

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 17 (1926)  
**Heft:** 9  
  
**Artikel:** Wirtschaftliche Betrachtungen über die Rheinschiffahrt  
**Autor:** Strickler, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059807>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 10.01.2026

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

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des  
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des  
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke

REDAKTION

Zürich 8, Seefeldstr. 301

Secrétariat général de  
l'Association Suisse des Electriciens et de  
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.  
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der  
Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et  
sans indication des sources

XVII. Jahrgang  
XVII<sup>e</sup> Année

Bulletin No. 9

September 1926  
Septembre

### Wirtschaftliche Betrachtungen über die Rheinschiffahrt.

Vortrag, gehalten an der Generalversammlung des S. E. V. am 15. August 1926

von Dr. Ing. A. Strickler,

Sektionschef des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, Bern.

626

*Anhand einiger graphischer Darstellungen werden die hauptsächlichsten Grundfaktoren erörtert, welche die in der Rheinschiffahrt bezahlten Frachtsätze bestimmen. Damit soll eine allgemeine Orientierung über die wirtschaftlichen Fragen in der Rheinschiffahrt ermöglicht werden, soweit sie für die Schweiz von allgemeiner Bedeutung sind.*

*L'auteur explique à l'aide de quelques graphiques quels sont les facteurs principaux qui déterminent les frais de transport sur le Rhin. Ces facteurs donnent une idée générale des questions économiques en relation avec la navigation sur le Rhin, pour autant que celle-ci intéresse la Suisse.*

Mit der Fertigstellung der neuen rechtsufrigen Basler Hafenanlagen, zu welchem Anlass die internationale Ausstellung für Binnenschiffahrt und Wasserkraftnutzung veranstaltet wurde, ist Basel in die Reihe der wichtigsten Rheinhafenstädte eingetreten. Da sich der wirtschaftliche Einfluss der Rheinschiffahrt naturgemäss nicht auf Basel beschränkt, sondern sich auf einen grossen Teil der Schweiz ausdehnt, mag die diesjährige Generalversammlung des S. E. V. zum Anlass genommen werden, durch einige Betrachtungen aus dem Gebiete der Rheinschiffahrt das Interesse weiterer elektrotechnischer Kreise an diesen Fragen zu gewinnen. Meine Darlegungen will ich auf den ganzen Rhein ausdehnen, und nicht etwa auf die oberste, dem schweizerischen Rheinhafen zunächst gelegene Strecke beschränken. Denn nicht diese allein, sondern auch die mittlern und ebenso sehr die untersten Stromabschnitte sind für unser Land von wirtschaftlicher Bedeutung.

Die Vielgestaltigkeit in der Bildung der Frachtsätze der Rheinschiffahrt beruht auf den grossen Verschiedenheiten in den Besitz- und Betriebsverhältnissen des Schiffergewerbes. Während man im Eisenbahnwesen nur mehr oder weniger feste, allgemein verbindliche Tarife kennt, werden die Rheinfrachten meistens entweder auf Grund freier Vereinbarung zwischen dem Verfrachter und dem Schiffer für jeden einzelnen Fall oder auch börsenmässig an der Schifferbörse in Ruhrort festgesetzt. Wie es bei der Ausübung eines solchen freien Gewerbes mit einer grossen Zahl von Konkurrenten nicht anders möglich ist, sind daher die Frachtsätze für dieselben Strecken und dieselben Transportleistungen zeitlich sehr starken Schwankungen unterworfen, je nach der Marktlage, nach Angebot und Nachfrage bezüglich Kahnraum und Schleppkraft. Selbstverständlich spielen auch die Selbstkosten, je nach dem schwankenden Wasserstand, die Rolle eines stark veränderlichen Bestimmungselementes.

Die zwei Hauptbestandteile der Selbstkosten des Schleppbetriebes sind die Kahnkosten und die Schlepp- oder Traktionskosten. Demgemäss setzt sich auch die Gesamtkraft, wenn sie nicht als solche vereinbart ist, aus der Kahnfracht und dem Schlepplohn zusammen. Die folgenden Ausführungen seien auf den Schleppbetrieb beschränkt. Wohl gibt es auf dem Rhein eine wachsende Zahl von Güterdampfern, namentlich für Stück- und andere hochwertige Güter; der weitaus überwiegende Massengüterverkehr wird aber fast ausschliesslich in geschleppten Kähnen bewältigt, was viel billiger ist als ein Transport in Schiffen mit eigener Triebkraft.

Einen Ueberblick über die Grösse des Rheinverkehrs im Jahre 1922 gibt Fig. 1<sup>1)</sup>. Auf der abgewinkelten Rheinlänge von Basel bis Rotterdam als Abszissen

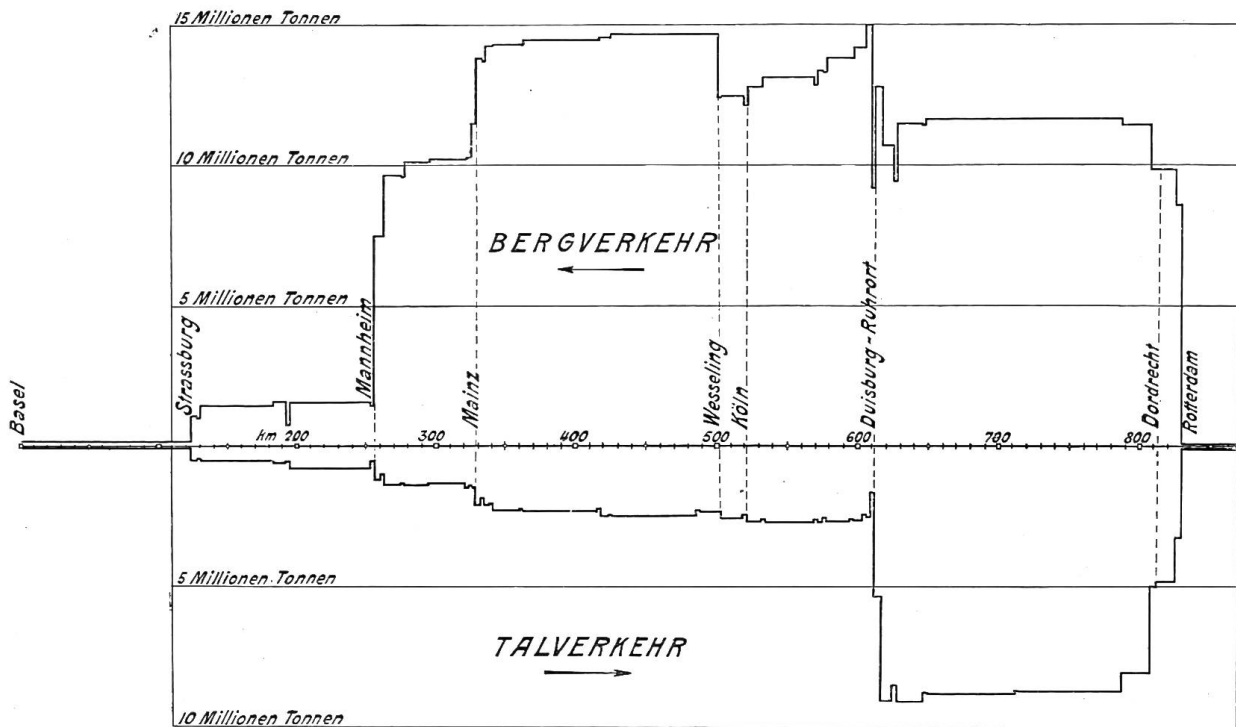


Fig. 1.

Hafen- und Stromverkehr auf dem Rhein im Jahre 1922.

sind die Verkehrsdichten in der Bergrichtung als Ordinaten nach oben, die Verkehrsdichten in der Talrichtung als Ordinaten nach unten aufgetragen. Die in den Häfen umgeschlagenen Mengen kommen als vertikale Striche zur Darstellung. Daraus ist in erster Linie die überragende Stellung der Häfen von Duisburg-Ruhrort, sowohl im Berg- als im Talverkehr, ersichtlich. Während unterhalb dieser Häfen der Verkehr in beiden Richtungen sehr bedeutend ist, sinkt der Talverkehr oberhalb Duisburg auf einen bescheidenen Bruchteil des Bergverkehrs.

### 1. Die Kahnkosten.

Die auf dem Rhein verkehrenden Schleppkähne sind bezüglich ihrer Grösse von grösster Mannigfaltigkeit. In Fig. 2 sind 4 verschiedene Typen, nämlich von 300, 600, 1000 und 1500 t Tragfähigkeit hervorgehoben, wobei aber besonders erwähnt werden soll, dass es unzählige Uebergangsformen gibt. Eigentliche feststehende Typen gibt es erst seit kurzem, z. B. der sogenannte Regelkahn von 80 m Länge, 9,5 m Breite und 2,5 m max. Tiefgang, mit ca. 1350 t Tragfähigkeit. Die Tageskosten pro Tonne Kahnraum verlaufen im Durchschnitt ungefähr nach der Linie in Fig. 2. Grössere Kähne sind in der Anschaffung und im Betrieb (Bedienungs-

<sup>1)</sup> Gemäss Jahresbericht der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt.

mannschaft), auf die Einheit des Raumes bezogen, billiger als kleine Kähne, und zwar derart, dass ein 1500 t-Kahn ungefähr die halben Tageskosten pro Raumeinheit verursacht wie ein 300 t-Kahn. Dagegen ist beim erstern die Liegezeit im Hafen zum vollen Laden oder Löschen im Durchschnitt für das ganze Rheingebiet etwa dreimal so gross wie für den 300 t-Kahn. Die Kosten, die durch das Liegen des Kahnes in den Häfen (nicht zu verwechseln mit den Umschlagskosten!) für eine Tonne Nutzlast auflaufen, ergeben sich durch Multiplikation der Tageskosten mit der doppelten Liegezeit (für Laden *und* Löschen). Sie sind bei grossen Kähnen, trotz der geringern Tageskosten, etwas höher als bei den kleinen Schiffen; der Verlauf ist in Fig. 2 durch die Linie „Liegekosten pro Tonne Nutzlast“ im grossen Durchschnitt für den ganzen Rhein dargestellt.

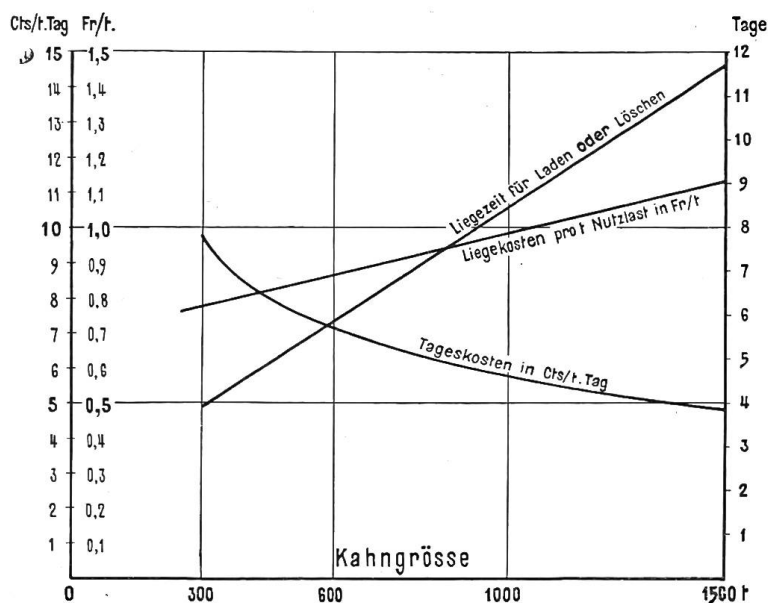


Fig. 2.  
Elemente der Kahnkosten.

Aus Fig. 3 ist der Einfluss der Transportdistanz und der Kahngrösse auf die Höhe der Kahnfrachten ersichtlich. Die geraden Linien, deren Ordinaten die Kahnfrachten pro Tonne für die betreffenden Streckenlängen darstellen, schneiden auf der Ordinatenachse Abschnitte ab, die mit den soeben besprochenen Liegekosten identisch sind. Die Neigungen dieser Geraden entsprechen den Tageskosten während der Fahrt, für welche letztere eine konstante durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 60 km pro Tag und ein mittlerer Belastungsgrad von ca. 65% für die Bergfahrt, bzw. 150 km pro Tag und 20% Beladung bei Talfahrten angenommen sind. Je grösser die Transportdistanzen werden, umso grösser wird der wirtschaftliche Vorsprung der grossen Kähne, soweit es die Kahnkosten allein betrifft; bei kleinen Distanzen, z. B. unter 200 km, ist der kleinste Kahn am billigsten, weil bei kleinen Distanzen die Liegekosten die Fahrkosten überwiegen.

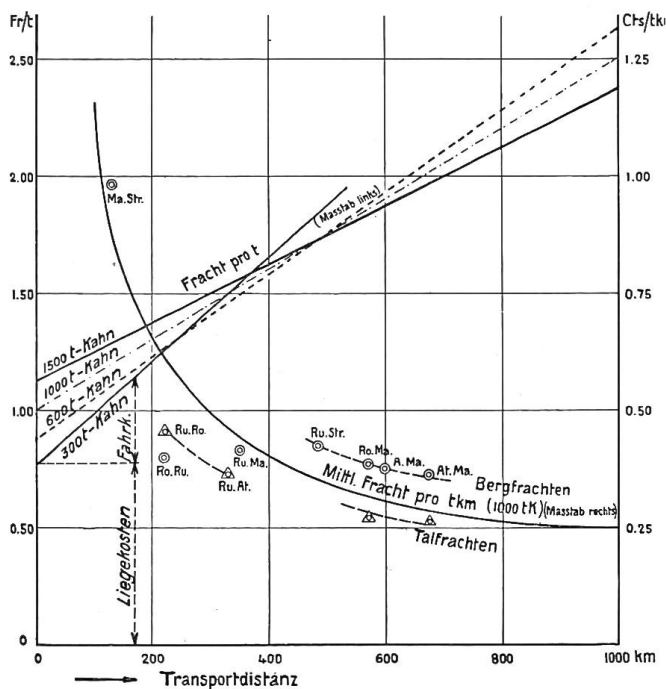


Fig. 3.

Einfluss von Kahngrösse und Transportdistanz auf die Kahnfrachten.

Die hyperbolische Linie in Fig. 3 bedeutet die Kahnfracht beim 1000 t-Kahn pro Einheit der Transportleistung (pro Tonnenkilometer), wie sie sich aus der Division der Fracht durch die Transportdistanz ergibt. Je grösser die letztere ist, um so billiger kann der tonnenkilometrische Satz sein, wiederum wegen des mit

zunehmender Distanz abnehmenden Einflusses der Liegekosten. Zum Vergleich mit dieser mittleren Linie sind einige Punkte eingetragen, welche die langjährigen Durchschnitte wirklich bezahlter Kahnfrachten<sup>2)</sup> für ganz bestimmte Transporte darstellen. Die Bergfrachten für Strecken über 400 km (Ruhrort-Strassburg, Rotterdam-Mannheim, Amsterdam-Mannheim und Antwerpen-Mannheim) sind etwas höher, die Talfrachten etwas niedriger als die durch die Linie gegebenen Mittelwerte. Die Ursache der gedrückten Talfrachten liegt im Ueberangebot an leerem Kahnraum für die Talfahrt; die Bergfrachten müssen dann entsprechend höher sein, um eine genügende Gewinnmarge übrig zu lassen. Letztere ist allerdings sehr klein. Bei den kürzern Strecken Ruhr-Rotterdam und Ruhr-Antwerpen erlauben die bessern Beladungsgrade und die in diesen Häfen kürzern Liegezeiten eine billigere Fracht als nach der in Fig. 3 berechneten Durchschnittslinie.

Der erwähnte wirtschaftliche Vorsprung der grössern Kähne bei langen Transportdistanzen findet seinen konkreten Ausdruck in der Durchschnittsgrösse der verwendeten Kähne. In Fig. 4 ist in der Skizze des Rheinlaufes, rechts von jedem

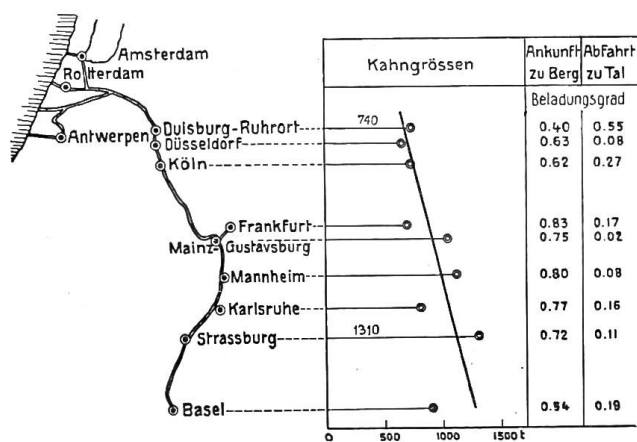


Fig. 4.

Kahngrößen am Rhein im Jahre 1922.

Hafenort als horizontale Ordinate die durchschnittliche Tragfähigkeit der in den betreffenden Häfen von unten herauf angekommenen Kähne aufgetragen. Diese Grösse wächst von etwa 750 t in den Ruhrhäfen auf ca. 1300 t in Strassburg; je weiter rheinaufwärts ein Hafen liegt, umso weiter ist er von den Ausgangspunkten des Rheinverkehrs, nämlich von Rotterdam und Duisburg-Ruhrort entfernt, und umso mehr sind eben die grossen Kähne wirtschaftlich im Vorsprung, was sich durch die rheinaufwärts zunehmenden Durchschnittsgrößen ausdrückt. Die in Basel angekommenen Kähne sind kleiner, weil auf der noch unregulierten

Strecke Strassburg-Basel mit ihren geringen Wassertiefen die grossen Kähne doch nur mit wesentlich schlechterem Beladungsgrad als auf den übrigen Rheinstrecken fahren könnten.

Aus den Darstellungen der Elemente der Kahnkosten geht die grosse Wichtigkeit der Umschlagseinrichtungen hervor, indem ein weiterer Fortschritt im Sinne der Verbilligung der Kahnfrachten zum grössern Teil aus der Abkürzung der Liegezeiten erwartet werden muss, was in erster Linie durch moderne Umschlagseinrichtungen erreicht werden kann. Wirft man einen Blick auf Fig. 3, so erkennt man, dass bei einer mittlern Transportlänge von 500 km beim 1000 t-Kahn mehr als die Hälfte der Kahnkosten auf die Liegekosten entfallen. Wird die Liegezeit auf die Hälfte verkürzt, was leicht möglich ist, so ermässigt sich bei Transporten auf 500 km Distanz die Kahnfracht um ca. 29%; würde aber die Reisegeschwindigkeit auf das doppelte erhöht, was aus andern Gründen unmöglich ist, so beträgt die Verbilligung der Kahnfracht nur 21%. Es muss hervorgehoben werden, dass einzelne Häfen jetzt schon eine wesentlich kürzere, mittlere Liegedauer der Kähne aufweisen; nur dadurch sind die in den letzten Jahren zeitweise sehr niedrigen Kahnfrachten, die für gewisse Transporte bezahlt wurden, erklärlich.

## 2. Die Schleppkosten.

Aus diesen zahlenmässigen Darstellungen über den Einfluss der Liegedauer dürfte ohne weiteres der Grund für die wirtschaftliche Ueberlegenheit der Schlepp-

<sup>2)</sup> Die heutigen Kahnfrachten sind kaum wesentlich anders als vor dem Kriege.



schiffahrt gegenüber selbstfahrenden Güterschiffen erkannt werden; die teuren Schiffsmaschinen müssen womöglich ständig ausgenutzt werden, und das kann eben nur geschehen, wenn sie von den Transportgefässen getrennt, in Schleppern eingebaut sind, die keine nennenswerten Zeitverluste infolge Liegens in den Häfen erleiden. Die Schleppkosten pro tkm sind daher, im Gegensatz zu den Kahnkosten, nicht von der Transportdistanz abhängig. Sie sind, unter gewissen Voraussetzungen sekundärer Art, proportional der aufzuwendenden indizierten Maschinenleistung pro Tonne Nutzlast ( $m$ , in PS/t) umgekehrt proportional der mittlern absoluten Fahrgeschwindigkeit ( $v_a$ , in km/h), und proportional den Kosten der PS-Stunde des Schleppers ( $d$ , in Cts./PSh):

$$s \text{ Cts./tkm} = \frac{m \text{ PS/t} \cdot d \text{ Cts./PSh}}{v_a \text{ km/h}}$$

Die mittlere Fahrgeschwindigkeit von Schleppzügen beträgt in der Bergrichtung auf dem Nieder- und Mittel-Rhein etwa 5 km/h, am Ober-Rhein etwa 4,2 km/h; diese Geschwindigkeiten haben sich im Schleppbetrieb als die wirtschaftlichsten erwiesen. Die Kosten der PS-Stunde, im grossen Durchschnitt für den ganzen Rhein, betragen seit dem Krieg etwa 9 Cts./PSh (Verzinsung, Amortisation, Bedienung, Brennstoff usw., inbegriffen).

Von besonderem Interesse ist die Abhängigkeit des spezifischen Schleppkraftbedarfes  $m$  (= indizierte Maschinenleistung pro t Nutzlast) von den Grundfaktoren. Der Wert  $m$  ist proportional dem Fahrwiderstand der Kähne pro t Nutzlast, proportional der relativen Fahrgeschwindigkeit (zwischen Schiff und Wasser), und umgekehrt proportional dem Totalwirkungsgrad des Schleppers.

Im Gegensatz zu den Werten  $v_a$  und  $d$ , die sich in verhältnismässig engen Grenzen bewegen, schwankt die Grösse  $m$  je nach dem Stromgefälle, der absoluten Fahrgeschwindigkeit, dem Zustand des Fahrwassers, dem Wasserstand, dem Beladungsgrad der Kähne und der Schleppzugsform in sehr weiten Grenzen. In Fig. 5 ist der Verlauf des Schleppkraftbedarfes bei der Bergfahrt in Abhängigkeit vom Stromgefälle dargestellt, und zwar als Durchschnittswert des Gesamtverkehrs einiger Teilstrecken. Von Rotterdam aufwärts wächst das Gefälle bis hinauf nach Bingen, wo der Rhein durch das Schiefergebirge durchbricht; oberhalb Bingen ist sehr kleines Gefälle bis nach Mannheim, und erst dann nimmt es wieder zu; bei Basel erreicht es rund 1‰. Die höhere Lage der  $m$ -Linie für den Nieder-Rhein gegenüber derjenigen für den Ober-Rhein erklärt sich aus der grösseren Fahrgeschwindigkeit, wodurch natürlich auch grössere Fahrwiderstände und somit grösserer Schleppkraftbedarf bedingt sind.

Bei ein und derselben Teilstrecke, z. B. Strassburg-Basel, hängt der Schleppkraftbedarf im weitem vom Kahnbeladungsgrad ab, wie er im Laufe des Jahres durch die schwankenden Wasserstände oder auch oft durch andere Faktoren (allgemeine Verkehrslage) bedingt ist. Je stärker der Kahn beladen ist, umso geringer ist der Anteil der Tara am Gesamtgewicht und an der Wasserverdrängung, umso geringer sind daher der Fahrwider-

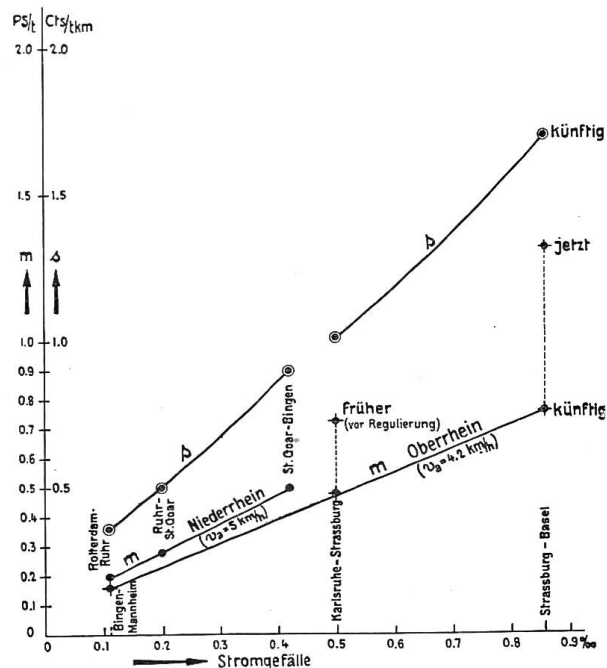


Fig. 5.

Schleppkraftbedarf und Schleppkosten auf dem Rhein in Abhängigkeit vom Stromgefälle.

stärker der Kahn beladen ist, umso geringer ist der Anteil der Tara am Gesamtgewicht und an der Wasserverdrängung, umso geringer sind daher der Fahrwider-

stand pro t Nutzlast und der spezifische Schleppkraftbedarf. Fig. 6 zeigt für die oberste Rheinstrecke den Zusammenhang zwischen diesen Grössen. Den Ermittlungen ist der Verkehr der Jahre 1924 und 1925 zugrunde gelegt. Jeder eingezeichnete Punkt stellt den durchschnittlichen Schleppkraftbedarf einer t Nutzlast bei einem bestimmten Dampfer dar. Die direkt ermittelten Werte sind auf gleichen Wasserstand, nämlich Basler Pegel 2,0 m reduziert worden. Beispielsweise erfordert im jetzigen Zustand dieser Strecke (Niederwasserbett nicht reguliert) eine t Nutzlast in Schleppzügen mit 2 Kähnen, bei einem durchschnittlichen Beladungsgrad von 0,52 ca. 1,1 PS. Wäre die Strecke reguliert, d. h. bei Niederwasser auch fahrbar, die Wassertiefen grösser, so wäre ein Beladungsgrad von ca. 0,72 im Jahresdurchschnitt zu erwarten, und der Schleppkraftbedarf wäre um etwa 20% geringer, bei sonst gleichen Umständen<sup>3)</sup>.

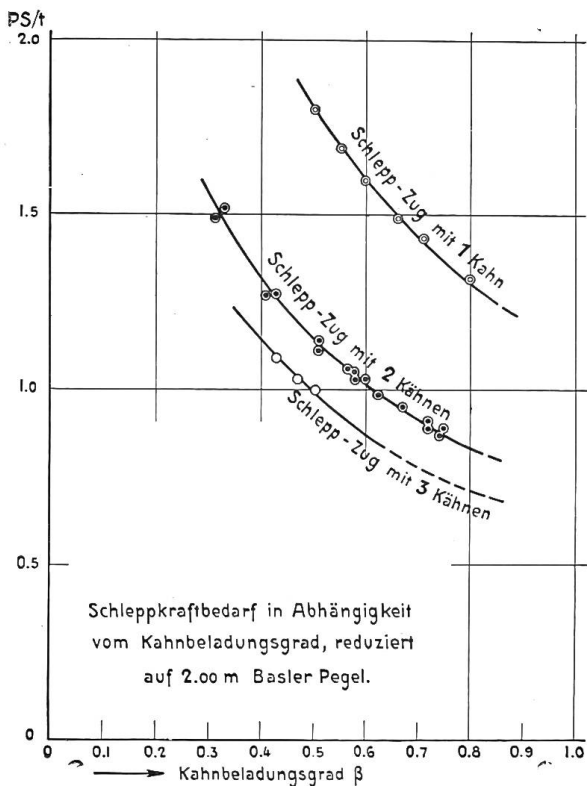


Fig. 6.  
Schleppbetrieb nach Basel.

Aus Fig. 6 ist ferner zu erkennen, dass die t Nutzlast in Schleppzügen mit nur einem Kahn im jetzigen Stromzustand und unter den jetzigen Betriebsverhältnissen etwa 60% mehr Schleppkraft erfordert als in Zügen mit zwei Kähnen. Dabei war in den Jahren 1924 und 1925 die absolute Bergfahrtsgeschwindigkeit (gegenüber Land) bei beiden Zugsarten ungefähr gleich, nämlich rund 4 km/h.

Von Interesse ist das Verhalten verschiedener Kahngrössen bezüglich ihres Schleppkraftbedarfes auf der obersten Rheinstrecke. Den Untersuchungen liegen zwei besonders häufig nach Basel gelangende Kähne zugrunde, nämlich ein 850 t-Kahn von 66 m Länge, 9 m Breite und 2,05 m Tiefgang, sowie ein 1350 t-Kahn mit 78 m Länge, 10 m Breite und 2,5 m Tiefgang. Bei einer durchschnittlichen Tauchtiefe von ca. 1,5 m, wie sie im Jahresdurchschnitt oberhalb Strassburg infolge der Fahrwasserverhältnisse jetzt möglich ist, beträgt für Züge mit 2 Kähnen die notwendige Schleppkraft:

Kahngrösse (Tragfähigkeit)	850 t-Kahn	1350 t-Kahn
Ladung bei 1,5 m Tiefgang . . . . .	540 t	670 t
Beladungsgrad . . . . .	0,635	0,495
Spez. Schleppkraftbedarf . . . . .	0,97 PS/t	1,15 PS/t

Mit Rücksicht auf die Schleppkosten ist somit der kleinere Kahn wirtschaftlich überlegen. Wären nur die Kahnkosten allein massgebend, so wäre, wie früher gezeigt, der grössere Kahn im Vorsprung, wenn es sich um Fahrten bis Basel handelt.

Der spezifische Schleppkraftbedarf ist ferner abhängig vom Wasserstand (oder der Wasserführung), auch wenn alle andern Faktoren (Kahnbeladungsgrad, Zugs-

<sup>3)</sup> Eine technische Beschreibung des Projektes für die Regulierung der Strecke Strassburg-Basel ist in der „Schweiz. Techniker-Zeitung“, Jahrgang 1924, No. 32 u. 33, Seite 377 u. ff. veröffentlicht.

grösse) dieselben sind. Dieser Einfluss ist in Fig. 7 wiederum für die Strecke Strassburg-Basel dargestellt. Als Mass des Wasserstandes (Abszisse) ist die Höhe am Basler Pegel, und als Mass der Wasserführung die Wassermenge des Rheines bei Basel gewählt. Der als Funktion dieser Grössen aufgetragene Schleppkraftfaktor stellt einen relativen Vergleichswert dar, welcher dem spezifischen Schleppkraftbedarf in PS/t proportional ist. Wie aus Fig. 7 ersichtlich ist, nimmt bei Wasserständen über 1,5 m Basler Pegel (Sommerwasser) der Schleppkraftfaktor mit steigendem Wasser zu, weil die Strömungsgeschwindigkeiten zunehmen. Bei tiefern Ständen nimmt er trotz der abnehmenden Strömung ebenfalls zu, weil dann die engern Querschnitte des Fahrwassers den Fahrwiderstand der Kähne und den Wirkungsgrad der Schlepper verschlechtern. Diese Erscheinung ist auch auf andern Rheinstrecken konstatiert worden.

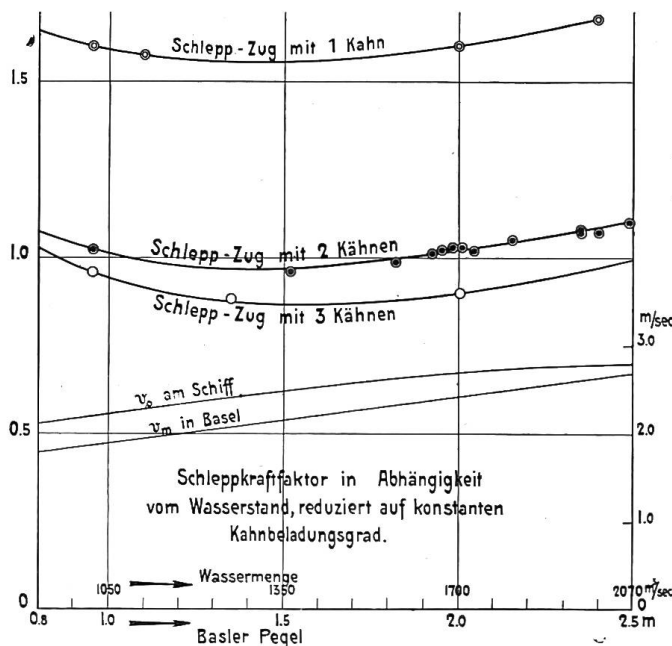


Fig. 7.  
Schleppbetrieb nach Basel.

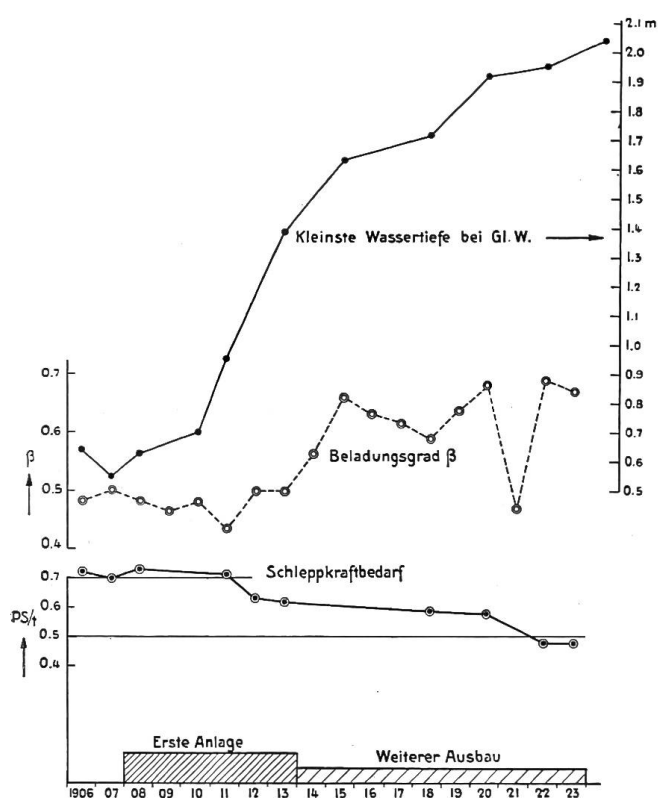


Fig. 8.

Wirkung der Regulierung Sondernheim-Strassburg.

Ein dritter Faktor, welcher den Schleppkraftbedarf auf einer bestimmten Strecke beeinflusst, ist der Zustand des Fahrwassers. Auf einem unregulierten Stromabschnitt braucht eine t Nutzlast unter sonst gleichen Verhältnissen (Kahnbeladung, Zuggrösse) mehr Schleppkraft als auf einer regulierten Teilstrecke.

Dies geht namentlich aus den Erfahrungen auf der Strecke unterhalb Strassburg, vor und nach deren Regulierung auf Niederwasser, hervor. Aus Fig. 8 ist die Wirkung dieser Regulierung auf die kleinsten Wassertiefen bei mittlerem Niederwasser, auf den Kahnbeladungsgrad und auf den Schleppkraftbedarf pro Tonne Nutzlast ersichtlich. Von ganz besonderem Interesse ist die Beobachtung, dass in den Jahren 1912 und 1913, am Ende der Bauzeit für die erste Anlage der Regulierungsbauten der Schleppkraftbedarf um ca. 13% abgenommen hatte, und zwar ganz unabhängig vom Beladungsgrad, der in diesen Jahren noch kaum wesentlich besser geworden war. Es muss also

das bessere Fahrwasser an sich, bei sonst gleichen Umständen im Betrieb, eine Verbesserung bewirkt haben. Zum Teil liegt dies jedenfalls in der grössern Schlankheit des regulierten Fahrwassers, welche geringere Steuerruderausschläge der Kähne



und infolgedessen eine Verminderung des Widerstandes der letztern bedingt. Für die betrachtete Teilstrecke war diese Verminderung etwa 13% im Jahre 1922; bei einem von 50% auf 69% gestiegenen Kahnbeladungsgrad ist dann der Schleppkraftbedarf um weitere 21% gesunken.

Es ist von Interesse, zu verfolgen, in welchem Mass diese Verminderung sich auf die verschiedenen Schleppzugsformen erstreckt. Die Ermittlungen für den Abschnitt *Karlsruhe - Strassburg* haben folgendes ergeben:

Spezifischer Schleppkraftbedarf	Schleppzüge mit		
	1 Kahn	2 Kähnen	3 Kähnen
Vor der Regulierung 1908, Kahnbeladungsgrad 0,48 . . . . .	1,10 PS/t	0,70 PS/t	0,60 PS/t
Nach der Regulierung 1922, Kahnbeladungsgrad 0,69 . . . . .	0,55 PS/t	0,44 PS/t	0,40 PS/t
Verbesserung . . . . .	50 %	37 %	33 %

Für die Strecke *Strassburg - Basel* ist nach den Ermittlungen und Untersuchungen:

Spezifischer Schleppkraftbedarf	Schleppzüge mit		
	1 Kahn	2 Kähnen	3 Kähnen
Im jetzigen Zustand, unreguliert, Kahnbeladung 52% . . . . .	1,70 PS/t	1,11 PS/t	0,97 PS/t
Wenn die Strecke auf Niederwasser reguliert wäre, Kahnbeladung 72% . . . . .	0,95 PS/t	0,76 PS/t	0,68 PS/t

Auf die Grösse der notwendigen Schleppkraft hat neben den erwähnten Faktoren natürlich auch der Totalwirkungsgrad des Schleppers einen bestimmenden Einfluss.

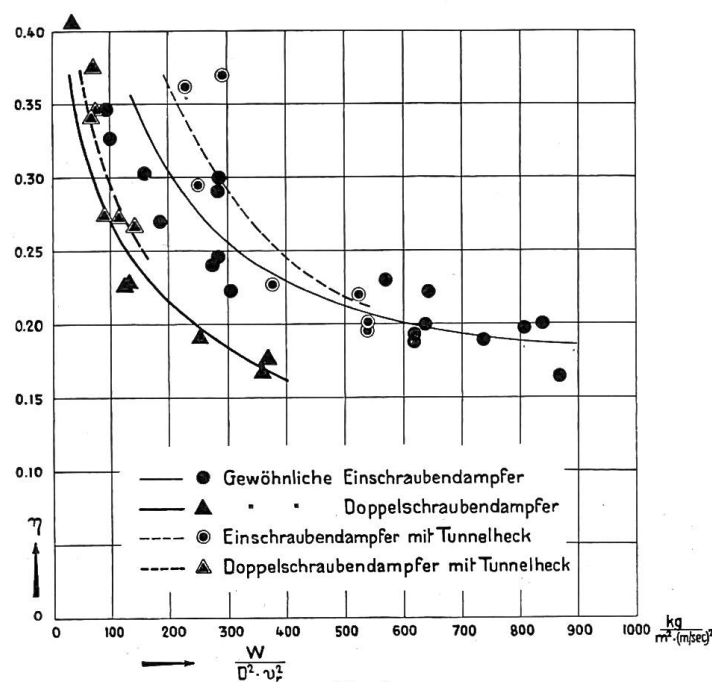


Fig. 9.

Totalwirkungsgrad von Schleppdampfern.

Am Nieder-Rhein werden überwiegend Schraubenboote, am Ober-Rhein hauptsächlich Räderboote verwendet. Letztere sind wegen ihres geringern Tiefganges in dem weniger tiefen Wasser des Ober-Rheins im Vorsprung. Sie sind aber in der Anschaffung und Bedienung teurer als Schraubenboote. Werden die Schrauben im Tunnelheck angebracht, also mit erhöhter Lage der Welle, so können mit solchen Booten etwas geringere Tiefgänge erzielt werden als mit gewöhnlichen Schraubenschiffen. Ein schwacher Punkt der Schraubenschlepper ist aber ihr verhältnismässig geringer Totalwirkungsgrad (Schleppleistung am Kahn: indizierte Maschinenleistung). Dieser wird gemäss Fig. 9 umso kleiner, je grösser das Verhältnis:

Widerstand  $W$  pro Schraube

Quadrat des Schraubendurchmessers  $D^2 \times$  Quadrat der relativen Fahrgeschwindigkeit  $v_r^2$

ist. Für den untern und mittlern Rhein kommen normalerweise Werte von  $\frac{W}{D^2 v_r^2}$  bis zu etwa 400 in Frage; höhere Werte entstehen auf Kanälen mit engem Fahrwasser. Die Wirkungsgrade von Doppelschraubenschleppern, und zwar von gewöhnlichen und Tunnelheckbooten sind geringer als bei Einschraubendampfern. Um einige rohe Ziffern zu nennen, kann man für erstere Werte zwischen 18 und 27%, für Einschraubenboote solche zwischen 25 und 37% angeben. Für Seitenradschlepper liegen wenig veröffentlichte Untersuchungsergebnisse vor; die Wirkungsgrade dieser Boote mögen für Mittel- und Ober-Rheinverhältnisse zwischen 32 und 38% liegen. Da für die Rheinstrecken oberhalb Duisburg-Ruhrort im allgemeinen grosse Maschinenleistungen benötigt werden, kommen Einschraubendampfer hier wenig in Frage; bei dem schlechtern Wirkungsgrad der Doppelschrauber ist daher die Ueberlegenheit der Radschlepper trotz ihres grössern Anschaffungspreises verständlich.

Aus den in Fig. 9 dargestellten graphischen Zusammenhängen ergeben sich u. a. folgende Schlussfolgerungen:

1. Der Wirkungsgrad wird besser, wenn für eine gegebene Zugkraft und gegebene Fahrgeschwindigkeit der Durchmesser der Schraube so gross gewählt wird, als die Fahrwasserverhältnisse dies gestatten.
2. Ein bestimmter Schlepper mit gegebener Schraube arbeitet mit umso besserem Wirkungsgrad, je kleiner die Schlepplast und je grösser die relative Fahrgeschwindigkeit ist.

Aus 2. kann natürlich nicht geschlossen werden, dass auch die Schleppkosten mit steigender Fahrgeschwindigkeit immer weiter abnehmen; denn weil dann auch der Fahrwiderstand wächst, erreichen die Schleppkosten ein Minimum bei einem bestimmten Wert der absoluten Fahrgeschwindigkeit. Letzterer ist für die Bergfahrt etwas mehr als halb so gross wie die Strömungsgeschwindigkeit. Für die unterste Rheinstrecke Rotterdam-Ruhrhäfen wäre, mit Rücksicht auf die Schleppkosten allein, die günstigste Fahrgeschwindigkeit bergwärts etwa 2 km/h. Nun kommt aber weiter hinzu, dass die Kahnkosten mit steigender Reisegeschwindigkeit abnehmen, und das Minimum der Summe aus Kahn- und Schleppkosten tritt bei einem wesentlich höhern Wert der absoluten Fahrgeschwindigkeit ein. Aus nachfolgender Tabelle ist dies ersichtlich:

*Gesamtfrachten auf der Strecke Rotterdam-Ruhrhäfen.*

Absolute Geschwindigkeiten	1 km/h	2 km/h	3 km/h	4 km/h	5 km/h	6 km/h	7 km/h
	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm
Kahnkosten . . . .	1,04	0,64	0,51	0,44	0,40	0,37	0,35
Schleppkosten . . . .	0,33	0,31	0,32	0,34	0,36	0,39	0,43
Gesamtfracht . . . .	1,37	0,95	0,83	0,78	0,76	0,76	0,78

Tatsächlich wird auf dieser Rheinstrecke mit etwa 5 km/h bergwärts gefahren.

### 3. Die Gesamtfrachtsätze.

Nachdem nun sowohl die Kahnfrachten als auch die Schleppkosten je für sich betrachtet worden sind, ist es von Interesse, die mittleren Gesamtfrachten für einige Strecken zu kennen. Sie ergeben sich durch Addition der aus den Fig. 3 und 5 zu entnehmenden und zu berechnenden Summanden. Darnach betragen die tonnenkilometrischen Sätze für Massengüter:

Auf den Strecken	Länge	Kahnfracht	Schlepplohn	Gesamtfracht
	km	Cts./tkm	Cts./tkm	Cts./tkm
Rotterdam-Ruhrhäfen . . . . .	215	0,40	0,36	0,76
Rotterdam-Mannheim . . . . .	570	0,38	0,43	0,81
Rotterdam-Strassburg . . . . .	700	0,35	0,52	0,87

Diese Sätze stellen Mittelwerte der letzten Jahre dar. Wie in der Einleitung hervorgehoben wurde, können die Frachten im Laufe des Jahres innert ziemlich weiten Grenzen schwanken. Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, wie mit zunehmender Transportdistanz rheinaufwärts die Schleppkosten gegenüber den Kahnkosten an Bedeutung zunehmen.

Es ist vom Standpunkt der schweizerischen Volkswirtschaft von ganz besonderem Interesse, die Frachtkosten von wichtigern Einfuhrsgütern auf dem Wasserweg und den ausländischen Eisenbahnen zu vergleichen. Als Beispiel sei der Transport von Ruhrkohle aus dem Ruhrgebiet nach dem Ober-Rhein im Jahre 1924 näher betrachtet.

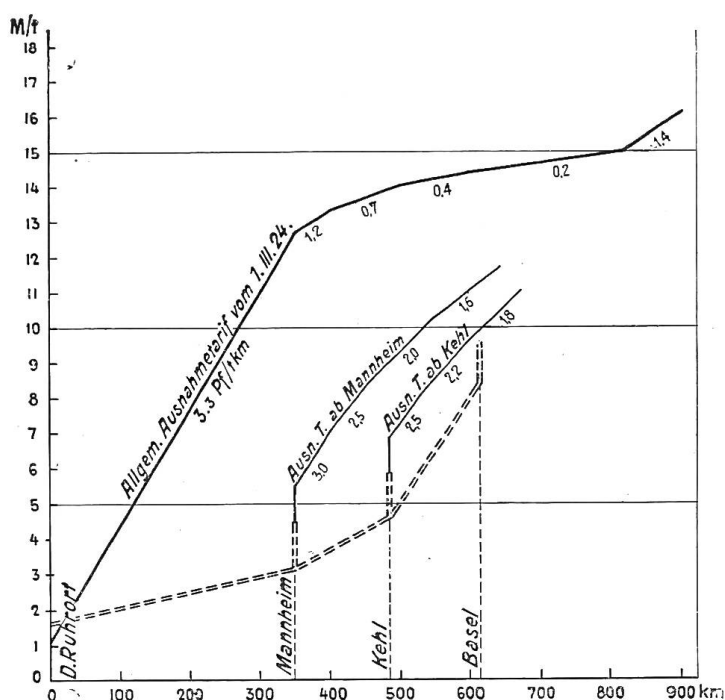


Fig. 10.

Wettbewerb zwischen Bahn und Rheinschiffahrt im Kohlentransport  
Ruhrgebiet-Oberrhein im Jahre 1924.

In Fig. 10 ist durch die ausgezogene einfache Linie der Bahnfrachtsatz der deutschen Reichsbahndargestellt für Strecken ab Zechenstation im Ruhrgebiet. Der Abschnitt auf der Ordinatenachse bedeutet die Abfertigungsgebühr von Mk. 1.20 pro Tonne; die scharfe Staffelung der Ansätze pro tkm nach den durchlaufenen Strecken kommt in dem mehrfach gebrochenen Verlauf der Frachtlinie bei Strecken über 350 km zum Ausdruck. Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, dass die Staffelung der Vorkriegssätze wesentlich milder war; ein Staffeltarif bestand aber schon damals. Nach Fig. 10 kostete somit der Transport einer t Ruhr-

kohle nach Mannheim Mk. 12.80, nach Basel (Badischer Bahnhof) Mk. 14.40. Zum Vergleich ist durch eine doppelte, gestrichelte Linie der Verlauf der Schiffsfrachten ab Zechenhafen am Rhein-Hernekanal dargestellt. Dieser Kanal, der einen wichtigen Teil des Ruhrkohlengebietes durchzieht, mündet beim Ruhrorter Hafen in den Rhein. Die Kosten des Transportes der Kohle für eine mittlere Distanz zu Schiff bis nach Ruhrort sind im Abschnitt der Doppellinie auf der Ordinatenachse, neben den Kahnliegekosten, mit enthalten. Bis nach Basel, inkl. Umschlagskosten im Basler Hafen, kostete dem schweizerischen Kohlenimporteur die Schiffsfracht für die t Kohle, ab Zechenhafen am Rhein-Hernekanal, ca. Mk. 9.70. Während der Jahreszeiten, wo die Fahrt bis Basel bisher nicht möglich war, kommt der Umschlag in Kehl oder Strassburg in Betracht. Der Vorsprung der Rheinfrachten bis Basel ist, bei Kohlentransporten, im jetzigen Zustand der Strecke Strassburg-Basel nur ein geringer gegenüber dem kombinierten Transportweg Rheinschiff bis Kehl-Bahn bis Basel. Wenn auch diese oberste Rheinstrecke einmal verbessert ist, wird der Vorsprung

wesentlich grösser sein, als er im Jahre 1924 war. Da die Bahnen für die Kohlentransporte billigere Sätze als für andere Güter gewähren, ist die Rheinschiffahrt für die andern Transportgüter in höherem Masse konkurrenzfähig.

Aus der Darstellung in Fig. 10, die nur ein Beispiel für eine bestimmte Güterart und für ein bestimmtes Jahr betrifft, geht immerhin die wirtschaftliche Bedeutung der Rheinschiffahrt für unsere Massengütereinfuhr hervor, und zwar nicht nur des Basler Hafens und der obersten Rheinstrecke, sondern auch der übrigen Abschnitte und Umschlagshäfen.

## Frequenz des Blitzes.

Mitteilung aus dem Versuchslokal für technisch-wissenschaftliche Forschung der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz) von Sigurd Rump (zur Zeit in Camden, U. S. A.).

621.319.82 (004)

*Die Ueberlegungen und Ableitungen des Autors deuten darauf hin, dass die äquivalente Frequenz einer Entladung einer Gewitterwolke oder die sogenannte Blitzfrequenz im allgemeinen grösser sein wird als ca. 33 000 resp. 85 000  $\frac{1}{\text{sec.}}$ .*

*Die in der Literatur bekanntgegebenen Messungen zeigen, dass auch Entladungen mit kleinerer Geschwindigkeit vorkommen und es ist wahrscheinlich, dass solche mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten auftreten können. Diejenigen, die sich langsam abspielen, sind aber weniger gefährlich für Hochspannungsanlagen und also von weniger Interesse für die Hochspannungstechnik.*

*Die durchgerechneten Beispiele basieren auf Messungen, die ergänzungsbedürftig sind. Die gefundenen Zahlen dürften jedoch einen Anhaltspunkt über die mögliche Blitzfrequenz geben.*

*Les considérations et déductions de l'auteur indiquent que la fréquence équivalente à la décharge d'un nuage orageux autrement dit la fréquence de la foudre, est en général supérieure à env. 33 000 resp. 85 000  $\frac{1}{\text{sec.}}$ .*

*Les mesures signalées dans la littérature montrent qu'il peut se produire aussi des décharges à vitesse plus petite. Il est probable que des décharges de vitesses extrêmement différentes peuvent prendre naissance. Mais les décharges lentes sont moins dangereuses pour les installations à haute tension, et présentent par conséquent un intérêt moindre pour la technique.*

*Les exemples calculés reposent sur des mesures qui demandent à être complétées. Toutefois les chiffres obtenus sont susceptibles de donner une idée de la fréquence possible de la foudre.*

### I. Einleitung.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass Blizentladungen Ueberschläge in Hochspannungsfreileitungsnetzen verursachen. Dem Elektrotechniker wird die Frage gestellt: wie kommen diese zustande und wie können sie verhindert werden.

Von vielen Forschern sind Messungen gemacht und Theorien aufgestellt worden, ohne dass es gelungen ist, eine absolute Antwort zu geben.

Dass eine Blizentladung eine elektrische ist, wurde schon durch Franklin im Jahre 1752 nachgewiesen, aber wie diese sich abspielt, d. h. Dauer, Grösse, Ausdehnung etc. ist immer noch mehr oder weniger offen. Für den Elektrotechniker ist besonders die Dauer einer Blizentladung oder die sog. Blitzfrequenz von Interesse, indem dies den Schlüssel zur Wahl eines geeigneten Schutzmittels gibt.

Die Grösse der Feldänderung dürfte durch die Messungen von Norinden in Upsala einigermaßen bekannt sein<sup>1)</sup>.

Ueber die Dauer und den zeitlichen Verlauf der Entladung hat der gleiche Forscher sowie Watson Watt<sup>2)</sup> oszillographische Messungen gemacht. Sie sind zu dem Resultat gekommen, dass die Entladungen relativ langsame Vorgänge sind.

Erfahrungen mit elektrischen Freiluftanlagen zeigen, dass die Ueberschläge meistens unter der Gewitterwolke auftreten. Die Blizüberspannungen müssen demnach eine lokale Erscheinung sein. Der Entladevorgang selbst braucht aber eine gewisse Zeit, d. h. er muss sich mit einer endlichen Geschwindigkeit abspielen. Anderseits vollzieht sich auch die Ableitung der Ueberspannung an entferntere Netzteile mit einer bestimmten und bekannten Geschwindigkeit. Es entsteht so die Frage:

<sup>1)</sup> Norinden, Teknisk Tidskrift 1923, Seite 184 (Stockholm).

<sup>2)</sup> Watson Watt, Wireless World and Radio Review, London 1923, Seite 601.