

Abteilung I — Binnenschifffahrt

Thema 4

Wahl der Einflußgrößen und Bestimmung der Methoden zum Ermitteln der Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße, vor allem unter Berücksichtigung der Zusammensetzung der Binnenflotte und der wirtschaftlichen Erwägungen. Anwendung auf vorhandene Wasserstraßen.

von

Dipl.-Ing. Werner Behle, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster; Dipl.-Ing. Joachim Michael, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster; Dipl.-Ing. Ulrich Plate, Oberregierungsbaurat, Neubauamt Nord-Ostsee-Kanal, Rendsburg; Dipl.-Ing. Emil Renner, Präsident, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Würzburg; Dipl.-Ing. Burkart Rümelin, Präsident, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Stuttgart; Prof. Dr. F. J. Schroiff, Schiffahrtsverband für das westdeutsche Kanalgebiet, Dortmund; Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wiedemann, Ministerialrat, Bundesverkehrsministerium, Bonn.

Zusammenfassung

Es werden Einflußgrößen und eine Methode zum Ermitteln der Leistungsfähigkeit einer Strecke einer Wasserstraße ohne Schleuse behandelt. Auf den Ablauf des Verkehrs auf einer Wasserstraße haben nicht nur die physikalisch-geometrischen Abmessungen von Schiff und Wasserstraße, sondern auch das Verhalten des Menschen als Schiffsführer Einfluß. Die Schwierigkeit besteht darin, diesen Einfluß meßbar einzugrenzen.

Dies ist möglich durch Unterscheidung von verschiedenen Güteklassen im Verkehrsablauf, die von der Verkehrsdichte abhängen. Sie ist für typische Bewegungsfälle, die für die Güteklassen maßgebend sind, bestimmbar.

Für die wichtigsten Bewegungsfälle für das Regelschiff und einen zweispurigen Kanal werden relative Verkehrsdichten ermittelt. Daraus ist für eine Strecke und einen gewählten Verkehrsablauf die zulässige Verkehrsdichte (Fahrzeuge/Streckeneinheit) zu bestimmen. Über den Zusammenhang Verkehrsmenge (Fahrzeuge/Zeiteinheit) gleich Verkehrsdichte mal Geschwindigkeit, $M = D \cdot v$, folgt die betrieblich-technische Leistungsfähigkeit als Grenzwert der Verkehrsmenge (Fahrzeuge/Zeiteinheit) $L \leq M$ (Fahrzeuge/Zeiteinheit). Die verkehrliche Leistungsfähigkeit in Tragfähigkeits- oder Ladungstonnen/Zeiteinheit läßt sich daraus über mittlere Tragfähigkeit der verkehrenden Schiffe bzw. die mittlere Abladung errechnen.

Auf den Einfluß der Verkehrsschwankungen auf die Ausnutzung der Leistungsfähigkeit wird zum Schluß hingewiesen.

Inhalt

	Seite
1. Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße in verkehrlicher und betrieblich-technischer Hinsicht	109
2. Wahl der Einflußgrößen	110
2.1 Definition der Leistungsfähigkeit	110
2.2 Einfluß des Menschen als Schiffsführer auf die Leistungsfähigkeit	110
2.21 Schwierigkeit der Messung	110
2.22 Verkehrsdichte als Kenngröße für die Einflußmöglichkeit des Menschen	111

2.3 Verkehrsichte und Güte des Verkehrsablaufs	111
2.31 Normalfall	111
2.32 Verkehr mit Einschränkung	112
2.33 Geregelter Verkehr	112
3. Methoden zum Ermitteln der Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße	112
3.1 Feststellungen über die verkehrenden Schiffe und die Fahrwasserverhältnisse	112
3.2 Relative Verkehrsichte	112
3.3 Relative Verkehrsichte typischer Bewegungsfälle	113
3.31 Überholen	113
3.32 Vermeiden von Begegnen in Fahrwasserengen	114
3.33 Abbiegen (Einbiegen)	115
3.34 Anlegen und Ablegen	116
3.35 Kreuzen	116
3.4 Verkehrsichte für eine Strecke und für gewählten Verkehrsablauf	116
3.5 Betrieblich-technische Leistungsfähigkeit einer Strecke	117
3.51 Fahrzeugstrom (Verkehrsmenge) pro Stunde, Einfluß der Geschwindigkeit	117
3.52 Fahrzeugstrom (Verkehrsmenge) pro Jahr, Einfluß von Fahrzeit, Betriebstage, Nachtfahrt	118
3.6 Verkehrliche Leistungsfähigkeit einer Strecke	118
3.61 Verkehrsgütermenge in Tragfähigkeitstonnen, Einfluß Tragfähigkeit der Schiffseinheit	118
3.62 Verkehrsgütermenge in Ladungstonnen, Einfluß der Ausnutzung der Tragfähigkeit	118
4. Leistungsfähigkeit und Verkehrsangebot	118
4.1 Schwankungen im Angebot	118
4.2 Bewertung der Schwankungen für die Abstimmung mit der Leistungsfähigkeit	119
5. Bemerkungen zur Methode	120

1. Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße in verkehrlicher und betrieblich-technischer Hinsicht

Als Maßstab für die Leistungsfähigkeit der Wasserstraßen findet man verschiedene Angaben. Es ist häufig üblich, die Leistungsfähigkeit eines neuen Kanals in jährlichen Ladungstonnen auszudrücken. Diese Übung hat den natürlichen Ursprung, daß Wasserstraßenbauvorhaben oft von den Erwartungen an Ladungsangebot ausgehen. Die Größe der Jahresgütertonne (jato) ist aber ein grober Maßstab. Bedeutend mehr sagt die Leistungsfähigkeit in jährlichen Tragfähigkeitstonnen aus. Sie wird neuerdings im Verkehrswasserbau häufiger angewendet. Sie berücksichtigt auch den zum Transport der anfallenden Gütermengen jetzt nötigen oder in Zukunft zu erwartenden Bedarf an Leerschiffen. Diese belasten die Wasserstraße ebenso wie die ganz oder unvollkommen beladenen Schiffe und bestimmen daher die Leistungsfähigkeit stark mit. Für die Be-

ziehungen der Werte von Ladungstonnen und Tragfähigkeitstonnen stehen — für charakteristische Kanalstrecken getrennt, und zum Teil sehr unterschiedlich — statistische Unterlagen zur Verfügung. Die Werte des Jahres 1967 für die wichtigsten Schleusen des westdeutschen Kanalnetzes sind in Anlage 1 zusammengestellt.

Diese Werte der Leistungsfähigkeit beziehen sich auf die Transportmenge. Sie sind auf den wirtschaftlichen Effekt der Transportbewegungen auf den Wasserstraßen abgestellt. Sie kann man daher die verkehrliche Leistungsfähigkeit nennen. Diese Werte geben keinen Anhalt für eine Vorstellung über den Ablauf der Schiffsbewegungen auf der Wasserstraße selbst, d. h. die betrieblich-technische Leistungsfähigkeit der Strecke.

Der Verkehrswasserbauingenieur hat die Wasserstraßen und ihre Anlagen zu dimensionieren. Ihn muß daher die Belastung mit einer Zahl von Fahrzeugen, die etwa für eine veranschlagte Transportmenge ausreichen, interessieren. Man hat sehr intensiv die spezifisch wasserbauliche Arbeit der Querschnittsgestaltung von Kanälen für bestimmte Schiffgrößen [2] behandelt, man hat die schwierige Frage der Leistungsfähigkeit von Schleusen schon mehrfach erörtert. [3], [4] Für die Dimensionierung und Gestaltung der Strecken in Abhängigkeit vom Verkehr, für die Beurteilung von Maßnahmen, die den Verkehr regeln oder ordnen sollen, fehlen aber noch entsprechende Arbeiten. Man muß sich mit dem Ablauf der Schiffsbewegungen auf der Strecke unmittelbar beschäftigen, um auch hierfür wissenschaftlich fundierten Lösungen näherzukommen. Die folgenden Betrachtungen sind als erste Anregung zu dem Thema der Leistungsfähigkeit von Wasserstraßen auch in betrieblich-technischer Hinsicht gedacht. Sie beschränken sich zunächst auf Kanalstrecken und gewisse vereinfachende Annahmen über ihre Abmessungen und über den verkehrenden Schiffstyp.

2. Wahl der Einflußgrößen

2.1 Definition der Leistungsfähigkeit

Voraussetzung dafür, daß Transporteinheiten sicher und schnell über den Weg fahren können, ist, daß der Fahrzeugstrom M (Fahrzeuge/Zeiteinheit) in einem richtigen Verhältnis zu dem Weg steht.

Zur Definition des Begriffs der Leistungsfähigkeit der Strecke kann man daher der Formulierung von Schlums [1] folgen: „Wird ein Fahrzeugstrom so stark, daß er gerade noch von der Verkehrsanlage bewältigt werden kann, so ist die (mögliche) Leistungsfähigkeit erreicht.“ Die Leistungsfähigkeit L ist also nach dieser Definition mit einem Grenzfall des Fahrzeugstroms identisch und damit auch durch die Dimension: Anzahl Fahrzeuge je Zeiteinheit bestimmbar. Formelmäßig ausgedrückt, heißt das

$$L \leq M \text{ (Fahrzeuge/Zeiteinheit).}$$

2.2 Einfluß des Menschen als Schiffsführer auf die Leistungsfähigkeit

2.2.1 Schwierigkeit der Messung

Die Antwort auf die Frage, wann eine Wasserstraße gerade noch den Fahrzeugstrom bewältigt, das heißt nach der im Mittel zuzulassenden Zahl der Fahrzeuge in der Zeiteinheit, wird aber dadurch erschwert, daß die Fahrt eines Schiffes zwar ein physikalischer Vorgang in Zeit und Raum ist, daß aber die Regelung von Richtung und Geschwindigkeit des Schiffes durch Menschen, die Schiffsführer, erfolgt, und zwar jeweils nach ihrer

individuellen Beurteilung der Lage. Die Fahrt ist also auch zugleich ein physiologisch-psychologischer Vorgang und damit der messenden Bewertung unmittelbar schwerer zugänglich. Alle Überlegungen, die nur die physikalischen — bis zu einem gewissen Grad auch noch die experimentell erfassbaren physiologischen — Bedingungen der Fahrt berücksichtigen, können daher keine ausreichenden Ergebnisse liefern. Sie sind notwendigerweise dadurch zu ergänzen, daß die mehr oder weniger großen Einflüsse des Ermessens und Verhaltens der Schiffsführer in irgendeiner Form berücksichtigt werden. Es ist klar, daß diese Ergebnisse — auf jeden Fall bei den ersten Versuchen — nicht so exakt sein können, wie physikalisch-technische Rechnungen. Aber man muß, wie auf anderen Gebieten heute, auch hier den Versuch unternehmen.

2.22 Verkehrsdichte als Kenngröße für die Einflußmöglichkeit des Menschen

Wenn man das Handeln eines Schiffsführers während der Fahrt auf verschiedenen Strecken überprüft, kann man folgendes feststellen: je dichter der Verkehr wird, um so weniger frei ist der Fahrer in seinen Entscheidungen. Das wirkt sich z. B. darin aus, daß er auf seinen Vorder-, Hinter- oder Nebenfahrer immer mehr Rücksicht nehmen muß, daß schließlich Stockungen eintreten oder das Ziel überhaupt nur noch erreicht werden kann, wenn eine von Dritten gesteuerte Verkehrsregelung die Voraussetzungen dafür bietet. Man kann also drei Situationen, und zwar in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte D (Fahrzeuge/Wegeinheit) gut unterscheiden, je nachdem wie weit die individuelle menschliche Tätigkeit der Schiffsführer frei, beeinflußt oder nur noch auf die Bedienung der Regelorgane des Schiffs nach Anweisung durch Dritte festgelegt ist. Diese Situationen entsprechen drei Arten von Verkehrsablauf: freier Verkehr, Verkehr mit Einschränkungen und geregelter Verkehr. Diese Güteunterschiede des Verkehrsablaufs entziehen sich wegen ihrer Abhängigkeit von der feststellbaren Verkehrsdichte nicht völlig objektiver Beurteilung, wenn auch die Grenzen zunächst noch unscharf sein werden und sie in sich nicht „rein“ sein können.

Sie berücksichtigen aber in großen Umrissen auch die physiologisch-psychologischen Situationen der Fahrt.

2.3 Verkehrsdichte und Güte des Verkehrsablaufs

Es erscheint danach richtig, vor die Antwort auf die Frage, wann eine Wasserstraße den Fahrzeugstrom bewältigt, die Entscheidung zu stellen, welche Güte des Verkehrsablaufs man zulassen will. Dies ist eine Ermessensentscheidung. Von ihr hängt aber die Leistungsfähigkeit der Strecke weitgehend ab.

2.31 Normalfall

Als Normalfall wird man für eine Wasserstraße den freien Verkehr annehmen, d. h. die Situation, bei der sich die Masse der Fahrer auf einer Strecke individuell frei bewegen kann. Nach dem vorher Gesagten ist dies der Fall, wenn die Verkehrsdichte D (Fahrzeuge/Wegeinheit) so gering ist, daß dem Fahrer genug Raum und Zeit angeboten wird, seine Bewegungen mit großer Wahrscheinlichkeit ausführen zu können. Man kann einen Katalog von typischen Bewegungen aufstellen, etwa Fahren, Anlegen, Ablegen, Begegnen oder Überholen. Das Anbieten von Raum und Zeit muß selbst auf die Gefahr hin geschehen, daß ein Überfluß eingeplant wird. Nicht jedes Schiff wird z. B. auf jeder Fahrt jede Bewegung ausführen und daher den zur Verfügung gestellten Manöverraum voll ausnutzen. Dieser in der Informationstechnik als Redundanz bekannte Begriff des

Überflusses könnte auch hier hilfreich und nützlich sein. Die für diesen Normalfall als maßgebend anzusetzende Verkehrsdichte D wäre daher niedrig und mit einer nützlichen Redundanz behaftet.

2.32 Verkehr mit Einschränkung

Für bestimmte Strecken wäre auch denkbar, Verkehr mit Einschränkungen vorzusehen. Es wäre die Situation, daß gewisse Manöver, die viel Verkehrsraum beanspruchen, verboten werden. Der zur Verfügung gestellte Manöverraum kann dann kleiner sein. Es könnte, aber nur unter diesen Bedingungen, eine entsprechend höhere Verkehrsdichte zugelassen werden und damit der zulässige Fahrzeugstrom auf der Wasserstraße bei gleicher Geschwindigkeit und gleichem Sicherheitsabstand steigen. Die Leistungsfähigkeit wäre mit bestimmten Beschränkungen der Bewegungsfreiheit entsprechend größer.

2.33 Geregelter Verkehr

Geregelter Verkehr würde die dann noch vorhandenen Lücken (Redundanzen) in der Belegung des Weges, die zwischen einem Verkehr mit Einschränkungen und einem voll gesteuerten Verkehrsablauf liegen, ausnutzen. Er kann dies praktisch auch nur teilweise. Dieser Zustand höchster Verkehrsdichte erfordert einen sehr großen Aufwand für eine Lenkungsorganisation und hohe Fahrdisziplin der Schiffsführer. Er kann also nur in besonderen Ausnahmefällen zugelassen werden.

3. Methoden zum Ermitteln der Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße

Für die verschiedenen typischen Bewegungen oder Situationen, die ein Schiffsführer normalerweise während der Fahrt auf der Strecke ausführt bzw. antrifft, kann man unter vereinfachten Bedingungen ihren Raumbedarf und damit ihren Einfluß auf die Verkehrsdichte angeben. Tut man dies, so kann man durch Auswahl der zuzulassenden typischen Bewegungsfälle einen zahlenmäßigen Anhalt für die Verkehrsdichte und daraus für die Leistungsfähigkeit der Strecke bekommen.

Als Beispiel sollen folgende Fälle unter bestimmten Annahmen behandelt werden:

3.1 Verkehrende Schiffe und Fahrwasserverhältnisse

Es wird zunächst nur mit einem Schiffstyp als Regelschiff gerechnet. Gewählt ist das selbstfahrende Europa-Schiff mit den Abmessungen $80 \times 9,50 \times 2,50$ m und einer Tragfähigkeit von 1 350 t.

Als Wasserstraße wird ein zweischiffiger Kanal betrachtet, der ein Querschnittsverhältnis $n = 7$ zwischen dem Kanalquerschnitt F und dem Schiffsquerschnitt f , eine Tiefe von 4,00 m, Böschungen 1 : 3 und eine Breite in der Sohle von 29,00 m hat, bei dem also die wasserbaulichen Voraussetzungen für eine moderne Schifffahrt nach neueren Erkenntnissen erfüllt sind. [2]

3.2 Relative Verkehrsdichte

Zweckmäßig ist es, um die unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Bewegungsfälle auf die Verkehrsdichte klarer darstellen zu können, die Ergebnisse auf einen Vergleichsmaßstab zu beziehen. Hierfür wurde eine ungestörte Verkehrsdichte D_0 gewählt.

Wenn keine Manöver möglich wären, wie etwa auf Schienenbahnen, und die Fahrer sich nur hintereinander in den Fahrzeugstrom einordnen und ungestört Kolonne fahren, könnte die größte mögliche Dichte D_0 — die ungestörte Verkehrsdichte — erreicht werden. Sie ist durch Fahrzeuglänge S und Sicherheitsabstand a allein gegeben.

Der Sicherheitsabstand a ist für schnelle Verkehrsmittel, wie Bahn und Auto, von der Geschwindigkeit abhängig. Damit würde auch die Dichte eine Funktion der Geschwindigkeit sein. Bei den auf den Kanälen üblichen oder möglichen Geschwindigkeiten der Schiffe zwischen etwa 6 und 15 km/h kann aber in erster Näherung der Abstand a gleich und konstant angenommen werden. Als Sicherheitsabstand zwischen zwei Schiffen wird hier vorsichtshalber die $1\frac{1}{2}$ fache Schiffslänge auf Grund der Faustregel Bremsweg = 1 Schiffslänge gewählt.

Die kleinste Strecke, die ein Schiff bei manöverfreier ungestörter Fahrt auf dem Kanal belegt, würde die ungestörte Verkehrsdichte D_0 sein. Sie beträgt, bezogen auf 1 km, $D_0 = \frac{1000}{S + a}$. Bei einer Länge des Regelschiffs $S = 80$ m und einem Abstand $a = 120$ m, zusammen 200 m, würde $D_0 = \frac{1000}{200} = 5$ Schiffe pro km sein.

3.3 Relative Verkehrsdichte typischer Bewegungsfälle

Im Normalfall sind aber auf der Wasserstraße Manöver zugelassen. Folgende Bewegungsfälle sind als typische für die Beurteilung des Raumbedarfs, bezogen auf D_0 betrachtet worden: Überholen, Vermeiden von Begegnen in Fahrwasserengen, Abbiegen und Einbiegen, Anlegen und Ablegen, Fahrwasser-Kreuzen.

3.31 Überholen

Auf Wasserstraßen finden in der Regel Überholungen von zwei Schiffen auf Grund der Geschwindigkeitsunterschiede der beiden Schiffe statt.

Die Überholstrecke ist für solche Überholung

$$U = \frac{S_1 + S_2 + a_1 + a_2}{v_1 - v_2} \cdot v_1 + S_1,$$

dann ist:

- S_1 Länge des Überholers in m
- S_2 Länge des Überholten in m
- v_1 Geschwindigkeit des Überholers in km/h
- v_2 Geschwindigkeit des Überholten in km/h
- a_1 Abstand zwischen den beiden Einheiten vor der Überholung in m
- a_2 Abstand zwischen den beiden Einheiten nach der Überholung in m

Nach den Feststellungen der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg und früheren Versuchen ist für das Überholen eine Differenz der Geschwindigkeiten von 30—40 % nötig. Als Beispiel wurden die Geschwindigkeiten $v_1 = 15$ km/h, $v_2 = 10$ km/h bzw. $v_1 = 10$ km/h, $v_2 = 6,6$ km/h, also $\frac{v_1}{v_1 - v_2} = 3$ gewählt.

Da $S_1 = S_2 = 80$ m und $a_1 = a_2 = 120$ m ist, folgt $U = 400 \cdot 3 + 80 = 1280$ m.

Das nächste auf der Überholspur entgegenkommende Schiff muß, wenn es seine Geschwindigkeit nicht ändern soll, bei Beginn des Überholmanövers soweit entfernt sein,

daß es mit dem Überholer erst frühestens bei Beendigung des Manövers zusammentrifft. Bei gleicher Geschwindigkeit v_1 muß der Abstand $\geq 2 U$ sein. Bei Geschwindigkeit v_2 genügt die Strecke $(1 + \frac{v_2}{v_1}) \cdot U$.

Man kann annehmen, daß das Überholen gerade nach einer Begegnung begonnen ist. Dann wäre auf der Fahrbahn der Überholspur der Mindestabstand zweier Schiffe $2 U = 2560$ m bzw. $(1 + \frac{v_2}{v_1}) U = 2133$ m, statt „ungestört“ $S + a = 200$ m. Das hieße aber, wenn man das Verhältnis $\frac{\text{Manöverraumbedarf eines Schiffes}}{\text{ungestörter Raumbedarf (S + a)}}$ mit m bezeichnet, daß statt $m = \frac{2560}{200} = 12,8$ rd. 13 bzw. $m = \frac{2133}{200} = 10,7$ rd. 11 Schiffen im ungestörten Fall nur 1 Schiff bei Überholungen fahren darf. Bezogen auf die ungestörte Verkehrsdichte D_0 folgt daraus für Überholungen eine zuzulassende relative Verkehrsdichte $D = \frac{1}{m} \cdot D_0$ oder mit dem Zahlenbeispiel $D = \frac{1}{13} D_0$ bzw. $D = \frac{1}{11} D_0$.

3.32 Vermeiden von Begegnen in Fahrwasserengen

Durch verschiedene Umstände kann eine der beiden Spuren des Fahrwassers belegt sein, z. B. durch stillliegende Fahrzeuge oder in Kurven dadurch, daß die Drehmanöver einiger Einheiten weit über die Breite einer Fahrspur hinausgehen. Es ist dann das Begegnen in diesen Engstellen zu vermeiden. Dies ist nur bei genügend großen Abständen der Schiffe in beiden Richtungen möglich.

Die Einbahnstrecke E , in der Begegnen zu vermeiden ist, setzt sich, ohne die hydraulischen Einflüsse zu berücksichtigen, aus folgenden Stücken zusammen:

- dem Trichter, der Strecke, in der das Schiff von seiner Fahrspur seitlich in die Achse der Engstelle wechselt;
- der Enge selber;
- dem Trichter, der Strecke, in der das Schiff wieder auf die Seite seiner normalen Fahrspur auf der Strecke zurückfährt;
- den Längen, der sich vor und hinter der Engstelle begegnenden Schiffe.

Der Abstand zum nächsten begegnenden Schiff muß bei gleicher Geschwindigkeit bei der Schiffe $2 E$ sein. Daraus folgt ein m -Wert von $m = \frac{2 E}{S + a}$ oder eine relative Verkehrsdichte $D = \frac{1}{m} D_0$.

Als Mittelwert kann für den Trichter bei der Breite der hier betrachteten Wasserstraße 80 m ($= 1 S$) angenommen werden. Mit den anderen Zahlenwerten würden die Verhältnisse für zwei Engen wie folgt aussehen:

Bei einer Enge von zwei Schiffslängen $= 160$ m beträgt die Einbahnstrecke $E = 480$ m. Das nächste Schiff müßte bei gleicher Geschwindigkeit der beiden begegnenden Schiffe $2 E = 960$ m vom Beginn der Einfahrt in die Engstelle entfernt bleiben. Bezogen auf die ungestörte Verkehrsdichte D_0 , ergibt sich ein m -Wert von $\frac{960}{200} = 4,8$ rd. 5 und eine Dichte $D = \frac{1}{5} D_0$.

Bei einer Enge von 400 m würde die entsprechende Betrachtung zeigen: $E = 720$ m, $2 E = 1440$ m, $m = \frac{1440}{200} = 7,2$ rd. 7,5 $D = \frac{1}{7,5} D_0$.

Bei ungleichen Geschwindigkeiten in den beiden Richtungen verändern sich die m -Werte entsprechend dem Verhältnis der Geschwindigkeit. $m = \frac{2E}{S+a} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{v_2} + 1 \right)$ bzw. $\left(\frac{v_2}{v_1} + 1 \right)$.

Für 15 und 10 km pro Stunde bzw. 10 und 6,6 km pro Stunde ergeben sich folgende Zahlenwerte:

Engstelle 160 m: $m = 4$ für die langsame Strecke,
 $m = 6$ für die schnelle Strecke.

Engstelle 400 m: $m = 6$ bzw. $m = 9$.

3.33 Abbiegen (Einbiegen)

Auch bei diesen Manövern macht das Schiff Bewegungen, die beide Fahrspuren betreffen.

Beim Abbiegen nach rechts, etwa in Hafeneinfahrten oder andere Fahrwasser, wird das Schiff zuerst nach links gehen, Fahrt vermindern und das Drehmanöver nach rechts einleiten.

Diese Manöver würden, bis das Schiff den Fahrwasserabschnitt freigemacht hat, eine gewisse Zeit dauern. Das nächste nachfolgende Schiff müßte, wenn es nicht warten sollte, entsprechend seiner Geschwindigkeit einen solchen Abstand A halten, daß es frühestens den Abzweigpunkt erreicht, wenn das andere Schiff mit dem Heck das Fahrwasser freigemacht hat. Aus Sicherheitsgründen soll dieser Abstand um eine Schiffslänge vergrößert werden. A wäre dann $A = Z \cdot v + S$, wenn Z die Dauer des Abbiegemanövers ist. Daraus folgt, $m = \frac{A}{S+a}$, $D = \frac{1}{m} D_0$.

Mit den Zahlenwerten ergibt sich für $v = 10$ km/h des nachfolgendes Schiffes $m = \frac{560}{200} = 2,8$ rd 3 und für $v = 15$ km/h $m = \frac{880}{200} = 4,4$ rd. 4,5.

Für entgegenkommende Schiffe ist der durch das Abbiegemanöver bedingte Abstand wie folgt festgelegt: Das Abbiegemanöver wird unmittelbar nach einer Begegnung begonnen. Der Abstand zum nächsten Schiff, das begegnen darf, setzt sich aus der Strecke A_1 vom Beginn des Abbiegemanövers bis zum Abbiegepunkt, aus der während dieser Manöverzeit vom entgegenkommenden Schiff entsprechend seiner Geschwindigkeit durchfahrenen Strecke A_2 und den Schiffslängen des manövrierenden Schiffes S_m und des Schiffes der letzten Begegnung S_B zusammen. m würde danach sein

$$\frac{A_1 + A_2 + S_m + S_B}{S+a}, D = \frac{1}{m} D_0.$$

A_1 ist hier mit sechs Schiffslängen angenommen. Dann folgt mit den übrigen Zahlenwerten

$$m = \frac{960 + 480 + 160}{200} = \frac{1600}{200} = 8 \text{ für } v = 10 \text{ km/h}$$

$$m = \frac{1280 + 480 + 160}{200} = \frac{1920}{200} = 9,6 \text{ für } v = 15 \text{ km/h}$$

des entgegenkommenden Schiffes.

Abbiegen nach links ist insofern günstiger, als die Gegenfahrbahn nicht so lange belegt wird. Das Schiff wird aus seiner Fahrspur etwa eine Schiffslänge vor der Abzweigung nach links abbiegen und dabei die Gegenbahn sperren.

Das nächste folgende Schiff muß bei unveränderter Geschwindigkeit v einen Abstand A von dem abzweigenden Schiff halten, der durch die Zeit des Drehmanövers Z bedingt ist, $A = Z \cdot v$.

Für das nächste entgegenkommende Schiff wird aus Sicherheitsgründen ein Zuschlag von zwei Schiffslängen vorgesehen. Hierzu kommen die Schiffslängen des abzweigenden und des letzten begegnenden Schiffes, so daß $A = Z \cdot v + 2S + 2S$ ist. Mit den gewählten Zahlen folgt $m = \frac{1040}{200} = 5,2$ für $v = 10$ km/h und $m = \frac{1440}{200} = 7,2$ für $v = 15$ km/h.

3.34 Anlegen und Ablegen

Anlegen und Ablegen im Fahrwasser stört weniger, weil im allgemeinen die Gegenfahrbahn nicht beansprucht wird. Die Verzögerung bzw. Beschleunigung verlangt lediglich einen größeren Abstand zum folgenden Schiff. Werte von 3 Min. für die Beschleunigung beim Einfädeln oder die Verzögerung beim Anlegen würden für die Geschwindigkeiten 10 bzw. 15 km/h ein $m = 3$ bzw. 5 ergeben und damit $D = \frac{1}{3} D_0$ bzw. $D = \frac{1}{5} D_0$.

3.35 Kreuzen

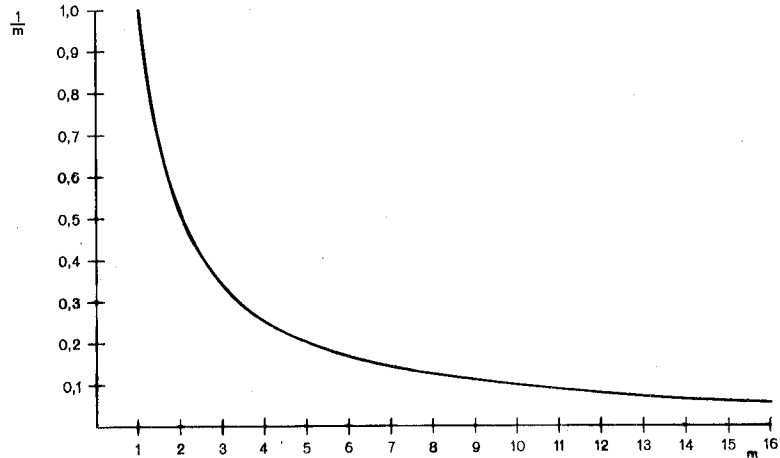
Bei Kreuzen des Fahrwassers kann man annehmen, daß der Schiffsführer eine Kreuzung wagt, wenn eine Lücke von 400 m nach beiden Seiten besteht, d. h. daß von rechts und von links frühestens in 400 m ein Schiff kommt. Das würde für beide Richtungen $m = \frac{400}{200} = 2$ bedeuten und damit $D = \frac{1}{2} D_0$.

3.4 Verkehrsdichte für eine Strecke und für gewählten Verkehrsablauf

Stellt man die für die verschiedenen hier gewählten Bewegungsfälle gefundenen maßgebenden m -Werte zusammen, bekommt man folgende Übersicht:

Bewegungsfall	m
Überholen	13
Abbiegen, Einbiegen	8
Anlegen, Ablegen	3
Kreuzen	2
Enge 160 m	5
Enge 400 m	7,5

Die Bedeutung der m -Zahl für die Verkehrsdichte D , bezogen auf die ungestörte Dichte D_0 , wird deutlicher, wenn man über m die $\frac{1}{m}$ -Werte aufträgt (s. Abb. S. 117). Die Kurve zeigt, daß bei m etwa ≤ 5 kleine Änderungen von m große Unterschiede von $\frac{1}{m}$ und damit D zur Folge haben. Bei Werten von $m > 5$ wirken die Änderungen nur noch schwach auf D . Hier beeinflussen auch Unsicherheiten oder Vereinfachungen in den Annahmen der Bewegungssituation des Ergebnis nur wenig.



Für den Normalfall ist definitionsgemäß jede Bewegungsmöglichkeit erlaubt. Die Dichte muß also so gewählt werden, daß der raumbedürftigste Bewegungsfall durchführbar ist. Die im m -Wert darunter liegenden Manöver sind dann ganz sicher auch an anderer Stelle durchführbar. Da Art und Zahl dieser Bewegungsvorgänge in der Strecke bei jeder Fahrt, solange nicht besondere Umstände vorliegen oder die Fahrten nach Fahrplan vor sich gehen, zufällig sind, wird angenommen, daß sich die Lücken so über die Strecke verteilen, daß alle Bewegungen mit genügender Freiheit von den Schiffsführern ausgeführt werden können.

Da nach der Zusammenstellung das Überholen mit $m = 13$ der raumbedürftigste Fall ist, würde sich mit den hier gewählten Verhältnissen für den Normalfall eine Dichte von $D = \frac{1}{13} D_0$ oder $D = \frac{1}{13} \cdot 5 = 0,4$ Schiffe/km Strecke ergeben.

Für den Fall des Verkehrs mit Einschränkungen wird an Hand solcher noch zu vertiefender Untersuchungen klar, welche Manöver wegen ihres besonderen Raumbedarfs zuerst zu verbieten sind. Das Überholen zählt sicher dazu; Stillliegen in größeren Längen ebenfalls. Wenn man Überholen und Liegen in längeren Reihen verbietet, und Abbiegen in Häfen und dergleichen nicht oder nur bei einer entsprechenden Verbreiterung der Manöverstrecke auf drei Spuren möglich sind, könnte man z. B. $m = 6$ wählen und damit D auf $\frac{1}{6} \cdot 5 = 0,833$ erhöhen, also gegenüber dem Normalfall verdoppeln.

Für geregelten Verkehr wären Sonderuntersuchungen anzustellen.

3.5 Betrieblich-technische Leistungsfähigkeit einer Strecke

3.51 Fahrzeugstrom (Verkehrsmenge) pro Stunde, Einfluß der Geschwindigkeit

Ist so ein Maßstab für die Auswahl der Verkehrsdichte D gefunden, ist es auch möglich, den Fahrzeugstrom oder die Verkehrsmenge (Fahrzeuge/Zeiteinheit) zu bestimmen und damit die betrieblich-technische Leistungsfähigkeit $L \leq M$. Hierfür ist mit genügender Genauigkeit der Zusammenhang $M = D \cdot v$ gegeben, v ist eine mittlere Geschwindigkeit. [5]

Die einzusetzende Geschwindigkeit kann gemessen oder aus der Statistik über die Schiffe und ihre Antriebskraft festgelegt oder nach den für den Querschnitt der Wasserstraße zulässigen Werten (nautisch-zulässige Geschwindigkeit) [2] gewählt werden. Für das hier behandelte Regelschiff und den Kanalquerschnitt mit $n = 7$ kann $v = 10$ km/h als mittlerer Wert angenommen werden. Für den Normalfall errechnen sich damit die zulässige Verkehrsmenge $M = 0,4 \cdot 10 = 4$ Schiffe/h und die Leistungsfähigkeit für die Stunde $L \leq 4$ Schiffe/h.

3.52 Fahrzeugstrom (Verkehrsmenge) pro Jahr, Einfluß von Fahrzeit, Betriebstagen, Nachtfahrt

Die Leistung für ein Jahr kann mit Hilfe von statistischen oder Erfahrungswerten über die durchschnittliche tägliche Fahrzeit der Schiffe und die Betriebstage/Jahr bestimmt werden.

Setzt man 12 Fahrstunden am Tag und 300 Betriebstage im Jahr an, würde die Verkehrsmenge pro Jahr $M_{\text{Jahr}} = 4 \cdot 12 \cdot 300 = 14\,400$ Schiffe pro Jahr betragen.

Die betrieblich-technische Leistungsfähigkeit der Wasserstraßen für eine Fahrtrichtung für ein Jahr würde $L \leq M = 14\,400$ Schiffe sein.

Ist die Wasserstraße und die Schifffahrt für Nachtfahrt ausgerüstet, kann die Zahl der Fahrstunden erhöht werden. Über die Höhe der anzusetzenden Stunden müßten statistische Erhebungen angestellt werden. Die Fahrstunden/Tag werden sicher 24 Stunden/Tag mit Rücksicht auf Unterhaltung und Pflege der Schiffe nicht erreichen.

3.6 Verkehrliche Leistungsfähigkeit einer Strecke

3.61 Angaben in Tragfähigkeitstonnen, Einfluß der Zusammensetzung der Flotte

Wenn man jetzt Werte für die Tragfähigkeit der Schiffe einführt, kann mit Hilfe M_{Jahr} auch die verkehrliche Leistungsfähigkeit und die Verkehrsmenge V in Tragfähigkeitstonnen pro Jahr für die untersuchte Strecke festgestellt werden. Bei der hier gewählten Beschränkung auf das Regelschiff mit $T = 1350$ t ergibt sich $L_v = V = M_{\text{Jahr}} \cdot T = 14\,000 \cdot 1350 = \text{rd. } 19,5$ Mio t/Jahr in einer Richtung.

3.62 Angaben in Ladungstonnen, Einfluß der Abladung der Schiffe

Wenn erforderlich, kann hieraus mit Hilfe von Erfahrungswerten über das Verhältnis von Tragfähigkeit zur Ladung auch die Ladungsmenge pro Jahr ermittelt werden (jato)

Bei etwa 55 % Abladung würden sich $19,5 \cdot 0,55 = 10,7$ Mio jato errechnen.

4. Leistungsfähigkeit und Verkehrsangebot

Dieser Leistungsfähigkeit steht das Angebot an Verkehrsmenge bei bestehenden Wegen oder die Transportmenge, für die ein Weg gebaut werden soll, gegenüber. Der Weg ist dann ausreichend, wenn über ihn diese Transportmenge im Laufe der Zeit befördert werden kann. Nun wird aber, wie die Erfahrung zeigt, die Transportmenge nicht gleichmäßig über die Zeit verteilt angeboten. Der Verkehr ist im Gegenteil starken Schwankungen ausgesetzt.

4.1 Schwankungen im Angebot

Über diese Unregelmäßigkeiten im Verkehrsangebot lassen sich im allgemeinen keine festen Beziehungen aufstellen. Näherer Aufschluß ist heute in der Regel nur empirisch

über statistische Erhebungen und sinnvoll aufgestellte Mittelwertbildungen an vorhandenen Verkehrswegen möglich.

Die Art und Größe der Ungleichheiten kann je nach Wasserstraßen ganz unterschiedlicher Natur sein, da sich ihre Ursachen aus den verschiedensten örtlichen und wirtschaftlichen Komponenten zusammensetzen. Um einen Eindruck von den Größenordnungen der Schwankungen zu geben, seien einige Ergebnisse vom Nord-Ostsee-Kanal genannt, für den intensivere Verkehrsuntersuchungen vorliegen.

Zu den zeitgebundenen Unregelmäßigkeiten gehören die Schwankungen aus Jahreszeit, Wochenverkehr und Tagesverkehr. Für die verkehrsstarken Monate Juli und August wurde der 1,3fache und für die verkehrsschwachen Monate Januar bis März der 0,6fache Wert des Jahresdurchschnitts festgestellt. Die Schwankungen im Wochenverkehr liegen zwischen 1,5 und 0,7 des Wochenmittels. Erhebliche Unregelmäßigkeiten können im täglichen Verkehrsablauf liegen, wobei in den Hauptverkehrsstunden ein stündliches Aufkommen vom 1,5- bis 2,0fachen des Tagesdurchschnitts festgestellt wurde.

Für die Ungleichmäßigkeit des Richtungsverkehrs, die nur zum Teil von periodischen Einflüssen abhängt, wurde im Mittel ein Seitenverhältnis im täglichen Verkehr von 1 : 1,2 gefunden. Es können jedoch Abweichungen bis 1 : 1,5 und mehr eintreten.

Durch besondere Umstände entstehen extreme Verkehrsspitzen, die weit über dem Durchschnitt liegen, am Nord-Ostsee-Kanal z. B. bis zum 2,2fachen des Jahresdurchschnitts. Sie treten unregelmäßig und selten auf und haben häufig ihre Ursachen im zufälligen Zusammentreffen ungünstiger Umstände. Bei Verkehrsanalysen am Nord-Ostsee-Kanal zeigte sich jedoch, daß Verkehrsspitzen, die an 10 Tagen im Jahre erreicht oder überschritten wurden, ein ziemlich gleichbleibendes Verhältnis von 1,5 zum Durchschnittswert aufwiesen.

Dieser „reduzierte Spitzenverkehr“ erwies sich als ein ziemlich stetiger Verkehrswert, dem Leistungsuntersuchungen und Verkehrsprognosen dort zugrunde gelegt werden konnten.

4.2 Bewertung der Schwankungen für die Abstimmung mit der Leistungsfähigkeit

Bei der Beurteilung, ob die gefundene Leistungsfähigkeit die angebotene Transportmenge bewältigen kann, spielt die Verteilung des Angebots über die Zeit eine entscheidende Rolle. Wenn Wartezeiten oder Überbeanspruchungen des Weges in keinem Fall zugelassen werden dürfen, würde die Leistungsfähigkeit nur in den Spitzen der Schwankungen voll ausgenutzt werden. Die Erfahrung zeigt aber, daß im allgemeinen von dieser Extremforderung abgewichen werden kann. Auch Gründe der Wirtschaftlichkeit zwingen dazu, kurzzeitige Behinderungen zuzulassen, wenn über längere Zeit das Angebot durch die Leistungsfähigkeit der Strecke befriedigt werden kann.

Man wird sich daher in jedem Fall über die möglichen Schwankungen und ihre Ursachen Klarheit zu verschaffen suchen. Dies kann näherungsweise durch richtige Auswertung von Statistiken geschehen. Danach ist zu entscheiden, wieweit die Schwankungen in der Abstimmung mit der Leistungsfähigkeit oder in der Dimensionierung der Wasserstraße zu berücksichtigen sind. Dies kann dadurch geschehen, daß die Leistungsfähigkeit auf ein um einen den zugelassenen Schwankungen entsprechenden Betrag erhöhtes mittleres Jahresangebot abgestimmt wird. Beim Nord-Ostsee-Kanal wählte man den 1,5fachen Betrag, der dem „reduzierten Spitzenverkehr“ entspricht.

Würde man diesen Wert hier übernehmen, würde für die Planung der Strecke statt 19,5 Mio nur $\frac{19,5}{1,5} = 13$ Mio t/Jahr Transportmenge einzusetzen sein.

Hier wird deutlich, daß die Verkehrsunternehmen selbst durch Verminderung dieser Schwankungen wesentlich zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Strecke beitragen können.

5. Bemerkungen zur Methode

Diese Arbeit ist nur als erste Anregung zu dem Thema „Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße“ gedacht. Es ist der Gedankengang dargelegt und an einigen Beispielen erläutert. Viele Punkte sind weiter durchzuarbeiten und zu verfeinern, um die Methode soweit zu bringen, daß sie für die Nachprüfung bestehender Wasserstraßen und für die Planung und Dimensionierung neuer Wege mit genügender Genauigkeit zu benutzen ist. Die Lücke, die bisher für die verkehrliche Betrachtung einer Strecke vorhanden ist, kann so geschlossen werden. Durch die Analyse ergeben sich einige interessante Einblicke in das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren, die beim Ablauf einer Fahrt mitwirken. Es wird möglich sein, dadurch gezielt mit größerem Wirkungsgrad oder mit größerer Wirtschaftlichkeit verbessernde Einzelmaßnahmen in den Gesamtrahmen des Funktionsablaufs einzufügen. Man kann auch einen objektiveren Maßstab für den Einsatz verkehrsregelnder Maßnahmen daraus gewinnen.

Schriftumsverzeichnis

- [1] Schlums, J. und F. Jakobs: Probleme des Dimensionierens von Anlagen des Straßenverkehrs. Straße und Autobahn (1967) H. 8 S. 274 uf.
- [2] Graewe, H.: Der zweckmäßige Querschnitt von Binnenschiffahrtskanälen der Wasserstraßenklasse IV. Diss. Techn. Hochschule Aachen 1967 mit Lit. Angaben.
- [3] Seifert und Rhönisch: Leistungsfähigkeit und Abmessungen der Schleusen einschließlich der Schiffsliegeplätze in Beziehung zum Verkehr und seinen Schwankungen ebenso wie zur Größe und Zahl der Schiffe und Schleppzüge. Linienführung der Einfahrt-Leitmauern und der Leitwerke in den Zufahrtskanälen. Anordnung von Schiffsschleusen für den Fall, daß alle Tore sowohl für die Hochwasser- als auch für die Geschiebeabführung offen sind.
Deutsche Berichte zum XVIII. Intern. Schiffahrtskongreß Rom 1953, Bonn 1953: Bundesverkehrsministerium.
- [4] Renner, E.: Der Strukturwandel des Binnenschiffsverkehrs nach dem Kriege. Schriftenreihe des Zentralvereins für deutsche Binnenschifffahrt e. V., Jahrg. 1955, H. 73 und Zeitschrift für Binnenschifffahrt 1960, Heft 12.
- [5] Leutzbach, W.: Verkehrsmenge, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit. Straßenverkehrstechnik VI (1962) H. 4 S. 151—156.

Anlage 1

**Jahresleistung im Berg- und Talverkehr und Anteil der Ladung an der Tragfähigkeit
für verschiedene Schleusen westdeutscher Wasserstraßen
(ermittelt aus der Schleusenstatistik 1967)**

Schleuse		Tragf.-t	Ladungs-t	Anteil der Ladung an der Tragfähigkeit in %
Duisburg-Meiderich und Ruhrschleuse	zu Berg	18 586 257	7 346 426	40
	zu Tal	20 331 610	11 801 560	58
	insges.	38 917 867	19 147 986	49
Friedrichsfeld	zu Berg	12 668 632	8 826 758	70
	zu Tal	11 710 767	5 728 471	49
	insges.	24 379 399	14 555 229	60
Herne-Ost	zu Berg	9 089 005	5 815 459	64
	zu Tal	10 719 632	2 795 243	26
	insges.	19 808 637	8 610 702	44
Datteln	zu Berg	10 681 194	8 789 831	82
	zu Tal	9 982 668	3 825 371	38
	insges.	20 663 862	12 615 202	61
Münster	zu Berg	14 534 529	5 605 832	39
	zu Tal	13 796 532	10 115 556	73
	insges.	28 331 061	15 721 388	55
Herbrum	zu Berg	5 078 696	2 777 072	55
	zu Tal	4 530 624	2 783 390	62
	insges.	9 609 320	5 560 462	58
Anderten	zu Berg	8 343 658	5 539 536	66
	zu Tal	8 465 531	3 018 380	36
	insges.	16 809 189	8 557 916	51
Oldenburg	zu Berg	2 905 720	1 280 651	44
	zu Tal	2 927 629	1 813 976	62
	insges.	5 833 349	3 094 627	53
Kostheim/M.	zu Berg	18 299 156	12 839 860	70
	zu Tal	18 268 362	3 439 618	19
	insges.	36 567 518	16 279 478	45