

## Penetrometer und ihre Anwendung

Von E. SCHLICKNECHT, Ingenieur SIA, Zürich

### Messung der Konsistenz

Seit einigen Jahrzehnten werden für die Messung der «Härte» oder der Konsistenz von plastischen Stoffen, wie Teer, Bitumen, Wachs, Felt usw., fast ausschließlich Penetrometer verwendet. Die Materialprüfungsverbände der meisten Kulturstaaten haben die Geräte in ihre Normen aufgenommen. In diesen sind lediglich die technischen Hauptdaten der Penetrometer und die genaue Vorbehandlung der Proben festgelegt, so daß dem Konstrukteur für die praktische Ausbildung der Geräte noch ein großer Spielraum gelassen wird.

Die Messung der Konsistenz erfolgt prinzipiell folgendermaßen: Eine Nadel von vorgeschriebener Form wird in vertikaler Anordnung genau auf die Probe aufgesetzt und während genau 5 Sekunden mit 100 g belastet. Prohentemperatur  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ . Nach erfolgter Entlastung wird die Eindringtiefe in Zehntelmillimeter gemessen. Dieser Meßwert gibt die Penetration der Probe an, wobei je  $\frac{1}{10}$ -mm Eindringtiefe einem Penetrationsgrad entspricht. Die Penetration ist also um so größer, je weicher das Material

ist. Von den angeführten Bedingungen ist offenbar diejenige über die Belastung der Nadel am leichtesten einzuhalten. Immerhin ist auch hier besonders darauf zu achten, daß die Reibungswiderstände in den Führungen der Nadelstange sehr klein gehalten werden, da sich sonst nicht das volle Gewicht von 100 g auf die Nadel überträgt. Irgendwelche Reibungswiderstände würden das Meßresultat verkleinern.

Die meisten plastischen Substanzen ändern ihre Konsistenz mit der Temperatur sehr stark. Es ist deshalb unbedingt nötig, daß der Temperaturkonstanz der Probe große Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die in den Normen angegebene Temperaturkonstanz von  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  ist als zu groß anzusehen und dürfte darauf zurückzuführen sein, daß beim Festlegen der Normen einfache und zuverlässige Thermostaten noch nicht existierten. Neue Penetrometer sollten unbedingt so gebaut werden, daß das Wasserbad zur Aufnahme der Probe an einen Thermostaten angeschlossen werden kann. Mindestens sollte das Wasserbad mit den Proben nicht direkt auf den flachen Sockel des Penetrometers gestellt werden, weil dadurch ein unkontrollierbarer Wärmeabfluß begün-

stigt wird. Zweckmäßigerweise wird das Wasserbad auf drei Nocken gelagert, so daß zwischen Wasserbad und Sockel eine isolierende Luftschicht entsteht. Eine etwas abweichende Temperatur der Nadel hat nur geringen Einfluß auf das Meßresultat, weil Wärmekapazität der Nadel und auch Wärmeleitfähigkeit des Nadelmaterials sehr klein sind.

Die am schwierigsten zu erfüllende Bestimmung der Normvorschrift ist zweifellos die genaue Einhaltung der Fallzeit der Nadel. Diese hat genau 5 Sekunden zu betragen. Wird eine Meßgenauigkeit von 1 % angestrebt, so müßte die Zeitmessung auf 0,05 Sekunden genau erfolgen. Auch dem geübtesten Beobachter dürfte es nicht gelingen, diese Bedingung auch nur annähernd zu erfüllen, um so mehr als normale Stoppuhren ein Zeigerfortschrittswerk mit Fünftelsekunden-Intervall besitzen. Dazu kommen noch die individuellen Fehler beim Betätigen der Bremse für den Start und die Arretierung des Fallstabes. Stellt man sich somit die Aufgabe, die penetrometrische Meßmethode zu verfeinern, so muß in erster Linie danach getrachtet werden, die individuellen Fehlerquellen auszuschalten und die Genauigkeit der Zeitmessung zu vergrößern. Dieses Ziel kann durch selbsttätig arbeitende Penetrometer erreicht werden. Bevor ich die Neukonstruktion eines solchen Penetrometers beschreibe, will ich über die Entwicklungsgeschichte dieser Instrumente einige Bemerkungen anbringen.

**Entwicklungsgeschichte der Penetrometer**

Abb. 1 stellt den prinzipiellen Aufbau eines einfachen Penetrometers dar. Der Fallstab 1 mit Penetrationsnadel ist in der Lagern 2 geführt. Eine Bremse 3 ermöglicht die Arretierung des Fallstabes. Die Ablesung der Eindringtiefe der Nadel erfolgt an einer auf dem Fallstab angebrachten Millimeterteilung. Zur Verfeinerung der Ablesung dient ein Nonius 4. In Abb. 2 ist die praktische Ausführung eines einfachen Penetrometers dargestellt, wie es auch heute noch in der Zementindustrie zur Bestim-

mung von Beginn und Ende des Abbindevorganges benützt wird.

Der erste Schritt in der Weiterentwicklung dieser Penetrometer lag darin, daß für die Messung der Eindringtiefe eine Meßuhr mit Teilung in Hundertstel-millimeter verwendet wurde. Eine direkte Kupplung mit dem Fallstab durfte aber nicht vorgenommen werden, da solche Meßuhren ziemlich große Reibungswiderstände aufweisen. Der Meßvorgang mußte deshalb in zwei Phasen durchgeführt werden, dem Einringvorgang und dem Meßvorgang für die Eindringtiefe. Die stichwortartige Betriebsvorschrift für ein solches Penetrometer lautete:

1. Aufsetzen der Nadel auf die Probe.
2. Aufsetzen des Tastholzens der Meßuhr auf den Fallstab.
3. Verdrehen der Skalenscheibe der Meßuhr, bis der Zeiger auf Null steht.
4. Entarretieren des Fallstabes.
5. Arretieren des Fallstabes nach 5 Sekunden.
6. Nachführen des Tastholzens der Meßuhr bis zur Berührung des arretierten Fallstabes.
7. Ablesen der Eindringtiefe.

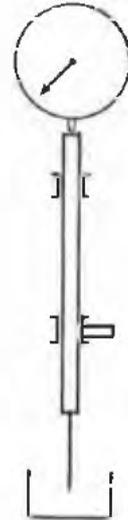


Abb. 3

Abb. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Penetrometers und Abb. 4 die praktische Ausführung. In Abb. 5 ist ein Penetrometer mit angebautem Metronom dargestellt. Das Sekundenschlagwerk erlaubt eine Verfeinerung der Zeitmessung. Im weiteren ist darauf hinzuweisen, daß die Stative der

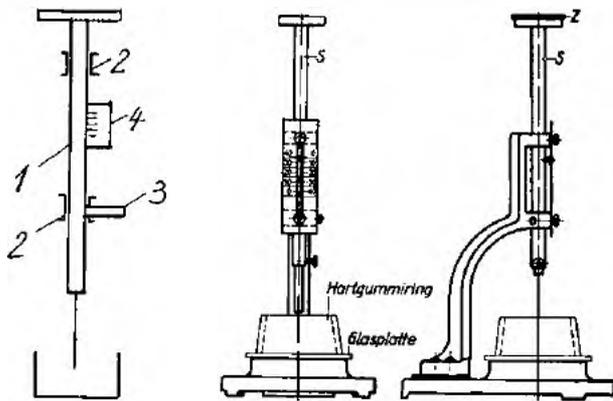


Abb. 1

Abb. 2

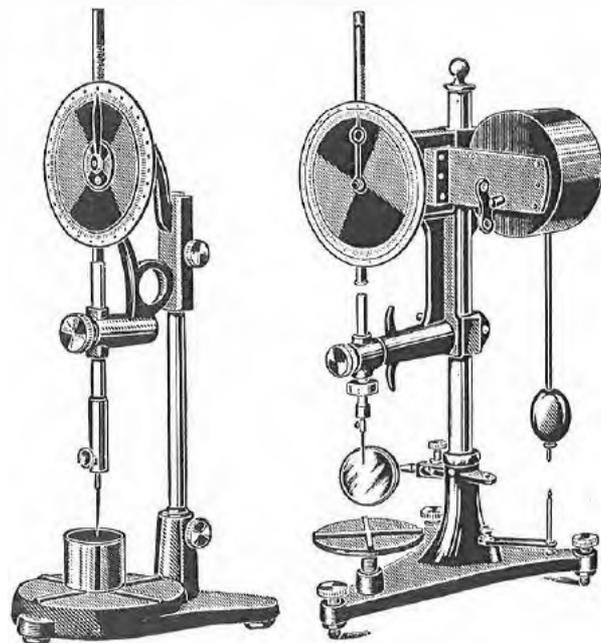


Abb. 4

Abb. 5

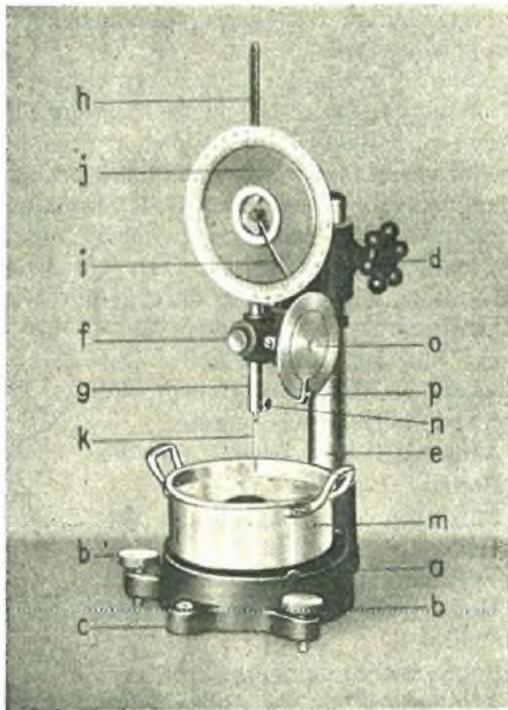


Abb 6

abgebildeten Penetrometer viel zu schwach sind, denn durch das Handgewicht bei der Betätigung der Bremse können infolge von Deformationen des Statives allein schon Meßfehler von einigen Penetrationsgraden erzeugt werden.

Kurz vor Ausbruch des Zweiten Weltkrieges wurde von der Firma Heyde in Dresden ein automatisches Penetrometer auf den Markt gebracht, das bereits einen bemerkenswerten Fortschritt in der Entwicklung der Penetrometer darstellt. Anhand der Abbildungen 6 und 7 soll dieses Gerät und seine Handhabung näher erläutert werden. Der Fuß *a* ist groß ausgebildet, damit das Wasserbad *m* mit der Probe sicher darauf gestellt werden kann. Mit den beiden Stellschrauben *h* und der Nosenöhelle *e* kann das Gerät nivelliert werden. Mit dem Wirbel *d* wird der obere Teil des Penetrometers

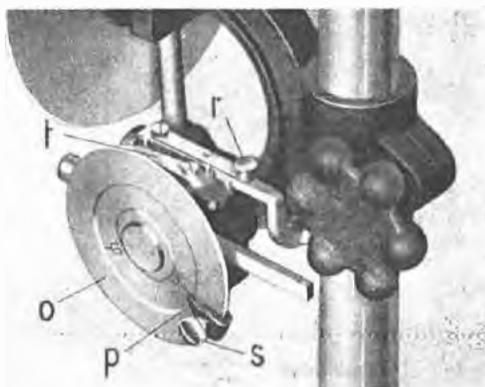


Abb 7

an der Führungsstange *e* angezogen. Durch Herdrücken des Arretierknopfes *f* wird die Nadelstange *g* frei zum Fall gegeben, gleichzeitig aber auch das seitlich angebrachte Hemmwerk ausgelöst. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit, die man mit dem Zeiger *i* auf der Scheibe einstellen kann, wird der Arretierknopf *f* ausgelöst und stoppt automatisch den Fall der Nadelstange. Die Nadelstange *g* besitzt mit der Penetrationsnadel *k* ein Gewicht von genau 100 g. Die Triebstange *h* wird dann leicht auf die Nadelstange *g* aufgeschoben. Durch das Herauf- und Herunterschieben der Triebstange *h* wird der Zeiger *i* bewegt. Die Ablesung der Penetrationsprobe an der großen Teilscheibe *j* erfolgt auf  $\frac{1}{10}$ -mm genau. Schätzung in Bruchteilen. Da die Teilscheibe *j* drehbar ist, kann man sie vor jeder Probe auf 0 stellen und erspart sich daher umständliche Rechnerei.

Die Probe wird zusammen mit dem Aluminiumtopf als Wasserbad auf der Fuß *a* gesetzt. Das Wasser muß dabei die Probe bedecken. Steht die Nadel *k* zu tief, so daß sich das Wasserbad *m* nicht unterstellen läßt, so drückt man mit dem rechten Daumen den Arretierknopf *f* ein und schiebt gleichzeitig mit der linken Hand die Nadelstange *g* bis zum Anschlag hinauf. Reicht dies noch nicht aus, so löst man den Wirbel *d* und schiebt das ganze Oberteil höher. Das Berühren der Gleitfläche der Nadelstange *g* mit den Fingern ist zu vermeiden, um diese nicht zu beschmutzen und den freien Fall zu behindern. Es empfiehlt sich, die Nadelstange *g* mit gutem Knochenöl in größeren Zeitabständen einzufetten.

Ist die Probe untergeschoben, so löst man den Wirbel *d* und senkt das ganze Oberteil, bis die Nadel das Wasser des Bades erreicht. Dann drückt man vorsichtig auf die Triebstange *h*, bis die Nadel *k* die zu prüfende Masse berührt. Dies ist jedoch nur zu machen, wenn ein sanfter Druck genügt, um die Nadelstange *g* trotz Arretierung durch den Druckknopf *f* zu schieben. Ist die Arretierungsfeder zu stark, so verfährt man folgenderweise: Mit dem rechten Daumen drückt man den Knopf *f* leicht ein und hält mit der linken Hand die Nadelstange *g* an ihrem untersten Teil. Dann setzt man die Nadel *k* auf die Oberfläche des zu prüfenden Stoffes auf und arretiert wieder. Besonders genau kann man dies erreichen, wenn man dazu das Spiegelbild benutzt. Man muß den Spiegel so aufstellen, daß man darin genau erkennen kann, wann die Nadel *k* auf den zu prüfenden Stoff aufstößt. Daraufhin dreht man die Teilscheibe *j*, bis der Zeiger *i* auf 0 zeigt. Verfährt man auf die zweite beschriebene Art, so muß man die Triebstange *h* dann erst wieder vorsichtig auf die Nadelstange *g* anschieben. Die Penetrationsnadel *k* muß sauber und fettfrei sein. Die Spitze darf nicht verbogen oder abgebrochen sein. Jede Verunreinigung der Nadel fälscht das Versuchsergebnis, da sie eine veränderte Reibung bewirkt. Vor der Probe muß

der Apparat gut horizontaliert werden, was mit den Stellschrauben *b* und der Dosenlibelle *c* schnell erreicht werden kann.

Die vorgeschriebene Einstellung macht man am besten bei abgestelltem Hemmwerk. Sind alle Vorbereitungen getroffen, so schaltet man das Hemmwerk ein. Der Hebel *r* wird nach innen gerückt, so daß er mit dem Haltebügel in einer Ebene liegt. Dann löst man die Schraube *s* und stellt die Zeit der Penetrationsdauer auf der Scheibe *o* mit dem Zeiger *p* ein. Nunmehr dreht man die Scheibe *o* im Uhrzeigersinn, bis die Sperrklinke *t* an dem an der Scheibe festverbundenen Haken hält.

Nunmehr ist das Penetrometer fertig zur Probe. Mit dem linken Daumen drückt man den Arretierungsknopf *f* ein. Durch mechanische Übertragung wird beim Eindrücken des Knopfes die Sperrklinke *t* von dem Scheibenhaken gelöst und dadurch das Hemmwerk in Bewegung gesetzt. Nach dem Eindrücken nimmt man den Daumen sofort wieder vom Arretierungsknopf. Nach Ablauf der eingestellten Zeit löst der Zeiger *p* die Sperrklinke *t* aus. Der Arretierungsknopf *f* kann nunmehr wieder zurückspringen und arretiert die Nadelstange *g*. Hierauf wird die Triebstange *h* herabgedrückt, bis sie auf der Nadelstange aufsitzt, und nun liest man die Penetration direkt an der Skalenscheibe *i* ab.

Ob die Erfahrungen, die mit diesem Instrument in der Praxis gemacht wurden, befriedigten, ist mir nicht bekannt. Auf alle Fälle weist das Instrument folgende Merkmale auf. Das Stativ ist kräftig gebaut. Das Wasserbad ist vom Sockel durch eine Luftschicht gut isoliert. Die Eingrenzung der Meßzeit erfolgt durch ein mechanisch wirkendes Hemmwerk und dürfte eine wesentlich größere Genauigkeit erreichen lassen als bei Handbetätigung. Weil aber der Fallstab mit Nadel direkt mit der Meßuhr gekuppelt ist, dürfte die Genauigkeit der Nadelbelastung infolge unkontrollierbarer Reibungseinflüsse gegenüber den einfachen Penetrometern kleiner sein. Verharzen von Schmierölen und Eindringen von Staub in die Zahnstangenübertragung müssen sich auf die Nadelbelastung sehr ungünstig auswirken. Außerdem erscheint nach der Gebrauchsanweisung die Handhabung des Penetrometers ziemlich kompliziert.

**Neukonstruktion**

Im nachstehenden soll nun eine Neukonstruktion eines automatischen Penetrometers beschrieben werden, die sich durch eine Projektionsablesung und eine selbsttätige Eingrenzung der Meßzeit auszeichnet. In Abb. 8 bedeutet 1 den Fallstab mit Penetrationsnadel. Um in den vorgeschriebenen Gewichtsgrenzen zu bleiben, wurde er aus Aluminium hergestellt. Die Oberfläche ist anodisch oxydiert. Die harte Oxydschicht ergibt einen sehr kleinen Reibungskoeffizienten und verlangt keine Schmierung. Dadurch sind

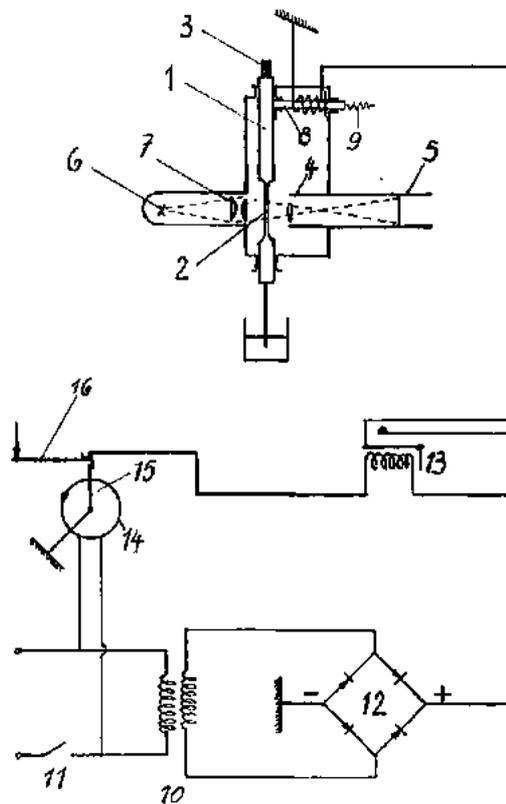


Abb. 8

Meßfehler infolge Viskositätsänderungen und Verharzen des Schmiermittels ausgeschlossen. An einer bestimmten Stelle ist der hohle Fallstab auf zwei gegenüberliegenden Längsseiten angefräst. In die so entstandene Öffnung ist ein Glasmaßstab 2 eingesetzt, dessen Teilung 300 Teilstriche von  $1/10$ -mm Abstand besitzt. Eine Mikrometerschraube 3 ermöglicht, den Glasmaßstab in engen Grenzen zu verschieben (Nullpunktkorrektur). Die Teilung des Maßstabes wird durch ein Mikroskopobjektiv 4 auf die Mattscheibe 5 abgebildet. An einer horizontalen Marke auf der Mattscheibe erfolgt die Ablesung auf  $1/100$ -mm genau. Die Beleuchtung erfolgt durch eine Glühlampe 6 vermittelt eines Kondensors 7. Diese optische Ablesevorrichtung hat gegenüber der Meßuhr den großen Vorteil, daß Parallaxfehler vollständig ausgeschaltet werden. Außerdem wirkt sie viel weniger ermüdend als andere Ablesevorrichtungen. Irgendwelche Rückwirkung auf das Fallstabgewicht ist ausgeschlossen. Die Bremse 8 für den Fallstab ist als Elektromagnet ausgebildet. Im stromlosen Zustand wird sie durch die Feder 9 gegen den Fallstab gedrückt und blockiert diesen. Im massiven Gußsockel sind eingebaut ein Transformator 10 mit Schalter 11 im Primärstromkreis, ein Gleichrichter 12, ein Relais 13 und ein kleiner Synchronmotor 14. Die Antriebswelle des Synchronmotors macht in 5 Sekunden genau eine Umdrehung. Ein drehbarer Hebel 15 sitzt durch Friktion auf der Motorwelle. Wird dieser Hebel festgehalten, so dreht sich die Motorwelle mit unverminderter Drehzahl, wird er freigegeben, so

dreht er sich sofort mit der Wellendrehzahl. Ein in der Mitte drehbar gelagerter Kontaktarm 16 ist rechtwinklig so abgehogen, daß der drehbare Kontaktarm an dieser Nase abgefangen wird. Wird das Gerät durch Einschalten des Schalters 11 unter Spannung gesetzt, so dreht sich die Motorwelle mit der vorgeschriebenen Drehzahl. Der Dreharm 15 schlägt an der Nase des Hebels 16 an und wird dadurch an der Drehung verhindert. Vom +Pol des Gleichrichters fließt ein Strom durch die Relaispule 13 über den Kontakthebel 16 durch den Dreharm 15 zum

Pol des Gleichrichters zurück. Der Kontakt des Relais ist geöffnet und damit der Stromkreis des Bremsmagneten 8 unterbrochen. Der Fallstab 1 ist durch den Druck der Feder 9 blockiert. Wird nun der Kontakthebel 16 in der Pfeilrichtung kurzzeitig nach unten gedrückt, so bewegt sich der Dreharm sofort im Uhrzeigersinn. Der Stromkreis der Relaispule wird unterbrochen, der Relaisanker fällt ab und schließt den Relaiskontakt. Nun fließt ein Strom vom +Pol über den Relaiskontakt durch die Spule des Bremsmagneten 8 zum -Pol. Die Bremse wird sofort gelöst und der Fallstab 1 kann frei fallen. Nach Ablauf von 5 Sekunden schlägt der Dreharm 15 auf die Nase des Hebels 16 und schließt dadurch den Relaispulenstromkreis. Der Relaiskontakt wird geöffnet und damit die Bremspule stromlos, was eine solartige Blockierung des Fallstabes bewirkt. Die



Abb. 9

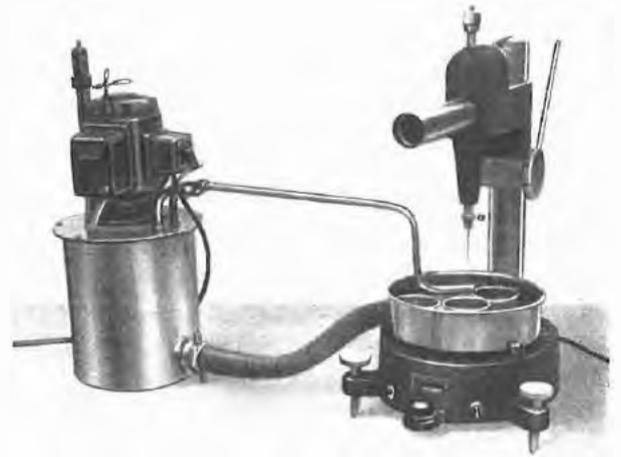


Abb. 10

Ablesung des Meßwertes kann nun auf der Mattscheibe erfolgen. Durch die angegebene Konstruktion wurde die Handhabung derart vereinfacht, daß die Gebrauchsanweisung sich von sieben Punkten beim alten Gerät auf drei Punkte reduziert:

1. Aufsetzen der Nadel auf die Probe.
2. Startknopf kurzzeitig drücken.
3. Ablesen der Eindringtiefe.

Diese Vereinfachung in der Bedienung ermöglicht neben der größeren Genauigkeit und Bequemlichkeit eine ganz beträchtliche Zeitersparnis.

Die praktische Ausführung des neuen Penetrometers geht aus den Abbildungen 9 bis 11 hervor. Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß der ganze Penetrometerkopf mit der optischen Ablesevorrichtung sich auf der Stativstange durch Trieb und Zahnstange verstellen läßt. Dadurch wird ein genaues Aufsetzen der Nadelspitze sehr erleichtert und vereinfacht. Im Sockel ist vorne links der Startknopf und vorne rechts der Netzschalter sichtbar. Abb. 10 zeigt das Penetrometer in Verbindung mit einem Umwälzthermostaten.

Die Penetrometer kommen nicht nur für die Bestimmung der Konsistenz von Teer, Bitumen, Wachsen, sondern auch von Fetten in Frage. In diesem Falle wird die Penetrationsnadel durch einen genormten Fettkegel ersetzt (Abb. 11). Das Fallgewicht einschließlich Fettkegel beträgt dann nicht mehr 100 g, sondern 150 g.

Nachstehend folgen einige Arbeitsvorschriften.

#### Arbeitsvorschriften

- a) Teer, Bitumen, Wachs usw.

Eine genügende Menge des zu prüfenden Materials wird in einem eisernen Tiegel durch ein Luflithad auf eine Temperatur von 75–100 °C über dem Schmelzpunkt des betreffenden Materials erhitzt und so lange auf dieser Temperatur gehalten, bis jeder Schaum

verschwunden ist. Während des Erhitzens ist die Masse in Zwischenpausen zu rühren, damit ein homogenes Produkt erhalten wird.

Das aufgeschmolzene Material wird in die dem Penetrometer beigegebenen Penetrationsgefäße eingegossen, so daß diese wenigstens 15 mm, höchstens 25 mm hoch gefüllt sind. Nach den Vorschriften des *Standard Analytical Method Book* sind diese Dosen eine Stunde hindurch in einem Trockenschrank nochmals auf der Aufschmelztemperatur zu halten, also 75–100 °C über dem Schmelzpunkt, damit alle etwa eingeschlossenen Luftblasen entweichen können. Nach der Abkühlung, die an einem staubfreien, mindestens 18 °C warmen Orte eine Stunde dauern soll, setzt man eine Probe und den beigegebenen Penetrometerkopf in ein größeres, mindestens 10 Liter fassendes Wasserbad von genau 25 °C, wo sie mindestens eine Stunde belassen werden müssen. Die Probe soll mindestens 10 cm hoch mit Wasser überdeckt sein. Nach dieser Temperierung wird der Penetrometer mit den Penetrationsgefäßen auf das Penetrometer aufgesetzt und sofort gemessen. Beim neuen Penetrometer mit Umwälzthermostaten kann die Temperierung direkt auf dem Penetrometer vorgenommen werden mit einer wesentlich höheren Genauigkeit, als dies mit der Handregulierung möglich ist.

Für jede Probe müssen mindestens fünf Messungen ausgeführt werden. Die Einstechpunkte sollen wenigstens 1 cm vom Tiegelrand und voneinander entfernt sein. Nach jeder Bestimmung muß die Probe wieder in das große Wasserbad kommen und dort einige Zeit verbleiben. Das Bad selbst muß durch leichte Erwärmung oder durch Zugießen warmen Wassers möglichst konstant auf der richtigen Temperatur gehalten werden. Diese Vorschriften fallen naturgemäß dahin bei der Verwendung eines die Temperatur automatisch regulierenden Umwälzthermostaten. Die deutschen Vorschriften verlangen



Abb. 11

für jede Mustersendung drei Proben zu fünf Einstichen, also im ganzen 15 Messungen. Für jede Bestimmung ist eine neue Nadel zu verwenden.

Das Mittel aus den einzelnen Bestimmungen ist dann die gesuchte Penetration. Voraussetzung ist, daß die einzelnen Bestimmungen untereinander nicht mehr abweichen, als in nachstehender Tabelle angegeben ist:

Penetrationen 150—200: 4 Einheiten	} zwischen Minimum und Maximum
75—150: 3 Einheiten	
25—75: 2 Einheiten	
unter 25: 1 Einheit	

Nach Beendigung einer Versuchsreihe müssen die Nadeln sofort mit Benzol und Watte gereinigt und im Spezialbehälter aufbewahrt werden. Angerostete oder verbogene Nadeln sind unverwendbar und müssen ausgeschieden werden. Die Form der Nadeln ist genau festgelegt und für das Meßergebnis außerordentlich wichtig. Ersatznadeln dürfen deshalb nur aus ganz zuverlässiger Quelle bezogen werden.

#### b) Fette

Bei der Prüfung von Fetten ist zu unterscheiden zwischen unbearbeiteten und bearbeiteten Fetten.

##### Unbearbeitete Fette

Die Messung der Konsistenz unbearbeiteter Fette erfolgt am besten in den genormten Fettgefäßen von etwa 8 cm  $\phi$  und etwa 500 g Inhalt, die normalerweise mit aufgeschliffenem Deckel geliefert werden. Bei sehr weichen Fetten ist die Eintauchtiefe vom Behälterdurchmesser abhängig. Das Muster ist auf eine Temperatur von  $\pm 25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ$  zu bringen. Weicht die Fetttemperatur nur um 1,5–2 °C von der Prüftemperatur ab, so genügt ein Eintauchen in ein Wasserbad während 30 bis 40 Minuten. Ist die Abweichung aber größer, so sind die Muster während 1½ Stunden in das Konstanttemperaturbad zu legen. Die Becher sind in diesem Fall mit dem Deckel zu verschließen, den man mit Fett abdichtet, um ein Eindringen von Wasser zu verhindern. Die Verwendung eines Präzisions-Umwälzthermostaten erleichtert auch hier die Temperierung wesentlich.

##### Verfahren

1. Oberfläche des Fettes mit einer geeigneten Spachtel vorsichtig abschneiden, ohne das Fett zu bearbeiten.
2. Behälter mit dem Fett auf den Penetrometer-tisch stellen, Fettkegus senken, bis die Spitze die Fettoberfläche berührt. Mit Hilfe des Schattens der Konusspitze kann die Einstellung sehr genau erfolgen. Bei weichen Fetten (Konsistenz unbearbeitet 310 und mehr) ist es sehr wichtig, daß die Spitze möglichst genau in der Mitte des Behälters aufgesetzt wird.
3. Konus 5 Sekunden lang frei fallen lassen und Eintauchtiefe ablesen.

### Abstand der Prüfstellen in Behältern

Der Durchmesser des bei einer Prüfung entstandenen Tauchkegels an der Fettoberfläche ist gleich der gemessenen Eintauchtiefe. Um zu vermeiden, daß bei Vornahme mehrerer Messungen auf derselben Fettoberfläche eine Messung nicht von einer vorhergehenden beeinflusst wird, muß beim Aufsetzen der Spitze ein genügender Abstand eingehalten werden.

### Anzahl Messungen

1. Mittelwert aus 5 Messungen, wenn größte Abweichung kleiner als 3 %.
2. Mittelwert aus 10 Messungen, wenn größte Abweichung größer als 3 %.

### Bearbeitete Fette

Bearbeitete Fette bedürfen vor der Messung einer Vorbehandlung in einem sogenannten Bearbeiter. Dieses Gerät besteht aus einem geschlossenen Gefäß, in dem eine gelochte Scheibe bewegt werden kann. Der Bearbeiter wird mit dem Prüfmaterial ganz gefüllt, so daß ein Minimum an Luft eingeschlossen wird. Arbeitstemperatur  $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ . Das Fett ist mit 60 ganzen Doppelhüben zu durchkneten, alle 60 Bewegungen in etwa 1 Minute. Deckel und Kolben können entfernt werden, Oberfläche glätten. Nach Einstellen der Temperatur auf  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}$  Vornahme der Messungen wie oben beschrieben. Bei weichen Fetten ist es sehr nützlich, vor den Messungen das Gefäß einige Male auf den Tisch zu schlagen, um das Austreten eingeschlossener Luftblasen zu fördern. Um den Fettspiegel etwas zu heben, tauche man den Verdrängungsring in den Bearbeiter. Die eigentliche Konsistenzmessung geht genau gleich vor sich wie bei unbearbeiteten Fetten.

### Versuchsreihen

Um einerseits die Brauchbarkeit des neuen Penetrometers zu prüfen und andererseits, um Aufschluß zu erhalten über die notwendige Temperaturkonstanz im Wasserbad, wurde vom Verfasser eine größere Versuchsreihe durchgemessen. Als Probematerial wurde Bitumen, Bienenwachs und Paraffin gewählt. Die Temperierung der Proben erfolgte im Wasserbad des Penetrometers unter Verwendung eines Umwälzthermostaten. Die Kontrolle der Badtemperatur vermittelte eines in  $1/10^{\circ}\text{C}$  geteilten Normalthermometers ergab, daß sie stundenlang auf  $1/10^{\circ}\text{C}$  konstant blieb. Die Konsistenz sämtlicher drei Proben wurde bei den Temperaturen 20, 25, 30 und  $35^{\circ}\text{C}$  gemessen. Die Mittelwerte aus je zehn Einzelmessun-

gen sind im Kurvenblatt Abb. 12 aufgetragen. Daraus geht hervor, daß sich die Konsistenz von Bitumen bei der Normtemperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  um etwa 1 Penetrationsgrad ändert, wenn die Temperatur um  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  schwankt. Diese Änderung beträgt unter denselben Bedingungen bei Bienenwachs etwa 4 Penetrationsgrade und steigt bei Paraffin auf etwa 10 Penetrationsgrade an. Bei  $35^{\circ}\text{C}$  würde für Paraffin eine Temperaturänderung von  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sogar eine Änderung der Penetration von etwa 35 Graden bedingen. Daraus geht hervor, daß der richtigen Temperierung der Proben größte Aufmerksamkeit zu schenken ist.

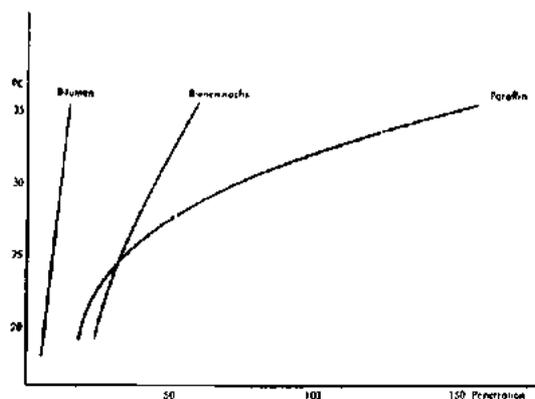


Abb. 12

In Anbetracht dessen, daß es sich fast durchwegs um schlechte Wärmeleiter handelt, ist deshalb die Verwendung eines Präzisions-Umwälzthermostaten dringend zu empfehlen.

Bei den ersten Messungen an den erwähnten Proben überraschte mich die relativ große Streuung der Einzelresultate. Da instrumentelle Fehler für diese Streuungen außer Betracht fielen, konnte nach längerem Suchen der Fehler in der Art des Aufsetzens der Nadel auf die Probe ermittelt werden. Insbesondere bei schwarzem Bitumen und dem bläulichweißen Paraffin war es trotz besten Beleuchtungsverhältnissen und Spiegel mit Lupe nicht möglich, genau festzustellen, wann die Nadel die Probe gerade berührte. Während bei unbedeckter Probe diese Einstellung leicht vor sich geht, macht die Übersichtung mit Wasser diese Arbeit fast unmöglich. Ich hielt dann einen schmalen Streifen aus Aluminiumfolie von 10–20  $\mu$  Dicke auf die Prüfstelle und senkte die Nadel, bis sie dem Hervorziehen des Streifens einen fühlbaren Widerstand entgegengesetzte. Nach dem Entfernen des Streifens wurde gemessen. Die so erhaltenen Meßresultate streuten selten um mehr als eine Einheit, auch nicht bei den höchsten gemessenen Werten.