

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 87/88 (1926)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Das "pi-Meter", ein Mitteldruck-Indikator  
**Autor:** Geiger, Jos.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41003>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

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

INHALT: Das „ $p_i$ -Meter“, ein Mitteldruck-Indikator. — Ueber das schiffahrts-technische Problem Strassburg-Basel. — Erklärungsversuche zur Entstehung des gotischen Rippengewölbes. — Zur schweizerischen Flugexpedition durch Afrika. — Miscellanea: Versuche mit geschweissten Fachwerkträgern. Automobilverkehr und Strassenausbildung. Erfinder-Schutz-Verband der Schweiz. Neuzeitliche Stellwerk-

häuschen in Frankreich. Eidgenössische Technische Hochschule. Der Schluss-Stein am Pont Butin. Vom Wirkungsgrad der Wasserturbinen. — Konkurrenzen: Neubau der Schweizer Volksbank in Solothurn. Evangelische Stadtkirche Frauenfeld. — Literatur: Junge Baukunst in Deutschland. Literarische Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 88. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 21

### Das „ $p_i$ -Meter“, ein Mitteldruck-Indikator.

Von Dr. JOS. GEIGER, Augsburg.

Im Gegensatz zur Elektrotechnik besitzt der Kraftmaschinenbau noch kein allgemein anwendbares Mess-Instrument, an dem ähnlich wie bei Ampère- oder Wattmetern die Leistung unmittelbar abgelesen oder registriert werden könnte. Die verschiedenen Dynamometer, wozu auch die Torsions-Indikatoren gehören, haben aus verschiedenen Gründen bisher nur eine sehr beschränkte Verwendung gefunden. Die sogenannten planimetrierenden Indikatoren und Leistungszähler, die vor dem Kriege auf-tauchten, sind ebenfalls zu keiner Bedeutung gelangt und heute wieder wohl so ziemlich vom Markt verschwunden.

Andererseits besteht gar kein Zweifel, dass ein dringendes Bedürfnis nach einem Instrument vorhanden ist, das die momentane Leistung einer Kolbenkraftmaschine unmittelbar abzulesen gestattet. Die Leistungszähler können, abgesehen von ihren schwerwiegenden praktischen Mängeln, die ihre Anwendung ausschliessen, schon aus dem Grunde nicht in Betracht kommen, weil sie nicht den Momentanwert der Leistung anzeigen, sondern lediglich die pro Kolbenhub geleisteten Arbeiten zusammenzählen.

Das Instrument hat den Zweck, den mittlern Druck im Zylinderinnern von Kolbenkraftmaschinen aller Art in jedem Moment unmittelbar anzuzeigen bezw. unter Umständen dauernd zu registrieren. An Hand der aufgezeichneten Kurve gewinnt man ein einwandfreies Bild über den gesamten Leistungsverbrauch; man sieht sofort, wie sich die Belastung auf die einzelnen Tagesstunden verteilt.

Das Prinzip des Instrumentes besteht in der neuartigen Erkenntnis, dass *zwischen dem mittleren Druck bezogen auf die Zeit und dem mittleren Druck bezogen auf den Kolbenhub ein überraschend einfacher Zusammenhang bei fast allen Kolbenkraftmaschinen besteht*. Um sich dies klar zu machen, beachte man die beigegebenen Diagramme:

In Abbildung 1 sind für eine normale Auspuff-Dampf-Maschine eine Reihe von Diagrammen mit ganz verschiedener Füllung übereinander gezeichnet. Der Druckabfall beim Einströmen und die Drosselung beim Ausströmen sind hier absichtlich nicht in Betracht gezogen, um ganz eindeutig durch die Schiebersteuerung und das thermodynamische Verhalten des Dampfes bestimmte Diagramme zu erzielen. In Abb. 2 sind die zugehörigen Kolben-druck-zeitdiagramme zusammengestellt.

In Abbildung 3 endlich sind die mittlern Kolbenhub-drücke (aus der Abbildung 1 ermittelt und im folgenden der Kürze halber mit  $p_H$  bezeichnet) in Abhängigkeit von den mittlern Kolbenzeitdrücken (als mittlere Höhe aus der Abbildung 2 bestimmt und im folgenden mit  $p_Z$  bezeichnet) aufgetragen. Trotzdem die Füllung innerhalb ausserordentlich weiter Grenzen (von 10 bis 60 %) schwankt, liegen die einzelnen Werte praktisch genau auf einer Geraden, die von einem in einem bestimmten Abstand vom Nullpunkt gelegenen Punkte ausgeht. Diagramme mit sehr starker Drosselung beim Ein- und Ausströmen haben ganz ähnliche Verhältnisse gezeigt. Natürlich lässt sich diese geradlinige Abhängigkeit auch in Gleichungsform bringen. Sie lautet z. B. für den Fall der Abbildung 3

$$p_H = 4,76 (p_Z - 2,48)$$

Untersucht man auf die selbe Weise für andere Kolbenmaschinenarten die Abhängigkeit des mittlern Kolbenhub-druckes  $p_H$  vom Kolbenzeitdruck  $p_Z$ , so ergibt sich in fast allen Fällen genügend genau die *gerade Linie*. Für Diesel-Motoren ist diese Abhängigkeit besonders eingehend untersucht worden. Namentlich wurde auch ermittelt, von welchem Einfluss stark verschiedene Höhe der Kompression, insbesondere aber sehr verschiedener Verlauf der Verbrennung (starkes Nachbrennen ausgesprochener Vorzündler) sind. In Abbildung 4 sind für Viertaktmotoren unter ausdrücklicher Berücksichtigung auch sehr extrem liegender Werte, wie für Kompressionen von nur 24 at oder 37 at, eine grosse Reihe von Werten auf Grund von abgenommenen Indikator-Diagrammen zusammengestellt, wobei jene Werte, bei denen die Kompression die selbe ist, jeweils durch eine gestrichelte Linie miteinander verbunden sind.

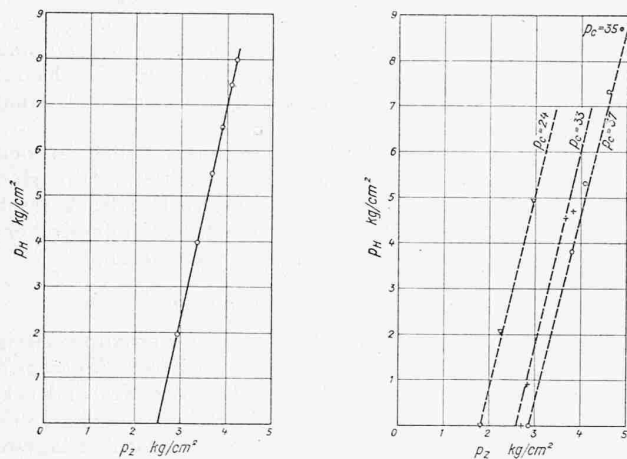


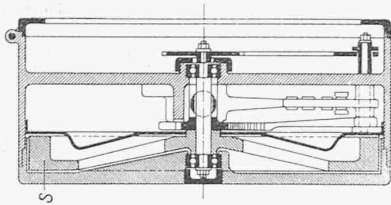
Abb. 3 und 4. Mittlere Drücke bezogen auf den Kolbenhub ( $p_H$ ) in Funktion der mittlern Drücke bezogen auf die Zeit ( $p_Z$ ) für eine Auspuff-Dampfmaschine für einen Viertakt-Dieselmotor ( $p_c$  = Kompressionsdruck).

Zu gleicher Ablesung am Leistungszähler können je nach Belastung und deren Dauer ganz verschiedene Werte des effektiven Leistungsverbrauches gehören. Man muss also, auch wenn das Instrument mathematisch genau arbeiten würde, zu ganz irrümlichen Schlüssen hinsichtlich des Brennstoff-Verbrauches gelangen.

Auf Grund dieser Gedankengänge entstand das  $p_i$ -Meter oder der Mitteldruck-Indikator, der im folgenden kurz erläutert werden soll.

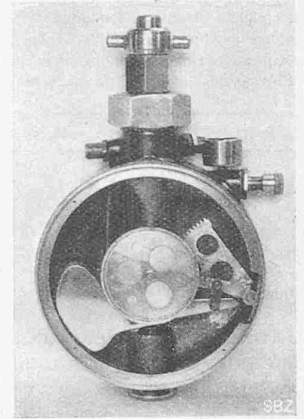
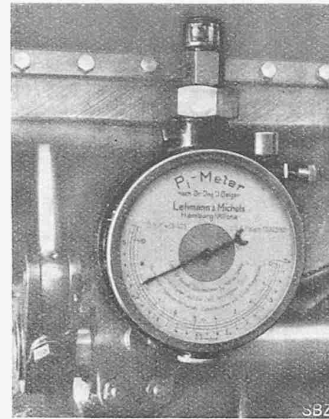
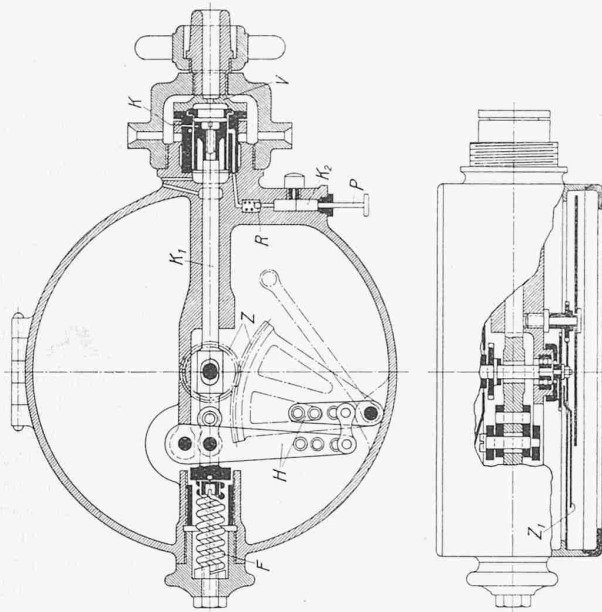


Abb. 1 und 2. Kolben-druck-Hubdiagramme und Kolben-druck-Zeitdiagramme einer normalen Auspuff-Dampfmaschine für verschiedene Füllungen.



Das „p-Meter“  
von Dr. J. Geiger.

Abb. 6 bis 8.  
Schnitte  
und Ansichten.



Man erkennt ohne weiteres, dass für eine bestimmte Kompression die zugehörigen Werte genügend genau auf einer Geraden liegen, trotzdem die mittlern indizierten Drücke von 0 bis 8,35 at, d. h. also soweit als praktisch überhaupt möglich geändert wurden, ferner dass trotz der starken Verschiedenheit im Verlauf der Verbrennung die Gerade die Abhängigkeit richtig wiedergibt. Für andere Kompressionen tritt lediglich eine Parallelverschiebung ein. Hieraus ergeben sich folgende Formeln zur Berechnung des mittlern Kolbenhubdruckes aus dem mittlern Kolbenzeitdruck für Zweitakt-Oelmotoren:

$$p_H = 8,5 (p_Z - 0,0811 p_c)$$

für Viertakt-Oelmotoren:

$$p_H = 4,25 (p_Z - 0,0811 p_c)$$

Dabei ist  $p_c$  der Kompressions-Enddruck. Für eine gegebene Kompression (und diese wird während des Betriebes nie geändert) sind also die Formeln ebenso einfach, wie die zuvor gefundenen. So ergibt sich z. B. für 32 at Kompression und Zweitakt

$$p_H = 4,25 p_Z - 11.$$

Für Pumpen erkennt man ohne weiteres durch Ueberlegung, dass die Abhängigkeit des mittlern auf die Zeit bezogenen Druckes vom mittlern auf den Hub bezogenen Druck durch eine gerade Linie, die durch den Nullpunkt geht, sich darstellen lassen muss.

Für die Kompressoren ist die Abhängigkeit der beiden Druckarten von einander eingehend und innerhalb sehr weiter Druckgrenzen untersucht worden. Wird Luft aus dem Freien angesaugt und in einer Stufe auf verschiedene Drücke komprimiert, so ergibt sich die in Abbildung 5 dargestellte Kurve. Man erkennt, dass diese zwar keine gerade Linie ist, aber doch

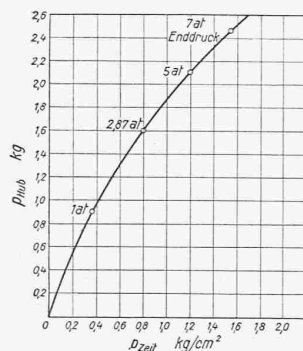


Abb. 5. Mittlere Drücke bezogen auf den Kolbenhub, in Funktion der mittlern Drücke bezogen auf die Zeit, für verschiedene Enddrücke bei Kompressoren.

innerhalb derjenigen Grenzen, zwischen denen der Druck in praktisch vorkommenden Fällen sich ändern kann, vollkommen genügend genau durch eine gerade Linie sich darstellen lässt. Für den Fall, dass wirklich ein Kompressor gebaut wird, bei dem der Enddruck von 0 at bis 8 at und darüber schwankt, lässt sich die dargestellte Abhängigkeit des mittlern Hubdruckes vom mittlern Zeitdruck an der Skala durch verschieden weit von einander entfernte Abstände mühelos wiedergeben, sodass auch für diesen Fall die unmittelbare Ablesung des mittlern Hubdruckes möglich wird, wenn es gelingt, ein Instrument zum Anzeigen des mittlern auf die Zeit bezogenen Druckes zu bauen.

Man erkennt hieraus, dass es für ein gegebenes Kolbenmaschinensystem bzw. allgemein für gegebene Verhältnisse immer einen sehr einfachen Zusammenhang zwischen dem mittlern Kolbenhubdruck bezogen auf den Hub und dem mittlern Kolbenhubdruck bezogen auf die Zeit gibt. Kennt man den letzten, so ist es leicht, den ersten und damit die momentane Leistung anzugeben.

Allgemein finden wir: Wenn es uns möglich ist, den mittlern Zeitdruck genügend genau zu ermitteln, dann sind wir auch in der Lage, daraus den mittlern Hubdruck rasch zu bestimmen bzw. auf einer für die betreffende Kolbenmaschine passenden Skala unmittelbar abzulesen.

Beschreibung des Instruments.

Es lässt sich zeigen, dass es auf verhältnismässig sehr einfache Weise möglich ist, den mittlern Kolbenzeitdruck zu ermitteln. Man bedenke, dass das Kolbenhubdruck-Diagramm, bezogen auf die Zeit, abgesehen von der Linie mittlern Druckes, aus einer Reihe von sich darüber lagernden sinusförmigen periodischen Kurven verschiedener Frequenz besteht, die man durch harmonische Analyse ermitteln kann. Baut man einen Indikator derart, dass dessen Eigenfrequenz geeignet tief unter der Wechselzahl dieser periodischen Kräfte liegt, so spricht er auf diese nicht mehr an: der Kolben stellt sich von selbst auf eine dem mittlern Druck entsprechende Lage ein.

Hierbei wirkt der Kolben K (Abbildung 6) über eine Kolbenstange  $K_1$  und Hebel- bzw. Zahnradübersetzungen H und Z mit sehr starker Vergrößerung auf ein Schwungrad S ein, von dem aus direkt der Zeiger  $Z_1$  betätigt wird. Eine leicht auswechselbare, nach Art der bekannten Indikatorfedern gebaute Feder F sichert dem Kolben seine dem jeweiligen mittlern Druck entsprechende Gleichgewichtslage. Sämtliche Uebertragungsteile sind gehärtet und daher geringster Abnutzung unterworfen.

Soweit die grundsätzliche Konstruktion des Instrumentes. Es ist naheliegend, dass für ein in der Praxis brauchbares Instrument noch eine Reihe weiterer Massnahmen getroffen werden mussten.

Um die Ablesung des mittlern Druckes auf ein paar Meter Entfernung und mit grosser Genauigkeit zu ermöglichen, wurde die Vergrößerung zwischen Kolben und Schwungrad bzw. Zeigerbewegung sehr stark gewählt.

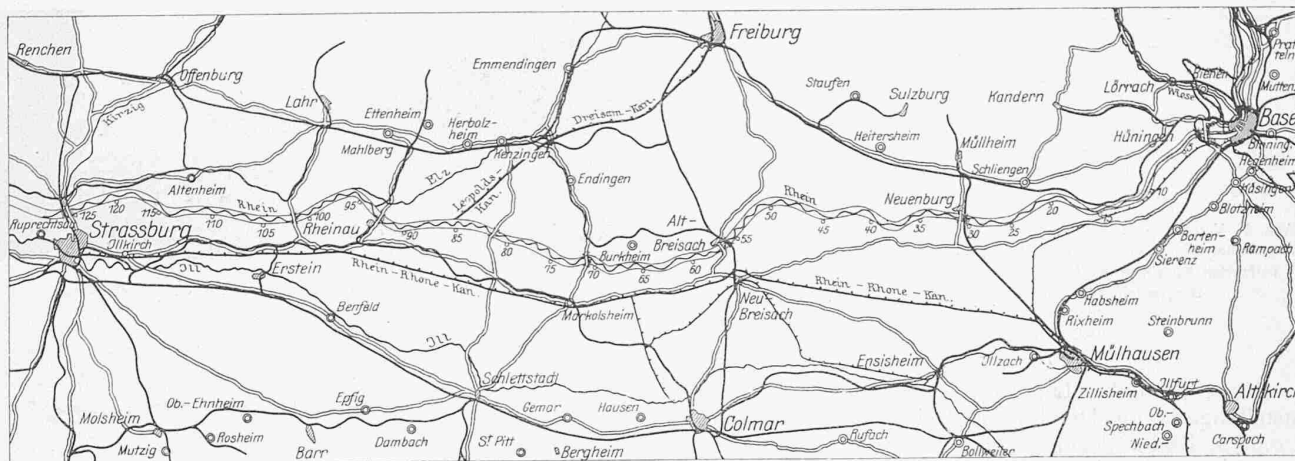


Abb. 1. Schematische Darstellung der Oberrheinstrecke von Basel bis Strassburg, mit elsässischer Kilometrierung.

Neben der Zeitdruckskala ist noch eine Hubdruckskala angeordnet, sodass unmittelbar der mittlere auf den Hub bezogene Druck abgelesen werden kann. Diese Hubdruckskala ist natürlich für jeden Maschinentyp (Dampf- oder Gasmachine, Dieselmotor oder Pumpe) verschieden.

Um auch bei den ganz langsam laufenden Viertakt-Maschinen, dem in diesem Falle ungünstigsten Typ, eine ruhige Zeigereinstellung zu ermöglichen, sind noch folgende Massnahmen vorgesehen: a) das Schwungrad bewegt sich mit überall sehr engem Spiel in einem allseits verschlossenen Behälter; das Spiel wird mit dickflüssigem Oel ausgefüllt; b) der Zeiger ist mit dem Schwungrad nicht starr, sondern sehr elastisch gekuppelt, ist dagegen starr mit einer zweiten kleinen Schwungmasse verbunden, welche letztere als Dämpferscheibe ausgebildet und in ein allseits verschlossenes Gehäuse mit engem Spiel eingebaut ist. Durch diese Massnahmen ist es möglich geworden, dass, wie die Erfahrung zeigt, der Zeiger auch bei langsamlaufenden Maschinen nur um etwa  $\frac{1}{100}$  bis  $\frac{2}{100}$  at schwankt und ein Ablesen bis auf ein Hundertstel noch möglich ist.

Ein Kolben ist kein Organ, das absolut dicht hält. Je nach der Art der Maschine, ob Dampfmaschine oder Verbrennungsmotor, werden daher Kondensat oder Verbrennungsgase hinter den Kolben treten. Um diesen den Eintritt ins Innere des Instrumentes mit Sicherheit zu verhindern, ist ein Abzugröhrchen angebracht, das direkt ins Freie mündet.

Eine weitere Massnahme, die nur bei Verbrennungsmotoren bei längerem Betrieb notwendig ist, besteht in der Anordnung einer Kühlung der Zylinderbüchse durch strömendes Wasser und in der Anordnung einer Vorlage, um zu verhindern, dass Rückstände, die in den heissen Gasen enthalten sind, wie Koks, Russ, sich auf der Kolbenlaufbahn festsetzen.

Hinsichtlich der Genauigkeit des Instrumentes ist folgendes zu bemerken: Im Gegensatz zum normalen Indikator fällt die Schreibstiftreibung weg; die Reibung in der Zylinderbüchse ist kleiner, weil der Kolben im Gegensatz zu Indikatoren sehr gross, die Kolbenführung ausserordentlich lang und die Zylinderbüchse gut gekühlt ist. Die Feder liegt an der der gekühlten Zylinderbüchse entgegengesetzten Seite und bleibt daher vollkommen kühl. Auch nach monatelangem Betrieb kehrt beim Schliessen und darauffolgenden Öffnen des Indikatorhahnes der Zeiger immer sehr genau in die dem jeweiligen mittlern Drucke entsprechende Gleichgewichtslage zurück.

Zu erwähnen ist noch, dass ein und dasselbe Instrument auch an ganz beliebigen Kolbenmaschinen verwendet werden kann, wenn man sich mit der unmittelbaren Ablesung des mittleren Zeitdruckes begnügt und daraus nach der für die betreffende Kolbenmaschine geltenden einfachen Beziehung zwischen Hub- und Zeitdruck den Hubdruck ermittelt.

## Ueber das schiffahrtstechnische Problem Strassburg-Basel.

Von Schiffbau-Ingenieur JULIUS OTT, S. I. A., Direktor der S. S. G., Basel

[Auf Seite 2 laufenden Bandes (Basler Ausstellungsnummer) findet der Leser in einer Fussnote den Hinweis auf die bisherigen zahlreichen Berichterstattungen der „S. B. Z.“ über die schweizerischen Schiffahrtsfragen, insbesondere die Schiffahrt auf dem Oberrhein. Jene Berichte handeln einerseits vorwiegend von den hydrologischen und wasserbautechnischen Problemen, andererseits von den rechtlichen Verhältnissen, die dabei von Wichtigkeit sind. Nun hat Ing. Jul. Ott, der als technischer Direktor der Schweizer Schlepsschiffahrts-Genossenschaft in Basel über reiche Erfahrung im nautischen Betrieb der Rheinschiffahrt verfügt, in der Fachschrift „Werft, Reederei, Hafen“ (Nr. 14 vom 22. Juli d. J.) hierüber aufschlussreiche Mitteilungen veröffentlicht, in denen wir eine wertvolle Vervollständigung unserer eigenen bisherigen Berichterstattung erblicken. Im Einvernehmen mit Autor und Herausgeber von „W. R. H.“ geben wir deshalb nachstehend das Wichtigste von den Ausführungen Otts auch dem Leserkreis der „S. B. Z.“ bekannt, unter Weglassung ganz speziell schiffbautechnischer Teile (z. B. Diskussion der zahlreichen Modellschleppversuche), hinsichtlich derer auf den Originalaufsatz verwiesen sei. Die Mitteilungen von Ing. Ott mögen insbesondere zeigen, mit welchen nautischen Schwierigkeiten die Schiffahrt im unregulierten Bett zu kämpfen hat, wie dringend nötig ihr somit die Durchführung der von der Rhein-Zentralkommission grundsätzlich beschlossenen Regulierung Strassburg-Basel ist. Die Red.]

Von Strassburg an aufwärts ergeben sich nachstehende verschiedene mittlere Gefälle<sup>1)</sup>, wobei für die Bemessung der Höchstleistung eines Schlepddampfers das Maximalgefälle entscheidend ist:

auf 10,5 km	0,65 ‰	auf 26,1 km	0,94 ‰
„ 21,9 km	0,73 ‰	„ 16,0 km	0,93 ‰
„ 35,8 km	0,85 ‰	„ 16,9 km	1,10 ‰
Total . . .		127,2 km.	

Ausserdem ist ein willkürliches Fahren über die ganze Strombreite durch grosse Kiesablagerungen unmöglich. Die Schiffe müssen sich ihre Fahrinne selbst suchen und sich zwischen zwei Kiesbänken hindurchklavieren, falls ihnen auf der einen Stromseite der Weg versperrt ist. Die Durchfahrt zwischen zwei in der Stromrichtung längsgelagerten Kiesbänken wird als Uebergang bezeichnet. Zwischen Strassburg und Basel gibt es etwa 90 solcher Uebergänge, die sich durch das stete Wandern der Kiesbänke ständig verändern und besonders störende Untiefen für die Schiff-

<sup>1)</sup> Ausführliche Angaben über Gefälle, Strombreiten, Tiefen u. a. m. siehe „S. B. Z.“ Band 80, Seite 71 (12. August 1922). Red.