MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT FÜR WIRTSCHAFTLICHE AUSBILDUNG. NEUE FOLGE. HEFT 1.

DER ELEKTRISCHE SCHIFFSZUG.

EINE TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNG ÜBER DIE MÖGLICHKEIT BEZW. ZWECKMÄSSIGKEIT EINER ERHÖHUNG DER FAHRGESCHWINDIGKEIT AUF VERKEHRSREICHEN KANÄLEN.

VON

Dr.-Ing. MAX SCHINKEL,
REGIERUNGS-BAUFÜHRER.

MIT 7 KURVENTAFELN.

VERLAG VON GUSTAV FISCHER IN JENA.
1906.

Inhaltsverzeichnis.

1. Grundgedanke.

Der allgemein übliche Schiffahrtsbetrieb auf Kanälen stellt den heutigen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit großer Binnenwasserstraßen mit starkem Verkehr die mannigfachsten Schwierigkeiten entgegen. Sollen aber die Kanäle neben den Eisenbahnen ihren großen volkswirtschaftlichen Wert zur Weiterentwicklung des Verkehrs in möglichst weitem Umfange zur Geltung bringen, so ist besonders eine größere Schnelligkeit und Regelmäßigkeit des Betriebes anzustreben, ohne dadurch die Betriebssicherheit und die dauernde hinreichende Erhaltung der Kanalanlagen mit verhältnismäßig geringen Unterhaltungskosten in Frage zu stellen.

Die Notwendigkeit, die Betriebsverhältnisse auf Kanälen zu verbessern, ist um so dringender, je stärker der Verkehr ist. Da das im Bau begriffene, umfangreiche Kanalnetz vom Rhein zur Weser einen recht bedeutenden Verkehr (zu Anfang schon 3—4 Mill. t pro Jahr) in Aussicht stellt, so ist die Erörterung einer besseren Regelung des Schiffahrtsbetriebes, vor allem die Einführung des zweckmäßigsten Schleppmittels für uns von großem praktischem Wert.

Wenn auch die Kanäle immer nur den Transport der billigeren Massengüter übernehmen können, während die wertvolleren der Eisenbahn überlassen werden müssen, so spielt doch auch bei den ersteren eine größere Schnelligkeit und Regelmäßigkeit der Beförderung eine wichtige Rolle. Nicht allein wird dadurch die Leistungsfähigkeit der Kanäle erhöht, besonders hat auch der Verfrachter den Vorteil geringerer Fracht-, Liege- und Versicherungskosten, festerer Tarife und bestimmter Lieferfristen, und endlich gewinnt die gesamte Volkswirtschaft durch schnelleren Umlauf und Austausch der Güter.

Allgemein für Kanäle läßt sich die Frage kaum mit der nötigen Gründlichkeit behandeln, da die verschiedenen Abmessungen der Kanäle und Schleppkähne, die örtliche Lage, das Längenprofil usw. stets andere Grundbedingungen bieten, die eine Verallgemeinerung nicht zulassen. Es ist aber durchaus erforderlich, einer solchen Erör-

terung praktische Versuchsergebnisse zugrunde zu legen, die freilich nur für vorhandene Kanalabmessungen und für diese auch nur mit großen Kosten zu erlangen sind. Die Versuche über den Schiffswiderstand im beschränkten Kanalquerschnitt, über die Angriffe der Kanalsohle und der Uferbefestigungen bei höheren Fahrgeschwindigkeiten, über die Sicherheit des Betriebes usw. sind daher auf die für die Praxis wichtigsten Verhältnisse beschränkt. Nach dieser Richtung hin wurden im Auftrage der preußischen Regierung 1898 auf dem Dortmund-Ems-Kanal[1]) und von der Teltowkanal-Bauverwaltung 1903 auf dem Teltowkanal[2]) grundlegende, umfangreiche Versuche angestellt. Beide Kanäle haben annähernd denselben Querschnitt, so daß die Ergebnisse ohne weiteres übertragen werden können.

Die bei diesen Kanälen gewählten Abmessungen dürfen aber wohl nach Bewilligung des Rhein-Weser-Kanals, der denselben Querschnitt erhält, für die nächste Zukunft als maßgebend angesehen werden für jeden weiteren Ausbau unserer Binnenschiffahrtskanäle. Wenn auch eine Vergrößerung des Kanalquerschnitts in günstigem Gelände sich ziemlich leicht erreichen läßt, so ist doch eine Veränderung der Kanalbauwerke mit erheblichen Schwierigkeiten und Kosten verbunden. Außerdem werden sich die Schiffsgefäße in den nächsten Jahren diesen Normalabmessungen anpassen.

Eine auf diese Verhältnisse beschränkte und gründlich durchgeführte Erörterung, die sich auf tatsächliche, durch Versuche bestätigte Unterlagen stützt, hat für die Praxis weit mehr Bedeutung, als eine allgemeine, mehr theoretische Betrachtung. Es soll daher in der vorliegenden Abhandlung unter Annahme der für uns praktisch wichtigsten Verhältnisse unserer neuen Kanäle (s. Annahmen, S. 3), die beim Dortmund-Ems-Kanal und Teltowkanal bereits zur Ausführung gelangt sind und auf Grund der dort angestellten Versuche nach technischen Gesichtspunkten untersucht werden, wie weit die elektrische Treidelei im Vergleich zu den übrigen, bisher bekannten Schleppmitteln imstande ist, eine wesentlich größere Schnelligkeit und Regelmäßigkeit des Schiffahrtsbetriebes auf verkehrsreichen Kanälen bei Gewährleistung ausreichender Betriebssicherheit und dauernder Erhaltung der Kanalanlagen herbeizuführen. Sodann soll die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges, im besonderen die Zweckmäßigkeit einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit erörtert werden.

1) Vgl. Haack, Schiffswiderstand und Schiffahrtsbetrieb, 1900.

2) Vgl. Block, Elektrische Treidelversuche auf dem Teltowkanal, 1904.

2. Allgemeine Annahmen.

A. Kanalquerschnitt.

Sohlenbreite . . . . . 18,0 m
Wasserspiegelbreite . . . 30,0 „
Wassertiefe . . . . . 2,5 „
Wasserführender Querschnitt 58,5 qm.

B. Abmessungen der Schleppkähne (westlicher Normalkahn).

Länge 65,0 m
Breite 8,2 „
Eingetauchter Querschnitt (Hauptspant) 14,0 qm
Tragfähigkeit . . 600 t bei 1,75 m Tiefgang
Wasserverdrängung 740 t „ 1,75 „ „
Tiefgang bei Leerfahrt 0,35 m.

C. Betriebsregelung.

Es sind stets zwei Schleppkähne zu einem Schleppzuge vereinigt. Bei voller Hin- und $^1/_5$ Rückfracht beträgt die durchschnittliche Nutzlast eines Schleppzuges $600 + 120 = 720$ t. Die größte von dem Zugmittel zu schleppende Bruttolast beträgt $2 \times 740 = 1480$ t. Die Schiffahrt wird an 270 Tagen bei 13stündigem Tagesdienst betrieben.

D. Die besonderen Annahmen sind den betreffenden Erörterungen vorausgeschickt.

3. Der Schiffszug im allgemeinen.

Der Schiffszug auf Kanälen wird heute in der mannigfachsten Weise ausgeübt, je nachdem es die Abmessungen der Kanalanlagen gestatten oder die Verkehrsgröße und das damit sich steigernde Bedürfnis nach Schnelligkeit und Regelmäßigkeit es erfordern.

A. Treidelei mit Menschen- oder Pferdekraft.

Der älteste und auf den meisten bestehenden Kanälen noch jetzt betriebene Schiffszug ist die Treidelei mit Menschen- oder Pferdekraft vom Leinpfad aus. Der Betrieb ist stets langsam und unregel-

mäßig. Die Fahrgeschwindigkeit von 0,4 bis 0,5 m/Sek. kann nicht gesteigert werden. Die tägliche Leistung beträgt mit Menschenkraft etwa 7 bis 15 km, mit Pferden etwa 20 bis 30 km, je nachdem die Schleppkähne beladen oder leer sind.

Dazu kommen die häufig recht hohen Zugkosten, die sich sogar bei der staatlich organisierten Pferdetreidelei in Nordfrankreich auf dem „canal de St. Quentin", dem „canal de la Sensée" auf etwa 0,30 bis 0,35 Pfg./tkm stellen. Im übrigen schwanken die Zugkosten natürlich sehr, je nach dem Wert des vorhandenen Pferdematerials, das der Schiffer in eigenen Ställen auf dem Kahn mitführt oder für kürzere Strecken mietet.

B. Ketten- und Seilschiffahrt.

Auf manchen, besonders auf französischen Kanälen ist die Ketten- oder Seilschiffahrt eingeführt, die namentlich in Tunnelstrecken gewisse Vorteile bietet. Bei den älteren Systemen wird die erforderliche Energie auf dem Schiff erzeugt, und die Kraftübertragung auf die im Kanal liegende Kette durch fest mit dem Schiff verbundene oder losnehmbare Antriebsmaschinen bewirkt. Nach dem neueren System „de Bovet" wird die elektrische Kraft vom Lande aus übertragen auf den in jedem Lastschiff angebrachten Antriebsapparat. Bei diesem System wird durch Anwendung einer magnetischen Kettenrolle, infolge ganz geringer Umwicklung der Kette oder des Seiles um die Trommel, die Abnutzung sehr verringert.

Die Anwendung der Kette oder des Kabels ist aber nicht imstande, eine genügende Betriebssicherheit zu gewährleisten. Bei Kettenbrüchen werden alle nachfolgenden Kähne in Mitleidenschaft gezogen. Die Anlagekosten kommen annähernd denen einer Schienenbahn gleich, die Abnutzung der Kette und die Unterhaltungskosten sind so groß, ganz abgesehen von den technischen Schwierigkeiten, die sich bei zahlreichen Krümmungen des Kanals ergeben, daß die Kettenschiffahrt für den Kanalbetrieb nicht als wirtschaftliche Anlage und wegen der erwähnten geringen Betriebssicherheit auch nicht als zweckmäßig angesehen werden kann.

C. Schlepperbetrieb.

Die weitestgehende Verwendung im heutigen Kanalschiffahrtsbetrieb haben die Schlepper gefunden. Die Fortbewegung geschieht stets mittels Schiffsschrauben. Die Energie wird fast ausschließlich auf dem Schlepper selbst erzeugt, nur bei einigen eigenartigen An-

ordnungen findet elektrische Kraftübertragung vom Lande aus statt. Im letzteren Falle ist die Schraube entweder im Schiff fest gelagert (elektrisches Schraubenboot), oder sie wird bei jeder Fahrt mit dem Schiff verbunden (Schraubensteuer, System „Galliot-Büsser"). Im ersteren Falle wird die Energie durchweg mittels Dampfmaschinen erzeugt. Daneben haben auch neuere Versuche mit Sauggas-, Steinkohlenteeröl- und Spiritusschleppern, sowie mit elektrischen Akkumulatorenbooten für bestimmte Zwecke zum Teil günstige Resultate geliefert.

Der Schlepperbetrieb bietet als freifahrendes Zugmittel im allgemeinen den Vorteil, daß die freie Schiffsbewegung nicht gestört wird und die Ufer in ihrer ganzen Länge für die Abwicklung des Ladegeschäftes frei bleiben. Andererseits hat aber bei allen Anordnungen die Schiffsschraube nur einen geringen Wirkungsgrad von durchschnittlich 20 bis 25 %, höchstens 30 %.

D. Elektrische Treidelei.

Erst in allerneuester Zeit sind die mannigfachsten Versuche mit der elektrischen Treidelei, nachdem sie zu einem durchaus befriedigenden Ergebnis geführt haben, in gewissem Grade als abgeschlossen zu betrachten, soweit wenigstens, daß sie durch praktischen Betrieb hinreichend bestätigte Unterlagen bieten, die in jeder Richtung einen Vergleich mit den anderen Zugmitteln zulassen.

Seit 1897 ist der elektrische Betrieb auf dem „canal d'Aire et de la Deûle" eingeführt, seit 1899 auf dem „canal de Charleroi", seit Ende 1903 auf dem Erie-Kanal und seit 1905 auf dem Teltowkanal.

Besonders die neuesten Ausführungen haben gezeigt, daß die elektrische Treidelei zur Bewältigung eines starken Verkehrs unter Gewährleistung eines regelmäßigen, sicheren Betriebes besonders zweckmäßig ist, und daß sie gleichzeitig die Möglichkeit bietet, weit höhere Fahrgeschwindigkeiten als mit allen anderen Zugmitteln zu erreichen.

---

4. Vergleich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Schleppmittel.

Es ist nach dem vorher Angeführten ohne weiteres einleuchtend, daß die animalische Treidelei und die Ketten- und Seilschiffahrt für

diese Betrachtung ausscheiden. Es bleibt nur die Frage zu erörtern, ob der Schlepperbetrieb in Wettbewerb treten kann mit der elektrischen Treidelei.

Mit beiden Systemen ist, allgemein genommen, eine erheblich höhere Fahrgeschwindigkeit zu erreichen, als bis jetzt auf den Kanälen üblich und zulässig ist. Da mit der Fahrgeschwindigkeit, und zwar in immer stärkerem Maße, der Schiffswiderstand wächst, sind zur Erzielung höherer Geschwindigkeiten die Maschinenleistungen und die damit zusammenhängenden Einrichtungen den erhöhten Zugkräften anzupassen. Wird zunächst vom wirtschaftlichen Gesichtspunkt abgesehen, so ist eine obere Grenze der Fahrgeschwindigkeit nur durch die beschränkten Abmessungen der Kanalanlagen, besonders des Kanalquerschnitts bedingt.

A. Nachteile des Schlepperbetriebes.

Aber in diesem Punkte zeigt sich schon die Überlegenheit der elektrischen Treidelei gegenüber dem Schlepperbetrieb. Die sehr sorgfältigen und umfangreichen Schleppversuche[1]), die Herr Baurat Haack im Jahre 1898 am Dortmund-Ems-Kanal ausführte, hatten folgendes Ergebnis:

„Es wurde festgestellt, daß es höchst unwirtschaftlich und unzweckmäßig, ja im Interesse einer dauernden Gewährleistung der Erhaltung der Kanalanlagen ohne erhebliche Mehranlagekosten für Sohlen- und Uferbefestigungen sogar unmöglich ist, mit Schraubendampfern die Fahrgeschwindigkeit über das jetzt zulässige höchste Maß von 1,4 m/Sek. = 5 km/Std. zu steigern, und daß ein Schleppzug, bestehend aus einem Dampfer und zwei Lastkähnen von 600 t Nutzlast, auch im Interesse der eigenen Sicherheit keine größere Geschwindigkeit annehmen darf. Die in wirtschaftlicher Beziehung noch zulässige Geschwindigkeit für einen derartigen Schleppzug beträgt nur 1,1 m/Sek. = 4 km/Std.“

Im einzelnen zeigen sich die Nachteile des Betriebes mit Schleppern in folgenden Punkten:

a) Die Steuerfähigkeit der Schleppkähne.

Die Steuerfähigkeit der Schleppkähne wird durch Fortbewegung mittelst Schlepper schon bei geringer Fahrgeschwindigkeit ungünstig beeinflußt. Die erwähnten Versuche[1]) am Dortmund-Ems-Kanal ergaben:

1) Vgl. Anm. S. 2.

„daß schon bei einer Geschwindigkeit von 1 m/Sek. = 3,6 km/Std. und nur 1,5 m Tiefgang es Anstrengungen der Bootsleute erforderte, den 600 t Kahn aus seiner Ruhelage an der Seite des Kanals, nachdem der Schleppdampfer angezogen hatte, mittelst des Steuerruders auf die Mitte des Kanals zu bringen. Sobald dies gelungen, war noch immer große Aufmerksamkeit nötig, um die Mittellage auf der weiteren Fahrt beizubehalten. Diese Erscheinungen steigerten sich mit Zunahme der Geschwindigkeit sowohl wie des Tiefganges und machten es nötig, daß sämtliche Kähne des Schleppzuges vor Beginn der Fahrt auf die Mitte des Kanals gelegt werden mußten. Trotzdem gelang es in verhältnismäßig wenigen Fällen, beim Durchfahren der Versuchsstrecke (1,5 km) die Mitte annähernd genau inne zu halten. Die Bemühungen, die Versuchskähne durch Steuern in der Mittellinie des Kanals zu erhalten, waren nicht allein bei Vergrößerung der Schiffsgeschwindigkeit immer weniger von Erfolg, sondern es wuchs dabei auch die Schwierigkeit, sie mittelst des Ruders wenigstens den Ufern parallel liegend zu erhalten. Immer größer wurde der Winkel, den die Schiffslage mit ihnen bildete, so daß der Schleppdampfer durch seitliches Abbiegen den richtigen Kurs wieder herzustellen versuchte, was auch nicht immer gelang".

Die höchste, bei den Versuchen mit Schleppzügen, bestehend aus einem Dampfer und zwei Schleppkähnen, erreichte Geschwindigkeit, für die die letzte Bemerkung zutrifft, betrug nur 1,48 m/Sek. = 5,3 km/Std.

Die Kreuzungsversuche mit Schleppzügen[1]) zeigten:

„daß Begegnungen auf dem Kanal bei Anwendung mäßiger Geschwindigkeiten von nicht über 0,6 m/Sek. = 2,2 km/Std. und bei aller Vorsicht seitens der Schiffsführer ohne Gefahr ausführbar sind. Bei einer Vermehrung der relativen Geschwindigkeit der beiden Schleppzüge über 1,20 m/Sek. ist zu besorgen, daß ein oder beide Schleppzüge an die Ufer herangedrückt werden, dadurch die Steuerfähigkeit verlieren und ihren Weg unaufhaltsam nach der entgegengesetzten Seite nehmen".

b) Der Schiffswiderstand.

Der Schiffswiderstand der Schleppkähne ist für eine Geschwindigkeit von etwa 4,5 km/Std. bei Schleppern annähernd derselbe wie bei der Treidelei (vgl. Tafel 1). Für geringere Geschwindigkeiten ist er

---

1) Vgl. Anm. S. 2.

bei der Treidelei infolge des schrägen Zuges ein wenig größer. Sobald aber mit Steigerung der Geschwindigkeit der Schleppkahn in den Bereich des Schrauben- und Kielwassers des Schleppers kommt, wird der Schiffswiderstand infolge der von der Schiffsschraube zurückgeworfenen, den Bug des Schleppkahns treffenden Wassermassen erheblich vergrößert. Daher steigt die Widerstandskurve für Schlepper (vgl. Tafel 1) bei Geschwindigkeiten über 4,5 km/Std. erheblich steiler an als für die Treidelei und verläuft schon etwa bei 7 km/Std. asymptotisch, d. h. der Widerstand ist so groß, daß es überhaupt nicht mehr möglich ist, in dem betreffenden Kanalquerschnitt einen 600 t Schleppkahn bei 1,75 m Tiefgang mittelst Schleppers fortzubewegen.

Nach Haack ist[1])

„der Vorteil langer Schlepptrossen nur gering. Die Versuche mit 150, 100 und 50 m langen Trossen ergaben kaum merkliche Unterschiede der Zugkraft. Andererseits aber folgen die Kähne einander schlecht in zu großen Abständen und der Führer des Schleppers hat sie nicht in der Gewalt. Dadurch entsteht schlechtes Steuern, was den Widerstand vergrößert."

Ähnliche Resultate hatten die Versuche mit Schleppern auf dem Teltowkanal.

c) Die Beschädigungen der Kanalsohle und der Uferbefestigungen.

Von ausschlaggebendem Einfluß auf die obere Grenze der Fahrgeschwindigkeit sind aber die Beschädigungen der Kanalsohle und der Uferbefestigungen, die beim Schlepperbetrieb durch die Bugwellen und besonders durch die von der Schraube zurückgeworfenen Wassermassen verursacht werden. Die Bug- und Heckwellen des Dampfers bewirken durch das Abfallen und Wiederansteigen des Wassers an den Böschungen ein Ein- und Auslaufen aus den Zwischenräumen der Böschungsbefestigung, wodurch ein fortschreitendes Ausspülen der letzteren entsteht, das noch vermehrt wird durch Hervorquellen des in seiner Gleichgewichtslage gestörten Grundwassers. Infolge des fortgesetzten Einwirkens der Schraube bilden sich Furchen im Kanalbett, die sich immer mehr vertiefen und endlich die etwa vorhandene Dichtung des Kanalbettes zerstören. Durch die sich seitlich ablagernden Sandmassen wird die nutzbare Sohlenbreite verringert, so daß beim Kreuzen die Gefahr für Havarien vermehrt wird.

---

1) Vgl. Anm. S. 2.

Herr Baurat Haack sagt hierüber folgendes:

„Nach 800 Fahrten waren die Böschungen nur wenig angegriffen, stärker war der Angriff auf die Kanalsohle. Das durch die Schiffsschraube erzeugte und über die Kanalsohle nach hinten geschleuderte Slipwasser wird stets der ärgste Feind der Kanäle bleiben, solange nicht andere, direkt wirkende Fortbewegungsmittel zur Einführung gelangen.

Schnellfahrende Dampfer erzeugen brechende Wellen, die am Ufer entlang laufen. Eine Geschwindigkeit von 9,7 km/Std. des alleinfahrenden Schleppdampfers von nur 20 m Länge und 5 m Breite genügte, um die Landpegel von ihren Befestigungen loszureißen und ihre Unterlagen zu unterspülen.

Ein Maß zu Vergleichen zwischen den die Aushöhlung der Kanalsohle bewirkenden Strömungen findet man in der Arbeit, welche die Schraube zu verrichten hat, indem sie den Teil des Wassers nach hinten treibt, welcher infolge des Slips nach dorthin ausweichen muß.

Es bedeuten:

$F = 2{,}061$ qm die Schraubenkreisfläche,
$S = 1{,}96$ m die Steigung der Schraube,
$u = 2{,}42$ die Tourenzahl für $v = 1{,}4$ m/Sek. $= 5$ km/Std.
$s = 71{,}5\,\%$ den Slip der Schraube.

Dann ist die Wassermenge, welche für den Schleppzug bei 1,75 m Tiefgang und 1,4 m/Sek. Geschwindigkeit innerhalb einer Sekunde von der Schraube nach hinten geworfen wird,

$$Q = F \times S \times u \times \frac{s}{100} = 6{,}915 \text{ cbm}$$

und zwar mit der Geschwindigkeit $v_1 = S \times u - v$ oder

$$v_1 = S \times u \times \frac{s}{100} = 3{,}4 \text{ m/Sek.}$$

Der hierzu nötige Teil der gesamten I. PS. beträgt 67 I. PS. Ein Wasserstrom von 2,061 qm Querschnitt durch 67 PS. mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 3,4 m/Sek. während jeder Vorüberfahrt eines Schleppzuges in der Nähe der Kanalsohle fortbewegt, erscheint in seiner Wirkung auf das Material des Kanalbettes so groß, daß für einen derartigen Schleppzug eine größere Geschwindigkeit als 1,4 m/Sek. = 5 km/Std. bei dem gegebenen Kanalquerschnitt nicht zugelassen werden sollte.“

B. Vorteile der elektrischen Treidelei.

a) Der Schiffswiderstand.

Demgegenüber wurde durch die unter Leitung des Herrn Regierungsbaumeister Block ausgeführten Versuche[1]) mit der elektrischen Treidelei am Teltowkanal festgestellt, daß eine Steigerung der Fahrgeschwindigkeit selbst über 6 km/Std. ohne weiteres zulässig und sogar bis 7 km/Std. mit Schleppzügen, bestehend aus zwei Schleppkähnen von 600 t Nutzlast, möglich ist. Während bei Schleppern die Widerstandskurve bei 7 km/Std. asymptotisch verläuft (vgl. Tafel 1), beträgt bei der Treidelei der Widerstand pro 1000 t Bruttolast weniger als 2300 kg, da ja der schädliche Einfluß der von der Schraube zurückgeworfenen Wassermassen ganz fortfällt.

b) Die Steuerfähigkeit der Schleppkähne.

Die Steuerfähigkeit der Schleppkähne war auch bei der höchsten erreichten Geschwindigkeit immer noch ausreichend, wenn auch die größte Sorgfalt und Vorsicht geboten war. Die Versuchskähne waren aber wie alle bis jetzt im Binnenschiffahrtsverkehr üblichen Schleppkähne mit sehr mangelhaften Steuervorrichtungen ausgerüstet. Es wäre zur Erhöhung der Betriebssicherheit bei großen Fahrgeschwindigkeiten durchaus angebracht, eine mit verhältnismäßig geringen Mitteln zu beschaffende, wirksamere Steuervorrichtung, besonders für die großen Schleppkähne, einzuführen. Die Versuche haben ergeben, daß dann ohne Bedenken eine Höchstgeschwindigkeit zwischen 6 und 7 km/Std. erreicht werden kann, daß es aber nicht nötig ist, wegen unzulänglicher Steuerfähigkeit eine niedrigere Grenze der Geschwindigkeit vorzuschreiben.

Es wurde überhaupt ganz allgemein festgestellt, daß die Schleppkähne an der elektrischen Lokomotive viel besser steuern, als hinter dem Schleppdampfer, weil der schädliche Einfluß des Schrauben- und Kielwassers ganz fortfällt, und der Schleppkahn infolge des dauernd zum Lande hin ausgelegten Ruders, um der nach dem Lande gerichteten Komponente der Zugkraft entgegenzuwirken, von vornherein eine bedeutende Steuerfähigkeit erhält. Die bei den Versuchen beteiligt gewesenen Schiffsführer haben übereinstimmend erklärt, daß, nachdem sie einmal den Schiffszug vom Lande aus kennen gelernt hätten, es ihnen viel leichter geworden wäre, die Kähne zu steuern, als bei der ihnen bisher allein bekannten Schleppweise durch Schleppboote.

---

1) Vgl. Anm. S. 2.

Im besonderen kann nach den Versuchen beim Kreuzen von Schleppzügen unbedenklich eine Geschwindigkeit von 5 km/Std. eingehalten werden. Dadurch aber, daß diese Fahrgeschwindigkeit auch beim Kreuzen beibehalten werden kann, läßt sich eine wirksame Steigerung auch der mittleren Reisegeschwindigkeit erzielen, ein Vorteil, der sonst bei wachsendem Verkehr infolge der zunehmenden Zahl der Kreuzungen immer mehr verringert wird.

Die Gefahr, daß die Kähne bei der Vorbeifahrt aneinandergezogen werden, ist fast ausgeschlossen, weil ja zwischen ihnen bei gleicher Fahrgeschwindigkeit die negative Strömung sich aufhebt und sich der normale Wasserstand einstellt, während zwischen Schiff und Ufer die der betreffenden Fahrgeschwindigkeit entsprechenden Absenkungen eintreten. Eine Gefahr besteht nur dann, wenn die Schleppkähne, infolge der Druckunterschiede des Wassers, am Steuerbord oder Backbord ans Ufer gedrückt und dabei gedreht werden. Dieser Drehung entgegen wirkt aber der schräge Zug des Schlepptaues bei zweckmäßiger Stellung des Treidelmastes naturgemäß günstig. Die regelmäßig beim Kreuzen beobachtete Abnahme des Schiffswiderstandes rührt wohl daher, daß zwischen den Schleppkähnen die Absenkung gleich Null wird. Da nun nach Haack die Absenkung [1]) die Wirkung aller Ursachen ausdrückt, welche die negative Strömung und damit auch die Größe des Schiffswiderstandes beeinflussen, so muß letztere beim Kreuzen herabsinken.

c) Die Beschädigungen der Kanalsohle und der Uferbefestigungen.

Was die Beschädigungen des Kanalbettes anbetrifft, so fallen die erwähnten schädlichen Wirkungen der Schraube ganz fort. Die Einwirkung der negativen Strömung ist im Verhältnis zu der durch die von der Schiffsschraube zurückgeschleuderten Wassermassen verschwindend klein. Die Größe der negativen Strömung wird berechnet unter der bei den Versuchen am Dortmund-Ems-Kanal festgestellten Bedingung, daß bei der Fortbewegung der Kähne kein Wasser in positiver Richtung bewegt wird. Alles Wasser, das durch die Vorwärtsbewegung verdrängt wird, muß nach hinten abfließen.

Für 600 t Kähne, bei 1,75 m Tiefgang, 7 km/Std. Geschwindigkeit bedeuten:

---

1) In der Literatur ist sehr häufig die Absenkung irrtümlich mit Einsenkung bezeichnet (Absenkung des Wasserspiegels, Einsenkung des Schiffes).

$Q = 58{,}5$ qm Normalquerschnitt des Kanals,

$\Delta Q =$ etwa 4,0 qm Querschnitt der Absenkung (nach den Versuchen am Dortmund-Ems-Kanal geschätzt),

$q = 14{,}0$ qm Hauptspant-Querschnitt,

$v = 7$ km/Std. $= 1{,}94$ m/Sek. Fahrgeschwindigkeit des Kahns,

$v_n =$ negative Strömung.

Dann ist

$$v_n = \frac{q}{Q - \Delta Q - q} \times v = \frac{14{,}0}{58{,}5 - 4{,}0 - 14{,}0} \times 1{,}94 = \frac{14{,}0 \times 1{,}94}{40{,}5}$$

$$v_n = 0{,}67 \text{ m/Sek.}$$

Ob eine mittlere negative Strömung von 0,67 m/Sek. zugelassen werden darf, wird im Einzelfalle nach dem Korn des Sandes zu bestimmen sein. Immerhin ist sie wohl im allgemeinen noch zulässig, wenn man berücksichtigt, daß durch die Reibung der Wasserteilchen an den Wandungen des Kanalbettes die negative Strömung in der Nähe der Sohle und der Böschungen unter die durchschnittliche Geschwindigkeit von 0,67 m/Sek. herabgedrückt wird, da bei 1,75 m Tiefgang der Schleppkähne noch eine ziemlich dicke Wasserschicht zwischen Schiffsboden und Kanalsohle verbleibt. Die nach Abschluß der Versuche am Dortmund-Ems-Kanal ausgeführten Peilungen ergaben keine merkliche Veränderung der Böschungen, während die Sohle in der Mitte durch die Schiffsschraube ausgehöhlt und der Sand seitwärts aufgeworfen war.

C. Ergebnis des Vergleichs.

Aus diesen Betrachtungen folgt also:

1. daß für die hier angenommenen allgemeinen, normalen Verhältnisse (für Schleppzüge mit zwei Kähnen von 600 t, bei 1,75 m Tiefgang) im Interesse der Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit für die Erhaltung der Kanalanlagen und der eigenen Sicherheit der Schleppkähne mit Schleppern keine größere Geschwindigkeit als 5 km/Std. zu erreichen ist, daß sie in wirtschaftlicher Beziehung nicht über 4 km/Std. gesteigert werden sollte, und daß beim Kreuzen die Geschwindigkeit auf 0,6 m/Sek. = 2,2 km/Std. ermäßigt werden muß.
2. daß mit der elektrischen Treidelei eine Höchstgeschwindigkeit von 6 bis 7 km/Std. auf freier Strecke, beim Kreuzen von 1,4 m/Sek. = 5 km/Std. zu erzielen ist, ohne erhebliche Mehrkosten an Unterhaltung der Kanalanlagen und ohne die Betriebssicherheit in unzulässiger Weise zu gefährden, besonders

wenn eine wirksamere Steuervorrichtung der großen Schleppkähne eingeführt wird.

Demnach ist zur Erzielung einer wesentlichen Steigerung der Fahrgeschwindigkeit auch über 5 km/Std. die elektrische Treidelei das einzige technisch mögliche Zugmittel.

D. Begründung der Notwendigkeit des Monopols für die elektrische Treidelei.

Der elektrische Schiffszug bietet aber nur dann die Möglichkeit, das Ziel im weitesten Maße zu erreichen und auch seine übrigen Vorteile für den Kanal vollkommen auszunutzen, wenn durch einheitliche Regelung des Schiffahrtsbetriebes die gleiche Fahrgeschwindigkeit eingehalten wird und die Vorschrift besteht, daß sämtliche den Kanal befahrenden Kähne sich auch dieses Schleppmittels bedienen müssen. Nur das Schleppmonopol bietet die volle Gewähr dafür, daß übermäßige Ansammlungen von Schleppkähnen vermieden werden, daß zu Zeiten günstiger Wasserverhältnisse die Kähne unnötig lange auf Schleppgelegenheit warten müssen und gezwungen werden, höhere Schleppkosten zu zahlen, daß zahlreiche mit dem bestehenden freien Betrieb verbundene Nachteile beseitigt werden, und der Schiffahrtsbetrieb auf den Binnenwasserstraßen dieselbe Regelmäßigkeit bietet zur Bildung fester Tarifsätze, wie es bisher nur bei dem in dieser Beziehung den Wasserstraßen so sehr überlegenen Transportmittel, der Eisenbahn, möglich ist. Ein kaum ins Gewicht fallender Nachteil des Monopolbetriebes ist die Notwendigkeit, daß die für die Bewältigung des stärksten Verkehrs erforderlichen Betriebsmittel beschafft und dauernd unterhalten werden müssen, trotzdem sie nicht immer voll ausgenutzt werden. Für den Schiffer besteht aber der große Vorteil, daß er selbst bei starkem Andrang schnell und regelmäßig zu den feststehenden, stets gleichen Zugkosten befördert wird.

Dem Kreise Teltow ist für den elektrischen Treideleibetrieb auf dem Teltowkanal das Schleppmonopol erteilt und auch für den Rhein-Weser-Kanal ist durch Gesetz das Schleppmonopol bestimmt worden.

---

5. Die einzelnen Systeme der elektrischen Treidelei.

A. Geschichtliche Entwicklung.

Schon im Jahre 1871 hatte man in Frankreich den mechanischen Schiffszug vom Ufer aus mit Dampflokomotiven auf Schienen er-

probt und 1873 bis 78 auf dem „canal de la Deûle“ auch praktisch eingeführt. Das außerordentlich hohe Eigengewicht der Lokomotiven von 10 bis 15 t erforderte stets die Vereinigung vieler Kähne zu einem langen Schleppzuge, um nur einigermaßen wirtschaftlich die Zugkraft auszunutzen. Bei einer kleinen Anzahl geschleppter Kähne war der Wirkungsgrad so gering, daß diese Art des Schiffszuges wieder aufgegeben wurde.

Erst die Fortschritte in der Elektrizitätsindustrie ermöglichten es, elektrische Treidelmaschienen von geringem Eigengewicht und geringer Kraft bei verhältnismäßig starken Anfahrleistungen zu bauen, die allgemein in bezug auf Ausnutzung des Eigengewichtes den Dampflokomotiven um ca. 40 % überlegen sind.

Mit elektrischen Lokomotiven wurden 1895 in Frankreich die Versuche wieder aufgenommen, zunächst von Galliot am „canal de Bourgogne“. Sehr bald zeigte sich dann auch in anderen Ländern das regste Interesse für die weitere Ausbildung des elektrischen Schiffszuges. Praktische Versuche mit den verschiedensten Systemen wurden ausgeführt besonders in Frankreich, auf den Kanälen im Norden, in Belgien auf dem „canal de Charleroi“, in Nordamerika auf dem Erie-Kanal, in Deutschland am Finowkanal und vor allem am Teltowkanal. Daneben wurde eine ganze Reihe Vorschläge gemacht, die zwar wegen der Kostspieligkeit der Versuche nicht ausgeführt wurden, aber doch zum Teil brauchbare Anregungen für Verbesserungen lieferten.

Die allermeisten der zahlreichen Systeme, auch solche, auf die man anfangs große Hoffnungen setzte, haben heute fast nur noch geschichtlichen Wert. Es mögen hier aber doch, um den Entwicklungsgang zu zeigen, die am meisten charakteristischen Systeme erwähnt werden.

B. Lokomotivsystem unmittelbar auf der Leinpfaddecke laufend.
(„cheval électrique“).

a) Elektrisches Dreirad Galliot-Denèfle.

Ein dreirädriger Wagen von 2,2 t Gewicht, von dem 1,8 t auf die Triebachse kommen, bei einem neueren Modell 1900 bezw. 2,4 t und 1,9 t, läuft mit breiten Rädern auf dem gut befestigten Leinpfad. Der Führer sitzt auf dem Vorderteil des Wagens und lenkt die vordere Laufachse, während die hintere Triebachse von einem Gleichstrommotor angetrieben wird.

b) System Gérard.

Ein vierrädriger elektrischer Wagen von 2,2 t Gewicht, von dem 1,6 t auf der Triebachse ruhen, im wesentlichen derselben Bauart mit einigen Verbesserungen in bezug auf kräftigere Anordnung. Der Motor wird durch dreiphasigen Drehstrom angetrieben.

Der Vorteil dieser beiden Systeme besteht in den verhältnismäßig geringen Anlagekosten, da die Lokomotive ohne Gleis auf dem vorhandenen Leinpfad läuft. Die Pferdetreidelei kann nebenher bestehen bleiben, doch muß der Leinpfad aus Gründen der Betriebssicherheit ziemlich breit sein und stets in sehr gutem Zustande erhalten werden, da hierdurch der Koeffizient des Stromverbrauches wesentlich beeinflußt wird. Der Wirkungsgrad beträgt im günstigsten Falle 0,58 %. Die Abnutzung aller Konstruktionsteile, besonders der Räder, ist eine außerordentlich hohe. Ein derartiges System ohne Gleis kann nur für bestehende Kanäle mit breitem, befestigtem Leinpfad in Frage kommen, wie ihn die meisten französischen Kanäle haben, dessen Unterhaltungskosten daher auch weit höher sind als diejenigen einer leichten Gleisanlage.

C. Lokomotivsystem 1 Rad auf Schiene, 1 Rad auf der Leinpfaddecke laufend.

a) System Siemens-Halske-Köttgen.

Eine zweiachsige elektrische Lokomotive läuft auf der Außenseite mit Doppelspurkranzrädern auf einem einschienigen Gleis von 20 kg/lfd. m Gewicht, auf der Wasserseite mit breiten Rädern direkt auf der Leinpfaddecke. Das Gewicht der Lokomotive beträgt 2,0 t, von dem die auf der Schiene laufenden Räder 1,6 t, außerdem die gesamte Zugkraft und die Horizontalkomponente der Zugkraft tragen. Die Nebenräder dienen hauptsächlich zur Sicherung der Standfestigkeit und laufen unmittelbar auf der Leinpfaddecke, oder, bei einer späteren Ausführung, auf einer schwachen Nebenschiene. Anfänglich war die Schiene noch mit einer Zahnstange versehen, um die Zugkräfte wirksamer aufnehmen zu können. Es zeigte sich jedoch während der Versuche, daß das Eigengewicht allein zur Überwindung der Anfahrkräfte ausreichend war.

Die Lokomotive hat eine Normalzugleistung von 600 kg bei 4,5 km/Std. Geschwindigkeit oder 8—10 km/Std. Geschwindigkeit bei Leerlauf. Sie ist angetrieben von einem Gleichstrommotor von 12 PS., die Stromzuführung geschieht durch Oberleitung mittelst Stromabnehmers. Der Wirkungsgrad ist etwa 60 %.

Bei diesem System, besonders in der ersten Anordnung, wo die beiden wasserseitigen, das Hauptgewicht tragenden Räder auf der Leinpfaddecke laufen, stellen sich naturgemäß dieselben Nachteile ein, wie bei dem erwähnten „cheval électrique“, und zwar noch in erhöhtem Maßstabe, weil die betreffenden Räder stets dieselbe Spur innehalten. Einen Übergang zum zweischienigen System stellt die Einführung der Nebenschiene dar. Aber sowohl Gérard als auch Köttgen kommen während der Versuche zu der Ansicht, daß eine Treidellokomotive, die unmittelbar auf der Leinpfaddecke läuft, selbst für bestehende Kanäle kein wirtschaftliches Zugmittel ist. Wegen der Natur der Fahrbahn sind sowohl Anlage- als Betriebs- und Unterhaltungskosten unverhältnismäßig hoch gegenüber dem System auf Schienen, dazu bietet letzteres noch wichtige technische Vorteile namentlich in bezug auf Betriebssicherheit.

b) System Siemens-Halske.

Auf Grund der Versuchsergebnisse am Finowkanal wurde dann von Siemens & Halske zur Pariser Weltausstellung 1900 eine neue Lokomotive konstruiert. Diese diente auch als Grundlage eines Entwurfes für die preußische Staatsregierung zur Einführung des elektrischen Schiffszuges an einer Versuchsstrecke von 28 km des Finowkanals. Der Entwurf ist zwar nicht zur Ausführung gelangt, seine wesentlichen Einzelheiten sollen aber doch hier erwähnt werden, um die weitere Ausbildung zu zeigen.

Für jedes Kanalufer ist ein zweischieniges Gleis von 1,0 m Spurweite vorgesehen, dessen äußere Hauptschiene 10 kg/lfd. m und dessen innere Nebenschiene 5 kg/lfd. m wiegt, die auf hölzernen Querschwellen ruhen. 85 % des Gesamtgewichtes der Lokomotive entfallen auf die Hauptschiene, während die Nebenschiene, deren Oberkante mit dem Erdboden bündig liegt, den Zweck hat, den breiten Nebenrädern auch bei feuchtem Wetter eine Unterstützung zu geben. Die Lokomotive wiegt 2,5 t und leistet bei 4,5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit eine Zugkraft von 500 kg. Jede der beiden Achsen wird von einem Gleichstrommotor angetrieben, mithin das ganze Eigengewicht für die Adhäsion ausgenutzt. Die Maschine ist mit einer Seilaufwickelvorrichtung ausgerüstet und besitzt außerdem einen beweglichen Treidelmast, der es ermöglicht, das Schlepptau 2,0 m über SO. über am Ufer liegende Kähne usw. hinwegzuführen, ohne es abwerfen zu müssen. Die Stromzuführung von 550 Volt geschieht durch Oberleitung mittelst Stromabnehmers. Die Rückleitung wird durch die Fahrschiene erreicht.

D. Laufkatzensystem auf Seil- oder Trägerbahn.

a) Drahtseilhängebahn System Lamb.

Auf einem Tragkabel von 32 mm Stärke, das alle 30 m durch Pfosten unterstützt wird, bewegen sich 4 bis 5 m über Leinpfadhöhe kleine elektrische Lokomotiven. Die Stromzuführung geschieht durch das Tragkabel, die Rückleitung wird durch die Erde vermittelst des 16 mm starken Treidelseiles bewirkt. Da jedoch die Isolierungen des Tragkabels den starken Kräften in denselben nicht Stand hielten, wurde später eine besondere Stromzuführungsleitung angeordnet.

b) Trägerbahn System Thwaite-Cawley.

Die Anordnung ist dem System Lamb ähnlich. Das Tragkabel ist ersetzt durch einen kleinen Z Träger von 0,30 m Höhe, die Pfosten sind wegen des erhöhten Trägergewichtes alle 10 m gesetzt.

Der leitende Gedanke bei der Konstruktion beider Systeme war, die Bedienung der Lokomotive der Schiffsbemannung vom Schleppkahn aus zu überlassen. Ein derartig ungeschultes Personal gibt natürlich fortgesetzt zu Betriebsstörungen Anlaß. Die Bauart der Tragkonstruktion gestattet nur Lokomotiven bis 7 PS. Daher ist stets nur ein Schleppkahn fortzuziehen. Besonders in Kurven bietet eine sichere Verankerung der Pfosten große Schwierigkeiten. Der auf das Kabel beim System Lamb ausgeübte Zug ist außergewöhnlich stark, die Betriebssicherheit läßt daher wegen der starken Abnutzung sehr zu wünschen übrig. Die Widerstandsfähigkeit des Systems Thwaite-Cawley ist freilich größer, beiden haftet aber der Fehler der schwierigen Zugänglichkeit der Lokomotive an.

Die großen Nachteile führten schließlich zur Einstellung der vor allem in Amerika, aber auch am Finowkanal ausgeführten Versuche.

E. Lokomotivsystem auf 2 Schienen.

(Adhäsion nur durch Eigengewicht.)

a) System Gérard-Denèfle.

Wegen der vorher erwähnten Nachteile (s. S. 15 u. 16), die ein System ohne Schienen bietet, führte Gérard 1902 auf einer Versuchsstrecke des „canal de Charleroi“ eine Lokomotive von der Bauart des „cheval électrique“ auf zwei Schienen laufend ein. Das Gleis besteht aus zwei Vignoles-Schienen von 9 kg/lfd. m Gewicht, die Spurweite beträgt 0,92 m.

Bisher bestand allgemein die Ansicht, daß beim Anfahren verhältnismäßig hohe Zugleistungen erforderlich seien, die bei einem

Adhäsionskoeffizienten von 10—15 % nur durch ungewöhnlich schwere Maschinen zu erzielen seien und daß daher eine Schienenbahn nicht wirtschaftlich sei. Deshalb setzte Gérard große Hoffnungen auf das „cheval électrique", Köttgen führte eine Zahnstange ein. Die bis 1900 angestellten Versuche beider und vor allem die zur Bestimmung der Anfahrkräfte von Gérard mit dem System Gérard-Denèfle ausgeführten Versuche zeigten, daß bei richtigem und vernünftigem Anfahren unter Benutzung der Vorschaltwiderstände durchaus nicht so große Zugleistungen erforderlich sind, und daß man sehr wohl mit verhältnismäßig geringem Lokomotivgewichte auskommen kann. Sowohl Gérard als Köttgen erklären 1902 das Lokomotivsystem auf Schienen für das zweckmäßigste Zugmittel vom wirtschaftlichen und technischen Standpunkte aus.

Die nach dieser Richtung von Gérard angestellten Versuche [1]) zeigten:

1. daß es möglich ist, das Anfahren auf glatten, selbst feuchten Schienen ohne Schleudern der Räder zu bewerkstelligen und ohne die normale Zugkraft zu überschreiten,
2. daß eine Stromersparnis erzielt wird durch bessere Ausnutzung der Maschine, indem bei Überlastung das dann eintretende Schleudern der Räder stromregulierend wirkt,
3. daß man in der gleichen Anfahrzeit eine größere Fahrgeschwindigkeit erreicht als mit Maschinen, die unmittelbar auf der Leinpfaddecke laufen,
4. daß eine wirtschaftlichere Ausnutzung der Maschine und leichtere Handhabung seitens des Führers möglich ist, und eine größere Betriebssicherheit gewährleistet wird,
5. daß selbst bei starkem Regen noch 16 % des Triebgewichtes als Zugkraft ausgenutzt werden, nur zur Erzielung eines gleichmäßigen Anfahrens bedarf es des Sandstreuers.

b) System Siemens-Schuckert.

Eine weitere bemerkenswerte Vervollkommnung erfuhr das System Siemens-Halske, nachdem dieses bei dem von der Teltowkanal-Bauverwaltung am 1. Januar 1902 erlassenen Preisausschreiben den ersten Preis davontrug. An einer bereits fertiggestellten 2,0 km langen Versuchsstrecke des Teltowkanals wurden von Oktober bis Dezember 1903 praktische Versuche angestellt mit einer neuen, nach den Er-

1) Vgl. Gérard, Détermination des efforts de démarrage et de traction, 1902.

gebnissen des Preisausschreibens besonders für die Verhältnisse des Teltowkanals entworfenen Lokomotive, die bewiesen, daß die nach weiteren geringen Änderungen konstruierte und seit 1905 im Betrieb befindliche Lokomotive in allen Punkten den gestellten Anforderungen gewachsen war.

Das auf beiden Kanalufern liegende zweischienige symmetrische Gleis von 1,0 m Spurweite besteht aus Vignoles-Schienen von 20 kg/lfd. m Gewicht, die auf eisernen Querschwellen ruhen. Die Lokomotive unterscheidet sich in ihrer Bauart wesentlich von der früheren Ausführung am Finowkanal. Da infolge der Anordnung je eines Gleises auf beiden Kanalufern die Lokomotiven nur in einer Richtung schleppen, ist durch unsymmetrische Bauart derselben, d. h. durch Verteilung des Hauptgewichtes (5,6 t vom Gesamtgewicht 6,4 t) auf das vordere Drehgestell, dessen beide Achsen von je einem Gleichstrommotor von 8 PS. Dauerleistung angetrieben werden, die Standsicherheit in der Fahrrichtung bedeutend erhöht. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, das Treidelseil sehr hoch über Schienenoberkante, bis 3,75 m, angreifen zu lassen, um es über am Ufer liegende Kähne hinwegzuführen. Die hierzu dienende Seilhebevorrichtung besteht in einem Treidelmast, der je nach Erfordernis aufgerichtet und niedergelegt werden kann, an dessen oberem Ende sich ein Trichter befindet, durch den die Schlepptrosse hindurchgeführt wird. Diese ist auf der Lokomotive mittelst einer Windetrommel befestigt, die mit der Achse durch eine Reibungskupplung verbunden ist, so daß bei Überschreitung einer Zugkraft von 1200 kg das Seil sich selbsttätig allmählich von der Trommel abwickelt. Im Falle der Gefahr ist die Reibungskupplung auch von Hand zu bedienen.

Die Kontroller für die Fahrmotoren und für die Seiltrommel, sowie der Schalter für die Bewegungen des Treidelmastes befinden sich in dem vorn angebrachten, verdeckten und auf allen Seiten mit Fenstern versehenen Führerstand. Die Lokomotive ist außerdem mit Handhebelbremse, Sandstreuer, Schienenräumer und elektrischer Beleuchtung ausgerüstet. Durch Bügelstromabnehmer wird der Strom (Gleichstrom von 550—600 Volt) aus der Oberleitung entnommen. Die Rückleitung wird durch das Gleis bewirkt.

Die praktischen Erfahrungen auf dem Teltowkanal führten dazu, an der in dem Entwurf für die Einrichtung des elektrischen Schiffszuges auf dem Rhein-Weser-Kanal vorgesehenen Lokomotive einige zweckmäßige Änderungen vorzunehmen. Zur Befähigung der Lokomotive für die Ausübung einer größeren Zugkraft ist das Eigengewicht auf 8,0 t erhöht, und zwar ausschließlich unter Benutzung

des an sich erforderlichen Konstruktionsgewichtes. Von diesem Gewicht ruhen 4,5 t auf der landseitig gelegenen Schiene, im ganzen ruhen 6,5 t auf dem zweiachsigen Drehgestell und 1,5 t auf der freien Lenkachse. Das Gleis ruht statt auf eisernen auf hölzernen Querschwellen.

Die Spannung des Stromes in der Fahrleitung ist entsprechend den neuesten Versuchen auf der Berliner Hoch- und Untergrundbahn auf 1500 Volt erhöht. Dadurch wird jegliche Verstärkungsleitung zur Fahrleitung überflüssig. Die beiden Fahrmotoren sind hintereinandergeschaltet, so daß jeder nur 750 Volt Spannung erhält. Die Hochspannungsleitungen sind von 10 auf 16 qmm, die Fahrleitungen von 50 auf 65 qmm verstärkt.

F. Lokomotivsystem auf zwei Schienen.

(Adhäsion künstlich vergrößert.)

a) System Feldmann und Rudolph.

Ein bemerkenswerter Vorschlag wurde 1901 von dem Regierungsbaumeister a. D. Feldmann in Elberfeld gemacht, der, obgleich nie praktisch erprobt, hier doch erwähnt werden soll, weil er eine eigenartige Neuerung darstellt.

Das zweischienige Gleis hat 0,60 m Spurweite. An der äußeren Seite wird von einem gußeisernen Bock eine umgekehrt und höher liegende Kontaktschiene getragen. Das Charakteristische an diesem System ist das Prinzip der Erhöhung des Adhäsionsgewichtes proportional zum ausgeübten Seilzuge bei verhältnismäßig geringem Lokomotivgewicht. Zu dem Zweck wird gegen die Kontaktschiene, welche auch die Stromzuführung vermittelt, ein Kontaktrad mittelst Hebels angepreßt, an dem das Schlepptau befestigt wird.

Ein Anpressen des Kontaktrades findet also nur statt, wenn ein Zug im Schlepptau ausgeübt wird. Bei Leerlauf trägt zur Adhäsion nur das Eigengewicht bei. Auf diese Weise wird mit leichten Lokomotiven eine große Zugleistung erzielt, der Stromverbrauch durch die Zugkraft selbst reguliert und die Standsicherheit durch die Kontaktschiene erhöht. Ein Hauptziel dieses Vorschlages war, die Gleisanlage und Kontaktschiene so zu gestalten, daß sie in der normalen Kanalböschung oder in Ufermauern ohne merkliche Einschränkung des Profils und ohne Inanspruchnahme des Leinpfades und des darüber befindlichen Luftraumes angebracht werden können.

Obwohl der Vorschlag bemerkenswerte Gesichtspunkte aufweist, so haften ihm doch bedenkliche Mängel an:

a) die Schwierigkeit einer zuverlässigen, dauernden Isolierung der Kontaktschiene wegen ihrer mechanischen Beanspruchungen,
b) die leichte Zugänglichkeit der Kontaktschiene und die daraus sich ergebenden Unglücksfälle besonders auf freier Strecke,
c) die Erhöhung der Anlagekosten infolge der dritten Schiene nebst den gußeisernen Böcken und dementsprechend größere Unterhaltungskosten,
d) die Schwierigkeit der Durchführung des Gleises an Schleusen, sowie bei der Kreuzung von Leinpfad mit Straßenbrücken.

Bei dem Preisausschreiben der Teltowkanal-Bauverwaltung 1902 wurde diesem System der zweite Preis zuerkannt, während den dritten Preis das System Rudolph erhielt, das dem Feldmannschen sehr ähnlich ist und in seinen Grundzügen noch mehr wie jenes mit den später zu besprechenden Systemen Wood und Gèrard-Clarke (s. S. 22) übereinstimmt. Herr Reg.- und Baurat Rudolph hatte seine „Vorrichtung zur Erhöhung der Reibung der Triebräder durch Anpressen derselben gegen ihr Gestänge entsprechend der Größe der Zugkraft“ durch D. R. P. vom 17. April 1898 schützen lassen; das Patent ist aber inzwischen verfallen.

b) System Vering.

Mit diesem System wurden 1899 auf der Elbinsel Wilhelmsburg von der E. A. G. Schuckert & Co. Nürnberg zusammen mit der Firma Vering in Hamburg Versuche angestellt. Die Gleisanlage war aus Altmaterial hergestellt, die Lokomotive aus vorhandenen Konstruktionsteilen gebaut. Infolgedessen hatte das Gleis eine Spurweite von 1,3 m.

Um bei geringem Lokomotivgewicht eine möglichst große Adhäsion zu erzielen, sind die Achsen der Triebräder um 60° gegen die Horizontale geneigt. Die Neigung der Schienen ist dementsprechend 30°, so daß zur Erzeugung der Adhäsion eine Kraft gleich dem doppelten Lokomotivgewicht zur Verfügung steht, und die seitlichen Zugkräfte wirksam aufgenommen werden.

Die Versuche wurden mit einer Baggerschute von 180 t Wasserverdrängung ausgeführt. Bei 1,4 m/Sek. Geschwindigkeit und einer Zugkraft von rund 400 kg war der Wirkungsgrad nur etwa 26%. Bei voller Ausnutzung der Lokomotivleistung bei etwa 900 kg und einer Geschwindigkeit von 1,5 m/Sek. würde sich der Wirkungsgrad auf etwa 45% erhöhen.

Der große Nachteil dieses Systems liegt in der komplizierten Bauart, bewirkt durch die Schrägstellung der Achsen, so daß kaum

eine Gewichtsersparnis erzielt wird, und außerdem durch die vielfachen Zahnradübersetzungen beim Antriebsmechanismus ein beträchtlicher Energieverlust eintritt. Die Anlagekosten sind außergewöhnlich hohe.

G. Lokomotivsystem auf einer Schiene.

(Adhäsion künstlich vergrößert.)

a) System Wood.

Eine neue, eigenartige Konstruktion zeigt die Einrichtung des elektrischen Schnellbetriebes auf einer Versuchsstrecke des Eriekanals in Nordamerika.

Die Woodsche Treidellokomotive läuft auf einer Schiene. Die zweigleisige Anlage (für jede Richtung eine Schiene) befindet sich auf demselben Ufer des Kanals und besteht aus zwei kräftigen I Schienen von 0,45 m Höhe, die in Zwischenräumen von 7,5 m auf gußeisernen I förmigen Stützen N.P. 40 ruhen, die ihrerseits mit Betonfundament auf der Kanalböschung bezw. im Leinpfad eingesetzt sind. Das dem Kanal zugekehrte Gleis liegt niedriger als das äußere. Die Entfernung der beiden Gleise beträgt 0,85 m. Die dem Kanal parallellaufenden I Träger tragen auf dem oberen Flantsch eine Vignoles-Schiene von 15 kg/lfd. m Gewicht, auf dem unteren Flantsch eine solche von 12,5 kg/lfd. m Gewicht. Die Hauptträger sind durch einen Windverband versteift. Das ganze System wiegt 206 t/km.

Die besonders kräftige Lokomotive von 84—100 PS. hat ein Gewicht von 6,0 t. Die Standfestigkeit und vor allem die Adhäsion der Maschine werden zur Erzielung einer Zugkraft bis 9000 kg erhöht durch zwei Anpressungsrollen, die durch Federn und Hebel proportional zum ausgeübten Zug des Schlepptaues durch diesen gegen die untere Schiene angedrückt werden.

Jede Achse wird durch einen Gleichstrommotor angetrieben. Die Stromzuführung geschieht durch Oberleitung, die Rückleitung durch das Gleis. Die Versuche ergaben einen Wirkungsgrad von 50—70 %, je nachdem die Geschwindigkeit 3,2—7,5 km/Std. betrug mit Nutzlasten von 575—1150 t. Für eine solch kräftige Ausbildung des Systems waren natürlich die verlangten hohen Zugleistungen maßgebend. Bei Normalfahrt mit 1000 t Nutzlast und etwa 7 km/Std. Geschwindigkeit beträgt die Zugkraft mit dem sehr ungünstigen Schiffsmaterial mit viereckigem Bug etwa 3000 kg, die Lokomotivleistung etwa 104 PS. Beim Anfahren steigt die Zugkraft sogar bis 9000 kg.

Wegen dieser hohen Leistungen sind die Anlagekosten recht erheblich und ebenfalls sind die Unterhaltungskosten, vor allem wegen der schwer zu erreichenden genügenden Seitensteifigkeit gegenüber den schrägen, außerordentlich großen Zugkräften, und die Abnutzung der Druckrollen mit ihren Lagern sehr bedeutend. Außerdem wird der Querverkehr vom Leinpfad zum Schiff und umgekehrt durch die etwa 1,5 m über Leinpfadoberkante ragende Gleisanlage sehr erschwert. Bei einigermaßen lebhaftem Verkehr bietet auch das häufige Kreuzen der Lokomotiven Schwierigkeiten, besonders da die Schlepptrossen nicht von der Lokomotive abgeworfen, sondern unter- bezw. übereinander hinweggeführt werden.

b) System Gérard-Clarke.

Im Jahre 1905 wurde nach dem Woodschen von Gérard und Clarke ein neues System der Treidellokomotive mit proportioneller Adhäsion entworfen, das mehr für europäische Verhältnisse geeignet ist. Das Gleis und die Lokomotive der bei Schenectady in Nordamerika angelegten Versuchsstrecke sind für normale Zugleistungen bis 1000 kg und 5 km/Std. Geschwindigkeit bei Belastung, und 10 bis 15 km bei Leerlauf berechnet.

Der einschienige Unterbau ist so konstruiert, daß er sich für eingleisige und für doppelgleisige Anlage auf demselben Kanalufer eignet. Die in Eisenfachwerk gebauten Stützen im Abstand von 6,35 m tragen an einem 30 cm herausragenden Stehblech das seitlich versteifte, aus einem einfachen I Walzträger N.P. 25 bestehende Gleis, dessen Flantschen die obere und untere Laufschiene bilden. Gleisoberkante liegt etwa 1,25 m über dem Wasserspiegel, also bei konstantem Kanalwasserstand nur etwa 0,25 bis 0,50 m über Terrainhöhe des Leinpfades. Das Gewicht des Gleises einschließlich Stützen beträgt für eingleisige Anlage 60 t/km, für zweigleisige Anlage 105 t/km gegen 206 t/km beim System Wood.

Das Gewicht der Lokomotive beträgt 2920 kg, ihre Normalleistungsfähigkeit ist 45 PS., die für kurze Zeit auf 55 PS. gesteigert werden kann. Der Motor und daher auch der Schwerpunkt der Maschine liegen unter dem Hauptträger. Die zur Überwindung der verhältnismäßig hohen Zugkräfte erforderliche Adhäsion wird erzielt durch zwei Anpressungsräder, die durch die Zugkraft der Schlepptrosse mittels Hebelvorrichtung proportional zum ausgeübten Zug gegen den unteren Flantsch des Hauptträgers angepreßt werden. Auf diese Weise wird es ermöglicht, bei einem Eigengewicht der Lokomotive von kaum 3 t und einer Geschwindigkeit von 7,2 km/Std.

eine Zugkraft von 1000 kg bei normaler Fahrt auszuüben. Bei geringeren Geschwindigkeiten leistet die Maschine sogar annähernd 3000 kg Zugkraft. Bei der Leerfahrt wird die Adhäsion nur durch das Eigengewicht vermittelst der oberen Tragräder bewirkt.

Die Anpressungsräder werden nur angedrückt, wenn ein Zug am Schlepptauhaken ausgeübt wird. Hieraus folgt, daß die Lokomotive bei der Leerfahrt eine große Geschwindigkeit bei verhältnismäßig geringem Stromverbrauch erreicht, weil die zu leistende Arbeit nur das geringe Eigengewicht zu bewegen hat. Bei Belastung wird das Anpressen der unteren Räder stets proportional zur Zugkraft sein und außerdem noch reguliert, je nach dem feuchten oder trockenen Zustand des Gleises, durch Befestigen des Schlepptauhakens an einem kürzeren oder längeren Hebelarm, und zwar so, daß die Pressung der Räder den $5^1/_2$—7 fachen Wert der Zugkraft annehmen kann. Dadurch wird ein sehr wirtschaftlicher Stromverbrauch erzielt, so daß der Wirkungsgrad für alle Belastungen annähernd gleich und recht hoch ist (etwa 72,5 %). Die Stromzuführung (Gleichstrom von 550 Volt) geschieht durch Oberleitungsdrähte vermittelst Kontaktstange, die Rückleitung durch das Gleis.

H. Vergleichung der verschiedenen Systeme.

Wie schon erwähnt, haben die meisten Systeme nur noch historisches Interesse. Sowohl in technischer als in wirtschaftlicher Beziehung sind in der kurzen Zeit so große Vorteile erzielt, daß besonders bei Neuanlagen wohl nur die grundsätzlichen Anordnungen der beiden Systeme Siemens-Schuckert und Gérard-Clarke in Frage kommen werden. Bei einigen bestehenden Kanälen werden die früher eingeführten elektrischen Zugmittel zum Teil noch mit Erfolg weiterbetrieben. So hat z. B. das von Gérard auf dem „canal de Charleroi“ eingeführte „cheval électrique“ die früher dort vorhandenen Betriebsverhältnisse bedeutend verbessert, und auf den französischen Kanälen des Nordens verkehren auf dem größten Teil der mit elektrischem Schiffszug ausgerüsteten 58 km langen Strecke sogar noch die ganz alten dreirädrigen Galliot-Denèfle-Selbstfahrer (s. S. 14). Aber für einen leistungsfähigen, regelmäßigen Betrieb und zur Bewältigung eines starken Verkehrs kann es sich nur um Zugmittel handeln, die hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit durch genügende, praktische Versuche erprobt sind und sich als zuverlässig erwiesen haben. Diesen Bedingungen entspricht vollständig nur das auf dem Teltowkanal eingeführte System Siemens-Schuckert.

Das System Gérard-Clarke ist noch nirgends praktisch zur Ausführung gelangt. Immerhin haben die Versuche erwiesen, daß auch

dieses System unter gewissen Bedingungen den Anforderungen eines modernen Schiffszuges entspricht.

I. Vorteile und Nachteile des zweischienigen und des einschienigen Lokomotivsystems.

Ein Vergleich läßt sich freilich nicht ohne weiteres anstellen. Beide Systeme haben ihre eigenartigen Vorzüge, die sie für bestimmte Anwendungsfälle besonders geeignet machen.

Die Siemens-Schuckertsche Lokomotive ist den Verhältnissen des Teltowkanals angepaßt, mit allen Hilfsmitteln, wie beweglichem Treidelmast, elektrischer Seilwinde usw. ausgerüstet und hat deshalb ein erheblich größeres Eigengewicht. In den Anlagekosten spielt aber die Gleisanlage die größte Rolle, während der Lokomotivpreis weniger ins Gewicht fällt. Das zweischienige Gleis aus 20 kg/lfd. m schweren Vignoles-Schienen auf Holzschwellen stellt sich einschließlich Weichen, Bettung usw. auf etwa 14750 M. pro km (s. S. 43). Die Herren Gérard und Clarke setzen für das einschienige Gleis einschließlich Fundament und Anstrich bei 60 t/km Eisengewicht nur 12800 M.[1]) an. Während aber für das zweischienige Gleis mit max. 2 t Raddruck auch ein schwächeres Schienenprofil ausreicht, ist bei dem einschienigen Gleis auf möglichste Gewichtsersparnis Bedacht genommen. Eine überschlägliche Nachrechnung des letzteren ergibt bei einem Seilzuge von 1000 kg in Richtung des Gestänges und einer nach dem Kanal zu gerichteten Querkomponente von etwa $^1/_4$—$^1/_5$ eine Beanspruchung des Hauptträgers von reichlich 1000 kg/qcm, vorausgesetzt, daß der Seilzug in Trägerhöhe angreift. Wird aber bei Einführung eines Treidelmastes der Angriffspunkt der Zugkraft nach oben verschoben, und wird die Querkomponente des Seilzuges vergrößert, so treten derartig hohe Beanspruchungen in dem Hauptträger auf, daß dieser unbedingt verstärkt werden muß. Um allen Anforderungen Rechnung zu tragen, dürfte eine Gewichtserhöhung der Eisenkonstruktion auf etwa 80—100 t/km nicht zu umgehen sein, zumal, um eine Abnutzung der Trägerflantschen zu verhindern, auf diesen je eine Laufschiene angebracht werden muß. Sodann werden aber bei einem Einheitspreis von 200—250 M. pro t für die Eisenkonstruktion die Anlagekosten des einschienigen Gleises diejenigen des zweischienigen mindestens überschreiten.

Für eine Kanalanlage wie der Teltowkanal, der mit der Zeit zum großen Teil mit Hafenanlagen besetzt sein wird, läßt sich das

1) Vgl. Gérard-Clarke, Internationaler Schiffahrtskongreß, 1905.

System Gérard-Clarke wegen des hochliegenden Gleises (0,25—0,50 m über Leinpfadoberkante) schwer durchführen. Über dem zweischienigen System ist ein Querverkehr ohne weiteres möglich. Vermittelst des Treidelmastes kann die Schlepptrosse über Hindernisse hinweggeführt werden, während bei dem einschienigen System das Abwerfen und Wiederaufnehmen des Seiles zeitraubend und betriebsgefährlich ist.

Für lange, freie Kanalstrecken namentlich in wenig bebauten Gegenden fällt dieser Nachteil fort. Wenn nicht für andere Zwecke ein Leinpfad ohnehin erforderlich ist, kann beim einschienigen System teilweise sogar darauf verzichtet und dadurch der Grunderwerb erheblich eingeschränkt werden.

Ein Vorteil der einschienigen Lokomotive ist der höhere Wirkungsgrad (72,5 % gegen 61,5 %) wegen der geringeren Eigenreibung, wodurch eine Stromersparnis von etwa 10 % erzielt wird. Wie später gezeigt wird (vergl. S. 92), hat der Stromverbrauch bei Geschwindigkeiten bis etwa 4 km/Std. einen unwesentlichen Einfluß auf die Zugkosten. Erst bei höheren Geschwindigkeiten steigt er immer mehr, um schließlich zum Teil ausschlaggebend für die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zu werden.

Einen Nachteil des einschienigen Systems stellt der nach oben gerichtete Zug bei gering beladenen Kähnen dar, weil die Lokomotive zu niedrig fährt, wenn nicht andererseits das Gleis mit Rücksicht hierauf unnötig hoch gelegt werden soll. Eine technische Schwierigkeit liegt in der Konstruktion der Weichen. Unzweckmäßig ist es, daß nur ein Antriebsmotor vorhanden ist, was bei Havarien zu unangenehmen Betriebsstörungen führen kann. Gerade die Anwendung zweier Motoren hat sich im Straßenbahnbetrieb vorzüglich bewährt, und auch die Versuche mit den elektrischen Treidellokomotiven bewiesen die Zweckmäßigkeit, zwei Triebachsen an je einen Motor zu kuppeln.

Die höhere Leerlaufgeschwindigkeit der einschienigen Lokomotive ist von Vorteil für die schnelle Verteilung der Betriebsmittel. Bei 15 km/Std. Geschwindigkeit verbraucht sie 7,5 KWSt., die zweischienige Lokomotive bei 10 km/Std. 7 KWSt.

K. Begründung des für die vorliegende Abhandlung gewählten Lokomotivsystems.

Nach technischen Gesichtspunkten bedarf es in jedem einzelnen Falle besonderer Erwägungen, um das Zugmittel den für jeden Kanal verschiedenen Verhältnissen zweckentsprechend anzupassen. Eine wirtschaftliche Betrachtung in bezug auf die zulässige, zweckmäßige

Steigerung der Fahrgeschwindigkeit läßt sich jedoch unter Zugrundelegung normaler Verhältnisse für den elektrischen Schiffszug allgemein durchführen. Die vorerwähnten Ausführungen über die beiden in Frage kommenden Systeme zeigen, daß die technischen Anordnungen des einen oder anderen Systems für die Erörterung dieser Frage weniger ins Gewicht fallen, da bei annähernd gleichen Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten dieselbe Leistungsfähigkeit zu erzielen ist.

Daher ist den folgenden Betrachtungen die am Teltowkanal eingeführte und für den Rhein-Weser-Kanal in Aussicht genommene Einrichtung der elektrischen Treidelei zugrunde gelegt, für die die erforderlichen Unterlagen in weitestgehendem Maße vorhanden sind und in bereitwilligster Weise von der Teltowkanal-Bauverwaltung und von den Siemens-Schuckert-Werken zur Verfügung gestellt wurden.

6. Ermittelung der Zugkosten.

A. Besondere Annahmen.

Mit Benutzung der neuesten, am Teltowkanal gewonnenen Erfahrungswerte soll zunächst der Schiffswiderstand für die angenommenen Schleppzüge, sowie der erforderliche Stromverbrauch der Lokomotiven für Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. festgestellt werden. Es soll dann für einen schleusenfreien Kanal von 100 km Länge eine genaue Untersuchung darüber durchgeführt werden, wie sich bei einem Jahresverkehr von 1—10 Mill. t und für Geschwindigkeiten von 3—7 km/Std. die Zugkosten im ganzen und im einzelnen ergeben.

Eine größere oder kleinere Kanallänge hat nur unerheblichen Einfluß auf die Höhe der Zugkosten. Bei längerem Kanal wachsen die Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten annähernd proportional der Länge. Nur bei der Verwaltung und Aufsicht der Treidelanlagen lassen sich einige Ersparnisse erzielen, die aber für die tonnenkilometrischen Zugkosten durchaus unwesentlich sind. Die Zweckmäßigkeit des elektrischen Schiffszuges hängt daher nicht von der Länge der betreffenden Kanalstrecke ab, und es wäre unrichtig, etwa aus wirtschaftlichen Betrachtungen rechnerisch eine Mindestlänge zu ermitteln, bei der die Einrichtung der elektrischen Treidelei anfängt, wirtschaftliche Vorteile zu bieten. Ferner ist zu beachten, daß die

verhältnismäßig hohen Liegekosten und Nebenkosten sich auf die gesamte Fahrtlänge verteilen, weil die Transporte sich nicht auf die betreffende, mit elektrischer Treidelei ausgerüstete Kanalstrecke beschränken, sondern auf die anschließenden Wasserstraßen übergehen.

Es würde ein vollkommen unrichtiges Bild geben, wenn man bei Erörterung der Wirtschaftlichkeit des Zugmittels die betreffende kurze Kanallänge auch als Transportentfernung zugrunde legen würde. Diese Voraussetzung trifft nur für einen, von jeglicher Verbindung mit anderen Wasserstraßen abgeschlossenen Kanal zu, ein Fall, der in Praxis nicht vorkommen kann.

Daher erübrigt sich für die vorliegende Betrachtung das Eingehen auf die Untersuchung in bezug auf die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges für verschiedene Kanallängen. Abgesehen von ganz kurzen Strecken, die überhaupt schon praktisch nicht ausgeführt werden, wachsen die gesamten direkten und indirekten Betriebskosten annähernd proportional der Kanallänge und die tonnenkilometrischen Zugkosten bleiben dieselben. Die für 100 km Kanallänge durchgeführte Untersuchung kann daher ohne weiteres als Unterlage dienen für entsprechende Anwendung auf Kanäle von etwa 50 bis 300 km Länge und mehr.

Der Teltowkanal hat nur 37 km Länge, und wenn in dem Entwurf für die Einrichtung des elektrischen Schiffzuges auf dem Rhein-Weser-Kanal zunächst Bedenken vorlagen, auch die 39 km lange Strecke Rhein-Herne damit auszustatten, so geschah es hauptsächlich wegen der zahlreichen, sich am Ufer hinziehenden Lösch- und Ladeplätze und Hafenanlagen, deren freier Querverkehr durch die Schleppstrosse in gewissem Grade behindert wird, sowie wegen der sieben Schleusenanlagen, wodurch die Haltungen nur eine durchschnittliche Länge von 5,6 km erhalten. Nachdem aber die erstgenannten Schwierigkeiten von der Siemens-Schuckertschen Lokomotive durch den bis 3,75 m über S.O. hochzurichtenden Treidelmast zum großen Teil überwunden sind, und nachdem am Teltowkanal, der gerade hierfür ein besonderes Beispiel bietet, indem er fast in seiner ganzen Länge mit derartigen Anlagen besetzt ist, sich der elektrische Betrieb auch in dieser Beziehung als zweckmäßig erweist, dürfte bei Einführung des elektrischen Schiffszuges auf dem Rhein-Weser-Kanal wohl sicher die gesamte Strecke einheitlich damit ausgestattet werden.

Ferner sollen die Untersuchungen nur für einen schleusenfreien Kanal durchgeführt werden, trotzdem das Ergebnis durch Schleusen entsprechend ihrer Anzahl und Entfernung in immer stärkerem Maße ungünstig beeinflußt wird. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß

bei einem Schleusenkanal, wo eine Schleuse der anderen in dem kürzesten Abstand folgt, jeglicher Vorteil aus der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit hinfällig wird, weil auf den kurzen Haltungen das Anfahren so lange dauert, daß die höchste Fahrgeschwindigkeit überhaupt nicht erreicht werden kann. Sehr viele französische und auch manche unserer reichsländischen Kanäle befinden sich in derartig ungünstiger Lage (der Kanal von Burgund hat auf 242 km 191 Schleusen, also auf je 1,3 km eine Schleuse) und sind deshalb für die wirtschaftliche Durchführung eines mechanischen Schiffszuges durchaus ungeeignet.

In Norddeutschland, dem Gebiet der neuen großen Kanäle, liegen die Verhältnisse viel günstiger. Die ganze Strecke vom Rhein bis Hannover von 314 km Länge hat nur acht Schleusen, d. i. durchschnittlich auf 39 km eine Schleuse, die 209 km lange Strecke Minden-Hannover ist sogar vollständig schleusenfrei.

Es ist nicht der Zweck der vorliegenden Abhandlung, auf den Einfluß der Schleusen genauer einzugehen. Es ist eine vollständig zu trennende Frage, den besonderen Einfluß der Schleusentreppen von verschiedener Höhe, mit verschiedenem Gefälle der einzelnen Schleusen, bei verschiedener Länge der Haltungen in bezug auf die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges und in bezug auf die Zweckmäßigkeit einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zu untersuchen. Für unsere norddeutschen Verhältnisse ist diese Erörterung auch nicht von großer praktischer Bedeutung.

Immerhin ist es aber für die Durchführung eines geregelten Schnelltreidelbetriebes auch bei geringer Anzahl der Schleusen erforderlich, die Schleusungsdauer möglichst abzukürzen, um nicht den durch schnellere Fahrt auf der freien Kanalstrecke erzielten Zeitgewinn teilweise wieder an den Schleusen einzubüßen. Deshalb müssen mit der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit Hand in Hand gehen die weitestgehenden Verbesserungen in den Betriebseinrichtungen der Schleusen.

Zum Teil bieten hierzu die Anlagen der elektrischen Treidelei selbst die Mittel, indem sie die Energie liefert zum elektrischen Betrieb der maschinellen Einrichtungen. An der Schleuse des Teltowkanals bei Klein-Machnow werden fast die gesamten mechanischen Betriebseinrichtungen elektrisch bedient, so daß dadurch eine Zeitersparnis beim Bewegen der Tore und beim Füllen und Entleeren der Kammer erzielt wird. Der größte Teil der Schleusungsdauer wird aber bei der An- und Einfahrt zur Schleuse sowie bei der Aus- und Abfahrt von der Schleuse verbraucht. Auch diese Zeit wird

bei der Teltowkanal-Schleuse auf ein Mindestmaß beschränkt durch elektrisch angetriebene Laufkatzen, die sich auf den Leitwerken befinden und durch elektrische Spills auf den Kammerwänden.

Andere Mittel zur Beschleunigung des Schleusendienstes sind besondere Lokomotiven zum Herein- und Herausziehen der Kähne oder elektrische Zellenboote, die probeweise an der Mühlendammschleuse in Berlin mit Erfolg eingeführt waren.

Einen weiteren, wechselnden, aber verhältnismäßig geringen Einfluß auf die Zugkosten werden unter Umständen die für besondere Verhältnisse erforderlichen Bauwerke und Anlagen haben, z. B. Leinpfadbrücken über Stichkanäle, Hafenanschlüsse und andere in Wasserspiegelhöhe einmündende Wasserläufe, oder, bei weniger tragfähigem Boden, besondere Maßnahmen zur Gewährleistung einer ausreichenden Standsicherheit der Leinpfaddämme für die verhältnismäßig hohe Belastung durch die Lokomotiven usw. Derartige Mehranlagekosten sind für jeden einzelnen Fall besonders zu beachten, im Vorliegenden ist darauf keine Rücksicht genommen worden, dafür sind aber den Anlagekosten reichlich bemessene Durchschnittswerte zugrunde gelegt.

Die unter diesen Voraussetzungen ermittelten Zugkosten, tabellarisch zusammengestellt und graphisch aufgetragen, sollen dann als Ausgangspunkt dienen für eine Betrachtung über die wirtschaftliche Zweckmäßigkeit einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, wobei zugleich die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Treidelei im Vergleich zu dem freien und monopolisierten Schlepperbetrieb nachgewiesen werden soll.

B. Feststellung des Schiffswiderstandes.

Die am Teltowkanal (Oktober bis Dezember 1903) ausgeführten Treidelversuche[1]) hatten hauptsächlich den Zweck, die Brauchbarkeit und Leistungsfähigkeit der Lokomotive für die besonderen Verhältnisse des Teltowkanals und für die dort üblichen Schiffsgefäße festzustellen. Deshalb erstreckten sich die Versuche zunächst nur auf Schleppkähne von 154 t (Finowkahn) bis 440 t (Oderkahn) Nutzlast und Fahrgeschwindigkeiten bis etwa 5,5 km/Std.

Nachträglich wurden dann auch noch Versuche mit westlichen Normalkähnen (600 t Nutzlast bei 1,75 m Tiefgang) ausgeführt, und zwar mit Fahrgeschwindigkeiten bis 7 km/Std. Das Ergebnis dieser letzteren ist der vorliegenden Berechnung des Schiffswiderstandes zugrunde gelegt. In Tafel 1 ist pro 1000 t Bruttolast mit Schlepp-

1) Vgl. Anm. S. 2.

kähnen von 600 t Nutzlast bei 1,75 m Tiefgang die Kurve für den Schiffswiderstand eingetragen, der beim Treideln mittelst Lokomotive im Schlepptau gemessen wurde. Zum Vergleich sind auch diejenigen Kurven eingezeichnet, die den Schiffswiderstand pro 1000 t Bruttolast beim Schleppen mittelst Schleppers angeben, und zwar so, wie sie bei den Untersuchungen am Dortmund-Ems-Kanal 1898[1]) von Herrn Baurat Haack festgestellt wurden.

Wie schon vorher erwähnt (s. S. 8), zeigt ein Vergleich der Kurven für 1,75 m Tiefgang, wie sehr bei Geschwindigkeiten über 4,5 km/Std. der Einfluß des von dem Schlepper zurückgeworfenen Kiel- und Schraubenwassers auf die Größe des Schiffswiderstandes immer mehr zunimmt. Bei geringeren Geschwindigkeiten, wo die von dem Schlepper verursachten Wellen noch nicht den Bug des Schleppkahns treffen, ist der Schiffswiderstand bei der Treidellokomotive infolge des schrägen Zuges etwas größer als beim Schlepper. Etwa bei 4,5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit sind die Widerstände gleich groß, und nun steigt die Kurve für Schlepper immer steiler an und verläuft bei etwa 7 km/Std. asymptotisch (vgl. auch S. 8). Die übrigen Kurven zeigen, wie sich beim Schlepperbetrieb für verschiedenen Tiefgang die Schiffswiderstände mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit verhalten. Die obere Grenze der Fahrgeschwindigkeit, bis zu der ein Fortbewegen der betreffenden Schleppkähne mit Schleppern in dem angenommenen Kanalquerschnitt überhaupt nur möglich ist, beträgt nach Tafel 1:

für	1,50 m	Tiefgang	etwa	7,5	km/Std.
„	1,75 „	„	„	7,0	„
„	2,0 „	„	„	6,2	„
„	2,25 „	„	„	5,0	„

Eine weitere Steigerung der Fahrgeschwindigkeit wird durch den immer stärker werdenden Einfluß des Schrauben- und Kielwassers des Schleppers auf die Absenkung unmöglich gemacht, ganz abgesehen davon, daß bei derartigen Leistungen des Dampfers die Beschädigungen der Kanalsohle durch das Slipwasser der Schraube für eine Verminderung der Fahrgeschwindigkeit, schon bevor diese oberen Grenzen erreicht werden, maßgebend sind. Eine Verlängerung der Schlepptrosse bewirkt, wie schon erwähnt (s. S. 8), keine Verminderung des Widerstandes.

Die Widerstandskurve für Treidelei (vgl. Tafel 1) verläuft wegen der erwähnten Vorteile (s. S. 10) trotz des schrägen Zuges flacher

1) Vgl. Anm. S. 2.

und zeigt, daß, freilich mit ungewöhnlich hohen, aber doch noch erreichbaren Zugleistungen (für 7 km/Std. ist der Widerstand 5 mal so groß als für 3,5 km/Std.), eine Geschwindigkeit bis 7 km/Std. zu erzielen ist. Schon früher (s. S. 12) wurde auf Grund der Versuche am Teltowkanal nachgewiesen, daß vom technischen Standpunkt aus eine Fahrgeschwindigkeit bis über 6 km/Std., unter besonderen Verhältnissen (Einführung einer wirksameren Steuervorrichtung) sogar bis 7 km/Std. möglich ist, sowohl in bezug auf Betriebssicherheit als auch Gewährleistung einer ausreichenden Erhaltung der Kanalanlagen.

C. Feststellung des Energieverbrauchs.

Die Schaltung der Fahrmotoren der Lokomotive erfolgt vermittelst einer Steuerwalze mit sieben Kontakten, durch welche die Motoren anfänglich, unter Vorschaltung von Widerständen vor die Anker der Fahrmotoren, hintereinander, später unter Ausschaltung der Widerstände parallel geschaltet werden. Nur bei den Regulatorstellungen 4 und 7 sind keine Widerstände vorgeschaltet. Da die Größe der Widerstände mit der Temperatur schwankt, sind die Angaben des Ampèremeters über den Stromverbrauch, bzw. des Voltmeters über die Klemmspannungen bei den Zwischenstellungen falsch. Die wirklich verbrauchte, aus der Leitung entnommene Leistung ist daher unter Benutzung des Wirkungsgrades der Lokomotive aus der bekannten Nutzleistung errechnet. Zu diesem Zweck ist der Wirkungsgrad (η) als Funktion der Nutzleistung aus den bei den richtig anzeigenden Regulatorstellungen 4 und 7 gemessenen Spannungen und Stromstärken (Rohleistung) bestimmt.

Es ist

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung in PS.} \times 0{,}736}{\text{Rohleistung in KWSt.}} = \frac{N \times 0{,}736}{R}$$

$$N \text{ in PS.} = \frac{\text{Zugkraft in kg} \times \text{Geschwindigkeit in m/Sek.}}{75}$$

$$N = \frac{Z \times v}{75}$$

$$1 \text{ PS.} = 0{,}736 \text{ KWSt.}$$

$$1 \text{ KWSt.} = \frac{\text{Volt} \times \text{Ampère}}{1000}$$

Nach den auf diese Weise aus der Nutzleistung und dem Wirkungsgrad der Lokomotive errechneten Werten der Rohleistung

$$\left(R = \frac{N \times 0{,}736}{\eta}\right)$$

in KWSt. für 1000 t Bruttolast ist die betreffende Kurve (Tafel 2) gezeichnet.

Nach dieser ist dann der Energieverbrauch pro brutto tkm (E) in WSt. bestimmt.

Es ist

$$E = \frac{\text{Rohleistung in KWSt.} \times 1000}{\text{Geschw. in km/Std.} \times \text{Bruttol. in t.}}$$

Da die Rohleistung für 1000 t Bruttolast ermittelt ist, so ist

$$E = \frac{R \times 1000}{v \times 1000} = \frac{R}{v}$$

Die bei den Versuchen gemessenen Werte der Zugkraft in kg, die errechneten Werte der Rohleistung in KWSt., der Nutzleistung in PS. und des Energieverbrauchs in WSt. sind auf Tafel 2 graphisch dargestellt. Der Gesamtwirkungsgrad der Lokomotive ist zu rund 61,5 % ermittelt.

Tabelle 1 zeigt außer diesen Werten (Spalte 3—8) auch den Energieverbrauch pro netto tkm (Spalte 9—10). Aus letzterem ist dann mit einem Zuschlag von 10 % für den Spannungsverlust in den Leitungen und 10 % für Leerfahrten, zusammen 20 %, der durchschnittliche Gesamtenergieverbrauch pro netto tkm ausgerechnet (Spalte 11—12), nach dem sich der jährliche Kilowattstundenverbrauch für die je nach der Verkehrsgröße verschieden hohen, beförderten Nutzlasten bestimmt.

Tabelle 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fahrgeschwindigkeit v		Zugkraft Z	Nutzleistung N	Rohleistung R		Energieverbrauch pro brutto tkm E_b		pro netto tkm E_n absolut		pro netto tkm E_n einschl. 20 %	
				η=61,5	η=72,5	η=61,5	η=72,5	η=61,5	η=72,5	η=61,5	η=72,5
km/Std.	m/Sek.	kg	PS.	KWSt.	KWSt.	WSt.	WSt.	WSt.	WSt.	WSt.	WSt.
3,0	0,834	310	3,45	4,20	3,45	1,40	1,15	1,95	1,60	2,34	1,92
4,0	1,111	575	8,52	10,20	8,63	2,55	2,15	3,54	2,99	4,25	3,59
5,0	1,388	963	17,83	21,25	18,05	4,25	3,61	5,90	5,02	7,08	6,02
5,5	1,526	1217	24,75	29,60	25,10	5,38	4,56	7,48	6,34	8,98	7,61
6,0	1,665	1525	33,90	40,50	34,45	6,75	5,75	9,40	8,00	11,28	9,60
6,5	1,805	1881	45,35	54,00	46,00	8,30	7,08	11,53	9,85	13,84	11,82
7,0	1,942	2270	58,85	70,70	59,80	10,10	8,55	14,00	11,90	16,80	14,28

Das durchschnittliche Verhältnis der Nutzlast zur Bruttolast ist:

1 voll beladener Schleppkahn	Bruttol. 740 t,	Nutzl. 600 t
$^1/_5$ beladener (Rückfracht) „	„ 260 t,	„ 120 t
Durchschnittliche	Bruttol. 1000 t,	Nutzl. 720 t

Demnach verhält sich der Energieverbrauch pro netto tkm zu dem pro brutto tkm wie

$$\frac{1000}{720} = 1{,}39$$

Durch Multiplikation des Energieverbrauchs pro brutto tkm mit 1,39 ist der Energieverbrauch pro netto tkm ausgerechnet (Tabelle 1, Spalte 9—10).

Diese Verhältniszahl wird umso günstiger, je größer das Verhältnis der Nutzlast zur Bruttolast wird, d. h. je größer die Schiffsgefäße sind.

Um zu zeigen, welchen Einfluß auf den Energieverbrauch die Einführung einer Lokomotive mit höherem Wirkungsgrad hat, ist zum Vergleich neben den Werten für die zweischienige Lokomotive mit η = rd. 61,5 % der Energieverbrauch der einschienigen Lokomotive mit η = rd. 72,5 % angeführt (s. Tabelle 1, Spalten 7—12).

Die Versuche mit der letzteren sind freilich unter wesentlich anderen Verhältnissen, nur in Amerika, mit anderem Schiffsmaterial und in anderem Kanalquerschnitt ausgeführt. Es sind daher die durch die Versuche am Teltowkanal festgestellten Schiffswiderstände und Nutzleistungen zugrunde gelegt, und mit Hilfe des Wirkungsgrades η = 72,5 % die Rohleistung und der Energieverbrauch der einschienigen Lokomotive für die vorliegenden Verhältnisse hinreichend genau bestimmt.

Eine spätere Erörterung (s. S. 92) wird zeigen, welchen Einfluß diese Differenz des Energieverbrauchs auf die Zugkosten ausübt.

D. Ermittelung der Anlagekosten.

Die Anlagekosten für die Treidelei zerfallen in solche, die unabhängig sind von der Verkehrsgröße und solche, die wesentlich dadurch bedingt werden. Die ersteren (festen) sind die Kosten für die Gleis- und Leitungsanlage, die letzteren (beweglichen) diejenigen für Lokomotiven und Schuppen, diese werden außerdem noch durch die Betriebsregelung, besonders durch die Länge der Schleppzüge beeinflußt. Je größer nämlich die Nutzlast der Schleppzüge ist, umso weniger Betriebsmittel brauchen beschafft zu werden, entsprechend geringer sind auch die Betriebskosten durch Ersparnis an Löhnen für die Lokomotivführer.

a) Ermittelung der Schleppzüge pro Tag.

Für die vorliegende Betrachtung sollen ausschließlich Schleppzüge, bestehend aus zwei Schleppkähnen angenommen werden, weil

erfahrungsgemäß das Schleppmittel so am besten ausgenutzt wird, andrerseits aber auch bei einigermaßen regelmäßigem Verkehr, und einheitlicher Regelung des Betriebes, es sich ohne Zeitverlust oder sonstige Betriebsstörungen leicht erreichen läßt, stets zwei Schleppkähne zu einem Schleppzuge zu vereinigen.

Bei voller Hin- und $^1/_5$ Rückfracht der Schleppkähne beträgt die durchschnittliche Nutzlast eines Schleppzuges $^3/_5$ der Tragfähigkeit. Da die angenommenen Schleppkähne von 600 t nomineller Tragfähigkeit tatsächlich mehr Ladung einnehmen, so ist mit einer durchschnittlichen Tragfähigkeit von 600 t gerechnet. Demnach beträgt die Nutzlast eines Schleppzuges $^3/_5 \times 1200 = 720$ t. Der Betrieb soll jährlich an 270 Tagen stattfinden, für den Tag je 13 Stunden. Es mag zunächst fraglich erscheinen, ob eine tägliche Betriebszeit von 13 Stunden mit einfachem Personal eingehalten werden kann, zumal die Lokomotivführer außerdem ihre Maschinen morgens aus dem Schuppen holen und abends zurückbringen müssen. Da die Lokomotivschuppen in der Mitte ihres etwa 30 km langen Bezirkes liegen, so ist die durchschnittliche Strecke für die Leerfahrten $2 \times 7{,}5$ km täglich, d. i. $^{15}/_{10} = 1{,}5$ Stunden (für die einschienige Lokomotive nur $^{15}/_{15} = 1$ Stunde). Das Reinigen der Maschine wird von dem Schuppenpersonal besorgt, die Führer wohnen in der Nähe des Schuppens, so daß ihr Maximaldienst 14,5 Stunden täglich beträgt.

Nun ist aber die Anzahl der Lokomotivführer größer als die Anzahl der durchschnittlich täglich zu fahrenden Schleppzüge (s. S. 38). Einige von den Führern und zwar bei schwächerem Verkehr entsprechend mehr, müssen stets im Schuppen beschäftigt werden, dadurch ist dem Betriebsleiter die Möglichkeit gegeben, die tägliche Dienstzeit unter den Führern auszugleichen, so daß diese nicht jeden Tag 14,5 Stunden Dienst tun.

Andrerseits ist aber in Betracht zu ziehen, daß der Dienst außerordentlich bequem und wenig anstrengend ist, und sich keineswegs mit demjenigen auf der Eisenbahn oder Straßenbahn vergleichen läßt. Die Fahrgeschwindigkeit ist verhältnismäßig gering, besondere Hindernisse kommen nur selten vor. Selbst für die gleislosen Galliot-Denèfle-Treidelmaschinen auf den französischen Kanälen des Nordens, bei denen der Führer die Maschine noch zu lenken hat, und wo auf dem Leinpfad häufig ein Verkehr von Fußgängern, Radfahrern und sogar Wagen geduldet wird, versehen den Führerdienst zum großen Teile ganz jugendliche oder sehr alte Leute, an die gar keine besonderen Anforderungen gestellt werden und die sehr gemütlich, auch wohl sitzend ihre Maschine führen. Besondere längere Er-

holungspausen während des Dienstes sind also durchaus nicht erforderlich.

Die Tagesleistung (s. S. 39) ist zur Berücksichtigung der durch Lokomotivuferwechsel und unvorhergesehene Fälle verursachten Zeitverluste nach Abzug von 6 % von der mittleren Reisegeschwindigkeit bestimmt, die sich nach Abzug der Zeitverluste beim Kreuzen für 10 Mill. t Jahresverkehr ergibt (s. Tab. 3). Das gibt z. B. für 5 km/Std. eine Tagesleistung von 61 km statt 65 km, also eine Verminderung um $^4/_5$ Stunden pro Tag. Damit dürften alle Fälle berücksichtigt und der 13stündige Tagesdienst der Lokomotivführer hinreichend begründet sein. Der Verkehr sei an den Tagen des stärksten Verkehrs ($^1/_3$ = 90 Tage) dreimal so stark als an den verkehrsärmsten ($^1/_3$ = 90 Tage), an mittleren Tagen ($^1/_3$ = 90 Tage) doppelt so stark als an diesen.

Unter diesen Voraussetzungen sind in Tabelle 2 die Anzahl der Schleppzüge pro Jahr (Spalte 2) und pro Tag (Spalte 3—8), sowie die Zugfolge in Minuten bei stärkstem Verkehr (Spalte 9) abhängig von der Verkehrsgröße berechnet.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jahresverkehr	Anzahl der Schleppzüge pro Jahr	Anzahl der Schleppzüge pro Tag bei schwächstem Verkehr		mittlerem Verkehr		stärkstem Verkehr		Zugfolge bei stärkstem Verkehr
		insgesamt	in jeder Richtung	insgesamt	in jeder Richtung	insgesamt	in jeder Richtung	
Mill. t	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl	Min.
1	1 388	2,6	1,3	5,2	2,6	7,7	3,9	200,0
2	2 777	5,2	2,6	10,3	5,2	15,4	7,7	100,0
3	4 166	7,7	3,9	15,4	7,7	23,2	11,6	67,5
4	5 555	10,3	5,2	20,6	10,3	30,8	15,4	50,0
5	6 844	12,8	6,4	25,7	12,9	38,5	19,3	40,0
6	8 333	15,4	7,7	30,8	15,4	46,2	23,1	33,5
7	9 722	18,0	9,0	36,0	18,0	54,0	27,0	28,5
8	11 111	20,6	10,3	41,2	20,6	61,8	30,9	25,0
9	12 500	23,2	11,6	46,2	23,1	69,5	34,8	22,0
10	13 888	25,7	12,9	51,4	25,7	77,1	38,6	20,0

Die erforderliche Anzahl der Lokomotiven ergibt sich aus der Notwendigkeit, daß bei Einführung des Monopolbetriebes jederzeit genügend Schleppmittel zur Verfügung stehen müssen, um auch an den Tagen des stärksten Verkehrs sämtliche Kähne zu befördern. Wenn dadurch bei den starken Verkehrsschwankungen die Betriebsmittel häufig nur schlecht ausgenutzt werden, so ist dies ein Nachteil, der neben den großen, früher erwähnten Vorteilen (s. S. 13) des Monopolbetriebes mit in den Kauf genommen werden muß. Für den

Fall eines außergewöhnlich starken Verkehrs ist außerdem noch ein Zuschlag von 20 % angesetzt (s. Tab. 5).

b) Die Streckenteilung.

Die Dienstteilung wird zweckmäßig so eingerichtet, daß die Lokomotiven und Führer nicht über den Bereich ihres Lokomotivbezirks hinausfahren. Dieser muß daher so weit ausgedehnt werden, als es die tägliche Dienstzeit des innerhalb desselben beschäftigten Führerpersonals gestattet. Von maßgebendem Einfluß ist die mittlere Reisegeschwindigkeit.

Für die vorliegende, allgemeine Betrachtung ist die gleiche Streckenteilung unter Zugrundelegung einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 5,5 km/Std., d. i. 6,0 km/Std. größte Fahrgeschwindigkeit für alle betrachteten Fahrgeschwindigkeiten gewählt, und zwar deshalb, weil sie für die überhaupt herangezogenen Geschwindigkeiten eine mittlere Größe darstellt, und voraussichtlich die Steigerung der Fahrgeschwindigkeit bis 6 km/Std. sich noch als zweckmäßig erweisen wird.

Streng genommen müßte für jede Fahrgeschwindigkeit eine besondere Streckenteilung vorgenommen werden, wodurch die vorliegende Erörterung aber ganz den allgemeinen Charakter verlieren würde. Die hieraus entstehenden Differenzen in den Zugkosten für geringere und höhere Fahrgeschwindigkeiten als 6 km/Std. werden jedoch annähernd wieder ausgeglichen. Beispielsweise ist für geringere Fahrgeschwindigkeiten als 6 km/Std., jedoch bei einer Streckenteilung für 6 km/Std., die Kosten für die Stromverteilungsanlage zu hoch, dafür aber die Anzahl der Lokomotiven und Führer zu gering angenommen und umgekehrt für höhere Fahrgeschwindigkeiten als 6 km/Std. Wenn auch diese Mehrkosten einerseits und Ersparnisse andrerseits sich nicht genau aufheben, so wird doch dadurch ein gewisser Ausgleich erzielt. Diese Ungenauigkeit ist aber ziemlich belanglos, weil es sich dabei nur um geringe Anlagekosten handelt, deren Einfluß auf die tonnenkilometrischen Zugkosten unwesentlich ist.

Demnach beträgt bei 13stündigem Fahrdienst der Führer die größte Länge eines Lokomotivbezirks

$$5{,}5 \times \frac{13}{2} = 35 \text{ km}$$

Dementsprechend ist der ganze Kanal von 100 km Länge in drei Lokomotivbezirke von durchschnittlich 33,33 km Länge eingeteilt. Am Ende jedes Bezirks befindet sich eine Brücke zum Lokomotivuferwechsel und außerdem eine solche etwa in der Mitte, zur Einschränkung

der Leerfahrten der Lokomotiven bei Beginn und nach Beendigung des Dienstes. Die Brücken für den Lokomotivuferwechsel sind in den Anlagekosten für die Treidelei nicht berücksichtigt, weil es für den Betrieb unwesentlich ist, wenn die Bezirke um einige Kilometer verlängert oder verkürzt werden, so daß die Lokomotivuferwechsel mit den für Straßenüberführungen notwendigen Brücken in den meisten Fällen vereinigt werden können.

Jeder Lokomotivbezirk wird mit dem Bereich einer Unterstation vereinigt, welche den aus der Zentrale zugeführten hochgespannten Drehstrom von 30 000 Volt in Gleichstrom von 1500 Volt umwandelt und mit diesem die Fahrleitung speist. Die Unterstationen befinden sich etwa in der Mitte eines jeden Lokomotivbezirks. Mit ihnen ist eine Lokomotivstation verbunden, die sämtliche den Bezirk befahrenden Lokomotiven aufnimmt. Außerdem befinden sich dort eine Reparaturwerkstatt und ein Dienstgebäude für das Aufsichtspersonal. Dadurch wird es ermöglicht, das in der Unterstation beschäftigte Personal, wenn es der Verkehr erfordert, beim Schleppbetrieb als Führer zu verwenden. Damit sich aber keine zu günstigen Betriebskosten ergeben, sind die Lokomotivführer dem stärksten Verkehr entsprechend während des ganzen Jahres angestellt (s. Tab. 5). Für außergewöhnlich starken Verkehr muß das Schuppenpersonal aushelfen. In der großen Anzahl der Lokomotiven und Führer liegt natürlich eine ziemliche Belastung der elektrischen Treidelei, die aber durch den Monopolbetrieb bedingt ist. Es wird sich jedoch ermöglichen lassen, eine gewisse Anzahl Führer nicht dauernd einzustellen, sondern je nach den Verkehrsschwankungen, die sich gewöhnlich einige Zeit voraussehen lassen, mehr oder weniger Führer anzunehmen. Dieses Verfahren wird um so weniger Schwierigkeiten bieten, als die Führer in ganz kurzer Zeit angelernt werden können. Die Lokomotiven müssen aber dauernd auch für außergewöhnlich starken Verkehr beschafft und unterhalten werden.

c) Ermittelung der Betriebsmittelanzahl.

a) **Feststellung der mittleren Reisegeschwindigkeit.**

Die zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl der Betriebsmittel festzusetzende Tagesleistung der Lokomotiven muß nach der mittleren Reisegeschwindigkeit bestimmt werden.

Für einen schleusenfreien Kanal ist die mittlere Reisegeschwindigkeit

$$v_m = \frac{\text{Ganze Kanallänge}}{\frac{\text{Länge d. Kreuzungsstrecke}}{v_k} + \frac{\text{freie Kanalstrecke}}{v}}$$

v = normale Fahrgeschwindigkeit,

v_k = mittlere Kreuzungsgeschwindigkeit.

Wird die Kreuzungslänge zu 210 m angenommen, so daß die Schleppkähne 70 m (eine Schiffslänge) vor Beginn der Kreuzung die normale Fahrgeschwindigkeit v ermäßigen und bei Beginn der Kreuzung die früher (s. S. 12) begründete Kreuzungsgeschwindigkeit von 5 km/Std. = 1,385 m/Sek. erreicht haben, dann ist für $v >$ 5 km/Std. die mittlere Kreuzungsgeschwindigkeit

$$v_k = \frac{1}{3} \times 1{,}385 + \frac{2}{3} \times \frac{v + 1{,}385}{2} = \frac{2 \times 1{,}385 + v}{3} = v_k = \frac{2{,}77 + v}{3}$$

In Tabelle 3 sind nun als Funktion der Verkehrsgröße für Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. dargestellt:

1. Die Schleppzugfolge in Min.
2. Der Schleppzugabstand in km.
3. Die Entfernung der Schiffskreuzungen in km.
4. Die Anzahl der Schiffskreuzungen auf 100 km Länge.
5. Die Länge der Kreuzungsstrecke in km.
6. Die Länge der freien Kanalstrecke in km.
7. Die mittlere Reisegeschwindigkeit in m/Sek. und km/Std.

β) Feststellung der Tagesleistung der Lokomotiven.

Von unvorhergesehenen Verzögerungen abgesehen, können die Fahrgeschwindigkeiten bis 5 km/Std. ohne weiteres als mittlere Reisegeschwindigkeit (v_m) gelten. Um aber auch etwaigen Zufälligkeiten Rechnung zu tragen, ist die effektive Reisegeschwindigkeit (v_e) für alle Fahrgeschwindigkeiten mit einer Verminderung um 6 % ermittelt (s. Tab. 4, Spalte 3), und danach die Tagesleistung der Lokomotiven bei 13 stündigem Dienst festgestellt (s. Tab. 4, Spalte 4), die der Berechnung der Betriebsmittelanzahl zugrunde gelegt ist (s. Tab. 5).

γ) Feststellung der erforderlichen Betriebsmittelanzahl.

Mit Rücksicht auf diese Tagesleistungen sind unter der Annahme, daß der Kanalverkehr in beiden Richtungen gleich stark ist, in Tabelle 5 für Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. und Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr eingetragen:

1. Die rechnungsmäßig erforderliche Anzahl der Lokomotiven.

Tabelle 3.

Reisegeschwindigkeit für versch. Fahrgeschwindigkeiten u. Verkehrsgrößen.

Jahresverkehr in Mill. t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schleppzug-Abstand in Min.	200,0	100,0	67,5	50,0	40,0	33,5	28,5	25,0	22,0	20,0
v = 3 km/Std. = 0,834 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	9,80	4,87	3,25	2,52	2,00	1,70	1,45	1,25	1,13	1,00
Entf. d. Kreuzungen in km .	4,90	2,44	1,63	1,26	1,00	0,85	0,73	0,63	0,57	0,50
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
v = 4 km/Std. = 1,111 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	13,00	6,50	4,33	3,38	2,67	2,27	1,94	1,67	1,50	1,34
Entf. d. Kreuzungen in km .	6,5	3,25	2,17	1,69	1,34	1,14	0,97	0,84	0,75	0,67
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
v = 5 km/Std. = 1,388 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	16,30	8,12	5,42	4,22	3,33	2,83	2,42	2,08	1,88	1,67
Entf. d. Kreuzungen in km .	8,15	4,06	2,71	2,11	1,66	1,42	1,21	1,04	0,94	0,84
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
v = 5,5 km/Std. = 1,526 m/Sek. v_k = 1,432 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	17,90	8,95	5,96	4,63	3,68	3,12	2,66	2,29	2,06	1,83
Entf. d. Kreuzungen in km .	8,95	4,48	2,98	2,32	1,84	1,56	1,33	1,15	1,03	0,92
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
Länge d. Kreuz.-Strecke in km	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	16,1	18,4	20,7	23,0
Länge d. freien Kanalstr. in km	97,7	95,4	94,1	90,8	88,5	86,2	83,9	81,6	79,3	77,0
Reisegeschwindigkeit in m/Sek.	1,524	1,522	1,519	1,517	1,515	1,513	1,511	1,509	1,507	1,505
Reisegeschwindigkeit in km/Std.	5,490	5,480	5,470	5,460	5,455	5,450	5,445	5,440	5,435	5,425
v = 6 km/Std. = 1,665 m/Sek. v_k = 1,478 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	19,50	9,75	6,50	5,05	4,00	3,40	2,90	2,50	2,25	2,00
Entf. d. Kreuzungen in km .	9,8	4,88	3,25	2,53	2,00	1,70	1,45	1,25	1,13	1,00
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Länge d. Kreuz.-Strecke in km	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	18,9	21,0
Länge d. freien Kanalstr. in km	97,9	95,8	93,7	91,6	89,5	87,4	85,3	83,2	81,1	79,0
Reisegeschwindigkeit in m/Sek.	1,661	1,657	1,653	1,648	1,644	1,640	1,636	2,632	1,628	1,624
Reisegeschwindigkeit in km/Std.	5,985	5,970	5,955	5,940	5,925	5,910	5,895	5,880	5,865	5,850
v = 6,5 km/Std. = 1,805 m/Sek. v_k = 1,528 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	21,10	10,55	7,04	5,48	4,33	3,68	3,14	2,70	2,44	2,16
Entf. der Kreuzungen in km	10,60	5,28	3,52	2,74	2,17	1,84	1,57	1,35	1,22	1,08
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	9	19	28	37	46	55	65	74	83	93
Länge d. Kreuz.-Strecke in km	1,9	4,0	5,9	7,8	9,7	11,6	13,7	15,5	17,4	19,5
Länge d. freien Kanalstr. in km	98,1	96,0	94,1	92,2	90,3	88.4	86,3	84,5	82,6	80,5
Reisegeschwindigkeit in m/Sek.	1,799	1,793	1,787	1,781	1,775	1,769	1,763	1,757	1,751	1,745
Reisegeschwindigkeit in km/Std.	6,480	6,460	6,440	6,420	6,395	6,370	6,350	6,330	6,310	6,290
v = 7 km/Std. = 1,942 m/Sek. v_k = 1,570 m/Sek.										
Schleppz.-Abstand in km . .	22,70	11,40	7,58	5,90	4,67	3,97	3,38	2,92	2,62	2,33
Entf. d. Kreuzungen in km .	11,35	5,70	3,79	2,95	2,34	1,99	1,69	1,46	1,31	1,17
Anz. d. Kreuzung. auf 100 km	9	17	26	34	43	52	60	69	77	86
Länge d. Kreuz.-Strecke in km	1,9	3,6	5,5	7,1	9,0	10,9	12,6	14,5	16,2	18,0
Länge d. freien Kanalstr. in km	98,1	96,4	94,5	92,9	91,0	89,1	87,4	85,5	83,8	82,0
Reisegeschwindigkeit in m/Sek.	1,932	1,924	1,916	1,908	1,900	1,892	1,884	1,876	1,868	1,860
Reisegeschwindigkeit in km/Std.	6,970	6,940	6,910	6,880	6,850	6,820	6,790	6,760	6,730	6,700

Tabelle 4.

Tagesleistung der Lokomotiven.

1	2	3	4
Fahrgeschwindigkeit v	Reisegeschwindigkeit mittlere v_m	Reisegeschwindigkeit effektive v_e	Tagesleistung
km/Std.	km/Std.	km/Std.	km
3,0	3,0	2,82	37
4,0	4,0	3,76	49
5,0	5,0	4,70	61
5,5	5,425	5,10	66
6,0	5,85	5,50	71,5
6,5	6,29	5,92	77
7,0	6,70	6,30	82

Anzahl der Betriebsmittel und Führer.

Tabelle 5.

Jahresverkehr in Mill. t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v = 3 km/Std. Tagesleistung 37 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{37} = 2{,}70 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 2,70 . .	20,8	41,6	62,7	83,3	104,0	125,0	145,8	167,0	187,4	208,0
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
Anzahl der erforderlichen Führer . .	21	42	63	84	104	125	146	167	187	208
v = 4 km/Std. Tagesleistung 49 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{49} = 2{,}04 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 2,04 . .	15,7	31,4	47,4	62,9	78,6	94,5	110,1	126,1	141,7	157,0
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	19	38	57	76	94	113	132	151	170	188
Anzahl der erforderlichen Führer . .	16	32	47	63	79	95	111	127	142	157
v = 5 km/Std. Tagesleistung 61 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{61} = 1{,}64 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 1,64 . .	12,6	25,3	38,0	50,6	63,2	76,0	88,6	101,2	114,0	126,2
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	15	30	46	61	76	91	106	121	136	151
Anzahl der erforderlichen Führer . .	13	26	38	51	64	76	89	102	114	127
v = 5,5 km/Std. Tagesleistung 66 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{66} = 1{,}51 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 1,51 . .	11,8	23,4	34,9	46,7	58,2	69,8	81,6	93,5	105,0	116,5
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140
Anzahl der erforderlichen Führer . .	12	24	35	47	59	70	82	94	105	117
v = 6 km/Std. Tagesleistung 71,5 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{71{,}5} = 1{,}40 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 1,40 . .	10,8	21,6	32,4	43,2	54,0	64,8	75,6	86,6	97,3	107,8
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
Anzahl der erforderlichen Führer . .	11	22	33	44	54	65	76	87	98	108
v = 6,5 km/Std. Tagesleistung 77 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{77} = 1{,}30 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 1,30 . .	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
Anzahl der erforderlichen Führer . .	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
v = 7 km/Std. Tagesleistung 82 km, Anz. d. erf. Lokom. $\frac{100}{82} = 1{,}22 \times$ Anz. d. Schleppz.										
Anzahl der Schleppzüge × 1,22 . .	9,5	18,9	28,0	37,8	47,0	56,4	66,0	75,5	84,8	94,0
Anz. d. erf. Lokom. einschl. 20 % Zuschl.	12	23	34	45	56	68	79	91	102	113
Anzahl der erforderlichen Führer . .	10	19	28	38	47	57	66	76	85	94

2. Die tatsächlich mit 20 % Zuschlag erforderliche Anzahl der Lokomotiven.

3. Die erforderliche Anzahl der Führer.

d) Die Anlagekosten im einzelnen.

Unter den so gegebenen Voraussetzungen bestimmen sich die Anlagekosten im einzelnen unter Benutzung der für den Teltowkanal verausgabten und in dem Entwurf für den Rhein-Weser-Kanal vorgesehenen Kosten ganz allgemein folgendermaßen:

I. Gleisanlage.

Freie Kanalstrecke 2 × 100 km		= 200 km
Zuschlag für 7 Brücken zum Lokomotivuferwechsel, Aufstellgleise an den Enden und in den Lokomotivschuppen		5 „
	zusammen	205 km
205 km Gleis aus 12 m langen Vignoles-Stahlschienen auf hölzernen Querschwellen von 1,70 m Länge, fertig verlegt und unterstopft, einschl. der Strecken mit Rillenschienen an den Stellen des Querverkehrs, einschl. Kies,	pro km 12 000 M.,	2 460 000 M.
30 Zungenweichen fertig verlegt	pro Stück 300 M.,	9 000 „
3 Drehscheiben (pro Schuppen je eine)	pro Stück 1 200 M.,	3 600 „
Bettung pro lfd. m 0,6 cbm = 123 000 cbm Kies anzuliefern und auf der Baustelle zu verfahren (mit Rücksicht darauf, daß er größtenteils im Kanalbett gewonnen wird)	pro cbm 3 M.,	369 000 „
Entwurfsbearbeitung, Bauleitung, Unvorhergesehenes		108 400 „
	Gleisanlage	2 950 000 M.

II. Leitungsanlage.

100 km Gittermaste für Hochspannungs- und Fahrleitung einschl. Zuschlag für Uferwechsel, Aufstellgleise und Schuppen (etwa 33 Stück pro km, à 110 M.)	pro km 3 600 M.,	360 000 M.
	Übertrag	360 000 M.

	Übertrag	360 000 M.
100 km Gittermaste für Fahrleitung (etwa 33 Stück pro km, à 85 M.)	pro km 2 800 M.,	280 000 „
100 km Hochspannungsleitung von 16 qmm Querschnitt für 30 000 Volt Drehstrom mit Isolatoren und Schutzvorrichtungen usw.	pro km 3 700 M.,	370 000 „
200 km Fahrleitung von 65 qmm Querschnitt für 1500 Volt Gleichstrom einschl. Querverbindungen der beiden Ufer alle 2 km, Streckenschalter, Schienenstoß- und Querverbindungen der Gleise, Schutzvorrichtungen usw.	pro km 3 000 M.,	600 000 „
	Leitungsanlage	1 610 000 M.

III. Lokomotiven.

Entsprechend der Verkehrsgröße und der Fahrgeschwindigkeit entfallen auf die drei Lokomotivbezirke zusammen die in Tabelle 5 angegebenen Lokomotiven für 2000 kg normale Zugkraft bei 6 km/Std. Fahrgeschwindigkeit, betriebsfertig zusammengestellt pro Stück 14 000 M.

IV. Lokomotivschuppen.

Die für den Einzelfall erforderliche Anzahl Lokomotivstände entspricht der in Tabelle 5 angegebenen Lokomotivzahl. Für jeden der drei Bezirke ist ein Radialschuppen mit angebauter Reparaturwerkstatt vorgesehen, dessen Anlagekosten pro Lokomotivstand betragen 700 M.

Demnach betragen die festen, von der Verkehrsgröße und Fahrgeschwindigkeit unabhängigen Anlagekosten pro km Kanallänge:

I. Gleisanlage . .	29 500 M.
II. Leitungsanlage .	16 100 „
Insgesamt	45 600 M.

Die erforderlichen Lokomotiven und Lokomotivstände sind nach Tabelle 5 in die Tabellen der Betriebskosten (s. Tab. 6_1—6_{10}) unter B,a (Spalten 2, 5, 8 usw.) eingetragen. Unter A (Spalten 2, 5, 8 usw.) derselben Tabellen sind die diesen Werten entsprechenden Anlagekosten zusammen mit den festen Anlagekosten im ganzen (unter a) und im einzelnen (unter b) für Fahrgeschwindigkeiten von

3—7 km/Std. und Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr in 1000 M. beigefügt.

E. Ermittelung der Zugkosten.
(Tonnenkilometrische Betriebskosten).

a) Besondere Annahmen für die Quoten.

Die Betriebskosten zerfallen in indirekte (Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals sowie Abschreibung zur Bildung eines Erneuerungsfonds) und direkte (Unterhaltungskosten der Anlagen, Putz- und Schmiermaterial, Gehälter und Löhne sowie Stromverbrauch der Lokomotiven).

Die Betriebskostenberechnung ist unter Voraussetzung folgender Quoten erfolgt:

A. Indirekte.

a) 1. Verzinsung . 3 % } in der für Staatsbauten
2. Tilgung . . . $^1/_2$ % } üblichen Höhe.
zusammen $3^1/_2$ %

b) Abschreibung:
1. Gebäude, Gittermaste (Erneuerung nach 50 Jahren) 1 %
2. Gleisanlage (Erneuerung nach 30 Jahren) . . . . 2 %
3. Leitungsanlage ausschl. Maste . . durchschnittlich 5,5 %
(Erneuerung der Hochspannungsleitung nach 20 Jahren, Erneuerung der Fahrleitung nach 12 Jahren).
4. Lokomotiven (Erneuerung nach 16 Jahren) . . . 5 %

B. Direkte.

a) Unterhaltung:
1. Gleisanlage . . . . . 1 %
2. Leitungsanlage . . . . . 2 %
3. Lokomotiven . . . . . 2 %
4. Gebäude . . . . . 1 %

b) Putz- und Schmiermaterial pro Lokomotivkilometer 0,6 Pf.

c) Gehälter und Löhne.

Die Hauptverwaltung der Treidelei untersteht der Kanalverwaltung (für ausgedehnteren Betrieb auf einem umfangreichen Kanalnetz wird am zweckmäßigsten getrennte Verwaltung eingeführt). Die entsprechenden Anteile an den Kosten der Hauptverwaltung sind in den Tabellen 6_1—6_{10} unter B, c, 1 (Spalten 3, 6, 9 usw.) eingetragen, das für die örtliche Verwaltung erforderliche Personal ist aus

denselben Tabellen, unter B, c, 2—7, Spalte 1, ersichtlich, die betreffende Anzahl zeigen die Spalten 2, 5, 8 usw., die entsprechenden Kosten die Spalten 3, 6, 9 usw.

Es sind folgende Sätze für Gehälter und Löhne angenommen:

1. Verkehrsleiter	pro Jahr	2000	M.
2. Werkmeister als Vorstand der Unterstation u. Leitungsrevisor	„ „	2500	„
3. Maschinist	„ „	1500	„
4. Schlosser	„ „	1300	„
5. Lokomotivführer	„ „	1200	„
6. Streckenwärter	„ „	1000	„
7. Hilfsarbeiter	„ „	800	„
8. Bureaubeamter	„ „	2500	„
9. Schreiber	„ „	1200	„
10. Krankenkasse, Versicherung usw. etwa 5 % der Löhne.			

b) Selbstkosten des elektrischen Stromes.

Für die Selbstkosten des elektrischen Stromes lassen sich natürlich keine absoluten Werte angeben. Die örtlichen Verhältnisse, besonders die mehr oder weniger billige Beschaffung der Kohlen, etwaige Ausnützung von Wasserkräften spielen eine wesentliche Rolle bei den Erzeugungskosten der elektrischen Energie. Hier kommt es nur darauf an, allgemein brauchbare Durchschnittswerte anzusetzen. Da in den Gegenden unserer großen Binnenschiffahrtskanäle keine Wasserkräfte in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, im Gegenteil zur Speisung der Kanalhaltungen durchaus nötig sind, so ist für die Bemessung der Stromkosten die Erzeugung in einer mit Dampf betriebenen Zentrale vorgesehen. Dabei ist jedoch in Betracht gezogen, daß die Kohlen auf dem Kanal selbst zu verhältnismäßig billigen Frachtkosten herangeschafft werden können. Auf einen größeren Konsum, als für die Zwecke der Treidelei erforderlich, etwa durch Stromabgabe an Gemeinden, Private usw., ist für diese Kostenbemessung keine Rücksicht genommen.

Der bei gesteigertem Verkehr oder höherer Fahrgeschwindigkeit bedingte größere Verbrauch, und die dadurch gebotene Möglichkeit, die Selbstkosten zu ermäßigen, ist in der wechselnden Bemessung der Kosten bei verschieden großem Verbrauch zum Ausdruck gebracht (vgl. Tafel 3). Unter diesen Voraussetzungen sind die Selbstkosten des elektrischen Stromes zu 6—10 Pfg. pro KWSt. angenommen und zwar für die von der Lokomotive aus der Fahrleitung

entnommene KWSt. unter Anrechnung eines Leitungsverlustes von 10 %, aber ohne Rücksicht auf Energieerzeugung und -verteilung, also einschließlich aller daraus entstehenden Kosten und aller Verluste infolge des Wirkungsgrades der Generatoren, Umformer, Motoren usw. Dabei ist angenommen, daß die Zentrale möglichst wirtschaftlich den jeweilig an sie gestellten Ansprüchen genügt und für den Einzelfall so groß angelegt wird, daß sie mit Rücksicht auf normale Steigerung des Verkehrs leicht entsprechend vergrößert werden kann, so daß also mit einer durchschnittlichen Ausnutzung der Zentrale von 70 % zu rechnen ist.

c) Ermittelung der Zugkosten im einzelnen und im ganzen.

Unter den nunmehr festgesetzten und begründeten Voraussetzungen ist in den Tabellen 6_1 bis 6_{10} eine detaillierte Betriebskostenberechnung für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr und Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. aufgestellt.

Die Spalten 2, 5, 8 usw. zeigen unter B, a die erforderliche Anzahl Lokomotiven und Lokomotivstände, die Spalten 2, 5, 8 usw. unter A, b die entsprechenden Anlagekosten im einzelnen und unter A, a dieselben im ganzen in 1000 M. für die Kanallänge von 100 km. Die Spalten 3, 6, 9 usw. enthalten die verschiedenen Betriebskosten pro Jahr (ausschl. Stromverbrauch).

In den Spalten 4, 7, 10 usw. sind die den einzelnen Positionen entsprechenden Betriebskosten in Pf. pro netto tkm angegeben.

In Tabelle 7, Spalten 2—30, sind diese letzteren zusammengestellt. Durch Addition ergeben sich in den Spalten 31—37 die gesamten Betriebskosten (ausschl. Stromverbrauch) in Pf. pro netto tkm. In den Spalten 38—44 sind nach Tafel 3 und Tabelle 1 Spalten 11 und 12, wie oben angegeben, die Kosten des Stromverbrauchs für die zweischienige Lokomotive ($\eta = 61{,}5$ %) und für die einschienige Lokomotive ($\eta = 72{,}5$ %) ermittelt. Die Spalten 45 bis 51 endlich geben eine Übersicht der Zugkosten in Pf. pro netto tkm, bei Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr und Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. für die zweischienige und einschienige Lokomotive.

Diese Tabelle kann natürlich kein klares, übersichtliches Bild geben. Die wichtigsten Angaben sind daher auf den Tafeln 4—6 graphisch dargestellt.

Um die Beziehung der Stromkosten zu den übrigen Betriebskosten zum Ausdruck zu bringen, gibt Tafel 4 eine Darstellung:

1. der Betriebskosten ausschl. Stromverbrauch in Pf. pro netto tkm als Funktion der Fahrgeschwindigkeit für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr;
2. der Stromkosten in Pf. pro netto tkm als Funktion der Fahrgeschwindigkeit für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr unter Annahme der zweischienigen, sowie der einschienigen Lokomotive.

Tafel 5 zeigt:

1. Die Zugkosten in Pf. pro netto tkm als Funktion der Fahrgeschwindigkeit für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr. (Unter Annahme der zweischienigen Lokomotive, $\eta = 61{,}5\,\%$).
2. Zum Vergleich sind die Stromkosten in Pf. pro netto tkm ebenfalls als Funktion der Fahrgeschwindigkeit für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr unter Annahme der zweischienigen, sowie der einschienigen Lokomotive dargestellt. Die zwischen je zwei zusammengehörigen Kurven liegende Fläche gibt die Ersparnis an Stromkosten für die einschienige Lokomotive gegenüber der zweischienigen an und zeigt zugleich, welchen Einfluß die Einführung einer Lokomotive mit höherem Wirkungsgrad auf die Zugkosten ausübt. Dabei mag darauf hingewiesen werden, daß die Steigerung des Wirkungsgrades der Lokomotive bis 72,5 % etwa das äußerste Maß darstellt, da der Wirkungsgrad der Motoren mit doppeltem Vorgelege max. 75 % beträgt.

Tafel 6 zeigt:

Die Zugkosten in Pf. pro netto tkm als Funktion der Verkehrsgröße für Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. unter Annahme der zweischienigen Lokomotive ($\eta = 61{,}5\,\%$).

Tabelle 6_1. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 1 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_1.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	4928	172 480	0,172	4839	169 365	0,169	4781	167 335	0,167	4766	166 810	0,167	4751	166 285	0,166	4736	165 760	0,166	4736	165 760	0,166
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350																			
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	350	17 500		266	13 300		210	10 500		196	9 800		182	9 100		168	8 400		168	8 400	
5. Hochbauten 1 %	18	180		13	130		11	110		10	100		9	90		8	80		8	80	
Summe	4928	106 930	0,107	4839	102 680	0,103	4781	99 860	0,100	4766	99 150	0,099	4751	98 440	0,098	4736	97 730	0,098	4736	97 730	0,098
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	25	7 000		19	5 320		15	4 200		14	3 920		13	3 640		12	3 360		12	3 360	
4. Hochbauten 1 %	25	180		19	130		15	110		14	100		13	90		12	80		12	80	
Summe		68 880	0,069		67 150	0,067		66 010	0,066		65 720	0,066		65 430	0,065		65 140	0,065		65 140	0,065
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		900	0,001		900	0,001		900	0,001		900	0,001		900	0,001		900	0,001		900	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		6 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	19 500		3	19 500		3	19 500		3	19 500		3	19 500		3	19 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	21	25 200		16	19 200		13	15 600		12	14 400		11	13 200		10	12 000		10	12 000	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		2 400			2 100			1 900			1 800			1 700			1 700			1 700	
9. Prämien, Sonstiges		1 400			1 700			1 500			800			1 100			1 300			1 300	
Summe		69 000	0,069		63 000	0,063		59 000	0,059		57 000	0,057		56 000	0,056		55 000	0,055		55 000	0,055
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,418			0,403			0,393			0,390			0,386			0,385			0,385

Tabelle 6₂. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 2 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6₂.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	5295	185 325	0,093	5119	179 165	0,090	5001	175 035	0,088	4972	174 120	0,087	4942	172 970	0,086	4913	171 925	0,086	4898	171 220	0,086
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500																			
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	700	35 000		532	26 600		420	21 000		392	19 600		364	18 200		336	16 800		322	16 100	
5. Hochbauten 1 %	35	350		27	270		21	210		20	200		18	180		17	170		16	160	
Summe	5295	124 600	0,062	5119	116 120	0,058	5001	110 460	0,055	4972	109 050	0,054	4942	107 630	0,054	4913	106 220	0,053	4898	105 510	0,053
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	50	14 000		38	10 640		30	8 400		28	7 840		26	7 280		24	6 720		23	6 440	
4. Hochbauten 1 %	50	350		38	270		30	210		28	200		26	180		24	170		23	160	
Summe		76 050	0,038		72 610	0,036		70 310	0,035		69 740	0,035		69 160	0,035		68 590	0,034		68 300	0,034
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		1 800	0,001		1 800	0,001		1 800	0,001		1 800	0,001		1 800	0,001		1 800	0,001		1 800	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		7 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	20 500		3	20 500		3	20 500		3	20 500		3	20 500		3	20 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	3/5	11 000		3/4	9 700		3/4	9 700		3/4	9 700		3/3	8 400		3/3	8 400		3/3	8 400	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	42	50 400		32	38 400		26	31 200		24	28 800		22	26 400		20	24 000		19	22 800	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/5	10 000		6/4	9 200		6/4	9 200		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400		6/3	8 400	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		4 500			3 800			3 400			3 200			3 000			2 900			2 900	
9. Prämien, Sonstiges		2 900			2 700			2 300			1 700			1 600			2 100			1 300	
Summe		103 000	0,052		88 000	0,044		80 000	0,040		76 000	0,038		72 000	0,036		70 000	0,035		68 000	0,034
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,246			0,229			0,219			0,215			0,212			0,209			0,208

Tabelle 6_3. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 3 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_3.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	5663	198 205	0,066	5398	188 930	0,063	5236	183 260	0,061	5177	181 195	0,060	5133	179 655	0,060	5089	178 115	0,059	5060	177 100	0,059
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350																			
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	1050	52 500		798	39 900		644	32 200		588	29 400		546	27 300		504	25 200		476	23 800	
5. Hochbauten 1 %	53	530		40	400		32	320		29	290		27	270		25	250		24	240	
Summe	5663	142 280	0,047	5398	129 550	0,043	5236	121 770	0,041	5177	118 940	0,040	5133	116 820	0,039	5089	114 700	0,038	5060	113 290	0,038
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	75	21 000		57	15 960		46	12 880		42	11 760		39	10 920		36	10 080		34	9 520	
4. Hochbauten 1 %	75	530		57	400		46	320		42	290		39	270		36	250		34	240	
Summe		83 230	0,028		78 060	0,026		74 900	0,025		73 750	0,025		72 890	0,024		72 030	0,024		71 460	0,024
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		2 700	0,001		2 700	0,001		2 700	0,001		2 700	0,001		2 700	0,001		2 700	0,001		2 700	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		8 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	21 500		3	21 500		3	21 500		3	21 500		3	21 500		3	21 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	4/6	13 800		3/6	12 300		3/6	12 300		3/5	11 000		3/4	9 700		3/4	9 700		3/4	9 700	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	63	75 600		47	56 400		38	45 600		35	42 000		33	39 600		30	36 000		28	33 600	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/6	10 800		6/6	10 800		6/5	10 000		6/5	10 000		6/4	9 200		6/4	9 200		6/4	9 200	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		6 000			5 000			4 300			4 100			3 900			3 700			3 500	
9. Prämien, Sonstiges		4 400			3 100			2 400			2 500			2 200			2 000			1 600	
Summe		137 000	0,046		114 000	0,038		101 000	0,034		96 000	0,032		91 000	0,030		87 000	0,029		84 000	0,028
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,188			0,171			0,162			0,158			0,154			0,151			0,150

Tabelle 6₄. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 4 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6₄.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	6030	211 050	0,053	5677	198 695	0,050	5457	190 995	0,048	5383	188 405	0,047	5324	186 340	0,047	5266	184 310	0,046	5222	182 770	0,046
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	950	29 500																			
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
3. Gittermaste 1 %	2640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	1400	70 000		1064	53 200		854	42 700		784	39 200		728	36 400		672	33 601		630	31 500	
5. Hochbauten 1 %	70	700		53	530		43	430		39	390		36	360		34	340		32	320	
Summe	6030	159 950	0,040	5677	142 980	0,036	5457	132 380	0,033	5383	128 840	0,032	5324	126 010	0,032	5266	123 190	0,031	5222	121 070	0,030
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500																			
2. Leitungsanlage 2 %		32 200			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
3. Lokomotiven 2 %	100	28 000		76	21 280		61	17 080		56	15 680		52	14 560		48	13 440		45	12 600	
4. Hochbauten 1 %	100	700		76	530		61	430		56	390		52	360		48	340		45	320	
Summe		90 400	0,023		83 510	0,021		79 210	0,020		77 770	0,019		76 620	0,019		75 480	0,019		74 620	0,019
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		3 600	0,001		3 600	0,001		3 600	0,001		3 600	0,001		3 600	0,001		3 600	0,001		3 600	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		9 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	22 500		3	22 500		3	22 500		3	22 500		3	22 500		3	22 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	5/7	16 600		4/6	13 800		3/6	12 300		3/6	12 300		3/5	11 000		3/5	11 000		3/5	11 000	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	84	100 800		63	75 600		51	61 200		47	56 400		44	52 800		40	48 000		38	45 600	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/7	11 600		6/6	10 800		6/6	10 800		6/6	10 800		6/5	10 000		6/5	10 000		6/5	10 000	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		7 500			6 000			5 200			4 900			4 700			4 500			4 400	
9. Prämien, Sonstiges		4 900			4 200			3 900			3 000			2 900			2 900			2 400	
Summe		170 000	0,043		139 000	0,035		122 000	0,031		116 000	0,029		110 000	0,027		105 000	0,026		102 000	0,025
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,160			0,143			0,133			0,128			0,126			0,123			0,121

Tabelle 6_5. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 5 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_5.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	6398	223 930	0,045	5942	207 970	0,042	5677	198 695	0,040	5589	195 615	0,039	5516	193 060	0,039	5442	190 470	0,038	5383	188 405	0,038
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500																			
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	1750	87 500		1316	65 800		1064	53 200		980	49 000		910	45 500		840	42 000		784	39 200	
5. Hochbauten 1 %	88	880		66	660		53	530		49	490		46	460		42	420		39	390	
Summe	6398	177 630	0,035	5942	155 710	0,031	5677	142 980	0,029	5589	138 740	0,028	5516	135 210	0,027	5442	131 670	0,026	5383	128 840	0,026
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	125	35 000		94	26 320		76	21 280		70	19 600		65	18 200		60	16 800		56	15 680	
4. Hochbauten 1 %	125	880		94	660		76	530		70	490		65	460		60	420		56	390	
Summe		97 580	0,020		88 680	0,018		83 510	0,017		81 790	0,016		80 360	0,016		78 920	0,016		77 770	0,016
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		4 500	0,001		4 500	0,001		4 500	0,001		4 500	0,001		4 500	0,001		4 500	0,001		4 500	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		10 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	23 500		3	23 500		3	23 500		3	23 500		3	23 500		3	23 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	6/8	19 400		5/7	16 600		4/7	15 100		4/6	13 800		4/6	13 800		3/6	12 300		3/6	12 300	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	104	124 800		79	94 800		64	76 800		59	70 800		54	64 800		50	60 000		47	56 400	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/8	12 400		6/7	11 600		6/6	10 800		6/6	10 800		6/6	10 800		6/6	10 800		6/6	10 800	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		9 000			7 300			6 300			5 900			5 600			5 300			5 100	
9. Prämien, Sonstiges		5 300			4 600			3 900			3 600			3 900			3 500			3 300	
Summe		203 000	0,041		167 000	0,033		145 000	0,029		137 000	0,027		131 000	0,026		124 000	0,025		120 000	0,024
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,142			0,125			0,116			0,111			0,109			0,106			0,105

Tabelle 6_6. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 6 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_6.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	6765	236 775	0,039	6221	217 735	0,036	5898	206 430	0,034	5795	202 825	0,034	5707	199 745	0,033	5618	196 630	0,033	5560	194 600	0,032
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500																			
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	2100	105 000		1582	79 100		1274	63 700		1176	58 800		1092	54 600		1008	50 400		952	47 600	
5. Hochbauten 1 %	105	1 050		79	790		64	640		59	590		55	550		50	500		48	480	
Summe	6765	195 300	0,032	6221	169 140	0,028	5898	153 590	0,026	5795	148 640	0,025	5707	144 400	0,024	5618	140 150	0,023	5560	137 330	0,023
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	150	42 000		113	31 640		91	25 480		84	23 520		78	21 840		72	20 160		68	19 040	
4. Hochbauten 1 %	150	1 050		113	790		91	640		84	590		78	550		72	500		68	480	
Summe		104 750	0,017		94 130	0,016		87 820	0,015		85 810	0,014		84 090	0,014		82 360	0,014		81 220	0,014
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		5 400	0,001		5 400	0,001		5 400	0,001		5 400	0,001		5 400	0,001		5 400	0,001		5 400	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		11 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	24 500		3	24 500		3	24 500		3	24 500		3	24 500		3	24 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	6/9	20 700		5/8	17 900		5/7	16 600		4/7	15 100		4/6	13 800		4/6	13 800		4/6	13 800	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	125	150 000		95	114 000		76	91 200		70	84 000		65	78 000		60	72 000		57	68 400	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/9	13 200		6/8	12 400		6/7	11 600		6/7	11 600		6/6	10 800		6/6	10 800		6/6	10 800	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		10 500			8 400			7 200			6 700			6 300			6 000			5 800	
9. Prämien, Sonstiges		6 300			6 000			5 100			5 300			4 800			4 100			3 900	
Summe		235 000	0,039		193 000	0,032		166 000	0,028		157 000	0,026		148 000	0,025		141 000	0,024		137 000	0,023
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,128			0,113			0,104			0,100			0,097			0,095			0,093

Tabelle 6₇. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 7 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6₇.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	7133	249 655	0,036	6500	227 500	0,033	6118	214 130	0,031	6001	210 035	0,030	5898	206 430	0,030	5795	202 825	0,029	5721	200 235	0,029
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350																			
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	2450	122 500		1848	92 400		1484	74 200		1372	68 600		1274	63 700		1176	58 800		1106	55 300	
5. Hochbauten 1 %	123	1 230		92	920		74	740		69	690		64	640		59	590		55	550	
Summe	7133	212 980	0,030	6500	182 570	0,026	6118	164 190	0,023	6001	158 540	0,023	5898	153 590	0,022	5795	148 640	0,021	5721	145 100	0,021
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	175	49 000		132	36 960		106	29 680		98	27 440		91	25 480		84	23 520		79	22 120	
4. Hochbauten 1 %	175	1 230		132	920		106	740		98	690		91	640		84	590		79	550	
Summe		111 930	0,016		99 580	0,014		92 120	0,013		89 830	0,013		87 820	0,012		85 810	0,012		84 370	0,012
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		6 300	0,001		6 300	0,001		6 300	0,001		6 300	0,001		6 300	0,001		6 300	0,001		6 300	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		12 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	25 500		3	25 500		3	25 500		3	25 500		3	25 500		3	25 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	6/10	22 000		6/8	19 400		5/8	17 900		5/7	16 600		4/7	15 100		4/7	15 100		4/6	13 800	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	146	175 200		111	133 200		89	106 800		82	98 400		76	91 200		70	84 000		60	79 200	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/10	14 000		6/8	12 400		6/8	12 400		6/7	11 600		6/7	11 600		6/7	11 600		6/6	10 800	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	2/5	11 000		2/5	11 000		2/5	11 000		2/5	11 000		2/5	11 000		2/5	11 000		2/5	11 000	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		11 800			9 500			8 100			7 800			7 100			6 800			6 600	
9. Prämien, Sonstiges		6 500			6 000			5 300			5 100			4 500			4 000			4 100	
Summe		266 000	0,038		217 000	0,031		187 000	0,027		176 000	0,025		166 000	0,024		158 000	0,023		151 000	0,022
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,121			0,105			0,095			0,092			0,089			0,086			0,085

Tabelle 6_8. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 8 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_8.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	7500	262 500	0,033	6780	237 300	0,030	6339	221 865	0,028	6205	217 175	0,027	6089	213 115	0,027	5971	208 985	0,026	5898	206 430	0,026
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350																			
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	2800	140 000		2114	105 700		1694	84 700		1568	78 400		1456	72 800		1344	67 200		1274	63 700	
5. Hochbauten 1 %	140	1 400		106	1 060		85	850		77	770		73	730		67	670		64	640	
Summe		230 650	0,029		196 010	0,025		174 800	0,022		168 420	0,021		162 780	0,020		157 220	0,020		153 590	0,019
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	200	56 000		151	42 280		121	33 880		112	31 360		104	29 120		96	26 880		91	25 480	
4. Hochbauten 1 %	200	1 400		151	1 060		121	850		112	770		104	730		96	670		91	640	
Summe		119 100	0,015		105 040	0,013		96 430	0,012		93 830	0,012		91 550	0,011		89 250	0,011		87 820	0,011
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		7 200	0,001		7 200	0,001		7 200	0,001		7 200	0,001		7 200	0,001		7 200	0,001		7 200	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		13 000			26 500																
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3			3	26 500		3	26 500		3	26 500		3	26 500		3	26 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1300 M., 1500 M.	6/10	22 000		6/9	20 700		6/7	18 100		5/8	17 900		5/7	16 600		5/7	16 600		4/7	15 100	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	167	200 400		127	152 400		102	122 400		94	112 800		87	104 400		80	96 000		76	91 200	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/10	14 000		6/9	13 200		6/9	13 200		6/8	12 400		6/7	11 600		6/7	11 600		6/7	11 600	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		13 000			10 700			9 400			8 250			7 900			7 500			7 200	
9. Prämien, Sonstiges		6 900			6 300			6 200			5 000			4 800			4 600			4 200	
Summe		295 000	0,037		242 000	0,030		208 000	0,026		195 000	0,024		184 000	0,023		175 000	0,022		168 000	0,021
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,115			0,099			0,089			0,085			0,082			0,080			0,078

Tabelle 6_9. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 9 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_9.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	7868	275 380	0,030	7059	247 065	0,027	6559	229 565	0,026	6412	224 420	0,025	6280	219 800	0,024	6148	215 180	0,024	6059	212 065	0,024
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350																			
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	3150	157 500		2380	119 000		1904	95 200		1764	88 200		1638	81 900		1512	75 600		1428	71 400	
5. Hochbauten 1 %	158	1 580		119	1 190		95	950		88	880		82	820		76	760		71	710	
Summe	7868	248 330	0,028	7059	209 440	0,023	6559	185 400	0,021	6412	178 330	0,020	6280	171 970	0,019	6148	165 610	0,018	6059	161 360	0,018
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	225	63 000		170	47 600		136	38 080		126	35 280		117	32 760		108	30 240		102	28 560	
4. Hochbauten 1 %	225	1 580		170	1 190		136	950		126	880		117	820		108	760		102	710	
Summe		126 280	0,014		110 490	0,012		100 730	0,011		97 860	0,011		95 280	0,011		92 700	0,010		90 970	0,010
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		8 100	0,001		8 100	0,001		8 100	0,001		8 100	0,001		8 100	0,001		8 100	0,001		8 100	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		14 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	27 500		3	27 500		3	27 500		3	27 500		3	27 500		3	27 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	6/11	23 300		6/10	22 000		6/9	20 700		6/8	19 400		6/8	19 400		5/8	17 900		5/7	16 600	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	187	224 400		142	170 400		114	136 800		105	126 000		98	117 600		90	108 000		85	102 000	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/11	14 800		6/10	14 000		6/9	13 200		6/8	12 400		6/8	12 400		6/8	12 400		6/7	11 600	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1300 M.	3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		14 500			12 000			10 500			9 800			9 000			8 500			8 000	
9. Prämien, Sonstiges		7 800			7 400			6 600			6 200			5 400			5 000			4 600	
Summe		327 000	0,036		268 000	0,030		230 000	0,026		216 000	0,024		206 000	0,023		194 000	0,022		185 000	0,021
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,109			0,093			0,085			0,081			0,078			0,075			0,074

Tabelle 6_{10}. Betriebskosten im einzelnen (ausschließlich Stromverbrauch) für 10 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 6_{10}.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bezeichnung	v = 3 km/Std.			v = 4 km/Std.			v = 5 km/Std.			v = 5,5 km/Std.			v = 6 km/Std.			v = 6,5 km/Std.			v = 7 km/Std.		
	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-Kap. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.																					
a) Verzinsung und Tilgung.																					
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	8235	288 225	0,029	7324	256 340	0,026	6780	237 300	0,024	6618	231 630	0,023	6471	226 485	0,023	6324	221 340	0,022	6219	217 665	0,022
b) Abschreibung.																					
1. Gleisanlage 1 %	2950	29 500																			
2. Leitungsanlage ausschließlich Maste 5,5 %	970	53 350		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250		4560	89 250	
3. Gittermaste 1 %	640	6 400																			
4. Lokomotiven 5 %	3500	175 000		2632	131 600		2114	105 700		1960	98 000		1820	91 000		1680	84 000		1580	79 000	
5. Hochbauten 1 %	175	1 750		132	1 320		106	1 060		98	980		91	910		84	840		79	790	
Summe	8235	266 000	0,027	7324	222 170	0,022	6780	196 010	0,020	6618	188 230	0,019	6471	181 160	0,018	6324	174 090	0,017	6216	169 040	0,017
B. Direkte Betriebskosten.																					
a) Unterhaltung.	Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl			Zahl		
1. Gleisanlage 1 %		29 500			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700			61 700	
2. Leitungsanlage 2 %		32 200																			
3. Lokomotiven 2 %	250	70 000		188	52 640		151	42 280		140	39 200		130	36 400		120	33 600		113	31 600	
4. Hochbauten 1 %	250	1 750		188	1 320		151	1 060		140	980		130	910		120	840		113	790	
Summe		133 450	0,013		115 660	0,012		105 040	0,011		101 880	0,010		99 010	0,010		99 140	0,010		94 090	0,009
b) Putz- und Schmiermaterial.																					
0,6 Pf. pro Lokomotivkilometer		9 000	0,001		9 000	0,001		9 000	0,001		9 000	0,001		9 000	0,001		9 000	0,001		9 000	0,001
c) Gehälter und Löhne.																					
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		15 000																			
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	28 500		3	28 500		3	28 500		3	28 000		3	28 500		3	28 500	
3. Werkmeister à 2500 M.	3	7 500		3			3			3			3			3			3		
4. Maschinisten u. Schlosser à 1500 M., 1300 M.	6/15	28 500		6/12	24 600		6/10	22 000		6/9	20 700		6/8	19 400		6/7	18 100		5/8	17 900	
5. Lokomotivführer à 1200 M.	208	249 600		157	188 400		127	152 400		117	140 400		108	129 600		100	120 000		94	112 800	
6. Streckenwärter u. Hilfsarbeiter à 1000 M., 800 M.	6/12	15 600		6/10	14 000		6/9	13 200		6/9	13 200		6/8	12 400		6/8	12 400		6/8	12 400	
7. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 M., 1200 M.	3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700	
8. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne		16 100			12 700			10 800			10 200			9 500			9 000			8 600	
9. Prämien, Sonstiges		8 000			7 100			6 400			6 300			5 900			5 300			5 100	
Summe		361 000	0,036		290 000	0,029		248 000	0,025		234 000	0,023		220 000	0,022		208 000	0,021		200 000	0,020
Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)			0,106			0,090			0,081			0,076			0,074			0,071			0,069

Tabelle 7. Betriebskosten im einzelnen und Zugkosten für 1—10 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 7.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Jahresverkehr	Indirekte Betriebskosten													
	Verzinsung und Tilgung							Abschreibung						
	v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.	v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.
Mill. t	Pf. pro netto tkm							Pf. pro netto tkm						
1	0,172	0,169	0,167	0,167	0,166	0,166	0,166	0,107	0,103	0,100	0,099	0,098	0,098	0,098
2	0,093	0,090	0,088	0,087	0,086	0,086	0,086	0,062	0,058	0,055	0,054	0,054	0,053	0,053
3	0,066	0,063	0,061	0,060	0,060	0,059	0,059	0,047	0,043	0,041	0,040	0,039	0,038	0,038
4	0,053	0,050	0,048	0,047	0,047	0,046	0,046	0,040	0,036	0,033	0,032	0,032	0,031	0,030
5	0,045	0,042	0,040	0,039	0,039	0,038	0,038	0,035	0,031	0,029	0,028	0,027	0,026	0,026
6	0,039	0,036	0.034	0,034	0,033	0,033	0,032	0,032	0,028	0,026	0,025	0,024	0,023	0,023
7	0,036	0,033	0,031	0,030	0,030	0,029	0,029	0,030	0,026	0,023	0,023	0,022	0,021	0,021
8	0,033	0,030	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,029	0,025	0,022	0,021	0,020	0,020	0,019
9	0,030	0,027	0,026	0,025	0,024	0,024	0,024	0,028	0,023	0,021	0,020	0,019	0,018	0,018
10	0,029	0,026	0,024	0,023	0,023	0,022	0,022	0,027	0,022	0,020	0,019	0,018	0,017	0,017

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Direkte Betriebskosten															
Unterhaltung							Putz- u. Schmiermaterial	Gehälter und Löhne							Jahresverkehr
v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.		v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.	
Pf. pro netto tkm							Pf./tkm	Pf. pro netto tkm							Mill. t
0,069	0,067	0,066	0,066	0,065	0,065	0,065	0,001	0,069	0,063	0,059	0,057	0,056	0,055	0,055	1
0,038	0,036	0,035	0,035	0,035	0,034	0,034	0,001	0,052	0,044	0,040	0,038	0,036	0,035	0,034	2
0,028	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024	0,024	0,001	0,046	0,038	0,034	0,032	0,030	0,029	0,028	3
0,023	0,021	0,020	0,019	0,019	0,019	0,019	0,001	0,043	0,035	0,031	0,029	0,027	0,026	0,025	4
0,020	0,018	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,001	0,041	0,033	0,029	0,027	0,026	0,025	0,024	5
0,017	0,016	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,001	0,039	0,032	0,028	0,026	0,025	0,024	0,023	6
0,016	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,001	0,038	0,031	0,027	0,025	0,024	0,023	0,022	7
0,015	0,013	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,001	0,037	0,030	0,026	0,024	0,023	0,022	0,021	8
0,014	0,012	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,001	0,036	0,030	0,026	0,024	0,023	0,022	0,021	9
0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,009	0,001	0,036	0,029	0,025	0,023	0,022	0,021	0,021	10

Tabelle 7 (Fortsetzung). Betriebskosten im einzelnen und Zugkosten für 1—10 Mill. t Jahresverkehr. *Tabelle 7* (Fortsetzung).

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	
	Summe der Betriebskosten (ausschließlich Stromverbrauch)							Kosten des Strom- a) für 2 schienige Lokomotive, b) für 1 schienige Lokomotive,				verbrauchs $\eta = 61{,}5\ \%$ $\eta = 72{,}5\ \%$			Gesamte Betriebskosten (Zugkosten) a) für 2 schienige Lokomotive, $\eta = 61{,}5\ \%$ b) für 1 schienige Lokomotive, $\eta = 72{,}5\ \%$								
Jahresverkehr	v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.	v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.	v = 3 km/Std.	v = 4 km/Std.	v = 5 km/Std.	v = 5,5 km/Std.	v = 6 km/Std.	v = 6,5 km/Std.	v = 7 km/Std.	Jahresverkehr
Mill. t	Pf. pro netto tkm							Pf. pro				netto tkm			Pf. pro netto tkm							Mill. t
1	0,418	0,403	0,393	0,390	0,386	0,385	0,385	0,018 0,015	0,032 0,027	0,052 0,045	0,065 0,056	0,081 0,070	0,099 0,084	0,116 0,100	0,436 0,433	0,435 0,430	0,445 0,438	0,455 0,446	0,467 0,456	0,484 0,469	0,501 0,485	a) b) 1
2	0,246	0,229	0,219	0,215	0,212	0,209	0,208	0,018 0,015	0,031 0,026	0,050 0,043	0,062 0,053	0,076 0,066	0,092 0,079	0,109 0,094	0,264 0,261	0,260 0,255	0,269 0,262	0,277 0,268	0,288 0,278	0,301 0,288	0,317 0,302	a) b) 2
3	0,188	0,171	0,162	0,158	0,154	0,151	0,150	0,017 0,014	0,030 0,023	0,048 0,041	0,060 0,051	0,074 0,063	0,089 0,077	0,106 0,091	0,205 0,202	0,201 0,197	0,210 0,203	0,218 0,209	0,228 0,217	0,240 0,228	0,256 0,241	a) b) 3
4	0,160	0,143	0,133	0,128	0,126	0,123	0,121	0,017 0,014	0,029 0,025	0,047 0,040	0,058 0,050	0,072 0,062	0,087 0,075	0,104 0,089	0,177 0,174	0,172 0,168	0,180 0,173	0,186 0,178	0,198 0,188	0,210 0,198	0,225 0,210	a) b) 4
5	0,142	0,125	0,116	0,111	0,109	0,106	0,105	0,017 0,014	0,029 0,025	0,046 0,040	0,057 0,049	0,071 0,061	0,086 0,074	0,103 0,088	0,159 0,156	0,154 0,150	0,162 0,156	0,168 0,160	0,180 0,170	0,192 0,180	0,208 0,193	a) b) 5
6	0,128	0,113	0,104	0,100	0,097	0,095	0,093	0,016 0,014	0,028 0,024	0,045 0,039	0,056 0,048	0,070 0,060	0,085 0,073	0,102 0,088	0,144 0,142	0,141 0,137	0,149 0,143	0,156 0,148	0,167 0,157	0,180 0,168	0,195 0,181	a) b) 6
7	0,121	0,105	0,095	0,092	0,089	0,086	0,085	0,016 0,013	0,028 0,024	0,045 0,039	0,056 0,048	0,070 0,060	0,085 0,073	0,102 0,087	0,137 0,134	0,133 0,129	0,140 0,134	0,148 0,140	0,159 0,149	0,171 0,159	0,187 0,172	a) b) 7
8	0,115	0,099	0,089	0,085	0,082	0,080	0,078	0,016 0,013	0,028 0,024	0,044 0,038	0,056 0,047	0,069 0,059	0,084 0,072	0,102 0,087	0,131 0,128	0,127 0,123	0,133 0,127	0,141 0,132	0,151 0,141	0,164 0,152	0,180 0,165	a) b) 8
9	0,109	0,093	0,085	0,081	0,078	0,075	0,074	0,016 0,013	0,027 0,023	0,044 0,038	0,055 0,047	0,069 0,059	0,084 0,072	0,101 0,086	0,125 0,122	0,120 0,116	0,129 0,123	0,136 0,128	0,147 0,137	0,159 0,147	0,175 0,160	a) b) 9
10	0,106	0,090	0,081	0,076	0,074	0,071	0,069	0,016 0,013	0,027 0,023	0,044 0,038	0,055 0,047	0,069 0,059	0,084 0,072	0,101 0,086	0,122 0,119	0,117 0,113	0,125 0,119	0,131 0,123	0,143 0,133	0,154 0,143	0,170 0,155	a) b) 10

7. Ermittelung der Zugkosten für Dampfschlepper.

Bevor auf die bisherigen Ergebnisse näher eingegangen wird, sollen die Zugkosten für Schlepperbetrieb festgestellt werden, um diese für den Nachweis der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges vergleichsweise zur Beurteilung heranziehen zu können.

Es sollen die Zugkosten sowohl für den monopolisierten, als für den freien, sog. wilden Betrieb ermittelt werden, die sich durchaus nicht decken. Dem Monopolbetrieb kommen natürlich, ebenso wie bei der elektrischen Treidelei, manche Vorteile zugute, besonders was Regelmäßigkeit und Stetigkeit anbetrifft, dafür ist aber infolge der Verkehrsschwankungen die Ausnutzung der Betriebsmittel bisweilen recht unwirtschaftlich. Beim freien Betrieb können die Betriebsmittel so wirtschaftlich als nur irgend möglich ausgenutzt werden, aber auf Kosten der Regelmäßigkeit, sowie der Schwankungen in den Frachtsätzen, wodurch freilich der große volkswirtschaftliche Wert der Binnenwasserstraßen erheblich herabgesetzt wird.

A. Monopolbetrieb.

a) Besondere Annahmen.

Um brauchbare Vergleichswerte zu erhalten, sind die Verhältnisse genau so angenommen, wie bei der elektrischen Treidelei (s. S. 3).

Die höchste zulässige Fahrgeschwindigkeit für Schlepper ist, wie früher festgestellt (s. S. 12), 5 km/Std. Die Ermittelung der Zugkosten soll für 4—5 km/Std. und Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr durchgeführt werden.

Nach der auf Tafel 1 dargestellten Kurve des Schiffswiderstandes pro 1000 t Bruttolast beträgt die größte erforderliche Zugkraft des Schleppers, d. h. für 2 Schleppkähne von 1480 t Bruttolast bei 5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit

$$Z = \frac{990 \times 1480}{1000} = 1460 \text{ kg.}$$

Demnach ist die größte Zugleistung

$$A = \frac{1460 \times 5 \times 1000 \times 100}{3600 \times 75 \times 20} = 135 \text{ PS.}$$

bei einem Nutzeffekt von 20 %. Dementsprechend sind die Schlepper mit einer Maschinenleistung von 175 IPS. vorgesehen.

b) Die Anlagekosten im einzelnen.

1. Schraubenschlepper von 175 IPS., Maschinenleistung, Länge 20,0 m, Breite 5,0 m, Tiefgang hinten etwa 1,80 m, betriebsfertig anzuliefern, pro Stück, 50 000 M.
2. Werftanlage, gemeinsame Anlage für die Bagger und Schleppdampfer. Anteil pro Schlepper, 5000 M.

Die erforderliche Anzahl Schlepper ist für den Einzellfall dieselbe wie die der Lokomotiven für die Treidelei. Die entsprechenden Zahlenwerte sind den Tabellen 6_1—6_{10} entnommen und in den Tabellen 8_1—8_8 Spalten 2, 5, 8 unter B, a angeführt.

c) Ermittelung der Zugkosten.

Für die Ermittelung der Zugkosten sind folgende Quoten angenommen:

A. Indirekte Betriebskosten.

a) Verzinsung und Tilgung $3^1/_2$ %

b) Abschreibung.

1. Schlepper . . . . . 5 %
(Erneuerung nach 16 Jahren).
2. Werftanlage . . . . 1 %

B. Direkte Betriebskosten.

a) Unterhaltung.

1. Schlepper . . . . . 4 %
2. Werftanlage . . . . 1 %

b) Putz- und Schmiermaterial 1,0 Pf. pro PSe.

c) Gehälter und Löhne.

1. Verkehrsleiter . . . . pro Jahr 2000 M.
2. Bootsführer . . . . . „ „ 1800 „
3. Maschinist . . . . . „ „ 1500 „
4. Heizer und Bootsmann „ „ 1000 „
5. Bureaubeamter . . . „ „ 2500 „
6. Schreiber . . . . . „ „ 1200 „
7. Krankenkasse, Versicherung etwa 5% der Löhne.

d) Kohlenverbrauch der Schlepper 1,5 kg Kohle pro PSe. 1 t Kohle 12 M. frei Bord.

Der tonnenkilometrische Kohlenverbrauch für Fahrgeschwindigkeiten von 4—5 km/Std. ist in Tabelle 9 ermittelt.

Betriebskosten im einzelnen für 1 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	1045	36 575	0,037	935	32725	0,033	825	28 875	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	950	9 500	0,010	850	8 500	0,009	750	7 500	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	950	47 500		850	42 500		750	37 500	
2. Werftanlage 1 %	95	950		85	850		75	750	
Summe	1045	48 450	0,048	935	43 350	0,043	825	38 250	0,038
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	19	38 000		17	34 000		15	30 000	
2. Werftanlage 1 %		950			850			750	
Summe		38 950	0,039		34 850	0,035		30 750	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	15 000	0,015	19,5 PSe.	19 500	0,020	25,5 PSe.	25 500	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil a. d. Kosten der Hauptverwaltung .		6 000			6 000			6 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	16/16	52 800		14/14	46 200		13/13	42 900	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	16/16	32 000		14/14	28 000		13/13	26 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		4 700			4 200			4 000	
7. Prämien, Sonstiges		1 800			1 900			1 400	
Summe		107 000	0,107		96 000	0,096		90 000	0,090
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	26 500	0,027	19,5 PSe.	35 000	0,035	25,5 PSe.	46 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,283			0,271			0,268
Mittel						0,274			

Betriebskosten im einzelnen für 2 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bezeichnung	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	2090	73 150	0,037	1815	63 525	0,032	1650	57 750	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	1900	19 000	0,010	1650	16 500	0,008	1500	15 000	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	1900	95 000		1650	82 500		1500	75 000	
2. Werftanlage 1 %	190	1 900		165	1 650		150	1 500	
Summe	2090	96 900	0,048	1815	84 150	0,042	1650	76 500	0,038
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	38	76 000		33	66 000		30	60 000	
2. Werftanlage 1 %		1 900			1 650			1 500	
Summe		77 900	0,039		67 650	0,034		61 500	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	30 000	0,015	19,5 PSe.	39 000	0,020	25,5 PSe.	51 000	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		7 000			7 000			7 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	32/32	105 600		28/28	92 400		26/26	85 800	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	32/32	64 000		28/28	56 000		26/26	52 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	1/1	3 700		1/1	3 700		1/1	3 700	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		9 000			8 000			7 800	
7. Prämien, Sonstiges		3 700			3 900			3 700	
Summe		199 000	0,100		177 000	0,089		166 000	0,083
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	53 000	0,027	19,5 PSe.	70 000	0,035	25,5 PSe.	92 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,276			0,260			0,261
Mittel						0,266			

Betriebskosten im einzelnen für 3 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bezeichnung	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3 ½ %	3135	109 725	0,037	2805	98 175	0,033	2530	88 550	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	2850	28 500	0,010	2550	25 500	0,009	2300	23 000	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	2850	142 500		2550	127 500		2300	115 000	
2. Werftanlage 1 %	285	2 850		255	2 550		230	2 300	
Summe	3135	145 350	0,048	2805	130 050	0,043	2530	117 300	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	57	114 000		51	102 000		46	92 000	
2. Werftanlage 1 %		2 850			2 550			2 300	
Summe		116 850	0,039		104 550	0,035		94 300	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	45 000	0,015	19,5 PSe.	58 500	0,020	25,5 PSe.	76 500	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		8 000			8 000			8 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	47/47	155 100		42/42	138 600		38/38	125 400	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	47/47	94 000		42/42	84 000		38/38	76 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	1/2	4 900		1/2	4 900		1/2	4 900	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		13 000			12 000			10 500	
7. Prämien, Sonstiges		6 000			6 500			5 200	
Summe		287 000	0,096		260 000	0,087		236 000	0,079
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	79 500	0,027	19,5 PSe.	105 000	0,035	25,5 PSe.	138 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,272			0,262			0,258
Mittel						0,264			

Betriebskosten im einzelnen für 4 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	4180	146 300	0,037	3685	128 975	0,032	3355	117 425	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	3800	38 000	0,010	3350	33 500	0,008	3050	30 500	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	3800	190 000		3350	167 500		3050	152 500	
2. Werftanlage 1 %	380	3 800		335	3 350		305	3 050	
Summe	4180	193 800	0,048	3685	170 850	0,043	3355	155 550	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	76	152 000		67	134 000		61	122 000	
2. Werftanlage 1 %		3 800			3 350			3 050	
Summe		155 800	0,039		137 350	0,034		125 050	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	60 000	0,015	19,5 PSe.	78 000	0,020	25,5 PSe.	102 000	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		9 000			9 000			9 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1200 M.	63/63	207 900		56/56	184 800		51/51	168 300	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	63/63	126 000		56/56	112 000		51/51	102 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	1/3	6 100		1/3	6 100		1/3	6 100	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		17 300			15 500			14 000	
7. Prämien, Sonstiges		8 700			8 600			7 600	
Summe		381 000	0,095		342 000	0,086		313 000	0,078
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	106 000	0,027	19,5 PSe.	140 000	0,035	25,5 PSe.	184 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,271			0,258			0,257
Mittel						0,262			

Betriebskosten im einzelnen für 5 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bezeichnung	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	5170	180 950	0,036	4620	161 700	0,032	4180	146 300	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	4700	47 000	0,009	4200	42 000	0,008	3800	38 000	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	4700	235 000		4200	210 000		3800	190 000	
2. Werftanlage 1 %	470	4 700		420	4 200		380	3 800	
Summe	5170	239 700	0,048	4620	214 200	0,043	4180	193 800	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	94	188 000		84	168 000		76	152 000	
2. Werftanlage 1 %		4 700			4 200			3 800	
Summe		192 700	0,039		172 200	0,034		155 800	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	75 000	0,015	19,5 PSe.	97 500	0,020	25,5 PSe.	127 500	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil a. d. Kosten der Hauptverwaltung .		10 000			10 000			10 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten 1800 M., 1500 M.	79/79	260 000		71/71	234 300		64/64	211 200	
4. Heizer und Bootsleute à 1000 M. . . .	79/79	158 000		71/71	142 000		64/64	128 000	
5. Bureaubeamte, Schreiber 2500 bezw. 1200 M.	2/3	8 600		2/3	8 600		2/3	8 600	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		21 600			19 500			17 700	
7. Prämien, Sonstiges		10 800			9 600			8 500	
Summe		475 000	0,095		430 000	0,086		390 000	0,078
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	132 500	0,027	19,5 PSe.	175 000	0,035	25,5 PSe.	230 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,269			0,258			0,257
Mittel						0,261			

Betriebskosten im einzelnen für 6 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	6215	217 525	0,036	5555	194 425	0,032	5005	175 175	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	5650	56 500	0,009	5050	50 500	0,008	4550	45 500	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	5650	282 500		5050	252 500		4550	227 500	
2. Werftanlage 1 %	565	5 650		505	5 050		455	4 550	
Summe	6215	288 150	0,048	5555	257 550	0,043	5005	232 050	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlagen.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	113	226 000		101	202 000		91	182 000	
2. Werftanlage 1 %		5 650			5 050			4 550	
Summe		231 650	0,039		207 050	0,035		186 550	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	90 000	0,015	19,5 PSe.	117 000	0,020	25,5 PSe.	153 000	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil a. d. Kosten der Hauptverwaltung .		11 000			11 000			11 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	95/95	313 500		85/85	280 500		76/76	250 800	
4. Heizer und Bootsleute à 1000 M. . . .	95/95	190 000		85/85	170 000		76/76	152 000	
5. Bureaubeamte, Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	2/4	9 800		2/4	9 800		2/4	9 800	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		26 000			23 000			21 000	
7. Prämien, Sonstiges		12 700			11 700			10 400	
Summe		569 000	0,095		512 000	0,085		461 000	0,077
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	159 000	0,027	19,5 PSe.	210 000	0,035	25,5 PSe.	276 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,269			0,258			0,256
Mittel						0,261			

Betriebskosten im einzelnen für 8 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bezeichnung	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	8305	290 675	0,036	7425	259 875	0,032	6655	232 925	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	7550	75 500	0,009	6750	67 500	0,008	6050	60 500	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	7550	377 500		6750	337 500		6050	302 500	
2. Werftanlage 1 %	755	7 550		675	6 750		605	6 050	
Summe	8305	385 050	0,048	7425	344 250	0,042	6655	308 550	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlage.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	151	302 000		135	270 000		121	242 000	
2. Werftanlage 1 %		7 500			6 750			6 050	
Summe		309 550	0,039		276 750	0,035		248 050	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	120 000	0,015	19,5 PSe.	156 000	0,020	25,5 PSe.	204 000	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		13 000			13 000			13 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	127/127	419 100		114/114	376 200		102/102	336 600	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	127/127	254 000		114/114	228 000		102/102	204 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bezw. 1200 M.	2/6	12 200		2/6	12 200		2/6	12 200	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		34 000			31 500			28 000	
7. Prämien, Sonstiges		16 700			15 100			14 200	
Summe		755 000	0,094		682 000	0,085		614 000	0,077
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	212 000	0,027	19,5 PSe.	280 000	0,035	25,5 PSe.	368 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,268			0,257			0,256
Mittel						0,260			

Betriebskosten im einzelnen für 10 Mill. t Jahresverkehr.

Tabelle 8_8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	v = 4 km/Std.			v = 4,5 km/Std.			v = 5 km/Std.		
Bezeichnung	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm	Anl.-K. 1000 M.	Mark	Pf./tkm
A. Indirekte Betriebskosten.									
a) Verzinsung und Tilgung.									
3 % Zinsen, ½ % Tilgung, zusammen 3½ %	10 340	361 900	0,036	9020	315 700	0,032	8305	290 675	0,029
b) Versicherung der Schlepper.									
Vom Anschaffungswert 1 %	9 400	94 000	0,009	8200	82 000	0,008	7550	75 500	0,008
c) Abschreibung.									
1. Schlepper 5 %	9 400	470 000		8200	410 000		7550	377 500	
2. Werftanlage 1 %	940	9 400		820	8 200		755	7 550	
Summe	10 340	479 400	0,048	9020	418 200	0,042	8305	385 050	0,039
B. Direkte Betriebskosten.									
a) Unterhaltung der Anlage.	Zahl			Zahl			Zahl		
1. Schlepper 4 %	188	376 000		164	328 000		151	302 000	
2. Werftanlage 1 %		9 400			8 200			7 550	
Summe		385 400	0,039		336 200	0,034		309 550	0,031
b) Putz- und Schmiermaterial.									
1,0 Pf. pro PSe.	15 PSe.	150 000	0,015	19,5 PSe.	195 000	0,020	25,5 PSe.	255 000	0,026
c) Gehälter und Löhne.									
1. Anteil an den Kosten der Hauptverwaltung		15 000			15 000			15 000	
2. Verkehrsleiter à 2000 M.	3	6 000		3	6 000		3	6 000	
3. Bootsführer u. Maschinisten à 1800 M., 1500 M.	157/157	518 100		141/141	465 300		127/127	419 100	
4. Heizer u. Bootsleute à 1000 M.	157/157	314 000		141/141	282 000		127/127	254 000	
5. Bureaubeamte u. Schreiber à 2500 bzw. 1200 M.	3/6	14 700		3/6	14 700		3/6	14 700	
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % d. Löhne		42 700			37 900			34 700	
7. Prämien, Sonstiges		19 500			18 100			17 500	
Summe		930 000	0,093		829 000	0,083		761 000	0,076
d) Kohlenverbrauch der Schlepper.									
1,5 kg Kohlen pro PSe., 1 t Kohlen à 12 M.	15 PSe.	265 000	0,027	19,5 PSe.	350 000	0,035	25,5 PSe.	460 000	0,046
Summe der Betriebskosten			0,267			0,254			0,255
Mittel						0,259			

Tabelle 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fahrgeschwindigkeit	Schiffswiderstand bei 1,75 m Tiefgang pro 1000 t brutto Last	Nutzleistung			Maschinenleistung		Größte Maschinenleistung pro 1480 t brutto Last	Kohlenverbrauch pro 1000 tkm netto Last	Kosten d. Kohlenverbrauchs pro tkm netto Last
		pro 1000 t brutto Last	pro 1000 t netto Last	pro 1000 tkm netto Last	pro 1000 t netto Last $\eta = 20\%$	pro 1000 tkm netto Last			
km/Std.	kg	PSn	PSn	PSn	PSe	PSe	PSe	kg	Pf.
4,0	570	8,5	12,0	3,0	60	15,0	63	22,5	0,027
4,5	750	12,5	17,4	3,9	87	19,5	93	29,0	0,035
5,0	990	18,3	25,5	5,1	127	25,5	135	38,0	0,046

Unter diesen Voraussetzungen sind in den Tabellen 8_1 bis 8_8 in derselben Weise wie für die elektrische Treidelei (s. Tab. 6_1—6_{10}) die Zugkosten im einzelnen ermittelt.

Aus je drei Werten für 4, 4,5, 5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit sind die Mittelwerte genommen, die auf Tafel 6 als Funktion der Verkehrsgröße graphisch aufgetragen sind, und die für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t folgende Zugkosten pro netto tkm ergeben:

Tabelle 10.

Verkehrsgröße in Mill. t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zugkosten pro netto tkm	0,274	0,266	0,264	0,262	0,261	0,261	0,260	0,260	0,259	0,259

B. Freier Betrieb.

a) Besondere Annahmen.

Für den freien Betrieb schwanken die Zugkosten erheblich und sind selbst auf denselben Wasserstraßen unter gleichen Verhältnissen durchaus nicht konstant. Die Ermittelung der Zugkosten für diesen Fall soll nach einer Aufstellung des Herrn Geh. Oberbaurat Dr.-Ing. Sympher[1]) durchgeführt werden.

Es ist dabei angenommen:

1. Die Schleppdampfer schleppen in beiden Richtungen und zwar bei voller Hin- und $^1/_5$ Rückfracht.
2. Fahrgeschwindigkeit auf freier Strecke ohne Kreuzen 5 km/Std.
3. Tagesleistung 60 km bei 13stündigem Betrieb mit einfacher Mannschaft.

1) Vgl. Sympher, Wasserwirtschaftl. Vorarbeiten, 1901, Anl. 6.

4. Der Schleppzug besteht aus einem Schleppdampfer und zwei Schleppkähnen von 600 t Nutzlast.
5. Die Schiffahrt wird an 270 Tagen im Jahr betrieben.
6. Der Anschaffungswert des Schleppers beträgt 36000 M. (für 100 IPS.) gegen 50000 M. (für 175 IPS. s. S. 73) in der Berechnung für den monopolisierten Betrieb.

Diese Annahmen decken sich fast vollständig mit denjenigen der früheren Berechnung für elektrische Treidelei (s. S. 3) und Dampfermonopolbetrieb (s. S. 72) zugrunde gelegten, die Resultate bilden daher unmittelbar brauchbare Vergleichswerte.

b) Ermittelung der Zugkosten.

Es betragen die Zugkosten pro netto tkm[1])

$$\left(\frac{12{,}2}{n} + 0{,}144\right) \text{Pf.}$$

worin n die Anzahl der Kilometer für die auszuführende Fahrt bedeutet (Transportentfernung).

Für n = 100 sind die Zugkosten

$$\frac{12{,}2}{100} + 0{,}144 = 0{,}266 \text{ Pf./netto tkm}$$

Für n = 200

$$\frac{12{,}2}{200} + 0{,}144 = 0{,}205 \text{ Pf./netto tkm}$$

Für n = 300

$$\frac{12{,}2}{300} + 0{,}144 = 0{,}185 \text{ Pf./netto tkm}$$

(300 km ist etwa die für Deutschland zutreffende mittlere Transportentfernung.)

Diese Werte stellen aber wohl die äußerste durchschnittliche Mindestgröße der Zugkosten für Dampfschlepper dar, wobei die in der Praxis größtmögliche Ausnutzung der Betriebsmittel vorausgesetzt wird.

Selbst bei 24stündigem Tag- und Nachtbetrieb mit doppelter Mannschaft bei 100 km Tagesleistung sind die Zugkosten nicht herabzudrücken. Sie betragen für Tag- und Nachtbetrieb[1])

---

1) Vgl. Anm. S. 82.

$$\left(\frac{16,1}{n} + 0,134\right) \text{ Pf./netto tkm}$$

für $n = 300$ km, also

$$\frac{16,1}{300} + 0,134 = 0,184 \text{ Pf./netto tkm.}$$

Auch diese Zugkosten, die natürlich unabhängig von der Verkehrsgröße sind, sind in Tafel 6 graphisch dargestellt.

---

8. Zugkosten für Treidelei mit Menschen- oder Pferdekraft.

Es mag jetzt nur noch erwähnt werden, daß die durchaus unzulängliche Treidelei mit Menschen- oder Pferdekraft trotz der großen Nachteile in bezug auf Regelmäßigkeit und Schnelligkeit des Betriebes auch in wirtschaftlicher Beziehung keine Vorteile bietet.

Bei der Treidelei mit Menschenkraft betragen die Zugkosten bei einem Lohn von 25 Pf./Std. etwa 0,45—0,50 Pf./netto tkm. Bei der Pferdetreidelei schwanken die Zugkosten von 0,30—0,45 Pf./netto tkm. Bei der monopolisierten Pferdetreidelei auf einigen nordfranzösischen Kanälen (St. Quentin, Deûle, Aisne) stellen sich die Zugkosten auf 0,30 Pf./netto tkm.

---

9. Ermittelung der Streckenkosten der Kanalfracht.

Ein vollkommen richtiges, klares Bild von der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges erhält man aber erst dann, wenn man die Streckenkosten der Kanalfracht in Betracht zieht. Sie enthalten alle Größen, auf die die Wahl des Schleppmittels und die Fahrgeschwindigkeit einen Einfluß ausübt, nämlich

1. die Zugkosten und
2. die Kosten des Schleppkahns.

Die Zugkosten der elektrischen Treidelei, des monopolisierten und freien Schlepperbetriebes sind für Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr und Fahrgeschwindigkeiten von 3—7 km/Std. ermittelt und in Tafel 6 als Funktion der Verkehrsgröße graphisch dargestellt. Nunmehr sollen noch die Kosten des Schleppkahnes pro netto tkm festgestellt werden, die infolge der wirtschaftlicheren Ausnutzung des Schiffsparks bei Steigerung der Fahrgeschwindigkeit sich entsprechend ermäßigen.

A. Die Kosten des Schleppkahns.

Die Kosten des Schleppkahns von 600 t Nutzlast berechnen sich bei einem Anschaffungswert von 36 000 M. und unter Annahme durchschnittlicher Quoten, die für Privatunternehmer in Frage kommen, folgendermaßen:

1. Verzinsung	4 %	zusammen $4\frac{1}{2}$ %	1620 M.
Tilgung	$\frac{1}{2}$ %		
2. Abschreibung	5 %		1800 „
3. Unterhaltung	2 %		720 „
4. Versicherung	1 %		360 „
5. Löhne			
1 Schiffsführer	1200 M.		
1 Bootsmann	840 „		2040 „
6. Krankenkasse, Versicherung usw. 5 % der Löhne			100 „
7. Anteil an den Verwaltungskosten, Sonstiges			1060 „
			7700 M.

das ist für die Betriebszeit von 270 Tagen jährlich

$$\frac{7700}{270} = 28.50 \text{ M. pro Tag.}$$

Die Kilometergelder des Schiffspersonals betragen für

1 Schiffsführer	0,030 M./tkm
1 Bootsmann	0,015 „ „
	0,045 M./tkm

Bei einer Fahrtlänge von T km pro Tag sind die Streckenkosten also für 1 km

$$\left(\frac{28{,}50}{T} + 0{,}045\right) \text{ Mark.}$$

Als Tagesleistungen sollen die in Tabelle 4 (s. S. 41) angegebenen Werte angesetzt werden, bei denen Abzüge für Verringerung der Fahrgeschwindigkeit beim Kreuzen sowie für unvorhergesehene Fälle gemacht sind. Sie sind also die tatsächlich innezuhaltenden täglichen Fahrtlängen.

Für die angenommene, durchschnittliche Ladung der Schleppkähne von 360 t (s. S. 3) sind die Kosten des Schleppkahnes pro netto tkm in folgender Tabelle ermittelt:

Kosten des Schleppkahns. *Tabelle 11.*

Fahrgeschwindigkeit	Tagesleistung	Kosten des Schleppkahns pro 1 km Fahrt	Kosten des Schleppkahns pro netto tkm	Ersparnis pro netto tkm
km/Std.	km	Mark	Pf./tkm	Pf./tkm
3,0	37	0,82	0,228	
				0,053
4,0	49	0,63	0,175	
				0,033
5,0	61	0,51	0,142	
				0,019
5,5	66	0,48	0,133	
				0,010
6,0	71,5	0,44	0,123	
				0,008
6,5	77	0,42	0,115	
				0,007
7,0	82	0,39	0,108	

B. Die Streckenkosten.

Die Streckenkosten sind durch Addition der Kosten des Schleppkahns zu den Zugkosten für Schlepperbetrieb bezw. für elektrische Treidelei bei Fahrgeschwindigkeiten von 4—5 km/Std. bezw. 4—7 km/Std. und Verkehrsgrößen von 1—10 Mill. t pro Jahr errechnet und in Tabelle 12 Spalten 2—17 eingetragen.

Für den freien Schlepperbetrieb ist außerdem noch eine Trennung nach Transportentfernungen von 100, 200, 300 und 600 km vorgenommen.

Streckenkosten pro netto tkm. *Tabelle 12.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Jahres-Verkehrsgröße	Monopol-Schlepper-Betrieb		Freier Schlepper-Betrieb Transportentfernung								Elektrische Treidelei					
	Fahrgeschwind.		100 km Fahrgeschwind.		200 km Fahrgeschwind.		300 km Fahrgeschwind.		600 km Fahrgeschwind.		Fahrgeschwindigkeit					
	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Mill. t	Pf. pro netto tkm		Pf. pro netto tkm								Pf. pro netto tkm					
1	0,449	0,416	0,441	0,408	0,380	0,347	0,360	0,327	0,339	0,306	0,610	0,587	0,588	0,590	0,599	0,609
2	0,441	0,408	„	„	„	„	„	„	„	„	0,435	0,411	0,410	0,411	0,416	0,425
3	0,439	0,406	„	„	„	„	„	„	„	„	0,376	0,352	0,351	0,351	0,355	0,364
4	0,437	0,404	„	„	„	„	„	„	„	„	0,345	0,322	0,319	0,321	0,325	0,333
5	0,436	0,403	„	„	„	„	„	„	„	„	0,329	0,304	0,301	0,303	0,307	0,316
6	0,436	0,403	„	„	„	„	„	„	„	„	0,316	0,291	0,289	0,290	0,295	0,303
7	0,435	0,402	„	„	„	„	„	„	„	„	0,308	0,282	0,281	0,282	0,286	0,295
8	0,435	0,402	„	„	„	„	„	„	„	„	0,302	0,275	0,274	0,274	0,279	0,288
9	0,434	0,401	„	„	„	„	„	„	„	„	0,295	0,271	0,269	0,270	0,274	0,283
10	0,434	0,401	„	„	„	„	„	„	„	„	0,292	0,267	0,264	0,264	0,269	0,278

10. Ermittelung der Frachtkosten.

Die besonders für den Verfrachter wichtigen gesamten Kanalfrachtkosten setzen sich zusammen aus den

A. Hauptkosten,

a) Streckenkosten (Kosten für Schiffszug und Schleppkahn während der Fahrt).

b) Liegekosten (Kosten für Schleppkahn am Abgangs- und Bestimmungsort).

B. Nebenkosten,

a) Hafengebühr (im Abgangs- und Bestimmungshafen).

b) Lade- und Löschkosten.

c) Versicherung der Ladung während der Fahrt.

d) Kanalabgaben.

Als Beispiel sollen die Frachtkosten für grobe Massengüter (Kohlen) für Transportentfernungen von 50 bis 600 km ohne Um-

laden und zwar für monopolisierten und freien Schlepperbetrieb und für elektrische Treidelei angegeben werden. Da die Streckenkosten (Tabelle 12) für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten nicht erheblich voneinander abweichen, so sind zur Erhöhung der Übersichtlichkeit Mittelwerte eingesetzt.

A. Ermittelung der Liegekosten.

Für die Bestimmung der Liegekosten sind die von Herrn Geh. Oberbaurat Dr.-Ing. Sympher[1]) angenommenen Verhältnisse zugrunde gelegt, und zwar

a) volle Ladung (600 t)

2 Tage Warten auf Ladung
3 Tage Beladen (200 t pro Tag)
5 Tage Löschen (120 t pro Tag)

zus. 10 Tage

10 Tage je 28.50 M. (s. S. 85) . . . . . 285 M.

b) $^1/_5$ Ladung (Rückfracht 120 t)

2 Tage Warten auf Ladung
2 Tage Beladen
2 Tage Löschen

zus. 6 Tage

6 Tage je 28.50 M. . . . . 171 M.

Es betragen die Liegekosten in Pf. pro netto tkm für eine Transportentfernung von n km

$$\frac{(285 + 171) \times 100}{720 \times n} = \frac{63{,}3}{n}$$

B. Ermittelung der Nebenkosten.

Für die Nebenkosten sind folgende Annahmen gemacht:

a) Beladen mit geeigneten Vorrichtungen . . . . 10 Pf./t
b) Löschen „ „ „ . . . . . 22 „
c) Hafengebühr je 15 Pf. . . . . 30 „
d) Versicherung der Ladung mit 5 % des Wertes . . 4 „
e) Die durchschnittlichen Abgaben auf sämtlichen deutschen Wasserstraßen, die meist nach der Tragfähigkeit berechnet werden, sind nach einer Zusammenstellung des Herrn Geh. Oberbaurat Dr.-Ing. Sympher[2]) für beladene Kähne:

1) Vgl. Anm. S. 82.

2) Vgl. Sympher, Zweckmäßigkeit und Höhe der Schiffahrtsabgaben, 1892.

gewöhnlicher Tarif 0,03 bis 1,07 Pf./tkm,
durchschnittlich 0,2 Pf./tkm,
grobe Güter 0,04 bis 0,54 Pf./tkm,
durchschnittlich 0,1 Pf./tkm.

Unter der Annahme, daß beladene Kähne durchschnittlich mit $^2/_3$ ihrer Tragfähigkeit ausgenutzt werden, beträgt die Abgabe sämtlicher Kähne

durchschnittlich 0,2 Pf./netto tkm.

Für den vorliegenden Fall soll eine Kanalabgabe von 0,4 Pf./netto tkm angenommen werden. Die den Liegekosten und Nebenkosten entsprechenden tonnenkilometrischen Frachtkosten für 50 bis 600 km Transportentfernung sind in Tabelle 13 errechnet.

Liegekosten und Nebenkosten. *Tabelle 13.*

Transportentfernung in km		50	100	200	300	400	500	600
pro netto tkm	Liegekosten . .	1,266	0,633	0,317	0,211	0,158	0,127	0,105
	Beladekosten . .	0,200	0,100	0,050	0,033	0,025	0,020	0,017
	Löschkosten . .	0,440	0,220	0,110	0,073	0,055	0,044	0,037
	Hafengebühr . .	0,600	0,300	0,150	0,100	0,075	0,060	0,050
	Versicherung . .	0,080	0,040	0,020	0,013	0,010	0,008	0,007
	Abgaben . . .	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Summe pro netto tkm		2,986	1,693	1,047	0,830	0,723	0,659	0,616

C. Bestimmung der Frachtkosten pro netto tkm.

Nun sind durch Addition der Haupt- und Nebenkosten (s. Tab. 12 u. 13) in Tabelle 14 die Kosten der gesamten Kanalfracht für Kohlen auf Transportentfernungen von 50 bis 600 km ohne Umladen zusammengestellt, und zwar für monopolisierten und freien Schlepperbetrieb und für elektrische Treidelei bei Verkehrsgrößen von 1 bis 10 Mill. t pro Jahr.

Gesamte Frachtkosten pro netto tkm für Kohlen.

Tabelle 14.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Jahresverkehr	Transportentfernung 50 km			Transportentfernung 100 km			Transportentfernung 200 km			Transportentfernung 300 km			Transportentfernung 400 km			Transportentfernung 500 km			Transportentfern. 600 km		
	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei	Monopol-Schlepperbetrieb	Freier Schlepperbetrieb	Elektr. Treidelei
Mill. t	Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm			Pf. pro netto tkm		
1	3,418	3,532	3,586	2,125	2,117	2,293	1,479	1,410	1,647	1,262	1,173	1,430	1,155	1,056	1,323	1,091	0,985	1,259	1,048	0,938	1,216
2	3,410	„	3,408	2,117	„	2,115	1,471	„	1,469	1,254	„	1,252	1,147	„	1,145	1,083	„	1,081	1,040	„	1,038
3	3,408	„	3,349	2,115	„	2,056	1,469	„	1,410	1,252	„	1,193	1,145	„	1,086	1,081	„	1,022	1,038	„	0,979
4	3,406	„	3,318	2,113	„	2,025	1,467	„	1,379	1,250	„	1,162	1,143	„	1,055	1,079	„	0,991	1,036	„	0,948
5	3,405	„	3,300	2,112	„	2,007	1,466	„	1,361	1,249	„	1,144	1,142	„	1,037	1,078	„	0,973	1,035	„	0,930
6	3,405	„	3,288	2,112	„	1,995	1,466	„	1,349	1,249	„	1,132	1,142	„	1,025	1,078	„	0,961	1,035	„	0,918
7	3,404	„	3,280	2,111	„	1,987	1,465	„	1,341	1,248	„	1,124	1,141	„	1,017	1,077	„	0,953	1,034	„	0,910
8	3,404	„	3,273	2,111	„	1,980	1,465	„	1,334	1,248	„	1,117	1,141	„	1,010	1,077	„	0,946	1,034	„	0,903
9	3,403	„	3,268	2,110	„	1,975	1,464	„	1,329	1,247	„	1,112	1,140	„	1,005	1,076	„	0,941	1,033	„	0,898
10	3,403	„	3,263	2,110	„	1,970	1,464	„	1,324	1,247	„	1,107	1,140	„	1,000	1,076	„	0,936	1,033	„	0,893

11. Zusammenstellung der Ergebnisse.

A. Erläuterung der auf den Tafeln 4 bis 7 dargestellten Kurven.

Aus der Darstellung der Zugkosten für die elektrische Treidelei auf Tafel 4 geht hervor, daß die Zugkosten ausschließlich Stromverbrauch mit zunehmendem Verkehr zunächst erheblich, dann in immer geringerem Maße abnehmen, begründet durch die verhältnismäßig hohen, festen Anlagekosten. Sie vermindern sich ebenfalls mit zunehmender Geschwindigkeit und zwar für alle Verkehrsgrößen ziemlich gleichmäßig, wegen der für höhere Fahrgeschwindigkeiten erforderlichen geringeren Anzahl an Betriebsmitteln und Personal. Die Stromkosten zeigen mit steigendem Verkehr, infolge der für die Selbstkosten gemachten Annahmen (vgl. S. 45) nur eine geringe Abnahme. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit wachsen sie sehr erheblich und übertreffen bei 7 km/Std. Fahrgeschwindigkeit für Verkehrsgrößen von 5 Mill. t an sogar die gesamten übrigen Betriebskosten. Die schraffierte Fläche (vgl. Tafel 4 u. 5) deutet die Ersparnis an Stromkosten an bei Anwendung des 1-schienigen Systems ($\eta = 72{,}5\,\%$ statt $61{,}5\,\%$). Sie zeigt aber gleichzeitig ganz allgemein den Einfluß, den die Einführung einer Lokomotive mit höherem Wirkungsgrad auf die Zugkosten hat und gibt, wie früher erläutert (vgl. S. 47), etwa das höchste Maß der hierdurch zu erzielenden Ersparnisse an. Die auf Tafel 5 durch Addition je zweier zugehöriger Kurven der Tafel 4 dargestellten Kurven der gesamten Zugkosten zeigen, daß bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 3 auf 4 km/Std. die Zugkosten sogar etwas abnehmen, bei 5 km/Std. sind sie etwa so hoch wie bei 3 km/Std., dann steigen sämtliche Kurven für 1—10 Mill. t Jahresverkehr bis 7 km/Std. allmählich steiler an, wegen der immer stärker wachsenden Stromkosten.

Die Darstellung der Zugkosten als Funktion der Verkehrsgröße auf Tafel 6 läßt erkennen, daß die Zugkosten für elektrische Treidelei bei 1 Mill. t Jahresverkehr zwar außerordentlich groß sind, mit steigendem Verkehr aber sehr schnell abfallen. Bei 4 km/Std. sind die Zugkosten für alle Verkehrsgrößen am geringsten.

Für Monopolschlepperbetrieb verläuft die Kurve der Zugkosten fast horizontal. Die entsprechende Kurve für freien Schlepperbetrieb ist vollkommen horizontal.

Die auf Tafel 7 gezeichnete Darstellung der Streckenkosten gibt ein ähnliches Bild der wirtschaftlichen Verhältnisse der drei er-

wähnten Arten des Schiffszuges wie Tafel 6. Die Kurven für elektrische Treidelei fallen verhältnismäßig noch mehr ab, so daß der Unterschied in den Streckenkosten zugunsten der elektrischen Treidelei noch deutlicher hervortritt.

B. Beziehung zwischen Fahrgeschwindigkeit und Zugkosten der elektrischen Treidelei.

In der Praxis hat sich erst in allerneuester Zeit das Bestreben gezeigt, die bisher übliche und teilweise vorgeschriebene höchste Fahrgeschwindigkeit zu steigern. Auf dem Teltowkanal ist sie freilich noch auf 4 km/Std. festgesetzt, aber nach den dort gewonnenen Erfahrungen sind für den Entwurf des Rhein-Weser-Kanals 5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit zugrunde gelegt, und zwar ohne Ermäßigung derselben beim Kreuzen.

Über eine Fahrgeschwindigkeit von 5 km/Std. hinaus zu gehen hat man bisher für den praktischen Betrieb nicht als zweckmäßig erachtet, trotzdem festgestellt ist, daß nach Einführung der elektrischen Treidelei in bezug auf Betriebssicherheit und genügende Erhaltung der Kanalanlagen sehr wohl eine höhere Geschwindigkeit möglich ist (vgl. S. 12). Der springende Punkt ist hier vor allem die wirtschaftliche Frage, die nun näher zu erörtern ist.

Es sollen zunächst die wirtschaftlichen Gesichtspunkte dargelegt werden, die bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit in bezug auf die Kosten der Energieverteilung und des Energieverbrauchs in Frage kommen, um dann an der Hand der früher durchgeführten Untersuchungen und der auf den Tafeln 4—7 dargestellten Kurven auf die Zugkosten allgemein und im Vergleich zu den bisher üblichen Zugmitteln näher einzugehen.

a) Die Kosten der Energieverteilung.

Nach Tafel 3 beträgt für einen Jahresverkehr von 4 Mill. t der jährliche Energieverbrauch bei 5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit rund 2,85 Mill. KWSt. Diese Verkehrsgröße entspricht dem voraussichtlichen Anfangsverkehr auf dem Rhein-Weser-Kanal. Bei gesteigertem Verkehr von 10 Mill. t pro Jahr beträgt der jährliche Energieverbrauch rund 7,10 Mill. KWSt., d. i. eine Steigerung um rund 60 %. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/Std. sind die entsprechenden Werte für den Energieverbrauch rund 4,5 Mill. KWSt., bezw. 11,3 Mill. KWSt., das ergibt in beiden Fällen nur eine Steigerung um 37 % gegenüber der Fahrgeschwindigkeit von 5 km/Std. Für 6,5 km/Std.

Fahrgeschwindigkeit sind die entsprechenden Zahlen 5,55 Mill. KWSt. bezw. 13,85 Mill. KWSt. bezw. 49 %.

Ferner zeigt Tafel 3, daß für eine Fahrgeschwindigkeit von 6,5 km/Std. bei einem Verkehr von 4 Mill. t pro Jahr dieselbe Belastung der Energieverteilungsanlage eintritt, wie für 5 km/Std. Geschwindigkeit bei 7,8 Mill. t Jahresverkehr entsprechend für 6 km/Std. Geschwindigkeit bei 4 Mill. t wie für 5 km/Std. bei 6,25 Mill. t Jahresverkehr.

Nun ist aber der Einfluß der Kosten für die Energieverteilungsanlage auf die Zugkosten außerordentlich gering und ferner ist zu berücksichtigen, daß die Energieverteilungsanlage schon für den ersten Verkehr so eingerichtet werden muß, daß sie leicht und ohne große Kosten verursachende Umbauten dem gesteigerten Verkehr angepaßt werden kann, d. h. für eine Mehrbelastung von 60 %. Daher werden auch die Kosten für Erweiterung und Verstärkung der Anlage infolge einer weiteren Mehrbelastung um 37 % oder 49 % (s. oben) nicht so erheblich sein, daß dadurch die tonnenkilometrischen Zugkosten beeinflußt werden. Es liegt somit kein Grund vor, die Fahrgeschwindigkeit wegen allzu unwirtschaftlicher Energieverteilungsanlage zu beschränken.

b) Die Kosten des Energieverbrauchs.

Die auf Tafel 4 dargestellten Kurven des Energieverbrauchs zeigen, daß die Stromkosten für Geschwindigkeiten bis 4,5 km/Std. nicht erheblich anwachsen, und selbst bei einem Jahresverkehr von 10 Mill. t noch nicht 50 % der gesamten übrigen Betriebskosten ausmachen. Bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit wächst der Einfluß der Stromkosten in immer schnellerem Maße. Bei 6 km/Std. Fahrgeschwindigkeit ist er gleich den gesamten übrigen Betriebskosten für einen Jahresverkehr von 10 Mill. t, und für 7 km/Std. sogar gleich denjenigen für einen Jahresverkehr von 5 Mill. t.

Selbst die Einführung einer Lokomotive mit dem höchsten überhaupt erreichbaren Wirkungsgrad (vgl. S. 47 u. 91) bringt keine wesentliche Ermäßigung der Stromkosten mit sich, wie aus der schraffierten Fläche hervorgeht. Es muß daher bei der Wahl des Lokomotivsystems sehr wohl erwogen werden, ob man die einschienige Lokomotive der für unsere deutschen Verhältnisse besonders geeigneten, vorzüglich ausgerüsteten zweischienigen Lokomotive (vgl. S. 18) den Vorzug geben soll, zumal die obenerwähnte, für einen sicheren geregelten Betrieb erforderliche Ausrüstung sich nicht ohne Schwierigkeiten bei der einschienigen Lokomotive anbringen läßt. Außerdem

haben die neuesten, im Sommer 1906 während des Betriebes auf dem Teltowkanal angestellten Messungen des Stromverbrauchs und der Nutzleistung einen Wirkungsgrad von etwa 66 % für die zweischienige Lokomotive ergeben.

Auf den ersten Blick erscheint diese Steigerung der Stromkosten, die bei 6 km/Std. etwa das $2^1/_2$fache, bei 7 km/Std. das 4fache der Stromkosten für 4 km/Std. betragen (vgl. Tafel 4), freilich ausschlaggebend zu sein für die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit. Man könnte es zunächst für wirtschaftlich unmöglich halten, daß die Stromkosten die gesamten übrigen Betriebskosten übersteigen, besonders da man gewöhnt ist, daß sowohl beim Schlepperbetrieb als auch bei den bisherigen Ausführungen des elektrischen Schiffszuges die Kosten der Energie nur einen geringen Betrag ausmachen, der auf die tonnenkilometrischen Zugkosten kaum Einfluß hat. Anlagekapital sowie Gehälter und Löhne waren bei den bisher üblichen Fahrgeschwindigkeiten von ausschlaggebendem Einfluß auf die Höhe der Zugkosten.

Dazu sind die Selbstkosten des elektrischen Stromes bei den bestehenden Anlagen zum Teil ungewöhnlich hohe. Beim Teltowkanal betragen sie sogar wegen ungünstiger äußerer Verhältnisse in den ersten Betriebsjahren mehr als 15 Pf. pro KWSt., das ist das Doppelte der hier angenommenen Selbstkosten. Bei derartig hohen Energiekosten, wo demnach für 7 km/St. die Stromkosten allein etwa 0,22 Pf./tkm ausmachen (vgl. Tafel 4), ist es erklärlich, daß man wegen des unverhältnismäßig starken Anwachsens der Stromkosten auf eine wesentliche Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit aus wirtschaftlichen Gründen verzichtete.

Die Verhältnisse liegen freilich bedeutend günstiger. Die Energiekosten sind in Übereinstimmung mit den Siemens-Schuckert-Werken für diese allgemeine Erörterung mit durchschnittlich 8 Pf. pro KWSt. zutreffend berücksichtigt. Außerdem fallen mit steigender Fahrgeschwindigkeit die übrigen Betriebskosten infolge der Ersparnis an Betriebsmitteln und Löhnen (s. Tabelle 6).

Für einen geringen Verkehr, bis etwa 2 Mill. t im Jahr, sind wegen der hohen festen Anlagekosten die übrigen Betriebskosten so hoch, daß die Stromkosten selbst bei höheren Fahrgeschwindigkeiten keine große Rolle spielen. Bei diesem Verkehr bietet aber die elektrische Treidelei gegenüber dem Schlepperbetrieb auch keine wirtschaftlichen Vorteile. Die wirtschaftliche Überlegenheit der elektrischen Treidelei zeigt sich erst bei höheren Verkehrsgrößen. Mit steigendem Verkehr fallen die gesamten übrigen Betriebskosten aber so stark ab, daß die Zugkosten für elektrische Treidelei bei gleicher Fahrge-

schwindigkeit (4—5 km/Std.) sehr bald unter diejenigen für Schlepperbetrieb sinken. Selbst bei höheren Fahrgeschwindigkeiten (bis 7 km/Std.) bleiben trotz der unverhältnismäßig hohen Stromkosten die Zugkosten bei einem Jahresverkehr von 4—5 Mill. t an in durchaus angemessenen Grenzen (s. Tafel 6).

Der Unterschied der Zugkosten bei elektrischer Treidelei für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten ist bei steigendem Verkehr annähernd konstant, die betreffenden Kurven laufen daher parallel (vgl. Tafel 6). Im einzelnen zeigt Tab. 15 diese Unterschiede, die sich mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit aus den steigenden Stromkosten und den fallenden übrigen Betriebskosten ergeben, gegenüber denjenigen für 4 km/Std. (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 15.

Fahrgeschwindigkeit	Unterschied der		
	Stromkosten	übrigen Betriebskosten	gesamten Zugkosten
km/Std.	Pf./tkm	Pf./tkm	Pf./tkm
4,0	+ 0,000	— 0,000	+ 0,000
5,0	+ 0,018	— 0,010	+ 0,008
5,5	+ 0,029	— 0,014	+ 0,015
6,0	+ 0,043	— 0,017	+ 0,026
6,5	+ 0,058	— 0,020	+ 0,038
7,0	+ 0,075	— 0,021	+ 0,054

Daß selbst die verhältnismäßig hohen Energiekosten die Zugkosten der elektrischen Treidelei durchaus nicht übermäßig hoch gestalten, zeigt ein Vergleich mit den beim jetzigen freien und beim monopolisierten Schlepperbetrieb üblichen Zugkosten.

a) Vergleich der Zugkosten für elektrische Treidelei mit denjenigen beim freien Schlepperbetrieb.

Die Zugkosten beim freien Schlepperbetrieb sind natürlich abhängig von Angebot und Nachfrage. Die bei möglichst wirtschaftlicher Ausnutzung des Dampferparks entstehenden niedrigsten Betriebskosten sind für eine Transportentfernung von 100 km 0,266 Pf./netto tkm, für die in Deutschland zutreffende durchschnittliche Transportentfernung von 300 km 0,185 Pf./netto tkm, für 600 km 0,164 Pf./netto tkm (vgl. S. 83).

Für die Transportentfernung von 300 km liegt der Schnittpunkt der Kurven (vgl. Tafel 6), wo die Zugkosten der elektrischen Treidelei bei 6—6,5 km/Std. denen beim freien Schlepperbetrieb mit 4 km/Std. Geschwindigkeit gleichkommen, bei einem Jahresverkehr von etwa

5 Mill. t, d. i. also nur wenig über dem voraussichtlichen Anfangsverkehr beim Rhein-Weser-Kanal. Bei 10 Mill. t sinken die entsprechenden Zugkosten der elektrischen Treidelei auf 0,15 Pf. pro netto tkm, also noch unter die für die weite Transportentfernung von 600 km zu erzielende untere Grenze der Zugkosten beim freien Schlepperbetrieb von 0,164 Pf./netto tkm. Es ist aber zu berücksichtigen, daß die für den freien Schlepperbetrieb angegebenen Zugkosten die unterste erreichbare Grenze darstellen, während bei der elektrischen Treidelei bei Ermittelung der Anlage- und Betriebskosten reichlich bemessene Durchschnittswerte angesetzt sind, so daß sich in besonderen Fällen für günstige Verhältnisse sehr wohl weitere Ermäßigungen der Zugkosten erzielen lassen.

Daraus geht also hervor, daß beim freien Schlepperbetrieb sich nur unter gewissen Voraussetzungen wirtschaftliche Vorteile in bezug auf die Zugkosten erzielen lassen, die aber bei gesteigertem Verkehr ganz fortfallen. Dem gegenüber stehen aber Nachteile, die erstens der Schlepperbetrieb und zweitens der freie Betrieb bedingen, die bei geringem Verkehr die ersparten Zugkosten zum mindesten aufheben, bei gesteigertem Verkehr aber einen regelmäßigen, sicheren Schnellbetrieb unmöglich machen.

β) Vergleich der Zugkosten für elektrische Treidelei mit denjenigen beim monopolisierten Schlepperbetrieb.

Die Zugkosten für monopolisierten Schlepperbetrieb betragen für Fahrgeschwindigkeiten von 4—5 km/Std. und einen Jahresverkehr von 1—10 Mill. t fast gleichmäßig etwa 0,26 Pf. pro netto tkm. Der Schnittpunkt der zugehörigen Kurve (vgl. Tafel 6) mit derjenigen für elektrische Treidelei bei 6—6,5 km/Std. liegt schon bei etwa 2,5 Mill. t Jahresverkehr.

c) Die Streckenkosten.

Das übermäßig starke Anwachsen der Stromkosten bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit fällt aber noch weniger ins Gewicht bei den Streckenkosten (vgl. Tafel 7), die, wie erwähnt (s. S. 84), den besten Maßstab für die Wirtschaftlichkeit des Schleppmittels bieten. Die auf Tafel 7 dargestellten Kurven der Streckenkosten für elektrische Treidelei zeigen, daß die hohen Stromkosten fast vollständig aufgehoben werden durch die Ersparnisse an Kosten für den Schleppkahn, so daß die betreffenden Kurven für 5—6,5 km/Std. nicht wesentlich von einander abweichen. Wie die Kurven erkennen lassen, sind

gerade für diese Geschwindigkeiten die Streckenkosten am niedrigsten, während sie für 7 km/Std. nur wenig höher sind. Die größten Streckenkosten entstehen bei 4 km/Std. Fahrgeschwindigkeit.

Der Vergleich mit den Streckenkosten beim Schlepperbetrieb fällt noch mehr zugunsten der elektrischen Treidelei aus (vgl. Tafel 7). Der Schnittpunkt der Kurven für elektrische Treidelei bei 5—6,5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit mit den entsprechenden Kurven für monopolisierten Dampferbetrieb bei 4—5 km/Std. liegt schon bei etwa 2 Mill. t und derjenige für freien Dampferbetrieb bei etwa 3,5 Mil. t Jahresverkehr. Somit bietet der monopolisierte Schlepperbetrieb für einigermaßen verkehrsreiche Kanäle selbst in den ersten Betriebsjahren keine wirtschaftlichen Vorteile, aber auch die nur bei günstigster Ausnutzung des Dampferparks überhaupt zu erzielenden niedrigsten Streckenkosten beim freien Schlepperbetrieb werden schon bei einem Jahresverkehr von 3,5 Mill. t von der elektrischen Treidelei unterschritten.

12. Mittelbare Vorteile der elektrischen Treidelei.

Ist somit die unmittelbare wirtschaftliche Überlegenheit der elektrischen Treidelei über die andern Schleppmittel erwiesen, so sollen nun noch einige mittelbare Vorteile derselben angeführt werden, die zwar nicht allen Kanalanlagen in gleichem Maße zugute kommen, die aber andrerseits in jedem einzelnen Falle bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Schiffszuges mindestens nicht ganz übersehen werden dürfen.

A. Für die Kanalanlagen und -einrichtungen.

Das Vorhandensein elektrischer Energie längs des ganzen Kanals ermöglicht die elektrische Betriebseinrichtung der gesamten Schleusenanlagen. Bei der Teltowkanalschleuse ist hierdurch eine vollständig einheitliche Regelung des Schleusendienstes erreicht, die in mancher Hinsicht zur Verkürzung der Schleusungsdauer beiträgt.

Es läßt sich durch die recht geringen Selbstkosten der elektrischen Energie eine Ersparnis in dem Betriebe der Pumpwerke, der Sicherheitstore, der Hafenanlagen, der Lösch- und Ladevorrichtungen, der Krane usw. erzielen.

Es ist mit verhältnismäßig geringen Kosten, falls erforderlich, eine durchlaufende Beleuchtung des ganzen Kanals herzustellen, die sonst, wie z. B. am Nord-Ostsee-Kanal, nur durch eine kostspielige Beleuchtungsanlage beschafft werden kann.

B. Verringerung der Unterhaltungskosten der Kanalanlagen.

Gegenüber dem freien Schlepperbetrieb werden bei der elektrischen Treidelei die Angriffe der Kanalsohle und der Uferbefestigungen erheblich eingeschränkt. Dadurch lassen sich nicht unbeträchtliche Ersparnisse in den Anlagekosten und vor allem in den Unterhaltungskosten erzielen.

C. Zweckmäßige Ausführung von Reparaturarbeiten.

Sehr viele Ausbesserungsarbeiten sind durch Benutzung der Lokomotivgleise schneller und einfacher durchzuführen, besonders wenn für den Antrieb der dazu etwa erforderlichen Hilfsmaschinen die elektrische Energie der Leitung entnommen werden kann.

D. Entlastung des Kanals.

Die elektrische Treidelei entlastet den Kanal von der verhältnismäßig großen Anzahl der für den Schlepperbetrieb nötigen Schleppboote, was zusammen mit der größeren Steuerfähigkeit der Schleppkähne an der Treidellokomotive zur Verminderung von Havarien beiträgt.

E. Feste Tarifbildung.

Die gesamte Beförderung auf Wasserstraßen erfährt eine bisher unbekannte Zuverlässigkeit und Regelmäßigkeit, die die Möglichkeit geben, die Fahrtdauer im voraus zu bestimmen und mit festen Lieferzeiten ziemlich sicher rechnen zu können. Dadurch ist der Befrachter in der Lage, sich ein für allemal feste Tarife für die Frachtkosten aufzustellen, ein Vorteil, den bisher außer den Eisenbahnen kein Transportmittel gewährt.

Bei dem jetzigen unregelmäßigen und unzuverlässigen Schiffahrtsbetrieb sind die Zeiten für das Warten auf Ladung, für das Beladen und Löschen der Kähne häufig so groß, daß die Liegekosten die Streckenkosten bei Transportentfernungen bis 300 km meist noch überschreiten. Bei Einführung des elektrischen Schiffszuges werden bei einem Jahresverkehr von 3,5 Mill. t an die Streckenkosten ermäßigt, vor allem aber lassen sich durch den geregelten Betrieb die

Liegezeiten verkürzen und dadurch mit abnehmender Transportentfernung steigende Ersparnisse in den Liegekosten erzielen, so daß die gesamte Kanalfracht nicht unwesentlich unter die in Tabelle 14 angegebenen Werte verbilligt wird.

F. Wirtschaftliche Hebung der umliegenden Gegend.

Die Einführung des elektrischen Schiffszuges gewährt aber auch einen großen volkswirtschaftlichen Wert für die gesamte umliegende Gegend, besonders wenn aus Mangel an Kohlen und Wasserkräften die Beschaffung der Energie zu einem mäßigen Preise unmöglich ist. Denn ohne Zweifel bietet der elektrische Strom von hoher Spannung die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Form der Kraftübertragung.

Selbst durch die Abgabe der Energie zu dem sehr billigen Preise von 8—10 Pf. pro KWSt. werden der Kanalverwaltung erhebliche Einnahmen zufließen. Dieser Preis ist aber wohl geeignet, die Ansiedelung neuer Industrien längs des Kanals zu unterstützen, die dem Kanal dann wieder unmittelbare Einnahmen zuführen.

Gerade die Stromabgabe auch an Gemeinden und Private für Kraft- und Beleuchtungszwecke vermag den Betriebskoeffizienten der Zentrale wesentlich zu erhöhen, besonders wenn man bedenkt, daß die Treidelei infolge des wechselnden Verkehrs einen sehr schwankenden Stromverbrauch erfordert, und meist überhaupt nur bei Tage betrieben wird. Es ist daher äußerst vorteilhaft für einen wirtschaftlichen Betrieb der Zentrale, wenn durch eine möglichst große Zahl privater Abnehmer die Stromerzeugung annähernd konstant erhalten und damit eine ziemlich hohe dauernde Ausnutzung der Zentrale gewährleistet werden kann.

---

13. Gesamtergebnis.

Die Schleppversuche[1]) am Dortmund-Ems-Kanal und am Teltowkanal haben ergeben, daß in dem betrachteten Kanalprofil mit westlichen Normalkähnen von 600 t Nutzlast aus bau- und betriebstechnischen Rücksichten und auch im Interesse der eigenen Sicherheit

1) Vgl. Anm. S. 2.

der Schleppkähne beim Schiffszug mit Schleppern keine größere Fahrgeschwindigkeit als 5,0 km/Std. zugelassen werden kann, und daß die Schleppzüge beim Kreuzen die Fahrgeschwindigkeit auf 2,2 km/Std. ermäßigen müssen. Bei diesen zulässigen höchsten Fahrgeschwindigkeiten erreichen aber die Angriffe der Kanalsohle infolge des Slips der Schraube ein bedenkliches Maß und die Betriebssicherheit ist wegen der unsicheren Steuerfähigkeit der Schleppkähne bisweilen gefährdet. Ein regelmäßiger, zuverlässiger Betrieb mit festen Tarifen ist nur beim monopolisierten Schlepperbetrieb möglich.

Demgegenüber zeigten die Versuche[1]) am Teltowkanal mit der elektrischen Treidelei, daß unter denselben Verhältnissen bei Gewährleistung einer hinreichenden Betriebssicherheit und dauernden, genügenden Erhaltung der Kanalanlagen unbedenklich eine Fahrgeschwindigkeit bis 6,0 km/Std. zugelassen werden kann. Nach zwangsweiser Einführung einer wirksameren Steuervorrichtung für die Schleppkähne ist es sogar möglich, bis 7,0 km/Std. zu erreichen. Beim Kreuzen braucht die Fahrgeschwindigkeit bis 5,0 km/Std. nicht ermäßigt zu werden.

Ist es demnach beim Schlepperbetrieb ausgeschlossen, eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit über 5 km/Std. zu erzielen, so wird außerdem bei Steigerung des Verkehrs und dementsprechend schnellerer Aufeinanderfolge der Kreuzungen wegen der Zunahme der Geschwindigkeitsermäßigungen die Reisegeschwindigkeit immer mehr verringert, und die Betriebssicherheit durch die stets wechselnde Fahrgeschwindigkeit in immer stärkerem Maße gefährdet.

Bei der elektrischen Treidelei ist für eine Fahrgeschwindigkeit bis 5,0 km/Std. diese ohne weiteres gleich der Reisegeschwindigkeit. Für höhere Fahrgeschwindigkeiten wird durch das beim Kreuzen erforderliche Abstoppen selbst bei einem Jahresverkehr von 10 Mill. t die Reisegeschwindigkeit nicht wesentlich verringert, da ja mit höherer Fahrgeschwindigkeit die Entfernung der Kreuzungen zunimmt (siehe Tabelle 3). Überdies ist die Gefahr der Havarien beim Kreuzen mit 5,0 km/Std. Kreuzungsgeschwindigkeit wegen der größeren Steuerfähigkeit der Schleppkähne hinter der Treidellokomotive geringer als hinter dem Schlepper.

Danach kann der Schlepper für einen regelmäßigen, sicheren Schnellbetrieb auf verkehrsreichen Kanälen nicht den Anforderungen genügen, die zur Ausgestaltung unserer großen Kanäle zu einem den Eisenbahnen ebenbürtigen Transportmittel durchaus wünschens-

---

1) Vgl. Anm. S. 2.

wert sind, während die elektrische Treidelei zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse auf Kanälen nach dieser Richtung besonders geeignet ist.

Was nun die wirtschaftliche Seite der Frage anbetrifft, so ist zunächst festgestellt, daß beim Vergleich der verschiedenen Zugmittel der monopolisierte Schlepperbetrieb fast ganz ausscheidet. Sowohl die Zugkosten als auch die Streckenkosten stellen sich beim freien Schlepperbetrieb durchweg billiger. Erst für Transportentfernungen unter 100 km erreichen die Zugkosten für freien Betrieb die Höhe derjenigen des monopolisierten (vergl. S. 82 u. 83).

Die Zugkosten und Streckenkosten der elektrischen Treidelei sind bei schwachem Verkehr größer als für freien Schlepperbetrieb, bis 2 Mill. t im Jahr sogar recht erheblich (vergl. Tafel 6). Die Zugkosten der elektrischen Treidelei unterschreiten aber von 5 Mill. t Jahresverkehr an diejenigen beim freien Schlepperbetrieb und die Streckenkosten schon bei 3,5 Mill. t (d. i. etwa der zu erwartende Anfangsverkehr des Rhein-Weser-Kanals). Dabei ist aber zu beachten, daß die betreffenden Kosten beim freien Schlepperbetrieb sich auf Transportentfernungen von 300 km bei nur 4—5 km/Std. Fahrgeschwindigkeit beziehen, während sie bei der elektrischen Treidelei auch für geringere Transportentfernungen und für Fahrgeschwindigkeiten bis 6,5 km/Std. zutreffen. Selbst die niedrigsten Zugkosten beim freien Schlepperbetrieb für 600 km Transportentfernung (für Deutschland die größte vorkommende) von 0,164 Pfg./tkm (s. Seiten 83 u. 95) werden bei gleicher Fahrgeschwindigkeit von 4 km/Std. für 10 Mill. t Jahresverkehr von der elektrischen Treidelei nicht annähernd erreicht. Sie betragen hier nur 0,117 Pfg./tkm, d. i. eine Ersparnis um 29 %. Für höhere Fahrgeschwindigkeiten der elektrischen Treidelei und 10 Mill. t Verkehr im Jahre sind die entsprechenden Ersparnisse in Tabelle 16 zusammengestellt (vgl. Tabelle 7). Die absoluten Ersparnisse (s. Tabelle 16, Spalte 4) bei der elektrischen

Tabelle 16.

Fahrgeschwindigkeit	Zugkosten für freien Schlepperbetrieb	Zugkosten für elektr. Treidelei	Ersparnisse	
km/Std.	Pf./tkm	Pf./tkm	Pf./tkm	%
4,0	0,164	0,117	0,047	29
5,0	0,164	0,125	0,039	24
5,5	—	0,131	0,033	20
6,0	—	0,143	0,021	13
6,5	—	0,154	0,010	6
7,0	—	0,170	—0,006	—4

Treidelei erhöhen sich aber noch in den Streckenkosten. Sie sind ebenfalls für 10 Mill. t Jahresverkehr für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten unter Gegenüberstellung der entsprechenden Werte für freien Schlepperbetrieb bei 600 km Transportentfernung (vergl. Tabelle 12) in Tabelle 17 veranschaulicht.

Tabelle 17.

Fahrgeschwindigkeit	Streckenkosten		Ersparnisse gegenüber 0,339	
	freier Dampferbetrieb	elektr. Treidelei		
km/Std.	Pf./tkm	Pf./tkm	Pf./tkm	%
4,0	0,339	0,292	0,047	14
5,0	0,306	0,267	0,072	21
5,5	—	0,264	0,075	22
6,0	—	0,264	0,075	22
6,5	—	0,269	0,070	21
7,0	—	0,278	0,061	18

Damit dürfte auch die wirtschaftliche Überlegenheit der elektrischen Treidelei über den Schlepperbetrieb für einigermaßen verkehrsreiche Kanäle erwiesen sein. Vor allem ist aber gezeigt, daß auch bei Steigerung der Fahrgeschwindigkeit die elektrische Treidelei sogar noch wirtschaftliche Vorteile bietet. Es ist also eine unberechtigte Ansicht, daß eine wirksame Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit aus wirtschaftlichen Gründen wegen der unverhältnismäßig stark anwachsenden Stromkosten unzweckmäßig sei.

Somit ist die elektrische Treidelei für die hier angenommenen Verhältnisse in technischer und wirtschaftlicher Beziehung allen anderen Schleppmitteln überlegen. Sie ermöglicht für westliche Normalkähne von 600 t in dem betrachteten Kanalprofil bei wesentlicher Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit einen sicheren und regelmäßigen Betrieb und führt bei einigermaßen starkem Verkehr trotz der höheren Fahrgeschwindigkeit zu einer Verbilligung der Zugkosten.

14. Praktisches Urteil über die Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit des elektrischen Schiffszuges durch Betrachtung der entsprechenden Einrichtungen auf den französischen Kanälen des Nordens.

In gewissem Grade läßt sich ein praktisches Urteil über die Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit der Einführung des elektrischen Schiffszuges auf unseren neuen großen Binnenwasserstraßen gewinnen durch einen Vergleich mit den französischen Kanälen des Nordens, wo unter recht ungünstigen Verhältnissen der elektrische Schiffszug schon seit 1898 betrieben und gerade in neuester Zeit erheblich weiter ausgedehnt wird.

Die so viel gerühmten, und in bezug auf Betriebseinrichtungen auch rühmenswerten französischen Kanäle haben bei weitem nicht den volkswirt-schaftlichen Wert wie unsere neuen, großen Kanäle, weil sie größtenteils aus einer Zeit stammen, die an einen Verkehrsweg noch nicht die Ansprüche stellte, wie die unsrige.

Die Abmessungen der französischen Kanäle vor allem der Schleusen ermöglichen nur einen Verkehr mit Schleppkähnen von durchschnittlich 285 t Nutzlast. Die Sohlenbreite der meisten Kanäle beträgt 12 m, die Wasserspiegelbreite 16—20 m, die Wassertiefe 2,2 m, der benetzte Querschnitt 27—35 qm. Die Schleusen haben eine nutzbare Länge von 38,5 m, eine Breite von 5,2 m, eine Drempeltiefe von 2,5 m unter dem Wasserspiegel.

Diese Abmessungen sind schon zum Teil im 18. Jahrhundert für die damaligen Verhältnisse festgelegt und auch bei den umfangreichen Kanalbauten in napoleonischer Zeit maßgebend gewesen. Bei den späteren Neubauten hat man diese Verhältnisse immer wieder zugrunde gelegt, so daß das heutige ausgedehnte französische Kanalnetz in seinen Abmessungen veraltet und den jetzigen Verkehrsbedingungen große Schwierigkeiten entgegenstellt. Das gesamte Schiffsmaterial entspricht natürch den minimalen Abmessungen der Schleusen. Um diese aber wenigstens vollkommen auszunutzen, hat man Kähne mit viereckigem Bug gebaut, die die Schleusen fast ganz ausfüllen und auf diese Weise bis etwa 300 t Nutzlast fassen.

Dazu kommt, daß das Längenprofil sehr vieler französischer Kanäle so ungünstig ist, daß ein Schleppkahn oft ganze Tage für den Auf- und Abstieg einer steilen Schleusentreppe verwenden muß,

ohne nennenswerten Fortschritt zu machen. So hat z. B. der sehr günstig gelegene Wasserweg Charleroi-Paris auf 271 km Länge 59 Schleusen, also auf 5 km eine Schleuse, der Rhein-Marne-Kanal bei einer Länge von 311 km 177 Schleusen, also eine Schleuse auf weniger als 2 km. Der Kanal von Burgund hat sogar auf 242 km 191 Schleusen, also auf 1,3 km eine Schleuse. Während bei unseren großen Kanälen gekuppelte Schleusen überhaupt nicht vorkommen, sind in Frankreich zwei, drei und vier zusammenhängende Bauwerke nichts Seltenes. Der „canal de midi“ bietet sogar als Sehenswürdigkeit eine achtfach gekuppelte Schleuse. Zur Überwindung der Wasserscheiden war man häufig sogar gezwungen, die Scheitelhaltung in teilweise recht langen Tunneln anzulegen, eine Notwendigkeit, die trotz der unerwünschten Verkehrshemmung in der nur in einer Richtung zu durchfahrenden unterirdischen Strecke nicht vermieden werden konnte.

So ist es denn unmöglich, auf diesem mit den neuesten technischen Einrichtungen ausgestatteten Kanalnetz billige Beförderungskosten zu erzielen, und dem weniger an die Terrainverhältnisse gebundenen Eisenbahnbetriebe wird es nicht schwer, die Konkurrenz mit derartigen, ungünstig gelegenen Wasserstraßen aufzunehmen und die Verkehrsgröße der Kanäle in erheblichem Maße zu beeinträchtigen. Ja, die ebsonderen französischen Verkehrs- und Eisenbahnverhältnisse haben sogar bisweilen dazu geführt, mit der weiteren Ausgestaltung des Eisenbahnbetriebes manche Wasserstraßen in gewissem Grade brach zu legen, trotzdem die Benutzung derselben ohne Ausnahme frei von Abgaben ist. Die bei weitem größere Anzahl der französischen Wasserstraßen hat einen Jahresverkehr von weniger als $^1/_2$ Mill. t. Erheblich größeren Verkehr haben nur einige Kanäle im Norden, und besonders die Linie Charleroi-Paris, wo streckenweise z. B. auf dem „canal de St. Quentin“ und auf dem „canal de la Sensée“ 4—5 Mill. t pro Jahr befördert werden.

Demgegenüber sind für unsere neuen Kanäle und ihre Bauwerke solche Abmessungen vorgesehen, die den modernen Verkehrsbedürfnissen entsprechen, für Schleppkähne bis 700 t Nutzlast. Das Längenprofil unserer Kanäle ist unvergleichlich viel günstiger. Auf dem Dortmund-Ems-Kanal kommt nur auf etwa 10 km eine Schleuse. Die Strecke Münster-Hannover von 209 km Länge ist absolut schleusenfrei und steht damit in technischer Beziehung wohl einzig in der Welt da. Die ganze Strecke vom Rhein bis Hannover hat bei 314 km Länge nur acht Schleusen, d. i. auf 39 km eine Schleuse. Der Verkehr auf unseren Kanälen wird nach sorgfältigen

Ermittelungen ein bedeutend größerer sein und schon zu Anfang 3—4 Mill. t pro Jahr betragen. Die Verwaltung des Kanals, sowie des Schiffszuges werden bei uns einheitlich geregelt, daneben bestehen die sehr viel geordneteren und nach besseren Grundsätzen verwalteten Staatsbahnen, so daß durch eine zweckmäßig durchgeführte Tarifpolitik sich die Wasserstraßen und Eisenbahnen unterstützen können, aber nicht zu schädigen brauchen.

Wenn wir in Deutschland noch bis vor kurzer Zeit kaum über nennenswerte künstliche Wasserstraßen verfügten, so ist dieser Umstand, vorausgesetzt, daß das jetzt im Bau begriffene Kanalnetz immer noch erweitert wird und gewissermaßen nur den Anfang bildet, zu einer weitverzweigten Verbindung der großen, nach Norden fließenden Ströme, für den Wert des fertigen Kanalnetzes von außerordentlicher Bedeutung. Nach Fertigstellung desselben werden wir über ein Verkehrsmittel verfügen, das in jeder Beziehung den gesteigerten modernen Verkehrsansprüchen gewachsen ist.

Dagegen bieten die französischen Kanäle, die für einen bestimmten Bereich oder eine gewisse Richtung stets ein abgeschlossenes Ganzes bilden, gerade durch ihre weitgehende Ausdehnung ein gewisses Hindernis, durch Umbauten oder Neubauten sich den heutigen Verkehrsbedürfnissen anzupassen. Wegen der beträchtlichen Kosten ist es unmöglich, eine einheitliche, abgeschlossene Kanalstrecke für moderne Verhältnisse umzubauen. Einen Umbau aber auf eine kurze Strecke zu beschränken, ist ziemlich wertlos. Es würden doch nur Kähne von dem erwähnten geringen Tonnengehalt verkehren, da besonders für diese, in größeren Abmessungen gebaute Kanalstrecke bestimmte Kähne nicht auf die anschließenden Kanäle übergehen können, am Anfang und am Ende also umgeladen werden müssen. Außerdem bietet die vollständige Abgabenfreiheit sämtlicher französischer Wasserstraßen und damit das Fehlen jeglicher Einnahmequellen zur Verzinsung und Tilgung eine große Schwierigkeit für die Bereitstellung so erheblicher Geldmittel zu derartigen Umbauten.

Alle diese ungünstigen Verhältnisse beeinträchtigen natürlich auch in hohem Maße eine zweckmäßige Ausgestaltung des Schiffszuges. Am weitesten vorgeschritten und zum Teil recht hoch entwickelt sind in dieser Beziehung die Kanäle des Nordens, besonders der Schiffahrtsweg von dem kohlenreichen Industriegebiet nach Paris. Hier wurden schon 1898 die ersten praktischen Versuche mit der elektrischen Treidelei gemacht, 1900 betrug die Versuchsstrecke schon 55 km, und gerade jetzt ist man im Begriff, die mit elektrischer Treidelei ausgerüstete Strecke auf 83 km auszudehnen. Als Schlepplokomotiven dienen zum großen

Teil noch die alten, unmittelbar auf der Leinpfaddecke laufenden dreirädrigen Denèfle-Selbstfahrer (cheval électrique), die den geringen Ansprüchen an Schnelligkeit ganz gut genügen. Bei Douai sind auf einer 6 km langen Strecke auf einem zweischienigen Gleis laufende Treidellokomotiven eingeführt von 8 t Eigengewicht, deren beide Achsen von je einem 20pferdigen Gleichstrommotor angetrieben werden. Es wird beabsichtigt, sogar 10 t schwere Maschinen zu konstruieren.

Der Betrieb des elektrischen Schiffszuges liegt in den Händen der Elektrizitätsgesellschaft des Nordens. Sie besitzt kein Monopol oder sonstiges Privilegium, sie hat lediglich durch Präfekturerlaß die Genehmigung erhalten, auf ihre Gefahr hin den öffentlichen Schleppdienst auszuüben. In diesem Erlaß (sog. „cahier des charges") sind Maximalsätze, welche die Gesellschaft höchstens erheben darf, festgelegt, und zwar

für die Bergfahrt 0,32 Pf./tkm
für die Talfahrt 0,28 „

Außerdem hat die Gesellschaft die Verpflichtung, ohne Auswahl und Verzögerung alle ihre Dienste in Anspruch nehmenden Kähne zu schleppen, sowie dieselben Preise für Kähne, die unter gleichen Verhältnissen geschleppt werden, in Anwendung zu bringen, und ihre Tarife der behördlichen Genehmigung zu unterbreiten. Die Betriebseinrichtungen, die Kraftleitungen und die Betriebsmittelanzahl sind so zu bemessen, daß das Maximum des Kanalverkehrs, wie es durch die Leistungsfähigkeit der Schleusen gegeben ist (d. i. 5—6 Fahrzeuge von 300 t pro Stunde in beiden Richtungen) jederzeit bewältigt werden kann. Diese Genehmigung ist kürzlich für die mit Gleisen auszurüstenden und für die neu in Betrieb zu nehmenden Kanalstrecken zu einer Konzession auf 50 Jahre erweitert, die aber im übrigen dieselben Bestimmungen enthält.

In Frankreich besteht vorläufig nur ein Gesetz, nach dem das Schleppmonopol auf den neu gebauten Schiffahrtsstraßen genehmigt werden kann. Auf bestehenden Kanälen muß aber die Freiheit des Schleppbetriebes selbst dann erhalten bleiben, wenn dadurch auch bei Überschreitung einer gewissen Verkehrsgröße es tatsächlich unmöglich wird, einen schnellen, geordneten Verkehr aufrecht zu erhalten. Aus diesem Grunde hält der elektrische Schiffszug auf den Kanälen des Nordens gezwungenermaßen an der sehr geringen Geschwindigkeit der Treidelpferde fest, mit denen er im Wettbewerb steht. Daher beträgt die Fahrgeschwindigkeit der elektrischen Treidellokomotiven nur 2,0—2,2 km/Std., so daß bei 24stündigem Tag- und Nachtbetrieb, freilich mit Einschluß aller Zeitverluste an den Schleusen, eine mitt-

lere Tagesleistung von nur 18—20 km erreicht wird. An eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit ist nicht eher zu denken, als bis wenigstens auf denjenigen Kanälen, wo der elektrische Schiffszug eingeführt ist, die Pferdetreidelei abgeschafft ist.

Aber auch dann noch stellen sich einer größeren Fahrgeschwindigkeit erheblichere Schwierigkeiten in den Weg als bei uns. Bei der jetzt üblichen geringen Geschwindigkeit von max. 2,2 km/Std. ist der Stromverbrauch natürlich sehr gering und fällt bei den noch im Dienst befindlichen dreirädrigen Galliot-Denèfle-Maschinen gegenüber den hohen Abnutzungskosten kaum ins Gewicht. Diese letzteren bedingen aber zum allergrößten Teil die Höhe der Zugkosten, da nach der französischen Wasserstraßenverwaltung auch die Leinpfade in der notwendigen großen Breite von 6,0 m in ganz vorzüglichem Zustande vom Staate angelegt und dauernd unterhalten werden, der Treidelei also dadurch keine Ausgaben erwachsen. Die Unterhaltung des Leinpfades betrug bis zum Jahre 1899 beim Schleppbetrieb ausschließlich mit Pferden nur 186 M. pro km. Da aber für die Schlepplokomotiven ohne Gleis die Leinpfade mit besonders hartem Material (Porphyr) in 20 cm Stärke befestigt werden mußten, stiegen die Unterhaltungskosten auf 700 M. pro km, während die Unterhaltung eines eisernen Schienenweges von 1,0 m Spurweite höchstens 350 M. pro km und Jahr erfordert. Wie schon erwähnt, ist das französische Schiffsmaterial wegen des viereckigen Bugs von so ungünstigem Typ, daß die verbrauchte Energie bei Steigerung der Fahrgeschwindigkeit sehr schnell wächst. Es wird dann infolge der größeren Absenkung des Wasserspiegels für die 1,75 m tief gehenden Schiffe in dem 2,2 m tiefen Kanal die zwischen Schiffsboden und Kanalsohle verbleibende Wassermenge sehr bald so gering, daß ein Fortbewegen der Kähne schon bei einer weit geringeren Geschwindigkeit überhaupt unmöglich wird als nach den auf Tafel 1 angegebenen Kurven für unsere deutschen Kanäle. Unter den jetzigen Verhältnissen und für die bestehenden Abmessungen der Schleusen günstigere Schiffsformen mit zugespitztem Bug anzuwenden, wie sie früher üblich waren, würde nur noch unwirtschaftlicher sein. Dadurch würden die Kähne etwa $^1/_4$ der nutzbaren Tragfähigkeit einbüßen, ein Umstand, der gerade zur Konstruktion dieses ungünstigen Typs geführt hat.

Andererseits kommt es dem Schiffer auch mehr darauf an, möglichst viel Ladung einnehmen, als mit größerer Geschwindigkeit fahren zu können. Hierbei spielen nämlich die eigentümlichen Verhältnisse der Einrichtung des französischen Transportwesens auf Kanälen eine wichtige Rolle und bilden die Ursache, daß Neuerungen im

Schiffahrtsbetriebe nur nach langem Zögern eingeführt werden können. Die Schleppkähne sind nämlich fast ausschließlich Privateigentum der einzelnen Schiffer, die nur selten mehr als einen Kahn ihr eigen nennen. Es gibt keine großen Transportgesellschaften wie bei uns, die sich schnell jede technische Neuerung und jeden Fortschritt in den Betriebseinrichtungen zunutze machen. Eine Ausnahme bilden nur einige größere Minen- und Bergwerksgesellschaften, die eine verhältnismäßig geringe Zahl eigener Kähne besitzen.

So kommt es denn, daß die Schiffer gar nicht schneller fahren wollen, und häufig auf solchen Kanälen, wo neben der Pferdetreidelei der elektrische Schiffszug eingeführt ist, dem ersteren den Vorzug geben, weil sie eben von jeher daran gewöhnt sind. Teilweise vermögen die Schiffer den wirtschaftlichen Vorteil auch gar nicht zu erfassen, der ihnen aus der schnelleren Fahrt erwächst. Teilweise sagen sie sich aber auch, daß von dem Augenblick an, wo eine höhere Fahrgeschwindigkeit eingeführt wird, nicht sie den Vorteil daraus ziehen, sondern der Verfrachter, der dann die Frachtkosten entsprechend herabdrücken wird. Daher ist es auf den bestehenden französischen Kanälen fast ausgeschlossen, daß in absehbarer Zeit eine wesentliche Erhöhung der geringen Fahrgeschwindigkeit von 2,0 bis 2,2 km/Std. durchgeführt wird.

Dadurch, daß man gezwungenermaßen die technischen Fortschritte nicht vollkommen durchführen kann, findet eine durchaus unwirtschaftliche Ausnutzung des Anlagekapitals und eine Verschwendung volkswirtschaftlichen Gutes statt, veranlaßt durch die umfangreichen veralteten Kanalanlagen, ferner durch die Gesetzgebung und durch die Eigentümlichkeiten in den Transportverhältnissen auf Kanälen. Auf den neu anzulegenden Wasserstraßen lassen sich in dieser Beziehung Fortschritte erzielen, da nach dem Gesetz für sie das Schleppmonopol genehmigt und damit die jede Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit hindernde Pferdetreidelei ausgeschaltet werden kann. Im übrigen kann nur durch ein Spezialgesetz, welches schließlich darauf hinausläuft, die Polizeigewalt über die bestehenden Kanäle gesetzlich festzulegen, dem Staate das Anrecht gegeben werden, das Schleppmonopol auf denjenigen Wasserstraßen einzuführen, wo der Verkehr eine gewisse Größe überschritten hat. Hier besteht nämlich ein sehr wichtiges öffentliches Interesse, einen einheitlichen und zwangsweise zu benutzenden Schiffszug einzurichten, da es sonst unmöglich ist, diesen gesteigerten Verkehr zu bewältigen, geschweige denn schnelle und geordnete Betriebsverhältnisse einzuhalten.

Aber trotz dieser schwierigen Verhältnisse, die auch die Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes beeinträchtigen, betreibt die Gesellschaft für elektrischen Schiffszug seit 1898, deren Nachfolgerschaft seit 1904 die Elektrizitätsgesellschaft des Nordens mit einem Aktienkapital von 2 000 000 Frcs. angetreten hat, die elektrische Treidelei auf einer ausgedehnten Strecke der großen Schiffahrtsstraße von der Schelde bis zur Nordsee zwischen Courchelettes und Béthune und ihren beiden Abzweigungen nach Don und Beuvey, zusammen 58 km, und zwar mit unmittelbar auf der Leinpfaddecke laufenden Dreiradselbstfahrern Galliot-Denèfle. Außerdem hat sie zwischen Douai und Auby auf eine Länge von 6 km ein Gleis hergestellt, auf welchem Schlepplokomotiven neuester Konstruktion verkehren. Die Betriebsergebnisse, sowie der wirtschaftliche Nutzen dieser letzten Strecke haben sich als so zufriedenstellend erwiesen, daß die Elektrizitätsgesellschaft des Nordens die Genehmigung nachgesucht hat, dieses Betriebssystem auf dem „canal de la Sensée" zwischen dem „Bassin Rond d'Estrun", woselbst die Verbindung mit der Schelde erfolgt, und Courchelettes einzuführen, sowie dieses System nach und nach an Stelle des Betriebes mit auf der Leinpfaddecke laufenden Lokomotiven durchzuführen, so daß dann die gesamte Betriebsstrecke 83 km beträgt. Diese Genehmigung hat die Regierung auf 50 Jahre erteilt, einen Zeitraum, innerhalb dessen eine Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals für das Gleis erfolgen kann. Immerhin ist aber kein Monopol erteilt, sondern es bleibt die Freiheit des Schleppbetriebes bestehen.

Da also trotz aller ungünstigen Verhältnisse der elektrische Schiffszug auf den französischen Kanälen des Nordens sich bewährt, und selbst unter dem störenden Einfluß und im Wettbewerb mit anderen Zugmitteln auch wirtschaftliche Vorteile bietet, so daß er von einer privaten Unternehmung auf immer weitere Strecken ausgedehnt wird, so wäre es nur wünschenswert, wenn auch bei uns, wo die Verhältnisse in jeder Beziehung günstiger liegen, bei dem Ausbau unseres Kanalnetzes der elektrische Schiffszug eingeführt würde.

Bei einheitlicher, staatlicher Regelung werden sich in noch höherem Maße Vorteile für die Verwaltung sowie für die Verfrachter und damit für die gesamte Volkswirtschaft erzielen lassen.

Literaturnachweis.

Sympher, Transportkosten auf Eisenbahnen und Kanälen 1885.

Ders., Zweckmäßigkeit und Höhe der Schiffahrtsabgaben. Intern. Schiff.-Kongr. Paris 1892.

Ders., Die wirtschaftliche Bedeutung des Rhein-Elbe-Kanals 1899.

Ders., Wasserwirtschaftliche Vorarbeiten 1901.

Haack, Schiffswiderstände und Schiffahrtsbetrieb 1900.

Suppan, Wasserstraßen und Binnenschiffahrt 1902.

Ders., Über Widerstand der Schiffe gegen Zug. Intern. Schiff.-Kongr. 1898.

Block, Elektrische Treideleiversuche und Einführung des elektrischen Schleppbetriebes auf dem Teltowkanal 1904.

Gröhe, Chenu, La Rivière et Bourguin, de Bovet, Arten des mechanischen Schiffszuges auf Kanälen. Intern. Schiff.-Kongr. 1898.

Köttgen, Thiele, La Rivière et Bourguin, Fortschritte in der Anwendung von Maschinen zum Betrieb des Schiffahrts-Straßenzuges. Intern. Schiff.-Kongr. 1900.

Gérard, Notes et expériences sur la traction électrique sur les voies navigables. Intern. Schiff.-Kongr. 1900.

Gérard, Abshoff u. Büsser, Volkmann u. Köttgen, Mollard, Mechanischer Schiffszug auf Kanälen. Intern. Schiff.-Kongr. 1902.

Köttgen, Gérard-Clarke, La Rivière, Thiele, Thwaite, Wirtschaftliche Studien über den mechanischen Schiffszug auf Flüssen, Seen und Kanälen. Intern. Schiff.-Kongr. 1905.

Gérard, Notices sur les expériences relatives aux tracteurs à adhérence proportionelle 1905.

Prüsmann, Vergleichung von Schleusen und mechanischen Hebewerken 1905.

Anhang.

Während der Drucklegung der Abhandlung wurden am 3. und 10. Okt. d. J.[1]) auf dem Teltowkanal im Betriebe nochmals Messungen über die Leistung und Wirtschaftlichkeit der zweischienigen Treidellokomotive angestellt, deren Ergebnis hier kurz erwähnt werden soll.

Als Versuchsstrecke diente eine besonders günstige, 8 km lange, gerade Kanalstrecke. Der Schleppzug bestand aus drei sogenannten offenen Oderkähnen von 55 m Länge, 8 m Breite und zusammen etwa 1230 t Nutzlast bei 1,60 m Tiefgang. Das Eigengewicht betrug zusammen etwa 355 t. Der Schleppzug entsprach also hinsichtlich seiner Belastung ungefähr dem in der Abhandlung zugrunde gelegten. Die Länge der Schlepptrosse betrug 95 m.

Die gleichzeitig vorgenommenen Ablesungen der Spannung an den Motorklemmen in Volt, der Stärke des aus der Oberleitung entnommenen Stromes in Ampère, der Zugkraft im Schlepptau in Kilogramm und die Umdrehungszahl der Fahrmotoren hatten bei 24 Messungen im Durchschnitt folgendes Ergebnis:

Mittlere Geschwindigkeit . .	4,5 km/Std.
Zugkraft (Fahrwiderstand) . .	0,70 kg/t
Nutzleistung	0,0116 PS./t
Rohleistung	0,0109 KWSt./t
Energieverbrauch	2,42 WSt./tkm
Wirkungsgrad	76 %.

Die entsprechenden Werte der früheren Versuche (vergl. Taf. 2 und S. 30—33) sind bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4,5 km/Std.:

Zugkraft	0,93 kg/t
Nutzleistung	0,0158 PS./t
Rohleistung	0,0185 KWSt./t
Energieverbrauch	4,1 WSt./tkm
Wirkungsgrad	61,5 %.

1) Vergl. Block, Glasers Annalen vom 15. November 1906.

Die erhebliche Verringerung des Fahrwiderstandes von 0,93 auf 0,70 kg pro t Nutzlast ist wohl mit ziemlicher Sicherheit darauf zurückzuführen, daß die letzte Versuchsstrecke außerordentlich günstig war, während die frühere gerade als besonders schwierig für die Versuche zur Erprobung der Lokomotive ausgewählt war. Zahlreiche Kurven erforderten damals erhebliches Schrägstellen des Ruders, außerdem war die Fahrrinne noch nicht ganz profilmäßig ausgebaggert.

Der jetzt erzielte recht hohe Wirkungsgrad erklärt sich aus der Verbesserung des Laufwerkes und der Anwendung geeigneterer Motoren. Es ist etwa der rechnungsmäßig größtmögliche. Die beiden Motoren haben 85 %, die beiden Vorgelege je 96 % Wirkungsgrad. Aus dem mit 2,5 kg/t angenommenen Eigenwiderstand der Lokomotive als Wagen ergibt sich die zur Beförderung der Lokomotive mit 4,5 km/Std. = 1,25 m/Sek. Geschwindigkeit erforderliche Leistung

$$A = \frac{2{,}5 \times 6{,}5 \times 1{,}25}{75} = 0{,}27 \text{ PS.}$$

d. h. 1,7 % der Gesamtleistung von 16 PS. Der Gesamtwirkungsgrad der Lokomotive kann also den Wert

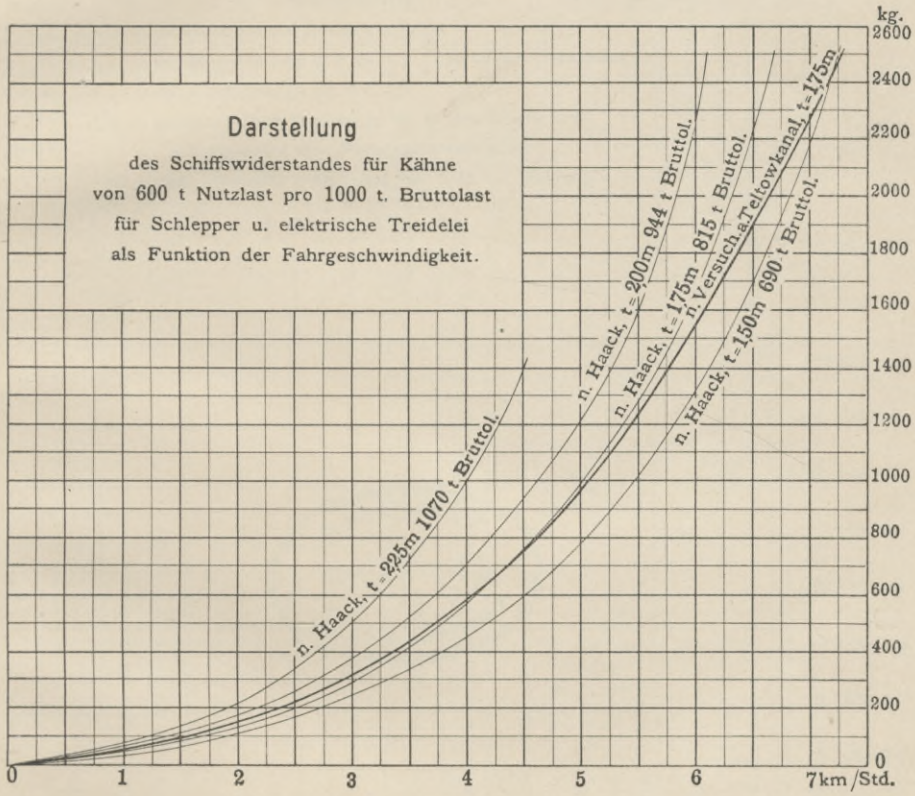
$$\eta = 0{,}85 \times 0{,}96 \times 0{,}96 - 0{,}017 = 0{,}766$$

erreichen.

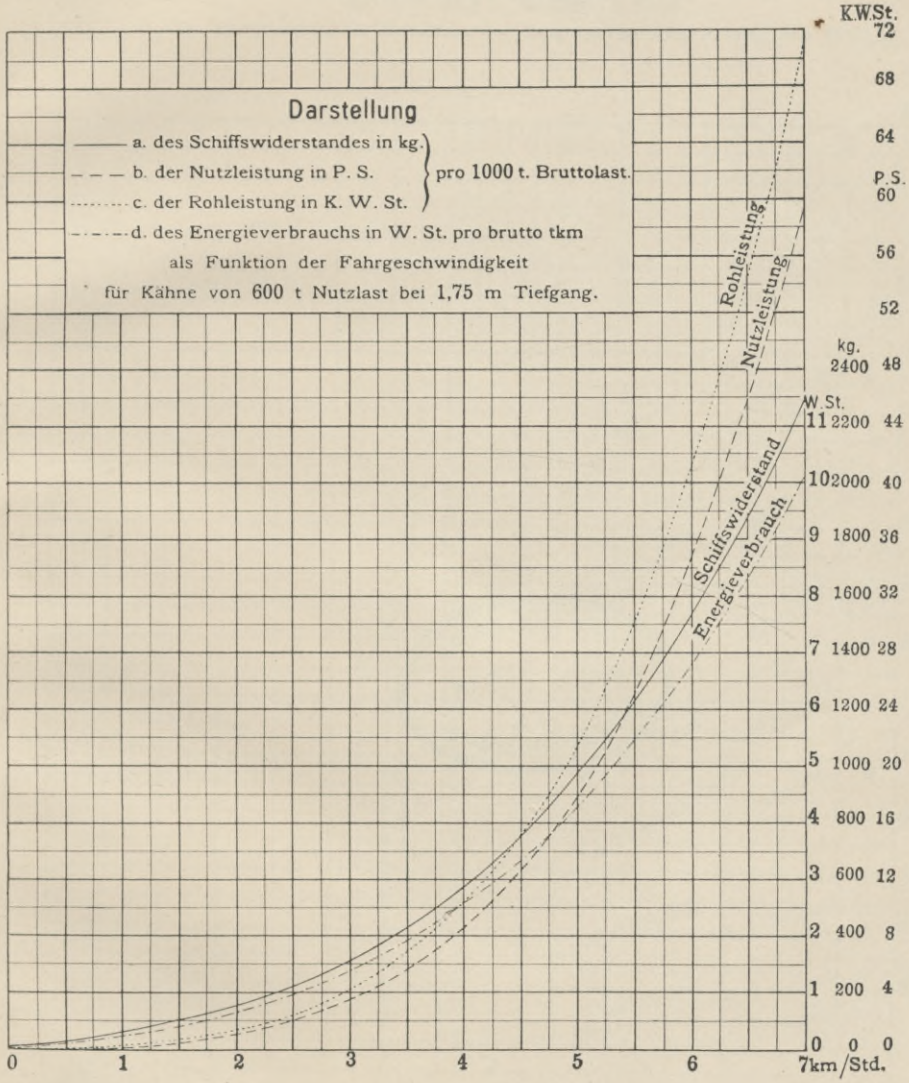
Die Zugkosten der elektrischen Treidelei werden freilich durch den geringeren Energieverbrauch, wie früher erläutert (vergl. S. 47, 91, 93) nicht wesentlich beeinflußt. Diese neuesten, aus 24 sorgfältigen Messungen gewonnenen Ergebnisse zeigen aber durch die Verringerung des Fahrwiderstandes noch mehr die Überlegenheit der Treidelei über den Schlepperbetrieb und beseitigen durch den festgestellten recht hohen Wirkungsgrad von 76 % einen früher erwähnten Vorteil (s. S. 26) der einschienigen über die zweischienige Lokomotive.

Druck von A. Kämpfe, Jena.

Tafel 1.


Darstellung
des Schiffswiderstandes für Kähne
von 600 t Nutzlast pro 1000 t. Bruttolast
für Schlepper u. elektrische Treidelei
als Funktion der Fahrgeschwindigkeit.
kg.
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0
1
2
3
4
5
6
7km/Std.
n. Haack, t=225m 1070 t Bruttol.
n. Haack, t=200m 944 t Bruttol.
n. Haack, t=175m 815 t Bruttol.
n. Versuch a. Teltowkanal, t=175m
n. Haack, t=150m 690 t Bruttol.

Tafel 2.

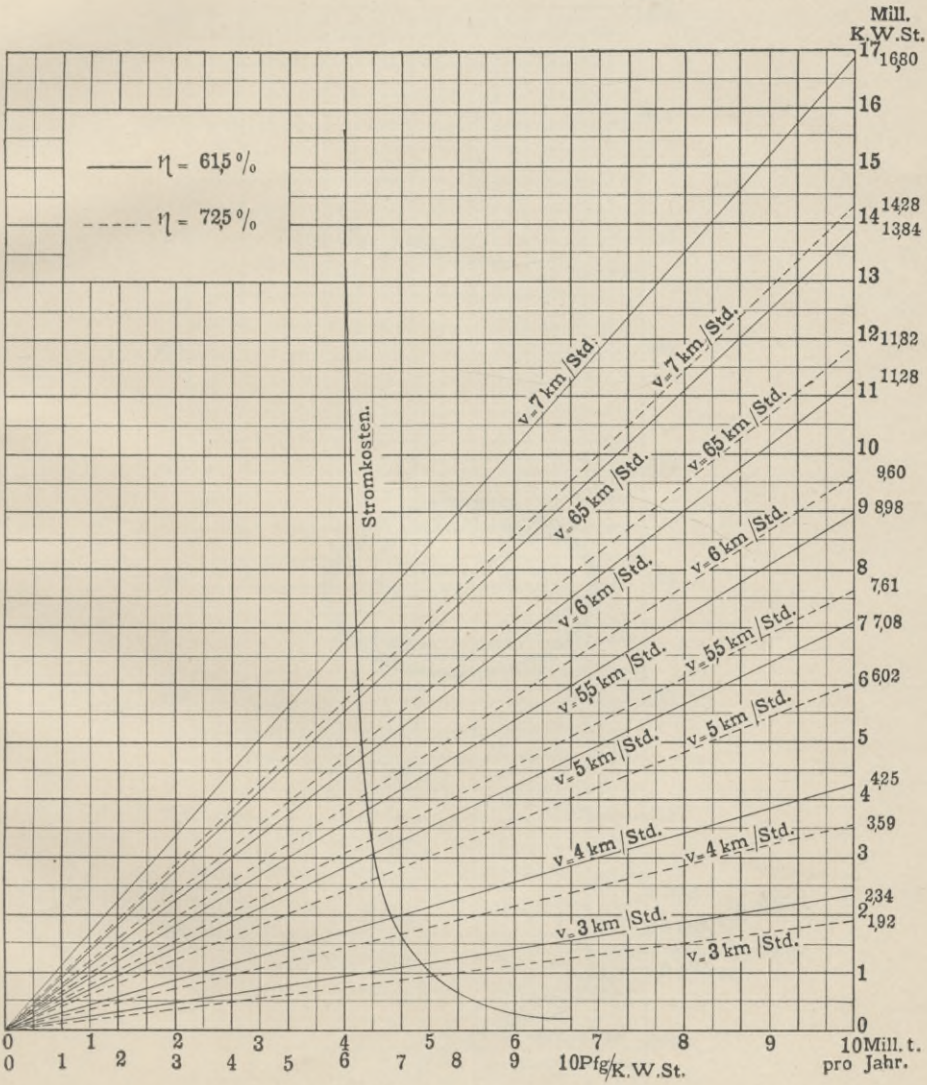

Darstellung
a. des Schiffswiderstandes in kg.
b. der Nutzleistung in P. S.
c. der Rohleistung in K. W. St.
pro 1000 t. Bruttolast.
d. des Energieverbrauchs in W. St. pro brutto tkm
als Funktion der Fahrgeschwindigkeit
für Kähne von 600 t Nutzlast bei 1,75 m Tiefgang.
Rohleistung
Nutzleistung
Schiffswiderstand
Energieverbrauch
K.W.St.
P.S.
kg.
W.St.
0 1 2 3 4 5 6 7km/Std.

Tafel 3.

Darstellung

a. des Stromverbrauchs als Funktion der Verkehrsgröße für $\eta = 61{,}5\ \%$ und $\eta = 72{,}5\ \%$ in Mill. K.W.St.

b. der Stromkosten als Funktion des Stromverbrauchs in Pfg. pro K.W.St.

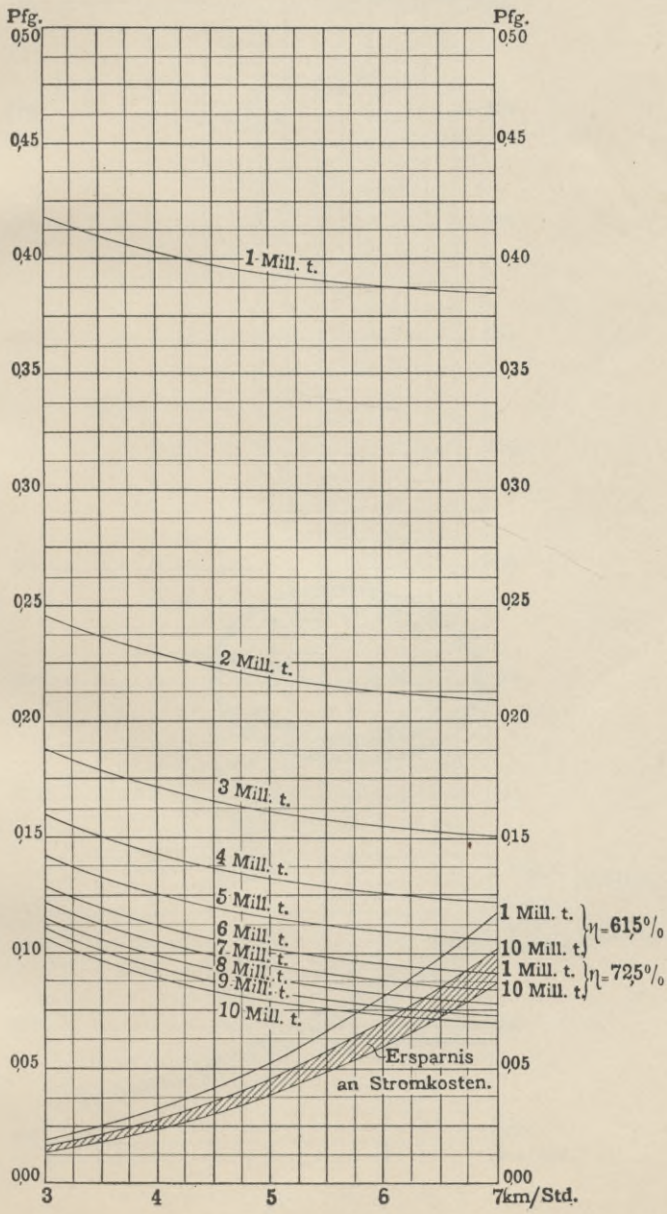


Tafel 4.

Darstellung

a. der Betriebskosten ausschl. Stromverbrauch
b. der Kosten des Stromverbrauchs für $\eta = 61{,}5\ \%$ und $\eta = 72{,}5\ \%$
} in Pfg. pro netto tkm

als Funktion der Fahrgeschwindigkeit.



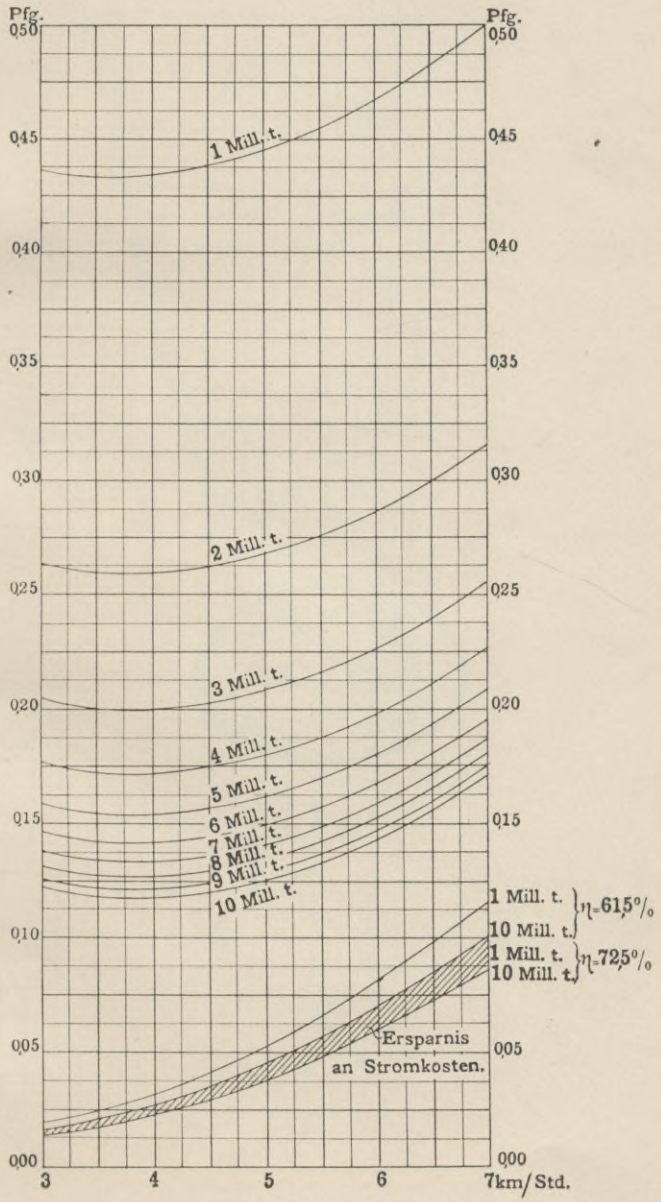
Tafel 5.

Darstellung

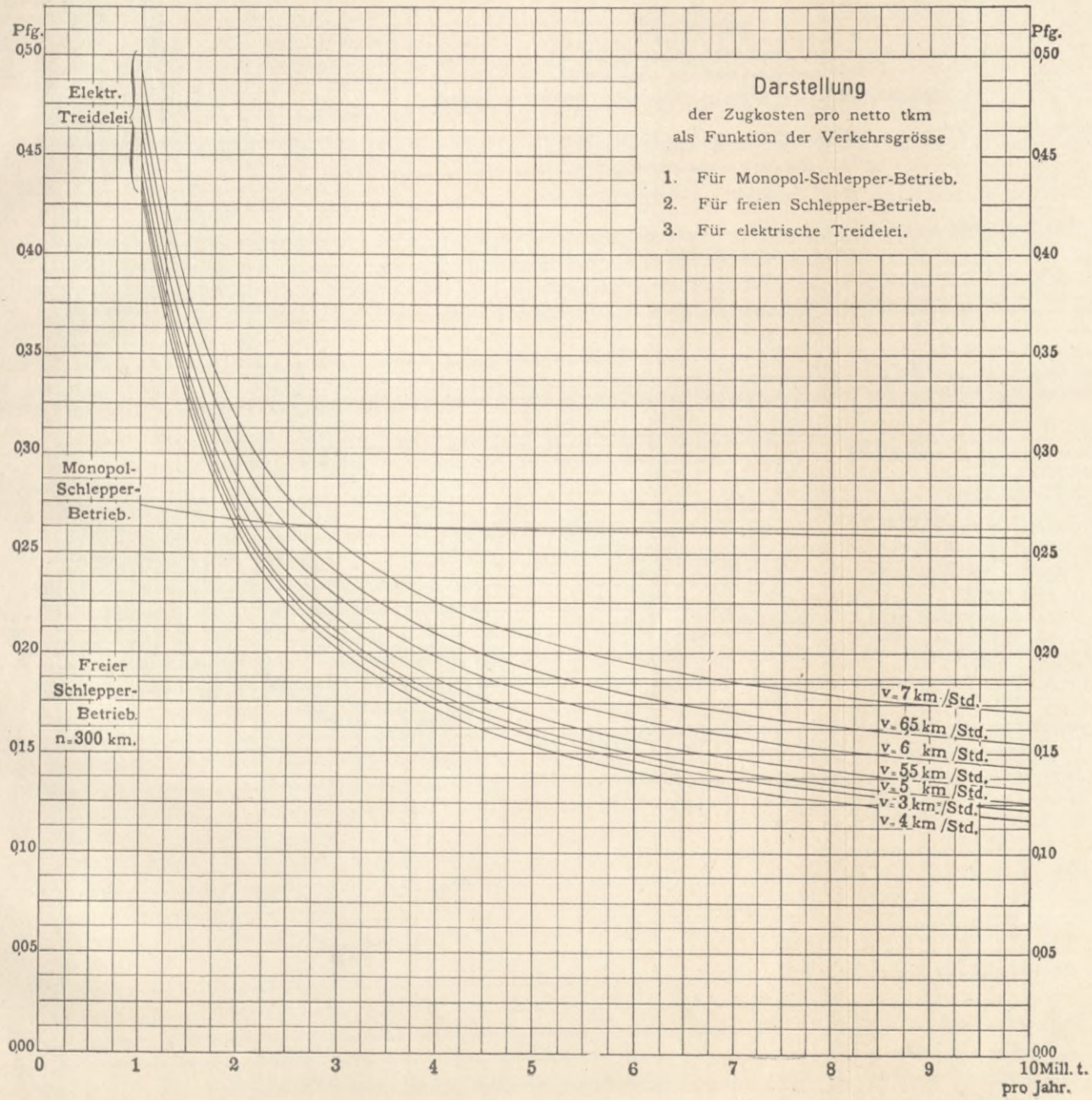
a. der Zugkosten
b. der Kosten des Stromverbrauchs für $\eta = 61{,}5\,\%$ und $\eta = 72{,}5\,\%$

} in Pfg. pro netto tkm

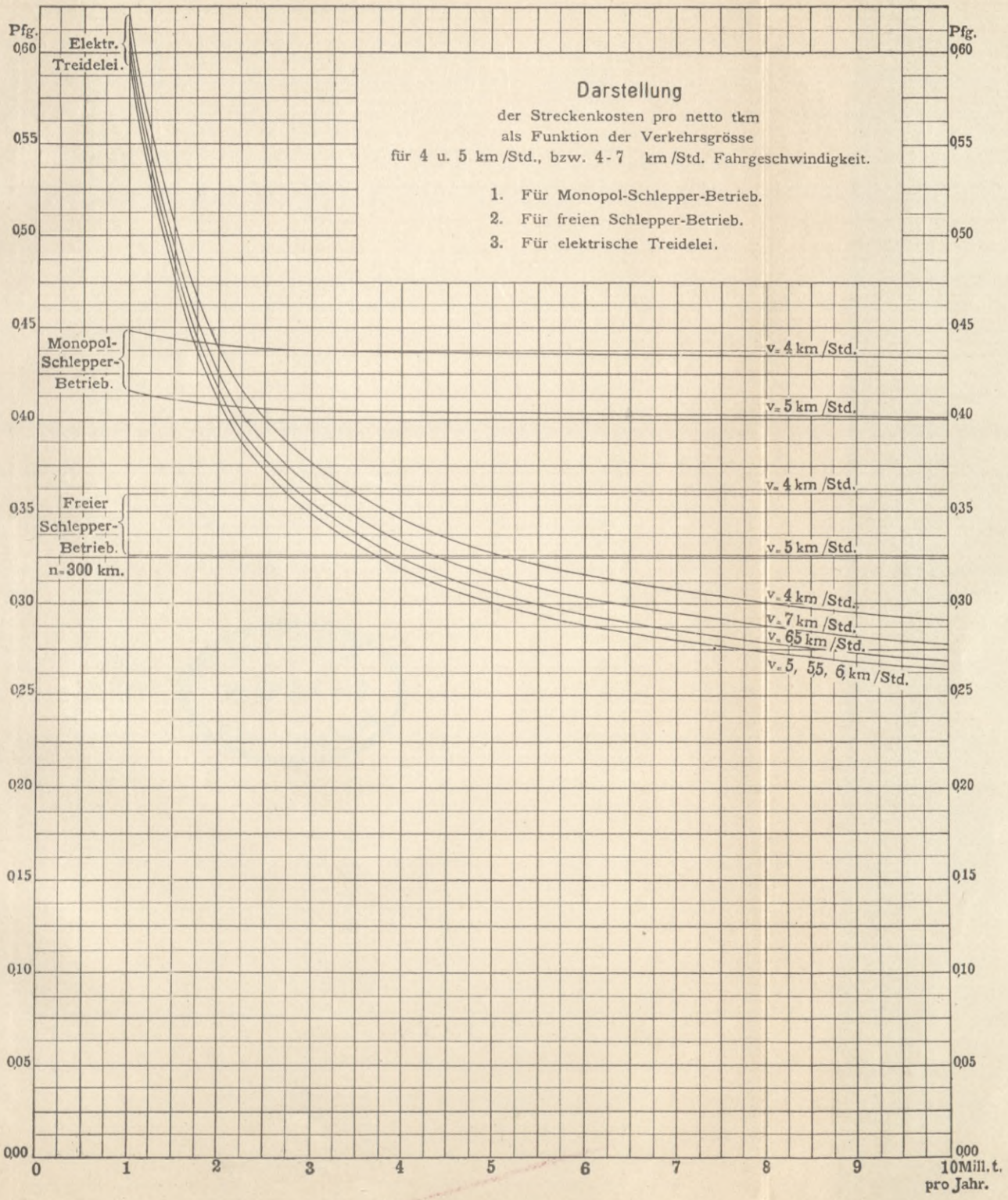
als Funktion der Fahrgeschwindigkeit.



Tafel 6.


Darstellung
der Zugkosten pro netto tkm
als Funktion der Verkehrsgrösse
1. Für Monopol-Schlepper-Betrieb.
2. Für freien Schlepper-Betrieb.
3. Für elektrische Treidelei.
Pfg.
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
Elektr. Treidelei
Monopol-Schlepper-Betrieb.
Freier Schlepper-Betrieb. n=300 km.
v=7 km/Std.
v=6,5 km/Std.
v=6 km/Std.
v=5,5 km/Std.
v=5 km/Std.
v=3 km/Std.
v=4 km/Std.
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10 Mill. t. pro Jahr.

Tafel 7.


Darstellung
der Streckenkosten pro netto tkm
als Funktion der Verkehrsgrösse
für 4 u. 5 km /Std., bzw. 4 - 7 km /Std. Fahrgeschwindigkeit.
1. Für Monopol-Schlepper-Betrieb.
2. Für freien Schlepper-Betrieb.
3. Für elektrische Treidelei.
Pfg.
0,60
0,55
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
Elektr. Treidelei.
Monopol-Schlepper-Betrieb.
Freier Schlepper-Betrieb.
n = 300 km.
v = 4 km /Std.
v = 5 km /Std.
v = 4 km /Std.
v = 5 km /Std.
v = 4 km /Std.
v = 7 km /Std.
v = 6,5 km /Std.
v = 5, 5,5, 6 km /Std.
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10 Mill. t. pro Jahr.