

**652.** Als Werkzeuge für Endmessungen kommen im Maschinenbau vornehmlich die Tasterzirkel vor; sie werden im Materialprüfungswesen fast gar nicht mehr benutzt. Den Uebergang zur Strichmessung bilden im Maschinenbau die Schublehren und die Schraubenlehren; beide werden im Materialprüfungswesen ausgiebig benutzt.

Die Schublehren gestatten mit Hilfe von Nonien in der Regel die Ablesungen bis auf 0,1 mm und Schätzung bis auf 0,05 mm; die Schraubenlehren lassen 0,01 mm ablesen und 0,001 mm schätzen. Aber die im Handel befindlichen Instrumente sind selten so genau gearbeitet, dass diesen Ablesungen und Schätzungen volles Zutrauen geschenkt werden darf. Wer also solche Instrumente zu genauen Messungen gebrauchen will, thut immer gut, sie nur aus anerkannt tüchtigen Werkstätten zu beziehen und sie selbst zu prüfen oder an zuständiger Stelle [wissenschaftliche Institute, Normalaichungsamt, Physikalisch-technische Reichsanstalt u. s. w.] prüfen und beglaubigen zu lassen.

Die Einrichtungen von Tastern, Nonien und Schraubenlehren darf ich hier wohl als bekannt voraussetzen, und es wird genügen, wenn ich hinzufüge, dass die allgemeinen Gesichtspunkte, die im vorigen Absatz entwickelt wurden, sich nach hierher übertragen lassen und dass ich auf die Mikrometerschraube im Abschnitt *c* zurückkommen werde. Hinsichtlich der Nonien sei noch bemerkt, dass es zweckmässig ist, die Nonien noch mit Uebertheilungen [über das Maass von 9 Theilungen der Hauptstäbe hinaus] versehen zu lassen. Dann kann der Hauptmaassstab leicht auf seine etwaigen Theilungsfehler untersucht werden, indem man mit Hilfe des Nonius die Längen zwischen den Strichen gleicher Ordnung über den ganzen Maassstab an mehreren Messungsreihen bestimmt und die wahrscheinlichen Fehler berechnet.

### c) Mikrometerschrauben.

**653.** Ausser in den Schraubenlehren wird im Materialprüfungswesen von den Mikrometerschrauben für allerlei Arten von Feinmessungen ein sehr ausgiebiger Gebrauch gemacht. Die nachfolgenden Beschreibungen von Instrumenten für die Formänderungsmessung während des Versuches wird erkennen lassen, wie sehr die Vorliebe für Mikrometerschrauben in einzelnen Ländern verbreitet ist. Deswegen ist es angezeigt, ihre Eigenschaften hier ein wenig eingehender zu beleuchten, wenn es selbstverständlich auch ausgeschlossen ist, dieses sehr weitläufige Feld erschöpfend zu behandeln.

Im Abs. 80 habe ich kurz die Uebelstände angedeutet, die mit dem Gebrauch der Mikrometerschraube verbunden sind, wenn man sie für die Materialprüfung benutzen will. Die Mikrometerschraube ist ein vorzügliches und praktisches Hilfsmittel, wenn man sie nur zur Messung sehr kleiner Längen [Zwischenmessung von Untertheilungen — Fadenkreuzverschiebungen —] benutzt, aber sie wird umständlich und unpraktisch, wenn man grössere Längenänderungen messen will, die viele Schraubenumdrehungen erfordern.

**654.** Die Fehler eines Schraubenmikrometers kann man, wie folgt, einordnen:

- a) Fehler der Schraube selbst,
- b) Fehler der Bewegung [Fehler des Instrumentes].

Unter die Fehler der Schraube kann man besonders

- 1) die Abweichung der Spindel vom Cylinder,
- 2) die fortschreitenden und
- 3) die periodischen Fehler

des Gewindes rechnen.

Die Fehler der Lagerung sind sehr mannigfaltiger Natur; sie können unter Umständen auch dann Anlass zu periodischen Fehlern geben, wenn das Schraubengewinde selbst ganz fehlerfrei ist.

**655.** Schrauben mit merklichen fortschreitenden Fehlern sollte man überhaupt zur Messung nicht verwenden, weil sie von groben Fehlern in der Herstellung zeugen. Der fortschreitende Fehler ist vorhanden, wenn ein Mikrometer für das gleiche Objekt beim Ausmessen mit verschiedenen Stellen des Gewindes und bei jedesmaligem Ausgehen von der gleichen Trommeltheilung wachsende oder abnehmende Längen ergibt.

Wenn man sich eine richtige Schraubenlinie vom Cylinder abgewickelt denkt, so ergibt sich bekanntlich eine unter dem Steigungswinkel  $\alpha$  der Schraube geneigte gerade Linie  $a$ , Fig. 437. Die mit einem fortschreitenden

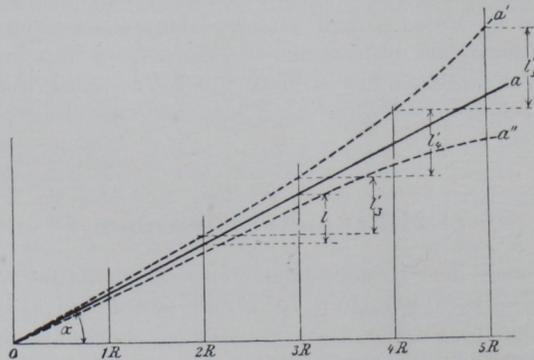


Fig. 437.

Fehler behaftete Schraube wird als Abwicklung eine gekrümmte Linie  $a'$  oder  $a''$  geben. Eine volle Trommeldrehung, z. B. von  $2R$  bis  $3R$  wird bei einer richtigen Schraube, wie bei allen anderen vollen Trommeldrehungen, die Verschiebung  $l$  des Mikrometerfadens liefern. Die die Linie  $a'$  ergebende Schraube mit fortschreitenden Fehlern liefert aber für die Trommeldrehung von  $R_2$  bis  $R_3$  nicht  $l$  sondern  $l'_3$ , während für die volle Drehung  $R_3 - R_4 = l'_4$  und für  $R_4 - R_5 = l'_5$  gefunden wird, wobei  $l'_5 > l'_4 > l'_3$  u. s. f. wird. Wollte man also eine solche fehlerhafte Schraube benutzen, so müsste man für jede Trommeldrehung d. h. für jeden Schraubengang eine andere Korrektionstabelle aufstellen und das Messungsergebniss hiernach berichtigen.

**656.** Eine Schraube, die für jede volle Trommeldrehung oder, allgemeiner gesagt, für jede gleiche Trommeldrehung, die an gleichnamigen Stellen der Trommel [Bezifferung] beginnt, gleiche Verschiebung des Fadens liefert,

kann trotzdem mit sehr merklichen Fehlern behaftet sein. Diese Fehler erkennt man erst dann, wenn man das gleiche Objekt ausmisst, indem man nach einander von verschiedenen Anfangsablesungen an der Trommel ausgeht und die erhaltenen Ergebnisse mit einander vergleicht. Alle Messungen von gleicher Trommelstelle aus werden gleiche Werthe für  $l$  liefern, aber die mit dem Beginn von  $0,1 R$ ,  $0,2 R$ ,  $0,3 R \dots$  aus gefundenen Werthe werden sich ändern; sie stellen eine Periode dar. Diese Art von Fehlern nennt man die periodischen Fehler; ihre Ursache kann sowohl in der Schraube selbst, als auch im Instrument liegen (654). Eine Schraubenlinie mit periodischen Fehlern [aber frei von fortschreitenden] wird sich nicht als gerade Linie  $a$ , Fig. 438, abwickeln, sondern eine Wellenlinie bilden, etwa von der Art, wie sie in  $a'$  abgebildet ist.

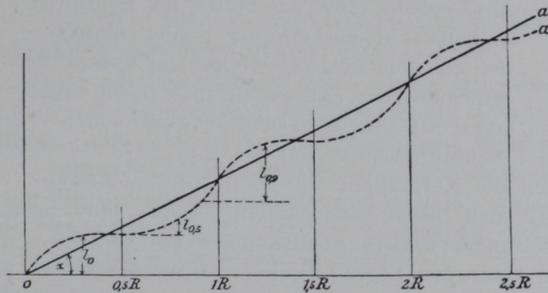


Fig. 438.

Ein Mikrometerwerk mit den durch die Linie  $a'$  dargestellten periodischen Fehlern wird beispielsweise für die Trommeldrehung  $0,3 R$  die verschieden grossen Verschiebungen  $l_0$ ,  $l_{0,5}$  und  $l_{0,9}$  liefern, wenn die Bewegung nach einander von  $0,0 R$ ,  $0,5 R$  und  $0,9 R$ , oder von  $1,0 R$ ,  $1,5 R$  und  $1,9 R$  u. s. f. begonnen wurde. Für diese Schraube braucht man nur eine Korrekturabelle aufzustellen, die eine einzige Trommeldrehung umfasst. Bei der Fehlerbestimmung hat man selbstverständlich eine grössere Zahl von Messungsreihen über alle diejenigen Gewindegänge auszudehnen, die später für Messungen benutzt werden sollen. Man bildet dann die Fehlermittel für die Messungen des gleichen Objectes von gleichnamigen Ausgangsstellen aus [Trommeltheilen] und verzeichnet hiernach die Fehlerkurve [Periode]. Solche Messungen sind zeitraubend und müssen von Zeit zu Zeit wiederholt werden, weil die Konstanten des Apparates sich ändern können; insbesondere können sich auch die Ursachen für die periodischen Fehler des Instrumentes ändern (654, 657 und 664); diese Aenderungen sind meistens äusserlich nicht erkennbar. Mikrometerwerke müssen aus diesem Grunde sehr sorgfältig aufbewahrt und behandelt werden, wenn man sichere Messungen erzielen will. Das gilt aber ganz besonders von Instrumenten mit so feinem Gewinde, wie es bei den Betrachtungen in Abs. 80 vorausgesetzt wurde.

**657.** Die Fehler der Schraube [des Gewindes] entstehen immer bei der Herstellung. Ihre Ursachen sind oft so versteckter Art, dass ein sehr eingehendes, aber auch ein sehr lehrreiches Studium nothwendig ist, um sie zu ergründen. Hier kann ich nicht darauf eingehen, sondern ver-

weise die Leser, die sich dafür interessieren, auf die zahlreichen Abhandlungen in den verschiedenen Jahrgängen der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ und anderen Fachzeitschriften.

Wie selbst in der Wirkung der Schraube mit fehlerfreiem Gewinde periodische Fehler begründet sein können, möchte ich an einem übertriebenen Beispiel erläutern. In Fig. 439 sei  $S$  die Spitze einer Mikrometerschraube, gegen die durch den Druck  $F$  einer Feder die ebene Kontaktfläche  $K$  angedrückt wird; diese Fläche sei, in fehlerhafter Ausführung, gegen die Umdrehungsachse der Schraubenspindel geneigt. Dieser Fehler ist offenbar bedeutungslos, so lange die Spitze der Schraube nicht schlägt. Die Fadenkreuzverschiebung wird dann, der fehlerlosen Schraube entsprechend, fehlerlos vor sich gehen. Aber sobald etwa die Spitze der Schraube excentrisch ist, so muss ein periodischer Fehler eintreten, dessen Grösse sich aus dem Neigungswinkel der Kontaktfläche und der Excentricität der Schraubenspitze leicht ergibt; eine Periode von 0,001 mm wird beispielsweise schon erzeugt, wenn die

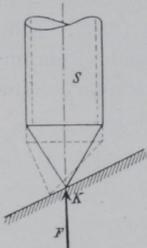


Fig. 439.

Excentricität der Schraubenspitze nur 0,1 mm und die Neigung der Kontaktebene gegen die Normallage nur 17,2 Minuten beträgt.

**658.** Mit den bisher aufgezählten Fehlern sind jedoch die Fehlerquellen des Mikrometerwerkes noch keineswegs erschöpft. Jede Schlittenführung kann Anlass zu Fehlern geben. Ganz besonders aber hat man den todtten Gang der Mikrometerschraube in ihrer Mutter oder der Instrumententheile gegen einander zu beachten. Die Nichtbeachtung dieser Fehlerquelle kann sehr erhebliche Unsicherheiten der Messung erzeugen. Die Schraube muss in der Mutter einen ganz sanften gleichmässigen Gang haben, daher darf sie nicht vollkommen schliessend in die Mutter passen, und zwar um so weniger als die gute Erhaltung der Gewindeflächen ja auch noch die Schmierung nothwendig macht. Der Mechaniker strebt den todtten Gang durch Gegenfedern zu verbessern, die die Schlitten stets in eine Richtung gegen die Schraube anpressen. Dadurch soll erreicht werden, dass immer nur die eine Seite der Gewindegänge in gleicher Weise zum Anliegen kommt. Bei geschmierten Schrauben ist das nur bedingungsweise der Fall, wie aus Fig. 440

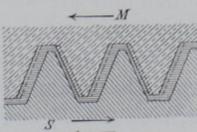


Fig. 440.

einleuchtet wird. Die Mutter  $M$  wird durch die Federn stets nach der bei  $M$  verzeichneten Pfeilrichtung gedrückt. Die Schraube  $S$  wird die Mutter bei der Vorwärtsdrehung im Sinne des ausgezogenen und bei der Rückwärtsdrehung im Sinne des punktierten Pfeiles  $S$  verschieben wollen. Beim Drehen im ersten Sinne schiebt die Schraube die Mutter; die Gegenfeder wird stärker gespannt; die Schraube hat Federspannung und Reibungswiderstand zu überwinden. Beim Drehen nach der anderen Richtung schiebt die Feder die Mutter; die Feder vermindert ihre Spannung; sie hat die Reibungswiderstände zu überwinden. Man sieht hier leicht die Ursachen gesetzmässig verlaufender Fehler, die in der Regel sehr klein sind, bei Schrauben für sehr genaue Messungen aber beachtet werden müssen. Bei jeder Bewegungsumkehr muss das Schmieröl von der einen Seite der Gänge auf die andere fliessen, weil die Breite der Zwischenräume dem wechselnden Gegen-

druck entsprechend sich ändern muss, wie in Fig. 440 durch die punktirte Lage der Mutter angedeutet ist. Weil nun aber der Gegendruck mit der Spannung der Gegenfeder selbst wechselt, so ist die Schichtendicke des Schmieröls zwischen den gepressten Flächen für jede Schraubenstellung eine andere. Das giebt [wenn auch sehr kleine] Fehler von der Ordnung der fortschreitenden Fehler. Aber auch die Zeit spielt noch eine Rolle, denn da sich das Oel zwischen Flächen von sehr geringem Abstände bewegen muss und die Druckunterschiede ja durch Auswahl weicher Gegenfedern klein gemacht zu werden pflegen, so vergeht immer ziemlich viel Zeit, bevor unter den Druckschwankungen das Oel von der einen Seite zur anderen fließt; das muss natürlich Fehler bewirken, weil der Schlitten noch eine Bewegung erfahren kann, wenn die Schraube schon in Ruhe ist. Alle diese Fehler sind indessen in der Regel sehr klein; man müsste sie aber sicher beachten, wenn man die Mikrometerschrauben auf die Leistungsfähigkeit unserer Spiegelapparate bringen wollte.

**659.** Ich habe die Besprechung etwas weiter ausgesponnen, als dies bei Besprechung von Messwerkzeugen für die Technik gebräuchlich ist. Es lag mir aber daran, die übliche Vertrauensseligkeit, welche die Technik zuweilen selbst augenscheinlich bedenklichen Mikrometerschrauben entgegenbringt, ein klein wenig aufzurütteln und zugleich später nicht nöthig zu haben, bei Besprechung der einzelnen Instrumente auf diese immer wiederkehrenden Thatsachen hinweisen zu müssen.

#### d) Mikroskop- und Fernrohrmikrometer.

**660.** Die Mikrometerschrauben sind ausserordentlich werthvolle Instrumente in Verbindung mit Ablesemikroskopen oder Ablesefernrohren, bei denen es immer nur darauf ankommt, einige Umdrehungen der Schraube zur Messung der Fadenverschiebung im Gesichtsfelde der Instrumente zu benutzen.

Die für diesen Zweck gebrauchten Mikrometerwerke sind in besonderen Kästen im Tubus der Instrumente angebracht. Sie enthalten einen Schlitten, auf welchem Fadenkreuze oder Parallelfäden [Spinnenfäden, Quarzfäden] ausgespannt oder feine Sriche auf Glasplatten eingeritzt sind. Diese Fäden werden mit dem Schlitten durch die Mikrometerschraube gegen feststehende Marken oder feststehende Striche verschoben. Die festen und die beweglichen Marken [Fäden] des Mikrometers müssen möglichst in einer Ebene liegen. Auf sie wird zunächst ein über ihnen angebrachtes Okular scharf eingestellt; dann wird das Instrument [Mikroskop oder Fernrohr] auf das Objekt so eingerichtet, dass sein Bild genau in die Ebene der Mikrometerfäden fällt, damit die Ablesung ohne nennenswerthen parallaktischen Fehler erfolgen kann. Ob dieses Zusammenfallen von Bildebene und Fadenebene hinreichend gut erreicht ist, erkennt man bei Hin- und Herbewegung des Auges vor dem Okular. Bild und Fadenkreuz dürfen dann keine scheinbare Verschiebung zeigen.

**661.** Wenn Fadenmikrometer für die Ausmessung grösserer Unterschiede im Bilde benutzt werden müssen, also mehrere Umdrehungen der Mikrometerschraube erforderlich werden, so sind meistens Vorkehrungen getroffen, die erkennen lassen, wie viel Umgänge von der Nullstellung aus