

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières
Herausgeber:	Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres
Band:	34 (1936)
Heft:	9
 Artikel:	Ueber Achsen der astronomisch-geodätischen Instrumente und deren Schmierung
Autor:	Smirnoff, K.N.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-195973

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

den sind. Solche geschlossene Hofstätten sind daher dem bisherigen Besitzer wieder zuzuteilen. Dem bereits zitierten Art. 87 Abschn. 3 des Gesetzes ist in dieser Hinsicht wörtlich nachzuleben.

3. Für bernische Verhältnisse spielt bei der Güterzusammenlegung aber namentlich *der* Fall eine Rolle, wo auf einem Grundstück nur einzelne Obstbäume stehen. In dem Fall ist es angezeigt, sich auch bei uns an denselben Grundsatz zu halten, wie ihn Kulturingenieur Weber für den Kanton Thurgau mitteilt, nämlich:

„Dem neuen Besitzer werden die auf der Parzelle stehenden Obstbäume mit der Parzelle zugeteilt. Es gelten für die Annahme der Bäume dieselben Zwangsbestimmungen wie für den Boden, immerhin soll die Zuteilung von Baumwerten gegenüber dem alten Zustand nicht unverhältnismäßig große Differenzen ergeben.“ Der neue Besitzer muß also die Obstbäume annehmen; die dem alten Besitzer zu leistende Entschädigung geht zu Lasten des neuen Besitzers. Aus diesem Baumabtausch sollen der Genossenschaft keine Entschädigungsbeiträge erwachsen; einzig gewisse Differenzen in den Werten kann die Genossenschaft tragen, um dadurch den Baumabtausch erleichtern und allfällige Härten mildern zu helfen.

In gewissen Fällen, wo der alte Besitzer eine größere Zahl gut tragender Obstbäume verliert und im neuen Zustand dann tatsächlich keine oder viel weniger Bäume hat, ist die Lösung hin und wieder so getroffen worden, daß dem alten Besitzer während einer Anzahl Jahre (ca. 10) das Nutzungsrecht an seinen bisherigen Bäumen eingeräumt wird. Dies in der Meinung, daß auf der neuen Parzelle Obstbäume gesetzt werden, die nach Ablauf des Nutzungsrechtes auch bald einen Obst-ertrag liefern.

(Schluß folgt.)

Ueber Achsen der astronomisch-geodätischen Instrumente und deren Schmierung.

Allgemeines.

Die Technik der Schmierung der Achsen astronomisch-geodätischer Instrumente ist auf den komplizierten Vorgang des Einölen von Frikionsflächen zurückzuführen. Es sind hierbei sämtliche, die flüssige Friktion gewährleistenden Verhältnisse, sowie die bis zu einem bestimmten Grade hinreichende Herabminderung der Friktion, sowohl in Hinsicht der Schmiere selber, als auch der einzuschmierenden Instrumententeile, zu berücksichtigen. Durch Schmierung sucht man die Friktion durch Gleiten, also durch einen Deformationsvorgang des Schmiermittels, keineswegs aber des harten Körpers selber (wie dieses bei Friktion durch Schwingung der Fall wäre) herabzusetzen. Es dürfen somit zeitweilig bloß die beiden Grundarten der Friktion durch Gleiten näher betrachtet werden.

1. *Halbflüssige Friktion.* Die in Frage kommenden Körper sind über den größten Teil ihrer Kontaktflächen durch eine Oelschicht voneinander getrennt; bloß an einzelnen Stellen ist ein direkter Kontakt der Körperoberflächen durch Verdrängung des Schmieröls zustandegekommen, daselbst unterliegt der Friktionsvorgang dem Coulomb-Newton'schen Gesetz für die Friktion flüssiger Körper.

2. *Flüssige Friktion.* Es findet überhaupt kein Kontakt zwischen den harten Körpern statt.

Für die Achsen von Instrumenten wäre die flüssige Friktion in der Regel zu verlangen; unter Umständen dürfte man sich mit der halbflüssigen Friktion zufriedenstellen, keineswegs aber mit der trockenen oder halbtrockenen. Die flüssige Friktion müßte als „ideal“, sowohl in Hinsicht des Ganges der Instrumententeile, als in Hinsicht des Kraftaufwandes (letzterer herabgemindert bis auf 90%) aufgefaßt werden.

Das Berechnungsprinzip für flüssige Friktion ist auf die *hydrodynamische Theorie* zurückzuführen.

Der Reibungsvorgang im Lager ist durch Petrow zu einem mathematischen Ausdrucke gebracht worden¹. Späterhin ist die Auffassung zu einer neuen Sommerfeld'schen Theorie verarbeitet, wieder erschienen. In endgültiger, durch experimentale Forschung nachgewiesener Form, ist uns die hydrodynamische Theorie durch Gumbel² etwa 1922 überliefert worden.

Die hydrodynamische Theorie fußt auf dem bekannten Newton'schen Gesetze, nämlich:

$$W = Z \cdot F \cdot \frac{V}{H} \text{ kg}$$

mit Z — als absolute Zähigkeit des Schmiermaterials in kg sek/m²

» F — als Flächengröße beider Flüssigkeitsschichten in m²

» H — als Abstand zweier parallel zueinander sich verschiebender Schichten in m

» V — als Geschwindigkeit in m/sek

» W — als Verschiebungswiderstand

Wenn die in Frage kommenden Körper zu keinem direkten Kontakt gelangen, sondern durch eine Schmierschicht voneinander getrennt bleiben, so kann eine Bewegung zustandekommen, falls (wie dies durch Versuche bestätigt wurde) das Uebereinandergleiten einzelner Flüssigkeitsschichten gewährleistet ist, insofern das Anhaften von Flüssigkeit am harten Körper bedeutend zäher ist als das Zusammenhaften der Flüssigkeitsmoleküle.

Das Grundgesetz der flüssigen Reibung lautet:

$$\mu = \frac{Z \cdot V}{n \cdot Pm}$$

¹ Prof. H. Petroff, Neue Theorie der Reibung. Urschrift russisch 1883.

Prof. Sommerfeld. Zur hydrodynamischen Theorie der Schmiermittelreibung. Zeitschr. für Math. und Physik 1904.

Gumbel-Everling, Reibung und Schmierung im Maschinenbau.

² Gumbel-Everling, Einfluß der Schmierung auf die Konstruktion, 1917 Berlin, und andere Arbeiten des Verfassers.

mit Z — als absolute Zähigkeit abhängig von der Beschaffenheit der Schmierung und veränderlich mit der Temperatur; V — als relativer Geschwindigkeit (abhängig von den kinematischen Bedingungen der Arbeit des Mechanismus);

mit P_m — als spezifischem Druck
» n — als Dicke der Oelschicht
» μ — als Reibungsfaktor

Den vorliegenden Erfahrungen entsprechend dürfte man das n also nicht bloß von der Konstruktion der einzuschmierenden Teile, sondern auch von der gegenseitigen Lage derselben abhängig betrachten.

Als Hauptbedingung für die flüssige Reibung wäre ein gewisser Spielraum zwischen den Frikitionsflächen anzunehmen. Es müßte desgleichen hierfür die minimale Schichtdicke des Schmiermittels festgestellt werden, sie wäre vom Material, sowie der genauen Bearbeitung der in Frage kommenden Fläche abhängig. Für ein Schmieröl normaler Beschaffenheit, bei mittlerer Zähigkeit, dürfte $n \approx 0,01$ mm sein. Die Schmierung soll mäßig gehalten werden, also von 0,1 bis etwa 0,5 Tropfen variieren, der Größe der einzuölenden Fläche entsprechend. Zum Einschmieren müssen spezielle Glasstifte verwendet werden. Das Oel ist bloß auf unbedeckten Reibungsflächen aufzutragen. Zum Einschmieren hochpräziser Instrumente darf nur feines organisches Oel, sowie das bei der britischen Firma Nessers-Warts zum Einölen der Achsen optischer Theodolite verwendete „Rangun-Oel“ in Betracht kommen.

Organisches Oel wird aus Knochen und Horn von Rindvieh durch Kochen in Wasser gewonnen. Das zur Oberfläche des Wassers steigende Oel wird abgekühlt und gepreßt. Es besitzt eine niedrige Gefriertemperatur, härtet und verdichtet nicht, gewährleistet somit freie Achsendrehung des Instruments bei kaltem Wetter.

Für minder wichtige Instrumententeile kommt in der USSR russisches, aus Erdöl hergestelltes Mineral-Maschinenöl zur Verwendung, z. B. Vaselinöl (in reinem Zustande oder auch in Mischung mit Pflanzenöl oder organischem Oel). Das spezifische Gewicht dieses Oels beträgt bei $+15^\circ$ etwa 0,865 bis 0,875, die Gefriertemperatur nicht über -15° C, die Zähigkeit (nach Engler) bei 50° etwa 1,4–1,7. Es kommen des weiteren in Betracht das „Velozit-Oel“ „L“ (spez. Gewicht bei $15^\circ = 0,865-0,875$; Zähigkeit bei $50^\circ = 1,3-1,4$); das Nähmaschinen-Oel mit dem spez. Gewicht = $0,865-0,890$ (bei 15°), Zähigkeit = 1,5–1,8 (bei 50°), bestehend aus einem Gemisch von Raps- und Vaselinöl; schließlich Verbandöle, d.h. Kombinationen von Mineral- und Pflanzen-Oel.

Pflanzenöl und organisches Oel unterscheiden sich von Mineralöl dadurch, daß sie säurehaltig sind (mit etwa 10%), bei Kühlen gerinnen und bei -20° C erhärten.

Unter den 13 in der USSR zum Gebrauch gelangenden Oelsorten würden hervorzuheben sein: 1. das „Emulsol“-Oel, gebräuchlich als Emulsion (mit Wasser) zur Abkühlung von Bohrern und Schneiden an Werkbänken, bei Herstellung von Instrumentenachsen, sowie als

Schmiere; 2. „Fräsol 2“ und „Fräsol 3“, beide gebräuchlich zur Kühlung und Schmierung von Fräsen, Schneiden, als Ersatz teurer Pflanzenöle. Fräsole finden Verwendung als Mittel gegen Oxydierung, Rost, Grünspan, Trübung als Hilfsmittel für reine und sorgfältige Verarbeitung in Hinsicht genauer Dimensionierung (durch Kaliberlehren). Fräsole üben (den Pflanzenölen zum Gegensatz) keinen chemischen Einfluß auf Metalle aus, keine Haut. Sie können durch Benzin entfernt werden. Für geodätische Instrumente dürfte „Fräsol 3“ das zweckmäßiger sein. Es besitzt spezifisches Gewicht von 0,877–0,883 (bei +15°), eine Zähigkeit von 1,4–1,6 (bei +50°), organische Säure von nicht über 0,02 %. In der Praxis kommen zuweilen auch Mineralöle zur Verwendung, deren Haupteigenschaften (Zähigkeit, innere Reibung, Anhaftungen, Einführung u. a. m.) im voraus für bestimmte praktische Zwecke berechenbar sind. Es wäre insbesondere in dem Falle zu derartigen Mischungen Zuflucht zu nehmen, wenn die kinematische Beschaffenheit des Mechanismus gewisse Schmiereigenschaften beansprucht.

Das abgearbeitete und schmutzige Oel wird mit Aether, Alkohol, Benzin oder Terpentin entfernt. Benzin und Terpentin werden zum Abwaschen von mit Spirituslack bedeckten Instrumententeilen verwendet; Alkohol und Aether kommen für unlackierte Teile in Betracht. Organisches Oel, Vaselinöl und die obenerwähnten Mineralöle lösen den im Instrumentenbau gebräuchlichen Spirituslack nicht auf. Zur Reinigung des verarbeiteten Oels wird letzteres in Kalkwasser gewaschen.

Bei der Auswahl eines Oels gelten als Hauptfaktor dessen Tendenz zu Sauerreaktionen, sowie dessen Kapazität zur Ausscheidung von Niederschlägen. Die Intensität der inneren Reibung des Oels hängt von dessen Dicke oder Zähigkeit ab. Als absolute Zähigkeit wird, für technische Zwecke, die zur Fortbewegung einer 1 mm² großen flüssigen Schicht gegen eine andere um 1 mm von der ersten entfernte Schicht, mit einer Geschwindigkeit = 1 mm/sek, notwendige Kraft bezeichnet. Für die Praxis gilt die relative Zähigkeit (in Mikrogramm), welche durch das Verhältnis der für das Abrinnen eines gewissen Volumens von Oel notwendigen Zeit zur entsprechenden Zeit für dasselbe Wasservolumen bis +20° zum Ausdruck gelangt. Unter Anhaftungen (Kleben) wird diejenige Eigenschaft des Oels verstanden, von der die Festigkeit des Oelhäutchens, sowie deren Zerstörung und Wiederherstellung während der Verschiebung bedingt werden. Das Anhaftungen wird seinerseits durch die Beschaffenheit der Flüssigkeit sowie des Materials der einzuölenden Oberflächen bedingt. Besitzt das in Frage kommende Oel keine Anhaftungskapazität dem vorliegenden Metall gegenüber, so darf in diesem Falle das Oel als Schmiere keineswegs verwendet werden. Bei stärkerem Haften des Oels werden die Reibungsflächen weniger abgenutzt oder zerstört.

Das Haften des Oels wird durch dessen Spannung in der Oberflächenschicht bedingt; je stärker die Spannung, um so schwächer das Haften und umgekehrt. Es ist versuchsweise nachgewiesen worden,

daß mit anwachsendem Haften der Faktor der flüssigen Reibung abnimmt. Der entsprechende minimale Faktor hängt von den Dimensionen und der relativen Lage der Reibungsteile sowie von der Dicke der Oelschicht ab.

Zur technischen Lösung der Frage nach der zweckmäßigen Verwendung von Schmieröl ist es notwendig, die physikalischen und chemischen Eigenschaften der die Mineralöle zusammensetzenden Kohlenwasserstoffe, sowie diejenigen der Pflanzen- und organischen Oele kennen zu lernen. Hierfür müssen die an den Schmiervorgang vom Standpunkte der mechanischen Theorie zu stellenden Forderungen mit der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Schmiere, sowie der Art ihrer Gewinnung in Einklang gebracht werden.

Vom mechanischen Standpunkte aus bezweckt die Schmierung von Metallen die Ausschaltung der gegenseitigen Reibung der Metalle mit Ersatz, letzterer durch innere Reibung des Oels. Es muß hierfür zwischen den Reibungssteilen eine Oelschicht gewisser Dicke vorhanden sein. Die Dicke der Oelschicht wird durch die zu tragende Last, sowie durch die Temperatur beeinflußt. Bei schwererer Last und höherer Temperatur muß ein zäheres Oel verwendet werden, weil die Zähigkeit der Schmieröle durch anwachsende Temperatur vermindert wird; die Last wird aber das Oel verdrängen. Ein Hauptnachteil der Schmieröle ist ihre Wasserhaltigkeit, worauf die Emulsionserscheinung an den Reibungsflächen zurückzuführen ist. Das Oel darf keineswegs mit Wasser emulgieren, es soll säurefrei und laugenfrei, sowie sauerstoffbeständig sein, weil der Sauerstoff die Beschaffenheit des Oels stark in Anspruch nimmt.

Die die Oberfläche anfeuchtende Flüssigkeit dringt in die feinen Hohlräume ein, was auf die bedeutende Spannung an der Oberfläche zurückzuführen ist. Das innere Haften der Schmierungsflüssigkeiten ist gering; das Anhaften an der Oberfläche ist demgegenüber stark, so daß die Flüssigkeit fest am Objekte hält und in dessen Spielräume eindringt.

Die minimale Dicke der Oelschicht darf nicht geringer als die Summe der Unebenheiten beider Gleitflächen sein.

Für geschliffene Gußeisenoberflächen soll $h_{\min} = 0,001$ mm sein. Für gehärteten Stahl und Phosphor-Bronze (geschliffen und poliert) soll $h_{\min} = 0,006$ mm sein.

Die Prüfung von verschiedenen Schmierölmarken in Hinsicht deren Einwirkung auf Metall in einer gewissen Zeitdauer (von etwa 2–3 Monaten), sowie auf die Arbeit der Achsen bei einer Temperatur von +10 bis +25°, führte zu folgendem Ergebnis.

Schmiere „GJNJ-I“ ergab auf kohlenstoffhaltigem Stahl (C—0,35 = 0,45, Mn = 0,4–0,8), nach Verlauf von 3 Monaten Korrosionsspuren (als kleine Flecken von 0,1 bis 0,3 mm im Durchmesser). Die Schmiere hatte einen hellgrauen Farbton angenommen.

Auf Aluminium entstanden desgleichen Flecken, jedoch kleinern Durchmessers (nicht über 0,15 mm); der Farbenwechsel war gering.

Auf Messing (Cu — 67–63, Zn — 31,34, Pb — 2–3) waren, außer Korrosion und Farbenwechsel, kleine Luftblasen nachzuweisen, ähnlich war die Einwirkung der Schmiere auf Aluminiumbronze (Cu — 90%, Al — 10%), sowie auf Bronze (Cu — 87%, Sn — 7%, Zn — 2%, Pb — 4%).

Schmiere „GJNJ-II“ lieferte im wesentlichen dieselben Ergebnisse wie „GJNJ-I“. Die Beeinflussung des Stahls durch dieselben Schmieren: EN — 1, 2, 3, 4 (C — 0,08–0,13%, Cr — 11,0, Ni — 0,4–0,6, Si — 0,35%, Mn — 0,55%, S — 0,03%, P — 0,03%) ließ keinen Korrosionsvorgang erkennen.

Bei den *Schmieren „Loms“* und N 9 traten desgleichen keine Korrosionserscheinungen für die Marken 30, 3V-10 ins Licht; der Farbton wurde jedoch heller.

Die bei den Firmen *Hildebrandt und Wild zur Verwendung gelangenden Schmieren* wiesen für eigenen Stahl weder Korrosionserscheinungen noch Farbtonwechsel auf.

Die *Schmieren „SJ-I“* und „SJ-II“ ergaben für dieselben Stahlsorten keine Korrosionserscheinungen, die Farbe wechselte jedoch ins hellgräue.

Die Einwirkung der Schmieröle auf Arbeit der Vertikalachsen bei verschiedenen Temperaturen ist aus Tabelle 1 zu ersehen.

Tabelle 1

Temperatur	5" Universal-Instrument d. Werkes „Aerogeopribor“	10" Universal-Instrument d. Werkes „Geodesija“	30" Tachymeter-Theodolit des Werkes „Geodesija“
+ 20	Fließende Drehung	Fließende Drehung	Fließende Drehung
— 5	„ „	„ „	„ „
— 10	„ „	„ „	„ „
— 20	„ „	„ „	„ „
— 35	Geringer Kraftaufwand	Bedeutender Kraftaufwand	Bedeutender Kraftaufwand
— 40	Bedeutender Kraftaufwand	Keine Drehung mehr	Schwere Drehung
— 45	Großer Kraftaufwand	„ „ „	Keine Drehung
— 48	Keine Drehung	„ „ „	„ „

Anmerkung. Als Schmiermittel wurden verwendet „SJ-I“, „GJNJ-I“ und II, sowie die Schmieröle von Hildebrandt und Wild. Dabei konnte das Schmieröl „GJNJ-II“ nicht bis zum Ende der Prüfung gebraucht werden, weil es bereits bei -20° stark zu gerinnen begann (was auf das Vorhandensein fremdartiger Stoffe in der Mischung zurückzuführen wäre). Als beste Schmiermittel erwiesen sich das Schmieröl „SJ-I“ und das Schmieröl von Wild.

Zurzeit finden auf dem Gebiet des geodätischen Instrumentenbaues zwei Achsenarten Verwendung: konische und zylindrische Achsen.

Erstere finden wir bei den Instrumenten „Askania“, „K. Bamberg“, „M. Hildebrand“ und andern; die zweite bei den Instrumenten der Firmen „C. Zeiß“ und „H. Wild“.

Prinzipiell sind die beiden Arten in der Hinsicht verschieden, daß die konischen Achsen während des Arbeitsvorganges eine besondere durch maximale Verschiebung (in ihrer Längsrichtung) herbeizuführende Regelung verlangen; dieser Regulierungsprozeß wird nun bei den Achsen der anderen Art gänzlich vermieden.

Letztere Eigenschaft der zylindrischen Achsen wird von den optischen Instituten Zeiß und Wild zur Beibehaltung konstanter optischer Entfernung herbeigezogen (dies gilt für sämtliche Instrumententeile von den Teilkreisen bis zu den Fokaldistanzen der Ablesemikroskope).

Insofern die Drehung des Instruments um die konische Achse dem Gesetze der flüssigen Reibung entsprechend, welch letztere zwischen dem innern und äußern Kegel und der Schmierölschicht vor sich geht, so muß, bei bestimmten Vorbedingungen (insbesondere Temperaturverhältnissen) ein günstigster Spielraum X zwischen Achse und Hülse, vorhanden sein. Dieser Spielraum wird vermittelst des Pilzes (Fig. 1) eingestellt. Es leuchtet hierbei ein, daß die Einstellgenauigkeit mit

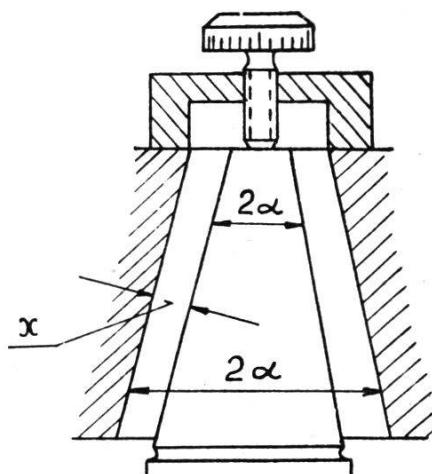


Fig. 1.

abnehmendem Kegelwinkel 2α steigt; letzteres ist aus Tabelle 2, welche die Veränderungen des Spielraumes X für verschiedene Winkelwerte 2α zur Darstellung bringt, ersichtlich; die in Frage kommenden Veränderungen entsprechen der Verstellung der Ableseteilung am Pilz um einen Strich (die ganze Teilung trägt 50 Striche, bei einem Schraubengang von 0,35 mm).

Bei den vorhandenen Konstruktionen mit ähnlichen Parametern des Pilzes ist $8^\circ 40'$ der üblichste Winkelwert.

Tabelle 2

Kegelwinkel 2α	Spielraum X in μ
8°	0,4
$8^\circ 40'$	0,5
10°	0,6
20°	1,2

Bei den auf unvermeidliche Arbeitsfehler der Werkbänke und Laboratoriumsapparate zurückzuführenden Herstellungsschwierigkeiten haben wir mit gewissen die Kupplung der konischen Achse mit der Hülse charakterisierenden Abweichungen gegen die Grundparameter zu rechnen (etwa anstatt D_1 , d_2 , D , d_4 , l , α_1 und α , Fig. 2 und 3, die Werte: $D_1 + \Delta D_1$, $d_2 + \Delta d_2$, $D + \Delta D$, $d_4 + \Delta d_4$, $l + \Delta l$, $\alpha_1 + \Delta \alpha_1$, $\alpha + \Delta \alpha$.

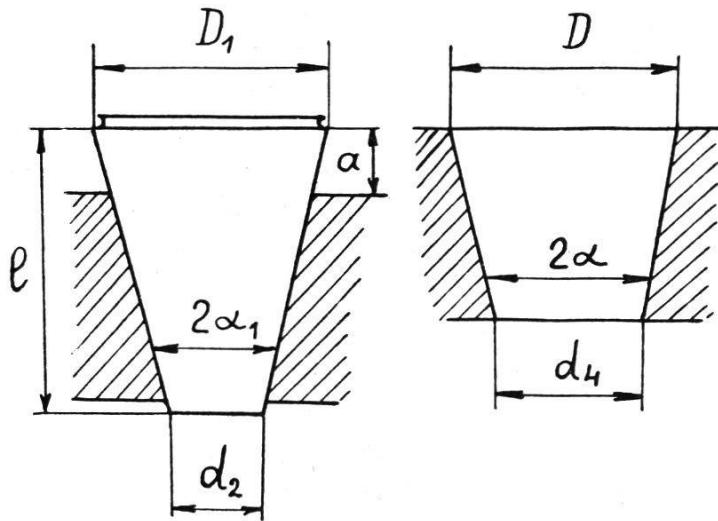


Fig. 2.

Fig. 3.

Bei der technologischen Bearbeitung wird der Gleichheit $\alpha_1 + \Delta \alpha_1 = \alpha + \Delta \alpha$ nicht entsprochen, weil genaue gegenseitige Anpassung der einzelnen Teile nicht zu erzielen wäre; es wird somit für α und α_1 eine Differenz bestehen müssen, etwa: $\alpha_1 + \Delta \alpha_1 > \alpha + \Delta \alpha$ oder $\alpha_1 + \Delta \alpha_1 < \alpha + \Delta \alpha$.

Im ersten Falle werden sich Achse und Hülse am Großkreise berühren (Fig. 4), im zweiten Falle am Kleinkreise (Fig. 5). Die axiale Verschiebung in der Längsrichtung der Achse wird im letzten Falle (bei ähnlichem Vorzeichen und Betrag der Herstellungsfehler) größer sein.

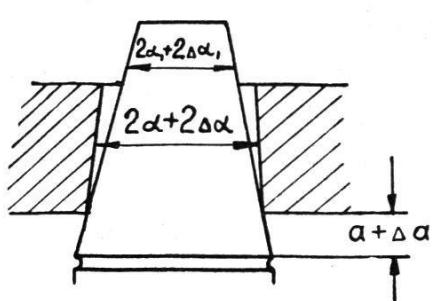


Fig. 4.

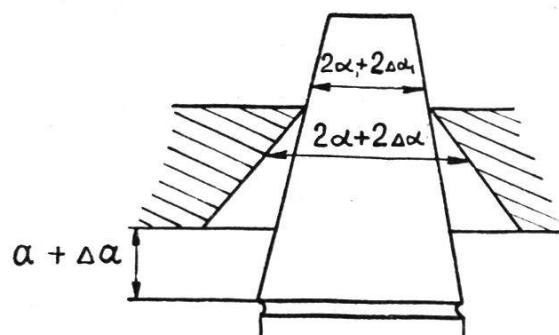


Fig. 5.

Der Haupteffekt der Keile wäre in ihrer schiefachsigen Lage zu suchen; hierdurch werden die geodätischen Instrumente aufs schädlichste beeinflußt. Bei schiefer Achsenrichtung wird die Achse für $\alpha_1 + \Delta \alpha_1 < \alpha + \Delta \alpha$, der Symmetrie wegen einen Kegel mit dem Scheitelwinkel 2β im Raum beschreiben; für $\alpha_1 = \alpha$ beträgt der Winkel: $\beta = \Delta \alpha - \Delta \alpha_1$.

Geodätisch aufgefaßt muß die Größe β der bei der Konstruktion gewählten Libellengenauigkeit entsprechen.

Für $a_1 + \Delta a_1 > a + \Delta a$ wird der Scheitelwinkel $2\beta = 2\Delta a_1 = \Delta a$ sein. Aus obigen Gleichungen ist zu ersehen daß für den ersten Fall eine größere Abweichung der Achse von der Achshülse auftreten könnte, daß also eine größere Schiefe vorhanden sein könnte.

Somit dürfte das Auftreten eines Spielraumes für einen großen Durchmesser als schädlich gelten und sollte vermieden werden. Des weiteren treten bei oberem Spielraum stärkere Spannungen im Metall im Kontaktgebiete auf, als dieses für Spielräume bei kleinern Durchmessern der Fall wäre; als Folge würde Oelverdrängung auftreten.

Bei obigen Vorbedingungen, die als Sicherung gegen funktionelle Störung des konischen Paars gelten sollten, sind gewisse Toleranzen und Modifikationen für die Kegelwinkel und Grunddurchmesser festzustellen.

Die Frage über die diesbezüglichen Normen ist zuerst von Prof. Berndt, 1925, aufgeworfen, jedoch bis heute nicht beantwortet worden. Die mit Herstellung geodätischer Instrumente beschäftigten sowjetischen Werkstätten sahen sich somit genötigt, bei der Anpassung von konischen Paaren zum Einschleifen zu greifen. Dieses Verfahren kann jedoch das Auftreten der Elliptizität mit nachfolgender Exzentrizität zur Folge haben (letztere Erscheinung dürfte bei flüssiger Reibung eine Periode von 720° erreichen).

Die Auswahl zylindrischer Anpassung ist von dem Spielraum zwischen Zylinder und Hülse abhängig; der Spielraum erscheint als eine Funktion der Toleranzen δ_a und δ_b des Zylinders und der Hülse, also: $\delta = f(\delta_a, \delta_b)$. Die Beziehung von δ zum Durchmesser (des Zylinders oder der Hülse) kommt durch die Formel:

$$\delta = K \sqrt[3]{d}$$

zum Ausdruck, mit K als Faktor der konstruktiven Genauigkeit.

Untersuchen wir den Spielraumwert δ für ein Arbeitsmoment, so haben wir bei der Berechnung des Setzens folgende Größen zu berücksichtigen: C — freier Spielraum (die Schiefachsigkeit beeinflussend)

und τ — minimale Dicke der Oelschicht, welche als Grundparameter zur Bestimmung von μ (günstigster Reibungsfaktor) gilt. Wir erhalten somit die Formel für den Spielraumwert: $\delta = C + 2\tau$

Zur Feststellung des Minimalwertes der Oelschicht gehört Fig. 6. Die Dicke τ der Schicht muß die Summe der bei der Herstellung erhaltenen Unebenheiten l_a und l_b des Zylinders und der Hülse übersteigen, es muß also $\tau > l_a + l_b$ werden.

τ muß allgemein seinem Minimalwerte

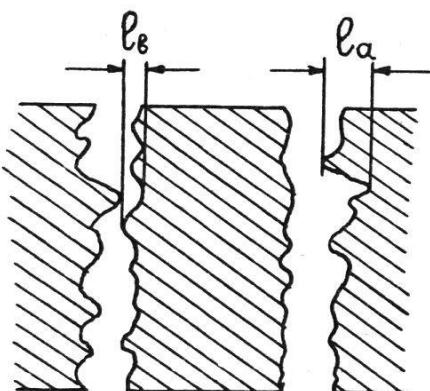


Fig. 6.

entsprechen, das Verhältnis der flüssigen Reibung darf jedoch nicht gestört werden.

Laut Sawwin liegt, bei sorgfältiger Bohrung, der Wert von l in den Grenzen 10–20 Mikron, bei Schleifen zwischen 3–15 Mikron. Es liegt auf der Hand, daß die Bestimmung der Beziehung zwischen δ und τ als schwierigster Teil der Berechnungsarbeit zu bezeichnen ist: es sind hierbei der Druckwert P , die Zähigkeit Z des Oels und a. m. zu berücksichtigen.

Bei gleitender Reibung können keineswegs Verschiebungen entstehen, obwohl auch hierbei, im Falle langgestreckter Berührungsflächen, Spannungen in den Kontaktflächen auftreten dürften; letzteres kann jedoch leicht durch Aussparungen in den Mittelteilen des Zylinders oder des Kegels beseitigt werden.

Für bewegliches Setzen besteht zwischen minimalem Spielraum und Durchmesser die Beziehung:

$$\delta_{\min} = \beta \sqrt{d}$$

Berücksichtigt man jedoch die für die geodätischen Instrumente bestehende Bedingung, bei stärksten Temperaturschwankungen (von -40° bis 30°) arbeitsfähig zu bleiben, so ist es ohne weiteres einzusehen, daß das obenerwähnte Gesetz für die Toleranzberechnung keineswegs eine progressive, der nominellen Vergrößerung des Oeffnungsdurchmessers mit steigender Temperatur entsprechende Vergrößerung des Spielraumes gewährleistet. Zur Lösung letzterer Aufgabe ist in die obige Formel ein Längenausdehnungsfaktor einzuschalten, womit wir zu der Formel für minimalen Spielraum gelangen:

$$\delta_{\min} (1 - at) = \beta \sqrt{d}$$

Ist hierbei die Anpassung von Zylinder und Hülse mit dem Zusammentreffen von stark verschiedenen Längendehnungsfaktoren (Stahl, Bronze) verbunden, so dürften bei obiger Lösung recht wohl ein Schwanke der Achse bei normalen Temperaturen zu befürchten sein. Es müsse somit die Auswahl unter den Kombinationen mit womöglich geringen und gleichgroßen Dehnungskoeffizienten getroffen werden. Die Firmen Zeiß und Wild haben diesen Weg bereits betreten.

Es sind somit bei der Konstruktion von Instrumenten mit konischen Achsen folgende Berechnungsgesichtspunkte zu berücksichtigen:
1. Auswahl eines optimalen Oeffnungswinkels des Kegels (aus Rücksicht auf genaue Einstellung des Spielraumes und auf Verdrängung des Oels),
2. Feststellung des Grunddurchmessers entsprechend der Lage der Schwerpunkte. Hierbei ist in Betracht zu nehmen, daß die Aufgabe der Herstellung von konischen Oberflächen in Hinsicht der Toleranzen bis heute nicht vollständig geklärt ist, den hier bezüglichen Berechnungen demzufolge bloß angenäherte Bedeutung zukommt.

Bei der konstruktiven Durcharbeitung der Achsen (auf Grund bestimmter Toleranzen) müssen folgende Gesichtspunkte in Frage kommen: 1. Feststellung des Durchmessers für Zylinder und Hülse mit

minimalem, durch die Beschaffenheit des Schmieröls bedingtem Spielraum. 2. Berechnung des Materials für Zylinder und Hülse. 3. Auswahl der Anbringung der Kugellager, durch deren Arbeit die schiefe Lage der Achsen bedingt wird. Es müssen des weiteren die vorläufigen Berechnungen versuchsmäßig in verschiedenen Verhältnissen zur praktischen Untersuchung der Arbeit der Achsen geprüft werden.

Sind die Berührungsflächen absolut glatt, so genügt eine dünne Oelschicht (von etwa 0,0001 mm Dicke), um einen Vorgang der flüssigen Reibung herbeizuführen, bei dem die den Zapfen umhüllende Oelhaut auf der die Lager bekleidenden Oelschicht gleiten kann und die Reibung somit äußerst gering bleibt. Dickeren Oelschichten entsprechen mehrere übereinander mit verschiedener Geschwindigkeit gleitende Schichten.

Nach den von Prof. Berndt angestellten Messungsversuchen betragen die Unebenheitswerte der zu bearbeitenden nicht gehärteten Flächen von Stahlobjekten etwa 0,004 bis 0,0001 mm (je nach den Herstellungsverfahren).

In letzter Zeit werden Instrumente der Firma Wild mit kinematischen aus zwei Teilen, deren einer dem anderen gegenüber einen gewissen Bewegungsfreiheitsgrad aufweist, bestehenden Achsen versehen.

Wenn die zylindrischen Achsen zur Ausschaltung von Deformation gut angepaßt, die konischen aber zum selben Zweck mit Reguliervorrichtungen versehen sein müssen, so können diese Forderungen für die kinematischen Achsen herabgemindert werden. Fig. 7a und 7b bringen einen gewöhnlichen Wildschen Theodolit, Fig. 8a und 8b ein Instrument mit modernisierter Achse zur Darstellung. Ihrem Wesen nach sind diese Achsen halb-kinematisch, insofern sie unten eine zylindrische Passung aufweisen. Als Vorzüge kinematischer Achsen sind zu erwähnen:

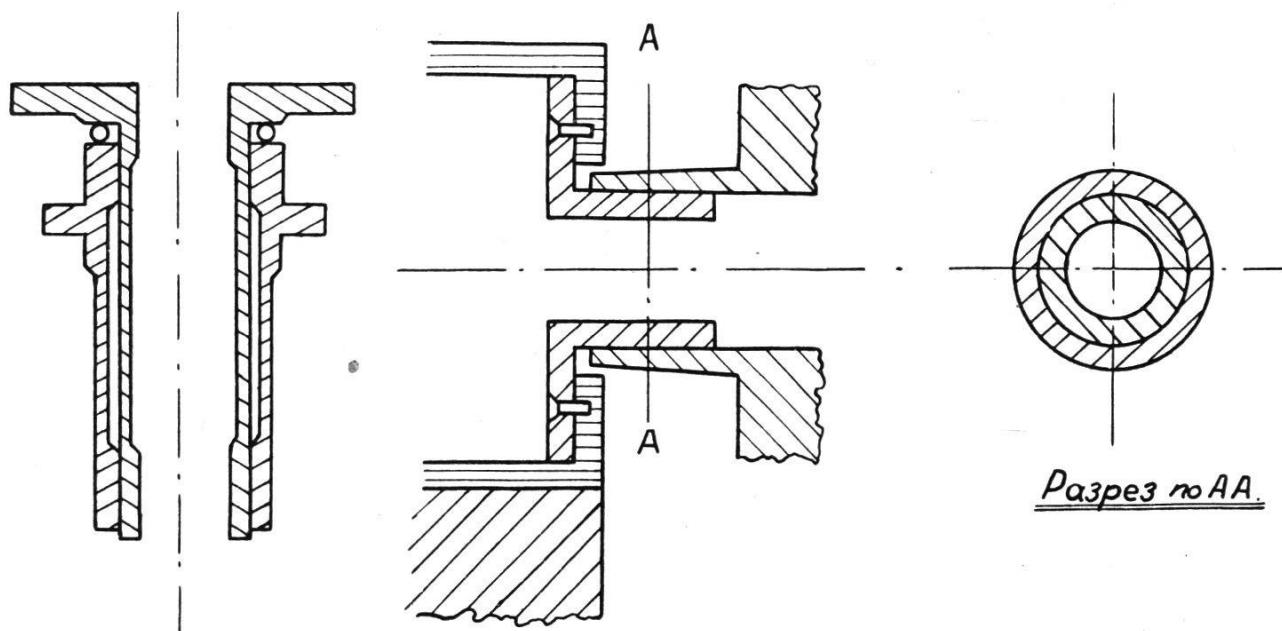


Fig. 7 a.

Fig. 7 b.

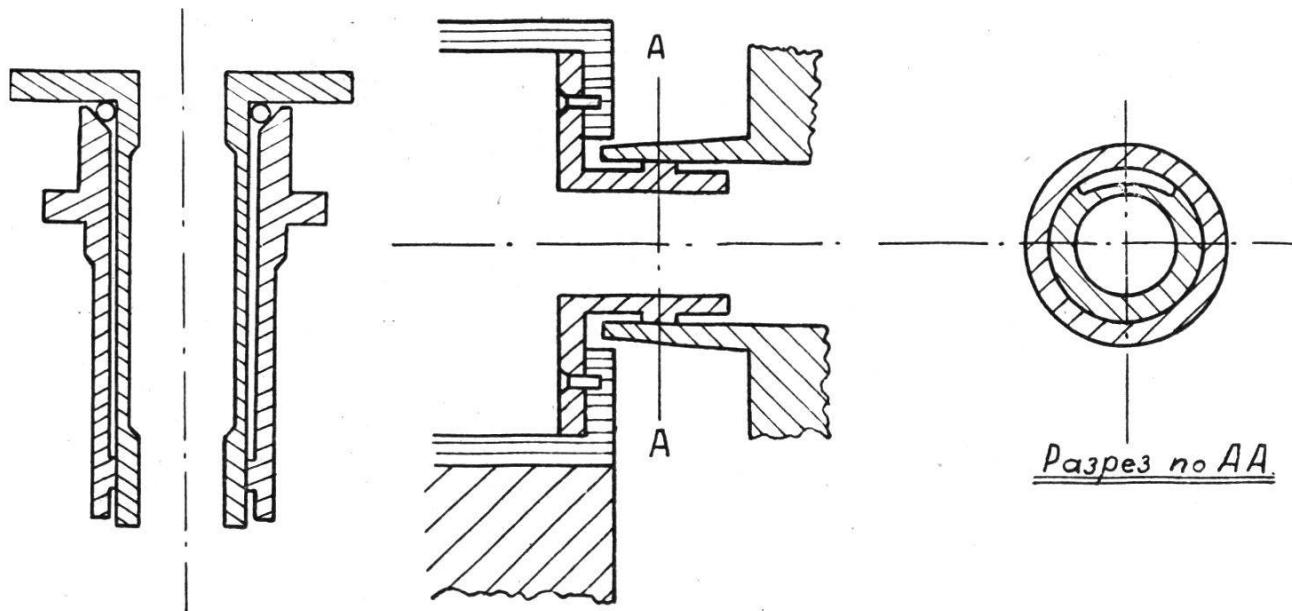


Fig. 8a.

Fig. 8b.

1. Die Winkelmessungen werden von den Herstellungsdefekten in geringerem Grade beeinflußt.
2. Geringe Abweichungen (Verbiegungen) beeinträchtigen das Arbeitsergebnis der Achsen nicht.
3. Die Alhidade besitzt leichtere Drehung.
4. Es kommen die Justiereinrichtungen in Fortfall.
5. Die Herstellungsgenauigkeit in Hinsicht des Polierens kann herabgesetzt werden.

Tabelle 3 enthält die Charakteristik der Achsen der gebräuchlichsten Instrumente.

Tabelle 3

Bezeichnung des Instruments Durchmesser des Horizontalkreises und Ablesegenauigkeit	Durchmesser des Kegels D	Höhe des Kegels h	Kegel- winkel 2
Theodolit Hildebrandt $\phi = 22 \text{ cm}$ $\mu = 2''$	39,3	16,0	$8^{\circ} 34'$
Ibidem für $\phi = 17,5 \text{ cm}$ $\mu = 5''$	31,7	14,5	$8^{\circ} 46'$
Ibidem für $\phi = 27 \text{ cm}$ $\mu = 1''$	40	16	$3^{\circ} 28'$
Universalinstrument $\phi = 21 \text{ cm}$ $\mu = 2''$	44,5	24,5	$9^{\circ} 20'$
Universalinstrument Bamberg $\mu = 2''$	46,5	31,2	$5^{\circ} 30'$
Theodolit Parkhorst	—	—	$15^{\circ} \text{u. } 60^{\circ}$
Theodolit des Werkes „Aerogeopribor“ $\phi = 39,1 \text{ cm}$ $\mu = 2''$	39,1	21,8	$8^{\circ} 20'$

Zwecks Vermeidung von Verdrehung des Achsenmaterials bei Bearbeitung an der Werkbank, sowie der Ausschaltung der hierdurch entstehenden Deformationen soll die Bearbeitung mit geringem Nachschieben der Längen- und Querschneide erfolgen.

Nach der Formel von Okitschi-Okoschi wird:

$$P = K \cdot q \cdot n$$

mit P — als Vertikaldruck auf die Schneide in kg

» q — als Schnitt des Spanes in mm^2 , K und n — als zum Metall gehörende Faktoren

Für den Stahl wird $K = 224$, $n = 0,90$.

Hieraus wird P (mit $q = 0,001 \text{ mm}^2$) bestimmt.

Sodann schreiben wir die Formel für den Verdrehungswinkel φ'' (für die gesamte Achsenlänge):

$$\varphi'' = \frac{M_{ver} \cdot l}{G \cdot J_p} \text{ mit } M_{ver} \text{ — als Verdrehungsmoment}$$

» l — als Achsenlänge

» G — als Gleitungsfaktor

» J_p — Polmoment der Trägheit kg/cm^4

Mit den Achsenberechnungen für die 5" und 2" Universalinstrumente wird G'' zu etwa 2-3" erhalten; die Erscheinung der auf die Verdrehung zurückzuführenden mechanischen Einwirkung dürfte somit als verschwindend gering gelten.

Moskau, 15. März 1936.

Prof. K. N. Smirnoff,
Leiter der Instrumentalabteilung des Staatlichen
Forschungsinstitutes für Geodäsie und
Kartographie in Moskau.

† Werner Kägi.

An den Folgen einer Nervenkrankheit starb unser verehrter Kollege Werner Kägi zu Ende des Monats Mai abhin. — Geboren am 3. April 1878 in Hinwil, Kanton Zürich, als einziger Sohn eines tüchtigen Lehrers, erwarb sich Kägi im Jahre 1900 das Patent als Konkordatsgeometer und praktizierte in der Folge auf dem Stadtgeometerbureau St. Gallen und in der Firma Grundbuchgeometer Schäffeler in Romanshorn, für welche Kägi die Leitung der Grundbuchvermessung Kreuzlingen innehatte.

