstigere Kraftübertragung stattfindet einmal dadurch, daß die Zähne in ihrer vollen Breite nicht plötzlich in Eingriff kommen, sondern nur allmählich, und außerdem mehrere Zähne an der Übertragung teilnehmen. Es ist einerlei, wie diese Versetzung zustandekommt, ob durch Bogenverzahnung, durch Spiralverzahnung oder wie in unserem Falle durch Schrägverzahnung. Die Eingriffsversetzung um eine Teilung hat sehr gute Ergebnisse gezeitigt. Die Erfahrung hat weiterhin gelehrt, daß dabei auch der Schrägungswinkel eine Rolle

spielt. Es ist zweckmäßig, diesen möglichst über 20° zu wählen, weil dadurch die Geräuscharmut gefördert wird. Dieser Tatsache haben wir Rechnung getragen bei unserer Neukonstruktion. Wir haben eine Schrägzahnschieberverstellung von 120 mm vorgesehen, die auch im ungünstigsten Falle einen Schrägungswinkel von max. 23° ergibt. Mit Endmassen zwischen dem Anschlag am Schrägzahnschieber und Fühlhebelbolzen am Wälzkörper (Abb. 4) läßt sich die genaue Verstellung vornehmen.

Um das Kantentragen auch bei der Schrägverzahnung zu vermeiden, ist auch hierfür die Einrichtung für Balligverzahnung vorgesehen (Abb. 5). Durch die Exzenterzapfen an den Enden einer pendelnden Welle werden zwei konische Leisten hin- und hergezogen, die bewirken, daß die Stößel mit den Stählen während des Hubes eine Querbewegung zum Zahn machen und dadurch eine Balligkeit in Längsrichtung des Zahnes erzeugen. Die Exzenterwelle wird durch ein Stirnrad mit einer Zahnstange, die am Stößel befestigt ist, angetrieben. Die Einrichtung läßt sich stilllegen, wenn Balligverzahnung nicht gewünscht wird, indem das Stirnrad und Zahnstange außer Eingriff gebracht werden.

Die Maschine hat für die gesamten Bewegungen eine elektro-hydraulische Steuerung. Diese arbeitet so, daß die Impulse oder Kommandos elektrisch gegeben werden, während die Ausführung der Bewegungen die Hydraulik übernimmt. Wir sind zu dieser Steuerung übergegangen, weil bei mechanisch-hydraulischer Steuerung die Arbeitsbewegungen als Folge der Temperatur und damit der Viskositätsunterschiede des Öles ungleichmäßig ausgeführt wurden. Bei der Steuerung durch Magnetschieber werden die Arbeitsbewegungen schlagartig eingeleitet, sie sind zuverlässig und nicht temperaturabhängig.

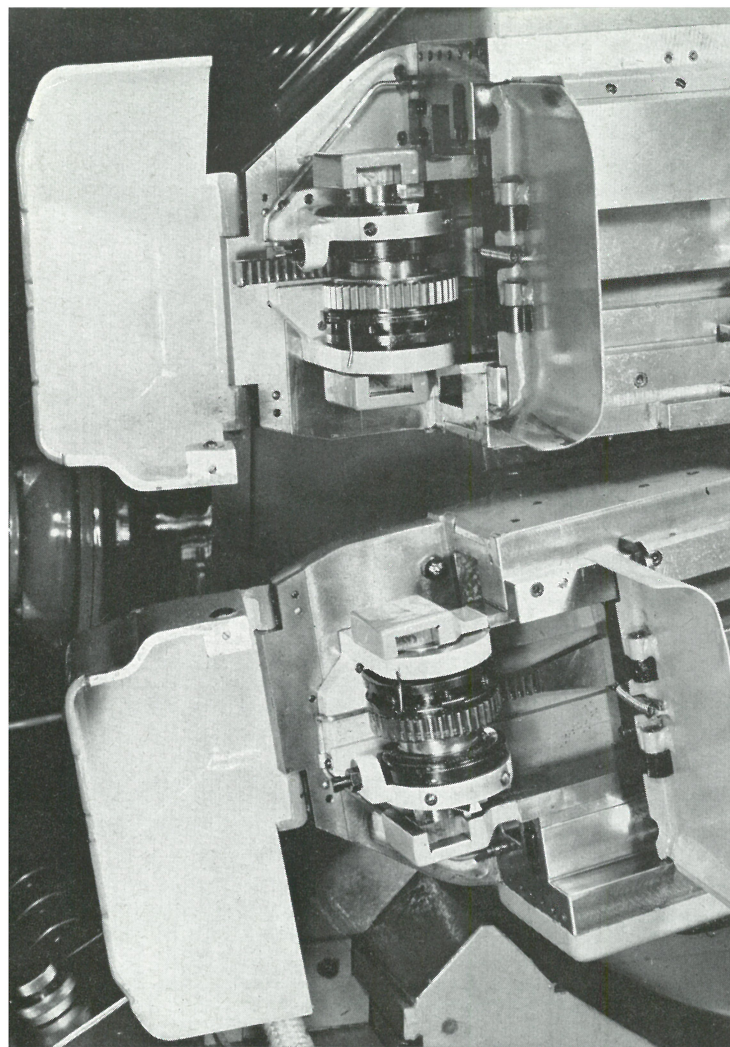


Abb. 5

Eine Ansicht des vollständigen Hydraulikaggregates bei abgenommener Haube zeigt die Abb. 6. Der senkrecht stehende Zylinder im Vordergrund ist das Magnetventil für die Schmierung der Stößel. In gewissen Abständen, die durch ein Zeitschaltwerk beliebig eingestellt werden können, erfolgt von hier aus die Versorgung. Eine Anzahl Kolbenverteiler (Abb. 7) bewirkt, daß jede Gleitbahn einzeln eine dosierte Ölmenge bekommt. Alle übrigen Teile der Maschine werden durch eine Umlaufschmierung mit Öl versorgt, das dem Hydraulikbehälter entnommen wird. Es wird in ein hochliegendes Gefäß gepumpt, von wo es durch Gefälle an die einzelnen Schmierstellen gelangt und wieder in den Sammelbehälter zurückfließt. Bevor es jedoch neu in den Umlauf kommt, muß es ein Spalt- und Magnetfilter passieren.

Um Störungen zu vermeiden, die durch verölte Kontakte entstehen, sind die elektrischen Schalter so untergebracht, daß sie völlig außerhalb des Ölumlauflsystems liegen. Die Schalter der Magnetkupplungen sind im Raum des Hydraulikaggregates angeordnet (Abb. 6). Sie sind am Werkzeugkopf befestigt und überfahren die dahinterliegende Nockenplatte, die neben den Schaltern noch sichtbar ist. Der Impuls zum Einschalten der Kupplung für den Wälzvorschub wird kurz vor dem Gegenfahren des Werkzeugkopfes gegen den Tiefenanschlag gegeben. Der Impuls für die Kupplung des Wälzrücklaufes erfolgt kurz nach der Außereingriffstellung der Werkzeuge beim Zurückfahren.

Die Abb. 8 zeigt die Wälzsteuerscheibe. Diese dreht sich mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie der Wälzkörper. Sie hat auch den gleichen Drehsinn wie dieser bei Ansicht in Richtung auf die Werkzeuge. Dreht sich die Scheibe rechts herum, läuft der Wälzkörper im Wälzvorschub, dreht sie sich links herum im Wälzrücklauf. Die darauf verstellbaren Nocken werden nach einer Gradskala auf die gewünschte Wälzlänge eingestellt, so daß nach Zurücklegen des entsprechenden Wälzwinkels jeweils der Schalter für das Zurückfahren des Werkzeugkopfes bzw. für das Vorfahren in die Arbeitsstellung gedrückt wird. Diese Impulse betätigen Steuermagnete, deren Hydraulikschieber das Öl zum Arbeitszylinder steuern.

Die Abb. 9 zeigt links die Steuerscheibe mit Schalter für das Ein- und Zweifachteilen. Diese Einrichtung gestattet, Zahn um Zahn zu teilen oder, um das sogenannte Zweizahn-schruppen durchzuführen, zwei Zähne gleichzeitig zu teilen. Die Steuerscheibe rechts schaltet die Magnetkupplung, die die Teilbewegung über ein Differentialgetriebe ausführt.

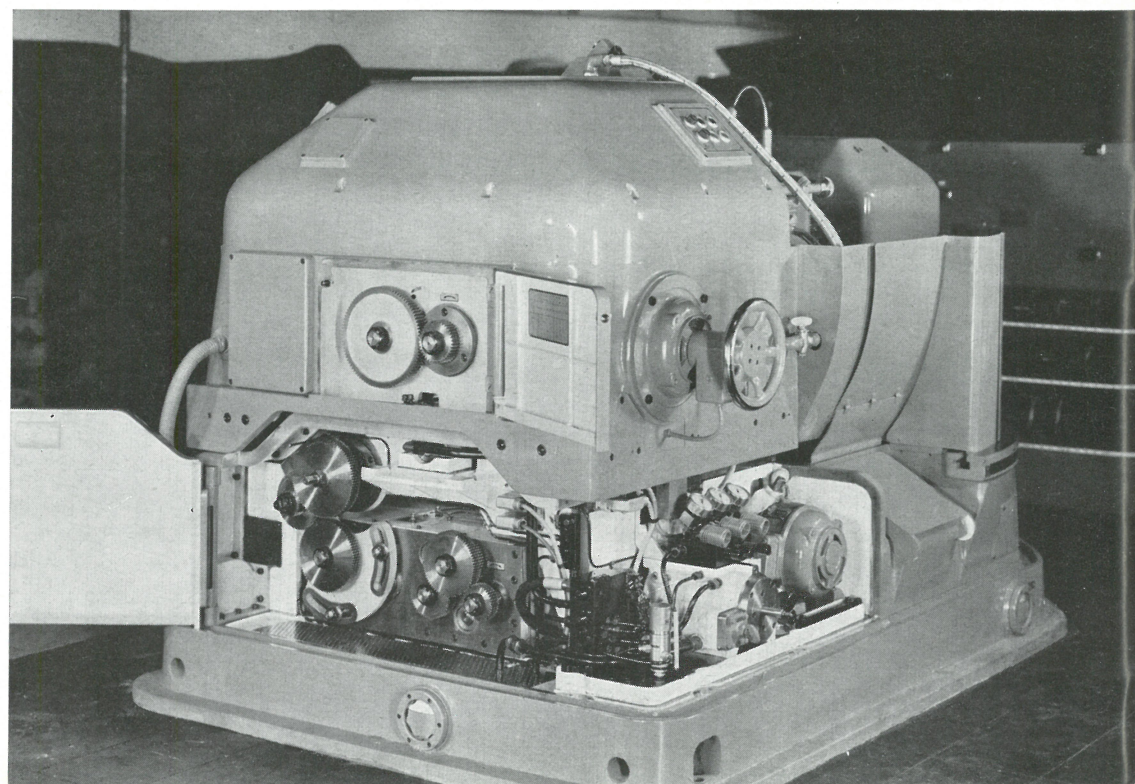


Abb. 6

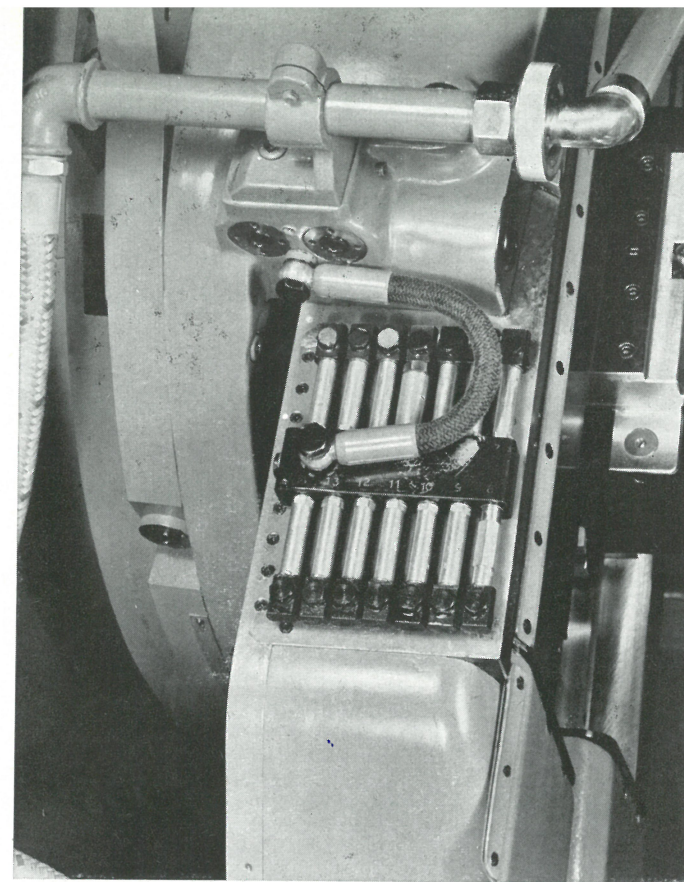


Abb. 7

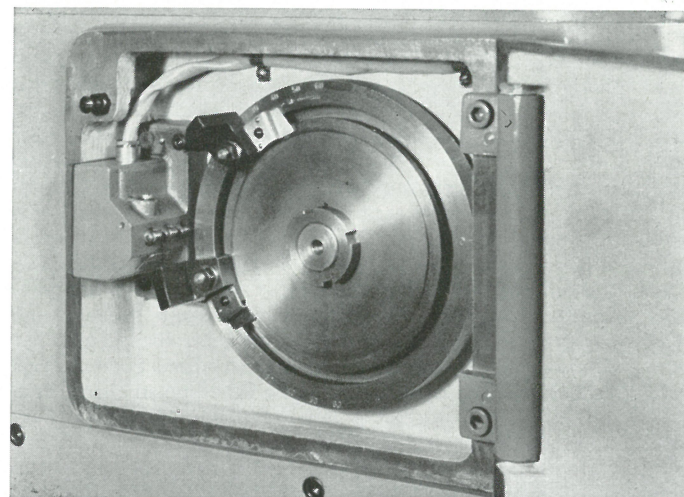


Abb. 8

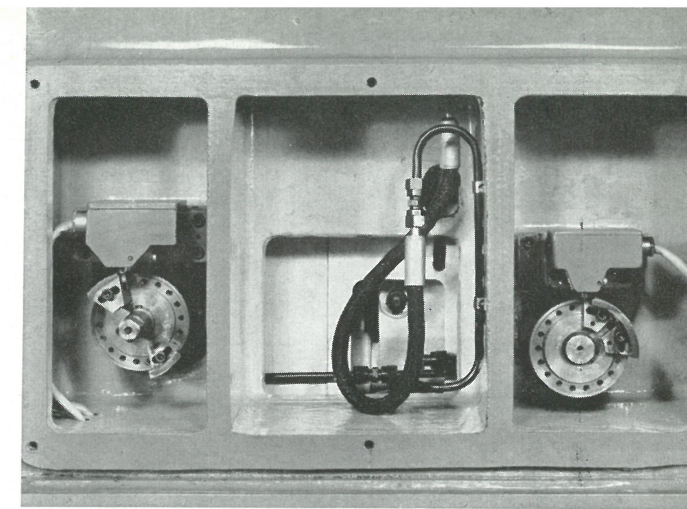


Abb. 9

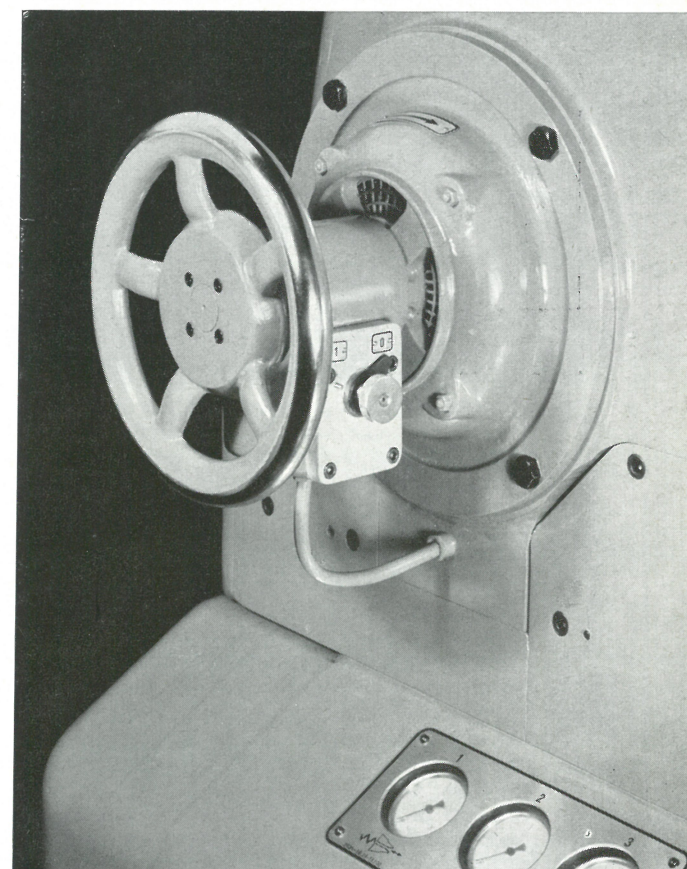


Abb. 10

Beim Einrichten der Maschine muß der Einrichter die Stähle in die Arbeitsstellung bringen können. Dazu dient das Handrad (Abb. 10). Beim Hineindrücken des Handrades wird dieses durch eine Klauenkupplung mit der Motorwelle verbunden, und der Stößel kann damit von Hand beliebig hin- und herbewegt werden, bis der Stahl seine richtige Stellung zum Einrichten hat, jedoch nur, wenn die Sperrung gelöst ist. Um ein unbeabsichtigtes Einkuppeln durch Dagegenstoßen zu verhindern, ist nämlich eine Sperrung eingebaut. Diese wird durch den rechts daneben liegenden Knopf gelöst, womit gleichzeitig der Steuerstromkreis unterbrochen wird. Dadurch kann die Maschine nicht eingeschaltet werden, und eine Gefährdung während des Einrichtens ist ausgeschlossen.

Die hydraulische Kegelradfräsmaschine Modell 60 TF

Unter Verwendung der Hauptbaugruppen des Kegelradhoblers 60 H 4 ist unser Modell 60 TF, eine hydraulische Kegelradfräsmaschine, entwickelt worden. Sie arbeitet nach dem Tauchverfahren. Es werden zwei Scheibenfräser benutzt, die kammartig ineinandergreifen (Abb. 11). Diese tauchen in das Werkstück hinein, ohne eine Bewegung in

Längsrichtung des Zahnes auszuführen. Dies ist möglich bei einem entsprechend großen Durchmesser der Fräser. Die Zahnflanken des Kegelrades werden mit den Stirnseiten der Fräser, die in einer Ebene liegen, geschnitten. Sie sind je unter einem Winkel von 20° geneigt und bilden zusammen die Flanken eines Planradzahnes, ähnlich wie die Schneiden der Hobelstähle. Im Zahngrund entsteht eine bogenförmige Vertiefung, entsprechend dem Radius der Fräser, die für die Festigkeit jedoch ohne Bedeutung, aber für das eventuelle Flankenschleifen notwendig ist, damit die Schleifscheiben im Zahngrund freigehten. Durch die abwechselnd schneidenden Zähne des einen oder des anderen Fräasers ergibt sich ein absolut klemmfreies Arbeiten der Werkzeuge und dadurch, daß ständig ein Werkzeug im Schnitt ist, eine erhebliche Verkürzung des gesamten Schneidvorganges. Dazu kommt, daß durch die kreisende Bewegung der Werkzeuge die Schnittgeschwindigkeit bis an die Grenze des Zulässigen gesteigert werden kann, was eine schnellere Schnittfolge und damit eine weitere Herabsetzung der Bearbeitungszeit pro Zahn zur Folge hat. Günstig auf die Standzeit der Fräser wirkt sich der große Durchmesser aus. Jedes Messer hat nach dem Schnitt während eines ganzen Umlaufes Zeit zum Abkühlen.

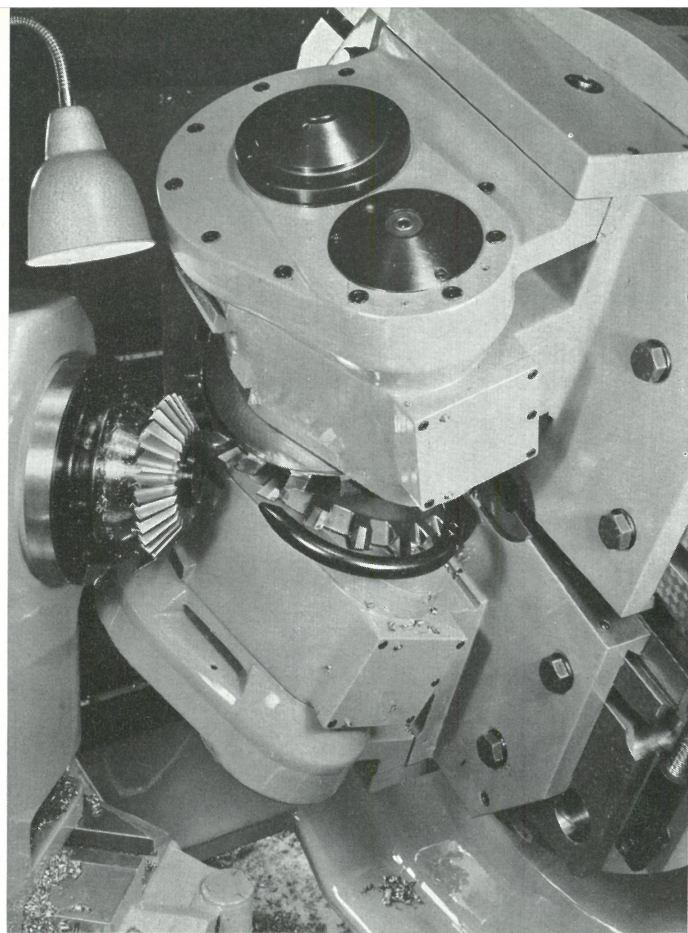


Abb. 11

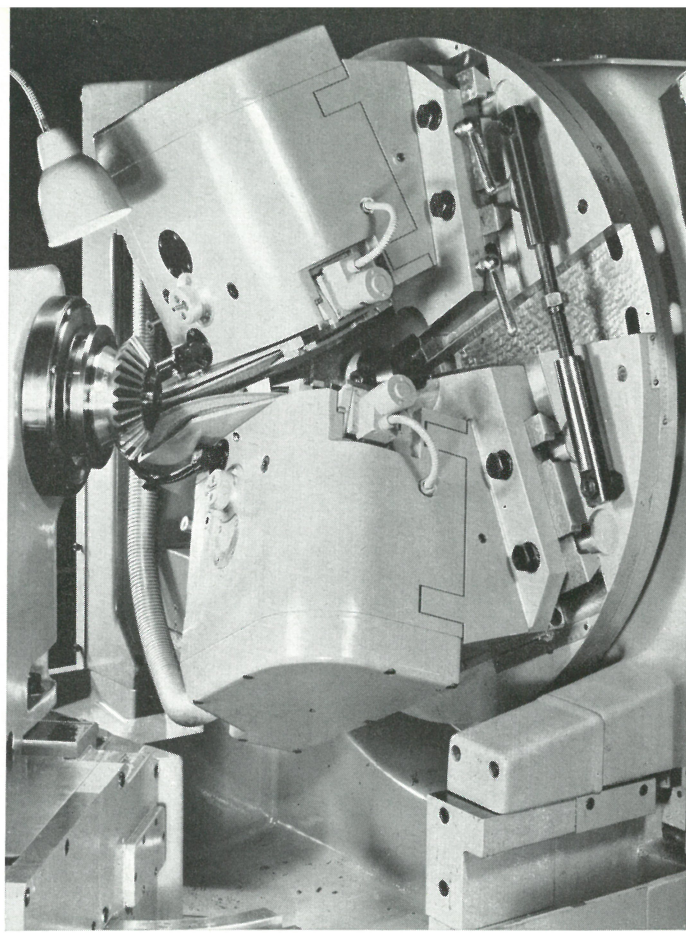


Abb. 12

Genau wie beim Hobeln entsteht auch beim Fräsen eine korrekte Zahnform. Die verschiedenen Eingriffswinkel werden durch Wälzkorrektion erreicht. Während für 20° Eingriffswinkel die Wälzgeschwindigkeit von Rad und Werkzeug im Teilkreis gleich groß ist, wird für größere Eingriffswinkel diese auf der Werkzeugseite verkleinert oder umgekehrt für das Fräsen von kleineren Eingriffswinkeln vergrößert. Das Übersetzungsverhältnis in den Wälzwechselrädern für den Werkzeugkopf wird entsprechend umgerechnet, und zwar auf die gleiche Art, wie dies bekannt ist beim Hobeln mit Stählen von 60° Keilwinkel. Es können gerade Zähne, aber auch solche mit Balligkeit in Längsrichtung der Zähne gefräst werden. Während bei den geraden Zähnen die Schneiden beider Fräser in einer Planebene liegen, bilden die Schneiden der Fräser für die balligen Zähne einen Innenkegel. Die Winkelgröße dieses Innenkegels bestimmt die Größe der Balligkeit und kann beliebig gewählt und dann fest in das Werkzeug gelegt werden. Die Lage der Balligkeit kann durch Verschieben der Scheibenfräser nach Wunsch ausgeführt werden.

Die hydraulische Kegelrad Schleifmaschine Modell 60 TS

Ebenfalls unter Verwendung der Hauptbaugruppen des Kegelradhoblers 60 H 4 ist Modell 60 TS, eine hydraulische Kegelrad Schleifmaschine entwickelt worden. Sie arbeitet ebenso wie die Fräsmaschine im Tauchverfahren. Die Schleifscheiben machen also keine Bewegung in Längsrichtung des Zahnes. Kegelräder schleifen zu können, ist eine Forderung, die im Zuge der Getriebeentwicklung gestellt wurde.

Größere Leistungsübertragung und größere Geräuscharmut machen das Härten und Schleifen der Zähne notwendig, denn nur durch Schleifen kann der unvermeidliche Härteverzug beseitigt werden. Es werden zwei Schleifscheiben benutzt, die unter je 20° geneigt sind (Abb. 12) und deren Schleifflächen zusammen einen Planradzahn

darstellen. Während bei größeren Teilungen die Scheiben in einer Lücke arbeiten, wird bei kleineren Teilungen in zwei Lücken geschliffen. Es wird nicht nur mit der schmalen Randzone, sondern mit dem vollen Stirnrand, dessen Breite der größten Zahntiefe entspricht und der für gerade Verzahnung eine Planebene bildet, geschliffen. Für in Längsrichtung ballige Zähne werden die Scheiben so abgerichtet, daß die Schleifflächen einen Innenkegel bilden. Da der Außendurchmesser der Schleifscheibe im Zahngrund freigehen muß, können, weil die Scheibenfräser den Zahngrund entsprechend bogenförmig ausarbeiten, auf dieser Maschine nur im Tauchverfahren gefräste Kegelräder geschliffen werden. Für gehobelte Räder, deren Zahngrund gerade ist, ist eine Maschine in der Entwicklung, bei der sich die Schleifscheiben mit Stößeln hin- und herbewegen. Die Abnutzung der Schleifscheibe bei unserer Schleifweise ist so gering, daß wir bis zum Abrichten über 100 Zähne geschliffen haben. Dieses erfolgt mit einem Diamanten, der genau in der Nulllage justiert ist, das heißt, die Fläche, die er bestreicht, geht durch die Kegelspitze. Um abrichten zu können, wird die Schleifscheibe erst zugestellt, was von außen durch Drucktaste über einen Magneten ausgeführt wird. Dann wird der Abrichtmotor ebenfalls durch Drucktaste in Betrieb gesetzt. Der Diamant wird auf einer Führung hin- und hergezogen und die Schleifscheibe dabei abgerichtet. Das ist eine Arbeit, die nur Bruchteile einer Minute in Anspruch nimmt und zweckmäßig bei zurückgefahrenem Werkzeugkopf vorgenommen wird. Das zu schleifende Rad wird je nach Zugabe in 3 bis 4 Schleifdurchgängen fertiggeschliffen. Die Zustellgröße für jede Zahnflanke pro Schleifdurchgang beträgt $0,02 \dots 0,04$ mm. Die Scheibenzustellung erfolgt mit dem gesamten Werkzeugkopf in Richtung der Zahntiefe. Um zu verstehen, wie die Scheibenzustellung vor sich geht, muß erst erklärt werden, wie die Tiefenbegrenzung bei der Hobel- und bei der Tauchfräsmaschine ausgeführt ist. Diese besteht aus

feststehenden, gehärteten Anschlägen, gegen die der Werkzeugkopf vorgefahren wird. Sie sind so justiert, daß bei Anlage unter hydraulischem Druck die Ebene der Stahlvorderkante genau in der Kegelspitze, d. h. im Schwenkmittelpunkt des Teilkopfes, liegt. Die Anschläge für die Schleifmaschine hingegen sind verstellbar. Sie können so verstellt werden, daß der Werkzeugkopf in einem gewissen Abstand vor der Nulllage blockiert wird, und zwar in der Lage, in der die Schleifscheiben die mit Zugabe versehenen Zahnflanken eben berühren, was bei laufenden Schleifscheiben daran zu erkennen ist, daß die ersten Funken sichtbar werden. Nun wird festgestellt, um wieviel der Werkzeugkopf insgesamt von der Nulllage entfernt ist, was an einer großen Zustellskalenscheibe ablesbar ist. Aus diesem Maß läßt sich bei einer gewählten Zustellgröße die Anzahl der Schleifdurchgänge ermitteln. Die Zustellgröße wird durch eine Relaiskombination vorgewählt, die Anzahl Schleifdurchgänge durch ein Zählwerk. An der Maschine sind zwei Zählwerke vorgesehen. Mit dem einen wird die Zahnzahl des zu schleifenden Kegelrades eingestellt, genau so wie bei der Hobelmaschine die Zahnzahl des zu hobelnden Kegelrades, mit dem anderen die ermittelte Anzahl Schleifdurchgänge. Dieses letztgenannte Zählwerk bekommt jeweils einen Impuls vom Zähnezählwerk nach jedem beendeten Schleifdurchgang, d. h., wenn alle Zähne einmal geschliffen sind. Gleichzeitig geht dieser Impuls auch an die Zustellautomatik für den Werkzeugkopf. Nachdem dieser in der vorgewählten Zustellgröße vorgeschoben ist, erhält das Zähnezählwerk einen Rückstellimpuls, und das Spiel wiederholt sich solange, bis alle Schleifdurchgänge ausgeführt sind. Bei Beginn des letzten Schleifdurchganges, also wenn alle Scheibenzustellungen ausgeführt sind, leuchtet eine Signallampe auf, und zwar für die Dauer dieses letzten Schleifdurchganges, nach dessen Beendigung der Werkzeugkopf vom Werkstück weg in die Ruhelage zurückfährt.

Um die höchste Genauigkeit aus der Maschine herauszuholen, hat man auf die Spindellagerung besondere Sorg-

falt gelegt. Die gehärtete und geschliffene Schleifspindel läuft in Nadellagern, was einen äußerst genauen Lauf der Schleifscheibe ergibt. Um eine Erwärmung durch Walkarbeit des Öles zu verhindern, ist eine Ölnebel-schmierung vorgesehen. Dieser Ölnebel reicht als Schmierung für Nadellager völlig aus und verhütet, da er unter einem leichten Überdruck steht, das Eindringen von Verunreinigungen in die Lagerung. Damit keine Wärmedehnungen vom Motor auftreten, die Ungenauigkeit in der Verzahnung zur Folge haben könnten, wird das Schleiföl, das die Antriebsmotoren umspült, vorher durch ein Kühlaggregat geleitet, das die Aufgabe hat, mit Hilfe eines Thermostaten eine konstante Temperatur zu halten.

Die Oberflächengüte der geschliffenen Zahnflanken hängt im wesentlichen von der Sauberkeit des Kühllöses ab. Wenn dieses mit Schleifspänen durchsetzt ist und in diesem Zustand immer wieder an die Schleifscheiben geleitet würde, entstünden unsaubere Zahnflanken. Darum ist eine Zentrifuge eingebaut (Abb. 13), die Späne und Scheibenabrieb ausschleudert. Diese Rückstände lassen sich sehr leicht entfernen. Temperaturregelung und Reinigung des Kühllöses sind wesentliche Voraussetzungen für die Güte der Verzahnung. Der Sprühnebel, der durch das Zerstäuben des Öles beim Schleifen entsteht, wird durch einen Niederdruckschraubenlüfter abgesaugt und durch einen mit Stahlwolle gefüllten Behälter gedrückt, in dem sich das Öl abscheidet und dann dem Sammelbehälter wieder zum neuen Umlauf zugeführt wird.

An der Hobel- und Fräsmaschine wird das Einstellen des Rades meistens nach der Teilkegellänge vorgenommen. Eine zweite Einstellmöglichkeit ist außerdem nach dem Einbaumaß durch Maßstab und Nonius vorgesehen. Bei der Schleifmaschine wird in der Mehrzahl der Fälle von der letzteren Gebrauch gemacht. Darum wurde dafür eine Ableseoptik nach Abb. 14 geschaffen. Es ist dies eine Meßlupe mit Beleuchtung, mit der bequem eine Genauigkeit von $0,01$ mm eingestellt und abgelesen werden kann.

Abb. 13

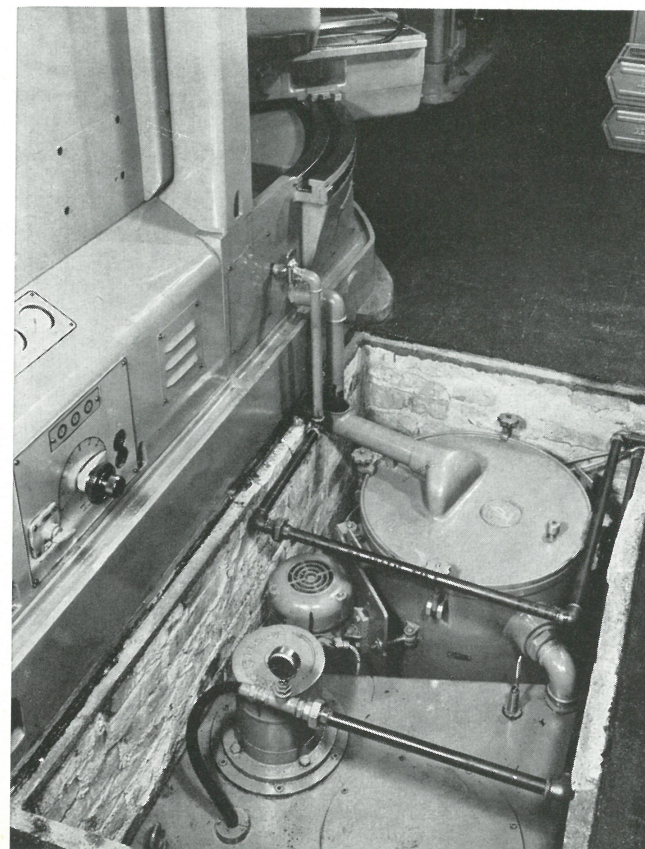
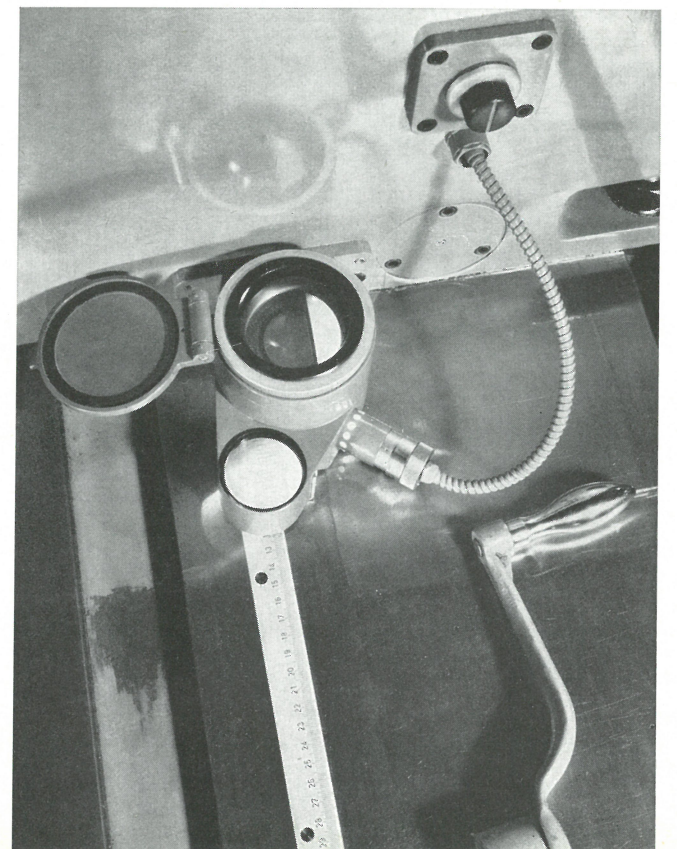


Abb. 14



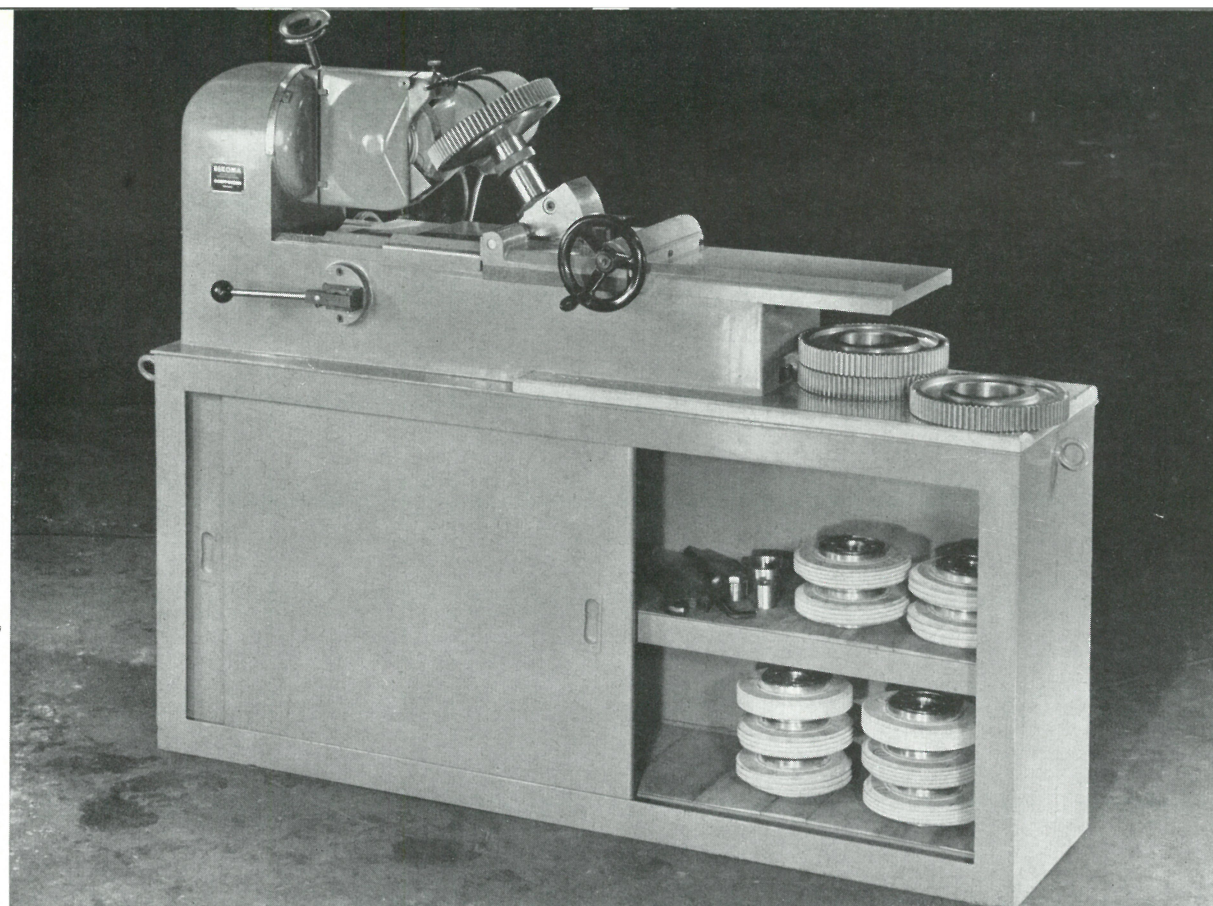


Abb. 1 Boehring-Zahnradentgratmaschine Z 400.

Frey, Gebr. Boehring GmbH, Göppingen

Zahnradentgratmaschine Z 400

Bei allen spanabhebenden Verfahren zur Herstellung von Verzahnungen entsteht an der Werkzeugaustrittsseite ein Grat, der in jedem Fall vor einer weiteren Bearbeitung des Zahnrades entfernt werden muß. In den meisten Betrieben wird noch in langwieriger und deshalb kostspieliger Handarbeit mit der Feile Zahn um Zahn entgratet und doch sieht das Rad nicht einmal sauber aus. Kann aber bei der Vielfalt der möglichen Zahnradformen und den oft geringen Stückzahlen eine Spezialmaschine überhaupt wirtschaftlich sein? —

Die Tabellen und Diagramme in diesem Aufsatz zeigen ein-

deutig, daß bei Verwendung einer BOEHRINGER-Zahnradentgratmaschine Handarbeit in jedem Fall unwirtschaftlich wird. Ja, es lohnt sich, unter Umständen auch einzeln anfallende Werkstücke maschinell zu entgraten. Diese Feststellung wird manchen Betriebsmann überraschen. Berücksichtigt man aber, daß im Durchschnitt für die maschinelle Bearbeitung ca. $\frac{1}{10}$ der Zeit benötigt wird wie für das Entgraten von Hand, dann dürfte damit die Überlegenheit dieser Maschine klar gekennzeichnet sein. Die folgenden Beispiele beweisen, daß mit der Angabe für die Größenordnung der Zeitersparnis keineswegs zu viel gesagt wurde.

Abb. 2 Gratbildung an einem Werkstück, das in einem spanabhebenden Verfahren verzahnt wurde.

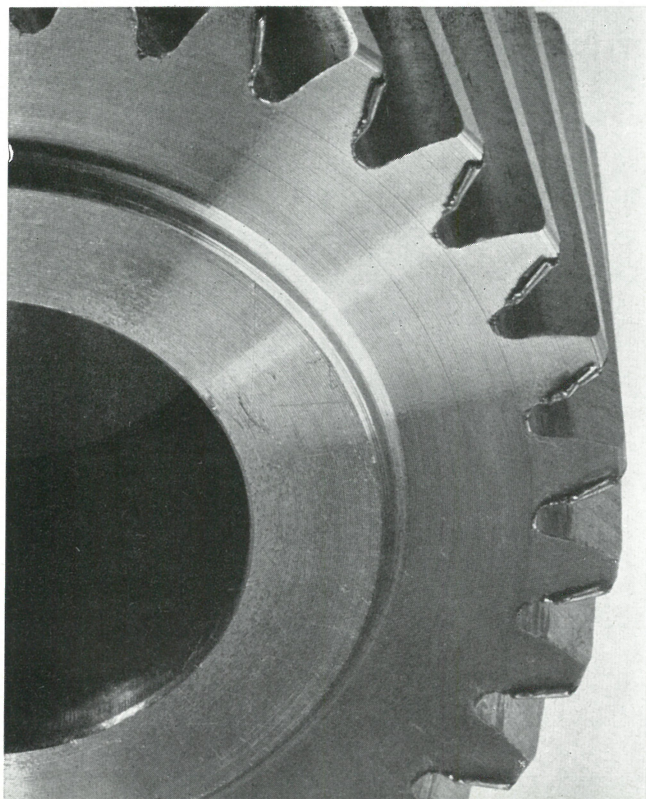
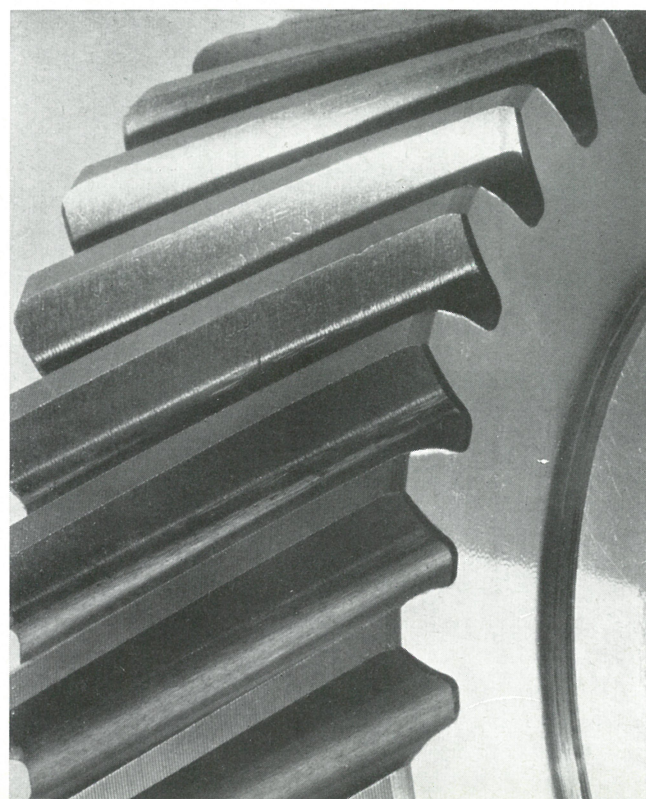


Abb. 3 Maschinell entgratetes Werkstück.



	Z	M	t _e v.H.	t _e m.M.	Ausbringung pro Std.		Verhältnis der Ausbr.
					v.H.	m.M.	
	56	1,75	5,5	0,40	11,0	150	1 : 13,6
	56	2,50	7,3	0,58	8,5	104	1 : 12,2
	28	2,50	2,3	0,32	26,0	188	1 : 7,2
	36	2,75	4,4	0,35	13,6	172	1 : 12,6
	76	3,25	10,9	0,58	5,5	104	1 : 19,0
	80	4,00	41,5	1,4	1,4	43	1 : 30,6
	112	5,50	60	1,1	1,0	54	1 : 54,0
	16 voll 56	2,5	3	0,6	20	100	1 : 5

Z = Zähnezahl
M = Modul
t_e v.H. = Arbeitszeit von Hand
t_e m.M. = „ mit Maschine

Tabelle 1: Entgraten von Zahnrädern, Zeitvergleich zwischen Hand- und Maschinenarbeit.

Beim maschinellen Entgraten ist die Rüstzeit mit Werkzeugwechsel = 4,5 min, oder ohne Werkzeugwechsel = 0,8 min zu berücksichtigen. In den angegebenen Zeiten sind 15 % Verteilzeit enthalten.

Das Umstellen von einem Werkstück auf ein anderes mit gleichem Modul geht sehr schnell. Darüber hinaus ist aber auch ein Werkzeugwechsel, einschließlich der Umstellung von Außen- auf Innenverzahnung und umgekehrt, in wenigen Minuten ausgeführt.

Nun ist für die Beschaffung einer Maschine oft nicht allein ihre vorteilhafte Arbeitsweise entscheidend, sondern man möchte sie auch weitgehend auslasten, um eine möglichst schnelle Amortisation zu erreichen. Aber auch in dieser Hinsicht bringen die sorgfältig durchgeführten Berechnungen sehr günstige Ergebnisse.

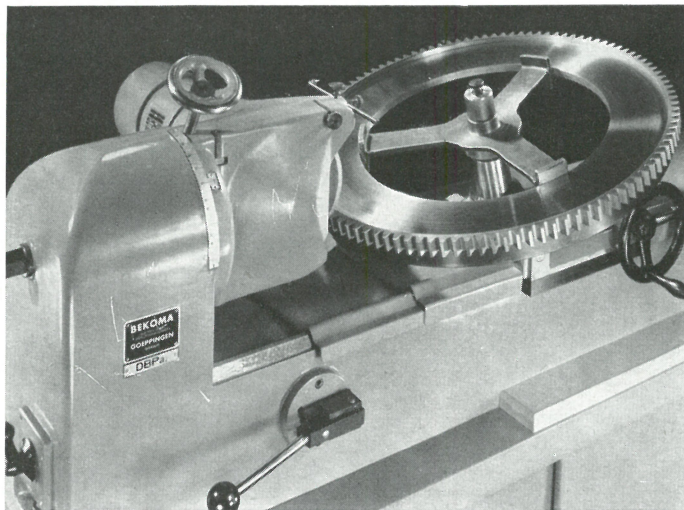


Abb. 4 Entgraten eines Zahnkranzes 610 mm ϕ , Modul 5,5

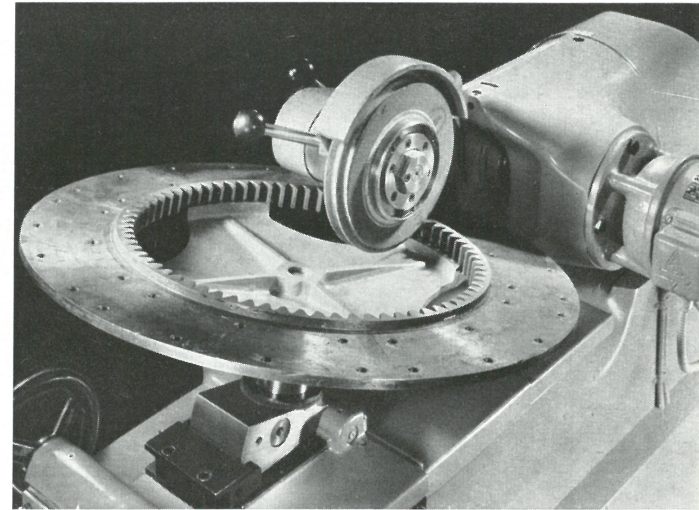


Abb. 5 Entgraten eines innenverzahnten Radkörpers mit Hilfe einer Zusatzeinrichtung, Innenverzahnung 390 mm ϕ , Modul 5,5.

Arbeit	Lohn und Gemeinkosten	Kosten für die Maschine	Summe
1 Stunde Handarbeit	3,60	—	3,60
1 Stunde Maschinenarbeit			
Auslastung 100 % (2400 St/J)	3,60	—,60	4,20
Auslastung 75 % (1800 St/J)	3,60	—,80	4,40
Auslastung 50 % (1200 St/J)	3,60	1,20	4,80
Auslastung 40 % (960 St/J)	3,60	1,50	5,10
Auslastung 30 % (720 St/J)	3,60	2,—	5,60
Auslastung 20 % (480 St/J)	3,60	3,—	6,60
Auslastung 10 % (240 St/J)	3,60	6,—	9,60

Tabelle 2: Kosten je Arbeitsstunde in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad der Maschine.

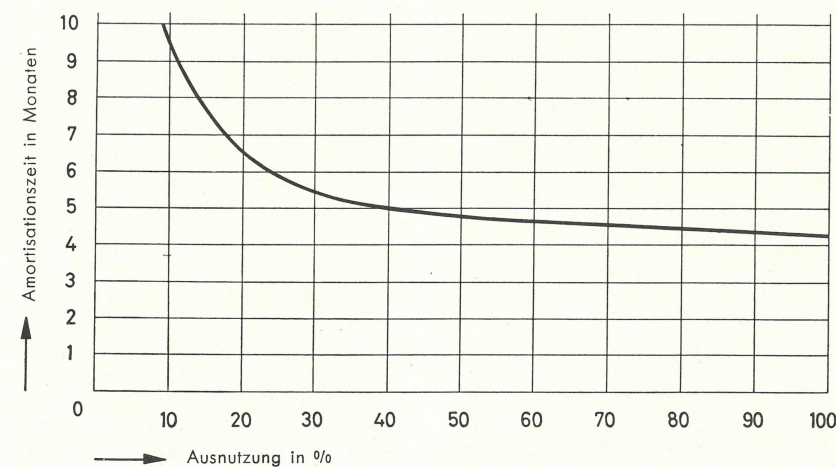


Diagramm zu Tabelle 2

Die Zeitersparnis gegenüber der Handarbeit beträgt, wie oben nachgewiesen wurde, im Durchschnitt 90 %. Wird die Zahnradentgratmaschine voll ausgelastet, so ersetzt sie also 10 Handarbeiter. Dieser günstigste Fall wird natürlich

nur selten auftreten. Daß aber auch bei niedrigem Ausnutzungsgrad die Amortisationszeit sehr kurz ist, zeigt folgende Tabelle:

Ausnutzung	Arbeitsart	Std./Monat	DM/Std.	Summe/Monat	Einsp./Monat	Amort. Zeit in Monat
100 %	m. M.	200	4,20	840	6360,—	0,8
	v. H.	2000	3,60	7200		
75 %	m. M.	150	4,40	660	4740,—	1,1
	v. H.	1500	3,60	5400		
50 %	m. M.	100	4,80	400	3120,—	1,7
	v. H.	1000	3,60	3600		
40 %	m. M.	80	5,10	408	2472,—	2,1
	v. H.	800	3,60	2880		
30 %	m. M.	60	5,60	314	1846,—	2,8
	v. H.	600	3,60	2160		
20 %	m. M.	40	6,60	264	1146,—	4,5
	v. H.	400	3,60	1440		
10 %	m. M.	20	9,60	192	528,—	10,0
	v. H.	200	3,60	720		

Tabelle 3: Amortisationszeit in Abhängigkeit vom Ausnutzungsgrad der Maschine.

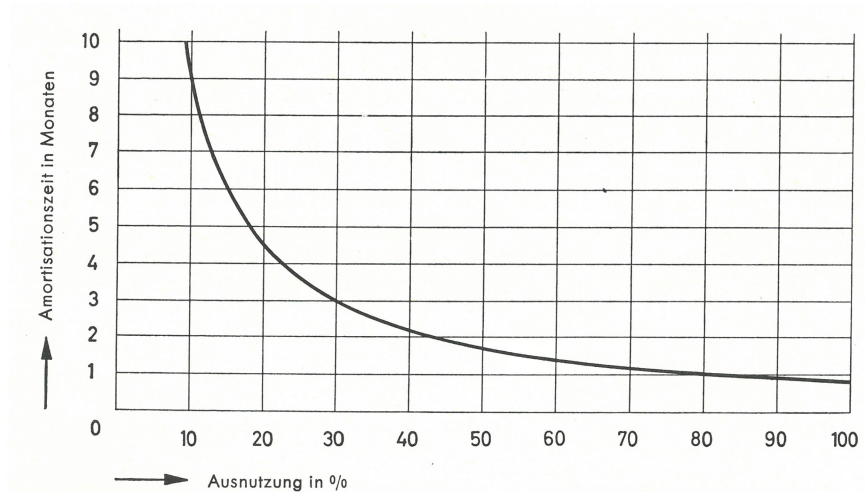


Diagramm zu Tabelle 3

Den Berechnungen wurde ein Maschinenpreis von DM 5 200,— zugrunde gelegt.

Der mögliche Ausnutzungsgrad einer Maschine hängt natürlich auch vom Arbeitsbereich ab, der bei der BOEHRINGER-Zahnradentgratmaschine außerordentlich groß und vielseitig ist.

Es können entgratet werden:

Stirn- und Kegelräder mit geraden und schrägen Zähnen, Modul 1 bis 5,5.

Größte Breite des Werkstückes bei 220 mm ϕ = 160 mm.
Größter ϕ des Werkstückes bei einer Breite von 30 mm = 520 mm.

Größter Schrägungswinkel, links und rechts = 35°, in besonderen Fällen bis 45°.

Mit diesen wenigen Angaben kann der Arbeitsbereich einer Maschine für die Zahradbearbeitung nicht eindeutig festgelegt werden. Wir empfehlen deshalb, sich auch dann mit der Firma Gebr. Boehringer in Verbindung zu setzen, wenn Werkstücke bearbeitet werden sollen, die außerhalb des angegebenen Arbeitsbereiches liegen.

Dem Leser, der sich schon näher mit der BOEHRINGER-Zahnradentgratmaschine beschäftigt hat, wird auffallen, daß der Arbeitsbereich von 25° Schrägungswinkel auf 35° bis 45° erweitert worden ist. Dies ist nicht die Folge einer Neukonstruktion, sondern wird durch entsprechendes Profilieren der Schleifschnecke und durch anderes Einstellen des Werkstückes bewirkt. Der Schleifkopf wird jetzt nicht mehr zum Bearbeiten von Schrägstirnrädern geschwenkt (Bild 6).

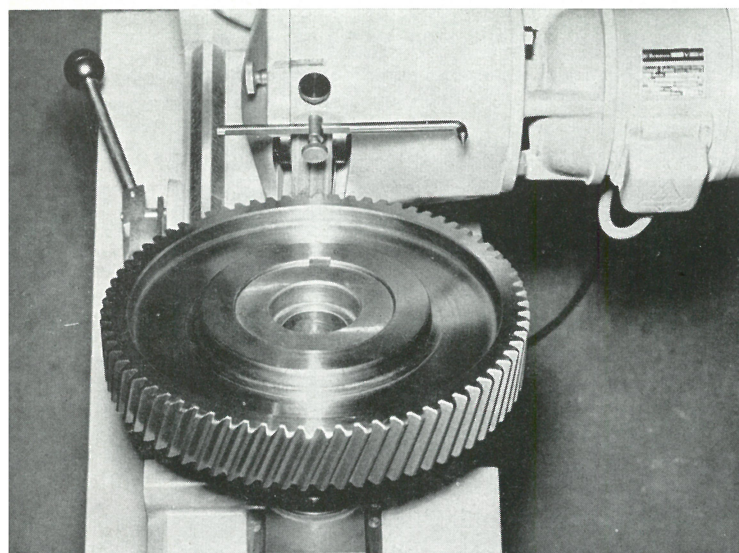


Abb. 6 Entgraten eines Schrägstirnrades 350 mm Φ , Modul 3,5. Der Schleifkopf wird hierzu nicht geschwenkt.

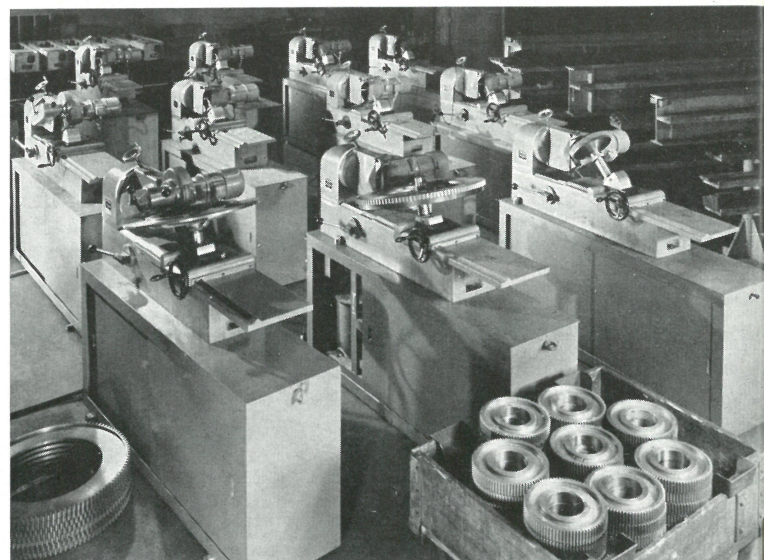


Abb. 7 Die Boehringers-Zahnradentgratmaschine wird in Serien gefertigt. Teilansicht der Montage.

Für die Arbeitsweise der Maschine sind folgende Merkmale kennzeichnend:

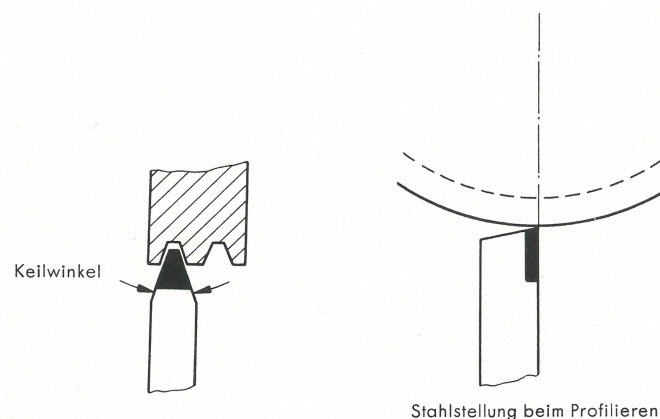
Als Werkzeug dient eine Schleifscheibe mit Schneckenprofil, das mit der Zahnform und dem Modul des Werkstückes übereinstimmen muß.

Während des Entgratens greifen die Zähne des Werkstückes in die Profalnuten der Scheibe. Dreht sich die Schleifscheibe, dann bewegt sich auch das Zahnrad gleichmäßig entsprechend der Größe des Moduls weiter und alle Zahnkanten, einschließlich Zahngrund, werden leicht angefast. Die Fasenbreite kann entsprechend den an das Werkstück gestellten Anforderungen individuell bestimmt werden. Es handelt sich beim Entgraten also um ein leichtes Brechen der Kanten. Der Vorgang ist deshalb nicht mit dem Abrunden der Zahnkanten für Schalträder zu vergleichen. Die Schleifscheibe wird mit einem Formstahl auf einer handelsüblichen Drehbank profiliert. Dazu muß die Scheibe

auf einen Drehdorn aufgenommen und dann zwischen Spitzen gespannt werden. Dies ist notwendig, damit in jedem Fall eine hohe Rundlaufgenauigkeit erreicht wird. Zum Profilieren dient am besten ein Drehmeißel mit Hartmetall H1 oder G1. Die Drehzahl soll zwischen 25 U/min und 30 U/min liegen. Pro Schnitt beträgt die Meißelzustellung ca. 1 mm. Die letzten 3 bis 5 Schnitte sind Schlichtschnitte, bei denen je nach Größe des Moduls nur noch 0,2 mm bis 0,3 mm zuzustellen sind.

Die genauen Angaben über die Stahlform sind in den jeder Maschine beigegebenen Unterlagen zu finden. Hier nur einige Richtwerte:

Für Geradstirnräder mit einem Eingriffswinkel von 20° beträgt der Eingriffswinkel der Schleifschnecke und damit der Keilwinkel des Drehmeißels ca. 54° . Zum Entgraten von Schrägstirnrädern wird der Keilwinkel entsprechend dem Schrägungswinkel korrigiert (Skizze).



Die BOEHRINGER-Zahnradentgratmaschine hat sich außer in den Großbetrieben vor allem in mittleren und kleinen Betrieben viele Freunde erworben. Dort wo man seither ausschließlich auf Handarbeit beim Entgraten angewiesen war, ist die Maschine zu einem in jeder Hinsicht wirtschaftlich arbeitenden, unentbehrlichen Helfer geworden.

Die zur Zeit gültigen VDF-Prospekte

VDF-SAMMELPROSPEKT	VDF 106/1 **
VDF-EINHEITSDREHBÄNKE TYP S	VDF 98/1 **
VDF-EINHEITSDREHBÄNKE TYP E/V	VDF 102/1 *
VDF-DREHBÄNKE 18 RO/21 RO	VDF 104 **
VDF-DREHBÄNKE 36 UND 44	VDF 118 *
VDF-DREHBÄNKE E 700/E 800	VDF 119 ***
VDF-DREHBÄNKE W 35 - W 45, R 210 - R 360	VDF 120 ***
VDF-DREHBÄNKE E 1000/1200	VDF 121 ***
VDF-DREHBÄNKE W 50/W 57, E 1400 - E 2000	VDF 122 ***
VDF-DREHBÄNKE E 13 - E 18	VDF 123 ***
VDF-DREHBÄNKE 1400 B	VDF 124 ***
VDF-REVOLVERDREHBÄNKE	VDF 107 *
VDF-KOPIERDREHBÄNKE UNICOP	VDF 105 **
VDF-KOPIEREINRICHTUNG HYDROKOP	VDF 116 *
VDF-TIEFLOCHBOHRBÄNKE	VDF 96/1 *
VDF-TIEFLOCHBOHRBÄNKE	VDF 117 **
VDF-SONDERAUSRÜSTUNGS-PROSPEKT	VDF 115 **

... und Prospekte der Sonderprogramme

HOBELMASCHINEN-KATALOG	A 300 *
HOBELMASCHINEN-KURZPROSPEKT	A 301 *
BOEHRINGER-REVOLVERDREHBÄNKE	A 155 *
KURBELWELLEN-DREHBÄNKE	A 785 *
KURBELWELLEN-DREHAUTOMATEN	A 784 *
SCHNELLWECHSELSTAHLHALTER	A 800 *
KEGELRADHOBBLER MODELL 12 KH	NR. 3339 **
HYDRAULISCHE KEGELRADHOBBLER, MODELL 26 H/60 H	NR. 3323 **
KEGELRADHOBELMASCHINE MODELL 75 KH	NR. 3340 **
KEGELRADHOBELMASCHINE NACH DEM SCHABLONENVERFAHREN, MODELL 160 K	NR. 3313 **

... fordern Sie bitte an

bei

* **GEBR. BOEHRINGER GMBH**
GÖPPINGEN (WÜRTTEMBERG)

** **HEIDENREICH & HARBECK**
HAMBURG 33, WIESENDAMM 30

*** **H. WOHLBERG KG**
HANNOVER, POSTFACH 409

GEBR. BOEHRINGER GMBH



HEIDENREICH & HARBECK · H. WOHLBERG KG