

ORGAN

für die

FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS

in technischer Beziehung.

Organ des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Neue Folge XXV. Band.

Ergänzungsheft. 1888.

Untersuchungen über die dynamischen Vorgänge in Flüssigkeitsschichten als Grundlagen für die Prüfung und Wahl Reibung vermindernder Flüssigkeiten.

Von Jähns, Königlicher Eisenbahn-Maschinen-Inspector in Köln.

(Hierzu Zeichnungen auf den Tafeln XXXIV bis XXXVII.)

Inhalt:

	Seite		Seite
Vorwort	256	9. Beziehung der Widerstände auf der Flächeneinheit gleichbelasteter Schichten zur Grösse der die Schichten belastenden Flächen	269
I. Die Theorie der Vorgänge.			
1. Der Zustand einer unbelasteten Flüssigkeitsschicht beim Uebergange aus der Ruhe in die Bewegung, und die Ursache der durch diese erzeugten Widerstände, ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit der Bewegung der die Schicht tragenden Flächen fester Körper	256	10. Die Abhängigkeit der Grösse der Schichtenwiderstände vom Wärmegrade der Schicht	271
2. Die Festigkeit und die Festigkeits-Widerstände der Flüssigkeiten und ihre Abhängigkeit vom Wärme-Wechsel	257	11. Der Reibungsbeiwert und die Abhängigkeit seiner Grösse von der der Belastung und der der belasteten Fläche	271
3. Der Einfluss der inneren Arbeit der Schicht auf ihre Festigkeit im Allgemeinen, der Beharrungszustand der inneren Arbeit und der Dauerwerth	258	12. Die Ergebnisse der Untersuchungen im Allgemeinen und Zusammenstellung der Ausdrücke für die ziffermässige Bestimmung der Einzelgrössen der Widerstände, der Dauerwerthe und der Nutzwerthe für verschiedene Belastungen, Flächen, Geschwindigkeiten und Wärmegrade	272
4. Der Einfluss der Belastung auf die Höhe der Wärme im Beharrungszustand und auf die Festigkeit der Schicht	260	13. Beispiel für die Vergleichung der mechanischen Nutzwerthe zweier Oele	275
5. Der Einfluss der Geschwindigkeit der Bewegung der Flächen auf die Höhe der Wärme des Beharrungszustandes der Schicht und die Grösse ihrer Festigkeit	261	II. Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften der Flüssigkeiten.	
6. Die Abhängigkeit des Zustandes der Schicht von der Grösse der Belastung im Allgemeinen und die Beanspruchung der belasteten Schicht; die Darstellung der Verminderung der Schichtenhöhen	261	1. Der mechanische Nutzwert der Flüssigkeiten und die Bestimmung seiner Grösse	279
7. Die Beziehungen der Widerstände der bewegten Schicht bei gleichbleibender Belastung zur Geschwindigkeit der Bewegung und die Geschwindigkeit des grössten und kleinsten Widerstandes	262	2. Die Einheitswerthe für die Bestimmung des Nutzwertes	280
8. Die Bestimmung der Widerstandsgrössen bei Veränderung der Geschwindigkeit und der Belastung, diejenige der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes und der Höhe der Schicht. Die Beziehung der Abhängigkeit der Grösse der Gesamtwiderstände von der Höhe der Schicht. Der Widerstand der Ruhe	264	3. Die Reihenfolge der Einzel-Untersuchungen bei der mechanischen Prüfung und Wahl Reibung vermindernden Flüssigkeiten	281
		4. Die Bestimmung der Bewegungswiderstände einer Flüssigkeitsschicht	281
		5. Die Bestimmung der Verminderung der Höhe der Flüssigkeitsschichten durch die Wirkung der Belastung	283
		6. Die Bestimmung der Festigkeit der Flüssigkeiten	285
		7. Bemerkungen über die Vorrichtungen zur Bestimmung der Schichtenwiderstände im Allgemeinen	286

Vorwort.

Der mit der Fortentwicklung der Werkthätigkeit sich steigernde Bedarf an Reibung vermindern den Flüssigkeiten, und die gleichzeitig wachsende Erzeugung dieser, sind bisher der Entstehung und Entwicklung von Mitteln voraus geeilt, welche zuverlässig festzustellen ermöglichen, ob die Beschaffenheit der einzelnen Erzeugnisse den Anforderungen entspricht, welche die verschiedenen Zwecke ihrer Verwendung in wirtschaftlicher Beziehung stellen müssen, wenn Leistungsfähigkeit und Nutzwert der Erzeugnisse in angemessenem Verhältnisse zu einander stehen sollen.

Diese Mittel sind für die Beurtheilung des Nutzwertes der festen Körper bereits hochentwickelt, und ihrer Gestaltung ist eine vielseitige, wissenschaftliche wie praktische Untersuchung der Ursachen und Wirkungen der Urvorgänge in den Querschnitten der beanspruchten festen Körper vorausgegangen.

Die Möglichkeit der zweckmäßigen Verwendung der festen Körper ist somit, bei entsprechender Berücksichtigung der Gesetzmässigkeit in der Abhängigkeit der Beanspruchung ihrer Querschnitte von der Belastung gegeben.

Die Veränderungen der Beanspruchungen der Querschnitte Reibung vermindern der Flüssigkeitsschichten sind dagegen durch sehr verschiedene, gleichzeitig und daher in Wechselwirkung auftretende Ursachen bedingt, und zwar: durch die Grösse der Belastung und der belasteten Fläche, die Wärme, die Grösse der der Flüssigkeit eigenen Festigkeit*) und das bei Berührung mit festen Körpern entwickelte Haftvermögen**), wie endlich durch die Geschwindigkeit der Bewegung der festen Körper, zwischen welchen sich die Flüssigkeits-Schicht bei ihrer Verwendung befindet.

Die Ermittlung der bisher nicht bekannten Gesetze für die Beziehungen aller aus diesen Einzelursachen folgenden Wirkungen untereinander bildet den Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Die Natur des Gegenstandes bedingte eine gründliche theoretische Erörterung, mit welcher gleichzeitig Versuche Hand in Hand gehen mussten, um die aus den theoretischen Voraussetzungen gefolgerten Wechselwirkungen der an sich nicht unmittelbar wahrnehmbaren Ur-Vorgänge durch das Ergebnis der Versuche bestätigen zu können.

Ohne Anlehnung an bisher Bekanntes, sind die Untersuchungen***) von diesen Gesichtspunkten ausgehend durchgeführt; die Ergebnisse derselben können daher als sichere Grundlage für die Beurtheilung des mechanischen Nutzwertes der Flüssigkeitsschichten dienen und zwar bezüglich aller die Leistungsfähigkeit der Flüssigkeiten bedingenden Einzelursachen und deren Wechselwirkungen.

Die der Auswahl unserer Baustoffe vorausgehenden Untersuchungen über deren Beschaffenheit bezweckten im Allgemeinen Körper zu finden, bei welchen unter gegebenen Verhältnissen

*) Cohäsion.

**) Adhäsion.

***) begonnen 1883.

die höchst mögliche Beanspruchung so weit über der thatsächlichen bleibt, dass in Folge der Beschränkung der Rückwirkungen der inneren Nutzarbeit auf die Aenderung ihres Zustandes auch durch lange andauernde Beanspruchung die Leistungsfähigkeit der einzelnen Glieder des Baues nicht unzweckmässig vermindert wird. — Wollen wir einen flüssigen Stoff auswählen, welcher zu einem bestimmten Zwecke innere Nutzarbeit verrichten soll, so müssen die gleichen allgemeinen Gesichtspunkte maßgebend sein, weil auch in Bezug auf einen solchen dieselben Bedingungen erfüllt sein müssen, d. h. grösste Leistungsfähigkeit bei verhältnismässig geringster Beanspruchung. Sind diese doch auch hier die Ursache eines sich möglichst lange gleichbleibenden Zustandes und seiner Wirkungen.

I. Die Theorie der Vorgänge.

1. Der Zustand einer unbelasteten Flüssigkeitsschicht beim Uebergange aus der Ruhe in die Bewegung, und die Ursache der durch diese erzeugten Widerstände, ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit der Bewegung der die Schicht tragenden Flächen fester Körper.

In Fig. 1 Taf. XXXIV seien ff und f'f' zwei gleichgerichtete Flächen fester Körper, zwischen welchen sich eine ruhende Flüssigkeit von der Dicke h, der Breite b und der Länge l befindet. Die Masse dieser Schicht ist im Gleichwichte der Ruhe, wenn das an beiden Berührungsflächen der Flüssigkeit und der festen Körper auftretende Haftvermögen $\alpha \cdot 2 \cdot l \cdot b$ gleich ist der Summe der Festigkeitswiderstände c der anderen nicht von den festen Flächen berührten Begrenzungsflächen = $c \cdot 2 \cdot (l + b) \cdot h$, welche gleich der in der Schicht vorhandenen Festigkeit sein müssen; es ergibt sich sonach

$$\text{Gl. 1) } \dots \alpha \cdot 2 \cdot l \cdot b = c \cdot 2 \cdot (l + b) \cdot h$$

Greift eine Kraft x' an der Fläche f'f' (Fig. 1 Taf. XXXIV) in der Richtung des Pfeiles an, so entwickelt sich an dieser ein Widerstand des Haftvermögens von der Grösse αb , und ausserdem ein Widerstand, welcher zunächst durch die Trägheit der Masse der Schicht verursacht wird.

Erst wenn dieser Trägheitswiderstand überwunden ist, kann Bewegung eintreten, zu deren Erhaltung sodann nur eine um die Grösse desselben geringere Kraft x erforderlich ist. Der Widerstand der Ruhe ist also stets grösser als der nach Anfang der Bewegung (siehe unter I. 7).

Zur Bestimmung der Kraft x, welche erforderlich ist, die Fläche f'f' in Bewegung zu erhalten, führt folgende Betrachtung.

Man denke sich die Schicht in n Urschichten von unendlich kleinen Höhen $\frac{h}{n}$ zerlegt. — Im Augenblicke des Anfanges der Verschiebung der Fläche f'f' Fig. 6 Taf. XXXIV würde, da die Schicht an der Berührungsfläche f'f' haftend, der Bewegung in der Richtung der Kraftwirkung folgen muss, der ganze Widerstand des Haftvermögens gleichzeitig auch in der gemeinschaftlichen Berührungsfläche der ersten und der zweiten Urschicht z y in der Richtung der Verschiebung an letzterer

als Kraft wirken, wenn ein Widerstand an ersterer nicht aufträte.

Gleichzeitig mit der Verschiebung entwickelt sich indessen an der Berührungsfläche ein durch die Festigkeit der Flüssigkeit bedingter Reibungswiderstand der Theilchen und zwar hier von der Grösse $c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$ wenn c die Festigkeit der Masseneinheit in der ganzen Schichtenhöhe h bedeutet. — Es wirkt also $c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$ dem $\alpha l b$ entgegen, und es ist zur Verschiebung der Urschicht 2 daher nur die Kraft $\alpha l b - c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$ verfügbar. Von Urschicht zu Urschicht vereinigen sich nun die Werthe von $c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$, und der Unterschiedswerth $\alpha l b - c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$ geht in der Berührungsebene der ersten und zweiten Urschicht an der Berührungsfläche ff über in den Werth $\alpha(1b) - c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n}$, oder, da nach Gl. 1 $\alpha b l = c(1+b) h$ ist, in den Werth $c(1+b) h - c \cdot 2(1+b) \frac{h}{n} = -c(1+b) \frac{h}{n}$, d. h. in ein Haftvermögen, welches der Wirkung der Kraft x entgegengerichtet, und dem an der Berührungsfläche $f'f'$ aufgetretenen Widerstande des Haftvermögens gleich gerichtet ist.

Die Summe x dieser Kräfte ist also gleich dem Widerstande des Haftvermögens an einer der Flächen und der Summe der inneren Reibungswiderstände der Schicht, also $x = \alpha(1b) + c(1+b) h$, oder gleich der Summe der Widerstände des Haftvermögens an den festen Flächen also $x = 2\alpha l b$. — Für die mittlere Urschicht mit der Höhe $\frac{h}{2}$ besteht die Beziehung $c(1+b) h - c \cdot 2(1+b) \frac{h}{2} = 0$

Im Augenblicke des Bewegungsanfanges, bis sich also die Bewegung der einen der festen Flächen auf die zunächst liegende Urschicht, und damit auf die Masse der Schicht übertragen hat, ist der der Bewegung entgegenwirkende Widerstand nur gleich dem ganzen Haftvermögen an der zu bewegenden Fläche $f'f'$, also $= \alpha l b$; dieser Widerstand soll allgemein als Grundwiderstand G bezeichnet werden.

Da α abhängig von c ist, so ist auch G sowohl von α als auch von c abhängig. Aus dem vorher Angeführten geht hervor, dass also die Abhängigkeit dieser einzelnen Grössen unter einander und ihrer Wirkungen auf die Grösse des Widerstandes der Schicht, also auf den Werth $2(\alpha l b)$, bestimmt werden muss, um eine nach allen Richtungen hin brauchbare Grundlage für die Beurtheilung des Nutzwertes einer Flüssigkeit, welche mechanische Arbeit verrichten soll, zu gewinnen.

2. Die Festigkeit und Festigkeits-Widerstände der Flüssigkeiten und ihre Abhängigkeit vom Wärme-Wechsel.

Die Theilchen einer Flüssigkeit befinden sich in der Ruhe im allseitigen Gleichgewichte. Die dabei auf gegenseitige Anziehung der Theilchen wirkenden Kräfte stellen die Festigkeit dar.

Wird die Flüssigkeit an einer ihrer Begrenzungsflächen durch eine der Richtung der Festigkeit entgegengesetzt wirkende Kraft beansprucht, so übt sie einen Widerstand: den Festigkeits-Widerstand aus.

Wird eine Platte a auf die Begrenzungsfläche bb einer Flüssigkeit gelegt (Fig. 3, Taf. XXXIV), so dass sie von dieser benetzt wird, so entwickeln sich an dieser Fläche anziehende Kräfte α , das Haftvermögen, welche das Gleichgewicht in der Flüssigkeit nicht stören, so lange die Ebene der Begrenzungsfläche der Flüssigkeit mit der Ebene der unteren Fläche von a zusammenfällt.

Wird nun diese Fläche in der Richtung des Pfeiles mit der Kraft x (Fig. 4 Taf. XXXIV) gehoben, so erzeugt die Festigkeit dem α entgegengesetzt gerichtete Widerstände. — An der unteren Fläche muss ausserdem die Flüssigkeit auch dann noch haften und hängen bleiben, weil ausser dem Haftvermögen α die Spannung der umgebenden Luft dem Lösen von der Fläche entgegenwirkt.

So lange das wachsende x den Werth der der Grösse der Fläche entsprechenden Festigkeit nicht erreicht, wird also der Zusammenhang des aufwärts gezogenen Theiles der Flüssigkeit im Querschnitte ii bestehen bleiben.

Wird nun x um ein Kleinstes grösser als die auf die Platte a wirkende Σc , so muss sich die Flüssigkeit im Querschnitte ii abtrennen, sie muss zerreißen, und nun kehren die beiden von einander getrennten Theile in den Zustand allseitigen Gleichgewichtes zurück.

In Fig. 7, 5, 8 und 10 Tafel XXXIV sind die Ergebnisse einer grösseren Anzahl von Bestimmungen der Festigkeitswiderstände ihrer Beschaffenheit nach sehr verschiedener Flüssigkeiten dargestellt, deren Abscissen die Wärme und deren Ordinaten die Grösse der Widerstände im Augenblicke des Zerreißen der anhaftenden Flüssigkeit in gr für 1 qcm der das Zerreißen vermittelnden festen Fläche darstellen (über die Bestimmungsweise siehe II. 6).

Die durch Punkte auf den Darstellungen bezeichneten Werthe sind durch eine Messung oder als Mittelwerth aus mehreren Messungen bestimmt.

Die Darstellungen lassen eine ausserordentliche Verschiedenheit ihres Verlaufes für die verschiedenen Flüssigkeiten erkennen, und die Art ihres Verlaufes gestattet bei näherer Betrachtung einen erschöpfenden Einblick in die von der Wärme abhängigen inneren Vorgänge.

Am deutlichsten tritt dies in der Darstellung für Wasser bei a (Fig. 7, Taf. XXXIV) hervor.

Hier wächst die Festigkeit des Wassers in der Nähe von 0 Grad wie die der anderen Flüssigkeiten, wird aber bei $100^\circ = 0$, entsprechend den durch den Uebergang aus tropfbar flüssigem in dampfförmigen Zustand bedingten inneren Vorgängen.

Petroleum (c) zeigt eine durchschnittlich bei allen Wärmegraden sehr geringe Festigkeit.

Die Mineralöle zeigen alle sehr bedeutende Unterschiede in den Kräften bezw. Widerständen bei hohen und bei niedrigen Wärmegraden.

Rüböl (b Fig. 7 Taf. XXXIV) zeigt dagegen, wie auch andere Pflanzenöle, viel geringere Unterschiede und die vor-

theilhafte Eigenschaft, dass sich seine Festigkeit grade zwischen den Wärmegraden, in welchen es zum Schmieren für gewöhnlich benutzt wird, also von 15° bis 40° , im Durchschnitte nur um 0,025 gr für 1 qcm gegen die bei 10° vermindert, während die Festigkeits-Verminderung des in Fig. 5 Taf. XXXIV mit a bezeichneten Mineralöles z. B. in diesen Grenzen 0,057 gr für 1 qcm beträgt.

Welche Zustandsveränderungen allein durch wiederholte Einwirkung der Wärme auf gewisse Oele ausgeübt werden, lässt der Verlauf der Darstellungen in Fig. 8 Taf. XXXIV für zwei verschiedene Cylinderöle erkennen. — Es geben daselbst die gestrichelten Linien die Widerstände bis zum Zerreißen nach mehrfacher Erwärmung bis gegen 200° C. und nachfolgender Abkühlung. Sehr eigenthümlich ist dabei die Erscheinung, dass bei dem mit b bezeichneten Oele, durch die mehrfache Erwärmung die Festigkeit bei hohen Wärmegraden verringert, bei dem mit a bezeichneten mit jedesmaligem Erwärmen über 180° hinaus vergrößert wird.

Diese grosse Abhängigkeit der Festigkeit von der Grösse und Wirkung der Wärme stellt nun ihrer Folgen wegen eine bisher bei der Wahl der Oele für eine bestimmte Verwendung noch nicht genügend berücksichtigte Frage in den Vordergrund.

Diese Frage lautet: Bei welcher Wärme, oder innerhalb welcher Wärme-Grenzen wird das Oel benutzt?

Ein Beispiel erläutere die grosse Wichtigkeit dieser Frage.

Ein Cylinderöl a (Fig. 10 Taf. XXXIV) zeigt bei einer mittleren Luftwärme von 25° einen Widerstand bis zum Zerreißen von 0,355 gr für 1 qcm, ein solches b bei 25° einen Widerstand von 0,405 gr für 1 qcm.

Die Wärmegrade, bei denen die Oele arbeiten sollen, liegen jedoch entsprechend der Wärme im Dampfzylinder bei etwa 170° C. — Hier ist der Widerstand auf der Darstellung a gemessen = 0,250 gr für 1 qcm, auf b = 0,205 gr für 1 qcm. Die Beanspruchung der zu a gehörigen Querschnittseinheit der Schicht ist also bei 170° C. im Verhältnisse von $\frac{250}{205} = 1,22$ mal grösser als die der zu b gehörigen Schicht, also umgekehrt wie bei 25° .

Die Wahl müsste also auf das Oel b fallen.

3. Der Einfluss der inneren Arbeit der Schicht auf ihre Festigkeit im Allgemeinen, der Beharrungszustand der inneren Arbeit und der Dauerwerth.

An die vorher angeführte Frage knüpft sich nun unmittelbar eine zweite ebenso wichtige, nämlich:

Bleibt die Festigkeit der Flüssigkeiten unverändert, während sie innere Nutzarbeit verrichten, oder welche Veränderungen, und wodurch finden diese statt? Zur Beantwortung dieser Frage bedarf es zunächst einiger Vorbemerkungen.

Die innere Arbeit, welche die Flüssigkeitsschicht während der Bewegung der festen Theile zwischen diesen verrichtet, ist das Product aus dem Schichtenwiderstande und den Wegen, welche die Theilchen gleichzeitig zurückzulegen gezwungen sind.

Aus der Erfahrung ist uns bekannt, dass Metallstäbe, wenn sie zerrissen oder gestossen werden, besonders bei plötzlich eintretender Beanspruchung der Theilchen Wärme entwickeln, und

zwar um so mehr, je grösser die Belastung oder die Wege in der Zeiteinheit sind, um welche entweder eine Verschiebung der Theilchen stattfinden muss, oder der Natur des Metalles entsprechend stattfinden kann.

Wenn man denselben Vorgang verfolgt, wie er in einer arbeitenden Flüssigkeitsschicht auftritt, so zeigt sich hier gegenüber den eben gedachten Fällen, dass die Wege der Theilchen in der Zeiteinheit sehr erheblich grössere sind.

Ein im Verhältnisse dieser grösseren Geschwindigkeit Vielfaches kann die Wärmeentwicklung hierbei indessen nicht sein, weil sie, als Folge der Rückwirkung der inneren Arbeit auch von der, bei festen Körpern viel grösseren Dichtigkeit und Festigkeit abhängig ist.

Wie die Erfahrung lehrt, ist aber diese, durch die Rückwirkung der Arbeit bedingte Wärmeentwicklung verhältnissmässig bei den Flüssigkeiten so bedeutend, dass das Erkennen der Bedingungen ihrer Entstehung und ihrer Abhängigkeit von der eigenartigen Beschaffenheit der Flüssigkeit von besonderer Wichtigkeit ist; denn von diesen Umständen ist die Leistungsfähigkeit der Schicht bei dauernder Beanspruchung und somit auch der wirtschaftliche Werth mit Rücksicht auf die Verwendung einer Flüssigkeit für einen bestimmten Zweck hauptsächlich abhängig.

Wie bei festen Körpern, so auch bei flüssigen bewirkt nicht allein vorübergehende, sondern auch innerhalb der zulässigen Grenzen dauernd wirkende Beanspruchung der Flächeneinheit des arbeitenden Querschnittes dauernde Zustandsveränderungen, welche sich bei ersteren sichtbar als Veränderungen im Gefüge oder bleibende Durchbiegungen, bei letzteren als Aenderungen der physikalischen und auch chemischen Beschaffenheit erkennen lassen.

Wir kehren nun zu der anfangs gestellten Frage zurück, und wollen im besondern für die Flüssigkeiten die Ursachen der Zustandsänderung, welche die Veränderung der Festigkeit der Schicht bedingen, aufsuchen. — Die Festigkeit für die Einheit des Schichtenquerschnittes bei der Wärme t und zwar im Zustande der Ruhe sei = c . Nimmt man nun an, dass sich die, die Schicht begrenzenden festen Flächen gegeneinander um eine Grösse l (Fig. 9 Taf. XXXIV) in der Zeiteinheit verschieben, so werden die in der Schicht dadurch auftretenden Reibungswiderstandsarbeiten die Wärme $\frac{t}{n}$ erzeugen, (worin n von der Grösse der Festigkeit abhängig ist), welche mithin am Ende des Weges l eine Steigerung der Anfangswärme t auf $t + \frac{t}{n} = t'$ bewirken muss.

Dem Werthe t' entspricht aber der Werth $c' = c - \frac{c}{n}$, weil die Grösse der Festigkeit mit wachsender Wärme abnimmt. Bei der darauf folgenden Bewegung der Schicht um einen zweiten Weg von der Grösse l wird daher t' steigen auf $t'' = t' + \frac{t'}{n}$ und die Grösse der Festigkeit sinken auf $c'' = c' - \frac{c'}{n}$ u. s. w. bis ein Augenblick eintritt, von welchem ab die Abnahme der Werthe von c und hiermit die Zunahmen von t , also die Werthe $\frac{t}{n}$ unendlich klein werden, d. h. t und c beständig bleiben. —

Auch die Arbeit des Festigkeits-Widerstandes in der Schicht befindet sich von nun an in einem Beharrungszustande.

Der Vorgang ist in Fig. 9 und 2 Taf. XXXIV veranschaulicht. Der Wärme-Unterschied $t^n - t = T$, d. h. derjenige zwischen der Wärme des Beharrungszustandes und der gleichzeitig mit diesem vorhandenen Luftwärme ist dabei unabhängig von der Höhe letzterer.

Aus dieser Betrachtung geht als Beantwortung der vorgestellten Frage hervor, dass sich der Zustand durch Verminderung der Grösse der Festigkeit der Schicht bei dauernder Arbeit verändert, und dass der Wärmeunterschied T im Beharrungszustande in einem bestimmten Verhältnisse zur Grösse der Rückwirkungen der Widerstandsarbeit in der Schicht stehen muss, also zur Beanspruchung $\frac{1}{c} = s$ für die Einheit ihres Querschnittes; T ist also abhängig von den einer bestimmten Flüssigkeit eigenen Grössen von α , c und h . — Zur Ermittlung dieses Verhältnisses diene folgende Betrachtung.

Aus dem unter 1. Erläuterten geht hervor, dass alle Urschichten an der Bewegung der festen Fläche $f'f'$ Theil nehmen.

Sämmtliche Querschnitte der Schicht haben daher Arbeit zu leisten, und die Rückwirkung dieser ist die Entwicklung von Wärme, deren Menge mit der Grösse der inneren Arbeit in geradem Verhältnisse steht. In Fig. 6 Taf. XXXIV sind die Dreiecke m , n , o und p , n , o die Querschnitte von Prismen, deren Längen der Breite b der Fläche $f'f'$ bzw. ff gleich sind. Die Theilchen des durch m , n , o begrenzten Prisma W sind die Träger der, der Kraft x entgegengerichteten Widerstände, die des durch p , o , n begrenzten K Träger der x gleichgerichteten Kräfte.

Die innere Reibungsarbeit, welche an den Berührungsflächen zweier Urschichten erzeugt wird, ist gleich dem Producte aus dem Wege der Theilchen in der Zeiteinheit, der Grösse der Berührungsfläche und dem Werthe von c für die Einheit des Querschnittes $c \frac{h}{n}$.

Wird der Weg der Theilchen in der Zeiteinheit, also ihre Geschwindigkeit, im Prisma K an der Berührungsfläche $f'f' = 1$ gesetzt, so ist diese an der Berührungsfläche $ff = o$.

Die mittlere Geschwindigkeit aller Urschichten in K ist daher $0,5$, die Arbeitsgrösse sämmtlicher Urschichten $= 0,5 \alpha l \cdot b \cdot \frac{h}{n} \cdot n = \alpha \frac{1 b h}{2}$.

Die Arbeitsgrösse in den Urschichten des Prisma W ergibt sich in gleicher Weise zu $0,5 \cdot c \cdot 2(1+b)h \cdot \frac{h}{n} \cdot n = c(1+b)h^2$. Die Summe der Arbeiten a in der ganzen Schicht ist daher: $= \frac{\alpha 1 b h + c}{2} (1+b)h^2$ und weil nach Gl. 1) $\alpha 1 b = c(1+b)h$ ist $= \frac{c(1+b)h^2}{2} + c(1+b)h^2 = 1,5 c(1+b)h^2$.

Werden für die Vergleichung von Schichten verschiedener Flüssigkeiten l und b , die Ausdehnungsmasse der Flächen $= 1$ gesetzt, so ergibt sich die Summe der Reibungsarbeiten in der Schicht zu

$$\text{Gl. 2) } \dots a = 1,5 c \cdot 2 h^2 = 3 c h^2.$$

Da nun die Rückwirkung der Reibungsarbeiten-Einheit eines Theilchens eine Wärme-Einheit entwickelt, so ist die durch die

dauernde Arbeit der Schicht entwickelte Wärmemenge ein Mafs für die Grösse der Rückwirkungen der Arbeit auf den Stoff der Schicht, also auch der Beanspruchung der Flächeneinheit ihrer Querschnitte. Je grösser dabei die Festigkeit c der Querschnitteinheit der Flüssigkeit ist, desto geringer ist die durch eine äussere Kraft von bestimmter Grösse hervorgerufene Beanspruchung $\frac{1}{c}$ und die durch diese erzeugte, in Wärme umgesetzte Rückwirkungsarbeit im Allgemeinen; letztere ist im Sinne des vorangehend besprochenen Beharrungszustandes gleichbedeutend mit dem Werthe T .

Aus den Gleichgewichtsbedingungen der Schicht unter I. 1 Gl. 1) $\alpha \cdot 2 1 b = c \cdot 2(1+b)h$ ergibt sich $h = \frac{\alpha 1 b}{c(1+b)}$ und damit

$$\text{Gl. 3) } \dots A = \frac{3 c (\alpha 1 b)^2}{(c(1+b))^2}$$

Werden nun für eine bestimmte Schmiervorrichtung l und $b = 1$ angenommen, so ist

$$\text{Gl. 4) } \dots A = \frac{3 c \alpha^2}{(c \cdot 2)^2} = 0,75 \frac{\alpha^2}{c}.$$

Aus dem unter Abschnitt I. 2 Erläuterten geht hervor, dass die Festigkeit aller Flüssigkeiten mit zunehmender Wärme abnimmt. Die hierdurch bedingte Unbeständigkeit der Beanspruchung und der dieser entsprechenden Leistung fordert, diese Verhältnisse bei der Bestimmung des Nutzwertes einer Flüssigkeit, welche mechanische Nutzarbeit verrichten soll, besonders zu berücksichtigen, da die inneren Beanspruchungen die Hauptursachen der Zustandsänderungen bilden.

Um im Weiteren die Wirkung der Veränderungen der Werthe von c auf den Werth von A zu untersuchen, werde zunächst das Abhängigkeits-Verhältnis von α zu c und h bestimmt.

Aus der Gleichgewichtsgleichung für die Schicht (siehe unter I. 1.: Gl. 1) $\alpha 2(1+b) = c 2(1+b)h$ folgt, wenn $l = b = 1$ gesetzt werden, der Vorgang also nur für die Flächeneinheit der Schicht gedacht wird, aus $\alpha 2 \cdot 1 = c \cdot 2 \cdot 2 \cdot h$, $\alpha = c \cdot 2 \cdot h$.

Der vorher gefundene Ausdruck für die Arbeit der Schicht (Gl. 4) $A = 0,75 \frac{\alpha^2}{c}$ nimmt daher die Form an: $A = 0,75 \frac{(c 2 h)^2}{c} = 0,75 c (2 h)^2$ oder

$$\text{Gl. 5) } \dots A = 3 c h^2.$$

Für zwei verschiedene Werthe der Festigkeit c und c_1 besteht also die Beziehung $A : A_1 = c (2 h)^2 : c_1 (2 h_1)^2$ und

$$A_1 = A \cdot \frac{c_1 (2 h_1)^2}{c (2 h)^2}.$$

Da die Beanspruchung der Querschnitte der Schicht $s = \frac{1}{c}$, und $c = \frac{1}{s}$ ist, so werden, da die Arbeit A der Weglänge 1 entspricht, die bei der Bewegung hervortretenden Kräfte und Beanspruchungen zu leistenden Kräfte D gemessen durch die Ausdrücke $c (2 h)^2$ und $\frac{(2 h)^2}{s}$.

Die Fähigkeit der Flüssigkeiten, den ihren Zustand ändernden Wirkungen der inneren Arbeit in höherem oder geringerem Grade zu widerstehen, findet also ihr Mafs in dem Ausdrucke $\frac{(2 h)^2}{s}$, und dieser Werth kann daher für die wirtschaftliche Werth-Vergleichung der Flüssigkeiten in dieser Beziehung als »Dauerwerth« mit D bezeichnet werden.

Es ist also allgemein

$$\text{Gl. 6) } \dots \dots \dots D = \frac{(2h)^2}{s}$$

Da die Grössen von h und s ziffermäsig bestimmt werden können, wie die weiteren Untersuchungen ergeben werden, so kann auch bei der Vergleichung des Nutzwertes der Werth in Bezug auf Dauerhaftigkeit unmittelbar bestimmt werden. Die Beziehung in dem vorher entwickelten Ausdrucke (Gl. 4) $A = 0,75 \frac{\alpha^2}{c}$ findet seine Bestätigung durch folgendes Versuchsergebnis.

Auf einer für die Ermittlung der Wärme des Beharrungszustandes hergestellten Vorrichtung*) ergab sich für ein Oel 1 $T_1 = 18,5^{\circ} \text{C.}$, für ein Oel 2 $T_2 = 13^{\circ} \text{C.}$

Da b und l in beiden Fällen gleich waren, mussten bei derselben Luftwärme die Summen der Beanspruchungen in den beiden verschiedenen Schichten, also auch deren Widerstandsarbeiten im Verhältnisse von α_1^2 zu α_2^2 stehen, oder von T_1^2 zu T_2^2 , wie folgende Betrachtung zeigt.

Nachdem der Beharrungszustand eingetreten ist, sind die durch die innere Arbeit erzeugten Wärmemengen so geringe, dass sie, durch die Abkühlung der äusseren Luft beeinflusst, nicht mehr zur Erscheinung kommen.

Für diesen Ruhezustand der Beharrungswärme ist also das Verhältnis von A zu α und T ein beständiges. Da α eine Abhängige von c ist, so wird für $c = 1$ für den Beharrungszustand $A = 0,75 \alpha^2$ (Gl. 4).

Unter I. 1) hat sich ergeben, dass der Widerstand der Masse der Schicht gleich ist der Summe der Kräfte, mit welchen die Masse an den festen Flächen haftet $= \Sigma \alpha$. Einer Einheit von α entspricht für die Flächeneinheit eine Einheit von T . Es wird also, wenn α in Einheiten von T als T eingesetzt wird $A = 0,75 T^2$.

Im Beharrungszustande ist ausserdem das Verhältnis von T zu A ebenfalls ein beständiges, wie auch das Verhältnis der von den Theilchen zurückgelegten Wege zu T und A . Wird der in der Zeiteinheit im Beharrungszustande zurückgelegte Weg $= 1$ gesetzt, und für den Widerstand W , so ist $A = W \cdot 1 = 0,75 T_1^2$ und in diesem Falle ist:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{242,25}{169} = 2,02 \text{ und } \frac{W_1}{W_2} = \frac{276}{139} = 1,98.$$

Eine weitere Bestätigung dieser Beziehungen giebt Folgendes:

Der Weg, den ein Punkt der Schicht des Oeles 1 auf dem Zapfen zurücklegte, bis der Beharrungszustand eingetreten, und die Wärme T_1 erreicht war, betrug 176 Einheiten (Fig. 15 Taf. XXXIV), während er für das Oel 2 350 Einheiten betrug (Fig. 16 Taf. XXXIV) und zwar unter gleichen Verhältnissen.

Diese Wege stehen daher im Verhältnisse von $\frac{350}{176} = 1,98$, d. h. die Widerstandsarbeit des Oeles 1 hat erst nach dem Wege $= 1,98$ die Grösse erlangt, wie die des Oeles 1 nach dem Wege $= 1$, was in Uebereinstimmung ist mit dem Verhältnisse der berechneten und durch den Versuch bestimmten

*) Angegeben vom Verfasser, veröffentlicht im „Organ“ 1882, Seite 131.

Schichtenwiderstände $= \frac{W_1}{W_2} = 1,98$. Weiter ergab ein Oel 1 für T_1 im Beharrungszustande 20°C. , ein Oel 2 unter gleichen Verhältnissen für T_2 $25,5^{\circ} \text{C.}$, also ein Verhältnis von

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{650}{400} = 1,625.$$

Die Beanspruchung Σs_2 der Schicht des Oeles 2 ist daher $= 1,625 \Sigma s_1$.

Es wurden nun die Bewegungswiderstände dieser Oele bei verschiedenen Geschwindigkeiten, der gleichen Wärme und gleicher Einheits-Belastung und Flächengrösse gemessen; es ergaben sich die Widerstandsdarstellungen bis zur Geschwindigkeit des grössten Widerstandes (siehe unter I. 7), wie Fig. 11 Taf. XXXIV zeigt. Die Bestimmung der die Gestaltung der Darstellung bedingenden Grössen ist in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

Da die Abscissen der Darstellungen die Geschwindigkeiten, die Ordinaten die den Widerständen gleichen Beanspruchungen s sind, so sind die Flächeninhalte gleich der Summe der inneren Arbeitsgrössen, welche von der Geschwindigkeit o bis zu der des grössten Widerstandes in der Schicht geleistet worden sind.

Für Oel 1 ergibt sich für die Arbeitsfläche die Grösse von $a = 10661 \text{ cm/gr}$ Fläche $a b c d$, und für Oel 2 Fläche $e f g a$ $a_1 = 17376,4 \text{ cm/gr}$, also folgt ein Verhältnis der Arbeitsgrössen von $\frac{17376,4}{10661} = 1,629$, dasselbe Verhältnis wie $\frac{T_2^2}{T_1^2} = 1,625$.

Es ist also allgemein $T_2^2 = \frac{T_1^2 \cdot W_1}{W_2}$, worin W abhängig ist von den Grössen der Belastung, der Höhe der Schichten, der Geschwindigkeit der bewegten Fläche, deren Ausdehnung, der Grösse der Festigkeit der Flüssigkeit und der Wärme.

Wenn also bestimmte Grössen dieser Werthe von W_1 , W_2 und T_1 für eine Flüssigkeit bekannt sind, so kann für alle Veränderungen, denen W unterworfen ist, T_2 bestimmt werden.

Wie weiterfolgend entwickelt werden wird, steigern sich die inneren Widerstände der Schicht im Verhältnisse zur Verminderung δ der Schichtenhöhe, welche durch die Belastung bewirkt wird.

Es werden also, wenn δ_1 und δ_n , und die Schichtenhöhen h_1 und h_n den Belastungen 1 und n entsprechen, die Einheits-Beanspruchungen der Schicht gemessen durch $\frac{\delta_1}{h_1}$ und $\frac{\delta_n}{h_n}$, und somit besteht für eine belastete Schicht die Beziehung

$$T_1^2 : T_n^2 = \frac{\delta_1}{h_1} : \frac{\delta_n}{h_n} \text{ und } T_n^2 = T_1^2 \cdot \frac{\frac{\delta_n}{h_n}}{\frac{\delta_1}{h_1}}$$

$$\text{Gl. 7) } \dots \dots \dots T_n = \sqrt{T_1^2 \frac{\frac{\delta_n}{h_n}}{\frac{\delta_1}{h_1}}}$$

4. Der Einfluss der Belastung auf die Höhe der Wärme im Beharrungszustande und auf die Festigkeit der Schicht.

In Fig. 12 Taf. XXXIV sind Darstellungen aufgetragen, welche die Abnahme der Festigkeit von Rüböl und einem Mine-

ralöle veranschaulichen, deren Werthe T^2 im Beharrungszustande eines Zapfens von 52^{mm} Durchmesser bei 180 Umdrehungen in der Minute, und 0,2 kg Druck auf 1 qcm Fläche, im Verhältnisse von 1 : 1,57 stehen.

Es sind nun durch den Versuch die Wärmegrade des Beharrungszustandes bei derselben Geschwindigkeit und unter 0,4, 0,6, 0,8 und 1 kg Druck, wie die eingeschriebenen Werthe angeben, bestimmt worden, und für diese Wärmegrade die Werthe der Festigkeit an den Endpunkten der Ordinaten aus den vorher für diese bestimmten Darstellungen hier aufgetragen.

Die Verminderung der Festigkeit im Beharrungszustande wächst demnach allgemein bei gleicher Geschwindigkeit mit dem Flächendrucke.

Die der Druckzunahme von 0,2 kg bis 1 kg auf 1 qcm entsprechende Abnahme der Festigkeit von Rüböl ergibt in diesem Falle bei 18° C. Luftwärme, welcher meist die Beharrungswärme von 35° C. für Rüböl entspricht, ein Verhältniss zu der Festigkeit bei 35° = 1 von $\frac{303 - 301}{303} = 0,0066$, und für das Mineralöl von $\frac{0,231 - 0,227}{0,231} = 0,0173$. — Es zeigt dies die grosse Bedeutung, welche die Festigkeit auch bezüglich der Höhe der Wärme des Beharrungszustandes bei wachsender Belastung hat.

5. Der Einfluss der Geschwindigkeit der Bewegung der Flächen auf die Höhe der Wärme des Beharrungszustandes der Schicht und die Grösse ihrer Festigkeit.

Die Ordinaten der Darstellungen der Fig. 13 Taf. XXXIV geben die Festigkeit von Rüböl und demselben Mineralöle, wie unter 4. benutzt, bei einer Belastung von 0,2 kg auf 1 qcm und Geschwindigkeiten von 180, 240 und 300 Umdrehungen in der Minute auf demselben Zapfen.

Hier stellen sich die Verhältnis-Werthe für die Abnahme der Festigkeit, welche der Beharrungswärme unter einem Drucke von 0,2 kg entsprechen, wie folgt:

Bei derselben Luftwärme von 18° C. bei Steigerung der Geschwindigkeit im Verhältnisse von $\frac{300}{180} = 1,344$, für Rüböl zu $\frac{0,303 - 0,301}{303} = 0,0066$, für das Mineralöl zu $\frac{0,231 - 0,225}{0,231} = 0,026$; also ergibt letzteres die 3,9fache Abnahme des ersteren. Bei nur 5° C. höherer Luftwärme (Fig. 14 Taf. XXXIV) stellt sich das Verhältniss noch viel ungünstiger, nämlich wie 59,1 : 1, weil die Festigkeit des Rüböles grade bei den hier in Frage kommenden Wärmegraden sich verhältnismässig viel weniger ändert, als die dieses Mineralöles und anderer, wie die Darstellungen in Fig. 7 Taf. XXXIV ersehen lassen, und ausserdem die Wärme des Beharrungszustandes des hier verglichenen Mineralöles die höchste unter den an einigen Hunderten von verschiedenen Oelen beobachteten ist.

6. Die Abhängigkeit des Zustandes der Schicht von der Grösse der Belastung im Allgemeinen und die Beanspruchung der belasteten Schicht; die Darstellung der Verminderung der Schichtenhöhen.

Die Schicht befindet sich in der Ruhe im Gleichgewichte, wenn die Summe der zwischen den Berührungsflächen der Flüssigkeit und der festen Körper auftretenden anziehenden Kräfte α gleich ist der Summe der Festigkeit c in den anderen, nicht von den festen Körpern berührten Begrenzungsflächen der Flüssigkeit (Fig. 1 Taf. XXXIV).

Wird eine Schicht belastet, so wird, wie die Messungen ergeben haben, ihre Höhe geringer, bis wieder Gleichgewicht eingetreten ist. Beide Kraftsummen wachsen also gleichzeitig in demselben Verhältnisse.

In Fig. 33 Taf. XXXIV sind die Darstellungen für verschiedene Flüssigkeiten aufgetragen, deren Ordinaten abwärts die Verminderungen der Schichtenhöhen und deren Abscissen die zugehörigen Belastungen in kg für 1 qcm angeben.

Die beobachteten Werthe sind auf den Darstellungen durch Punkte bezeichnet und sind Mittelwerthe aus mehreren Bestimmungen unter gleichen Belastungen.

Der einer auf Verschiebung einer Fläche wirkenden Kraft entgegengerichtete Grund-Widerstand G ist gleich dem ganzen Haftvermögen an dieser Fläche (vergl. I. 1.). Es werde nun der einer Querschnittsfläche $a b c d$ (Fig. 17 Taf. XXXIV) von der Breite $b = 100$, der Länge $l = 1$ und der Höhe $h_0 = 30$, also dem Inhalte 3000 bei der Belastung o entsprechende Grundwiderstand $G = 1$ gesetzt.

Erfährt diese Schicht bei einer Belastung = 1 eine Verminderung ihrer Höhe um 10 Einheiten, so dass also $h_1 = 20$ wäre (Fig. 18 Taf. XXXIV), so werden sowohl die Einheiten der Querschnitte $a b i f$ von der Höhe h_1 als auch die Einheit der Grössen der festen Flächen, um den Theil mehr als vorher bei der Belastung o beansprucht, welcher dem auf die Fläche $e d c f$ (Fig. 17 Taf. XXXIV) entfallenden Theile der Gesamtbeanspruchung entspricht.

Die Einheits-Beanspruchung der Fläche $a b i f$ (Fig. 18 Taf. XXXIV) ist also das 1,5fache derjenigen der Fläche $a d b c$ in Fig. 17 Taf. XXXIV und daher die Summe der ruhenden Widerstände W_1 für diese Fläche $1,5 W_0 = 4500$. — Hieraus folgt also, dass die Widerstände bei zunehmender Belastung in demselben Verhältnisse zunehmen, wie die Einheits-Beanspruchungen der ruhenden Schicht durch die Verminderung ihrer Höhe h_1 um δ . Es ergibt dies allgemein die Beziehung $W_1 : W_n = \delta_1 : \delta_n$ und $W_n = W_1 \frac{\delta_n}{\delta_1}$, worin W_1 den Widerstand und h_1 die Schichtenhöhe bei der Belastung 1, W_n den Widerstand bei der Belastung n und $\frac{\delta_n}{\delta_1}$ das Verhältniss der Verminderung der Schichtenhöhe bei der Belastung n gegen die bei der Belastung 1 bedeuten. — Setzt man die Grössen von δ_1 und δ_2 aus Fig. 17 Taf. XXXIV ein, so ergibt sich für $W_2 = 4500 \cdot \frac{20}{10} = 9000$ (Fig. 19 Taf. XXXIV).

Für den Zustand der Ruhe ist W der Grundwiderstand $G = s_1$, und für den Zustand der Bewegung soll die durch diese

hervorgerufene Summe der Beanspruchungen, die Bewegungswiderstände, = s gesetzt werden; es ist also $s_n = \frac{\delta_n}{\delta_1} s_1$.

Der Verlauf der Darstellungen der Verminderung δ der Schichtenhöhen durch die Wirkung der Belastung und die Verschiedenheit des Verlaufes der verschiedenen Flüssigkeiten zugehörigen Darstellungen ergibt sich aus der nachfolgenden Betrachtung.

Für die Grösse der inneren Arbeit der Schicht wurde bei $l = b = 1$ unter I. 3. (Gl. 2 u. 5) die Beziehung gefunden $A = 3ch^2$. A ist das Product aus Weg und Kraft. Für den Weg = 1 und eine Kraft gleich der Summe der Widerstände an den festen Flächen: $\Sigma\alpha$ ist also 1. $\Sigma\alpha = 3ch^2$, und für $\Sigma\alpha = 1$, $\frac{1}{3c} = h^2$ und $h = \sqrt{\frac{1}{3c}}$.

Wenn die Breite b der Schicht = 1 gesetzt wird, so ist die Festigkeit eines Querschnittes der Schicht das Product aus der Höhe und dem Einheitswerthe c, also $\Sigma c = hc$. Der Ausdruck $h = \sqrt{\frac{1}{3c}}$ enthält also die Beziehung zwischen h und c, und daher die Beziehungen der Veränderungen von c zu den Grössen der Verminderungen δ der Schichtenhöhen. Für ein Werthverhältnis der Einheiten $\alpha:c = 1:1$ und die Belastung 0 ergibt sich $h_0 = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 1}} = \sqrt{0,333} = 0,57$, und in gleichem Sinne für $c = 2$, $h_1 = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 2}} = \sqrt{0,1666} = 0,408$, für $c = 5$, $h_5 = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot 5}} = \sqrt{0,0667} = 0,258$, und $h_0 - h_1 = \delta_1 = 0,57 - 0,408 = 0,162$ und $h_0 - h_5 = 0,57 - 0,258 = 0,312$.

In Fig. 32 Taf. XXXIV sind die Werthe von δ für Vielfache von c eingetragen. — Ist das Werthverhältnis der Einheiten ein anderes, z. B. $\alpha:c = 1:2$, so besteht folgende Abhängigkeit von h und δ zu c. Aus dem Ausdrucke für den Gleichgewichtszustand der Schicht Gl. 1 $\alpha(lb) = c(l+b)h$ folgt, wenn l und b = 1 gesetzt werden, $1 = 2ch$ und $h = \frac{1}{2c}$.

Für $c = 1$ ist also $h = \frac{1}{2 \cdot 1} = 0,5$ und für $c = 2$, $h = \frac{1}{2 \cdot 2} = 0,25$.

Die gleiche Belastung 1 der Schicht, welche für $c = 1$ eine Verminderung der Schichtenhöhe um δ_1 erzeugte, kann also für $c = 2$ nur eine Verminderung = $\frac{\delta_1}{2}$ hervorbringen.

Ist $c = 0,5$, so ist $h = \frac{1}{2 \cdot 0,5} = 1$, und die Verminderung der Schichtenhöhe = $\delta_1 \cdot 2$.

Die Zunahmen von Σc und die denselben entsprechenden Abnahmen von h_1 stehen also in demselben Verhältnisse, wie die Zunahmen der Belastungen. Es stellen daher die Abscissenwerthe von c in Fig. 32 Taf. XXXIV gleichzeitig die Werthe für die Belastungen dar.

Für die Einheitswerthe $c = 1$ und $\alpha = 2$ ergibt sich der Verlauf der Darstellung n.

7. Die Beziehungen der Widerstände der bewegten Schicht bei gleichbleibender Belastung zur Geschwindigkeit der Bewegung, und die Geschwindigkeit des grössten und kleinsten Widerstandes.

Unter I. 1. wurde die Abhängigkeit des Zustandes in der Schicht von der Bewegung der festen Flächen im Allgemeinen und unter I. 6. die Abhängigkeit von der Belastung erläutert, und zwar ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit der Bewegung. Fig. 22 Taf. XXXIV stelle nun eine Schicht im Augenblicke des Bewegungsanfanges der Fläche $f'f'$ dar, wobei die Geschwindigkeit ov des Punktes o unendlich klein ist.

In diesem Augenblicke wirkt nur ein kleinster Theil der Festigkeitswiderstände, und hier gleichgerichtet mit der ruhenden Fläche von s nach o_1 (Fig. 20 Taf. XXXIV).

Bei weiterer Fortbewegung der Fläche, also auch des Punktes o (Fig. 22 Taf. XXXIV) wachsen die auf Steigerung der Haftwiderstände wirkenden Festigkeitswiderstände, gleichzeitig ihre Richtung ändernd.

Hat diese Steigerung ihren höchsten Werth Σc erreicht, so ist Punkt o bis nach p (Fig. 20 Taf. XXXIV) vorgerückt, und Σc wirkt in der Richtung sp, rechtwinkelig auf die bewegte Fläche $f'f'$. Eine dem Wege op entsprechende Geschwindigkeit V_m ist dann die des grössten Widerstandes. Die wirkliche Grösse dieses Weges ist zunächst abhängig von der Grösse von h und in Einheiten von $h = h$.

Wird Linie po_1 gezogen, so schliesst sie mit Linie o_1o , deren Richtung der Ruhelage des Punktes o entspricht, einen Winkel von 45° ein. Der Winkel, welchen die Richtungen der Festigkeitswiderstände gleichzeitig beschreiben $\sphericalangle o_1sp$ ist 90° . Diese Winkel seien mit $\frac{\Delta}{2}$ und Δ bezeichnet.

Es bestehen also allgemein die Beziehungen, wenn die Höhe der Schicht $h = 1 = V_m$ gesetzt wird, für die Geschwindigkeit $V = 1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$, $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{1} = \frac{V}{V_m}$, und für die Bewegungswiderstände, wenn $\Sigma c = 1 = s$ gesetzt und z ein Theil von s ist, $z = s \cdot \sin \Delta$, $s = \frac{z}{\sin \Delta}$.

Einer Geschwindigkeit V entspricht also ein Bewegungswiderstand (Fig. 31 Taf. XXXIV), welcher als Theilkraft rechtwinkelig auf die bewegte Fläche wirkend, das Haftvermögen derselben vergrössert.

Die Mittelkraft s wirkt in der Schicht unter einem Winkel zur festen Fläche, welcher dementsprechend ebenfalls von der Grösse von V abhängig ist.

Die zweite in Richtung der Fläche wirkende Theilkraft kommt aus folgenden Gründen nicht zur Wirkung.

In Folge der Zerlegung des Druckes an der Fläche $f'f'$ bekommt ein Theilchen t (Fig. 31 Taf. XXXIV) wohl ein Bewegungsmoment in der, der Bewegung von $f'f'$ entgegengesetzten Richtung; da es sich aber mit derselben Geschwindigkeit in Richtung der Bewegung der Fläche, an dieser haftend, gleichzeitig fortbewegt, so ist seine relative Geschwindigkeit und sein Druckmoment = 0. Dasselbe gilt vom Theilchen t' (Fig. 31 Taf. XXXIV), weil die relative Bewegungsrichtung der Fläche ff' der der Fläche $f'f'$ entgegengesetzt ist und durch die Zer-

legung der Mittelkräfte in der oberen Hälfte der Schicht daher denen in der unteren Hälfte entgegengesetzt gerichtete Theilkräfte erzeugt werden.

In Fig. 34 Taf. XXXIV sind die zusammengehörigen Werthe von $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$ und $\sin. \Delta$ für Theile von $\operatorname{tg} 45^\circ = V_m$ aufgetragen, und die Lage der Endpunkte der Ordinaten, deren Abscissenlängen den Grössen der Geschwindigkeiten entsprechen, ergibt die Grössenverhältnisse der bei den einzelnen Geschwindigkeiten vorhandenen Bewegungswiderstände.

Die die Endpunkte der Ordinaten verbindende Linie für $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 0$ bis $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 1$, erweist sich wie nachfolgend erörtert werden wird, als die Projection der die Kräfte und Widerstände in der Schicht begrenzenden Fläche für die beiden Hälften der Schichtenhöhe wie Fig. 30 Taf. XXXIV zeigt.

Hier liegt die Gerade mm auf der halben Höhe der Schicht.

Die Linie nimmt vom Punkte i aus ihren weiteren Verlauf mit entgegengesetzter Wendung in der Richtung nach der ruhenden Fläche hin.

Der Vorgang und die vorangehend gefundenen Beziehungen mögen nun allgemein an einem Beispiele weiter erläutert werden.

In Fig. 30 Taf. XXXIV ist für $0,3 V_m = \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}, \frac{\Delta}{2} = 16^\circ 45'$. Punkt n , der Durchschnittspunkt der krummen Linie mit der Ordinate für die Geschwindigkeit $0,3 V_m$, hat einen Abstand von der in halber Höhe h der Schicht liegenden Geraden mm von $0,55 \frac{h}{2}$; Δ ist $= 2 \cdot (16^\circ 45') = 33^\circ 30'$ und $\sin. \Delta = 0,55$. Der grösste Bewegungswiderstand $= 1$ wirkt also in der Richtung der durch Punkt n gehenden Geraden nt und trifft im Punkte t die feste Fläche.

Hier findet die Zerlegung der Kraft statt und die Steigerung des Widerstandes durch die rechtwinkelig auf die Fläche wirkende Theilkraft beträgt $z = s \cdot \sin. \Delta = 1 \cdot 0,55 = 0,55$.

Da dieser Vorgang gleichzeitig an beiden Flächen stattfindet, so sind die wirklichen Grössen von V und z für die ganze Höhe der Schicht und für die eine bewegte Fläche, auf welche die Summe der Widerstände übertragen wird $= 2V$ und $2z$. Das Verhältnis von $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$ und $\sin. \Delta$ bleibt dasselbe und der Vorgang lässt sich dann für diesen Fall darstellen wie Fig. 28 Taf. XXXIV zeigt.

Für Geschwindigkeiten bei denen $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} > 45^\circ$ ist, muss für Δ der Werth $180^\circ - \Delta$, und $z = s \cdot \sin. (180^\circ - \Delta)$ gesetzt werden, wie das Beispiel in Fig. 29 Taf. XXXIV erläutert.

Hier ist $V = 200$, $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{h} = \frac{200}{100} = 2$, $\frac{\Delta}{2} = 63^\circ 50' 30''$; $180 - \Delta = 180 - 127^\circ 41' = 52^\circ 19'$; $\sin. 52^\circ 19' = 0,79242$, $z = 100 \cdot 0,79242 = 79,242$, $s = \frac{79,242}{0,79242} = 100$.

Findet eine Verminderung der Höhe der Schicht durch die Belastung z. B. auf $0,75$ der anfänglichen Höhe $h = 1$ statt (Fig. 21 Taf. XXXIV), so schneidet Linie $V_m o_1$ Linie $x_2 x_2$ im Punkte V_{m2} . Die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes ist also im gleichen Verhältnisse geringer geworden, wie die Schichtenhöhe. Es besteht also allgemein für die Geschwindigkeiten die Beziehung zur Höhe der Schicht, wenn h_1 die Höhe

der Schicht bei der Belastung 1 und h_n die Höhe bei der Belastung n ist, $V_n = V_1 \frac{h_n}{h_1}$.

Die Gestalt des Linienzuges, welcher die Projection der die Kräfte und die Widerstände tragenden Theile der Mafse der Schicht begrenzenden Fläche darstellt, ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Unter I. 3 wurde für die Summe der inneren Arbeit und zwar ohne Berücksichtigung der Trägheitswiderstände der Schicht der Ausdruck gefunden: Gl 4.

$$A = 0,75 \frac{\alpha^2}{c}$$

Wenn die Kraftarbeit der Theilchen der Schicht, welche einer Geschwindigkeit V entspricht mit A_v und die gesammte Festigkeit der Schicht mit Σc bezeichnet wird, so ergibt sich, Σc als Einheit $= 1$ gesetzt, $A_v = 0,75 \alpha^2$.

Die veränderliche Grösse α ist abhängig von der Grösse der Flächen der beiden festen Körper und für eine derselben die Einheit $\Sigma \alpha = 1$ für diejenige Länge und Breite, auf welche eine Berührung mit der Schicht stattfindet. Je grösser der Weg eines Punktes der bewegten Fläche in der Zeiteinheit ist, desto grösser ist der Werth A , weil c , die Festigkeits-Einheit, auch die Längeneinheit für jede Urschicht ist, welche sich der Fläche gleichgerichtet fortbewegt.

Werden für verschiedene Werthe von V die von A_v bestimmt, so ergeben sich $A_1 = 0,75 (2)^2 = 3$; $A_2 = 0,75 (4)^2 = 12$; $A_3 = 27$; $A_4 = 48$; $A_5 = 75$; $A_6 = 108$; $A_7 = 147$; $A_8 = 192$; $A_9 = 243$; $A_{10} = 300$.

Den Kräften entgegen wirken während der Bewegung der Schicht Trägheits- und Reibungswiderstände.

Da sich die Flüssigkeit im allseitigen Gleichgewichte befindet, so wirken Kraft und Widerstand A_v und W gleichzeitig in allen Richtungen.

Die Richtung, in welcher die Summe beider Wirkungen eine Steigerung der Bewegungs-Widerstände an den festen Flächen hervorruft, ist die winkelrechte auf diese.

Die Werthe für A und Σc sind im unteren und oberen Theile der Fig. 26 Taf. XXXIV als Ordinaten eingetragen und die Kräfte und Widerstände wirken in der Richtung der Pfeile. Hat sich Punkt p mit der Geschwindigkeit 1 bis p_1 bewegt, so ist in Punkt 1 die Kraft $A_1 = 3$; hätte er sich vom Punkte $\bar{5}$ bis p_1 bewegt, so wäre $A_5 = 75$.

Bei der Geschwindigkeit 10 , Linie oR , hat $A_{10} = 300$ den grössten Werth $= \Sigma c$ für die halbe Höhe der Schicht, weil der Endpunkt der Ordinate hier in die Gerade mm fällt, welche auf der halben Höhe der Schicht liegt.

Da sich die hier liegende Mittelschicht nur mit einer Geschwindigkeit bewegt, welche halb so gross ist, wie die wirkliche Geschwindigkeit eines Punktes p , der bewegten Fläche in Bezug auf die Lage eines Punktes auf der ruhenden, ihr gegenüber liegenden Fläche, so ist ihre Bewegungsrichtung relativ der der Fläche $f'f'$ entgegengesetzt.

Die Folge der von einem Punkte m der Mittelschicht zurückgelegten Weegeinheiten ist also die umgekehrte, wie die des Punktes p' auf der Fläche $f'f'$.

Da der grösste, von Punkt m und p gleichzeitig zurückgelegte Weg $= 10$ Einheiten ist, so entspricht einem Wege des Punktes $m = 1$, der des Punktes $p_1 = 10 - 1 = 9$.

Für die Geschwindigkeit 1 des Punktes m , (Gerade $01 =$ Weg $R R_1$) ist also die Summe von A und $W = \sum c = 300 - 243 = 57$ und die übrigen Werthe ergeben sich für die anderen Geschwindigkeiten, wie in der oberen Darstellung eingetragen ist.

Für die Geschwindigkeit 0 des Punktes m ist die Summe $= 0$, denn Punkt p hat auf der Fläche $f'f'$ die Geschwindigkeit 10 , welcher das, durch die Länge der Ordinate oR dargestellte A entspricht, und diesem wirkt ein gleich grosses A von der gegenüberliegenden ruhenden Fläche entgegen.

Für die Geschwindigkeit 10 des Punktes m ist die Summe $W - A = \sum c = 300 - 0 = 300$.

Werden die Punkte o und o^1 auf der Geraden $m q$ und $f'f'$ durch diejenige Linie verbunden, deren Ordinaten-Länge in dem vorher ermittelten Verhältnisse der \sin von A zu $\text{tg} \frac{A}{2}$ stehen, wie das in der unteren Linie geschehen ist, so schliessen beide Darstellungen eine sichelförmige Fläche o^1o ein, deren Grösse die der Trägheitswiderstände des die Widerstände tragenden Theiles der Schicht darstellt. Die Summe der in die Fläche $f'o$ fallenden Festigkeitswerthe c in Einheiten der Fläche o^1qoR , diese $= 100$ gesetzt, ist gleich $2, 4$.

Wenn die der Grösse dieser Festigkeitswerthe entsprechende Beanspruchung $= 1$ gesetzt wird, hierfür also $A = 1 V$ ist und als Einheit für V Linie $o^1R = 100$ angenommen wird, so ergibt sich für V die Geschwindigkeit, oder für den Weg des Schwerpunktes der sichelförmigen Fläche der Werth $V = 0,75$. $(2, 4)^2 = 4,32$. In Uebereinstimmung hiermit ergibt die Länge der Geraden $a b$, welche durch den Schwerpunkt der sichelförmigen Fläche, gleichgerichtet zur Fläche $f'f'$ gezogen ist, unter Berücksichtigung der Lage der Punkte $c e b d$ und des Abstandes des Punktes a von der Sehne des Bogens $b a = 4,3$.

Dass die Höhe der Schicht unabhängig von der Grösse der Geschwindigkeit der Bewegung der Fläche ist, lehrt folgende Betrachtung.

Fig. 26a Taf. XXXIV zeigt die Lage der Projection der die Kraft- und Widerstandsmassen begrenzenden gekrümmten Fläche bei Geschwindigkeiten, deren Grösse im Verhältnisse von $1:2:3$ stehen. Die Inhalte der von den Linientheilen im oberen und unteren Theile der Schicht umschlossenen Flächen f, m und $f^1 m$ sind für jede Geschwindigkeit unter sich einander gleich. Wenn die Breite der Schicht $= 1$ gesetzt wird und ihre Länge in der Ruhe gleich $b a$ (Fig. 26b Taf. XXXIV) ist, so ist ihr Rauminhalt $= 1$ und für diesen das Maass die Grösse der Fläche $a b c d = 1$.

Bewegt sich die untere Fläche in der Richtung des Pfeiles, so dass Punkt a bis nach a' und gleichzeitig Punkt d nach d' gelangt, so nehmen die Begrenzungsflächen in der Schicht an beiden Seiten eines Elementes gleiche Neigungen an, welche durch die Neigung der Linien $a'b$ und $d'c$ zum Ausdrucke kommen.

Die Grösse der von den krummen Linien umschlossenen Fläche ist gleich der der Fläche $a'b d'c$. Fläche $a b c d$ ist gleich der

Summe der Flächen $a m' m d + m' c m + m' b c = 4 \cdot m' b c$, und Fläche $a' b c d'$ ist $= a' m'' d' + d' m'' m' + m'' b m' + m' b c = 4 \cdot m' b c$. Der Rauminhalt und somit die Höhe der Schicht ist daher unabhängig von der Bewegung der Fläche.

In Ergänzung des erläuterten muss noch angeführt werden dass die Messung der Schichtenwiderstände für sehr kleine Geschwindigkeiten, wie in Fig. 23 und 24 Taf. XXXIV dargestellt, von der Geschwindigkeit 0 anfangend, ein Abnehmen der Schichtenwiderstände ergibt.

Es erklärt sich der Verlauf dieses Theiles der Widerstandsdarstellung folgendermassen:

Im Augenblicke des Bewegungsanfanges entwickelt sich durch die Trägheit der Massen der ruhenden Schicht in dieser ein Trägheitswiderstandsmoment, welches dem Momente der Kraft x entgegenwirkt.

Die Grösse dieses Trägheitsmomentes ist abhängig von der Grösse der Summe der Festigkeitskräfte der Schicht, weil im Augenblicke des Bewegungsanfanges, noch bevor die Bewegung von einer auf die andere Urschicht übergegangen ist, die Trägheit der ganzen Masse der Schicht als Widerstand wirkt. — Beginnt die Bewegung, so erfolgt auch die Uebertragung derselben von Urschicht zu Urschicht.

Mit gesteigerter Geschwindigkeit der Bewegung der Fläche $f'f'$ wachsen dann die Momente der Massen in dem Kraftprisma K Fig. 6 Taf. XXXIV bis eine Geschwindigkeit eintritt, bei welcher die Zunahme dieser Momente dem Trägheitswiderstandsmomente der Masse der Schicht gleich ist, wo also die Summe beider $= 0$ wird, (Punkt b der Linien Fig. 23 und 24 Taf. XXXIV).

Von hier an sind die Veränderungen der Bewegungswiderstände z allein den vorher erläuterten Bedingungen unterworfen.

Es ergibt sich hiernach also auch das Vorhandensein einer Geschwindigkeit des kleinsten Widerstandes, welche über 0 hinaus liegt und diese Geschwindigkeit des kleinsten Widerstandes wächst wie die nach Messungen aufgetragenen Linien zeigen, mit zunehmender Belastung der Flächen.

In welcher Beziehung die Grössen der Geschwindigkeiten der kleinsten Widerstände zu den Grössen des Widerstandes der Ruhe stehen, ist unter I. 8. weiter erläutert.

Die Werthe für die Widerstände der Ruhe lassen die Darstellungen unmittelbar erkennen.

8. Die Bestimmung der Widerstandsgrössen bei Veränderung der Geschwindigkeit und der Belastung, diejenige der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes und der Höhe der Schicht. Die Beziehung der Abhängigkeit der Grösse der Gesamtwiderstände von der Höhe der Schicht.

Der Widerstand der Ruhe.

Auf Grund der gefundenen Beziehungen zwischen Geschwindigkeit und Bewegungswiderstand, können die Geschwindigkeiten des grössten Widerstandes, die Grösse dieses und die der Widerstände für jede beliebige Geschwindigkeit bestimmt werden, wenn nur die Widerstandswerthe für zwei kleinere Geschwindigkeiten vorher durch Messung bestimmt werden, bei denen sich die Widerstände mit zunehmender Geschwindigkeit noch in fast

gleich bleibendem Verhältnisse steigern, also bei Geschwindigkeiten, welche über die Geschwindigkeit des kleinsten Widerstandes (siehe unter I. 7.) hinaus liegen.

Die Geschwindigkeiten der kleinsten Widerstände liegen bei 1 kg Belastung auf 1 qcm meistens bei etwa 10^m Weg in der Minute eines Punktes der bewegten Fläche.

Bei den über die Geschwindigkeit der kleinsten Widerstände hinaus liegenden Geschwindigkeiten wachsen diese annähernd in gleichen Verhältnissen mit den Bewegungswiderständen und zwar bis gegen die Geschwindigkeit von 20^m in der Minute, wie später erläutert werden soll.

Punkt a und b Fig. 27 Taf. XXXIV geben die Lagen der bei den kleinen Geschwindigkeiten V_a und V_b gemessenen Werthe der Widerstände.

Der Theil der Widerstandslinie, welcher diese Punkte verbindet, ist also dann als gerade Linie anzusehen, deren Verlängerung abwärts in ihrem Schnittpunkte mit der Ordinate für die Geschwindigkeit o bei c die Höhe der Ordinate des Grundwiderstandes G ergibt.

Man hat also die Beziehung zwischen Geschwindigkeit V und Widerstand W, wenn für den Bewegungswiderstand bei der Geschwindigkeit V_a dieser = z_a, und für V_b dieser = z_b gesetzt wird:

$$z_b : W_b - W_a = V_b : V_b - V_a \text{ also}$$

$$\text{Gl. 8) } \dots z_b = \frac{(W_b - W_a) V_b}{V_b - V_a}$$

und da G = W_b - z_b ist

$$\text{Gl. 9) } G = W_b - \frac{(W_b - W_a) V_b}{V_b - V_a} = \frac{W_a V_b - W_b V_a}{V_b - V_a}$$

Die weiteren Beziehungen der Grössen der Geschwindigkeit V und des Bewegungswiderstandes z als Abhängige von $t \frac{d}{2}$ und sin Δ ergeben sich dann wie folgt.

In Fig. 34 Taf. XXXIV bestimmen für Theile der, der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes V_m entsprechenden Grösse tg 45° = 1, die Lagen der auf der Liniendarstellung angegebenen Punkte die Grössen der den Theilen von tg 45° entsprechenden Werthe von sin Δ als Theile des grössten Bewegungswiderstandes s. sin 90° = 1.

Wenn s = 1 und V_m = 1 ist, so ergibt sich z. B. für die Geschwindigkeit 0,3 V_m für z der Werth sin Δ = 0,55067, also ein Verhältniss von $\frac{z}{V} = \frac{0,55067}{0,30} = 1,83$.

Für ein bestimmtes V ist indessen für jede Flüssigkeit die wirkliche Grösse des Werthes $\frac{z}{V}$ eine andere, weil abhängig von der Grösse der ihr eigenen Festigkeit. Jeder Werth von z bleibt aber in derselben Beziehung zur Grösse des grössten Bewegungswiderstandes, wie der diesem entsprechende Werth von sin Δ zu sin 45°.

Es sei nun durch die Messung der Schichtenwiderstände bei der Geschwindigkeit von 30^m in der Minute eines Punktes der bewegten Fläche, der Bewegungswiderstand für diese Geschwindigkeit für die Fläche 1 und die Belastung 1 ermittelt zu 40 gr. Nach dem vorangehend Erläuterten muss der dem Werthe z = 40 für V = 30 entsprechende Werth von s zu s. sin Δ = s. 0,55067 in dem Verhältnisse der Grössen von V und z stehen.

Dieses Verhältniss kommt zum Ausdrucke durch die Neigung der Linie o a (Fig. 4 Taf. XXXV), wenn auf Linie of, vom Punkte o aus, z als og und von g rechtwinkelig auf of, V als gi aufgetragen wird. Eine Linie von der Länge 100.0,55 schneidet sodann Linie ao im Punkte l und die Länge der Linie lo ergibt den Werth von s, in diesem Falle = 91,85 gr. Wird die Länge ok = x gesetzt, so ist V: sin Δ = z:x, $x = \frac{\sin \Delta \cdot z}{V}$,

$$s = \sqrt{x^2 + \sin^2 \Delta} = \sqrt{\frac{(z \cdot \sin \Delta)^2}{V^2} + \sin^2 \Delta} \text{ und in Einheiten}$$

von z, $s = \sqrt{\frac{(100 z \cdot \sin \Delta)^2}{V^2} + 100 \cdot \sin^2 \Delta}$. Die Bestimmung des zu einem bestimmten Werthe von s gehörigen Werthes von V_m ergibt sich dann wie folgt.

In Fig. 3 Taf. XXXV ist für s = 100 V: x = z:y und da Länge y = s. sin Δ und $x = \frac{s \cdot \sin \Delta \cdot V}{z}$, so ist hier $x = \frac{55}{40} \cdot 30 = 41,25$. Für V = 0,3 . 100 = 30 war tg 45° = 1 = 100, — die Einheit. Für die dem Werthe von z = s sin Δ entsprechende wirkliche Grösse von V_m = tg 45°, besteht also die Beziehung V: x = 100: V_{m1} und $V_{m1} = x \cdot \frac{100}{V} = \frac{s \cdot \sin \Delta \cdot V \cdot 100}{z} = s \cdot \frac{\sin \Delta \cdot 100}{z}$.

Es folgt nun die Eörterung der Gründe, aus welchen bei der Benutzung der Widerstandswerthe der erste Theil der Darstellung als gerade Linie angesehen werden kann.

In Fig. 34 Taf. XXXIV ist $\frac{z_2}{z} = \frac{0,38646}{0,20} = 1,93$ und $\frac{V_2}{V_1} = \frac{0,2}{0,1} = 2$, es besteht also eine Abweichung von 0,07; für z₃ ergibt sich das Verhältniss $\frac{z_3}{z_1} = \frac{0,55067}{0,20} = 2,75$ und $\frac{V_3}{V_1} = \frac{0,3}{0,1} = 3$ und eine Abweichung von 0,25; für $\frac{z_4}{z_1} = \frac{0,68890}{0,2} = 3,44$ und $\frac{V_4}{V_1} = \frac{0,4}{0,1} = 4$, also eine schon zu grosse Abweichung = 0,56.

Es folgt hieraus, dass diejenigen Widerstandswerthe, welche zur Berechnung des Grundwiderstandes dienen sollen, nicht viel über 20^m in der Minute hinaus gehen dürfen, da diese Geschwindigkeit, wenn die Bestimmung der Widerstandswerthe unter der Belastung von 1 kg auf 1 qcm und für eine Flächengrösse von 0,50 cm erfolgt, im Durchschnitte dem Werthe von 0,2 V_m fern genug bleibt, auch wenn die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes geringer ist; es ist dies durch eine grosse Zahl von Versuchen bestätigt.

Die weitere Betrachtung möge unter Benutzung von Werthen für die Widerstände geschehen, wie sie durch Messung bestimmt sind. — Die durch Messung bestimmten Widerstandswerthe bei verschiedenen Geschwindigkeiten sind in Fig. 25 Taf. XXXIV in der unteren Darstellung eingetragen und es ergeben sich hier bei 15° C. für die kleineren Geschwindigkeiten V_a = 10,5, V_b = 16 die Gesamtwiderstände W_a = 33 W_b = 39.

Unter Benutzung der unter I. 7. und 8 vorangehend entwickelten Ausdrücke ergibt sich aus W_a und W_b und V_a und V_b G₁ = 21,55, s = 46,2 und V_m = 82,65.

Soll nun der Bewegungswiderstand für die gleiche Belastung 1 und irgend eine höhere Geschwindigkeit bestimmt werden, so geschieht dies in folgender Weise:

Gesucht sei der Widerstand für die Geschwindigkeit 250^m in der Minute für die Schicht des in Fig. 25 Taf. XXXIV gegebenen Beispiels. Auf Linie $f'f'$ Fig. 5 Taf. XXXV werden zunächst 250 Einheiten vom Punkte f' aus in Einheiten von V_m abgetragen, woraus sich die Lage des Punktes d' ergibt.

Da in diesem Falle $\frac{\Delta}{2} > 45^\circ$ ist, also $\Delta > 90^\circ$, so ist $z = s \cdot \sin.(180^\circ - \Delta)$. Da für die Schichtenhöhe $= \operatorname{tg} 45^\circ = 1$ in Einheiten von s der Werth $V_m = 82,65$ gefunden wurde, so ist die Einheit für die Grösse des von der Geschwindigkeit abhängigen Winkels $\frac{\Delta}{2}$ der Werth 82,65.

Wenn also V_m bekannt ist, so ist allgemein für die Geschwindigkeit V , $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{V_m}$ also hier $\frac{250}{82,65} = 3,02480$, also $\frac{\Delta}{2} = 72^\circ 4'$, $\Delta = 144^\circ 8'$ und $\sphericalangle \operatorname{grc} = 180 - 144^\circ 8' = \sphericalangle z d' c = 35^\circ 52'$ und da $\sin. 35^\circ 52' = 0,58601$ ist, ergibt sich $z = s \cdot \sin \Delta = 46,2 \cdot 0,58601 = 27,27$.

Da der Grundwiderstand der Schicht für die Belastung 1, 21,55 betrug, so beträgt der Gesamtwiderstand bei der Geschwindigkeit 250 in diesem Falle $27,27 + 21,55 = 48,82$ gr. Für die Bestimmungen für dieselbe Flüssigkeit bei höherer Belastung der Schicht gilt Folgendes.

Die Werthe für die Bewegungswiderstände für 1 kg Belastung auf 1 qcm wurden auf einer Versuchsaxe von 33,33^{mm} Umfang $= 10,6102^{\text{mm}}$ Durchmesser bei der Wärme von 15^o C. bestimmt und die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes V_m ergab sich zu 82,65^m in der Minute (Fig. 25 Taf. XXXIV). Die zunächst erforderliche Bestimmung der Höhe der Schicht ergibt die folgende Betrachtung. Es sei die Winkelgeschwindigkeit eines Punktes der bewegten Fläche, also hier eines Punktes der Oberfläche der Versuchsaxe, dargestellt durch einen Kreis, dessen Durchmesser und Halbmesser D und R und dessen Umfang gleich der Grösse der Geschwindigkeit V_{m1} ist (Fig. 2 Taf. XXXV).

Die Begrenzungsflächen der die Schicht führenden festen Flächen seien ferner die beiden kleinen Kreise f und t' .

Werden die Längen der Wege eines Punktes des Geschwindigkeitskreises und zweier mit ihm auf demselben Halbmesser auf den Kreisen f und t' liegender Punkte als gleichgerichtete Gerade aa und bb (Fig. 6 Taf. XXXV) aufgetragen und durch Punkt f der Linie aa eine Senkrechte gelegt, auf welcher die Länge fe aufwärts den Durchmesser des Versuchzapfens d darstellt, so entspricht die Neigung der Linie eV gegen die der Linie efo der Grösse der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes $= \pi D$ (Fig. 2 Taf. XXXV). Um die bildliche Darstellung zu ermöglichen, sind die Einheiten der Längen der den Werthen von h_1 , r und V_m , entsprechenden Linien in Fig. 6 Taf. XXXV verschieden gross gewählt.

Es ist nun für eine bestimmte Grösse von d die Neigung der Linie Ve abhängig von der Grösse der Linie $Vo = V_m$. Linie Ve schneidet Linie aa im Punkte n und somit ist Linie $nf = \pi d$ und in gleicher Abhängigkeit von der Grösse von V_m .

Der Weg, welchen ein Theilchen bei t in der gleichen Zeit bis t' zurücklegt, in welcher Punkt o bis Punkt V den der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes entsprechenden Weg oV zurücklegt, steht zu dem Wege $u = fn$, in demselben Verhältnisse wie die Schichtenhöhe h_1 zur Grösse von d , weil Dreieck $tt'f \sim nfe$ ist.

Entsprechend der Beziehung $V = \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} 100$ und $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{100}$ ist für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes, wenn $Vo = \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 1$ ist, $u = nf = \frac{\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}}{100}$, und da die Einheiten für die Länge tt' denen für u gleich sind, so hat tt' für $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ den Werth von $\frac{tt'}{100}$, und weil $tt' = \pi h$, für $h_1 = 1$ den Werth $\frac{\pi}{100}$.

Dementsprechend ist $mo = \frac{\operatorname{tg} 45^\circ}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}$, und da die Einheiten von h und d zu denen von $\operatorname{tg} 45^\circ$ im Verhältnisse von 1^{mm} : 1000^{mm} stehen, so hat Linie mo für V_m in Meter $= \operatorname{tg} 45 = 1$ den Werth $\frac{1000}{2\pi} = \frac{100000}{2\pi}$ und fo ist $= \frac{100000}{2\pi} - r$.

Wird Linie ft' abwärts verlängert, so schneidet sie Linie $oV = \operatorname{tg} 45^\circ$ im Punkte K und es ist $VK = nf = u$ und $oK = \operatorname{tg} 45^\circ - u$ und für $u = \pi d$, $1 = V_m \cdot 100$, also $oK = V_m 100 - \pi d$.

Es bestehen also die Beziehungen $oK : of = tt' : h_1 = \frac{\pi}{100} : h_1$ und $h_1 = \frac{\pi}{oK} of$.

Werden die den Linien of und oK entsprechenden Werthe eingesetzt, so ergibt sich $h_1 = \frac{\pi \left(\frac{100000}{2\pi} - r \right)}{V_{m1} \cdot 100 - \pi d}$.

Im vorliegenden Falle ist

$$h_1 = \frac{0,031416 (15915,9662 - 5,305163)}{8265,67 - 33,333} = \frac{499,849}{8232,34} = 0,06072 \text{ mm.}$$

Für einen bestimmten Durchmesser eines Versuchzapfens ist der Werth des Nenners in diesem Ausdrucke beständig, wie für die unter II. 4. beschriebene Vorrichtung $= 499,879$. Es haben nun die Messungen der Verminderung der Schichtenhöhen für die Belastung 1, 2, 5, 15, 25 und 35 kg auf 1 qcm im vorliegenden Falle ergeben $\delta_1 = 0,00167^{\text{mm}}$, $\delta_2 = 0,00279^{\text{mm}}$, $\delta_5 = 0,00455^{\text{mm}}$, $\delta_{15} = 0,00837^{\text{mm}}$, $\delta_{25} = 0,00987^{\text{mm}}$ und $\delta_{35} = 0,01054^{\text{mm}}$.

Werden die gemessenen Werthe von δ und der für die Belastung 1 ermittelte Werth von G_1 eingesetzt, so ergeben sich unter Benutzung des unter I. 6. entwickelten Ausdruckes die Werthe von G und s in gr zu $G_2 = 33,4$; $s_2 = 71,6$, $G_5 = 58,44$; $s_5 = 125,29$, $G_{15} = 107,53$, $s_{15} = 230,54$, $G_{25} = 127,36$; $s_{25} = 273$, $G_{35} = 135,98$; $s_{35} = 291,52$ und hieraus die grössten Gesamtwiderstände in gr $W_{m2} = 104$, $W_{m5} = 183,73$, $W_{m15} = 338$, $W_{m25} = 400,4$, $W_{m35} = 427,5$.

Da die Grössen der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes im Verhältnisse der Schichtenhöhen stehen, also $V_{mn} = V_{m1} \frac{h_n}{h_1}$ ist, so ergeben sich die Werthe V_m für die verschiedenen Belastungen wie folgt.

Die Höhe der Schicht unter der Belastung 1 wurde ermittelt zu $0,06072 \text{ mm}$ und die Messung der Verminderung der Schichtenhöhe ergab für diese Belastung den Werth von $0,00167 \text{ mm}$.

Es ist mithin die Höhe der unbelasteten Schicht in mm $h_0 = 0,06072 + 0,00167 = 0,06239$ und die der Schichten unter den verschiedenen Belastungen $h_n = h_0 - \delta_n$, $h_2 = 0,05960$, $h_5 = 0,05784$, $h_{15} = 0,05405$, $h_{25} = 0,05252$ und $h_{35} = 0,05185$.

Für die Belastung 1 ist $V_m = 82,65$, also für die Belastung 2, $V_{m2} = 82,65 \cdot \frac{0,05960}{0,06072} = 80,9$.

In gleicher Weise ergaben sich $V_{m5} = 78,68$; $V_{m15} = 72,73$, $V_{m25} = 71,07$ und $V_{m35} = 70,05$.

Die Werthe von δ , h , G , s , V_m und W_m sind in Fig. 7 Taf. XXXV für die verschiedenen Belastungen aufgetragen.

Die obere Darstellung in Fig. 25 Taf. XXXIV zeigt die gemessenen Widerstandswerthe und den Werth des Widerstandes bei der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes für die Belastung 2, und wie zu ersehen, in Uebereinstimmung mit der hiervon unabhängigen Messung der Verminderung der Schichtenhöhen.

Die geringen Unterschiede zwischen den auf beiden Wegen gefundenen Werthen liegen innerhalb der Grenzen der Ungenauigkeit der Beobachtung.

Es ergibt sich aus den Verhältnissen der in Fig. 7 auf Taf. XXXV dargestellten Werthe allgemein, dass die Gesamtwiderstände $W_m = G + s$ der Schicht in demselben Verhältnisse zunehmen, wie die durch die Belastung erzeugte Verminderung der Schichtenhöhe.

Im vorliegenden Falle ergab sich für die Belastung 1 ein Gesamtwiderstand W_m von $G_1 + s_1 = 21,55 + 46,2 = 67,75$, welchem die Grösse oder Verminderung der Schichtenhöhe $\delta_1 = 0,00167$ entspricht (Fig. 7 Taf. XXXV).

Für die Belastung 5 ist $W_{m5} = 58,44 + 125,29 = 183,73$ und $\delta_5 = 0,00455$, es ist also

$$\frac{W_{m5}}{W_{m1}} = \frac{183,73}{67,75} = 2,7$$

$$\text{und } \frac{\delta_5}{\delta_1} = \frac{0,00445}{0,00167} = 2,7$$

$$\frac{W_{m25}}{W_{m1}} = \frac{400,4}{67,75} = 5,9$$

$$\frac{\delta_{25}}{\delta_1} = \frac{0,00987}{0,00167} = 5,9.$$

In Fig. 1 Taf. XXXV sind die Werthe der Widerstände dieses Oeles für die Wärme von 15° C. , eine Flächengrösse von $0,5 \text{ qcm}$ und die Einheits-Belastungen von 1, 5, 15, 25 und 35 kg auf 1 qcm aufgetragen, und zwar für die Geschwindigkeiten von 0 bis gegen 300 m in der Minute eines Punktes der bewegten Fläche.

Zwei andere Beispiele zeigen die gleichen Beziehungen wie folgt:

1) Für ein Mineralöl, für welches die Darstellung der Verminderung der Schichtenhöhen für die Belastungen von 0 bis 50 kg auf 1 qcm in Fig. 33 Taf. XXXIV mit »Achsenöl« bezeichnet ist, wurden die Gesamtwiderstände bei der Geschwindigkeit $V = 50 \text{ m}$ in der Minute eines Punktes des Umfanges des Versuchszapfens für die Belastung mit 1, 2 und 4 kg auf 1 qcm bestimmt, und es ergaben sich die Werthe $W_1 = 99$, $W_2 = 161$ und $W_4 = 260$ (Fig. 8 Taf. XXXV).

Bei der Behandlung der folgenden Beispiele sollen nur die gemessenen Werthe der Gesamtwiderstände benutzt, die Werthe für G , s und h als nicht bekannt vorausgesetzt werden.

Die Messung der Verminderungen δ der Schichtenhöhen ergab bei den angegebenen Belastungen die Werthe $\delta_1 = 0,00194 \text{ mm}$, $\delta_2 = 0,00320 \text{ mm}$, $\delta_4 = 0,00562 \text{ mm}$. Die weitere Betrachtung ergibt dann Folgendes:

Im oberen Theile der Fig. 8 Taf. XXXV stellen die Längen der Ordinaten a , b und c die Grössen von δ für die Belastung 1, 2 und 4 dar, deren Grössen durch die Längen auf der Abscisse zum Ausdruck kommen.

Würde die Verminderung der Schichtenhöhen in gleichem Verhältnisse mit der Belastung abnehmen, so müsste eine die Punkte 1 und m verbindende gerade Linie den Nullpunkt x auf der Abscissenachse festlegen; in der That liegt für die Belastung o indessen der Anfang der die Verminderung der Schichtenhöhen darstellenden Linie im Punkte o , die Grösse ox giebt also in Bezug auf die Grösse $oa = ab = tm = 1$ das Maass für das umgekehrte Verhältniss, in welchem die Abnahmen der Schichtenhöhen bei der Belastung 1 und 2 stehen. Da Linie $tl = \delta_2 - \delta_1 = 0,00146 \text{ mm}$ ist, so ist $tm : tl = xa : al$ oder $xa = al \cdot tm = \frac{194}{146} = 1,328$.

Aus diesem Verhältnisswerthe $\frac{1,328}{1}$ lässt sich nun die Grösse des Widerstandes W_o bei der Belastung O wie folgt bestimmen.

Die untere, die Fig. 8 Taf. XXXV begrenzende Linie ist die Abscisse der Darstellung der Gesamtwiderstände, und die Länge der Ordinate $a_1 p$ ergibt daselbst die Grösse des Gesamtwiderstandes W_1 bei der Belastung 1.

Wird von dem in der Abscisse liegenden Punkte a_1 der oben bestimmte Verhältnisswerth ax abgetragen, so giebt die Neigung einer Punkt x_1 und p verbindenden Geraden das Verhältniss der Abnahme der Widerstände von 1 bis 0 kg Belastung, entsprechend dem für die Belastung 1 gemessenen Werthe von δ_1 . — Die Einheit dieses Verhältnisswerthes, Linie $o_1 a_1$, ist gleich der in der Darstellung der Verminderung der Schichtenhöhen gewählten Längeneinheit der Abscisse. Linie $x_1 p$ schneidet die Senkrechte $o_1 o$ im Punkte e , und die Länge der Linie $o_1 e$ giebt somit das Verhältniss der Abnahme der Gesamtwiderstände von $W_1 =$ Linie $a_1 p$ bis zu $W_o = o_1 e$ an. Die Länge der Linie $o_1 e$ giebt also die Grösse von W_o im Verhältnisse zu W_1 .

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $x_1 a_1 p$ und $eg p$ er giebt sich die Grösse $o_1 e$ in Einheiten von W_1 zu $W_o = 24,46$.

Um diese Widerstandsgrösse sind also die Zunahmen der Gesamtwiderstände zu vergrössern, um die Gesamtwiderstände selbst zu erhalten. Es entspricht nun die Grösse von W_o einer

Beanspruchung s_0 der Schicht, und da s und δ von einander abhängig sind, so müssen, um die Vergleichen der Werthe der Zunahme von W und δ vornehmen zu können, die zu benutzenden Werthe von δ_1 , δ_2 und δ_4 noch eine Verringerung im bestimmten Verhältnisse erfahren, weil W_0 in diesem Sinne einen bestimmten Werth hat, diesem also auch ein bestimmter Werth von s_0 , und damit von δ_0 entspricht, dessen Bestimmung in diesem Falle in folgender Weise geschieht.

Die vorher zum Ausgangspunkte für die Ermittlung von W_0 benutzte Linie mlx im oberen Theile der Fig. 8 Taf. XXXV schneidet die durch den Punkt o für die Belastung o gehende Senkrechte oo_1 im Punkte i .

Die Länge der Linie io steht also zu der Linie la in dem Verhältnisse, welches der Abweichung der Abnahme der Widerstände und der Abnahme der Belastung entspricht, und ergibt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ixo und alx , $io = 0,000478\text{mm}$. Dem beständigen Widerstande W_0 entspricht also die Grösse $\delta_0 = 0,000478\text{mm}$, welche von den durch die Messung bestimmten Werthen von δ_1 , δ_2 und δ_4 für die Vergleichung der Zunahmen in Abzug gebracht werden muss.

Es ergeben sich dann die unterstrichenen Werthe $\delta_1 - \delta_0 = 0,001462\text{mm}$, $\delta_2 - \delta_0 = 0,002912\text{mm}$, $\delta_4 - \delta_0 = 0,005142\text{mm}$.

Die Verhältnisswerthe für die Zunahme der Belastung, d. h. von δ , und für diejenige der Gesamt-Widerstände stellen sich somit wie folgt:

$$\frac{W_4 - W_0}{W_2 - W_0} = \frac{260 - 24,46}{161 - 24,46} = \frac{235,54}{136,54} = 1,72 \text{ und}$$

$$\frac{\delta_4 - \delta_0}{\delta_2 - \delta_0} = \frac{0,005142}{0,002912} = 1,76$$

$$\frac{W_1}{W_0} = \frac{99}{24,46} = 4,05; \quad \frac{\delta_1}{\delta_0} = \frac{0,00194}{0,000478} = 4,05$$

$$\frac{W_4}{W_0} = \frac{260}{24,46} = 10,629; \quad \frac{\delta_4 - \delta_0}{\delta_0} = \frac{0,005142}{0,000478} = 10,757$$

$$\frac{W_4}{W_1} = \frac{260}{99} = 2,62 \quad \frac{\delta_4 - \delta_0}{\delta_1} = \frac{0,005142}{0,001940} = 2,59$$

$$\frac{W_4}{W_2} = \frac{260}{101} = 1,61 \quad \frac{\delta_4 - \delta_0}{\delta_2} = \frac{0,005142}{0,003400} = 1,51$$

In Fig. 18 Taf. XXXV sind die Widerstandswerthe dieses und des in Fig. 33 Taf. XXXIV mit Rüböl bezeichneten Oeles bei derselben Geschwindigkeit und den Belastungen 1 bis 50 kg auf 1 qcm dargestellt.

2) Für den in Fig. 7 Taf. XXXV dargestellten Fall in gleicher Weise behandelt, also unter der Voraussetzung, dass nur die Werthe der Gesamtwiderstände für die Belastungen 1,2 und 5 kg bekannt sind, ergeben sich dann die in Fig. 9 Taf. XXXV erscheinenden Werthe; die betreffenden Verhältnisswerthe sind die folgenden:

$$\frac{\delta_2 - \delta_0}{\delta_1 - \delta_0} = \frac{0,00210}{0,00098} = 2,1428$$

$$\frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} = \frac{85,22}{40,53} = 2,102$$

$$\frac{\delta_5 - \delta_0}{\delta_1 - \delta_0} = \frac{0,00386}{0,00098} = 3,939$$

$$\frac{W_5 - W_0}{W_1 - W_0} = \frac{156,51}{40,53} = 3,861$$

Es mag hier noch darauf hingewiesen werden, dass die vorangehend in Anwendung gebrachte Ermittlungsweise der Werthe von W_0 Aufschluss giebt über die Ursache der Verschiedenheiten der Grössen der Widerstände der Ruhe und der Grundwiderstände, wie sie in den in Fig. 23 u. 24 Taf. XXXIV aufgetragenen Darstellungen für zwei verschiedene Oele bei den kleinsten Geschwindigkeiten und bei der der Geschwindigkeit o gleichen Ruhe zum Ausdrucke kommen.

Die Darstellung in Fig. 23 Taf. XXXIV, bei welcher die Zunahme der Bewegungswiderstände verhältnissmässig grösser ist, als in Fig. 24 Taf. XXXIV, nimmt ihren Anfang für die Belastung 1 im Punkte a , dessen Lage einem Widerstande von 170 gr entspricht.

Der Lage dieses Punktes entspricht für die Belastung 1, die des Punktes a_1 auf der Darstellung in Fig. 24 Taf. XXXIV, und ein Widerstand von 180 gr. Für die Belastung 2 ergeben sich die Werthe zu 200 gr, bzw. 365 gr. Da die Summe der Beanspruchungen, also die Widerstände der ruhenden Schicht, gleich der gesammten Festigkeit ist, so muss die gesammte Festigkeit für die Darstellungen in Fig. 23 Taf. XXXIV kleiner sein, als die der Darstellungen in Fig. 24 Taf. XXXIV, d. h. der Widerstand der Ruhe W_0 muss in ersteren kleiner sein, als in letzteren, was im Verhältnisse der gemessenen Werthe, und in der in der Fig. 23 Taf. XXXIV erkennbaren, verhältnissmässig grösseren Zunahme der Bewegungswiderstände, also in der grösseren Beanspruchung der Schicht seine Bestätigung findet.

Da die Grösse der Einheits-Beanspruchung der bewegten Schicht im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Gesamt-Festigkeit steht, so müssen die Bewegungswiderstände der Schicht mit der kleineren Gesamt-Festigkeit bei zunehmender Geschwindigkeit schneller wachsen, als die Bewegungswiderstände der Schicht mit der grösseren Gesamt-Festigkeit, wie dies ebenfalls durch die verschiedenen Richtungen der Darstellungen der Bewegungswiderstände über die Geschwindigkeiten des kleinsten Widerstandes hinaus in Fig. 23 und 24 Taf. XXXIV zum Ausdrucke kommt.

Durch diese Betrachtung tritt die Verschiedenheit der Bedeutung des Grundwiderstandes und des Widerstandes der Ruhe hervor.

Wenn aus dem für die Belastung 2 bestimmten Verlaufe der Darstellungen in Fig. 23 und 24 Taf. XXXIV die Grundwiderstände und die grössten Bewegungswiderstände unter Benutzung der vorher entwickelten Ausdrücke ermittelt werden, so ergibt sich die Beziehung der Grösse der Widerstände der Ruhe zu der der Grösse der grössten Gesamtwiderstände wie folgt:

$$\frac{G_2 + s_2}{G_2 + s_2} = \frac{80 + 270}{100 + 88,75} = \frac{350}{188,75} = 1,854$$

$$\frac{W_{02}}{W_{02}} = \frac{365}{200} = 1,825.$$

Die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes ist in Fig. 23 Taf. XXXIV = 105,92 und in Fig. 24 Taf. XXXIV = 104,45. Es folgt hieraus allgemein, dass die Widerstände der Ruhe der Schichten zweier Flüssigkeiten im umgekehrten Verhältnisse der grössten Gesamtwiderstände dieser Schichten bei den Geschwindigkeiten der grössten Widerstände stehen.

Dieser Umstand ist insofern von praktischer Bedeutung, als der Einleitung der Bewegung fester Flächen, zwischen denen sich Flüssigkeitsschichten befinden, ein viel grösserer Widerstand entgegengesetzt ist, als bei den Geschwindigkeiten, welche für gewöhnlich zur Anwendung kommen.

Wie unter I. 7. erläutert, ist die Ursache des Widerstandes der Ruhe der Trägheitswiderstand der Masse der Schicht.

Nach Eintritt der Bewegung wirkt diesem mit der Geschwindigkeit derselben wachsend, das Moment der Festigkeit der Schicht entgegen.

Die Arbeit der Schicht von der Geschwindigkeit o bis zu der des kleinsten Widerstandes ist also das Product aus diesem und dem Wege in der Zeiteinheit, welcher der Geschwindigkeit des kleinsten Widerstandes entspricht. Da für diesen die Summe der inneren Kräfte und der Trägheitswiderstände $= 0$ wird, so müssen die Grössen der Geschwindigkeiten der kleinsten Widerstände in demselben Verhältnisse stehen, wie die der Trägheitswiderstände und die diesen entsprechenden Gesamtkräfte.

Es wird dies durch die Lage der Punkte, welche den Geschwindigkeiten der kleinsten Widerstände entsprechen, auf den Darstellungen in Fig. 23 und 24 Taf. XXXIV bestätigt.

Für die Belastung von 2 kg auf 1 qcm liegen die Punkte in Fig. 23 Taf. XXXIV bei $V = 5$ und in Fig. 24 Taf. XXXIV bei $V = 9$, was das gleiche Verhältniss $\frac{V}{V} = \frac{9}{5} = 1,8$, wie das der Gesamtwiderstände der Ruhe $\frac{W_0}{W_0} = \frac{365}{200} = 1,825$ ergibt.

Für die Belastung von 1 kg auf 1 qcm ergeben die beobachteten Werthe die Verhältnisswerthe $\frac{V}{V} = \frac{5}{5} = 1$ und

$$\frac{W_0}{W_0} = \frac{180}{170} = 1,058.$$

Es folge nun eine Ermittlung der Bewegungswiderstände für andere Geschwindigkeiten, als die des grössten Widerstandes unter Benutzung der in Fig. 7 Taf. XXXV angegebenen Werthe und zwar für die Belastung von 35 kg auf 1 qcm.

Für diese Belastung ergibt sich die Grösse der Widerstände bei der Geschwindigkeit von 250^m wie folgt.

Die bei der Messung des Schichtenwiderstandes für die Belastung 1 und der Schichtenhöhe $h_1 = 0,06072^{mm}$ vorhanden gewesene Geschwindigkeit $V = 250^m$ des Punktes d' Fig. 5 Taf. XXXV ist gleich der Länge der Linien $f'd'$.

Die Einheiten dieser sind also auch die für die Geschwindigkeiten der bis auf die Höhe h_{35} der Fläche $f'f'$ genäherten Fläche $f''f''$. Die Länge der Linie $f''d''$ giebt also das Maf für die Geschwindigkeit bei der Belastung 35, welche der von 250^m bei der Belastung 1 entspricht, und zwar in dem Verhältnisse der mit den Schichtenhöhen in gleichem Verhältnisse stehenden Geschwindigkeiten der grössten Widerstände; diese Geschwindigkeit bei der Belastung 35 beträgt also $250 \cdot \frac{70,05}{82,65}$ (Fig. 5 u. 7 Taf. XXXV) $= 250 \cdot 0,847 = 211,75^m$ in der Minute.

Es ist nun ausserdem $s_{35} = 291,3 \text{ gr} =$ Linie $d''c$ (Fig. 5 Taf. XXXV). Diese Linie hat dieselbe Neigung wie Linie $d'c$; es ergibt sich daher für Linie $z'c' = z_{35} = s_{35} \sin (180^\circ - 144^\circ 8')$ $= 291,3 \cdot 0,58601 = 170,528 \text{ gr}$.

Der Grundwiderstand für die Belastung 35 beträgt $135,98 \text{ gr}$, der Gesamtwiderstand für die Geschwindigkeit $211,75^m$ beträgt daher $G_{35} + z_{35} = 135,98 + 170,528 = 306,508 \text{ gr}$. Fig. 17 Taf. XXXV zeigt einen Fall, in welchem z für $V < V_m$ bestimmt ist. — Hier ist $V = 50^m$ angenommen, also für die Belastung von 1 kg $\text{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{V_{m1}} = \frac{50}{82,65} = 0,59066 = \text{tg} 30^\circ 35' 30''$, woraus $\Delta = 61^\circ 11'$, $\sin \Delta = 0,87927$ und $z = s \cdot \sin \Delta = 46,2 \cdot 0,87927 = 40,6 \text{ gr}$ folgt.

Der Grundwiderstand für die Belastung 1 beträgt $21,55 \text{ gr}$, mithin beträgt der Gesamtwiderstand für die Geschwindigkeit von 50^m $21,55 + 40,6 = 62,15 \text{ gr}$.

Für die Belastung 35, für welche $V_{m35} = 70,05^m$ ist, wird $V = 50 \cdot \frac{70,05}{82,65} = 50 \cdot 0,847 = 42,35^m$ und da $s_{35} = 291,3 \text{ gr}$, so wird für $V = 42,35^m$, $z_{35} = s_{35} \cdot \sin \Delta = 291,3 \cdot 0,87927 = 256,13 \text{ gr}$.

9. Beziehung der Widerstände auf der Flächen-einheit gleichbelasteter Schichten zur Grösse der die Schichten belastenden Flächen.

Für jede Flüssigkeit ist das Verhältniss von $\frac{\alpha}{c}$ ein bestimmtes, und, wie auch die Höhe h , bei einer Einheits-Belastung der Schicht von bestimmter Grösse unveränderlich.

Für die nachfolgende Betrachtung sind also α , c und $h = 1$. Aus dem Ausdrucke für den Gleichgewichtszustand der Schicht $2\alpha(1+b) = 2c(1+b)h$ ergibt sich für die Kraft x , welche erforderlich ist, die Verschiebung einer der Flächen zu bewirken, $x = \alpha(1+b) + c(1+b)h = 2c(1+b)h$. Für eine Fläche F_1 , für welche c , 1 , b und $h = 1$ sind, ist also die Gesamtfestigkeit der Schicht $\Sigma_1 c = 2 \cdot 1(1+1)1 = 4$. Für eine Fläche F_2 ist unter Voraussetzung des gleichen Werthes von c bei $l = 2$, $b = 1$ und $h = 1$, $\Sigma_2 c = 2 \cdot 1(2+1)1 = 6$ und für eine Fläche F_2 mit $l = 1$, $b = 2$ und $\Sigma_2 c = 2 \cdot 1(1+2)1 = 6$.

Die Veränderung der Gesamtfestigkeit durch Veränderung der Grösse der Berührungsfläche ist also die gleiche, mag letztere durch Vergrösserung von l oder b veranlasst sein.

Es besteht also die Beziehung

$$\Sigma_1 c : \Sigma_2 c = 4c : 6c, \text{ also allgemein} \\ \Sigma_x c = 2c(1+x)b)h = 2c(x+1)b)h \text{ oder für } h=1=b=1 \\ \Sigma_x c = 2c(1+x) \cdot 1 = 2c(x+1) \cdot 1.$$

Es soll nun untersucht werden, in welcher Beziehung zunächst die Grösse des Grundwiderstandes zu der der Fläche steht.

Die zur Einleitung der Bewegung der einen, die Schicht begrenzenden festen Flächen erforderliche Kraft, erzeugt eine Beanspruchung der Masse der ruhenden Schicht, deren Grösse im umgekehrten Verhältnisse mit der Summe $\Sigma c = clbh$ der in der Schicht enthaltenen Kräfte steht, weil die Theilchen der Flüssigkeit im allseitigen Gleichgewichte sind, und die äussere Kraft somit nach allen Richtungen hin gleichzeitig wirkend die Masse der Schicht lbh in allen Theilen gleichmäfsig beansprucht. Der Grösse der Summe dieser Beanspruchungen gleich ist die

$$\text{des Grundwiderstandes } G, \text{ und also } G = \frac{1}{clbh} = \frac{1}{\Sigma c}.$$

Wenn für die Fläche $= 1$, $\Sigma c = \Sigma_1 c$ und für die Fläche x $\Sigma c = \Sigma_x c$ gesetzt wird, ergibt sich die Beziehung

$$G_1 : G_x = \frac{1}{\Sigma_1 c} : \frac{1}{\Sigma_x c} \text{ und}$$

$$G_x = \frac{\frac{1}{\Sigma_x c}}{\frac{1}{\Sigma_1 c}} \cdot G_1 = \frac{\Sigma_1 c}{\Sigma_x c} G_1.$$

Die Beziehung der Grösse der Bewegungswiderstände zu denen der Flächengrössen ergibt sich wie folgt:

Die Grösse der Bewegungswiderstände ist abhängig von der Grösse der Beanspruchungsarbeit, welche in der Schicht durch die Bewegung derselben erzeugt wird, und wächst mit dieser Arbeit.

Für die Beziehung der Grösse dieser Arbeit A zu der der Widerstände des Haftvermögens und der Festigkeit wurde unter I. 3. der Ausdruck gefunden $A = 0,75 \frac{\alpha^2}{c}$ (Gl. 4).

Es werde nun die der Arbeit A_1 der Schicht unter der Fläche 1 entsprechende Summe der Beanspruchungen $= \Sigma_1 z$, für die Fläche $x = \Sigma_x z$, und dementsprechend die gesammten Festigkeitswiderstände $= \Sigma_1 c$ und $\Sigma_x c$, die des Haftvermögens $= \Sigma_1 \alpha$ und $\Sigma_x \alpha$ gesetzt.

Dann ist

$$\Sigma_1 z : \Sigma_x z = \frac{0,75 \Sigma_1 \alpha^2}{\Sigma_1 c} ; \frac{0,75 \Sigma_x \alpha^2}{\Sigma_x c}$$

$$\Sigma_x z = \frac{\frac{\Sigma_x c}{\Sigma_1 \alpha^2}}{\frac{\Sigma_1 c}{\Sigma_1 \alpha^2}} \Sigma_1 z.$$

Da nun α die Grösse des Haftvermögens für die Einheit der Fläche bedeutet, so wächst $\Sigma \alpha$ in gleichem Verhältnisse mit der Grösse der Fläche.

Im voranstehenden Ausdrucke kann daher für $\Sigma \alpha$ die Flächengrösse x gesetzt werden, und es ergibt sich dann die Beziehung

$$\Sigma_x z = \frac{\frac{x^2}{\Sigma_x c}}{\frac{1}{\Sigma_1 c}} \Sigma_1 z.$$

Für den grössten Bewegungswiderstand s ist

$$\Sigma_x s = \frac{\frac{x^2}{\Sigma_x c}}{\frac{1}{\Sigma_1 c}} \Sigma_1 s.$$

Für die Fläche $= 1$ wurde vorher $\Sigma_1 c$ zu 4, und für die Fläche $= 2$, $\Sigma_2 c$ zu 6 bestimmt. Werden diese Werthe eingesetzt, so ergibt sich

$$\Sigma_2 z = \frac{\frac{2^2}{6}}{\frac{1}{4}} \Sigma_1 z = 2,66 \Sigma_1 z.$$

Für die Fläche $= 3$ ist $\Sigma_3 c = 2 \cdot 1 (1 + 3) = 8$ und

$$\Sigma_3 z = \frac{\frac{3^2}{8}}{\frac{1}{4}} \Sigma_1 z = 4,5 \Sigma_1 z.$$

Zur Bestätigung dieser Beziehungen möge die nachfolgende Vergleichung dieser Verhältnisswerthe mit den durch Messung der Schichtenwiderstände gewonnenen Ergebnissen dienen.

Die Messung der Widerstände bei kleineren Geschwindigkeiten ergab die in Fig. 13 Taf. XXXV aufgetragenen Werthe für die Grundwiderstände und die Bewegungswiderstände bei der Geschwindigkeit von 20 m in der Minute bei gleicher Einheitsbelastung mit 0,166 kg auf 1 qcm der verschiedenen grossen Flächen. Aus diesen Werthen folgt das Verhältniss der Grundwiderstände

für Fläche 2 $\frac{G_2}{G_1} = \frac{10,5}{16} = 0,656$ gegen $\frac{\Sigma_1 c}{\Sigma_2 c} = \frac{4}{6} = 0,666$,
 « « 3 $\frac{G_3}{G_1} = \frac{7,5}{16} = 0,468$ gegen $\frac{\Sigma_1 c}{\Sigma_3 c} = \frac{4}{8} = 0,5$.

Für die Geschwindigkeit 20 stehen die Bewegungswiderstände in folgenden Verhältnissen zu $\Sigma_1 z$

für Fläche 2 $= \Sigma_2 z_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{38,8}{14,8} = 2,621$ gegen $\Sigma_2 z = 2,666$,
 « « 3 $= \Sigma_3 z_1 = \frac{z_3}{z_1} = \frac{66}{14,8} = 4,45$ « $\Sigma_3 z = 4,5$.

Hiernach wird also $s_2 = s_1 \cdot 2,666 = 103,17$ und $s_3 = s_1 \cdot 4,5 = 174,5$.

Die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes bleibt dieselbe, weil in dem Ausdrucke $V_m = s \cdot \frac{\sin \Delta}{z}$, s und z in gleichem Verhältnisse wachsen.

Nachstehende Zusammenstellung giebt zur Benutzung bei der Bestimmung der Grössen der Grundwiderstände und der Bewegungswiderstände für verschiedene Flächengrössen x eine Anzahl von Werthen, welche nach den entwickelten Ausdrücken berechnet sind.

x	Bewegungswiderstände für s_1 oder $z_1 = 1$	$\Sigma_x c = 2c(x+1)$ $c = 1$	$\frac{1}{\Sigma_1 c} = \frac{1}{2c(x+1)}$	Grundwiderstände
	$\frac{x^2}{\Sigma_x c}$ $\frac{1}{\Sigma_1 c}$			$\frac{\Sigma_1 c}{\Sigma_x c}$
0,5	0,25	3	0,3333	1,3333
1	1	4	0,2500	1,0000
1,5	1,8	5	0,2000	0,8000
2	2,666	6	0,1666	0,6666
2,5	3,66	7	0,1458	0,5914
3	4,5	8	0,1250	0,5000
3,5	5,44	9	0,1111	0,4444
4	6,5	10	0,1000	0,4000
4,5	7,63	11	0,0909	0,3636
5	8,33	12	0,0833	0,3333
5,5	9,6	13	0,0769	0,3076
6	10,28	14	0,0714	0,2857
6,5	11,26	15	0,0667	0,2666
7	12,25	16	0,0625	0,2500
7,5	13,2	17	0,0588	0,2353
8	14,2	18	0,0555	0,2222
8,5	14,8	19	0,0526	0,2142
9	16,2	20	0,0500	0,2000
9,5	17,29	21	0,0476	0,1904
10	18,16	22	0,0454	0,1818
15	24,52	32	0,0313	0,1250
20	38	42	0,0238	0,0952
25	48	52	0,0192	0,0769
30	58	62	0,0161	0,0645

x	Bewegungs- widerstände für s_1 oder $z_1 = 1$	$\Sigma_x c$ $= 2c(x+1)$ $c = 1$	$\frac{1}{z_1 c}$ $= \frac{1}{2c(x+1)}$	Grund- widerstände
	$\frac{x^2}{\Sigma_x c}$ $\frac{1}{\Sigma_x c}$			$\frac{\Sigma_x c}{\Sigma_x c}$
35	68	72	0,0139	0,0555
40	78	82	0,0121	0,0487
45	88	92	0,0109	0,0434
50	98	102	0,0098	0,0392
55	108	112	0,0089	0,0357
60	118	122	0,0082	0,0327
65	128	132	0,0076	0,0303
70	138	142	0,0070	0,0281
75	148	152	0,0065	0,0263
80	158	162	0,0060	0,0247
85	168	172	0,0058	0,0233
90	178	182	0,0055	0,0219
95	188	192	0,0052	0,0203
100	198	202	0,0049	0,0198
200	398	402	0,0024	0,0099
300	598	602	0,0016	0,0066
400	798	802	0,0012	0,0049
500	998	1002	0,0009	0,0039
600	1198	1202	0,0008	0,0033
700	1398	1402	0,0007	0,0028
800	1598	1602	0,0006	0,0024
900	1798	1802	0,0005	0,0022
1000	1998	2002	0,0004	0,0019
2000	3998	4002	0,0002	0,0009

10. Die Abhängigkeit der Grössen der Schichtenwiderstände vom Wärmegrade der Schicht.

Aus der Gleichgewichtsgleichung Gl. 1) der Schicht $2\alpha l b = 2c(1+b)h$ folgt $\alpha = \frac{c(1+b)h}{lb}$ da die Grössen l , b und h bei derselben Fläche und Belastung unveränderlich sind, so muss, wenn die Grösse von c durch den Einfluss der Wärme verändert wird, α sich ebenfalls in gleichem Sinne verändern, und zwar im Verhältnisse der Grösse der von der Flüssigkeit berührten und nicht berührten Begrenzungs-Flächen. — Wird dieser Werth von α in die Gleichung für die eine der Kräfte x , welche die die Schicht begrenzenden Flächen verschieben, $x = \alpha l b + c(1+b)h$ eingesetzt, so wird $x = \frac{c(1+b)h}{lb} l b + c(1+b)h = 2c(1+b)h$ und für l , b und $h = 1$, $x = 2c \cdot 2 = 4c$.

Wenn der Wärme t die Grösse c , und $t_1 c_1$ entspricht, so besteht also allgemein die Beziehung

$$x : x_1 = 4c : 4c_1 ; x_1 = \frac{x \cdot 4c_1}{4c} = \frac{x c_1}{c}$$

Die Grösse der Widerstände bei der Geschwindigkeit o , die der Grundwiderstände, wie auch die Bewegungswiderstände, nehmen also im Verhältnisse der Verminderung der Grösse von c ab.

Für die Grösse der Grundwiderstände besteht daher die Beziehung, wenn für t der Grundwiderstand G und für t_1 der Grundwiderstand G_1 ist, $G_1 = \frac{c_1}{c} G$ und dementsprechend für den Bewegungswiderstand z

$$z_1 = \frac{c_1}{c} z \text{ bzw. } s_1 = \frac{c_1}{c} s.$$

Welchen Einfluss die Veränderung von c auf die Veränderung der Werthe der Bewegungswiderstände hat, zeigen an einem Beispiele die in Fig. 21 Taf. XXXV aufgetragenen Werthe. Fig. 21 Taf. XXXV stellt die Festigkeit der benutzten Flüssigkeit bei den Wärmegraden von 5° , 15° , 40° und 60° C. dar.

Die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes ist für alle Wärmegrade gleich, weil im Ausdrucke $V_m = \frac{s \sin \Delta \cdot 100}{z}$ s und z in gleichen Verhältnissen zu- oder abnehmen.

11. Der Reibungsbeiwert und die Abhängigkeit seiner Grösse von der der Belastung und der der belasteten Fläche.

Aus den vorangegangenen Untersuchungen geht hervor, dass die Grösse der Schichtenwiderstände und daher die der Reibungsbeiwerte gleichzeitig abhängig sind von der Höhe der Festigkeit der Flüssigkeit, der der Wärme, der Belastung, der Grösse der belasteten Fläche und der der Geschwindigkeit der Bewegung dieser.

Ein bestimmter Reibungsbeiwert für eine bestimmte Belastung und Flächengrösse kann daher niemals, weder für eine bestimmte Flüssigkeit, noch für verschiedene Flüssigkeiten allgemeine Geltung haben, da die Einzelursachen der die Beanspruchung der Schichten bedingenden, und die Widerstände in der Schicht erzeugenden Wechselwirkungen für jede Flüssigkeit ihrer Natur nach verschieden sind.

Folgendes Beispiel möge die Wechselwirkung der Belastung und der Flächengrösse und ihren Einfluss auf die Grösse des Reibungsbeiwertes erläutern.

Für den Vergleich sind die entsprechenden Widerstandswerte für die Fläche 1 und die Einheits-Belastungen 1 und 25 aus den Widerstandsdarstellungen in Fig. 7 Taf. XXXV entnommen; unter Benutzung der in der Zusammenstellung Seite 270 den Flächen 1 und 25 entsprechenden Werthe ergibt sich der Reibungsbeiwert: $\frac{\text{Widerstand}}{\text{Fläche} \times \text{Einheitsbelastung}}$ der betreffenden Flüssigkeit für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes, für die Fläche $x = 1$ und für die Einheit der Einheitsbelastung $n = 500$ gr, $R_1 = \frac{G_1 + s_1}{1 \cdot n} = \frac{21,55 + 46,2}{1 \cdot 1 \cdot 500} = 0,135$ und für die Fläche $x = 1$ und die Einheits-Belastung 25,

$$R_{25} = \frac{G_{25} + s_{25}}{1(25 \cdot 500)} = \frac{127,36 + 273,53}{1 \cdot (25 \cdot 500)} = 0,032.$$

Allgemein also nimmt der Reibungsbeiwert für dieselbe Flächengrösse mit Vergrößerung der Belastung ab.

Das Maass des Antheiles, welchen einerseits die Vergrößerung der Fläche bei gleich bleibender Einheits-Belastung und andererseits die Vergrößerung der Einheits-Belastung bei gleich bleibender Flächengrösse an der Steigerung der Schichtenwiderstände und der Grösse des Reibungsbeiwertes hat, zeigt Folgendes.

Werden in den Ausdruck $R = \frac{G+s}{x \cdot n}$ die zur Fläche $x = 25$ gehörenden Beiwerte der Zusammenstellung Seite 270 eingesetzt, so ergibt sich unter der Belastung $n = 1 = 500$ gr der Reibungsbeiwert

$$R = \frac{\frac{\sum_1 c}{\sum_x c} G_1 + \frac{\frac{x^2}{\sum_x c}}{1} s_1}{x n} = \frac{0,0769 \cdot 21,55 + 48,46,2}{25(1,500)}$$

$$= \frac{2219,26}{12500} = 0,177.$$

In den beiden zuletzt behandelten Fällen sind die Producte aus Fläche und Belastung $1(25 \cdot 500) = 25(1 \cdot 500)$ einander gleich, und die Reibungsbeiwerte stehen im Verhältnisse von $\frac{R_1}{R_{25}} = \frac{0,177}{0,032} = 5,531$.

Für die Belastung 25 und die Fläche 25 wird in diesem Falle $R = \frac{0,0769 \cdot 127,36 + 48,273,53}{25(25 \cdot 500)} = \frac{13113,8}{312500} = 0,0419$ also nur wenig grösser, als $R_{25} = 0,032$ für die Fläche 1 und die Belastung 25.

Diese Beispiele zeigen im Allgemeinen einen wieviel grösseren Einfluss die Vergrösserung der Fläche unter sonst gleichen Umständen auf die Steigerung des Schichtenwiderstandes ausübt, als die Vergrösserung der Belastung.

12. Die Ergebnisse der Untersuchungen im Allgemeinen und Zusammenstellung der Ausdrücke für die ziffermässige Bestimmung der Einzelgrössen der Widerstände, der Dauerwerthe und der Nutzwerte für verschiedene Belastungen, Flächen, Geschwindigkeiten und Wärmegrade.

Die Ergebnisse der theoretischen Erwägungen und der in Uebereinstimmung mit diesen unmittelbar durch die Versuche erkannten Thatsachen sind die Folgenden:

1) Die Kraft, welche erforderlich ist, zwei, eine Flüssigkeit begrenzende Flächen gegen einander zu verschieben, ist gleich der Summe der Widerstände der Haftfähigkeit an einer der die Schicht berührenden Flächen, vermehrt um die durch die Festigkeit in der Masse der Schicht entstehenden inneren Reibungswiderstände.

2) Die Festigkeit und die Haftfähigkeit der Flüssigkeiten nehmen mit steigender Wärme ab.

Wiederholte Erwärmung erzeugt bleibende Veränderungen der Grösse der Festigkeit und Zustandsänderungen des Stoffes der Schicht.

3) Während die Flüssigkeitsschicht innere Arbeit verrichtet, wachsen die Grössen der Beanspruchungen der Schicht mit wachsendem Flächendrucke und wachsender Geschwindigkeit, und diese Arbeit erzeugt Reibungswärme.

4) Die Grössen der auf Aenderung des Zustandes der Schicht in dieser wirkenden Widerstandsarbeiten sind abhängig von der Grösse der Festigkeit und der Schichtenhöhe.

5) Die Beanspruchungen der Querschnitte der Schicht wachsen mit zunehmender Belastung.

6) Die Schichtenwiderstände sind die Summen von Grundwiderständen und Bewegungswiderständen.

7) Die Gesamtwiderstände nehmen im Verhältnisse der durch die Belastung entstehenden Verminderungen der Höhe der Schicht zu.

8) Der Unterschied zwischen den Widerstandswerthen der Schichten verschiedener Flüssigkeiten unter geringer Belastung wird bei Steigerung dieser um ein Vielfaches vergrössert.

9) Der Schichtenwiderstand nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit der Bewegung der festen Flächen für jede Flüssigkeit in einem bestimmten Verhältnisse anfänglich bis zu einer sehr kleinen Geschwindigkeit ab, nimmt bei weiterer Steigerung dieser wieder zu und bei grösseren Geschwindigkeiten dann wieder ab.

10) Die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes ist abhängig von der Höhe der belasteten Schicht und wird mit wachsender Belastung geringer, ist unabhängig von der Grösse der Fläche und vom Wärmegrade.

Die Höhe der Schicht ist unabhängig von der Geschwindigkeit der bewegten Fläche.

11) Die Grundwiderstände der Schichten nehmen in bestimmtem Verhältnisse mit der Vergrösserung der Belastung zu und mit der Vergrösserung der Fläche ab.

12) Bei gleicher Einheits-Belastung steigern sich die Bewegungswiderstände mit der Vergrösserung der Flächen in anderen Verhältnissen, als die, in welchen die Grundwiderstände abnehmen.

13) Die Schichtenwiderstände nehmen bei Steigerung der Wärme ab.

14) Die Grösse der Reibungsbeiwerte ist abhängig von der Grösse der Festigkeit der Flüssigkeit, von der Wärme, der Einheits-Belastung, der Grösse der belasteten Fläche und der Geschwindigkeit der Bewegung der festen Flächen; sie ist für jede Flüssigkeit eine andere.

Allgemein nehmen die Reibungsbeiwerte

$$= \frac{\text{Schichtenwiderstand}}{\text{Fläche} \times \text{Einheits-Belastung}}$$

ab mit der Vergrösserung der Flächen, der Belastung und der Steigerung der Wärme.

15) Die Vergrösserung der Fläche bewirkt eine verhältnissmässig grössere Steigerung der Schichtenwiderstände, als die der Belastung.

16) Der Dauerwerth der Flüssigkeiten ist abhängig von der Grösse ihrer Festigkeit und der ihrer Schichtenhöhen, der Wärme, der Grösse der Belastung und der Flächen.

Es sind nun die aus diesen Untersuchungen hervorgegangenen Beziehungen der verschiedenen hier in Frage kommenden Ursachen und Wirkungen zu einander nachstehend unter Benutzung der für diese Beziehungen gefundenen Ausdrücke zusammengestellt, um für alle durch die Benutzung der Flüssigkeiten gegebenen Fälle für die Bestimmung der erforderlichen Werthe die zugehörigen Ausdrücke benutzen zu können.

Die Bedeutung der Zeichen ist folgende:

Gramm für Fläche 1 und Belastung 1

- $G_1 =$ Grundwiderstand
- $W_a =$ Gesamtwiderstand der Schicht bei der Geschwindigkeit V_a
- $W_b =$ Gesamtwiderstand der Schicht bei der Geschwindigkeit V_b
- $s_1 =$ Grösster Bewegungswiderstand der Schicht
- $z_{y1} =$ Bewegungswiderstand für die Geschwindigkeit V_y
- $W_{y1} =$ Gesamtwiderstand für die Geschwindigkeit V_y
- $W_{m1} =$ Gesamtwiderstand für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes.

V in Meter in der Minute

- $V_{m1} =$ Geschwindigkeit des grössten Widerstandes
- $V_{y1} =$ Geschwindigkeit für den Bewegungswiderstand z_y ;
- $x =$ ein Vielfaches der Versuchs-Fläche 1
- $n =$ < < < Einheits-Belastung 1

in 0,00001 mm

- $h_0 =$ Höhe der Schicht unter der Belastung 0
- $h_1 =$ < < < < < < 1
- $h_n =$ < < < < < < n
- $\delta_1 =$ Verringerung der Schichtenhöhe bei der Belastung 1
- $\delta_n =$ Verringerung der Schichtenhöhe bei der Belastung n.

Gramm auf 1 qcm für Belastung 1

- $c =$ Grösse der Festigkeit bei der Wärmet $t < t_1$
- $c_1 =$ < < < < < < $t_1 > c_1$
- $\sum_x c =$ Summe der Festigkeit für Fläche x. 1
- $\sum_1 c =$ < < < < < < 1.
- D = Dauerwerth
- N = Nutzwert
- R = Reibungsbeiwert.

In die Werthe für D sind für D bei der Geschwindigkeit y die entsprechenden Werthe von z_y einzusetzen, für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes die Werthe von s.

In den Ausdrücken für R sind G, s, z und r in kg und x in qcm einzusetzen.

Für die Fläche = 1

und die Belastung = 1			und die Belastung = n. 1		
	und Wärme t	t'		und Wärme t	t'
G_1	$= W_b - \frac{(W_b - W_a)V_b}{V_b - V_a}$; $W_b > W_a$ $V_b < \text{oder} = 20^m$ in der Minute	$= G_1 \frac{c_1}{c}$	G_n	$= G_1 \frac{\delta_n}{\delta_1}$. Die Einheit für δ ist = 0,00001mm, die für G 1 gr	$= G_n \frac{c_1}{c}$
z_{y1}	$= s_1 \sin \Delta_{y1}$ wenn $\frac{\Delta_y}{2} < 45^\circ$. $= s_1 \sin (180^\circ - \Delta_{y1})$ wenn $\frac{\Delta_{y1}}{2} > 45^\circ$ $\text{tg } \frac{\Delta}{2} = \frac{V_{y1}}{V_{m1}}$; wenn V_{m1} bekannt ist	$= z_{y1} \frac{c_1}{c}$	z_{yn}	$= z_{y1} \frac{\delta_n}{\delta_1}$	$= z_{yn} \frac{c_1}{c}$
z_a	$= W_{a1} - G_1$	$= (W - G_1) \frac{c_1}{c}$	z_{an}	$= z_a \frac{\delta_n}{\delta_1}$	$= z_{an} \frac{c_1}{c}$
s_1	$= \sqrt{\left(\frac{\sin \Delta_{a1} 100 \cdot z_{a1}}{V_a}\right)^2 + \sin^2 \Delta_{a1}}$ $\text{tg } \frac{\Delta_a}{2} = \frac{V_a}{100}$	$= s_1 \frac{c_1}{c}$	s_n	$= s_1 \frac{\delta_n}{\delta_1}$	$= s_n \frac{c_1}{c}$
W_{y1}	$= G_1 + z_{y1}$	$= W_{y1} \frac{c_1}{c}$	W_{yn}	$= G_n + z_{yn}$	$= W_{yn} \frac{c_1}{c}$
W_{m1}	$= G_1 + s_1$	$= W_{m1} \frac{c_1}{c}$	W_{mn}	$= G_n + s_n$	$= W_{mn} \frac{c_1}{c}$
V_{m1}	$= \frac{s_1 \sin \Delta_{a1} 100}{z_{a1}}$	$= V_{m1}$	V_{mn}	$= V_{m1} \frac{h_n}{h_1}$; $h_1 = \frac{\pi}{100} \left(\frac{1000}{2\pi} - r\right)$; $h_n = h_0 - \delta_n$; $h_0 = h_n + \delta_n$; r = Halbmesser, n = Umfang der Versuchsachse in Millimeter, $\pi = 3,1416$	$= V_{mn}$
D_1	$= \frac{(2 \cdot V_{m1})^2}{s_1}$; für V_{m1}	$= D_1 \frac{c_1}{c}$	D_n	$= \frac{(2 V_{mn})^2}{s_n}$; für V_{mn}	$= D_{sn} \frac{c_1}{c}$
D_{y1}	$= \frac{(2 V_{m1})^2}{z_{y1}}$; für V_{y1}	$= D_{y1} \frac{c_1}{c}$	D_{yn}	$= \frac{(2 V_{mn})^2}{z_{yn}}$; für V_{yn}	$= D_{yn} \frac{c_1}{c}$
N_1	$= \frac{D_1}{W_{m1}}$; für V_{m1}	$= N_1$	N_n	$= \frac{D_n}{W_{mn}}$; für V_{mn}	$= N_n$

Für die Fläche = 1

und die Belastung = 1			und die Belastung = n.1		
	und Wärme t	t'		und Wärme t	t'
N_{y1}	$= \frac{D_{y1}}{W_{y1}}; \text{ für } V_{y1}$	$= N_{y1}$	N_{yn}	$= \frac{D_{yn}}{z_{yn}}; V_{yn}$	$= N_{yn}$
R_1	$= \frac{G_1 + s_1}{1.1}; \text{ für } V_{m1}$	$= R_1 \frac{c_1}{c}$	R_n	$= \frac{G_n + s_n}{1.n}; \text{ für } V_{mn}$	$= \frac{(G_n + s_n) \frac{c_1}{c}}{n}$
R_{y1}	$= \frac{G_1 + z_{y1}}{1.1}; \text{ für } V_{y1}$	$= R_{y1} \frac{c_1}{c}$	R_{yn}	$= \frac{G_n + z_{yn}}{1.n}; \text{ für } V_{yn}$	$= \frac{(G_n + z_{yn}) \frac{c_1}{c}}{n}$

Für die Fläche = x.1

und die Belastung = 1			und die Belastung = n.1		
	und Wärme t	t'		und Wärme t	t'
G_x	$= G_1 \frac{\sum_1 c}{\sum_x c}$	$= G_x \frac{c_1}{c}$	G_{xn}	$= G_n \frac{\sum_1 c}{\sum_x c}$	$= G_{xn} \frac{c_1}{c}$
z_{yx}	$= z_{y1} \frac{\frac{x^2}{\sum_x c}}{\frac{1}{\sum_1 c}}$	$= z_{yx} \frac{c_1}{c}$	z_{yxn}	$= z_{yx} \frac{\delta_n}{\delta_1}$	$= z_{yxn} \frac{c_1}{c}$
s_x	$= s_1 \frac{\frac{x^2}{\sum_x c}}{\frac{1}{\sum_1 c}}$	$= s_x \frac{c_1}{c}$	s_{xn}	$= s_x \frac{\delta_n}{\delta_1}$	$= s_{xn} \frac{c_1}{c}$
W_{yx}	$= G_x + z_{yx}$	$= W_{yx} \frac{c_1}{c}$	W_{yxn}	$= G_{xn} + z_{yxn}$	$= W_{yxn} \frac{c_1}{c}$
W_{mx}	$= G_x + s_x$	$= W_{mx} \frac{c_1}{c}$	W_{mxn}	$= G_{xn} + s_{xn}$	$= W_{mxn} \frac{c_1}{c}$
V_{mx}	$= \frac{s_1 \frac{\frac{x^2}{\sum_x c}}{\frac{1}{\sum_1 c}} \sin \Delta 100}{z_1 \frac{\frac{x^2}{\sum_x c}}{\frac{1}{\sum_1 c}}}$	$= V_{mx}$	V_{mxn}	$= V_{m1} \frac{h_n}{h_1}$	$= V_{mxn}$
D_x	$= \frac{(2 V_{m1})^2}{s_x}; \text{ für } V_{mx}$	$= D_x \frac{c_1}{c}$	D_{xn}	$= \frac{(2 V_{mxn})^2}{s_{xn}}; \text{ für } V_m$	$= D_{xn} \frac{c_1}{c}$
D_{yx}	$= \frac{(2 V_{m1})^2}{z_{yx}}; \text{ für } V_{yx}$	$= D_{yx} \frac{c_1}{c}$	D_{yxn}	$= \frac{(2 V_{mxn})^2}{z_{yxn}}; \text{ für } V_y$	$= D_{yxn} \frac{c_1}{c}$
N_x	$= \frac{D_x}{W_{mx}}; \text{ für } V_{mx}$	$= N_x$	N_{xn}	$= \frac{D_{xn}}{W_{mxn}}$	$= N_{xn}$
N_{yx}	$= \frac{D_{yx}}{W_{yx}}; \text{ für } V_{yx}$	$= N_{yx}$	N_{yxn}	$= \frac{D_{yxn}}{W_{yxn}}$	$= N_{yxn}$
R_x	$= \frac{G_x + s_x}{x.1}; \text{ für } V_{mx}$	$= \frac{(G_x + s_x) \frac{c_1}{c}}{x}$	R_{xn}	$= \frac{G_{xn} + s_{xn}}{x.n}; \text{ für } V_m$	$= \frac{(G_{xn} + s_{xn}) \frac{c_1}{c}}{x.n}$
R_{yx}	$= \frac{G_x + z_{yx}}{x.1}; \text{ für } V_{yx}$	$= \frac{(G_x + z_{yx}) \frac{c_1}{c}}{x}$	R_{yxn}	$= \frac{G_{xn} + z_{yxn}}{x.n}; \text{ für } V_y$	$= \frac{(G_{xn} + z_{yxn}) \frac{c_1}{c}}{x.n}$

Zur Entstehung der Ausdrücke für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes bei Wechseln der Grössen der Belastung und der Fläche sei Folgendes bemerkt.

1) Im Ausdrucke für z_y ist für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes V_m , $\frac{\Delta}{2} = 45^\circ$, also $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 1 = h = V_m$.

Für die Geschwindigkeit V_y ist also $\operatorname{tg} \frac{\Delta_y}{2} = \frac{V_y}{V_m}$.

2) In dem Ausdrucke für den Grundwiderstand der belasteten Schicht ist das Verhältnis der Einheiten von δ und $G = 1:0,00001 = 100000$ eingeführt.

Dieses Verhältnis ergibt sich aus folgender Betrachtung:

Wie unter I. 8. erläutert, hat die Grösse tt' des Weges eines Theilchens t (Fig. 6 Taf. XXXV), für $h_1 = 1$ die Grösse $\frac{\pi}{100}$ im Verhältnisse zur Grösse von V_m , diese als $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 45 = 1$ gedacht. Da für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \operatorname{tg} 45^\circ$ Linie $eV = 1$ ist, so hat, entsprechend

der Beziehung $\operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = \frac{V}{100}$ für diese Geschwindigkeit die Länge

der Linie tt' in Bezug auf V_0 den Werth von $\frac{1}{100}$ und da ferner die Längen-Einheit von δ , r und h das Millimeter und die von V_0 das Meter ist, so besteht die Beziehung Linie $t't$

$= \frac{1}{100} V_m$, und da für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes V_m und tt' als $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ sind, so ergibt sich die Einheit von $tt' = 0,00001$. Da $h = n\delta$ ist, so stehen also die Einheiten von V , s und G zu denen von δ im Verhältnisse von $1:0,00001$, welches bei der Benutzung der Ausdrücke zu berücksichtigen ist.

3) Bezüglich des Ausdruckes für den Dauerwerth ist Folgendes zu erläutern:

In dem unter I. 3. gefundenen Ausdrucke Gl. 6) für $D = \frac{(2h)^2}{s}$ ist allgemein h die Schichtenhöhe und s die Beanspruchung der Schicht. Soll der Ausdruck zur Bestimmung von D für einen bestimmten Werth von s in gr dienen, so muss also für h , in $(2h)^2$ der Werth für die Schichtenhöhe in Einheiten von V , also für h_1 , V_m gesetzt werden, d. h. derjenige Werth von V_m , welcher dem für s unter gleichen Bedingungen im einzelnen Falle für eine bestimmte Belastung der Flächen-einheit und bei einer bestimmten Wärme durch den Versuch ermittelten entspricht.

Der Ausdruck nimmt also für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes die Form $D = \frac{(2V_m)^2}{s}$ an, und für die Geschwindigkeit V_y , für welche $z =$ einem der Grösse von V entsprechenden Theile von s ist

$$D_y = \frac{(2V_m)^2}{z_y}$$

4) Das Verhältnis der Abhängigkeit der Grösse des Dauerwerthes von der Wärme t ergibt sich sodann wie folgt. Die Grösse der Beanspruchung s der Schicht steht im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse ihrer Festigkeit c .

Wenn c der Wärme t , c_1 der Wärme t_1 entspricht und $t_1 > t$ also $c_1 < c$ ist, so folgt $s:s_1 = c_1:c$ oder $s_1 = \frac{cs}{c_1}$ für die Wärme t_1 ist also

$$D_1 = \frac{(2V_m)^2}{c \cdot s} = \frac{(2V_m)^2}{s} \frac{c_1}{c}$$

$$\text{und } D_y = \frac{\frac{c_1}{c} (2V_m)^2}{c_1 z_y} = \frac{(2V_m)^2}{c} c^1 z_y.$$

13. Beispiel für die Vergleichung der mechanischen Nutzwerte zweier Oele.

Es folge hier als Beispiel eine vergleichende Werthbestimmung der beiden Oele, deren Widerstände in Fig. 25 Taf. XXXIV und — mit der Bezeichnung mm — in Fig. 15 Taf. XXXV erscheinen.

Das hier zum Vergleiche gewählte Mineralöl ist eines der dunkeln Oele, wie solche vielfach auf dem Markte erscheinen, wird aber von anderen Oelen durch noch grössere Widerstände überholt. — Seine Eigenschaften können also besonders als die der sogenannten billigen Mineralöle im Durchschnitte als Vergleich mit einem Rüböle dienen, dessen Eigenschaften sich in Bezug auf mechanischen Werth als mittlere bezeichnen lassen.

Es werde angenommen, dass diese Oele zur Schmierung von Eisenbahnwagen-Achsen benutzt werden sollen, welche sowohl in Güter- als auch in Personenzügen dauernd, also mit geringeren, bzw. grösseren Geschwindigkeiten laufen, und diese Geschwindigkeiten mögen durchschnittlich 35, bzw. 65 km in der Stunde betragen.

Das Verhältnis des Laufkranzdurchmessers zu dem des Achsschenkels wird zu 10:1 angenommen, es entspricht dann den Geschwindigkeiten der Wagen von 35, bzw. 65 km in der Stunde, ein Weg eines Punktes des Umfanges des Achsschenkels von 58^m, bzw. 106^m in der Minute, und diese sind daher bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Die Auflagefläche im Lager betrage 60 qcm, das durchschnittliche Gewicht eines beladenen Wagens 15000 kg.

Unter Annahme des Vorhandenseins von zwei Achsen, ergibt sich die Einheits-Belastung der Lagerflächen an den Wagen zu $\frac{15000}{4 \cdot 60} = 60,5$ kg auf 1 qcm. Die Widerstände, welche beide Oele in den zwei verschiedenen Fällen ergeben, wie ihre Dauerwerthe und Nutzwerte berechnen sich wie folgt.

1) Für das Rüböl.

Bei der Wärme von 15° C. haben für das Rüböl (Fig. 25 Taf. XXXIV) die Messungen für die Belastung 1 und die Fläche 0,50 qcm ergeben $G = 22,55$ gr $s = 46,2$ gr und $V_m = 82,65^m$ in der Minute, die Schichtenhöhe $h_1 = 0,06072^{mm}$, die Verminderungen der Schichtenhöhe bei den Belastungen von 1 bzw. 60,5 kg auf 1 qcm

$$\delta_1 = 0,00167^{mm}, \delta_{60,5} = 0,01180^{mm} \text{ und hieraus } h_0 = h_1 + \delta_1 = 0,06072^{mm} + 0,00167^{mm} = 0,06239^{mm}, h_{60,5} = h_0 - \delta_{60,5} = 0,06239^{mm} - 0,01180^{mm} = 0,05059^{mm}.$$

Der Gesamtwiderstand an den 4 Achsschenkelflächen eines Wagens ergibt sich dann unter Berücksichtigung der angenom-

menen Belastung und Flächengrösse bei der Geschwindigkeit $V = 58^m$ in der Minute wie folgt.

Zunächst muss, da sich mit der Vergrößerung der Fläche und der Belastung die Bewegungswiderstände und die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes, letztere als Einheit für die anderen Geschwindigkeiten, verändern, s_{xn} und V_{mxn} bestimmt werden.

Da die Bestimmung der Widerstände für 1 kg Belastung unter Benutzung einer Fläche von 0,5 qcm erfolgte, und die Einheit für die Auflageflächen in den Lagerschalen 1 qcm ist, so ist in dem Ausdrucke für die Steigerung des Widerstandes durch die Vergrößerung der Fläche zu setzen $\sum_1 c = 2 \cdot (0,5 + 1) = 3$, und $\frac{1}{\sum_1 c} = 0,3333$.

In diesem Falle ist dann $s_{xn} = s_1 \frac{x^2}{\sum_x c} \cdot \frac{\delta_n}{\delta_1} = 46,2 \frac{122}{3} \cdot \frac{0,01180}{0,00167} = 46,2 \cdot \frac{29,5}{0,3333} \cdot 7,065 = 29082,5$ gr, und $V_{mxn} = V_{m1} \frac{h_n}{h_1} = 82,65 \cdot \frac{0,05059}{0,06072} = 82,65 \cdot 0,833 = 68,85$.

Die Geschwindigkeit $V = 58$ giebt für $V_{mxn} = \frac{58}{68,85} = 0,84241 = \text{tg } \frac{\Delta}{2}$; hieraus folgt $\frac{\Delta}{2} = 40^\circ 21'$, $\Delta = 80^\circ 42'$, $\sin \Delta = 0,98734$, und z für die Geschwindigkeit 58

$$z_{xn} = 0,98734 \cdot 29082,5 = 28714,3 \text{ gr.}$$

Ferner ist $G_{xn} = \left(G_1 \frac{\delta_n}{\delta_1} \right) \frac{\sum_1 c}{\sum_x c} = 22,55 \cdot 7,065 \cdot \frac{3}{122} = 159,31 \cdot 0,0246 = 3,91$ gr.

Der Gesamtwiderstand für $V = 58$ beträgt mithin

$$G_{xn} + z_{xn} = 3,91 + 28714,3 = 28718,21 \text{ gr} = 28,7 \text{ kg.}$$

Die Geschwindigkeit $V = 106$ giebt für $V_{mxn} = \frac{106}{68,85} = 1,53958 = \text{tg } \frac{\Delta}{2}$; hieraus folgt $\frac{\Delta}{2} = 56^\circ 59'$, $\Delta = 113^\circ 58'$ ($180^\circ - 66^\circ 2'$), $\sin \Delta = 0,91413$ und für die Geschwindigkeit $V = 106$, $z_{xn} = 0,91413 \cdot 29082,5 = 26585,18$ gr.

Der Gesamtwiderstand beträgt daher $G_{xn} + z_{xn} = 3,91 + 26585,18 = 26589,1 = 26,59$ kg.

Am Umfange der 4 Achsschenkel des Wagens beträgt also:

bei 15° C. und bei der Geschwindigkeit von 58^m in der Minute bzw. 35 km in der Stunde der Gesamtwiderstand $W = 4 \cdot 28,7 = 114,8$ kg.

bei 15° C. und bei der Geschwindigkeit von 106^m in der Minute, bzw. 65 km in der Stunde der Gesamtwiderstand $W = 4 \cdot 26,59 = 107,16$ kg.

Die Messung der Festigkeit c dieses Rüböles ergab für 15° C. den Werth $c = 0,316$ gr auf 1 qcm und für 30° C. den Werth $c_1 = 0,306$ gr auf 1 qcm, also das Verhältniss

$$\frac{c_1}{c} = \frac{0,306}{0,316} = 0,968.$$

Es ist daher der Gesamtwiderstand

bei 30° C. bei der Geschwindigkeit von 58^m in der Minute

$$W = 4 (G_{xn} + z_{xn}) \frac{c_1}{c} = 114,8 \cdot 0,968 = 111,12 \text{ kg}$$

bei der Geschwindigkeit von 106^m in der Minute

$$W = 107,16 \cdot 0,968 = 105,66 \text{ kg.}$$

Bei 15° C. wurde für das Mineralöl für die Belastung 1 und die Fläche 0,5 qcm gefunden $G_1 = 72$; $s_1 = 159$; $V_{m1} = 62^m$ in der Minute und $\delta_1 = 0,00280^{\text{mm}}$, $\delta_{60,5} = 0,01581^{\text{mm}}$, und $h_1 = \frac{499,869}{6200 - 33,33} = 0,08102$, $h_0 = h_1 + \delta_1 = 0,08382^{\text{mm}}$, $h_{60,5} = h_0 - \delta_{60,5} = 0,06801^{\text{mm}}$.

Hieraus folgt in gleicher Weise $s_{xn} = 79901,32$ gr. Für die Belastung 60,5 kg auf 1 qcm wird $G_{60,5} = 72 \cdot \frac{0,01581}{0,00280} \cdot 0,0246 = 9,99$ gr, $V_{mxn} = V_m \cdot \frac{h_n}{h_1} = 62 \cdot \frac{0,06801}{0,08102} = 51,95^m$ in der Minute.

Die Geschwindigkeit $V = 58$ ist für $V_{mxn} = \frac{58}{51,95} = 1,11645 = \text{tg } \frac{\Delta}{2}$; $z_{xny} = 79361,2$ gr.

Der Gesamtwiderstand für $V = 58$ beträgt mithin $G_{xn} + z_{xn} = 9,99 + 79361,2 = 79371,97 = 79,37$ kg.

Die Geschwindigkeit $V = 106$ ist für $V_{mxn} = \frac{106}{51,95} = 2,04042 = \text{tg } \frac{\Delta}{2}$. Hieraus folgt $z_{xny} = 62699,36$ gr.

Für die Geschwindigkeit $V = 106$ beträgt der Gesamtwiderstand $G_{xny} + z_{xny} = 9,99 + 62699,36 = 62709,35 = 62,71$ kg.

Am Umfange der 4 Achsschenkel beträgt also

bei 15° C. bei der Geschwindigkeit $V = 58^m$, der Gesamtwiderstand $4 \cdot 79,37 = 317,48$ kg.

bei 15° C. bei der Geschwindigkeit $V = 106^m$, der Gesamtwiderstand $4 \cdot 62,71 = 250,84$ kg.

Die Messung der Festigkeit dieses Mineralöles ergab für 15° C. den Werth $c = 0,33$ gr auf 1 qcm, und für 30° den Werth $c_1 = 0,272$ gr auf 1 qcm, also das Verhältniss

$$\frac{c_1}{c} = \frac{0,272}{0,33} = 0,824.$$

Es ist daher der Gesamtwiderstand

bei 30° C. und der Geschwindigkeit $V = 58^m$, $W = 4 (G_{xn} + z_{xny}) \frac{c_1}{c} = 317,48 \cdot 0,824 = 261,6$ kg und

bei 30° C. und der Geschwindigkeit $V = 106^m$, $W = 4 \cdot 250,84 \cdot 0,824 = 206,7$ kg.

Für 15° C. ist für das Rüböl der grösste Gesamtwiderstand $= 4 \cdot 29 = 116$ kg, und der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes entspricht die Fahrgeschwindigkeit von $V = 41,54$ km in der Stunde.

Für 15° C. ist für das Mineralöl der grösste Gesamtwiderstand $4 \cdot 79,9 = 319,6$ kg.

Für 30° C. ist für das Mineralöl der grösste Gesamtwiderstand $4 \cdot 87,9 = 263,35$ kg, und der Geschwindigkeit des grössten Widerstandes entspricht die Fahrgeschwindigkeit von $V = 30,12$ km in der Stunde.

Hieraus ergeben sich die Reibungsbeiwerte für die beiden Oele, die gleich grossen Flächen $= 1$ gesetzt unter den angenommenen Verhältnissen, wie aus Fig. 14 und 10 Taf. XXXV ersichtlich.

Der Reibungsbeiwert für das Rüböl für beide Geschwindigkeiten $= 1$ gesetzt, ergibt für die Reibungsbeiwerte des Mineralöles die folgenden Verhältnisswerthe.

Für die Geschwindigkeit von 35 km in der Stunde

$$= \frac{0,02116}{0,00765} = 2,766$$

und für die Geschwindigkeit von 65 km in der Stunde

$$= \frac{0,01616}{0,00714} = 2,263.$$

Der den Schichtenwiderständen entsprechende Theil des Zug-Widerstandes eines Wagens beträgt hiernach bei 15° C. Wärme für dieses Rüböl für das Verhältnis

$$\frac{\text{Achsschenkeldurchmesser}}{\text{Raddurchmesser}} = \frac{1}{10} \text{ bei 35 km in der Stunde Fahr-}$$

$$\text{geschwindigkeit } \frac{114,8}{10} = 11,48 \text{ kg} = \frac{11,48}{15} = 0,765 \text{ kg für 1 t,}$$

$$\text{bei 65 km in der Stunde Fahrgeschwindigkeit} = \frac{10,628}{15} = 0,708 \text{ kg}$$

für 1 t; für das Mineralöl:

bei 35 km in der Stunde Fahrgeschwindigkeit

$$= \frac{31,748}{15} = 2,116 \text{ kg für 1 t,}$$

bei 65 km in der Stunde Fahrgeschwindigkeit

$$= \frac{25,084}{15} = 1,672 \text{ kg für 1 t.}$$

Die Dauerwerthe der beiden vorangehend verglichenen Oele und ihre Veränderungen bei den Wärmegraden von 15° C. und 30° C., welche sich hiernach unter den angenommenen Bedingungen ergeben, sind unter Benutzung des Ausdruckes $D_y = \frac{(2 V_m)^2}{z_y}$ bzw. $\frac{(2 V_m)^2}{z_y} \cdot \frac{c'}{c}$ in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

D für 15° C.				
V	Rüböl D _r	V	Mineralöl D _m	$\frac{D_m}{D_r}$
35	660,7	35	136,02	0,205
41,54	658,8	30,12	135,1	—
65	723,6	65	172,14	0,248
D ₁ für 30° C.				
35	639,56	35	112,08	0,175
41,54	632,88	30,12	111,32	—
65	698,22	65	142,04	0,22
D ₁ — D				
35	— 21,14	35	23,94	
65	— 25,38	65	30,10	

In Fig. 14 und 10 Taf. XXXV sind auch diese Verhältnisse für diese beiden Oele zum Ausdrucke gebracht.

Die von den Ordinaten umschlossenen, die Dauerwerthe zwischen den Geschwindigkeiten von 58^m bis 106^m in der Minute = 35 km bis 65 km in der Stunde darstellenden Flächen lassen hier das Werthverhältnis bei den beiden zum Vergleiche gewählten Wärmegraden unmittelbar erkennen.

Die grosse wirtschaftliche Bedeutung der Verschiedenheit der zur Verwendung kommenden Oele im Allgemeinen sei unter Benutzung der für die vorangehend berücksichtigten Oele bestimmten Werthe noch einer Betrachtung unterzogen.

Es habe die Statistik für einen grösseren Eisenbahnverwaltungsbezirk eine Nutzleistung der Locomotiven im Zugdienste in einem Jahre ergeben von ~ 3 161 000 000 Tonnen-Kilometer, und in derselben Zeit seien ~ 578 000 000 Wagenachskilometer zurückgelegt.

Dies ergibt die durchschnittliche Belastung einer Achse $= \frac{3\ 161\ 000\ 000}{578\ 000\ 000} = 5,156 \text{ t}$ und die eines Wagens = 10,33 t = 10 330 kg, wenn zwei Achsen für jeden Wagen angenommen werden.

Wenn jeder Achsschenkel eine Auflagefläche von 60 qcm hat, so ergibt sich die Einheitsbelastung der Oelschicht zu $\frac{10,330}{4 \cdot 60} = 43 \text{ kg auf 1 qcm.}$

Für diese Belastung ergibt sich in gleicher Weise, wie vorangehend behandelt, für das Mittel der dort berücksichtigten Geschwindigkeiten von $\frac{35 + 65}{2} = 50 \text{ km in der Stunde,}$ für welche in Bezug auf V_{max} = 41,54 km in der Stunde $\sin \Delta = 0,98920$ ist, für Rüböl bei 15° C. der Widerstand der Schicht $= \frac{27,99 \cdot 4 \cdot 0,98920}{10 \cdot 15} = 0,7383 \text{ kg für 1 t,}$ und für das Mineralöl unter den gleichen Verhältnissen der Widerstand $= \frac{71,36 \cdot 4 \cdot 0,79208}{10 \cdot 15} = 1,507 \text{ kg für 1 t.}$

Durch unmittelbare Messung der Gesamtwiderstände von Eisenbahnzügen bei verschiedenen Geschwindigkeiten ist im Durchschnitte für die Geschwindigkeit von 50 km in der Stunde der Widerstand gefunden worden = 6,5 kg für 1 t Wagen-gewicht.

Es werde nun angenommen, dass die Lager der Fahrzeuge, welche bei 50 km in der Stunde einen Zug-Widerstand von 6,5 kg für 1 t ergaben, mit diesem Rüböle geschmiert waren. Es beträgt dann allein der Widerstand, welcher durch rollende Reibung, Geschwindigkeit und Luftdruck erzeugt wird, 6,5 — 0,7383 = 5,762 kg für 1 t.

Bei Verwendung des oben untersuchten Mineralöles würde also der Gesamtwiderstand bei der Geschwindigkeit von 50 km in der Stunde betragen 5,762 + 1,507 = 7,27 kg für 1 t.

Die Arbeitsleistung der die Wagen befördernden Locomotiven muss mithin im zweiten Falle entsprechend grösser sein, was für die gleiche Kilometerleistung eine entsprechende Steigerung des Verbrauches an Kohlen für die Locomotiven während der Fahrt ergeben muss.

Da die Gewichtseinheit des Wagens hier im Durchschnitte = 10,33 t ist, so ist bei Anwendung von Rüböl der Gesamtwiderstand eines Wagens bei 50 km Geschwindigkeit = (5,762 + 0,7383) 10,33 = 67,145 kg. Wäre an Stelle des Rüböles das Mineralöl verwendet worden, so wäre der Gesamtwiderstand eines Wagens (5,762 + 1,507) 10,33 = 75,09 kg. Für diesen Fall besteht also das Verhältniss von $\frac{75,09}{67,145} = 1,118.$

Es betragen nun die Kosten der Kohlen für die zu Anfang angegebene Leistung nach Abzug der zum Anheizen der Locomotiven erforderlichen Mengen ~ 1 200 000 M.

Derjenige Theil der Gesamtkosten der Kohlen, welcher auf Rechnung der Ueberwindung der Widerstände der Rübölschichten zu setzen ist, beträgt in diesem Falle

$$\frac{0,7383}{6,5} \cdot 1\ 200\ 000 = 136320 \text{ M.}$$

Die Kosten für die Ueberwindung der in ihrer Grösse unveränderlichen Summe der Widerstände der rollenden Reibung

der Räder auf den Schienen, der der Bewegung und der des Luftwiderstandes betragen hiernach

$$1\,200\,000 - 136\,320 = 1\,063\,680 \text{ M.}$$

Bei Verwendung des Mineralöles steigern sich die auf die Ueberwindung der Widerstände der Oelschichten in Rechnung zu stellenden Kosten im Verhältnisse von $1,507 : 0,7383 = 2,041$, sie betragen also $2,041 \cdot 136\,320 = 278\,529 \text{ M.}$

Für die Ueberwindung der Gesamtwiderstände der mit diesem Mineralöle geschmierten Wagen ist also für Kohlen der Betrag von $1\,063\,680 + 278\,529 = 1\,342\,209 \text{ M.}$ erforderlich, d. h. $1\,342\,209 - 1\,200\,000 = 142\,209 \text{ M.}$ mehr als bei Schmierung mit dem untersuchten Rüböle. Die Kosten des Rüböles betragen $48\,747 \text{ M.}$

Wenn das Rüböl 35 M. und das Mineralöl 22 M. für 100 kg kostet, so ist das Preisverhältnis $\frac{22}{35} = 0,628$.

Die Kosten für die Schmierung mit dem Mineralöle würden also $48\,747 \cdot 0,628 = 30\,713 \text{ M.}$ betragen.

Bei Schmierung mit dem Rüböle betragen die Gesamtkosten für Kohlen und Schmiermittel

$$1\,200\,000 \cdot 48\,747 = 1\,248\,747 \text{ M.}$$

und bei der Schmierung mit dem Mineralöle

$$1\,342\,209 \cdot 30\,713 = 1\,372\,922 \text{ M.}$$

Die Ersparnis an den Kosten für Oel im Betrage von $48\,747 - 30\,713 = 18\,034 \text{ M.}$ muss also bezahlt werden mit einer Mehrausgabe für Kohlen im Betrage von

$$1\,342\,209 - 1\,200\,000 = 142\,209 \text{ M.}$$

Die wirklichen Mehrkosten bei der Schmierung mit dem Mineralöle betragen somit schliesslich

$$142\,209 - 18\,034 = 124\,175 \text{ M.}$$

In Wirklichkeit stellen sich diese Zahlen dadurch etwas günstiger für das Mineralöl, dass durch die innere Arbeit der Oelschichten, während die Fahrzeuge längere Zeit ununterbrochen laufen, Wärme erzeugt wird, welche eine Verminderung der Reibungswiderstände in den Achsschenkeln zur Folge hat.

Die Wärme des Beharrungszustandes (siehe I. 3.) wird hierbei aber nur in Ausnahmefällen bei stundenlanger ununterbrochener Fahrt erreicht. — Unter gewöhnlichen Verhältnissen, unter denen im Laufe eines Jahres die überwiegende Anzahl von Fahrten von sehr viel kürzerer Dauer sind und durch das Stillstehen auf den Bahnhöfen unterbrochen werden, erfolgt hierbei stets eine Abkühlung der Lager, weil dann die Zuführung innerer Wärme aufhört. Die Summe der entwickelten Wärme bleibt also hinter der Grösse zurück, welche dem Wärmegrade des Beharrungszustandes entspricht. — Die Wärme, welche die Achsschenkel bei niedrigen und hohen Luftwärmegraden über diese hinaus annehmen, kann bei dem Wechsel letzterer aber nicht gleich sein, weil bei höherem durch höhere Luftwärme bedingten Anfangs-Wärmegrade die Festigkeit geringer ist, als bei geringerer Luftwärme und die Beanspruchung der Schichten und die durch diese erzeugten Wärmemengen daher verhältnismässig mehr wachsen müssen.

Um einen Einblick zu gewinnen, wie in diesem Sinne diese verhältnismässige Steigerung der Wärme der Schichten, von der Höhe der Luftwärme im Allgemeinen abhängig ist und welche Wärme im Durchschnitte überhaupt während des Laufens

der Wagen in den Schichten erzeugt wird, wurde während 18 Monaten an einem besonders für diesen Zweck vorgerichteten Lagerkasten bei jedesmaligem Einlaufen des Versuchswagens im regelmässigen Dienste nach etwa 40 Minuten ununterbrochener Fahrt die Wärme der Oelschicht und der Luft gleichmässig gemessen. — Die Achsbüchse des Versuchswagens enthielt ein Mineralöl, dessen Eigenschaften denjenigen des für das vorstehende Beispiel gewählten Oeles sehr nahe stehen.

Die Mittelwerthe aus diesen Doppelwerthen ergaben als Durchschnitts-Mafs für die Wärme der Schichten bei 0 bis 35° C. Luftwärme, die Neigung einer Linie TT (Fig. 16 Taf. XXXV) gegen die Neigung der Linie tt , welche letztere die gleichmässige Steigerung der Luftwärme von 0 bis 35° C. darstellt.

Abscissen und Ordinaten stellen die Wärmegrade im Grössenverhältnisse von $10 : 1$ dar. Die Linie für die Wärme der Schichten schneidet die Abscissenachse bei Punkt a , dessen Entfernung vom Punkte 0 einer Wärme von -10° C. entspricht. Bei 0° erscheint eine Wärme von 12° C.

Die höchste Wärme der Schicht bei 35° C. Luftwärme wurde zu 59° C. ermittelt. Aus diesen Werthen und der Länge der Abscisse $= 35$ ergibt sich das Verhältnis der Neigung der Linie TT zu $\frac{59-12}{35} = 1,343$ gegen das der Linie $tt = 1$ und wenn T_s die Wärme der Oelschicht, und t die Luftwärme bedeutet, die Beziehung $T_s = (t + 10) 1,343$. Hierin ist $0,343$ der Verhältnisswerth, welcher abhängig ist von der Zunahme der Erwärmung in Folge der, bei höherer Luftwärme verminderten Festigkeit.

Bei der Luftwärme $= 0^\circ \text{ C.}$ ist die Erwärmung der Schicht $= 12^\circ \text{ C.}$, bei 35° C. $= 24^\circ \text{ C.}$ Der Schwerpunkt der die Summe der Reibungswärme in den Schichten darstellenden Dreiecksfläche abc liegt im Punkte d , welcher auf der Ordinate für die Luftwärme von 20° C. liegt.

Die Wärme der Oelschichten ist also im Mittel für 1 Jahr $T_s = (20 + 10) 1,343 = 40,29^\circ = 40^\circ \text{ C.}$

Wenn diese Wärme berücksichtigt wird, so ergibt sich für das vorher behandelte Beispiel Folgendes.

Die Festigkeit des Rüböles bei der Wärme von 15° C. , bei welcher die Ermittlung der Widerstände stattfand, wurde bestimmt zu $0,316 \text{ gr}$ für 1 qcm. Für 40° C. beträgt dieselbe $0,300 \text{ gr.}$

Für die mittlere Geschwindigkeit von 50 km in der Stunde ergab sich bei 15° C. der Widerstand der Rübölschichten zu $0,7383 \text{ kg}$ für 1 t. Bei 40° C. ist er mithin

$$= 0,7383 \cdot \frac{0,300}{0,316} = 0,7383 \cdot 0,949 = 0,7006 \text{ kg für } 1 \text{ t.}$$

Die Festigkeit des Mineralöles bei der Wärme von 15° C. wurde bestimmt zu $0,33 \text{ gr}$ für 1 qcm. Für 40° beträgt dieselbe $0,290 \text{ gr}$ für 1 qcm.

Für die gleichen Verhältnisse geben also die Mineralölschichten einen Widerstand von

$$1,507 \cdot \frac{0,290}{0,33} = 1,507 \cdot 0,878 = 1,323 \text{ kg für } 1 \text{ t.}$$

Wenn die Kosten der Kohlen wie vorher zu $1\,200\,000 \text{ M.}$ angenommen werden, so ergeben sich die Kosten der Kohlen für den auf die Rübölwiderstände fallenden Theil zu

$$\frac{0,7006}{6,5} \cdot 1\,200\,000 = 129\,240 \text{ M.}$$

Die Kosten für die Ueberwindung der beständigen Widerstände bleiben dieselben wie bei 15° C., wo sie 1 063 680 M. betragen.

Die Kosten der Kohlen bei Rübölschmierung bei 40° C. betragen mithin $1\,063\,680 + 129\,240 = 1\,192\,920$ M.

Der Einfluss der höheren Wärme führt also hier eine Ersparnis von $1\,200\,000 - 1\,192\,920 = 7080$ M. herbei.

Das Verhältnis der Widerstände der Schichten beider Oele bei 40° C. ist $\frac{1,323}{0,7006} = 1,888$.

Die Kosten der Kohlen für die Mineralölschmierung betragen bei 40° C. mithin $1,888 \cdot 129\,240 = 244\,005$ M.

Für die Ueberwindung der Gesamtwiderstände der mit dem Mineralöle geschmierten Wagen ist also an Kohlen der Betrag erforderlich von $1\,063\,680 + 244\,005 = 1\,267\,685$ M., daher mehr als bei der Rübölschmierung

$$1\,267\,685 - 1\,192\,920 = 74\,765 \text{ M.}$$

Hievon kommt in Abzug der vorher ermittelte Betrag der Mehrausgabe für Rüböl $= 48\,747 - 30\,713 = 18\,034$ M., was eine Mehrausgabe für Kohlen und Oel bei Anwendung des Mineralöles von $74\,765 - 18\,034 = 56\,731$ M. ergibt.

Es zeigt dieses Beispiel, dass die Bestimmung der Grösse der Schichtenwiderstände die wichtigste von allen ist, da sie vorzugsweise als Grundlage für die Beurtheilung bei der Wahl der Schmiermittel anerkannt werden muss. — Die chemische Beschaffenheit der Oele steht in zweiter Linie, und ist nur insoweit von maßgebender Bedeutung, als sie die physikalischen Eigenschaften mit Rücksicht auf die Abhängigkeit der mechanischen von den physikalischen beeinflusst.

In erster Linie stehen die mechanischen und physicalischen Eigenschaften.

II.

1. Der mechanische Nutzwert der Flüssigkeiten und die Bestimmung seiner Grösse.

Die Grösse des mechanischen Nutzwertes einer Flüssigkeit, welche reibungsvermindernde Arbeit verrichten soll, ist abhängig von der Grösse der Einheits-Beanspruchung, welcher sie dauernd ausgesetzt ist, und von den Grössen der bei der Bewegung in ihr erzeugten inneren Widerstände.

Die Fähigkeit, der Beanspruchung in höherem oder geringerem Grade zu widerstehen, findet ihren Ausdruck im Begriffe des Dauerwerthes. — Dieser ist um so grösser, je geringer die Widerstandsbeanspruchungen sind. Der Nutzwert nimmt daher mit der Steigerung der Widerstände ab und mit der des Dauerwerthes zu.

Es besteht also die Beziehung $N = \frac{D}{W}$, wenn N den Nutzwert, D den Dauerwert und W eine bestimmte Grösse des Widerstandes bezeichnen.

Die Grössen von D und W sind abhängig von der Grösse der Belastung, der Fläche, der Geschwindigkeit, der Festigkeit und der Wärme, und zwar stehen, wie die Untersuchungen gezeigt haben, die Wechselwirkungen dieser in sehr verschiedenen Beziehungen zu einander.

Die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen lassen erkennen, dass die Beobachtung aller Vorgänge und damit die

Sicherheit der Prüfung unabhängig sind von einer bestimmten Grösse der Belastung und der Geschwindigkeit der Bewegung der zu prüfenden Schicht, dass also mittels der Ergebnisse der Prüfungen der Widerstände, wenn diese auch nur mit geringeren Belastungen und Geschwindigkeiten durchgeführt werden, als sie besonders bezüglich der ersteren bei der Verwendung der Flüssigkeiten vorkommen, die Nutzwert-Verhältnisse verschiedener Flüssigkeiten untereinander nichts desto weniger sicher bestimmt werden können, weil durch diese Untersuchungen die Einsicht in die Beziehung aller Ursachen der Vorgänge und ihrer Wechselwirkungen gewonnen worden ist.

Wir wenden uns daher nun der Frage zu, in welcher Weise auf Grund des Erkannten die Beurtheilung des Nutzwertes für eine bestimmte Flüssigkeit, welche mechanische Arbeit verrichten soll, zu geschehen hat, um bei der Auswahl eines Schmieröles den bei Beginn dieser Untersuchungen aufgestellten Gesichtspunkten entsprechend zu verfahren, d. h. denjenigen Stoff zu finden, welcher bei grösster Leistungsfähigkeit die verhältnismässig geringste Beanspruchung als Bedingung längster Dauer gleichbleibenden Zustandes und gleich bleibender Leistungsfähigkeit erkennen lässt.

Anknüpfend an die anfangs betonte Gleichstellung der Beurtheilung des Arbeitswertes fester und flüssiger Körper muss zunächst darauf hingewiesen werden, dass die Ausgangspunkte für die Beurtheilung der Eigenschaften, welche über die Wahl eines für einen bestimmten Zweck zu verwendenden Körpers beider Gattungen entscheiden, für beide Gattungen wesentlich verschieden sind.

Bei der Verwendung fester Körper können durch eine der Festigkeit des Stoffes und der Wirkung der äusseren Kräfte entsprechende Wahl von Grösse und Gestalt des Querschnittes die Beanspruchungen stets in beliebigen Grenzen gehalten werden.

Bei den Flüssigkeiten sind dagegen die Grösse der Festigkeit und die des beanspruchten Querschnittes gegeben und zwar verschieden für jede Flüssigkeit. — Eine Annahme für diese kann also nicht gemacht werden, es müssen vielmehr zu ihrer Bestimmung unmittelbar Ermittlungen stattfinden, deren Ergebnisse allein nur für die Wahl der Flüssigkeit maßgebend sein können.

Die Wahl unter einer grösseren Anzahl von Reibung vermindernenden Stoffen, welche bestimmten Zwecken dienen sollen, bedingt vorwiegend die vergleichende Untersuchung derselben. Der Endzweck dieser Arbeit, nämlich die Bestimmung der Leistungsfähigkeit und der Dauerhaftigkeit, welche im Allgemeinen mit zunehmendem Schichtenwiderstande und mit abnehmender Festigkeit, d. h. mit zunehmender Beanspruchung der Flüssigkeiten abnehmen, stellt die Forderung, für beide Eigenschaften Einheitswerthe aufzustellen, mit welchen die der Eigenart der verschiedenen Stoffe entsprechenden Werthe unmittelbar verglichen werden können.

Die bisher für die Eigenschaften der Flüssigkeiten gebräuchlichen Bezeichnungen, wie Schmierfähigkeit, Schlüpfrigkeit, Zähigkeit u. s. w. entsprechen nur allgemeinen Begriffen, welche eine ziffermäßige Vergleichung der Werthe der für die Verwendung wichtigsten mechanischen und physikalischen Eigen-

schaften dieser Stoffe nur sehr beschränkt oder überhaupt nicht zulassen.

Wie wenig sie einen Mafsstab für die Beurtheilung des Nutzwertes geben, zeigt der durch die vorliegende Untersuchung in die Vorgänge und deren Ursachen gewonnene Einblick sehr deutlich.

Die Aufstellung von Einheitswerthen für die Vergleichung der mechanischen Eigenschaften reibungsvermindernder Flüssigkeiten ist daher für alle Erzeugungs- und Verbrauchsstellen von besonderer Bedeutung.

Die Abhängigkeit der Grösse des Nutzwertes von der Veränderung der Wärme möge hier noch durch Vergleichung der in Fig. 14 und 10 Taf. XXXV erscheinenden Dauerwerthe und Widerstände erläutert werden. — Bei $W > W'$ ist, wenn t dem Werthe von W und t' dem von W' entspricht: $t' > t$.

Es ergibt sich dann für den unter I. 13. behandelten Fall für das Rüböl unter der Belastung von 60,5 kg auf 1 qcm und für eine Fläche von 60 qcm bei der Geschwindigkeit von 35 km in der Stunde und 15° C.:

$$N_{15} = \frac{660,7}{28,7} = 23, \text{ und wenn die Werthe von } W \text{ und } D \text{ im Ver-}$$

hältnisse von $\frac{c'}{c} = 0,968$ für die Wärme von 30° C. vermindert werden für dieselbe Geschwindigkeit und 30° C.:

$$N_{30} = \frac{639,56}{27,78} = 23, \text{ also eine Zunahme von } 0. \text{ — Für die Geschwindigkeit des grössten Widerstandes von } 41,54 \text{ km in der Stunde bei } 15^\circ \text{ C. :}$$

$$N_{15} = \frac{653,8}{29} = 22,5 \text{ und bei } 30^\circ \text{ C. } = \frac{632,88}{28} = 22,5 \text{ und für die Geschwindigkeit von } 65 \text{ km bei } 15^\circ \text{ C. :}$$

$$N_{15} = \frac{723,6}{26,58} = 27,2 \text{ und bei } 30^\circ \text{ C. :}$$

$$N_{30} = \frac{698,22}{25,72} = 27,2.$$

Für das Mineralöl ergeben sich unter gleichen Umständen die in Fig. 10 Taf. XXXV eingetragenen Werthe. Die Verminderung der Wärme hat also keine Veränderung der Grösse der Nutzwerte an sich, und des Verhältnisses der Nutzwerte verschiedener Flüssigkeiten zur Folge, wie dies auch aus dem Ausdrücke für N hervorgeht, da für die Wärme t

$$N = \frac{D}{W} = \frac{\frac{(2 V_m)^2}{s}}{W} = \frac{\frac{(2 V_m)^2 c_1}{s}}{W \frac{c}{c_1}} \text{ für die Wärme } t' \text{ ist.}$$

Die Grössen der Widerstände des Rüböles für 15 t Wagen-gewicht verhalten sich zu denen des Mineralöles

$$\text{bei } 15^\circ \text{ C. und } 35 \text{ km Geschwindigkeit wie } 114,8:317,48 \\ = 1:2,765,$$

$$\text{bei } 30^\circ \text{ C. und } 35 \text{ km Geschwindigkeit wie } 111,12:201,6 \\ = 1:2,354,$$

$$\text{bei } 15^\circ \text{ C. und } 65 \text{ km Geschwindigkeit wie } 107,16:250,84 \\ = 1:2,348,$$

$$\text{bei } 30^\circ \text{ C. und } 65 \text{ km Geschwindigkeit wie } 105,66:206,7 \\ = 1:1,954.$$

Die grösste durch gleichzeitige Einwirkung der Steigerung der Wärme und der Geschwindigkeit in den angegebenen Grenzen

hervorgerufene Veränderung des Nutzwertes ergibt hier für das Rüböl eine Steigerung $= N_{30,65} - N_{15,35} = 27,2 - 23 = 4,2$, oder das $\frac{4,2}{23} = 0,182$ fache des Nutzwertes bei 15° C., und der Geschwindigkeit von 35 km und für das Mineralöl ergibt sich eine Steigerung des Nutzwertes $= 2,67 - 1,71 = 0,961$ also um das $\frac{0,96}{1,71} = 0,561$ fache des Nutzwertes bei 15° C. und der Geschwindigkeit von 35 km Geschwindigkeit und in Einheiten des Nutzwertes des Rüböles bei 15° C. und 35 km Geschwindigkeit für das Mineralöl $\frac{0,561}{27,2} = 0,0206$. — Das Verhältnis der Nutzwerte beider Oele ist in Bezug auf den Nutzwert des Rüböles als Einheit

$$\text{bei } 35 \text{ km Geschwindigkeit } \frac{1,71}{23} = 0,0743,$$

$$\text{« } 65 \text{ « } \frac{2,67}{27,2} = 0,0981$$

und im Durchschnitte $= 0,0862$.

Wenn für Rüböl nur ein Preis von 30 M. für 100 kg angenommen wird, so sollte die Verwendung des hier in Vergleich gezogenen Mineralöles eigentlich nur zulässig sein, wenn der Preis desselben für 100 kg $= 0,0862 \cdot 30 = 2,586$ M. betrüge.

Die Grössen der Veränderungen der Nutzwerte sind also nur kleine Theile der Grössen der einzelnen Nutzwerte und daher von ganz unwesentlichem Einflusse auf die Veränderung der Verhältnisse der Grössen dieser als solche, wie die Vergleichung der in Fig. 12 Taf. XXXV als Ordinaten aufgetragenen Grössen der Nutzwerte für die beiden verschiedenen Geschwindigkeiten und Wärmegrade zeigt.

2. Die Einheitswerthe für die Bestimmung des Nutzwertes.

Da der Zweck der Untersuchung der Schmiermittel nicht bloss Verhältnisswerthe als solche, sondern auch eine unmittelbare Beziehung auf eine Werth-Einheit fordert, so entsteht die Frage, wo ist diese Wertheinheit zu finden, d. h. die Werthe der Widerstände welcher Flüssigkeit sollen als Wertheinheit angesehen werden?

Die Hauptbedingung, welche diese Flüssigkeit zu erfüllen hätte, wäre Unveränderlichkeit ihrer Eigenschaften, und zwar nicht allein mit Rücksicht auf die atmosphärischen und physikalischen äusseren Einflüsse, sondern auch mit Rücksicht auf die, an die Natur ihrer Entstehung oder Erzeugung geknüpften Veränderungsursachen.

Gleichzeitig müsste aber auch die Flüssigkeit eine solche sein, deren Bewegungs-Widerstandsgrössen und Dauer-Eigenschaften durch allgemeine Erfahrungen möglichst bekannt sind.

Als eine solche Flüssigkeit kann wohl das gereinigte Rüböl bezeichnet werden; die mechanischen Eigenschaften desselben könnten daher nur von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet als Norm angenommen werden.

Dementgegen aber steht der Umstand, dass die Verschiedenheit seiner Entstehung und Bereitung Gleichartigkeit der Beschaffenheit ausschliesst.

Um nichts desto weniger Einheitswerthe für die allgemeine Benutzung anschliessend an die bekannten Eigenschaften des

Rüböles einzuführen, erscheint es zweckmässig, solche Werthe als Einheitswerthe aufzustellen, welche denen des Rüböles nahe liegen.

Die Bestimmung der Widerstandswerthe einer grösseren Anzahl gereinigter Rüböle haben im Mittel die in Fig. 19 Taf. XXXV in Linie 1 aufgetragenen für die Fläche 0,5 qcm und 1 kg Einheits-Belastung bei 20° C. ergeben; es sind hier $G_1 = 7,6$, $s_1 = 59,7$, $V_{m1} = 145,84$ und $W_{m1} = 67,3$.

Aus den hier erscheinenden Werthen folgen die im Verlaufe der Linie No. 2 liegenden für die Fläche von 1 qcm und die Einheits-Belastung von 1 kg auf 1 qcm eingetragenen $G_2 = 5,06$, $s_2 = 159,2$, $V_{m2} = 145,84$, $W_{m2} = 164,26$. Die daselbst erscheinenden ungerunden Zahlen für die verschiedenen Werthe würden sowohl für die rechnerische Vergleichung mit den Werthen anderer Flüssigkeiten, als auch zum Zwecke der gedächtnismässigen Aneignung als Einheitswerthe, und als benutzbare Grössen für die oberflächliche Schätzung ohne besondere Rechnung nicht genügend einfach sein. — Es empfiehlt sich daher an die Stelle dieser Zahlen, solche als Einheitswerthe zu setzen, welche übersichtlicher sind, dabei aber den dem Rüböle entsprechenden Werthen thunlichst nahe bleiben.

Es können also für die Flächen von 0,5 qcm und 1,0 qcm die in der nachstehenden Zusammenstellung enthaltenen Werthe gesetzt werden:

	Fläche 500 qmm	Fläche 1000 qmm
Grundwiderstand	8 gr	5 gr
Grösster Bewegungswiderstand . . .	60 gr	160 gr
Grösster Gesamtwiderstand	68 gr	165 gr
Gesamtwiderstand bei der Geschwindigkeit von 20 m in der Minute . .	28 gr	56 gr
Geschwindigkeit des grössten Widerstandes V_m	145 m in der Minute	145 m in der Minute
Dauerwerth für V_m	1400	53
Nutzwert	26	0,32
Reibungsbeiwert	0,136	0,165

Unter Berücksichtigung des im Uebrigen in Bezug auf die Vorgänge in der arbeitenden Flüssigkeitsschicht Ermittelten sind für den mechanischen Nutzwert einer Flüssigkeit also allgemein folgende Grössen von Bedeutung:

- 1) Die Grösse des Schichtenwiderstandes in kg für die Fläche 1 bei der Einheits-Belastung 1, bei der Geschwindigkeit n in Metern in der Minute und den Wärme-graden t und t_1 , welche die Grenzen bezeichnen, innerhalb welcher die Flüssigkeit benutzt wird.
- 2) Die Festigkeit innerhalb dieser Wärme-Grenzen in gr auf 1 qcm Flüssigkeitsquerschnitt.
- 3) Die Grösse des Dauerwerthes, des Nutzwertes und des Reibungsbeiwertes unter denselben Bedingungen.

3. Die Reihenfolge der Einzel-Untersuchungen bei der mechanischen Prüfung und Wahl reibungsvermindernder Flüssigkeiten.

Die durch den Zweck der Wahl gegebenen Fragen, welche ihre Beantwortung durch die Ergebnisse der Prüfungen finden müssen, sind wirtschaftlich im allgemeinen folgende:

- 1) Wie gross sind die Widerstände der Flüssigkeitsschicht?
- 2) Wie gross ist der Dauerwerth und der Nutzwert?
- 3) Welchen Einfluss haben die Grösse der Geschwindigkeiten der bewegten Flächen der festen Theile, zwischen welchen die Flüssigkeitsschicht zu arbeiten bestimmt ist, die Grösse dieser Flächen und ihrer Belastung und die Wärmegrade, deren Wirkung jene gleichzeitig ausgesetzt ist?

Die Untersuchungen haben gelehrt, dass nicht allein die Verschiedenheit der Widerstände abhängig ist von den jeder Flüssigkeit eigenen Verhältnissen, in welchen ihre Festigkeit, d. h. die Beanspruchungen und die Schichtenhöhen stehen, sondern auch die Verschiedenheit der Dauerwerthe und Nutzwerte, welche sich in verschiedenem Sinne mit den Widerständen verändern. — Die vergleichende Prüfung hat daher mit der Ermittelung der Grösse der Schichtenwiderstände zu beginnen.

Die Bestimmung derselben ist bei der ersten Auswahl unter einer gegebenen Anzahl von Flüssigkeiten nicht für mehrere Geschwindigkeiten nothwendig, sondern nur für eine bestimmte kleine Geschwindigkeit, zweckmässig für 20 m in der Minute, für welche (siehe unter II. 2.) für Rüböl im Durchschnitte der Gesamtwiderstand 28 bzw. 56 gr beträgt.

Die für die einzelnen Stoffe hierbei gefundenen Widerstandswerthe lassen sodann ohne weiteres diejenigen erkennen, welche geringere oder die geringsten Widerstände ergeben. — Die, welche wesentlich höhere Widerstände ergeben als Rüböl, werden von weiterer Prüfung ausgeschlossen. — Bei den auf diese Weise zur Berücksichtigung verbleibenden Stoffen werden sodann die Messungen der Widerstände bei einer anderen Geschwindigkeit zwischen 10^m und 20^m in der Minute und die Messungen der Verminderungen der Schichtenhöhen für die in Anwendung kommenden Belastungen vorgenommen. Unter Benutzung der damit gewonnenen Werthe erfolgt dann die Bestimmung der Einzelgrössen unter Berücksichtigung der Vorbedingungen, welche durch den jedesmaligen Verwendungszweck in Bezug auf Belastung, Fläche, Geschwindigkeit und Wärme gestellt sind, nach Mafsgabe der in der Zusammenstellung Seite 273 u. 274 enthaltenen Ausdrücke.

4. Die Bestimmung der Bewegungswiderstände einer Flüssigkeits-Schicht.

Die Bestimmung der Bewegungswiderstände der Schicht geschieht unter Benutzung der nachfolgend beschriebenen Vorrichtung in folgender Weise.

Fig. 3 und 4 Taf. XXXVI zeigen ein Gewichtswerk mit Windflügel F. Die der Schnurtrummel S zunächst liegenden Räder sind Zahnräder. Die letzte Uebertragung auf die Versuchsaachse a ist durch Reibungsrad m vermittelt.

Ueber die Achse a ist ein cylindrischer Körper b geschoben, welcher die Achse in Flächen berührt, wie Fig. 23, 22 und 24 Taf. XXXV sie darstellen.

Es kann somit eine Drehung dieses Stückes nach rechts und links um 60° stattfinden, ohne dass die Summe der Projectionen der beiden Berührungsflächen sich verändert. — Die Grösse der Projection der zur Auflage kommenden Flächen beträgt 0,5 qcm.

Auf dem cylindrischen Körper *b* ist eine Schnurscheibe *c* befestigt. — Das Gewicht beider Theile beträgt zusammen 500 gr. Die Einheits-Belastung der Fläche von 0,5 qcm ist daher = 1 kg.

Am Umfange der Scheibe *c* ist ein feiner Faden *i* eingehakt und umgeschlungen, wie Fig. 3 Taf. XXXVI zeigt. — Der Faden ist dann weiter um die Rolle *k* geschlungen, und mit dem anderen Ende an dieser befestigt.

Ein zweiter Faden *i'* ist mit einem Ende an derselben Stelle wie *i* an der Scheibe *c* befestigt, und mit seinem anderen Ende um einen Theil des Umfanges der Stellscheibe *s* gelegt und hier befestigt.

Diese Scheibe ist in ihren Lagern mit Reibung drehbar.

Die Achse *l* der Rolle *k* ruht auf Kreis-Schneiden. — Hinter der Rolle *k* ist ein Theilkreis *W* angebracht, dessen Nullpunkt dem Zeiger *Z* gegenüber steht, wenn das an der Rolle *k* angebrachte Gewicht *n* seine tiefste Lage hat und am Umfange der Rolle keine Kraft wirkt.

Das Gewicht des Theilkreises ist durch das gegenüber angebrachte Gegengewicht *r* ausgeglichen.

Wirkt eine Kraft durch Vermittelung des Fadens *i* in der Richtung des Pfeiles (Fig. 3 Taf. XXXVI), so wird Gewicht *n* gehoben und der Cosinus des Winkels, um welchen die Rolle *k* gedreht wurde, bildet den Hebelarm im Momente des Gewichtes, welches dem Momente der Fadenspannung *i* gleich ist.

Dieser Fall tritt ein, sobald die Achse *a* in Drehung versetzt wird, weil der in der Flüssigkeitsschicht gleichzeitig entwickelte Widerstand den Körper *b* und die Scheibe *c* in gleicher Richtung der Drehung von *a* mitzunehmen bestrebt ist und zwar wird diese Drehung von *b* und *c* so lange erfolgen, bis durch Wirkung des gleichzeitig gehobenen Gewichtes *n* im Faden *i* eine dem Widerstande in der Schicht entgegengerichtete Spannung entstanden ist, welche die Grösse dieses Widerstandes hat, d. h. die Drehung wird aufhören, sobald das Gewicht *n* eine Stellung hat, in welcher sein Moment gleich ist dem Widerstandesmoment in der Schicht auf der Achse *a*.

Das Verhältniß der Durchmesser der Versuchsachse *a* und der Schnurscheibe *c* ist $\frac{1}{8}$ und das Gewicht *n* beträgt 25 gr. Sein grösstes Moment entspricht daher einem Widerstande in der Schicht auf der Versuchsachse von 200 gr.

Die Theilung des Kreises giebt mithin unmittelbar die Grössen der Widerstände und zwar in gr für die Grösse der mit 1 kg Einheitsdruck belasteten Fläche von 0,5 qcm für jede Winkelstellung des Schwerpunktes von *n*.

Die Handhabung der Vorrichtung ist folgende:

Achse *a* wird mit dem Körper *b* und ihren Lagern, welche in Schlitz im Gestelle geführt sind, aus diesen herausgenommen, Körper *b* mit Scheibe *c* von der Achse abgezogen und die berührenden Flächen werden vollkommen gereinigt. Neben dem Reibungstriebe *m* befindet sich eine vorstehende Scheibe, welche das Uebertreten der Flüssigkeit von der Versuchsachse nach dem Reibungsrade hin verhindert.

Nachdem auf den mittleren Theil der Achse *a* einige Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit vertheilt worden sind, werden die Theile *b* und *c* über die Achse geschoben, diese

in das Gestell gesetzt, Fäden *i* und *i'* in der angegebenen Weise umgeschlungen und eingehakt.

Die Länge der Fäden muss dabei so bemessen sein, dass sich die Schmiernäpfe des Körpers *b*, wenn Gewicht *n* seine tiefste Lage wie in Fig. 3 Taf. XXXVI hat, ungefähr in der Winkellage der Fig. 23 Taf. XXXV (gestrichelt) befinden.

Unter Benutzung einer kleinen Schmierkanne oder eines Glasrohres wird nun zunächst in die oben am Stücke *b* befindlichen Schmiernäpfe und dann reichlich in die nach unten hin die Versuchsachse umschliessenden kleinen Gefässe, etwa 0,5 cbcm Flüssigkeit geleitet.

Ist die Vorrichtung neu aufgestellt, so erfolgt die Einstellung der Achse *a* in die richtige Lage durch entsprechende Drehung der an der Fussplatte der Vorrichtung befindlichen Stellschraube *g* so lange, bis die Scheibe *c* während sehr langsamer Drehung der Versuchsachse sich allmählig nach der kleinen Stützrolle bei *f* hinbewegt und sich an diese ohne Stoss anlegt.

Eine Abweichung von der Wagerechten um einige Secunden genügt hierfür. Ist die Einstellung der Achse erfolgt, so muss die Spitze des Zeigers *z*, welcher mit Reibung bei *l* drehbar ist, so eingestellt werden, dass sie genau den Nullstrich der Theilung *W* deckt, wenn Faden *i* durchhängt, also ohne Spannung ist.

Es erfolgt dann die Bestimmung des Widerstandes, nachdem das Laufwerk in Gang gebracht ist, in folgender Weise:

Schnurscheibe *s* wird in der Richtung des Pfeiles bei *s* gedreht, das Gewicht *n* hebt sich dann gleichzeitig selbstthätig und sein Moment wächst entsprechend der Spannung im Faden *i*.

So lange die Spannung im Faden *i* und *i'* grösser ist, als das Moment des am Umfange der Scheibe *c* wirkend gedachten Schichtenwiderstandes, findet eine Drehung des Theilkreises jedesmal statt, wenn durch Drehung an der Scheibe *s* Faden *i'* nachgelassen wird.

Die Drehung von *s* muss also so lange erfolgen, bis Faden *i'* durchhängt.

Die Messung der einzelnen Werthe kann beliebig durch erneutes Spannen und Entlasten des Fadens *i* und *i'*, also Heben und Senken des Gewichtes *n*, wiederholt werden.

Die grosse Empfindlichkeit der im allseitigen Gleichgewichte befindlichen, vom cylindrischen Lagerkörper getragenen Fadenscheibe *c* gegen die kleinsten, durch zufällig wechselnde Widerstände entstehende Schwankungen, hat zur Folge, dass die Scheibe nur selten, ohne kleine Schwingungen zu machen, ruhig steht, wenn auch das Moment des gehobenen Gewichtes gleich dem Schichtenwiderstandesmomente ist.

Die Beseitigung dieser Störungen geschieht durch ein am Gestell befestigtes geneigt stehendes Stück, welches bei *d* einen Drehpunkt hat und sich mit seinem oberen, mit elastischem Gummi belegten Ende gegen den Umfang der Scheibe *c* legt.

Es findet dann an der Berührungsstelle eine im Vergleich zu den am Umfange der Scheibe *c* bei der Entwicklung der Schichtenwiderstände entstehenden Kräften nur sehr geringe Reibung statt, welche von den Schwingungsmomenten der in Folge der Schichtenwiderstände gedrehten Scheibe *c* nach und nach unter Verminderung der Schwingungsmomente überwunden wird, bis diese aufhören zu wirken.

Die Theilung steht dann still und zeigt den richtigen Werth, was sich erkennen lässt, wenn man das sich anlehende Stück abhebt. Ist dann der auf der Skala dem Zeiger gegenüberstehende Werth abgelesen, so wird das Laufwerk durch Einhaken der Bremsfeder q zum Stillstande gebracht und die bei der vorgegangenen Messung benutzte Umdrehungsgeschwindigkeit mit derselben Windflügelfläche und demselben Gewichte, welche bei der Messung vorher benutzt wurden, in folgender Weise gemessen:

Der Nullpunkt der Geschwindigkeitstheilung v am Zählwerke h wird in die Verlängerung des kurzen Striches gestellt, welcher sich auf dem die Theilungsscheibe berührenden Ende des kleinen Bremshebels t befindet.

Die eine kleine unrunde Scheibe tragende Flügelmutter w wird dann so gedreht, dass das Ende des Hebels t die Kante der Theilungsscheibe berührt und diese dadurch festhält.

Das Laufwerk wird wieder aufgezogen, dann etwa 20 Sekunden bevor der Zeiger einer Uhr einen Minutenstrich auf dem Zifferblatte deckt, die Bremsfeder q ausgehakt und das Werk wieder in Gang gebracht.

In dem Augenblicke, in welchem der inzwischen fortgesetzt beobachtete Zeiger der Uhr den Anfangsstrich der folgenden Minute deckt, wird durch Drehung der Flügelmutter w Bremshebel t von der Geschwindigkeitstheilung entfernt und letztere nimmt dann an der Bewegung der Räder des Zählwerkes Theil, welche unmittelbar von der Versuchsachse getrieben werden.

Nach Ablauf einer oder einer halben Minute wird die Theilungsscheibe v dann durch entgegengesetzte Drehung der Flügelmutter w wieder festgehalten. Die Lage der Theilung in Bezug zum Striche am Ende des Bremshebels t giebt dann den Weg eines Punktes des Umfanges der Achse a in Metern während der Zeitdauer, über welche sich die Beobachtung erstreckte. Widerstand und Geschwindigkeit können auch gleichzeitig gemessen werden.

Die für die Messungen geeignetste Luftwärme in Bezug auf den durchschnittlichen Flüssigkeitsgrad der Oele bei verschiedenen Wärmegraden ist 20°C .

Die bei 20°C . gewonnenen Werthe können denn auch ohne Weiteres als Einheitswerthe dienen (siehe unter II. 2).

Durch Veränderung der Grösse der Windflügelfläche und Aenderung der Grösse des treibenden Gewichtes können die Geschwindigkeiten beliebig verändert werden.

Der Umfang der Versuchsachse a beträgt $33,33\text{ mm}$, 3 seiner Umdrehungen entsprechen also einem Wege eines Punktes seines Umfanges von 100 mm .

Es werde noch bemerkt, dass die Messungen überhaupt nur brauchbare Ergebnisse liefern können, wenn der Zustand der Flüssigkeit tropfbar ist oder eine gleichmässige Vertheilung zulässt.

Je grösser übrigens die Versuchsfläche ist, desto schwieriger wird in diesen Fällen die Gleichmässigkeit der Vertheilung.

Salbenartige Fette geben überhaupt keine beständigen Schichten.

Diese Fette sind erst dann schmierfähig, wenn sie flüssig werden, das Ausdrücken der Schicht mechanisch verhindert oder die ausgedrückte Masse fortdauernd ersetzt wird.

5. Die Bestimmung der Verminderung der Höhe der Flüssigkeitsschichten durch die Wirkung der Belastung.

Für diese Bestimmung dient die nachfolgend beschriebene Vorrichtung:

Auf einem gusseisernen Klotze W Fig. 6, 7 u. 5 Taf. XXXVI steht ein Hebelwerk, dessen Drehpunkt bei a und dessen Druckpunkt bei b liegt (Fig. 5 Taf. XXXVI). Durch verschiedene am Ende des Hebels T aufzuhängende Gewichte g kann der Druck bei b so weit vergrössert werden, dass die Belastung auf die Berührungsfläche cc , zwischen dem Stücke e und der Erhöhung der Fussplatte 100 kg beträgt, also für die 2 qcm grosse Fläche bei cc 50 kg auf 1 qcm . Klotz W trägt unten angegossen einen vortretenden Fuss, welcher den Druckpunkt unmittelbar unterstützt, so dass Biegungen zwischen dem Stützpunkte dieses Fusses und den Stützpunkten der Stellschrauben in der Grundplatte nicht auftreten können.

Stück e hat einen Ansatz h , Fig. 6 u. 7 Taf. XXXVI, dem gegenüber das Ende i der Schraube k steht. Diese befindet sich am Ende des zweiarmigen Hebels T' , welcher sich mit seinem anderen Ende, durch die Schraube l gestützt, auf eine senkrecht stehende Schraube o legt, auf welche eine kleine Glasplatte aufgekittet ist.

Auf der Achse von o befindet sich ein grosses Zahnrad m (punktirt), in welches ein kleines Stellrad n , Fig. 7 Taf. XXXVI, eingreift. Auf der rohrförmigen Achse dieses Rades befestigt ist eine schmiedeeiserne Scheibe p , welche mit ihrer unteren Fläche auf den Polen eines Elektromagneten yy schleifend drehbar ist.

Die Ganghöhe der Schraube o beträgt 1 mm und das Verhältnis der Hebelarme des Doppelhebels T' ist $1:50$. Eine Umdrehung der Schraube o und der an ihr befestigten Kreistheilung s entspricht somit einer Bewegung eines Punktes des Endes der Schraube k bei i in Bezug auf einen Punkt der Fläche des ruhenden Ansatzes h des Stückes e von $0,02\text{ mm}$.

Die neben der mit der Schraube o und dem grossen Zahnrade m verbundenen Kreistheilung s aufrecht stehende 100 Theile enthaltende Theilung t gestattet das Ablesen bis auf $0,00001\text{ mm}$ einer Bewegung des Berührungspunktes bei i .

Ein anderer kleiner durch Schnur f angetriebener Theilkreis s' zeigt ferner die Anzahl der vollen Umdrehungen des grösseren s , und es entspricht jede Einheit seiner Theilung $0,01\text{ mm}$ der Bewegung des Punktes i . Die in Fig. 6 Taf. XXXVI dargestellte Ablesung ist $0,01264\text{ mm}$. Bei q befindet sich ein kleines drehbares Gleitstück, durch dessen Verschiebung Schluss oder Oeffnung eines aus dem Elemente E fliessenden galvanischen Stromes bewirkt werden kann. Dieser geht von q durch den Elektromagneten yy , dann um die Magnetnadel r und durch eines der Spitzenlager des durch eine Hartgummiunterlage bei Z abgesonderten Hebels T' bis zur Schraube bei i , und bei der Berührung dieser mit dem Ansatz h in das Druckstück e . Dieses trägt einen wagerecht stehenden Stift f' , an dessen Ende ein Platindraht abwärts gerichtet in ein von Hartgummi hergestelltes Quecksilbernäpfchen u hineinragt, von welchem durch einen Draht der Strom in das Element E zurückgeleitet wird.

Der Strom kann also bei i und q selbstständig geschlossen oder geöffnet werden.

Wird der Stromschluss bei q vorbereitet, so erfolgt er dann bei der Berührung von i und h und bewirkt in demselben Augenblicke ein Festhalten der schmiedeeisernen Ankerscheibe p am Stellrade n , also auch ein Anhalten der Drehung der Schraube o und der von dieser abhängigen Senkung des Berührungspunktes i , sowie auch einen Ausschlag der Magnetnadel r .

Die Vorbereitung für die Messung und die Messung der Schichtenhöhe geschieht in folgender Weise:

Durch Auflegen eines kleinen Gewichtes auf das Gegengewicht V des Hebels T wird dieser bis zum Beginne seiner später erfolgenden Senkung erst angehoben.

Die am Ende des Doppelhebels T befindliche Schraube l Fig. 6 Taf. XXXVI wird dann so weit in der Richtung des Pfeiles 1 herausgedreht, dass das Ende des langen Hebelarmes bis auf einige Millimeter sich dem oberen Ende der Schraube o genähert hat.

Die Schraube o soll dadurch in der tiefsten Stellung, und das Ende der Schraube bei i genügend weit gehoben sein, um, nachdem das Druckstück g aufwärts geschoben ist, das Stück e frei aufsetzen zu können.

Hierauf wird ein Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit auf die Druckfläche des Stückes e aufgetragen und Stück e ohne zu drücken auf den Ansatz aufgesetzt und g wieder herabgelassen, so dass ein an der oberen Fläche von e befindlicher Stift sich in eine in g befindliche Bohrung einsetzt. Hebel T ist dann vorsichtig herunterzulassen, so dass er sich auf g ohne Stoss aufsetzt. Die Fläche cc ist nur durch das Eigengewicht des Stückes g und des kleinen Druckstückes belastet, welche zusammen ein Gewicht von 20 gr besitzen.

Es entspricht dies einer Belastung von 0,010 kg auf 1 qcm, welche ihres geringen Betrages wegen gleich 0 gesetzt werden kann.

Es hat nun die Einstellung des Berührungspunktes i durch Drehen der am Ende des Doppelhebels T' befindlichen Schraube l in entgegengesetzter Richtung wie anfänglich, also in der Richtung des Pfeiles 2 derart zu geschehen, dass sich das hier liegende Ende des Doppelhebels aufwärts bewegt. Es hat dies eine Senkung des Berührungspunktes bei i zur Folge.

Die Drehung hat mit äusserster Vorsicht zu erfolgen, nachdem der Stromschluss durch Verschieben des Gleitstückes q vorbereitet worden ist. Die Magnetnadel ist dabei fortgesetzt zu beobachten.

In dem Augenblicke, in welchem sie ausschlägt, wird das Drehen in dieser Richtung unterbrochen und dann in entgegengesetzter Richtung Pfeil 1 fortgesetzt, nicht nur bis das Zurückgehen der Nadel das Oeffnen des Stromes anzeigt, sondern noch um etwa eine halbe Umdrehung mehr.

Nun wird die Ankerscheibe des Elektromagneten in der Richtung des Pfeiles 2 gedreht, welcher eine Annäherung der Punkte i und h entspricht.

In dem Augenblicke, in welchem die Magnetnadel wieder schwingt, wird die Drehung der Ankerscheibe durch Angriff des Elektromagneten selbstthätig unterbrochen, und es werden sodann die Werthe, welche die Stellungen der beiden Theilungen zeigen, abgelesen und vorgemerkt.

Nachdem dies geschehen, wird der Strom durch Verschiebung des Schleifstückes q wieder geöffnet und die Ankerscheibe, welche nunmehr frei bewegt werden kann, in entgegengesetzter Richtung, Pfeil 1 , um etwa 90° zurückgedreht, um dem Berührungspunkte bei h Raum zur Bewegung zu lassen.

Soll der zweite Werth gewonnen werden, so erfolgt durch Ueberschieben des Schleifstückes bei q zunächst der Verschluss des Stromes und dann erst die Drehung der Ankerscheibe p in der Richtung des Pfeiles 2 .

Die Belastung der Schicht mit 1 kg auf 1 qcm wird dadurch erzielt, dass der die später in Anwendung kommenden Gewichte für höhere Belastungen tragende Teller am Ende des Belastungshebels vorsichtig eingehakt wird.

Das Moment seines Gewichtes entspricht einem Drucke bei cc von 1 kg auf 1 qcm. Die Messungen für andere Belastungen geschehen in der gleichen Weise, wie vorher angegeben, unter Benutzung der entsprechenden Gewichte.

Für die Bedienung der Vorrichtung ist ein kräftiger und ein möglichst beständiger Strom zu benutzen, da die Zuverlässigkeit der Messung wesentlich von dem sicheren, schnellen und kräftigen Festhalten der Ankerscheibe abhängt, von welcher die Einstellung des Berührungspunktes i ausgeht.

Es empfiehlt sich, Chromelemente zu nehmen und der Lösung eine kleine Menge Hydrargyrum bisulfuricum zuzusetzen, welches die Wirkung ziemlich beständig erhält.

Zur Erklärung der bei den Messungen hervortretenden Erscheinungen innerer Bewegungen der Schicht und deren Einfluss auf das Ergebnis der Messung sei Folgendes bemerkt:

Die zwischen den beiden festen Flächen befindliche Schicht findet in der Richtung im rechten Winkel zu diesen einen Widerstand, welcher unveränderlich ist, wenn die nicht von den Flächen berührten freien Begrenzungsflächen im Gleichgewichte der Ruhe sind.

Da die zwischen die Flächen gebrachte Flüssigkeit indessen aufgesaugt oder verdrängt wird, während der Gleichgewichtszustand herbeigeführt wird, so ist es von Zufälligkeiten abhängig, ob auf den dem Umfange des Druckkörpers e zunächst liegenden Theilen der Fläche von c , je nachdem stellenweise mehr oder weniger hervorquillt, die Rückwirkungen der Widerstände der Haftfähigkeit an diesen freiliegenden Flächentheilen grösser oder kleiner werden.

Da das Stück e aber hier auf der Schicht schwimmt, so müssen die an fortdauernd ihre Lage wechselnden Punkten des Umfanges wirkenden, verschieden grossen Widerstände der Haftfähigkeit Schwingungen der von der Schicht getragenen beweglichen Fläche des Stückes e erzeugen.

Die Grössen der Ausschläge dieser Schwingungen nehmen naturgemäss in Folge des dabei entstehenden inneren Arbeitsverlustes nach und nach ab. Nach 24 Stunden fortgesetzter Messungen haben ergeben, dass auch nach dieser Zeit vollständige Ruhe noch nicht eingetreten ist. Je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit werden indessen nach kürzerer Zeit die Schwingungen klein genug, um Durchschnitts- oder Annäherungswerthe mit einer für die vorliegenden Zwecke vollständig ausreichenden Genauigkeit bestimmen zu können.

Durch viele vergleichende Bestimmungen ist ausserdem festgestellt, dass die Schwingungen im Allgemeinen geringer sind bei zunehmender Belastung der Schicht, als bei abnehmender, und dass sich die Schicht im ersteren Falle in kürzerer Zeit auf die der Belastung entsprechende Höhe senkt, als das Erheben im zweiten Falle stattfindet, und zwar besonders bei den stärkeren Belastungen.

Für die Zwecke der Bestimmung der Verminderung der Schichtenhöhen bei verschiedenen Belastungen ist daher die allmähliche Steigerung dieser vorzuziehen.

In Fig. 1 u. 2 Taf. XXXVI und Fig. 1, 2 u. 3 Taf. XXXVII sind durch Messung bestimmte Werthreihen der Verminderung der Schichtenhöhe bei verschiedenen Belastungen und für verschiedene Flüssigkeiten dargestellt.

Durch den Verlauf der Darstellungen kommen die eben erwähnten Eigenthümlichkeiten der Bewegungen der Schichten im Einzelnen und die Art des Nachwachsens der Höhen bei abnehmender, und das Abnehmen der Höhen bei zunehmender Belastung zum Ausdrucke.

Die in Fig. 2 Taf. XXXVI dargestellte Schicht war, bevor die Messung der Werthe für die Belastung von 40 kg auf 1 qcm begann, mit 50 kg auf 1 qcm, die in Fig. 1 Taf. XXXVI dargestellte vorher mit 10 kg auf 1 qcm belastet. Fig. 2, 3 und 1 Taf. XXXVII zeigen Schwingungen und Senkungen bei zunehmender Belastung.

Die Vergleichung der Grössen der Schichtenverminderungen bei gleicher Mehrbelastung von 0 bis 1 kg auf 1 qcm in diesen Darstellungen lässt die grosse Verschiedenheit erkennen, welche in dem Verhältnisse der Grössen der Haftfähigkeit und der Festigkeit der Flüssigkeiten bestehen.

Die der Lage der beobachteten Werthe entsprechenden Punkte sind durch gerade Linien verbunden und im Durchschnitte in gleichen Zeiträumen von 15 Secunden bestimmt.

Im Allgemeinen brauchen die Messungen aufeinanderfolgender Werthe bei unveränderter Belastung nur so lange fortgesetzt zu werden, bis sich Abweichungen nur noch in den Zehntausendteln zeigen, was für die Zwecke der Bestimmungen vollkommen genügend ist. Aus diesen Werthen wird dann ein Mittelwerth bestimmt.

Wie vorangehend erwähnt, ist die zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderliche Zeit viel länger für eine unbelastete, als für eine belastete Schicht.

Für die Belastung o sind daher möglichst viele Werthe zu gewinnen, da z. B., wenn die Schicht noch etwa 10 Minuten der Ruhe nahe zu sein scheint, dennoch nach weiteren 10 Minuten neue Erhebungen, und zwar am häufigsten durch Ansaugen stattfinden können. Ein Beispiel hierfür giebt Fig. 28 Taf. XXXV, die Hebung der Schicht bei der Belastung o darstellend. Die Zeitdauer ist in Minuten angegeben und die Grösse der Erhebung der Schicht im Mafsstabe von 1:0,00033, unter Fortlassung aller Unterschiede unter 0,0001 mm, als in diesem Mafsstabe nicht mehr darstellbar. Die zwischen den Minutenlinien liegenden Werthe sind fortgelassen. — Die untere Linie zeigt die Bewegung der Schicht, nachdem sie mit 1 kg auf 1 qcm belastet wurde.

Die erste Erhebung der Schicht vom Anfangspunkte der Linie a bis a' zeigt die Rückwirkung der Zusammendrückung nach Auflegen des Gewichtes.

Fig. 20 Taf. XXXV giebt die Einheiten der Verminderung im Mafsstabe von 1 mm = 0,00001 mm, wie sie in der Vorrichtung als kleinste Einheiten abgelesen werden.

Die unmittelbare Messung der wirklichen Höhe der unbelasteten Schicht ist aus folgenden Gründen nicht möglich:

Hierzu wäre erforderlich, den Unterschied der Höhenlagen der Berührungsfläche am Stück e zu messen, welcher sich durch die Bestimmung der Höhen ergeben würde, einmal während sich die Schicht zwischen den beiden Druckflächen befindet, und einmal nachdem sie entfernt ist.

Geschieht letzteres und wird das Stück e wieder aufgesetzt, so bleibt stets eine Luftschicht von bestimmter Höhe zwischen den Flächen, deren Grösse einen unbestimmbaren Theil des Unterschiedes zwischen den beiden ersten Höhenlagen bildet, weil eine unendlich grosse Belastung angewendet werden müsste, um die Luftschicht vollständig zu verdrängen. Die Höhe der unbelasteten Schicht wird auf Grund der Ergebnisse der Messungen der Schichtenwiderstände ermittelt (siehe I. 8.).

6. Die Bestimmung der Festigkeit der Flüssigkeiten.

Auf zwei Schneiden a Fig. 8 Taf. XXXVI ruhen zwischen Stiften gelagert die Zapfen einer kleinen Achse, auf welcher sich eine leichte Schnur-Scheibe b befindet.

Um die Schnurscheibe herum ist ein Faden gelegt. An einem Ende dieses Fadens ist ein kleines hohles cylindrisches Gefäss g von Messing mit papierdünnen Wandungen aufgehängt, dessen Grundfläche 5 qcm beträgt.

Die Luft kann durch einen ringförmigen Raum auf der oberen Fläche des Gefässes bei Ausdehnung und Zusammenziehung durch die Veränderung der Wärme der Wandungen aus- und eintreten und verhindert einseitige Abkühlung der Auflagefläche des Gefässes.

Am anderen Ende des Fadens befindet sich ein kleines Gewicht h, welches dem Gewichte des Hohlkörpers g gleich ist.

Im Umfange des Schnurlaufes der Scheibe b ist sodann ein Gewicht i aufgehängt; bei Drehung dieser Scheibe bleibt daher der Schwerpunkt des Gewichtes i stets in einer Entfernung von der Achse der Scheibe b, gleich dem Halbmesser des Schnurlaufes.

An der Scheibe b ist ein Zeiger z befestigt, dessen Lage auf einer am Gestelle befestigten, auf einen Viertelkreis ausgedehnten Cosinus-Theilung s abgelesen werden kann.

Unter der Schnurrolle befindet sich auf der Bodenplatte der Vorrichtung eine Unterstützung für die Platte p, auf welcher ein Gefäss u tragender Dreifuss aufgestellt ist. Die Platte p ist auf einer Schraube r befestigt, welche nach abwärts durch die Stütze q hindurchgeht. — Durch entsprechende Drehung am Umfang der die Schraubenmutter tragenden Scheibe m kann das Gefäss auf und ab bewegt werden. — Damit die Platte und dieses nicht an der Drehung Theil nehmen, hat Erstere am Umfange einen Einschnitt, in welchen die Führung y einsetzt.

Die Erwärmung der im Gefässe u enthaltenen Flüssigkeit geschieht durch eine kleine unter das Gefäss gesetzte Flamme.

Ein gleichzeitig in das Gefäss u eingesetztes Thermometer t lässt die Wärme erkennen. Der Quecksilberbehälter dieses Thermometers ist rohrförmig gestaltet, damit er der Oberfläche möglichst nahe und unter dieser ausgestreckt liegt, und möglichst nahe dem Körper g die Wärme der Flüssigkeit angeben kann für den Fall, dass sich etwa am Boden des Gefässes eine etwas andere Wärme als in der Nähe der freien Fläche fände. — Soll die Messung der Festigkeit vorgenommen werden, so wird zunächst Scheibe d, an deren Achse das eine Ende eines Fadens f befestigt ist, welcher mit seinem anderen Ende an der Schnurscheibe b bei f festsetzt, in der Richtung des Pfeiles 1 so lange gedreht, bis die untere Fläche des Hohlkörpers g sich auf die Oberfläche der Flüssigkeit aufgesetzt hat. Ist dies geschehen, so wird Scheibe d in der Richtung des Pfeiles 2 zurückgedreht bis Faden f durchhängt.

z, i und h befinden sich dann in irgend einer Winkelstellung, wie gestrichelt angedeutet. Um die Abkühlung der Oberfläche der freiliegenden Flüssigkeit durch die Luft thunlichst zu erschweren, werden zwei Glasstreifen ll auf das obere Gefäss gelegt, so dass sie die obere Oeffnung desselben decken, wodurch der Luftinhalt fortdauernd durch die von der Flüssigkeit ausgestrahlte Wärme entsprechend erwärmt erhalten bleibt.

Wenn die Flamme nach ihrer Wirkung auf den Inhalt von u entfernt oder ausgelöscht wird, so muss in Folge der Abgabe der in den metallenen Wandungen angesammelten Wärme an die Flüssigkeit die Wärme dieser noch einige Zeit steigen, und man kann also nur mit grösserem Zeitaufwande eine ganz bestimmte Wärme erzeugen.

Es werden daher zweckmässig die Messungen bei Wärmegraden vorgenommen, welche innerhalb weiterer Grenzen liegen, als diejenigen, für welche die Bestimmungen stattfinden sollen, und zwar werden möglichst viele Zwischenwerthe bestimmt, um aus diesen den Verlauf einer Darstellung zu gewinnen, auf welcher sich dann die Werthe für die bestimmten Wärmegrade ergeben.

Erfahrungsmässig erhält man die Einzelwerthe bei der Bestimmung am fehlerfreiesten, wenn man zunächst bis etwas über die höchste in Anwendung zu bringende Wärme erhitzt und nun während der Abkühlung der Flüssigkeit etwa von 10^0 zu 10^0 Werthe bestimmt.

Wenn der Quecksilberfaden zur Ruhe gekommen, oder in allmählicher Abwärtsbewegung begriffen ist, wird an der Scheibe m langsam so gedreht, dass der um die Rolle b geschlungene Faden f' und damit der Hohlkörper g durch die anhaftende Flüssigkeit abwärts gezogen wird. Dieser Bewegung entgegen wirkt das an der Scheibe b befindliche Gewicht i, welches gehoben wird, da sich gleichzeitig unter dem Hohlkörper g in der Flüssigkeit Festigkeitswiderstände entwickeln, welche bestrebt sind, ihn abwärts zu ziehen.

Der Fadentheil, an welchem g hängt, erhält dabei eine Spannung, welche dem Momente des gehobenen Gewichtes i entspricht; bei fortgesetzter Senkung des Gefässes g findet weitere Hebung des Gewichtes i statt, bis zu dem Augenblicke, in welchem der Werth seines Momentes um ein Kleinstes grösser

wird, als dasjenige der Festigkeit des am Hohlkörper g haftenden Flüssigkeitsquerschnittes.

Während an der Scheibe m sehr langsam gedreht wird, ist die Stellung des Zeigers Z auf der Theilung fortwährend zu beobachten und im Augenblicke des Abreissens der Flüssigkeitsschicht, d. h. bei selbstständig, ohne Mitwirkung der Drehung der Scheibe p plötzlich anfangender, oder bei langsam selbstständig beginnender und dann fortdauernder rückläufiger Bewegung des Zeigers Z derjenige Werth abzulesen, welcher demselben auf der Theilung in diesem Augenblicke gegenübergestanden hat.

Das Wiederaufsetzen des Hohlkörpers g, nachdem der Flüssigkeitsfaden gerissen ist, geschieht entweder durch Hebung der Platte mittelst Drehung der Mutterscheibe m, oder zweckmässiger durch Drehung der kleinen Scheibe d, wie vorher angegeben. — Besonders bei Oelen, welche bei hohen Wärmegraden verwendet werden, ist es erforderlich, diese Bestimmung für die höheren Wärmegrade mindestens zweimal hintereinander mit derselben Versuchsmenge vorzunehmen.

Die unter I.2. besprochenen Darstellungen in Fig. 8 Taf. XXXIV zeigen die Nothwendigkeit dies zu thun, da hier das eine Oel nach mehrfacher Erwärmung bei hohen Wärmegraden eine verhältnismässige Abnahme, das andere eine Zunahme der Festigkeit erkennen lässt.

Soll die Festigkeit für sehr niedrige Wärmegrade bestimmt werden, so wird das Gefäss u in eine Kältemischung gesetzt.

7. Bemerkungen über die Vorrichtungen zur Bestimmung der Schichtenwiderstände im Allgemeinen.

Es folge hier noch eine Beurtheilung der Eigenart der bisher bekannt gewordenen Vorrichtungen zur Bestimmung der Schichtenwiderstände bzw. der Reibungsbeiwerte von Flüssigkeiten, und zwar auf Grund der Gesichtspunkte, welche durch die vorliegenden Untersuchungen gewonnen worden sind. Die bisher bekannt gewordenen Vorrichtungen gehören in der Hauptsache folgenden drei Gruppen an:

- 1) Vorrichtungen, bei denen Zapfen mit Anlaufflächen zur Aufnahme eines Lagertheiles vorhanden sind, welche durch Hebel, oder als Theil eines Pendels durch das Gewicht dieses belastet werden. — Das Maass für die Widerstände ist entweder die Grösse des zur Herstellung der Gleichgewichtslage des Belastungshebels erforderlichen Gewichtes, oder das Moment des unter einem bestimmten Winkel gehobenen Pendelgewichtes.
- 2) Vorrichtungen, bei denen sich eine ebene kreisförmige Platte um ihren Mittelpunkt auf einer unter ihr liegenden Platte dreht; zwischen beiden Platten befindet sich die Schicht. — Die Messung der Schichtenwiderstände geschieht entweder am Umfange der gedrehten Platte oder an einer dieselbe tragenden Achse.
- 3) Vorrichtungen, bei denen ineinanderschliessende Kegel um ihre Achse gedreht werden. — Die Messung der Schichtenwiderstände geschieht wie unter 2.

Die Art der Vorgänge in den Vorrichtungen dieser drei Gruppen ergeben sich aus der folgenden Betrachtung:

Die Fig. 25, 26 und 27 Taf. XXXV stellen die Hauptanordnungen der arbeitenden Flächen dar. In Fig. 25 Taf. XXXV kommen zur Wirkung die cylindrische Fläche *c* und die beiden Anlaufflächen *a*. — Die Umfangsgeschwindigkeit eines Punktes der cylindrischen Fläche ist hierbei stets geringer als die Geschwindigkeit auf den Kreisen *a*.

In Fig. 26 Taf. XXXV wechselt die Umfangsgeschwindigkeit von 0 im Mittelpunkte der Scheibe bis zu der ihres Umfanges, ist also für jeden dazwischen liegenden Kreis verschieden.

In Fig. 27 Taf. XXXV wiederholt sich der Vorgang in ähnlicher Weise: die Grenzwerte für die Verschiedenheit der Umfangsgeschwindigkeiten stehen im Verhältnisse zu den Grössen der beiden verschiedenen Durchmesser.

Da nun der Widerstand der Schicht für jede Geschwindigkeit ein anderer ist, so ist eine genaue und zuverlässige Bestimmung der Schichtenwiderstände auf derartigen Vorrichtungen überhaupt nicht möglich, da nur Mittelwerthe gewonnen werden können, deren Verhältniss zu der Grösse der wirklichen Einzelwerthe demselben Wechsel durch die gleichen äusseren Einflüsse unterworfen sind, wie die Grössen der Schichtenwiderstände selbst, und welche daher unter Umständen sehr bedeutend von den wirklichen Widerstandswerten abweichen müssen.

Hieraus geht hervor, dass eine fehlerfreie Messung der Schichtenwiderstände oder der Reibungsbeiwerte nur auf der freien Fläche eines Cylinders ohne Anlauf möglich ist, ein Verfahren, welches in der unter II.4. beschriebenen Vorrichtung in Anwendung kommt.

R. Abt's Zahnrad-Bahnbetrieb, Zahnstange und Zahnrad-Locomotive.*)

Preisgekrönt mit 7500 M. vom Vereine Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Von R. Abt, Ingenieur zu Luzern.

(Hierzu Zeichnungen Fig. 1—13 auf Taf. XXXVIII und Fig. 7, 10, 11 u. 12 auf Taf. XXXIX.)

Anstatt die Zahnstange als Leiter zu betrachten, auf die sich der ganze Zug stützt und auf welcher er Sprosse um Sprosse hinaufklettert, ist es richtiger, sie als Seil aufzufassen, das über die Rampe gelegt ist, welches sich mittels jeder Schwelle an den Boden anklammert und an dem sich die Maschine hinaufwindet.

Aehnlich dem Seile muss die Zahnstange durchlaufend angeordnet sein, und nicht aus bloss mit zweifelhaften Laschen zusammengehaltenen einzelnen Stücken bestehen, sowie jede Gewähr gegen Lockerung von Zähnen bieten. — Diese Forderungen entspringen sowohl der Nothwendigkeit grösster Festigkeit und Dauerhaftigkeit, als auch möglichst gleichförmiger Theilung.

Ausserdem aber muss die Zahnstange in seilähnlicher Weise zur Dienstleistung herangezogen werden, wie dem Grundgedanken nach ja auch bei den Laufschiene geschieht. — Auch die Laufschiene sind nämlich in gewissem Sinne als Zahnstange aufzufassen, jedoch mit so gleichmässiger und ruhiger Wirkung, dass sie dem Seiltriebe so zu sagen in nichts nachstehen. Das Fortbewegen einer Last auf den scheinbar glatten Schienen kann bekanntlich auch daraus erklärt werden, dass beim Abrollen der Räder die unendlich kleinen Unebenheiten der Radreifen in diejenige der Schiene eingreifen, sich dagegen stützen und dadurch die Vorwärtsbewegung ermöglichen. Die Unebenheiten ins Tausendfache übersetzt, und nach gewissen Gesetzen geordnet, ergeben die Zahnstange, jedoch mit dem Nachtheile, dass jetzt die Abwicklung keine vollkommen gleichförmige, sondern eine sprungweise ist, ein ruhiges Abwickeln also um so weniger stattfindet, je grösser die von der Beanspruchung bedingte Zahntheilung ist.

Die Ausbildung der Maschinenteile bietet nun namentlich zwei Mittel, um auch der Zahnstange einen ruhigen, stossfreien

Gang zu verleihen. Die eine Anordnung ist bekannt unter der Bezeichnung White'sche oder Keilräder, und fand dem Grundgedanken nach seiner Zeit Anwendung in dem von Wetli vorgeschlagenen Zahnbetriebe.

Das andere Mittel sind die Stufenzähne, oder Räder mit verschränkten Zähnen.

Zahnräder und Zahnstange mit verschränkter Verzahnung mussten — dem Eisenbahnwesen richtig angepasst — eine vielversprechende Vervollkommnung abgeben.

Aber auch die Locomotive ihrerseits soll sich nicht ausschliesslich an die Zahnstange hängen, sondern sie soll die beiden Laufschiene ebenfalls zur Fortbewegung des Zuges herbeiziehen und zwar in so hohem Grade, wie das die Reibung auf den glatten Schienen gestattet.

Solches ist wichtig nicht allein aus Gründen der Sicherheit, sondern auch nach dem allgemeinen richtigen und vortheilhaften Grundsatz der Arbeitstheilung.

Sodann muss die Maschine auf allen Stellen der Bahn mit ihrer normalen Kraft arbeiten können, was bei unveränderter Zugbelastung nur möglich wird, wenn sie die Fähigkeit besitzt, da, wo die nöthige Zugkraft gering ist, rasch — da, wo diese aber bedeutend ist, entsprechend langsam zu fahren.

Vor allem aber muss die Maschine der Locomotive einfach und zugänglich sein.

Die Erwägung der Punkte bildete den Ausgangspunkt zum Entwurfe einer neuen Bauart für den Zahnradbetrieb, welcher im Folgenden näher beschrieben wird.

Zahnstange.

Die normale Zahnstange für Bahnen mit sehr starkem Verkehre und nicht ungewöhnlich scharfen Bögen besteht aus

*) Vergl. Organ 1886, S. 138; 1887, S. 189 u. 200; 1888, S. 242.

drei Platten im Abstände von 35 bis 40 mm gleichlaufend neben einander gelegt (Fig. 1, 2 und 3 Taf. XXXVIII). Jede einzelne Platte ist eine einfache Zahnstange mit Evolventenverzahnung, hergestellt aus einem rechteckigen Stabe von weichem zähem Stahle. Diese Platten sind so neben einander gelegt, dass die 3 Zähne um je $\frac{1}{3}$ der Theilung verschränkt sind. Ebenso sind auch die Stösse verschränkt und zwar so, dass auf einem Lagerstuhle nur je eine Platte gestossen ist, die beiden anderen aber mit ihrem vollen Querschnitte durchgehen.

Gehalten werden diese Platten über jeder Querschwellen durch Stühle aus Stahlguss oder zähem Gusseisen, welche jenen den richtigen Abstand geben, in den Stössen als Laschen dienen und die Verbindung der Zahnstange mit den Querschwellen herstellen.

Im allgemeinen Maschinenbau sind seit langer Zeit:

für sehr rasch gehende Getriebe,

für solche, die, wie z. B. Hobelmaschinen, eine ganz sanfte gleichmäßige Arbeit liefern sollen,

für solche endlich, die sehr grossen Druck auszuüben haben, wie gewisse Press-Wasser-Maschinen,

mit bestem Erfolge Stufenräder angewendet worden. Grade diese drei Anforderungen treten aber vereint beim Zahnradbetriebe auf Eisenbahnen auf, es konnte darum auch hier die Bewährung solcher Räder nicht zweifelhaft sein.

Die Abstufung der Stösse der einzelnen Platten ist nicht minder wichtig. Alle Fehler in der Theilung, welche bei der Herstellung, durch Ausdehnung oder zufällige Verschiebungen auftreten möchten, sind ausgeglichen; die eigentliche Stärke der Zahnstange aber ist über die ganze Strecke überall die gleiche und sehr hoch. Volle Sicherheit ist geboten gegen Aufsteigen der Zahnräder bei raschem Bremsen, indem sich nicht ein einzelner Zahn des Rades mit voller Wucht am obern Theile der Zahnflanke anpresst und dann in die Lücke hinunter rutschen muss, sondern weil diesem frisch anliegenden Zahne nur ein Bruchtheil des Druckes zufällt und ausserdem noch mehrere Zähne regelrecht belastet im Grunde der Zahnflanke, also mit voller Eingrifftiefe, arbeiten (Fig. 4 Taf. XXXVIII).

Dadurch endlich, dass die Zähne mit ihrem Stege aus einem einheitlichen und zähem Stücke bestehen, ist ihre Lockerung ganz ausgeschlossen.

Die normalen Abmessungen der Platten sind folgende:

20 mm für die Dicke,

110 « für die ganze Höhe; davon entfallen

50 « auf die Zahnhöhe und zwar

15 « über,

35 « unter dem Theilkreise und

60 « auf den Steg,

120 « Theilung, je zur Hälfte für Zahn und Lücke,

2540 « für die Platten-Länge.

Die Dicke von 20 mm ist nicht willkürlich, sondern darum gewählt, weil alle bisherigen Erfahrungen gezeigt haben, dass ein Zahndruck von 50 bis 60 kg auf 1 mm Zahnbreite für die heute zur Verfügung stehenden Baustoffe eine noch ganz normale Abnutzung ergibt.

Die Zahnhöhe von 50 mm bedingt einen wesentlichen Vortheil der Anordnung. Für die Sicherheit genügt ein Zahn-

eingriff von 35 mm reichlich. Kurze Zähne aber geben bekanntlich viel weniger Reibungsverluste als lange. Die durchgeführte Verschränkung nun gestattet die Anwendung ganz kurzer Zähne. Bezüglich des Spiels von nur 15 mm zwischen dem Zahnstückgrunde und dem Kopfe des Zahnes am Zahnrade fügen wir schon hier bei, dass unsere Zahnräder vom Federspiele der Locomotive unbeeinflusst gelagert sind, ausserdem erhalten die Lücken der Zahnstange durch Unterschneiden der Zähne eine derartige Form, dass in aussergewöhnlichen Fällen das Zahnrad 10 bis 12 mm tiefer eingreifen kann, als es sollte, ohne dass seine Zahnflanken oder jene der Zahnstange beschädigt werden.

Die Steghöhe von 60 mm steht mit dem Zahndrucke in Verbindung. Das Zahnrad drückt nämlich mit jedem Zahne mit 1000 kg und zwar anfänglich mit einer grössten Neigung der Druckrichtung gegen die Richtung der Schienenoberkante von 1:4.

Dieser Druck äussert sich daher auf die Zahnstange als eine in der Richtung der Bahn wirkende Seitenkraft

von 970 kg

und eine winkelrecht darauf gerichtete

von 243 kg,

welcher Beanspruchung die Platte im gefährlichen Querschnitte mit 12facher Sicherheit widersteht.

Die Theilung wurde gross, = 120 mm, gewählt, weil bei dieser Anordnung gleichwohl alle 40 mm ein neuer Zahneingriff erfolgt, der Gang also ein sehr ruhiger ist, dabei die Zähne von Zahnstange und Rad stark ausfallen, also grosse Sicherheit bieten und eine starke Abnutzung zulassen.

Die an Platten ausgeführter Bahnen vorgenommenen Versuche haben dargethan, dass kein Abbrechen des Zahnes, sondern höchstens ein Abscheeren der oberen Ecke herbeigeführt werden kann und zwar für 20 mm dicke Platten bei einem Zahndrucke von 17 t. Dieser Festigkeit steht eine regelmässige Beanspruchung von 1 t gegenüber.

Die Länge der Platten wurde auf 2640 mm festgesetzt, nicht weil die Herstellung keine grössern Längen zuliesse, sondern weil diese Länge alle Vortheile der Bauart bereits gewährt, dabei aber bei der Herstellung, bei der Beförderung nach und beim Einbau an der Verwendungsstelle sehr bequem und handlich ist — ein Stück wiegt rund 40 kg — während das Hin- und Herschaffen schwerer Stücke ebenso kostspielig, wie auf der steilen Bahn für die Arbeiter gefährlich ist. Ferner aber ist die Einwirkung der Längenänderungen auf die Theilung hier eine praktisch verschwindende, zufolge einer eigenartigen Anordnung der Befestigungsschrauben. Die Platten werden nämlich in der Mitte durch zwei Paar von in rund 900 mm Abstand angebrachten Bolzen festgehalten und bewegen sich nach beiden Enden. Das Mittelstück verändert bei 60° Wärmeunterschied seine Länge um 0,6 mm und da die Stellung beim Einbauen nach mittlerer Wärme berechnet wird, nach jeder Richtung um 0,3 mm. Praktisch ist es also durchaus zulässig, die 4 mittlern Befestigungsschrauben als fest eingepasst anzunehmen. Aber auch die Enden bewegen sich um höchstens 0,45 mm über die Mittellage hinaus.

Im Ganzen sind es 6 Schrauben mit 20^{mm} Schaftdicke, welche jede Platte festhalten, und zwar geschieht dieses in zweifacher Weise.

1) Durch die Reibung, hervorgerufen durch den Druck, den die 6 Schrauben auf ihre Zwischenlagen ausüben.

Beim Legen der Zahnstange werden die Muttern mit einem Schlüssel von 400^{mm} angezogen. Uebt der Arbeiter an diesem Hebelarme einen Druck von 10 kg aus, so bewirkt er dadurch ein Anpressen der Mutter mit ungefähr 3000 kg. Bei der Beschaffenheit der Flächen darf hier sehr wohl ein Reibungs-Beiwert von $\frac{1}{3}$ angenommen werden, so dass sich jede Schraube mit 1000, also 6 sich mit 6000 kg dem Wegziehen der Platten widersetzen. Die Beanspruchung in diesem Sinne ist jedoch nicht höher als 2000 kg. Es würden demnach die gehörig angezogenen Schrauben ein Verschieben der Platten bereits verhindern.

2) Im praktischen Eisenbahndienste muss aber vorgesehen werden, dass trotz Sprengringen einzelne oder sogar alle Muttern lose werden. Für diesen Fall übernehmen die 4 mittleren Schrauben das Festhalten und zwar für die äusseren Platten mit rund 12, für die mittleren mit 24 qcm Querschnitt, also mit 36 t bis 72 t Scheerfestigkeit.

Diese Normalplatte dient sowohl für die Gerade als auch für die Bögen aller Halbmesser, wodurch nicht nur dem Monteur eine grosse Erleichterung geboten, und die Herstellung selbst aufs Höchste vereinfacht, sondern auch schon dem tracirenden Ingenieur die vollste Freiheit in der Wahl der Krümmungshalbmesser gewährt ist, auch gar nicht ausgeschlossen bleibt, nöthigenfalls erst an dem fertig gestellten Unterbau wünschenswerthe Veränderungen der Trace vorzunehmen.

Bei der dreitheiligen Zahnstange erfolgt die Befestigung der Platten auf den Querschwellen durch Doppelstühle mit Hilfe von Keilen und Beilagen oder Schrauben. Der normale Schwellenabstand ist hier 880^{mm}.

Für Bahnen mit sehr scharfen Bögen empfiehlt es sich, nur 2 Platten (Fig. 4 und 9 bis 12 Taf. XXXVIII) zu verwenden und zwar von etwa 25^{mm} Dicke bei schweren Zügen, von 20^{mm} Dicke bei leichterem Verkehre. Die Verschränkung der Zähne beträgt dann naturgemäfs 60^{mm}, die Länge einer Platte 1800 und der Schwellenabstand 900^{mm}. Die Stühle werden durch ein nicht zusammengesetztes Stück gebildet.

Die zweitheilige Zahnstange nebst dem zweitheiligen Rade, wie sie in Fig. 4 und 9 bis 12 auf Taf. XXXVIII dargestellt sind, ist auf der Bahn Lehesten-Oertelsbruch zur Verwendung gelangt und zwar in der dargestellten Ausbildung auf eisernen Querschwellen mit normaler Spur auf der Zufahrstrecke zu dem Umladebahnhofe am Ausgange der Oertel'schen Schieferbrüche. Von diesen führen 4 Schmalspurbahnen auf hölzernen Querschwellen in die Schieferbrüche, auf welchen die Stühle der zweitheiligen Zahnstange mit Schienenschrauben befestigt sind.

Zahnstangen-Einfahrt (Fig. 5 und 6 Taf. XXXVIII).

Auf den hier in Betracht kommenden Bahnen handelt es sich darum, ohne Anhalten des Zuges mit voller Sicherheit von dem gewöhnlichen glatten Gleise auf das Zahnstangengleis überzugehen. Schon im Jahre 1876, als es sich um die In-

betriebsetzung der neuen von der Maschinenfabrik Aarau gebauten Zahnradlocomotive für Ostermundigen und Wasseraffingen handelte, hat der Unterzeichnete eine Einfahrt erfunden und durchgearbeitet, die seither von allen gemischten Zahnradbahnen angewendet wurde und sich sehr gut bewährte. Sie besteht in einem auf Federn ruhenden Zahnstangenstücke, dessen Theilung um einige Millimeter von der regelmäfsigen abweicht.

Für die neue Bauart bleibt die äussere Form der Einfahrt die alte, die Theilung aber braucht keine unregelmäfsige zu sein, da thatsächlich die ungleiche Theilung der Einfahrt schon dadurch erzielt ist, dass sich das Zahnrad eintretenden Falls mit seinem Kopfkreise statt dem Theilkreise abwickelt, diese Bewegung sich aber auch ungestört äussern kann, weil bei der neuen Anordnung Zahnrad- und Reibungs-Maschine durchaus unabhängig von einander arbeiten.

Locomotive.

(Fig. 7 u. 8 Taf. XXXVIII und Fig. 7, 10 u. 11 Taf. XXXIX).

Diese ist äusserlich eine dreifachgekuppelte Tendermaschine mit Bisselachse. Letztere hat hier eine mehrfache Bedeutung. Sie dient zur Unterstützung des Maschinengewichtes, bewahrt den Oberbau in erheblichem Mafse vor Abnutzung, giebt der Maschine eine grosse Unterstützungsfläche und damit auch in scharfen Bögen einen sehr ruhigen und sichern Gang, endlich gestattet sie, die Vorräthe an Wasser und Kohlen so zu vertheilen, dass die nützliche Zugkraft thatsächlich unveränderlich bleibt.

Als gewöhnliche Reibungs-Maschine und grade wie eine solche arbeitet die Locomotive während der ganzen Fahrt mit entsprechend hoher Geschwindigkeit auf den wagerechten oder wenig geneigten Strecken, mit geringerer da wo die Steigung 20^{0/100} und mehr beträgt, auch hier wird sie noch allein durch Schienenreibung betrieben. Kommen nun ganz steile Steigungen, welche mit der Reibung allein nicht mehr vorthellhaft betrieben werden können, so wird das Zahnrad und die Zahnstange zu Hilfe genommen. Da dessen Wirkung, von keiner Witterung beeinflusst, eine durchaus zuverlässige ist, so hat sie für den ganzen Rest an Zugkraft aufzukommen. Bei ungünstigem Schienenzustande werden daher die Zahnräder mehr, bei ganz guter Witterung erheblich weniger nachzuhelfen haben. Ist die Steilrampe zurückgelegt, so tritt das Zahngetriebe wieder in Ruhe bis zur nächsten Rampe und die Reibungsmaschine arbeitet unterdessen allein weiter.

Die Zahnradmaschine

ist als Ganzes für sich behandelt und unter dem Langkessel zwischen den Hauptrahmen untergebracht. Zwei besondere Dampfcylinder mit eigener Steuerung, eigenem Dampfregler und besonderer Ausströmung bewirken die Drehung der Zahnräder. Die Cylinder sind an den Hauptrahmen befestigt und dienen den Cylindern der Reibungsmaschine zugleich als Versteifung. Von den Kreuzköpfen wird die Bewegung entweder mittels Schwinghebel und Schubstange (Harzbahn) oder mittels Schubstange (unmittelbar) auf die Triebkurbeln der hinteren Zahnradachse übertragen (Lehesten-Oertelsbruch, Bolan). Mit der Antriebachse ist mittels gewöhnlicher Kuppelstange noch

eine zweite und nöthigenfalls eine dritte Zahnradachse verbunden.

Die Anwendung mehrerer Zahnräder und Achsen ist sowohl wegen der Sicherheit, als auch wegen Vertheilung der Arbeit gewiss wenigstens ebenso angezeigt, wie die Anwendung mehrerer Reibungstriebachsen. Sie soll aber um so mehr erfolgen, als damit nicht jene bedeutenden Reibungsverluste verbunden sind, die bei mehrfach gekuppelten glatten Triebachsen nach einiger Dienstdauer in Folge ungleicher Durchmesser in so hohem Mafse eintreten.

Selbstverständlich besteht jedes Zahnrad aus ebenso viel gezahnten Scheiben, wie die Zahnstange Platten hat. Jene Scheiben sind aber nicht fest aufgekeilt, sondern werden durch mehrere Stahlfedern mitgenommen. Die Widerstandsfähigkeit dieser Federn ist so berechnet, dass ein Zahndruck von 1000 kg im Theilkreise noch kein Zusammendrücken hervorbringt, während sich die Feder schon bei einem solchen von etwa 1300 kg um 2 mm biegt und damit die betreffende Zahnscheibe eine Verschiebung von eben dieser Grösse erfährt. Diese elastische Lagerung der Zahnräder bewährt sich allgemein zur Erzielung eines geräuschlosen und sanften Ganges, dann insbesondere aber auch bei etwaigen Fehlern in der Theilung der Zahnstange. Seitlich werden die Zahnscheiben geführt von Bremsrollen, welche mit der Achse fest verbunden sind.

Das eigentliche Zahnradgetriebe ist in einem besonderen Rahmen zusammengefasst, der am Harze mit 4 Lagern auf der vorderen und hinteren Reibungsachse, bei den indischen Maschinen aber an Querträgern befestigt ist, die ihre Stützpunkte an den gewöhnlichen Achsenbüchsen der Reibungsachsen finden (Fig. 12 Taf. XXXIX). Diese Rahmenanordnung hat den Werth, dass auch ungeübte Leute das ganze Triebwerk behufs Prüfung oder Ausbesserung in kürzester Frist wegnehmen und wieder an seinen Platz bringen können.

Eine wesentliche Eigenthümlichkeit der Bauweise endlich besteht nicht nur in der Anwendung mehrerer Zahnräder, sondern auch in deren Verschränkung unter sich. Dadurch kommen alle die Vortheile der verschränkten Zahnstange doppelt zur Geltung. Bei Locomotiven wie am Harze ist dadurch erreicht, dass alle 20 mm ein neuer Zahneingriff erfolgt, dass sich beständig 8 bis 10 Zähne in den Lücken der Zahnstange befinden, wovon 5 anliegen, davon 3 ganz im Grunde der Zahnflanke, somit als eigentliche Steller dienen, um den neu hinzukommenden Zähnen den richtigen Eingriff zu sichern. Auch der äussere Vortheil ist damit erreicht, dass diese Getriebe auch bei ganz hoher Geschwindigkeit vollständig geräuschlos arbeiten.

Die gewählte Lagerung der Zahnscheiben gestattete schliesslich, die ganze Achse so auszubilden, dass ein Abnehmen der Zahnscheiben geschehen kann, ohne eine Kurbel oder einen anderen Theil abzupressen.

Als Sicherheitsvorkehrungen erhält jedes Cylinderpaar eine Luftbremse nach dem von O. Grüninger von Mount Washington beschriebenen Vorbilde. Ferner wirkt auf die Rollen der beiden Zahnradachsen eine Klotz- oder Bandbremse, die mittels Hebel und Spindel angezogen werden kann. Diese Bremse soll grundsätzlich nur bei aussergewöhnlichen Vorkomm-

nissen auf der Zahnstange vom Führer in Thätigkeit gesetzt werden. Endlich besitzen die Reibungsräder eine vom Heizer zu bedienende Spindelbremse.

Leistung.

Für sehr starken Verkehr und Steigungen von 50 bis 60 ‰ darf eine Locomotive von 42 t Reibungsgewicht, also mit einer Reibungs-Zugkraft von rund 6 t, einem ebenso grossen Zahndrucke und von 10 bis 12 km Geschwindigkeit als Normal-Grundform betrachtet werden.

Bei einiger Freiheit gegenüber den staatlichen Normalien wird es möglich, eine solche Maschine mit 54 t grösstem Dienstgewichte zu bauen, einschliesslich 8 t für Vorräthe aller Art und 4 t Wasser im Kessel.

Die Geschwindigkeit der Maschine auf den glatten Strecken kann dann je nach der Steigung gehen bis zu 45 km in der Stunde, auf den Zahnstangenstrecken bis zu 18 km.

Handelt es sich darum, weniger starke Maschinen zu haben, oder solche, welche für eigentlichen Schleppdienst bestimmt sind, so kann die Maschine unter Weglassung der Bisselachse als reine dreifachgekuppelte Tenderlocomotive oder insbesondere für Bahnen mit scharfen Bögen und schwächerem Verkehre unter Beibehaltung der Bisselachse aber mit nur zwei Reibungs-Triebachsen gebaut werden, wie solches für die Linie Lehesten-Oertelsbruch geschehen und durch Fig. 11 Taf. XXXIX dargestellt ist.

Ausführungen.

Die beschriebene Eisenbahn-Betriebsart findet sich ausgeführt unter der ebenso umsichtigen als verdienstvollen Leitung des Herrn Albert Schneider, herzoglich braunschweigischer Bahndirektor in Blankenburg, und seit Mai 1885 im Betriebe auf der Linie des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen: Halberstadt-Blankenburg und zwar auf der Strecke in dem Harze von Blankenburg bis Tanne (Fig. 1, 2, 3, 5, 6 u. 13 Taf. XXXVIII). Diese Linie, welche ausschliesslich von den neuen Zahnradmaschinen betrieben wird, hat eine Länge von 30,5 km, sie enthält 11 Zahnstangenstrecken mit zusammen 7395 m Länge, in Steigungen von 40 bis 60 ‰, während die grössten Steigungen der glatten Strecken 25 ‰ betragen. Das normale Zuggewicht, ausschliesslich Locomotive, ist 120 t.

Die Betriebsart wird ferner seit Januar 1886 verwendet auf einer Normalspurstrecke mit 80 ‰ und 4 Strecken mit 690 mm Spur von 37 ‰ grösster Steigung, dem Herrn Commerzienrath Oertel in Lehesten-Oertelsbruch gehörend, zur Ausbeutung seiner weitbekannten Schieferbrüche.

Im Herbste 1887 erfolgte die Inbetriebsetzung einer 3,8 km langen Zahnstange zur Ueberwindung der Rampe Las Trincheras der 56 km langen Linie zwischen Puerto Cabello und Valencia in Venezuela. Spurweite 1067 mm, grösste Steigung 80 ‰, Zuggewicht 60 t.

Im Frühjahr 1888 begann der Betrieb der für die englisch-indische Regierung gelieferten Ausrüstung zur Ueber-schienenung des Bolanpasses, welche Bahn bei 40 ‰ grössester Steigung eine Spurweite von 1676 mm und schärfste Bögen von 186 m Halbmesser besitzt. Zuggewicht, ohne Locomotive, 170 t.

Die aus zwei Platten bestehende Zahnstange allein hat Anwendung gefunden:

bei der Seilbahn in Lugano mit Steigungen von 200 bis 250 ‰;

bei der Seilbahn am Bürgenstock mit Steigungen von 320 bis 577 ‰;

bei der Seilbahn Zürich-Polytechnikum mit Steigungen bis 260 ‰;

bei den zwei Seilbahnen in Neapel, bei Chiaia mit 286 ‰ und bei Montesanto mit 225 ‰;

endlich für die 1630 m lange Seilbahn auf den San Salvatore bei Lugano mit 600 ‰ grösster Steigung.

Luzern, August 1888.

Durchlaufende Schraubenradbremse mit Reibungs-Antrieb.

Preisgekrönt vom Vereine Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Von Wolfgang Schmid, Kgl. Bayer. Abtheil.-Maschinenmeister zu München.

(Hierzu Zeichnungen Fig. 1—5 auf Tafel XL.)

Auf Seite 169 und den Tafeln XX, XXI und XXII des Jahrganges 1886 des »Organs« wurde die Schmid'sche Schraubenradbremse bereits ausführlich beschrieben und dargestellt. Dieselbe hat inzwischen eine weite Verbreitung gefunden, welche sich aus der nachfolgenden Uebersicht ergibt.

Die Einführung erfolgte:

- 1) bei den königl. bayerischen Staatsbahnen auf der Hauptlinie München-Weilheim (Mai 1885), und den Nebenbahnen Eichstätt Bahnhof-Stadt (Dec. 1885), Feucht-Wendelstein (Aug. 1886), Landsberg-Schongau (Oct. 1886), Neustadt-Vohenstrauß (Oct. 1886), Erlangen-Gräfenberg (Oct. 1886), Hof-Marxgrün (Oct. 1886), Münchberg-Helmbrechts (Oct. 1886) und Neumarkt-Beilngries (1888);
- 2) bei den grossh. badischen Staatsbahnen auf der Höllenthalbahn (Sommer 1887);
- 3) bei der Wiener Dampftrambahn von Krauss & Co. (Aug. 1886);
- 4) bei den königl. preussischen Staatsbahnen Direction Frankfurt a. M. für zwei neue Linien, Direction Berlin in Ausführung;
- 5) bei der Militärbahn Berlin-Zossen, seit einem Jahre versuchsweise;
- 6) durch H. Bachstein in Berlin auf der Linie Neuhaldensleben;
- 7) durch Baurath Hostmann in Hannover auf der Nebenbahn Hildburghausen-Friedrichshall, der Fliederbahn Stuttgart-Hohenheim und auf der Frankfurter Localbahn;
- 8) auf den Localbahnen der Baugesellschaft Sentropf & Co.;
- 9) durch die Localbahn-Actiengesellschaft Krauss & Co. auf den Linien Ravensburg-Weingarten und Oberstdorf-Sonthofen.
- 10) auf der Kreiseisenbahn Flensburg-Cappeln;
- 11) auf der Werra-Eisenbahn in Ausführung.

Im Juni 1888 wurde der Erfinder der Bremse, Abtheilungs-Maschinenmeister Schmid in München, vom Vereine Deutscher Eisenbahnverwaltungen mit einem Preise von 1500 M. ausgezeichnet.

Bei dem nunmehr bis zu drei Jahren ausgedehnten Betriebe der Bremse hat sich gezeigt, dass bei ordnungsgemäßer Handhabung nach etwa 75000maligem Anbremsen eine Abnutzung nicht eingetreten war, und zwar hat sich der Gebrauch bei Personenzügen in der Ausbildung als völlig durchlaufende, bei Güterzügen als Gruppen-Bremse für drei bis vier Wagen besonders bewährt. Die Anbringung am Normal-Personenwagen der Preussischen Nebenbahnen ist in Fig. 1 bis 3 Taf. XL dargestellt. Bei derselben ist das Zugseil über dem Wagen hingeführt, jedoch kann dasselbe nach Fig. 4 und 5 Taf. XL und Fig. 1 und 2 Taf. XXII, Jahrgang 1886, auch unter den Wagen gelegt werden.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die bei obiger Angabe vorausgesetzte ordnungsgemäße Handhabung nicht überall durchgeführt wurde, oder werden konnte, und dass der unnütze Eingriff der Reibungsräder in die Achsscheibe nach erfolgter Bremsung ziemlich beträchtliche Abnutzungen erzeugte. Wo die Schmid'sche Bremse für sich allein arbeitet, sind diese Vorkommnisse auf die Nachlässigkeit der Bediensteten zurückzuführen, welche es versäumten, die Bremszugleine nach erfolgter Bremsung wieder schwach zu spannen, und so, wie früher beschrieben wurde, die Reibungsscheiben ausser Eingriff zu bringen, ohne dabei die Bremswirkung zu beeinträchtigen.

Wenn jedoch, wie es vielfach vorkommt, die Schmid-Bremse mit der Heberlein-Bremse zusammenarbeiten muss, ist dieser Uebelstand der unnötigen Beanspruchung der Reibungsrollen bei der früher beschriebenen Gestaltung der Bremsen unvermeidlich, weil bei der Heberlein-Bremse mit dem Abheben der Reibungsrollen die Bremskraft sofort aufgehoben wird. Die fortgesetzte Wirkung der Reibungsrollen hatte aber nicht allein deren Abnutzung, sondern in Folge des fortwährenden Zerrens an der endlosen Uebersetzungskette eine wesentliche Beeinträchtigung der ruhigen Wirkung der Schmid-Bremse zur Folge.

Um diese bald aus Nachlässigkeit, bald aus dem Zusammenwirken mit der Heberlein-Bremse entspringenden Nachtheile für alle Fälle zu beseitigen, hat der Erfinder neuerdings eine wesentliche Verbesserung der Bremse eingeführt, welche

in Fig. 4 u. 5 Taf. XL dargestellt ist, und welche bezweckt, die Reibungsrollen sofort selbstthätig ausser Eingriff zu setzen, sobald die Bremse fest angezogen ist.

Der zweiarmige Hebel H trägt an seinem oberen Ende die Rolle, welche die Winkelführung der Bremskette E vom Bremshebel zur Kettentrommel im Bremscylinder vermittelt; der untere Hebelarm ist durch eine Verbindungsstange y mit dem beweglichen Rahmengestelle der Reibungsrolle verbunden, so dass letzteres in dem Augenblicke zurückgezogen wird, wo die Bremskette ihre volle Spannung erhalten, also die Bremsklötze fest angelegt hat. Da die Lösung der Reibungsrollen also stets erst nach Anlegung der Bremse erfolgen kann, so ist

unbeabsichtigtes Lösen oder ungenügendes Anziehen der Bremse auch bei dieser Neuerung ausgeschlossen.

Die Vorzüge dieser Schmid'schen Bremse, der Heberlein-Bremse gegenüber, insbesondere auf Nebenbahnen als vollständig durchgehende Bremse für die Personenzüge und auf den Hauptbahnen als Gruppen-Bremse für je 3 bis 4 Wagen der Güterzüge, scheinen uns so einleuchtend, dass die baldige weitere Einführung derselben, wenn für die Güterzüge der Hauptbahnen auch zunächst nur versuchsweise, sehr wahrscheinlich sein dürfte.

Den Vertrieb der Bremse hat die »Gesellschaft für Schmid'sche Eisenbahnbremsen in München« übernommen, welche für vollkommen gute Wirkung und Dauerhaftigkeit Gewähr leistet.

Das Dampf-Läutewerk von Latowski für den Nebenbahn-Betrieb.

Das Dampf-Läutewerk von Latowski, welches bereits im »Organ« 1883 Seite 96 und 242 zur Veröffentlichung gelangte, hat im Laufe der inzwischen verflossenen Jahre, namentlich in Hinsicht auf seine Verwendung für Nebenbahnen, eine weite Verbreitung erfahren, welche uns Veranlassung giebt, nochmals auf diesen Gegenstand zurückzukommen.

Die »Bahnordnung für deutsche Eisenbahnen untergeordneter Bedeutung vom 12. Juni 1878« enthält in den §§ 12, 21 und 35 die Vorschriften für die Anwendung des Läutewerkes der Locomotiven. Die Letzteren sollen mit helltönenden Läutewerken ausgerüstet sein und das Läutewerk bei der Annäherung an einen unbewachten Wegeübergang bis nach erfolgtem Durchfahren desselben, oder auch in der Nähe einer öffentlichen Verkehrsstrasse in Thätigkeit setzen.

Unter den für diesen Zweck verwendeten Vorrichtungen hat sich das Dampf-Läutewerk von Latowski in den sechs seit seiner Einführung verflossenen Jahren die allgemeinste Anerkennung erworben. Auf der X. Techniker-Versammlung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen im Juli 1884 zu Berlin wurde über dasselbe den folgenden Beschluss gefasst:

Schlussfolgerung.

»Wenngleich über die Handläutewerke von denjenigen »Verwaltungen, welche dergleichen ausschliesslich oder doch »vorzugsweise benutzen, recht günstige Urtheile vorliegen, »so ist doch das Latowski'sche Dampf-Läutewerk nach »den über dasselbe gemachten Mittheilungen als dasjenige »zu bezeichnen, welches wegen seiner Billigkeit in Beschaffung »und Unterhaltung, sowie wegen seines zuverlässigen Funktionirens und seiner auch bei widrigem Winde ausreichenden »Schallweite allen anderen bisher zur Anwendung gekommenen »Läutewerken vorgezogen und zur allgemeinen Einführung »empfohlen zu werden verdient;

und in der »Deutschen allgemeinen Ausstellung für Unfallversicherung in Berlin 1889« wird auf Grund eines Erlasses des Herrn Ministers v. Maybach seitens der preussischen Staatsbahnen eine die wesentlichsten Vorkehrungen

für die Sicherung des Eisenbahnbetriebes betreffende sorgfältig vorbereitete Sonder-Ausstellung stattfinden, welche unter Nr. 87 (der Gruppe XIX) das »Latowski'sche Dampf-Läutewerk« (Grundform 3) enthalten wird.

Auf nahezu sämtlichen Staats- und Privat-Nebenbahnen Deutschlands, mit wenigen Ausnahmen, eingeführt, ist dasselbe augenblicklich schon in etwa 2500 Ausführungen in Benutzung.

Es wurden bei vielen Bahnen nicht nur diejenigen Locomotiven damit ausgerüstet, welche dem Dienste auf der Nebenbahnstrecke ausschliesslich überwiesen sind, sondern auch solche, welche gewöhnlich auf der angrenzenden Hauptbahn Dienst leisten und nur vorübergehend auf jene übergehen. Ferner erhielten dasselbe sämtliche Locomotiven einiger Bahnen, deren Locomotiven, vom Hauptbahnzuge abgehend, einzelne Flügelbahnen befahren müssen. Auch bei verschiedenen Eisenbahnbauten wurde das Latowski'sche Läutewerk angewendet.

Diese allgemeine Verwendung wäre für Dampf-Läutewerke bei den hohen Preisen und der Unzuverlässigkeit der früheren Anordnungen nicht möglich gewesen. Da jetzt die Anbringung der Latowski'schen Läutewerke eine sehr einfache ist, und weder die Aufstellung, noch die Bedienung und Unterhaltung besonders geschickte Beamte erfordert, so hat sich dasselbe nicht nur da eingeführt, wo die Vorschrift ein solches verlangt, sondern auch bei Bahnen in gewerblichen Anlagen, Dampfstrassenbahnen und im Auslande.

Der Beschreibung des Wesens des Läutewerkes im »Organ« 1883 Seite 96 und 242, welche auch aus der nebenstehenden Zeichnung Fig. 57 für die Grundform 3 hervorgeht, ist über die weitere Entwicklung und Verbreitung desselben Folgendes hinzuzufügen:

Für den Dienst bei Eisenbahnen ist das Latowski'sche Läutewerk in 3 Grössen in Anwendung, und zwar

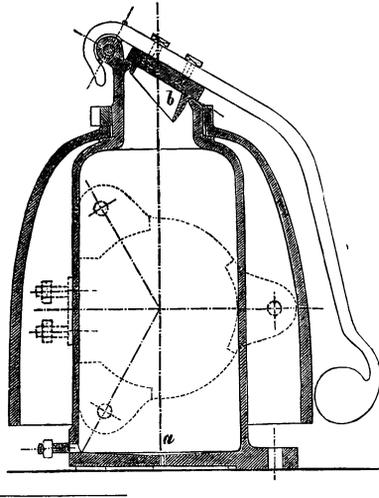
Grundform 3 für normalspurige Locomotiven,
Grundform 4 für schmalspurige Locomotiven,
Grundform 5 für Dampfstrassenbahn- und Industriebahn-Locomotiven;

jedoch sind diese Unterscheidungen nicht genau eingehalten worden, z. B. wurde Grundform 3 auch für Dampfstrassenbahnen in Anwendung gebracht.

Die Läutewerke werden entweder mit Stahlguss- oder mit Gusstahlglocken geliefert.

Die fünf- bis sechsjährige Benützung der Latowski'schen Läutewerke liess ein zuverlässiges Urtheil zu, welches seitens vieler der benützenden Bahngesellschaften abgegeben wurde und

Fig. 57.



die Vollkommenheit dieses Signalwerkes wie seine Beständigkeit zweifellos bestätigt. *)

Neben der Stärke und völligen Gleichmässigkeit des Tones hat namentlich der Umstand zu den Erfolgen des Läutewerkes beigetragen, dass es durch einen einfachen Handschlag für beliebig lange Zeit angestellt wird. Die Handläutewerke nehmen die Bahnbediensteten gerade in solchen Augenblicken dauernd

*) Wir drucken einige der über das Läutewerk ausgestellten Bescheinigungen hier ab:

Direction der
Wittkowitz Bergbau- und
Eisenhütten-Gewerkschaft.
No. 11965 I A.

Wittkowitz (Mähren), 28. April 1888

Ihrem Wunsche mit Gehrtem vom 25. cr. gern entsprechend, bestätigen wir Ihnen, dass wir seit dem Jahre 1885 fünf normal-spurige Locomotiven mit Ihrem Dampf-Läutewerk ausgerüstet haben und mit denselben vollständig zufrieden sind, indem die Apparate immer anstandslos functionirten und selbst heuer bei dem äusserst strengen Winter nie versagten.

Die Schallweite der Glocken ist sehr gross, wodurch die Sicherheit des Betriebes bedeutend erhöht wird, gegen die Signale mit der Dampfpeife.

Die Direction
der Ostpreussischen Südbahn.
J.-No. 4461. C.

Königsberg, den 22. December 1887.

Auf das gefällige Schreiben vom 7. d. Mts. erwidern Euer Wohlgeboren wir ergebenst, dass die von Ihnen für diesseitige Locomotiven im Jahre 1883 gelieferten Dampf-Läutewerke sich recht gut bewährt, und nur geringe Reparaturen erfordert haben. — Namentlich lässt auch die Schallweite der Glocken nichts zu wünschen übrig.

Wir stellen anheim, von vorstehender Mittheilung nach Ihrem Ermessen Gebrauch zu machen. Wendland.

K. k. priv.
Aussig-Teplitzer Eisenbahn-Gesellschaft.
Zahl 17043/87.

Teplitz, den 15. November 1887.

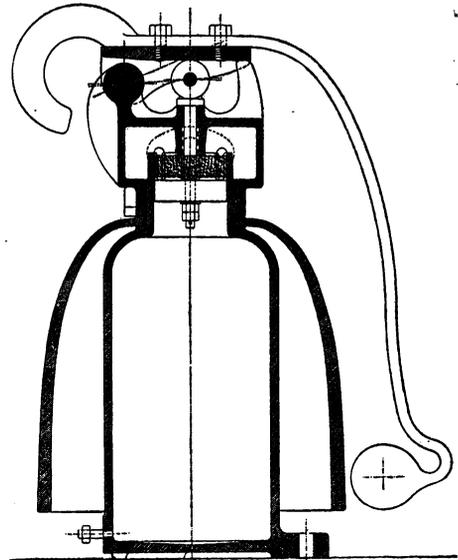
In Beantwortung Ihres geschätzten Schreibens vom 22. v. Mts. theilen wir Ihnen mit, dass wir mit Vergnügen bereit sind, Ihnen über Ihr Ansuchen zu bezeugen, dass die von Ihnen uns gelieferten und nun seit $4\frac{3}{4}$ Jahren in Verwendung stehenden Locomotiv-Läutewerke die ganze Zeit ihrer Verwendung ohne den geringsten Astand und vollkommen verlässlich functionirt haben.

Wir gestatten Ihnen gleichzeitig, von diesem Schreiben jeden Ihnen beliebigen Gebrauch zu machen. Achtungsvoll

Die Direction: Schweigert.

in Anspruch, in denen in der Regel auch die übrigen Theile der Locomotive besonders aufmerksamer Bedienung bedürfen, namentlich in Augenblicken der Gefahr. Aus diesem Grunde, wie auch lediglich aus Bequemlichkeit wird das Handläutewerk häufig nicht so ausgiebig d. h. lange benutzt, wie es zur vollen Erreichung seines Zweckes erforderlich wäre. Da das Dampf-

Fig. 58.



läutewerk den Führer fast gar nicht belastet, ist bei seiner Verwendung diese Gefahr erheblich verringert. Dasselbe hat allerdings, wie jede neue Erfindung, die Zeit seiner Entwicklung durchzumachen gehabt. Einige Verwaltungen hatten darüber zu klagen, dass Brüche einzelner Theile oder der sogenannten Stahlgussglocken vorkamen. Einerseits ist dies durch Verstärkung und wesentliche Umgestaltung jener vermieden, andererseits wurde die Herstellung der Glocken vervollkommnet und ein tonstärkeres und widerstandsfähigeres Material erzielt und geliefert. Im Allgemeinen aber wendeten sich die Verwaltungen der Gusstahlglocke zu. Diese, welche dieselben Mafse hat, wie die Stahlgussglocke und daher auch nachträglich noch zur Verwendung gelangen kann, ist wesentlich tonstärker und unzerbrechlich, während die Stahlgussglocke immerhin eine begrenzte Lebensdauer haben wird. Der Preisunterschied dürfte durch den bedeutend höheren Leistungswerth aufgewogen werden. Ausserdem werden die Läutewerke mit Gusstahlglocke mit einjähriger, diejenigen mit Stahlgussglocke nur mit vierteljähriger Gewährleistung geliefert. Anfangs mag wohl auch seitens der Bahnverwaltungen in einzelnen Fällen nicht die mit Rücksicht auf das durch die Bahn- und Betriebsverhältnisse bedingte Erfordernis richtige Ausführungsart, sondern ein zu schwaches Werk zur Anwendung gelangt und dem Bedürfnisse entsprechend alsdann überangestrengt worden sein. Das Ergebnis aus der Praxis der Anwendung hat dahin geführt, dass da, wo die Raumverhältnisse es zulassen, das Läutewerk nach der kräftigsten und tonstärksten Art, Grundform 3 (Fig. 57), gewählt wird, seltener Grundform 4 und nur in vereinzelt Fällen die kleinste Ausführungsart, Grundform 5, bei Dampfstrassenbahnen, denen die Grundform 4 noch zu laut erscheint.

Das Lätewerk wird am zweckmäfsigsten auf dem Dache des Führerstandes aufgestellt. Die Eigenthümlichkeit der Locomotive gestattet jedoch mitunter diese Aufstellungsweise nicht. In diesem Falle werden die Lätewerke Grundform 13 und 14 (Fig. 58, Seite 293) mit der Glocke und den Grössenverhältnissen der Grundform 3 bezw. 4 verwendet. Bei diesen strömt der verbrauchte Dampf nicht frei aus, sondern wird aus einem Sammelgefässe in die Esse oder das Verbrauchswasser unbemerkbar abgeleitet.

In Fig. 58 ist der Deckelkolben des Dampfraumes in der tiefsten Stellung in Ansicht ausgezogen, in der höchsten im Schnitte gestrichelt gezeichnet. Der obere Rand der Krone des Dampfraumes hat tiefe Einkerbungen, deren unteres Ende der Deckelkolben in der höchsten Stellung eben übersteigt, so dass der Dampf in das Sammelgefäss strömt. Die Kolbenstange trägt aussen ein Rollenpaar, durch welches die Kraftübertragung auf das den Hammerstiel aufnehmende Gelenkstück erfolgt.

Diese Lätewerke können an jeder beliebigen Stelle der Locomotive Aufstellung finden, sind nicht minder einfach, als die bisherigen und haben dieselbe Leistungsfähigkeit. Das Dach ist auch mitunter wenig stark gebaut, so dass es durch das Arbeiten des Lätewerkes in den Verbindungen gelockert oder auch die darunter befindliche Mannschaft durch das Dröhnen belästigt wird. Dem kann in vollkommener Weise dadurch begegnet werden, dass nach dem Vorgange der Sächsischen Staatsbahnen das Lätewerk über dem Dache auf zwei steif verbundenen Winkeleisen befestigt wird, welche nach einem Stichbogen kleineren Halbmessers, als das Dach des Führerstandes gebogen sind, mit den Enden auf den Seitenwänden des Führerstandshauses aufliegen und unter dem Lätewerke freien Raum lassen. Die Schallwellen schwingen alsdann frei aus. Auch wurde das Lätewerk vor dem Führerstande über dem Langkessel auf einer Erhöhung aufgestellt, so dass der aus demselben entweichende Dampf nicht mehr belästigt, als der aus der Esse ausströmende.

Da wo Lätewerke mit Stahlgussglocken in Verwendung sind, ist es mit Rücksicht auf die Möglichkeit des Brechens derselben angezeigt, eine Glocke in Bereitschaft zu halten, damit die Benützung des Lätewerkes keine Unterbrechung erleide. Herr Latowski liefert solche zum Selbstkostenpreise.

Das Latowski'sche Dampfplätewerk ist, ausser bei dem Locomotivbetriebe, auch bei Fähr-Dampfschiffen eingeführt (so bei denen der Königl. Eisenbahn-Direction Köln linksrheinisch, Betriebsamt Crefeld und Coblenz, und zwar Personen- wie Güterschiffe, ausserdem bei der Hessischen Ludwigsbahn). Es liegen über dessen Bewährung bei diesem Dienste günstige Urtheile vor.

Die bisherige Handglocke macht es erforderlich, dass entweder der dieselbe bedienende Unterbeamte einem allgemeinen Befehle des obersten Schiffsführers folgt, oder solchen erst von Fall zu Fall abholen oder aus der Entfernung empfangen muss. Es ist daher eine mangelhafte Auslegung gegebener Vorschriften oder ein Missverstehen mündlicher Befehle nicht ausgeschlossen, vielmehr diese grade dann am leichtesten möglich, wenn die richtige Befolgung der Aufträge am wichtigsten ist, nämlich

bei Sturm oder bei drohenden Zusammenstössen. Das Dampfplätewerk, welches nicht wie die Handglocke an einem entfernten Punkte, sondern an der Commandobrücke aufzustellen ist und nach verschiedenen Stellen Hahnzüge haben muss, ist durch den Schiffsführer selbst zu bedienen (einfacher Griff für »Auf« und »Zu«), so dass die von demselben beabsichtigten Zeichen keiner Uebertragung bedürfen, kein Missverständnis möglich ist und ohne Weiteres ausgeführt werden. Namentlich die Fährschiffe, welche die Fahrstrassen der übrigen Schifffahrt durchschneiden, bedürfen ein hörbares Signal besonderer Art, durch welches sie sich vor den anderen besonders bemerkbar und kenntlich machen. Die Segel- und Ruderschiffe, auch die sonstigen Dampfschiffe, dürften sehr wohl berechtigt sein, ihre bisherigen Handglockensignale beizubehalten, da die Bewegungsgeschwindigkeit jener eine viel geringere ist und die Fahrstrassen aller übrigen zusammenfallen. —

Die nahe über den Gleisschienen weit hervorragenden Auffahrtschienen der Dampfschiebepöhlen, welche sich wenig bemerkbar machen und namentlich während der Dunkelheit leicht und häufig übersehen werden, bilden während der Fahrt der Bühne bekanntlich eine grosse Gefahr für in der Nähe befindliche Beamte. Das bisher übliche einmalige Dampfpeifensignal bei Beginn der Fahrt erregt die Aufmerksamkeit nicht genügend. Häufig sind arge Beschädigungen von Personen die Folge davon gewesen. Es hat sich das Dampfplätewerk als ein wirksames Schutzmittel gegen diese Gefährlichkeit des Betriebes der Dampfschiebepöhlen bewährt und wurde vielfach (u. A. auf dem Hauptbahnhofe in Frankfurt a. M. 3 Stück, von Krupp, in der Laurahütte) angewendet. Für diesen Zweck ist die Grundform 4 eingeführt, deren Tonstärke für den Zweck gross genug, nicht aber so gross ist, dass eine Störung des Betriebes oder Anderer bemerkt worden wäre. Das Lätewerk wird mit dem Dampfzuleitungsrohre unmittelbar hinter dem Dampfzulassventile verbunden, so dass dasselbe selbstthätig mit dem Dampfgeben zu schlagen beginnt und während der Fahrt schlägt. Ein geeigneter Warnungsanschlag schützt alsdann die Verwaltung.

Das Latowski'sche Lätewerk fand in fast allen Ländern Aufnahme. Dasselbe ist auf Sumatra und Java zu finden. Bei Argentinischen Bahnen wird das Lätewerk nach der Grundform 13 in der erwähnten Art der Aufstellung über dem Langkessel der Locomotiven angewendet.

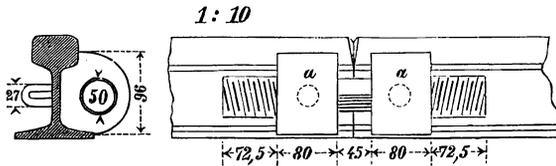
Mit dem Dampfplätewerke ist ein neues werthvolles Hör-Signal der Locomotiven auch für den Hauptbahnbetrieb möglich geworden. Denn es lässt sich nicht in Abrede stellen, dass, während bei dem Bahnbetriebe im Uebrigen Hör-Signale und Signalvorrichtungen mannigfaltigster Art in Verwendung sind, die Locomotive, bei der grossen Verschiedenartigkeit ihrer Dienstverrichtungen und der grossen Beeinflussung der ganzen Dienstauführung durch ihre Thätigkeit, sich viel zu wenig verständlich machen kann. Diese Sparsamkeit in der Ausstattung dürfte weniger eine berechnete als eine alte Gewohnheitssache und der Uebergang zur Einrichtung weiterer Hör-Signal-Vorkehrungen auf den Locomotiven wohl zu empfehlen sein.

Der Schienenrücker von Bauer (D. R. P. 41008).

Von R. Lüders, Civil-Ingenieur in Görlitz.

Die in Fig. 59 dargestellte, als Schienenrücker bezeichnete kleine Vorrichtung besteht aus einer 50^{mm} im äusseren Durchmesser starken Schraubenspindel mit Gegengewinden, welche durch ein 45^{mm} langes Sechskantstück von einander getrennt sind, und zwei 80^{mm} breiten Mutterkloben a, einer mit rechtem, einer mit linkem Gewinde, welche mittels cylindrischer Ansätze mit

Fig. 59.



Keilsplint-Löchern in den ersten Laschenbolzen-Bohrungen am Stosse befestigt werden können. Sind die Kloben zuerst auf der Spindel der Bolzenloch-Entfernung entsprechend eingestellt, und dann mittels der Splintkeile in den Bolzenlöchern befestigt, so kann man durch Aufsetzen eines offenen Schraubenschlüssels auf das mittlere Sechskantstück und Drehen der Spindel in der einen oder anderen Richtung die Schienenenden je nach Bedarf mit grosser Kraft einander nähern, oder von einander entfernen.

Mit der einfachen und leicht auf der Strecke zu befördernden Vorrichtung kann man fehlerhafte Schienenstränge, — sowohl zu eng, wie zu weit in den Stössen liegende —, mit wenig Zeitaufwand berichtigen. Handelt es sich um Berichtigung längerer Strecken, so theile man dieselben je nach Krümmung und Steigung in etwa 80 bis 180^m lange Abschnitte, wenn blos die Schienen, in etwa 50 bis 60^m lange, wenn auch die Stosswellen mit verschoben werden sollen, und bringe einen Schienenrücker in jedem Abschnitte an.

Auch beim Umlegen und Auswechseln von Schienen kann das Werkzeug von Nutzen sein, da man mit seiner Hülfe überschüssige oder fehlende Längen bis zu 15 cm leicht in einer grösseren Anzahl von Stössen unterbringen, bezw. gewinnen und so die Zahl der Passschienen und den Schienenverhau wesentlich einschränken kann. Dem Verrücken ganzer Gestängestrecken muss in der Regel ein leichtes Anlüften vorangehen.

Die Kosten richten sich nach der Höhe der Schiene, für welche die Vorrichtung passen soll, und betragen für eine Schienenhöhe von

100 ^{mm}	110 ^{mm}	115 ^{mm}	125 ^{mm}	130 ^{mm}
33 M.	36 M.	40 M.	45 M.	50 M.

Zeichnerische Ermittlung der möglichen Gesamtlast bzw. Geschwindigkeit der Eisenbahnzüge für die normale Personenzug-Locomotive der preussischen Staatsbahnen.

Von H. Büttner, Heizhausleiter der Oesterr.-Ungarischen Staats-Eisenbahn-Gesellschaft zu Orsova.

(Hierzu Zeichnungen Fig. 1—3 auf Tafel XLI.)

Bezeichnet

Z_v die Zugkraft der Locomotive in Tonnen bei der in Kilometern für die Stunde ausgedrückten Geschwindigkeit = v , ferner $K_v = 2,4 + \frac{v^2}{1000} + m$ den Widerstand für die Tonne in Kilogramm bei der Geschwindigkeit v auf der Steigung von m Millimeter auf 1 Meter,

so kann man setzen:

$$\text{Zuglast} + \text{Maschine} + \text{Tender} = \frac{Z_v \cdot 1000}{K_v} \text{ oder}$$

$$\text{Gesamtlast } B = \frac{Z_v \cdot 1000}{K_v} \text{ oder}$$

$$B = \frac{Z_v \cdot v \cdot 1000}{K_v \cdot v}.$$

Nun ist aber $Z_v \cdot v = L$ = der Leistung in Tonnenkilometer, also:

$$B = \frac{1000 L}{K_v \cdot v}.$$

Früher betrachtete man die Leistung der Locomotive als unveränderlich und setzte: $L = cH$, wobei H die Heizfläche und c einen Erfahrungsbeiwert bedeutet.

Dann ergab sich: $B \cdot K_v \cdot v = K$ und diese Beziehung von der Formel: $q_1 = K$ lässt sich auf sehr einfache Art darstellen, wie weiter unten erläutert wird.

Nun ergaben neuere Versuche auf den preussischen Staatsbahnen*), dass die Leistung nicht unveränderlich ist, sondern ziemlich bedeutend mit der Geschwindigkeit wächst, und es lässt sich nach Professor Albert Frank**) setzen:

$$\frac{N}{H} = \alpha + \beta \sqrt{v}$$

worin für die normalen $\frac{2}{3}$ gekuppelten Personenzugs-Locomotiven mit Tender

$$\frac{N}{H} = 1,17 \sqrt{v}$$

für die normalen Güterzugs-Locomotiven

$$\frac{N}{H} = 0,6 + \sqrt{v}$$

und für die normalen Tender-Locomotiven

$$\frac{N}{H} = 2 + 0,8 \sqrt{v}$$

zu setzen ist.

Hierbei ist N in Pferdekraften, v in Metern in der Sekunde zu setzen. Um diese Formeln mit den früheren in Uebereinstimmung zu bringen, haben wir die Leistung in Kilometer-Tonnen und die Geschwindigkeit in Kilometer in der

*) Organ 1887, Seite 103.

**) Organ 1887, Seite 104 u. ff.

Stunde auszudrücken; das gibt, weil die Pferdekraft = 75 mkg und die Kilometertonne = 278 mkg, das Verhältnis 0,27 : 1, und da

$$\frac{v \text{ Sek/m} \cdot 3600}{1000} = v_{\text{St/km}} \text{ oder}$$

$$v_{\text{Sek/m}} = \frac{10}{36} v_{\text{St/km}} \text{ ist}$$

$$\frac{L}{H} = 0,27 \left(\alpha + \sqrt{\frac{10}{36} v_{\text{St/km}}} \right) \text{ km/t.}$$

Für die Personenzug-Locomotive sind die in Frage kommenden Hauptwerthe:

Heizfläche H =	91,8 qm
Rostfläche =	1,718 «
Cylinderdurchmesser	420 mm
Kolbenhub =	560 «
Triebraddurchmesser =	1730 «
Dampfüberdruck =	10 at
Reibungsgewicht =	24,4 t
Locomotivgewicht =	37 «
Tendergewicht =	27,5 «
Gesamtwegicht =	64,5 «
Grösste Zugkraft =	3450 kg

Für diese Locomotive ergibt sich:

$$\frac{L}{H} = (0,16649 \sqrt{v_{\text{St/km}}}) \text{ km/t,}$$

für die Güterzugs-Locomotive

$$\frac{L}{H} = (0,162 + 0,14230 \sqrt{v_{\text{St/km}}}) \text{ km/t,}$$

für Tender-Locomotive

$$\frac{L}{H} = (0,54 + 0,11384 \sqrt{v_{\text{St/km}}}) \text{ km/t.}$$

Wenn wir α und β in der neuen Form ausgedrückt denken:

$$\frac{L}{H} = \alpha + \beta \sqrt{v}$$

$$B = \frac{L_v 1000}{K_v v} = \frac{(\alpha + \beta \sqrt{v}) 1000 H}{K_v v}$$

oder

$$B = \frac{1000 H}{K_v v (\alpha + \beta \sqrt{v})}$$

das ergibt wieder den früheren Bezug $\rho \rho_1 = K$.

In der Wirklichkeit hat man es mit in gewissen Grenzen eingeschlossenen ρ und ρ_1 zu thun, so dass man immer ein $\rho_{\text{max}} \cdot \rho_{1\text{min}} = K$ finden kann und die Form $0 \cdot \infty = K$ wegfällt. Diese Grössenbeziehung lässt sich folgendermassen darstellen:

Man ziehe einen Kreis vom Durchmesser $\rho_{\text{max}} = a$ (Fig. 60) und trage auf die Verlängerung des Durchmessers das $\rho_{1\text{min}} = b$ auf, so ist das Produkt: $oA \times oD = a \cdot b$. Zieht man nun durch den Punkt o eine beliebige Sehne: $oC = \rho$, verlängert dieselbe über o bis zum Schnitte B mit der Gleichlaufenden DB zur Berührenden in o , so ist $\rho \cdot \rho_1 = oC \times oB$ wieder $= a \cdot b$, denn das Dreieck oCA ist wegen der rechten Winkel bei C und D ähnlich oDB , also

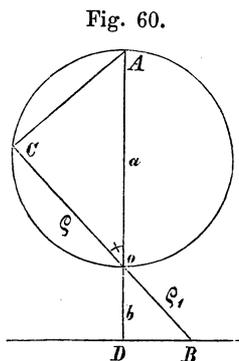


Fig. 60.

$oD : oB = oC : oA$ oder $oD \cdot oA = oB \cdot oC$, d. h. $a \cdot b = \rho \cdot \rho_1$. Dasselbe findet für jede andere durch o gehende Gerade statt.

Auftragung für die Personenzug-Locomotive der preussischen Staatsbahnen.

Allgemein war: $B = \frac{1000 H}{K_v v (\alpha + \beta \sqrt{v})}$

für die Personenzug-Locomotive

$$\alpha = 0 \quad \beta = 0,16649, \quad K_v = 2,4 + \frac{v^2}{1000} + m,$$

für die Wagerechte $m = 0$, ist also

$$B = \frac{166,49 H \sqrt{v}}{K_v v} = \frac{166,49 H}{K_v \sqrt{v}}$$

Es ist daher für $B (K_v \sqrt{v}) = 166,49 H$ mit dem grössten Werthe von B als Durchmesser ein Kreis zu beschreiben, auf dem verlängerten Durchmesser das Stück $K_{v\text{min}} \sqrt{v_{\text{min}}}$ aufzutragen und hier eine Winkelrechte zu errichten, so ergeben gemäss Fig. 60 die durch o in der bekannten Weise gezogenen Sehnen mit ihren Verlängerungen multipliziert immer

$$166,49 H.$$

Nun ist nach Professor Frank für die Personenzug-Locomotive*)

$$\sqrt{v_{\text{min}}} = \frac{\beta C}{2} + \sqrt{\frac{\beta^2 C^2}{4} + \alpha C} = 4,84$$

nach Umrechnung auf Kilometer in der Stunde

$$v_{\text{min}} = 17,423 \text{ km}$$

$$K_{v\text{min}} \sqrt{v_{\text{min}}} = 11,285 \text{ kg}$$

$$B_{\text{max}} = 1354,3 \text{ t.}$$

Es ist somit mit 1354,3 als Durchmesser ein Kreis zu ziehen, auf dem verlängerten Durchmesser im Abstände 11,285 eine Winkelrechte zu errichten, um die Auftragung zu erhalten.

Die Schnitte flach liegender Sehnen mit dem Kreise sind nicht genau zu bestimmen, daher ist es vortheilhaft, den Kreis in kleinerem Mafsstabe, etwa mit $\frac{B_{\text{max}}}{3}$ als Durchmesser, zu ziehen; dementsprechend muss die an sich kleine Grösse $K_{v\text{min}} \sqrt{v_{\text{min}}}$ dreifach aufgetragen werden.

$$\frac{B_{\text{max}}}{3} (3 K_{v\text{min}} \sqrt{v_{\text{min}}}) = K.$$

Das stimmt nun für jeden Kreispunkt, etwa für B und $K \sqrt{v}$.

Da aber $\frac{B}{3} (3 K_v \sqrt{v}) = K = B (K_v \sqrt{v})$ ist, so ist in die so gewonnene Auftragung das Gesamtgewicht B sowohl, als auch der Werth $K_v \sqrt{v}$ einzutragen, der Kreis jedoch mit $\frac{B_{\text{max}}}{3}$, die Gleichlaufende zur Berührenden im Abstände $3 K_{v\text{min}} \sqrt{v_{\text{min}}}$ zu ziehen, um eine für die gewöhnliche Beanspruchung der Personenzug-Locomotive — bis etwa 400 t — genügende Auftragung zu bekommen.

Bei näherer Untersuchung giebt die Beziehung $K_v \sqrt{v}$ für die Wagerechte ($m = 0$) folgendes zu erkennen:

$$y = K_v \sqrt{v} = 2,4 v^{1/2} + 0,01 v^{3/2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2,4}{2 v^{1/2}} + \frac{5}{2} \cdot 0,01 v^{1/2}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{2,4}{2 \cdot 2 v^{3/2}} + \frac{5}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot 0,01 v^{-1/2}$$

*) Organ 1887, Seite 107 Gl. 9.

Beispiel.

Bewegt sich der oben schon benutzte Zug von 264,5 t Gesamtlast auf schlüpferigen Schienen, so liefert oc (Fig. 1 Taf. XLI) auf Kreis on nach oi übertragen für $K_v \sqrt{v}$ die Länge ol, welche in Fig. 2 Taf. XLI übertragen*) für die Steigung $m = 3,33$ noch 41,5 km, für $m = 10$ 15 km Geschwindigkeit ergibt, statt der früheren Werthe von 50 bezw. 20 km.

Einfluss des Windes.

Der sehr verwickelte Einfluss ungünstigen Windes lässt sich am besten als ein Wachsen des Gesamtgewichtes auffassen.

Es war $B = \frac{1000 \beta H}{K_v \sqrt{v}}$; tritt nun Wind auf, so wird $B_w = \mu B$; das μB entspricht jedoch in der Auftragung (Fig. 1 Taf. XLI) nicht mehr der Geschwindigkeit v , sondern einer geringeren. Erfahrungsgemäß kann man annehmen, dass sich der Kohlenverbrauch bei günstigem Wetter zu jenem bei Wind wie 35 zu 40 verhält. Da die Gesamtlast mit der Heizfläche in geradem Verhältnisse wächst, ist zu setzen:

$$\mu B : B = 40 : 35$$

$$\text{also } B_w = \frac{B_{\max} 40}{35},$$

für den obigen Fall

$$B_w = \frac{1354,3 \cdot 40}{35} = 1547,7 \text{ t.}$$

In Fig. 1 Taf. XLI ist mit diesem Durchmesser B_w ein in o berührender Kreis gezogen. Die Verlängerung der Lastsehne oc bis oe giebt das rechnermäßige Wachstum der

*) Die zusammengehörigen Längen sind in Fig. 1 u. 2 Taf. XLI durch gleiche Art der Linienbildung gekennzeichnet.

Gesamtlast bei Wind an. Diese Last kann nicht mit der $od = K_v \sqrt{v}$ entsprechenden Geschwindigkeit gezogen werden, es ist vielmehr oe auf den Kreis oa der grössten Bruttolast nach of zu übertragen, um sodann aus oh $= K_w \sqrt{v_w}$ mittelbar unter Benutzung der Fig. 2 Taf. XLI v_w zu erhalten.

Es sind somit nun Last, Geschwindigkeit, Steigung, schlüpferige Schienen und Wind berücksichtigt.

Beispiel.

Ist der oben behandelte Zug heftigem Winde ausgesetzt, so vergrößert sich die Last oc auf oe (Fig. 1 Taf. XLI) und auf Kreis oa nach of übertragen, liefert diese für $K_v \sqrt{v}$ die Länge oh. In Fig. 2 Taf. XLI $1\frac{2}{3}$ mal eingetragen ergibt diese für die Steigung $m = 3,33$ 43,5 km, für die Steigung $m = 10$ 17 km Geschwindigkeit.

Nach der Art der Auftragung der Fahrpläne kann man für einen gegebenen Zug auf gegebener Strecke nun mittels der nach dem Obigen festgestellten Geschwindigkeiten für verschiedene Verhältnisse feststellen, welche Fahrzeitüberschreitung bei bestimmten aussergewöhnlichen Verhältnissen zu erwarten ist. In Fig. 3 Taf. XLI stellt der ausgezogene Linienzug die regelmässige Fahrt, der gestrichelte —||—||—||—||— eine Fahrt dar, welche auf der — — — — eingetragenen Strecke durch Wind, auf der — — eingetragenen durch schlüpferige Schienen beeinträchtigt ist, und welche daher gegen die regelmässige eine Verspätung $\alpha \beta = 28$ Minuten ergibt.

Zum Schlusse sei noch hervorgehoben, dass die angegebenen zeichnerischen Verfahren die ziffermäßigen Last- und Geschwindigkeits-Zusammenstellungen nicht zu verdrängen, vielmehr die zu Grunde liegenden Verhältnisse nur anschaulicher zu machen bezwecken.

Orsova, im Juni 1888.

H. Büttner.

Geschwindigkeitsmesser von Brüggemann.**)

(Hierzu Zeichnungen Fig. 4—8 auf Tafel XLI.)

Der nachfolgend beschriebene Geschwindigkeitsmesser verfolgt den Zweck, dem Locomotivführer in jedem Augenblicke die erreichte Geschwindigkeit unmittelbar vor Augen zu führen, damit er den bestehenden Vorschriften betreffend die Bemessung der Fahrgeschwindigkeit nach Maßgabe der Eigenart der zu durchfahrenden Strecke nachzukommen im Stande ist. Von einer Einrichtung zum Verzeichnen der Geschwindigkeit behufs Beaufsichtigung des Führers ist abgesehen, um die Vorrichtung thunlichst einfach zu halten.

Die Einrichtung des Geschwindigkeitsmessers geht aus Fig. 4 Taf. XLI hervor. Die Kurbel o mit dem im Schlitze gleitenden Lager p wird mittels des letzteren mit einem der Triebwerkstheile so in Verbindung gebracht, dass sie bei jedem Umlaufe der Triebachse eine Umdrehung macht. Mittels Kegelarad vorgelege hm versetzt die Kurbel o ein im Spurzapfen laufendes Gefäss a mit parabolischer Wandfläche in Umlauf, in welches ein gleichfalls parabolisch begrenztes, mitten durch-

bohrtes Deckelstück b so hineinragt, dass im Gefässe die beiden gesonderten Räume c innen, d aussen — durch den engen parabolischen Zwischenraum ee verbunden — entstehen. In dem inneren Raume c befindet sich ein leicht beweglicher, eiserner Schwimmer, dessen Gestänge l oben beim Auf- und Niedersteigen das Zeigerwerk des Zifferblattes in entsprechende Bewegung versetzt. Durch den verschliessbaren Einguss n, das Röhrchen q und die Bohrung r werden die Räume c und d des Topfes a mit 2642 gr chemisch doppelt gereinigten Quecksilbers gefüllt. Wird nun der Topf a durch p o h m in Umdrehung versetzt, so steigt das Quecksilber durch die Verbindung ee aus c nach d, wobei die Luft aus d durch die kleinen Bohrungen ii nach c entweicht, und das so bewirkte Niedersinken des eisernen Schwimmers setzt das Zeigerwerk in Bewegung. Das Zifferblatt zeigt die Umdrehungszahl in der Minute, wie auch unmittelbar die Fahrgeschwindigkeit.

Die Empfindlichkeit der Vorrichtung ist genügend gross,

***) Patentirt.

um mittels derselben den Verlauf einer Bremsung genau beobachten zu können.

Um den Ungenauigkeiten Rechnung zu tragen, welche durch Abdrehen der Radreifen entstehen, werden der Vorkehrung drei Zifferblätter beigegeben, welche den Reifenstärken von 65 bis 55^{mm}, 55 bis 45^{mm} und unter 45^{mm} entsprechen.

Bei der Anbringung, welche für die Normal-Personenzug-Locomotive der preussischen Staatsbahnen in Fig. 5 u. 6 Taf. XLI dargestellt ist, sind hauptsächlich die folgenden Punkte zu beachten.

Die Antriebswelle der Kurbel p o muss mit der Achsenmittellinie genau in gleicher Höhe und gleichlaufend liegen (Fig. 5 u. 6 Taf. XLI); der Mitnehmerzapfen, für welchen eine Art der Befestigung am Kuppelstangenkopfe in Fig. 7 u. 8 Taf. XLI im Einzelnen dargestellt ist, muss in seiner Längsrichtung mindestens 7^{mm} und im Steine p der Schlitzkurbel o mindestens 0,5^{mm} Spiel haben.

Man bringe hiernach zuerst das Gefäss a mit dem Vorlege-Gestelle an; beim Aufsetzen des Ständers mit dem Zeigerwerke ist darauf zu achten, dass das Ende des oberen Gestänges genau in die vorher zur Hälfte mit fester Schmiere gefüllte Spurpfanne des Schwimmerstieles greift. Nun wird der Kloben für den Mitnehmerzapfen am Kuppelstangenkopfe befestigt und mit der Kurbel p o durch Einschrauben des Mitnehmerzapfens verbunden; letzterer ist mittels Druckschraube vor dem Losdrehen zu schützen.

Im Betriebe wird die Vorrichtung zugleich mit den übrigen Theilen der Locomotive leicht geölt. Eine Abnahme der Empfindlichkeit deutet Verunreinigungen des Quecksilbers an, welches dann umzufüllen und zu reinigen ist. Jedenfalls muss eine derartige Reinigung alle zwei Jahre stattfinden.

Die Herstellung und der Vertrieb des Geschwindigkeitsmessers, welcher bei versuchsweiser Einführung bei sechs Eisenbahnverwaltungen gut gearbeitet hat, ist von dem Geschäfte P. Suckow & Co. in Breslau übernommen.

Anfahr-Vorrichtung für Verbund-Locomotiven.*)

Von **R. Lindner**, Maschinen-Ingenieur in Chemnitz.

(Hierzu Zeichnungen Fig. 9—13 auf Taf. XLI)

Nach der allgemeinen Anordnung der Dampfleitung für zweicylindrige Verbundlocomotiven gelangt der Dampf in gewöhnlicher Weise in den Hochdruckcylinder, giebt in demselben einen Theil seiner Arbeit ab, strömt hierauf durch ein Verbindungsrohr nach dem Niederdruckcylinder, wirkt in demselben mit dem übrigen Theile seiner Arbeit und entweicht endlich in ebenfalls gewöhnlicher Weise durch das Auspuffrohr nach dem Schornsteine.

Da hiernach der Hochdruckcylinder allein frischen Kesseldampf erhält, ist es ohne Weiteres nicht möglich, eine Verbund-Locomotive in Bewegung zu setzen, wenn entweder der Hochdruckschieber beide Eingangskanäle deckt, oder die Hochdruckkurbel in einem ihrer toten Punkte steht.

Mit Rücksicht auf die um einen rechten Winkel gegen einander verstellten Kurbeln beider Kolben ist es daher nöthig, dass dem Niederdruckcylinder jedesmal frischer Kesseldampf von der grösseren Kolbenfläche entsprechend verminderter Spannung zugeführt wird, damit der Niederdruckkolben die Bewegung der Locomotive einleitet, wenn der Hochdruckkolben keine Triebkraft abgeben kann. Sobald aber dem Niederdruckcylinder mittels besonderer Rohrleitung nach dem Verbinder frischer Arbeitsdampf zugeführt wird, gelangt dieser nicht nur auf die Treibseite des Niederdruckkolbens, sondern auch gleichzeitig auf die Auspuffseite des Hochdruckkolbens. Wenn nun letzterer bei gewissen Kurbelstellungen keinen schädlichen Gegendruck erhalten, und die Locomotive beim Anziehen ihre volle Zugkraft erzeugen soll, muss entweder der dem Hochdruckkolben entgegen wirkende Dampf abgesperrt, oder für denselben unschädlich gemacht werden. Letzteres Verfahren ist in nachfolgend beschriebener Anfahrereinrichtung, welche das Anfahren der Verbund-Locomotive bei allen Kurbelstellungen ermöglicht, eingeschlagen.

Dieselbe besteht aus:

1) dem Ventile V (Fig. 9, 10, 11 u. 12, Taf. XLI), dessen Drehkolben d Dampf von verminderter Spannung aus dem Dampfingangsrohre e (Fig. 9 Taf. XLI) durch das Röhrchen f in den Verbinder c c und mithin nach dem Niederdruckcylinder B (Fig. 10 Taf. XLI) geleitet werden kann.

Der Bewegungshebel g des Drehkolbens d ist mit dem gewöhnlichen Steuerwellenhebel h (Fig. 9 Taf. XLI) durch die Schubstange k so verbunden, dass der grössten Drehung des Steuerwellenhebels ein Ausschlag des Drehkolbenhebels um 90° entspricht. Wenn die Coulissensteuerung nach vorwärts voll ausgelegt wird, so stellt der Kanal m (Fig. 12 Taf. XLI) des Drehkolbens d, wenn dagegen die Steuerung nach rückwärts voll ausgelegt wird, der zu jenem rechtwinkelig stehende Kanal n des Drehkolbens die Verbindung des Dampfingangsrohres e mit dem Verbinder c c her.

2) den mit diesem Anfahr-Drehkolben in Verbindung stehenden Kanälen p und q des Hochdruckschiebers D (Fig. 10 u. 13 Taf. XLI).

Dieselben stellen die Verbindung des Austrittskanals O mit den Einströmungskanälen r und s des Hochdruckcylinders A her, sobald der Schieber D letztere deckt. Die Stegbreite Z (Fig. 13 Taf. XLI) des Schiebers D ist gleich der Weite des Dampfeinströmungskanales, so dass frischer Kesseldampf aus dem Schieberkasten nach dem Austrittskanale nicht übertreten, jedoch der in den Verbinder geleitete Dampf ausser auf die Gegendruckseite zugleich auch auf die Treibseite des bei gedeckten Einströmungskanälen von seinem Hubende entfernt stehenden Hochdruckkolbens gelangen kann. Hierdurch wird dieser von schädlichem Gegendrucke befreit, welcher vorhanden sein würde, wenn der Dampf nur von der Austrittsseite her auf den Hoch-

*) Patentirt.

druckkolben zurückwirkte, und diese Gegenwirkung könnte sich über einen beträchtlichen Theil des Hubes erstrecken, da die Kurbel des Hochdruckcylinders bei der erreichbar grössten Cylinderfüllung von etwa 0,8 des Kolbenweges bis rund 50° vom nächsten todtten Punkte entfernt stehen kann.

Vor Beginn des Anfahrens wird, wie bei jeder gewöhnlichen, mit Dampfvertheilung nach der Zwillingsanordnung gebauten Locomotive, die Coulissensteuerung auf grösste Füllung und mit ihr nach dem oben Gesagten auch die Anfahrereinrichtung eingestellt, welche mit jener in dem beschriebenen festen Zusammenhange steht.

Durch das verhältnismässig enge Rohr *f* wird dem Verbinder *c* und damit dem Schieberkasten des Niederdruckcylinders und beiden Seiten des Hochdruckcylinders, sobald dessen Schieber beide Einströmungskanäle deckt, frischer, nur allmählig in der Spannung anwachsender Dampf zugeführt. Der Hochdruckkolben wird hierdurch in allen Stellungen vollständig entlastet, in denen er nicht unmittelbar durch den frischen Dampf angetrieben wird.

Erfolgt hingegen das Anziehen durch den Hochdruckkolben allein, dann wird letzterer durch den mit voller Spannung wirkenden Dampf in Bewegung gesetzt, ehe noch die Verbinder- spannung, abgenommenen Indicator-Aufzeichnungen zufolge, 2 kg Ueberdruck auf 1 qcm erreicht hat. Der Antrieb mit dem Niederdruckkolben erfolgt deshalb ein wenig langsamer, als der mit dem Hochdruckkolben, aber doch vollständig genügend rasch; das Weiterarbeiten der Locomotive dagegen um so gleichmässiger, weil der Verbinder bereits mit Dampf von genügender Spannung angefüllt ist.

Sobald die Verbund- Locomotive in Gang gesetzt ist, wird, wie bei jeder gewöhnlichen Locomotive, die Steuerung auf eine geringe Cylinderfüllung zurückgestellt, und damit auch das Anfahrventil geschlossen, sodass alsdann die Locomotive mit Verbundmaschine arbeiten muss.

Diese zwangläufige Anfahrereinrichtung ist an 10 Eil- und Güterzug- Locomotiven ausgeführt, an weiteren 7 Personen- und Güterzug- Locomotiven in Ausführung begriffen, und hat sich durch Einfachheit und günstige Ausbildung der Theile, sowie dadurch bewährt, dass trotz ihres Vorhandenseins der Führer der Verbund- Locomotive gegen denjenigen der gewöhnlichen Locomotive keine abweichende Verhaltensmassregeln zu beobachten hat, da zu ihrer Bedienung weder ein besonderer Griff vorhanden, noch ein vorhandener Griff nach neuer Regel zu handhaben ist. Zudem erfolgt durch sie das Anfahren der Verbund- Locomotive mit derselben Sicherheit, wie das der gewöhnlichen Locomotive.

Da der Verbinder kein selbstthätiges Abschlussglied enthält, welches das beim Zurücklegen der Steuerung, bezw. Fahren mit Gegendampf nach dem Hochdruckcylinder tretende Gemisch von Dampf und Luft zurückhalten könnte, so kann im Nothfalle auch bei der Verbund- Locomotive anstandslos Gegendampf gegeben werden, sobald nur noch überdies der Verbinder ein Sicherheitsventil besitzt, das den Druck in demselben nicht über den halben Kesseldruck steigen lässt. Es wirken dann beide Kolben hemmend auf den Gang der Locomotive.

Die Entlastungsdampfkanäle *p* und *q*, deren Breiten nur gering zu bemessen sind, besitzen die werthvolle Eigenthümlich-

keit, dass sie nur bei stillstehendem Schieber, also nur beim Anfahren, einen Druckausgleich herbeiführen, während ihr Einfluss auch bei langsamster Fahrt nicht aus dem Indicator-Diagramm nachgewiesen werden kann, sie somit bei im Gange befindlicher Locomotive thatsächlich unwirksam sind. Es erklärt sich dies durch die kleinen Querschnitte der Kanäle und die Lage der letzteren an Stellen des Schiebers, die beim Durchgange des letzteren durch die Schwingungsmittle rasch über die Eingangskanäle hinweggleiten, während sie in seinen Umkehrpunkten durch die Stege des Schieberspiegels am Cylinder verdeckt werden. Ihre Wirksamkeit erstreckt sich auf sämtliche für das Anfahren nutzbar zu machenden Kurbelstellungen und zwar auf diejenigen, welche zwischen dem Beginne des Schlusses des Eintrittskanals und der Voreinströmung kurz vor Eintritt in den nächsten todtten Punkt liegen. Da ferner die grösste Cylinderfüllung, welche durch die Steuerung gegeben werden kann, im Mittel gewöhnlich 0,8 des Kolbenhubes beträgt, so liegen beispielsweise bei dem Verhältnisse der Kurbellänge zur Treibstangenlänge 1:8,5 und bei der Füllung 0,78 hinter und 0,82 vor dem Kolben die genannten Kurbelstellungen zwischen 128° und 175° und zwischen 308° und 355° .

Der Drehwinkel, innerhalb dessen bei nicht vorhandenen Kanälen *p* und *q* die Hochdruckkurbel beim Anziehen des Niederdruckkolbens ein Gegenmoment erzeugen würde, welches im ungünstigsten Falle das Antriebsmoment der Locomotive über die Hälfte vermindern kann, beträgt sonach bei jedem Hin- und Hergange des Hochdruckkolbens 94° oder 26 % einer Kurbelumdrehung.

In Fig. 9 und 10 Taf. XLI sind die Kurbel- und Kolbenstellungen für Beginn der Vorwärtsfahrt gezeichnet, bei welcher der eine der beiden Entlastungsdampfkanäle des in Fig. 13 Taf. XLI in grösserem Mafsstabe gezeichneten Hochdruckschiebers vollständig wirksam ist, und ein Rückdruckmoment an der noch etwa 50° von ihrem nächsten todtten Punkte entfernten Hochdruckkurbel nicht entstehen lässt.

Die gebräuchlichsten Coulissensteuerungen haben die Eigenthümlichkeit, dass der Drehwinkel des Steuerhändels mit Vergrösserung des Füllungsgrades schnell wächst, so dass beispielsweise bei der Allan'schen Steuerung der Steuerhändel von 0,1 bis 0,2 um 2° , hingegen von 0,7 bis 0,8 um 10° zu bewegen ist.

Der Wirbel des Steuerhahnes *V* ist bei 0,8 Füllung vollständig geöffnet und nach Zurücklegung des Steuerhändels um nur $7,5^\circ$ geschlossen. Es steht alsdann die Steuerung noch auf der hohen Cylinderfüllung von 0,72, mit welcher mit höchst gespanntem Dampfe und mit Rücksicht auf die gebräuchlichen Abmessungen der Verbundcylinder nicht gefahren wird. Im Uebrigen ist das Zuströmen frischen Dampfes zum Verbinder durch das Rohr *f* beim Fahren mit grösster Füllung nicht nachtheilig, da beim Gange der Maschine die Spannung im Verbinder hierdurch nur unwesentlich erhöht wird.

Die beschriebene Anfahrereinrichtung zeichnet sich durch grosse Einfachheit, vollständig zwangläufige Bewegung und zufriedenstellendes Verhalten im Betriebe vortheilhaft aus.

Die Erfindung ist dem Verfasser patentirt; Herr Commerzienrath Ehrhardt in Düsseldorf hat den Vertrieb derselben übernommen.

Dampf-Oelschmier-Vorrichtung von Wildemann.

(D. R. P. No. 41448.)

(Hierzu Zeichnungen Fig. 14—16 auf Taf. XLI.)

Die Dampf-Oelschmier-Vorrichtung von Wildemann*) gehört zu der zahlreichen Gruppe derer, welche den wechselnden Dampfdruck im Cylinder, im Schieberkasten oder der Dampfleitung zur Erzielung der Oelzuführung benutzen. Sie ist in den Fig. 14 bis 16 Taf. XLI in zwei in den Nebentheilen etwas von einander abweichenden Anordnungen dargestellt.

Der Dampf tritt in den Augenblicken hoher Spannung bei a in den Dampfkanal, hebt das Doppelsitz-Ventil bei b und tritt in den Dampfraum c über den Oelspiegel. Bei Minderung des Dampfdruckes wird das Oel bei d in die heberförmige Oelleitung e e gepresst und gelangt durch diese zu der engen Bohrung f für die Regelungs-Schraube g, deren scharf zugespitzte Spindel mehr oder weniger in die Bohrung f tretend hier den Durchflussquerschnitt verengt oder erweitert. Bei h tritt das Oel sodann in den Cylinder oder Schieberkasten aus. Auch beim Leerlaufe ölt die Vorrichtung, da die unten zeitweise entstehende Luftleere das Oel ansaugt. Die Füllung erfolgt durch Oeffnen der Füllschraube, welche in jedem Augenblicke möglich ist, da das kleine Doppelsitz-Ventil b am oberen Ende von a von dem vollen Dampfdrucke gegen den oberen Sitz gedrückt wird; im regelmässigen Betriebe verhindert das Anstossen der Ventilführung an die Unterfläche der Verschlusschraube das Ventil, sich unter die obere Sitzfläche zu legen.

*) Berlin NW., Kronprinzenstrasse No. 25.

Von den ähnlichen Schmiertöpfen unterscheidet sich diese Vorrichtung hauptsächlich durch die Trennung der Oelabfluss-Oeffnung von der Dampfeinströmung, und dadurch, dass durch die heberartige Führung des Oelkanales die Unreinigkeiten des Oeles von den die Abflussmenge regelnden Theilen fern gehalten werden. Leichte Verunreinigungen, welche auf dem Oele schwimmen, können die Oelleitung nicht erreichen, und schwere, zu Boden sinkende lagern sich in der Vertiefung des Oeltopfes unterhalb der Mündung des Oelkanales ab. Sollte doch eine Verunreinigung der Regelungsöffnung vorkommen, so ist sie durch volles Zurückdrehen der Stellschraube g leicht zu beseitigen.

Das Niederschlags-Wasser soll mit dem Oele zugleich durch den Oelkanal ausgetrieben werden.

Durch den Oelvorrath im absteigenden Zweige der Heberleitung soll die Schmierung etwas gleichmässiger werden, als durch Entnahme eines Oeltropfens unter jedem Dampfschlage unmittelbar aus dem Oeltopfe.

Nach vorliegenden Bestellschreiben und Bescheinigungen mehrerer preussischer Eisenbahn-Directionen und bekannter Maschinen-Bauanstalten hat die Vorrichtung bei Versuchen wie im Betriebe gute Ergebnisse geliefert.

Die Kosten der Vorrichtung betragen:

	bei einem Fassungsraume für 100 gr Oel	35 M.
<	<	< 150 < < 40 <
<	<	< 300 < < 50 <
<	<	< 500 < < 60 <

Berechnung der seitlichen Achsverschiebungen bei Locomotiven.

Von A. Wagner, Ingenieur in Bucarest.

Durchfährt eine Locomotive mit festem Achsstande einen Gleisbogen ohne dass in ihrem Kuppelungspunkte ein Zugwiderstand wirkt, so werden die Spurkränze der Aussenräder der Vorder- und Hinterachse an die Aussenschiene des Gleises angepresst. Der Unterschied der Umfangswege zwischen Aussen- und Innenschiene wird alsdann durch die Kegelform der Radreifen gehoben, so dass die Locomotive ohne Klemmungen frei die Bögen durchfahren kann. Wirkt jedoch im Kuppelungspunkte ein Zugwiderstand, so hat unter deren Einflusse die Locomotive das Bestreben, eine derartige Stellung einzunehmen, dass der Spurkranz des Aussenrades der Vorderachse an die Aussenschiene und der des Innenrades der Hinterachse an die Innenschiene angepresst wird. Um nun im letzteren Falle der Locomotive eine freie Durchfahrt zu gestatten, müssen sich die Achsen entweder von einander unabhängig in die Richtung nach dem Krümmungsmittelpunkte einstellen oder gegenseitig in Richtung ihrer Mittelpunktslinien verschieben können.

Unter Annahme, dass ein freies Durchfahren durch Verschiebung der Achsen in der Weise erzielt wird, dass die Lager-

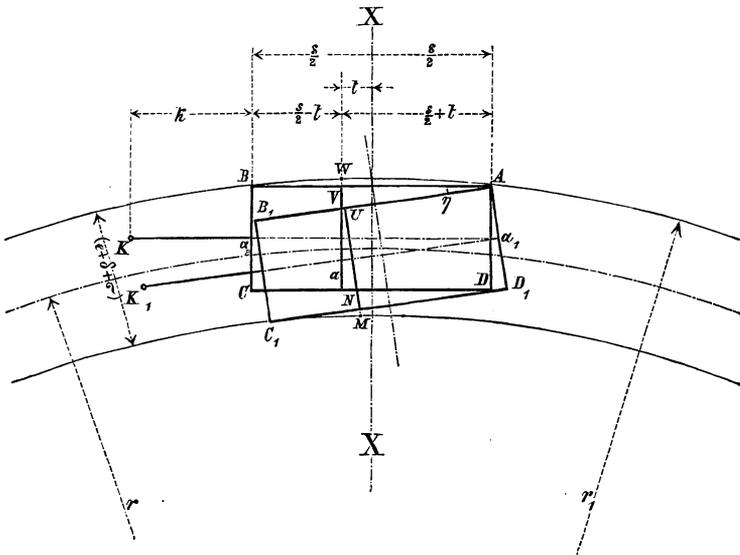
hälse länger sind, als die entsprechenden Lagerschalen, ergeben sich nachfolgende Beziehungen.

Es sei:

- a die Treibachse,
- a_1 die Vorderachse,
- a_2 die Hinterachse,
- s Gesamtabstand der Achsen,
- t Abstand der Treibachse von der Mittellinie (xx Fig. 62 auf folgender Seite) zwischen Vorder- und Hinterachse,
- k Abstand des Kuppelungspunktes von der Hinterachse,
- r_1 Halbmesser der Krümmung der Aussenschiene,
- r Halbmesser der Gleismittellinie,
- e Abstand zwischen den Aussenkanten der Spurkränze eines Räderpaares,
- δ Seitlicher Spielraum zwischen Spurkranz und Schienenkopf,
- σ Spurerweiterung für den Krümmungshalbmesser r,
- x Spielraum zwischen Spurkranz des Innentreibrades mit der Schienenkante.

Verbindet man unter Voraussetzung eines festen Achsstandes die Abstände zwischen den Aussenkanten der Spurkränze der Räderpaare, so werden dieselben durch das Rechteck ABCD (Fig. 62) umschlossen, dessen Lage bezüglich des Gleisbogens näher zu untersuchen ist. Die Darstellung dieses Rechtecks ABCD in Fig. 62 giebt die Lage für den Fall an, dass die Locomotive, ohne einen Zugwiderstand zu überwinden, den Gleisbogen durchfährt, und somit nur dem Einflusse der Fliehkraft unterworfen ist; es würde jedoch unter dem Einflusse des im Kuppelungspunkte K_1 wirkenden Zugwiderstandes im ungünstigsten Falle die Lage $A B_1 C_1 D_1$ (Fig. 62) einnehmen. Zunächst wäre nun für diese ungünstige Lage der Spielraum x zu bestimmen.

Fig. 62.



Aus Fig. 62 folgt: $x = MN$.

Da die seitlichen Verschiebungen der Achsen im Verhältnisse zu den Abständen derselben kleine sind, so kann man genau genug setzen:

$$BC_1 = BB_1 + B_1C_1,$$

woraus folgt:

$$BB_1 = BC_1 - B_1C_1.$$

Nun ist $BC_1 = e + \delta + \sigma$ und $B_1C_1 = e$

folglich $BB_1 = e + \delta + \sigma - e = \delta + \sigma$. . . (1)

Da nun die Geraden AB und AB_1 den Winkel η einschliessen, und BB_1 im Verhältnisse zu AB_1 klein ist, so ist genau genug

$$\frac{BB_1}{AB_1} = \frac{BB_1}{s} = \text{tg } \eta.$$

Der Werth für BB_1 aus Gleichung (1) eingesetzt liefert:

$$\text{tg } \eta = \frac{1}{s} (\delta + \sigma) (2)$$

Zur Bestimmung von $x = MN$ kann man annähernd folgende Beziehung aufstellen:

$$MN + NU + UV + VW = e + \delta + \sigma.$$

Nun ist $MN = x$ und $NU = e$

$$\text{mithin } x + e + UV + VW = e + \delta + \sigma$$

$$\text{und } x = (\delta + \sigma) - [UV + VW] (3)$$

Aus Fig. 62 folgt ferner

$$UV = \left(\frac{s}{2} \pm t\right) \text{tg } \eta = \frac{s \pm 2t}{2} \cdot \frac{1}{s} [\delta + \sigma].$$

Der Abstand t der Treibachse von der Mittellinie des Gesamtsachsstandes ist, je nachdem dieselbe zwischen Mittellinie

und Hinterachse oder Mittellinie und Vorderachse liegt, positiv oder negativ.

$$\text{Ferner ist } VW = \frac{\left(\frac{s}{2}\right)^2 - t^2}{2r_1} = \frac{(s \pm 2t)(s \mp 2t)}{8r_1}.$$

Setzt man die gefundenen Werthe von UV und VW in die Gleichung (3) ein, so folgt

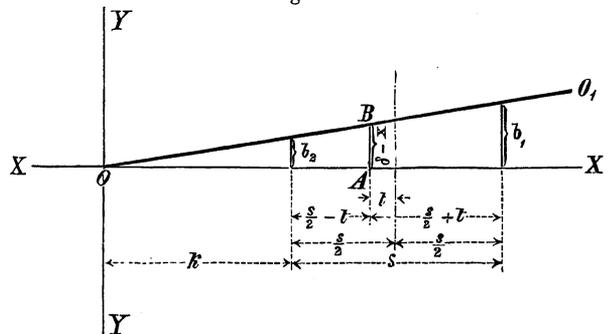
$$x = (\delta + \sigma) - \left[\frac{s \pm 2t}{2} \cdot \frac{1}{s} \cdot (\delta + \sigma) + \frac{(s \pm 2t)(s \mp 2t)}{8r_1} \right]$$

$$x = (\delta + \sigma) - \left(\frac{s}{2} \pm t\right) \left[\frac{\delta + \sigma}{s} + \frac{s \mp 2t}{4r_1} \right].$$

Indem $r_1 = r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}$ gesetzt wird, ergibt sich schliesslich

$$x = (\delta + \sigma) - \left(\frac{s}{2} \pm t\right) \left[\frac{\delta + \sigma}{s} + \frac{s \mp t}{4 \left(r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}\right)} \right] \quad (I.)$$

Fig. 63.



Der Werth von x kann negativ werden, sobald die maßgebenden Grössen derart ungünstige sind, dass ein Heraustreten des Innentreibrades aus dem Gleise erfolgen würde.

Setzt man

$$r = 180 \text{ m}; e + \delta = 1,435; \delta = 0,010 \text{ m}; \sigma = 0,018 \text{ m},$$

$$\text{so wird } x = 0,028 - \left(\frac{s}{2} \pm t\right) \left[\frac{0,028}{s} + \frac{s \mp t}{722,90} \right] . \quad (Ia.)$$

Damit nun beim Durchfahren von Bögen der Spielraum zwischen Spurkranz der Treibräder und Innenkante des Schienenkopfes auf jeder Seite $\frac{\delta}{2}$ betrage, so muss die Treibachse eine

Verschieblichkeit von $2 \cdot \frac{\delta}{2} - x$ erfahren. Den praktischen

Ausführungen entsprechend setzen wir voraus, dass die Treibachse unverschiebbar sei, was zur Annahme, dass dieselbe mit dem Kuppelungspunkte der Locomotive vermittels des Rahmens einen starren Körper bildet, berechtigt. Wirkt nun im Kuppelungspunkte ein Zugwiderstand, so wird für einen bestimmten Gleisbogen die Stellungnahme der Locomotive von der Lage dieses starren Körpers abhängen, dessen Drehpunkt im Kuppelungspunkt liegt. Die der Treibachse zukommende Verschiebung $(\delta - x)$ muss demnach auf alle übrigen Achsen so vertheilt werden, dass die Verschiebungen der einzelnen Achsen zu ihren Abständen vom Kuppelungspunkte in geradem Verhältnisse stehen.

Trägt man (Fig. 63) vom Punkte O als Kuppelungspunkt auf der Geraden XX die Entfernung der Treibachse $k + \left(\frac{s}{2} \mp t\right) = OA$ als Abscisse ab, errichtet in A eine Senkrechte und macht $AB = \delta - x$, verbindet endlich O mit B durch die Gerade OO_1 , so ergeben die Ordinaten zwischen XX und OO_1

für bestimmte Entfernungen der Achsen vom Kuppelungspunkte die entsprechenden Verschiebungen derselben.

Es sei b_1 die Verschiebung der Vorderachse a_1 , so folgt

$$b_1 = (\delta - x) \frac{k + s}{k + \left(\frac{s}{2} \mp t\right)} \dots (4)$$

und für die Hinterachse a_2 wäre die Verschiebung

$$b_2 = (\delta - x) \frac{k}{k + \left(\frac{s}{2} \mp t\right)} \dots (5)$$

Allgemein ist für eine beliebige im Abstände s_n von der Hinterachse befindlichen Achse a_n die Verschiebung:

$$b_n = (\delta - x) \frac{k + s_n}{k + \left(\frac{s}{2} \mp t\right)} \dots (II.)$$

Beispiel. — Bei einer 3kuppelachsigen Locomotive, deren Mittelachse die Treibachse ist, sei:

$$s = 3,42 \text{ m}, k = 2,489 \text{ m}, t = 0,18 \text{ m}; \frac{s}{2} - t = 1,53 \text{ m};$$

$$\frac{s}{2} + t = 1,89 \text{ m}.$$

Für $r = 180 \text{ m}$; $\delta = 0,010 \text{ m}$; $e + \delta = 1,435 \text{ m}$; $\sigma = 0,018 \text{ m}$ war nach Gleichung I a:

$$x = 0,028 - \left(\frac{s}{2} + t\right) \left[\frac{0,028}{s} + \frac{s - t}{722,90} \right].$$

Setzt man die bekannten Werthe von s und t ein, so ergibt sich

$$x = 0,004 \text{ m}.$$

Die Verschiebung der Vorderachse wäre demnach nach Gleichung (4):

$$b_1 = (\delta - x) \frac{k + s}{k + \left(\frac{s}{2} - t\right)} = 0,006 \times 1,47 = 0,009 \text{ m}.$$

Die Verschiebung der Hinterachse ist entsprechend Gleichung (5):

$$b_2 = (\delta - x) \frac{k}{k + \left(\frac{s}{2} - t\right)} = 0,006 \times 0,62 = 0,004 \text{ m}.$$

Hat die Locomotive bloß zwei gekuppelte Achsen, von denen die hintere Achse als Treibachse dient, so wird einfach

$$t = + \frac{s}{2}$$

und wird dieser Werth in Gleichung I eingesetzt, so ergibt sich

$$x = (\delta + \sigma) - \left(\frac{s}{2} + \frac{s}{2}\right) \left[\frac{\delta + \sigma}{s} + \frac{s - \frac{s}{2}}{4 \left(r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}\right)} \right]$$

$$x = (\delta + \sigma) - (\delta + \sigma) - \frac{s^2}{8 \left(r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}\right)}$$

also

$$x = - \frac{s^2}{8 \left(r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}\right)} \dots (6)$$

und die Verschiebung, welche die Treibachse erleiden müsste,

wäre
$$\delta - x = \delta + \frac{s^2}{8 \left(r + \frac{e + \delta + \sigma}{2}\right)}$$

Diese Verschiebung wird nun auf die Vorderachse übertragen; für dieselbe folgt aus Gleichung (4) für $t = + \frac{s}{2}$

$$b_1 = (\delta - x) \frac{k + s}{k} \dots (7)$$

Querschwellen-Oberbau aus alten Eisenbahnschienen, Bauart E. Schmidt.*)

Von L. Schülke in Düsseldorf.

Herr Regierungs- und Baurath Rüppel in Köln hat über diesen Oberbau im »Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens« 1887, Seite 234, einen Aufsatz vom Juni 1886 veröffentlicht, auf dessen Ausführungen ich Folgendes erwidere:

Der Herr Verfasser, dem ich im Monat März 1886 den Schienenschwellen-Oberbau persönlich zu erklären das Vergnügen hatte, hat mir bei dieser Gelegenheit allerdings wenig Hoffnung gemacht, selbst auch nur versuchsweise eine Anwendung meines Patents durch ihn befürwortet zu sehen. Um so dankbarer wird es meinerseits anerkannt, dass von dieser berufenen Seite aus eine öffentliche Besprechung des Oberbaues erfolgt ist, bei welcher auch Versuche damit angerathen werden. Die darin enthaltene Kritik über den Inhalt meiner bezüglichen Druckschrift giebt mir eine erfreuliche Gelegenheit, auf den Schienenschwellen-Oberbau weiter einzugehen. Dass diese erst jetzt erscheint, liegt daran, dass auf Grund der Ergebnisse, welche inzwischen bei den verschiedenen nunmehr 2³/₄-Jahre dauernden Versuchen mit Schienenschwellen weiter gesammelt sind, die Angaben in jenem Aufsätze richtig gestellt und die Vorzüge

der neuen Oberbauart gegenüber denjenigen mit flusseisernen Querschwellen als thatsächliche nachgewiesen werden sollen.

Zunächst wird mir eine oberflächliche Behandlung der Kostenfrage vorgehalten, und meine Druckschriften werden deshalb »Anpreisungsschriften mit sehr rosiger Färbung« genannt, deren Inhalt leicht zur Vornahme von Versuchen in grösserem Umfange verleiten könnte, als nach den thatsächlichen Verhältnissen zweckmässig erscheinen dürfte.

Diese Ansicht könnte wohl durch die Auffassung des Herrn Regierungs- und Baurath Housselle in Berlin in seiner in No. 50 des Centralblatt's der Bauverwaltung vom 11. December 1886 veröffentlichten Darlegung im Allgemeinen als widerlegt erachtet werden, indessen dürfte dadurch im Besonderen nur die Verschiedenheit des beiderseitigen Standpunktes geklärt, nicht aber eine allgemeine Anerkennung der Vorzüge der Schienenschwelle vor der flusseisernen Querschwelle herbeigeführt sein.

Herr Regierungs- und Baurath Housselle sagt nach vorhergehender kurzer Beschreibung meines Oberbaues:

*) Erwiderung auf den Aufsatz: »Querschwellen-Oberbau aus alten Eisenbahnschienen von E. Schmidt«, Organ 1887, S. 234. Zu dieser Erwiderung gehörig ist diesem Hefte eine besondere Druckschrift von L. Schülke in Düsseldorf beigegeben.

»Durch die Einführung dieses Oberbaues werden im Laufe der Jahre ganz ausserordentliche Ersparnisse in Aussicht gestellt und zwar einerseits wegen der verhältnismässig billigen Beschaffungskosten, der wahrscheinlich sehr langen Dauer und des bleibenden Altwerthes der Schienenschwelle, andererseits, weil bei dem grossen Eigengewicht und der guten Stopfbarkeit des Oberbaues sehr geringe Unterhaltungskosten zu erwarten sind. Wir wollen die Rechnungen, nach welchen in 60 Jahren mehr als eine Milliarde Mark gespart werden soll, nicht wiederholen, müssen jedoch hervorheben, dass die ersten Ansätze im Allgemeinen nicht etwa zu Gunsten der Schienenschwelle schöngefärbt sind. Sind vielleicht die Herstellungskosten (einschliesslich Patentgebühr?) etwas gering angesetzt, so erscheint andererseits der Werth der zu verarbeitenden Schienenenden — und damit freilich auch der nach Ausnutzung der Schienenschwelle verbleibende Altwerth — eher zu hoch. Letzteres mag daran liegen, dass der nach genauen Ermittlungen aus dem deutschen Submissionsanzeiger für die Zeit vom 1. Januar bis 1. Juli d. J. entnommene Durchschnittspreis« für Altschienen (4,08 M. für 100 kg) sich im Wesentlichen auf schwere Eisenschienen beziehen dürfte, welche für Bauzwecke noch gesucht werden mögen, während für leichtere Stahlschienen hier beispielsweise in letzter Zeit nur 3,13 M. erzielt sind.

»Wenn die Durchschnittsdauer der Holzquerschwellen auf höchstens 10—12 Jahre, die der flusseisernen auf etwa 15 Jahre und die der Altschienenschwelen auf 80 bis 100 Jahre angenommen wird, so mag ja die Begeisterung des Erfinders dabei etwas hindurchklingen; doch kann uns das nicht abhalten, umfassendere Versuche mit dem neuen Oberbau, behufs Gewinnung eines endgültigen Urtheils, für wünschenswerth zu erklären. Derselbe empfiehlt sich durch seine Einfachheit, die grossen Lagerflächen für die Schienen und die sichere Uebertragung der seitlichen Kräfte vom Schienenfuss durch die Unterlagsplatte auf die Schwelle. Wieviel Unterhaltungskosten er verursacht, wird sich erst nach ausgedehnten Versuchen angeben lassen. Das bedeutende Gewicht der Schwelle — 60 bis 100 pCt. mehr als eine Holzschwelle — lässt aber eine ruhige Lage erhoffen. Eine kleine, leider nur wenige Schwellen umfassende Versuchsstrecke im geraden Hauptgleise auf Bahnhof Grunewald bei Berlin liegt seit sieben Wochen, ohne dass Nachstopfen erforderlich geworden wäre. In der Druckschrift wird ein kleiner, 9 Monate alter Versuch erwähnt, bei welchem sich der Oberbau gut gehalten hat.

»Wenn bei Holz- oder Flusseisen-Querschwelen auf eine 9^m-Schienenlänge 10 Schwellen gerechnet zu werden pflegen, so glaubt der Erfinder, die Zahl seiner Schienenschwellen für die gleiche Länge auf 8 einschränken zu dürfen, weil sie den Schienen mehr Auflagerfläche bieten. Ich möchte von dieser Ersparnis abrathen, da es wohl weniger auf die Auflagerfläche der Schienen als auf diejenige der Schwellen ankommt und da durch den weiteren Schwellenabstand immerhin die Steifigkeit der Schienen und die feste Lage des ganzen Baues beeinträchtigt wird. Dagegen wäre es von Vortheil, wenn sich die Länge der Schwellen noch ein wenig, d. h. auf 2,25^m einschränken liesse. Man könnte dann aus einer 9^m-Schiene genau 4 Schwellenlängen schneiden, während sich sonst ein erheblicher Abfall ergibt. Bei der bedeutenden Steifigkeit der Schwellen ist die Einschränkung vielleicht unbedenklich. Am Kleiseisenzeug lässt sich wohl noch etwas bessern. Die Hauptsache aber ist: Man versuche den neuen Oberbau!

Herr Rüppell stellt die Vergleiche der Kosten bei Verwendung von Schienenschwellen mit denjenigen bei Verwendung von neuen eisernen Querschwelen an, und hält dabei meine

Annahme des Durchschnittsgewichtes einer neuen flusseisernen Querschwelle von $\frac{35+100}{2} = 67,5$ kg für ganz willkürlich.

Es ist bekannt, dass, um der eisernen Querschwelle s. Z. überhaupt Eingang zu verschaffen, das Gewicht derselben äusserst gering, zu 25, später zu 35 kg, bemessen wurde, damit die eiserne Schwelle in Wettbewerb mit der Holzschwelle eintreten konnte. Es zeigte sich jedoch bald, dass die eiserne Querschwelle, so lange ihr Gewicht nicht erhöht wurde, einen Vorzug gegenüber der etwa 100 kg schweren Holzschwelle nicht besass, weil die Unterhaltungskosten der Gleise auf solchen eisernen Querschwelen in Folge der unruhigen Lage der letzteren gegenüber den Unterhaltungskosten der Gleise auf Holzschwellen derart hoch waren, dass dadurch die Vortheile bei eisernen Querschwelen: die sicherere Erhaltung der Spurweite und der höhere Altwerth, nicht weiter in Betracht gezogen werden konnten.

Die einmal erkannten Vorzüge der eisernen Querschwelle zur Erhöhung der Betriebssicherheit gaben jedoch zu dem Bestreben Anlass, das Gewicht der Schwellen zu erhöhen, um auch hinsichtlich einer ruhigen Lage der eisernen Querschwelen und somit des ganzen Gestänges möglichst gleich billige Unterhaltungskosten zu erzielen, wie bei den Holzschwellen.

Es ist selbstverständlich, dass dann erst die Uebereinstimmung der Höhe der Unterhaltungskosten bei beiden Arten von Querschwelen im Wesentlichen eingetreten sein wird, wenn das Gewicht derselben gleich ist. Dieses Gewicht — 100 kg — wird für die eiserne Querschwelle als das höchste wirthschaftlich gerechtfertigte anzunehmen sein. Aus diesen Gründen ist das Durchschnittsgewicht zwischen 35 und 100 kg mit 67,5 kg angesetzt.

Winkler giebt in seinem Werke »Der Eisenbahn-Oberbau« auf Seite 187 das Gewicht der eisernen Querschwelen auf 23 bis 150 kg, im Durchschnitte auf 86,5 kg an.

Franz Heindl, Inspector der k. k. General-Inspection der österreichischen Eisenbahnen in Wien, giebt in seiner Druckschrift »Der Oberbau mit eisernen Querschwelen« Wien 1884 das Gewicht der von ihm entworfenen eisernen Querschwelle für Hauptbahnen auf 72 kg an und sagt über das Gewicht der Schwellen Folgendes:

»Allein bei der Inanspruchnahme, welcher der Oberbau ausgesetzt ist, erscheint die Anwendung von verhältnismässig leichten eisernen Schwellen überhaupt wenig vortheilhaft, da das Gleis vor Allem eines gewissen, in seiner Wirkung auf die sichere Lage durch keinerlei Form der Schwelle zu ersetzenden Eigengewichtes bedarf, um die auf dasselbe einwirkenden Angriffe ohne zu heftige für den dauernden Bestand des ganzen Gefüges schädliche und die Gesamtlage des Oberbaues lockernde Erschütterungen aufnehmen zu können. Für die Wahl des Gewichtes der eisernen Schwelle ist übrigens auch das Mafs der Inanspruchnahme, welcher das Gleis auf Bahnen verschiedener Art ausgesetzt ist, mafsgebend; demgemäss für Hauptbahnen, welche einen dichten Verkehr zu bewältigen haben und mit grossen Geschwindigkeiten befahren werden, die Verwendung von besonders kräftigen eisernen Schwellen geboten erscheint, während auf Bahnen minderer Ordnung, der geringeren Inanspruchnahme des Gleises entsprechend, leichter gehaltene Schwellen verwendet werden können.«

Dr. H. Scheffler, Oberbaurath in Braunschweig, bezeichnet in seinem Aufsätze »Organ« 1887, Seite 94, die von

ihm versuchte 50 kg schwere Eisenschwelle als zu schwach und giebt das Gewicht der von ihm entworfenen Kastenschwelle auf 77 kg an.

Zweifellos dürfte es sein, dass eine 67,5 kg schwere eiserne Querschwelle weit mehr geeignet ist, den an einen dauerhaften Oberbau zu stellenden Anforderungen zu genügen, als eine solche von nur 50 kg Gewicht.

Bei den auf den preussischen Staatsbahnen und auch schon auf mehreren anderen deutschen Bahnen eingeführten schweren Normal-Güterzug-Locomotiven erscheint in Folge der dadurch hervorgerufenen grösseren Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit und ruhige Lage des Gestänges das Durchschnittsgewicht von 50 kg für eiserne Querschwellen unzureichend, weshalb auch schon ein grosser Theil dieser Bahnverwaltungen schwerere eiserne Querschwellen eingeführt hat. Nach den vor Kurzem erfolgten Ausschreibungen für den öffentlichen Verding von eisernen Querschwellen zu urtheilen, ist die Verwendung schwerer Schwellen eine allgemeinere geworden.

Wenn eine 50 kg schwere Eisenschwelle ausreichend erscheinen könnte, so wäre damit noch keineswegs der Beweis erbracht, dass durch die Verwendung schwererer Schwellen — selbstverständlich innerhalb gewisser Grenzen — kein verhältnissmässig höherer Nutzen erzielt würde; und das Vorhandensein eines höheren Nutzens bei einer beispielsweise 67,5, 100 oder 150 kg schweren Eisenschwelle gegenüber einer solchen von 50 kg Gewicht durch die geringeren Unterhaltungskosten und die längere Dauer der Schwellen wird Niemand bestreiten können.

Um aber auf alle Fälle den Verdacht einer einseitigen Behandlung meiner Berechnungen zu Gunsten der Schienenschwelle auszuschliessen, soll dennoch die 50 kg schwere flusseiserne Querschwelle den Vergleichen zu Grunde gelegt werden, obgleich die jetzt schon von preussischen Staatsbahnen zur Verwendung gelangenden Eisenschwellen 10 und 15 % schwerer sind.

In meinen früheren Berechnungen waren die Werthe für Materialien dem »Deutschen Submissions-Anzeiger« entnommen, nämlich 125 M. für 1 t flusseiserne Querschwellen und 40,8 M. für 1 t Altschienen. Für die Zinsrechnung war der Satz von 3 %, für die flusseisernen Querschwellen im Gewichte von 50 kg eine Dauer von 15 Jahren und für die Schienenschwellen im Gewichte von 150 kg eine Dauer von 60 Jahren angenommen worden. Die übrigen Zahlen waren der Statistik des Reichs-Eisenbahn-Amtes Band V Jahrgang 1884/85 entnommen.

Auf Grund der seit jener Zeit bei der fortgesetzten versuchsweisen Verwendung des Oberbaues mit Schienenschwellen gesammelten Erfahrungen — welche, wie schon angeführt, einen Zeitraum von etwa $2\frac{3}{4}$ Jahren umfassen — sind weitere Berechnungen angestellt, die in Zusammenstellungen der beigelegten Druckschrift mitgetheilt sind.

Hiernach stellen sich bei einem Tonnenpreise von 135 M. und der Verwendung von 10 neuen flusseisernen Querschwellen auf 9^m Gleis die Kosten für 1 lfd.^m Gleis auf 8,55 M. bei einem Gewichte von 63,0 kg für eine Schwelle und bei einem Tonnenpreise von 50 M.; und bei Verwendung von 9 Schienenschwellen auf 9^m Gleis belaufen sich die Kosten für 1 lfd.^m einschliesslich der Endverschlüsse auf 10,76 M. bei einem Gewichte von 153,6 kg für eine Schwelle. Diese 153,6 — 63,0 =

90,6 kg kosten demnach nur 10,76 — 8,55 = 2,21 M., oder 22,23 M. für 1 t oder 0,19 % des ursprünglichen Anschaffungswerthes.

Die einmalige Mehrausgabe von 2,21 M. für die Dauer der Schienenschwelle, also für etwa 40 Jahre, beträgt jährlich an Zinsen und Rücklage für Erneuerung etwa 7,5 Pf., welcher Betrag den jährlichen Unterhaltungskosten für 1^m Gleis mit Schienenschwellen zuzurechnen ist, um die Vorbedingungen für die Vergleiche in Uebereinstimmung zu bringen.

Da der Oberbau nur im Verhältnisse zu seinem Eigengewichte, nicht aber auch zu dem der rollenden Last unterstopft werden kann, so ist es klar, dass ein Gleis mit leichteren Schwellen einer umfangreicheren Unterhaltung bedürftig ist, als ein Gleis mit schwereren Schwellen; denn die leichteren Schwellen können nie fest genug unterstopft werden, liegen wegen ihres geringen Eigengewichtes meist locker und sind deshalb den Einwirkungen der rollenden Last, welche sich in seitlichen Verschiebungen und im Wandern des Gestänges äussern, mehr als die schwereren Schwellen ausgesetzt. Hierdurch erwachsen neben der grösseren, bezw. rascheren Abnutzung der Schienen, Schwellen und des Kleineisenzeuges, bei der Unterhaltung des Gestänges mit leichteren Schwellen durch das häufigere Ausrichten und Nachstopfen, Zurücktreiben der Schienenstösse in den Winkel u. s. w., Mehrkosten, welche bei dem Gestänge mit schwereren Schwellen zum grössten Theil fortfallen, und denen gegenüber die eben berechnete Belastung von 7,5 Pf. für das Meter Schienenschwellengleis kaum noch eine Rolle spielt.

In richtiger Würdigung dieser Umstände hat denn auch die General-Direction der Königl. bayrischen Staatsbahnen in München eine eiserne Normal-Querschwelle für Hauptbahnen im Gewichte von 63 kg eingeführt, die sich bis jetzt gut bewährt haben soll.

Herr Rüppell hält ferner die von mir angesetzten Einheitspreise für neue und alte Oberbaumaterialien für unzutreffend.

Zunächst muss daran erinnert werden, dass die Materialpreise von zu vielen Umständen und Zufälligkeiten abhängig sind, als dass die Vorausbestimmung solcher Preise auch nur auf kurze Zeit möglich wäre. Da aber durchaus keine Anzeichen vorhanden sind, welche erkennen lassen, dass sich die Lage unserer Eisen-Gewerbe für die nächste Zukunft anders gestalten könne, als sie während der letzten Jahre war, und nach der Statistik des Reichs-Eisenbahn-Amtes flusseiserne Querschwellen im Durchschnitte während der Betriebsjahre

1883/84 145 M.

1884/85 136 <

1885/86 135 <

für 1 t kosteten, so dürfte die Annahme eines Tonnenpreises von 135 M. auf den der Verwendungsstelle zunächst gelegenen Bahnhöfen zutreffend sein.

Diesem Satze entsprechend darf der Tonnenpreis im Werke auf 120 M. angenommen werden und der Tonnenpreis von 50 M. für Altschienen als hoch gelten.

Da aber der Preis für Altschienen je nach den örtlichen Verhältnissen verschieden ist, habe ich dem beiliegenden Druckhefte eine Berechnung beigegeben, welcher ein Tonnenpreis von 40 bis 70 M. zu Grunde gelegt ist.

Die von Herrn Rüppell angegebenen Einheitspreise für flusseiserne Querschwellen und Altschienen mögen wohl im Bereiche des Eisenbahn-Direktionsbezirkes Köln (rechtsrheinisch) und vielleicht auch in benachbarten Gebieten zutreffend sein; wenn aber die Preise auf Grund der in einem Zeitraume der letzten 3 bis 4 Jahre in den Bezirken sämtlicher preussischen Staatsbahnen erzielten Preise — die sich bekanntlich schon in einem Zeitraume von einem Jahre erheblich ändern — im Durchschnitte berechnet werden, wie dies vom Reichs-Eisenbahnamt geschieht, so stellen sich dieselben anders. Diese Durchschnittspreise mussten von mir deshalb übernommen werden, weil sie amtliches Material bilden und weil ich den Schienenschwellen-Oberbau nicht allein in der Rheinprovinz, vielmehr bei möglichst vielen deutschen Staatseisenbahnen eingeführt zu sehen wünsche.*)

Die von Herrn Rüppell geforderte Berücksichtigung von 12% Abfall beim Ablängen der Altschienen für Schienenschwellen kann wohl an und für sich zugestanden werden, es darf jedoch der Weniger-Werth dieses Abfalles nicht zu Lasten der Schienenschwellen verrechnet werden, weil der weitaus grösste Theil der Altschienen den Hüttenwerken zugeführt wird, und diese die kurzen Abfallstücke lieber annehmen, als Schienen von vollen Längen, welche zur Paketirung vorerst noch zerkleinert werden müssen. Wenn in dieser Beziehung überhaupt ein Preisunterschied vorhanden ist, so dürfte derselbe darin zu finden sein, dass ein Theil der Altschienen immerhin noch zu vorübergehenden Bodenfördergleisen und dergleichen Anlagen oder auch zu Bauzwecken Verwendung findet, so dass für diese Schienen ein höherer Preis erzielt werden kann. Da aber die Altschienen, um die es sich hier handelt, als auch zu wenig befahrenen Bahnhofsnebengleisen unbrauchbar, zum Verkaufe ausgemustert waren, so kann der davon zu den angegebenen Zwecken noch brauchbare Theil ein nur sehr geringer sein, und deshalb von den Eisenbahnverwaltungen ausgesucht und von der Verwendung zu Schienenschwellen ausgeschlossen werden, vorausgesetzt, dass der für diese Schienen erzielte höhere Preis ihre Verwendung zu Schwellen wirtschaftlich nicht rechtfertigt.

Hiernach dürfte ein Minderwerth der Abfallstücke also nicht vorliegen und deshalb eine Belastung der Schienenschwelle mit einem solchen Werthe nicht gerechtfertigt sein.

Herr Rüppell berechnet für Versandkosten zu Lasten einer Schienenschwelle (Organ 1887, Seite 236 und 237):

unter II b, Fracht der Altschiene nach der Sammelstelle	0,068 M.	} abziehen vom Verkaufswerthe der Altschiene — allerdings einschliesslich der Abfallstücke, zusammen 170 kg.
< II c, Auf- und Abladen derselben	0,136 <	
< III b, Fracht der Altschiene von der Sammelstelle nach der Werkstatt und zurück	0,512 <	} zuzurechnen zum Beschaffungswerthe der Schienenschwelle
< III c, Auf- und Abladen derselben	0,256 <	
zusammen	0,972 M.	

*) Anmerkung d. Red. Da der Verfasser sich hier zu den von Herrn Rüppell eingeführten Preisen in einen gewissen Gegensatz setzt, so mag darauf hingewiesen werden, dass Herr Rüppell a. a. O. für neue Flusseisenschwellen im Werke die beiden Preise von 110 M. und 130 M. berücksichtigt, im Mittel also mit dem hier vorgeschlagenen von 120 M. übereinstimmt; der Preis der Altschienen wird für Baulängen a. a. O. mit $0,4 \cdot 110 = 44$ M. und $0,4 \cdot 130 = 52$ M., für kurze Abschnitte mit $0,3 \cdot 110 = 33$ M. und $0,3 \cdot 130 = 39$ M. eingeführt, Preise, welche also nicht höher sind, als die hier mit 40 M. bis 70 M. angesetzten.

Die Statistik des Reichseisenbahnamtes giebt die Preise frei Ablieferungsstelle an, aus diesen Angaben berechnet sich der mittlere Preis von 120 M. für 1 t flusseiserne neue Schwellen im Werke, wenn man eine durchschnittliche Förderweite von 350 km bis zur Ablieferungsstelle annimmt.

Wie den Zusammenstellungen der beigelegten Druckschrift wiederum zu Grunde gelegt und dort auch angegeben ist, kann die Herstellung der Schienenschwelle, wo erwünscht, auch in wandernden Werkstätten erfolgen; hiernach kommen die Kosten III b und c mit 0,768 M. für eine Schienenschwelle in Wegfall.

Die Kosten unter II b und c, mit zusammen 0,204 M., sind allerdings vom Verkaufswerthe der Altschiene abzuziehen; da aber dieselben Kosten für die Rückbeförderung der fertigen Schienenschwelle von der Sammelstelle auf die Strecke entstehen, also dem Beschaffungswerthe derselben zuzurechnen sind, so können diese Kosten, unter Beibehaltung des vollen Verkaufswerthes von 50 M. für die Tonne, doch unberücksichtigt bleiben.

Die Vermuthung des Herrn Rüppell, dass meinerseits die Versandkosten gar nicht in Rechnung gebracht seien, ist sonach unzutreffend; wohl vermisst man beim Durchlesen seiner Berechnung die Kosten für das Verwiegen der Altschienen an der Sammelstelle — wie es durch die Bahnverwaltung vor dem Verkaufe in vorschriftsmässiger Weise zu geschehen hat —, ferner die Kosten für das Aufladen der neuen flusseisernen Querschwellen auf dem der Versendungsstelle zunächst gelegenen Bahnhofs, die Förderung von dort bis zur Strecke und das Abladen daselbst. Diese Kosten sind zu Gunsten der Schienenschwelle in Rechnung zu ziehen. Unbedeutend sind dieselben nicht; denn beispielsweise werden die neuen flusseisernen Querschwellen vom Werke fast nie dem der Versendungsstelle zunächst belegenen, sondern gewöhnlich demjenigen Bahnhofs zugeführt, auf welchem sich die Hauptniederlage des ganzen Directionsbezirkes bzw. Betriebsamtsbezirkes befindet, und von wo aus die neuen Schwellen je nach Bedarf und nach dem festgesetzten Arbeitsplane verladen und zur Verwendungsstelle geschafft werden, welche sich nicht selten 60 bis 100 km weit entfernt befindet.

Man muss auch diese Umstände in Betracht ziehen, um Einseitigkeit völlig zu vermeiden. Die Frachtkosten, um die es sich hier handelt, die also zum Durchschnittspreise von 135 M. für die Tonne neuer flusseiserner Querschwellen und von 50 M. für die Tonne Altschienen hinzukommen, spielen überhaupt nicht mehr die ihnen zugewiesene Rolle, denn, wie bekannt, wird bei den preussischen Staatsbahnen die Beförderung von Dienstgut (Oberbauthellen) bis zu 1 t nicht, im Uebrigen mit 70% der tarifmässigen Fracht berechnet; ganze Sonderzüge, beladen oder leer, kosten an Fracht für das Kilometer 1 M. Im letzteren Falle sind die für eine neue flusseiserne Querschwelle und für eine Schienenschwelle noch zu berechnenden Frachtkosten ganz verschwindende.

In den Zusammenstellungen der beigelegten Druckschrift ist klargelegt, wie sich die Verbrauchskosten des Oberbaues mit neuen flusseisernen Querschwellen zu denjenigen mit Schienenschwellen ohne und mit Berücksichtigung der Unterhaltungskosten stellen. Damit auch hier kein Verdacht auf eine einseitige Behandlung zu Gunsten der Schienenschwelle entstehen

kann, sind Werthe der Altschienen zwischen 40 und 70 M. für 1 t berücksichtigt.

Die jährlichen Unterhaltungskosten des Gleises mit Schienenschwellen werden, wie schon an den kleinen, einige Jahre alten Versuchsstrecken klar hervorgeht, äusserst geringe Zahlen aufweisen; trotzdem habe ich solche bei meinen Berechnungen mit 175 M. für 1 km angenommen. Der Unterhalt des Gleises mit neuen flusseisernen Querschwellen von 50 kg Gewicht kostet jährlich mindestens 350 M. für 1 km, wie die Betriebs-Voranschläge der einzelnen Staatsbahnen ergeben; somit sind die Unterhaltungskosten für 1 km Gleis mit Schienenschwellen mindestens 175 M. geringer. Bei Gleisen mit leichteren flusseisernen Querschwellen wird sich dieser Unterschied entsprechend vermehren, so dass der von mir früher angegebene Unterschied der Unterhaltungskosten von 250 M. unter Umständen wohl zutreffen kann.

Herr Ruppell meint, bei der Einheitlichkeit der Unterlagsplatte und deren Lochung bliebe bei stark abgenutzten Schienen zwischen den beiden Schienenköpfen in der Länge der ganzen Schwelle ein offener Schlitz bis zu 20^{mm} Breite, welcher namentlich bei feinkörniger Bettung das Unterstopfen der Schwelle unmöglich mache.

Die Länge und Lochung der Unterlagsplatte für dieselbe normale Schienenhöhe kann jedoch auch bei Vermeidung dieses Schlitzes einheitlich und zwar unter Berücksichtigung eines grössten Verschleisses von zusammen 30^{mm} von der Höhe der beiden Schienen festgehalten werden. Zu dem Zwecke wird die eine Altschiene ohne Weiteres gebohrt, die andere angelegt, angepasst und der einheitlichen Lochung der Unterlagsplatte entsprechend gebohrt, wozu die Stegbreite hinreichenden Spielraum bietet. Beide Schienen werden an einem Ende als Paar mit altem Drahte durch die Lochung zusammengebunden, wie dies in ähnlicher Weise schon jetzt bei den Gusstahlherzstücken mit den zugehörigen Laschen und Bolzen geschieht. Für andere normale Schienenhöhen etwa desselben Eisenbahn-Directionsbezirkes müssen, insoweit dazu dieselbe Unterlagsplatte wegen unzureichender Breite des Steges der beiden Altschienen nicht verwendet werden kann, selbstverständlich Unterlagsplatten mit anderer Lochung hergestellt werden. Die Zahl der verschiedenartig gelochten Unterlagsplatten lässt sich hierbei möglichst niedrig halten, weil nicht anzunehmen ist, dass sich in ein und demselben Eisenbahn-Directionsbezirke Altschienen von erheblicher Verschiedenheit der Höhe vorfinden.

Eine Aenderung der Unterlagsplatten tritt auch bei den neuen flusseisernen Querschwellen ein, wenn Schienen mit verschiedenen Fussbreiten zur Verwendung gelangen.

Die Breite der Unterlagsplatte für Schienenschwellen ist entsprechend der Fussbreite der darauf zu befestigenden Fahr- schiene von 105^{mm} — Normalschienenprofil der preussischen Staatsbahnen — bemessen. Je nach der Wahl anderer Schienen sind andere Unterlagsplatten bzw. andere Schienenbefestigungs- theile anzuwenden. In jedem Falle ist auf die möglichste Verminderung der Anzahl der verschiedenen Sorten dieses Klein- eisenzeuges Rücksicht genommen, damit übermässige Vorraths- bestände vermieden werden.

Ein besonders hoher Werth wird von Herrn Ruppell auf die Herstellung von Verschlüssen an den Köpfen der Schienenschwellen gelegt, damit dieselben der seitlichen Verschiebung genügenden Widerstand leisten können, weil das Eigengewicht der Schwellen diesen Widerstand nicht zu geben vermöge.

Bei dem Gewichte der Schienenschwelle von 150 kg, sowie in Folge ihrer von der flusseisernen Querschwelle so vortheil- haft abweichenden Querschnittsbildung erscheint ein Kopfver- schluss nicht nothwendig, und es sind seither nur Schienen- schwellen ohne Kopfverschluss verlegt worden.

Sollte ein solcher sich vielleicht bei sehr scharfen Bögen wünschenswerth erweisen, so ist die Anbringung desselben durch ein Winkeleisen höchst einfach.

Wenn bei Verwendung von Stahlschienen zu Schienenschwellen durch eine scharfkantige Ausklinkung für die Lagerung der Unterlagsplatten Querbrüche befürchtet werden, so bemerke ich, dass eine scharfkantige Ausklinkung durchaus nicht erfordert wird. Befände sich dieselbe auf der der Druckstelle der Zug- last entgegengesetzten Seite, also unter der Schienenschwelle, so könnte dadurch eine Gefahr für Querbrüche hervorgerufen sein; bei der thatsächlichen Anordnung der Schienenschwelle ist diese Gefahr ausgeschlossen, zumal unter den Fahr- schienen die Unterstopfung besonders sorgfältig vorgenommen wird. Auf keinen Fall aber könnte ein solcher Bruch auch nur annähernd den Schaden hervorrufen, den eine faul gewordene hölzerne Schwelle ergibt, weil das zweite Schienenstück immer noch ge- nügenden Halt gewähren würde.

Ich will nicht unerwähnt lassen, dass auf Bahnhof Grune- wald bei Berlin theils Stahl-, theils Eisenschienen zu Schwellen verwendet sind, und zwar für Mittelschwellen zwei Schienenstücke aus Stahl, für Stosschwellen das dem Stosse zunächst gelegene Stück aus Eisen, das entferntere aus Stahl. Diese Probestrecke, welche nun schon 1½ Jahre liegt und von Schnell- und Courier- zügen befahren wird, hat sich ausgezeichnet bewährt und dürfte zur Genüge dargethan haben, dass wenig Grund zur Befürch- tung von Querbrüchen vorhanden ist.

Fs muss daran festgehalten werden, dass die flusseisernen Querschwellen eine sorgfältigere und daher theuerere Unterhal- tung bedürfen, als die Schienenschwellen; denn die Mitte der Ersteren darf keineswegs ebenso fest unterstopft werden, wie die Druckstellen. Bei Gleisen mit flusseisernen Querschwellen, welche derart häufig unterstopft werden, dass die Druckstellen stets ebenso liegen, wie die Schwellenmitten, kann wohl, so lange dieses Nachstopfen rechtzeitig geschieht, eine Verbiegung der Schwelle und ein Ausweichen der Schienenköpfe nach Aussen möglichst lange verhütet oder hinausgeschoben werden; dies gilt besonders bei den flusseisernen Querschwellen mit Unter- lagsplatten und gerader Kopffläche. Bei solchen flusseisernen Querschwellen aber, welche gebogene Kopffläche und keine Unter- lagsplatten haben, ist das feste Unterstopfen der Schwellenmitte gradezu betriebsgefährlich, wie die vielen Schwellenbrüche be- weisen, von denen die betreffenden Eisenbahnverwaltungen Zeugnis ablegen können. Es ist dies eine in der Praxis mehrfach auf- tretende Erscheinung, die sich mit den diesen Punkt betreffenden theoretischen Abhandlungen vollständig deckt. Letztere an dieser Stelle zu wiederholen, erscheint überflüssig.

Herr Ruppell gesteht am Schlusse seines Aufsatzes selbst zu, dass auch bei den rheinischen Schwellen mit Unterlags- platten ein Ausweichen der Schienenköpfe nach Aussen, aller- dings in verschwindend geringem Mafse, beobachtet ist; dieser Misstand wird aber zweifellos zunehmen, sobald das Unterstopfen der Druckstellen nicht rechtzeitig geschieht, namentlich wenn die Bettung alt und weniger durchlässig wird.

Solche Mängel sind bei der Schienenschwelle mit ihrem starren Gefüge ausgeschlossen, denn sie liegt auch bei nicht recht- zeitiger oder bei mangelhafter Unterstopfung immer noch betriebs- sicher. Auch hierin ist sie der flusseisernen Querschwelle überlegen.

Im Uebrigen verweise ich auf das beiliegende Druckheft und die darin enthaltene Berechnung, und bemerke noch, dass neuerdings die Directionen Berlin, München und Stuttgart grössere Versuche angeordnet haben.

L. Schülke.



Verlag von **Friedrich Vieweg & Sohn** in **Braunschweig**.
(Zu beziehen durch jede Buchhandlung.)
Soeben erschien vollständig:

Der elektromagnetische Telegraph

in den Hauptstadien seiner Entwicklung und in seiner gegenwärtigen Ausbildung und Anwendung, nebst einem Anhang über den Betrieb der elektrischen Uhren.

Ein Handbuch der theoretischen und praktischen Telegraphie für Telegraphenbeamte, Physiker, Mechaniker und das gebildete Publikum von

Dr. H. Schellen.

Sechste gänzlich umgearbeitete Auflage von
Joseph Kareis.

Mit 813 Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 30 Mark.



Selbstthätiger Oelschmier-Apparat

für Kolben und Schieber von Dampfmaschinen
jeder Anordnung,
Locomotiven, Dampfhammer etc. etc.

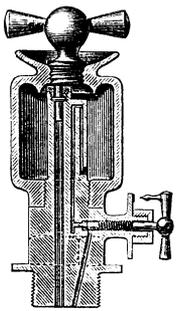
von

Jos. Wildemann jr., Berlin,
Kronprinzen Ufer 25

Deutsches Reichspatent No. 41448

erprobt und wiederholt bezogen von den Königl. Eisenbahndirectionen Berlin, Magdeburg, Hannover, Köln rhh. etc.

Atteste sowie Prospekte stehen zu Diensten.



Patentirte Gasreinigungsmasse.

Mit bestem Erfolg auf vielen Bahngasanstalten zur Reinigung von **Fettgas**, so beispielsweise auf der Bahngasanstalt Hainholz bei Hannover angewandt.

Friedrich Lux

Ludwigshafen a. Rhein.

Anerkennungsschreiben.

Herrn **Friedrich Lux**, Ludwigshafen a. Rhein.

Wie Ihnen vor mehreren Monaten mitgetheilt, fabriciren wir unser Leuchtgas aus **Braunkohlentheer**, und entwickelte das Gas beim Verbrennen einen abscheulichen Geruch, so lange wir die Reinigungsmasse aus Sägemehl, Kalk und Vitriol anwendeten.

Sie selbst bezweifelten, ob wir mit **Luxmasse** diesen Missstand beseitigen könnten, und freut es uns daher um so mehr, Ihnen mittheilen zu können, dass wir seit Anwendung der Luxmasse jeden Missstand vollständig gehoben und ein sehr reines Gas haben.

Amberg, den 26. Mai 1885.

Hochachtend

Gebrüder Baumann
Metallwaarenfabrik.

Einsatzmasse

fabricirt und empfiehlt

Chemnitz i./S.

Max Hengsbach.

Neu erschienen:

Illustriertes Wörterbuch der Eisenbahn-Materialien

für

Oberbau, Werkstätten, Betrieb und Telegraphie.

Gewinnung, Eigenschaften, Fehler und Fälschungen, Prüfung und Abnahme, Lagerung, Verwendung, Gewichte, Preise u. s. w.

für

Eisenbahnbeamte, Studirende technischer Lehranstalten und Lieferanten von Eisenbahnbedarf

von

J. Brosius,

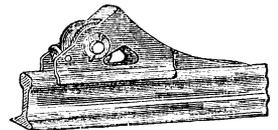
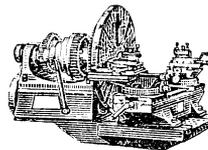
Maschineninspector bei der Kgl. Eisenbahndirection Breslau.

Mit 223 Abbildungen. Preis: Mark 7,—. Gebund. Mark 8,—.

Für **Eisenbahn-Techniker** sowie **Fabrikanten** und **Kaufleute**, die Bau- oder Betriebs-Material für Eisenbahnen liefern, einschliesslich Schmiermittel, Oele, Fette, technische Chemikalien zu Untersuchungszwecken, dürfte dieses kurzgefasste Nachschlagebuch zur raschen Orientirung bei jeglichem Geschäftsverkehr sich als sehr praktisch erweisen.

J. F. Bergmann, Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden.

Maschinenfabrik „Deutschland“ Dortmund.



A. Werkzeugmaschinen.

Specialconstructions

bis zu den grössten Dimensionen den Bedürfnissen der Neuzeit entsprechend für

Hüttenwerke, Maschinenfabriken, Schiffsbau, Eisenbahnen etc.

B. Hebekranne aller Art. Windeböcke.

C. Weichen, Drehscheiben, Schiebepöhlen, Drehbrücken,

Signale, Central-Weichen- und Signal-Stellungen mit den neuesten Verbesserungen. Gasbandagenfeuer, D. R. P. Rollbremsschuhe, System Trapp. Kohlensäure-Feuerspritzen, D. R. P. und Eismaschinen.

PATENTE
besorgt u. verwerthet in allen Ländern
Alfred Lorentz Nachf.
Prospecte gratis. Berlin, Lindenstr. 67.

E. Becker, Maschinenfabrik für Hebevorrichtungen in Berlin, Chausséestrasse No. 100,

fertigt in solider Ausführung unter Garantie sämtliche Hebevorrichtungen für Eisenbahnen und Maschinen-Werkstätten, insbesondere **Kranne, Winden, Aufzüge, Locomotiv- & Tender-Windeböcke, Schraubenflaszüge**, die die Last in jeder Stellung festhalten für 15 bis 60 Ctr., **Fuss- & Schraubenwinden, Winden mit Seitenbewegung etc.**