

IX. INTERNATIONALER SCHIFFAHRTS-CONGRESS.  
DÜSSELDORF — 1902.

---

**I. Abtheilung.**

5. Mittheilung.

---

**Zugwiderstand in verschiedenen  
Kanalprofilen**  
und  
Höhe der davon abhängigen Transportkosten.

---

**Mittheilung**

von

**F. Thiele,**

Kgl. Baurath zu Minden i. W.

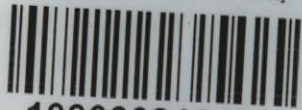
---

**Münster i. W.**

Buchdruckerei von Johannes Bredt.

1902.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316120

30075-107/2018



III-307081

# Zugwiderstand in verschiedenen Kanalprofilen und Höhe der davon abhängigen Transportkosten.

~~III-17685~~

## Mittheilung

von

**F. Thiele,**

kgl. Baurath zu Minden i. W.

Ueber die Beziehungen zwischen der Grösse und Form des Kanalquerschnitts und dem Zugwiderstande der auf dem Kanal fahrenden Schiffe habe ich auf S. 345 des Centralblatts der Bauverwaltung, Jahrgang 1901, unter Zugrundelegung der Schiffzug-Versuche auf dem Dortmund-Emskanal eine Untersuchung angestellt, deren Ergebnisse zuerst kurz wiedergegeben werden mögen.

Der während der Fahrt zu überwindende Gesamtwiderstand kann zerlegt werden in:

1. Reibungswiderstand der Kahnoberfläche;
2. Widerstand, der von der Reibung des rückströmenden Wassers an den Kanalwandungen und dem fahrenden Schiff abhängt;
3. die übrigen Widerstände, welche noch nicht einzeln ermittelt werden können, und welche aus der Wellen- und Wirbelbildung beim Fahren, dem mehr oder minder guten Steuern des Fahrzeugs und sonstigen Ursachen entstehen.

Der Widerstand  $W_1$  lässt sich nach den Froude'schen Versuchen ausdrücken durch die Formel

$$W_1 = \gamma O k v^m$$

worin  $\gamma$  das Einheitsgewicht des Wassers, hier = 1000,  $k$  und  $m$  Erfahrungswerthe — für gut gestrichene eiserne Schiffe von den Abmessungen der benutzten 0,1515 und 1,829 —,  $O$  die benetzte Oberfläche des Fahrzeugs und  $v$  die Geschwindigkeit desselben zum Wasser ist. Die letztere setzt sich aus der Fahrgeschwindigkeit  $v_k$  des Kahns

und der Geschwindigkeit  $v_r$  des neben demselben rückströmenden Wassers zusammen,  $v = v_k + v_r$ . Die letztere ist abhängig von der Form und Grösse des Kanalquerschnitts und kann folgendermassen annähernd berechnet werden. Schon in ganz geringer Entfernung vor dem fahrenden Kahn findet eine Erhebung des Kanalwasserspiegels nicht statt, dagegen entsteht neben dem Kahn eine deutliche Senkung des Wasserspiegels, die mit  $h_s$  bezeichnet werden möge, und ein Rückströmen des Wassers längs des Kahns, welches anzeigt, dass das Wasser, welches durch das Fahrzeug und die neben demselben entstehende Einsenkung verdrängt wird, nach rückwärts fliessen muss. Bezeichnet man nun mit  $F_o$  den normalen Wasserquerschnitt des Kanals, mit  $F_s$  den der Einsenkung und mit  $F_k$  den des Kahns, so verbleibt für das rückströmende Wasser im Querschnitt  $F_o - F_s - F_k$ , und seine Geschwindigkeit ist

$$v_r = v_k \frac{F_s + F_k}{F_o - F_s - F_k}.$$

Hierin ist  $F_s$  noch unbekannt und von der Querschnittsform des Kanals und der Grösse der Einsenkung  $h_s$  bedingt. Diese ist aber die Druckhöhe, welche erforderlich ist, um die relative Geschwindigkeit des Wassers neben dem fahrenden Kahn von  $v_k$  auf  $v_k + v_r$  zu bringen, also  $h_s = \frac{(v_k + v_r)^2 - v_k^2}{2g}$ ; sie kann für jeden Fall durch einige Proberechnungen ermittelt und danach  $v_r$  bestimmt werden.

Der zweite Widerstand lässt sich darstellen durch

$$W_2 = \gamma \cdot l \cdot (F_k + F_s) J,$$

worin  $l = \frac{\text{Wasserverdrängung des Kahns}}{F_k}$  und  $J$  das relative Gefälle

des rückströmenden Wassers neben dem Kahn ist. Das Oberflächengefälle  $J$  des mit der Geschwindigkeit  $v_r$  rückströmenden Wassers entspricht dem Reibungswerthe desselben am benetzten Kanalquerschnitts- und Kahnumfange und kann aus einer der üblichen Formeln zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in Kanälen berechnet werden. Der obige Werth von  $W_2$  ergibt sich dann aus folgender Erwägung. Hat an irgend einer Stelle neben dem Kahn das Wasser die Rückströmungsgeschwindigkeit  $v_r$  und das Gefälle  $J$ , so ist die Reibungsarbeit, die von ihm auf 1 m Länge in der Sekunde verrichtet wird, gleich  $1,0 \cdot \gamma \cdot (F_o - F_k - F_s) v_r J$ . Die Zugkraft in der Trosse muss bei der Geschwindigkeit  $v_k$  eine gleich grosse Arbeit verrichten und ist daher gleich  $1,0 \cdot \gamma \cdot (F_o - F_k - F_s) J \frac{v_r}{v_k}$ , und

da  $\frac{v_r}{v_k} = \frac{F_s + F_k}{F_o - F_k - F_s}$  ist, so ist der Widerstand auf 1 m Länge =  $1,0 \cdot \gamma \cdot (F_k + F_s) J$  oder für die ganze Länge  $W_2 = \gamma \cdot l \cdot (F_k + F_s) J$ .

Der Widerstand  $W_3$  entzieht sich der genauen Berechnung und

muss durch besondere Versuche festgestellt werden, deren Ergebniss aus Gründen, die in der anfangs erwähnten Abhandlung näher angegeben sind, nie ein genaues sein kann. Innerhalb geringer Veränderungen des Kanalprofils und der Schiffsart kann man die durch Versuche gewonnenen Werthe neuen Voraussetzungen anpassen, indem man sie auf die Form  $W_g = F_k \cdot a \cdot v_k^2 (1 - \cos\alpha)$  oder  $F_k a_1 v_k^2 \sin^2\alpha$  bringt, worin  $\alpha$  den halben Keilwinkel bezeichnet, welcher einem Keile gleichen Inhalts mit dem Vor- und Hinterschiff bei gleicher Dicke mit der Tauchtiefe angehört, und  $a$  oder  $a_1$  aus den vorhandenen Versuchen gemittelt worden. Das Verfahren ist roh und nicht sehr zuverlässig, aber in Ermangelung eines besseren genommen, da es das Gesamtergebniss nicht übermässig beeinflusst.

Die auf diese Weise berechneten Zugwiderstände stimmen sehr gut mit den Versuchen auf dem Dortmund-Emskanal überein und lassen erkennen, dass unter bestimmten Verhältnissen eine weitere Steigerung der Zugkraft keine Vermehrung der Fahrgeschwindigkeit mehr hervorbringt. Eben wegen der guten Uebereinstimmung mit den Versuchen erschien es aber auch von Interesse, den Einfluss festzustellen, welche eine Aenderung des Kanalprofils auf den Zugwiderstand und damit auf den Schiffahrtbetrieb ausübt. Um nicht zu sehr aus dem Rahmen der ausgeführten Versuche herauszutreten, sind im Nachfolgenden die Profile untersucht, welche durch Vertiefung des Normalprofils des Dortmund-Emskanals um 0,5 m und 1,0 m entstehen würden, ohne vorläufig auf die Frage einzugehen, ob nicht eine andere Querschnittform einer solchen Aenderung vorzuziehen sein würde. Der Untersuchung zu Grunde gelegt sind die bekannten Versuchsschiffe des Dortmund-Emskanals, deren Hauptgrössen folgende sind:

	Tauchung	Benetzte Oberfläche	Wasserquerschnitt des Hauptspants	Wasser- verdrängung	Ladung
	m	qm	qm	cbm	t
Seeprahm »N. L. 85«	1,75	506	13,60	578	367
	2,00	535	15,60	672	461
	2,25	566	17,60	774	563
Kanal- kahn »Emden«.	1,50	612	12,15	690	555
	1,75	646	14,18	815	676
	2,00	678	16,20	944	805
	2,25	716	18,23	1070	935

Das Normalprofil des Dortmund-Emskanals sowie die Vertiefung um 0,5 und 1,0 m sind auf Bl. 1 dargestellt.

Auf den oberen Theilen der Blätter 1 und 2 sind die Zugwiderstände aufgezeichnet, welche sich nach vorstehenden Berechnungen ergeben haben und zwar getrennt für den Seeprahm und den Kanalkahn für verschiedene Tauchtiefen, aber zusammengefasst für die drei ver-

schiedenen Profile. Es zeigt sich hieraus ohne Weiteres der günstige Einfluss der Profilvergrößerung, besonders für die grösseren Geschwindigkeiten, die zum Theil erst dadurch ermöglicht werden. Um nun eine Untersuchung anzustellen, welches Profil für jeden Fall das günstigste ist, müssen über die Kosten der Profilvergrößerung und die Transportkosten, soweit sie vom Profil und Geschwindigkeit abhängen, einige Annahmen gemacht werden. Die Kosten einer Profilvergrößerung bei der ersten Anlage des Kanals, die sich hauptsächlich als Vertiefung darstellt, mögen 2,0 Mk./cbm betragen, wobei zu bedenken ist, dass die grösseren Bauwerke, wie Schleusen, Brücken und Brückenkanäle, ihre ursprünglichen Abmessungen behalten sollen; nur die Rohrdüker und kleinen Durchlässe sind dem vergrösserten Profil entsprechend tiefer zu legen. Der angesetzte Preis wird also für die gewöhnlichen Durchschnittsverhältnisse reichlich sein. Da nun eine Vertiefung des Profils um 0,5 m bei gleicher Linienführung des Kanals für 1 km Länge 8500 cbm Mehraushub für 17 000 Mk. erfordert, so würden bei einem Jahresverkehr von 1 000 000 t für einen tkm 1,7 Pfg. zu verzinsen sein, was bei 4% Zinsen und einem Jahresverkehr von n Millionen Tonnen  $\frac{0,068}{n}$  Pfg. ausmacht. Bei der Vertiefung der Sohle um 1,0 m, welche für 1 km Kanallänge 1600 cbm Mehraushub für 32 000 Mk. erfordert, entfallen auf 1 tkm  $\frac{0,128}{n}$  Pfg. Für die Fortbewegung der Fahrzeuge durch Schleppdampfer oder eigene Dampfkraft ist im Durchschnitt das Vierfache an indicirter Leistung aufzuwenden von der Arbeit, die durch den Gesamt-Widerstand des Fahrzeugs verbraucht wird. Rechnet man die Kosten der indicirten Pferdestärke in der Stunde zu 3,0 bis 4,0 Pfg., so kostet die wirkliche Schleppeistung für eine Pferdekraftstunde 14 bis 16, oder im Durchschnitt 15 Pfg. innerhalb der üblichen Geschwindigkeiten und Kraftleistungen. Die hiernach berechneten Zugkraftkosten für 1 tkm bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Tauchtiefen sind auf dem unteren Theil der Blätter 1 und 2 in Verbindung mit den Kosten dargestellt, welche nur von der Fahrgeschwindigkeit, also dem Zeitaufwand für die Beförderung abhängen. Es sind dies die Kosten für Unterhaltung, Amortisation und Verzinsung des Fahrzeugs und für die Löhne der Mannschaft. Rechnet man für erstere Kosten 15% des Anschaffungwerthes und ferner im Jahre 300 Schifffahrttage und 15 Stunden tägliche Fahrzeit, so kommt auf die Stunde für einen Kanalkahn im Werthe von 50 000 Mk.  $\frac{50\,000 \cdot 0,15}{300 \cdot 15} =$  1,67 Mk. und für einen Seeprahm im Werthe von 80 000 Mk.  $\frac{80\,000 \cdot 0,15}{300 \cdot 15} =$  2,67 Mk. Nimmt man in beiden Fällen als tägliche Unkosten für einen Steuermann 5,00 Mk., für 2 Matrosen je 3,50 =

7 Mk., also zusammen 12,00 Mk., so ergeben sich 0,80 Mk. für die Stunde, also zusammen für den Seeprahm 3,47 Mk. und den Kanalkahn 2,47 Mk. für die Stunde.

Nach diesen Voraussetzungen, die mangels nicht zu erlangender genauerer zuverlässiger Angaben gemacht worden sind, werden auf den unteren Theilen der Blätter 1 und 2 die von der Profilform des Kanals abhängigen Transportkosten für 1 tkm Ladung dargestellt.

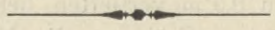
Aus diesen Darstellungen sind nun ohne Weiteres für jedes Fahrzeug und jede Profilform für die verschiedenen Tauchungen die vortheilhaftesten Geschwindigkeiten zu entnehmen und zugleich zu ersehen, ob ein Abweichen davon von mehr oder weniger bedeutendem Einfluss auf die Transportkosten ist. Am wichtigsten ist es aber, dass man die verschiedenen Kanalprofile in wirtschaftlicher Beziehung vergleichen kann. Betrachtet man z. B. auf Bl. 2 die Darstellung für den Kanalkahn bei 1,75 m Tauchung. Der Unterschied der Kosten eines tkm Ladung im Normalprofil und dem um 0,5 m vertieften beträgt 0,130 — 0,124 = 0,006 Pfg. und da nach dem Früheren die Mehrkosten des tieferen Profils

$\frac{0,068}{n}$  für 1 tkm betragen, so beginnt bei einem Jahresverkehr von rund 1130000 t der wirtschaftliche Nutzen, der mit steigendem Verkehr sich immer mehr hebt. Eine weitere Vertiefung bis zu 1,0 m unter Normalsohle bringt nur eine weitere Kostenverminderung von 0,124 — 0,120 = 0,004 Pfg. für 1 tkm, während die Mehrkosten dafür  $\frac{0,128 - 0,068}{n} = \frac{0,060}{n}$  betragen, der wirtschaftliche Nutzen fängt erst

bei einem Jahresverkehr von über 1 Million Tonnen an. Günstiger stellt sich die Sache, wenn in dem um 0,5 m tieferen Profil auch eine grössere Tauchtiefe zugelassen wird. Bei 2,00 m Tiefe betragen die Kosten 0,114 Pfg. im vertieften Profil gegen 0,130 Pfg. im Normalprofil und bei 1,75 m Tauchung. Der Unterschied beträgt 0,016 Pfg. und würde das grössere Profil bei 4250000 t jährlichem Verkehr schon wirtschaftlich rechtfertigen. Ein entsprechender Zuschlag zu den Kanalabgaben, der nicht die ganze Kostenersparniss an Fracht beansprucht, müsste daher von allen Schifffahrtinteressenten als eine Art Wohlthat empfunden werden. Eine noch grössere Tauchtiefe zuzulassen, würde sich nur mit Vorsicht empfehlen, da der daraus entstehende geringe Mehrnutzen vielleicht durch die mancherlei Uebelstände aufgehoben wird, welche mit einer verhältnissmässig grossen Tauchtiefe verbunden sind. Die Verhältnisse liegen für die Seeprahme noch günstiger, doch da voraussichtlich dieselben nur einen geringeren Theil des Verkehrs übernehmen werden, sind sie für die vorstehende Untersuchung unberücksichtigt geblieben. Wie ein Blick auf Bl. 1 zeigt, sinken die Frachtkosten beim Seeprahm im letzterwähnten Falle von 0,288 Pfg. auf 0,233 Pfg., also um 0,055 Pfg. für 1 tkm. Es lässt

sich daraus entnehmen, dass dadurch der Wirkungskreis der Seeprahme bedeutend weiter landeinwärts reichen wird. Zu einer genaueren Untersuchung müssten allerdings noch eine Anzahl Nebenkosten ermittelt werden, welche von bedeutendem Einfluss sind und worin die Schleusen- und Hafeneinrichtungen eine grosse Rolle spielen.

Der Raum verbietet es, hier weiter auf die vielfachen Beziehungen einzugehen, welche sich bei näherer Betrachtung ergeben; für weitere Untersuchungen würde es von grossem Nutzen sein, wenn aus den Kreisen der Schifffahrtinteressenten verschiedener Gegenden genauere Angaben über manche Einzelkosten des Betriebes zu erhalten wären.

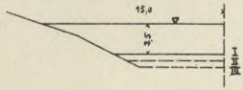




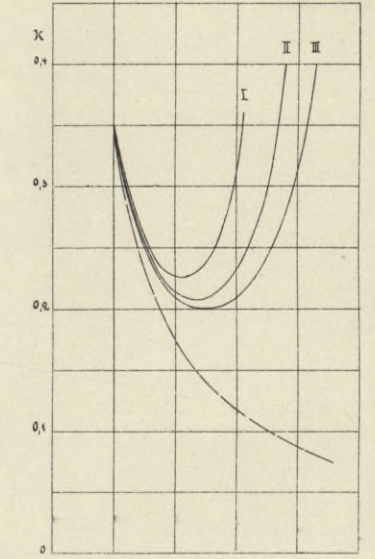
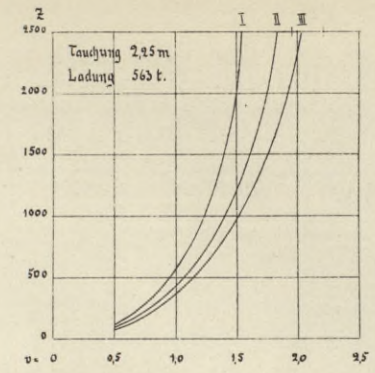
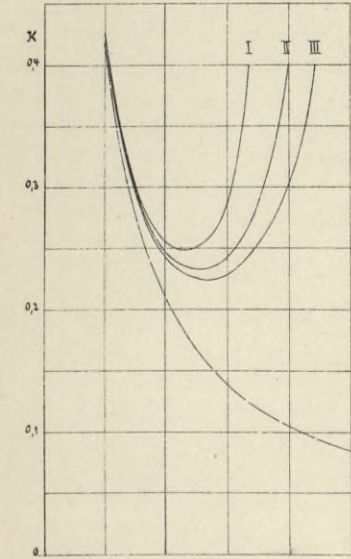
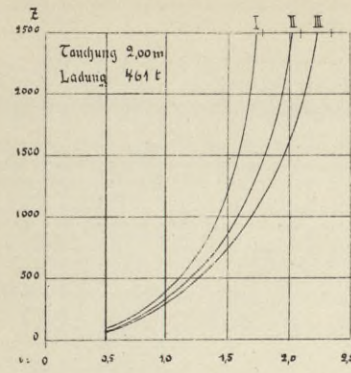
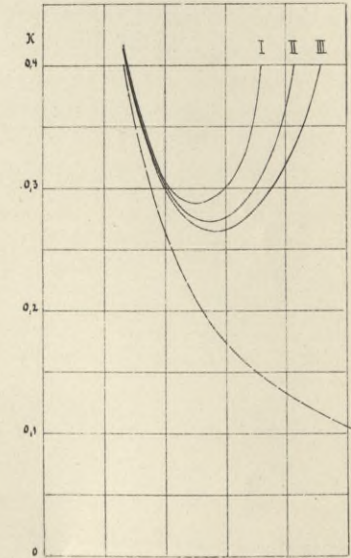
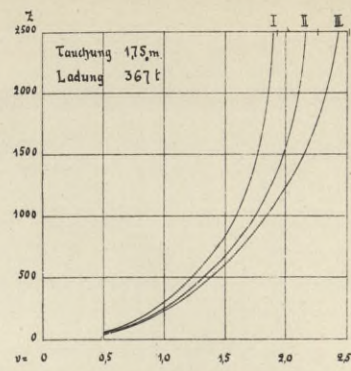
# Darstellung des Zugwiderstandes

in verschiedenen Kanalprofilen und der davon abhängigen Transportkosten.

Querschnitt des Dortmund-Ems-Kanals.



I Sohle des Normalprofils.  
 II - um 0,5 m vertieft.  
 III - " 1,0 m "

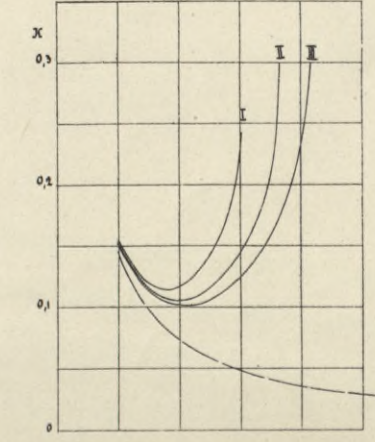
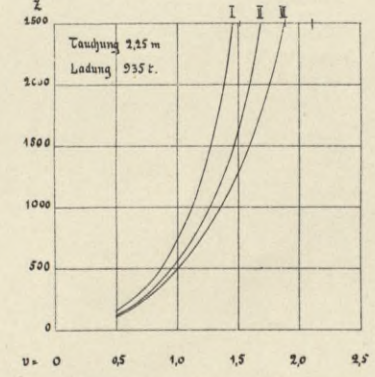
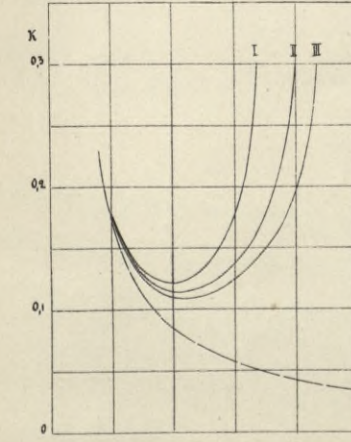
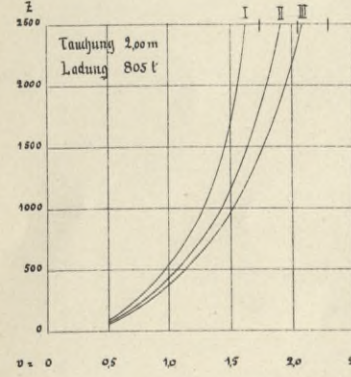
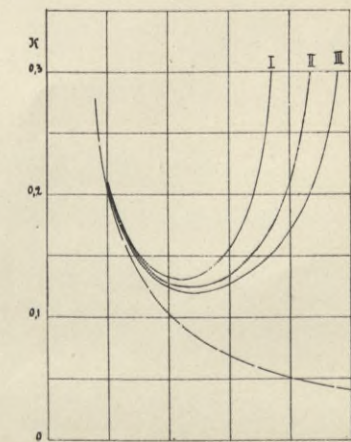
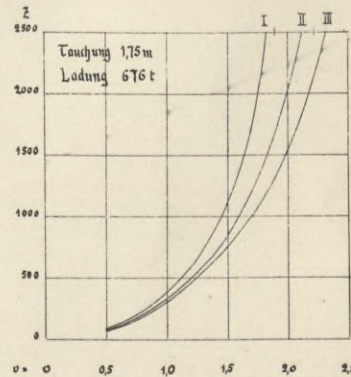
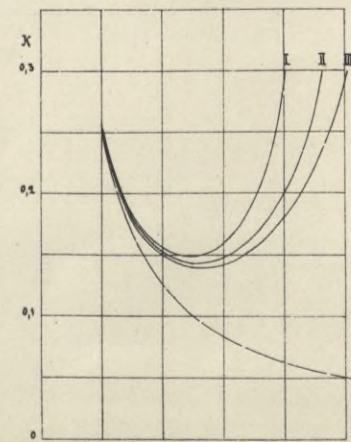
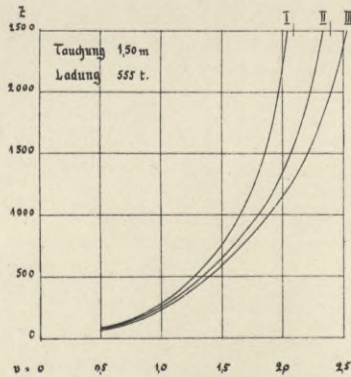


## Seeprahm N.L. 85.

Z • Zugwiderstand in Kg.  
 v • Geschwindigkeit in m/sec.  
 I im Normalprofil des D.E.K.  
 II - " um 0,5 m vertieft.  
 III - " " 1,0 m "

K • Kosten für 1 tkm Ladung in Pf.

— Amortisation und Unterhaltung des Fahrzeuges, Mannschaftslohn.  
 — wie vor, und Schleppkraft.



## Kanalkahn Emden.

Z • Zugwiderstand in Kg.  
 v • Geschwindigkeit in m/sec.  
 I im Normalprofil des D.E.K.  
 II - " um 0,5 m vertieft.  
 III - " " 1,0 m "

K • Kosten für 1 tkm Ladung in Pf.

— Amortisation und Unterhaltung des Fahrzeuges, Mannschaftslohn.  
 — wie vor, und Schleppkraft.



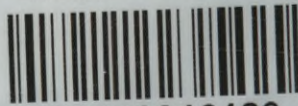


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307091

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316120